

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.40 September 1966

照明特集

9

三菱自動車ショールームの照明 (田町ビル内)



最近の照明施設(1)



① 日本ビル 中央大ホール（東京）

地下4階，地上14階，延面積 164,132m²，日本最大のマンモスビルの中央大ホールで舟形乳白色アクリライトパネルを使用したケイ光灯による光天井である。床面の平均照度は800～900lxである。



② 新東京ビルの中央ホール（東京）

事務所ビルの四方からの通路の交差した中央ホールの天井ははなやかな円形ドーム状の光り天井となっている。中央ホールへ通ずる各通路はケイ光灯のラインライティングで光り天井は一階吹き抜けの個所に存在している。床面の平均照度は600lxである。



③ 東京交通会館 玄関ホール（東京）

東京・有楽町駅付近の整理計画により完成した地下4階，地上15階の超高層ビルの玄関ホール1階吹き抜け部分の照明では埋込形下面乳白色アクリライトパネルおよび透明アクリライトパネルを使用してマス形に組込んだものである。パネル16枚あたりFLR-40W×48灯使用し床面の平均照度は400lxとなっている。



④ 東京交通会館の階段（東京）

同左会館の共通部分の階段照明である。階段の真上はケイ光灯プラスチックカバー器具のラインライティングで階段上の平均照度は500lxである。



⑤ 松坂屋銀座店（東京）

百貨店の売場としては1階が最も重要な場所である。空調用吹出口，スプリングラーヘッドと照明を組合せ調和させたもので，曲線に囲まれたケイ光灯による光天井とダウンライトおよび柱の間接照明によって心持よい明るさと上品な感じを与えている。光天井内FL-40×36灯／スパン，ダウンライト100W電球×12灯／スパン，柱の間接照明FL-40×6灯／スパン，平均照度は400lxである。



⑥ そごう百貨店大阪店（大阪）

緑色の光源高出力ナトリウム水銀灯による壁面照明で高さ約32m，正面幅約80mにナトリウム水銀灯H-400L×21灯，H-300L×3灯のほかH-700，400，250など水銀灯35灯により薄い黄色の壁面が淡緑色に浮き出され，美しい景観を夜空に造り出している。照度は中央部で150～200lxである。



照明特集

目次

《特集論文》

園芸における人工光源の応用と将来	養原善和・高梨成行	1373
MgO : Mn, Li および CaO : Mn, Li 中の Mn^{4+} および Mn^{2+} イオンの ESR と放射線照射効果	森川允弘・吾妻健国	1378
ラビッド・スタート形ケイ光ランプ用透明導電性被膜	林次郎・西楽隆司・久保幸正・安西良矩	1384
高圧水銀ランプの長寿命化のための電極設計	土井貞春・伊藤弘・加茂部透・宮井隆	1391
金属添加物入り水銀灯の特性と問題点	久保幸正・竹田俊幸・土橋理博・三上竜夫・若林正雄	1402
キャノン・カルバフィルム用水銀ランプ	近藤敏一郎・井上睦公・大盛真次・近藤登	1413
暗室用ケイ光ランプ	富平茂治郎・大山弘・大田重吉・土井貞春・山崎均	1416
照明経済の比較計算に関する諸構成要素とその応用	小堀富次雄	1423
人工霧発生装置と光の霧中透過	伊藤晃徳	1432
高圧水銀ランプによるトンネル照明	金関勇・田中民雄	1438
半導体素子を使用した小形調光装置	森本俊一	1448

《普通論文》

避雷器と汚損問題	岡田昌治・永井信夫・荻野一夫	1453
電鉄変電所用レクチフォーマ	小林凱・石井昭二・久岡俊之・冬広力・白石光	1468
最近のコータ用電機品	安斎広成・兵頭太郎	1476
MELISS 文献機械検索システム	有田不二男・小林吉三郎・黒田寿一	1488
ZKG 形マイクロバウダクラッチとその応用	村田俊哉・浅野哲正・植田雅晴・二出川忠	1494
製鉄用電動機の選定(その2)	市川健二	1500

《電子計算機シリーズ》

電子計算機による三相誘導電動機特性算定	桐生悠一	1507
---------------------	------	------

《技術解説》

配電用避雷器の特性とその適用	岡田昌治・永井信夫・三住日出夫	1512
----------------	-----------------	------

《技術講座》

室内照明の設計指針	小笠原善丸・石井重之	1521
-----------	------------	------

《新製品紹介》

NG 形ブレーキ付 E 種モートル・ドリルキット用アタッチメント(芝刈り床ミガキ)を新発売・三菱卓上用電気ベルトサンダ TB-20 S-1 形新発売・三菱ケイ光灯器具“パラボライト”新発売・5mm 携帯用電気ドリル・三菱電子レンジ RR-700 形新発売		1534
---	--	------

《ニュースフラッシュ》

BHF-30 形直流高速度シャ断器完成・阪神電鉄納め高圧インバータ営業運転にはいる・スペイン国鉄向け 1,350 kW 主電動機完成・近鉄伊勢特急用電機品受注		1539
---	--	------

《特許と新案》

負荷制限装置・電気ガバナの運転制御装置・三相負荷の制御装置		1451
-------------------------------	--	------

《表紙》

1. 三菱自動車ショールームの照明(田町ビル内)

本年6月に完成した田町ビル(東京都港区)の1階にあるこのショールームは色彩豊かな新形自動車の展示にふさわしい広々とした床面と吹抜け中2階の天井面に達するステンレスサッシュに囲まれた大きなガラス面に包囲され、天井は曲面プラスボード仕上げとなり、はなやかなふんい気をもっている。光源として、高さ5.2m~6.5mの天井面に分散・配列されているケイ光水銀灯 HF-700 (700 W) × 23 灯、電球 IL-200 (200 W) × 68 灯は天井面より深く埋込んで取り付け、床面積 762.7 m² で平均照度は 1,000~1,300 lx である。受付その他に円形ケイ光灯 FCL-30 × 2 灯用 30 セット、中2階のサロンおよび展示コーナーには FL-40 × 6 灯用埋込形器具が合計 46 セット使用され平均照度は約 500 lx となっている。

2. 3. 4. 最近の照明施設





SPECIAL COLLECTION OF ILLUMINATION

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Application and Future of Artificial Lighting to Horticulture.....	1373
Yoshikazu Minohara • Shigeyuki Takanashi	
Electron Spin Resonance of Mn^{4+} and Mn^{2+} Ions in $MgO : Mn, Li$ and $CaO : Li$, and Radiation Induced	
Valency Change of Manganese Ions.....	1378
Masahiro Morikawa • Kenkoku Azuma	
Electro-Conducting Transparent Coating for Rapid Start Fluorescent Lamps.....	1384
Jiro Hayashi • Takashi Nishiraku • Yukimasa Kubo • Yoshinori Anzai	
Study on the Electrode Design of High Pressure Mercury Lamps for Prolonging Useful Life Spans	1391
Sadaharu Doi • Hiroshi Ito • Toru Komobe • Tokashi Miyai	
Characteristics and Problems of Metal Additive Mercury Discharge Lamps	1402
Yukimasa Kubo • Toshiyuki Takeda • Michihiro Tsuchihashi • Tatsuo Mikami • Masao Wakabayashi	
Mercury Lamps for Canon Kalvar Films	1413
Keiichirō Kondō • Mutsuhiro Inoue • Shinji Omori • Noboru Kondō	
Fluorescent Lamps for the Illumination in Photographic Dark Rooms	1416
Mojirō Tomihara • Hiroshi Oyama • Jyūichi Ota • Sadaharu Doi • Hitoshi Yamazaki	
Constitution Factors on Comparative Calculation of Illumination Economy and Its Applications	1423
Fujio Kobori	
Artificial Fog Generator and Transmission of Light through Fog.....	1432
Terunori Ito	
Lighting of Tunnel Roadway with Mercury Vapor Lamps	1438
Isamu Kaneseke • Tomio Tanaka	
Small Light Control Equipment using Semiconductor Devices	1448
Shunichi Morimoto	

TECHNICAL PAPERS

Pollution Problems on Lightning Arresters	1453
Masaji Okada • Nobuo Nagai • Kazuo Ogino	
Rectifiers for Railway Substations	1468
Gai Kobayashi • Syōji Jshii • Toshiyuki Hisaoka • Tsutomu Fuyuhiko • Hikaru Shiraishi	
Electric Equipment for the Latest Coating Machines.....	1476
Hironari Anzai • Taro Hyodo	
MELISS Document Retrieval System Using Digital Computer MELCOM-1530	1488
Fujio Arita • Kichisaburo Kobayashi • Toshikazu Kuroda	
Type ZKG Micro Powder Clutches and Their Application	1494
Toshiya Murata • Tetumasa Asano • Masaharu Ueda • Tadashi Nidegawa	
Selection of the Motors in Iron and Steel Works	1500
Kenji Ichikawa	

APPLICATION OF COMPUTERS FOR USER-SERIES

Calculation of Three Phase Induction motor Characteristics by Computer.....	1507
Yūichi Kiryu	

TECHNICAL EXPLANATION

Distribution Yalve Lightning Arresters and their Application to the Systems	1512
Masaji Okada • Nobuo Nagai • Hideo Misumi	

TECHNICAL LECTURE

Information of Interior Lighting	1521
Yoshimaru Ogasahara • Shigeyuki Ishii	

NEW PRODUCTS	1534
--------------------	------

NEWS FLASH	1539
------------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL	1451
--------------------------------	------

COVER EXPLANATION

1. Illumination of Mitsubishi Motor-Car Showroom in Tamachi Building.

In the first floor of Tamachi Building completed last July in Minatoku, Tokyo is a showroom with a spacious area befitting to the display of colorful new motor cars. The room is furnished with stainless steel sashed glass windows as tall as reaching a high ceiling under which is a mezzanine. The ceiling is finished with plastic board. The place is filled with bright atmosphere. The lighting sources employed here 23 fluorescent mercury lamps HF-700 (700 W) and 68 incandescent lamps IL-200 (200 W) mounted embeded deep on the ceiling surface. They are arranged distributed on the ceiling 5.2~6.5 m high. The floor space is 7,627 m² having an intensity of illumination in average is 1,000~1,300 lx. At the information office are 30 sets of two lamp FCL-30, while a salon and a display corner in the mezzanine are lighted with 46 sets of six lamp FL-40 of semi-flush type making 500 lx illumination.

2. 3. 4. The Latest Illuminating equipments.

UDC 635.628.93.004

園芸における人工光源の応用と将来

荻原善和・高梨成行

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1373～1377

園芸における人工光源の利用に関し、基礎的な実験として三菱カラーライト（純色）ケイ光灯下のキュウリ幼苗の生育反応について、応用的なものとして光量を異にしたケイ光灯下の観葉植物の生育、およびトマト育苗時の補光実験の概略ならびに植物に対する光の作用についてその概要を述べる。園芸における人工光源の利用にあたっては、光質、光量、それが植物にエネルギー的にあるいは刺激的に作用するかについて考えねばならず複雑であるが、園芸作物の栽培に次第に工業的手法が導入されている現在、人工光源の利用も今後一段と活発化されると思われる。

UDC 546.712/.714.546.46-31.546.41-31:541.15:538.569

MgO:Mn, LiおよびCaO:Mn, Li中の Mn^{2+} および Mn^{2+} イオンのESRと放射線照射効果

森川允弘・吾妻健国

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1378～1383

MgOおよびCaO粉末中にLiとともに拡散させたMnは、通常の Mn^{2+} 以外にも一つのMnのESRを示す、それは陽イオンを置換した Mn^{2+} の吸収線であることを確かめた。測定された Mn^{2+} のg値、超微細構造定数と、 Mn^{2+} と同じ電子配位をもつ Cr^{3+} 、 V^{3+} の値との比較をおこなった。MgO中の Mn^{2+} に対しては77°KでのUV励起による発光スペクトルを観測した。発光強度とESRの波高値との間にはほぼ直線関係がある。CaO母体の場合には発光は観測されない。

MnのESR強度はUV、X線 ☐ またはγ線照射によって顕著な変化を示す。バンドモデルによってその ☐ 機構の解釈を試みた。

UDC 666.056/175:621.3.032.7/9

ラピッドスタート形ケイ光ランプ用透明導電性被膜

林 次郎・西楽隆司・久保幸正・安西良矩

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1384～1390

ラピッドスタート形ケイ光ランプに用いる透明導電性被膜を研究した。電子線回折、電子顕微鏡、X線マイクロアナライザによって導電被膜の構造や性質への作成温度の影響が調べられ、またランプの点灯による導電被膜の欠陥が明らかにされた結果次の事実がえられた。

①導電被膜は高温作成により結晶化は促進され、安定な被膜がえられる。この導電被膜は不純物はほとんど含まず、熱処理による抵抗値変化は少ない。

②アルカリイオンの影響をさけるためガラスの酸洗浄や保護被膜は導電被膜の欠陥を減少させる。現在 ☐ 当社のラピッドスタート形ケイ光ランプ3,000時間点灯後のルーメン、 η ☐ ンテナンスは在来のランプより約4%高く、変色およびシミは少ない。

UDC 621.327.534

高圧水銀ランプの長寿命化のための電極設計

土井貞春・伊藤 弘・加茂部 透・宮井 隆

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1391～1401

高圧水銀ランプの長寿命化を目的として行なった電極設計についての研究報告である。まず電極の動作機構を熱平衡の上から解析し電極諸定数や電極消費電力のエネルギー配分を算出した結果について述べた。ついでこの解析に基づく電極動作温度の条件や、使用する電極物質の熱蒸発特性などから設定される最適温度分布を満足するとともに、イオンや電子衝撃によるスパッタの防止にも有効な電極構造の設計に言及した。最後にこれらの結果を応用することによって水銀ランプの寿命特性すなわち光束維持率に画期的改善効果を得られ、また超高圧水銀ランプの開発に ☐ も成功した例を紹介した。

UDC 621.327.534

金属添加物入り水銀灯の特性と問題点

久保幸正・竹田俊幸・土橋理博・三上龍夫・若林正雄

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1402～1412

最近水銀灯の特性を改善するために、ある種の金属をヨウ化物または臭化物の形で発光管内に添加することが試みられ、多くのすぐれた長を有している。管電圧の漸増や光束劣化これらとはくにNaIを添加物として用いた場合に著しい。本論文では添加物入り水銀灯の、このような問題点や諸特性とともに、われわれが開発した二種のランプについて述べる。一つは一般照明用のNaI-Tl I-I₂-Tl-Hgランプで、Tl金属を過剰に添加して、問題の原因であるヨウ素の遊離を防ぎ、ランプ特性を改善できる。他はGaを ☐ 添加したもので、Gaのラインである403, 417 mμの発生効率がよいので、☐ 複写用にとくに適している。

UDC 621.327.9

キャノン カルバ フィルム用水銀ランプ

近藤敬一郎・井上睦公・大盛真次・近藤登

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1413～1415

カリウム水銀ランプは、波長 403 mμ, 417 mμに強い輝線スペクトルを有するので、光化学反応用、複写機用に適した効率の高い光源である。キャノンカメラKKで開発されたカルバ マイクロフィルムのデュープリケータ用光源として、まず 250Wおよび 400Wを製品化し、実用される段階となった。この文はカルバ マイクロフィルムの長所、構像原理、感光特性を述べ、ランプの形状、諸特性について簡略に説明した。

UDC 621.327.534

暗室用ケイ光ランプ

富平茂治郎・大山 弘・大田重吉・土井貞春・山崎 均

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1416～1422

写真暗室照明用の安全光源として暗室用ケイ光ランプを開発した。このランプは管内壁に顔料層をもうけることにより、不適当な波長光を吸収して安定波長域だけを発光するようにしたものである。従来の白熱電球とフィルタの組合わせタイプのものに比べて、寿命、保守、取扱いおよび安全度のうえですぐれた長所をもっている。近年写真フィルムの用途は多種にわたっているが、そのうちとくに印刷用プロセスフィルム、工業用、医療用Xレイ、赤外線フィルムなど非整色性および整色性フィルム、あるいはカラーフィルムの感光乳剤などを取扱う暗室においてこのケイ光 ☐ ランプが有用である。

UDC 628.9:658.29.003

照明経済の比較計算に関する諸構成要素とその応用

小堀富次雄

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1423～1431

工場・事務所・道路などの照明施設を計画・設計する際、照明の効果とともに照明経済の問題は重要である。照明施設の光源を選定するために経済比較の計算によって、それらの経済的優劣の検討を行なうわけである。これらの比較計算は公正な立場で基礎条件を明示し、同一条件のもとで計算結果を比較して経済的優劣を検討するものである。ここでは照明経済の比較計算の構成要素として、初設備費、年間固定費、年間運転費および年間照明費についてそれらの内容を分析検討し、さらにその応用例としていくつかの事務所・工場の照明施設について各光源別に経済 ☐ 比較の計算を行ない、それらの結果について経済的優劣の検討を行なっ ☐ た。

UDC 551.575:628.971

人工霧発生装置と光の霧中透過

伊藤晃徳

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1432～1437

道路照明の分野では、霧多発地区の照明方法その他についてまだ解明されていない問題が多く残されている。今回はその一つとして、光の霧中透過特性をとりあげて研究した。霧中透過特性の測定では霧粒径の分布範囲が問題になるので霧の発生方法・粒径測定方法および粒度分布についても検討をした。その結果、霧粒径にあたえる影響は霧箱内の上下温度差および核の種類よりも蒸気噴出時の圧力の影響のほうが大きいことがわかった。また、光の透過性に関しては、波長の長い光および単色光の透過性がよい傾向を示すことがわかった。

UDC 621.314.212:621.314.63:621.33

電鉄変電所用レクチフォーマ

小林 凱・石井昭二・久岡俊之・冬広 力・白石 光

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1468～1475

レクチフォーマはシリコン整流器と変圧器を一体化した電力変換装置で、今回世界でも最初の電鉄変電所用が開発完成された。全装置を完全組立てして輸送できるレクチフォーマは屋外設置とともに変電所の合理化に大きく貢献した。またその特長ある構造は保守を容易にし、共通油冷却系統は電鉄負荷に最適の特性を示すことが判明した。本文ではその構造、冷却系統の概要と設計上の考慮について紹介し、あわせて製品の特性にいろいろの応用分野に対する特長を述べている。

UDC 628.971

高圧水銀ランプによるトンネル照明

金関 勇・田中民雄

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1438～1447

交通量の増大に伴い、交通安全のうえで、道路照明は近年ますますその重要性をましつつある。このたび当社では、国道9号線の但馬トンネル（兵庫県）の照明設計および照明器材を納入し、建設省との協同による、照明効果の総合的評価を求める照明実験を実施した。この照明の特長は、光源に高圧水銀ランプを使用したことで、試験の結果、従来トンネル照明用光源としては不向きとされ、したがって本格的な照明例がなかった高圧水銀ランプが、きわめてすぐれた照明効果を示したことである。このことは今後の道路照明の設計に対して参考となることが多いと考 えられるので、ここにその概要をのべる。

UDC 676.2.05-83

最近のコータ用電機品

安斎広成・兵頭太郎

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1476～1487

最近、世界中でコート紙の需要が増加しており、コート紙の増設、新設が行なわれている。当社では2年間に5セットのコータ電機品を製作した。高速化、大形化が進んでいて、数年前のコータ電機品とは内容が大幅に変わってきているので、最近の製作例について紹介し、どのコータにも共通して問題になると思われる速度制御、ノリ付け制御、巻取り制御に触れた。

UDC 628.94/.95

半導体素子を使用した小形調光装置

森本俊一

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1448～1450

半導体素子を使用した小形調光装置に関するものである。

従来、白熱灯やケイ光灯の調光装置にはおもにオートトランスを用いた電圧変化方式が採用されていたが、最近では半導体素子を使用した位相制御方式に代わりつつある。

この文では、一般家庭、ホテルの客室、会議室などを対象とした半導体素子（SSS）使用による小形の白熱灯調光装置、ケイ光灯調光装置について、その原理、回路構成、動作特性を比較説明した。装置の容量は、白熱灯調光装置で300W、ケイ光灯調光装置で40Wラビッドスタートランプ（FLR-40）×2灯である。

UDC 681.142:002

MELISS文献機械検索システム—MELCOM-J530の利用

有田不二男・小林吉三郎・黒田寿一

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1488～1493

当社の情報管理システムMELISS向けとしてMELCOM-J530を利用する文献機械検索システムを開発、実用サービスを開始している。このシステムは広範囲の技術文献につきその抄録をカード化して、保存する一方、それを自然語のkey wordの形にして計算機に記憶せしめ、同じくkey word表現の質問語と同一語を含む文献を抽出しようとするものである。これには特殊な機能をもつ複合語構成およびIndifferent検索機能などを与えることにより検索漏れ、検索noiseなどの減少をはかるよう考慮されている。現在蓄積文献1件ごとに質問1件当たり検索時間 は約7.5分であるが、近くこの機能をいっそう改良すれば、現在の数分の1の時間で検索可能となるはずである。

UDC 621.316.933-757

避雷器と汚損問題

岡田昌治・永井信夫・萩野一夫

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1453～1467

当社では、昭和25年末に避雷器の霧中試験を実施して以来、避雷器の汚損問題研究に着手した。

この論文では通常考察される等価霧中特性のほかに、屋内汚損、活線洗浄試験の影響、汚損氷結時の影響などを含めて解説し、シリコンコンパウンドの効果についても記述し、次に汚損に対する避雷器がイ管の絶縁強度に対する考え方を検討してほかの電気機器と事情の異なる点を究明し、さらに当社避雷器の汚損塩害地区への適用を検討して指針について記載した。

UDC 621.839

ZKG形マイクロパウダクラッチとその応用

村田俊哉・浅野哲正・植田雅晴・二出川忠

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1494～1499

ZKG形マイクロパウダクラッチは、動作原理、基本構造的では、一般産業機械用を対象にしたZKA形、ZKB形パウダクラッチ、ブレーキとどうようであるが、その応用分野が電子計算機、電動タイプライタ、一般制御器用、およびその他微少トルクを必要とするものなどを対象としているので、定格トルクに対して非常に小形に作られている。また制御要素として使用する多くのばあいにはトルクの高連応答性が要求されるので、この点にも十分留意した設計をおこなっている。なお他方式のマイクロクラッチにない利点は、連続スリップ使用、高ヒン度のON-OFF 使用に対しても耐久性が良好なことである。

UDC 669.16:621.313.13

製鉄用電動機の選定 (その2)

市川健二

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1500～1506

大製鉄所では10,000台以上、400MWに及ぶ大小各種の電動機を有し、新工場建設に際しては全建設費に占める割合は大きく、また生産の向上、製品の品質の良否に影響をあたえることも多いので電動機の合理的な選定は技術の進歩とあいまって重要なものとなっている。製鉄所内でも各工場によって環境、用途等にかかなりの差異があるのでそれらに適した電動機を選ぶべきである。またその要点の一つとしてできるだけ統一規格を有するシリーズから選ぶ方が技術的経済的に有利で納期も短いことが多い。このような観点から本文では製鉄所で広く用いられる各種電動機の ○ 特長を記し、その選定について述べた。

UDC 681.142.004 [621.313.333.01]

電子計算機による三相誘導電動機の特性算定

桐生悠一

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1507～1511

電子計算機による円線図計算は当社最初のルーチン計算であり、地道に有効利用につとめ問題点を着実に解決することにより最大の利用実績を記録するにいった。この仕事の機械化をめざし円線図専用アナログ計算機を開発中にIBM 650が登場し、利用の容易さからそれに切り換えた。IBM 650では計算費用が高く、計算依頼より結果入手までの所要時間が長い欠点があったが、IBM7090の利用により十分経済的となり、その後自場所に設置されたMELCOM1530の利用により所要時間も短縮され、フォーム印刷用紙を使用してアウトプットをそのまま客先提 ○ 出用試験成績表とすることが可能になった。

UDC 621.316.933.9.004.2

配電用避雷器の特性とその適用

岡田昌治・永井信夫・三住日出夫

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1512～1520

「配電線耐雷設計基準要綱 (電力中央研究所)」の発刊により、配電線の耐雷設計指針が確立したといえる。この技術解説ではJEC-156規格に準拠した公称放電電流2,500A避雷器の特性と当社最新形のLV・GL形避雷器の特性を対比して説明し、適用上の問題点について検討を行なった。従来から弁形避雷器適用上の問題とされていた接地抵抗についても、耐雷設計基準では定格8.4kV避雷器の場合30Ω以下でよいとされており、いろいろの問題点を検討の結果将来の配電線保護に対しては高性能の弁形避雷器を使用すべきであるとの結論に達した。また保守上の問題につ ○ いても解説を行なった。

UDC 628.93

室内照明の設計指針

小笠原善丸・石井重行

三菱電機技報 Vol.40・No.9・P1521～1533

この文は、室内照明の設計に必要な 実測データ、理論データをまとめたものである。

その内容は、最近の新しい種々の照明用カバー類の光学特性、方形の天井埋め込み形ケイ光灯器具の配光特性、円形ケイ光灯の組み合わせと配光との関係を実測し、さらに電子計算機により 各種の光源の配置における照度分布を計算して求め 比較の参考資料とした。なお末尾に線分光源とみなされるケイ光灯の照度計算について新しい理論を展開した。

園芸における人工光源の応用と将来

養原 善和*・高梨 成行*

Application and Future of Artificial Lighting to Horticulture

Central R. Inst. of Elec. Power Ind.

Yoshikazu MINOHARA・Shigeyuki TAKANASHI

In reference to the application of artificial lighting to horticulture, basic experiments have been made on the growth and morphology of cucumber seedlings have been conducted with mitsubishi colored fluorescent lamps. By changing the intensity of fluorescent light, observation has been made on the ornamental plants. Also study on the influence of supplemental illumination on the growth of tomato seedlings has been taken up. From general viewpoints the application of the artificial lighting to plants involves quite complicated factors. The properties and intensities of the light have much to do with the perposes. Questions whether or not it is due to light energy or its stimulation that works on the plant growth need much investigation.

1. ま え が き

Edison によって白熱電球が発明されて以来 87 年、今日われわれの周囲を見回すとき、白熱灯、ケイ光灯をはじめとする、おびただしい種類の人工光源が、人間生活のあらゆる面で利用されている。

一方、人工光源を作物の栽培や貯蔵などに利用することについても、かなり古くから行なわれ、わが国においても昭和 2 年にすでに、高岡⁽¹⁾によって低燭電球による作物栽培の実験がなされており、最近では菊の電照栽培など、太陽光線に代わるもの、あるいはその補助として、さらにはは刺激的なエネルギーとしての利用開発の研究が進められている。

われわれはかねてから、人工光源による作物栽培、生育調節などを目的とした実験を進めているが、ここに最近行なった二、三の実験の概要を記し、あわせて、園芸面における人工光源利用の展望を述べたい。

2. 純色ケイ光灯 (三菱カラー ケイ光ランプ) 下のキュウリ幼苗の生育

2.1 実験目的および方法

カラー ケイ光灯下のキュウリ 幼苗の生育反応を通し、単色光が植物の形態形成に与える影響を検討し、たとえば性化など、園芸作物の人工光源による生育コントロールの基礎資料をうるため、この実験を行なった。

実験は、温度 $28 \pm 1.5^\circ\text{C}$ に調節した温度調節室に、約 15 分間で 1 回転するターンテーブルを設置、テーブル上の直径 1.2m の水槽中で、キュウリ (品種彼岸節成) を均衡培養液 (Balanced Solution) で育成し、その生育について調査した。

光源は、表 2.1 および図 2.1 のような定格、分光エネルギー分布を有する、純青色、純緑色、純黄色、純ダイダイ色、純赤色 カラー ケイ光ランプ、および標準区として、三菱植物用ランプ 40 W 各区 10 本を使用、光源と植物頂点の距離を調節することによって、植物面上の光量を約 $0.039 \text{ g} \cdot \text{cal} \cdot \text{min} / \text{cm}^2$ (Kipp and Zonen Radiometer により測定)、1 日 20 時間照射とした。

2.2 実験結果と考察

図 2.2 および表 2.2 に処理後 24 日、および 6 週間目のキュウ

表 2.1 カラー ケイ光ランプの定格

形 式	色 の 種 別	色 純 度	主 波 長 (Å)	大 小 電 流 (W)	ラ ン プ 電 流 (A)	定 格 電 圧 (V)	全 光 束 (lm)	平 均 寿 命 (h)
FL-40 R-F	純 赤 色	1.000	6,380	40	0.435	200	360	5,000
FL-40 YR-F	純ダイダイ色	1.000	6,060	"	"	"	720	"
FL-40 Y-F	純 黄 色	0.989	5,840	"	"	"	1,950	"
FL-40 G-F	純 緑 色	0.915	5,390	"	"	"	900	"
FL-40 B-F	純 青 色	0.848	4,760	"	"	"	330	"

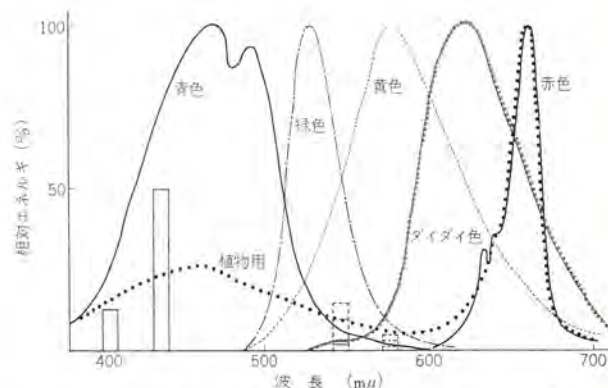


図 2.1 カラー ケイ光ランプおよび植物用ランプのエネルギー分布
Fig. 2.1 Spectral distribution of colored fluorescent lamps and the one for plant growth.



左から 植物用純青色、純緑色、純黄色、純ダイダイ色、純赤色ケイ光灯処理

図 2.2 単色光下のキュウリの生育 (処理後 24 日)

Fig. 2.2 Effects of light quality on the growth of cucumber seedlings (24 days after the beginning of the treatments).

表 2.2 単色光下のキュウリの生育 (処理後6週間)

項 目	展開葉数 (枚)	草 丈 (cm)	葉面積 (cm ²)	乾物重 (mg)	ハイ(胚)軸 (cm)	平均節間長 (cm)
植物用ランプ	9.5(※)	22.7	886	3,380	5.1	1.85
カ ラ ー ド ケ イ 光 ラ ン プ						
純 青 色	8.0	35.7	558	1,270	7.9	3.48
純 緑 色	4.8	15.3	36	85	12.8	0.52
純 黄 色	9.5	20.9	582	998	8.1	1.35
純ダイダイ色	8.7	17.6	456	713	8.6	1.03
純 赤 色	9.6	21.5	720	1,490	8.0	1.41

キュウリ：品種彼岸節成、(※)のみ処理後5週間

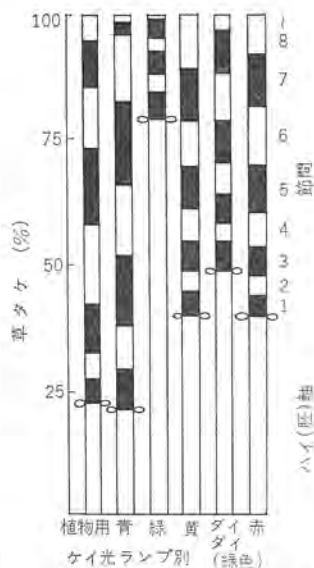


図 2.3 単色光下のキュウリの草丈に占める各部門の割合
Fig. 2.3 Elongation pattern of cucumber seedlings grown in different colored lights for six weeks.

りの生育状態を示した。

展開葉数は植物用ランプ区が多く、単色光区中では、とくに赤色、黄色区で促進され、緑色区と比較すると両者とも、約2倍の展開葉数であった。これは Vince, Parker らが、単色光の約0.015 g・cal・min/cm² 下で7~9週間エンドウ、インゲンマメを育て、赤色光下で展開葉数が最大であった結果と一致する。

つぎに草丈は青色区がきわだって高く、植物用ランプ、赤色、黄色区がこれにつぎ、緑色区は青色区の約43%に過ぎない。

しかしこれを詳細に見ると、図2.3のように、草丈に占めるハイ(胚)軸の割合は、緑色区が80%、ダイダイ色区49%、黄色区39%、赤色37%に対し、青色区は22%で、緑色区の草丈はほとんどがハイ軸で占められている一方、各節間の平均長は青色区がもっとも大きく、植物用ランプ区の1.8倍、緑色区の6.7倍もある。節間伸長に及ぼす光質については、Van der Veen, Meijer らは、トマト、レタスでは赤色光が、キャベツ、エンドウでは青色光が促進的に働くことを観察しているが、通常高温かつ日長20時間以上の環境下でワイ化する、キュウリ彼岸節成を供試材料としたこの実験の結果から、ハイ軸および節間の伸長は個別であること、緑色光はハイ軸の伸長抑制効果をもっとも少なく、節間の伸長には青色光が促進的に働いたと考えられた。

また、処理6週間後の乾物生産量を図2.4に示したが、赤色、青色の混合光と考えられる植物用ランプ区を100とすると、赤色区44、青色区38、黄色区29、ダイダイ色区21に対し、緑色区はわずかに2.5で、乾物生産は炭素同化作用の作用スペクトルのピークと相同する、赤色区、青色区で高く、緑色区で著しく低いことがわ

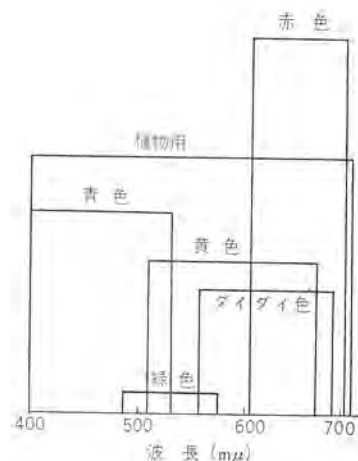


図 2.4 単色ケイ光灯下キュウリの乾物生産
Fig. 2.4 Effectiveness of different colored lights in producing dry matter in cucumber seedlings.
The width gives the approximate wavelength distribution (in mμ) of lamps.
The area of the columns indicates dry matter production for six weeks.



V：植物用、B：純青色、G：純緑色、Y：純黄色、
O：純ダイダイ色、R：純赤色ケイ光ランプ
左の記号は品種略号

図 2.5 単色光下のキュウリの子葉
Fig. 2.5 Influence of light quality on cucumber cotyledons.

かる。

なお、赤色および緑色光によって、トマト、サルビア、パチュニアなどの葉が巻くことが、前記 Vince らによって指摘されているが、この実験ではとくにダイダイ色区、緑色区で子葉が巻き、植物用ランプ区、青色区ではこの現象が見られなかった。しかし、この巻葉現象もさらに筆者らの実験によると、かなりの品種間差異があることがわかった。その一例を図2.5にかかげた。

3. 光量を異にしたケイ光灯下の観葉植物の生育

3.1 実験目的および方法

室内で長期観賞する場合、あるいは現在ガラス室、ビニルハウスなどで増殖、栽培されている観葉植物を、温度制御が容易な地下室などで人工光源により、立体的、能率的に栽培する場合の、必要光量に関する資料をうるためこの実験を行なった。

実験は、温度15±2°C、湿度80±10%に調節した地下暗室で、昼光色ケイ光灯20、50、100、250、500、1,000、3,000 lx (昼光色ケイ光灯1 lx は約3.5 erg・sec/cm²) 16時間照明下で、14種類の観葉植物を供試、ガラス温室で通常の管理を行なったものを対照区として、約4ヵ月間、10~15日ごとに草形、草丈、節間、葉柄長、葉色などを観察し、また、葉のクロロフィル量、アントシアン量の経時的变化を比色測定した。

表 3.1 光量を異にしたケイ光灯下の観葉植物の葉色の変化

植 物 名	処 理 別	葉 色 (Munsell color system)	
		処 理 後 35 日	処 理 後 130 日
Pelargonium Zonale (ゼラニウム)	対 照	7.7 GY 3.4/2.5	7.7 GY 3.4/2.5
	3,000 lx	"	7.2 GY 4.8/3.6
	1,000	"	"
	500	4.4 GY 3.6/2.8	"
	250	3.8 GY 4.2/3.4	"
	100	"	"
	50	4.5 GY 4.8/5.4	8.1 GY 5.6/6.1
Begonia semperflorens (シキザキベコニア緑)	対 照	7.7 GY 3.4/2.5	7.7 GY 3.4/2.5
	3,000 lx	"	7.2 GY 4.8/3.6
	1,000	"	"
	500	6.4 GY 4.2/2.6	6.5 GY 4.5/4.2
	250	"	8.1 GY 5.6/6.1
	100	"	"
	50	4.7 GY 5.5/5.8	×
Begonia semperflorens (シキザキベコニア赤)	対 照	6.7 RP 2.6/1.3	6.7 RP 2.6/1.3
	3,000 lx	"	6.3 RP 2.4/1.6
	1,000	"	"
	500	"	"
	250	1.3 R 2.7/2.1	"
	100	"	"
	50	"	"
Vriesea carinata (インコアナナス)	対 照	4.5 GY 4.8/5.4	4.5 GY 4.8/5.4
	3,000 lx	3.8 GY 4.2/3.4	4.4 GY 3.6/2.8
	1,000	"	"
	500	"	"
	250	"	"
	100	"	4.4 GY 4.8/4.0
	50	"	"
Cordyline terminalis (センネンボク)	対 照	6.3 RP 2.4/1.6	6.3 RP 2.4/1.6
	3,000 lx	"	"
	1,000	"	"
	500	"	"
	250	"	"
	100	"	"
	50	"	"

(注) ×印は枯死のため調査不能

表 3.2 光量を異にしたケイ光灯下の観葉植物の 130 日後の状態

植 物 名	処 理 別	照 度 (Lux)						
		20	50	100	250	500	1,000	3,000
Pelargonium zonale (ゼラニウム)		×	×	×	×	×	△	○
Begonia semperflorens (シキザキベコニア緑葉)		×	×	×	×	△	○	◎
Begonia semperflorens (シキザキベコニア赤葉)		×	×	×	△	△	△	○
Begonia argenteo guttata (アマノカワベコニア)		×	×	△	△	○	◎	◎
Peperomia caperata (チチミバシマアオイソウ)		×	×	△	△	△	○	○
Peperomia hederifolia (ギンバシマアオイソウ)		△	△	△	△	○	○	◎
Pilea cadieri (アサバソウ)		×	×	△	◎	◎	◎	◎
Calathea zebrind (トリアヒメバシヨウ)		×	△	△	○	○	◎	◎
Vriesea carinata (インコアナナス)		×	△	○	◎	◎	◎	◎
Cordyline terminalis (センネンボク)		○	○	○	◎	◎	◎	◎
Dracaena warneki (シロシマセンネンボク)		○	○	◎	◎	◎	◎	◎
Asparagus sprengeri ※ (スギノハカズラ)		×	×	×	×	×	△	○
Cuphea purpurea ※ (ベニチョウジ)		×	×	×	×	△	○	○
Acalyphd wilkesiana ※ (アクリンベニヒモノキ)		×	×	×	△	△	△	○

(注) ※のみ 65 日後の状態, ××枯死, ×枯死寸前, △軟弱, ○やや徒長, ◎健全

3.2 実験結果と考察

供試植物の葉色の変化例を表 3.1 に、また、比較的弱光で適応するもの、およびかなりの光量を必要とするものの 130 日後の態を図 3.1 に、さらにその状態を表 3.2 にまとめた。

なお、比較的弱光を要求するものの一例としてシキザキベコニア、弱光で適応するものの一例としてインコアナナスの実験中の推移を示せばつぎのとおりである。

すなわち、シキザキベコニアは、処理後 25 日で、20, 50 lx 区は軟弱、徒長し、40 日後では 20, 50 lx 区は先端の葉を 1~2 枚残して他は落葉し、茎も黄緑色となり、枯死寸前で 100, 200 lx 区は著しく徒長している一方、3,000 lx 区はつぼみをつけ、開花し、生育も順調であった。しかし、4ヵ月後になると、100 lx 以下は枯死、250~1,000 lx 区は落葉、徒長が激しく、観賞価値を有するのは 3,000 lx 区のみであった。

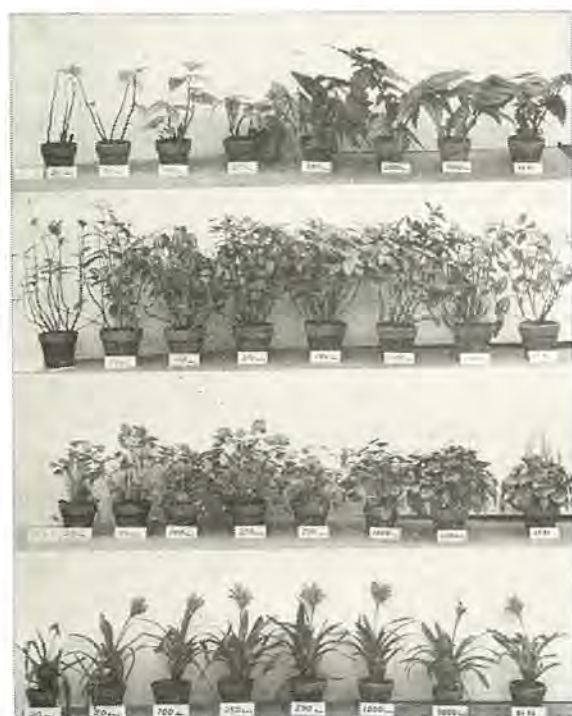
また、インコアナナスは、光線の多少による影響が少なく、4ヵ月を経過しても 20, 50 lx 区の下葉がカッ(褐)変し、花色、生育が若干衰えたのみであり、200~3,000 lx 区は対照区と変わらず、長期間低光度下においても十分観賞に耐えることがわかった。

なお、葉中のクロロフィル量は枯死個体を除いて、弱光下でも変化が少なく、一方、アントシアン量は光線の多少による影響が強く、低照度区では急速に減少した。

4. トマト育苗時の補光が苗素質に及ぼす影響

4.1 実験目的および方法

温暖地に普及したビニルなどを利用したハウス園芸も、最近では、栽培技術の向上、適応品種の育成、新しい資材の開発にともなう、次第に東北、北陸などの寒冷積雪地帯にも普及しつつある。一方、果菜の育苗や栽培初期が、冬や春先の低温、低光度下で行なわれることが多くなり、いかにして日照時間、日射量の不足を補って、健全な苗を育てるかということが問題となってきた。



上から アマノカワベコニア、ビレア、ギンバシマアオイソウ、インコアナナス
図 3.1 光量を異にしたケイ光灯下の観葉植物の 130 日後の状態
Fig. 3.1 Four kinds of plants cultured in several intensities of white fluorescent light for 130 days.

この実験はその対策の一つとして、トマト育苗中に人工光線の補助照明を行ない、その初期生育や花芽の分化にどのような影響を与えるかについて調査したものである。

実験は、トマト（品種福寿2号）をじゃりにより温室育苗し、昭和40年1月31日から45日間、毎日午前4時から7時まで3時間、昼光色ケイ光灯、植物用ランプ、白熱灯の3種の補助照明を行った。次の表4.1に実験区分を示した。

また、図4.1に、実験終了時（苗の定植時）のトマト苗の状態を示したが、処理後45日の草丈は無処理区が10.5cmであるのに対して、白熱灯区は24.8cmで約2.3倍、植物用ランプ区は19.7cmで約1.9倍、昼光色ケイ光灯区は11.2cmで大差なく、生体重については無処理区と比較して白熱灯区は3.7倍、植物用ランプ区は2.5倍あり、昼光色ケイ光灯補光区は無処理区と大差なく、乾物重も同様な結果であった。また苗の徒長度を判定する一法である（地上部重/草丈）×100の値および、花芽分化状況は、白熱灯、植物用ランプ区がいずれも良好で、昼光色ケイ光灯区はやや良好な程度であった。以上から、育苗時の白熱灯、植物用ランプ早朝補光は、トマト苗の素質に明らかに影響を与えた。

なお、この実験では、草丈は徒長したが生体重、乾物重、花芽分化状況など白熱灯がよい結果を示した。これは一つは白熱灯の点灯によって、早期に現出する最低気温の平均が、他区に比較して若干（0.3～1.6℃）高かったことにも一因があると思われる。

育苗時の補光源としての白熱灯について、Roodenburg, Buntrockらは、昼間の補光は保温効果もかねられるとし、Veenらも他の光源に比較して取り扱いが簡単である利点を認めているが、Withrowらは植物に利用されない赤外部が多く、不必要に植物体温を上昇せしめるとしている。また、白熱灯を実際栽培に利用する場合、白熱灯が一種の点光源であり、その配光曲線から見て育苗中の苗に均一に光を照射することは技術的にかなり困難で繁

雑さをともなう。

一方、ケイ光灯については、Veenは植物を徒長せしめず発熟も少ないので植物に接近せしめ、かつ広範囲に照射できる長所があるとし、Withrowも現在のマーケットで最も満足できるのは昼光色、または5,500³kないしは4,500³kの白色あるいは青色と白色の混合タイプケイ光灯であるといい、Dunnは青色ケイ光灯と光度の高い赤色ケイ光灯の照射が、白熱灯、昼光色ケイ光灯よりいっそう効果的であるとしているが、これは光質において、この実験で使用した植物用ランプと類似するのではないかと考えられ、けっきょく、補光源としては、実用上からケイ光灯タイプのものが便利ではないかと思われる。

5. 植物に対する光の作用

植物に及ぼす光の作用については、植物の立場からはそれがエネルギー的に働いたか、あるいは刺激的に作用したかについて、また光の側からはその質と量について考えねばならない。

エネルギー的作用としてはまず光合成作用があり、ここでは光エネルギーが化学エネルギーに変えられ、植物は器官の成長や繁殖に必要なエネルギーを獲得する。この場合一般に比較強いエネルギーが必要とされるが、この作用は光エネルギーがある大きさに達するまで比例的に増大し、またこれは光質にも関係する。

これに対して刺激的作用としては光成作用があり、ここでは光が植物の発芽や茎の伸長、葉の展開、花芽の分化などの分化の過程に、単に変化の契機を与えるものと考えられている。そしてこのプロセスにおいては、光合成に関与しないような低いエネルギーで十分とされており、それぞれ特有の有効波長と、これらの光エネルギーを受容する植物色素について、二のものがわかっている。表5.1に光反応および自然界に見られる光の量の範囲を、また図5.1に植物に対する光化学反応の作用スペクトルの数例を示した。

しかし、植物に対する光の作用は非常に複雑で、たとえば明発芽種（光の存在によってはじめて発芽する）のレタス種子は、500mμ以下および700mμ以上の光には反応せず、もっぱら赤色光（580～700mμ）によって発芽するが、赤色光を与えて100%発芽するようにした後、それよりやや長い近赤外光（720～730mμ）を照射するとまったく発芽しなくなり、この反応は可逆的で何度もくり返すことができ、温度にあまり左右されない。これは1952年、

表 4.1 トマト育苗中の補光試験区分

処 理 別	使 用 光 源	植物面上照射 エネルギー (※) (mWmin/cm ²)	照 度 (lx)
ケイ光灯補光区	昼光色ケイ光灯20W 5本	0.043	1,000
植物用ランプ補光区	植物用ランプ 20W 5本	*	700
白熱灯補光区	白熱灯 60W 6本	*	1,200±100
無 処 理 区	—	—	—

(※) 積算照度計の可視部（400～650mμ）に受感せしめ、光源の高さを調整することによってエネルギーをほぼ一定にした。



図 4.1 育苗時補光したトマト苗
Fig. 4.1 Tomato seedlings supplementary illuminated by incandescent lamp, fluorescent lamp for plant growth, white fluorescent lamp and no illuminated (from left to right).

表 5.1 生物の光反応と自然界の光の量 (Withrow)

光 量	現 象
5	日光（6月、晴天、正午、10,000 ft-C）
4	光合成、飽和点コムギ（2,000 ft-C）
3	日光（曇天、正午、100～1,000 ft-C） 光合成の補償点
2	光週性（花芽形成）
1	薄明末期（0.4 ft-C）
0	花芽形成反応の限界（0.01～0.1 ft-C）
-1	満月（最大値で0.02 ft-C）
-2	錐状体視覚の限界（0.01～0.001 ft-L）
-3	クロロフィル合成の下限（赤色光） 屈光性のイキ値（アベナ、青色光）
-4	頂芽立ち上りのイキ値（インゲンマメ、赤色光）
-5	カン（樺）状体視覚の限界（10 ⁻⁶ ft-L）
-6	
-7	
-8	光形成のイキ値（インゲンマメのハイ（胚）軸、アベナ第1節間）

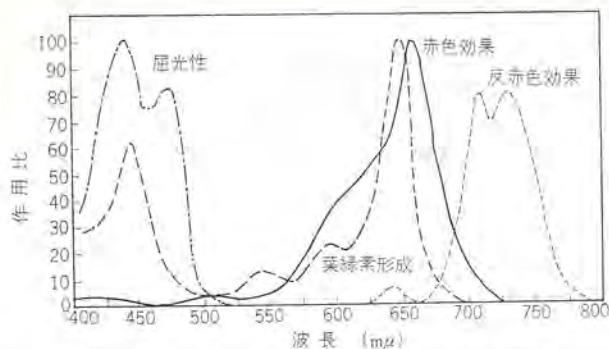


図 5.1 植物に対する光の作用 スペクトル (Withrow)
Fig. 5.1 The spectral activity of some of the photobiological process (after Withrow).

アメリカ農務省研究所員により発見された重要な光の作用で、赤、近赤外光の可逆反応として知られているが、これを一例として光の作用は光質、光量、時間、あるいは栄養条件、ガス条件など、他の諸要因との関連について不明な点が非常に多く、さまざまな現象の発見とその解明に大きな期待が寄せられている。

6. む す び

ともあれ、1920年 Garner, Allard によって、植物の開花は日の長さによって大きく影響され、短日の下で開花する短日性植物（コスモス、キクなど）と長日の下で開花する長日性植物（ホーレンソウ、フロックスなど）があることが発見され、この性質を日長効果 (Photoperiodism) と名づけられて以来、そのメカニズムは不明のまま実際面においては実用化がはかられ、ことに秋菊の電灯照明による抑制栽培に広く応用され、今日われわれが菊に対する季節感を失わしめるほど周年開花を見るようになっている。そしてその方法も日没時から数時間点灯する白熱灯の長時間照明から、赤色ネオン灯の夜半短時間の瞬間照明、あるいは10分間に30秒点灯

し24回くり返す間欠照明へと進みつつあり、また、トマトなどの果菜育苗時の人工光線補光などもすでに実用化の段階にはいつている。

最近ウィーンで開催された国際園芸展覧会で、高さ41mの透明ポリエステル製植物オートメーション栽培タワーが注目をあびた。これはパーキングタワーを思わせる一種の環境制御室であるが、内部はジュズ形コンベアによって植物育成箱が上下しており、栽培に必要な培養液、薬剤が自動的に供給されるほか、作物の生育に応じて環境条件を変える一連の制御装置をもっており、一定のプログラムにしたがって作物を栽培する。このような施設はヨーロッパですでに十数箇所設置され、試験の結果通常の温室に比べて労力費は50%となり、暖房費は25%軽減、栽培期間は30%短縮し、人工光源の利用やCO₂の積極的な施用も経済的にペイするといわれている。

トマト、キュウリなどの果菜栽培はすでに土壌を使わず、小じやりを培地としてポンプで自動的に培養液を供給するレキ（際）耕栽培 (Soilless culture) が普及しつつあり、ハウス栽培時のCO₂施用も広がり、園芸作物の生産は次第に工業的手法が採り入れられつつあるが、その際のエネルギーの源として、あるいは刺激的な人工光源の選択的活用が、作物の生産を左右する重要なファクタとなることが考えられ、作物側、光源側の両面からのいっそうの研究の進展が望まれる。

参 考 文 献

- (1) 高岡：「照学誌11」(昭2)
- (2) 蓑原、高梨、松尾：園芸学会講演要旨、(昭41春)
- (3) 蓑原、高梨、小杉、横井：園芸学会講演要旨、(昭41春)
- (4) 蓑原、高梨：農電研資料65016、(昭40)
- (5) 蓑原、高梨：農電研資料63003、(昭38)

MgO:Mn, Li および CaO:Mn, Li 中の Mn^{4+} および Mn^{2+} イオンの ESR と放射線照射効果

森川 允弘*・吾妻 健国*

Electron Spin Resonance of Mn^{4+} and Mn^{2+} Ions in MgO : Mn, Li and CaO : Mn, Li, and Radiation Induced Valency Change of Manganese Ions

Central Research Laboratory Masahiro MORIKAWA・Kenkoku AZUMA

Paramagnetic resonance (ESR) absorption of manganese ions, Mn^{2+} and Mn^{4+} added to MgO and CaO powders with lithium salt has been measured at 77°K. Measured g-factors, absolute values of hyperfine constants of Mn^{4+} ions and values of Cr^{3+} and V^{3+} having the same electronic configuration, $3d^3$, as Mn^{4+} have been compared. The ratio of the cubic field splitting, $\Delta(MgO)/\Delta(CaO)$, for each $3d^3$ ion decreases in the sequence of V^{3+} , Cr^{3+} and Mn^{4+} . For Mn^{4+} in MgO, red emission due to UV excitation at 77°K has been measured to verify nearly linear correlation between emission intensity and peak height values of ESR derivative curve. In the case of CaO hosts, fluorescence is not observed. ESR intensity of Mn shows marked changes depending on UV, X-ray or γ ray irradiation. The ways of changes are divided into three regions according to the ratio of Li to Mn added. A band model has been proposed for the explanation of the mechanism.

1. ま え が き

最近結晶内常磁性イオンの研究に電子スピン共鳴 (ESR) [付記] が積極的に利用され、イオンの電子状態や磁気的性質を知るのに有力な手がかりを提供しつつあることはすでに周知のとおりである。Mn は活性体として効率よく発光するので酸素酸塩：Mn, ZnS : Mn などとして広く工業的にも使用されているが、Mn の原子価は母体結晶によって 2 価または 4 価として発光にあずかっている。

一方 ESR の分野でも、Mn は常温でも、たやすく、感度よく測定にかかるところから、早くから多くの化合物中での研究が進められ、 $^{55}Mn(I=5/2)$ の 6 本の特長ある超微細構造線 (hfl) はこの分野の研究者にはきわめてなじみ深いものとなっている。しかし従来の Mn の ESR の研究報告は、ほとんどが $Mn^{2+}(3d^5)$ に関するものであったが、ここ数年間に $Mn^{4+}(3d^3)$ に関する報告が $\alpha-Al_2O_3$ ⁽¹⁾ や $SrTiO_3$ ⁽²⁾ その他の単結晶中⁽³⁾ で観測され諸定数とともに報告された。われわれは、Anzins らが MgO および CaO 粉末中に Li 塩とともに Mn を拡散させた試料について報告している、anomalous Mn^{2+} の ESR スペクトル⁽⁴⁾ が陽イオンを置換した ESR であることを確認することができた。母体が MgO である試料については、77°K で赤色領域に Mn^{4+} に特有な微細構造をもった発光スペクトルを観測した。また母体が MgO でも CaO でも、 Mn^{2+} および Mn^{4+} の ESR は室温ないし 77°K での紫外線や X 線、 γ 線の照射によって得られた結晶を用いて Mn^{4+} とそれと同じ電子配位を有する Cr^{3+} , V^{3+} との g 値および立方電場分離 Δ の比較をおこなった。

2. 実 験

2.1 試料の調製法

試薬特級の MgO 粉末 (試薬 1 級の CaO 粉末) に試薬特級の炭酸ナトリウム粉末と、試薬特級の硝酸マンガンを水溶液を加えてよく混合し、120°C で乾燥後粉細し、200 メッシュのふるいを通してアルミナボートに入れ、一定流速の酸素気流中で 1000°C 1 時間 (3 時間) 焼成し、800°C まで放冷し、800°C から空気中にとり出して急冷してふるいわけしたものである。

2.2 ESR の測定、発光スペクトル、発光強度の測定

ESR の測定には、X バンドの ESR スペクトロメータを使い、磁場変動は 100 kc で変調幅は主として 0.24 Oe とした。測定温度は照射効果を調べるつごう上おもに 77°K とした。なお ESR 信号の相対強度の測定では、測定感度の変化に十分に注意した。磁場の測定はプロトンの NMR 信号と固体 DPPH または、あらかじめ共鳴法によって間隔を測定してある、ポリエチレンに含浸させた Mn^{2+} イオンの 6 本の hfl と固体 DPPH の信号を使った。

MgO 中の Mn^{4+} の発光スペクトルの測定は液体窒素温度で低圧水銀灯の 3650 Å 光で刺激し、Bechman 分光計によって測定した。

Mn^{4+} の 3650 Å 刺激下での発光強度としては、刺激側フィルタ (UV-D1+UV-35) 受光側フィルタ VR 64, 光電管 1P 22 の組み合わせて 77°K で測定した値を用いた。

2.3 ESR 測定用試料の照射

UV 照射は 30 W 低圧水銀灯からの主として 2537 Å の紫外線を用い、高さ約 30 mm のところから石英ガラス管中に真空封入した試料に室温で約 2 時間照射をおこなった。

X 線照射には 45 kV, 10 mA のタングステン対陰極からの X 線を用いた。照射は室温で約 2 時間おこなった。

γ 線照射は Co^{60} の γ 線を液体窒素温度で 6.75×10^5 r/h の線量率で 10^6 r 照射した。

2.4 Mn の ESR スペクトル

Mn の ESR スペクトルは等方的なスピンハミルトニアン $H = g \beta H S + ASI$ を仮定して得られる有名な Bleaney の二次までの近似式 (2.1) によって解析した。

$$H_{M,m}^{M+1,m} = H_0 - A'm - \frac{A'^2}{2H_0} \{I(I+1) - m^2 + m(2M+1)\} \dots \dots \dots (2.1)$$

ここに、 $H_0 = h\nu/g\beta'$ $A' = A/g\beta$ (ガウス)

$H_{M,m}^{M+1,m}$ は $\Delta M = \pm 1$, $\Delta m = 0$ の許容遷移の起こる磁場

M はスピン量子数、 m は核スピン量子数、 H_0 は超微細相互作用がない場合の共鳴磁場、 h はプランクの定数、 ν はマイクロ波の周波数、 A は超微細分離定数、 I は ^{55}Mn の核スピン数、 g は電

子の g 因子, B は ポーア 電子をそれぞれあらわす. 測定に用いた試料は粉末であるから観測される許容遷移は角度変化を示さない $M = \frac{1}{2} \leftrightarrow -\frac{1}{2}, m = -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ に対応した 6 本の hfl だけである.

3. 実験結果

3.1 MgO : (Mn+Li) 中の Mn の ESR

3.1.1 Mn^{2+} の ESR

ESR の測定に使った試料の組成, 焼成条件および観測された Mn の ESR を表 3.1 に示した.

母体が MgO である場合には, 焼成 フッイ 気が還元性であるか, 酸化性であっても Li 添加量が Mn 添加量に比較して大きくない試料では, 線幅約 1.3 G の鋭い Mn^{2+} の ESR が測定される. そのスペクトルの 6 本の hfl の表われる磁場 ($H_{M,m}^{M+1,m}$) を, 式 (2.1) に代入して次のような g 値および A の絶対値を得た.

$$g = 2.0010 \pm 0.0003, |A| = 80.7 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1} \text{ at } 77^\circ\text{K}$$

表 3.1 MgO : Mn, Li の組成と観測される Mn の ESR

試料番号	組 成 (モ ル)			焼成フッイ	ESR スペクトル	
	MgO	Mn(NO ₃) ₂	Li ₂ CO ₃		Mn ²⁺	Mn ⁴⁺
M ₁₋₁	100	0.1	5	98N ₂ +2H ₂	無	中
M ₁₋₂	"	"	"	95N ₂ +5H ₂	中	無
M ₂₋₁	100	0	5	100 O ₂	無	無
M ₂₋₂	"	0.005	"	"	"	中
M ₂₋₃	"	0.01	"	"	"	中
M ₂₋₄	"	0.03	"	"	"	中
M ₂₋₅	"	0.05	"	"	"	大
M ₂₋₆	"	0.07	"	"	"	大
M ₂₋₇	"	0.20	"	"	"	大
M ₃₋₁	100	0.1	0	"	きわめて大	小
M ₃₋₂	"	"	0.05	"	小	小
M ₃₋₃	"	"	0.10	"	小	小
M ₃₋₄	"	"	0.50	"	きわめて小	中
M ₃₋₅	"	"	1.0	"	無	大
M ₃₋₆	"	"	2.0	"	無	大
M ₃₋₇	"	"	3.0	"	きわめて小	大
M ₃₋₈	"	"	5.0	"	きわめて小	大

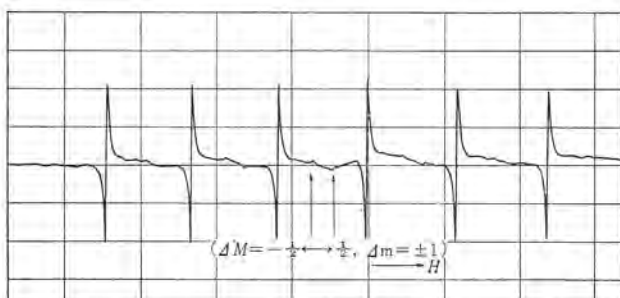


図 3.1 MgO : Mn^{2+} の ESR スペクトル (試料 : M_{3-1})
Fig. 3.1 ESR spectrum of MgO : Mn^{2+} measured at 77°K.
(Sample : M_{3-1})



図 3.2 MgO : (Mn^{4+} , Li) の ESR スペクトル (試料 : M_{3-6})
Fig. 3.2 ESR spectrum of MgO : (Mn^{4+} , Li)
measured at 77°K. (Sample : M_{3-6})

これらの値は, MgO 単結晶中の Mn^{2+} (5) に対する値とよく一致していることから, Mg を置換した Mn^{2+} の ESR であることはあきらかである.

なお一例として表 3.1 の d_1 の ESR スペクトルを図 3.1 に示した.

3.1.2 Mn^{4+} の ESR

Li 添加量が増加すると上記の Mn^{2+} のスペクトル以外に, $g = 1.9930 \pm 0.0003, |A| = (71.1 \pm 0.4) \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ に対応した, Mn^{2+} のスペクトルと比較してやや幅広い ($\Delta H \approx 2.3 \text{ G}$) hfl が観測された.

図 3.2 にこのスペクトルを示した. これは Mn^{4+} のものと考えられる. その理由としては,

a. 各試料の示す Mn^{4+} の ESR の微分曲線の波高値と 77°K での紫外線励起による Mn^{4+} の発光濃度とがほぼ直線関係にあること.

b. g 値, $|A|$ の値が 2 価としては小さく, 前述のいくつかの母体結晶中の格子点を占めた Mn^{4+} の値とよく一致していること, などである. この Mn^{4+} が Mg の位置を置換していることに対しては, 上述の b の条件が強力な証拠となるがそれ以外に,

a'. 幅が粉末試料で $\Delta H \approx 2.3 \text{ G}$ と狭いこと, したがって局所結晶場は立方対称性を有すること.

b'. MgO 格子の格子間位置としては Mg^{2+} と O^{2-} のつくる正 8 面体の体心が考えられるが, この位置は最近接イオンとして各 4 個の Mg^{2+} と O^{2-} をもつことになり, この位置を占めた Mn イオンからは図 3.2 のような等方的な吸収線は期待されないこと, などその理由としてあげられる. またスペクトルがよい対称性を有していることから Li^+ は Mn^{4+} から数格子点以上離れたところにあると思われる.

3.1.3 組成による ESR スペクトルの変化

(1) $M_{2-1} \sim M_{2-7}$ の ESR のスペクトル

M_2 の組成の試料の ESR を測定したところ, どの試料でも Mn^{4+} の吸収線が測定され, Mn^{2+} のそれは測定されなかった. Mn 添加量が 0 から 0.07 mol くらいまでは添加量とともに ESR 強度は増加するが, これ以上の添加量のところでは吸収強度は飽和する.

吸収線の形は濃度とともにすそのほうが高くなり, ローレンツ形に似てくる. Mn 添加量対 Mn の ESR 強度のグラフを図 3.3 に示した. また $^{55}Mn^{4+}$ の hfl の前後には, 図 3.2 にあらわれているように satellite が生じている. その大きさは Mn^{4+} の濃度とともに増加している.

(2) $M_{3-1} \sim M_{3-8}$ の ESR スペクトル

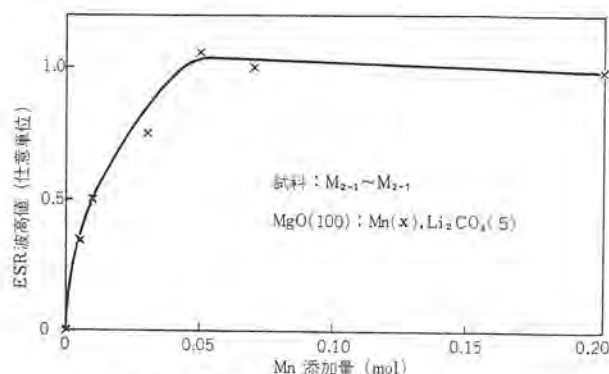


図 3.3 Mn 添加量と Mn^{4+} の ESR
Fig. 3.3 Relation between added Mn and ESR peak
height of Mn^{4+} .

表 3.1 に示したように、添加した Li_2CO_3 量が 0.1 mol 以下では Mn の ESR は Mn^{2+} と Mn^{4+} の吸収線が共存するが、0.5 mol 以上になると Mn^{4+} の吸収線が圧倒的に強くなる。 Li^+ イオンは酸性性フイ気で焼成すると、一部分 Mg^{2+} Site を占め、実効的に 1 価の負の中心 $[\text{Li}]$ となり、 Mg^{2+} を置換した Mn^{3+} , Mn^{4+} などの過剰電荷の補償剤の役割を果たすと考えられる。

Mn^{4+} の ESR 強度が増加すると、線幅は実験誤差範囲内でしか変化しないが、吸収線の形はやはりローレンツ形のすその引き方へと変化する。

Li_2CO_3 が 0 から 1 mol くらいまで増加すると Mn^{4+} の ESR 強度は急激に増加するが、それ以上 Li_2CO_3 添加量を増加しても飽和する。

図 3.4 に Li_2CO_3 添加量対 ESR の微分曲線の波高値のグラフを示した。

3.2 CaO : (Mn+Li) 中の Mn の ESR

3.2.1 Mn^{2+} の ESR

測定に用いた試料の組成を表 3.2 に示した。

母体結晶が CaO である場合には MgO 中の場合と異なり、Li の濃度が大きくなっても Mn^{2+} の ESR は Mn^{4+} と同程度の大きさで測定された。式 (2.1) を用いて計算した Mn^{2+} の g 値、 $|A|$

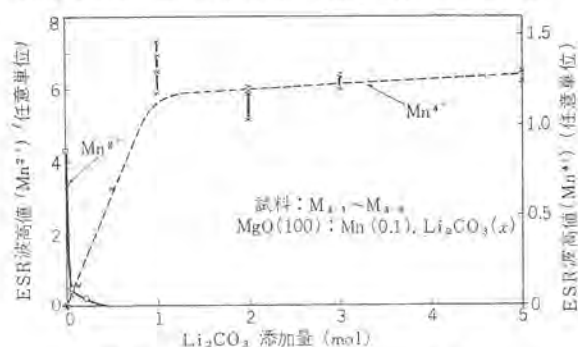


図 3.4 Li_2CO_3 添加量と Mn の ESR

Fig. 3.4 Relation between added Li_2CO_3 and ESR peak height of Mn ions.

表 3.2 CaO : Mn, Li の組成と観測される Mn の ESR

試料番号	組成 (モル)			焼成フイ キ	ESR スペクトル	
	CaO	Mn(NO ₃) ₂	Li ₂ CO ₃		Mn ²⁺	Mn ⁴⁺
C ₃ -1			0		きわめて大	無
C ₃ -2	100	0.10	0.5	100% O ₂	大	大
C ₃ -3			5.0		大	大
C ₃ -4			7.5		大	大
C ₄ -1	100	0	0	(焼成せず)	大	無

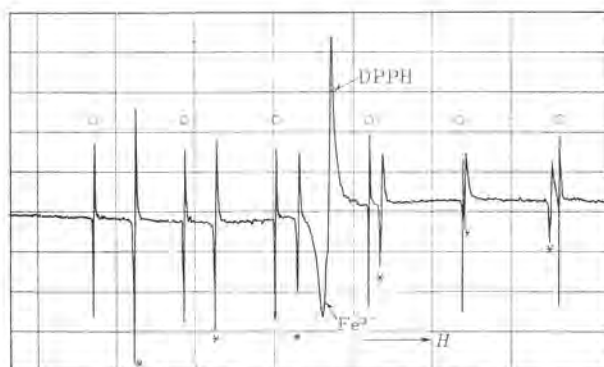


図 3.5 CaO : (Mn, Li) の ESR スペクトル (試料 : C₃-3) (O= Mn^{2+} の hfl, *= Mn^{4+} の hfl)

Fig. 3.5 ESR spectrum of CaO : (Mn, Li) measured at 77°K, (sample : C₃-3) (O=hfl of Mn^{2+} , * =hfl of Mn^{4+})

の値は 77°K の測定で $g=2.0015\pm0.0005$, $|A|=(81.4\pm0.3)\times 10^{-4}\text{cm}^{-1}$ であった。

MgO 母体の場合と比較すると g-値は誤差範囲内ではあるがやや大きく、 $|A|$ の値も $0.7\times 10^{-4}\text{cm}^{-1}$ ほど大きい。

これらの値は CaO 単結晶中の Mn^{2+} (10) の値によく一致している。

hfl の線幅はきわめて狭く $(0.4\pm0.1)\text{G}$ であった。常温で測定すると線幅はほとんど変化しないが、 $|A|$ の値がやや小さくなる。

3.2.2 Mn^{4+} の ESR スペクトル

MgO 中の Mn 同様、上記の 2 価の Mn 以外に、Li を過剰に添加した試料中で $g=1.9928\pm0.0005$, $|A|=(71.6\pm0.7)\times 10^{-4}\text{cm}^{-1}$ を有する Mn^{4+} の ESR を観測した。このスペクトルが CaO 中の Ca の位置を置換した Mn^{4+} のものであることは MgO 中の Mn^{4+} と同様な考察によるものである。しかし、MgO 中で観測された Mn^{4+} の赤色の発光スペクトルは CaO 中では室温でも、77°K でも観測されなかった。通常の 1 級の CaO 試薬中に含まれている Fe を除いた純度のよい CaO を使用した場合でも同様であった。一般に Mn^{4+} の発光は Mg を含んだ母体中にある場合に限定されており、その原因は不明である。CaO 中の Mn^{4+} の ESR は 77°K での測定では、図 3.5 に示したように hfl は ^{55}Mn の核スピン量子数によって線幅の変化を生じ、高磁場側になるにしたがって幅広くなる。また測定温度を室温まであげると線幅は数倍に増加し、吸収強度はかなり小さくなる。これらの現象は MgO 母体の場合と著しく異なる点である。

3.2.3 組成による ESR スペクトルの変化

MgO の場合ほど多くの試料について検討をおこなっていないが、表 3.2 に示したいくつかの試料からいえることは、MgO よりも、CaO 中のほうが Mn^{2+} としては安定に存在しやすく、 Mn^{4+}

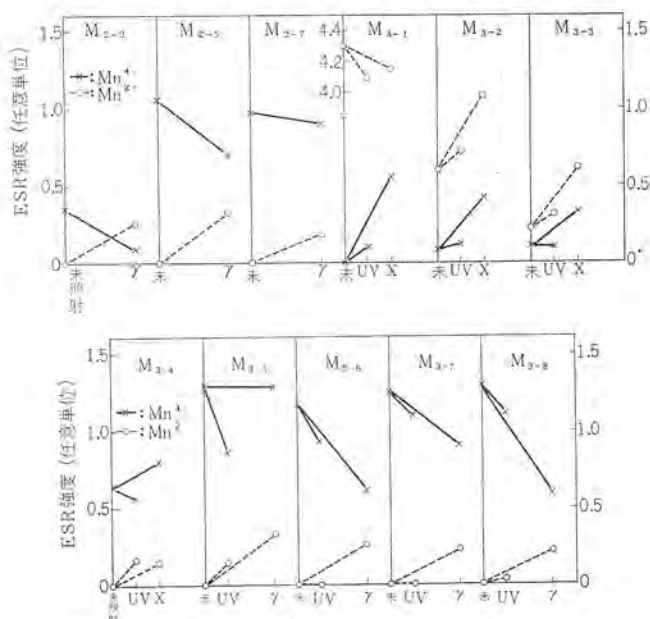


図 3.6 照射による MgO 中の Mn の ESR 強度の変化
Fig. 3.6 Intensity changes of ESR spectra of Mn ions in MgO host caused by irradiation.

表 3.3 照射による ESR 強度の変化

ESR 強度	Li/Mn (添加比)		
	極小	中間	大～極大
Mn^{2+}	(減)	(増)	(増)
Mn^{4+}	(増)	(増)	(減)

としては、不安定であるということである。この結論は Mg^{2+} (0.65 Å) Ca^{2+} (0.99 Å), Mn^{2+} (0.80 Å), Mn^{4+} (0.50 Å) のイオン半径の比較からも推察できることである。

3.3 照射による Mn イオンの ESR の変化

2, 3 の条件で石英ガラス管中に真空封入 (約 10^{-2} mm Hg) した試料を照射した。

3.3.1 MgO 中の Mn

われわれが測定に用いた粉末試料では MgO 単結晶中の Mn^{2+} (7) と異なり, Mn^{2+} , Mn^{4+} の ESR の顕著な増減が測定された, 照射前後の ESR 強度の変化を図 3.6 に示した。このグラフを検討してみると, Mn^{2+} が多量にあり, 結晶中で electron acceptor

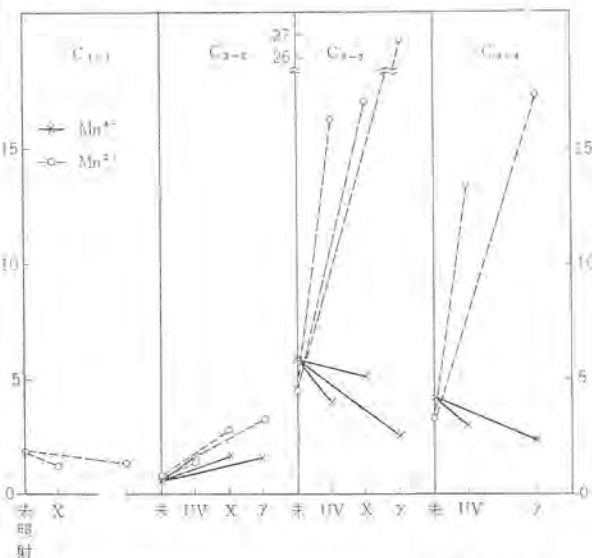


図 3.7 照射による CaO 中の Mn の ESR 強度の変化
Fig. 3.7 Intensity changes of ESR spectra of Mn ions in CaO host caused by irradiation.

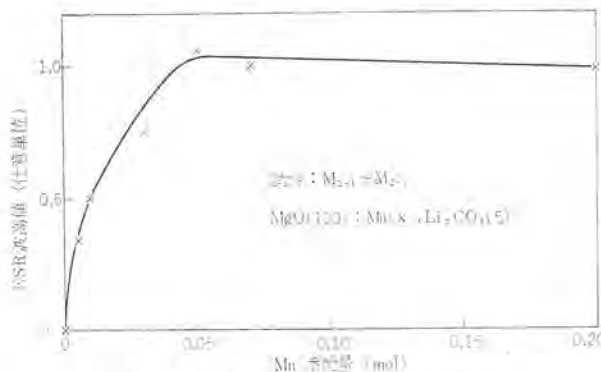


図 3.8 Mn 添加量と赤光強度
Fig. 3.8 Intensity of red fluorescence as a function of amounts of Mn added.

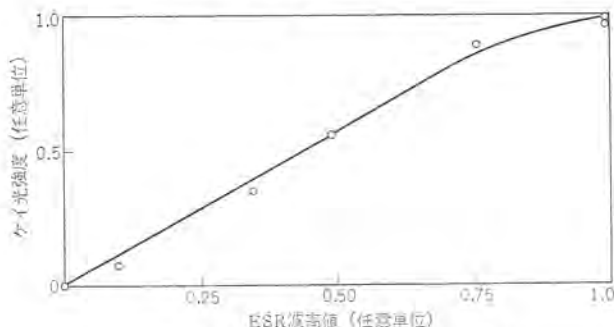


図 3.9 ESR 波高値と赤光強度
Fig. 3.9 Intensity of fluorescence as a function of ESR peak height.

となりうる Li を添加しなかった試料 M_{3-1} では Mn^{2+} は照射によって減少する。しかし Li を添加した試料ではほとんどすべての試料で照射によって Mn^{2+} の ESR が増加している。

Mn^{4+} については、表 3.1 の M_3 のシリーズの試料では、照射によって、 M_{3-1} , M_{3-3} では増加しているが M_{3-5} ~ M_{3-8} では逆に減少している。d₃, d₄ では UV 照射と X 線照射とで異なった傾向を示している。Li が過剰に加えられた M_2 のシリーズのうち、測定をおこなった、 M_{2-2} , M_{2-5} , M_{2-7} ではすべて X 線または γ 線照射によって Mn^{4+} の ESR は減少している。

このような各試料の示す Mn イオンの照射による原子価変動は Li と Mn 添加量の比をパラメータとして表 3.3 のようにあらわされる。ただし増減の境界は照射源によって異なる。

3.3.2 CaO 中の Mn

表 3.2 の 5 種類の試料のうち、 C_{3-2} , C_{3-3} , C_{3-4} , C_{4-1} について照射効果を測定した。CaO の場合でも上述の MgO の場合と同様に表 3.3 のような、Li と Mn 添加量の比によって区分される三つの異なる照射効果を示す領域がある。ただし比の値の大きい試料である M_{3-7} , M_{3-8} と C_{3-3} , C_{3-4} とを比較すると、CaO 中では Mn^{2+} の増加の仕方が MgO 中よりも著しく大きく、逆に Mn^{4+} の減少の仕方はゆるやかである。図 3.7 に照射前後の Mn イオンの変化の様子をグラフに示した。

3.4 MgO : Mn+Li 結晶中の Mn^{4+} の発光スペクトルと発光強度の測定

Mn^{4+} の微細構造を持った赤色領域での発光スペクトルは種々の母体結晶について研究されており (7)(9), MgO 中での発光スペクトルも報告されている (8)。

われわれの実験でも同様の発光スペクトルが測定されたが各試料に対する発光強度は図 3.8 のようになる。

また ESR の強度と発光強度はほぼ比例関係にある。そのグラフを図 3.9 に示した。発光強度の強いところで ESR 強度はやや飽和しているが、ESR 強度として微分曲線の波高値の代わりに積分曲線の面積を採用すればさらによい直線性を示すことと思う。この関係は 6 本の hfl からなる。ESR を示す Mn^{4+} と赤色領域での発光を示す Mn^{4+} とが同じ位置の Mn^{4+} であることを支持する一つの証拠となる。しかし UV または X 線照射した試料については、ESR 対発光強度の関係は不規則なものとなる。しかし ESR 測定用の試料は真空中で照射し、発光強度測定用の試料は、UV は窒素ガス中、X 線は空気中で照射したので厳密な比較はできない。

4. 考 察

この実験で測定した MgO および CaO 中の Mn^{4+} とすでに報文にあるほかの $3d^3$ イオン (Cr^{3+} , V^{3+}) の ESR の結果を比較検討してみる。

MgO も CaO も NaCl 形の面心立方晶系に属し、陽イオンは O^{2-} のつくる 8 面体の中心にある。この二つの格子の差異はただ結晶場が CaO のほうが小さいだけである。

その結果、たとえば点電荷モデルに対する立方電場分離の比、 $\Delta(\text{MgO})/\Delta(\text{CaO})$ は 1.94⁽¹⁰⁾ (計算値) であり、また陽イオン空孔の近くの酸素イオンに捕獲された正孔に対する Δ の比は 1.85⁽⁴⁾ である。(Δ は立方電場の強さを表す定数である)。

表 4.1 に MgO, CaO 中の V^{3+} , Cr^{3+} の ESR の結果を Mn^{4+} の場合と比較して示した。この表から Cr^{3+} や V^{3+} の場合と同様、

表 4.1 V^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{4+} の ESR データ

イオン	結晶	温度 (°K)	g -値	A (cm^{-1})	参考文献
V^{2+}	CaO	290	1.9683 ± 0.0005	$(76.04 \pm 0.05) \times 10^{-4}$	(4)
	CaO	77		$(76.15 \pm 0.05) \times 10^{-4}$	(4)
	CaO	20		$(76.22 \pm 0.05) \times 10^{-4}$	(4)
	MgO	290	1.9803 ± 0.0005	$(74.3 \pm 0.2) \times 10^{-4}$	(4)
Cr^{3+}	CaO	77	1.9732 ± 0.0005	$(17.0 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	(11)
	MgO	290	1.9800 ± 0.0005	$(16.2 \pm 0.4) \times 10^{-4}$	(11)
Mn^{4+}	CaO	77	1.9928 ± 0.0005	$(71.6 \pm 0.7) \times 10^{-4}$	本論文
	MgO	77	1.9930 ± 0.0003	$(71.1 \pm 0.4) \times 10^{-4}$	"
Anomalous	CaO	77	1.9931 ± 0.0005	72.8×10^{-4}	(4)
Mn^{2+}	MgO	77	1.9942 ± 0.0005	70.8×10^{-4}	(4)

表 4.2 $3d^3$ イオンの λ/Δ

イオン	結晶	$g-g_e$	λ/Δ (CaO) λ/Δ (MgO)
V^{2+}	CaO	-0.0340	1.5
	MgO	-0.0223	
Cr^{3+}	CaO	-0.0291	1.3
	MgO	-0.0220	
Mn^{4+}	CaO	-0.0095	1.0 ₂
	MgO	-0.0093	
Anomalous	CaO	-0.0092	1.1 ₁
	MgO	-0.0081	

Mn^{4+} でも g 値は MgO の中にある場合のほうが大きく、 $|A|$ は逆の性質を示している。(一般に共有結合性が増加すると $|A|$ の値は小さくなる) CaO 中で $|A|$ が大きいのは CaO のほうが格子間隔が大きいため共有結合性がそれだけ減少することによる。次に、 g 値と Δ の間には $(g-g_e) \propto -\lambda/\Delta$ (g_e は自由電子 g 値、 $g_e=2.0023$ 、 λ はスピン-格子結合定数で母体結晶にあまり依存しない) の関係がある。 $\Delta(\text{CaO}) < \Delta(\text{MgO})$ であるから $(g-g_e)$ の絶対値は CaO 中のイオンのほうが大きいはずである。このことはこの研究の結果から、 Cr^{3+} や V^{2+} の場合と同様に、 Mn^{4+} についても実験的に確かめられた。また表 4.2 に CaO と MgO 中のイオンの g 値の自由電子の g 値からのずれ、 $(g-g_e)$ の比、すなわち $\lambda/\Delta(\text{CaO})/\lambda/\Delta(\text{MgO})$ の値を示した。 V^{2+} よりも、 Cr^{3+} のほうが比の値が小さいのは、3 価イオンの余分な正電荷によって引き起こされる結晶場強度の増加のためであろうとされている⁽⁵⁾。 Mn^{4+} に対する値がさらに小さく観測されたことはこの主張を支持している。

次に Mn イオンの照射による原子価変動の機構を MgO 母体の場合について考察してみよう。

M_2 シリーズ、 M_3 シリーズの試料はすべて酸素中で $1,000^\circ\text{C}$ の熱処理をしていたことと、 $1,200^\circ\text{C}$ 以上でないと MgO の解離による分子性酸素 (O_2) は離脱しない⁽⁶⁾ ということから、これらの試料では酸素過剰の状態にある。その結果、不純物イオンの Fe, Cr, V, Mn などは Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Mn^{3+} などとして存在しやすくなる。これらの過剰電荷をもったイオンは過剰酸素の数によって定まる。しかし Li のような 1 価のイオンを添加して焼成すると、 Mn^{4+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} のような過剰電荷をもったイオンがさらに増加

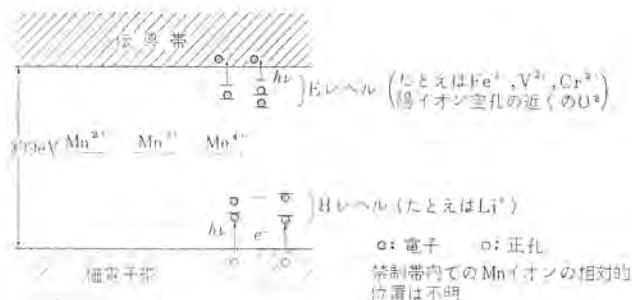
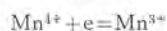
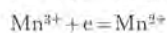


図 4.1 MgO : (Mn, Li) の図表示

Fig. 3.10 Schematic representation of MgO : (Mn, Li)

している。このことは Li^+ が格子間よりも格子点のほうに多量にドーピングされていることを示している。何となればその逆の場合には結晶は正の電荷が過剰となり、3 価や 4 価のイオンは電気的中性を保つために還元されなければならないからである⁽⁶⁾。

Mn イオンは結晶中で次の平衡状態にあると考えられる。

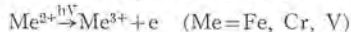
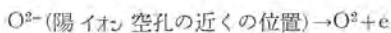


この平衡を左右するのは Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} などの正の中心 (positive center) と陽イオンや格子点を置換した Li の作る負の中心などの相対的濃度である。たとえば、格子点を置換した Li^+ が増加すれば平衡は左に、3 価の陽イオンが増加すれば平衡は右に移行するだろう。実際、われわれは CaO : (Mn, Li, Fe) の粉末について Fe 添加量を多くすると、 Mn^{4+} の ESR (\approx 濃度) は減少することを確かめた。

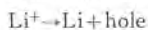
Mn^{2+} , Mn^{4+} の ESR 強度の変化が UV (4.9 eV) 照射でも生じていること、MgO の禁制帯幅が約 9 eV くらいであることから、UV 照射によって母体の励起ではなく禁制帯中の欠陥と伝導帯、価電子帯との電子のやり取りがおこなわれていて伝導帯、価電子帯にそれぞれ電子、正孔が生ずると考えるのが妥当である。

(図 4.1)

伝導電子の供給源としては次のような反応が考えられる。



価電子帯の正孔の生成反応としては、次の反応が考えられる。



Li は ZnO 中と同様に Li^+ として格子点を占め electron acceptor の役割をはたすと考えられる。

X 線、 γ 線照射の場合には母体の直接励起による伝導電子、valence hole の生成がさらに加えられる。

照射によって伝導帯、価電子帯に生じた電子と正孔は次のような再結合によって消滅すると考えられる。



まず試料 M_{3-1} (Mn だけ 0.1 mol 添加) について再結合反応を考えてみよう。格子点を占めた Mn イオン濃度は、照射前後の ESR の強度から $[Mn^{3+}] > [Mn^{2+}] > [Mn^{4+}]$ であると考えられる。

したがって伝導電子は主として①の反応によって消滅し、価電子帯の正孔は④の反応とともに、 Mn^{2+} の濃度が高いために⑥の反応によっても消滅する。また M_{3-1} は Li イオンを含んでないの

で H レベルに対応する具体的なものはないが、もし H_v 濃度が低ければ⑤の反応が進行して Mn³⁺ 濃度も増加する。その結果、⑥の反応も起こる。したがって M₃₋₁ では照射によって Mn²⁺ は減少し、Mn⁴⁺ は増加する。M₃₋₁ とは対照的に Mn⁴⁺ の ESR が大部分である試料 (M₂ ミリ-ズ, M₃₋₅~M₃₋₈) について考えよう。

これらの試料では [Mn⁴⁺] > [Mn³⁺] > [Mn²⁺] であるとする、①、②、③、④の反応が主として起こり、Mn⁴⁺ は減少し、Mn²⁺ は増加する。これらの試料は H レベルとして格子点を占めた Li⁺ を多量に含んでいるので⑤、⑥の反応は起こりにくい。したがって Mn²⁺ は増加し、Mn⁴⁺ は減少する。また M₃₋₁ と M₃₋₅~M₃₋₈ との中間の M₃₋₂, M₃₋₃ では [Mn³⁺] が多く①、●とともに③、⑥の再結合反応が主として起こり、その結果、[Mn²⁺]、[Mn⁴⁺] が増加するのではないだろうか。

一般に UV よりも X 線、γ 線照射のほうが照射後の Mn イオンの原子価変動が大きいのは照射によって生ずる伝導電子、正孔の数が多いためであろう。

次に Mn⁴⁺ の超微細構造線 ($\Delta M = \frac{1}{2} \leftrightarrow -\frac{1}{2}$, $m = -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, \dots, \frac{5}{2}$) の両端に出る satellite であるが、

(1) これらは Mn⁴⁺ の spectrum だけに表われる。

(2) Mn の濃度とともに増加する。

(3) 2本の satellite の間にある hfl からの距離の比は、どの hfl についても、ほぼ一定であるが高磁場側の hfl になるほど距離は大きくなる、などの性質を示す。

もし、Mn⁴⁺ の $\Delta M = -\frac{1}{2} \leftrightarrow -\frac{3}{2}$, $\frac{3}{2} \leftrightarrow \frac{1}{2}$ だとすれば、簡単な計算から $\frac{1}{2} \leftrightarrow -\frac{1}{2}$ からの間隔は $m = \pm \frac{5}{2}$ に対して 5 G 前後になるはずで実測値はこれと合致しない。むしろ、noncubic な site にはいった Mn⁴⁺ の $\frac{1}{2} \leftrightarrow -\frac{1}{2}$ と考えるほうが妥当である。

5. む す び

MgO および CaO 粉末中に Li とともに拡散させた Mn イオンの ESR と放射線照射効果を測定した。Mn は Li などの一価イオンを添加すると Mn²⁺ 以外に Mn⁴⁺ としても結晶中に存在しうる。格子点を置換した Mn⁴⁺ の ESR を測定し、MgO 中で、 $g = 1.9930 \pm 0.0003$, $|A| = (71.1 \pm 0.4) \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ CaO 中で $g = 1.9928 \pm 0.0005$, $|A| = (71.6 \pm 0.7) \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ の値を得た。これらの値

とすでに報告されている Mn⁴⁺ と同じ電子配位 (3d³) を有する Cr³⁺, V³⁺ との比較をおこなった。

MgO 中の Mn⁴⁺ に対しては Mn⁴⁺ の赤色発光スペクトルを観測したが、CaO 中の Mn⁴⁺ に対しては観測されなかった。

また、UV, X 線、または γ 線を照射すると Mn イオンは著しい原子価変動を引き起こす。その変化の仕方は母体に添加した Li と Mn の比の値によって三つの領域にわけられる。

この機構に対してバンド表示による一つのモデルを提出した。

(昭 41-6-29 受付)

参 考 文 献

- (1. a) S. Geschwind, P. Kislink, M. P. Klein, J. P. Remeika and D. L. Wood : Phys. Rev., 126, 1684 (1962)
- (1. b) S. Geschwind, P. Kislink, M. P. Klein, J. P. Remeika and D. L. Wood : in "Paramagnetic Resonance" edited by W. Low I 113~124, 1963, Academic Press, New York.
- (2) K. A. Müller, ibid 17~43 (1963) ; Phys. Rev., Letter 2, 341 (1959)
- (3) H. G. Andresen : Phys. Rev., 120, 1606 (1960)
- (4) P. Anzins, J. W. Orton and J. E. Wertz : in "Paramagnetic Resonance" edited by W. Low I 90~94, 1963, Academic Press, New York.
- (5) W. Low : Phys. Rev., 105, 801 (1957)
- (6) J. E. Wertz, P. Auzins, J. H. E. Griffiths and J. W. Orton : Disc. Faraday Soc., 26, 66 (1958)
- (7) F. A. Kröger : "Some Aspects of Luminescence of Solids" p. 74. (1948) Elsevier Publishing Comp., Houston.
- (8) J. S. Prener : J. Chem. Phys., 21, 160 (1953)
- (9) L. Thorington : J. Opt. Soc. Am., 40, 579 (1950)
- (10) W. Low and R. S. Rubins : in "Paramagnetic Resonance" edited by W. Low I 79~89 (1963) Academic Press, New York
- (11) W. Low : Phys. Rev., 105, 793 (1957)

付 記

電子スピン共鳴 Electron Spin Resonance (略して ESR とよばれる) の原理をごく簡単に説明する。

自転(スピン)にもなる磁気エネルギー ($\beta = \frac{eh}{2mc}$, ボーア磁子) をもつ独立な (自由な) 電子スピンの系を考える。このスピン系を静磁界 H 中におくと各スピンはその磁気エネルギーと磁界との相互作用によって、 $\pm \beta H$ の二つのエネルギー準位が生じる (ゼーマン分離という)。さらにこの二つの準位間のエネルギー差 $2\beta H$ に等しい光子 $h\nu$ をもった電磁波をあてると、電子の磁気エネルギーと電磁波の振動磁界との相互作用によって二つの準位間の遷移がおこる。 $-\beta H \rightarrow +\beta H$ への遷移が共鳴吸収で、 $+\beta H \rightarrow -\beta H$ が共鳴放射であり、共鳴条件は $h\nu = 2\beta H$ である。系が熱平衡にあるとき、 $-\beta H$ にある電

子の数が βH のエネルギー準位にある数よりも多いために差し引き共鳴吸収が観測される。共鳴条件は、より一般には $h\nu = g\beta H$ であり、 g は g -値とよばれ、まったく自由な電子に対しても g は 2. ではなく $g_e = 2.0023$ である。多くの場合 g は g_e からずれるがこのずれは電子の軌道運動による磁気エネルギーの寄与が加わってくるからである。

ESR の詳細については、阿部英太郎 "電子スピン共鳴" 物性物理学講座 7, pp. 129~194 (昭 33) 共立出版(株), W. Low "Paramagnetic Resonance in Solids" (1960) Academic Press, New York などをみられたい。

ラピッド・スタート形ケイ光ランプ用透明導電性被膜

林 次郎*・西樂隆司*・久保幸正**・安西良矩**

Electro-Conducting Transparent Coating for Rapid Start Fluorescent Lamps

Central Research Laboratory
Ofuna WorksJirō HAYASHI・Takashi NISHIRAKU
Yukimasa KUBO・Yoshinori ANZAI

At present it is a common practice to have transparent electro-conducting coating on the inner face of the bulb of rapid start fluorescent lamps. But the coating now in current use will blacken at the terminals, discolor and cause to decrease the luminous intensity after about 3,000 hours lighting. Now Mitsubishi has developed the electro conducting coating specially and investigated the influence of temperature in manufacture on the structure and properties of the coating with an electron microscope, an electron diffraction pattern and an X-ray microanalyzer. It has been revealed that when the coating is formed at high temperature, the crystallization is promoted to stabilize the coating. It is almost pure and has little change in the resistance value by heat treatment. Acid treatment or protective coating to avoid the influence of alkali ions reduces the defect of the conductive coating. Then Mitsubishi rapid start lamps have 4 % higher lumen maintenance than conventional products after 3,000 hours lighting with very little discolor and few blotches.

1. ま え が き

現在わが国のラピッドスタート形ケイ光ランプの大部分は、ガラス管の内面に透明導電性被膜(Electro-Conducting Transparent Coating 以下 E. C. Coating と略す)を施して、ランプのスタート電圧を低下させている。

この E. C. Coating には一般に酸化スズ、酸化アンチモン系の酸化物半導体を使用されている。この被膜は膜厚が数十から数百 μm で基体ガラスと強固に固着し、機械的にはく離させることは不可能である。硬度はガラスより大きく⁽¹⁾、化学的に安定で酸その他の薬品に耐える。しかしケイ光物質、水銀、希ガス(Ar または Ne・Ar 混合ガス)の存在下で放電を行なうと膜面は部分的に損傷を受け、外観が悪くなるとともにランプの全光束も低下してくる。われわれはこのような用途で安定な被膜をうるためにスズ、アンチモン酸化物系の E. C. Coating について、作成条件と特性の関連性を調べた。すなわち、作成温度と表面状態、作成温度と抵抗値の温度変化、作成温度と被膜構造、基体ガラス前処理と欠陥、点灯後の欠陥などの関連性を電子顕微鏡やX線マイクロアナライザなどを使用して解析した結果を述べる。

2. 透明導電性薄膜の概要

可視部に吸収を持たないで比較的大きな電気伝導性を有する無機質材料は、電気、電子、物理工学ほかあらゆる分野で応用されている。たとえば、窓や信号灯レンズの氷結や曇り防止、静電気シールド、ラジオ・ヒータ、ホット・プレート、熱線遮断、固定または可変抵抗器、光のエネルギーを電気エネルギーに変換する場合、またはその逆の場合の光透過電極、ラピッド・スタート形ケイ光ランプなどに使用される。

無機質材料で可視部に吸収がなく、透明で大きな電気伝導性をもったものは見当たらない。多くは無機質ガラス材料の表面に可視部吸収のない透明な導電性被膜を作成したものである。

これにも

(1) 金属薄膜

(2) 酸化物半導体薄膜

の2種あるが、(1)の金属薄膜は可視部吸収を生じることと基体ガラスとの結合があまり強くないこと、表面の硬度が小さく電導度が経時変化することなどにより用途が制限される。(2)の酸化物半導体薄膜は、基体ガラス上に可視部吸収のない厚さ数十〜数百(μm)の厚さの酸化物半導体を生成させたもので、基体ガラスと強固に結合しているし、表面の硬度も大きい。

高導電性被膜としては

Sn-Sb 酸化物系
In-Sn 酸化物系
Cd-In 酸化物系

低導電性被膜としては

Sn-Cd 酸化物系
Cd-Sb 酸化物系
Sb-In 酸化物系

がある⁽²⁾。最近では Ti, Zr, Si 等の酸化物⁽¹⁰⁾等についても研究されている。これらの組み合わせの中で、現在いちばん広く使用されている組み合わせは、Sn-Sb 酸化物系で、Sn 大過剰の組成である。まず一般に多用されている Sn-Sb 化合物系の酸 E. C. Coating について簡単に組成、製法、特性について述べる。

2.1 E. C. Coating の組成

E. C. Coating の性質は作成条件と膜の組成により変化するが、今被膜作成条件を一定とした場合の膜の抵抗値(正方形の相対する2辺の電極間の抵抗 $=\Omega/\text{sq}$)と組成の関係を図2.1に示す⁽³⁾。Sb 量の増加に伴い、いったん抵抗値は極小となるがやがて増大してくる。それとともに E. C. Coating は青く着色してくる。E. C. Coating の組成は使用目的によりえらばれるが、通常はスズ酸化物に対しアンチモン酸化物が1〜2 wt %付近が多用される。この組成域では、0.4〜0.7 μm の可視域にはまったく吸収はなく透明である。しかし被膜は2 μm 以上の赤外線的大部分を金属性反射する⁽⁶⁾。これを図2.2に示す。

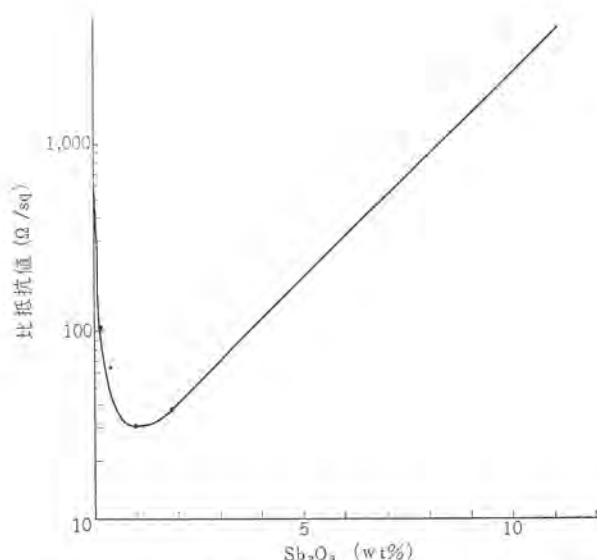


図 2.1 Sb_2O_3 含有量と表面比抵抗の関係
Fig. 2.1 Relation between Sb_2O_3 contents and relative surface resistance.

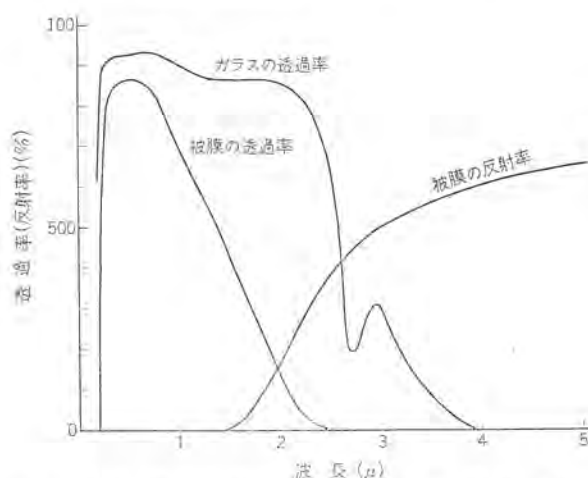


図 2.2 波長に対する透過率と反射率の関係
Fig. 2.2 Transmittance and reflection of electro-conducting transparent coating.

2.2 E. C. Coating の製法

E. C. Coating は最初から Sn-Sb の酸化物を使用するのでなく、ほかの化合物を基体ガラス面上で分解酸化させて基体ガラスと強固な結合をつくる。Sn および Sb の化合物としては、両者のハロゲン化合物またはアルキル化合物⁽⁴⁾が多用される。これらの Sn や Sb の化合物を被膜作成方法に適した溶媒に溶解して使用する、溶媒としては水、希塩酸、アルコール、有機酸などが多用される。

作成方法としては、

(1) スプレー法⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

基体ガラスをそのガラスが変形する温度のわずかな下 (通常 500~800°C) まで温度を上昇させておいて、ガラス面上に上記溶液を圧搾空気により噴霧して、基体ガラス面上で急激な分解酸化反応を起こさせて希望する E. C. Coating をうる。

(2) デイフ法⁽¹⁾

スプレー法と同じく基体ガラスを高温に加熱しておいて、このガラスを上記溶液中に投入し基体ガラスの熱容量により溶液の一部を蒸発させ、その蒸気が基体ガラス表面で分解酸化反応を起こして強固な E. C. Coating をうる。この場合溶媒としては熱容量と気化潜熱の小さなものを使用し、沸点まで加熱する必要がある。

(3) 常温塗布法⁽⁷⁾

常温 (室温) で基体ガラス表面上に上記溶液を塗布してから、温度をガラスが変形する手前まで上昇させて、化合物を基体ガラス表面で分解酸化反応を起こさせて、強固な E. C. Coating をうる。

Sn-Sb 酸化物系では、まだ良い化合物が開発されていないが、非常に便利な量産に適した方法である。

(4) スパッタおよび化成スパッタ法⁽⁸⁾

金属を基体ガラス表面に蒸着し、後から酸化するか、蒸着と酸化を同時に行なうかして、E. C. Coating をうる。

等があるが、(1)のスプレー法が多用されている。この実験に出てくるものは、全部スズ化合物、アンチモン化合物を使用し、スプレー法により作成した E. C. Coating である。

2.3 E. C. Coating の性質

スプレー温度、量、ふんい気などにより、被膜の性質は変化するが厚さ数十~数百 nm で SnO_2 を主体とした被膜である。光学的には図 2.2 に示したごとく、可視部には吸収なく赤外の 2 μm 付近から金属性反射が増大してくる。屈折率は約 2⁽⁷⁾ でガラスの 1.52⁽⁹⁾ と相当の差があるので干渉を生ずる。この白色光に対する干渉縞の変化から膜厚の計算が行なわれる。また硬度はモース硬度で 6~7 でガラスの 6 よりかたかくかき傷などはつきにくい。被膜の熱膨張係数は 59×10^{-7} degree C でソーダ石灰ガラスの 100×10^{-7} degree C に比べて小さく、被膜は圧縮された状態にある。

電気伝導性は膜厚により変化するので体積固有抵抗に換算してほかの材料と比較してみると、

銀	$1.6 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}^{(11)}$
E. C. Coating	$10^{-2} \sim 10^{-3} \Omega \text{ cm}$
ガラス	$10^8 \sim 10^{10} \Omega \text{ cm}$

で通常の半導体に比較すると、相当大きな電気伝導性をもっている。広い範囲にわたってオーム則が成立し、抵抗の温度係数は基体ガラスの性質、被膜組成、膜厚、ふんい気などの作成条件により正、ゼロ、負いずれにもなりうる。

ホール係数などから判断すると、キャリアは電子でその濃度は $10^{10} \sim 10^{20} / \text{cm}^3$ ⁽¹²⁾⁽⁶⁾ である。すなわち高温における急激な分解酸化反応のため化学量論的な酸化第 2 スズ (SnO_2) より Sn 過剰 (酸素不足) さらに活剤が加えられることにより、Sn 格子の一部を置換し、不純物中心となる。このドナー準位から放出された電子が電導に寄与する。すなわち酸素不足形の n 形半導体である。化学的耐久性は熱濃硫酸以外の種々の酸で濃度を変えて煮沸しても変化は認められない。水酸化アルカリには常温では安定であるが、煮沸すると侵食され、1 規定の水酸化ナトリウム水溶液で 1 時間の煮沸により白濁する。しかし、強い還元剤、たとえば発生機の水素などにより容易に金属スズにまで還元される。高真空中で温度を上昇させておいて電解を行なうと容易に金属スズに還元される。

3. 作成条件と被膜の特性

基体ガラスとしてアルカリ酸化物を約 17 wt% 含むソーダ石灰ガラスを使用し、Sn を SnO_2 、Sb を Sb_2O_3 とみなして計算した場合に 98.5 wt%, SnO_2 と 1.5 wt% Sb_2O_3 を含む被膜について、スプレー温度を、450°C、500°C、550°C、600°C に変えて、温度と性質変化の関係を調べた。

3.1 電子顕微鏡による観察

2 段階リソ法による E. C. Coating の表面の電子顕微鏡写真を図 3.1 に示す。作成温度により被膜構造は大きな変化を示す。

450°C のものは結晶の生長が非常に少なく、しかも小さな孔が点在する。これは温度が低いため分解酸化の反応が遅く、一部が未分解のまま基体ガラス面上に付着し、その後分解酸化の反応をすることによりガスを放出し、この際の発生ガスが小孔を作るのではないかと推定される。温度が高くなるに従って結晶が生長してくる。550°C になると相当結晶は生長し小孔はなくなってくる。

すなわち分解酸化の反応速度が大きくなり、被膜が順調に生長したと考えられる。さらに 600°C となると結晶が生長して大きな角ばった構造を示し、オウツ（凹凸）も深くなってくる。

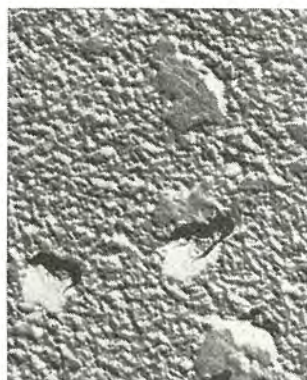
すなわち、低温度作成被膜は結晶生長も不十分で、また被膜中に未分解の Sn や Sb の化合物を含有する可能性が大きい。このような被膜は再熱処理による性質の変化も高温作成被膜に比べて



(a) 450°C の場合



(b) 500°C の場合

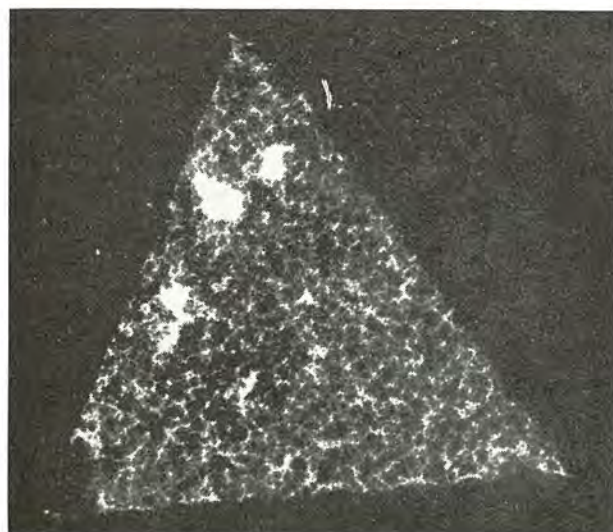
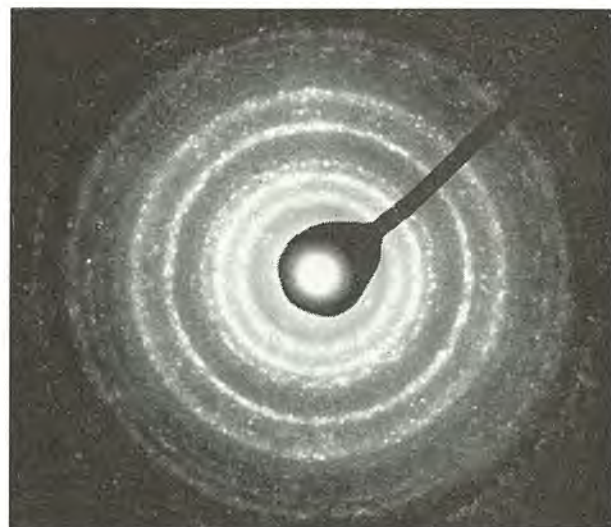
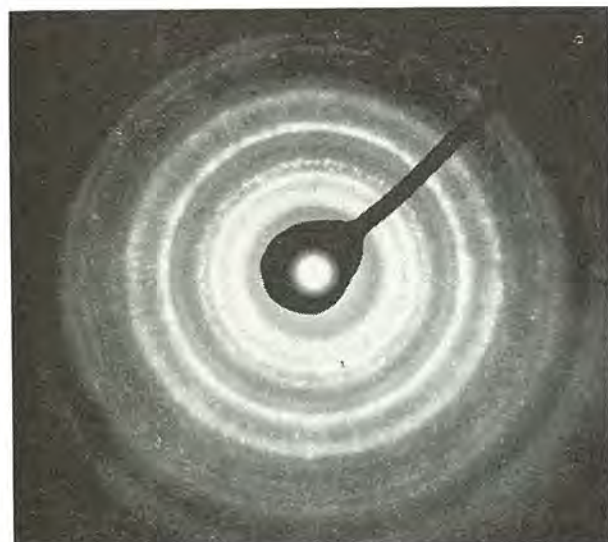


(c) 550°C の場合



(d) 600°C の場合

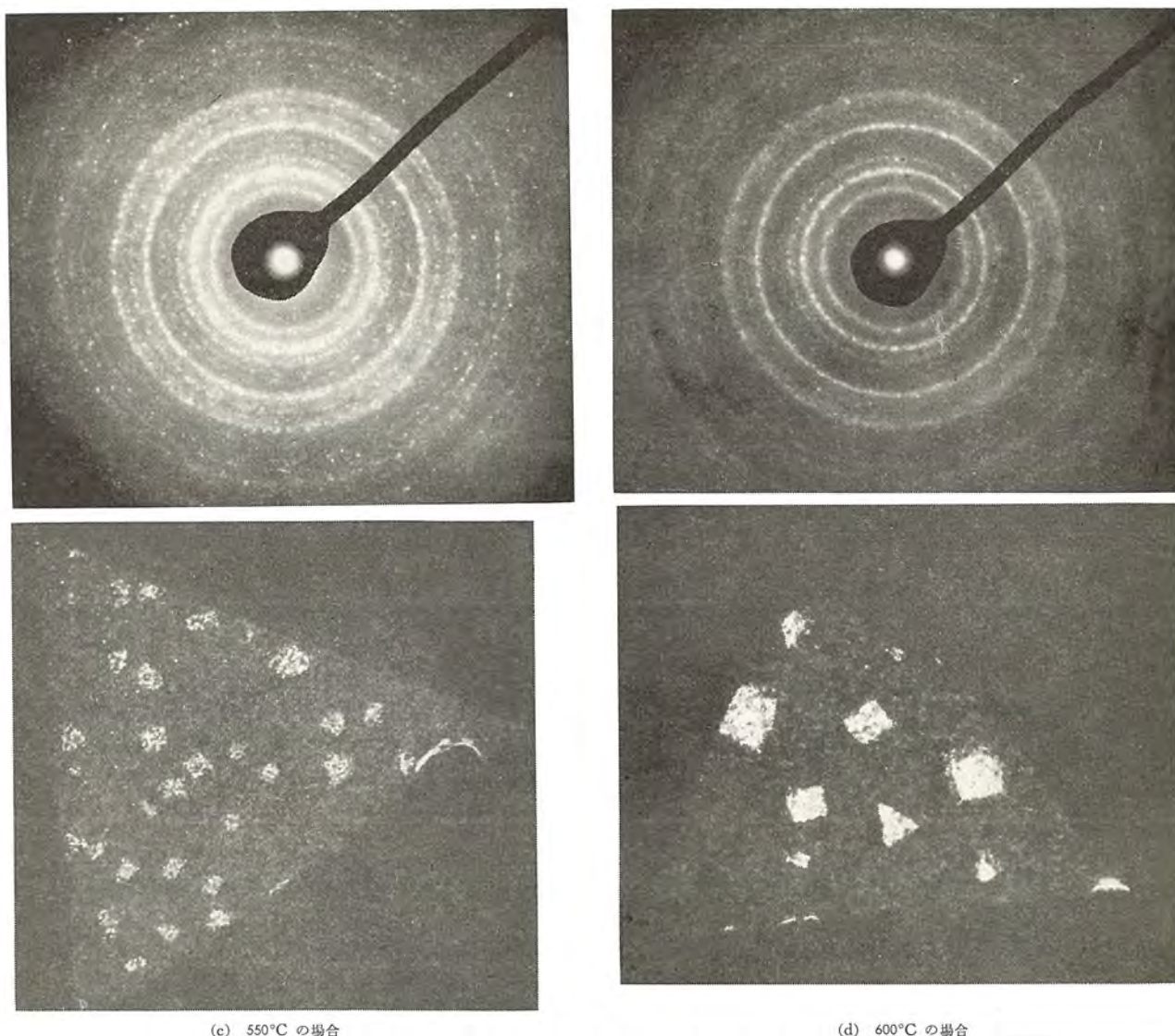
図 3.1 作成被膜の表面状態 [×18,000]
Fig. 3.1 Surface structure of the specimens prepared.



(a) 450°C の場合



(b) 500°C の場合



(c) 550°C の場合

(d) 600°C の場合

図 3.2 作成被膜の電子線回折像と同一部分の透過電子顕微鏡写真 [$\times 10,000$]
Fig. 3.2 Electron diffraction pattern and direct electron micrograph of the specimens prepared.

大きいと考えられ、また実際にも大きいことをあとで述べる。

3.2 電子線回折

被膜表面を2段階リカ法で電子顕微鏡写真を撮影し、次にこの基体ガラスを希弗酸により溶解させて E. C. Coating のみとなし、これの透過電子顕微鏡写真を撮影するとともに同じ部分の電子線

表 3.1 E. C. Coating の電子線回折による実測値と ASTM 値の比較

hkl	ASTM 値		450°C 作成膜 dhkl(A°)	550°C 作成膜 dhkl(A°)
	SnO ₂ dhkl(A°)	I/I ₁		
110	3.35	100	3.38	3.35
101	2.64	81	2.69	2.69
200	2.36	5	2.375	2.36
210	2.12	2	1.98	2.02
211	1.77	63	1.78	1.80
220	1.68	63		
300	1.59	8		1.60
310	1.50	13	1.47	1.46
1.02	1.44	17		
3.01	1.41	15		
3.20	1.32	7		
321				

回折像を撮影した。この一部を図 3.2 に示す。この二者の電子顕微鏡写真はよく一致した。この中から 450°C と 550°C のものについて SnO₂ の値と比較してみると表 3.1 になる。

表 3.1 に示されるごとく電子線回折の実測値は A. S. T. M 値とかなりよい一致を示しているため両被膜とも、ルチル 形体心立方格子の SnO₂ が主構造をなしていると見てよいであろう。また両作成被膜とも、かなりよい SnO₂ の結晶生長がみられるが、温度の影響をみると高温作成被膜に比べて低温作成被膜は回折像が広がりをもっているが、これは低温作成被膜ほど結晶性が低いと推定される。また作成温度の差により回折環の鮮明度に差があることから方位配列ははっきりしないが、多少の異方性が存在すると思われる。

3.3 温度による抵抗値変化

蒸着したアルミニウムを電極として E. C. Coating の温度変化による抵抗値の変化を測定した。

絶対温度の逆数に対する抵抗値変化の一般形は図 3.3 となる。これも大気中測定と真空中測定で差を示すが、真空中測定のほうが実際の使用条件に近いので、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ mmHg の真空中で測定した。

この図をみると、三つの領域にわけることができる。

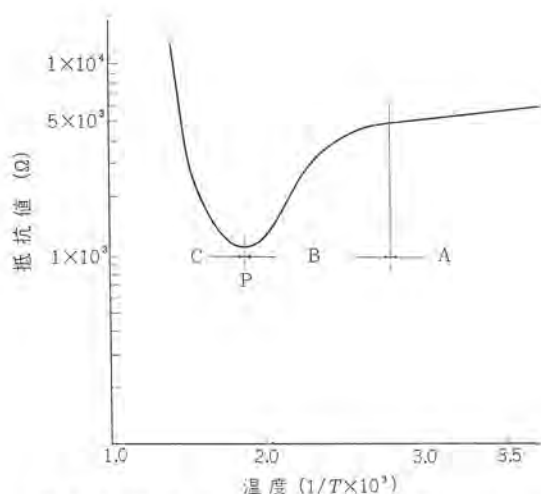


図 3.3 E. C. Coating の温度による抵抗値変化
Fig. 3.3 Variation of resistance by temperature of electro-conducting coating.

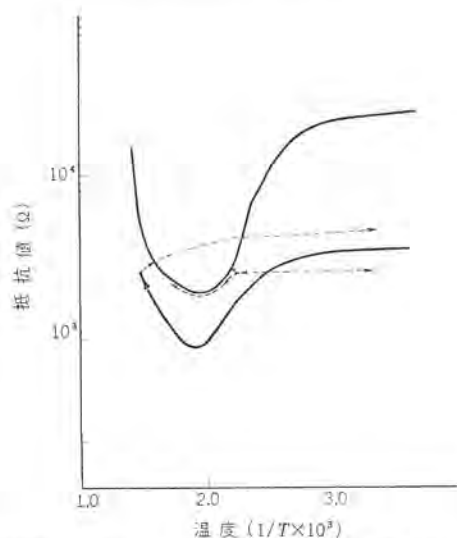


図 3.4 E. C. Coating の温度による抵抗値変化への熱履歴の影響
Fig. 3.4 Relation between the temperature and resistance of electro-conducting transparent coating having different thermal history.

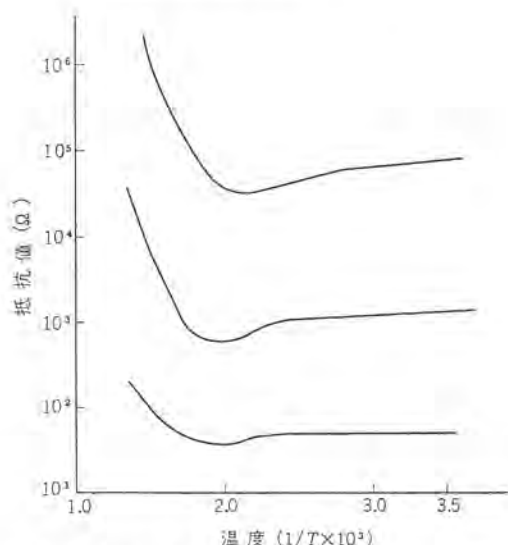


図 3.5 作成温度と抵抗値の温度変化の関係
Fig. 3.5 Relations between the temperature and resistance.

(1) 低温度における直線域, すなわち,

$$R = A \exp(-E/KT)$$

E : 活性化エネルギー

K : ボルツマン定数

T : 絶対温度

R : 抵抗値

に一致する領域で, これを領域Aと呼ぶ.

(2) 領域Aから急激に抵抗値が低下する領域でこれを領域Bと呼ぶ.

(3) 領域Bから急激に抵抗値が増加する領域で, これを領域Cと呼び, この領域Bからの変換点をPと呼ぶ.

領域Aでは, $R = A \exp(-E/KT)$ に従う, すなわち一般の半導体としての特性を示す. 領域Bの急激な抵抗減少の理由はまだ明らかにされていないが, 基体ガラスと E. C. Coating の熱膨張の差に起因するのではないかと推定される. 領域Cにはいると抵抗値は急激に増加しはじめる, これは温度上昇による基体ガラス中の Na^+ イオンや O^{2-} イオンの移動, あるいはふんい気中の残存酸素ガスとの反応などに結晶中の不純物格子点の数が減少するためと推察される. いま領域Aのコウ配から, 電子の伝導のための見かけの活性化エネルギーを求めてみると $0.02 \sim 0.04 \text{ eV}$ である.

熱履歴の影響を図 3.4 に示す, すなわち領域Aにおいてはここまで加熱しても冷却により元の直線上をもどり可逆的である. 領域B領域Cでは不可逆的である, これらは先に述べたようにヒズミの緩和とか構造の変化などの不可逆の変化を生じているので当然であろう.

E. C. Coating 作成温度と抵抗値の温度変化の関係を図 3.5 に示す.

(1) 領域Aでは作成温度が高くなるほどコウ配がゆるやかになる, すなわち伝導のための活性化エネルギーは減少する.

(2) 最低抵抗値(点P)と室温の抵抗値の比は作成温度が高くなるほど大きくなる, すなわち高温作成被膜ほど抵抗値の変化が少ない.

(3) 膜厚を考えに入れて体積固有抵抗と比較すると,

480°C 作成	$20.0 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$
500°C 作成	$5.9 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$
600°C 作成	$0.34 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$

となる.

(4) 領域Cの変化も高温作成被膜のほうが少ない.

これらは高温作成被膜のほうが分解酸化の反応が急速に行なわれることと, 高温ほど SnO_2 の酸素分圧が高くなることにより結晶中の酸素原子が不足する, すなわち不純物原子(不純物格子点)の数が増大する, そして不純物原子の数が多くなってくるとその相互作用により, 伝導のための活性化エネルギーは減少し⁽¹³⁾, 体積固有抵抗も低くなる. また高温作成被膜ほど結晶が大きく生長していることにより粒界も減少し, 基体ガラスからの Na^+ イオンや O^{2-} イオンさらにふんい気からの酸素などの拡散がむづかしくなるために領域B, 領域Cにおける抵抗値の変化が少ないと推定される.

4. ラピッド・スタート形けい光ランプにおける E. C. Coating 異質の解析

4.1 点灯前の異質

光学顕微鏡または低倍率電子顕微鏡で観察するとアルカリ酸化

物を 17 wt% 含むソーダ石灰ガラスは熱処理により異質部分を生ずる、これを図 4. 1 に示す。この基体ガラスに E. C. Coating を行なうと 3 段階の構造を示す、これを図 4. 2 に示す。

第 1 構造 1 μ 以下の微細な オウ (凹) 状構造

第 2 構造 数 μ に及ぶヒトデ状の オウ (凸) 状構造

第 3 構造 比較的高い トツ (凸) 出構造

が認められる。第 2 構造周辺には第 1 構造がなく、第 3 構造は第 2 構造に隣接している場合が多い。アルカリ 酸化物を 9 wt% 含むソーダ石灰ガラスでは、このような第 2 構造の生成は認められない。また酸溶出処理により、ガラス表面の酸可溶性分を除去させたガラスに E. C. Coating した場合、第 2 構造はなくなる。しかし第 3 構造は存在する。さらに基体ガラス上に厚い TiO_2 か SiO_2 の被膜を作成しそのうえに E. C. Coating を行なうと、このような構造はなくなる。これらをまとめると、第 1、第 2 構造は基体ガラス中で移動の容易な 1 価イオンすなわち Na^+ イオンまたは K^+ イオンがガラスの表面エネルギーを減少させるために偏析し、このうえに E. C. Coating がなされ洗浄により Na または K の化合物が除去されたあとと考えられる。それゆえ第 2 構造周辺では Na^+ や K^+ イオンが不足するので第 1 構造は生じない。この第 1 および第 2 構造



図 4. 1 ソーダ石灰ガラス 600°C 10 分熱処理の表面状態
[$\times 18,000$]

Fig. 4.1 Surface structure of soda-lime-glass preparing at 600°C for 10 min.



(a) [$\times 3,000$]



(b) [$\times 400$]

図 4. 2 E. C. Coating の電子顕微鏡写真
Fig. 4.2 Electron micrograph of electro-conducting transparent coating.

造はガラス組成のわずかの差により影響を受ける。異質部分は基体ガラス管の長さ方向には割合に均一な分布を示すが、円周方向では非常に大きなかたよりを示す。図 4. 3 にその顕微鏡写真を示す。すなわち基体ガラスが融液より管の形に成形されるとき長さ方向に引き伸ばされるので融液中の不均質は長さ方向に長く伸びて存在する。そのため長さ方向では目立たなくなるが、円周方向では不均質がそのまま残る。これがアルカリのかたよりに関連して、E. C. Coating の欠点となってくる。X線マイクロアナライザで E. C. Coating した管の内面の Si, Na, Ca, Mg, Al 等の偏を調べたところ、Na がいちばん変化が大きく多い部分では平均値の 2 倍に近い値を示す。図 4. 4 にその一部を示す。

第 3 構造は希塩酸等に溶解せず、基体ガラス面から 3 相当トツ出している。第 3 構造と第 2 構造とは両者が隣接している場合が多い。

しかし第 2 構造全部に第 3 構造が隣接していないが、両者に関連性はあると考えられる。第 3 構造は電子顕微鏡で観察すると中央のトツ出部周辺に浅いミヅが存在している。これはガラスの温度が高いときに異物が付着して、ガラス面上にめり込んだと推定される。この第 3 構造を X線マイクロアナライザで解析すると Fe が多い。

すなわち作成工程に Fe または Fe 化合物が混入し、これが基体ガラス面上に焼付いたものが第 3 構造と考えられる。 TiO_2 や SiO_2



図 4. 3 E. C. Coating の顕微鏡写真 [$\times 400$]
Fig. 4.3 Photomicrograph electro-conducting transparent coating.

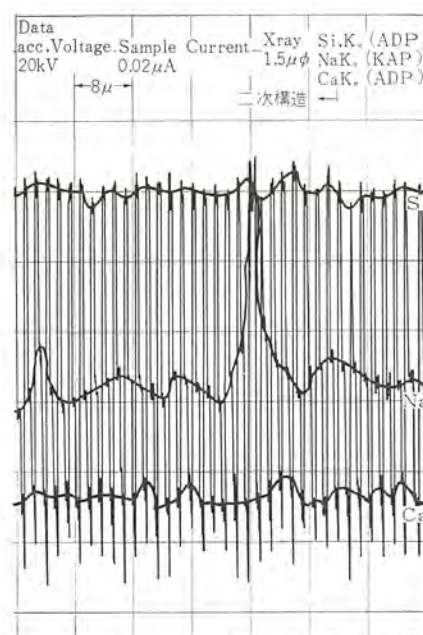


図 4. 4 X線マイクロアナライザによる Si, Na, Ca の分布
Fig. 4.4 Distribution of Si, Na and Ca with electron microprobe X ray analyzer.

の中間被膜を作成⁽¹⁴⁾すると異物が混入してきてもガラスと直接接
触しないので焼付いて固着することがなく第3構造を形成しない。

4. 2 点灯後の異質

ラピッド・スタート形ケイ光ランプとして3,000時間点灯品の欠陥部
分をX線マイクロアナライザで調べると、Electron Beam Scanning
像において試料吸収電流像の黒い位置（電導性が悪い）に対応し
てSnがなくなっている。すなわち放電または還元により金属スズ
になり、これが水銀とアマルガムを作り、この形で除去されたと思
えられる。未点灯ケイ光ランプではこのような一致は起こらない。
そしてSn欠損部の一部にFeが検出される。検出されたFeの量
は相当に多く膜面よりトツ出している。まれにCr, Ce, K, S等
が認められる。FeとKとが隣接して検出されることが多いが重
複はしていない。しかしこれらの異質部はSnの欠除の部分すな
わち侵食を受けた部分にのみみられる点は注意すべきであろう。

5. む す び

ラピッド・スタート形ケイ光ランプ用の透明導電性被膜について種々
の面から検討を加えた。そしてラピッド・スタート形ケイ光ランプ用と
して望ましい透明導電性被膜とは、ランプ全域にわたって高温で
作成された、結晶が十分生長した被膜である。すなわち電気伝導
性が良いため同一抵抗値に対しては膜厚が薄くできるので吸蔵ガ
スも少なく、加熱冷却による抵抗変化も小さく、熱的にも結晶構
造的にも安定な被膜である。

点灯後の欠陥から推察すると、E. C. Coating 面上の異質部と
えば、アルカリ、鉄、イオウ、鉛、リンなどの化合物が核的な存在と
なって、それを中心としてE. C. Coatingの侵食が発生、進行し
ていくと考えられる。この核の中には酸化物以外のスズの化合物
も含まれると考えるべきであろう。このような誘因を除去するた
めに基体ガラスとしてはできるだけ均質なガラス管を使用し、でき
れば前処理として酸洗浄処理またはTiO₂やSiO₂によるNa⁺イ
オンやK⁺イオンに対する保護被膜を作成することにより、表面の
異質の発生が減少する。ガラス組成に言及するなら、アルカリ含有量
の少ない変形温度の高いガラスの使用により、アルカリイオンの移動
も少なくガラス表面の軟化も少ないので異質の発生と異物の付着
は減少する。現在の当社のラピッド・スタート形ケイ光ランプは点灯
による劣化、たとえば端部黒化、変色、斑点状の汚れが非常に減
少し、約3,000時間点灯後の比較では在来のランプに比較して約4

%光束が多くなった。

本研究にあたって、X線マイクロアナライザによる欠陥解析に協力
して下さった島津製作所第四技術課第三係の方々と、電子顕微
鏡写真と電子線回折に協力して下さった当社商品研究所研究三
課の方々に深く感謝します。(昭41-7-11受付)

参 考 文 献

- (1) H. A. McMaster : U. S. PAT. 2,429,420
- (2) 中村 : 日本物理学会誌 12, 12, 585
森谷 : ガラス工学ハンドブック, 843 (昭38)
- (3) Johon M. Mochel : U. S. PAT. 2,564,706
Johon M. Mochel : U. S. PAT. 2,564,707
- (4) Johon M. Mochel : U. S. PAT. 2,522,531
アーノルド アーネスト サンダース } : 日本特許, 昭38-21982
ウィリアム ユージン グラナー }
(5) Romey A. Gaiser, Toledo } : U. S. PAT. 2,567,331
James W. McAuley }
町田, 杉下 : 日本特許, 昭36-5,666
- (6) Johon M. Mochel : U. S. PAT. 2,564,708
金井 : 旭硝子研究報告, 5, 1, 60 (昭30)
明吉, 金井 : 旭硝子研究報告, 8, 1, 6 (昭33)
- (7) マリー エス ジャーヴィ : 日本特許, 昭31-3282
日野 : 日本特許, 昭40-3756
Paul D. Payne, Jr. Chalfont : U. S. PAT. 3,005,731
- (8) L. Holland : Vacuum, 3, 245 (1953)
- (9) 森谷 : ガラス工学ハンドブック, 411 (昭38)
- (10) 難波, 田村 : 理化学研究所報告, 35, 70 (昭34)
" : " 36, 368 (昭35)
Hubert : U. S. PAT. 3,094,436
ルイス アール コーラ : 日本特許, 昭30-8232
ヘンリー デー コルニル : 日本特許, 昭33-8231
- (11) エスベ クノール : 真空管材料学, 109
- (12) 石黒 : Journal of the Physical Society of Japan 13, 299 (1958)
- (13) 河口 : 半導体の化学, 45 (昭37)
- (14) ウィリアム オランダ ライトル : 日本特許, 昭32-3736
- (15) S. M. Doods : Material and Method, 44, 2, 170 (1956)

高圧水銀ランプの長寿命化のための電極設計

土井 貞春*・伊藤 弘**・加茂部 透**・宮井 隆**

Study on the Electrode Design of High Pressure Mercury Lamps for Prolonging Useful Life Spans

Ofuna Works Sadaharu DOI・Hiroshi ITÔ・Tôru KAMOBÉ・Takashi MIYAI

Study has been made on the electrode design of high pressure mercury lamps for prolonging the useful life spans. In enlarging the mechanism of electrode behavior in thermal equilibrium, evaluation has been made on the electrode specific constants, and on the distribution of dissipated energy on the electrode. The result of the analysis and the thermal evaporation characteristics of the employed emission materials have revealed the conditions of the optimum temperature distribution on electrodes. These results being applied to the electrode design, practical mercury lamps having epochal improvement on their performance characteristics (90 % of initial lumens remains after 20,000 hours burning) and also the super high pressure ones have been successfully developed.

1. ま え が き

高圧水銀ランプの寿命は、ほとんど発光管の電極の動作状態によって決まるといえる。すなわち、ランプが点灯中発光管内の水銀蒸気圧は普通の水銀ランプで数気圧、超高圧水銀ランプで数十気圧にもなるので、電極が陰極として動作する半サイクルの間は水銀イオンの衝撃をうけ、陽極となる半サイクルでは多量の電子流が流入するために電極の温度は1,200~2,000°Cの高温になり、したがって電極物質は徐々に蒸発し電極近傍の管壁に付着する。またランプの始動の際は、いわゆる冷陰極の状態で放電が開始されるうえ始動直後のランプ電流は安定時の1.2~1.8倍も流れ安定まで数分を要するので、始動のたびに電極物質の蒸発飛散が促進される。これら点灯中および始動時における電極物質の損耗は、ランプ寿命を短縮し、また管壁に付着した物質は水銀とアマルガムを作って黒色の光シヤハイ膜を作るため動程特性を悪くする。

筆者らは高圧水銀ランプの長寿命化を目的とした電極設計を試みた。まず電極の動作機構について、とくにその熱平衡のうえから解析をすすめて電極における消費電力のエネルギー配分を算出した。これから確認された電極温度分布の重要性から最適動作温度となるような電極構造を設計した。この場合心線先端温度分布とともに電極物質包蔵場所の最高部温度のコントロールにも注意した。一方この電極構造およびその温度条件に適合する電極物質を開発した。この場合は電極からの飛散ができるだけ少なくかつ飛散して管壁に付着しても光吸収の少ない白色膜を形成するような条件を満足させることに主眼をおいた。

以上三つのテーマについて検討した結果を実際のランプに応用し水銀ランプの20,000時間点灯後の光束維持率が初光束のおお90%以上という画期的な寿命特性をうることに成功した。また超高圧水銀ランプにおいても好成績を得て当初の目的が達成できた。

2. 電極の動作機構

電極の動作機構を説明すべく従来から数多くの研究がなされているが、まだ最終的な解決には達していない。とくにスポットモードにおける陰極の動作機構に関しては不明な点が多い。この章では、電極動作機構の一例として直流放電でしかも放電状態は完全なスポットモードではなく、電極先端全面がアークにさらされ

つ蒸気圧が0.3~0.9気圧、電流3~9A、電極材料Th-Wのモデルにつき解析する。

2.1 電極諸定数の計算

2.1.1 記号および仮定

ここで用いる記号を表2.1に示してある。まずアーク柱においては $T_e=T_i=T_g$ とし陰極降下部における電子とイオンの衝突は無視できるものとする。また陰極における電子放出は、熱電子的であるとし、表面状態およびPatch効果による局部電界⁽¹⁾は、モデル電極を使用したため無視でき、空間電荷のみによる降下電圧が陰極面にかかっているものとする。この仮定のもとで電極表面におけるエネルギー平衡を考えると、流入するエネルギーは、アークからの放射、伝導、および熱電子、イオンによる運動エネルギーとポテンシャルエネルギーとの和であり、流失するエネルギーは、電極からの放射、伝導および熱電子放出(陰極部)と仮定する。この場合原子の蒸発および化学反応によるエネルギー損失があるがこれは無視する。

2.1.2 陽極部

前項の仮定のもとに図2.1に示すようなモデルを考え定性的計算を行なう。まず陽極表面をエネルギー基準とすると、流入するエ

表 2.1 記 号

A : ダウジヤマン定数	v_y : 熱運動のy方向速度成分
B : ステファンボルツマン定数	v_z : 熱運動のz方向速度成分
d : 陰極降下部厚み	V_a : 陽極降下電圧
E : 陰極降下部電界強度	V_c : 陰極降下電圧
e : 電子イオン電荷	V_i : 水銀の電離エネルギー
F : $j_e l$	V_L : ランプ電圧
I_L : ランプ電流	w : プラズマより流入する単位面積当たりのエネルギー
j : 電流密度	$W_{a,t}$: 陽極で消費される全エネルギー
j_e : 電子電流密度	$W_{c,t}$: 陰極で消費される全エネルギー
j_i : イオン電流密度	$W_{a,rad}$: 陽極で消費される放射エネルギー
k : ボルツマン定数	$W_{c,cond}$: 陰極で消費される伝導エネルギー
l : 電極間長	$W_{c,rad}$: 陰極で消費される放射エネルギー
m_e : 電子の質量	$W_{c,cond}$: 陰極で消費される伝導エネルギー
m_i : イオンの質量	$W_{c,em}$: 陰極で消費される電子放射エネルギー
n_e : 電子密度	W_c : $W_{c,rad} + W_{c,cond}$
n_i : イオン密度	W_L : ランプ消費電力
S : 電極断面積	x : 電極先端から M_0 ハックまでの距離
T_e : 電子温度	ϕ_0 : 零電界下の仕事関数
T_i : イオン温度	φ : $\phi_0 - \Delta\phi$
T_g : ガス温度	$\Delta\phi$: Schottky 効果
T_n : 陽極温度分布	$\lambda(T)$: トリタンの熱伝導係数
T_e : 陰極温度分布	$E(T)$: トリタンの放射率
\bar{v}_e : 電子平均速度	μ_i : イオンの移動度
\bar{v}_i : イオン平均速度	β : プラズマのシオレ率
v_z : 熱運動のz方向速度成分	

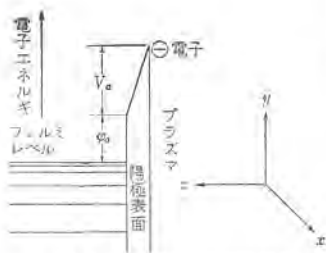


図 2.1 陽極表面電位差
Fig. 2.1 Potential variation at the surface of anode.

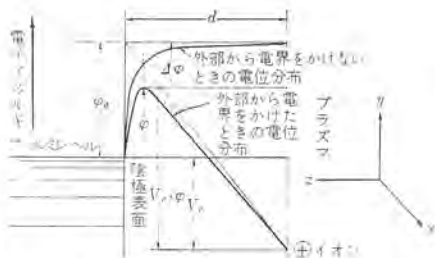


図 2.2 陰極表面電位差
Fig. 2.2 Potential variation on the surface of cathode.

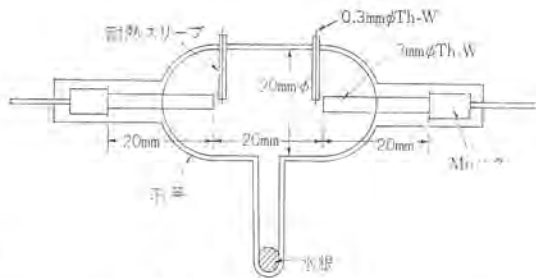


図 2.3 供試放電管
Fig. 2.3 Structure of mercury lamp with probes.

ルはアークからの放射および伝導、電子の熱運動による管軸方向（z 方向）の運動エネルギーおよび管軸方向の電子のもつポテンシャルエネルギーの和であり、これが陽極からの放射および伝導によって流出する。

(1) 陽極に流入するエネルギー

- プラズマからの放射および伝導： w (W/cm²)
- 電子の熱運動による管軸方向のエネルギー： (W/cm^2)

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} n_e v_z \cdot \frac{1}{2} m_e (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \cdot \left(\frac{m_e}{2\pi k T_e} \right)^{3/2} \exp \\ & \left\{ -\frac{m_e}{2kT_e} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \right\} dv_x dv_y dv_z \\ & = \frac{1}{2} n_e m_e \left(\frac{m_e}{2\pi k T_e} \right)^{3/2} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} v_z^3 \exp \right. \\ & \left. \left\{ -\frac{m_e}{2kT_e} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \right\} dv_x dv_y dv_z \right. \\ & + \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} v_x^2 v_z \exp \left\{ -\frac{m_e}{2kT_e} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \right\} dv_x dv_y dv_z \\ & + \left. \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} v_y^2 v_z \exp \left\{ -\frac{m_e}{2kT_e} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \right\} dv_x dv_y dv_z \right] \\ & = \frac{1}{2} n_e m_e \left(\frac{m_e}{2\pi k T_e} \right)^{3/2} \left\{ \left(\frac{kT_e}{m_e} \cdot \frac{2kT_e}{m_e} \right) \left(\sqrt{\frac{2k\pi T_e}{m_e}} \right)^2 \right. \\ & + \left. \left(\frac{kT_e}{m_e} \right) \times \sqrt{\pi} \left(\frac{2kT_e}{m_e} \right)^{3/2} \times \sqrt{\frac{2\pi kT_e}{m_e} \times 2} \right\} = \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \cdot n_e \cdot \frac{1}{2} kT_e \\ & = \frac{n_e \bar{v}_e}{4} \cdot \frac{2kT_e}{e} = j \cdot \frac{2kT_e}{e} \end{aligned}$$

- 電子のもつポテンシャルエネルギー： (W/cm^2)

$$\frac{n_e \bar{v}_e}{4} (eV_a + e\phi_0) = j(V_a + \phi_0)$$

- から陽極に流入するエネルギー： (W)

$$\begin{aligned} W_{a,i} &= S \left\{ w + \frac{n_e \bar{v}_e}{4} \left(\frac{2kT_e}{e} + V_a + \phi_0 \right) \right\} \\ &= Sw + I_L (2kT_e/e + V_a + \phi_0) \end{aligned}$$

(2) 陽極から流失するエネルギー： (W)

流失の形は Stefan-Boltzmann の熱放射および熱伝導とすると、

$$W_{a,l} = B\epsilon(T) ST_a^4 + \lambda(T) S \frac{dT(x)}{dx} (x=0)$$

- (1)(2)より仕事関数 ϕ_0 を求めると

$$\phi_0 = \frac{W_{a,i} - Sw}{I_L} - \frac{2kT_e}{e} - V_a \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

2.1.3 陰極部

陽極部と同様陰極表面をエネルギー基準と考えると、(図 2.2 参照) まず陰極に流入するエネルギーはアークからの放射と伝導、および管軸方向のイオンのもつ運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和であ

り、陰極に衝突したイオンは陰極温度に相当する少量のエネルギーを除いてはほとんど全部のエネルギーを失う。また流失のほうは陰極からの放射と伝導、および熱電子放出とする。ただしこの場合イオンは単一荷電のみとし二重荷電イオンは無視する。

(1) 陰極に流入するエネルギー

- アークからの放射および伝導： w (W/cm²)
- イオンの熱運動による軸方向のエネルギー： (W/cm^2)

$$\frac{n_i \bar{v}_i}{4} \cdot 2kT_i = \frac{n_i \bar{v}_i}{4} \cdot \frac{2kT_i}{e} = j_i \frac{2kT_i}{e} = j(1-f) \frac{2kT_e}{e}$$

- イオンのもつポテンシャルエネルギー： (W/cm^2)

$$\frac{n_i \bar{v}_i}{4} (eV_i + eV_c - e\phi) = j_i (V_i + V_c - \phi) = j(1-f) (V_i + V_c - \phi)$$

- a, b, c. より陰極に流入するエネルギー： (W)

$$W_{c,i} = Sw + I_L (1-f) \left(\frac{2kT_e}{e} + V_i + V_c - \phi \right)$$

(2) 陰極から流失するエネルギー： (W)

$$W_{c,l} = W_r + I_L f \phi = B\epsilon(T) ST_c^4 + \lambda(T) S \frac{dT_c(x)}{dx} (x=0) + I_L f \phi$$

- (1)(2)より f を求めると

$$f = \frac{2kT_e/e + V_c + V_i - \phi - (W_{c,i} - Sw)/I_L}{2kT_e/e + V_c + V_i} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ただし $W_c = W_{c,rad} + W_{c,cond}$ とする

2.1.4 陰極降下部厚み

陰極を理想的プラズマ中の負探針と考える⁽²⁾ ことにより

$$d = \left\{ 0.995 \times 10^{-13} \left(\frac{\mu_1}{j_i} \right) V_c^2 \right\}^{1/3} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

2.1.5 Schottky 効果⁽³⁾

$$\Delta\phi = 3.79 \times 10^{-4} \sqrt{E} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

したがって I_L , S , w , T_e , V_a , V_c , $W_{a,i}$, $W_{c,i}$ を測定することにより ϕ_0 , f , d , $\Delta\phi$ がわかり電極定数全部が求められる。

2.2 電極諸定数の測定

実験に使用したランプは図 2.3 に示すように、内径 20 mmφ の石英管に直径 3 mmφ、長さ 20 mm の Th-W 棒を用い、アーク長 20 mm とした。また探針には接触電位差をなくするために 0.3 mmφ の Th-W を使用し、両電極より 1 mm のところに配置した。水銀蒸気圧の変化はランプを炉内で点灯させ水銀ダマの温度調節により行なった。

2.2.1 V_a , V_c の測定

電子温度の高いプラズマの電位測定には空間電位を測定するのが普通であるが、この実験におけるような $T_e = T_i \approx T_0$ なる条件においては探針に流れる電流が大きくなり飽和領域にはならず、したがって探針は相当な温度（この実験では 1700~1800 °K）になり探針よりのエミッションを行なう熱探針⁽⁴⁾ となって測定に誤差を生じやすくなる。（理論的には空間電位はずれないが実

験ではエミッションのために飽和領域と破壊領域との区別がしにくい。）

したがって V_{as} , V_c の測定には I_p - V_p 特性で $I_p=0$ なる floating potential を測定し、陽光柱の電位傾度を算出し電極より探針までの電圧降下の補正を行なった。この場合陽極降下厚みおよび陰極降下厚みは非常に小さいので無視した。

2.2.2 $W_{a,t}$, W_p の測定

電極の温度分布を測定し放射損失および伝導損失を算出した。

(1) 放射損失

図 2.4~2.7 に示したような電極の先端より M_0 ハクとの溶接部までの各点の温度の 4 乗した値にその温度における放射率 $\epsilon(T)^{(5)}$ (図 2.8) との積を求め図 2.9~2.12 のように W_{rad}/cm を立て軸に、電極先端よりの距離 x を横軸とした曲線で囲まれた面積を放射損失とした。

(2) 伝導損失

図 2.4~2.7 に示される温度分布において、電極の先端にお

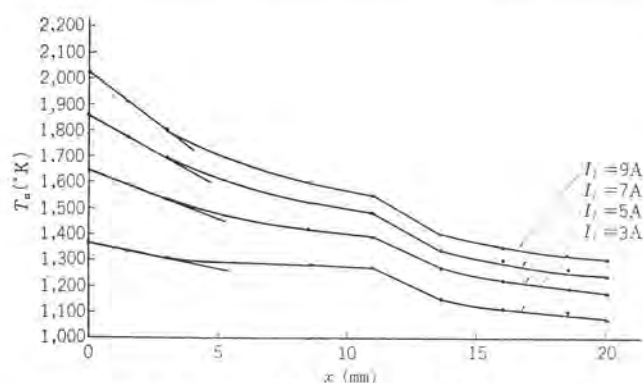


図 2.4 陽極温度分布 (0.3 気圧)
Fig. 2.4 Temperature distribution on the anode. (0.3 atoms)

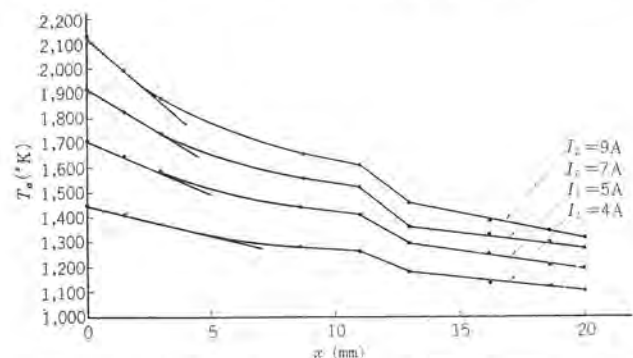


図 2.5 陽極温度分布 (0.9 気圧)
Fig. 2.5 Temperature distribution on the cathode. (0.9 atoms)

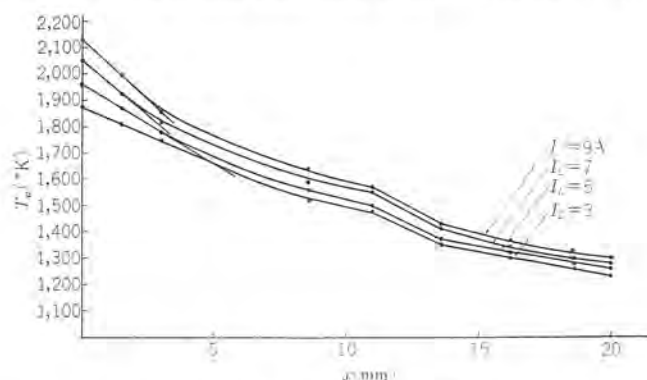


図 2.6 陰極温度分布 (0.3 気圧)
Fig. 2.6 Temperature distribution on the cathode. (0.3 atoms)

ける温度分布と図 2.13 に示す熱伝導率 $\lambda(T)^{(6)}$ ($x=0$ における値) および断面積 S との積より求めた。

2.2.3 w の測定

アークのエポキシ率 B をフィルタを使った光学的投影法によって測定し、管入力より電極損失を引いた値をアークの表面積で割って求めた。

2.2.4 T_e の求め方

アークの径方向には温度分布があるから有効温度を使うべきであるが、電極先端における熱電子は中心の温度に近いから W , E , $lenbaas$ の実験式⁽⁷⁾ $T_e = 6025 \{ (8.5 + 5.75 m) / P \}^{0.1}$ (m : mg/cm , P : 陽光柱単位長さあたりの入力 W/cm) を使って求めた。

2.3 結果および考察

2.3.1 陰極降下電圧、陽極降下電圧

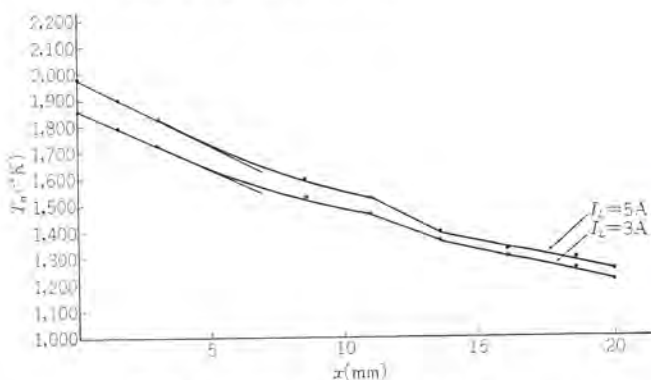


図 2.7 陰極温度分布 (0.9 気圧)
Fig. 2.7 Temperature distribution on the cathode. (0.9 atoms)

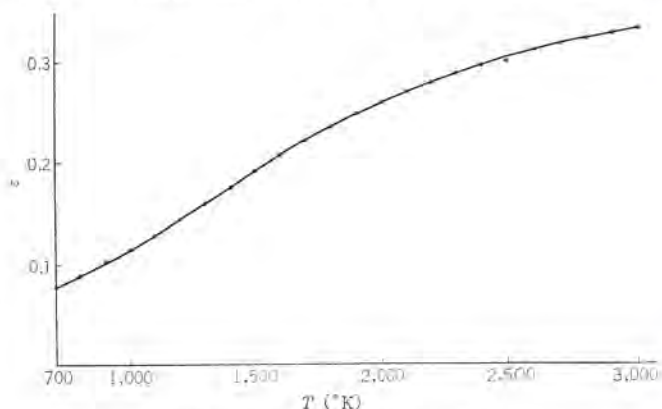


図 2.8 Th-W の放射率⁽⁵⁾
Fig. 2.8 Total emissivity of Th-W.

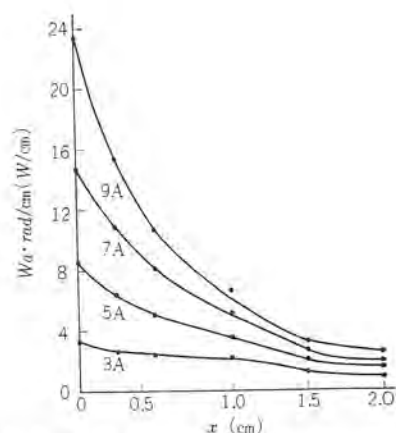


図 2.9 陽極放射エネルギー分布 (0.3 気圧)
Fig. 2.9 Distribution of radiation energy at the anode. (0.3 atoms)

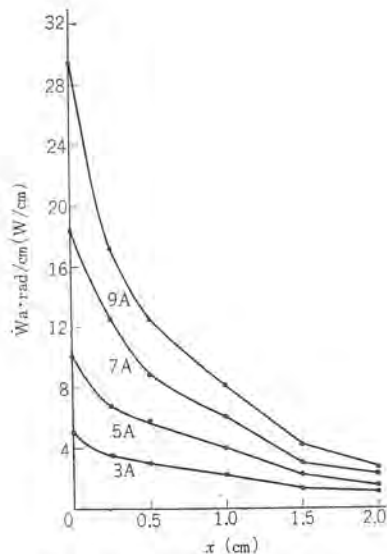


図 2.10 陽極放射エネルギー分布 (0.9 気圧)

Fig. 2.10 Distribution of radiation energy at the anode, (0.9 atoms)

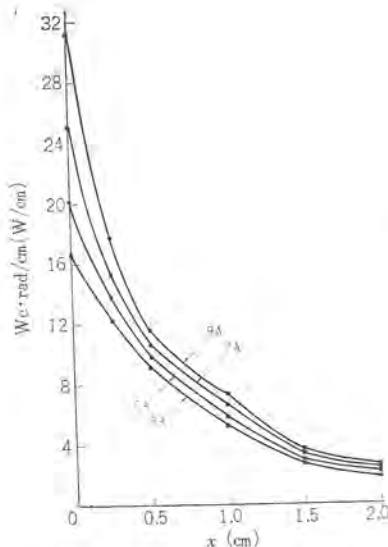


図 2.11 陰極放射エネルギー分布 (0.3 気圧)

Fig. 2.11 Distribution of radiation energy at the cathode, (0.3 atoms)

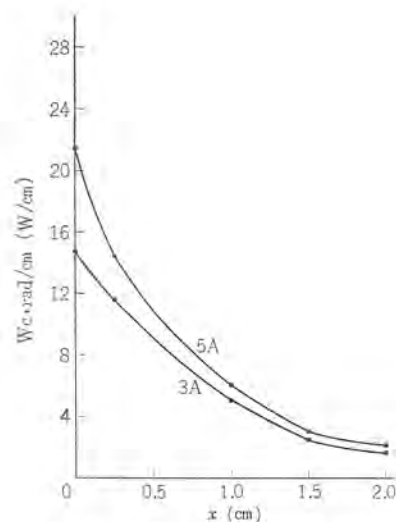


図 2.12 陰極放射エネルギー分布 (0.9 気圧)

Fig. 2.12 Distribution of radiation energy at the cathode, (0.9 atoms)

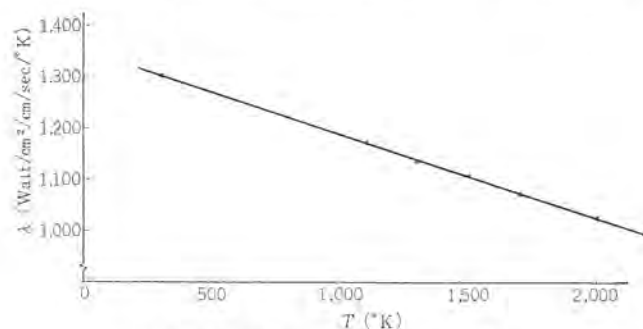


図 2.13 Th-W の熱伝導係数⁽⁶⁾

Fig. 2.13 Thermal conductivity of Th-W.

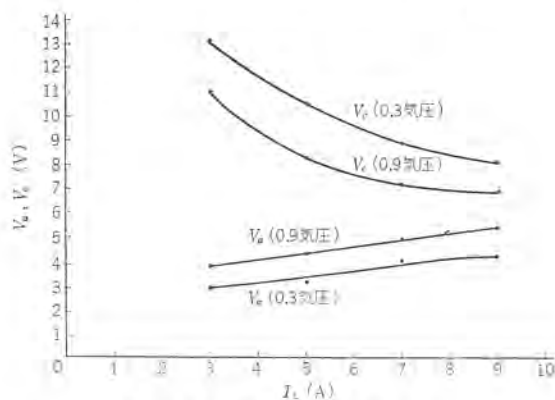


図 2.14 電流と電極降下

Fig. 2.14 Electrode drop as a function of lamp current. (parameter is vapour pressure)

陰極降下電圧は電流が増加すると電極の温度が上昇し、熱電子放出が盛んになり、陰極降下電圧は下がっても十分に放電維持が可能のため図 2.14 に示すように電流の増加とともに下がってくる。また蒸気圧が上昇してくると陰極降下部におけるイオン、電子の衝突が増加するために V_c は低くなっていく。一方陽極降下電圧 V_a は電流が増加すると陽極の温度が上昇し陽極からの電子放出により電子が陽極表面に空間電荷層を形成し V_a が上昇するものと考えられる。また蒸気圧が高くなると陽極表面における電流密度が大きくなり陽極温度も上昇し電子による空間層が厚くなり V_a が大きくなるものと考えられる。

表 2.2 零電界仕事関数 (ϕ_0)

(A)	(W)	(W)	(W)	(V)	(W)		(W)	(°K)	(V)	(eV)
I_L	$W_{a,rad}$	$W_{a,cond}$	$W_{a,tot}$	V_L	W_L	β	S_{tw}	T	V_a	ϕ_0
3	4.1	15.9	20.0	31.5	94.5	0.48	0.43	5,780	2.9	2.6
5	8.1	28.0	36.1	25.5	127.5	0.52	0.47	5,700	3.1	2.8
7	12.8	39.6	52.4	23.5	164.5	0.58	0.56	5,610	4.0	2.4
9	17.7	52.4	70.1	22.2	199.8	0.62	0.55	5,520	4.2	2.5

(0.3 気圧)

(A)	(W)	(W)	(W)	(V)	(W)		(W)	(°K)	(V)	(eV)
I_L	$W_{a,rad}$	$W_{a,cond}$	$W_{a,tot}$	V_L	W_L	β	S_{tw}	T	V_a	ϕ_0
3	4.8	18.8	23.6	33.0	99.0	0.36	0.66	5,820	3.8	2.8
5	9.0	32.8	41.8	27.0	135.0	0.42	0.76	5,760	4.3	2.9
7	14.7	44.1	58.8	26.5	185.5	0.48	0.93	5,680	4.9	2.4
9	20.8	61.7	82.5	26.0	234.0	0.51	1.08	5,610	5.4	2.6

(0.9 気圧)



図 2.15 電流と仕事関数

Fig. 2.15 Work function plotted vs lamp currents.

2.3.2 仕事関数

Th-W の仕事関数は文献⁽³⁾によると 2.5~2.7 eV であるが、この算出結果では表 2.2 および図 2.15 に示すように電流・蒸気圧の変化に対して 2.4~2.9 eV の範囲にばらつくが、これは式 (2.1) から明らかにように V_a の測定誤差によるものと思われる。

2.3.3 陰極における電子電流およびイオン電流

電流を増加させると電子によって運ばれる電流の割合が増大するのはイオン電流による陰極加熱の絶対量が大きくなって熱電子放出が盛んになるためであり、その結果は前述のとおり V_c は減少してくる。表 2.3 および図 2.16 から明らかにように 3~9 A 電流の変化に対し、電子電流は、25~40 % (0.3 気圧の場合 30

表 2.3 電子によって運ばれる陰極電流の割合 (f)

(A) I_L	(W) $W_{e,rad}$	(W) $W_{e,cond}$	(W) W_e	(W) A_{T0}	(eV) ϕ_0	(°K) T	(V) V_c	(V) V_f	f
3	13.1	31.9	45.0	0.43	2.6	5,780	13.1	10.8	0.293
5	14.9	43.7	58.6	0.47	2.8	5,700	10.5	"	0.354
7	17.3	59.5	76.8	0.56	2.4	5,610	8.9	"	0.368
9	20.0	65.9	85.9	0.55	2.5	5,520	8.1	"	0.397

(0.3 気圧)

(A) I_L	(W) $W_{e,rad}$	(W) $W_{e,cond}$	(W) W_e	(W) A_{T0}	(eV) ϕ_0	(°K) T	(V) V_c	(V) V_f	f
3	12.4	32.4	44.8	0.66	2.8	5,820	11.0	10.8	0.232
5	15.8	36.4	52.2	0.76	2.9	5,760	8.3	"	0.342
7	17.3	59.5	76.8	0.93	2.4	5,680	7.2	"	"
9	20.0	65.9	85.9	1.08	2.6	5,610	6.9	"	"

(0.9 気圧)

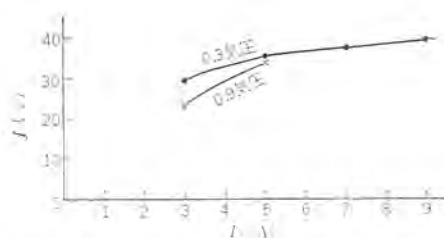


図 2.16 陰極における電子によって運ばれる電流の %
Fig. 2.16 Fraction of cathode currents carried by electrons.

～40%, 0.9 気圧の場合 25～35%) に増加するが、さらに大電流になると、陰極におけるイオン層は熱電離⁽⁸⁾によって生ずるため V_c は非常に小さくなり、陰極における電子放出は完全に熱電子的になって、90% 近くまで電子によって運ばれる。⁽¹¹⁾

一方陰極損耗機構を考えると、この章の実験範囲においては、図 2.16 から明らかなように、イオン電流が 75～60% と大きくまた陰極降下電圧も図 2.14 から 13～17 V と変動範囲が大きく、とくに気圧が低く電流の小さい領域においては、高いポテンシャルエネルギーをもったイオンにたたかれるために原子・分子の飛散（陰極スパッタリング）が大部分を占め、電流の大きい領域においても 7 V と比較的高いため、熱蒸発と同時にイオン衝撃飛散との両方を考えなければならない。また大電流陰極になると陰極降下電圧が小さいため、低いポテンシャルエネルギーをもった多量のイオンによる熱蒸発が大部分を占めることになる。

したがって高圧水銀ランプの電極設計にあたってはイオン・電子衝撃と熱蒸発との両方を考えて行なわなければならない。

2.3.4 陰極降下厚み

電流を増加させると前項のべたようにイオン電流密度は小さくなり陰極降下電圧も小さくなるために厚みも表 2.4 および図 2.17 に示すように減少してくる。

2.3.5 Schottky 効果

Schottky 効果が現われるのは 10^4 V/cm 以上 (Th-W) の電界強度とされている。⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 筆者らの測定によると表 2.5 に示すように約 3×10^4 V/cm の電界強度になりこれより $\Delta\phi$ を計算すると表 2.5 および図 2.18 に示すように 10^{-2} eV のオーダーで仕事関数(2.3.2 項参照)にはほとんど影響を与えず動作中の電子放出においては Schottky 効果は無視できる。このことから明らかに陰極における電子放出機構は、熱電子的であると考えられる。

2.3.6 Richardson-Dushman 式との比較

前項において、陰極における電子放出機構は、電界強度が 10^4 V/cm のオーダーで電界放出 (10^7 V/cm) とは考えられず、熱電子放

表 2.4 陰極降下厚み (d)

(A) I_L	(A/cm ²) I_L/S	$1-f$	(A/cm ²) j_i	(cm ² /vsec) μ_i	(V) V_c	V_c^2	d^3	(cm) d
3	42.4	0.707	29.8	1.6	13.1	170.0	91×10^{-12}	4.5×10^{-4}
5	70.8	0.646	45.8	"	10.5	110.0	38 "	3.36 "
7	99.0	0.632	62.5	"	8.9	79.1	20 "	2.71 "
9	127.5	0.603	77.0	"	8.1	65.7	13 "	2.37 "

(0.3 気圧)

(A) I_L	(A/cm ²) I_L/S	$1-f$	(A/cm ²) j_i	(cm ² /vsec) μ_i	(V) V_c	V_c^2	d^3	(cm) d
3	42.4	0.768	32.6	0.53	11.0	121.0	20×10^{-12}	2.71×10^{-4}
5	70.8	0.658	46.6	"	8.3	68.9	6.9 "	1.91 "
7	99.0	"	"	"	7.2	51.9	"	"
9	127.5	"	"	"	6.9	47.6	"	"

(0.9 気圧)

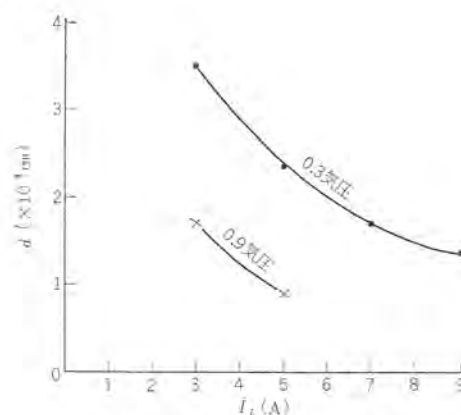


図 2.17 電流と陰極降下厚み
Fig. 2.17 Cathode fall thickness plotted vs. lamp currents. (parameter is vapour pressure)

表 2.5 Schottky 効果による仕事関数の減少 ($\Delta\phi$)

(A) I_L	(V) V_c	(cm) d	(V/cm) E	(eV) $\Delta\phi$	(A) I_L	(V) V_c	(cm) d	(V/cm) E	(eV) $\Delta\phi$
3	13.1	4.5×10^{-4}	2.9×10^4	1.70×10^{-2}	3	11.0	2.71×10^{-4}	4.1×10^4	2.02×10^{-2}
5	10.5	3.36 "	3.1 "	1.76 "	5	8.3	1.91 "	4.3 "	2.08 "
7	8.9	2.71 "	3.3 "	1.82 "	7	7.2	"	"	"
9	8.1	2.37 "	3.3 "	1.82 "	9	6.9	"	"	"

(0.3 気圧)

(0.9 気圧)

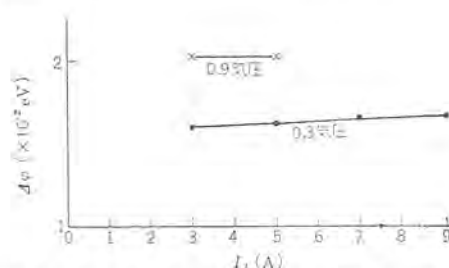


図 2.18 Schottky 効果による仕事関数の低下
Fig. 2.18 Work function reduction plotted by Schottky's effects vs. lamp currents. (parameter is vapour pressure)

出であることを述べた。そこでわれわれのエネルギー平衡より求めた値と Richardson の式 $j_e = AT_c^2 \exp(-e\phi/kT_c)$ より求めた値とを比較したものが表 2.6 に示してある。この場合 2.3.5 項で述べたように Schottky 効果が無視できるので $\phi_0 \approx \phi$ ゆえ Richardson の式は $j_e = AT_c^2 \exp(-e\phi_0/kT_c)$ となる。ここで j_e の計算に用いる A および ϕ_0 の値としては 2.3.2 項の結果および Decker の測定値⁽³⁾を参考にして $A=15.5$, $\phi_0=2.5$ eV なる定数として陰極の温度変化のみによる j_e を算出して比較したもので

表 2.6 Richardson-Dushman 式との比較

$I_L(A)$	3	5	7	9	$I_L(A)$	3	5
エネルギー平衡式: fj A/cm ²	12.6	25.0	36.5	50.5	エネルギー平衡式: fj A/cm ²	9.8	24.2
R・D 式: j_e A/cm ²	10.4	22.1	44.9	84.8	R・D 式: j_e A/cm ²	8.6	25.2

(0.3 気圧) (0.9 気圧)

表 2.7 電極で消費されるエネルギー配分 (%)

(A) I_L	$\frac{W_{a,t}+W_{c,t}}{W_L}$	$\frac{W_{c,t}}{W_L}$	$\frac{W_{c,t}}{W_{a,t}+W_{c,t}}$	$\frac{W_{c,rad}}{W_{c,t}}$	$\frac{W_{c,cond}}{W_{c,t}}$	$\frac{W_{c,emf}}{W_{c,t}}$	$\frac{W_{a,t}}{W_L}$	$\frac{W_{a,rad}}{W_{a,t}}$	$\frac{W_{a,cond}}{W_{a,t}}$	$\frac{W_{a,t}}{W_{a,t}+W_{c,t}}$
3	71.6	50.1	70.4	27.9	67.4	4.7	21.2	20.5	79.5	29.6
5	78.2	49.8	64.8	23.3	68.7	8.0	28.3	22.4	77.6	35.2
7	82.4	50.3	61.2	20.8	70.1	7.5	31.9	24.4	75.6	38.8
9	82.5	47.5	57.4	21.1	69.5	9.4	35.1	25.3	74.7	42.6

(A) I_L	$\frac{W_{a,t}+W_{c,t}}{W_L}$	$\frac{W_{c,t}}{W_L}$	$\frac{W_{c,t}}{W_{a,t}+W_{c,t}}$	$\frac{W_{c,rad}}{W_{c,t}}$	$\frac{W_{c,cond}}{W_{c,t}}$	$\frac{W_{c,emf}}{W_{c,t}}$	$\frac{W_{a,t}}{W_L}$	$\frac{W_{a,rad}}{W_{a,t}}$	$\frac{W_{a,cond}}{W_{a,t}}$	$\frac{W_{a,t}}{W_{a,t}+W_{c,t}}$
3	74.4	49.5	66.5	26.5	69.2	4.17	25.0	20.3	79.7	33.5
5	78.6	44.9	57.8	27.7	63.7	8.7	32.9	21.5	78.5	42.2

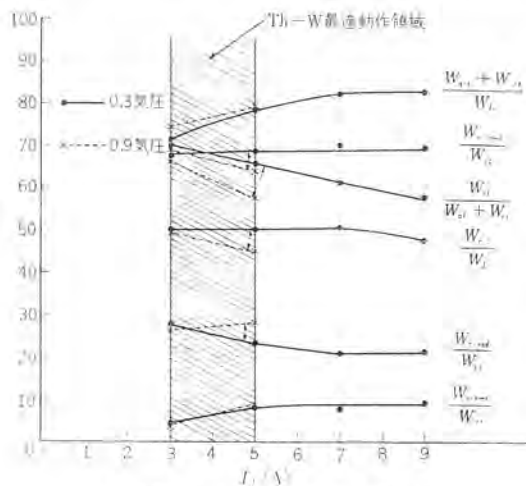


図 2.19 陰極消費電力配分

Fig. 2.19 Fraction of dissipated energy on cathode as a function of lamp current.

ある。

この結果をみると電流の小さい3~5 Aの範囲では非常に良い一致をみるが、7~9 Aになると j_e (Richardson 式より求めた値)のほうが大きくなる。これはTh-Wの最適動作温度(Th-Wの場合1,800~1,950°K)を越えたため(図2.6および図2.7より明らか)にエミッション不良領域にはいり、動作中のエミッション電流がRichardsonの熱電子流よりも低下したためと思われる。この結果からもわかるように電極設計にあたっては、最適動作温度を維持できるように設計しなければならない。

2.3.7 電極消費エネルギー配分

この章のモデル実験に用いたようなアーク長の短い、棒電極使用のランプの場合における電極消費エネルギー配分を示すと、表2.7および図2.19、2.20のとおりになる。すなわち電流3~9 Aに対し、電極で消費されるエネルギーはランプ入力70~80%にも達し、その他の部分がアーク中において放射、伝導、対流、化学変化などに消失される。さらに陰極だけについてみるとランプ入力の50%が陰極に流れ、そのうち熱伝導による損失が65~70%、放射損失が25~20%、電子放射に使われるエネルギーは5~10%のオーダーである。図2.19からわかるように電流が5 A以上になると飽和特性を示してくる。これは陰極の温度が上昇しているにもかかわらず放出電流が飽和しているのであるから最適動作状態には

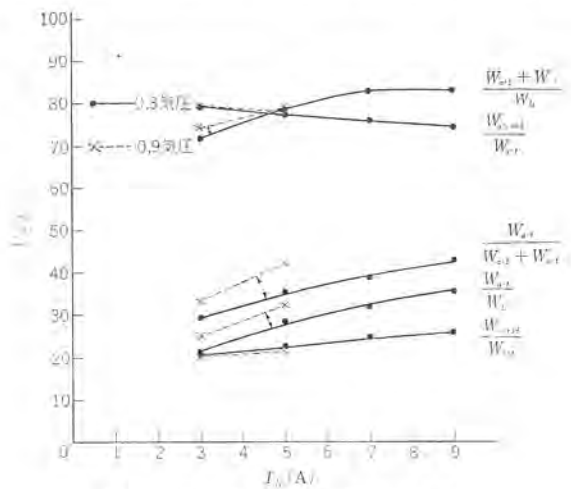


図 2.20 陽極消費電力配分

Fig. 2.20 Fraction of the dissipated energy on anode as a function of lamp current.

ある制限領域が存在することを示している。この最適動作領域を図2.19から求めると3~5 Aになり、このときの電子放射面の温度は、図2.6および図2.7から1,800~1,950°KとなりこれはTh-Wの最適動作温度と一致する。

一方陽極部をみるとランプ入力の20~35%が陽極に流れ、そのうち熱伝導による損失が80~75%、熱放射損失が20~25%である。陰極部と異なる点は電流の増加に対して、陽極損失のうち放射損失は増大し、伝導損失は減少することである。これは陽極部のエネルギー放出において、電子放出による冷却効果がないためと考えられる。つまり陽極における熱電子放出は陽極の自己加熱に消費されるからである。また電流増加に対して陰極消費エネルギーの割合よりも陽極消費エネルギーのほうが増大していくことは大電流電極において陽極損耗が増大することを示している。

3. 電極物質

前章の考察から、電流、ガス圧などの動作条件によって、電極のもつべき特性が変わってくるのが理解されよう。とくに電極上の温度条件によって、使用すべき陰極物質もきびしい制約を受ける。水銀ランプの寿命は、ほとんど電極からの物質飛散によって決まるといえる。すなわち飛散物質は、管壁上に水銀アマルガムを形成して光シャハイ膜となり光束維持を悪くする。この章では

表 3.1 BaO, SrO, CaO の熱力学的特性

oxide	L_s	ΔH		$\Delta H - L_s$	$\Delta H/L_s$
	kcal/mole (eV)	kcal/mole (eV)	kcal/mole (eV)		
BaO	90 (3.9)	133 (5.8)	43 (1.9)	1.47	
SrO	125 (5.4)	141 (6.1)	16 (0.7)	1.13	
CaO	150 (6.5)	152 (6.6)	2 (0.1)	1.02	

L_s =蒸発熱 ΔH =生成熱

長寿命化を目的に、飛散物が少なくかつ飛散しても光吸収の少ない白色膜を形成するような電極物質の条件につき検討した結果を報告する。

3.1 陰極酸化物の熱蒸発

物質の蒸発が自由で、かつ還元性金属との接触がない条件のもとで、酸化物が加熱された場合、蒸発物には一般に熱分解されてできた金属成分と、そのまま蒸発した酸化物が混在する。この金属成分と酸化物の割合（この比を metal/oxide= K とする）は蒸着膜の色調と関係し、 K の値が大きい場合は金属性黒色となり、小さい場合は酸性物性白色になる。そこで一般電子放射物質の主体成分であるアルカリ土類金属の酸化物 (RO) について K の値を考える必要がある。RO を化学的安定性すなわち生成エネルギー (ΔH) の大小からみると $\text{CaO} > \text{SrO} > \text{BaO}$ の順であるにもかかわらず、実際に起こった蒸発物の K の値を調べてみると BaO が最も小さいことはよく経験されることである。RO 形酸化物の場合、この K 値を正確に決定することは困難であるが、その相対値を求めることは比較的容易である。この現象を説明するにはもう一つの熱力学的因子、すなわち蒸発熱 (L_s) を導入する。G. H. Metson⁽¹⁰⁾ は温度 1,300°C の白金プレート上から RO 形酸化物の熱蒸発特性を調べ、 K の値が L_s と ΔH の差、つまり ($\Delta H - L_s$) または $\Delta H/L_s$ の値と相関があるとした。いま、 $\Delta H = L_s$ のときの K の値を K_0 とすると $\Delta H < L_s$ の場合は $K > K_0$ になり、逆に $\Delta H > L_s$ の場合は $K < K_0$ となる。このことから表 3.1 より BaO は SrO, CaO に比べて金属蒸発物が少ないという実験事実が説明される。このことは電子放射性物質と基体金属との反応を考えるにしても、まず Ba 比を多くするほうが有利であることを示している。しかし通常の電極物質には RO 形酸化物に耐熱性酸化物が添加されているので以上の関係はさらに複雑になる。

3.2 基体金属の電極物質に対する還元性

酸化物が還元性基体金属と接触している場合は、前述の物質固有の飛散特性のほかに、基体金属の還元性を考える必要がある。

RO 形酸化物中では BaO が最も還元されやすく容易に金属 Ba が生成される。その結果加熱によって相当量の金属 Ba の蒸発が予想されるが、実際には中間生成物の還元抑制作用によってかなり緩和されている。そこで陰極物質を選択するには、まずとりわけ基体金属上でのその熱蒸発特性を知る必要がある。図 3.1 は Ba/Sr 比の異なる各種組成の物質をタングステン上に塗布し、その物質からの金属性蒸発が起こりはじめる温度を測定した結果である。また同図にはその物質を実際の高圧水銀ランプに使用し、6,000 時間点灯時における光束維持率も示した。両曲線には良い対応が見られる。また図 3.2 の写真はこれらのランプの発光管の汚損状態を示している。すなわち図 3.1 から明らかなように Ba/Sr 比が組成 C の場合に光束維持率は最大になり、これは図 3.2 の外観でも最も良い。図 3.2 では、上段はバックグラウンドを白色に、下段を黒色にして、上段より金属飛散の状態が、下段より分子状蒸発の状態がわかるようにしてある。上記組成 C の場合、金属飛散が抑制されていることが一目りょう然である。図 3.1 に示した物質のスパッタ温度特性は、後述の電極デザインにおける温度分布の設定に重要な要素となる。

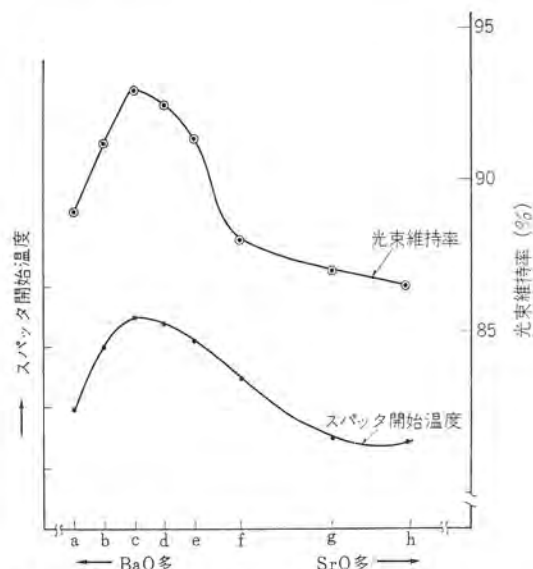


図 3.1 Ba/Sr 比とスパッタ温度、光束維持率との関係
Fig 3.1 Sputtered temperature, lumen maintenance as a function of the ratio; Ba/Sr.

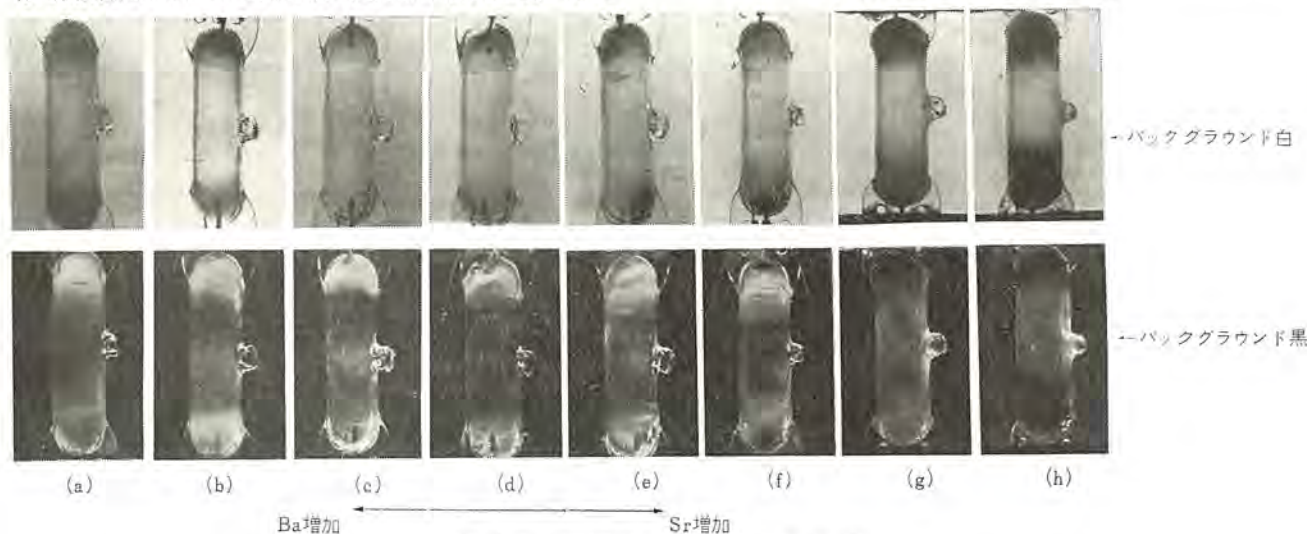


図 3.2 Ba/Sr 比と管壁汚損状態

Fig. 3.2 Appearances of wall contamination by sputtered material in relation to Ba/Sr ratio.

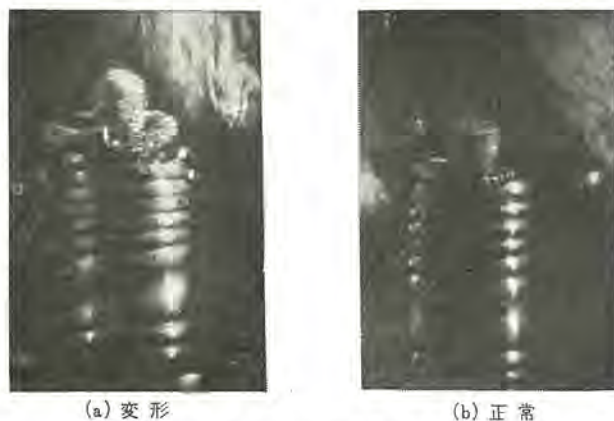


図 3.3 電極乱れ
Fig. 3.3 Deformation of electrode coil.

3.3 酸化物と基体金属の接着性

普通の電極構造は、心線とその回りに単コイルまたは多重コイルを巻き付けたものであるが、ランプが長時間点灯された際この形状に乱れを生ずることがある（図 3.3 参照）。この現象が起これと電極物質が露出され、イオン電子の衝撃を直接受けることになり、その結果管壁黒化が急に増大する。この発生原因には基体金属の材質、電極の温度分布、物質の仕事関数などがあるが、電極物質と基体金属の接着性も重要である。

4. 電極の設計

高圧水銀ランプの電極設計には、まずその温度分布の設定が第一要件である。これには 2 章でふれた放電条件に対応する電極定

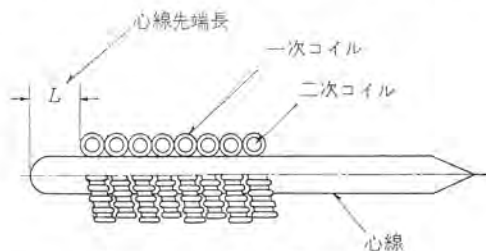


図 4.1 一般の電極構造
Fig. 4.1 Structure of typical electrodes.

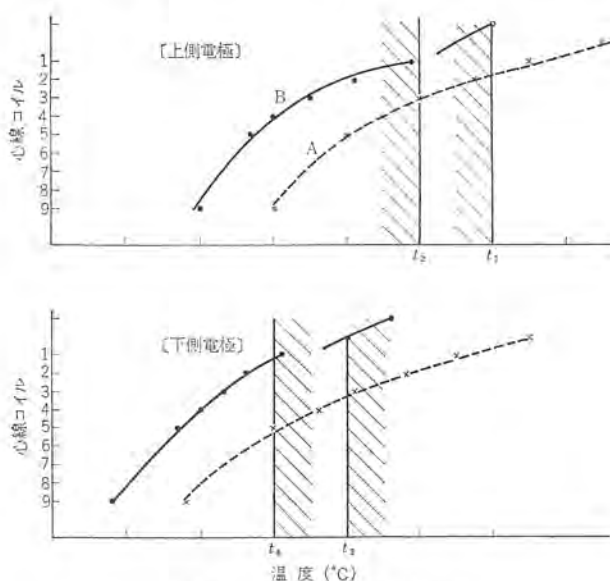


図 4.2 電極温度分布
Fig. 4.2 Temperature distribution on electrodes.

数の関係、また 3 章に述べた電極物質の熱蒸発特性を考慮し、この物質の適当な安定貯蔵場所から動作中たえずエミッションにあずかる原子が供給される条件が満たされなければならない。

4.1 電極温度分布

4.1.1 電極物質最適温度の設定

前章図 3.1 に示したように、各 Ba/Sr 組成比に対するスパッタ開始温度特性と、ランプ光束維持率とは非常に良く対応する。ここでスパッタ開始温度が最高値となる組成 C と、最低値になる組成 h とでは、スパッタ開始温度では約 50°C の差であるが、これが 6,000 時間での光束維持率では 7% の差を生ずる。この試験に使用した電極は、図 4.1 のような一般に用いられる構造のもので、動作中図 4.2 の点線 A であらわす温度分布を示した。この図では上側電極と下側電極をわけて示したが、これは水銀ランプを垂直で点灯すれば、対流により上下電極に大きな温度差を生ずるためである。この図 4.2 のような温度分布を知れば、前述のスパッタ開始温度との対照から、電極設計の適否が容易に判定される。図 4.2 の点線 A の分布では電極物質の包蔵場所の最高温度が、スパッタ開始温度よりも高くなり適当でない。そこでこの分布を、同図実線 B に示す分布に改め、物質包蔵場所の温度が、スパッタ開始温度以下になるようにコントロールすると図 4.3 の B 曲線に示す光束維持率となる。この図から明らかなように、A 分布を B 分布に改めることによって、12,000 時間における光束維持率は、4.5% 向

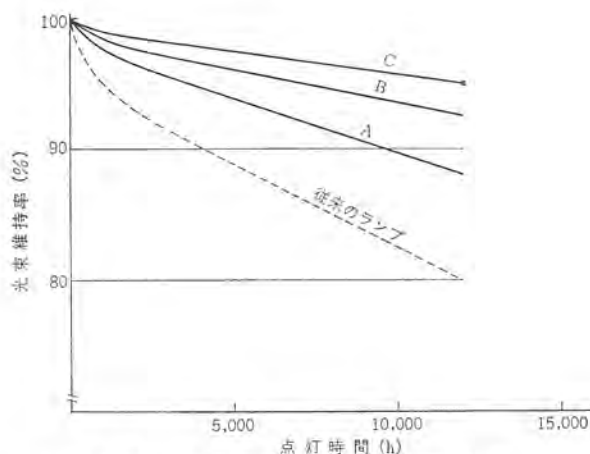


図 4.3 電極構造と光束維持率
Fig. 4.3 Lumen maintenance with relation to electrode design.

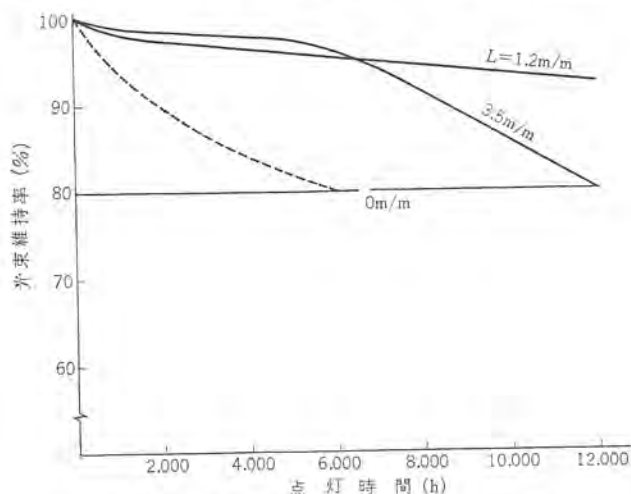


図 4.4 心線先端長と光束維持率
Fig. 4.4 Lumen maintenance with relation to the protruding length (L) of support rod.

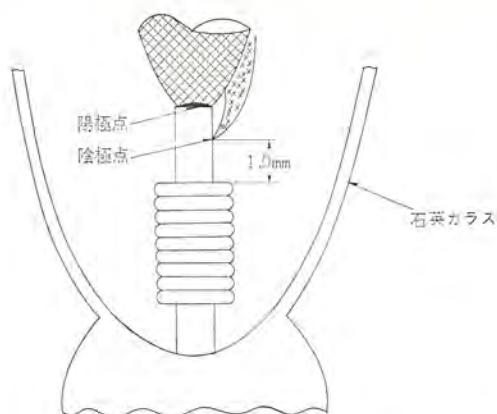


図 4.5 電極先端部のアーチ
Fig. 4.5 Visual conditions of arc spot on the protruding rod of electrode.

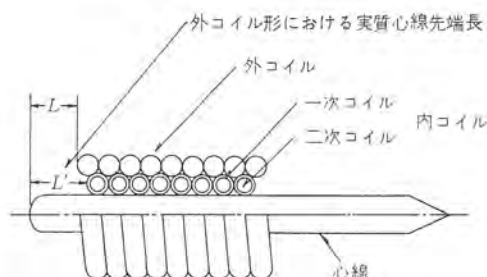


図 4.6 外コイル形電極構造
Fig. 4.6 Structure of the electrode with outer coil.

上した。すなわち同一構造の電極、同一仕様の電極物質であっても、その動作温度の設定いかに光束維持率に大きな影響を与えることがわかる。

4.1.2 心線先端長の効果

次に図 4.1 の電極構造において、心線先端長 L の効果をみてみよう。図 4.4 は先端長 L を 0, 1.2, 3.5 mm に選んだ場合の光束維持特性を示す。すなわち L が 0 mm あるいはその近傍では、心線端の陽極効果は少なく、また電極物質を包蔵しているコイル部に容易にスポットを形成してしまうので著しい黒化現象を起こす。また 3.5 mm 以上の長さになると、電極物質包蔵場所の温度が下がり、スポットが非常に不安定となり、心線上を激しく移動する。さらに点灯をつづけると 1.0 mm 近くまでスポットは移動してきて、心線端部は陽極サイクル時のみ作用するようになり、図 4.5 に示したようにスポットは二点形成となる。図 4.4 に示したように短時間点灯の間はこれでも問題はないが、5,000 時間をすぎるとしばしば放電の立消え現象を起こすようになり、光束維持率もそれに伴って急激に低下する。 L が 1.2 mm では以上のような現象はまったく起こらず、長時間安定な放電を維持することができた。この場合の電極温度分布は図 4.2 の B 分布のようになった。つまりこの温度分布は、Ba の補給と蒸発がつり合う最適動作条件を満足するものと思われる。

以上のとおり、心線先端温度および電極物質包蔵場所の最高温度には、図 4.2 に示すように臨界温度 t_1, t_3 および t_2, t_4 が存在し、おのずから電極設計には設定すべき最適温度範囲が与えられる。

4.2 外コイルの効果

前節の温度分布の設定に次いで重要なものは、イオンおよび電子衝撃による物質飛散の防止法である。電極表面はいくら焼結されているとはいえ、相当量の物質が付着しているのが実情であり、その表面が衝撃されれば当然スパッタを起こす。したがってその表

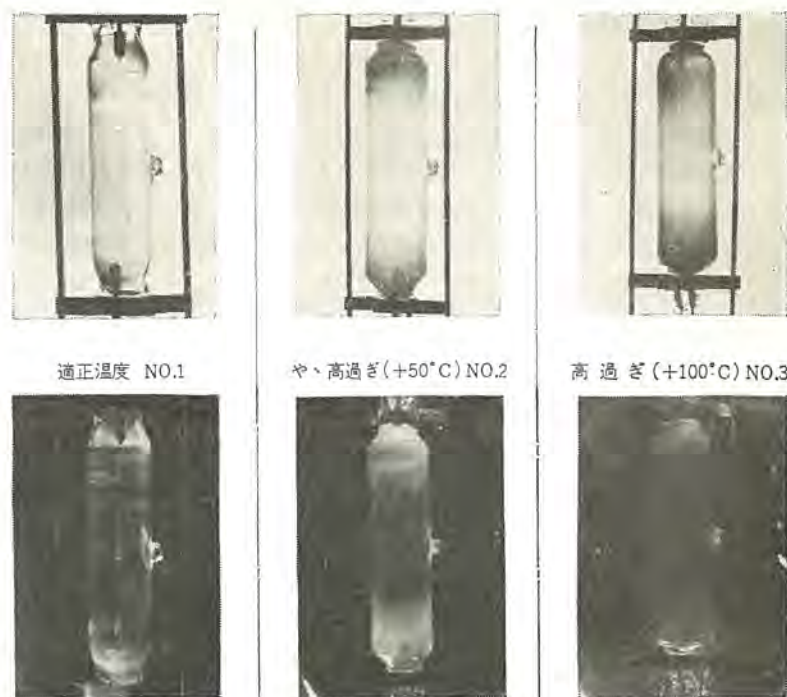


図 4.7 電極温度と飛散物質との関係
Fig. 4.7 Appearances of wall contamination by sputtered materials relation to electrode temperature.

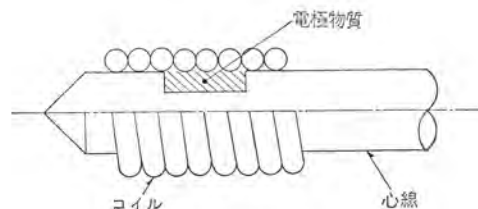


図 4.8 高電流密度用電極
Fig. 4.8 Structure of electrode for high current density.

面をなんらかの方法で保護すれば衝撃による影響をかなり防げるはずである。このような作用をもつ電極構造を種々検討した結果、適当な製造法を用いれば図 4.6 に示すような外コイル形の構造のものが最良であることを確認した。⁽¹¹⁾ この電極では、外コイルの表面に必要なだけの単原子層が徐々に形成され、過剰分の飛散がなく衝撃によるスパッタもきわめて少ない。また電極物質の包蔵場所は外からシールドされているために動作温度による物質飛散も押えられる。さらにこの電極の特色の一つは、始動時のスポットの安定が非常に早いことである。図 4.1 に示した普通の電極では、始動時のスポットは電極表面上を移動し、やがて一点に静止する。しかもこの静止場所は、最初は先端から遠い場所であり、管電圧の上昇とともに徐々に先端部に移行するのが常である。つまりスポットが最終的に安定するまでの間、熱蒸発に加えてイオンや電子の衝撃が大きな影響を与える。これに対し外コイル形電極の場合は、安定なスポットが先端部に短時間のうちに形成される。したがって点滅回数が多くなればなるほど、この電極の優位性が明白となる。この電極においても、前節の臨界温度範囲が保たなければならないことはもちろんである。図 4.3 の C 曲線はこの電極の光束維持率を示している。12,000 時間において 95 % の高率を示している。図 4.7 はこの電極を用いたランプの 6,000 時間点灯後の管壁汚損の状態を電極動作温度と関係づけて示したものである。動作温度が高くなるほど管壁付着物質は白色から黒色へ変わること示している。

4.3 高電流密度用電極

たとえば、超高圧水銀ランプでは水銀蒸気圧が数十気圧にもなるので、アークはしばれ、電極輝点温度は数千度にも達し、電極での電流密度は 10^4 A/cm^2 にもなり、電極損耗機構は熱蒸発がイオンや電子衝撃によるものよりいっそう優先してくる。2章で述べたように、電流が大きくなると陰極降下電圧が小さくなり、イオンによる衝撃よりも、陽極サイクル時での電子流による熱蒸発が問題となる。そこで電極物質についても、その熱蒸発特性がまず検討すべき主対象になる。またスポット直下に電極物質を包蔵する構造は避けるべきことはもちろんである。そこで始動が良く、熱蒸発にも強い電極として、W粒界の内部熱拡散を利用することが最も望ましい。図4.8はこのような電極の一例を示すもので、まずW棒にミジを切り、そこに3章に述べた諸特性を十分考慮した物質を包蔵させ、さらに動作温度が内部熱拡散に最適温度となるように心線径を決定する。この電極では始動は、ミジの部分をおおったコイルの表面に形成された単原子層の作用により、また動作中の放電維持のための電子放射は、内部より熱拡散してくる物質原子の拡散補給に負っている。

5. 応用例

以上、電極動作機構解析、電極物質および電極設計の3項目にわたった検討結果を実際のランプに応用し、これらの寿命特性に対する効果をテストしてみた。

5.1 水銀ランプの動程特性

電極温度分布のあるべき姿、またそれを実現するための電極構造

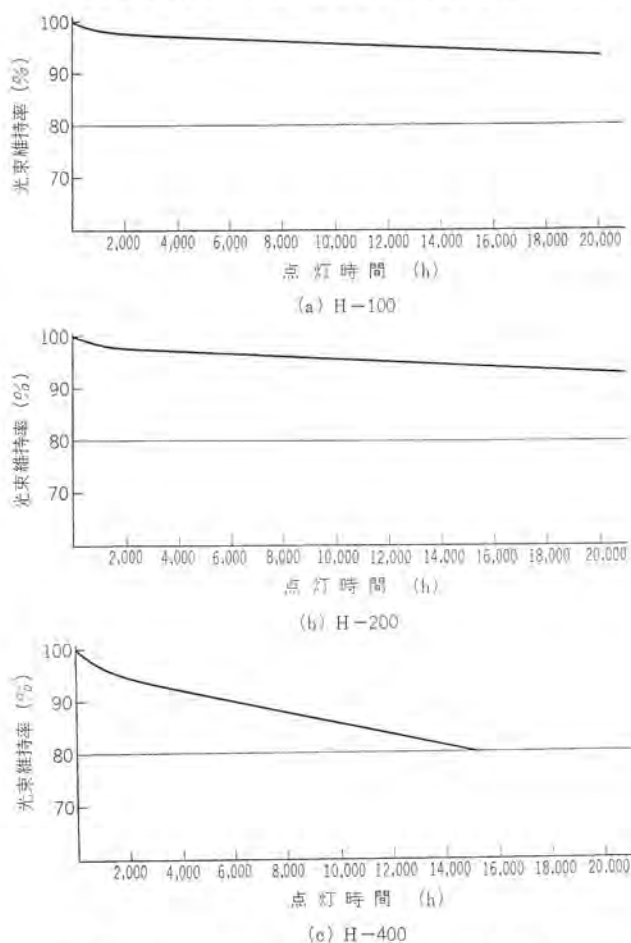


図 5.1 三菱水銀ランプの動程特性
Fig. 5.1 Performance characteristics of Mitsubishi mercury vapour lamps.

造については、4章で詳しく説明した。とくに外コイル形構造のものが電極物質のスputtaをいっそう抑制する効果をもつことを述べた。またこのような構造のタングステン電極に適合する電極物質が組成上からも選択できることを3章で述べた。これらの結果をHタイプの水銀ランプに適用し、寿命試験を行なった。図5.1はH-100、H-200、H-400の各ワットにおける動程特性の一例である。従来のものに比べて、格段の改善効果を示した。とくにH-100、H-200においては20,000時間点灯での光束維持率が90%以上という画期的な成績を得た。またこれらのテストに用いた試験ランプで、そのロット級内、級間変動が非常に小さいことは特筆すべき効果である。さらに大容量のランプの場合は次の機会に報告したい。

5.2 超高圧水銀ランプの開発

超高圧水銀ランプは、小さな管容積の石英バルブ内にとじ込めた数十気圧に達する高い水銀蒸気圧放電での発光を利用した効率のよい点光源である。その分光エネルギー分布はおもに可視部の大きな4本の輝線スペクトルと、紫外部の多くの輝線スペクトルからなる非常に高い輝きをもった点光源として顕微鏡、拡大投影器用光源や紫外線利用点光源用その他広い用途に使用される。

超高圧水銀ランプは、超高圧、高電流密度の放電という動作上の条件から、また構造上、使用上の諸条件の制約によって、高圧水銀ランプに比べてランプ材料のうける条件はとくにきびしい。ことに電極設計がランプ特性を左右する重要な因子となる。そこで前章までに述べた電極設計に対する考え方を、そのまま超高圧水銀ランプの場合にも応用して、このランプの開発に成功した。

5.2.1 構造および定格

超高圧水銀ランプSH-200、SH-500の外観を図5.2に示した。これは始動補助用電極を付けたタイプである。その定格を表5.1にしめす。

5.2.2 動程特性

4.3節に説明した構造の電極を用いた超高圧水銀ランプの動程特性を図5.3に示す。同時比較の他社ランプよりすぐれた特性を得た。一般に放電灯では、点滅点灯の点滅ヒツ度が電極の飛散損

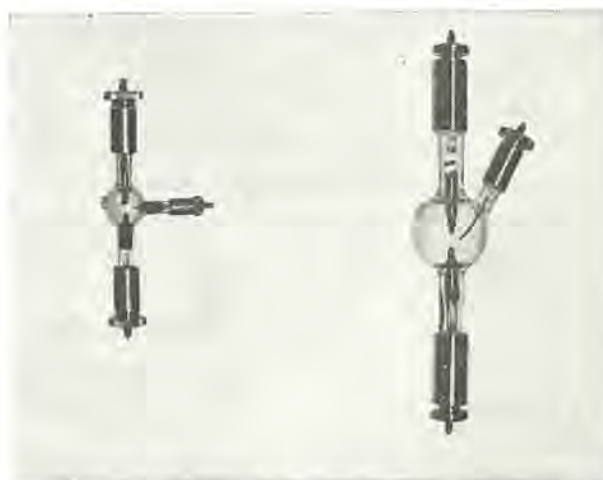


図 5.2 三菱超高圧水銀ランプ
Fig. 5.2 Structure Mitsubishi super high-pressure mercury vapour lamps.

表 5.1 三菱超高圧水銀ランプ定格例

形 式	全 長 (mm)	管 径 (mm)	口金	ランプ 電力 (W)	ランプ 電 圧 (V)	ランプ 電 流 (A)	電極間 距 離 (mm)	初光束 (lm)	輝 度 (cd/cm ²)	点灯 方向
SH 200	83	18	特列	200	57	3.9	3	10,000	30,000	鉛直
SH 500	141	32	*	500	75	7.0	6	30,000	30,000	鉛直

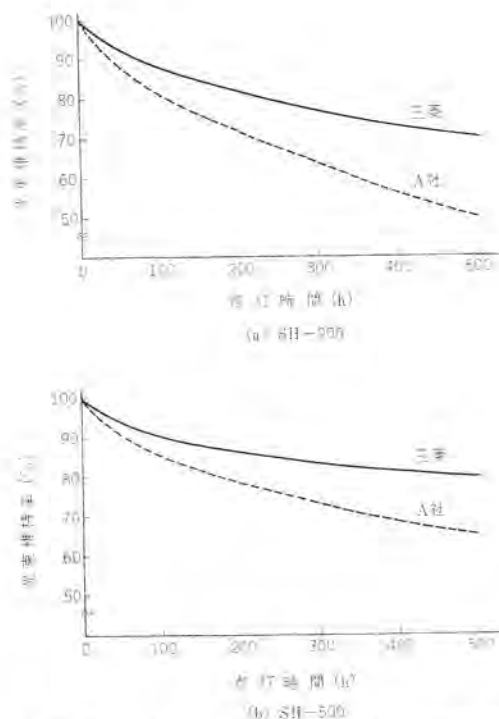


図 5.3 三菱超高压水銀ランプの動程特性
Fig. 5.3 Maintenance characteristics of Mitsubishi super high-pressure mercury vapour lamps.

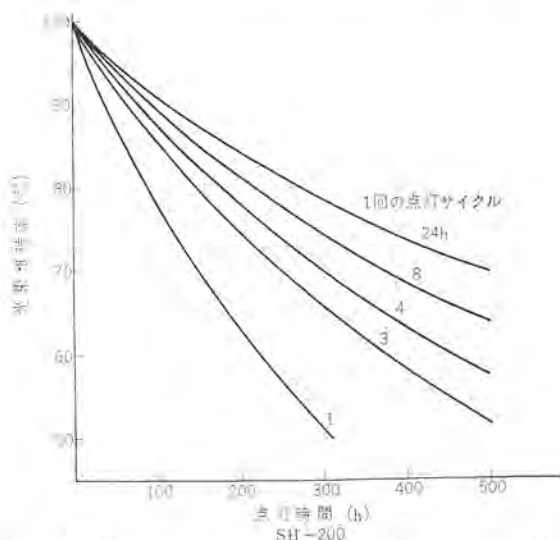


図 5.4 超高压水銀ランプの点滅回数と光束維持率との関係
Fig. 5.4 Relation of frequent starting with lumen maintenance of super high pressure mercury vapour lamp.

耗と関係することが知られているが、超高压水銀ランプのような管容積の小さいショートアークタイプにおいては、とくにその傾向が顕著であり、1回の点滅が2～3時間の連続点灯に相当する損耗を起こす。この関係を図5.4に示した。すなわち、たとえば毎点灯時間が1時間に満たないような使用法では、寿命は半分以下になる。これは超高压水銀ランプの使用に際し注意されるべき点である。

6. む す び

高压水銀ランプの電極の動作機構を解析し、これからランプを長寿命にするための電極設計として、電極材料や構造の上で考慮す

高压水銀ランプの長寿命化のための電極設計・土井・伊藤・加茂部・宮井

べき要素について検討し、それらの成果を実用の水銀ランプや超高压水銀ランプに適用した例を報告した。以上の結果をまとめることとなる。

(1) 陰極の電子放出機構は、熱電子的であり、放電電流の30%前後が電子によって運ばれる。さらに大電流になるほどこの割合が増大し、90%近くまで電子によって運ばれることになる。

(2) モデル実験の場合、両電極で消費されるエネルギーは、ランプ入力70～80%に達する。すなわち陰極で消費されるものは、ランプ入力の50%で、そのうち熱伝導損失がその65～70%、放射損失が25～20%、電子放射に使われるものが5～10%であった。一方陽極で消費されるものは、ランプ入力の20～35%で、そのうち熱伝導損失が80～75%、放射損失が25～20%であった。さらに電流が増大すると陽極消費電力の割合が、陰極のそれより増加していく。

(3) 電子放射率は、ある電流値で飽和するから、その範囲をもって最適動作温度を設定し、この温度が動作中維持されるようなものでなければならない。

(4) したがって電極構造の設計にあたって、(3)項をもとに使用する電極物質の熱蒸発特性を考慮して、電極先端最高温度と物質包蔵場所の最高温度が、臨界温度になるように温度分布を設定する。

(5) タングステン上に塗布した電極物質の熱蒸発特性と、それを使用したランプの光束維持率とは良い対応を示した。

(6) 電極からのスパッタを、光束維持率に悪影響の少ない分子状蒸発の形にすることは、物質組成たとえばBa/Sr比の適当な選択によって可能である。もちろんこの場合でも、動作温度を適切にすべきで、高過ぎると金属性蒸発が多くなる。

(7) 電極構造としては、心線先端長の選定が重要であり、また外コイル形電極は、その製造法が適当であれば、イオンや電子の衝撃、熱蒸発に対して顕著な防止効果をもつ。

(8) 高電流密度用電極としては、物質原子の内部拡散機構を考慮した設計がなされる。

(9) 以上の結果を実用の水銀ランプに応用して、寿命動程特性に画期的な改善が得られた。20,000時間点灯後の光束維持率はなお90%以上という記録的成績である。

(10) またこの結果を応用することにより、超高压水銀ランプの開発にも成功した。

終わりに、この機会をかりて関係者各位に深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) J. E. White : J. Appl. Phys., 31, 1710 (1960)
- (2) M. A. Cayless : Brit. J. Appl. Phys., 8, 331 (1957)
- (3) S. Wagener : The Oxide-Coated Cathode, 2, 103 (1951) London.
- (4) C. J. Chen : J. Appl. Phys., 35, 1130 (1964)
- (5) International Critical Table of Numerical Data, 5, 243 (1929) New York.
- (6) American Institute of Physics Hand-Book, 4-67 (1957) New York.
- (7) W. Elenbaas : The High Pressure Mercury Vapour Discharge, (1951) Amsterdam.
- (8) A. von. Engel : Ionized Gases, 238 (1955) Oxford.
- (9) 深川 : 真空管材料, 113 (昭35) オーム社
- (10) G. H. Metson : Proc. I. E. E., 110, 845 (1963)
- (11) 特許申請中

金属添加物入り水銀灯の特性と問題点

久保 幸正*・竹田 俊幸**・土橋 理博*
三上 竜夫*・若林 正雄*

Characteristics and Problems of Metal Additive Mercury Discharge Lamps

Ofuna Works Yukimasa KUBO・Toshiyuki TAKEDA・Michihiro TSUCHIHASHI
Tatsuo MIKAMI・Masao WAKABAYASHI

Recently it has been tried with success to improve the characteristics of mercury discharge lamps by introducing iodide or bromide of metals into the arc tube. Nevertheless, metal additive lamps still have some problems unsolved, such as gradual increase of starting and operating voltage and poor lumen maintenance; particularly when sodium iodide is added. This article describes these problems and the characteristics together with two kinds of lamps developed by Mitsubishi. One kind is for general lighting use, containing sodium, thallium and indium. In NaI-TlI-InI₃ additive lamps, excess thallium improves the lamp performance by preventing the isolation of iodine, the cause of problem. The other kind contains gallium and is suited for duplicating machine use, because of efficient production of 403, 417 mμ lines of Ga.

1. ま え が き

1901年のCooper Hewitt, 1906年のKüchおよびRetschinskyに始まり、陰極物質、発光管材料および電極封かん方法の発達した1930年代から一般照明用光源として実用化されるに至った高圧水銀灯は、その後確実な進歩を示し、また高圧水銀放電に関する多くの研究と相まって、今日では効率、寿命および調程特性のすぐれたランプが作られるようになり、その用途は広く屋内・屋外・投光照明などの一般照明をはじめとして、複写用・植物育成用・光化学反应用・機械工作用・理科学実験用・集魚用および健康用光源として使われている。とくに最近では庭園灯として、一般家庭にも普及し、ほかに多くの利用価値があり、光源としてゆるぎない地位を保っている。

高圧水銀灯の発達の段階で、まず考えられたことは効率の向上であった。しかし高圧水銀放電に添加物を加えて演色性を改善する試みは、すでに1914年にSteinmetyが種々の金属ヨウ化物を使って行なっていた⁽¹⁾。その後カドミウム・亜鉛・タリウムなどを添加する試みがなされたが⁽²⁾、実用的に多くの問題をかかえたまま未解決のままになっていた。

演色性改善のための努力は、ケイ光体の研究にそそがれ、1950年代になって、演色性の改善されたケイ光高圧水銀灯が実用化した。ランプ製造技術の向上と相まって、今日では高圧水銀灯としては、ほぼ完成された形と性能を備えるに至ったと考えられる。すなわち効率55 lm/W、寿命12,000時間である。

高圧水銀灯をさらにすぐれた光源にするために、最近になって再び高圧水銀放電に金属ハロゲン化物などの添加物を加えて、効率・演色性を改善する研究が活発に行なわれ、数多くの成果が発表されている^{(3)~(20)}。

当社においても、ヨウ化タリウムを添加し、効率を高圧水銀灯の1.5倍にした高出力タリウム水銀灯300 W(H-300-L)、および400 W(H-400-L)をいち早く開発し販売している⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

添加物とし金属ヨウ化物が、とくに広く用いられ、ほとんどすべての金属について研究されているが⁽⁶⁾、中でも照明用光源と

しては、ヨウ化ナトリウム、ヨウ化タリウム、ヨウ化インジウム、ヨウ化リチウム、ヨウ化トリウムおよびヨウ化スカンジウムの中の一つまたは数種の組み合わせが良い結果を得^{(3)~(20)}、複写用光源としては、ヨウ化ガリウム⁽²¹⁾およびヨウ化モリブデニウム⁽²²⁾が良い結果を得ている。また金属ヨウ化物のかわりに、金属臭化物または両者の混合物を封入することも可能である。

TlI-Hgランプの75~80 lm/W、NaI-TlI-Hgランプの90~100 lm/WおよびNaI-TlI-InI₃-Hgランプの60~85 lm/Wという効率の上でも、また演色性についても、高圧水銀灯より一層すぐれたこの種のランプにも、実用化に際して克服しなければならない多くの問題を含んでいる。とくに効率と演色性に対して非常に有効なヨウ化ナトリウムが、添加物の一成分として使われる場合は、高圧水銀灯およびタリウム水銀灯では現われなかった現象が発生し、ランプ特性にマイナスの因子として作用する。

ここでわれわれはその問題点を明らかにし、解決の一方方向を示し、そうして得られたNaI-TlI-InI₃-Tl-Hgランプの諸特性、並びにヨウ化ガリウムを添加して複写効率を、従来の複写用水銀灯の2倍以上にしたGaI₃-Hgランプの諸特性について述べる。

2. 金属ヨウ化物入り水銀灯の問題点

2.1 始動電圧

金属ヨウ化物入り水銀灯においては、発光管内に水銀のほかに金属ヨウ化物を封入するために、本質的に始動電圧が高い。この値は始動機構によっても異なるが、従来の高圧水銀灯と同じ方法で始動させる場合は、始動電圧は約100 V高く、250~300 Vの電圧が必要である。これはおもに添加物が内蔵していた不純ガス、たとえば水分、酸素および窒素などがランプ始動を困難にしていると考えられるが、ランプを消灯したときに電極に付着した添加物もまた始動に悪影響を及ぼしている。したがってランプ製造には細心の注意が必要であると同時に、ランプ排気装置にもきびしい条件が要求される。とくにヨウ化ナトリウム、ヨウ化インジウムおよびヨウ化ガリウムのような吸湿性のある物質を封入する際には、水分を十分に除去する必要がある。



図 2.1 管壁上のヨウ素の結晶
Fig. 2.1 Iodine crystal deposits on the inner wall of the arc tube.

また後述のように、添加物の一成分としてヨウ化ナトリウムが使用される場合は、封入したヨウ化ナトリウムからランツ点灯中発生する遊離ヨウ素は、始動電圧を一層高くするので、ランツ始動を容易にするには、不純ガスを除去すると同時に、点灯中の遊離ヨウ素の発生もまた防がなければならない。

電極に対しても考慮し、ランツ始動に好条件を与える構造にする必要がある。

2.2 遊離ヨウ素の発生

添加物の一成分として、ヨウ化ナトリウムを含む金属ヨウ化物入り水銀灯、たとえば NaI-TII-InI₃-Hg ランツにおいては、ランツ点灯中約 6000°K というアーク中の温度で熱解離し、発光に寄与したヨウ化ナトリウムのナトリウムとヨウ素は、発光管管壁付近で再結合して、もとのヨウ化ナトリウムにもどるが、ごく少量のナトリウムはヨウ素と再結合しないまま、管壁に到達して石英管壁と反応する結果、ヨウ素が徐々に発光管内に遊離してくる。

図 2.1 は NaI-TII-InI₃-Hg ランツを数千時間点灯後、遊離したヨウ素が発光管管壁上に結晶している状態を示す。このように遊離ヨウ素が発生していると、ランツの始動電圧を一層高くするのみならず、次に述べるように、ランツ特性に対して好ましくあらざる現象が生じる。

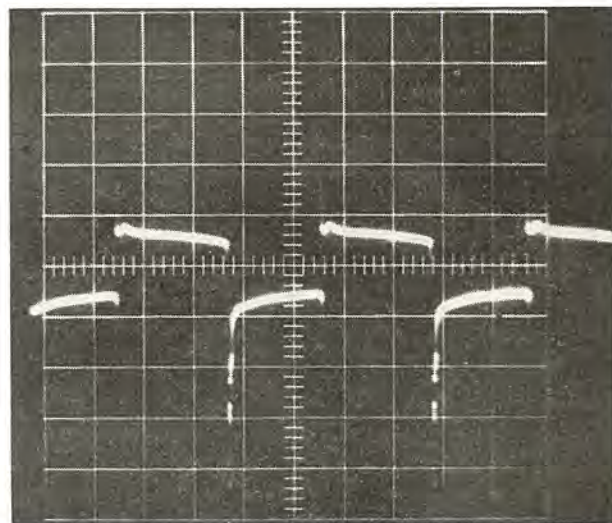
なお同時に封入したヨウ化タリウムおよびヨウ化インジウムは、アーク中で熱解離して、発光に寄与し、管壁付近では再結合してもとの形に戻る。タリウムおよびインジウム原子が、たとえ途中でヨウ素と再結合せずに管壁に到達したとしても、ランツ作動中の温度では、タリウムおよびインジウムは管壁と反応しないので、管壁上でも再結合が行なわれ、完全にもとの形に戻る。

2.3 管電圧の上昇

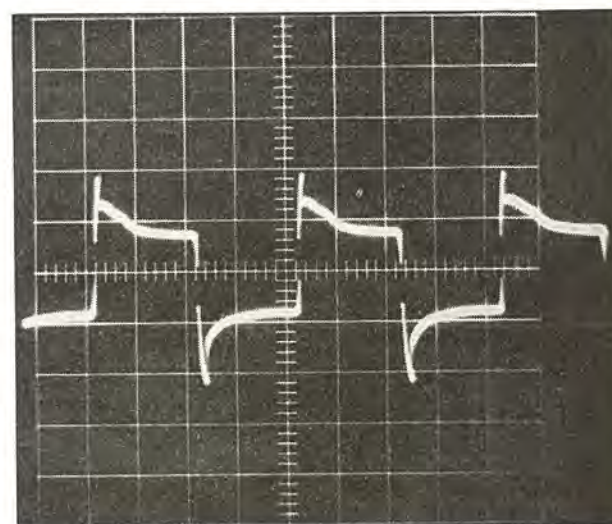
遊離ヨウ素の発生したランツの始動時の管電圧波形を図 2.2 に示す。ランツが始動して、管壁上に付着していたヨウ素が蒸発してくると、ヨウ素の蒸気圧は図 2.3 に示すように、常温でも水銀の蒸気圧の約 100 倍もあり、蒸発速度が速い上に、電子親和力が非常に強いので、電子が付着する結果、電子の電離能力を急速に失われ、アークが急激に細くなり、放電路の導電度が悪くなるために、再点弧に高い電界が必要となり、高いピークが発生する。この値が安定器の二次無負荷電圧を越えると、ランツは立ち消えてしまう。

十分に不純ガスが取り除かれ、しかも遊離ヨウ素の発生していないランツでは、図 2.2 に示されているような管電圧に高いピークは現われず、アークが細くなる現象も生ぜず、したがってランツ立ち消えは起らない。

ただし蒸気圧の非常に高いヨウ化物、たとえばヨウ化ガリウムの



(a) 始動 15 秒後



(b) 始動 30 秒後 1 目盛 50 V

図 2.2 ランツ始動時の管電圧波形
Fig. 2.2 Lamp voltage wave forms.

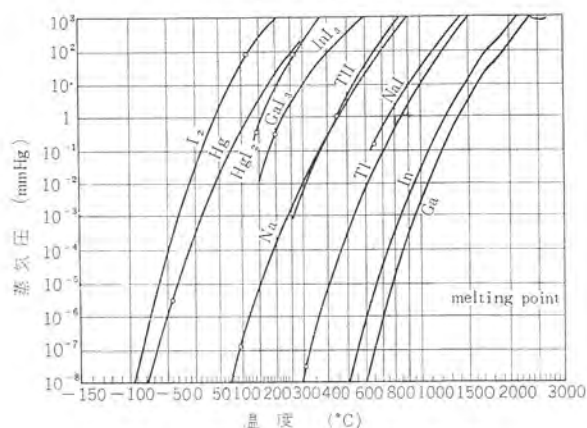


図 2.3 添加物の蒸気圧
Fig. 2.3 Vapour pressure of additive materials.

ような添加物が用いられる場合は、遊離ヨウ素が存在しなくても、ランツ始動時に、遊離ヨウ素が存在する場合と同じような管電圧の高いピークが発生する。とくに管長の長いランツにおいてはその傾向が著しいので、非常に高い二次無負荷電圧が必要となるが、しかしこの場合は、添加物封入量および封入アルゴン圧を適当に選ぶことにより、実用上さしさわりのない程度にすることは可能である。

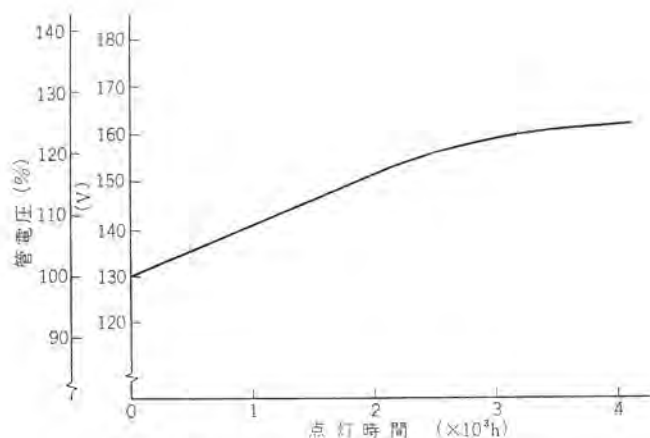


図 2.4 点灯時間と管電圧
Fig. 2.4 Burning hours vs. lamp operating voltage.

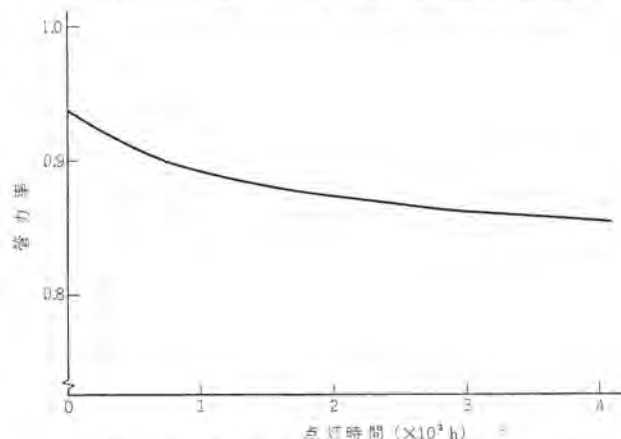


図 2.5 点灯時間と管力率
Fig. 2.5 Burning hours vs. lamp power factor.

さらに高圧水銀灯、ナトリウム水銀灯および $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプにおいては、点灯中管電圧（動作電圧の実効値）の顕著な上昇は見られないが、とくに添加物の一成分としてヨウ化ナトリウムを含むヨウ化物入り水銀灯、たとえば $\text{NaI-TII-InI}_3\text{-Hg}$ ランプにおいては、上述のように点灯中遊離ヨウ素が発生するために、図 2.4 に示すように、点灯中管電圧の可成り急激な上昇が観察される。

一般に高圧水銀放電の陽光柱電位傾度は次式で表わすことができる。

$$E \propto I(bd)^{-2} T^{-1/4} n_a^{1/3} \exp [(eV_i/2kT)] \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで E は陽光柱電位傾度・ I は管電流・ bd はアークの幅・ d は管径・ T はアークの温度・ n_a は原子密度・ e は電気素量・ V_i は原子の電離電圧・ k は Boltzmann 定数をそれぞれ表わす。

今点灯中徐々に遊離ヨウ素が発生してくる状態を考えて見ると、管電流 I とアークの温度 T は一定とし、また水銀とヨウ素の電離電圧 V_i は 10.4 eV で同じであり、原子密度 n_a は水銀とヨウ素との原子密度の和であると考えられるので、遊離ヨウ素がごく少量しか発生していないときは、アークの幅 bd は変わらないので、原子密度 n_a が増加した分だけ電位傾度 E がふえるが、ある程度遊離ヨウ素が増加すると、アークの幅 bd もまた電位傾度を上昇させる方向に作用するので、ますます電位傾度が大きくなり、したがって管電圧が上昇する。

管電圧があまり上昇して、安定器の二次無負荷電圧に近づいてくると、ランプ点灯中の立消え現象が発生する。二次無負荷電圧が 200 V の安定器の場合は、管電圧が 150~160 V に上昇すると立消えが起これ、最早ランプ点灯は不可能となってしまう。

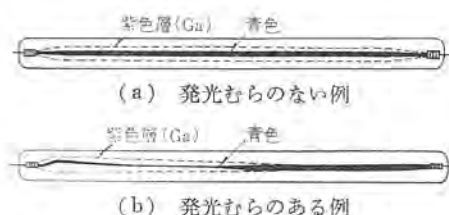


図 2.6 アークの状態
Fig. 2.6 Example of (a) uniform and (b) ununiform arc configuration.



図 2.7 アークの状態（水平点灯）
Fig. 2.7 Arc configuration of metal-additive mercury discharge lamp (horizontal burning).

遊離ヨウ素発生のために管電圧が上昇するにしたがい、管電圧の波高率も徐々に大きくなり、図 2.5 に示すように、管力率が悪くなってゆく。これが光出力に悪影響をおよぼすことは言うまでもないことである。

2.4 アークのゆれ

点灯中遊離ヨウ素が発生し、ある程度の量になると、2.3 節で述べたように、アークが細くなり、かつ発光管内ガス対流が乱れる結果、アークがゆらゆらゆれるという現象が起こる。遊離ヨウ素の発生量が少ない間はほとんどわからないが、点灯時間が長くなり、遊離ヨウ素の量が多くなってくると、徐々にゆれも大きくなる。アークがゆれると、光出力と管電圧も同時に変動して、実用上誠に好ましくない現象が起こる。

2.5 発光むら

一般に励起電圧や電離電圧が異なる二種以上の元素が混入しているときには、管軸に沿う封入元素の密度分布およびラズマの温度分布が不均一になりやすいために、管軸に沿うアークの発光が不均一になることがあり、これを発光むらと言う。とくに放電路の長いランプでは、図 2.6 (b) に示されているように、管軸に沿ってアークの発光むらができやすい。複写用ランプにおいては、発光むらが直接複写むらの原因となるので、複写用添加物入り水銀灯では、添加物封入量および発光管構造などを検討して、発光むらができないように工夫しなければならない。

2.6 水平点灯時の光出力の減少と光色の変化

高圧水銀灯を水平点灯すると、アーク部分とアーク周辺部分のガス密度の相違により、図 2.7 に示すようにアークが管軸から上方に浮いてしまうために、光出力が垂直点灯の場合と比較して数パーセント減少することは知られている。添加物入り高圧水銀灯の場合は、この減少率が大きく、高圧水銀灯の約 2 倍に及ぶ⁽¹⁷⁾。これは水平点灯したために、発光管最冷部の温度が下がり、発光管内に封入されている添加物の蒸気密度が減少することがおもな原因になっている。またランプ光色の変化も観察される。

しかし後述のように、磁石を用いて浮いたアークを管軸に戻すことにより、水平点灯時の光出力の減少を防ぐことができる⁽²⁵⁾。

2.7 働程特性

図 2.8 に数種の 400 W 金属ヨウ化物入り高圧水銀灯の働程特性を、従来の高圧水銀灯 H-400、ナトリウム水銀灯 H-400-L と比較

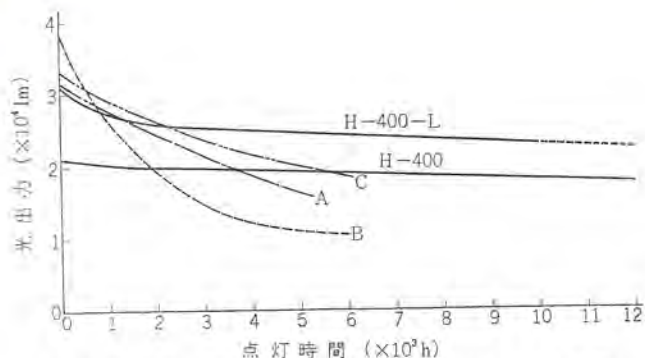


図 2.8 高圧水銀灯と種々の金属ヨウ化物入り高圧水銀灯の働特性
Fig. 2.8 Maintenance of high pressure mercury discharge lamps various metal-additive mercury dscharge lamps.

して示す。図中Aは外国A社の NaI-TII-InI₃-Hg ランプであり、Bは外国B社の NaI-TII-Hg ランプであり、Cはわれわれが開発した NaI-TII-InI₃-Tl-Hg ランプである。これから分るように、金属ヨウ化物入り高圧水銀灯の働特性は、高圧水銀灯およびタリウム水銀灯に比較して悪い。

金属ヨウ化物入り高圧水銀灯を長時間点灯すると、発光管管壁がよごれてきて透過率が低下してくるので、これが光出力低下の主原因となる。このことに対して、添加物中に含まれている不純物および不純ガスが大きな役割を演ずると考えられるので、できるだけ純粋な形で封入することが肝要である。

以上のように、金属ヨウ化物入り高圧水銀灯に生ずる問題は、その主原因が遊離ヨウ素および添加物と同時に発光管内に封入される不純物にある。

次に上記の問題点を一応解決して得られた NaI-TII-InI₃-Tl-Hg ランプの諸特性について述べる。

3. NaI-TII-InI₃-Tl-Hg ランプの特性

3.1 添加物封入条件

2.2 節で述べたように、添加物の一成分としてヨウ化ナトリウムを含む代表的な金属ヨウ化物入り高圧水銀灯、たとえば NaI-TII-Hg ランプおよび NaI-TII-InI₃-Hg ランプなどにおいては、ランプ点灯中遊離ヨウ素が発生して、ランプ特性に様々な悪影響を及ぼすが、この点灯中発生する遊離ヨウ素を除去するために、金属タリウムを他の添加物といっしょに発光管内に封入するとよい。

すなわち NaI-TII-Tl-Hg または NaI-TII-InI₃-Tl-Hg の形で添加物を封入すれば、遊離ヨウ素が発生してもタリウムと反応してヨウ化タリウムになり、ランプ特性への悪影響は除去される。

ただ染色性の点において、NaI-TII-InI₃-Tl-Hg ランプは NaI-TII-Tl-Hg ランプよりすぐれているので、以下 NaI-TII-InI₃-Tl-Hg ランプについて述べる。

NaI-TII-InI₃-Tl-Hg ランプを作るに際し、ヨウ化インジウムは空気中で不安定であり、水分などの不純ガスを内蔵していて、ランプ始動に悪影響をおよぼすことになるので、金属インジウムとヨウ化水銀とをいっしょに添加して、発光管内で反応させてヨウ化インジウムにする。すなわち図 3.1 に示すように、NaI-TII-In-HgI₂-Tl-Hg の形で、発光管内に添加物を、始動補助ガスであるアルゴン約 20 mmHg とともに封入する。ヨウ化ナトリウムとヨウ化タリウムは過剰に、水銀は定められた管電圧を得るのに必要量を、タリウムとインジウムおよびヨウ化水銀は、沃化したインジウムが完全にヨウ化インジウムになるのに必要なヨウ素を、ヨウ化水銀の形で添加し、

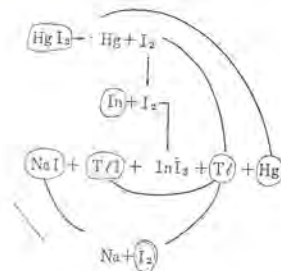


図 3.1 添加物の組成
Fig. 3.1 Constituents of additive materials.

添加したヨウ化水銀のヨウ素が、インジウムではなく、タリウムと反応してヨウ化タリウムになったとしても、そのために十分なタリウムを添加し、さらにランプ点灯中ヨウ化ナトリウムから発生する遊離ヨウ素と反応してヨウ化タリウムになるのに十分なタリウムを封入しておくことにより、点灯中発生する遊離ヨウ素を完全に除去することができる。したがって遊離ヨウ素が原因となるランプ特性への様々の悪影響を取り除くことができる。

3.2 発光原理と添加金属タリウムの働き

石英発光管内に、アルゴン約 20 mmHg、定められた管電圧を得るのに必要な不飽和量の水銀と共に封入されたヨウ化ナトリウム、ヨウ化タリウム、ヨウ化インジウムおよびタリウムは、管内最冷点の温度により、図 2.3 に示されている蒸気圧曲線にしたがって蒸発し、水銀の対流に乗って管内を浮遊する。約 6,000°K という水銀アークの中にはいると、おもにヨウ化ナトリウム、ヨウ化タリウムおよびヨウ化インジウムは各々熱解離して、分子の形から原子になり、そこで熱励起されて発光する。ナトリウム、タリウムおよびインジウムのエネルギー準位を示した図 3.2~3.4 からわかるように、ナトリウムはおもに 2.1 eV に励起されて、いわゆる D 線 (589.0/9.6 mμ) を放射

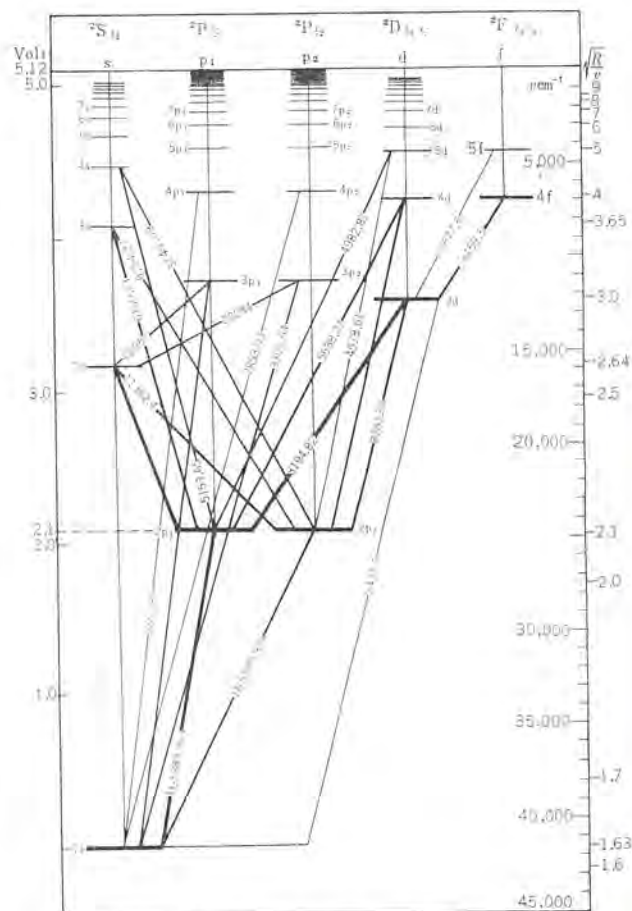
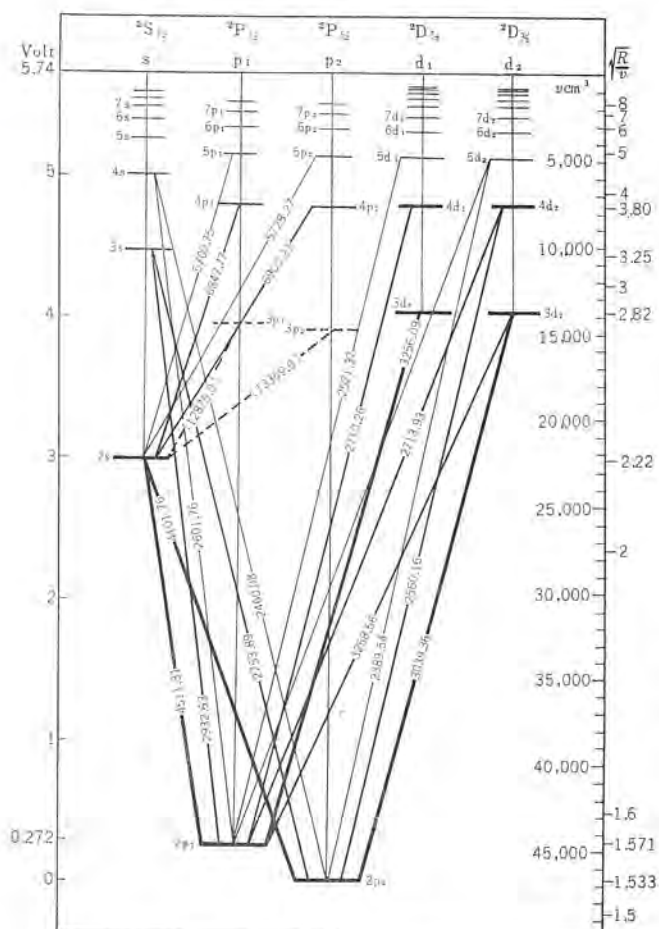
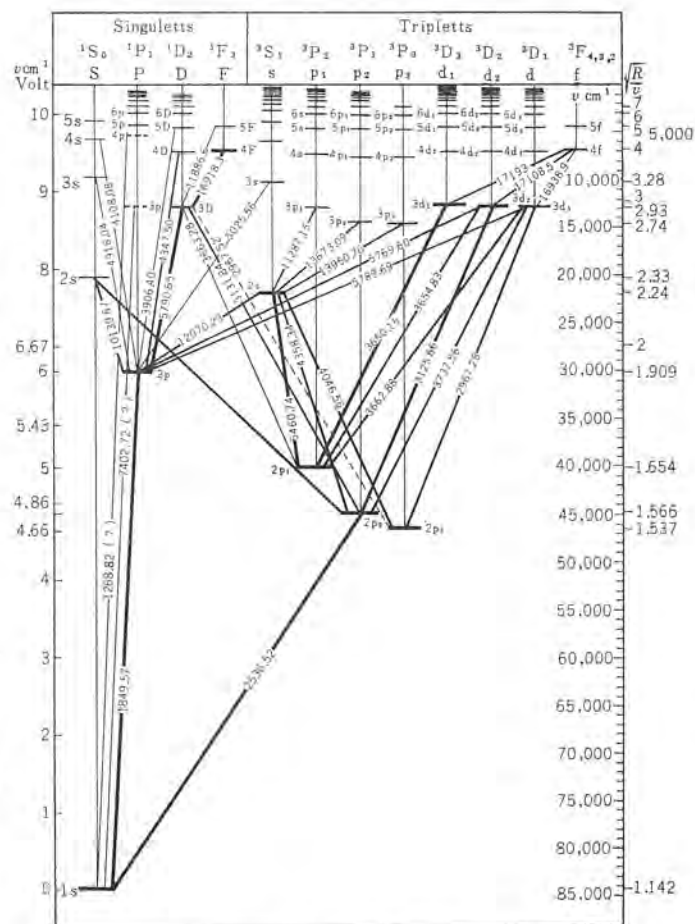
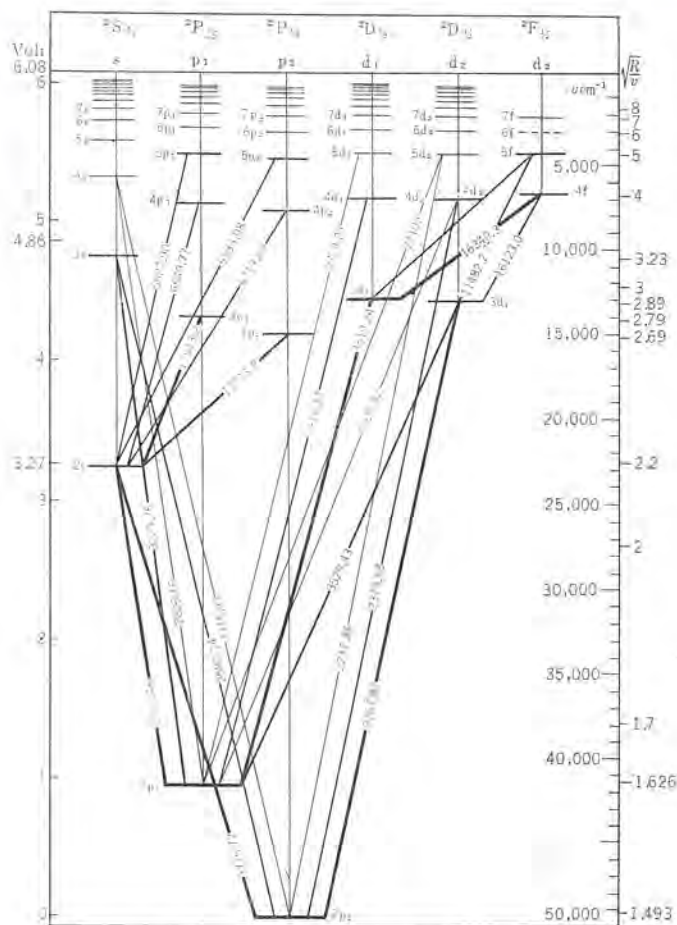


図 3.2 ナトリウムのエネルギー準位図
Fig. 3.2 Energy diagram of sodium atom.



し、ナトリウムは 3.27 eV に励起されて、波長 589 nm の黄線を放射し、また水素は 3.01 eV に励起されて、波長 410.1 nm の紫線と 451.1 nm の青線を放射する。

アークの外側の発光管管壁付近では、アーク中で熱解離したヨウ化物が再結合してもとの分子に戻る。大部分の原子は管壁に到達する前にヨウ素と再結合を完了するが、管壁まで到達するごく少数の原子もあると考えられる。そのうちナトリウムとインジウムは管壁上でも再結合して各々もとの形に戻るが、ナトリウムは管壁に到達すると、すみやかに石英と反応してしまうので、その反応の相手であったヨウ素が遊離してしまう。単位時間内に管壁に到達してそこで反応するナトリウム原子の量は非常に少なく、ほとんど無視できるほどの量であっても、数千時間という長時間の点灯をしているうちに、きわめて徐々ではあるが、遊離ヨウ素が発生し続け、それにしがって徐々にラング特性に悪い影響をおよぼすようになる。

この発生した遊離ヨウ素を捕獲する目的で、金属タリウムを添加すると、発生した遊離ヨウ素はすみやかにタリウムと反応してヨウ化タリウムになる。ヨウ化タリウムはもともと過剰に封入されているので、遊離ヨウ素が発生してヨウ化タリウムになった分だけふえたとしても、ラジ特性にはなんら悪影響をおよぼさない。

以上のように、 $\text{NaI-TlI-InI}_3\text{-Tl-Hg}$ という添加物組成を使うことにより、添加物の一成分としてヨウ化ナトリウムを含む金属ヨウ化物入り高圧水銀灯においても、ランウ点灯中遊離ヨウ素発生による様々な問題を解決することが可能である。

3.3 添加物封入量と光出力の関係

3.1節で述べた条件に従って、金属タリウムを添加した場合、すなわち $\text{NaI-TlI-In-HgI}_2\text{-Tl-Hg}$ という組成で添加物を封入した

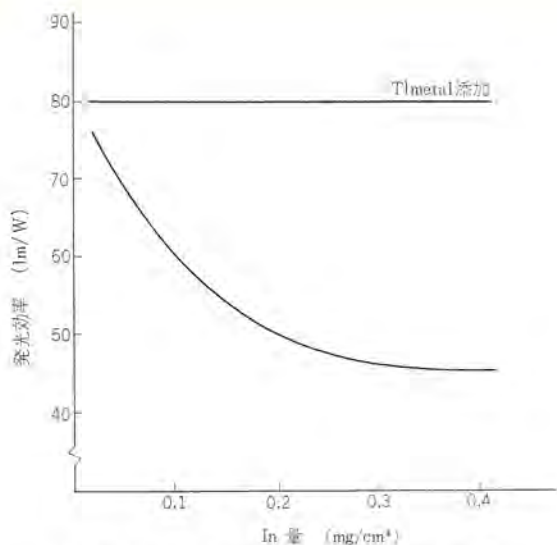


図 3.6 添加物封入量と発光効率
Fig. 3.6 Amount of indium vs. luminous efficiency.

場合と、金属タリウムを添加しない場合、すなわち NaI-TlI-In-HgI₂-Hg という組成で添加物を封入した場合のインジウム添加量と効率との関係を図 3.6 に示す。

このときの管特性および発光管の構造は次のとおりである。

管電力	400 W
管電圧	130 V
管電流	3.3 A
管径	22 mm
電極間距離	58 mm

発光管保温体（エンドキャップ）なし

図 3.6 は発光管保温体（エンドキャップ）（後述）が取り付けられていない場合であるが、図 3.12 で示すように、エンドキャップを発光管の両端に取り付けると効率は数パーセント上がる。

図 3.6 からわかるように、タリウムを添加した場合は、インジウムの添加量にかかわらず、効率は一定である。タリウムを添加しない場合は、インジウムの添加量がふえるにつれて効率は減少する。これはインジウム添加量がふえるにしたがって、ヨウ化インジウムの蒸気圧は非常に高いということと、インジウムの励起電圧は図 3.4 からわかるように、3.01 eV と低いことから、インジウムの 410.1 mμ と 451.1 mμ 線の放射が強くなり、410.1 mμ と 451.1 mμ 線の視感度は、タリウム線 535 mμ の 0.9155 およびナトリウム線 589.9/9.6 mμ の 0.7619 に比べ、各々 0.0012, 0.0399 ときわめて低いことが、インジウム添加量がふえるにしたがって、効率が減少するおもな原因である。一方金属タリウムを添加した場合は、点灯中の発光管内の条件では、添加物相互間の化学平衡が、ヨウ化インジウムに限られた量だけ生成する所であり立つらしく、発光管内で浮遊して発光に寄与するインジウムの量は、限られた一定量になる結果、インジウムの放射が一定になる。ほかの条件が一定であるので、効率がインジウムの添加量にかかわらず一定になると考えられる。

NaI-TlI-In-HgI₂-Hg 組成、すなわち NaI-TlI-InI₃-Hg 組成では、ヨウ化インジウム量の変化が直接効率に大きな影響をおよぼすので、ヨウ化インジウムの量はきわめて正確に封入しなければならない。しかし NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg 組成、すなわち NaI-TlI-In-HgI₂-Tl-Hg 組成では、インジウム量の多少にかかわらず、発光管内の条件でおのずから発光に寄与するインジウムの量が定まって

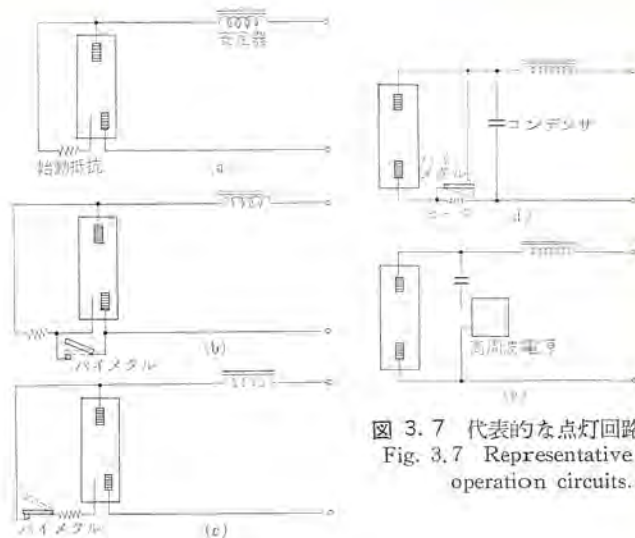


図 3.7 代表的な点灯回路
Fig. 3.7 Representative operation circuits.

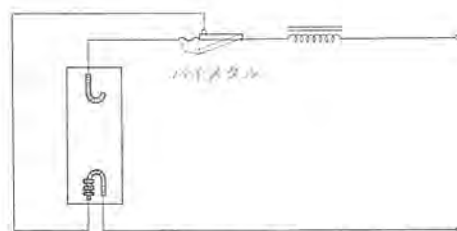


図 3.8 NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの点灯回路
Fig. 3.8 Operation circuit of NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg lamp.

しまうので、添加量がかかなりバラツキでも、ランプの効率および光色は一定に保たれるというランプ製造にきわめて便利な条件が生ずることになる。

3.4 ランプ点灯回路

ランプ点灯回路は普通の高圧水銀灯に準ずるが、先に述べたように、一般に添加物入り水銀ランプの始動電圧は高いので特別な工夫を必要とする。

図 3.7 に代表的な点灯回路を示し、図 3.8 には NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの点灯回路を示す。

図 3.7 (a) は始動抵抗を備えた一般の高圧水銀灯に用いられている点灯回路である。もちろん金属ヨウ化物入り高圧水銀灯に対しても使用可能である。しかしこの回路を金属ヨウ化物入り高圧水銀灯に用いると、ランプ点灯中主電極とそれに隣接する補助電極の間を、管壁に付着している添加物を介して、直流電流が流れ、その電解作用により、とくにモリブデンはくが浸食され、ランプの寿命を短くする。この欠点を補うために、(b) に示すように、点灯中主電極と補助電極の間をバイメタルを用いて接続しておく方法が採られる⁽⁴⁾。あるいは(c)に示すように、点灯中バイメタルを用いて、補助電極を電氣的に切り離す方法なども用いられる。(d) は補助電極を使用しないことにより、上記の欠点を取り除き、そのためにランプ始動が困難になった分を、バイメタルを用いてサージを発生させると同時に、コンデンサの放電を利用してランプを始動させ点灯する回路を示す⁽¹⁸⁾。(e) は(d)と同じく補助電極を使用せず、高周波を用いて始動させる回路を示す⁽¹⁸⁾。

図 3.8 は今回われわれが採用した点灯回路である⁽²³⁾⁽²⁴⁾。主電極に接続した補助電極コイル（図 3.10 参照）を備え、補助電極を予熱して始動しやすい状態にしておいて、電流による自己加熱によって、バイメタルスイッチを熱応動させ、そのときに発生する大きなサージ電圧（図 3.13 参照）で始動させる点灯回路である。この方法

を用いると、始動電圧を効果的に下げることができる上に、ランプ構造は比較的簡単である。またバイメタルスイッチは電流による自己加熱により熱応動する構造になっているので、ランプ始動時、安定時共に、図 3.7 (d) に示すようなヒーターによってバイメタルスイッチを作動させる必要がないので、ランプ製造上都合がよい。

3.5 ランプの構造

3.5.1 バイメタルスイッチ

図 3.9 に マッチ棒と比較して NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプのバイメタルスイッチを示す。

3.5.2 電極

今回われわれが用いた電極を図 3.10 に示す。補助極ヒーターを備えた予熱形の電極を用いると、ランプ始動電圧を効果的に下げることができるが、始動時に、補助極 コイル 上に アークスポットができて、かつ補助極 コイル 上にできたアークスポットは、主電極の先端に移動しにくい、補助極ヒーターの構造および主電極の構造と補助極ヒーターとの位置関係を検討した結果、図 3.10 のような電極構造にすると、始動時に補助極ヒーターにできたアークスポットは、速やかに主電極先端に移動するので、ランプ始動時の電極からのスパッタが少なくなるとともに、ランプ安定性の上からも、他の諸特性にも良い影響を与えることがわかった。

3.5.3 電子放射性物質

電極に付加する電子放射性物質として、酸化物は使えないので、金属トリウムを使うことが望ましい。NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプでは、補助極コイルを予熱してランプ始動を行なうので、トリウムを使わなくとも十分低い電圧でランプ始動は可能である。トリウムはその処理方法およびランプ製造方法により、容易に水素を吸収したり、酸化物に変わってしまうので、ランプ始動に対して悪い影響をおよぼすこともあるので、処理およびランプ製造には十分注意をはらう必要がある。

3.5.4 ランプの構造

図 3.11 に NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの外観を示し、図 3.12 にその構造を示す。既定量のアルゴン、水銀および添加物を含む石英発光管は、硬質ガラス製の外管内に、支持わくによって固定されている。外管内は高真空中に排気され、さらにゲッターによりその高真空を維持して、対流による熱損失を少なくし、発光管の温度を上げ、添加物の蒸気圧を高くし、効率を上げる構造にしている。また発光管の両端には、保温用石英ウールおよびニッケル板が取り付けられていて、発光管の温度を一層高くするのに役立っている。バイメタルスイッチは発光管と外管のステムとの間の空間に配置されている。ランプ始動前には、バイメタルスイッチの接点は接触状態にある。



図 3.9 バイメタルスイッチ
Fig. 3.9 Bimetal switch.



図 3.10 電極
Fig. 3.10 Electrode of NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg lamp.



図 3.11 NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの外観
Fig. 3.11 Structure of a NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg lamp.

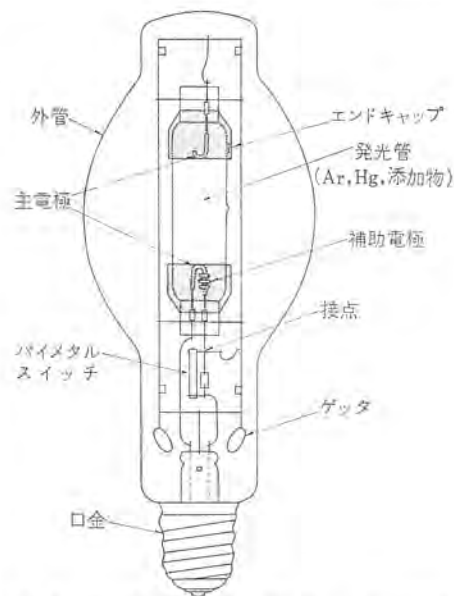


図 3.12 NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの構造
Fig. 3.12 Construction of a NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg lamp.

3.6 始動機構および再始動

図 3.12 において、口金を介してランプを安定器に接続すると、まず安定器の短絡電流に近い電流が、ペース主電極-補助電極-バイメタルスイッチの接点-バイメタルペースの閉回路を流れる。この電流により補助極ヒーターが予熱されて始動しやすい状態になると同時に、バイメタルも電流により加熱される。バイメタルが自己加熱して熱応動し、5~10秒後にバイメタルスイッチの接点が開く。この接点が開くときに発生する図 3.13 に示すような数千Vのサージ電圧によって、主電極間の放電が開始する。放電が開始すると、バイメタルは電流による自己加熱によって、熱応動し続け、ランプ点灯中はバイメタルスイッチの接点は開いた状態が保たれている。

ランプが消灯して約10分経過後に、バイメタルスイッチの接点がもとの接触状態に戻るよう設定するのが良い。あまり早く戻ると、ランプ再始動の場合、ランプが十分冷えて始動可能な状態になる前に、バイメタルスイッチが作動する結果、再始動を失敗することがある。NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプでは、約10分でバイメタルスイッチの接点が復帰するように設定されている。すなわちランプ再始動時間は10分間である。

一般の高圧水銀灯では、外管内に窒素ガスが封入されているので、ランプを消灯した際に、発光管が冷えやすいが、NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの外管内は高真空中に保たれているので、発光管が冷えにくく、そのために再始動時間が高圧水銀灯の2倍以上必要となるのである。

3.7 始動電圧

ランプ始動電圧は点灯方式によって異なる。たとえば図 3.7 (a) の回路を用いて、金属ヨウ化物入り高圧水銀灯を点灯すると、高圧水銀灯を点灯する場合より約100V高く、250~300Vである。したがって使用安定器の二次無負荷電圧を高くする必要がある。また図 3.7 (d) の場合は、安定器は一般高圧水銀灯用のものが使えるが、ランプ始動のための高周波発生装置が別に必要である。

図 3.8 で示す点灯回路を用いると、補助極を予熱しておいて、高いサージ電圧により始動させるので、金属ヨウ化物入り高圧水銀灯でも、大体160~170Vで始動する。したがって一般高圧水

銀灯用安定器がそのまま使える。すなわち高圧水銀灯と互換性があるので、きわめて都合がよい。

また改良したバイメタルスイッチを用いて、図 3. 8 のように補加極ヒーターを片方の電極のみに備えるのではなく、両方の電極に取り付けて、両方の補加極を予熱できるようにしてランプを点灯する場合は、ランプ始動に対してますます有利な条件となり、金属ヨウ化物入り高圧水銀灯でも、130~140 V 程度の電圧で始動する。

ランプ始動時に、電極を予熱するので、電極上に付着している添加物を蒸発させて、始動により状態にする上に、補加極ヒーター予熱時の放射熱により、発光管内の水銀が蒸発するので、とくに低温時における始動に際しても、一般高圧水銀灯程始動に対して不利な状況は生じない。

3. 8 初特性

表 3. 1 に NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの初特性を示す。電気的特性は高圧水銀灯と同じであるが、効率は 82.5 lm/W で、高圧水銀灯の 1.5 倍の明るさである。

3. 9 分光エネルギー分布

400 W NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの分光エネルギー分布を図 3. 14 に示す。おもなスペクトルの波長は、In の 410.1, 451.1 mμ, タリウムの 535 mμ, およびナトリウムの 589.0/9.6 mμ であるが、このほかに、図 3. 5 に示すように水銀の励起電圧は、インジウム、タリウムおよびナトリウムのそれに比べて高いので、強い放射ではないが、水銀のスペクトル、赤のスペクトルおよび連続スペクトルが加わって、演色性を良好にしている。

3. 10 色度点

図 3. 15 に NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの色度点を、タリウム水

表 3. 1 NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの初特性

形 名	NaI-TlI-InI ₃ -Tl-Hg ランプ
管 電 力	400 W
定 格 電 圧	200 V
管 電 圧	130 V
管 電 流	3.3 A
光 束	33,000 lm
効 率	82.5 lm/W
管 径	22 mm
電 極 間 距 離	58 mm

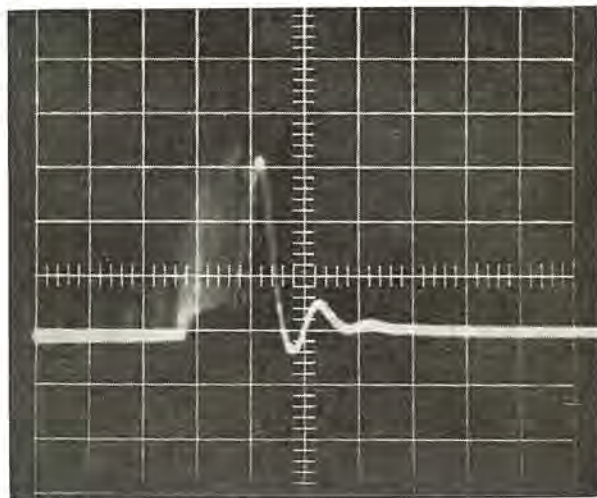


図 3. 13 バイメタルスイッチの作動時に発生するサージ電圧 (一目盛 2,000 V)

Fig. 3.13 Surge voltage waveform, when a bimetal switch operated 2,000 V/div.

銀灯 H-400-L, 高圧水銀灯 H-400, NaI-TlI-Hg ランプおよび NaI-TlI-InI₃-Hg ランプと比較して示す。NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプは、NaI-TlI-Hg ランプと NaI-TlI-InI₃-Hg ランプのちょうど中間的な色度点を持ち、光色を持つ ランプであることが分る。

3. 11 働程特性

この号の「高圧水銀ランプの長寿命化のための電極設計」の項で述べられているように、高圧水銀灯の働程特性は著しく向上し、12,000 時間の点灯時間で 95 % (H-100, H-200) にもおよんでいるが、NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの働程特性は、図 2. 8 に示されているように、高圧水銀灯に比べ、現状ではよくない。

ランプ製造条件、とくに電極処理および添加物精製封入方法によって、働程特性およびその他の諸特性もかなり影響を受け、バラツキもあるが、図 2. 8 で示されている曲線よりもかなり良い結果も得られつつあるので、将来は働程特性の上でも、高圧水銀灯に徐々に近づいてゆくと考えられる。

4. アークの矯正

高圧水銀灯および金属ヨウ化物入り高圧水銀灯を水平点灯すると、2. 6 節で述べた理由により、図 2. 7 に示すように、アークが

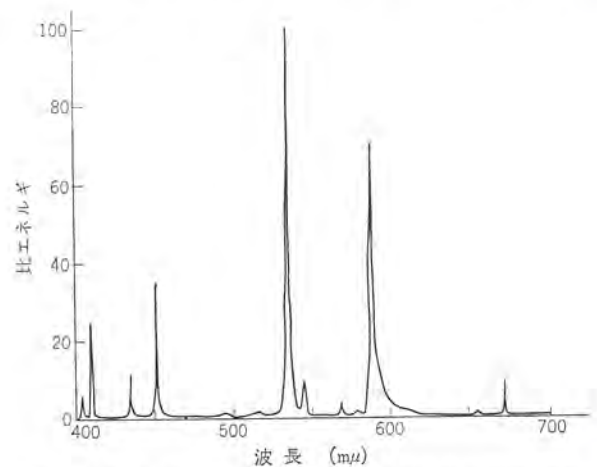


図 3. 14 NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg ランプの分光エネルギー分布
Fig. 3.14 Relative spectral energy distribution of NaI-TlI-InI₃-Tl-Hg lamp (400 W).

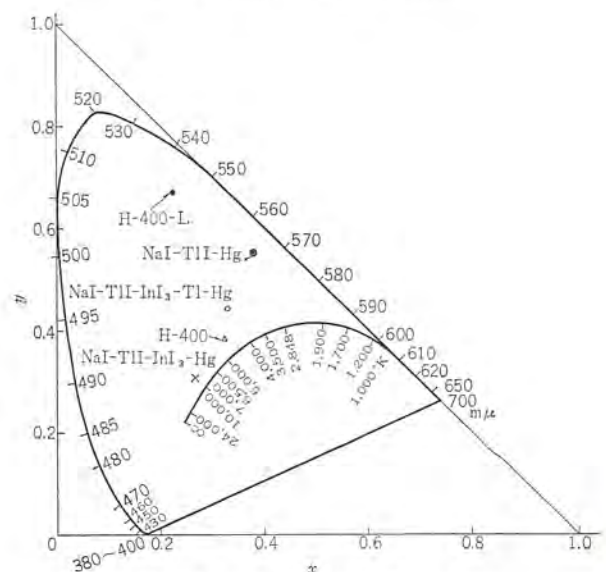


図 3. 15 色度点 (C. I. E. 色度図)
Fig. 3.15 Chromaticity points of various lamps on C. I. E. chromaticity diagram.

管軸より上方に浮き、ランプ効率を低下せしめるが、アークに直角に磁界を作用させ、Flemingの左手の法則によって、図4.1に示すように、浮いたアークを管軸に引き戻すことにより、効率の低下を防ぐことができる。

実用的には、電磁石を用い、かつランプを交流点灯することになるから、発光管を流れる電流の方向と、電磁石による磁界の方向を、常にアークが下向きの力を受けるように設定しなければならない。逆にするとアークは一層上方に押し上げられてしまうので、ランプと電磁石との結線には注意を要する。

アークを矯正するのに必要な磁石の発光管中心部における磁束密度 B は次式で表わすことができる。

$$B = 1.25M / (l_a I_L) \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで B は磁束密度(G)、 M は封入水銀量(mg)、 l_a は電極間距離(cm)および I_L は管電流(A)である。たとえば400W NaI-Tl-InI₃-Tl-Hgランプの場合は8.5Gが必要である。

図4.2はソケットに取り付けられた、アーク矯正用磁石を示す。この磁石を図4.3のように、ランプと直列に接続し、アークが下向きの力を受けるように極性を合わせると、ランプ安定点灯中のアークの軸は、水平点灯時においても、管軸と一致する。図4.1はこの状態を示している。

ランプ安定点灯中のアーク矯正用磁石のインピーダンスは、0.7~0.8Ω程度であるから、ランプの電気的特性にはほとんど影響しない。

磁石を用いてアークを矯正したNaI-Tl-InI₃-Tl-Hgランプ水平点灯時のランプ光出力は、垂直点灯の場合と比較して1~2%減少するのみで、ほとんど変わらないと言ってよい。またランプ点灯時の発光管最冷部の温度が、垂直点灯のときとほとんど同じであるので、ランプ光色もまた垂直点灯時の光色と同じである。した



図 4.1 磁石により矯正されたアークの状態
Fig. 4.1 Arc configuration reformed by magnet (horizontal burning).



図 4.2 アーク矯正用磁石
Fig. 4.2 Magnet for arc reformation.

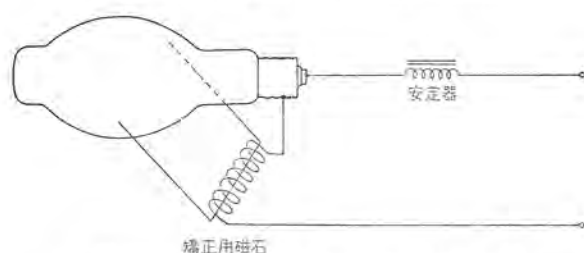


図 4.3 アーク矯正用磁石の結線図
Fig. 4.3 Connection diagram for arc reformation.

がってランプを水平点灯したために現われる問題点は、図4.2で示されているような簡単な構造のアーク矯正用磁石をランプ器具内のソケットに取り付けることにより、完全に解決することができる。

またアーク矯正用磁石を、一般高圧水銀灯の水平点灯時に使用しても同様な効果が得られる。

5. Ga₃-Hg ランプ (複写用ヨウ化物入り水銀ランプ)

一般照明においては、前述のように選ばれた数種の金属を高圧水銀放電に添加することによって、効率、演色性共に改善された光源が得られるが、複写用水銀灯においても、適当な元素を選んで添加することにより、ランプの複写効率を大幅に改善することができる。

5.1 複写ランプ用添加物の必要条件

複写用感光紙の分光感度は、図5.1(a)(b)に示されているように、乾式と湿式の違いはあるが、いずれも波長400mμ付近に最大感度がある。また複写に際しては、感光紙は光源からの放射光を、複写用コンタクトガラスおよび原図を通して受光することになるから、実際の感光紙についての見かけ上の感光特性は、次式で表わすことができる。

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda}' d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_{\lambda} T_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで S_{λ}' は感光紙の見掛け上の感度、 G_{λ} はコンタクトガラスの透過率、 T_{λ} は原図の透過率、 S_{λ} は感光紙そのものの感度および λ_1, λ_2 は波長を表わす。したがって感光紙の見かけ上の感光特性は、コンタクトガラスおよび原図の分光透過特性に強く依存しているが、この場合も図5.1(a),(b)に示すように、合成された見

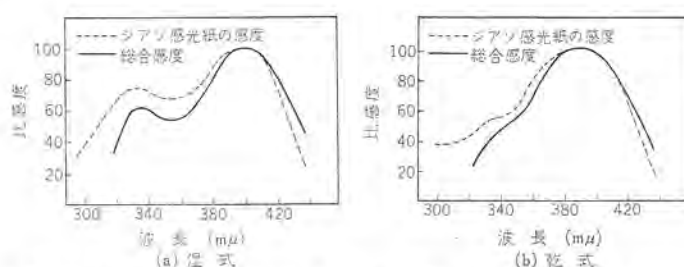


図 5.1 ジアゾ感光紙の分光感度および原図(ケント紙)とコンタクトガラスを組み合わせたときの感光紙の見かけの分光感度
Fig. 5.1 Spectral sensitivity curves of diazo copying paper, and for combination of copying paper, original paper and contact glass.

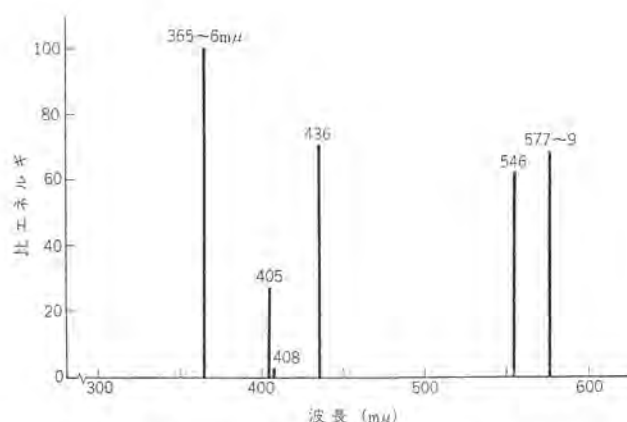


図 5.2 複写用高圧水銀灯の分光エネルギー分布
Fig. 5.2 Relative spectral energy distribution of a mercury lamp for duplication.

掛け上の感光特性は、乾式、湿式ともに波長 $400\text{ m}\mu$ 付近に最大感度があることには変わりない(28)~(29)。

しかし従来の複写用高圧水銀灯の分光エネルギー分布では、(図 5.2 参照) 波長 $365\text{ m}\mu$ の複写に寄与する最強スペクトルが、感光紙の最高感度の波長よりずれており、かつ複写に寄与しないスペクトル(波長 $546, 577/9\text{ m}\mu$) もかなり強力に放射されているので、エネルギー損失が多く、複写効率がよくなかった。

複写用水銀灯の複写効率を増加させるための添加物の必要条件として、次の4条件が考えられる。

- (1) 波長 $400\text{ m}\mu$ 付近に集中的にスペクトルを放射する。
- (2) 励起電圧が低い。
- (3) 蒸気圧が高い。
- (4) 発光管と電極を侵さない。

などである。

(1)は放射された光が有効に複写に寄与するための条件である。(2),(3)は Boltzmann の法則からわかるように、スペクトルのエネルギーが強力に放射されるための条件である。

(4)は光源として実用化するのに不可欠の条件であることは言うまでもない。つまり $400\text{ m}\mu$ 付近に強力なスペクトルを放射し、しかも発光管材料を侵さない物質を選べばよい。

以上の条件によって、種々の元素について試みた結果、ヨウ化ガリウムが最適であることがわかった。すなわち図 5.3 からわかるように、ガリウムの主スペクトルの波長は $403, 417\text{ m}\mu$ と $400\text{ m}\mu$ の近くにある上に、その主スペクトルに対する励起電圧は 3.1 eV と低い。さらに図 2.3 に示すように、ヨウ化ガリウムの蒸気圧は十分に高いからである。

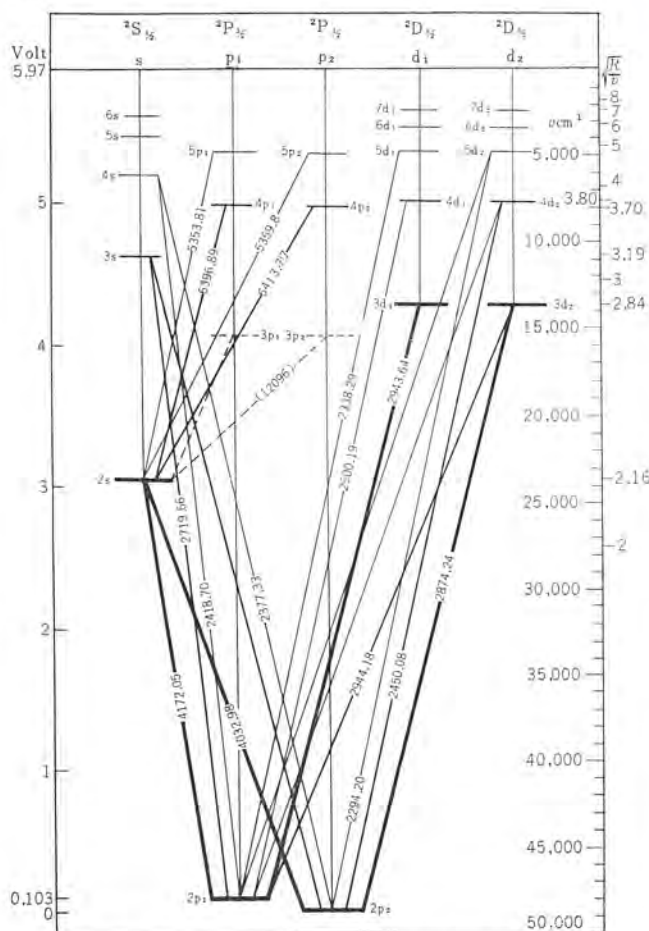


図 5.3 ガリウムのエネルギー準位図
Fig. 5.3 Energy diagram of gallium atom.

以下にヨウ化ガリウムを添加して、複写効率の向上と安定時間の短縮を計った $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプについて述べる。

5.2 実験方法

実験の都合上、発光管は電極間距離を 140 mm に統一し、管径は $9\sim 24\text{ mm}$ に変化させた。Buffer gas としての水銀量は $0.7\sim 0.15\text{ mg/cm}^3$ で、この場合管内蒸気圧は大体 $0.5\sim 1.5$ 気圧程度になる。また添加したヨウ化ガリウムの量は $0.01\sim 0.30\text{ mg/cm}^3$ であるが、ヨウ化ガリウムは空気中で不安定であるために、実際には $\text{Ga-HgI}_2\text{-Hg}$ の形で添加し、発光管内で反応させてヨウ化ガリウム

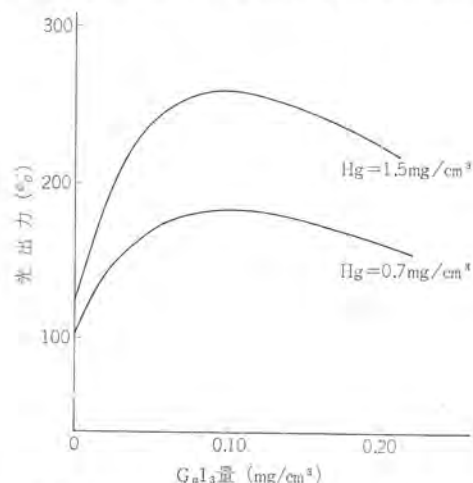


図 5.4 ヨウ化ガリウム入量と光出力
Fig. 5.4 Light output as a function of GaI_3 amount.



図 5.5 同じ条件の下での複写効果
(上) 複写用水銀灯, (下) $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプ
Fig. 5.5 Duplicating effect by a conventional mercury lamp and $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ lamp.
upper : mercury lamp.
lower : $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ lamp.

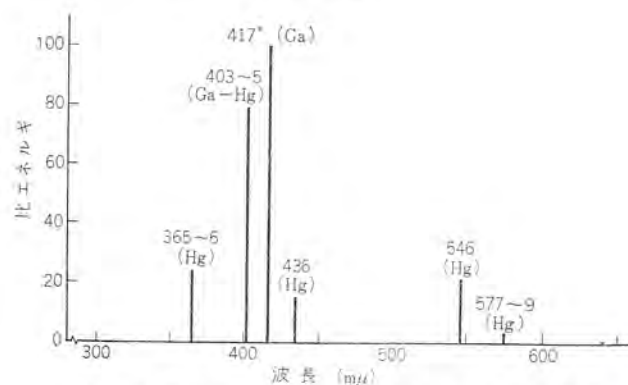


図 5.6 複写用 $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプの分光エネルギー分布
Fig. 5.6 Relative spectral energy distribution of a $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ lamp for duplication.

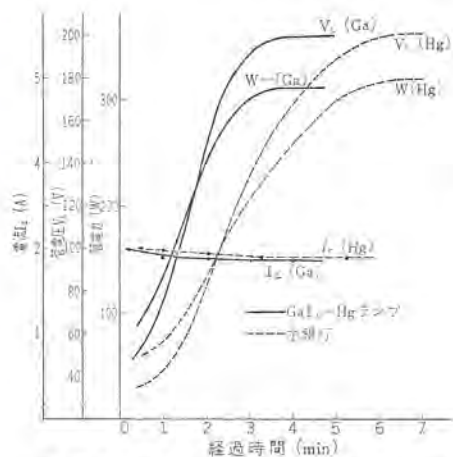


図 5.7 水銀ランプと $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプの始動特性

Fig. 5.7 Example of starting characteristics of a mercury lamp and a $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ lamp.

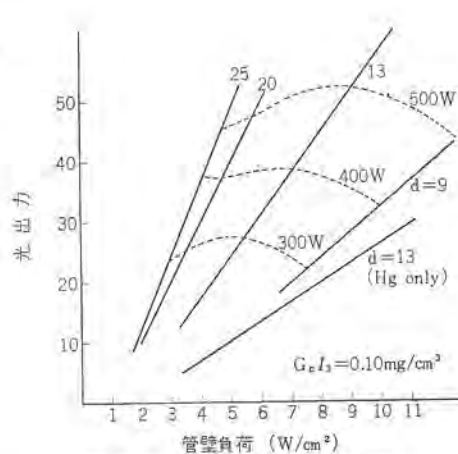


図 5.8 管壁負荷と効率
Fig. 5.8 Efficiency as a function of quartz loading.

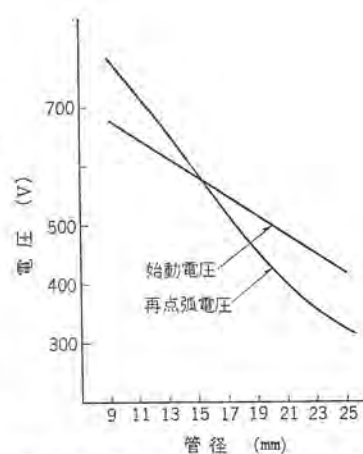


図 5.9 管径と始動電圧および再点弧電圧
Fig. 5.9 Starting voltage and re-ignition voltage as a function of tube diameter.

にした。さらに光出力の測定に際しては、フィルタと光電池を組み合わせ、この場合の総合的な感度特性が大体 $400\text{ m}\mu$ にピークを持つ装置を用いて行った。

5.3 特性

従来の複写用水銀灯と比較した場合の光出力の測定結果を、図 5.4 に、同じ条件下で実際に複写試験を行なった結果を図 5.5 に示す。これらの結果から、ヨウ化ガリウムを添加することにより、顕著に効率が向上することがわかる。これは $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプの分光エネルギー分布を示した図 5.6 からわかるように、波長 $400\text{ m}\mu$ 付近に集中して強力なスペクトルが放射されているからである。

図 5.7 には $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプの始動特性を、従来の複写用水銀灯と比較して示す。 $\text{GaI}_3\text{-H}$ ランプでは、ランプが始動して間もなくヨウ化ガリウムが急速に蒸発してくるために、水銀灯に比較して安定時間が短い。このことは複写用ランプにとっては好都合である。

以上は管径 13 mm のランプの場合の結果であるが、次に管径によるランプ特性の変化を示すと、図 5.8 および図 5.9 に示すようになる。図 5.8 には管壁負荷による光出力の変化を示し、図 5.9 には管径とランプ始動電圧および再点弧電圧の関係を示す。両図からわかるように、管径を大きくした方が始動電圧、再点弧電圧共に小さくなり、かつ発光むらの点からも好都合であるが、あまり大きくすると添加物が管壁にコンデンスして、光出力が不安定の上に効率も落ちてくる。逆に管径を小さくしすぎると、管壁負荷が大きくなり、発光管の温度が上がり、添加物の蒸気圧が上るにもかかわらず、管壁からのエネルギー損失が大きくなるために効率が落ち、また始動電圧と再点弧電圧も上昇するからあまり思わしくない。したがって実用上では以上のことを考慮して適当な管径を選ぶことが必要である。

6. む す び

選ばれた金属ヨウ化物を目的に応じて添加することにより、従来の水銀灯よりすぐれた光源を得ることができる。しかし添加物の一成分としてヨウ化ナトリウムが使われると、ランプ点灯中遊離ヨウ素が発生して、ランプ特性に様々な悪影響をおよぼすが、 $\text{NaI-Tl-InI}_3\text{-Tl-Hg}$ ランプではナトリウムが遊離ヨウ素を捕獲するので上記の欠点が一応取り除かれる。 $\text{NaI-Tl-InI}_3\text{-Tl-Hg}$ ランプの働程特性は高圧水銀灯より悪いが、問題解決の方向は決っているので、十分に実用に供するランプが完成するのも遠い未来ではない。

複写用光源としては、非常に複写効率の良い $\text{GaI}_3\text{-Hg}$ ランプは有望であり、推奨できる。

最後にこの実験にご指導、ご協力いただいた関係諸氏に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) C. P. Steinmetz : U. S. Patent 1,088,740 Mar. (1914)
- (2) K. G. Schenetzler : U. S. Patent 2,240,353 Apr. (1941)
- (3) D. A. Larson, H. D. Traser, W. V. Cushing, M. C. Unglest : Illum. Eng., **58**, 6, 434 (1963)
- (4) E. C. Mart, L. J. Smialek, A. C. Green : Illum. Eng., **59**, 34 (1964)
- (5) T. H. Rantenberg, P. D. Johnson : Applied Optics, **3**, 4, 487 (1964)
- (6) G. H. Reiling : J. Opt. Soc. Am. **54**, 4, 532 (1964)
- (7) P. D. Johnson, T. H. Rantenberg : J. Opt. Soc. Am., **54**, 12, 1425 (1964)
- (8) A. Bauer : Lichttechnik, **16**, 3, 118 (1964)
- (9) B. Kühl : Lichttechnik, **16**, 2, 68 (1964)
- (10) トマス, ホルメス 他 : 特許公報, 昭 39-15360
- (11) 大盛, 太田, 近藤, 土橋 : 「三菱電機技報」 **37**, 10, 1211 (昭 38)
- (12) 牧野, 大盛, 土橋 : 照学誌, **48**, 4, 149 (昭 39)
- (13) D. A. Larson, H. D. Traser, C. R. Edris, M. C. Unglert : I. F. S. Conference Paper No. 17 (1964)
- (14) J. F. Waymouth, W. C. Gungle, J. M. Harris, F. Koury : Illum. Eng., **60**, 2, 85 (1965)
- (15) E. H. Nelson : G. E. C. Journal, **31**, 2, 92 (1964)
- (16) A. Dobrusskin : Lichttechnik, **17**, 4, 40 A (1965)
- (17) 土橋, 三上, 若林 : 「三菱電機技報」 **39**, 7, 877 (1965)
- (18) 小西, 祇園 : National Tech. Rep., **11**, 6, 420 (1965)
- (19) 竹田, 土橋, 若林 : 昭 41 電気学会連合大会予稿集, 648
- (20) 谷林 加納, 大沢 : 東芝レビュー, **21**, 4, 404 (1966)
- (21) 竹田, 三上 : 昭 41 電気四学会連合大会予稿集, 649
- (22) フレデリック・コーリー 他 : 特許公報, 昭 41-2868
- (23) ヒュー・デュー・フレイザー 他 : 特許公報, 昭 41-2869
- (24) ウォルター・ジェイ・ディッカー 他 : 特許公報, 昭 41-9862
- (25) パートン・エイ・ワイマン : 特許公報, 昭 41-2871
- (26) 中川 : 照学誌, **46**, 6, 231 (1962)
- (27) 中川 : 日写誌, **26**, 2, 56 (1963)
- (28) 中川 : 日写誌, **26**, 4, 179 (1963)

キャノン・カルバ・フィルム用水銀ランプ

近藤 敬一郎*・井上 睦 公*
大盛 真次**・近藤 登**

Mercury Lamps for Canon Kalvar Film

Canon Camera Co., Inc.

Keiichirō KONDŌ・Mutsuhiro INOUE

Mitsubishi Elec. Corp., Ōfuna Works

Shinji ŌMORI・Noboru KONDŌ

The wave length for the maximum sensitivity of printing paper used with copy machines is generally found between 380 mμ and 420 mμ. Consequently high pressure mercury lamps or fluorescent lamps with coating of special phosphor are used for the light sources of copy machines under the circumstances, gallium mercury lamps having a wave length 403 mμ and 417 mμ have been developed. There are very strong bright lines spectrum in these wave length. The lamps serve a highly efficient light source suited to chemical reaction and copy machine operation, being turned out for practical purposes. They are rated 250 W and 400 W and now in use with Kalvar micro film duplicators developed by the Canon Camera K. K. The article describes the features of Kalvar microfilm, as well as the shapes and performance of the lamps.

1. ま え が き

現在一般に普及している複写機用印画紙の感光特性は波長 300 mμ から 500 mμ の間にあり、最大感度波長は 380 mμ から 420 mμ にあるものが普通である。したがって複写機用光源としては、高圧水銀ランプか、あるいは上記波長域に最大発光部をもつケイ光体を塗布したケイ光ランプが用いられている。特に焼付速度を大きく要求される場合はもっぱら前者が使用されている。

当社では、かねてから光化学反応光源の高効率化をめざして、380 mμ～420 mμ の波長域に強い放電スペクトルを示す数種の金属を水銀ランプに添加する研究を進めてきた。この中で、ハロゲン化ガリウムが、発光スペクトル、蒸気圧、ランプの始動電圧、工作上取扱いの容易さ、動特性などの諸条件を考慮して、最適であることに着目した^{(1),(2)}。一方、キャノンカメラ K. K. においては、マイクロフィルムとして数々の特長をもつカルバフィルムのデュプリケータの開発が始められ、当初は普通の水銀ランプで計画されたが、ガリウム入り水銀ランプを試用した結果、予期以上の効力があることが実証された。われわれは、ガリウム入り水銀ランプの製品化の第一着手として、カルバフィルム露光光源に焦点をおき、発光管の入力、形状、ガリウムの添加量、外管の材質、形状、および始動方法と点灯方式などについて検討を行ない、実用試験を実施した。

2. カルバフィルムの特長と用途

カルバフィルムは従来の銀塩フィルムとは根本的に構造原理が異なり、多くの特長、利点をもっている。1955年に誕生して以来、もっともすぐれた複製用フィルムとして、マイクロフィルム、TV、印刷などの分野で急速に需要を拡大してきている。すなわち従来の銀塩フィルムと比較した特長は、まず現像、定着に化学処理をまったく必要としないので薬品や水を使用する必要がなく、プロセスに要する時間が短い。次に紫外線にしか感光しないので明るい室内で取扱いができる。さらに、構像素子は 0.5～2 ミクロンの微小な気泡であるので、解像力が高く 800 本/mm に及ぶものもある。この気泡は反射光では白く、透過光では黒く見えるので、この原理を利用して、写真のネガフィルムからポジフィルムを作る手軽なスライ

ド作成が普及している。またタイラ 90 と呼ばれるカルバペーパーは X 線写真のネガフィルムから直接ネガコピーがとれるなど、カルバフィルムには多くの用途に合わせて、いろいろなタイラのものを用意されている。なお、キャノンではカルバフィルムへの直接撮影を行なうカメラを開発して、アメリカを初めとして世界の注目を浴びているが、これが一般に使用されるようになれば、カルバフィルムの使用される分野はさらに拡大する。そのためにも効率の高い露光光源が望まれている。

3. カルバフィルムの構像原理^{(3),(4),(5)}

カルバフィルムは銀塩フィルムの場合の光吸収とちがって光散乱の現象を利用するところに根本的な差がある。その構造は、透明なポリエステル樹脂、もしくは不透明な黒色の紙の表面に、紫外線に

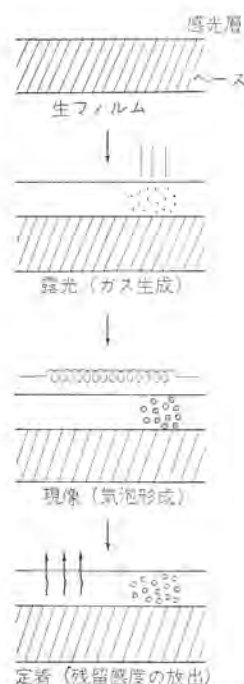


図 3.1 構像原理

Fig. 3.1 Principle of Kalvar process.

しか感光しない特殊な感光体を含んだサーモプラスチックを、0.001225 cm 以下の厚さで均一に被覆したものである。現在市販されているカルバフィルムは約10種あるが、その中で標準的フィルム(タイラ10)についてカルバプロセスの原理を簡略に述べる。(図3.1参照)

(1) 紫外線の露光により、その部分の感光体が分解してガスを生成し、プラスチック層中に内部応力の姿で潜像を形成する。

(2) 次に、外部から加熱するとプラスチックは一時軟化し、ガスは膨張してきわめて微小な気泡に成長する。気泡は周囲と屈折率が異なるため、光散乱性を有し画像を形成する。プラスチックは熱重合で硬化するので、その中の気泡は機械的にも、化学的にも安定となる。つまり画像の保存性は良好である。

(3) 未感光部の残留感度を完全になくする定着処理には、紫外線の全面露光を行なって分散ガスを拡散放出する。しかし、この処理は通常は必要ではない。

その他キセノン・フラッシュ・ランプで瞬間的に現象できるものもある。

4. カルバフィルムの感光特性と光源

このフィルムの感光域は近紫外部にある。図4.1にその感光特性を示す。385 mμに最大値をもち、範囲は330~430 mμにわたっている。最大濃度をうるために要する露光エネルギーは、385 mμで200 mW sec/cm²である。当然露光時間は光源の強さで変わり、フィルム面に200 mW sec/cm²のエネルギーをもつに至るまでの必要な時間で決定される。

現在、露光用光源として用いられているものに次のようなものがある。

- (1) 紫外線キセノン灯(光化学反応用ランプ)
- (2) 高圧水銀灯
- (3) キセノン放電灯

それぞれ、用途に応じて特長をもっているが、この内水銀ランプは、アーク長が短く、入力が大きくできるので、輝度が高く、とれ、カルバフィルム用の光源としては、すぐれた特性をもっている。安定器など点灯装置を含めた価格を比較しても有利である。

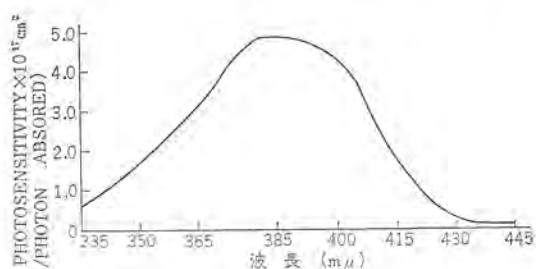


図4.1 カルバフィルムの分光感度特性
Fig. 4.1 Spectral photosensitivity of Kalvar film.

5. ランプの構造

ガリウム入り水銀ランプ250 W および400 W の外形を図5.1に示す。両管種共後述の始動補助装置を除けば、ほぼ相似形をしている。

5.1 発光管

管体材料は石英管を使用し、その形状は一般照明用のそれと同一である。形状は、必要なアークの長さ、管壁温度、管壁負荷、始動特性等によって決定されるが、カルバフィルム用の発光管としては、被照面の大きさ、必要照度、添加物(ヨウ(沃)化ガリウム)の蒸

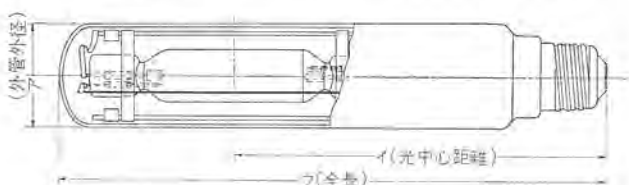
気圧などの諸条件から定まってくる。管内には上記添加物のほかに、水銀とアルゴンガスを封入する。アルゴンガスは始動を容易にするためと、始動初期の放電を受持ち、同時に陰極物質の飛沫(唾)を保護する役めをする。水銀はそれ自体が励起されて、エネルギーを放射するとともに、水銀放電による高温のアーク中で、ヨウ化ガリウムが、ヨウ素とガリウムに解離し、ガリウム原子を熱励起させ、ガリウム特有の403、および417 mμの強い線スペクトルを放射させる。管壁付近では再びヨウ素とガリウムは再結合し、ヨウ化ガリウムに戻り、このサイクルを繰り返す。ヨウ化ガリウムはガリウム金属よりもはるかに蒸気圧が高く、管壁温度が比較的低くても、容易に蒸気となり、ガリウムの発光が得られる。換言すれば、単にガリウム金属を封入しても、普通の発光管の管壁温度ではほとんど発光は認められない。一方、ヨウ化物を添加すると、一般に始動特性は悪くなる。ランプの製作に当たっては、ヨウ化物に含有された不純ガスは極力除き、その封入にも特に注意が払われる。また封入量も正確にシヨウ(秤)量管理する必要がある。多すぎると、点灯不能その他の事故の原因となり、少なすぎるとガリウムの発光が弱く効率が低下する⁽⁶⁾。

電極はタングステンの心線とコイルの間に、金属トリウムを保持した構造である。電極もランプ特性に大きな影響を与えるので、処理および製造工程中の管理に細心の注意がはられる。

放電開始電圧を下げる目的で始動極を設ける。発光管の端部は、外面に保温用被覆を施す。これは管体中で最も温度が低く、この付近の管内蒸気密度が高くなり、発光のムラが発生しやすいのを防ぐためである。

5.2 外管

外管には光源と被照面との距離を短くし、光学系統を小さくするため、管径の小さい直管形を用い、内部は真空にしてある。外管材料は硬質ガラスを使用し、水銀ランプの場合は波長365 mμのスペクトルが主力であるが、本ランプではより長波長側に主力をもつので、材質の紫外線透過性に制約されない利点があつて冷却を強化して、動作中の温度を規制すれば、パイレックス系統のみでなく、比較的軟化温度の低い廉価な硝子を使用できる有利さがある。



変換寸法表

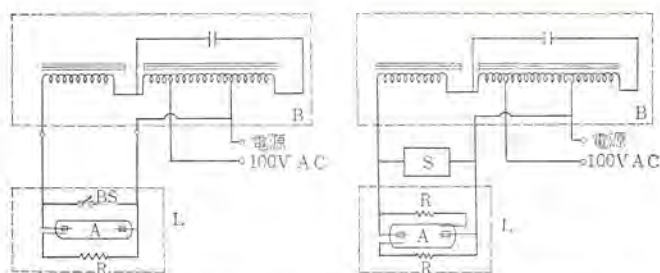
項目	ア	イ	ウ	ロ金ネジ部
250 ワット	40 \pm 1.0	138	206 \pm 3	E 26
400 ワット	52 \pm 1.0	175	275 \pm 3	E 39

図5.1 カルバフィルム用ガリウム入り水銀ランプ外形
Fig. 5.1 Outline drawing of Ga-Hg lamps for Kalvar film.

6. ランプの点灯回路

ガリウム入り水銀ランプの点灯回路を図6.1に示す。添加物のために、始動電圧は高く、一般の水銀ランプ用安定器で点灯する場合は、始動補助装置を設ける必要がある。250 W ではランプに内蔵し、400 W では外部に付設した。

定電力形安定器では、ランプと直列にコンデンサが入るため始動時の電流波形が悪くなり、電流の休止期間が生じるため、ランプが



B 安定器 Ballasts
L ランプ
A 発光管 are tube
BS バイメタルスイッチ bimetal switch
S 起動補助装置 Starting device
R 起動抵抗 resistor

図 6.1 ガリウム入り水銀ランプ 250, 400 W 点灯回路
Fig. 6.1 Operating circuit diagrams of 250 W and 400 W Ga iodide additive mercury lamps.

立ち消える確率が増す。このため現段階では使用困難である。

7. ランプの特性

250 W ガリウム入り水銀ランプの分光エネルギー分布を図 7.1 に 400 W 水銀ランプと比較して示した。水銀のみの場合に比べて 365, 404, 435 mμ のスペクトルは弱くなり、代わってガリウム特有の 403, 417 mμ の強いスペクトルが現われる。これはカルパフィルム の分光感度と比較的効率よく合致している。キヤノンロールデューリゲータ 500 お

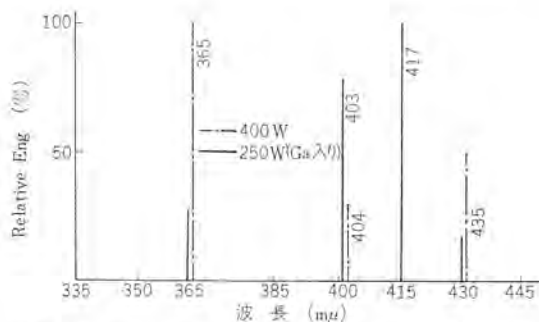


図 7.1 400 W 水銀ランプと Ga 入り 250 W 水銀ランプの分光エネルギー分布
Fig. 7.1 Spectral energy distribution of 250 W Ga-Hg lamp compared with 400 W Hg lamp.

表 7.1 ランプの特性

ランプ入力 (W)	ランプ電圧 (V)	ランプ電流 (A)	始動時間 (分)	再始動時間 (分)
250	130±10	2.1	3	10
400	130±10	3.3	3	10

よび 250 の露光用光源として、250 W ガリウム入り水銀ランプを使用した結果、複写速度は、400 W 水銀ランプでは 20 ft/min であったものが 35 ft/min に改善された。

このランプの諸特性を表 7.1 に、動程特性を図 7.2 に示す。

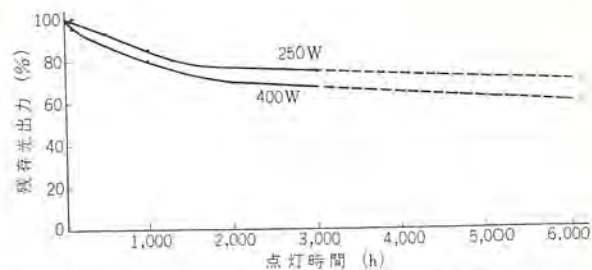


図 7.2 250, 400 W Ga 入り水銀ランプの動程特性
Fig. 7.2 Out-put maintenance of 250 W and 400 W Ga iodide additive mercury lamps.

長時間の結果は未了であるが減衰も比較的少なく、十分実用に耐える成績を収めている。

8. む す び

ガリウム入り水銀ランプの焼付効果は同入力の水銀ランプに比べて約 3 倍にも達するのが特筆すべき点であるが、カルパフィルム の直接撮影用カメラの開発についても、屈折率の高いレンズは波長 365 mμ 程度の紫外線はほとんど通さないため、レンズの設計上困難な点が多かったが、このランプでは長波長側にずれるため、この問題が軽減される利点もある。ランプの特性については、さらに研究、改良が続けられており、特に始動電圧の低下と、製造工程の簡略に重点を置いている。

カルパフィルムを使った光学機械も次々と開発される大勢にあり、これに対応したランプも逐次製作される予定である。

このランプの開発に当たってはキヤノンカメラ KK 開発部 マイクロプロジェットの諸氏、ならびにランプ設計上の基礎資料については、大船製作所管球技術課の諸氏の協力によるもので、ここに深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 竹田、三上；ガリウム入り複写用高圧水銀ランプ，電気四学会連合大会講演予稿 649 (昭 41)
- (2) 久保、竹田、ほか：金属添加物入り水銀灯の特性と問題点「三菱電機技報」40. No. 9, (昭 41) (注：別投稿)
- (3) R. T. Nieset: The basis of the Kalvar system of photography, The Journal of Photographic Science, 10, (1962)
- (4) W. A. Seifert, W. F. Elbrecht: The Kalvar process, Photographic Science and Engineering, 5, No. 4, July-August (1961)
- (5) N. R. Bacon, R. B. Lindemeyer: A new heat-developable motion-picture print film, Journal of the SMPTE 73, March (1964)
- (6) 特許出願中

暗室用ケイ光ランプ

富平茂治郎*・大山 弘*

大田 重吉**・土井 貞春***・山崎 均**

Fluorescent Lamps for the Illumination of Photographic Dark Rooms

Konishiroku Photoindustry Co., Ltd.

Mojirō TOMIHIRA・Hiroshi ŌYAMA

Mitsubishi Electric Corp., Ōfuno Works

Jyūkichi ŌTA・Sadaharu DOI

Hitoshi YAMAZAKI

Special fluorescent lamps have been newly developed for the safe light sources of illumination in photographic dark rooms. The lamps radiate the light in the safe spectral range only through pigment layers on their bulb inner walls. Compared with the old combination of incandescent lamps and filters, they have many excellent merits on the characteristics of the life, maintenance, handling and reliability. They are very useful for the illumination in dark rooms where treatment is made on the regular and orthochromatic films, such as printing process ones, industrial and medical X-ray ones, infrared sensitive ones and photosensitive emulsion for color films.

1. ま え が き

今日写真の占める世界はあらゆる分野に限りなく広がっている。単にわれわれの目に見えるものばかりでなくマクロの世界からミクロの世界まで写真だけがなしうる可能な視野を広げている。しかしこの写真の発展も、そのかげに暗室の効用を見のがすわけにはいかない。フィルムや印画紙の製造や現像作業に従事する人々にとって作業場がより明るくなることは切に望まれるところである。

今回この要望にこたえて写真暗室照明用のケイ光ランプを開発したのでここに紹介する。フィルムや印画紙はその種類によってさまざまな感光特性をもっている。暗室照明用にはそこで取扱う対象物のそれぞれの感光特性に応じて、安全波長域だけを発光する安全光源でなければならない。暗室用ケイ光ランプは管内壁に顔料層をもうけ、不適当な波長光を吸収して安全光だけをつつ射するようにしたものである。大別してフィルムの非整色性・整色性・全整色性の各タイプ用および印画紙用の5種にそれぞれ明るさのレベルを異にしたもの、合計11種のランプを用意した。

2. フィルムおよび印画紙の種類と感光特性

2.1 フィルムの種類と特性

写真感光材料の一般的な感光性は通常4種に分類される。

2.1.1 非整色性 (Non-Color-sensitized)

普通レギュラ (Regular)、青感性などともいわれ、写真乳剤 (Emu-

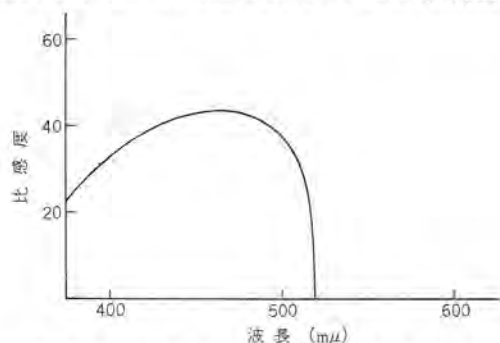


図 2.1 非整色性タイプの感光特性
Fig. 2.1 Photo sensitivity of non-color-sensitized type.

Ision) の感光主体であるハロゲン化銀 (AgBr, AgI, AgCl) 固有

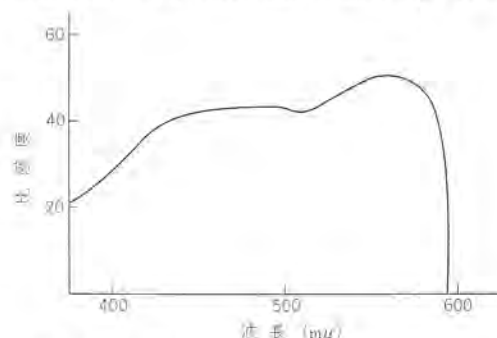


図 2.2 整色性タイプの感光特性
Fig. 2.2 Photo sensitivity of ortho chromatic type.

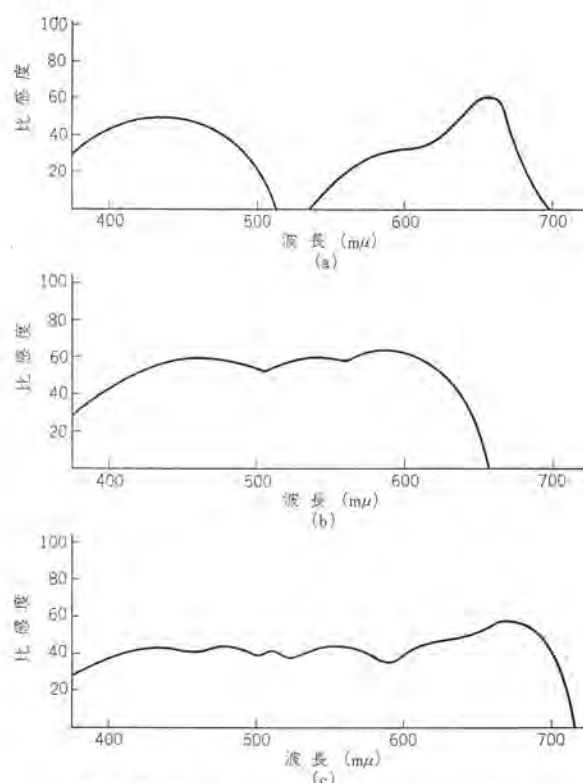


図 2.3 全整色性タイプの感光特性
Fig. 2.3 Photo sensitivity of pan chromatic type.

の感光波長域のみに感度をもっているもので、とくに色増感していない写真感光材料の感色性である。紫外線・紫・青に感光性のあるものである。

図 2.1 にしめすように 波長約 500 mμ 以下の色光のみ感度をもっており、映画ポジフィルム・サウンドフィルム・レントゲンフィルム・普通プロセス乾板・普通プロセスフィルムなどはこれに属する感光性をもっている。また普通の印画紙の感光性はほとんど非整色性である。

2. 1. 2 整色性 (Ortho chromatic)

俗称クロームともいわれ、ハロゲン化銀固有の分光感度とともに 緑から黄までの感度をもち、530~580 mμ の波長範囲内に感光極大をもつような色素で増感されたもので、赤に対する感度をもたない (図 2. 2)。複写用印画紙や特殊用途の印画紙にはオーソの感色性をもたせたものが多い。

2. 1. 3 全整色性 (Pan chromatic)

俗称パン、あるいはハシ色性などともいわれ、感光波長域は紫外から可視光域全般にわたっている。パンクロに属するものにもその感色性の差異からいくつかに分類することができる。

(a) 緑欠をもつようなタイプで 臭化銀固有の感度のほかに赤色光に対する感度をもち、緑光に対する感度がとくに低いものである (図 2. 3 (a))。

(b) オートパンタイプといわれ、ほぼ可視域を感光域とするもの

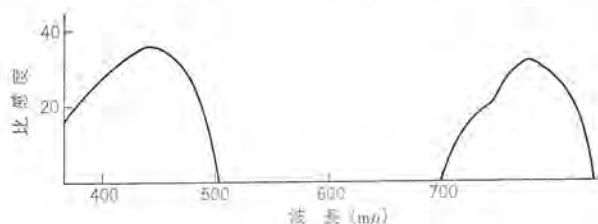


図 2. 4 赤外タイプの感光特性
Fig. 2. 4 Photo sensitivity of infra-red sensitive type.

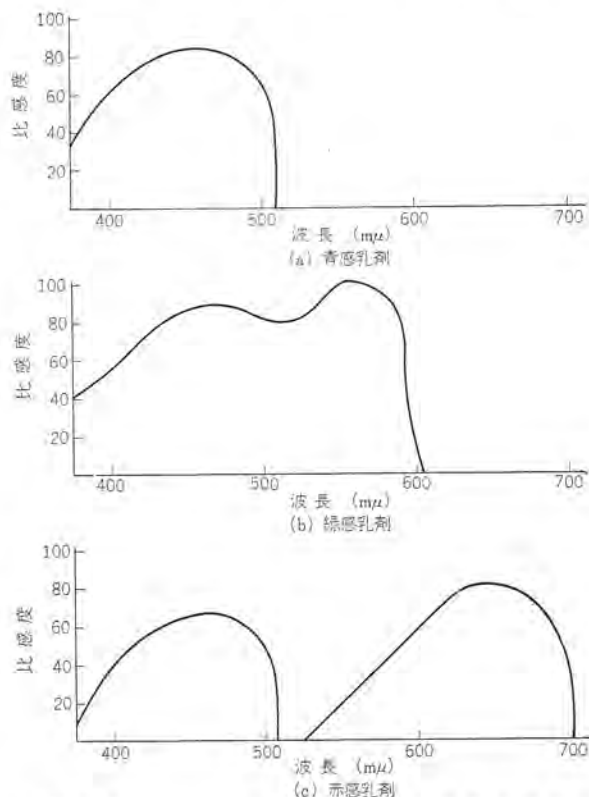


図 2. 5 カラーフィルムに使われる各乳剤の感光
Fig. 2. 5 Photo sensitivity of each emulsion for color film.

であるが、ただ 長波の末端がやや短かく 640 mμ 程度である。これは普通パンクロといわれているタイプである (図 2. 3 (b))。

(c) スーパーパンとかハイパーパンとかいわれるもので オートパンタイプよりも長波まで感色性を有し、可視域全部に感度をもつものである (図 2. 3 (c))。

2. 1. 4 赤外 (Infra-red sensitive)

ハロゲン化銀固有の分光感度のほかに 700 mμ 以上の波長の部分に感光極大をもつように増感されたものを総称するもので (図 2. 4)、紫外部から可視光域全域にわたる感度をもっているような特殊のものも含まれる。

2. 2 カラーフィルムの構造と感色性

カラーフィルムの露光は三色分解露光といわれ、被写体からくる光を青紫色光 (400~500 mμ)・緑色光 (500~600 mμ) および赤色光 (600~700 mμ) の三つの波長域にわけ、各波長域ごとに感色性をもつ3種類の乳剤を使用して感光させる。したがって多層式カラーフィルムは図 2. 5 にしめすような青感乳剤層 (Regular)、緑感乳剤層 (Orthomatic) および赤感乳剤層 (Panchromatic(A) に属する) の3層をフィルムベース上に順に塗布された構造で構成されている。色の合成は現像処理の過程で 青紫の補色である黄、緑の補色であるマゼンタ、赤の補色であるシアンの各色素が各層で生じ、これが重なってもとの被写体の色と同じ色感覚を生じるのである。

2. 3 印画紙の種類と特性

一般用印画紙はガスライト紙・クロブロマイド紙・ブロマイド紙に大別されるが、この分類は感光乳剤の組成および感光度によって行なわれる。一般用印画紙はそのハロゲン化銀の固有感度波長域 (300~480 mμ) のみ感光するのが普通であったが、最近は増感色素を使用するものが多い (図 2. 6)。

2. 3. 1 ガスライト紙 (クロライド紙ともよばれる)

塩化銀感光乳剤を主体とした印画紙で 主として密着焼付け 印画を得るための感光材料で クロブロマイド紙やブロマイド紙に比べて感光度は最も低く、肖像写真用・一般写真用・文書複製用の3種に大別される。

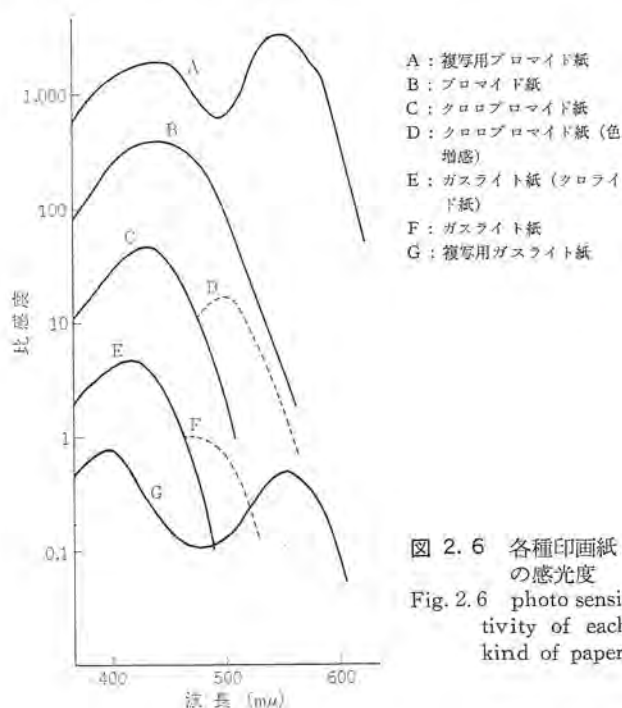


図 2. 6 各種印画紙の感光度
Fig. 2. 6 photo sensitivity of each kind of paper.

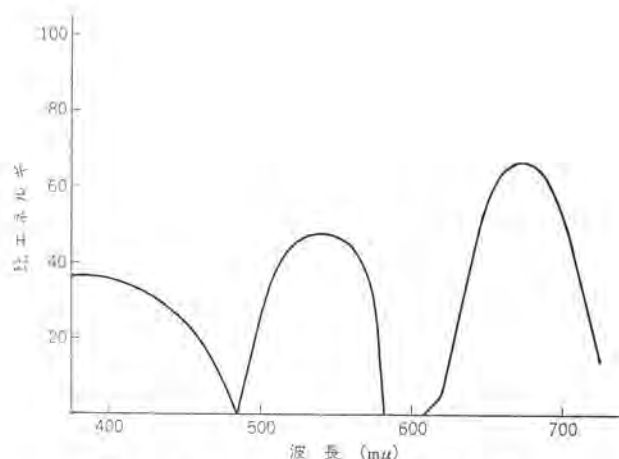


図 2.7 カラー印画紙の感光特性
Fig. 2.7 Photo sensitivity of color photopaper.

2.3.2 クロロプロマイト紙

塩化銀および臭化銀を主たる感光乳剤とした一般引き伸ばし印画紙で、ガスライト紙とプロマイト紙との中間の感光度をもっている。

2.3.3 プロマイト紙

臭化銀感光乳剤で、わずかに沃化銀を加えることもある。引き伸ばし印画を作るための感光材料で、記録・報道・印刷・原稿用として用いられる。

2.4 カラー印画紙の感光性

カラー印画紙もカラーフィルムと同様、多層乳剤発色式である。カラーネガフィルムでは可視光全域にまたがって感色性を有するが、カラー印画紙ではカラーネガに分解されている3層の画像をなるべくそのまま印画紙の3層に移すのが目的なので、図2.7に示すように3色の感光性は狭くなるべく重ならないようにしてある。とくに600 mμ付近の黄ダイダイ色には感度が低いので、安全灯の発光域もここをねらえば比較的明るいものが使用できる。

3. 安全光源として具備すべき一般条件

上述のような各種の感光特性をもつフィルムおよび印画紙を取り扱う暗室内の照明用安全光源には、まず次のような一般条件を具備することが要求される。

- (1) 安全光としてできるだけ明るいためには、発光スペクトル分布が安全波長域でなるべくシャープであり、理想としてはラインスペクトルでありたい。
- (2) 基準の明るさの有効寿命が長いこと。
- (3) 拡散光源であり照射範囲が広く、間接照明としての効果が十分に上ること。
- (4) 光源の立地条件、フレイムからの悪影響をうけず、照明器具として十分な安定性を必要とし、したがって耐熱性・耐湿性に富んでいること。
- (5) 保守が容易で、かつ漏光の危険がないこと。
- (6) 維持費が安いこと。
- (7) 長時間点灯時において発光スペクトル特性に変化が皆無であること。

4. 従来の方法と比較した暗室用ケイ光ランプの長所

従来暗室用光源として使用されている白熱電球とゼラチンフィルム・ガラスフィルタの組合わせタイプのものと比較して、ケイ光ランプタイプには次のような長所をあげることができる。

- (1) 暗室用ケイ光ランプの発光スペクトルは比較的シャープであ

るところから、従来のものに比べると明るい。

- (2) 白熱電球よりも平均寿命が長く、保守の面で有利である。

- (3) 取り扱いが容易で漏光の心配もまったくいらない。

- (4) 小形、軽量で自由な取付け角度が得られ、立地的にもはなはだ有利であり適用範囲が大きい。

- (5) 防水、防湿器具を使用することにより作業環境の悪いフローア・架台・ステッパ等の部分照明も可能である。

- (6) 使用時のスペクトル特性変化は皆無で、安全度が高い。

5. 暗室用ケイ光ランプの種類および特性

対象となるフィルムあるいは印画紙の種類により、それぞれ発光波長域および明るさを異にする各種のランプが設計できる。表5.1は現在までに開発した暗室用ケイ光ランプの種類と特性の一覧である。

表 5.1 種類と特性

用途	品名	記号	大きさ (W)	発光波長域 (mμ)	明るさ (lx)
フィルム用	暗室用赤明色ケイ光ランプ	FL10-FDP-RA	10	570以上	0.8~2.2
	赤暗色	FL10-FDP-RB	"	"	0.01~0.03
	トウ(橙)明色	FL10-CFDP-OA	"	600±30	0.3~0.6
	トウ(橙)暗色	FL10-CFDP-OB	"	"	0.05~0.1
	紅色	FL10-CFDP-P	"	620以上	0.05~0.08
	紅明色	FL10-CFDP-PA	"	"	0.03~0.05
	紅暗色	FL10-CFDP-PB	"	"	0.005~0.01
	緑明色	FL10-CFDP-GA	"	520±30	0.005~0.02
印画紙用	暗室印画紙用ケイ光ランプ	FL10-PDP	"	600±70	2~6
	"	FL20-PDP	20	"	2~7

注：明るさはランプから1m離れたところの照度を示す。

表 5.2 電気的特性

大きさ (W)	使用安定器	使用電圧 (V)	ランプ電流 (A)	ランプ電圧 (V)	平均寿命 (時間)
10	FBC-10	100	0.23	46	3,000
20	FBC-20	100	0.375	56	5,000

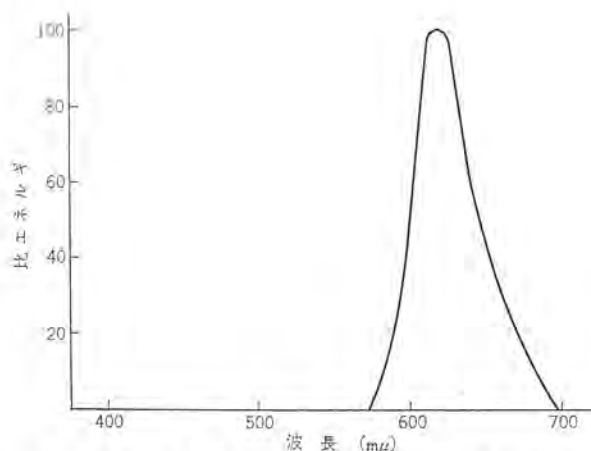


図 5.1 FL10-FDP-R の分光エネルギー分布
Fig. 5.1 Spectral energy distribution of FL10-FDP-R.

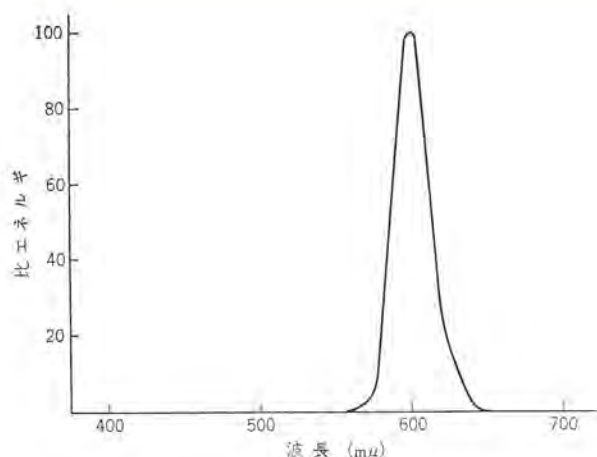


図 5.2 FL10-CFDP-O の分光エネルギー分布
Fig. 5.2 Spectral energy distribution of FL10-CFDP-O

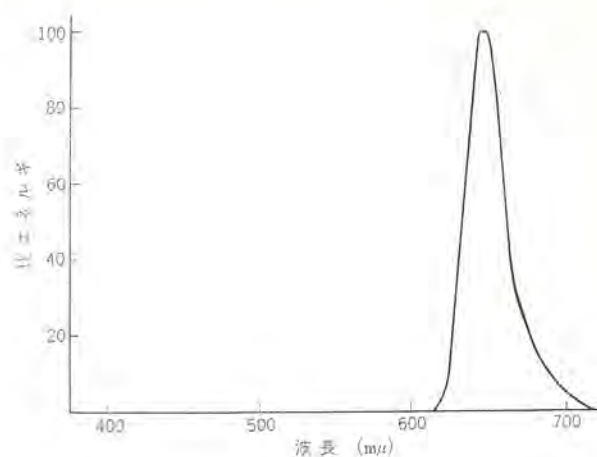


図 5.3 FL10-CFDP-P の分光エネルギー分布
Fig. 5.3 Spectral energy distribution of FL10-CFDP-P

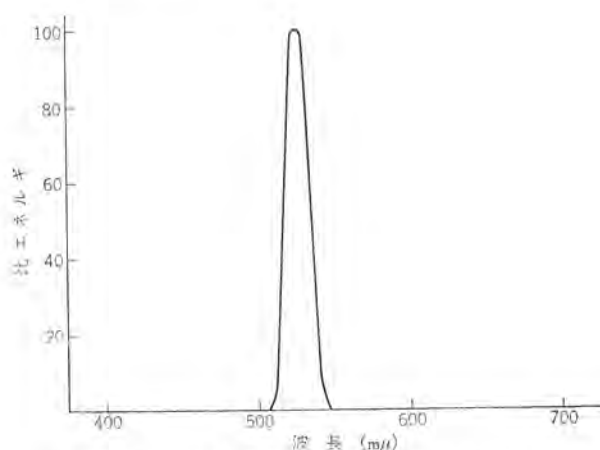


図 5.4 FL10-CFDP-G の分光エネルギー分布
Fig. 5.4 Spectral energy distribution of FL10-CFDP-G.

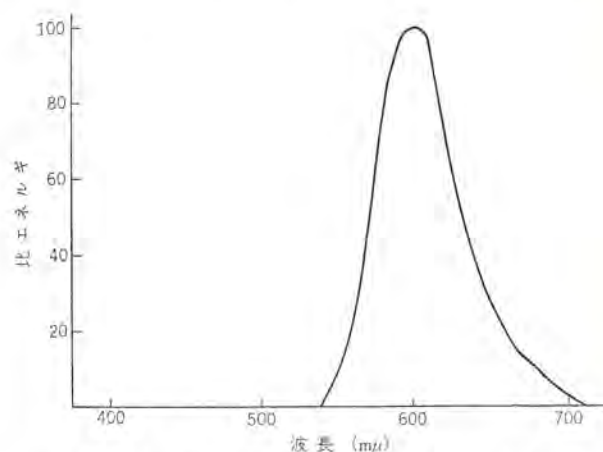


図 5.5 FL10-PDP の分光エネルギー分布
Fig. 5.5 Spectral energy distribution of FL10-PDP.

ランプの電気的特性はランプ種類にかかわらず表 5.2 にしめすように一般の照明用ケイ光ランプの特性と同一である。

5.1 フィルムレギュラタイプ用赤色ケイ光ランプ FL10-FDP-R

このランプはプロセスフィルム・工業用 X 線フィルム・プロセス乾板などのレギュラタイプおよび赤外線乾板のような 570~700 nm の間の波長域でほとんど感光しない感光材料を取り扱う暗室内の安全光源として開発したもので、その発光スペクトルは図 5.1 のような分布をもつ。明るさはランプから 1 m 離れた所の照度が RA は 1.5 lx, RB は 0.02 lx である。

5.2 カラーフィルムギュラタイプ用ダイダイ色ケイ光ランプ FL10-CFDP-O

このランプはカラーフィルムのレギュラ感光系の乳剤（青感性）を製造する工程の安全光源として開発したものである。レギュラ乳剤の感光特性は、図 2.5 にしめしたようにハロゲン化銀固有の感光波長域を有し、480 nm 以上の光には感光しない。ダイダイ色暗室用ランプは 600 nm にエネルギーピークをもって発光するように設計したもので図 5.2 がその発光エネルギー分布である。明るさはランプから 1 m 離れた所で OA が 0.4 lx, OB が 0.08 lx である。

5.3 フィルムオーソクロマティックタイプ用紅色ケイ光ランプ FL10-CFDP-P

このケイ光ランプはカラーフィルム用感光性乳剤のうちオーソ感光系の青緑感乳剤を取り扱う暗室用照明の安全光源として開発した

暗室用ケイ光ランプ・富平・大山・大田・土井・山崎

ものである。すなわち青緑感乳剤は波長 600 nm 以上の光にはほとんど感光しないので、この範囲の波長の光だけを発光するようにしたもので、その発光エネルギーは図 5.3 の分布をもっている。明るさはランプから 1 m 離れた所で、P は 0.07 lx, PA は 0.04 lx, PB は 0.008 lx である。

5.4 フィルムパンクロマティックタイプ用緑色ケイ光ランプ FL10-CFDP-G

一般ロール用フィルムおよびカラーフィルムパンクロ感光系の緑感乳剤の感光特性は前述のようにいずれも 520 nm 付近に比較的感度の弱いところがある。緑色暗室用ランプは図 5.4 にしめすようにこの付近の波長のみを発光するようにしたものである。明るさはランプから 1 m 離れた所で、GA は 0.01 lx, GB は 0.004 lx である。

5.5 印画紙用ケイ光ランプ FL10-PDP, FL20-PDP

このランプは印画紙の製造工程および写真の焼付け操作を行なう暗室照明用安全光源として開発したものである。一般の写真用印画紙の感光特性は前述の図 2.6 のように波長 530 nm 以上になると感度は非常に小さくなる。したがって印画紙用ケイ光ランプは発光波長域を図 5.5 にしめすように 600±70 nm にとり、明るさはランプから 1 m 離れた所で約 4 lx にした。

6. 暗室用ケイ光ランプの構造および製造法

暗室用ケイ光ランプはガラス管内壁とケイ光体層との間に顔料層

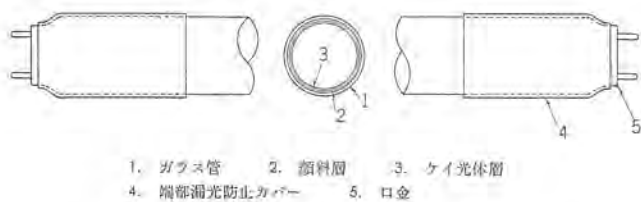


図 6.1 構造
Fig. 6.1 Construction of fluorescent lamp.

表 6.1 外観寸法

大きさ (W)	長さ (mm)	管径 (mm)	漏光防止カバー長さ (mm)	口金
10	330	25	50±15	G 13
20	580	38	50±15	G 13

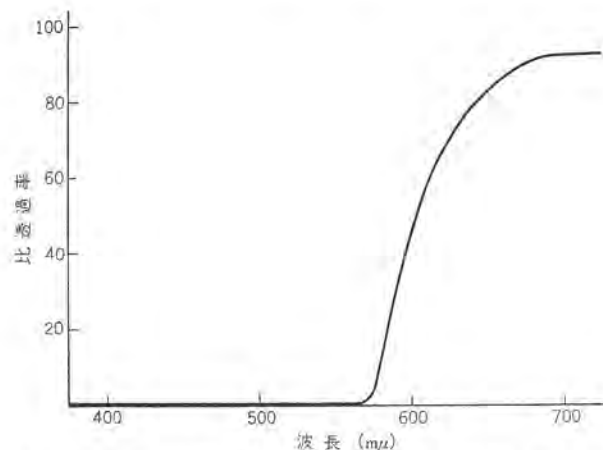


図 6.2 硫化カドミウムセレンダイダイ色顔料の分光透過率
Fig. 6.2 Spectral transmission of orange pigment.

を有するカラーケイ光ランプの一種で、その構造は図 6.1 のようになり、外観寸法は表 6.1 のとおりである。

構造図から明かなように、暗室用ケイ光ランプの動作は一般のケイ光ランプの場合と同じように、水銀蒸気中の放電で励起された、253.7 mμ の紫外線をうけて発光したケイ光体層からの光が顔料層でその一部が吸収され、フィルムあるいは印画紙の最も感光しにくい波長域の光だけが外に出てくるようになっている。

暗室用ケイ光ランプの製造法は、通常の一般照明用ケイ光ランプの場合にほとんど準ずることができるが、ただこの種タイプのカラーケイ光ランプ製造法には、顔料層およびケイ光体層の塗膜の形成法に一番の問題点がある。一般にはまずガラス管内壁に顔料層を塗布し、乾燥後これを約 500°C で焼付けバインダーである硝化綿を一度焼失させたのちこの顔料層の上にケイ光体層を塗布する方法が用いられる。

しかしこの方法では、ケイ光体層塗布の前後で 2 回の焼付け工程を行なうことになるので顔料層にピンホールが発生しやすくなる。暗室用ケイ光ランプでは顔料層のピンホールは致命的欠陥になるのでこれを防止するために、顔料層を塗布したのちただちにインシアネート類を塗布し顔料層中のバインダーである硝化綿を架橋させて、焼付け工程を経ることなくその上にケイ光体層を塗布する方法を用いる⁽¹⁾。すなわちインシアネート処理により架橋された硝化綿はもはやケイ光体塗液の溶剤に溶解しなくなるので、ケイ光体層塗布前の焼付け工程が省け、これにより顔料層のピンホールの発生が軽減される。

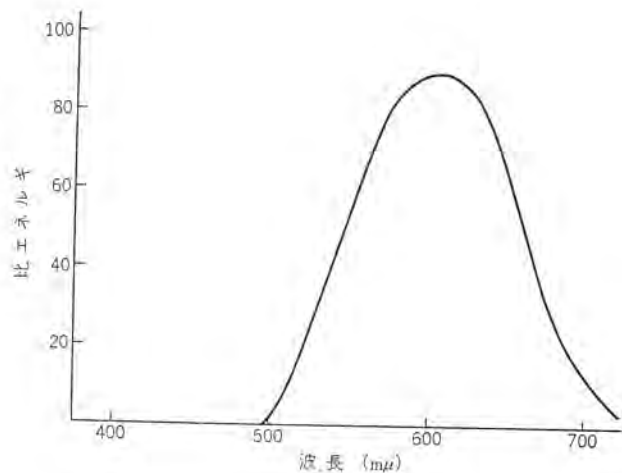


図 6.3 ケイ酸カルシウムケイ光体の分光エネルギー分布
Fig. 6.3 Spectral energy distribution of calcium-Silicate phosphor.

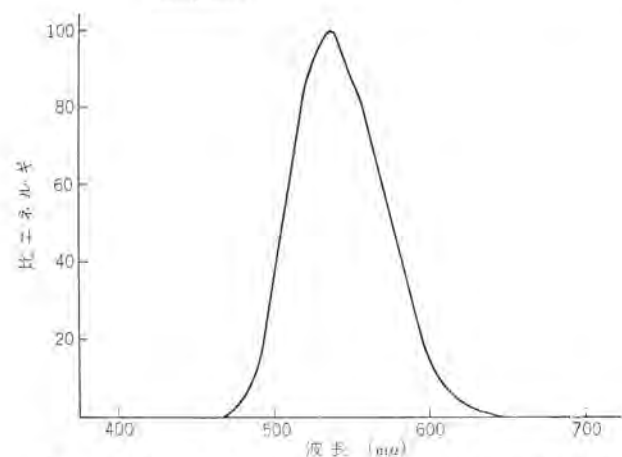


図 6.4 ケイ酸亜鉛ケイ光体の分光エネルギー分布
Fig. 6.4 Spectral energy distribution of Zinc-Silicate phosphor.

またカラーケイ光ランプの明るさは、顔料層の厚さを変えることにより制御することができるが、暗室用ランプのような明るさの制限がとくにきびしいものでは、この方法だけでは不十分であり、また実際に膜厚の顔料層を形成することは作業性を悪くする。これを簡単に解決する方法として、ケイ光体層に顔料を混入し、この混入量を適当に変化することによって明るさの制御を行なう方法が用いられる⁽²⁾。すなわち暗室用ランプの製造法として、明るさの制御は顔料を混入したケイ光体層で行ない、顔料層は主として発光波長域の制御の機能のみをもたせるという方法がとられる。(脚注⁽¹⁾⁽²⁾特許出願中)

6.1 フィルムレギュラータイプ用赤色ケイ光ランプ

顔料層には図 6.2 に示すような拡散透過率分布をもつ硫化カドミウムセレンダイダイ色顔料を、ケイ光体層には図 6.3 に示すような発光スペクトル分布をもつケイ酸カルシウムケイ光体と上記顔料の混合物を使用した。ケイ光体層のケイ光体と顔料の比率は FL10-FDP-RA が 5 : 5、RB が 1 : 9 である。

6.2 カラーフィルムレギュラータイプ用ダイダイ色ケイ光ランプ

顔料層に 570 mμ 以下の波長の光を吸収する図 6.2 の拡散透過率分布をしめす硫化カドミウムセレンダイダイ色顔料を用い、ケイ光体層は 630 mμ 以下の光を発光する図 6.4 の発光スペクトル分布をもつケイ酸亜鉛ケイ光体と上記顔料の混合物を用いた。ケイ光体層中のケイ光体と顔料の比率は FL10-CFDP-OA は 5 : 5、OB

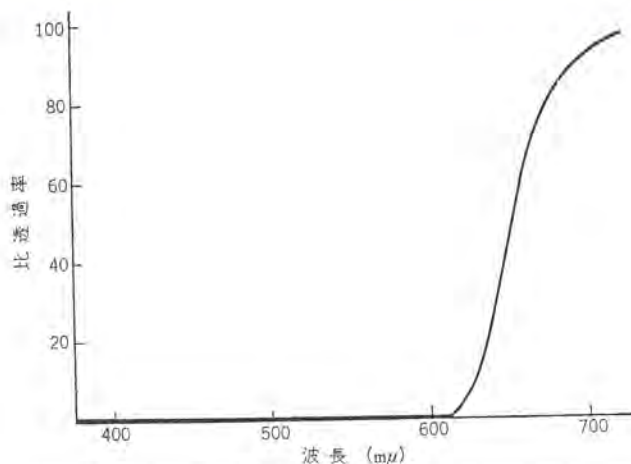


図 6.5 硫化カドミウムセレン 赤色顔料の分光透過率
Fig. 6.5 Spectral transmission of red pigment.

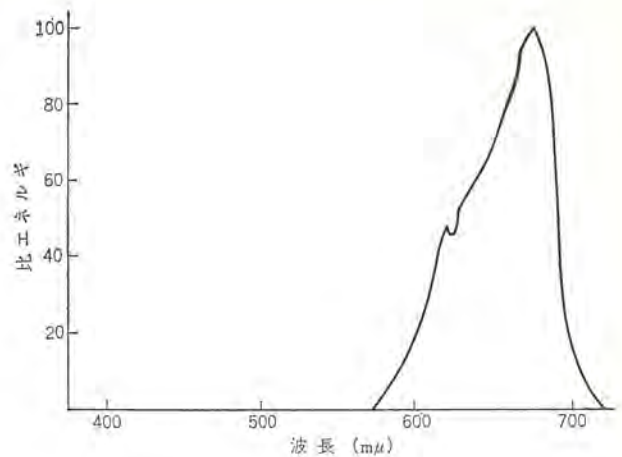


図 6.6 ヒ酸マグネシウムケイ光体の分光エネルギー分布
Fig. 6.6 Spectral energy distribution of Magnesium-Arsenate phosphor.

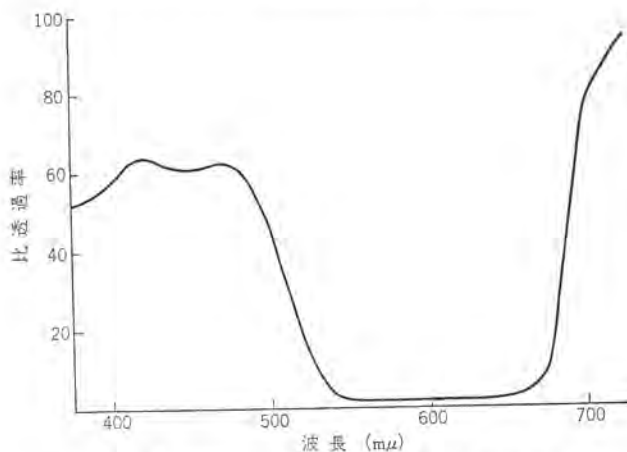


図 6.7 アルミン酸コバルト 青色顔料の分光透過率
Fig. 6.7 Spectral transmission of blue pigment.

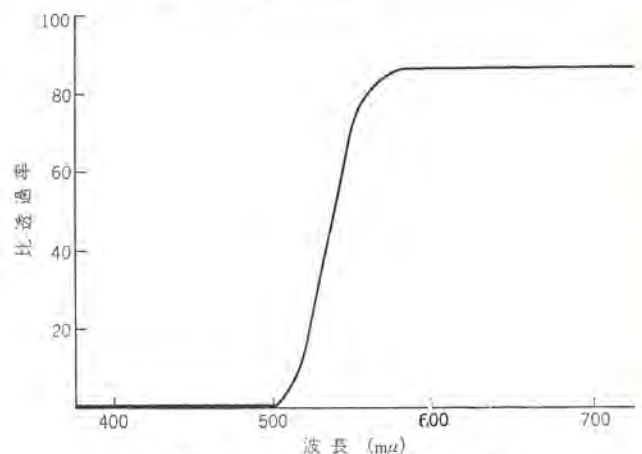


図 6.8 硫化カドミウム 黄色顔料の分光透過率
Fig. 6.8 Spectral transmission of yellow pigment.

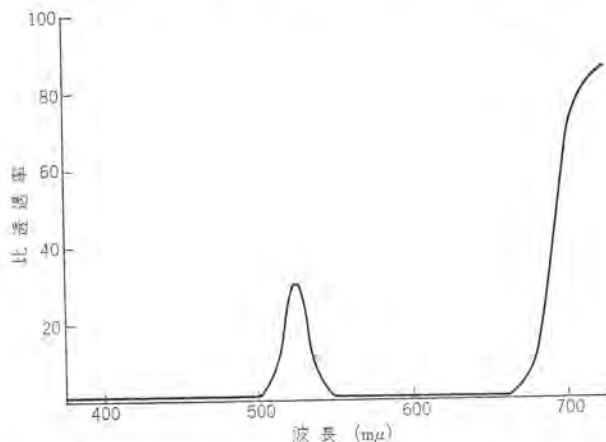


図 6.9 アルミン酸コバルト、硫化カドミウム 4:6 の混合顔料の分光透過率
Fig. 6.9 Spectral transmission of blue yellow mixed pigment.

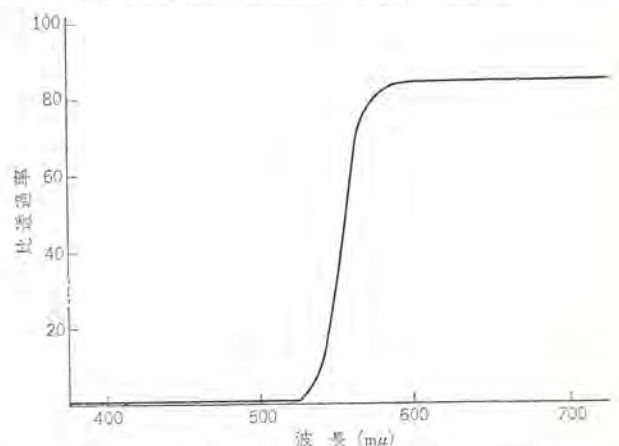


図 6.10 硫化カドミウムセレンダイダイ色顔料の分光透過率
Fig. 6.10 Spectral transmission of orange pigment.

は 3:7 である。

6.3 フィルムオーソクロマティックタイプ用紅色 ケイ光ランプ

顔料層に図 6.5 にしめすような 波長 600 mμ 以下の光を吸収する硫化カドミウムセレン 赤色顔料を使用し、ケイ光体層は図 6.6 にしめすような発光スペクトル分布をもつ ヒ酸マグネシウムケイ光体と上記顔料の混合物である。このケイ光体と顔料の混合割合は FL10-CFDP-P は 5:5, PA は 4:6, PB は 3:7 である。

暗室用ケイ光ランプ・富平・大山・大田・土井・山崎

6.4 フィルムバンクロスティック用綠色ケイ光ランプ

顔料層は図 6.7 および図 6.8 にしめすような拡散透過率分布をしめす アルミン酸コバルト 青色顔料と、硫化カドミウム 黄色顔料を 4:6 (重量比) の割合で混合したものからなり、その混合顔料の拡散透過率分布は図 6.9 のようになる。またケイ光体層は図 6.4 にしめすような発光分布をもつ ケイ酸亜鉛ケイ光体 と上記顔料の混合物からなっている。このケイ光体層中のケイ光体と顔料の比率は 重量比で FL10-FDP-GA が 2:8, GB が 1:9 で

表 7.1 用途による暗室用ケイ光ランプ機種の選択

用 途		暗室用ケイ光ランプの 適 合 機 種
タ イ プ	例	
非 整 色 性 (Regular)	プロセスフィルム (印刷用)	FL10-FDP-R
	" (写真製版用)	"
	工業用 X レイフィルム	"
	赤 外 線 フ ィ ル ム	または FL10-CFDP-O
整 色 性 (Ortho chromatic)	カラーフィルム青感乳剤	FL10-CFDP-O
	プロセスフィルム (オーソロパシ)	FL10 CFDP P
	医療用緑感性間接 X レイフィルム	"
全 色 性 (Pan chromatic)	カラーフィルム緑感乳剤	"
	一般ネガフィルム (B 形)	FL10-CFDP G
	一般高感度ネガフィルム (C 形)	"
	カラーフィルム赤感乳剤 (A 形)	"
印 画 紙	ガスライド紙 (クロライド紙)	FL10-PDP, FL20-PDP または FL10-FDP-R FL10-CFDP-P など
	クロロプロマイド紙	
	ブ ロ マ イ ド 紙	
	ガラス印刷紙	FL10-CFDP-O

ある。

6.5 印画紙用ケイ光ランプ

顔料層には図 6.10 にしめすような拡散透過率分布をもつ硫化カドミウム-セレンダイダイ色顔料を使用し、ケイ光体層には、図 6.3 にしめしたケイ酸カルシウムケイ光体と上記顔料を 1:1 の割合に混合したものを使用した。

7. 応用例および使用上の注意

以上のことをまとめ、各用途別に適合する暗室用ケイ光ランプを対応させた例を表 7.1 にしめした。

暗室用ケイ光ランプ機種の選択には、上表のような対称物の種別によるほかに、露光許容時間・露光距離などが考慮されなければならない。そしてその操作には、一般の安全光源の場合と同様に、対象物の感度・露光時間・距離に応じた使用上の注意が必要である。

応用例

カラーフィルムの感光乳剤を製造する工程の安全光源として、前述のレギュラー・オーソクロマティック、パンクロマティックタイプのケイ光ランプを使用した例について説明してみよう。

これらのケイ光ランプの発光スペクトルは比較的シャープな波長分布をもっているが、このランプといえども対象フィルムの種類が非

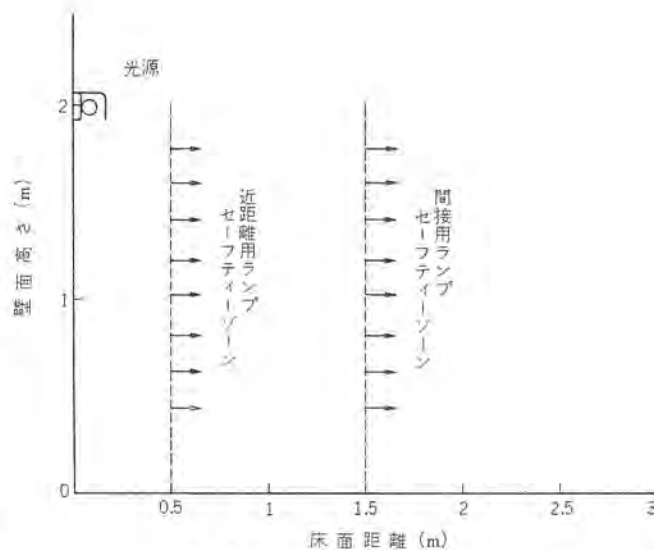


図 7.1 使用例
Fig. 7.1 Example of applications.

常に多いことを考えると、その固有感度に応じ、露光許容時間および露光距離により適正なランプ照度を選択する必要がある。暗室製造工程においては、作業フロアに十分な明るさを要求されるところから、照射の方法として、間接反射光により照明されることが望ましく、またランプの実用範囲が通常 1~3m の近距離照明であることを考え、光源と被写体との距離により、近距離用 (暗いタイプ) と間接用 (明るいタイプ) の 2 種類の明るさの異なるランプを使いわけると。

この 2 種類のランプの安全実用範囲は光源と被写体との距離によって表示すると

(1) 近距離用は光源取付け位置から 0.5m 以上

(2) 間接用は光源取付け位置から 1.5m 以上

がセーフティゾーンとなる。ただしこれは、ランプが図 7.1 にしめすような反射笠を利用した間接拡散光源で、被写体から 1~2m の高さの位置に取付けられた状態の場合である。

8. む す び

近年フィルムの用途は限りなく広がっており、医療用 X レイ・工業用 X レイ・赤外線フィルム・複写製版用フィルム・航空写真用フィルムなど多種類にわたっている。

新開発の暗室用ケイ光ランプがその特長を生かして、それぞれの使用目的に適切に利用されることを切に願ってやまない。

照明経済の比較計算に関する諸構成要素とその応用

小堀 富次雄*

Constitution Factors on Comparative Calculation of Illumination Economy and Its Applications

Ofuna Works Fujio KOBORI

In planning illumination facilities of factories, business offices and streets, the problem of illumination economy is important as well as illumination effect. For the selection of light sources in the lighting facilities their relative merits are studied by calculations on economic comparison, which is to be made under the same condition by clearly specifying the basic items from a fair standpoint. As constitution elements in the calculation of economy, the total of initial costs, annual fixed charges, annual operation costs, annual maintenance costs and energy costs and also annual lighting costs are analyzed and studied of their contents. As the applications, about illumination of offices and factories calculation on economic comparison is made classified by light sources.

1. ま え が き

工場・事務所・道路などの各種照明施設における経済比較に関

しては一般に照明効果を等しくして、同一照明方式の下で各種光源と照明器具を組み合わせる照明施設を施工した場合のそれぞれの諸条件に対する経済計算の結果を比較し、その経済性の優劣を



図 1.1 埋込形高出力ケイ光灯 FLR-110 HW×2 灯用器具による設計室の照明

Fig. 1.1 Illumination of a design room with recessed fitting of 2-FLR-110-HW high output fluorescent lamps.



図 1.3 ケイ光水銀灯 HF-400 反射 ガサ 付照明器具による高天井工場の照明

Fig. 1.3 Illumination of factory with luminaires attached with reflector for fluorescent mercury lamp HF-400.



図 1.2 高出ケイ光灯 FLR-110 HW 3 灯用反射 ガサ 付照明器具による中天井工場の照明

Fig. 1.2 Illumination of factory with luminaires attached with reflector for high output fluorescent lamps groups of 3 FLR-110 HW.



図 1.4 銀白色ケイ光水銀灯 HF-400 SW×2 灯用道路照明器具による高速道路の照明

Fig. 1.4 Illumination of expressway with luminaires for silver white fluorescent mercury lamp 5 groups of 2 HF-400 SW.

検討するものである⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

経済計算の照明費の内訳としては、照明施設の設備費に関する項目と点灯を継続するために必要な経費、すなわち、点灯のための電力費と点灯をよい照明の条件の下で維持するための保守費との合計である運転費からなり、ここに照明経済として、照明によって得られる利益が照明を行なうことによる経費を上回って効果が上がるかどうかという問題がある。

照明がなんらかの形でわれわれ人類に有利に役だつものとすれば、工場では生産能率を増進し、事務所では事務能率を高め、道路では交通の安全性を高めるなど必ず利益をもたらすものでなければならず、そのいずれの場合も経済的に有利であることが望ましい。図 1. 1～1. 4 はこれらの最近の照明施設例である。よい照明施設の照明費が高価であって悪い施設が安上がりというのは、照明の経済性が確立したとはいえない。照明効果が上がり、利益をもたらす、役だつ照明施設でしかも経済的に有利な光源と照明器具を選定するのである。

ここでは照明経済に関し、比較計算のための照明費を構成する諸要素を分析検討し、あわせてそれらの応用例として数例の経済比較計算によって得られた結果について経済的優劣の検討を行なった。

2. 照明経済の比較計算に対する考え方

筆者は先に数多くの照明経済に関する論文・資料⁽¹⁾⁽²⁾を発表し、それぞれの時代の新光源の完成、および普及に対して照明の経済性の優劣に検討を加え、その結果については照明界のために活用してきたが、これらの経済性の優劣についての信頼度があるかどうかなどの質問をしばしば受けることがある。特定の光源を経済的に有利であるように、作意的に計算を行なうことが可能かどうかという疑問である。この質問に対する筆者の回答は、「筆者は作意的に特定の光源を経済的に有利になるように、とくに特定の光源に有利な条件を選んで計算を行なわないことを念願としており、このことを照明経済比較の原則と考えている」ということである。この信念がなければ照明経済の比較は無意味なものといえよう。したがって、照明経済比較はあくまでも公正な立場で基礎資料を明示し、同一条件の下でその計算結果を比較して経済性を検討するものであって、経済比較の計算によって得られるその優劣は単に結果だけが重要なのではなく、内容の裏付けがあってこそ、その結果が役だつものである。

さて、以上の考えにもとづいて論を進めるわけであるが、照明経済に関する各構成要素の数値はその時代によって変化するから決定的な結論は出しにくいものである。

3. 照明経済比較として検討される事項

照明経済比較の計算によって得られる結果の検討については、上述のとおりであるが、検討される事項については次のようなものが考えられる。

- (a) 各照明施設における光源および照明器具別の優劣の決定
- (b) 室指数（床面積、天井の高さ、各部の反射率で決定する）による光源の選定
- (c) 光源の営業寿命の決定
- (d) 光源の経済交換時間の決定
- (e) 現在または将来の光源、照明器具の諸特性の設定および

び価格の決定

- (f) 初設備費、年間固定費、年間保守費および年間電力費などの年間照明費の内訳の検討

- (g) そのほか、照明費を構成する諸要素の分析

(a) は照明経済比較としては最も一般的な事項で、ある特定の照明施設を設計する場合、同一照明方式その他の条件の下でいく種類かの光源と照明器具を組み合わせで設計し、経済比較を行なうものであるが照明効果をなるべく等しくなるように設定することが必要である。

光束法による照明設計計算では、平均照度が算出されるから均斉度をあらかじめ想定しておく。均斉度が著しく差のある場合は結果として経済的な優劣が現われても設定条件が不備で正確な比較とはいえない。また、光色の異なる光源間の比較もその用途、目的によっては同様に正確な比較のできない場合がある。

(b) 一般に低天井建屋ではケイ光灯、高天井建屋では水銀灯が照明技術の面から適しているといわれている。この場合、拡散光を有するケイ光灯と集光光を有する水銀灯との配光特性の相違によるものであるが、この光源の特性の相違は当然、照明経済の比較の対象となる。天井の高さによる経済性の変化というより、床面積、天井の高さおよび各部の反射率などを考慮に入れた室指数による経済比較がより正確な優劣の表わし方といえる。

(c) 光源の寿命の定義はなかなかむずかしい。JISZ 8113-1966 照明用語中、寿命（光源）の意味は光源として有効に点灯できる通算時間であり、各メーカーにより公称された長期間にわたる製品の平均値を定格寿命とし、平均値（平均寿命）は生残率曲線で点灯後、光源の数が 50 % に減少したときの点灯時間に相当している。

また、IEC では所定の動程試験を行ない、定格寿命の 40 % を経過したときの全光束が初光束の 75 % に下がるまでの合計点灯時間の 2.5 倍か、あるいは同様の試験でランプが点灯しなくなるまでの合計点灯時間か、いずれかのうち、短かいものを寿命ということになっている。要は光源の寿命とは点灯後、不点灯はもちろん、黒化、光束の低下がはげしく実用上、光源として役にたたなくなるまでの平均点灯時間であるが、カタログ寿命とは以上の意味も含めて各社のカタログなどで公表する寿命時間をいい、営業から見た寿命のことである。ある光源が他の光源よりすぐれているためには、諸特性および価格が決定している場合、寿命のみを考慮して見ると寿命の長いほうが望ましい。しかし、寿命については管球技術の進歩によって決定するので、単に営業的希望によって決定するわけにはいかない。ここに経済性の問題がある。

(d) 光源を適当な点灯時間において交換することは、その照明施設を正しい条件の下で使用するためにもたいせつなことである。光源を適正使用するためには経済的な交換時間があり、それ以上でも以下でも交換時間が異なることは経済的に不利となる。点灯を継続していても著しく光束が低下した状態での光源を使用していることは不経済となる。

(e) 現在または将来の光源、照明器具の諸特性および価格が適正であるかどうかの経済的評価もできる。

(f) 年間照明費の内訳について光源別に経済的な検討ができる。年間固定費、保守費および電力費などのそれぞれの比率を分析することにより、照明施設としてその光源が適しているかどうかの判断ができる。

- (g) そのほか、照明費を構成する諸要素として償却年数と償

却係数, ランプ交換および清掃に要する人件費, 年間清掃回数などがあり, 経済性に及ぼす影響の検討と分析も経済比較をより正確に計算するために必要である。

4. 比較計算に関する諸構成要素⁽¹⁾

照明経済比較では, ある照明施設における各種光源および照明器具に対する年間照明費の比較を行なうわけであるが, 照明設計計算によって得られる平均照度は, 各光源により若干設計値より異なった値を示すので, 単位照度あたりの年間照明費の比率によって比較を行ない, 光源別に経済的な有利さの順位を決定する。

4.1 年間照明費

ある照明施設で, 1 年間に要した照明費の内訳は

$$\text{年間照明費 } C_T = \text{年間固定費 } F + \text{年間保守費 } M + \text{年間電力費 } P \dots\dots\dots (4.1)$$

したがって単位照度あたりの年間照明費 C_T' は

$$C_T' = \frac{C_T}{\text{平均照度 } E_m} \dots\dots\dots (4.2)$$

平均照度は, 一般には全般照明として室内で水平面照度, 道路では路上の照度を示すが, 場合によっては鉛直面またはそのほかの照度を示す場合もある。

さらに年間照明費を細分すると次のようになる。

4.2 減価償却

一般に事業場においては, 投下資本による機械類その他の諸設備は使用することによって消耗するものである。照明施設における照明器具および配線類も例外ではない。消耗した金額を生産品の価格中で償却することを減価償却という。つまり, 減価償却とは投下資本による諸設備を永久に, 常に新しい状態におかれるように資本的に蓄積することである。

その償却方法については, 定額法によって均等に償却する方法, 定率法によりティ(通)減的に償却する方法, または減価基金法によってティ増的に償却する方法など種々あるが, ここでは簡単のため定額法によることとする。

年間償却係数 K は年間の償却費に対する係数で, 償却年数によって異なる値をとるものである。年間償却係数は照明器具の耐用年限の期間における価値の低下, すなわち減価のほか, 利子・税金・保険・維持などの総計に基づくもので, 一般には工場, 道路などの照明施設に対しては 12 年償却で約 16%, 事務所・学校・商店などの照明施設に対しては 8 年償却で約 20%, または

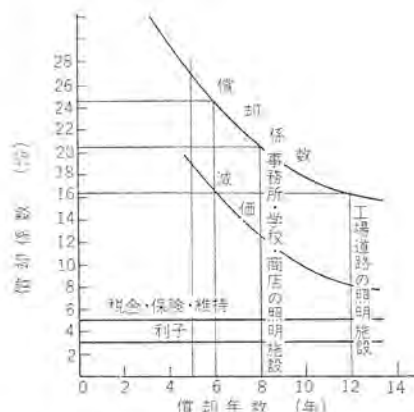


図 4.1 償却年数と償却係数との関係
Fig. 4.1 Relation between a number of years for depreciation and depreciation factors.

6 年間償却で約 25% になる。

図 4.1 は償却年数と償却係数を示したものである。

償却年数をいずれにとるかは, 照明施設の耐用年限に対する需用者の考え方で決まるものであるが, 一般に年々照度向上の傾向があり, さらに照明施設を新規に取り換えて技術的にも経営的にもよい照明状況, 美観などを保つように考慮の払われる設備ほど償却年数を短かく考える必要がある。

4.3 年間固定費

減価償却の考えに基づいて, 定額法によって最初に照明設備の施工に要した経費の中から一定額を年間固定費とする。

$$\text{年間固定費 } F = \text{年間償却係数 } K (\text{最初に要した全照明設備費}) = K (\text{照明器具価格 } C_F + \text{安定器 } C_B + \text{配線取付け工事費 } C_1) \dots\dots\dots (4.3)$$

なお, この場合, 照明設備中に光源, グロースタタのような消耗品は除き, これらは保修部品として保守の項で考慮することとする。

また, 償却年数したがって償却係数のとり方によって年間固定費(これは式(4.3)により, 同一照明施設では償却係数に比例する)は変化し, 年間照明費に影響してくるが, 各照明施設での年間照明費の比率では, 年間照明費に対する全施設費の少ない場合のほうが償却係数の大きい場合にその比率は小さくなっていく。

図 4.2 はその一例で後述の表 5.5 から計算したものである。

4.4 年間保守費

年間保守費はランプ交換のための人件費, 交換するランプの価格およびランプ, 照明器具の汚損を清掃するための洗剤, 機械などの材料費を含めての人件費の合計である。

$$\text{年間保守費 } M = \text{年間ランプ交換費 } E + \text{年間清掃費 } S$$

(1) 年間ランプ交換費

$$E = (C_L + a) N' = (C_L + a) \cdot n \cdot N \cdot \frac{t}{T} \dots\dots\dots (4.4)$$

ここで C_L : ランプ価格(円) a : ランプ 1 本あたりの交換に要する人件費(円), N' : 年間ランプ交換数, n : 照明器具あたりのランプ数, N : 施設された照明器具数, t : 年間点灯時間(h), T :

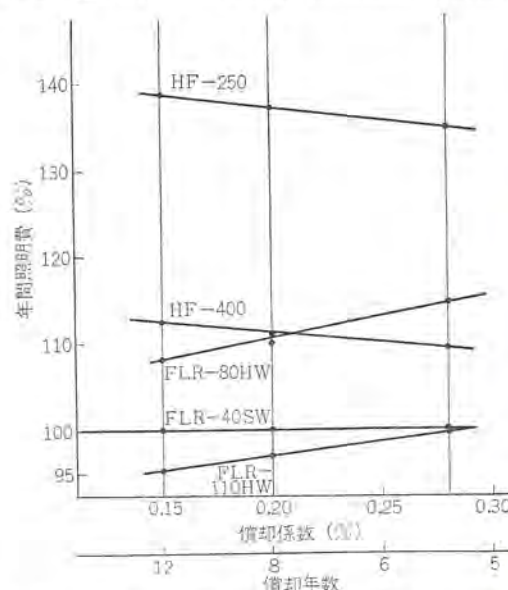


図 4.2 償却年数, 償却係数と年間照明費との関係の一例
(表 5.5 大工場の照明経済比較の場合)

Fig. 4.2 Example relation among a number of years for depreciation, depreciation factors and illumination cost through year.

表 4.1 ランプ交換人件費が年間ランプ交換費に及ぼす影響
(a) FLR-40 SW $C_L=530$ 円, $N'=1,480$, $a=20, 50, 100, 150$
および 300 円とすると年間ランプ交換費は次のようになる。
(表 5.5 から計算した一例)

a (円)	20	50	100	150	300
E (円)	815,000	860,000	933,000	1,006,000	1,230,000
E (%)	87.3	92.2	100.0	107.8	132.0

(b) FLR-110 HW $C_L=1,250$ 円, $N'=525$

a (円)	20	50	100	150	300
E (円)	667,500	683,000	710,000	736,000	815,000
E (%)	94.0	96.2	100.0	103.6	114.7

すなわち E は C_L と a との合計に比例する。

表 4.2 ランプ交換費が年間照明費に及ぼす影響
(表 5.5 から計算した一例)

(a) FLR-40 SW $b=200$ 円, $c=2$ 回の場合

a (円)	20	50	100	150	300
L (円)	6,995,000	7,040,000	7,113,000	7,186,000	7,410,000
L (%)	98.3	99.0	100.0	101.0	104.0

(b) FLR-110 HW $b=300$ 円, $c=2$ 回の場合

a (円)	20	50	100	150	300
L (円)	6,727,000	6,742,600	6,769,600	6,795,600	6,875,000
L (%)	99.3	99.5	100.0	100.3	101.3

表 4.3 清掃費が年間清掃費に及ぼす影響

$b=50, 100, 200, 300$ および 600 円, $c=1, 2$ および 4 回とすると表 5.5 から計算により

(a) FLR-40 SW $N=1,650$

$b+d$ (円)	50	100	200	300	600
$c=1$ S (円)	825,000	165,000	330,000	495,000	990,000
$c=2$ S (円)	165,000	330,000	660,000	990,000	1,980,000
$c=4$ S (円)	330,000	660,000	1,320,000	1,980,000	3,960,000
S (%)	25	50	100	150	300

(b) FLR-110 HW, $N=584$

$b+d$ (円)	50	100	200	300	600
$c=1$ S (円)	29,250	58,500	117,000	175,500	350,000
$c=2$ S (円)	58,500	117,000	234,000	350,000	700,000
$c=4$ S (円)	117,000	234,000	468,000	700,000	1,400,000
S (%)	25	50	100	150	300,000

すなわち S は $b+d$ に比例する。

表 4.4 清掃費が年間照明費に及ぼす影響
(表 5.5 から計算した 1 例)

(a) FLR-40 SW $a=100$ 円, $c=2$ の場合

b (円)	50	100	200	300	600
L (円)	6,618,000	6,783,000	7,113,000	7,443,000	8,433,000
L (%)	93.0	95.3	100.0	104.5	118.5

(b) FLR-110 HW $a=150$ 円, $c=2$ 回の場合

$b+d$ (円)	50	100	200	300	600
L (円)	6,504,160	6,562,600	6,679,600	6,795,600	7,145,600
L (%)	97.4	98.2	100.0	101.6	107.0

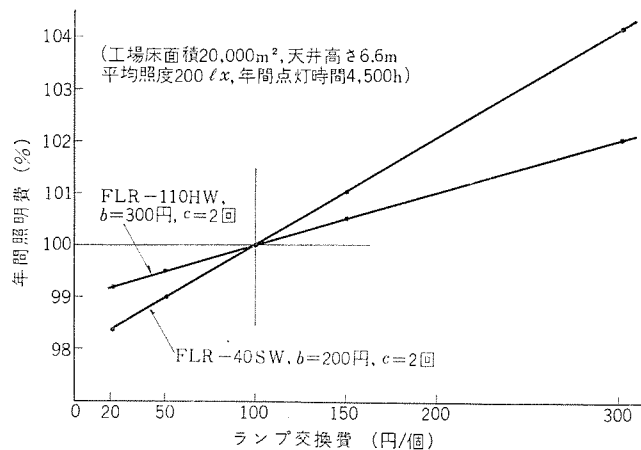


図 4.3 ランプ交換費が年間照明費に及ぼす影響
Fig. 4.3 Influence of replacement lamp cost to annual lighting cost.

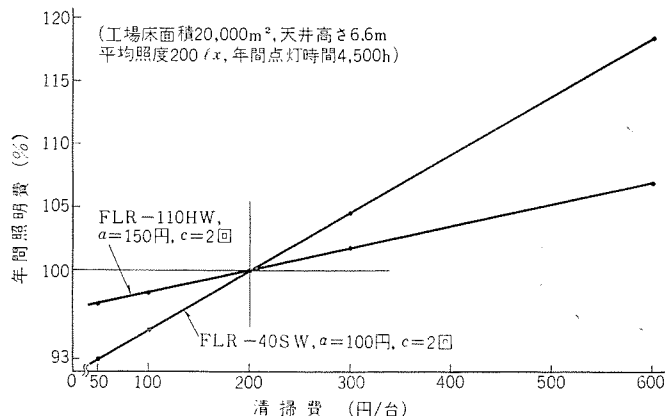


図 4.4 清掃費が年間照明費に及ぼす影響
Fig. 4.4 Influence of cleaning cost to annual lighting cost.

ランプ寿命(h)

なお、集団交換と個別交換に要する人件費 a は異なり、一般に前者は後者よりも安価となる。ランプ交換に要する人件費はその実態を得ることはたいせつであるが、実際に行なわれている交換状況から、つかむことがむずかしい。しかし式 (4.4) から同一の照明施設では (C_L+a) に比例するものであり、 $C_L > a$ の程度では年間照明費に及ぼす影響は非常に少ないと思われる。

表 4.1 および表 4.2 はランプ交換人件費が年間ランプ交換費および年間照明費に及ぼす影響を計算したもので図 4.3 はその一例を示している。(後述の表 5.5 から計算したもの)

(2) 年間清掃費

$$S = (b+d) \cdot c \cdot N \dots \dots \dots (4.5)$$

ここで b : 器具あたり清掃に要する人件費 (円), c : 年間清掃回数, d : 器具あたり清掃に要する洗剤、機械などの材料費 (円)

清掃に要する人件費の実態を得ることはたいせつであるが、実際に行なわれている清掃状況から、つかむことはむずかしい。しかし、式 (4.5) から同一照明施設では $(b+d)c$ に比例するものであり、年間照明費に及ぼす影響は比較的少ないと思われる。表 4.3 および図 4.4 は清掃費が年間清掃費および年間照明費に及ぼす影響を計算したもので、図 4.4 はその一例である。

4.5 年間電力費

年間点灯するために消費する電力費で

$$P = p \frac{W_L + W_B}{10^3} N t \dots \dots \dots (4.6)$$

ここで p : 電力料金 (円/kw), W_L : ランプ入力 (W),

W_B : 安定器損失 (W)

同一照明施設では P , $W_L + W_B$ および t に比例する。

4.6 年間運転費

これらの照明施設を年間点灯して運転するための経費が年間運転費 R で、年間保守費と年間電力費との合計である。

$$R = M + P = E + S + P \dots \dots \dots (4.7)$$

4.7 受電設備

受電設備を照明経済計算の項目に入れば、さらに正確な結果が得られるわけである。しかし変電所設備費、変電トウ(塔)費および据付費または予備電源の設備費などの受電設備の経費についての資料、および計算すべき照明施設に対する受電設備の分担経費についての資料は、なかなかつかみにくいため、一般には計算に入れていないが、場合によっては考慮すべきであろう。

4.8 初設備費

照明計画に必要な設計の基礎資料に基づいて計算した照明設備に要する最初の経費である。すなわち、照明設備として完成した状態で電源を供給すれば、ただちに役に立つ照明が得られる。照明設計の計算により、得られた照明器具の個数 N が決定すれば初設備費 I は、

$$I = N(C_F + C_B + C_L + nC_L) \dots \dots \dots (4.8)$$

以下比較の計算に使用する各光源、および照明器具の諸特性ならびに価格については、実際の照明施設では別に見積ることにより決定するが、ここでは一般的なものとして公表された値、すなわち最も新しいカタログ記載の数値(いわゆる正価)を使用した。したがって、これらの数値が改正されたり、異なる値を使用するときはその結果が変わってくることはいうまでもないことである。

なお、計算に便利のため

- (1) 光源、照明器具の形式 (S)
- (2) 照明設計としての基礎資料 (D)
- (3) 配線取付費を含めた初設備費 (I)
- (4) 年間固定費 (F)
- (5) 年間保守費 (M) および電力費 (P) 合計年間運転費 (R)
- (6) 単位照度あたりの年間照明費 (L)

に分類し、それぞれ光源別の年間照明費の比率を算出して経済的な優劣の比較検討を行なうものである。

5. 照明経済比較の応用例

以上のべた照明経済の比較計算に関する諸構成要素に基づいて、事務所および工場の照明施設について数例の計算を行なった。

5.1 事務所照明の経済比較

5.1.1 経済比較の条件

一般の中程度の大きさの事務室を想定し、室の床面積を $18 \text{ m} \times 36 \text{ m} = 648 \text{ m}^2$ (約 196 坪) とし、天井の高さは 2.7 m、照明器具は埋込形、光源は標準形 FLR-40 SW、高出力形 FLR-80 HW および FLR-110 HW 各 2 灯用とし、電源関係は 200 V、50/60 c/s とした。

机上面平均照度を 500 lx、年間点灯時間 4,500 h (約 12 h/日)、電力料金 6.0 円/kWh の場合とした。

5.1.2 埋込形器具

事務室の全般照明は照明器具天井 ヱカ 付け、つり下げ形および埋込形などの照明方式が考えられ、前 2 者は一般に使用される方式であるが、最近の低天井の室での高照度化およびシャ光の目的から埋込形が多く採用されるようになった。表 5.1 はこの計算に使用した光源および照明器具の諸特性と価格であるが、埋込形

表 5.1 各種光源と照明器具の比較 (事務所)

	光源の種類	高出力形ケイ光灯		
	光源の形式	FLR-40 SW (ルミスター)	FLR-110 HW	FLR-80 HW
タ ン プ	大 き さ (W)	40	110	80
	長 さ (mm)	1,198	2,368	1,500
	管 径 (mm)	32	38	38
	ランプ電流 (A)	0.42	0.8	0.9
テ	全 光 束 (lm)	3,300	8,700	5,700
	ランプ効率 (lm/W)	82.5	79.0	71.3
	ランプ寿命 (h)	10,000	10,000	10,000
照 明 器 具	照明器具の種類	埋込下面開放形	埋込下面開放形	埋込下面開放形
	照明器具の形式	FB-442 S	FB	FB
	ランプ数/灯具	2	2	2
	安定器損失 (W)	19	50	33
	力 率 (%)	95.0	90.0	90.0
価 格 (円)	保 守 率 (中程度)	0.67	0.67	0.67
	ラ ン プ 1 個	530	1,250	860
	安 定 器	2,660	7,500	6,500
	照明器具 (安定器込み、ランプ別)	6,090	16,300	21,300

表 5.2 経済比較の計算 (事務所)

	光源の種類	高出力ケイ光灯		
	光源の形式	FLR-40 SW	FLR-110 HW	FLR-80 HW
基 礎 資 料 (\bar{D})	照明器具の形式	FB-442 S	FB	FB
	ランプ数/灯具	2	2	2
	全 光 束 (lm)/個	3,300	8,700	5,700
	ランプ寿命 (h)	100.00	10,000	10,000
	消費電力 (W/灯具)	99.0	270	193
	照 明 率 V	0.75	0.62	0.60
	保 守 率 M	0.67	0.67	0.67
	灯 具 数 N	98	34	53
	平 均 照 度 E (lx)	500	498	497
	電 力 料 金 (円/kWh)	6.0	6.0	6.0
	年間点灯時間 (h)	4,500	4,500	4,500
	灯 具 価 格 (ランプ別)	6,090	21,300	16,300
初 設 備 費 (\bar{I})	配 線 取 付 費	2,030	7,100	5,440
	ラ シ ヅ 価 格 / 灯 具	1,060	2,500	1,720
	灯具あたり価格 (14+15+16)	9,180	30,900	23,460
	初 設 備 費 (10×17)	900,000	1,050,000	1,236,000
年 間 固 定 費 (\bar{F})	配線取付費込み灯具価格 (14+15)	8,120	28,400	21,740
	全 施 設 費	795,000	96,700	1,150,000
	年 間 固 定 費 (20×0.15)	119,000	145,000	172,500
	年 間 ラ ン プ 交 換 数 (4×10×13÷6)	44	15	24
年 間 運 転 費 (\bar{R})	同 交 換 ラ ン プ 価 格	23,300	18,800	20,600
	ラ ン プ 交 換 人 件 費 1 個	100	150	120
	年 間 ラ ン プ 交 換 人 件 費	4,400	2,250	2,880
	清 掃 費 / 灯 具	200	300	240
	年 間 清 掃 回 数	2	2	2
	年間清掃費 (10×26×27)	39,200	20,400	25,400
	保 守 人 件 費 (25+28)	43,600	22,650	28,280
	年 間 人 件 費 (23+29)	66,900	41,450	48,880
	年間電力費 $\left(\frac{7 \times 10 \times 12 \times 13}{1,000}\right)$	262,000	248,000	276,000
	年 間 運 転 費 (30+31)	328,900	289,450	324,880
年 間 照 明 費 (\bar{L})	年 間 照 明 費 (21+32)	447,900	434,450	497,380
	単位照度あたり年間照明費 (33÷11)	893.0	870.0	995.0
	同 上 比 率 (%)	100	97.3	111.5

器具に関しては40W×2灯用器具は一般に普及し、各社で標準形が用意されているが高出力形器具に関してはまだ標準化も進んでいない。そのため高出力形器具の価格は決定的なものが得られないので、ここでは40W器具と高出力形器具の他の形との比較および実際の照明施設への納入価格から想定して仮定した価格を使用した。

5.1.3 計算結果とその検討

照明経済比較の計算結果は表5.2のとおりである。これを検討すると

(1) 年間照明費の比較では高出力形 FLR-110 HW×2 灯用器具が最も経済的に有利である。

(2) 次に標準形 FLR-40 SW×2 灯、高出力形 FLR-80 HW×2 灯の順に経済的となった。

(3) ただし、FLR-110 HW×2 は FLR-40 SW×2 に比べて経済的にわずかに有利な結果となった。

昭和37年⁽⁶⁾の事務室照明で天井 2 灯付け V 形反射板付器具での比較では、高出力形 ケイ 光灯は FLR-40 W に比べて非常に有利 (FLR-40 W の年間照明費を 100 % とした場合、FLR-110 HW は 76.6 %、FLR-80 HW は 83.7 % であった) であったが、今回の計算では上記のように高出力 ケイ 光灯 FLR-110 HW が標準形 ケイ 光灯 40 W に比べて比較的に有利でなく、FLR-80 HW ではむしろ不利となった。そのおもな理由は照明器具の価格の設定であって、高出力 ケイ 光灯の埋込照明が普及し、その器具価格が低くなればますます高出力 ケイ 光灯の経済性は確立されよう。

5.2 40 W ケイ 光灯の全光束の差による経済比較

5.2.1 40 W ケイ 光灯の全光束の差

40 W 白色 ケイ 光灯の全光束は 1951~52 年頃は 1850 lm 程度、1953~56 年に 2,200 lm、1957~60 年、2,800 lm、1963 年、3,000 lm、1963~64 年 3,200 lm、1965 年には世界で最も明るい ルミヌーパ ケイ 光灯 3,300 lm の出現のように高効率化は急激に進んだ⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

これらの ケイ 光灯の全光束は 100~200 lm ずつ増加してきたもので、光束値そのものはわずかな値と思われるが実際に照明施設にこれらの ランプを使用した場合、経済的にどのような効果があるかについて検討した。

5.2.2 経済比較の条件

(1) 40 W 白色 ケイ 光灯が最も広く使用される一般事務室として、床面積 18 m×36 m=648 m²、天井の高さ 2.7 m に V 形反射板付きの 40 W×2 灯用照明器具を天井 2 灯付けとし、天井・

壁の反射率はそれぞれ 75 %、50 % とする。

(2) 電源は 200 V 50/60 c/s 単相配線、使用安定器は直列逐次始動高効率形とする。

(3) 照明方式は全般照明とし、机上の平均照度は 500 lx とする。

(4) 年間点灯時間は 3,000 h (約 8 h/日)、年間清掃回数は 2 回とし、電力料金は 6.0 円/kWh とする。

(5) ランプ寿命と ランプ 価格とは時代により ランプ 光束が増加するとともに変化したので、ランプ 寿命は 7,500 h と 10,000 h、ランプ 価格は 480 円と 530 円とし実際に即して組み合わせ、照明器具の価格は現在のものを使用し変化しないものとした。すなわち、現在の照明器具を使用した照明施設において、各 ランプ 光束の ランプ (ランプ 寿命と ランプ 価格を組み合わせ) を使用した場合の経済比較の検討である。

5.2.3 経済比較の計算とその検討

経済比較の計算は表 5.3 のようであるが、全光束 3,300 lm、3,200 lm の ランプ は ランプ 寿命 10,000 h、ランプ 価格 530 円のものに対し 3,000 lm、2,800 lm の ランプ は、ランプ 価格 480 円のものの中で 3,000 lm の ランプ では寿命 10,000 h と 7,500 h の 2 通りで計算した。

その結果は次のとおりである。

(1) まず、3,300 lm の ランプ に対し 100 lm 少ない 3,200 lm の ランプ では、他の条件が変わらないとして、年間照明費の比率で 2.5 % 大となる。

(2) 3,200 lm の ランプ に対し、200 lm 少ない 3,000 lm の ランプ では ランプ 寿命は 10,000 h で変わらず、価格が 50 円安い場合、約 5.5 % 増となる。

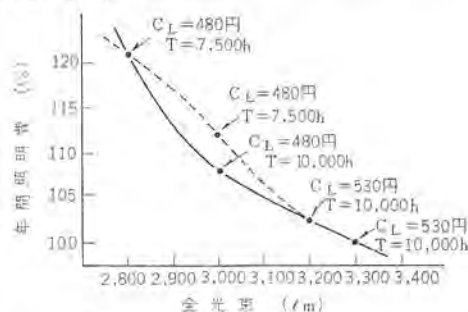


図 5.1 40 W ケイ 光灯の全光束の差による経済比較(事務室)
Fig. 5.1 Economical comparison according to the difference of 40 W fluorescent lamp total flux.

表 5.3 経済比較の計算結果(事務室)

光 源	FLR-40 SW (ルミヌーパ)	FLR-40 W			
全 光 束 (lm)	3,300×2	3,200×2	3,000×2	3,000×2	2,800×2
ラ ン プ 寿 命 (h)	10,000	10,000	10,000	7,500	7,500
所 要 灯 具 数	108	111	118	118	127
照明器具価格(ランプ別) (円)	3,190	3,190	3,190	3,190	3,190
ラ ン プ 価 格 (円)	530	530	480	480	480
初 設 備 費 (円)	580,000	595,000	502,000	502,000	540,000
年 間 固 定 費 (円)	92,700	94,500	101,000	101,000	109,000
年 間 保 守 費 (円)	84,200	86,700	88,400	102,300	110,000
年 間 電 力 費 (円)	195,000	200,000	213,000	213,000	229,000
年 間 運 転 費 (円)	279,000	286,700	301,400	315,300	339,000
	371,900	381,200	402,400	416,300	448,000
	100.0	102.5	108.0	112.0	121.0
年 間 照 明 費 (円)	97.6	100.0	105.5	109.2	117.5
同 上 比 率 (%)	92.5	94.7	100.0	103.4	111.2
	89.3	91.5	96.7	100.0	107.6
	83.0	85.0	89.8	93.0	100.0

(3) 3,000 lm のランプで寿命が 7,500 h のものは 10,000 h のものより約 3.4 % 増となる。

(4) 3,300 lm のランプに対し、500 lm 少ない 2,800 lm (3,300 lm の 15 % 減) のランプでは寿命は 2,500 h (25 %) 短かく、価格は 50 円 (9.5 %) 安いが年間照明費では約 21.0 % 増となる。

(5) 以上を通じて、最近のケイ光灯として全光束、寿命および価格の相違では光束が増し、寿命が長くなるにしたがってランプ価格が高くなるにもかかわらず、ますます経済的に有利となっている、これらの状態を図で示すと図 5.1 のようになる。

5.3 大工場における光源別の照明経済比較⁽⁹⁾

一般の大規模な機械工場として、光源はケイ光灯標準形 FLR-40 SW、高出力形 FLR-110 H-W、FLR-80 H-W、ケイ光水銀灯

HF-400、HF-250 を使用して施設した場合の経済比較を行ない、その優劣を検討する。

5.3.1 経済比較の条件

(1) 建屋は床面積 100 m×200 m=20,000 m² (約 6,000 坪)、照明器具は反射カサ付き工場照明用のものを取付け、高さ 6.6 m 天井ハリカ付けの機械工場とし、天井・壁の反射率はそれぞれ 50% 30 % とする。

(2) 電源は 200 V、50/60 c/s 単相配線、使用安定器はケイ光灯では直列逐次始動高力率形、ケイ光水銀灯では力率改善用コンデンサ付チョークコイル形とする。

(3) 照明方式は全般照明とし、作業面の平均照度は 200 lx とする。

表 5.4 各種光源と照明器具の比較 (大工場)

	光 源 の 種 類		標準ケイ光灯	高出力形ケイ光灯		ケイ光水銀灯	
	光 源 の 形 式		FLR-40 SW (ルミスター)	FLR-110 H-W	FLR-80 H-W	HF-400	HF-250
ラ ン プ	大 き さ (W)	40	110	80	400	250	
	長 さ (mm)	1,198	2,368	1,500	290	250	
	管 径 (mm)	32	38	38	118	100	
	ラ ン プ 電 流 (A)	0.42	0.8	0.8	2.35	1.5	
ブ	全 光 束 (4,500°K 白色)	3,300	8,700	5,700	20,000	11,400	
	ラ ン プ 効 率 (lm/W)	82.5	79.0	71.3	50.0	44.8	
	ラ ン プ 寿 命 (h)	10,000	10,000	10,000	12,000	12,000	
照 明 器 具	照明器具の種類	反射がさ付配照形	反 射 が さ 付 配 照 形		反 射 が さ 付 配 照 光 形		
	照明器具の形式	FH-4102 RSH	FH-1102-RSH	FH-802-RSH	HH-313	HH-313	
	ラ ン プ 数 / 灯 具	2	2	2	1	1	
	安 定 器 損 失 (W)	19	50	33	23	19	
	力 率 (%)	95	90	90	90	90	
	保 守 率 (%)	0.56	0.56	0.56	0.59	0.59	
価 格 円	ラ ン プ (個)	530	1,250	860	5,400	4,400	
	安 定 器	2,660	7,500	6,500	6,300	4,930	
	照明器具 (ランプ別、安定器込み)	3,340	12,500	9,580	7,970	6,600	

表 5.5 経済比較の計算 (大工場)

光源 (S)	1	光源の種類	標準形ケイ光灯	高出力ケイ光灯		ケイ光水銀灯		
			FLR-40 SW (ルミスター) FH-4102 RSH 2	FLR-110 H-W FH-1122 RSH 2	FLR-80 H-W FH-802 RSH 1	HF-400 HH-313 1	HF-250 HH-313 1	
基礎資料 (D)	5	全光束 (lm)	3,300×2	8,700×2	5,700×2	20,000	11,200	
	6	ランプ寿命 (h)	10,000	10,000	10,000	12,000	12,000	
	7	消費電力 W/灯具	99	270	193	423	269	
	8	照明率 U	0.66	0.71	0.70	0.66	0.66	
	9	減光補償率 D	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	
	10	灯具数	1,650	584	900	515	920	
	11	平均照度 (lx)	200	200	200	200	200	
	12	電力料金 (円/kWh)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
	13	年間点灯時間 (h)	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	
	初設備費 (I)	14	灯具価格(ランプ別)	3,340	12,500	9,580	7,970	6,600
		15	配線取付費	1,110	4,170	3,530	2,660	2,200
		16	ランプ価格/灯具	1,060	2,500	1,720	5,400	4,400
17		灯具あたり価格 (14+15+16)	5,510	19,170	14,830	16,000	13,200	
18		初設備費	9,100,000	11,200,000	13,400,000	8,260,000	12,150,000	
年間固定費 (F)	19	灯具価格(ランプ別)	4,450	16,670	13,110	10,630	8,800	
	20	全施設費	7,350,000	9,750,000	11,800,000	5,480,000	8,100,000	
	21	年間固定費 (20×15 %)	1,100,000	1,460,000	1,770,000	823,000	1,215,000	
年間運転費 (R)	22	年間ランプ交換数 (4×10×13÷6)	1,480	525	810	193	345	
	23	同 交 換 費	785,000	657,000	695,000	1,040,000	1,520,000	
	24	ランプ交換費/個	100	150	120	150	150	
	25	年間ランプ交換人件費	148,000	78,600	97,000	29,000	51,700	
	26	清掃費/灯具	200	300	240	300	300	
	27	年間清掃回数	2	2	2	3	2	
	28	年間清掃費 (10×26×27)	660,000	350,000	432,000	309,000	552,000	
	29	保守人件費 (25+28)	808,000	428,600	529,000	338,000	403,700	
	30	年間保守費 (23+29)	1,593,000	1,085,600	1,224,000	1,378,000	1,923,700	
	31	年間電力費 $\left(\frac{7 \times 10 \times 12 \times 13}{1,000}\right)$	4,420,000	4,250,000	4,690,000	5,880,000	6,690,000	
	32	年間運転費 (30+30)	6,013,000	5,335,600	5,914,000	7,258,000	8,613,700	
	年間照明費 (L)	33	年間照明費 (21+32)	7,113,000	6,795,600	7,684,000	8,081,000	9,828,700
34		同 上 比 率 (%)	100.0	95.5	108.0	113.5	138.0	

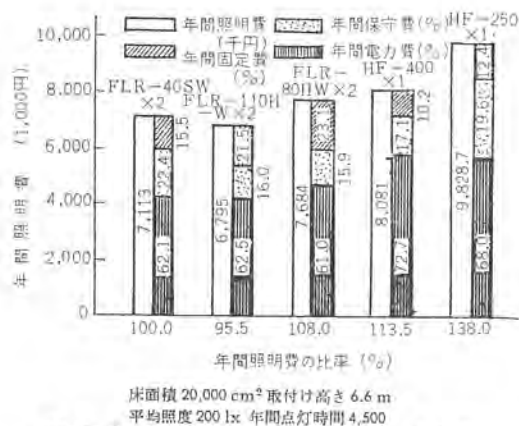


図 5.2 年間照明費の内訳 (大工場)
Fig. 5.2 The items of annual lighting costs.

(4) 年間点灯時間は 4,500 h (約 12 h/日) とし、その間、灯具あたりの年間清掃回数は 2 回とする。

(5) 電力料金は 6.0 円/kwh とする。ただし、基本料金は考慮しなかった。

表 5.4 はこの経済比較に使用した各光源と照明器具の諸特性と価格の比較表である。

5.3.2 経済比較の計算とその結果

計算の結果は表 5.5 のとおりである。その結果を検討すると FLR-40 SW を基準としてその年間照明費を 100 % とすると

(1) 高出力 ケイ 光灯 FLR-110 H-W は 99.5 % で最も経済的に有利である。次は FLR-40 SW, FLR-80 HW の順でケイ 光水銀灯 HF-400, HF-250 の順となっている。

(2) 初設備費では、HF-400 は 91.0 % で最も安価となり、次いで FLR-40 SW, FLR-110 HW, HF-250, FLR-80 HW の順で安くなっているが、年間照明費の比較では必ずしも経済的に有利とはならず、不利となる場合があるのは注意を要する。

(3) 年間照明費の内訳として固定費、保守費および電力費の比較として図 5.2 のようになる。

固定費の比率では HF-400, HF-250, FLR-40 SW, FLR-110 HW および FLR-80 HW の順で経費は大きくなり、HF-400 は高出力 ケイ 光灯の約 50 % となっている。

保守費では FLR-80 HW の経費が最も少なく、次いで FLR-110 HW, HF-400, HF-250 および FLR-40 SW の順で経費は大きくなっている。なお、電力費は FLR-80 HW が最も少なく、FLR-40 SW, FLR-110 HW, HF-400 の順で大きくなっている。

なお、工場照明の経済比較については昭和 33 年に筆者が計算した文献⁽¹⁰⁾では、照明施設の諸条件は異なるが、高出力 ケイ 光灯は標準形 FLR-40 W に対して経済的に非常に有利であった。すなわち、年間照明費の比率は FLR-40 を 100 % としたとき、FLR-110 HW は 67.7 %, FLR-80 HW は 80.8 % であった。上記の計算で高出力 ケイ 光灯が他の光源に比べて比較的有利でなかった理由としては、

(1) 現在の FLR-40 SW の全光束が当時に比較して約 80 % 増したのに対し、FLR-110 HW では約 4 %, FLR-80 HW では約 3.5 % 増した程度である。

(2) 照明器具 (ランプ別) の価格が当時に比較して 40 W 器具で約 58 %, 110 W 器具で約 86 %, 80 W 器具で約 96 % のように 40 W 器具がほかの機種に比べて非常に安価となった。

(3) また、ランプ価格の変化では 40 W ランプで FLR-40 SW はむしろ 6.0 % 増であるのに対し、FLR-110 W は 3.7 % 減、

表 5.6 光源の天井取付けの高さによる経済比較 (小工場)

(a) 天井の高さ 5 m, 床面積 648 m², 平均照度 200 lx, 年間点灯時間 3,000 h

光源	ケイ 光灯			ケイ 光水銀灯		電 球
	FLR-40 W×2	FLR-80×2 H-W	FLR-110×2 H-W	HF-250	HF-400	
ラジエ入力 (W)	80	160	220	250	400	200
初 設 備 費 (千円)	276.0	377.0	326.0	423.0	289.0	148.0
年 間 固 定 費 (千円)	33.5	49.8	42.7	42.3	28.8	19.7
年 間 保 守 費 (千円)	38.9	28.2	24.2	55.6	38.6	116.6
年 間 電 力 費 (千円)	66.8	67.8	62.0	116.0	103.0	254.0
年 間 照 明 費 (千円)	139.2	145.8	128.9	213.9	170.4	390.3
単位照度あたりの照明費の比率 (%)	100.0	104.8	92.7	153.0	122.0	276.0

(b) 天井の高さ 7 m, その他の条件は (a) に同じ

初 設 備 費 (千円)	315.0	437.0	383.0	453.0	296.0	153.7
年 間 固 定 費 (千円)	38.1	57.5	50.2	49.0	31.5	20.4
年 間 保 守 費 (千円)	44.2	32.1	28.8	49.3	31.8	121.6
年 間 電 力 費 (千円)	77.2	78.2	73.0	105.3	91.5	264.5
年 間 照 明 費 (千円)	159.5	167.8	152.0	203.6	154.8	406.5
単位照度あたりの照明費の比率 (%)	100.0	105.2	95.3	127.0	97.8	252.0

(c) 天井の高さ 12 m, その他の条件は (a) に同じ

初 設 備 費 (千円)	408.0	552.0	493.0	532.0	352.0	162.0
年 間 固 定 費 (千円)	49.5	73.0	62.5	57.5	37.4	21.5
年 間 保 守 費 (千円)	57.3	40.9	36.1	61.4	50.3	126.8
年 間 電 力 費 (千円)	99.0	99.0	91.3	123.5	108.6	278.0
年 間 照 明 費 (千円)	205.8	212.9	189.9	242.4	196.3	426.3
単位照度あたりの照明費の比率 (%)	100.0	103.5	92.5	117.8	95.4	207.0

FLR-80 HW は 4.4 % 減となったがその差は比較的少なかったことがおもな原因である。したがって高出力 ケイ 光灯がさらに高照度で大規模な施設に広く普及して使用され、ランプおよび照明器具が安価になれば、高出力 ケイ 光灯の経済性はますます有利となるわけである。

5.4 天井の高さの変化による工場照明の経済比較

工場照明では一般に天井の高さ、すなわち、光源および照明器具の取付けの高さにより、低天井ではケイ 光灯、高天井ではケイ 光水銀灯の使用が照明技術の面、および経済的に有利とされている。工場建物のうちで低天井と高天井との中間に存在する中天井 (天井の高さ約 5 ~ 9 m の範囲) では、ケイ 光灯とケイ 光水銀灯のいずれが経済的に有利となるかを計算した。

5.4.1 経済比較の条件

(1) 小工場として建屋の床面積 18 m × 36 m = 648 m² (約 196 坪)、平均照度 200 lx、年間点灯時間 3,000 h (約 8 h/日)、照明器具を天井に付け、天井の高さを 5, 7 および 12 m に変化させて計算した。光源および照明器具の特性および価格は表 5.4 によるものとした。ただし、40 W ケイ 光灯としては FLR-40 W (全光束 3,200 lm) のものを使用し、200 W 電球もあわせて計算した。

5.4.2 計算の結果とその検討

計算結果を要約したのが表 5.6 である。単位照度あたり年間照明費の比率では FLR-40 W の場合を 100 % として他の光源との比較を行なう。

(1) 天井の高さ 5 m の場合、高出力 ケイ 光灯 FLR-110 HW が最も経済的で次いで FLR-40 W, FLR-80 HW, ケイ 光水銀灯 HF-400, HF-250, 電球 IL-200 の順となるが電球の場合はほかの光源に比べて非常に不利となることがわかる。

(2) 天井の高さ 7 m の場合、FLR-110 HW に次いで HF-400, FLR-40 W, FLR-80 HW の順となり、天井が高くなると集

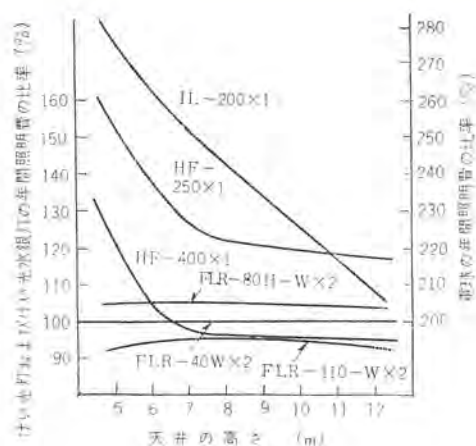
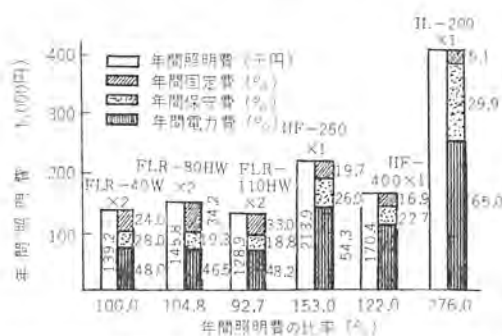


図 5.3 天井の高さの変化による年間照明費
Fig. 5.3 Annual lighting costs according to the difference of ceiling height.



床面積 648 cm^2 天井高さ 5 m 平均照度 200 lx 年間点灯時間 3,000 h

図 5.4 工場照明における経済比較
Fig. 5.4 Economical comparison of factory.

光性のケイ光水銀灯が優勢となる傾向が見られる。

(3) さらに天井の高さが増して 12 m では、400 W ケイ光水銀灯は上記よりさらに経済的に有利となった。

(4) 以上の条件では、天井の高さを増してもケイ光水銀灯は高出力ケイ光灯 110 W より経済的に有利とならないが、必要があればケイ光水銀灯のランニング入力をさらに大きくしなければならぬわけである。

(5) 以上 5, 7 および 12 m の天井高さに対していずれの場合でも電球 IL-200 は、ほかの光源に比べて不利であることがわかる。

図 5.3 はこれらの変化を図で示したもので、天井の高さが増すに従って、集光性の強いケイ光水銀灯と電球が拡散性の強いケイ光灯に比較して経済的に有利となってくる状態がわかる。

図 5.4 は、天井の高さ 5 m の場合の年間照明費の内訳を比率で示している。

6. む す び

以上、照明経済の比較計算を構成する諸要素について分析、検

討を加え、年間照明費を構成する内訳として年間固定費、年間運転費ならびに初設備費などの内容を論じた。その結果、

(1) 償却年数したがって償却係数のとり方によって年間照明費は変化するが、各照明施設での年間照明費の比率では年間照明費に対する全施設費の少ない場合のほうが、償却係数の大きい場合にその比率が小さくなっていく。

(2) 年間保守費としてランニング交換に要する人件費、および清掃費の実態より正確な値をつかむことはたいせつであるが、 $C_L > a$ の程度ではランニング交換人件費が年間照明費に及ぼす影響は非常に少ない。

(3) 清掃費が年間照明費に及ぼす影響は比較的少ないことがわかった。

また、照明経済比較の応用例として事務所・工場の照明について光源・照明器具別に経済比較の計算を行ない、その結果について経済的優劣の検討を行なったが、その結果経済的に有利なためには、

(1) 光源の特性として大光束、高効率、長寿命、光度減衰の少ない動程特性を有すること

(2) 照明器具の器具効率がよく保守率が少なく、安定器の損失が少ないこと

(3) 光源・照明器具および安定器その他の付属、その価格の低いこと

(4) 使用期間中のよごれが少なく、保守のしやすい照明器具および照明施設である

ことなどが必要である。さらに

(5) 初設備費が少ない場合が必ずしも年間照明費、すなわち、照明経済的に有利とはならず、年間点灯時間、年間電力費、年間保守費などの年間運転費が年間照明費に大きく影響するものであることがわかった。

(昭 41-7-23 受付)

参 考 文 献

- (1) 小堀：照学誌，50，No. 4，161 (昭 41)
- (2) 小堀：九州電力 専門技術講習会，「照明の経済計算」(昭 40-9)
- (3) 小堀：照明学会東京支部第 2 回照明セミナー III，「照明経済」(昭 40-10)
- (4) 小堀：電気四学会中国支部 16 回連大特別講演，「最近の光源と照明経済」(昭 40-11)
- (5) 照明学会編：照明のデータブック 531 (昭 33)
- (6) 小堀：照学誌，46，No. 5 186 (昭 37)
- (7) 小堀：第 11 回光学四学会連合講演会第 2 部(1)，35 (昭 40)
- (8) 小堀：「三菱電機技報」39，No. 7，917 (昭 40)
- (9) 小堀：建築設備と配管工事，3，No. 7，36 (昭 40)
- (10) 小堀：「三菱電機」32，No. 9，1167 (昭 33)

人工霧発生装置と光の霧中透過

伊藤 晃 徳*

Artificial Fog Generator and Transmission of Light through Fog

Ware Research Laboratory Terunori ITO

In the field of street lighting, illumination in foggy places pose many problems which remain unsolved. As one of a step stone to reach the goal the transmissivity of light through fog is taken up for study by using a fog box. As the distribution of fog droplet diameters has a great bearing in the matter, experiments have been made on the generation of fog, the measurement of the droplet diameter and the distribution of the number of droplets. The result in that: the temperature difference between the upper and the lower part of the fog box and the kind of nucleus have less effect on the droplet diameter than the pressure of steam jet has. In the measurement of droplet diameter, relatively stable specimen of fog is easily available if vaseline and mineral oil are so mixed to have gravity nearly one and fog is caught on its oil film. When the mean diameter of fog droplets is calculated in two ways. One is made with emphasis laid on the diameter while the other on the surface area. The article gives all the details thus revealed.

1. ま え が き

近年、高速道路の発達にともない道路照明も一段と整備されてきたが、道路幅に対するポールの間隔・誘導性・美感・物の識別最低照度等の諸問題は十分解決されるに至らない。霧が発生した場合の照明方法も未解決問題の一つであると考え、そこで先人の研究^{(1),(2),(3)}をもととして光の霧中透過実験を行なったが、よく晴れた静かな朝に発生する霧・雨後の霧・海上で発生する霧・山間部で発生する霧・煙の多い市街地で発生する霧というように一口に霧といっても発生状況も性質も異なる、このような各種の霧に対して個々に実験することは必要であるが、今回は異なる粒径の霧の発生実験および光の霧中透過実験を行なったが、気象現象という不定条件を含む問題であるため未解決の部分も多く残った、これらを紹介して読者のご批判をこう次第である。

2. 霧 の 発 生

霧はごく微細な水滴が空中に浮かんでいて水平視程が1 km 以下の状態になることをいい、気象観測上では1 km 以上の地物が見えるような非常に薄い霧を「もや」と呼んでいる。霧の発生原因は空中の水蒸気が急冷されて細かい水滴となることにあるが、その発生要因により通常蒸発・冷却・混合の三つに大別されている。

すなわち、蒸発によるものとしては雨後の霧・海上の霧等があり、空気より暖かい雨が降ったのち水蒸気が急冷されて発生する場合、空気より暖かい水面から蒸気が立ち上がり水面に薄く霧の層をつくる場合がこれにあたる。冷却によるものとしては、朝霧がこれに該当する。よく晴れた無風状態の夜から朝にかけて霧のでることがある、こういうときは、地面が熱の放射によって非常に冷えやすく、したがって地上の空気が下方から著しく冷やされるために、空気中の水蒸気が凝結して霧になる。混合によるものとしては山間部に多く見られ、暖気と冷気との混合によるものがあげられる。

また市街地・工場地帯などの煙の多い所では夜から朝にかけて濃霧が発生しやすい、とくに冬期に多い。この霧は天気の良いときの朝霧と同じ原因で発生するものであるが、空気中にたどよう

煙の粒子の吸湿性が強いために一般に濃霧を生じやすく、また日の出後もなかなか消えにくい。これらの霧はその発生状況により粒径および粒径分布を異にする。

3. 霧粒径の側定法^{(4),(5),(6),(7),(8)}

霧粒径の測定法には

- (1) 顕微鏡による方法
- (2) 沈降速度による方法
- (3) 光学的方法

などがある。これらを順次説明し、最後に霧粒径のあらわし方を検討してみる。

3.1 顕微鏡による方法

ガラス板上に油を薄く(厚さ0.1~0.5 mm)塗り、その中に霧粒を捕集し、顕微鏡で写真撮影して計測する方法である。

まず光学顕微鏡の分解能を高くするために用いられているツエッセルオイル上に採取したが、霧粒が表面に付着した状態になり、その位置で短時間のうちに隣接する霧粒が結合してゆくものと、蒸発してゆくものが観察された。結合の場合は数個が集まって一つ(結合しても表面張力により球形に保たれる)になるため、粒径が数倍、ときには10倍以上にもなった。また蒸発は室温により異なるが、1~2分で油膜上の霧粒がまったくなくなってしまうという現象を見出した。これらの欠点を除くため、ツェッセル油を混合して比重をほぼ1に等しくした混合油の中に霧粒を採取する方法を試みた(図3.1参照)。この場合採取した霧粒を30分程度安定状態に保つことができた。また霧粒が重なって見えるものさもある。この混合油の比重粘度等がきわめて適当であることがわかった。この油膜中に捕集された霧粒を顕微鏡で写真撮影し、印画紙に焼付け、霧粒の数および大きさを計測した。以下文中の霧粒の測定はこの方法によった。

3.2 沈降速度による方法

霧粒には重力の場で沈降する性質があり、ストークスによれば1~50 μ の球状粒子では粒子の重力沈降速度 v は次式のようにあらわされる。

$$v = g D_p^2 (\rho_p - \rho_g) / 18\eta \dots \dots \dots (3.1)$$

D_p : 粒子の直径 ρ_p : 粒子の密度

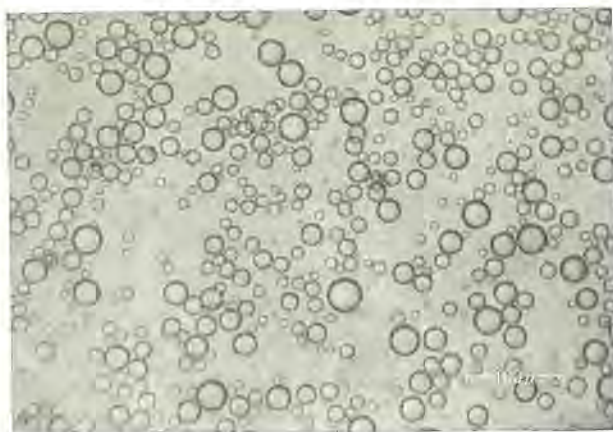


図 3.1 人工霧の写真
Fig. 3.1 Photomicrograph of artificial fog droplets.

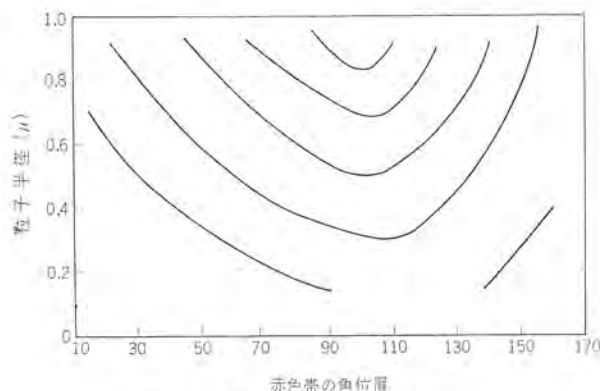


図 3.2 液滴の半径の関数としての赤色散乱光の極大値を示す角度
Fig. 3.2 Angular positions of reds as a function of the droplet radius.

ρ_g : 媒質の密度 g : 重力の加速度
 η : 媒質の粘性 (空気の場合 20°C で 1.82×10^{-4} dyne·sec/cm²)

g, ρ_p, ρ_g, η は一定であるから、式 (3.1) は

$$v = k D_p^2 \quad (3.2)$$

$$k : g(\rho_p - \rho_g) / 18\eta$$

となり式 (3.2) は霧粒の沈降速度が粒径の関数となることを示している。

沈降箱はこの原理を利用したもので、均一形の霧の粒径測定には比較的簡単な方法であるが、霧のように数 μ から数百 μ まで分布している場合には、あまり適当とはいえない。

3.3 光学的方法

粒子半径が 0.2 μ 以上になると Higher Order Tyndall Scattering Spectra^{(9), (10)} という現象が生じる。これは照射光の照射方向に対して 0~180° の角度にわたって散乱光をながめる場合、赤と緑の帯が交互にあらわれてくる現象であり、0.1 μ のケタの半径のものではほぼ図 3.2 の関係が成立する⁽¹¹⁾。すなわち赤色極大値の 0~180° 間にあらわれる回数が、粒子半径の大きさとほぼ比例関係にすることを示している。この原理によりつくられた Owl 顕微鏡により粒子半径を測定してみたが、前節に述べたように霧は数 μ ~数百 μ まで分布していることと、顕微鏡のレンズに液滴が付着してしまうことの 2 点のために 粒径観測にはよい方法とは思えない。

3.4 霧粒径の表わし方

霧粒径を測定した結果、表 3.1 のような結果が得られたもの
人工霧発生装置と光の霧中透過・伊藤

表 3.1 粒径の粒径と回数

粒 径 区 間 (μ)	個 数
1 ~ 4	75
4 ~ 8	272
8 ~ 12	240
12 ~ 16	105
16 ~ 20	27
20 ~ 24	2

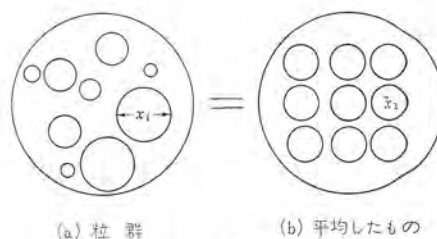


図 3.3 平均粒径の表わし方
Fig. 3.3 Indication of mean droplet size.

とする。これを表す最も簡単な方法はグラフであるが、グラフでは粒径の性質を数値表で示すことができないので不便である。一般にはこの平均粒径 \bar{x}_1 は次のように表わされる。

$$\bar{x}_1 = \sum x_i n_i / n_1 \quad (3.3)$$

$$n_1 = \sum n_i \quad (3.4)$$

x_i : ある範囲の粒径を代表する直径 (たとえば、4~8 μ では 6 μ)

n_i : 個 数

式 (3.3) は 図 3.3 (a) を (b) のように平均した場合、すなわち (a) の直径の和が (b) の平均直径 \bar{x}_1 の和に等しく、(a) の粒子数と (b) の粒子数は等しいことを示している。また散乱度は

$$\theta = \frac{1}{n_1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}_1}{\bar{x}_1} \right)^2 n_i \quad (3.5)$$

で示され、表 3.1 の結果を式 (3.3), (3.5) で求めると平均粒径 $\bar{x}_1 = 8.1 \mu$ 散乱度 $\theta = 0.43$ となっておりかなり粒径はそろっていることを示している。

これで一応平均粒径および散乱度がもとめられたが、式 (3.3) では粒径とその個数に重点が置かれている。しかしながら横断歩道などの街路燈が光膜をつくっている現象は、霧の表面積が関係していると考えられる。このような現象を考慮して表面積を考えた平均粒径 \bar{x}_2 と粒子数 n_2 は式 (3.3), (3.4) と同じように考えて⁽¹²⁾

$$\sum x_i^2 n_i = \bar{x}_2 n_2 \quad (3.6)$$

$$\sum \pi x_i^2 n_i = \pi \bar{x}_2^2 n_2 \quad (3.7)$$

式 (3.6), (3.7) から

$$\bar{x}_2 = \sum x_i^2 n_i / \sum x_i n_i \quad (3.8)$$

$$n_2 = (\sum x_i n_i)^2 / \sum x_i^2 n_i \quad (3.9)$$

となる。この方法によれば、 \bar{x}_2 は表面積を主とした平均粒径を示し、 n_2 は表面積と直径とによる粒子数をあらわすことになる。 n_1 と n_2 および \bar{x}_1 と \bar{x}_2 は当然異なった値となる。このような平均粒径の扱い方をすることにより、たとえ粒径分布は異なってもその比較が行ないやすく、また粒径と透過との関連の定義づけがよりしやすくなるのではないかと考える。

4. 霧の人工発生法

霧はごく微細な水滴であり、発生過程によっては霧となるための核、すなわち不純物 (空気中の浮遊 パイじん (煤塵) や海塩等)

を必要とする。霧の発生法としては当社製品のヒュミジファイアのように水を遠心力により霧化する方法、すなわち分散法と、水蒸気を含む空気の温度・気圧等を急激に変化して霧をつくる凝結法（たとえばウイルソン霧箱）の二つに大別することができる。

凝結法により霧を発生させる場合、霧核の種類が問題として残るが、自然界に発生する霧のほとんどが凝結法によると考えられるので、この実験にも凝結法を採用した。実験装置は図4.1に示すように霧室を冷却するための水箱（厚さ1.0mmの鉄製）、霧層を通じて色標を見る観測窓および透過率測定用の測定窓を備えた霧室（比較的断熱性のよいうつし製）からなる。水により冷却された霧箱内へ蒸気発生装置から蒸気を注入すると水蒸気は凝結し霧化する。なお蒸気は一つの口から霧箱へ注入したので、霧の分布を均一にするためファンでかき回した。

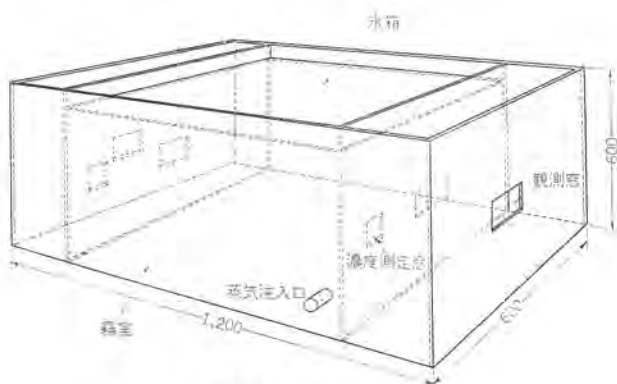


図 4.1 霧 箱
Fig. 4.1 Construction of fog box.

5. 粒径の異なる霧の発生法

気象観測法によれば、霧の量的な定義は視程のみであって、そのほか（粒径など）はなんら規定されていないが、一般的には図5.1のように直径1~100 μ 程度の水滴と考えてよい。このように霧は粒径分布範囲が広い、これは霧の発生原因・発生状況等によって粒径分布が異なるものと考えなくてはならない。このため粒径分布の異なった霧に対する光の透過特性を検討しなければならぬ。霧粒径が透過特性や視覚におよぼす影響を調べるための基礎実験として、異なる径の霧粒をつくるための2,3の実験を試みた。

5.1 蒸気噴出圧力の影響

実際の気象現象では 気圧変化が霧粒径に影響をおよぼすとい

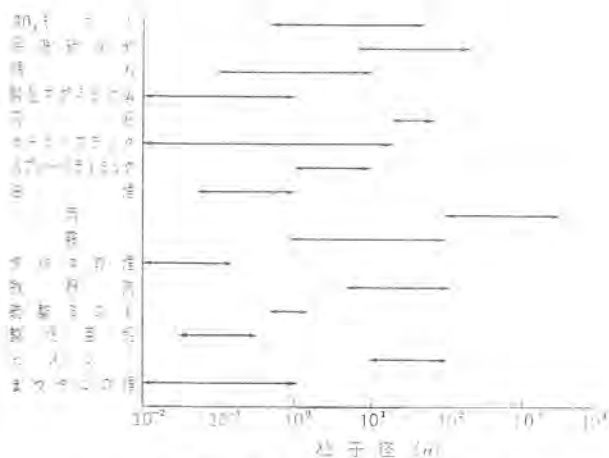


図 5.1 粉 じん 粒 子 径
Fig. 5.1 Diameters of various dusts.

うことは考えにくい、実験では蒸気発生装置から噴出する蒸気の圧力（噴出速度）を変化させ、核としてツバコの煙を使用して粒径変化を測定した。結果を図5.2, 5.3に示す。これを式(3.3), (3.4), (3.8), (3.9)で計算した結果を表5.1に示す。この測定が正しいものとして検討してみると、式(3.2)から計算した平均粒径 \bar{x}_1 （直径と個数に重点を置いた）は噴出する蒸気の圧力が高いほうが低い場合よりも大粒径になることを示している（ t 検定で有意）。一方、表面積を考慮した粒径の平均値 \bar{x}_2 は差が小さい、また霧の個数 $n_1 \cdot n_2$ を比較してみると

$$\frac{n_1(\text{圧力高})}{n_1(\text{圧力低})} < \frac{n_2(\text{圧力高})}{n_2(\text{圧力低})}$$

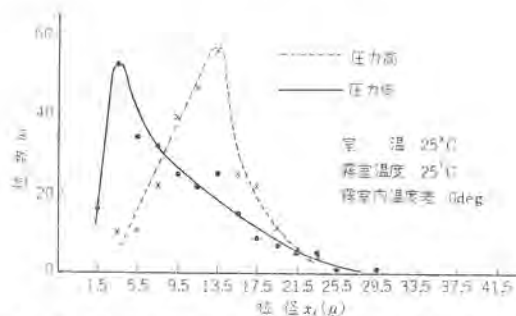


図 5.2 蒸気噴出圧力を変えた場合の粒径分布
Fig. 5.2 The number of droplet as a function of the droplet size (parameters is steam jet pressure).

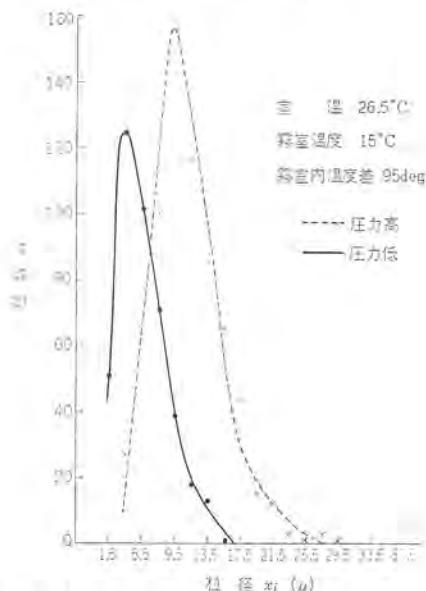


図 5.3 蒸気噴出圧力を変えた場合の粒径分布
Fig. 5.3 The number of droplet as a function of the droplet size (parameter is steam jet pressure)

表 5.1 蒸気噴出圧力を変化させた場合の粒群の粒数および平均粒径

記号 (単位)	項 目	霧室上下温度差(deg)			
		相対的蒸気噴出圧力			
		高	低	高	低
x_{mod} (μ)	モ ー ド 粒 径	13.5	3.5	9.5	3.5
\bar{x}_1 (μ)	直径に重点をおいた平均粒径	12.3	9.2	10.2	5.7
n_1	直径に重点をおいた個数	255	250	764	440
\bar{x}_2 (μ)	表面積に重点をおいた平均粒径	13.5	12.0	10.7	7.7
n_2	表面積に重点をおいた個数	233	203	730	309

となる。すなわち霧粒の表面積を考慮すれば、図 5. 2、5. 3 程度の粒径分布の差では表 5. 1 に示すように、平均粒径にあまり影響を与えないが、濃度（1 cm³ 中の霧粒の個数）の変化が大きいことを示している。いかえればこの程度の粒径分布の差では視距離が変化するのみで、ほかの物理的変化（照明工学に対する）は少ないと思われる。

5. 2 核の大きさの影響

普通の気象現象であられる霧には、空気中の浮遊 パイじんを核としているものがある。核それ自体が大きければそれに付着する水滴の量も多く、したがって大粒径の霧を生じる可能性が考えられる。この考えの確認実験として小さいもの（浮遊 パイじん）から大きいもの（木節粘土）までを核とした場合の粒径変化を観測した。核としては何らあたえないで、浮遊 じんを核とした場合とタバコの煙、木節粘土粉を使用して実験した結果は、粒径にほとんど差が認められなかった。このことは実験室での霧発生実験に用いる核の種類は霧生成にほとんど関係なく、霧生成のための核としては非常に微細な浮遊 じんのみが関係しているものと考えてよいかもしれない。なお、空気清浄装置を用いなかったため、いずれの実験も核としては浮遊 じんを人工核をラウスして霧発生実験をしたことになる。

5. 3 温度差の影響

降雨理論によれば、雲の上下温度差が大きくなって対流が盛んになれば、その中にある小水滴は衝突・付着・分裂を繰り返し、次第に成長して雨滴となるといわれている。この理論が実験室の

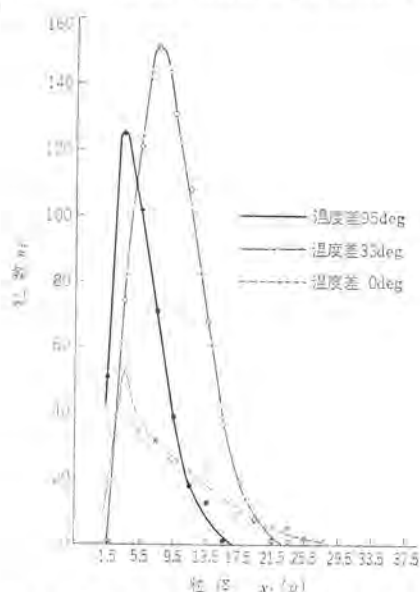


図 5. 4 霧箱内温度差変化による粒径分布
Fig. 5. 4 The number of droplet as a function the droplet size (parameter is difference of temperature).

表 5. 2 霧箱内上下温度を変えた場合の
の粒群の粒数および平均粒径

記号 (単位)	霧室上下温度差(deg)			0	33	95
	項 目					
x_{mod} (μ)	モ ー ド 粒 径			3.5	7.5	3.5
\bar{x}_1 (μ)	直径に重点をおいた平均粒径			9.2	10.8	5.7
n_1	直径に重点をおいた個数			250	657	420
\bar{x}_2 (μ)	表面積に重点をおいた平均粒径			12.8	10.9	7.7
n_2	表面積に重点をおいた個数			177	620	309

霧ではどの程度成立するかを検討してみた。図 4. 1 の水箱にアルコーとドライアイスを入れ、霧箱内の上下温度差を 0~95 deg まで変化させてみた結果が図 5. 4 であり、表 5. 1 と同様に式 (3. 3)、(3. 4)、(3. 8)、(3. 9) で計算した結果を表 5. 2 に示す。直径に重点をおいた平均粒径 \bar{x}_1 ではその間に何ら規則性はないが、表面積に重点をおいた平均粒径 \bar{x}_2 では、一見規則性があるようにみえる。これは霧粒の採取にいくぶん問題があったため 前提に反するような結果があらわれたものと思う。

6. 光の霧中透過

道路照明においては霧が発生した場合でも 減衰（吸収・散乱）が少ない光を用いるほうがよいことは当然である。また道路標識・自動車などの色は一般に有彩色であり、背景（道路・トンネルなど）は無彩色である。そこで人工霧発生装置を使用して道路照明やトンネル照明に使用されている 水銀灯（HF-400X）・ナトリウム灯（NAL-60）・当社で開発したナトリウム水銀灯（H-400-L）等の各種有彩色光源照明下における色視標の見え方、および標準光として比較した有彩色の透過特性をあわせて測定した。

6. 1 人工霧の透過特性

霧の透過特性は粒群の粒子が光の波長より著しく小さく、また光吸収性のない場合には光の透過率 T と粒子の総散乱 S （付録参照）との間には つぎの関係が成立する。

$$T = I/I_0 = \exp(-Sn) \quad \dots\dots\dots (6. 1)$$

I_0 : 波長 λ の照射光の強度 I : 波長 λ の透過光の強度

n : 単位 cm³ あたりの粒子数 l : 光の透過する距離

ここで

$$Sn = \tau$$

とおき、 S を constant と考えれば τ (extinction coefficient) は n すなわち濃度の関数となるから、これを比濃度とすれば透過率は濃度と透過距離の関数として

$$T = I/I_0 = \exp(-\tau l) \quad \dots\dots\dots (6. 2)$$

とあらわすことができる。以後霧の濃度は式 (6. 2) で求めた τ を使用することとする。霧発生は図 4. 1 の装置で、水箱に氷と水の混合物を入れ水箱底板温度を約 4°C に保ち（室温 15°C）、核としてタバコの煙を供給し、蒸気を注入して霧を発生させた。この実験装置の霧の濃度が時間とともに変化してゆくようすを図 6. 1 に、そのときの粒径分布を表 6. 1 および図 6. 2 示す。なお透過率測定用の光源および測定器は色温度 2,700°K のタングステン電球および東芝照度計 LD-1-A 形を使用した。

6. 2 視標の見え方と霧の透過率

霧箱は図 6. 3 に示したように 長さ 750 mm の霧層をつくることができ、透過率測定用の サルムをもつ。視標には村上色彩研究所製の純色色標 5R4/14 (赤)・5Y8/10 (黄)・5B4/8 (青) の 3 色と N 1.5 (黒) の無彩色色標を使用し、色視標のバックには N 5 (灰色)、N 1.5 のバックには N 7.5 (白) を使用した。視標の形はすべて 2 線視標とし、視距離 2,500 mm における視角が 0.1 の視力（白地に黒視標）に相当するものを各色について作成し、視標面照度を 50 lx、目—視標—光源のなす角度を 30° 一定にした。

被験者は 18 才、25 才、26 才の男子 3 名で、視力は全員 1.0 以上（1 人はきょう正視力）であり、色覚は正常である。

測定方法は霧層が完全に視界をさまたげたとき蒸気注入をやめ、次第に霧が晴れて 2 線色標が見わけられたときの霧層の透過率を被験者の合図によりただちに測定し、式 (3. 1) から霧の濃度を求

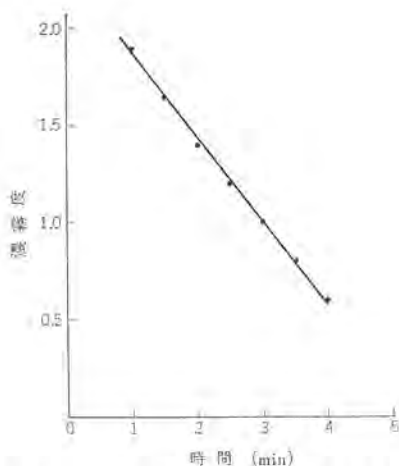


図 6.1 霧の消退を示す曲線
Fig. 6.1 Extinction curve of artificial fog.

表 6.1 霧の粒径分布

記号 (単位)	相対的粒噴出圧力 項目	高
x_{mod} (μ)	≡ 平均粒径	7.5
x_1 (μ)	直径に重点をおいた平均粒径	15.1
n_1	直径に重点をおいた個数	447
x_2 (μ)	表面積に重点をおいた平均粒径	18.2
n_2	表面積に重点をおいた個数	36.0

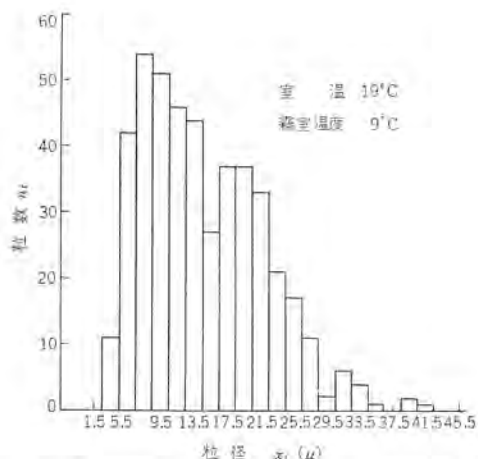


図 6.2 色光の霧中透過率試験に用いた粒径分布
Fig. 6.2 Distribution of droplet size.

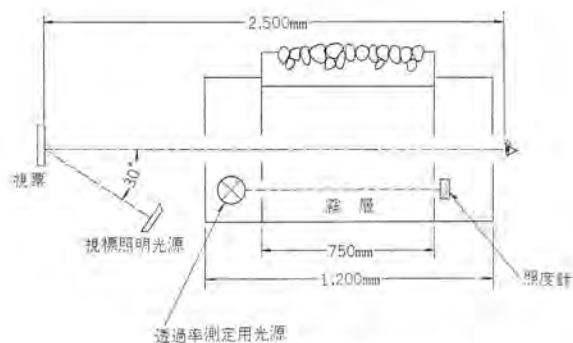


図 6.3 人工霧発生装置
Fig. 6.3 Artificial fog generator.

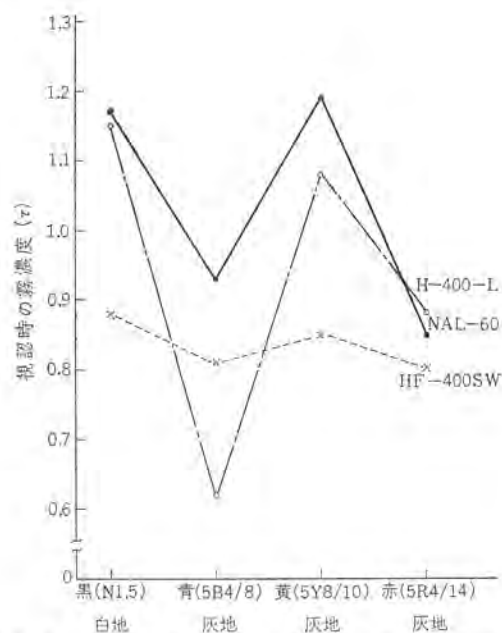


図 6.4 各種有色光源照明下における色視標の視認と霧濃度の関係 (視標の大きさ 0.1)
Fig. 6.4 Relation between confirmation of object colors being illuminated by various illuminant colors and fog densities.

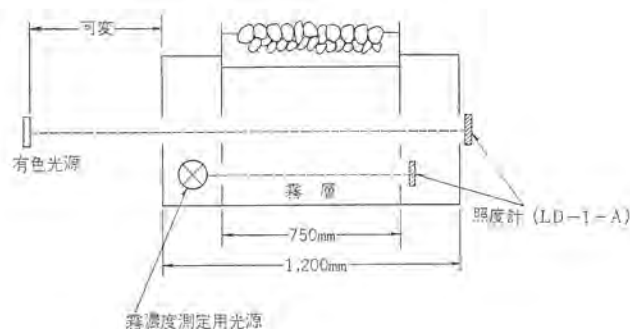


図 6.5 有色光の霧中透過率測定装置
Fig. 6.5 Fog transmittance meter of illuminant color.

めた。水銀灯・ナトリウム灯・タリウム水銀灯のそれぞれの照明下における各視標の見え方を、被験者3名の平均値(1人3回測定)で比較したのが図 6.4 である。図は縦軸に濃度をとっており、視標が見えるときの最高濃度を示しているから、図以下の霧の濃度では視標が確認できることを示している。ゆえに図の上部にある光波のほうに、霧が濃い状態でも視標をよく確認できるのであるから霧発生地区の光源には適していることになる。結果は特定の色を除いて連続光よりも単色光がよく、単色光の中では長波長の光のほうに霧中透過性がよいことを示している。

6.3 霧濃度と有色光源の透過特性

使用した霧箱は 6.2 項の実験と同一で、霧濃度測定用光源(色温度 2,700°K のタングステン電球)および受光器(東芝照度計 LD-1-A)も同じである。今回の実験は霧のない場合の有色照明受光部照度 E_{X0} を 140 lx 一定にした。なお図 6.5 では有色光源受光部と透過率測定用受光部の高さが異なるように見えるが、窓の高さは同一である。有色光源の透過率は霧のないときの照度 E_{X0} (140 lx) と霧発生時の照度 E_X を測定し次式から求めた。

$$T(\%) = E_X / E_{X0} \times 100$$

霧の濃度は霧のないときの標準光源の照度 I_0 、霧発生時の照度 I とを測定し、式 (3.1) から求めた。結果を図 6.6 に示したが濃度 1 以上で有色光源の透過性を比較すると、その差はごくわずか

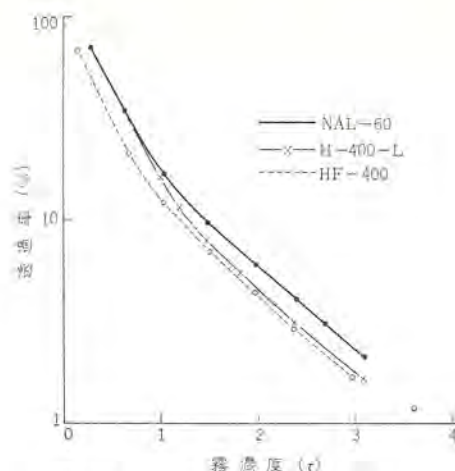


図 6.6 色光の霧中透過特性

Fig. 6.6 Transmitting characteristics of illuminant color.

なものとなり、有色光源の光透過性の優劣を比較することは困難であるが、連続スペクトル光源よりも単色光源のほうが光透過性がよく、単色光源の中では長波長の光のほうが透過性がよい傾向を示していることがわかる。

7. む す び

この実験では問題が多かったが、結論として次の事がら得られた。

(1) 有色光の透過性および識別性は図 6.4~6.6 のように連続光よりも単色光、単色光の中では長波長の光がよいという傾向があらわれた。

付 録

球状粒子で半径が光波長のほぼ 1/10 くらいのときの光散乱性は Oster が次のように導いている。

$$i_1 = |a_1/2 + (a_2 + p_1) \cos \theta/2|^2 \lambda^3 / (8\pi^2 D^2)$$

$$i_2 = |a_1 \cos \theta/2 + a_2 \cos 2\theta/2 + p_1|^2 \lambda^3 / (8\pi^2 D^2)$$

$$a_1 = \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \} 16\pi^3 r^3 / \lambda^3$$

$$a_2 = \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 1.5) \} 32\pi^5 r^5 / 15\lambda^5$$

i_1, i_2 : 単位面積あたりの偏光強度

D : 粒子から観測点までの距離

光の波長より著しく小さい粒子による散乱の場合には、上式は a_1

(2) 霧粒径にあたる影響は霧箱内上下温度差および核よりも蒸気噴出時の圧力(噴出速度)のほうが大きい。

(3) 平均粒径取扱い方の一提案を行なったが、今回の実験ではこれを裏づけるデータをだすまでに至らなかった。

霧中透過試験とそれに至るまでに解決しなければならない問題を取りあげてみたが、いまだ試験方法の不備・未熟さが多々あった。今後はこの経験をもとにして、より完全なデータになるようにつとめたいと思う。

なおこの実験に対して指導と助言をいただいた都立豊島病院眼科医長蒲山久夫博士、ならびに社内関係者に厚くお礼を申し上げます。

(昭 41-7-14 受付)

参 考 文 献

- (1) 内山, 中島: 理研欧文報告, 34, 1681 (昭 13)
- (2) 蒲山: 照学誌, 34, 8 (昭 25)
- (3) 黒沢, 伊東ほか: 照学誌, 44, 12 (昭 35)
- (4) T. Okita: J. Met. Soc. Japan, 40, 1 (1962)
- (5) T. Okita: J. Met. Soc. Japan, 40, 3 (1962)
- (6) 沢島: 産業環境工学, 31 (昭 39)
- (7) 小寺: 表面, 8, 2 (昭 39)
- (8) 大多: 気象研究ノート, 13, 1 (昭 37)
- (9) D. Sinclair, Victor K. La Mer: Chem. Rev., 44, 245 (1949)
- (10) 森: 応用物理, 28, 6 (昭 34)
- (11) 北川: 大気汚染の測定, 103 (昭 37)
- (12) 棚沢: 機械の研究, 15, 4 (1963)

のみが重要となり

$$i_1 = \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \}^2 8\pi^4 r^6 / \lambda^4 D^2$$

$$i_2 = \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \}^2 \cos^2 \theta 8\pi^4 r^6 / \lambda^4 D^2$$

となる。この場合(球対称の散乱をするような微粒子)の散乱光の総量すなわち総散乱 $S(\text{lm})$ は上式から

$$S = \int \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \}^2 (1 + \cos^2 \theta) 8\pi^4 r^6 / (\lambda^4 D^2) d\theta$$

$$= \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \}^2 28\pi^5 r^6 / (3\lambda^4)$$

$$= 24\pi^3 r^2 \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \}^2 / \lambda^4$$

高圧水銀ランプによるトンネル照明

金 関 勇*・田中民雄**

Lighting of Tunnel Roadway with Mercury Vapor Lamps

Osaka Ware Sales Office

Isamu KANESEKI

Ofuna Works

Tamio TANAKA

As the traffic volume increases lighting of roadways has come to rise in importance from the viewpoint of traffic safety. Tajima tunnel on the national highway No. 9 in Hyogo Prefecture has been recently provided with lighting facilities which are designed and built by Mitsubishi. In cooperation with the ministry of Construction, the Company has made experiment on the lighting effect on an extensive scale. Distinctive features of the illumination lie in the employment of high pressure mercury lamps, which were considered inadequate for the purposes in the past. As a result study it has been revealed that the mercury lamps are no less better than fluorescent lamps or sodium lamps in the lighting effect. The article gives descriptions on the installations.

1. ま え が き

この2、3年の自動車の増加率は毎年20～30%に達するといわれている。一方、高速道路や一般国道の建設あるいは整備の面では欧米先進国との間に大きな隔差があるとされ、その差をなくするため当局では今後15年間の長期にわたる遠大な計画をたてつつある段階で、道路の建設はまさにこれからといった感がある。このような状況下において、交通量の増大と高い車速に対処する夜間の交通安全のうえで、道路照明の果たす役割は非常に重要視されてきている。

近年欧米諸国では、従来の照明方式に対して、根本的な基準の改訂あるいは、その研究成果が発表されており、またわが国でも多くの実験研究が進められてはいるが、まだまだ将来に託される数多の問題をかかえている現状である。とくにわが国の国土の大部分が山地であり、しかも雨量が比較的多いという条件下にあるため、その道路は、各所にトンネルの建設が要求される。このトンネル部分は、ほかの部分に比べ昼間時に多くの照明上の問題点をもつもので、より慎重な研究が必要で、その要点の第1は、昼間時に外部の自然光の下から、トンネル内に突入する運転者の見え方の低下を少なくして、障害物の認識に支障がないようにすること。また第2にはトンネル内に発生する排気ガスによる煙霧に起因する見え方損失を、いかに少なくするかということがあげられる。

当社では、昨年完成した国道9号線の但馬トンネルについて、建設省豊岡工事事務所との協同による前後2回にわたる総合的な照明実験を実施した。この照明の特長は、光源としてケイ光水銀ランプを使用していることで、従来高圧水銀ランプがトンネル照明用光源としては輝度が高いために適当でない(ケイ光ランプまたはナトリウムランプが適当とされていた)とされ、したがって本格的な水銀ランプによる照明実施例がなかったものである。以下その試験の結果、水銀ランプがケイ光ランプやナトリウムランプに比較してまさるとも劣らない照明効果を示し得るものであることを報告し、各界の参考に供したいと思う。

2. トンネルの概要

但馬トンネルは国道9号線の兵庫県養父郡と美方郡の間にあり、昭和40年8月に完成した。このトンネルの完成により、従来の、



図 2.1 但馬トンネルの位置
Fig. 2.1 Situation of Tajima tunnel.



図 2.2 但馬トンネル(関ノ宮側坑口部)
Fig. 2.2 Tajima tunnel (Entrance at Sekinonmiya side)

積雪または豪雨によって交通障害の多かった旧道路との比較では、その距離が $\frac{2}{3}$ 以下となり、走行所要時間は約 $\frac{1}{3}$ に短縮された。トンネルは全長1,256 m、車道幅員7 mの往復2車線の大きさを持ち、設計速度は50 km/hで、トンネルの中心部には自然換気用(将来強制換気をすることが可能)の立坑が付設されている。

3. 照明設備の概要

3.1 光源

ケイ光水銀ランプのトンネル照明用光源としての適否を判定するために、トンネル完成の約1年前に、ナトリウムランプとの比較実験を、

工事中であった現地で実施した。その結果 200 W ケイ 光水銀 ラン
 ンプが適当であることが証明された。(第 1 回照明実験の項を参照)



図 3.1 トンネル 照明用水銀灯器具(ランプ HF-200 X 形, 器具
 HG-201 形)

Fig. 3.1 Mercury lamp luminaire for tunnel illumination.

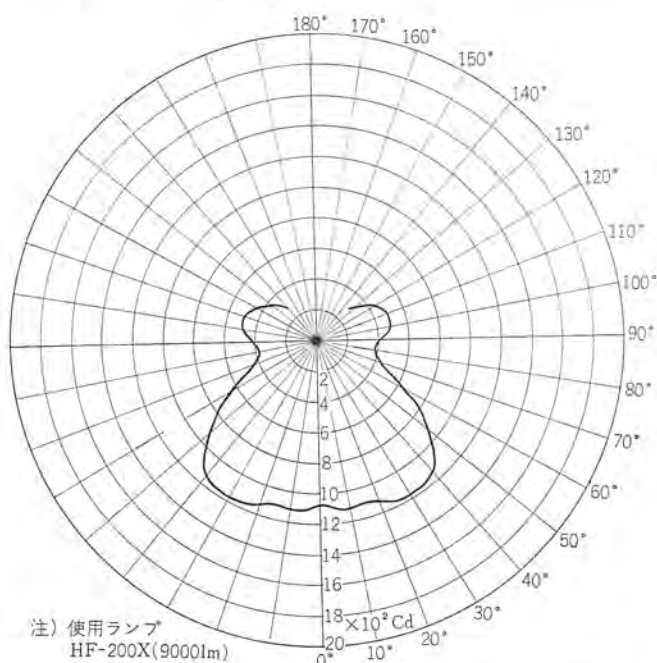


図 3.2 トンネル 照明用 (HG-201 形) 器具配光曲線図
 (全方向形配光)

Fig. 3.2 Light distribution curve of type HG-201 luminaire.

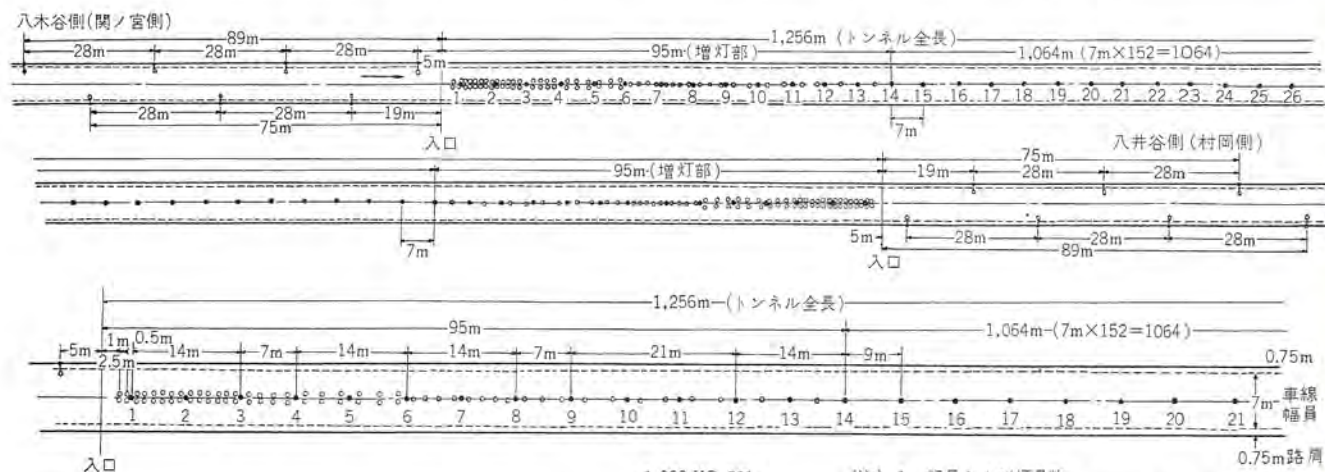


図 3.4 但馬 トンネル 寸法および照明器具配置
 Fig. 3.4 Dimensions of Tajima tunnel and
 layout of luminaire.

3.2 照明器具

高圧水銀 ランンプをトンネル 照明に使用するときの一つの問題点と
 して、光源の輝度が高いことと、取付位置が比較的低いことによ
 る運転者に「まぶしさ」を与えることがあげられる。そこで、器
 具は鉛直角 70°~90° 方向の光度を抑制した全面 フリームグローブを採
 用した び 付密閉形とした。この器具の配光は 図 3. 2 に示され
 るように、上方にも若干の光束をもつ広配光形である。図 3. 3 は
 この器具の輝度分布の状態を示したものである。また器具の構造
 としては、安定器箱を付属したもので、防食のため 十分な亜鉛
 メッキの上に、灰色 メラミン 焼付塗装を施している。

3.3 配 置

器具の配置は 図 3. 4 に示した。トンネルの坑口部は緩和照明用

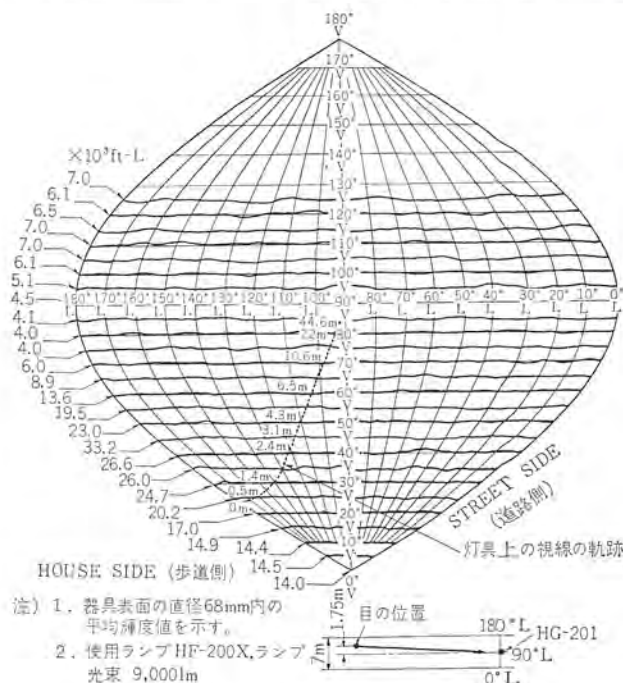


図 3.3 トンネル 照明用水銀灯器具の輝度分布図
 Fig. 3.3 Brightness distribution of mercury lamp
 luminaire for tunnel lighting.

- (注) 1. 記号および灯具数
 ○ HP-312 (HF-200X) 灯高 5m, 出幅 1.5m, 上向 20° 14 灯
 ● HG-201 (HF-200X) 全方向 179 灯
 ○ HG-201 (HF-200X) 2 方向 134 灯
 昼間増灯
 トンネル内計 313 灯
 合計 327 灯
2. 路面の傾斜
 トンネル中央部に向い 八木谷側より約 3/100 入井谷
 側からは約 7/1000 の傾斜をもって上り坂となっている

の増灯を施し、中央部については、均質な照度ならびに輝度分布を考慮するとともに、走行車に対する光源による「ちらつき」の障害（ちらつきの回数が5~10c/sの程度にあるとき、とくに運転者は大きな不快感を覚えることが過去のデータで知られている）をなくすことに留意して決めた。

またトンネル外の道路には夜間の緩和照明用として、坑口から100 mの間、道路灯を取付けている。

3.4 調光

緩和照明用の増灯部は、外部の自然光の大小によって調光することが必要であるが、この場合は自動点滅器により、表3.1のとおり作動させている。



図 3.5 増灯緩和照明器具の配置状況
Fig. 3.5 Arrangement of increased luminaires for relieving sudden change of brightness in the tunnel.



図 3.6 入口部の夜間緩和照明の状況
Fig. 3.6 Lighting at night at the entrance of tunnel with consideration of relieving sudden change of brightness.

表 3.1 緩和照明増灯部（坑口部）の調光

調光は次表のような段階とし、外部の自然光に連動させる自動制御方式である。

外部自然光照度 (lx)	常時点灯回路	昼間増灯回路 (V3点灯)	同左 (全点灯)
常 時	○		
約 50 以上	○	○	
約 10,000 以上	○		○

注) ○印は点灯を示す

4. 照 明 実 験

照明実験は、トンネル完成の前後に各1回ずつ実施したもので第1回は、使用光源として水銀ランプの適否を判定するために、第2回は自動車走行上の安全および快適性について照明設備の総合的な評価をもとめるためになされた。以下第1回、第2回にわけて、その内容を記す。

4.1 第1回照明実験（トンネル建設途中における光源比較実験）

4.1.1 日程および実験者構成

a. 日 程

昭和39年11月17日……試験方法打合わせ、試験機器の整備等。
昭和39年11月18日……照度測定、天井および壁面の輝度測定、中央部における見え方試験（歩行試験）

b. 実験者構成（立会および観測者を含む）

建設省豊岡工事事務所（13名）、大成建設（株）（1名）、大阪石田電機（株）（1名）、岩崎電気（株）（5名）、三菱電機（株）（7名）、ただし観測者は建設省の上記13名中の10名である。

4.1.2 測定実施場所と器具の配置

図4.1を参照

4.1.3 実験方法および結果

a. 照度測定

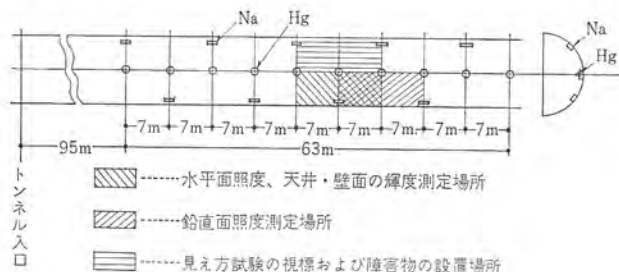


図 4.1 測定実施場所と器具の配置
Fig. 4.1 Positions of measurement and arrangement of luminaires.

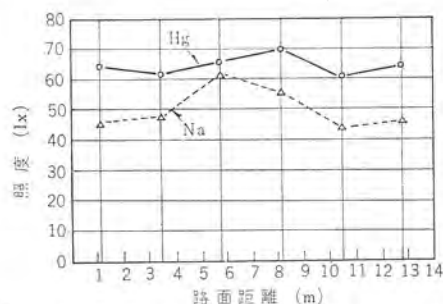


図 4.2 路面の水平照度（東線中央）
注）照明器具は0, 7, 14 mの位置にある
Fig. 4.2 Horizontal intensity of illumination on road surface.

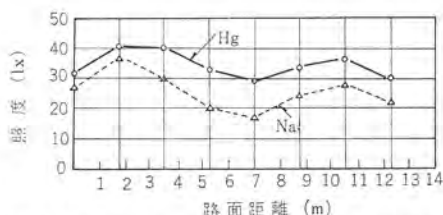


図 4.3 路面上1 mの鉛直照度（東線中央）
注）照明器具は0, 7, 14 mの位置にある
Fig. 4.3 Vertical intensity of illumination at a height of 1 meter above the road.

- (1) 測定計器は LD-1-A 形光電管式照度計
- (2) 水平面照度は路面上、約 15cm、鉛直面照度は 100 cm の高さに設置する。
- (3) 鉛直面照度値は入口部から入射する自然光分が含まれている。

(4) 測定結果

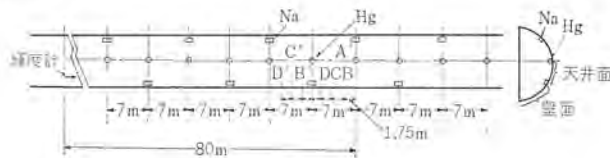
水平面照度は図 4. 2 に、また鉛直面照度は図 4. 3 に示す。

b 輝度測定

(1) 測定計器は SPECTRA BRIGHTNESS SPOTMETER MODEL UB-1/2 (PHOTO RESEARCH CORP 製)

(2) 輝度計は A 地点より 80 m の位置において、車線中央路面上 1.3 m に設置する。

(3) 測定面は路面が未完成のため、天井、および壁面のみとする。



	壁 面		天 井 面	
	Hg	Na	Hg	Na
A	1.41	0.86	1.4	0.4
B	1.44	0.82		
C	1.48	0.82		
D	1.50	0.90		
A'		0.94	0.45	
B'		0.92		
C'		0.92		
D'		0.94		

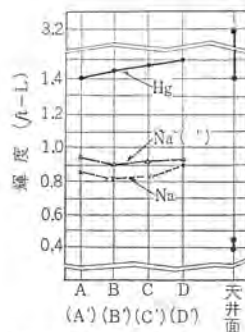


図 4. 4 天井、壁面の輝度 (単位 ft-L)
Fig. 4. 4 Brightness of ceiling and wall.

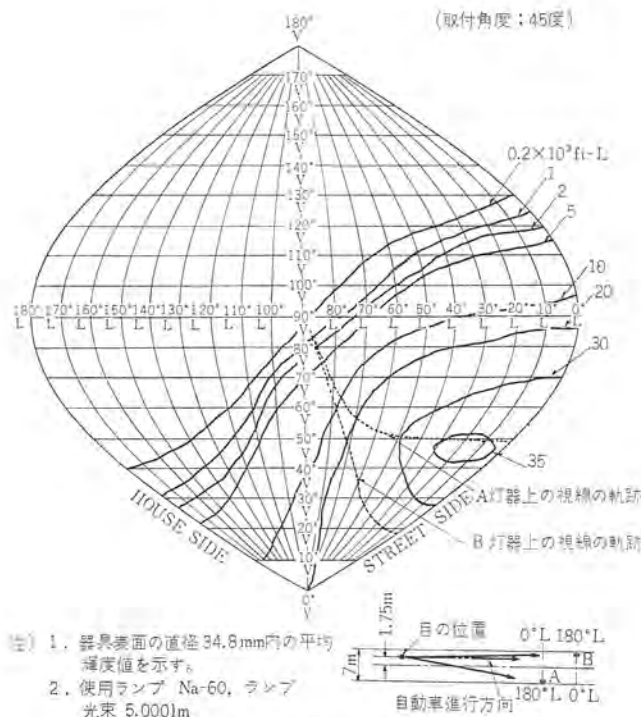


図 4. 5 ナトリウム灯照明器具の輝度分布図
Fig. 4. 5 Brightness distribution diagram of sodium lamp luminaire.

高圧水銀 ランプによるトンネル照明・金関・田中

(4) 測定結果

天井および壁面の輝度は図 4. 4 に、また参考として実験に使用したナトリウム器具の輝度分布を図 4. 5 に示す。

c 見え方試験

(1) ランドルト氏環は、視距離 50 m で切れ目の視角 1 分、また KK 視標は、同じく視距離 50 m で視角 1 分のこうしじまの視標とする。

(2) 障害物視標は球形で、直径 150 mm の白色 (ツヤ消、反射率 85 %) 灰色 (ツヤ消、同 30 %), 黒色 (光沢、同 50 %), 黄色 (ツヤ消、同 47.2 %) および緑色 (ツヤ消、同 14.5 %) とする。

(3) 観測者 (10 名) は、固有視力を事前に現場事務所にて行なう。

(4) 見え方試験 ランドルト氏環については車線中央線上の歩行により視距離の測定して行なう。また KK 視標と障害物視標は自由観測とする。

(5) 視標の設置位置は図 4. 6 のとおりで、水銀 ランプ (以下 Hg と記す) は B, D について、ナトリウムランプ (以下 Na と記す) は B, D, B', D' について行なう。

(6) 視標の配置および視標の鉛直面照度値を図 4. 7 に示す。

(7) 試験結果

結果は次の図および表参照

(a) ランドルト氏環明視率 図 4. 8

(b) KK 視標明視率 図 4. 9

(c) 灰色球確認視距離 図 4. 10

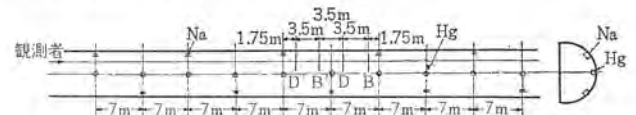


図 4. 6 視標および障害物の設置位置
Fig. 4. 6 Installed positions of visual targets and obstacle.

記 号		1	2	3	4	5	6	7	
種 類		黄色球	灰色球	ランドルト氏環	K-K視標	黒色球	白色球	非色球	
鉛直面照度	B	Hg	30	32.5	31	33	32	31.5	33
		Na	16	17	18	16	22	21	22
	D	Hg	28	30	32	32.5	29	29	29
		Na	15.5	17	19.5	17.5	20	19.5	23
(h)	B'	Na	14.5	14.5	14.5	15.5	15.5	17	18
	D'	Na	21	21.5	23.5	24.5	23	21	24.5

図 4. 7 視標の位置および視標面の鉛直面照度値
Fig. 4. 7 Positions of visual targets and vertical luminous intensity on the face of visual target.

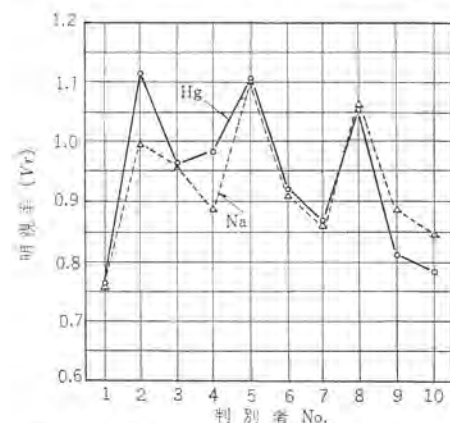


図 4. 8 ランドルト氏環の明視率 (B 地点)
Fig. 4. 8 Landolt ring visibility.

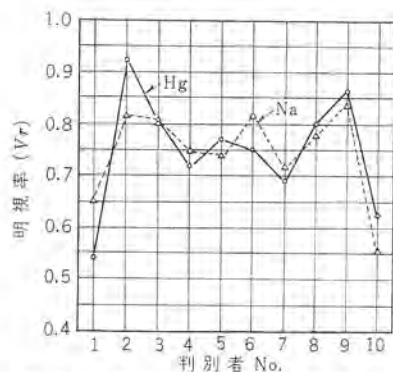


図 4.9 KK 視標の明視率 (B 地点)
Fig. 4.9 Visibility of KK visual target.

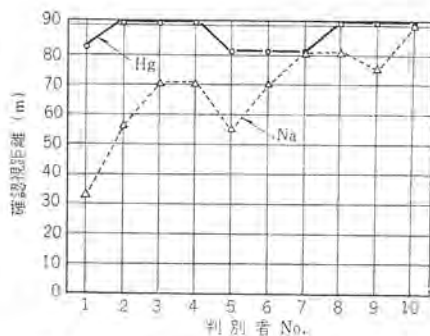


図 4.10 灰色球確認視距離 (B 地点)
Fig. 4.10 Visible distance to recognize grey balls.

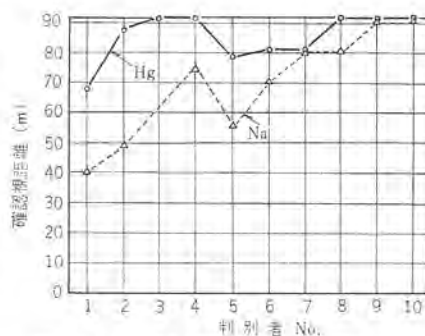


図 4.11 緑色球確認視距離 (B 地点)
Fig. 4.11 Visible distance to recognize green balls.

表 4.1 第 1 回実験 (水銀ランプとナトリウムランプの照明比較) の要約

光 源		水銀ランプ HF-200 X	ナトリウムランプ N-60
明 る さ	平均照度	64.4 lx	49.5 lx
	路面水平面照度		
	平均照度 / 最小照度	1.17	1.38
	最大照度 / 最小照度	1.46	2.12
	路面上 1 m の鉛直面照度		
	平均照度 / 最小照度	34.0 lx	24.6 lx
輝 度	平均照度 / 最小照度	1.42	2.16
	最大照度 / 最小照度	1.79	4.11
	天井面	1.4~3.2 ft-L	0.4~0.45 ft-L
まぶしさ	壁面	1.4~1.5 ft-L	0.85~0.95 ft-L
	照明器具の輝度……運転者に与える 最大値 (鉛直角 70~90°)	約 6,000 ft-L	5,000 ft-L 以上
見 え 方	明 視 率	フ・シドリト氏環 K・K 視 標	0.943 0.759
	障害物視標の 良く見えた人数	白 色 球 (つや消し) 2 灰 * (*) 0 黒 * (光 沢) 6 黄 * (つや消し) 2 緑 * (*) 8	0.903 0.767

(d) 緑色球確認視距離 図 4.11

4.1.4 第 1 回試験のまとめ

Hg と Na の照明効果上の優劣を、この結果のみで明らかにすることは、路面が未完成であるために危険であるが、Hg は器具の配光特性とその配置を適当に考えれば、下記のようにすぐれた効果をもたらすものであることが証明された。

a. 試験結果を要約すると表 4.1 のとおりとなる。

b. 照 度

使用光源の光束差はあるが、水平および鉛直面ともに平均値と均斉度はいずれも Hg のほうがよい。とくに天井、壁面では 2~7 倍も明るい。

c. 輝度およびまぶしさ

器具の輝度は運転者の目にはいる角度 (70~90°) において Hg の場合、最大値で約 6,000 ft-L で比較的低い。またこの角度内では Na との差は少ない。この実験中の視感でも問題とならない程度のまぶしさと考えられた。

d. 見え方

煙霧のない状態の実験では、Hg は KK 視標では若干 Na より劣っている。しかしその他の場合はすべて Na にまさり、とくに緑および灰色球の見え方は数段すぐれている。Na は 5890 Å, 5896 Å の輝線スペクトルのほかはほとんどエネルギーをもたないため、

有彩色の物体の見え方には問題があると思われる。煙霧状態での試験は発煙筒によるもので、ガスの性質および拡散状況が、実際の場合と若干異なるので測定値は省略したが、見え方の低下率のうえでの差は見い出せなかった。

4.2 第 2 回照明実験 (トンネル 完成後の総合的実験)

4.2.1 日程および実験者構成

a. 日 程

昭和 40 年 9 月 6 日から 8 日間

b. 実験者構成 (立会および観測者を含む)

建設省豊岡工事事務所 (12 名)、三菱電機 (株) (7 名)、(株) 白菱商会 (2 名) ただし観測者は建設省の上記 12 名中の 9 名である。

4.2.2 実験方法および結果

a. 照度測定

(1) 使用計器 LD-1-A 形 光電管式照度計 (東芝製)

(2) 測定方法

水平面照度: 路面上 7 cm の高さに受光部をおき測定する。

鉛直面照度: 路面上 10 cm および 100 cm の高さに受光部をおき、それぞれ内側および外側に向けて測定する。

(3) 電源電圧 215~220 V (安定器の定格は 200 V)

(4) 路面反射率 かわいた路面 35.5 % (コンクリート)
ぬれた路面 20 % (*)

(5) 測定結果 図 4.12~4.14 に示す。

b. 輝度測定

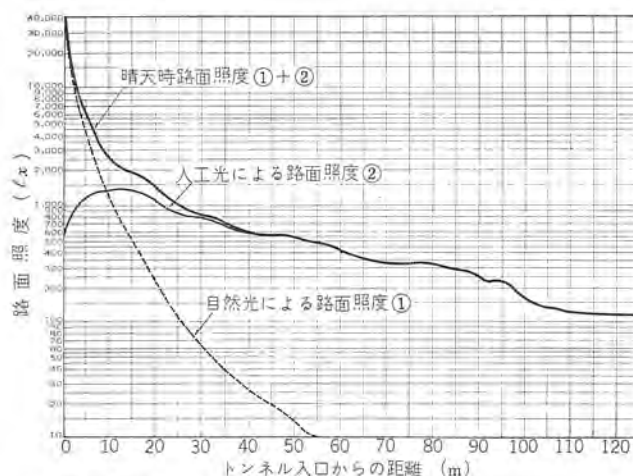


図 4.12 晴天時坑口部の水平面照度曲線 A (道路中央)
Fig. 4.12 Horizontal luminous intensity curves at the entrance of tunnel in fine days.

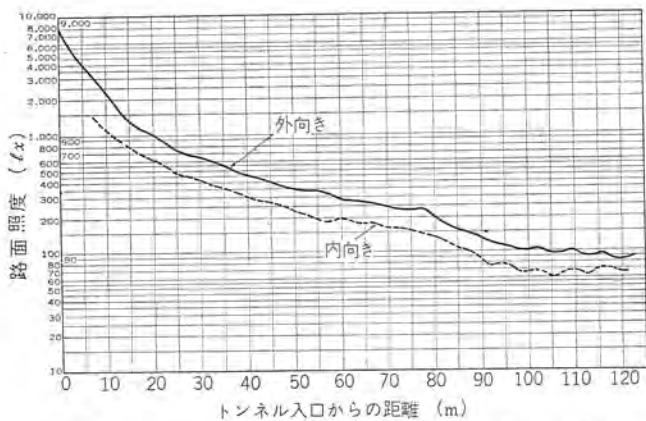


図 4.13 晴天時坑口部の鉛直面照度曲線 (外向, 内向)
Fig. 4.13 Vertical luminous intensity curves at the entrance of tunnel in fine days.

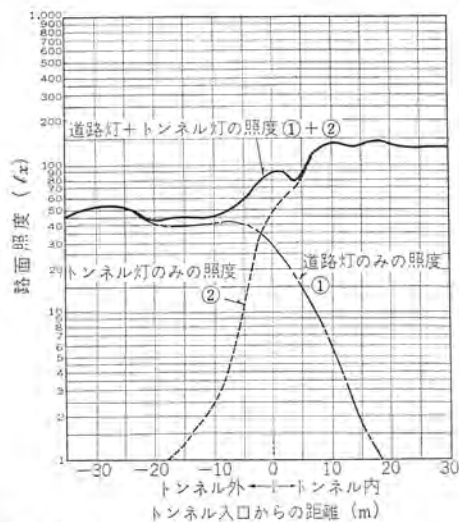


図 4.14 夜間坑口部の水平面照度 (道路灯, トンネル灯, 道路灯+トンネル灯…道路幅平均)
Fig. 4.14 Horizontal luminous intensity curves at the entrance of tunnel at night.

(1) 使用計器

SPECTRA TELEPHOTOMETER MODEL TEL-9 および SPECTRA BRIGHTNESS SPOTMETER MODEL UB-1/2 (いずれも PHOTO RESEARCH CORP. 製)

(2) 計器の使用区分

TEL-9: トンネル内天井, 壁面, 路面 (視角 0.057°)

UB-1/2: 坑内面壁 (視角 0.50°)

注) 測定箇所の大きさは, 距離 100 m のとき TEL-9 で 0.1 m, UB-1/2 で 0.87 m となる。

(3) 受光部の設置位置 路面上 1.5 m

(4) 測定点の範囲 輝度計前方 60~160 m

(5) 測定結果

表 4.2, 表 4.3 および 図 4.15, 図 4.16 に示す。

c. 見え方試験

(1) 試験項目および視標の使用区分 表 4.4 に示す。

(2) 視標 (図 4.7 参照)

(a) ランドルト氏環 (1.0/50 m, 1.0/100 m)

(b) タコ形視標 (反射率 11%) (c) 白色球 (150φ ツツ消, 反射率 85%) (d) 灰色球 (同, 12.5%) (e) 黒色球 (同, 5%) (f) 赤色球 (同, 12%) (g) 緑色球 (同, 14%)



図 4.15 晴天時の坑口部路面輝度
Fig. 4.15 Brightness of road surfaces at the entrance of tunnel in fine days.

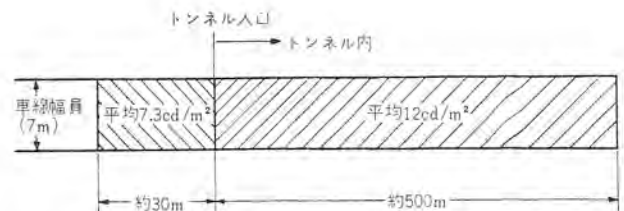


図 4.16 トンネル 坑口部および中央部の路面輝度
(夜間の状況) 注) 輝度計: UB-1/2 (トンネル入口から輝度計までの距離 90 m)
Fig. 4.16 Brightness of road surfaces at the entrance and center of tunnel.

表 4.2 坑口部面壁の輝度 (単位 cd/m²)

輝度計と坑口の距離	天 候 (トンネル外 水平照度)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
90 m	晴 天 ($10 \times 10^4 \sim 11 \times 10^4$ lx)	8,120	9,050	8,500	9,500	7,720	7,150	6,360	8,120	8,250	9,130	10,250
	曇 天 (2.5×10^4 lx)	2,300	2,300	1,910	2,290	1,780	1,640	1,910	1,730	1,730	2,130	2,270
60 m	※晴 天 ($10 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ lx)	8,120	5,830	5,830	8,500	6,290	6,070	7,800	7,150	7,150	7,300	7,550
	曇 天 (2.0×10^4 lx)	2,310	1,490	1,310	2,050	1,450	1,400	1,800	1,650	1,650	1,670	1,670

注) 1. ※は 90 m 曇天時の輝度をもとにして推定した値である
2. 測定時間は 11.00~11.30 (晴天) 11.30~12.00 (曇天)



表 4.3 トンネル 中央部の天井および壁面の輝度 (cd/m²)

輝度計からの距離	測定位置	灯具直下	灯具間	平均	備 考
60 m	a	16.0	18.9	10.6	
	b	16.9	19.6	8.65	
	c	52.3	23.3	11.7	
110 m	a	15.1	16.0	8.27	
	b	20.3	11.6	7.54	
	c	43.5	29.9	16.1	
160 m	a	17.4	19.6	7.84	
	b	18.9	14.5	7.54	
	c	43.5	40.6	25.2	

(注) 灯具直下, 灯具間の輝度値は TEL-9 (3.43°) 平均値は UB-1/2 (0.5°) による。

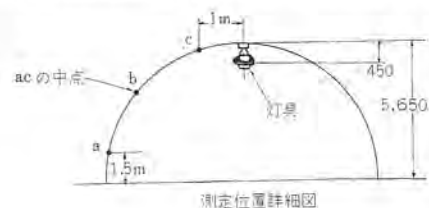


表 4.4 試験項目と視標の使用区分

場所	項目	試験項目	使用視標	視標設置位置
坑口部		歩行試験	人形を除く全視標	入口から 20, 35, 50, 70, 100 m ⁽²⁾
		走行試験	ランドルト氏環 2 種, 灰色球, タコ形	入口から 2.5, 10, 35, 70 m
中央部		(1)歩行試験	全視標	灯具直下, 灯具中間
		走行試験	ランドルト氏環 (1.0/100 m)	灯具中間

注) 1 煙霧中のみの試験を実施

2 ランドルト氏環のみ入口外 15 m, 0 m を加える。



図 4.17 使用した各種視標 (左から白, 黒, 灰, 緑, 赤の各球, タコ形, ランドルト氏環の順, 右端は照度計)
Fig. 4.17 Various visual targets used.

表 4.5 観測者, 固有視力調査表

No.	年 令	性 別	めがね	視 力	値	両 眼
1	19	男	あ り	0.64	0.93	1.26
2	21	男	な し	1.25	1.45	1.60
3	27	男	"	1.15	0.74	1.31
4	27	男	"	1.65	1.07	1.62
5	27	男	"	1.51	1.92	2.10
6	37	男	"	1.30	0.93	1.58
7	32	女	"	1.44	1.54	1.86
8	31	女	"	1.82	1.93	2.04
9	27	女	"	1.44	1.42	1.39

注) 1. 測定はトンネル中央部にて実施

2. 視力検査表は石原式で, 表面照度を 250~300 lx に保った。

3. 路面上に巻尺を設置して, 視距離を測定し換算した。

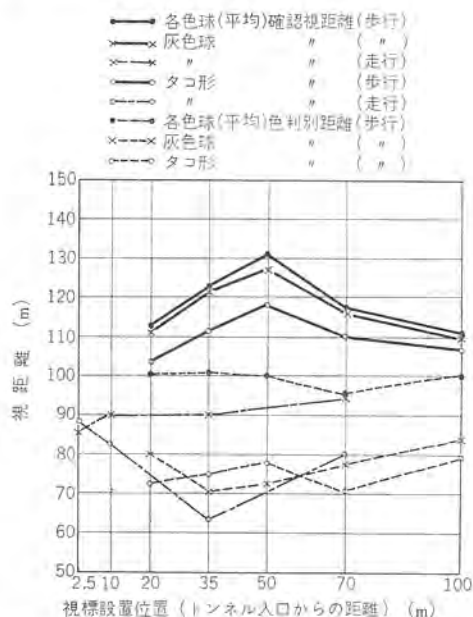


図 4.18 坑口部の障害物視標による試験結果

Fig. 4.18 Test results by means of obstacle visual targets at the entrance of tunnel.

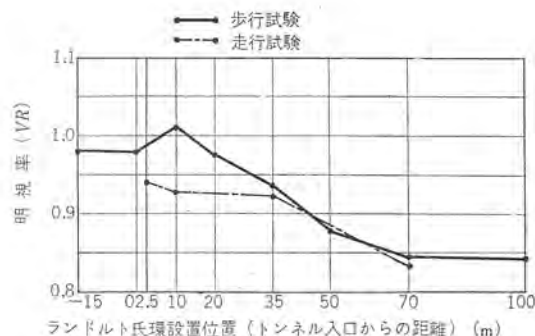


図 4.19 坑口部のランドルト氏環による試験結果

Fig. 4.19 Test results by means of Landolt at the entrance of tunnel.

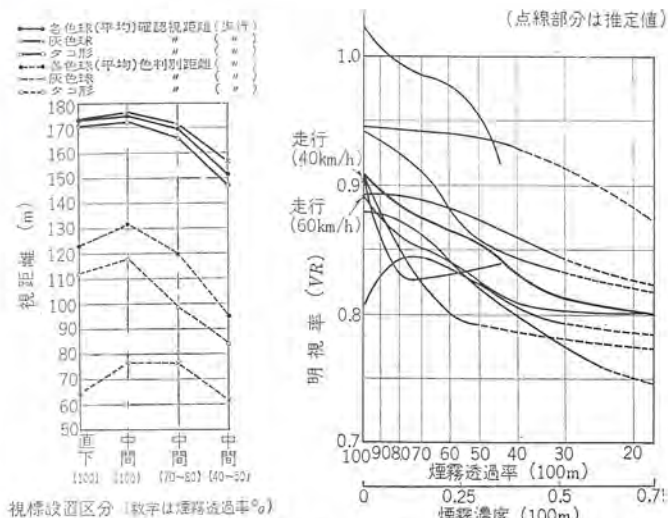


図 4.20 中央部, 煙霧中における障害物の試験結果

Fig. 4.20 Test results of obstacle in the center of tunnel.

図 4.21 中央部煙霧中のランドルト氏環による明視率 (歩行) (点線部分は推定値)

Fig. 4.21 Visibility (by walkers) by means of Landolt ring in the mist at the center.

(h)マネキン 人形 (身長 135 cm, 上衣灰色, スボン 黒色, 男)

(3) 観測者固有視力を表 4.5 に示す。

(4) 歩行試験 ランドルト氏環以外は自由観測。

(5) 走行試験 坑口部: 40 km/h (地形上 40 km/h 以上は不可能)

中央部: 40 km/h, 60 km/h

(6) 煙霧中試験 中央部 200 m の間, 両端をビニル透明幕を張り閉鎖, ビニル幕外のディーゼルトラックより排気ガスを送り, 透過率 20~85% の範囲で実施した。

(7) 試験結果 図 4.18~図 4.21 に示す。

5. この照明施設の総合的評価

5.1 照度および輝度

各国の推奨照度 (または輝度) 基準との比較

この実験のデータと各国の推奨値⁽³⁾との比較をすると, トンネル入口直後の輝度は, 各場合ともほぼ等しい。しかし, 70 m 付近では約 1/3 で, トンネル外より見たとき, その付近より内側が急速に暗く見える。中央部では, 各国の基準より若干高い輝度でこれもほぼ等しい。

5.2 照度および輝度の均斉度

均斉度は見え方のうえで重要な要素となるが, 照度は図 4.12

表 5.1 トンネル照明に関する各国の推奨照度（または輝度）基準（昼間）

壁面輝度または路面輝度 ※						備 考
昼間時の入口付近部				昼間時中央部		
	反 射 率	$\frac{\text{m}}{0 \sim 70}$	$\frac{\text{m}}{70 \sim 140}$	$\frac{\text{m}}{140 \sim 210}$		
(1) フランス	$\rho=0.7$	590 lx	340 lx	90 lx	40 ~ 50 lx	設計速度： 50 km/h 輝 度： 野外輝度 2,000~3,000 cd/m ²
	0.6	680	400	105	50 ~ 60	
	0.4	1,020	590	160	70 ~ 90	
	0.3	1,360	785	210	100 ~ 120	
		cd/m ² 130	cd/m ² 75	cd/m ² 20	cd/m ² 9~11	
(2) アメリカ	$\rho=0.7$	540 lx	320 lx	120 lx	54 lx	設計速度： 48 km/h 内部照明は交通 量によってわけ られているがこ れは 1,200台/時 以上の場合
	0.6	650	380	130	65	
	0.4	920	540	190	97	
		cd/m ² 120	cd/m ² 71	cd/m ² 25	cd/m ² 11	
		$\frac{\text{m}}{0 \sim 100}$	$\frac{\text{m}}{150}$	$\frac{\text{m}}{200}$	$\frac{\text{m}}{300 \sim}$	
(3) オランダ	cd/m ² 8,000	cd/m ² 1,000	cd/m ² 100	cd/m ² 30	cd/m ² 10	設計速度： 78 km/h
	1,000	130	13	10	10	
	100	13	10	10	10	
	40	10	10	10	10	
(4) オースト リア	76 m まで 205 cd/m ²				cd/m ² 20	設計速度： 64 km/h
(5) 日 本	高速道路	$\frac{\text{m}}{10}$	$\frac{\text{m}}{40}$	$\frac{\text{m}}{75}$		設計速度： 72 km/h
		lx	lx	lx	lx	
		850	415	230	50	
		一 般 道 路				

※ すべての距離は m, 照度は lx, 輝度は cd/m² に換算している。
(参考文献(1)から抜粋)

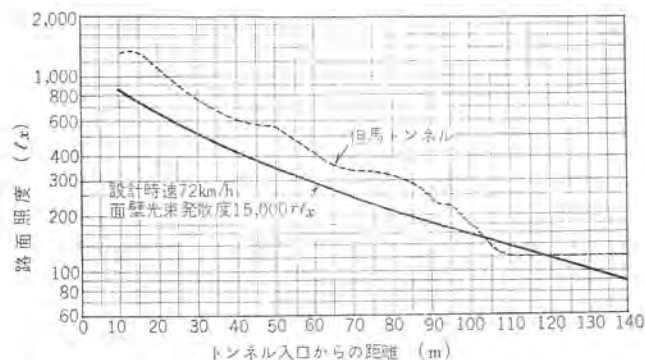


図 5.1 高速道路調査会による入口増灯部緩和照明曲線
Fig. 5.1 Curves of relieving sudden change of brightness by increased lamps of the entrance according to the highway investigation association.

～4.14に、また、輝度は表4.2、表4.3および図4.15、図4.16に示されるとおりで、均斉度はきわめて良好である。

また、天井および壁面の輝度は全般的に高い値を有し、均斉度も比較的良好で、トンネル内走行上の快適性を十分に高めるとともに、坑口部の見え方に寄与している。

5.3 入口部の緩和照明

緩和増灯照明は順応時間と車速によってその推移の状態は変わる。高速道路調査会により昭和38年に発表された、面壁光束発散度 15,000 rlx、車速 72 km/h における入口増灯部緩和照明修正曲線（図 5.1 参照）と但馬トンネルのそれとを比較すると、次のことが考察される。

(a) トンネル外の坑口面壁およびよう壁ブロックを反射率 10% 以下の灰色として、15,000 rlx 以下に押えれば、ほぼ 72 km/h の緩和曲線に適合する。

(b) 入口外部の路面照度（輝度）を、当初案のようにしゃ光おおいで晴天時で 10,000 lx 程度に押えることができれば、人工

高圧水銀ランプによるトンネル照明・金関・田中

表 5.2 道路の設計速度と安全視距（幾何構造設計資料より）

設計速度 (km/h)	路面がしめっている場合の制動停止距離 (m)	路面がかわいている場合の制動停止距離 (m)	走行距離 (m)	安全視距 (m)
50	57.3	50.7	65.4	70
60	73.2	65.3	78.6	80
70	92.4	80.9	91.4	100
80	110.0	98.7	104.6	110
100	157.8	140.1	131.0	160
120	205.5	187.2	157.2	210

表 5.3 道路の設計速度と安全視距（道路構造令より）

設 計 速 度 (km/h)	安 全 視 距 (m)
40	55
60	85
80	110

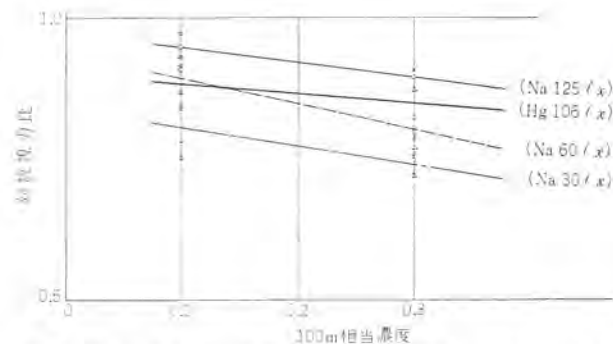


図 5.2 梶原トンネルおよび但馬トンネルにおける煙霧中見え方（ランドルト環）

Fig. 5.2 Visibilities by means of Landolt ring in the mist by walkers in Kajiwaratunnel and Tajimatunnel.

照明が $1/2$ に減衰しても、なお、72 km/h にほぼ適合するようになる。

結論としては、このトンネルはトンネル外輝度が非常に高いので、設計速度 50 km/h に対する緩和曲線に若干の問題を残している。

5.4 見え方

5.4.1 見え方の判定基準

自動車道路における見え方の判定基準としては次の2点が考えられる。

(a) 運転者が障害物を認めてからブレーキを操作し、安全に停止できるまでの距離は諸条件で異なるが、「幾何構造設計資料」では表 5.2⁽³⁾に示す値が定められ、また道路構造令では表 5.3⁽⁴⁾の値が示されている。

(b) 視力の低下は「明視率」で示され、その数値によって運転の適・不適および快・不快を判定する。この場合、明視率 0.75 を境界として判断⁽⁵⁾される。

5.4.2 トンネル中央部の見え方

明視率は煙霧のある場合でも、その透過率（100 m あたり）が 30% 以上では 0.75 以上を示し良好である。煙霧中におけるランドルト氏環の対数視力比を、高速道路調査会資料とあわせて作図したのが図 5.2 で、実験条件の差もあり、そのまま優劣を判定するのは危険であるが、この資料においては水銀ランプは煙霧中の低下が比較的少ない。

障害物視標による見え方試験の結果では、いずれも少なくとも 110 m 以上の視距離を示した。この値は 80 km/h の安全視距に適合する。

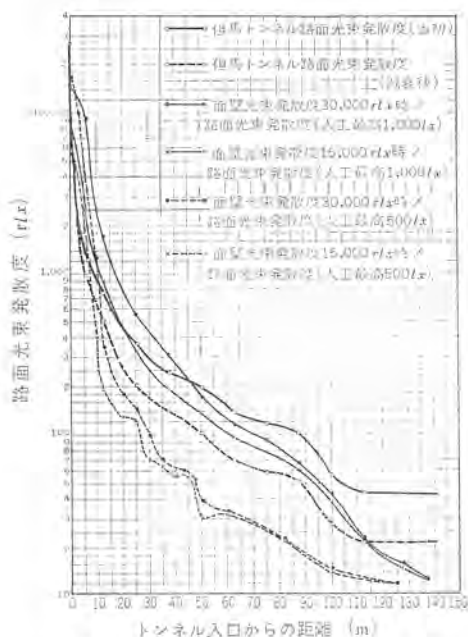


図 5.3 トンネル内路面光束発散度の比較

Fig. 5.3 Comparison of luminous radiance on the road surfaces in tunnels.

5.4.3 坑口部の見え方

明視率では歩行試験、および走行試験(40 km/h)のいずれの場合も0.8以上と良好な結果となっている。図5.3は高速道路調査会の実験時の坑口部の設定照度を、光束発散度に換算したものと、但馬トンネルのそれとの比較図で、5.3節(a)に記述のように、面壁の反射率を10%以下とすれば、将来人工光による照度が半

減しても、設計速度50 km/hに対してほぼ快適運転ができるものと思われる。

障害物視標による見え方は歩行および走行試験を通じて、最も低い視距離は63 m(走行試験のツコ形で入口から35 mの位置)である。この結果から総合的に言えば、設計速度50 km/hでは安全に運転できると思われる。なお、路面照度に比較して、明視率および視距離が比較的に大きな値を示しているのは、天井および壁面が明るいためブラックホール効果を弱めているためと思われる。

ランドルト氏環と障害物では異なった見え方を示しているが、これは先に発表された高速道路調査会の報告「ランドルト氏環の見え方と障害物見え方では、照明および煙霧の条件による変化の様相に差がある」と合致しており、この種の試験では必ず両者をあわせ行なう必要があることを示している。

6. む す び

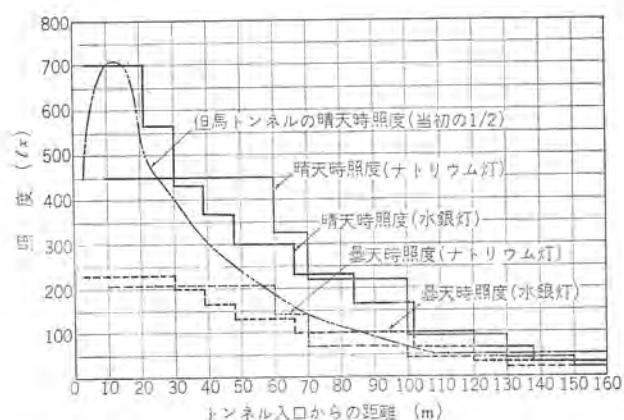
この照明設備について要約すると下記のことが言える。

- (1) 速度50 km/hでの走行に対して安全で、かつ、快適な運転ができる。
- (2) 入口部については面壁およびよう壁の反射率の抑制、自然光のしゃ光などの対策により、さらに高い照明効果をもたらすことが可能である。将来人工光による照度が半減することを考えると、とくにそれらが望まれる。
- (3) 見え方試験の結果は総合的に良好で、煙霧による低下も比較的に少ない。
- (4) 光の色調が比較的良好で、昼間外部よりトンネル内にはいったときの異和感が少なく快適である。

付表1 水銀灯およびナトリウム灯によるトンネル照明の経済比較(トンネル外照明を除く)

		種 類	銀白色水銀灯	ナトリウム灯			種 類	銀白色水銀灯	ナトリウム灯		
光 源	2	形 式	HF-200 SW	N-60, N-140	20	配 管 配 線 費	(材料費, 工事費)	2,734,000	2,900,000		
	3	器 具 の 形 式	HG-201	トンネル用ジカ付	21	照明器具取付費	(8+9+9'+10+10') ×18	490,500	633,000		
	4	ランプ数/灯具	1	1	22	全照明器具費	(8+9+10)×17+(9'+10')×17'	6,278,400	11,545,120		
					23	全 施 設 費	19+20+12+22	12,666,900	18,304,120		
基 礎 資 料	5	全 光 束	(lm/灯具)	9,800	5,000(60 W)	24	年 間 固 定 費	23 の 15 %	1,800,035	2,735,618	
	5'	"	(")		13,000(140 W)	24'	同 上 比 率	100	152		
	6	ラン プ 寿 命	(h)	12,000	6,000	年 間 運 転 費	25	年間ランプ交換数	(8×13+9×13'+10×13'')÷6	125	273(60 W)
	7	消 費 電 力	(W/灯具)	216	82(60 W)		25'	"	(9'×13'+10'×13'')÷6		92(140 W)
	7'	"	(")		170(140 W)		26	同 上 ラ ン プ 費	16×25	525,000	1,638,000(60 W)
	8	灯 具 数	(常時点灯)	87	158(60 W)		26'	"	16'×25'		920,000(140 W)
	9	"	(曇天時増灯)	92	36(60 W)		27	部 品 交 換 費	23 の 1 %	126,700	183,000
	9'	"	(")		68(140 W)		28	年 間 交 換 費	26+26'+27	651,700	2,741,000
	10	"	(晴天時増灯)	148	44(60 W)		29	ラ ン プ 交 換 人 件 費 / 個		350	350
	10'	"	(")		116(140 W)		30	同 上 年 間 費	(25+25')×29	43,050	127,750
	11	従 量 電 灯 料	(円/kWh)	7.25	7.25		31	器 具 清 掃 費 / 個		500	500
	12	基 本 電 灯 料	(円/kW)14 kW まで	3,840	3,840		32	年 間 清 掃 回 数		1	1
12'	"	(")14 kW 以上 20 kW まで	3,456	3,456	33		年 間 清 掃 費	(8+9+9'+10+10') ×31×32	163,500	211,000	
12''	"	(")20 kW 以上 50 kW まで	3,072	3,072	34	年 間 保 守 人 件 費	30+33	206,550	338,750		
施 設 費 お よ び 年 間 固 定 費 (円)	12'''	"	(")50 kW 以上	2,688	2,688	35	年 間 全 保 守 費	28+34	858,250	3,079,750	
	13	年 間 点 灯 時 間	(h)…常 時	8,760	8,760	36	年 間 消 費 電 灯 料		2,332,052	1,654,053	
	13'	"	(h)…曇 天 時	4,380	4,380	37	年 間 電 灯 基 本 料	11×[7×(8×13+9×13'+10×13'') +7'×(9'×13'+10'×13'')]/1,000	220,032	166,272	
	13''	"	(h)…晴 天 時	2,190	2,190	38	年 間 全 運 転 費	35+34+37	3,410,334	4,900,075	
	14	灯 具 価 格		5,500	12,000(60 W)	38'	同 上 比 率		100	143.5	
	14'	"			13,500(140 W)	39	年 間 全 照 明 費	24+38	5,210,369	7,635,693	
	15	安 定 器	(含む安定器箱)	9,500	6,040(60 W)		39'	同 上 比 率		100	146.5
	15'	"	(")		8,150(140 W)				68.5	100	
	16	ラ ン プ 価 格		4,200	6,000(60 W)						
	16'	"			10,000(140 W)						
	17	照明器具費/灯	14+15+16	19,200	24,040(60 W)						
17'	"	14'+15'+16'		31,650(140 W)							
18	器具取付費/灯		1,500	1,500(140 W)							
19	引込電設工事費	(キュービクル 材料費を含む)	3,164,000	3,226,000							

注) トンネル全長780 m, 車線幅員7 m, ……小堀氏の照明経済方式⁽⁸⁾による。



付図 1 水銀灯およびナトリウム照明による推定 トンネル 内照度曲線 (人工光のみ)

(5) ほとんどまぶしさを与えることがなく、天井および壁面も明るいのので、運転者に対し圧迫感を与えることがなく、見え方の点でも有利である。

(6) ランプが一種類に統一されているため、保守点検が容易である。

(7) 経済性が付記のように有利である。

[付 記]

付表 1 はこの但馬 トンネル から鳥取よりに建設中の 入江 トンネル の照明資料として、付図 1 に示す照度としたときの水銀灯照明とナトリウム 灯照明との経済比較表である。受電以降の電気設備費を含め、照明器具関係の価格は正価を採用し、工事費関係は同一単

価で積算した。単価および電気工事費に幾多の問題はあると思われるが、水銀灯照明がナトリウム 灯照明より、施設費・運転費ともにおおいにすぐれている。

b. トンネル 照明用光源として、高圧水銀 ランプ がすぐれた照明効果を、その経済性の有利さとともに示したことをのべたが、これを基礎として、さらに高い目標に向かって研究を進めるべきであると思う。必ずしも道路照明に限っていえることではないが、新しい課題（この場合は前例のない照明用光源の採用）に対しては、より慎重な研究態度をとるべきであることは言うまでもない。しかし同時に真の勇気をもって当たることがとくに肝要であると思う。そうした意味で、この機会を与えられ、種々指導を賜った建設省豊岡工事事務所の西川所長殿、柴田村岡出張所長殿および鈴木係長殿をはじめとする関係各位に深甚な謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 上川、金関：照学誌，49，571（昭 40）
- (2) 建設省豊岡工事事務所：但馬 トンネル，（昭 40. 10）
- (3) 高速道路調査会：トンネル 入口照明に関する調査研報告究書，（昭 40）
- (4) 道路構造令
- (5) 高速道路調査会：照学誌，47，187（昭 38）
- (6) 高速道路調査会：照学誌，48，565（昭 39）
- (7) 高速道路調査会：照学誌，48，403（昭 39）
- (8) 小堀：「三菱電機」34，1,238（昭 35）
- (9) 高速道路調査会：トンネル 照明設計要領（案），（昭 41）

半導体素子を使用した小形調光装置

森 本 俊 一*

Small Light Control Equipment using Semiconductor Devices

Ofuna Works Shunichi MORIMOTO

Remarkable is the latest progress in semiconductor technique, which has introduced a number of new applications. Light control is one of them. It has been made heretofore chiefly by changing the amplitude of applied voltages on incandescent or fluorescent lamps with autotransformers. But advent of semiconductor devices, such as thyristors, silicon symmetrical switches and Triac, has brought innovation to the process by controlling the phase of power. This will meet the requirements of saving the floor space, simplification of the operation and quickness in handling of the dimming apparatus. The new product introduced is rated at 300 W for incandescent lights and good for two 40 W rapid start lamps FLR-40.

1. ま え が き

最近の半導体技術の進歩はめざましく、シリコン制御整流器 (Thyristor) を初めとして、シリコン対称性スイッチ (SSS)、トライアック (Triac) など次々に電力用の素子が開発、発表されている。これら各素子の長が一般に認識されるにつれ、応用分野も拡大の一途をたどり、ある分野では不可欠なものとなっている。

照明の分野においても、従来の調光装置には電圧の振幅を変化させる電圧変化方式が広く使用されていたが、装置占有面積の節約、および操作の簡単化、迅速化などの要求に伴い、電圧変化方式から半導体系素子を使用した位相制御方式に代わりつつある。

劇場、スタジオなどに使用される大形調光装置については今までに種々発表されているので、ここでは一般家庭、ホテルの客室、小会議室などに使用される比較的小形の SSS 調光装置を紹介する。

2. シリコン対称性スイッチの動作原理

シリコン対称性スイッチ (以下 SSS と記す) は NPNPN 5 層からなる 2 端子の素子で、その動作は 2 個の Thyristor の組合せで説明される。図 2.1(b) の等価回路で端子 AB 間に Thyristor₁, Thyristor₂ のブレイクオーバー電圧 (以下 V_{BO} と記す) の交流電圧が印加されると、A 側が正電位のときには Thyristor₁ が、又 B 側が正電位のときには Thyristor₂ がそれぞれ導通状態になる。したがって V_{BO} 以上の電圧を電源電圧と同期させて任意の位相で印加すれば、SSS はその位相で点弧する。このように点弧する位相を変化することにより、負荷の電流を制御することができる。

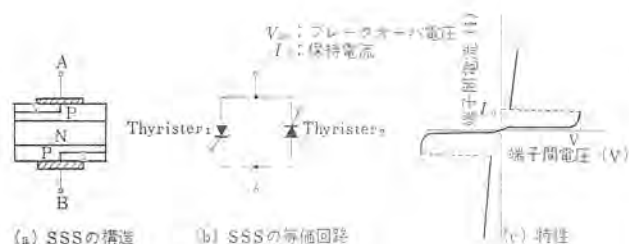


図 2.1 SSS の構造および特性
Fig. 2.1 Structure and characteristics of SSS.

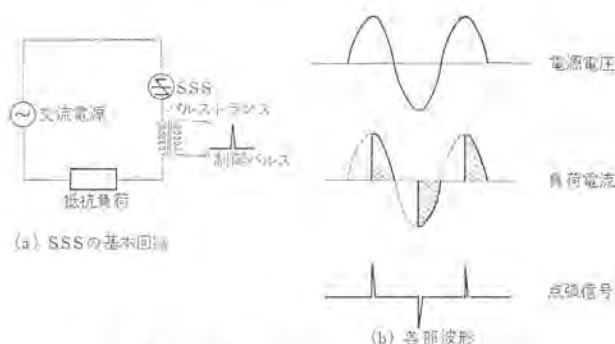


図 2.2 SSS の基本回路と各部波形
Fig. 2.2 Basic circuit and waveform of SSS.

3. 回路構成および動作機構

(1) 小形白熱灯調光装置

白熱灯調光装置は図 3.1 のように、調光器、白熱電球から構成され、さらに調光器は、SSS、スイッチ付可変抵抗器 (R_1)、点弧信号発生回路よりなりたっている。

点弧信号発生回路は小容量の SSS₂ (トリガ用) と CR 充電回路の組合せで、点弧信号の位相の変化は可変抵抗器 (R_1) によりおこなう。この可変抵抗器は電源のスイッチと一体になっており、あらかじめ設定しておいた任意の明るさに点灯できる構造になっている。図 3.1 の回路について動作を説明する。

プッシュスイッチを、スイッチンすると可変抵抗器 R_1 , R_1 および白熱電球を通してコンデンサ C_1 に充電電流が流れ、 C_1 の端子電圧は徐々に高まる。同時に C_2 にも電荷が蓄積される。 C_1 の電圧が SSS₂ の V_{BO} より高くなると SSS₂ は点弧し、 C_2 の電荷はパルストランス、SSS₂ を通して放電される。 C_2 とパルストランスは共振回路を形成しているため、振動的なパルスがパルストランスに誘起される。この誘起されたパルスと電源電圧の重畳された電圧が SSS₁ に加わり、SSS₁ は点弧する。各半サイクルごとに上記の動作が繰返される。 R_1 の値を変化して C_1 への充電の時定数を変えれば、白熱電球に流れる電流を位相制御することができる。

C_2 は SSS₁ の点弧を容易にするとともに、パルストランスとフィルタを形成しており、障害波防止の働きをする。

(2) 小形ケイ光灯調光装置

ケイ光灯調光装置は図 3.2 のように、調光器、ケイ光灯管お

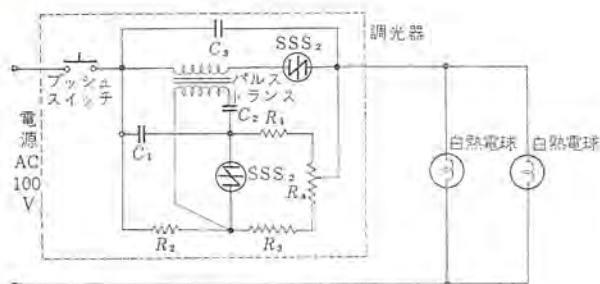


図 3.1 小形白熱灯調光装置接続
Fig. 3.1 Circuit-diagram of small incandescent lamp control equipment.

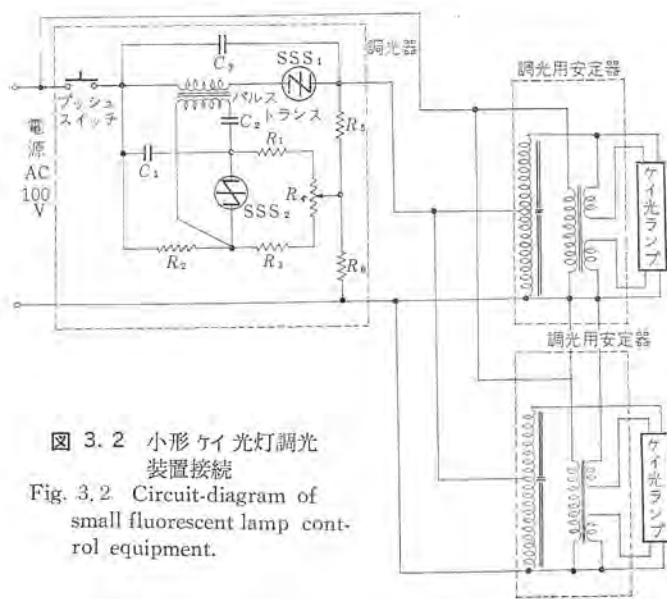


図 3.2 小形ケイ光灯調光装置接続
Fig. 3.2 Circuit-diagram of small fluorescent lamp control equipment.

よび調光用安定器から構成されており、さらに調光器は、 SSS_1 、可変抵抗器 (R_4)、点弧信号発生回路よりなりたっている。

(a) 調光器

ケイ光灯調光器の回路は白熱灯調光器とほとんど同じであるが、ケイ光ランプを含む点灯回路が誘導性の遅れ力率のため、点弧信号発生回路に考慮がはられている。

負荷が誘導性の場合、点弧信号で SSS_1 が点弧してから電流が保持電流 (以下 I_H と記す) 以上になるまでかなりの時間を要する。これは SSS_1 に流れる電流の立ち上がり率が低いため、力率が悪いほど、遅れ時間は長くなる。 SSS_1 の電流が I_H 以上になるまで点弧信号が持続されていないと、 SSS_1 は導通しない。このように SSS_1 を点弧し、導通状態にさせるには、十分な持続時間を持ったパルスを加えるか、点弧信号が与えられたときに立ち上がり率の大きい I_H 以上の電流を SSS_1 に流すこととりの方法が考えられる。本調光器には後者を採用している。

図 3.2 において、点弧信号パルスを任意の位相で SSS_1 に印加すると、 SSS_1 にかかる電圧は V_{BO} 以上となって点弧し、同時に R_5 、 R_6 を通して I_H 以上のけわしい立ち上がりをもつ電流が流れるため SSS_1 は導通状態となる。

(b) 調光用安定器

調光用安定器は図 3.2 のようにフィラメント加熱用変圧器と漏エ変圧器とから構成されている。フィラメント加熱用変圧器は調光の度合に関係なく常に一定の電圧でランプのフィラメントを加熱しており、調光した状態でもランプが安定な動作をするとともに、ランプ寿命が短くならないようにしている。

漏エ変圧器の入力側には、位相制御された調光器の出力電圧半導体素子を使用した小形調光装置・森本

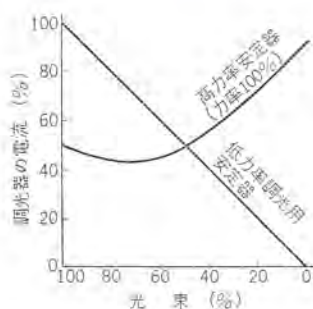


図 3.3 低力率形安定器、高力率形安定器による光出力—調光器電流特性
Fig. 3.3 Ballast line current vs. light output setting for ballasts having normal power factor and power factor corrected to 100 % at the maximum light output.

が印加され、この電圧が加えられている間だけランプに電流が流れる。

調光用安定器の力率は低く、40~50 % くらいである。一般の安定器の場合には、入力側に力率改善コンデンサを接続して高力率にする方法が用いられているが、位相制御方式の場合、導通角 180° (明るさ 100 %) で力率が 100 % になるようにすると、導通角が 180° から小さくなるにつれてコンデンサには高調波を含む電流が流れる。このため、調光器に流れる電流は増加し力率改善の役目をしないことになる。(1) (図 3.3)

しかし配線容量の低減、調光器 1 台当たりのランプ点灯数の増加、調光器の小形化などの点からも高力率化は必要である。すでに種々の方法が発表されているが、いずれも決定的な方法とまでいっていない。

4. 調光特性

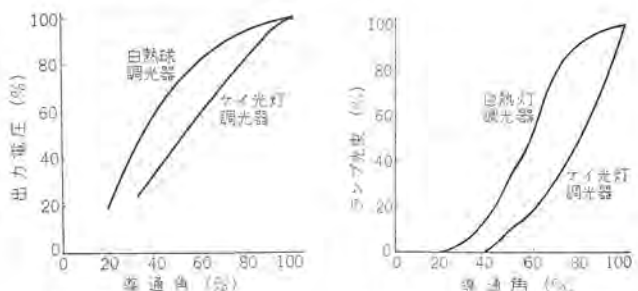
白熱灯調光装置とケイ光灯調光装置の特性は、負荷の性質に差があるためにかなり異なっている。

各特性について両者を比較する。

(1) 導通角—出力電圧特性

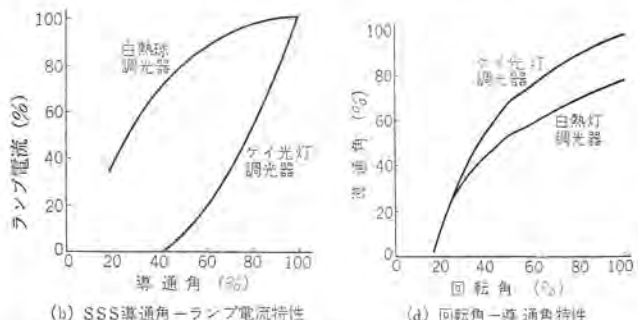
SSS_1 の導通角 (SSS_1 が導通状態にある期間で明るさ 100 % のとき 180° である) と出力電圧 (実効値) の関係を図 4.1 (a) に示す。

(2) 導通角—ランプ電流特性



(a) SSS 導通角—出力電圧特性

(a) SSS 導通角—ランプ電流特性



(b) SSS 導通角—ランプ電流特性

(d) 回転角—導通角特性

図 4.1 白熱灯調光装置 ケイ光灯調光装置による調光特性
Fig. 4.1 Controlling characteristics of small incandescent and fluorescent lamp equipment.

SSS₁の導通角とランプ電流の関係を図4.1(b)に示す。

(3) 導通角—光束特性

SSS₁の導通角とランプ光束の関係を図4.1(c)に示す。

(4) 可変抵抗器回転角—導通角特性

調光作用可変抵抗器の回転角と導通角の関係を図4.1(a)に示す。

(1), (2), (3)の各特性から次のようなことが言える。

(a) 白熱灯調光装置の位相制御範囲は約40~160°必要であるのに対し、ケイ光灯調光装置では、約50~140°でよく狭い範囲の制御でよい。

(b) 白熱調光装置の導通角—ランプ電流、導通角—ランプ光束の関係は非直線的で、導通角40~60%で急激に減少しているのに対し、ケイ光灯調光装置ではほとんど直線的で、光束、ランプ電流は、導通角の減少に対し急激に低下し、導通角40%でほとんど0%になる。

5. 調光装置の実例

調光装置の原理、動作特性について述べてきたので、ここでSSS小形白熱灯調光装置、SSS小形ケイ光灯調光装置の実例について説明する。

(1) 白熱灯調光器

300 W以下の白熱電球の調光に使用するもので、壁埋込み1個用浅形スイッチボックス(JIS C 8637に規定されているもの)に収納できる。

その定格を表5.1に示す。

(2) ケイ光灯調光器

ラピッドスタート形ランプ40 W (FLR 40) × 2灯、20 W (FLR 20) × 3灯の調光に使用し、壁埋込み1個用浅形スイッチボックスに収納できる。ランプの点灯数は電源電圧の10%増加を考慮して決めたものであり、電源電圧の変動の少ないところでは、FLR 40 × 3灯、FLR 20 × 4灯の点灯も可能である。

(3) ケイ光灯調光用安定器

表 5.1 小形白熱灯調光器
定格

形 名	DLM-1005 A
電 源 電 圧	100 V 50/60 c/s
負 荷 電 流 容 量	300 W 以下
調 光 範 囲	0~100 % 任意の明るさで ON-OFF できる
周囲温度	0~35°C

表 5.2 小形ケイ光灯調光器
定格

形 名	DFM-1005 A
電 源 電 圧	100 V 50/60 c/s
負 荷 電 流 容 量	5 A
調 光 範 囲	0~100 % 任意の明るさで ON-OFF できる
周囲温度	0~35°C



図 5.1 白熱灯用調光器
Fig. 5.1 Incandescent lamp control equipment.



図 5.2 ケイ光灯用調光器
Fig. 5.2 Fluorescent lamp control equipment.

表 5.3 調光用安定器定格表

形 名	適合ランプ	電 圧 (V)	周波数 (c/s)	入力電流 (A)	入力電力 (W)	ランプ電流 (A)
FDD-211 LA 5	FLR 20/M 1灯	100	50	1.0	35	0.375
FDD-211 LA 6	FLR 20/M 1灯	100	60	1.0	35	0.375
FDD-411 LA 5	FLR 40/M 1灯	100	50	1.35	60	0.435
FDD-411 LA 6	FLR 40/M 1灯	100	60	1.35	60	0.435

小形調光装置に使用されるケイ光灯調光用安定器の定格を表5.3に示す。

6. 小形調光器の特長と今後の課題

小形調光器は、小形、軽量、取扱いの容易なことを目的としているため、多くの特長を有する反面、小形化による温度上昇、電波障害などに若干の問題がある。

(1) 特長

(a) 小形、軽量で壁埋込み1個用スイッチボックスに簡単に取付けられる。フラッシュプレートもJIS C 8316の1個用とほとんど同じである。

(b) フラッシュプレートのツマミをまわすだけで明るさを自由に變えることができる。またツマミはラッチスイッチになっているから任意の明るさで消灯することも、またあらかじめ設定した明るさで点灯することもできる。

(c) 白熱灯調光器は、既設のスイッチボックスの1線に調光器を電球と直列に接続できる構造になっている。

ケイ光灯の場合には、別に1線を追加し、安定器も調光用に変える必要がある。

(d) 半導体素子を使用しているため、調光器での消費電力は少なく効率が高い。寿命も半永久的である。

(2) 今後の課題

(a) 小形スイッチボックスに収納できるように狭いスペースにSSSをはじめとする各部品を配置しているため、各部品およびフラッシュプレート、ツマミの温度はある程度上昇する。一般には実用上さしつかえないよう設計されているが、温度上昇を抑えるような方法で使用することが望ましい。

(b) 位相制御方式独特の高周波を含んだ電流が流れるために若干のラジオ障害を発生する場合がある。一般には調光器に内蔵されたフィルタで防止できるが特に電界の弱い場所などでは、別にフィルタを設ける必要がある場合もある。

(c) 白熱球とケイ光灯では負荷の特性が異なるため専用の調光器が必要である。

7. む す び

SSSを使用した小形調光装置について述べたが、ケイ光灯調光装置においては、40 W ラピッドスタートランプ (FLR 40) × 1 灯用調光用安定器のほかに20 W ラピッドスタートランプ (FLR 20) × 1 灯用の調光用安定器の開発も完了している。これら調光装置が、カラーテレビ・スライドなどの普及により一般家庭に導入されるのも時間の問題と思われる。

参 考 文 献

- (1) A. B. Elliott: Phase-control dimming of fluorescent lamps, Illum. Engng, 4 (1964)



特許と新案

負荷制限装置

発明者 岡本孝治

発電機等における自動負荷調整においては、予定負荷を指令する装置、たとえばプログラム設定器、電力経済配分機等からの指令電力量が発電機の現在発電量に対しある増減許容限度以上または以下となる場合は、その指令電力量を現在発電電力プラス許容限度に修正する必要がある。

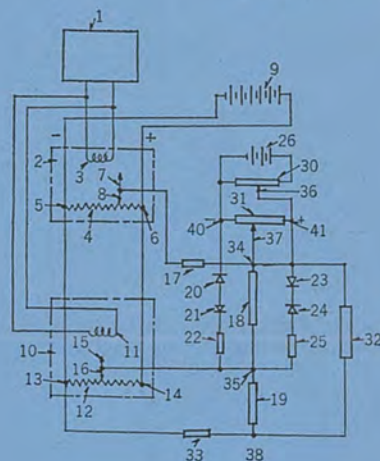
この発明は、このような要求にもとづいてなされたものである。図面について説明すると(1)は予定した電圧を発生する予定負荷指令装置、(2)は応答速度の速い(指針の全振に要する時間が3秒程度)計器の態様をした自動平衡装置、(10)は逆に遅い(約60秒)自動平衡装置である。

今予定負荷指令装置(1)からの指令が $p\%$ であると指針(7)(15)、したがってシュウ動子(18)(16)は $p\%$ の位置にあり、指針(7)(15)間したがって抵抗(18)間には電位差はなく抵抗(19)に $p\%$ に應ずる電位差が現われ、これが負荷(32)に現われる。負荷(32)の電圧は発電機発生電力と比較され、この発生電力が $p\%$ になるよう自動制御する。

次に予定負荷指令装置(1)から $q\%$ の指令が出ると指針(7)(15)は、その位置に移動するが応答速度に差があるので指針(7)(15)間したがって抵抗(18)に電位差が現われ、これと抵抗(9)の

電位差とが加わって負荷(32)に電位差を与え、発電機をして $q\%$ の電力を発生させ始める。抵抗(18)の両端の電位差が大きくなって直流電源(26)によって抵抗(31)に与えられる電圧およびゼナーダイオード(20)、(23)のゼナー電圧を越えると、ゼナーダイオードが導通し抵抗(18)の電圧は、これ以上大きく(または小さく)ならず発電機の発生電力を過大(または過小)に変化させないものである。

(特許第405610号)(八木記)



電気ガバナの運転制御装置

発明者 渡辺 宏

この発明は水車発電機に用いられる電気ガバナの特性を所望の形に設定する装置に関するものである。一般に発電所においては系統周波数を規定値に保つように運転されるが、発電所によっては貯水池容量などの関係から周波数よりもその使用流量を規定範囲内に押える必要の生ずる場合がある。この発明はこのような要求に対処するためになされたものである。以下図についてその一実施例を説明する。

発電機が系統に接続され規定周波数で運転しているときは、電気ガバナ(1)より第1の作動線輪(3)(4)に供給される電気量は等しいから可動巻きツクまたは可動鉄心(2)は動くことがなく中性位置を保持し水車(7)の導水弁の開度は変化しない。今、系統周波数が低下したとすると作動線輪(4)に供給される電気量は作動線輪(3)のそれよりも多くなり、したがって可動巻きツクまたは可動鉄心(2)は、図1において下方に動き、レバー(6)は当然下方に移動する。レバー(6)が下方に移動すれば、これに連動した抵抗(9)(速度発電機(8)に接続されている)のシュウ動子上の電位が変化する。

この電位の変化が電気ガバナ(1)に負帰還されており、したがって作動線輪(4)に供給される電気量の増加はレバー(6)の移動

に伴って小さくなり、第1の作動線輪(3)(4)に供給される電気量が平衡すればレバー(6)は停止する。換言すればある周波数の変化量に対してこれに対応したレバー(6)の移動量は定まっており、図2に示すようにいわゆる垂下特性を有している。またレバー(6)が図1において、下方に移動すれば水車(7)の導水弁を開いて水車流量を増加させるよう構成されている。

しかるに今スイッチ(16)を閉成しスイッチ(17)が開放されて非直線要素(20)と半導体整流器(21)とを回路から切離している場合の動作について述べる。電気ガバナ(1)はレバー(6)が図2のA点で平衡状態にあるものとする。抵抗(10)(11)は図1に示すように接続されて定電圧直流電源(12)に接続されているが、抵抗(11)を調整して抵抗(11)のシュウ動子と抵抗(10)のシュウ動子との間の電位差が零になるように設定しているものとするれば、平衡状態よりレバー(6)が下方に移動したときには抵抗(10)のシュウ動子上の電位は抵抗(11)のそれより低くなり、反対にレバー(6)が上方に移動したときには抵抗(10)のシュウ動子上の電位は高くなる。この二つの抵抗(10)(11)のシュウ動子間の電位差を図3に示すような出力特性を有する出力電圧制限増幅器(14)で増幅してこの出力電圧が非直線要素(18)、半導体整流器(19)および抵抗(22)に供給されて

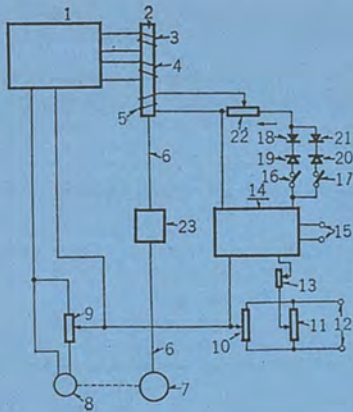


図 1

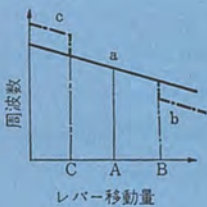


図 2

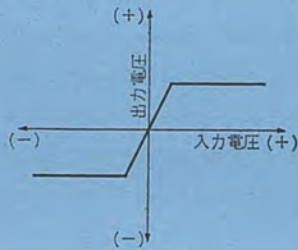


図 3

いるから、抵抗(22)に生ずる電圧降下とレバー(6)の移動量との関係は図 2 に示す A なる平衡点からレバー(6)が下方に移動して抵

抗(10)(11)の両シユ動子間の電位差による出力電圧制限増幅器(14)の出力電圧が非直線要素(18)の特性で定まる、ある値すなわち図 2 の B 点をこえると上記電圧は全部抵抗(22)にかかることになる。しかるに出力電圧制限増幅器(14)は抵抗(10)(11)の両シユ動子間の電位差がある値以上では出力電圧が一定になるので抵抗(22)の電圧降下はある一定の値で押えられる。したがってここで第 2 の作動線輪(5)の極性を抵抗の極性を抵抗(22)に矢印方向の電流が流れた場合にはレバー(6)を上方に移動させる方向に巻かれているものとすれば、図 2 の a 特性は b のように変更されることになる。そしてこれから明らかなように相当な周波数の低下に対してもレバー(6)の移動量は B 点までに限定されるから水車使用水量を定められた値以内に保ちながら水車を運転することができる。

またスイッチ(17)を閉成し、スイッチ(16)を開放して非直線要素(18)と半導体整流器(19)とを回路から切離している場合は上述の場合と全く反対の動作をなす。したがって抵抗(22)の電圧降下とレバー(6)の移動量との関係は上述の場合と反対になり図 2 の a 特性は c のように変更されることになる。さらにスイッチ(16)および(17)を共に閉成した場合は上記両動作を合わせたことになるから、図 2 の a 特性はその両端を b, c のように変形される。このようにこの発明によれば、電気ガバナーの特性を自由にしかも水車を運転しながら所望の形に変更することができ、したがって水車の使用水量を都合のいい値に制限できるものである。

(特許第 409859 号) (山川記)

三相負荷の制御装置

この発明は、3 相誘導電動機などの 3 相負荷に対し相互に逆並列に接続された可制御整流器と非制御整流器をツウ入し、その可制御整流器の導通位相を調整することにより所望の制御を行なうようにした 3 相負荷の制御装置の改良に関する。図 1 はこの発明の実施例を示す。従来の装置は点弧回路 Pa~Pc が相間電圧で付勢されるようになっており、この発明のように抵抗 Ra~Rc で作られた中性点 0 と各相 a~c 間の電圧すなわち相電圧で付勢されないで、点弧回路が 0~180 度まで連続的に推移できるものであっても約 30 度の不導通領域を持っていた。この発明は従来の装置の上記欠点を改善するものである。図 1 に於て、L は負荷たとえば電動機、A₁~C₁ は可制御整流器、A₂~C₂ は非制御整流器、Pa~Pc は点弧回路で各々同様の構成を持つ、点弧回路 Pa はトランジスタ Tr₁~Tr₆、抵抗 R₁~R₁₆ 等より成る。この点弧回路で a 相電圧は抵抗 R₁, R₁₅ で分圧されて Tr₁ に入り、a 相の可制御整流器 A₁ に順方向電圧が作用している期間は Tr₁ は整流素子 Se₁ の作用により非導通となり、コンデンサ C は R₂, R₁₆ を介して充電され、また A₁ に逆方向電圧が作用している間は Tr₁ は導通してコンデンサ C は Tr₁、整流素子 Se₂ を通じて放電し、こうして a 相電圧と同期した π (銅) 歯状波が発生し、これは Tr₂~Tr₆ により点弧パルスに整形されて制御整流器 A₁ を点弧制御する。図 2 のように点弧パルスは制御信号 I₂ に応動し、 π 歯状電流 I₁ が制御入力 I₂ より大きくなった時点で発生する。以上述べたこの発明

発明者 吉田 太郎・宮崎 治

によれば、点弧パルスは相電圧に同期するため従来のもののように相間電圧と同期するものと比べその制御範囲がきわめて広がるものである。

(特許第 443061 号) (松岡記)

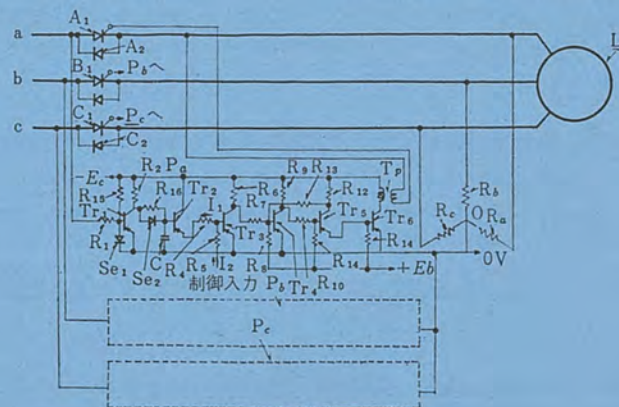


図 1

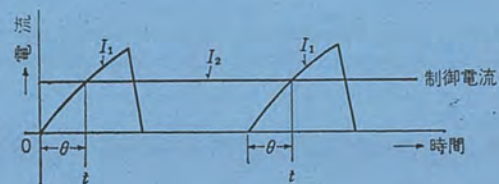


図 2

避雷器と汚損問題

岡田 昌治*・永井 信夫*・荻野 一夫*

Pollution Problems on Lightning Arresters

Itami Works Masaji OKADA・Nobuo NAGAI・Kazuo OGINO

Problems on the pollution of electric apparatus, particularly arresters, have come to draw attention of engineers because of geographical condition in this country and an increasing number of installations of thermal power stations near the seaside. The overinsulation of the arrester housing is not always a right practice for its application to the contamination district. This involves difficult factors in their operation. Mitsubishi has been conducting tests on the arresters under contamination since 1950 and accumulated numerous data about the effect of the atmospheric condition on the characteristics of arresters. As a result of studies, Mitsubishi has worked out a guide in the application of arresters as shown in attached table.

1. ま え が き

電気機器の汚損塩害問題は、わが国の地理的条件や系統の超高压化あるいは沿岸地区の火力発電所の新設などに伴って最近とくに重視されているが、過電圧では保護機器としての使命からただ過絶縁を施すというわけにいかないで、とくに困難な要素が含まれている。

当社では、すでに昭和 25 年末に避雷器の霧中試験⁽¹⁾⁽²⁾を実施し、外部気象条件が避雷器の特性に重要な影響を及ぼすことを明らかにしたが、その後シリコンオイル、シリコンコンパウンドの使用、抵抗ないしは容量分圧方式の採用、ガイ管の長大化などいくつの改善が施こされるとともに、工場内および現地でも各種の試験が行なわれ貴重なデータが得られてきた。もちろん汚損現象の究明、対策はまだ十分とはいえず、避雷器においてはその電氣的諸特性の数%の優劣以上に、実際の使用にあたっては汚損問題が重要な要素で、その正しい認識が望まれる。

以下に、これまでのデータから現在明らかにされている事項および未解決事項をかかげ、避雷器を適用する場合の考え方、注意事項、参考資料を示す。

2. 汚損に関連した避雷器の諸特性

2.1 一般的傾向

避雷器は簡単にいえば、その両端の電圧がある値以上に達すると放電を生じて、そのエネルギーを放流することにより両端の電圧を一定値以下に抑え、原因となる過電圧がなくなれば、またもとにもどる装置である。そして平常時は、系統になんらジョウ乱を与えない絶縁物としての役目を果たさなければならない。このため現在の電力用弁形避雷器は、すべて直列ギャップと特性要素を定格に応じた枚数だけ積み重ねて密封容器内に入れた構造になっている。

特性要素は、それ自体の抵抗値が低いので多数を積み重ねてもその電圧分圧は変わらず、外部気象条件が変わっても特性に影響はないが、直列ギャップのほうは、絶縁物に近いインピーダンスをもっているから、電圧が高くなり枚数が増えると浮遊容量やコロナの影響がきいてきて、1枚のギャップの特性に枚数をかけただけでは推定できない複雑な電位分布となり、かつ外部気象条件に非常に敏感であるため汚損などによって大きく変化する。すなわち図 2.1 はこれらの関係を示したもので、ギャップ枚数および背の高さ

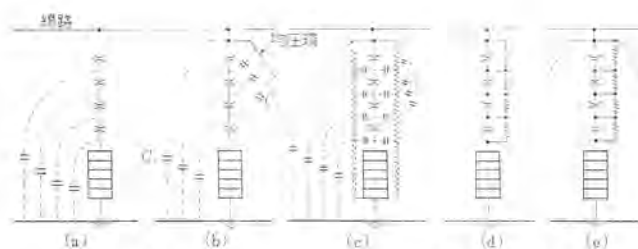


図 2.1 直列ギャップの分圧方法と浮遊容量の影響
Fig. 2.1 Voltage distribution of series gaps and the stray capacitance effect.

がそれほど高くない場合は (a) のままでよいが、これが大きくなってくると浮遊容量の影響が大きくなって、たとえば最上段のギャップに過大の電圧がかかり、枚数をふやしても放電電圧がそれほど上昇しなくなる。この場合は (b) のように、上部に均圧環をおくと C_L と C_E がうち消しあって電圧分布がよくなり、所望の特性が得られるようになる。

しかしながら個々のギャップは、それ自体が有しているわずかの静電容量 C_g によって分圧されているわけであるので、(c) のようにガイ表面が汚損されて外部電界が乱れてくると、たちまち電位分布がくずれ放電特性が変わってしまう。この現象は単に定常的に考えるだけでは不十分で、汚損により外部漏れ電流が間欠的に流れ、高周波成分が発生するから浮遊容量の影響が大ききいてきて、瞬間的にギャップの電位分布が著しく不均等になり不規則な放電特性の低下をきたすと考えられる。この外部電界の乱れは、塩分付着というような過酷なものでもなくとも、霧や朝露といった程度のもので 60 kV 系統用以上の避雷器になると、(a) ないし (b) の構造のものでは影響をうけるのであって、最近のものではすべて (d)、(e) のように意識的なインピーダンスをそう入して、外部電界の少々な乱れでは影響をうけないようになっている。

ところでこのように並列抵抗で分圧しても、その抵抗値をあまり低くすると消費エネルギーが大きくなって避雷器としての製作限界をこえる。また電圧がさらに大きくなるとガイ管の製作限界から、何段かにわけてこれを積み重ね使用することになり、さらにコロナの発生による電圧分布の乱れも避けられなくなってくる。

いま 2 段積みの避雷器を考えてみると、図 2.2 のようにガイ管表面の汚損度に相違があるとその値によって電圧分圧が決まり、どちらか一方に過大の電圧がかかり、そのユニットの内部ギャ

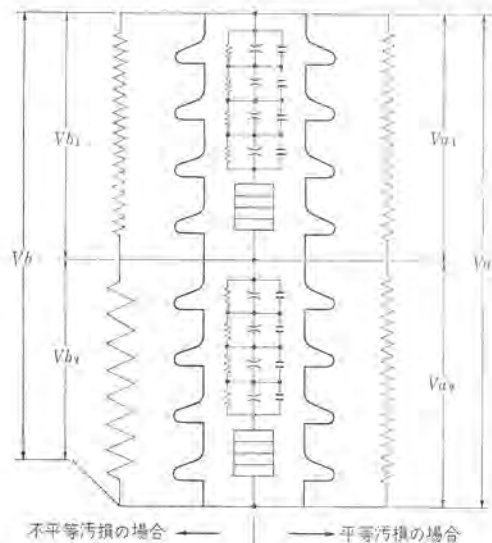


図 2.2 2 段積避雷器の汚損による電圧分圧
Fig. 2.2 Voltage distributions of two units arresters in contaminated conditions.

つが放電することにより、全体が将棋倒し式に放電ないしはセリ絡することになる。2段の場合は常規対地電圧程度ならば、一つのユニットに全電圧がかかってもなんとかもちこたえうるが、さらに多段積みになると不平等汚損による影響が著しくなる。このため、できるだけ1本ガイ管が望ましいが、高圧のものになると非常に高価となる。また内部でコロナが発生すると、電極部分が等価的に大きくなったこととなり、浮遊容量が大きくなって外部汚損の影響を受けやすくなり、放電々々低下の原因となる。これを防ぐ方法として内部要素とガイ管内壁との距離をできるだけあけたり、コロナが出ない構造、ないしはコロナが出ないよう内部にSF₆ガスを封入するというような方法が講じられているものもある⁽³⁾。このような外部気象条件による放電特性の変化は定性的には上記のように説明されるが、定量的な値となると各種の実験にまつほかなく、以下に今まで得られたデータをかかげてご参考に供したい。

2.2 等価霧中特性

工場試験により汚損特性を検討する場合、汚損状況の再現方法として各種の方法が考えられるが、わが国では等価霧中法が広く実施されている。避雷器規格 JEC-156 においても参考試験として、等価霧中法による汚損試験方法を一例として記載している。主要部分を抜粋すれば、「試験方法：毎回 ガイ 管表面を清浄にしたのち、各種濃度の塩水に トロコ を 40g/l の割合で混合した汚損液を、ほぼ全面にゆきわたるまで吹きつける。メガによる抵抗測定などによりだいたいゆきわたったことを察知したならば、以後 2~5 分経てから電圧上昇法により放電開始電圧を求める。なお電力系統の過電圧は短時間に出現することが多いので、電圧印加法としていわゆる突印法を採用することもよいであろう。汚損条件：等価表面塩分付着量が 0.05 mg/cm^2 となるまでの 2~3 点について試験する。 0.05 mg/cm^2 は ガイ 塩 ジン 害対策専門委員会（電気協同研究会）の報告などを参照し、一般地域の塩分付着量として想定したものである。なお塩分付着量と汚損液の濃度との関係も求めることが必要である。」⁽⁴⁾となる。

これは 2.1 節で記載したように、避雷器のガイ管表面が汚損湿潤状態になった際、商用周波放電特性、統流シャ断特性などが低下することがあるため、等価露中法により汚損状態を再現し、商用周波放電開始電圧特性の測定により汚損特性を検証して、統

流シテ断性能をも推定しようとするものである。この試験方法では、吹きつけた汚損液の自然乾燥状況が試験結果に影響をおよぼすので、吹きつけた後、電圧印加測定までの間放置しても気象状況により汚損状況があまり変化しないことが望ましい。汚損液を避雷器ガイ管にスプレーした場合の状況を、ガイ管表面の濡れ抵抗として表わし、上下端子間で測定した一例が図 2.3 である。汚損液スプレーが汚損度飽和まで行なわれ、次に汚損スプレー停止後の回復状況が示されている。さらに、自然乾燥時間を長くとした場

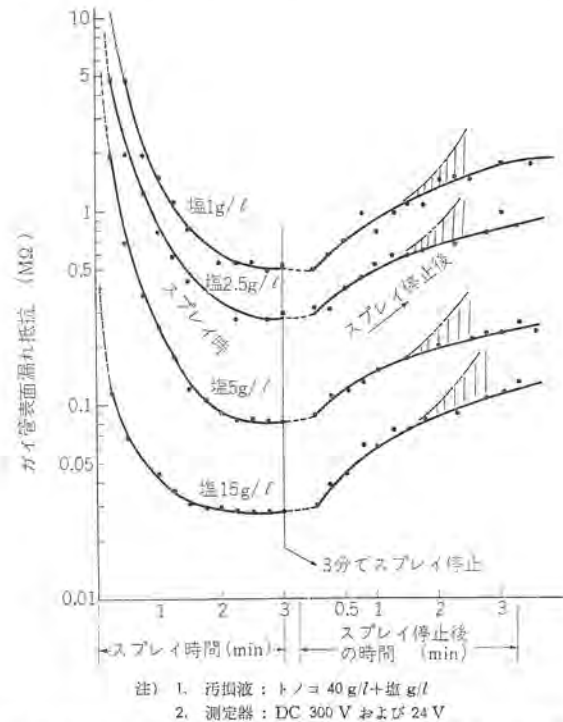


図 2.3 汚損液スライ時間および停止後時間とガイ管表面漏れ抵抗変化曲線 (試料 SSV 形避雷器)

Fig. 2.3 Leakage resistance-time characteristics of SSV arrester.

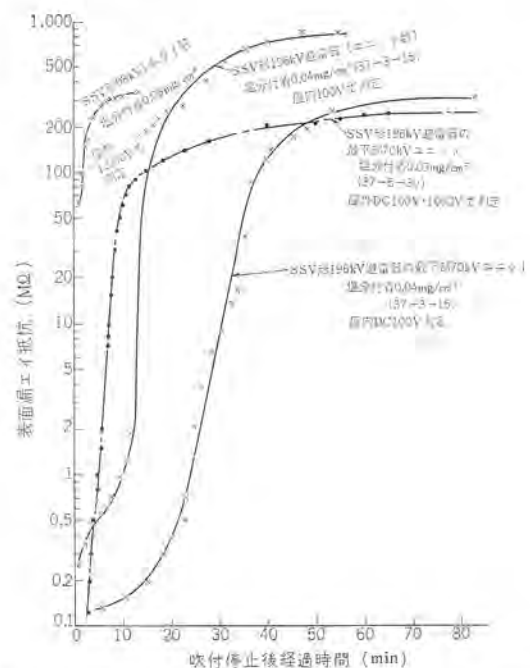


図 2.4 汚損液吹きつけ停止後のガスパ管表面漏れ抵抗時間特性
Fig. 2.4 Leakage resistance-time characteristics of SSV arrester.

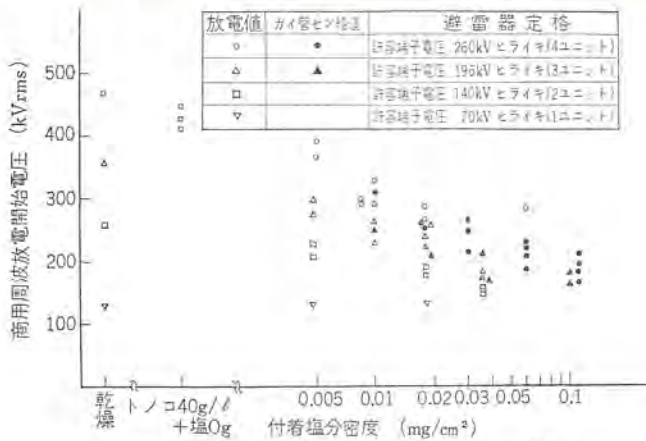


図 2.5 SSV 形避雷器の汚損湿潤状態における商用周波放電開始電圧
Fig. 2.5 Pollution tests of SSV arrester.

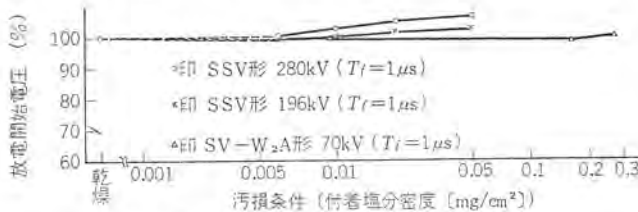


図 2.6 汚損状態における衝撃放電開始電圧
Fig. 2.6 Pollution tests of arresters.

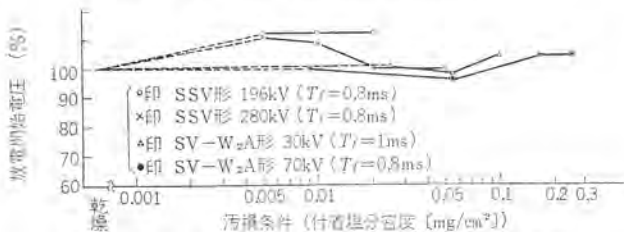


図 2.7 汚損状態における緩波頭衝撃放電開始電圧
Fig. 2.7 Pollution tests of arresters.

合の例を図 2.4⁽⁵⁾ に示す。

当社では従来、スプレー停止後 20 秒ないし 1 分 30 秒、長くとも 3 分以内で電圧を印加し、電圧上昇法により 30 秒以内に放電開始電圧を測定している。このように、スプレー停止後可能な限り早い時間で電圧を印加するため、きわめて過酷側の状態で試験していると考えられる。電圧上昇法により測定した、各汚損度に対する商用周波放電開始特性を図 2.5 に示す。衝撃放電開始電圧、緩波頭衝撃放電開始電圧は汚損の影響を一般にうけにくいと考えられ、一例を図 2.6、2.7 に示すように、実質的に乾燥時と同一の特性を有している。

図 2.5 の商用周波放電開始電圧特性にも示されるように、同一汚損度の試験に対して、放電開始電圧にかなりのバラツキがみられる。これは、汚損液スプレー停止後の試料乾燥状況が気象条件(温度、湿度など)、電圧上昇速度などの要因の微妙な差によって、異なった汚損状態を呈し、放電開始電圧をバラつかせているものと考えられる。汚損液スプレー停止後の電圧印加までの時間差がおよぼす影響の実例を図 2.8 に示す。

スプレー停止後、1 分と 3 分経過でもこの程度の差があるため、等価露中法による避雷器試験結果の評価は諸要因を十分考慮して行なうべきことがわかる。避雷器の汚損試験は、ガイ管の表面センサまで至らない汚損領域では、ガイ管表面汚損による内部の直列ギャップの電位分布の変動を検証することを意味するため、単に

避雷器と汚損問題・岡田・永井・萩野

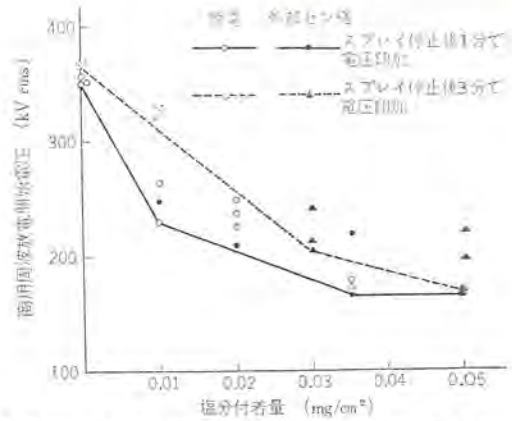


図 2.8 スプレー停止後電圧印加までの時間差による商用周波放電開始電圧の変化 (SSV 形定格 196kV 避雷器)
Fig. 2.8 Pollution tests of SSV arrester.

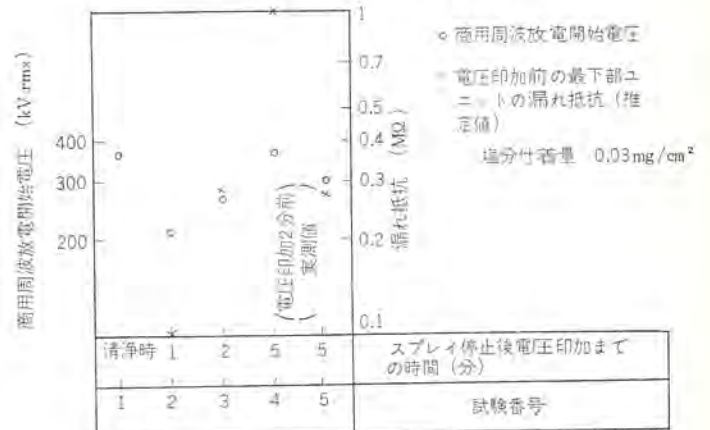


図 2.9 SSV 形 196kV 避雷器の汚損試験結果
Fig. 2.9 Pollution tests of SSV 196kV arrester.

全体の漏れ抵抗に限らず、ガイ管表面での漏れ抵抗分布も試験結果への影響因子と考えられ、きわめて複雑な機構を呈することになる。汚損試験結果の比較評価は、これらの要因を十分考慮して行なう必要がある。

2.3 屋内汚損

海岸に近い火力発電所などでは、最近汚損を考慮し建物内に機器を収納する場合が多いが、完全密封ではないため塩分を含んだ風やほこりの侵入は避けられない。しかし汚損程度、湿潤状態は大幅に改善されるので、相当効果があると考えられる。これらの影響を見るため、汚損停止後電圧印加までの時間変化による避雷器の商用周波放電開始電圧を、放電開始がほぼ 100% 回復するまで測定した一例を図 2.9⁽⁶⁾ に示す。スプレー停止後 5 分経過時でも、漏れ抵抗が最下段ユニットで 1 MΩ 程度まで上昇していれば清浄時とほぼ同一放電特性となることがわかる。この近辺の時間帯は、先に図 2.4 に示しているように、漏れ抵抗の変化が著しく不安定なため、試験番号 5 のように同一時間で電圧を印加しても汚損状況によりバラツキがでてくる。

実際にこの避雷器を室内に長期間設置した場合、高湿度時を考えても漏れ抵抗は 1 MΩ 以上であると推定され、室内汚損に対してはあまり心配する必要はないと思われる。実系統の避雷器で系統電圧が印加されていれば、表面漏れ電流がガイ管の乾燥を促すと考えられ、汚損による影響はさらに軽減すると推定される。

2.4 活線洗浄試験

台風や季節風などで急速に汚損度が増加し、停電によるガイ管洗浄が困難な場合には、必要な時点でいつでも清掃できる活線洗

浄方式は、たいへん便利な汚損対策法と考えられ、このため最近この方式を採用する発電所も多くなっている。

しかし、ガイシ絶縁だけを所定値以上に保持すれば、よい支持ガイシ類とは異なり、ガイ管内部に放電キックをもつ避雷器にとって、活線洗浄方式はかなり危険を伴う汚損対策法と考えられている。その理由は、洗浄注水によって必ずしも潤滑状態になるから、少なくとも注水直後には避雷器の特性が、等価霧中放電特性程度までは低下すると考えられることと、さらに注水方法、注水量、注水固有抵抗などが避雷器放電特性を低下させる要因となりうる

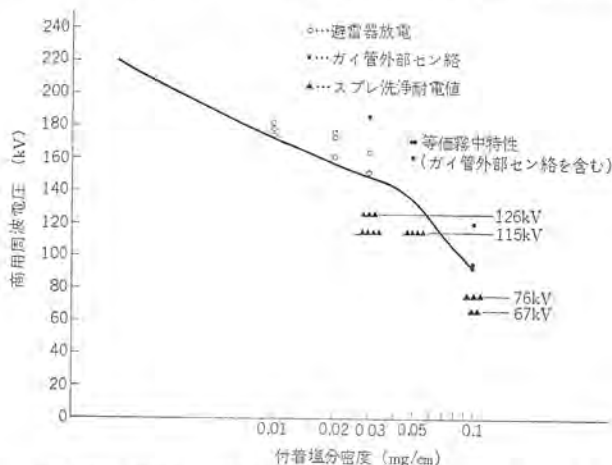


図 2.10 SSV 形 140 kV 避雷器のスプレー洗浄耐電圧特性 (1本ガイ管下ヒダ付)

Fig. 2.10 Withstanding voltage characteristics for spray washing on type SSV 140 kV arrester.

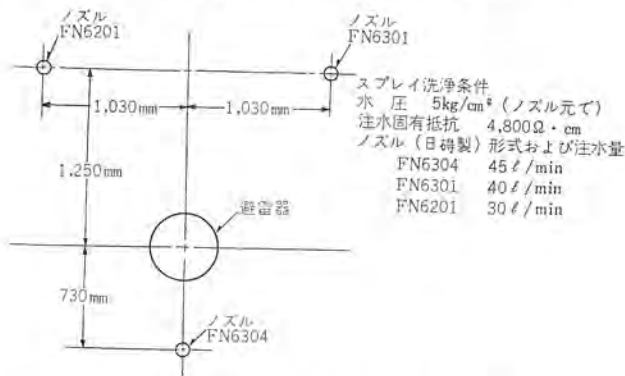


図 2.11 スプレー洗浄ノズル配置

Fig. 2.11 Relative position of spray washing nozzle.



図 2.12 SSV 形 140 kV 避雷器のスプレー洗浄試験状況
Fig. 2.12 Spray washing test on type SSV 140 kV arrester.

からで、とくに多段積のものではその影響が大きいので、理想的な洗浄注水によっても等価霧中特性程度の特性しか確保できないと考えられるからである。

活線洗浄方法には大別して、スプレー方式とジェット方式とがありいずれも一長一短があるが、とくにジェット注水の場合はその水が多段積避雷器の中間フランジに当たれば、そこからノズルへの漏れ電流によっても電圧分圧が悪化し、多量の水によって一部が短絡に近い状態となり、特定ユニットに高い電圧がかかるから、さしあたっては異常がなくても、何回も行なっている間に劣化をまねくこともあり非常に危険である。やむを得ず避雷器を活線洗浄する場合は、できるだけ細い粒々の水滴で平等に洗うべきで、この点でスプレー方式のほうが好ましい結果を与えるようである。当社で実施した活線洗浄耐電圧試験結果を図 2.10~2.15 に示すが、図 2.10 は等価霧中状態にある SSV 形 140 kV 避雷器 (1本ガイ管、下ヒダ付) をスプレー洗浄した結果で、ノズルは 1 段 3 個用いた。図 2.11 はノズル配置、図 2.12 はこのときの状況を示す写真で、付着塩分量 0.03 mg/cm^2 で 126 kV、 0.05 mg/cm^2 で 115 kV に耐えている。また図 2.13 は SSV 形 196 kV 避雷器 (標準 3 段積)

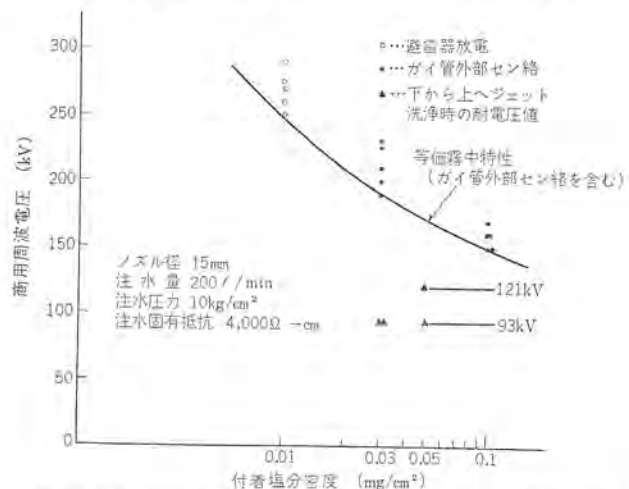


図 2.13 SSV 形 196 kV 避雷器のジェット洗浄耐電圧特性 (標準、3 段積避雷器)

Fig. 2.13 Withstanding voltage characteristics for jet-nozzle washing on type SSV 196 kV arrester.

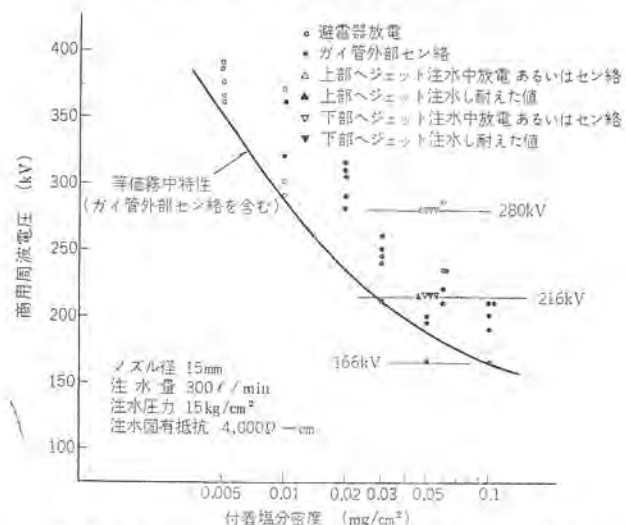


図 2.14 SSV 形 226 kV 避雷器の不完全ジェット洗浄耐電圧特性 (標準、4 段積避雷器)

Fig. 2.14 Withstanding voltage characteristics partially washed by jet-nozzle of type SSV 266 kV arrester.



図 2.15 SSV 形 226 kV 避雷器のジェット洗浄試験状況
(下部みの不平等洗浄)

Fig. 2.15 Jet-nozzle washing test on SSV 196 kV arrester.

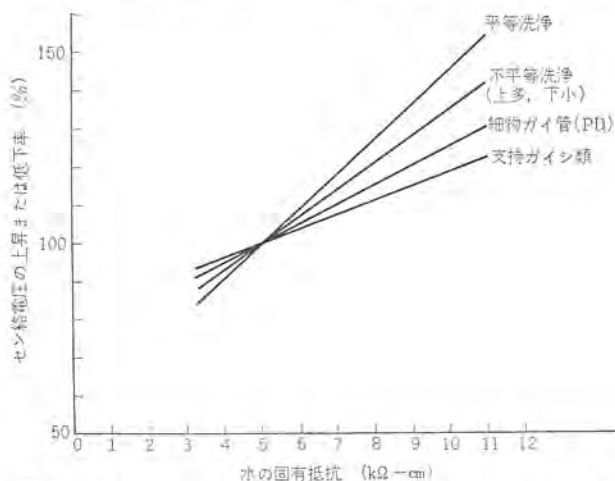
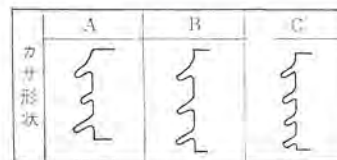


図 2.16 スプレイ洗浄時のセン絡電圧と洗浄水固有抵抗との関係、固有抵抗 5 kΩ-cm を標準とする (清浄洗浄)

Fig. 2.16 Relation between the flashover voltage under washing and the specific resistance of the washing water.

を 7 m 離れた位置からジェット洗浄したときの結果を、図 2.14 は SSV 形 266 kV 避雷器 (標準 4 段積) をどのように、上部あるいは下部のみを洗浄するいわゆる不平等洗浄したときの結果で、図 2.15 は SSV 形 266 kV 避雷器の下部のみの洗浄状況を示す写真で、一線接地対象電圧 216 kV では放電している場合もあるが、常規対地電圧には耐える結果が得られている。

これらの試験結果から、避雷器活線洗浄特性は等価霧中特性と大差ないと思われ、等価霧中状態に耐えれば洗浄にも耐えると考えられるが、注水の不平等や注水量が避雷器の洗浄特性をさらに低下させ特定ユニットに過大な電圧分圧を負わせ劣化を招くことも考えられるので、とくに多段積避雷器を不平等活線洗浄するようなことは避けるべきである。洗浄特性に影響をおよぼす要素には種々あるが、スプレイ洗浄における注水固有抵抗との関係を、ブッシングについて試験したデータが報告⁽⁷⁾されているので図 2.16 に示した。これから、注水固有抵抗が低いほど洗浄耐電圧は低下することがわかる。またガイ管表面の落下水量が多くなるほどセン絡電圧は低下する傾向にある。汚損対策方法として、活線洗浄方式を採用する場合は、許容汚損度をこえない汚損度でのすみやかな洗浄が必要となる。台風通過後などに活線洗浄中の事故がかなり多いことから汚損度管理の重要性がうかがえる。



A, B カサピッチ同一
C カサピッチが小さい
A は大小交互ヒダ形状

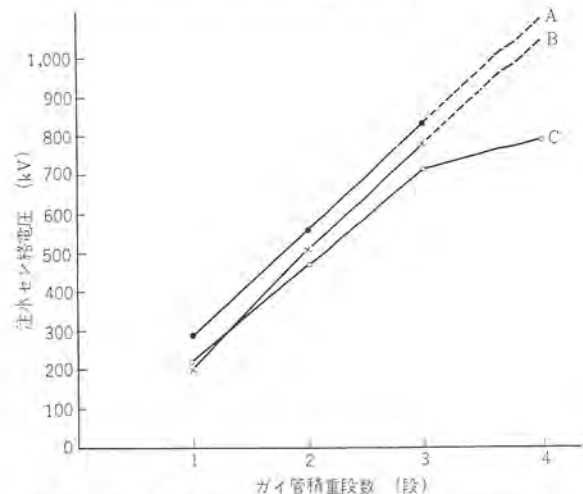


図 2.17 ガイ管カサ形状と注水セン絡電圧の関係 (水の固有抵抗 10,000 Ω-cm)

Fig. 2.17 Relation between shed shape of porcelain and its wet flashover voltage.

2.5 注水試験

ガイ管のセン絡電圧は、多量注水あるいは固有抵抗の低い水を注水することによって低下することはすでに述べたが、このことは避雷器の特性についてもどうようである。汚損特性を向上させるために、カサの数をふやして漏れ距離を増大させることがしばしば行なわれるが、カサの間隔をつめて単に漏れ距離を増大させた場合には、多量注水ではもちろん一般の降雨状態に相当する程度の注水においても、セン絡電圧、避雷器特性の低下をきたすことがあるので注意を要する。したがって、とくに避雷器ガイ管形状はこれら種々の特性を総合的に判定し、決定する必要がある。

図 2.17 は乾燥セン絡距離の等しい 3 種類の カサ 形状のガイ管について、ガイ管を積み重ねたときの注水量、垂直成分 3 mm/分におけるセン絡電圧との関係を示すが、明らかに差のあることがわかる。これら A, B, C ガイ管の漏れ距離は $A < B < C$ の順で、漏れ距離の大きいものほどセン絡電圧が低い傾向にあり、このため適当なカサ形状を選定する必要がある。これらガイ管を使用した避雷器についてもどのような結果を示し、C, B, A の順で、注水時の AC 放電開始電圧の低下割合は大きい。カサピッチをつめると注水セン絡電圧が低下するのは、落下水滴がカサ間を橋絡するものと考えられ、このため A のように大小交互のヒダをもつガイ管はとくにすぐれた注水特性を示す。当社ではこれらの結果をもとにし、注水による放電特性低下が少なく、かつ汚損特性のすぐれたガイ管形状を採用しており、SSV 形避雷器のガイ管カサ形状は A である。

2.6 霧中試験

当社では、昭和 25 年末にすでに霧中試験を行ない、汚損試験の研究に着手した⁽⁸⁾。当時は、直列チャッパが並列抵抗で分圧されていない旧形避雷器 (SV-A 形) を製作使用しており、汚損に対する思想もはっきりせず、汚損特性はまったく未知の分野であったが、霧を模擬して避雷器ガイ管にスチームを吹きつけることにより、電圧の高い避雷器では表 2.1⁽⁹⁾ のように乾燥時の約 60% ま

表 2.1 旧形 (SV-A 形) 避雷器の商用周波放電開始電圧

試験条件	66 kV 系 避雷器		154 kV 系 避雷器	
	商用周波放電開始電圧 (kV)	低下率 (%)	商用周波放電開始電圧 (kV)	低下率 (%)
乾燥状態	161.8	100	380	100
注水状態	157	97	383	101
消浄+蒸気	159	98.5	365	96
汚損+蒸気	108	67	266	70

注) 汚損とは、関東地方変電所内のジニアおよび変電所付近の土砂をガイ管表面に散布付着させた状態で外部から蒸気を吹付け著しい表面汚損湿潤状態とした。

で商用周波放電開始電圧が低下することがわかるとともに、ギャップ、ガイ管にパラフィンやシリコンオイルのようなハツ水性物質を塗布すれば、これを防ぎうる事が明らかにされた。当社では、さっそくシリコンオイル焼付を実施することとしたが、その後避雷器の構造が改良され、直列ギャップに抵抗分圧⁽¹⁰⁾が採用されるにいたり、単に霧や露程度では特性に変化のないものが製作されるようになる。同時に、シリコン化合物が開発され、これを塗布することにより避雷器の汚損問題をいちおう解決できるようになった。汚損試験方法も、汚損湿潤状態を模擬する等価霧中法が考案され、現在では通常この方法が採用されており、すでに概要を 2.2 節で記載したとおりである。

2.7 雪の影響

積雪状態、とくに均圧環に冠雪した状態での避雷器の放電特性を確認するため、当社では、昭和 31 年 2 月⁽⁹⁾にトラックで山陰地方の湿雪を約 10 時間運搬して工場試験を行なった (図 2.18)。運搬時によれたため雪の比抵抗 $0.16 \sim 0.35 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ 、比重 0.45 という状態で、さらにこれをある程度固めて避雷器に付着させたので、実際にふんわりと積った雪⁽¹¹⁾の状態より過酷であったと考えられるが、直列ギャップに並列抵抗を有しない旧形の 98 kV 避雷器 (SA-A₃ 形) について商用周波放電開始電圧を測定した結果、低下割合は乾燥時の 75~80% 程度であった。

昭和 32 年 1 月~3 月には東北電力長岡変電所において、避雷器の放電特性に対する冠雪の影響が調査された⁽¹²⁾。この試験で、当社の定格 84 kV 避雷器は自然冠雪時に商用周波放電開始電圧が旧形 (直列ギャップに並列抵抗のないもの) では乾燥時の 70~80% に低下したのに対し、新形 (直列ギャップに並列を付したもの)



図 2.18 避雷器の人工冠雪試験
Fig. 2.18 Tests on arresters covered with artificial snow.

では実質的に乾燥時と変化を生じないことが確められた。衝撃放電開始電圧 (波頭 $10 \mu\text{s}$) と緩波頭衝撃放電開始電圧 (波頭 $100 \mu\text{s}$) は、旧形、新形避雷器とも自然冠雪時は乾燥時と変化なく、人工冠雪時で 10~20% 程度の低下が認められる場合があるが、保護特性上からはこの程度の変化は支障ないものと判断される。以上の試験結果から、旧形避雷器の中にはシールドリングの構造によって、冠雪時に商用周波放電開始電圧が乾燥時の 70% 程度まで低下するものがあり、積雪地帯では雪の影響を考慮しておく必要がある。また並列抵抗を直列ギャップに付した構造の最新形避雷器では、冠雪による特性変化は無視できると考えられ、汚損避雷器の冠雪時の特性も、2.2 節に記載の等価霧中特性を検討しておけばそれ以上に低下することはないとえられる。

2.8 汚損氷結時の影響

寒冷地にある避雷器が汚損状態のまま氷結した場合の影響を調べるため、SSV 形 14 kV および 28 kV (14 kV 2 段階) 避雷器の汚損氷結時放電特性試験を実施した。図 2.19 は 28 kV 避雷器の汚損度 0.06 mg/cm^2 における汚損氷結時商用周波放電特性を示す写真で、図 2.20 は 28 kV 避雷器の汚損氷結時商用周波放電特性を示すが、14 kV および 28 kV 避雷器とも汚損度 0.06 mg/cm^2 では、低抵抗のツラが試料と並列にはいり外部に絡るので、このときはツラを削りとして試験を実施した。14 kV 避雷器は汚損度 0.06 mg/cm^2 まで商用周波放電特性に変化なく、これから、汚損氷結してもその特性は等価霧中放電特性と大差ないとえられる。



図 2.19 汚損氷結時の SSV 形 28 kV 避雷器
Fig. 2.19 Tests on contaminated and frozen arrester.

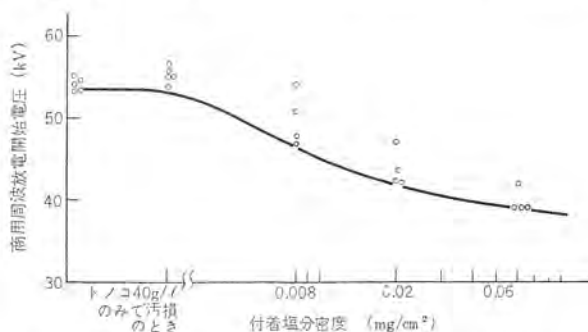


図 2.20 SSV 形 28 kV 避雷器の汚損氷結時商用周波放電特性 (2 段階)
Fig. 2.20 AC sparkover voltage characteristics of type SSV 28 kV arrester frozen under contaminated conditions.

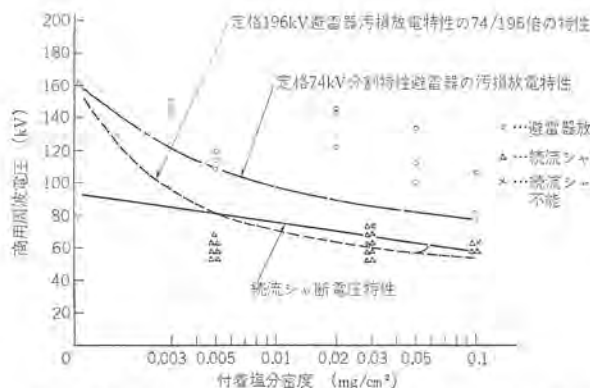


図 2.22 SSV 形 196 kV 避雷器に対応する 74 kV 分割特性避雷器の汚損時続流シャ断特性

Fig. 2.22 Power follow current interrupting characteristics of 74 kV rated 3 units arrester to estimate those of type SSV 196 kV arrester on contaminated conditions.

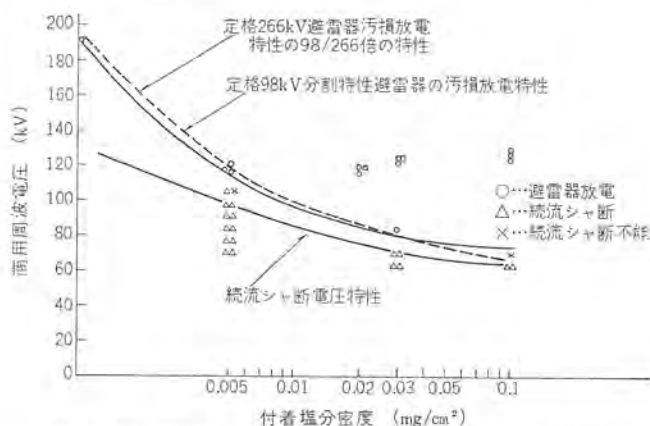


図 2.23 SSV 形 266 kV 避雷器に対応する 98 kV 分割特性避雷器の汚損時続流シャ断特性

Fig. 2.23 Power follow current interrupting characteristics of 98 kV rated 4 units arrester estimate those of type SSV 266 V arrester on contaminated conditions.

流シャ断電圧は、汚損度の増加とともに放電特性が低下すればこれに伴って低下するが、その低下割合は放電特性の低下に正比例するのではなく、放電特性の低下割合が大きくなるほどシャ断比（続流シャ断電圧と放電電圧との比）は漸増する傾向にあることがわかる。

2.10 シリコンコンパウンドなどハツ(潑)水性物質の効果

シリコンコンパウンドなどハツ水性の物質をガイ管表面に塗布してその耐圧を向上させる方法は、アモバ作用といわれるジヤイをコンパウンド内部に包含する効果を利用したもので、コンパウンドがハツ水性を失わないかぎり有効である。

避雷器の場合、直列ギャップの放電特性低下という単にガイ管の漏れ距離を長くしただけでは補償しきれない要素があるため、シリコンコンパウンド塗布はガイ管表面の漏れ電流を抑制して、きわめて顕著な特性向上を行なわしめる。シリコンコンパウンド塗布による特性向上の一例を図 2.24⁽¹³⁾に示すように、直列ギャップに並列抵抗をもたない旧形避雷器でも汚損による特性低下が実質的になくなるという特効薬的な効果を発揮している。シリコンコンパウンドを塗布したことにより、海岸地区に設置された 180 kV 避雷器が台風時に耐えたという報告⁽¹⁴⁾をはじめとして、現地での耐汚損効果が広く認められている。汚損条件(5)はいわゆるアモバ作用が起る前の状態を想定したもので、シリコンコンパウンドの上にトコをまぶしてただちに塩分量 80 g/l、トコ 40 g/l 液をスプレーした。(5)

はさらにスプレーしてトコを散らしたもので、これらは実際の使用状態ではまず起こりえない程度の過酷な汚損状態を実験したものである。(6)はコンパウンドが汚損物をくろみこんだ場合を想定したもので、シリコンコンパウンド 400 g、トコ 300 g、塩 30 g を練り合わせ塗布したうえで汚損液をスプレーした場合、(6')は不平等汚損の場合で、いずれも低下は認められない。

シリコンコンパウンドの効果は、ジヤイはもちろん羽虫を付着させても表面にハツ水性が認められるかぎりには有効で、避雷器は重汚損地区においても清浄乾燥時と実質的に同一特性を有すると考えてよい。1回の塗布厚は 0.1~1 mm の範囲で通常行なわれており、6箇月ないし 12 箇月有効である。当社で行なった軽汚損地区での暴露では、0.1~0.5 mm 厚塗布で 2 年以上経過しても避雷器特性が低下しないという好結果が得られている。この暴露試験の経

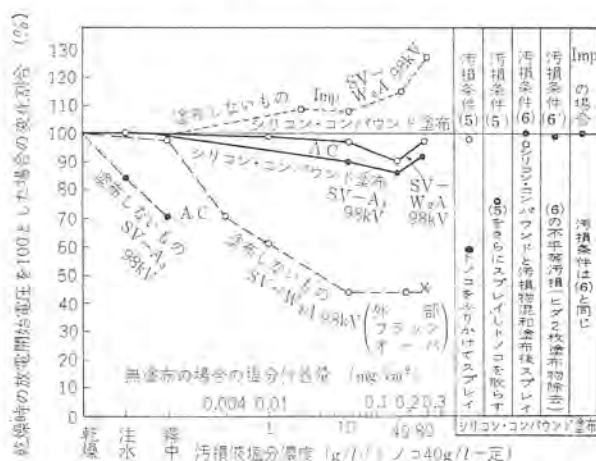


図 2.24 避雷器の汚損特性とシリコンコンパウンドの効果
Fig. 2.24 Effect of silicone-grease painting.

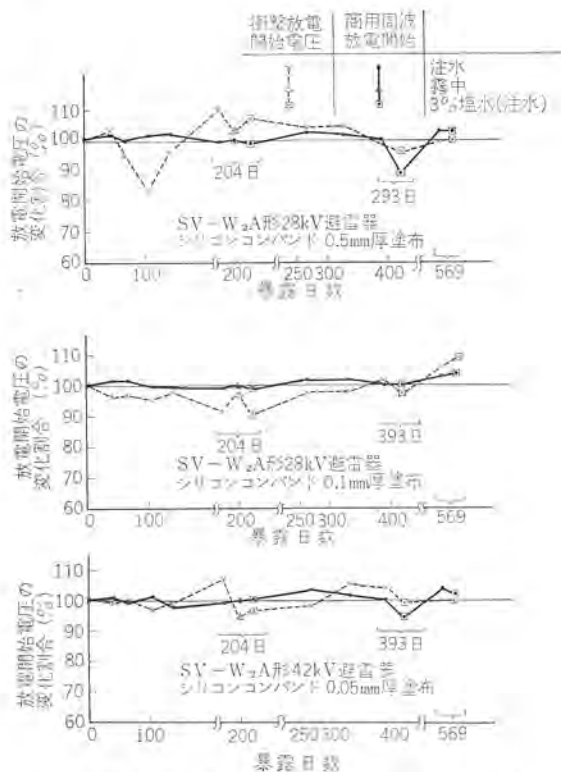


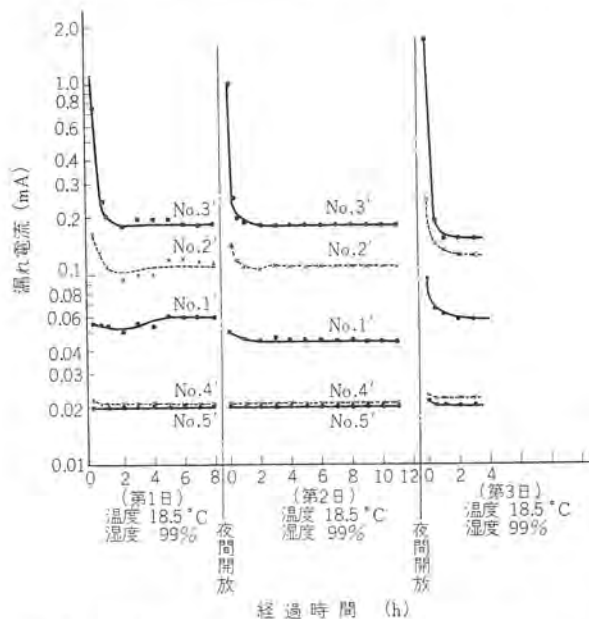
図 2.25 シリコンコンパウンド塗布避雷器の展外暴露による放電特性変化状況

Fig. 2.25 Life test of silicone-grease painted on arrester unit.



図 2.26 シリコンコンパウンド塗布6箇月後の注水試験状況 (SV-W9A 形 28 kV 避雷器に 0.5 mm 厚塗布して暴露したもの)

Fig. 2.26 Wet tests of arrester unit with silicone grease painted.



試料 No. 1' 塩 1 g/l トノコ 40 g/l にて汚損 (付着塩分密度 0.016 mg/cm²)
2' 塩 3 g/l トノコ 40 g/l にて汚損 (付着塩分密度 0.025 mg/cm²)
3' 塩 10 g/l トノコ 40 g/l にて汚損 (付着塩分密度 0.045 mg/cm²)
4' 暴露試験試料 (約 1 箇月屋外自然汚損)
5' 洗浄完成製品

図 2.27 LV-GL 形 8.4 kV 汚損避雷器の電圧連続印加による漏れ電流変化状況 (6 kV rms 印加)

Fig. 2.27 Leakage current characteristics of distribution type LV-GL arrester.

過を図 2.25 に、また、状況を図 2.26 に示す。

塗布換えの際は、通常前回の塗布物をぬぐいってから行なうが、重ねて塗布する場合は前回の半分程度寿命が延長できるといわれている⁽¹⁴⁾。シリコンコンパウンドの市販品としては、たとえば信越化学の KS-63 がある。寿命に対する考え方、塗布、除去方法などについては、文献⁽¹⁵⁾に適用指針が記載されている。

2.11 漏れ電流

避雷器 ガイ管表面の漏れ電流が汚損により、どの程度になるかをみるため配電用避雷器について測定した。各種汚損度の ガイ管を 100% 湿度内においた場合の変化状況を図 2.27 に示す。電圧印加と同時にジュール熱による乾燥効果のため、漏れ電流は順次減少し、やがて一定値におちついている。

避雷器と汚損問題・岡田・永井・荻野

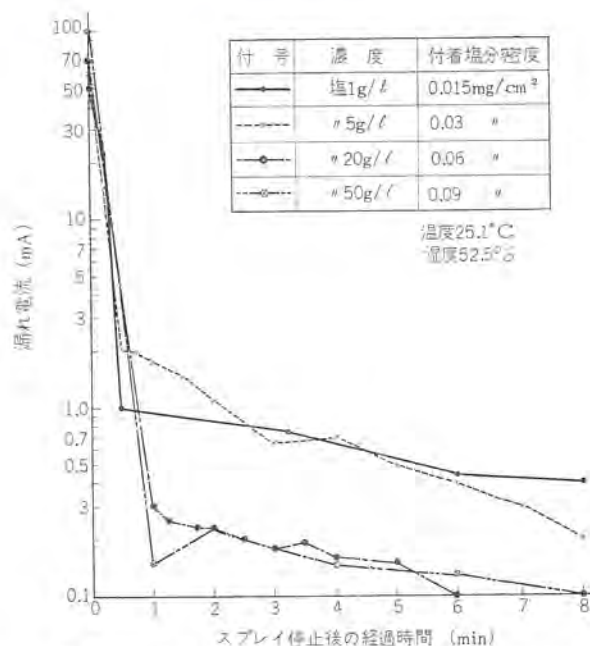


図 2.28 LV-GA 形 8.4 kV 汚損避雷器の電圧連続印加による漏れ電流変化状況 (4 kV rms 印加)

Fig. 2.28 Leakage current characteristics of distribution type LV-GA arrester.

等価霧中法で汚損液吹きつけ停止と同時に電圧を印加した場合の、過渡状態での漏れ電流変化状況を示したのが図 2.28 である。電圧は常規対地電圧にほぼ等しい 4 kV を印加しているが、急激な乾燥効果が認められる。最も湿潤な状態である汚損液の連続スプレー中の漏れ電流は、0.015~0.1 mg/cm² の汚損度の範囲で 50~200 mA 程度と推定される。実系統では汚損液の連続スプレーということではなく、避雷器 ガイ管表面は電圧印加によるジュール熱で乾燥するか、または雨天時であれば水洗効果が期待できる。重汚損した避雷器が霧中に放置された場合過酷になるが、汚損液連続スプレー時の漏れ電流よりはかなり少ないと推定され、汚損特性としては当社で行なっている汚損液吹きつけ停止後、電圧印加までの時間を短くした等価霧中試験法で検証しておけば、十分過酷側で検討したことになる。

3. 汚損に対する避雷器ガイ管絶縁強度に対する考え方

3.1 汚損に対する避雷器特性の総合的見方

普通のガイシやガイ管の汚損に対する設計方法は許容汚損度における kV 当りの所要漏れ距離と対象電圧 (一線接地時の電圧あるいは常規対地電圧) の積から全体の漏れ距離を求めて行なうが、避雷器の場合は内部のギャップの放電開始電圧が外部の汚損の影響を受けて変動し、とくに高圧多段積のものになると低下割合が大きく、さらに動作後の続流遮断の問題がからんでくるので対汚損用としてガイ管の漏れ距離をふやすだけでは意味がなく、総合的に検討する必要がある。いままでの試験結果から避雷器の諸特性の汚損による変化状況をまとめて見ると表 3.1 のようになる。

現在のところ、汚損に対する特性改善の方法としては

- (1) シリコンコンパウンドなどのハッ水性物質の塗布
- (2) 洗浄による汚損度の管理
- (3) 屋内設置による湿度の軽減
- (4) 1 本 ガイ管の採用
- (5) ギャップ構造、配置、ガイ管形状などの改善

などが考えられ、とくに(1)を採用すればなによりも良好な結果

表 3.1 避雷器諸特性の汚損による変化状況

特 性	汚 損 に よ る 変 化 状 況
(1) 衝撃放電開始電圧	余り変わらない
(2) 緩波頭衝撃放電開始電圧	余り変わらない
(3) 商用周波放電開始電圧	汚損度とともに低下し高電圧ほど著しい
(4) 衝撃絶縁耐力	余り変わらない
(5) 商用周波絶縁耐力	汚損度とともに低下する
(6) 制限電圧	変らない
(7) 放電耐量	変らない
(8) 動作責務特性	汚損度とともに低下するが、(3)の低下部分よりはいくぶん少ない。(なぜならば①制限電圧が同じであるから電流が少なくなりシャ断しやすい、②ギャップ枚数は変らず絶縁にかり電圧分布が均等化される。)

が得られるが、ここでは一応等価霧中試験法による特性をもとにして、避雷器ガイ管の絶縁強度はいかにあるべきか、また適用上汚損問題をいかに考えるべきかを検討する。等価霧中試験法による特性とことわったのは、等価塩分付着量が多くと、乾燥状態あるいは湿潤程度の少ない状態では汚損による特性低下は2.3節で述べたごとくそれほど心配する必要はないからである。

表 3.1 から (3)、(5)、(8) の関係が主として問題となるが横軸に汚損度、縦軸に商用周波放電開始電圧をとると、図 3.1、図 3.2 のごとくなる。

図 3.1 は2段以上のユニットから構成された避雷器および1本ガイ管でもとくに高圧あるいは細くて内部ギャップと外部汚損との容量結合が大きい場合の特性で、V曲線およびP曲線がF曲線とまじわる汚損度以上の領域は実際上測定することはできないが外部でセン絡をおこさないと想像したときの特性と考えておく。

普通、汚損を考える場合、清浄時と同じ耐圧を要求するのは無理であるが常規対地電圧 V_n には少なくとも耐える必要があり、さらに一線接地時の電圧上昇としては、過渡的成分は高いが時間的に短かく緩波頭衝撃電圧の領域に属するからこれで放電する電圧はそれほど下らないと考えられるので、持続分を考えればよく、系統構成によっても異なるがまず非有効接地系統で、最高許容運転電圧まで (1.15E)、有効接地系統で最高回路電圧の $1.3/\sqrt{3}$ 倍 (超高压系統で $287.5 \times 1.3/\sqrt{3} = 216 \text{ kV}$) を考えれば十分であろう。値はともかくとして、汚損問題を考えるには、まずこの種対象電圧 V_a を決める必要がある。 V_a はその系統でかなりのヒン度で発生する事故時の異常電圧限度であり、これ以上の持続性異常電圧が出たときはやむを得ないと割りきるための設計基準であ

る。

ところで避雷器が持続性異常電圧で自己放電を起した場合は、当然続流シャ断不能となり内部要素が破壊され、防爆装置が動作すれば問題ないが、これがなければ爆発する可能性があり、あってもシャ断器が早くトリップすれば外見上不良がわからない状態が残ることになり好ましくない。外部セン絡の場合はすぐわかるし、軽度の場合は再使用可能である。したがって避雷器としては対象電圧 V_a では必ず外部セン絡を生じ内部放電しないことが望ましい。このためには V_1 曲線と F_2 曲線が V_a なる電圧で交るのがよい。外部セン絡電圧には当然バラツキがあり下限 F_1 をとればこれが V_a と交る汚損度は C_4 となり、これが対象電圧で避雷器が一次的事故原因とならないための許容汚損度ということになる。

ここで汚損試験との関係を述べれば

(1) C_3 以下の汚損ではギャップが放電する。しかし多段積みの場合是一部ユニットで外部セン絡がおこることもあり得る。(これは不平等に汚損された場合、あるユニットの漏れ抵抗が低く大部分の電圧が他ユニットにかかり、これが内部放電を生ずると短絡されることになって全電圧が抵抗の低いユニットにかかることになり、外部セン絡をおこす可能性がある。このことから全段が外部セン絡をおこさなかった場合は、内部放電が最初におこったものと考えられるからである)

(2) C_3 以上の汚損度では必ず外部セン絡がおこる。

(3) $C_3 \sim C_4$ の汚損度ではギャップ放電とセン絡が混在するが、多段積みの場合、一部ユニットだけのセン絡が多いと思われる。

次に汚損試験結果の判定方法を述べれば

(1) V_a で内部放電 (一部ユニットだけのセン絡を含む) がおこっているとすれば、ガイ管の絶縁強度が内部放電電圧の低下割合に比し強すぎることになる。いいかえれば、実系統で一線接地があったときは避雷器内部が破壊するおそれがある。少なくとも外部絶縁が弱すぎることではない。

(2) V_a で全段セン絡をおこしはじめる汚損度においてギャップ放電、あるいは一部ユニットだけのセン絡の点が全然ない場合はガイ管絶縁をもう少し強化する必要がある。

(3) V_a より少し高い電圧では一部ユニットだけのセン絡を生ずる点があるのがよい。

(4) 汚損動作責務試験結果から続流シャ断限度曲線Pを描けば、許容端子電圧 V_p を保証するための許容汚損度 C_1 、 V_a で責務を果せるための許容汚損度 C_2 などを求めることができる。しかし、汚損と一線接地と雷サージの侵入の三つが重なる機会を無

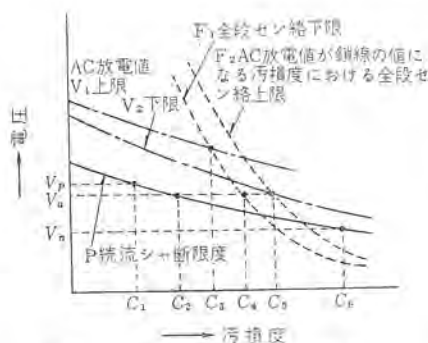


図 3.1 多段積高圧避雷器の場合
Fig. 3.1 Multi-unit higher-voltage rating arrester.

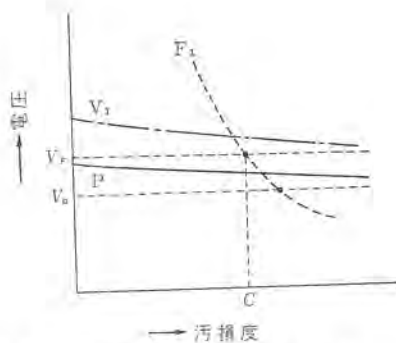


図 3.2 1本ガイ管低圧避雷器の場合
Fig. 3.2 Single-unit lower-voltage rating arrester.

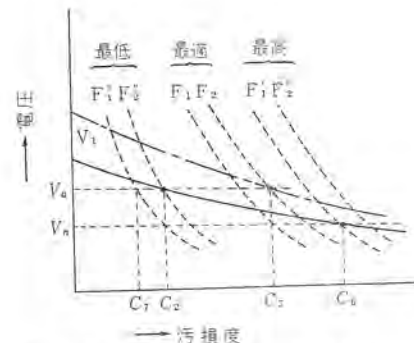


図 3.3 耐汚損避雷器ガイ管の絶縁強度
Fig. 3.3 Selection of insulation strength of porcelain housing.

表 3.2 代表的避雷器ガイ管の絶縁強度

避雷器形名		SV-G, SV-GA		SV-W ₂ , SV-W ₂ A						SSV					
定格電圧 (kV)		4.2	8.4	14	28	42	84	98	70	84	98	140	196	266	
積重ね段数 (段)		1	1	1	1	1	2	3	1	¹ (下ヒダ付)	¹ (下ヒダ付)	2	3	4	
表面濡れ距離 (mm)		210	275	800	1,370	1,950	3,900	4,690	1,680	3,500	2,530	3,500	3,360	5,040	6,720
平均直径 (mm)		143	143	242	242	242	242	242	410	435	410	435	410	410	410
表面積 (cm ²)		930	1,230	6,000	10,400	14,900	29,800	35,700	21,400	48,200	32,600	48,200	42,800	64,200	85,600
乾燥セン絡距離 (mm)		120	180	430	730	1,030	2,060	2,490	862	1,332	1,322	1,322	1,724	2,580	3,450
注水セン絡距離 (mm)		55	55	320	560	800	1,600	1,920	560	840	840	840	1,120	1,680	2,230
50% 衝撃セン絡電圧 (乾燥、正波) (kV)		84	115	271	425	640	1,150	1,350	540	750	790	750	1,125	1,625	2,080
商用周波セン絡電圧 (乾燥、正波) (kV)		57	70	165	300	385	650	850	320	422	495	422	600	880	1,000
	注水 ρ=10 kΩ·cm	31	40	132	215	305	500	650	290	380	450	380	565	835	900

視すれば、常規対地電圧 V_n で判定すればよく、この場合はガイ管強度が大なら C_0 まで、それだけでなく C_4 以上の汚損度まで許容できる。実際問題としてガイ管のセン絡電圧のバラツキが大きく、 C_4 が C_3 の左側にくるような場合は許容汚損度を上げる意味から、 F_3 と V_1 の交点が V_n 以下になるようにするのもやむを得ないと考えられる。

3.2 ガイ管絶縁強度の最高限度

図 3.1 のような特性を有する避雷器のガイ管絶縁は、図 3.1 の F_1F_3 内にはいるようなセン絡特性をもっていることが望ましいことを述べたが、これ以上に絶縁を強化して行なった場合の限界を考えて見る。この場合、一線接地があれば避雷器が内部放電をおこして破壊する可能性があるが、一線接地がなく常規対地電圧がかかっているだけならそれだけ許容汚損度がふえることになる。しかし、避雷器である以上少なくとも常規対地電圧 V_n では動作責務を果たさなければならず、これができないくらいなら外部セン絡を生じて警告を発したほうがよいと考え、図 3.3 の F_1F_3' の特性以上に絶縁を強化することは無意味である。すなわち避雷器として用をなさない汚損域まで耐えるような強いガイ管ということになる。

なお図 3.2 のように放電値があまり下らない場合は、外部絶縁が強いほど許容汚損度を大きくとることができるが、強化の程度にも限度があり経済性を考慮して決定する必要がある。たとえば、汚損度 C で V_n での統流シャ断を行なうには、外部セン絡下限 F_1 が汚損度 C で V_n での統流シャ断を保証できる V_F なる値をもつようなガイ管を用いればよく、それ以上は不必要である。一本ガイ管の場合は活線洗浄を行なうことができるから C の値としては、 0.03 mg/cm^2 を考えれば十分であろう。

3.3 ガイ管絶縁強度の最低限度

逆にガイ管の絶縁を弱くして図 3.3 の $F_1'F_3'$ で示された特性のものを用いたとすれば、 V_n で統流シャ断できなくなれば必ず外部セン絡をおこすことになり避雷器としては最も安全であるが、これ以上弱くすると内部特性としては統流シャ断能力があるのに、一線接地があれば必ず外部セン絡する汚損域があり弱すぎることになる。 $F_1'F_3'$ と F_1F_3 との間にガイ管特性があり、汚損度が C_0 以上なら一線接地時に雷サージがきて避雷器が動作すればシャ断不能となることがあるが、雷サージの侵入さえなければ内部放電をおこして破壊することはない、外部セン絡だけを警戒すればよいことになる。

3.4 三菱避雷器のガイ管諸元

三菱避雷器においては前述の諸条件を勘案し最適ガイ管を選定しているが、今まで述べてきたように避雷器の場合は、内部放電

特性との関連において判断すべきものであって単にガイ管の諸元だけ比較しても意味は少ないが、最近ガイ管諸元を提出するよう要求される場合が多いので、ご参考までに当社の代表的機種値を表 3.2 に示す。

汚損を考えた場合の避雷器ガイ管の絶縁強度は、内部放電電圧の低下と関連して決める必要があり、一般には一線接地時の持続性異常電圧 V_a で放電する程度まで下がるような汚損度においては、外部セン絡がおこるようにしておくのがよい。また V_a で統流シャ断ができるような汚損度で常に外部セン絡がおこるとすれば、避雷器の性能を十分生かしきっていないことになり、明らかに弱すぎるといえるし、常規対地電圧で統流シャ断ができにくい汚損度になってもまだ外部セン絡をおこさないとすれば不必要に強すぎるといえることができる。

当社 SSV 形避雷器についていえば、二段積み以上のものでは対象電圧として定格電圧の 85% をとれば、標準ガイ管を用いたものでは汚損が進むにつれて一部ユニットだけのセン絡を生じており、最適条件に比べ強すぎても弱すぎることではない。また 1 本ガイ管の場合は、許容汚損度と経済性を考慮して標準を使うか、強化したものをつかうか決めればよい。

4. 汚損塩害地区への避雷器の適用

避雷器を汚損塩害地区にある発電所に設置する場合には、その汚損塩害程度をまずつかんどうえて適切な避雷器の選定、汚損対策面での運用をはかる必要がある。そこで避雷器の汚損塩害地区への適用指針をのべるまえに、汚損塩害程度の一般的傾向と当社の代表的避雷器の汚損特性について述べておきたい。

4.1 発電所の汚損塩害状況

わが国は四面海にかこまれた細長い島国で、しかも台風や強い季節風の多い特殊な地理的、気象条件にあるためきびしい汚損条件下にあるといえる。汚損塩害源としては(1)台風、(2)季節風、(3)常時汚損、(4)工場煙じんなどがあり、いずれの場合もその地理的条件により汚損塩害程度も異なってくる。

したがって、ここでは台風、季節風、常時汚損塩害について付着塩分量と海岸からの距離の一般関係にとり、個々の発電所における汚損塩害程度については、以下にのべる一般的傾向を参考に実測データなどをつきあわせ選定されるのがよい。

4.1.1 台風による汚損塩害

台風による汚損塩害は台風の規模、状況、通過位置、地形などにより異なってくる。過去の台風塩害に際して、その一般的傾向をつかむのに十分なだけの記録が得られているとはいえないが、全国的にこれまでにない被害をもたらした昭和 36 年 9 月の第二

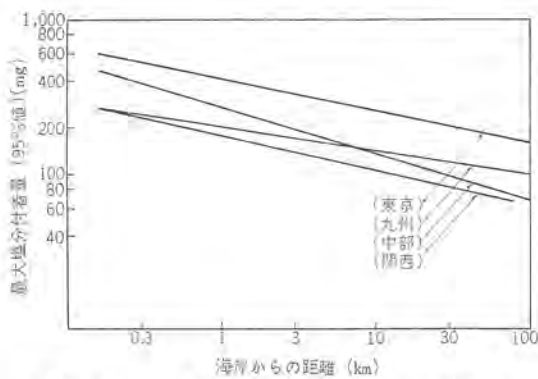


図 4.1 標準懸垂ガイシ下面の最大塩分付着量と海岸からの距離との関係 (第2室戸台風)

Fig. 4.1 Relation between max. salt adhesion quantity on suspension insulators and distance from seaside (NO. 2 MUROTO typhoon).

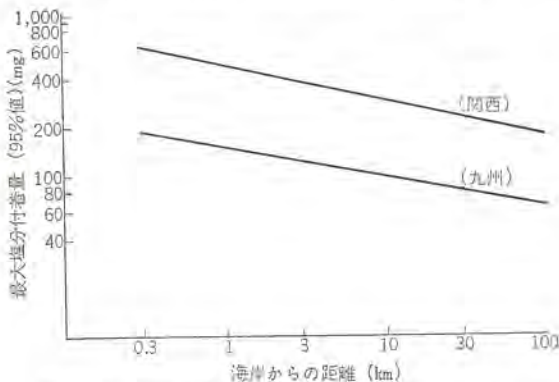


図 4.2 標準懸垂ガイシ下面外の最大塩分付着量と海岸からの距離との関係 (季節風塩害による事故ガイシ、撤去ガイシについて)

Fig. 4.2 Relation between max. salt adhesion quantity on suspension insulators and distance from seaside (seasonal wind).

室戸台風の際に、送電線懸垂ガイシについて比較的多くのデータが得られているので、これをもとにし海岸からの距離 x と最大塩分付着量 (95% 値) y との関係 $y = Ax^{-n}$ (n は減衰係数) として表わされる⁽¹⁵⁾とすると図 4.1 のようになる。この図から明らかに電力会社によって塩分付着量が相当異なるのは当然であるが、減衰特性についても若干差があり汚損塩害に対し、台風通過位置に対する地理的、地形的条件が作用していると考えられる。

4.1.2 季節風による汚損塩害

季節風塩害も地理的条件によって相当な差があり、とくに北西季節風に面する九州西北部から山陰地方と新潟県から山形県の沿岸地域および南からの季節風の吹く大阪湾から紀伊水道、伊勢湾沿岸に多いようであり、一般に海からの季節風が強くしかも相当長時間吹き続いた場合は多量に塩分が付着する。関西電力、九州電力で季節風送電線塩害事故の際の事故ガイシ、撤去ガイシなどによりその当時の塩分付着量の記録がとられているので、この記録を台風塩害のときと同様に、 $y = Ax^{-n}$ で表わした⁽¹⁵⁾ものを図 4.2 に示している。これら両地区の減衰率 n は台風時のそれと非常によく似ており、このことから減衰率 n は気象上の要因よりもむしろ地形的要因に大きく左右されると思われる。

4.1.3 常時汚損塩害⁽¹⁵⁾

各電力会社における長期暴露試験から得られた標準懸垂ガイシ下面外の 1 箇月付着量を同様に $y = Ax^{-n}$ として表わしたものを

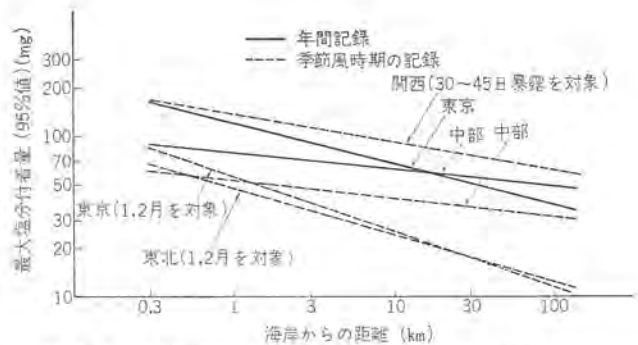


図 4.3 常時汚損時の最大塩分付着量 (懸垂ガイシ下面外) の海岸からの距離特性 (1 箇月付着量を対象)

Fig. 4.3 Relation between max. salt adhesion quantity on suspension insulators and distance from seaside (all season per one month).

表 4.1 発電電の汚損区分のめやす

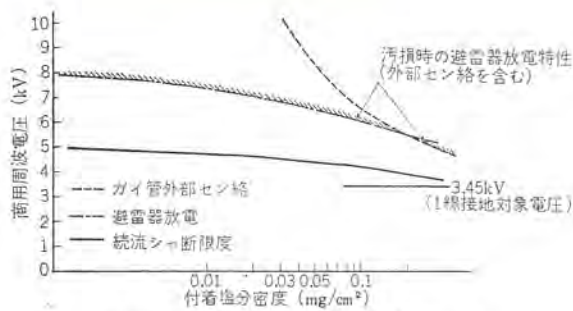
汚 損 区 分	A 地域	B 地域	C 地域	D 地域
想定最大塩分付着密度 (mg/cm²)				
懸垂ガイシ (下面外)	0.063	0.125	0.25	個々に検討して他の対策と比較する。
JIS 形長幹ガイシ	0.03	0.06	0.12	
海岸からの概略距離 (kW)				
台風に対し	20 以上	10~20	3~10	0~3
季節風に対し	一般地域	3~10	1~3	0~1

図 4.3 に示す。

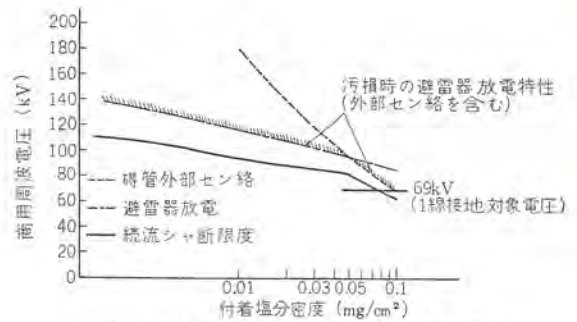
図 4.1~4.3 はいずれも送電線懸垂ガイシについてのデータをもとにしたものであり、発電電所機器ガイ管ではこれより相当少ないようであるが⁽¹⁶⁾、距離による減衰傾向は大体これと一致するものと考えられる。このように汚損塩害は海岸からの距離の増大とともに減ずるので、発電電所の海岸からの距離、すなわちその汚損塩害程度に応じて適切な汚損対策を講ずるのが得策であり表 4.1 は塩害対策専門委員会によって推奨された基準⁽¹³⁾で、想定される汚損量による海岸からの距離区分が示されている。なお、本表の適用にあたって注意すべきことは、海岸からの距離区分が一般的な目安として示されていることで、前述のように塩分付着量が地域あるいは地形によって非常に変わるので、この値は個々の発電電所における塩分付着量の実態により修正して適用することが合理的である。とくに、工場煙じん害のある地区では塩分の付着が促進されるので注意が必要である。

4.2 代表的避雷器の汚損特性

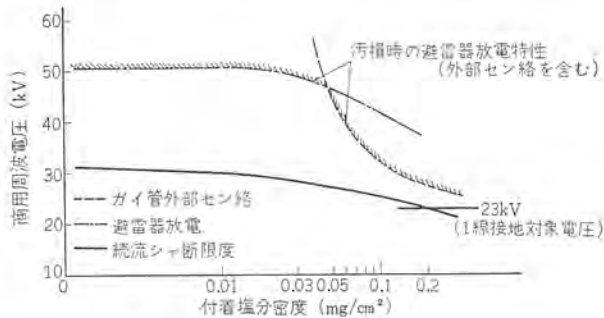
避雷器の汚損放電特性はたんにガイ管付着塩分量のみでは決まらずその湿潤程度によって大きく変化することはすでに述べた。したがって、汚損特性を求める場合はなるべくその湿潤度が一定となるようにしないとバラツキを大きくする。汚損特性を求める方法には種々あるが、当社ではわが国で最も一般化している等価霧中試験法により、湿潤度をできるだけ一定とするために汚損完了後 30~60 秒後に電圧を印加する方法でその特性を求めている。このように汚損完了後 30~60 秒後ではまだしずくがさがっている状態で、最も過酷な条件下で汚損試験を実施することになり、この方法で求めた代表的避雷器の汚損特性を図 4.4 に示している。図 4.4 は、たんに汚損時の放電特性のみを図示するだけでなくガイ管の外部セッ絡電圧特性との関係、続流シャ断特性 (推定値) も併記し、これらの相互関係を理解しやすいようにした。また図中での一線接地時の対象電圧としては、一般に採用されている、非有効接地系では最高回路電圧 (1.15 E)、有効接地系では最高回路電圧に対する対地電圧の 1.3 倍 (1.15 E/√3 × 1.3) を



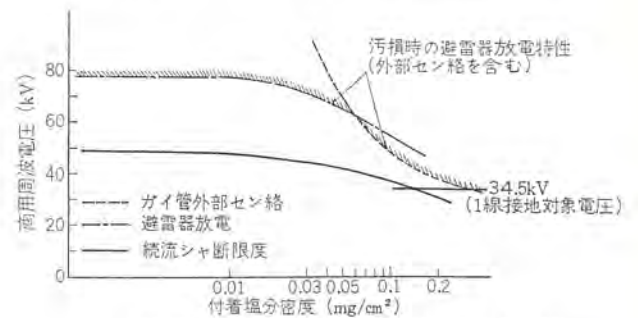
(a) SV-G, SV-GA 形 4.2 kV 避雷器



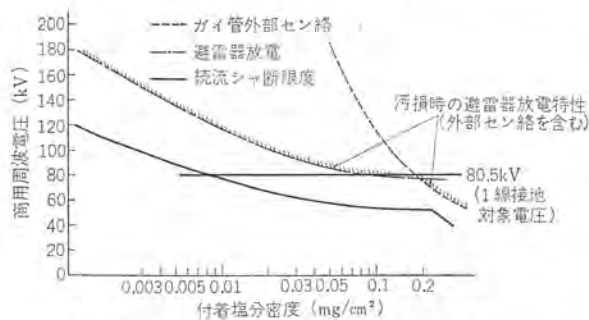
(b) SV-G, SV-GA 形 8.4 kV 避雷器



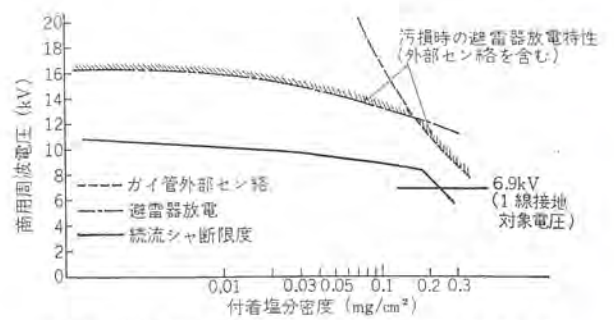
(c) SV-W₃, SV-W₂A 形 28 kV 避雷器 (1 段階)



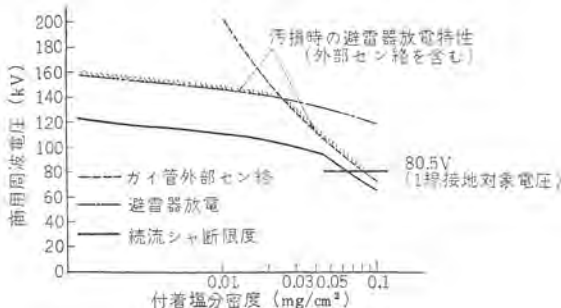
(d) SV-W₃, SV-W₂A 形 42 kV 避雷器 (1 段階)



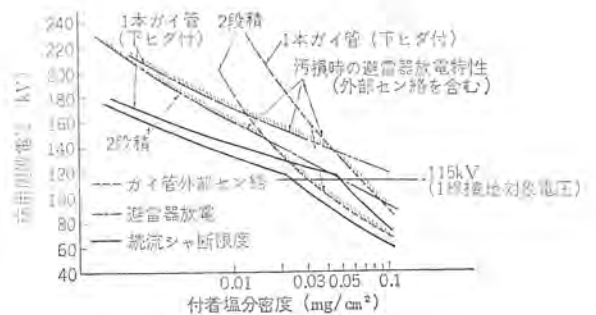
(e) SV-W₃, SV-W₂A 形 98 kV 避雷器 (3 段階)



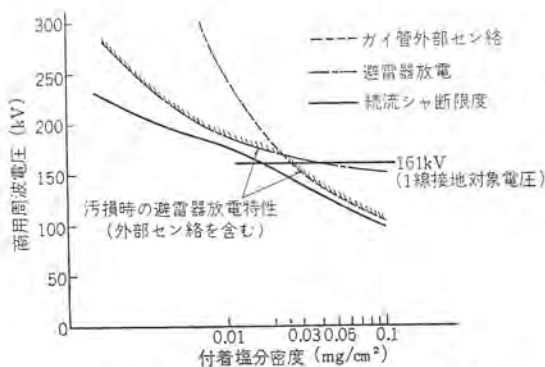
(f) SSV 形 84 kV 避雷器 (1 本ガイ管, 下ヒダ付)



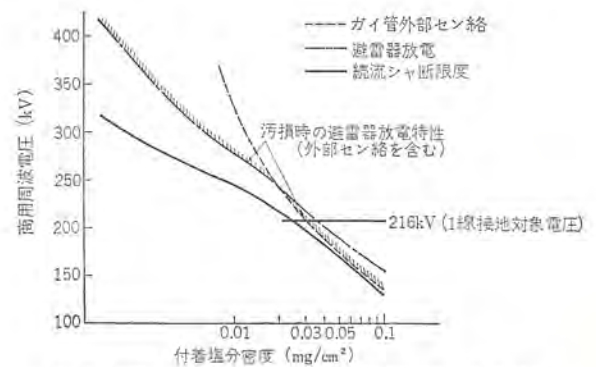
(g) SSV 形 98 kV 避雷器 (1 本ガイ管, 下ヒダ付)



(h) SSV 形 140 kV 避雷器 (2 段階標準形状および 1 本ガイ管下ヒダ付)



(i) SSV 形 196 kV 避雷器 (標準形状, 3 段階)



(j) SSV 形 266 kV 避雷器 (標準形状, 4 段階)

図 4.4 代表的避雷器の等価霧中汚損特性 (a)~(j)

Fig. 4.4 Typical characteristics of contaminated arresters.

用いた。図 4. 4 から、避雷器構造のちがいにによるが、高定格電圧、多段階み避雷器ほど汚損による特性低下割合の大きいことがわかり、このため現状では高定格電圧避雷器ほど慎重な適用、汚損対策の必要性がうかがえる。

4. 3 汚損地区への避雷器適用指針

避雷器を汚損地区にある実系統に適用する場合は、汚損塩害の程度と避雷器の汚損特性を検討することからはじまるが、前述のように汚損塩害程度の正確な値はあくとも予知はかなりのむづかしさがあるし、避雷器の汚損特性についても実系統汚損での汚損特性と汚損試験特性とを正確に対応させることも容易ではない。したがって避雷器の汚損地区への適用区分を指示するのは、個々に検討を要するが、本来それほど正確なことを期待できるものではないので、第一次段階として割切のめやすを与えるために、表 4. 2 に当社の代表的避雷器についての適用指針を示した。これで問題がある場合は別途御照会いただきたい。

表 4. 1 の汚損区分表での等価塩分付着量による区分は、懸垂ガイシおよび長幹ガイシの付着量によっているが、ガイ管類の塩分付着密度は一般に太胴のものほど低減する。したがって避雷器のように一般に長幹ガイシより太胴ガイ管を使用する機器では、塩分付着量細胴ガイシにくらべて少ないことを考慮するのが妥当であり、懸垂ガイシあるいは長幹ガイシで汚損管理を行なう場合は、表 4. 2 を安全側裕度として見るかあるいは拡大して適用することも可能である。図 4. 5⁽¹⁷⁾は胴径による塩分付着量の差についての各種データを示すが、笠ピッチに対し笠 1 枚当たりの漏れ距離の大きなものほど塩分付着量は増大する傾向にあるので、これを考えると胴径の相違が塩分付着密度におよぼす影響は見かけより小さくなるものとみられる。このため図 4. 5 をそのまま適用するのは若干問題があるとしても、胴径による塩分付着量減の

効果のある程度見込むほうが合理的であろう。

汚損塩害地区へ適用される電力機器は、その機器特性を保持するためになんらかの汚損対策処置をとられるのが通例であるが、避雷器は他機器に比べて、その機能上特殊な汚損特性を有するので、一般機器の汚損対策とは別個に、避雷器独自の汚損対策を検討しておくのが望ましい。

第二室戸台風のような全国的に汚損塩害事故を発生させたような場合でも、海岸より 20 km 以上離れた位置にある発電所、機器にはほとんど事故発生がないので、これら地域の発電所では

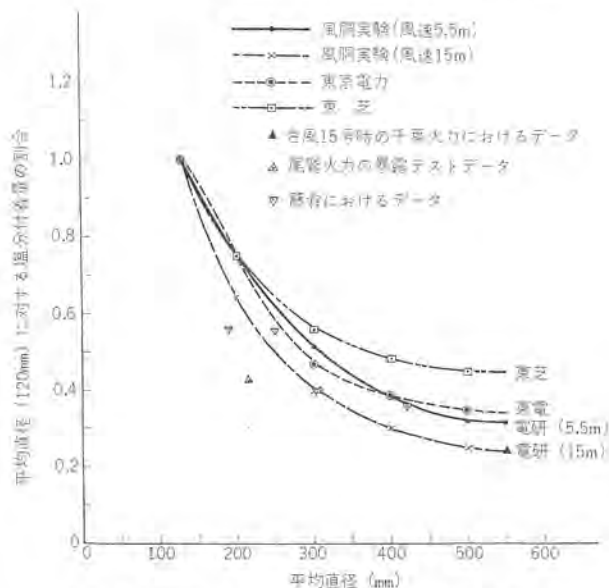


図 4. 5 胴径による塩分付着量についての各種データ
Fig. 4.5 Difference of salt adhesion quantity on insulators having different mean diameters.

表 4. 2 汚損塩害地区への避雷器適用指針

この表は従来の試験結果から推定した一応のめやすを示すものである。

避雷器形名			SV-G		SV-W _z SV-W _{zA}				S S V									
回路電圧 (kV)	3.3	6.6	22	33	66	77	110	154	187	220	275							
一線接地対象電圧 (kV)	3.45	6.9	23	34.5	69	80.5	115	161	147	173	216							
常規対地電圧 (kV)	1.91	3.82	12.7	19.1	38.2	44.5	63.6	89	108	127	159							
避雷器定格電圧 (kV)	4.2	8.4	28	42	84	98	140	196	182	224	266							
積重ね段数 (段)	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2	3	4	2	4			
ガイ管特記事項							下ヒダ付		下ヒダ付		下ヒダ付				下ヒダ付			
汚損時試験電圧 P (kV) および AC放電電圧 (含外セン) V (kV)	屋外	0.02(mg/cm ²)	P	4.2	8.4	28	42	84	98	98	110	130	154	166	140	173	190	216
			V	7	15.5	50	75	110	120	140	130	150	170	190	155	210	225	240
		0.03(mg/cm ²)	P	4.2	8.4	28	42	84	84	98	100	120	130	161	120	150	185	190
			V	6.8	15	48	70	100	100	130	110	140	150	180	140	175	215	215
		0.05(mg/cm ²)	P	4.2	8.4	28	42	80	65	85	80	110	115	154	110	135	180	166
			V	6.2	14	43	65	95	75	100	90	120	125	160	120	145	200	175
		0.1(mg/cm ²)	P	4.2	8.4	25	36	60	45	60	65	75	95	130	90	110	140	130
			V	6	13	32	48	70	55	70	70	90	105	140	100	115	160	135
	屋内汚損	0.03(mg/cm ²)	P	4.2	8.4	28	42	84	98	98	140	140	196	196	182	224	224	266
			V										280					
	0.05(mg/cm ²)	P	4.2	8.4	28	42	84	98	98	140	140	190	196	182	210	224	252	
		V										270						

従来より行なわれている定期的な清掃などの保守法で、汚損塩害事故発生を防止できると思われる。したがって一般的には綿密な汚損対策処置を講ずる必要のあるのは、大体海岸より 20 km 以内にある発電所と考えて差しつかえないであろう。

避雷器の汚損対策法として特に有効なのは、シリコンコンパウンドなどのハツ水性物質の塗布と、屋内設置による汚損度、湿潤度の軽減である。

シリコンコンパウンド塗布の効果については 2.10 節で述べたようにすぐれたものがあり、とくに塩水注水のような悪条件でも特性は余り低下しない。このため現状では、避雷器の汚損対策法のなかでも最もすぐれた方法といえ、次のような場合に適用すれば最も効果的といえよう。なお、シリコンコンパウンドなどのハツ水性物質は約 1 年程度ごとに塗布しなおす必要がある。

(1) 台風塩害で直接海水のしぶきがかかるような場合

(2) 汚損塩害をうける個所で汚損を考慮せずに製作された旧形避雷器を使用している場合

(3) 急激汚損に対し他の対策が経済的に行えない場合

(4) 高い信頼度を必要とする系統に使用する場合

また屋内設置による方法については、その効果を定量的に示すデータは余り発表されていないが、海岸に近い関西電力姫路第一発電所および大阪発電所屋内開閉所内で、昭和 36 年から 37 年にわたって実測された塩分付着量は、年間で約 $0.03 \sim 0.05 \text{ mg/cm}^2$ 程度であり、屋外汚損に比べ汚損度の軽減効果は相当なものがある。さらに湿潤度の軽減も可能であるから、屋内設置法は、定期的な清掃などの一般的保守によってほとんど完全に近い耐汚損対策を施したことになるといえよう。したがって、今後の海岸近くの高電圧大容量発電所は屋内開閉所方式が増加するものと思われる。

ほかに活線洗浄方式も最近かなり採用されているが、比較的電圧階級の低い避雷器についても個々にその安全性、経済性などを検討後に実施する必要がある、特に高電圧多段積み避雷器については、現状ではこの方式を一般的に推奨することはできない。

5. む す び

十数年来三菱電機で実施してきた汚損に関連する避雷器の諸特性をもとに、汚損に対する避雷器の考え方および三菱避雷器の適

用指針を示したが、自然現象を相手とする汚損問題もしだいに解明され、避雷器技術の進歩とあいまって、実用上満足すべき製品も作られてきたが、なお複雑な問題を含んでおりさらに今後いっそうの研究を必要とする。近時各方面の努力で実用に供しうる資料が集積され、とくにラッシング、支持ガイシ類については耐汚損設計法を一応確立する段階にまでいたっているが、支持ガイシ類とはその性格を異にする避雷器については、十分認識されていない感があるので、この文が避雷器の汚損を考慮した適用上の一助ともなれば幸である。

終わりに、汚損に関連した種々の試験実施に際し、熱心にご指導いただいた各電力会社関係各位ならびにスプレイ洗浄設備についてご協力いただいた日本碍子関係各位に謝意を表する次第である。

(昭 41-5-2 受付)

参 考 文 献

- (1) 大木、佐藤：電気三学会東京支部連大、427 (昭 27)
- (2) 大木、堀、岩崎、佐藤：電学誌 73, 384 (昭 28)
- (3) R. W. Flugum, P. W. Bognér : W. H. Egr, 22, 87 (1965)
- (4) JEC-156, 20 (1963)
- (5) 大木：電気学会関西支部大、7-4 (昭 37)
- (6) 大木、ほか：電気学会関西支部大、9-4 (昭 37)
- (7) 阿部、山本、宮本：東芝レビュー、14, 1262 (昭 34)
- (8) 大木、ほか：電気学会東京支部大、4, 27 (昭 27)
- (9) 大木：オーム、71 (昭 28 年 7 月)
- (10) 新井、大木、森：電気三学会連大、310 (昭 29)
- (11) 高田、大河内：電気三学会連大、1, 46 (昭 26 年 5 月)
- (12) 東北電力：耐雪設計調査報告書、(昭 36 年 2 月)
- (13) 大木、ほか：電気学会関西支部大、126 (昭 34)
- (14) 塩じん害防止 シリコン 塗布に関する懇談会、第 8 回議事録
- (15) 塩害対策専門委員会送変電分科会：電気協同研究、20, No. 2 (昭 39 年 4 月)
- (16) 柴田、小林：電気四学会連大、789 (昭 41 年 4 月)
- (17) 福西：電力、48, 7, 8 (昭 39 年 6 月)

電鉄変電所用レクチフォーマ

小林 凱*・石井 昭二*・久岡 俊之*・冬 広 力*・白石 光*

Rectifiers for Railway Substations

Itami Works Gai KOBAYASHI・Syōji ISHII・Toshiyuki HISAOKA
Tutomu FUYUHIRO・Hikaru SHIRAISHI

Rectifiers are power convertors in which silicon rectifiers and transformers are engineered into a integral system. Recently the units for use in railway substations have been, for the first-time, developed and brought to completion, the event being unprecedented in the world. They can be shipped assembled completely. They permit outdoor installation, the fact of which, together with the feature of delivery with all accessories mounted into a complete unit to the site, makes a great contribution to the most effective planning of the substations. It has been made known that their unique construction facilitates the maintenance, and the common oil cooling system taken up with the sets offers the most appropriate characteristics for the railway load.

1. ま え が き

レクチフォーマはまず電解用を中心として昭和38年以来急速に発展し、最もすぐれた一体構造整流装置としての評価を得ている。この開発過程ですでに表明されているように、レクチフォーマは電解用に限定されず電鉄も含めた広い適用範囲を有すべきとの方針が考慮されていた。一方電気化学用における製作経験から、レクチフォーマは予想以上に多くのすぐれた特性を電鉄用途にも示すことが判明したので、世界でも先例のない試みであったが、急きょ電鉄変電所用レクチフォーマの開発が行なわれた。

さいわいにもその基本設計構造は化学用で得られた豊富な技

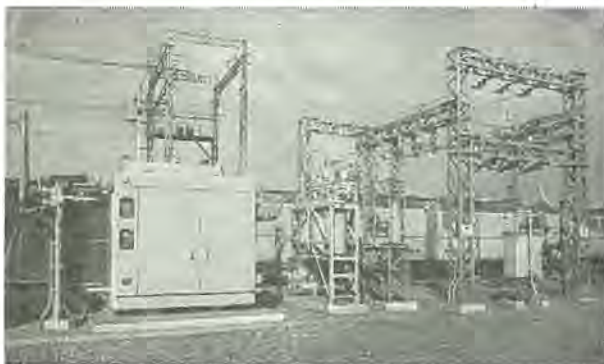


図 1.1 屋外レクチフォーマ変電所 (1,500 V, 3,000 kW)
Fig. 1.1 Outdoor type rectifier substation (1,500 V, 3,000 kW).

表 1.1 電鉄変電所用レクチフォーマ製作実績 (昭和40年度分)

納入先	使用場所	台数	交流入力 (kV)	直 流 出 力			定 格	備 考
				(kW)	(V)	(A)		
南海電鉄	今宮変電所	2	20	2,000/2,500	600/1,500	3,333/1,667	D	両電圧切換形
小田急電鉄	厚木変電所	1	20	3,000	1,500	2,000	E	
京浜急行電鉄	鶴見変電所	1	20	3,000	1,500	2,000	S	
近畿日本鉄道	八木変電所	1	20	2,000/3,000	600/1,500	3,333/2,000	E	両電圧切換形
南海電鉄	築地橋変電所	1	6/20	2,400/3,000	600/1,500	4,000/2,000	D	両電圧切換形
京浜急行電鉄	品川変電所	1	20	3,000	1,500	2,000	S	
京成電鉄	宗吾変電所	1	60	2,000	1,500	1,333	D	
新京成電鉄	五香変電所	1	60	2,000	1,500	1,333	D	

(注) 1. すべての完全屋外全装可搬形の油冷式である。

2. このほかに約 10 万 kV の化学用レクチフォーマが製作されている。

術がそのまま活用されたので、さらに電鉄変電所として、あるべき理想形態を折り込んだ装置が完成できた。この結果昭和40年にはいり、あいついで南海電鉄・小田急電鉄で採用されることになり、その優秀な結果は電鉄各社に多大の反響を起すにいたっている。したがってレクチフォーマは他形式ではみられないすぐれた特性で今後の電鉄変電所に革新をもたらすものと期待され、本文にその概要を紹介して変電所を計画される関係各位のご参考にしたいと考える。(図 1.1, 表 1.1)

2. 電鉄変電所とレクチフォーマ

2.1 電鉄変電所における問題点

シリコン整流器が電鉄変電所に採用されて久しく、初期に論じられた素子信頼度などに代わり経済性・保守・公害などの実施面上の問題点が強調される段階になっている。これはすべて別置き風冷式の整流器が対象で、かつ最近増加した屋外変電所の問題点も含まれている。

(1) 地価の騰貴に対する変電所敷地、建屋の縮小と据付工事簡略化による建設費の低下要求。

(2) 冷却系統を中心とした建屋および機器の保守、とくに整流器内部の絶縁物、放熱片の長期運転上の保守と信頼性の確保。

(3) 海風・ガスなどによる変電所内機器の腐食問題。

(4) 屋外設置時の雨水・雪などの侵入対策と機器コストの上昇。

(5) 冷却扇騒音による公害とその解決の費用。

これら問題点の解決にいろいろの努力が行なわれたが、コストの上昇による本来の合理化目的の相殺といった矛盾などから、本質的に新しい方式の出現が待望されていたわけである。

2.2 新方式の検討

レクチフォーマに至るまでに考えられたいくつかの方式と問題点について検討してみよう。

(1) 風冷シリコン整流器の近接設置

これは据付面積がわずかに減少するだけで本質的な改良とはならない。

(2) 変圧器タンク直接取付け形

すでに化学用で指摘されている本質的な構造上の問題点に加えて、多数の素子を直列接続する電鉄用ではさらに困難が多い。

(3) 油浸式シリコン整流器

整流素子を放熱器付きの油そうり内に入れる別置形で近接設置も考えられる。素子は外部環境より保護される。一方据付面積や工事は従来と大差ないが、実際上油の自然対流による冷却は大容量器では能率が悪く大きな放熱器を要し、上下間の温度差も大で製作費が上昇する。

最大の欠点は整流器の正常動作が確認困難で、保守管理上も不便である。また多数の分圧回路や故障検出回路の確実性と誤動作しない調整が困難な問題を与える。また検出回路の外部とり出しに多数の油密貫通部が必要なほか、クック自体も変圧器と異なり、上部全周に油密パッキン部をもつて油密部延長はレクチフォームより長い。唯一の根拠は素子信頼度の向上であるが、素子以外にも多数の回路要素と接続個所が整流器には必要であり、高信頼性素子を用いてさらにすべての保守点検も簡単にでき、かつ小形経済的な方式ができればよりすぐれていることはいうまでもない。

(4) 油冷ブロックの集積形

放熱板付き素子を油タンクに入れて整流アームとし、これを相数分ベットに配列してポンプで油を送り別置放熱器で冷却する。

あるいはタンクを外部にフインの付いたアルミケースとして油ポンプを各個に収容して内部循環し、これをキューピクルに納めて冷却扇で外から風を当てて冷却する。これは冷却強化により前者より小形になるが従来と大差ない。

保守上の問題点は前者におけるものに加えて、とくに後者では、多数のポンプが油ケース内にあることで信頼度を低下する。また導体口出線がケースのフタとともに油密部分となって多数残る。キューピクル内への冷却には、騒音のほか各ブロックを接続する導体の絶縁を低下させ、複雑なブロックの構造は素子以外のコストを増加する。

このほかに循環油冷整流器を変圧器に組み合わせる方式も考えられるが、独立の冷却系統より変圧器と共通化すればはるかに簡単な装置となり、特性もすぐれたものになるから次のレクチフォーム方式に発展吸収さるべきことは明らかである。

2.3 レクチフォームの適用

以上に検討した問題点に対しレクチフォームがきわめて合理的な解決を与える。電鉄変電所用として検討された結果は、構造上無理なく美しい形にまとめられ、電鉄負荷に対し理想的な冷却特性を示して 予期以上にすぐれた装置として完成し得た。機器詳細は次章に述べるがその結果を要約してみよう。(図 2.1)

(1) 変圧器とシリコン整流器を一体化した電力変換装置としてまとめられた。

(2) 全体の形状は変圧器単独と変わらない。

(3) ほとんどの用途に全装可搬完全組立輸送ができ、置くだ

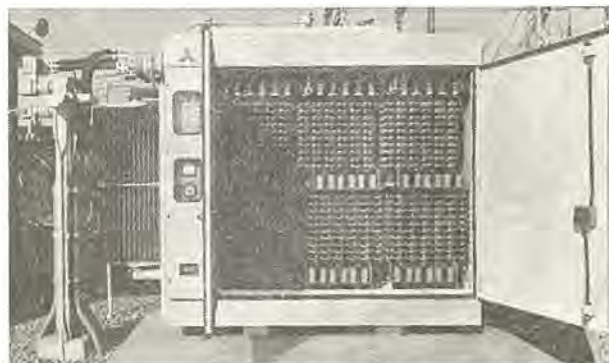


図 2.1 1,500 V, 3,000 kW レクチフォーム (整流器正面)
Fig. 2.2 1,500 V, 3,000 kW rectifier (rectifier front).

電鉄変電所用 レクチフォーム・小林・石井・久岡・冬広・白石

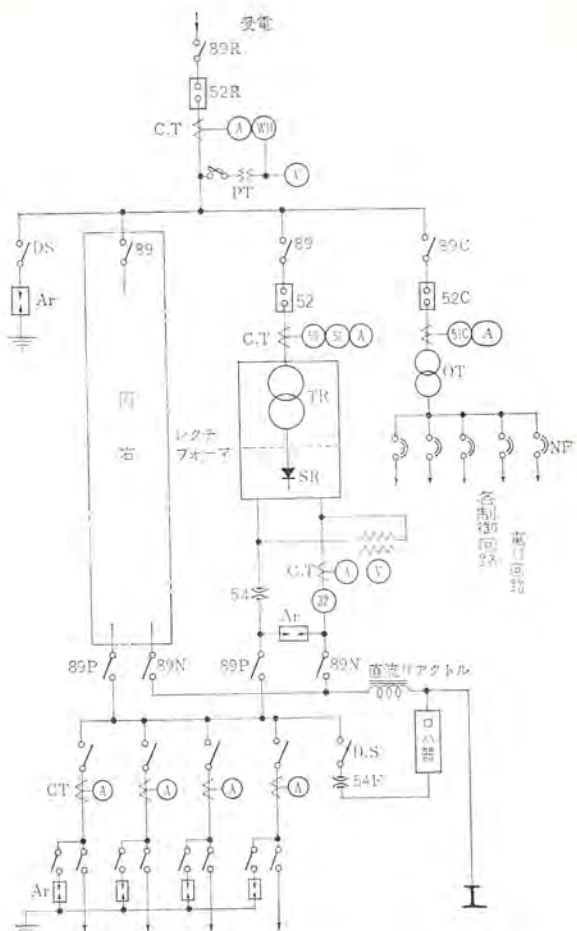


図 2.2 レクチフォーム電鉄変電所の単線結線図 (代表例)
Fig. 2.2 Single line diagram of a typical rectifier substation.

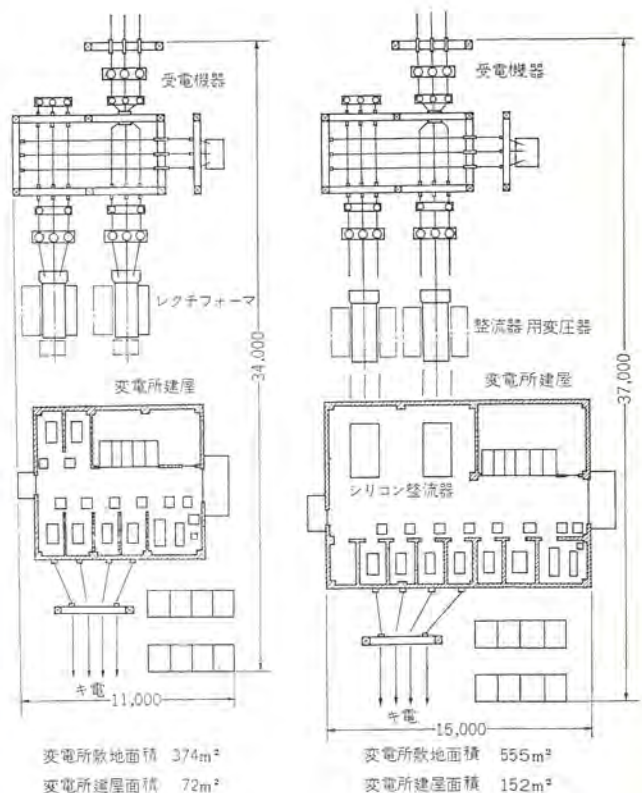


図 2.3 2x3,000 kW 変電所設備の比較例
Fig. 2.3 Comparison of a 2x3,000 kW substation layouts.

けで変換装置が完成する。

- (4) 外気が侵入せず屋外設置に問題ない。
- (5) 単一の冷却系は信頼度を著しく向上した。
- (6) 大きな熱容量は電鉄負荷に適合する。
- (7) 運転は静かで騒音問題が解決された。
- (8) 整流器構成要素は直接保守ができる。

多くの特長を持ちながら、従来形式に比べ製作費の増加しないことが新製品の開発上重要で、その利点は需要家に還元されるところに本当の進歩がある。また電力変換の流れに合致した形状、端子配列は合理的な変電所の計画に対し重要である。図 2. 2 は変電所回路例で従来と本質的に大差ない、あわせてレイアウトの比較を図 2. 3 に示す。

3. 機器の構成

3.1 装置の構成

レクチフォーマは図 3. 1 のように長方形タンクの変圧器部と、キュービクル収納の整流器部から構成される。両者はおおの別個に組立てられ、最終段階で結合されるのでレクチフォーマにおいて製作期間が長くなることはない。変圧器タンクは角形で、その一側面に変圧器ベースを延長して独立キュービクルとして組み立てられた整流器が置かれる。変圧器タンクの他の側面には交流側ブッシングが、そのほかの2面には自冷—風冷切換式の放熱器が取り付けられている。レクチフォーマの特長の一つは冷却系統の単一化で、このため変圧器タンクの放熱器取付け側の底部より油管用フランジが出ており、これが整流器部のパイプに接続される。整流器出口のパイプは

変圧器油出口とは対角の放熱器のついていない側のタンク底部につながる。

変圧器の二次側ブッシングは整流器側のタンク側面に設けられ、整流器キュービクル背面からはいつても可とう銅帯で整流器交流側端子につながる。(用途、仕様により両者の端子を上部に出して外部で接続することもある。)レクチフォーマは油冷却系統以外は、それぞれ独立した機能を持ち分離も容易な構造であり、変圧器部はそのまま単独使用でき、整流器部も冷却器を追加して独立使用可能である。

レクチフォーマは全装可搬形を標準とし、すでに 3,000 kW、70 kV の E 種定格三相全波結線のものまで可能である。大容量定格でも分離結合が容易なため、分割輸送しても現地での組立ては簡単である。レクチフォーマは前述のように油冷却系統が一体化されているため、とくに油密に関しては構造、材料的にも十分考慮して設計され、油密試験においても厳重な品質管理を行なっている。整流器素子は油とまったく無関係に着脱でき、全回路要素はキュービクル全面に配列されているので保守が容易である。

装置は窒素封入密封式を標準とし、基本構成のほか OT、断路器などを追加することも可能である。全体の形はそのままでも本質的に移動しやすい形であるから、他変電所の応急にも役立ちうるから変電所計画に際しては、この利点も活用できる機器構成と配置を考えておくことが望ましい。(図 3. 2)

3.2 変圧器部

変圧器部の構造で一般の全装可搬油入自冷式と異なる点は、ベースなどの整流器との機械的結合部分、直流側ブッシングの位置および冷却器である。ベースは普通形どうようタンクに溶接されているが、整流器側に 700 mm ほど突き出した上に整流器キュービクルを載せてボルト締めしている。一方上部でもコンサベータなどに支持金を付けて固定している。(図 3. 3)

直流側ブッシングは側面で整流器部と接続するため横出しとするが、大容量になると整流器の交流端子位置も高くなるのでカバーに出すこともある。変圧器交流端子は普通的全装可搬式とどうようタンクの側面にブッシング箱が取り付けられる。受電用高圧キュービクルと組み合わせて両者をダクトで接続するときは、接続位置の制限上交流側ブッシングをカバー上から出すこともある。またブッシングをエレファント形としたケーブル受電も設置環境に応じて採用される。

放熱器は普通の自冷式と同一でこれに簡単に冷却扇を装着した

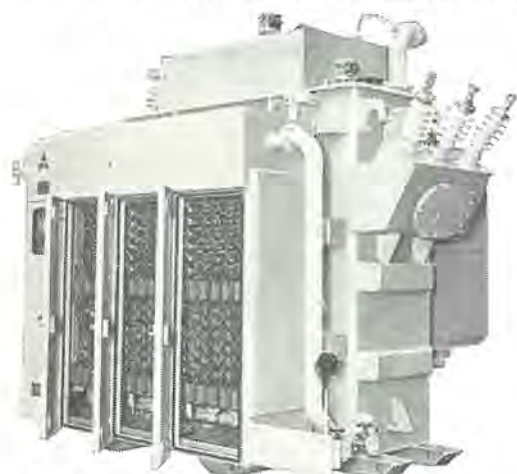


図 3.1 600/1,500 V、2,000/2,500 kW レクチフォーマ
Fig. 3.1 600/1,500 V、2,000/2,500 KW rectifier.

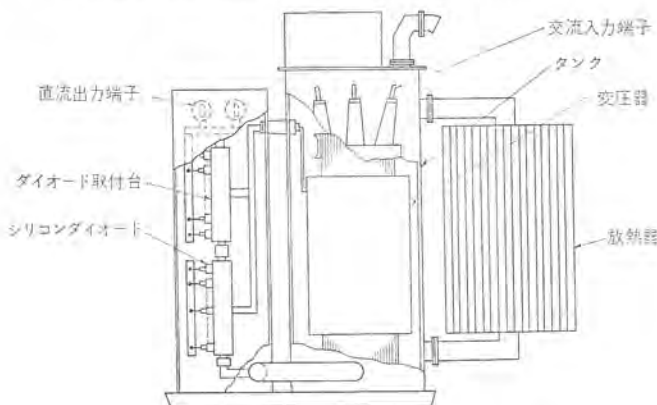


図 3.2 レクチフォーマの構造
Fig. 3.2 Construction of rectifier.

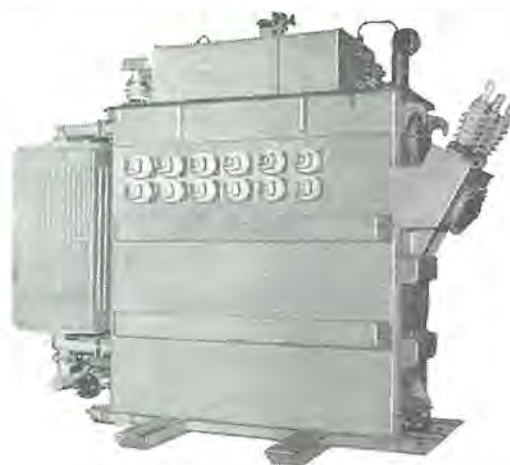


図 3.3 変圧器部 (600/1,500 V 両用)
Fig. 3.3 Transformer section (600/1,500 V dual use).

もので、冷却扇を停止しても自冷式放熱器として動作する。整流器がタンクの側面にあるため、普通形に比べ放熱器取付スペースが少ない反面、放散熱量は変圧器と整流器の損失和であるから自冷式のみでは放熱面積が不足しやすい。これを補うため 0.25 kW (または 0.4 kW) の冷却扇を容量に応じ、1～4 個取付け温度上昇時に運転する。

この冷却扇は単に放熱器に空気をあてるだけの低風圧で騒音も低い形である。また整流器の油循環による油流は放熱器の効果を著しく増大することが判明しており、放熱器の数は少なくても整流器への油は放熱器取付け側の最も温度の低い位置から送り出し、その対角位置へ返される。タンク内部は巻線、鉄心など中身が大部分の空間を占め、その油量とあいまって返された油が素通りして整流器へ循環しないように考慮されている。これにより変圧器の大きな熱容量が十分に活用されるとともに、内部温度差も少なく、かつ冷却器の効率も増大する。同時に放熱器が整流器と直列循環系になっていないから両者の分離も容易となる。

二重星形結線の相間リアクトルは変圧器タンクに内蔵されるが、直流電圧の切換えがある場合は後述のように別置する。絶縁油の劣化防止は完全密封窒素封入式で完全に外気と遮断しているため、窒素封入式としての保守は非常に簡単であり、窒素圧力は付属の連成計および温度－圧力特性曲線から動作状況を知りうる。

タンクは大部分が溶接構造でガス漏れ、油漏れを皆無としている。

3.3 整流器部

整流器部は独立キューピクルに組立て、最終段階で変圧器側面のベース上に一体に組合わされるが風冷式に比べキューピクル構造は小形かつ簡単である。内部構造は図 3.4 に示すが素子の取付けと冷却を兼用する取付け導体と絶縁支持構造のみの簡明なものである。

キューピクルの主回路は素子取付台を 2 段 3 列に配して六相整流回路を形成する。取付台の支持は樹脂製ガイシで横ワクに取り付け、横ワクをさらに両端で台ガイシによりキューピクルワクに固定する二重絶縁が採用されている。

回路接続は背面へ貫通する変圧器ブッシングから導体で各相へ導かれるが、すべて背面にまとめられガイシで支持されている。この接続は上面カバーを開いて行なえる位置で、600/1,500 V 切換えもブッシングへの接続ジャンパ線をスライドするだけですむから、この当社独特の結線切換方式は、別置式より簡単で体裁よく行なえる。この構造の利点としては、

(1) 素子、分圧回路などすべて前面から直接監視保守ができる。

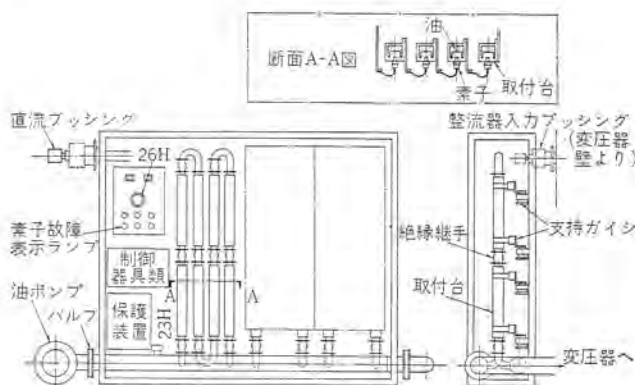


図 3.4 シリコン整流器部構造図
Fig. 3.4 Construction of silicon rectifier part.

(2) 回路に対応した構造、配列がすぐ見えるので理解も容易で適確な取り扱いができる。

(3) 冷却風がはいらないから内部汚損がなく二重絶縁とあいまって信頼度がきわめて高い。

整流器と変圧器を切り離せば、おのおの単独の屋外機器として使用が可能である。変圧器直流側ブッシングをタンク上部へ出し、整流器側もブッシングを出して外部で接続することもあるが、これは別に OT を二次側からとる際にも有効で整流器キューピクルの上部に断路器箱を追加し、OT とも全部を一体化した設計もある。

素子取付台は軽合金の押出し形材を溶接して組み立てた強固なもので、横に直列数並べるだけでメッシュ接続の回路が構成される。断面から知られるように、素子は冷却油とまったく無関係に着脱できる。この取付台は化学用に多数使用されているものと同一で、豊富な設計データに加えて標準化がはかられている。

冷却油は 3 回路に分岐するが流速を通油路断面に適合させ、層流限界に近いレイノルズ数を与えるよう設計し、調整弁をいっさい用いずに均等な冷却が得られる。またこの設計条件は冷却熱抵抗を減少するほか、通油路面をつねに清浄に保つ効果を有する。

取付台と油管は強固な油密溶接構造であるが、両者を結ぶ絶縁継手も化学用において、すでに将来を予期し電鉄用にも使えるものを開発していたことが大きく貢献した。この継手は、

(a) 不燃性油も含め、油とその使用温度に対しまったく安定な特殊合成樹脂製である。

(b) 機械的には常温で 15 kg/cm² 以上の圧力試験と ±12 mm で 10 万回の振動試験にも耐える。

(c) 通常で 20 kV 以上、一面に水滴の付着した状態でも 5.5 kV (1,500 V 整流器の試験電圧) 以上の耐圧を有する。

(d) 表面に油を塗りガスバーナーの炎を当てた後も支障なく所定の耐圧試験に耐える。

そのほか多数の基礎試験とともに、各製品は組立途上より厳重な試験を受ける。また機器の取付け組立構造とその工作技術もきわめて重要で、これらの技術が確立されたことによりレクチフォーマの多くの特長が十分に発揮される結果となっている。

キューピクルの左側のセクションには直流出力ブッシング、検出装置などの保護装置、表示灯、温度計ほか冷却扇制御装置が収容され 2 面から容易に点検できる。冷却風がはいらないから腐食性環境にも安全で、そのまま屋外設置に適している。

3.4 回路と系列

直流電圧 600 V 級では二重星形結線、1,500 V では三相全波結線が標準に用いられる。600 V でも市内電車などの中小容量には三相全波結線が経済的に使用されることもある。これらは一般の整流器におけるものと大差ない。

600 V 路線において将来 1,500 V に昇圧する計画を持つところも多いが、これには当社の改良形変形二重星形－三相全波結線切換えがきわめて便利である。この方式は切換えが簡単であるから、路線の全変電所を一夜に切換えるのに最適である。

回路を図 3.5 に示すが 600 V 時に普通の二重星形結線と異なる点は、2 組の星形結線が同相でそのかわりに整流器の構成は三相全波結線と同じ回路であるが、2 組の転流群はおのおの三相一括された整流器端子と変圧器巻線の中性点間で相間リアクトルを介して並列に動作する。相間リアクトルは普通形どうよう、単一巻線の経済的かつ端子配列も切換えに対してもっとも適していること、正極側にツウ入されていることなど多くの利点を有する。

表 3.1 レクチフォーマの重量寸法例

交流入力 kV/c/s	直 流 出 力			整 流 回 路	定 格	外 形 寸 法 (mm)			重 量 (kg)			全 油 量 (l)
	kV	V	A			A	B	C	総重量	整流器	変圧器	
※70/60	1,500	600	2,500	二重星形六相	D 種	6,100	2,850	3,000	20,200	1,600	11,000	8,400
※30/60	1,500	600	2,500	"	"	5,000	2,650	2,850	16,200	1,600	9,700	5,400
※ 6/60	1,500	600	2,500	"	"	4,550	2,550	2,850	13,200	1,600	8,400	3,500
20/60	2,000/2,500	600/1,500	3,333/1,667	変形二重星形/三相全波	"	4,250	2,850	3,350	17,000	1,800	10,300	5,400
22/60	2,000/3,000	600/1,500	3,333/2,000	"	E 種	3,750	2,850	3,400	17,000	2,200	10,600	4,650
20/50	3,000	1,500	2,000	三相全波	"	4,750	2,750	3,200	16,700	2,000	10,300	4,900
20/50	3,000	1,500	2,000	"	S 種	4,200	2,800	3,450	17,300	2,200	10,900	4,700
60/50	4,000	1,500	2,667	"	E 種	5,550	2,850	3,800	24,600	2,900	14,100	8,100

(注) ※のものは相間リアクトルを内蔵し、交流入力側はエレファントブッシング形である。

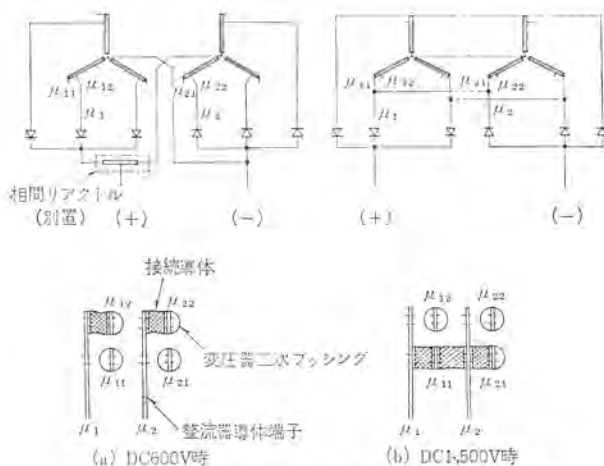


図 3.5 電圧切換方式
Fig. 3.5 Voltage changeover method.

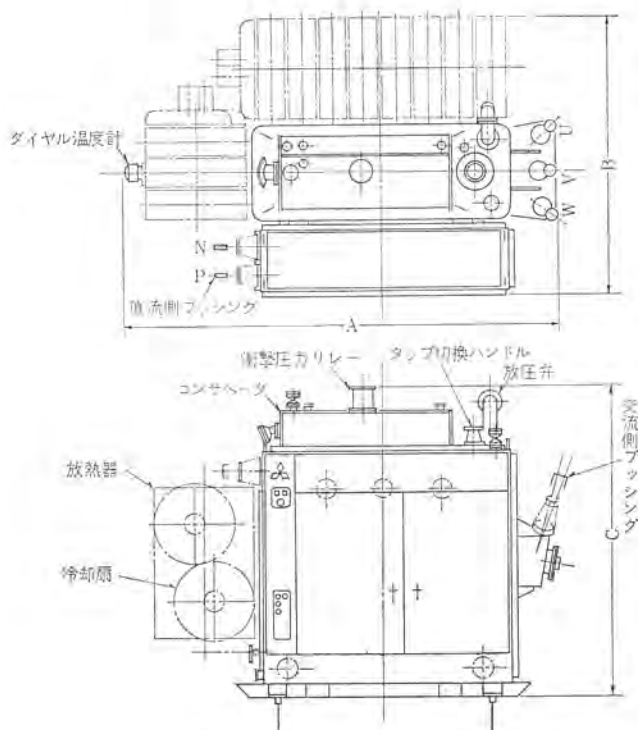


図 3.6 レクチフォーマの外形
Fig. 3.6 Outline of rectifier.

1,500 V のときは、相間リアクトルをはずして 変圧器中性点 ブッシング

を橋絡することにより、2組の三相整流群は直列になり 整流器出力 ブッシング 間に所定の直流電圧が得られる。この切換えは、1:2 の電圧比を与えるから変圧器二次のタップをブッシングで出しておき、接続ジャンパ線を整流器キューピクル内で移動する。切換えを通じて変圧器内部や整流器の回路、素子構成に変化がなく検出回路などの複雑な作業は生じない。

交流側受電電圧は普通形とどうよう 3, 6, 10, 20, 30, 60, 70 kV などいろいろの電圧に適應される。電圧変動率などの諸特性も要求に応じて設計される。

このようにして現在別置形式で得られているすべての要求仕様はレクチフォーマにおいても満足され、各種の定格に対する設計がそろっている。その代表的ないくつかの例を表 3.1 に示す。この寸法は図 3.6 に対応するが、さらに要求によりエレファント形交流ブッシング、あるいは設置条件からとくに高さを低くした設計などもあるから照会いただきたい。後述するように放熱器は本体と離して別置も可能である。またレクチフォーマは主として 1,000 kW 以上の装置に対して標準系列がそろっているが、数百 kW といった小容量の設備には別に開発されたパッケージ形変電所があって、全領域をカバーする機種が完備している。

4. 冷却系統

4.1 冷却系統の構成

レクチフォーマの特長はその構造とともに 変圧器—整流器 共通の油冷却系統である。標準構成は図 4.1 のように冷却油は変圧器下部から出て整流器内部を循環し、ふたたび変圧器下部へ帰る。これと別に変圧器の放熱器を通る油の冷却循環がある。このため両者の組み合わせは簡単で、分離時も変圧器は自冷式で動作できる。循環油系には放熱器弁があり各要素区分ごとに取りはずせる。油ポンプはケーシングに電動機とも収容した油中形でシャフトシールがなく、その高い信頼性は多数の変圧器で実証されている。さらに風冷式と異なり、予備ポンプ系の組み込みもでき、常用系停止時にほかに自動切換えすれば運転継続に対する信頼性は絶対的になるが、実際にそこまでの必要は少ない。

温度監視は 変圧器上部油温 26 T (軽故障) と 素子取付台温度 26 H (重故障) によるので、大きな熱容量から適切な処置がとれる。また全素子温度は均一で 26 H は素子温度を正しくつかむから保護も確実である。このほかに油流継電器 69 Q があるが、最終的には 26 H で保護できる。

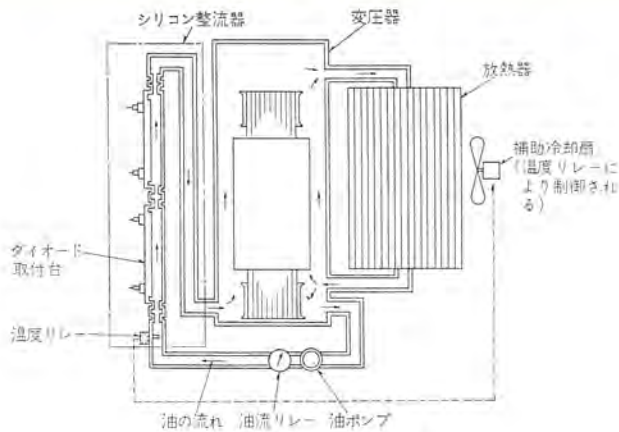


図 4.1 冷却系統
Fig. 4.1 Cooling system.

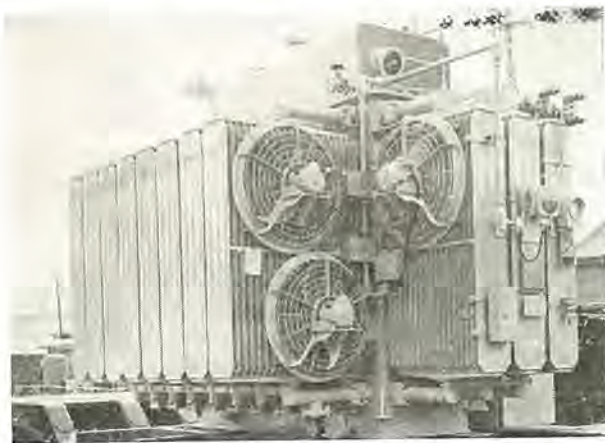


図 4.2 冷却装置
Fig. 4.2 Cooling equipment.

温度制御は整流器への油入口温度を 23 H で検出し、50~55°C で放熱器の冷却扇を自動運転する方式が標準である。大きな熱容量と電鉄負荷の特性から、この制御はきわめて有効で、實際上冷却扇が運転する機会のごく少なく、かつ日中の重負荷時に限定されるから騒音対策にも自然に合致する。

冷却扇は放熱器に装着する屋外形で、自冷式放熱器とともに多数使用されている標準品である。放熱器の本数も変圧器、整流器両者の熱を放散するにもかかわらず、変圧器単独とほとんど変わらない。

全体および整流器内分岐油路を調整する弁は不要である。油ポンプは 4,000 kW 装置にても 1.5 kW 1 台ですむ。また冷却扇の停止は実際運転上ほとんど障害にならない。標準方式のほか放熱器を循環油路に直列に入れても運転できる。これは設置上放熱器を別置するに有効で、このとき冷却扇を変電所全体の換気を利用すれば屋内設置時に経済的かつ合理的である。放熱器に代えてラートフィンクーラまたは水冷油冷却器も使用できる。

4.2 冷却特性

冷却特性はレクチフォーマの諸特性中もっともすぐれたものの一つである。大きな熱容量が整流器に付加されて電鉄用として理想的な温度特性と、共通油循環が変圧器内の油流に与えるカク乱が放熱器の効果を増大した。これは自冷式や整流器別系統の方式では得られない特性である。

変圧器部の温度上昇は周囲一油一巻線温度の差にわけられる。油と巻線間は普通の変圧器どうよう、銅損 (W_c)^{0.8} すなわち (電流密度)^{1.6} に比例する。D、E 種定格の 2 時間過負荷は巻線の熱

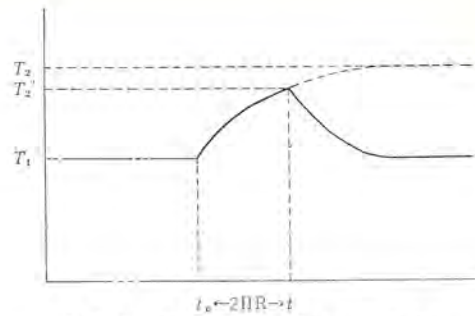


図 4.3 変圧器油温上昇特性
Fig. 4.3 Transformer oil temperature rise characteristic.

時定数を越えるので 150%、120% の連続負荷とみなされる。

油温度上昇は普通形と異なる。自冷式放熱器への冷却扇の付加は、おおよそ 1.5~3 倍に放熱器を増加した効果がある。整流器と組み合わせによる油流は放熱器内の流速を増加し、放熱効果を上昇する。

つぎに整流器損失 W_a が追加されるが、変圧器鉄損を W_b としていま E 種定格における 100%、120% の油温上昇を考えると次式のように表わせる。なお K は放熱器に対する定数である。

$$T_1 \approx K(W_a + W_b + W_c)^{0.8} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$T_2 \approx K(1.3W_a + W_b + 1.44W_c) \dots \dots \dots (4.2)$$

$$T_2' \approx T_2 - (T_2 - T_1)e^{-\frac{2}{\tau}} \dots \dots \dots (4.3)$$

τ は全系統の熱時定数で、整流器単独に比べ 2~30 倍大きい。

実際には冷却扇の自動制御が加わるので上昇曲線は変化するが、最高温度の検討はこれで支障ない。D 種のとき T_2 は $1.65W_a$ と $2.25W_c$ を用いて計算する。

整流素子の温度上昇は油温を基準とする。風冷式と異なる点は極端に熱容量の大きい一定温度の冷却媒体をもち、媒体温度は少し高いが、全素子にほとんど均一な温度で媒体—素子 取付台間の温度差がきわめて少ないことである。

油温は外気より高いがシリコン整流器の高温にすぐれた特性が、変圧器との共通油冷却を可能としたもので、両者の特性が合理的に合致した点にレクチフォーマの設計がある。この温度差は風冷式における風出入口間温度上昇と空気—放熱片間温度差に対応する部分を大幅に減少したことにより、各種の過負荷条件に対し接合部温度を定格値以下に無理なく納めることが行なわれている。したがって素子数の増加は不要で、かつサージ電流耐量も減少しない。ここで 120%、300% 負荷の接合部温度 T_{j2} 、 T_{j3} はおおよそ次のようになる。

$$T_{j2} \approx T_2' + (\theta_{jc} + \theta_{cf} + \theta_{fo}) 1.25Pd \dots \dots \dots (4.4)$$

$$T_{j3} \approx T_1 + (\theta_{jc} + \theta_{cf}) 3.9Pd + \theta_{fo}Pd \dots \dots \dots (4.5)$$

ここで Pd は導体損失を除いた 1 素子あたりの発熱 ($W_a - W_{cs}$) / N で、 θ はそれぞれ素子、接触、取付台—油間の熱抵抗である。

実際の製品は T_{j3} は T_2 を基準としても定格値にはいるよう設計できる。 θ_{jc} は定常熱抵抗の範囲である。 θ_{fo} は独特の取付台断面と乱流領域にはいる油流速により、1 素子あたり 0.05°C の低い値を得ている。またこの領域での熱放散は媒体動粘性係数 $\nu^{-0.5}$ にほぼ比例するが、油の ν は 40~80°C の間に約 1/10 に低下するから、温度上昇に伴い冷却効果が増大する。これに放熱器の特性も考慮して低溫時試験結果を更正する資料も作られている。レクチフォーマの温度上昇試験の一例を図 4.4 に示す。試みに放熱器を整流器の油循環系統に直列に入れた結果も、大差ない油温上昇で下あったことは興味ある特性である。標準の自然対流式のときも上間の温度差は少ない。

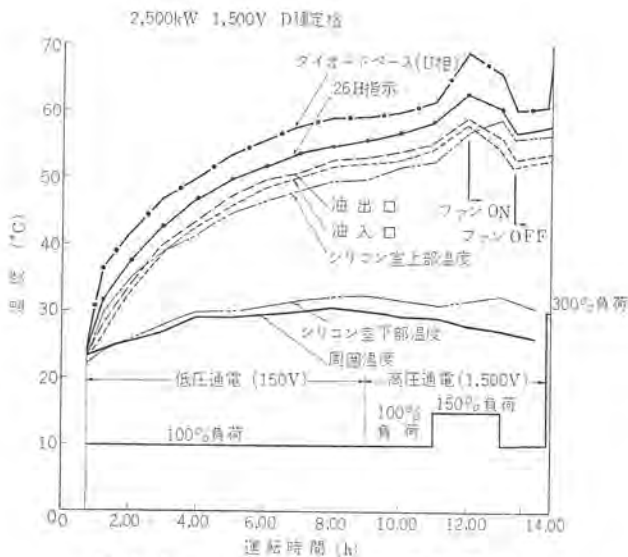


図 4.4 レクチフォーマ温度試験結果
Fig. 4.4 Heat run test data of rectifier.

5. 特 性

5.1 電気的特性

変圧器部の電気的特性は普通形と同じで、単独で温度上昇を除く巻線抵抗測定・変圧比・無負荷試験・短絡試験・耐圧試験など普通形と同じ試験が行なわれレクチフォーマによる問題はない。

整流器部は詳細な構造、回路試験後変圧器と組合わされて通電試験を行なう。すべての動作状態は前面から測定でき、完全な試験が可能である。この整流器構造は電気的にも特異点のない良い特性を示す。図 5.1 は全素子電流分布の例であるが、これは簡単かつ独特な分岐回路が用いられたことによる。構造が丈夫なので過負荷または短絡電流による特異な振動はいっさい生じない。

総合電気的特性も困難なく所要の設計値が実現される。騒音問題はこれで解決されたといつてよい。冷却扇は実際上ほとんど運転しない。また低風圧低騒音形のため運転音も変圧器の負荷時動作音にマスクされてしまい、冷却扇による騒音レベル上昇値の正確な測定はできていないほど低いレベルにある。

絶縁特性もその構造上当然すぐれており油ウケと実用上変わらない。通電せずに豪雨台風時の屋外に長期間放置した結果が表 5.1 である。実際には運転時の温度上昇による乾燥効果と、停止時に投入されるスペースヒータがあるので、さらに完全で屋外変電所の絶縁問題を解決している。

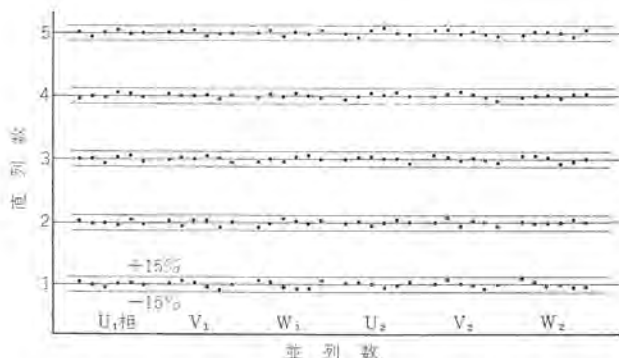


図 5.1 600 V, 2,000 kW 整流器 150% 過負荷 (5,000 A) 時素子電流分布
Fig. 5.1 Diode current distribution of 600 V, 2,000 kW rectifier (150%~5,000 A over load).

表 5.1 レクチフォーマ屋外風雨試験結果

月日	気 象 条 件				レクチフォーマ状況
	天候	雨量 (mm)	風速 (m/s)	備考	
9-6	雨のち曇	7	2		レクチフォーマを屋外に設置、このとき主回路充電部一大地間耐圧 5,500 V 1 min. 36mA
7	曇のち晴	0	4		
8	曇のち雨	45	2		
9	雨	27	5		
10	豪雨	142	8	台風23号上陸のため瞬間最大風速 44.5m/s を記録。台風による雨量 107 mm。気象は最悪条件に属する。	台風通過後内部点検したが異常なし。
11	曇	0	4		
12	晴	0	4		
13	曇のち雨	65	4		
14	豪雨	102	4	豪雨でレクチフォーマに対してはきびしい条件を与えたことになる。	1. 雨上がり後すぐ内部点検したが異常なし。 2. ここで主回路充電部一大地間の耐圧試験を行なった結果 5,500 V 1 min. 52 mA と良好であった。 3. この耐圧試験は通電しないスペースヒータも切ったままの状態で行なっているのので、想定されるもっともきびしい条件下にある。
15	曇ときどき雨	1	2		
16	豪雨	110	4	豪雨、気象条件は非常にきびしい。	
17	豪雨	290	6.5	台風24号接近のため瞬間最大風速 40.5m/s を記録。台風通過時の雨量 200 mm。最悪の条件に属する。	
18	晴	0	3.2		屋外設置による風雨試験終了。べつに異常は認められなかった。
19	晴	0	0		
20	晴	0	0		
21	晴	0	1		
22	曇一時雨	1	3		
23	曇	0	3		
24	曇のち晴	0	5		

表 5.2 レクチフォーマ変電所標準保護連動一覧

故障原因または動作継電器	30による表示	開放する遮断器	細線の有無	警報	故障区別	摘 要
交流過負荷	51	52		ベル	重故障(1)	
直流過負荷	54	54		"	"	
"	76	54		"	"	
変成器系短絡	50	52		"	"	
変圧器故障	26 T			ブザー	軽故障	変圧器温度上昇
"	33 Q			"	"	変圧器油面低下
"	96 P	52	○	ベル	重故障(2)	変圧器衝撃圧力継電器 (約 80°C)
整流器温度上昇	26 H	52	○	"	"	
整流素子故障	71			ブザー	軽故障	シリコン整流素子短絡
油ポンプ故障	69 Q	52	○	ベル	重故障(2)	油流継電器
直流逆流	32	52, 54F	○	"	"	
制御電源過負荷	51 C	52	○	"	"	
制御電源異常	47 C	52	○	"	"	
停電	27	54		"	重故障(1)	
直流高圧接地	64 P	52, 54F	○	"	重故障(2)	
火災	28	52, 54F	○	"	"	
54F 自動遮断	54 F	54 F		"	重故障(1)	
ロ波器故障	73 F1			ブザー	軽故障	

(注) 1. 52, 54 P は連動操作で自動遮断となる。

2. 警報はベルまたはブザーだけにすることもある。

5.2 保護

変圧器には接点付きダイヤル温度計・油面計と衝撃圧力継電器が付属している。冷却扇電動機にはオートカットがあって過熱時は自動的に切り離される。ここから警報接点をとることもできる。

整流器の温度上昇は素子取付台温度をダイヤル温度計で検出する。変圧器油温（軽故障）と 10°C 程度差をつけて設定し、停止にいたるまでに適切な処置がとられる。油系統は接点付き油流指示器で保護する。ポンプ2組使用時は常用系 69Q 動作で軽故障表示として予備系に自動切換えし、2系統停止ではじめて重故障とする。

逆止弁があるので弁切換え操作は不要である。このほか素子故障検出、異常電圧吸収などの保護装置もあるが、油ツグでないから保守も容易で誤動作の心配がない。表 5.2 に保護連動一覧を示す。

6. 応 用

レクチフォーマは標準設計自体がいろいろの用途を考慮して設計されているから、そのまま興味ある応用を考えることができる。

6.1 移動変電所

レクチフォーマは全装可搬形に作られから、交直端子位置からそのまま移動変電所に適し、地上変電所との統一も可能である。

整流器スペースが不要で、屋外に出せることはきわめて経済的な

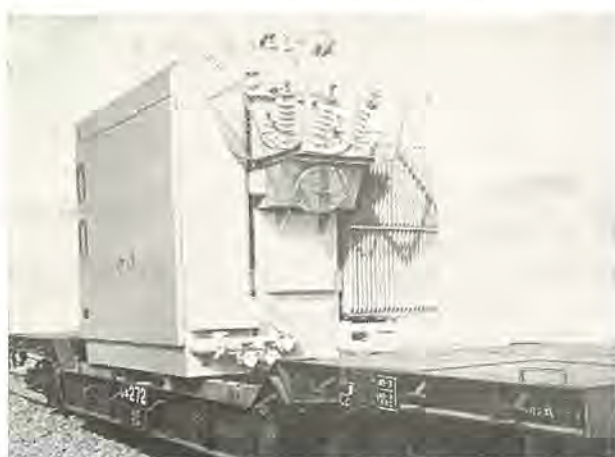


図 6.1 レクチフォーマの完全組立輸送
Fig. 6.1 Completely assembled transportation of a rectifier.

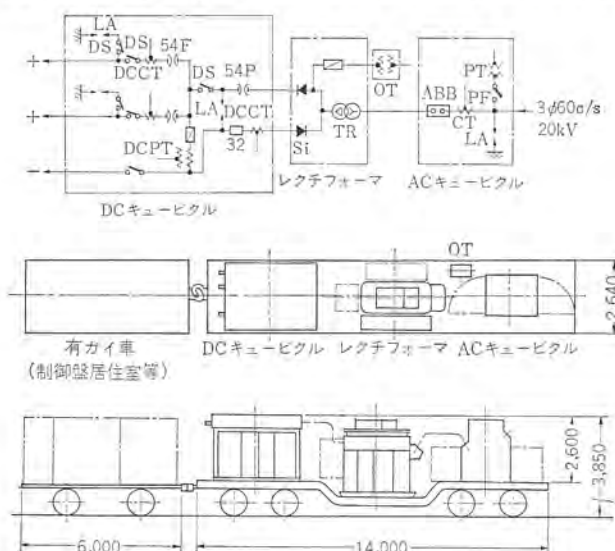


図 6.2 移動変電所外形と単線結線
Fig. 6.2 Rectifier mobile substation (layout and single line diagram)

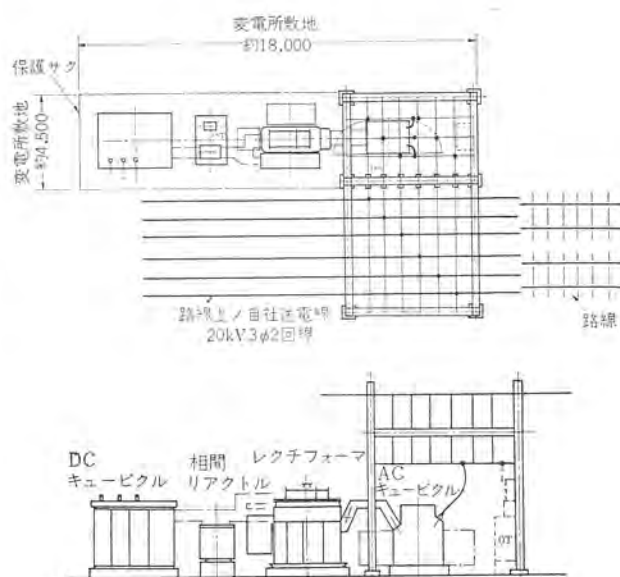


図 6.3 全屋外キュービクルユニットサブステーション
Fig. 6.3 Outdoor cubicle type unit substation.

装置となる。図 6.2 はその一例であるが、従来の水銀整流器のものに比べ約 $1/2$ に簡略化されていることが知られる。これに適した交流および直流キュービクルも設計されている。車両形でないときもレクチフォーマ自体が簡単にトレーラで移動できる。

6.2 全屋外キュービクルユニットサブステーション

移動変電所の構成をみれば、構成機器をそのまま地上におくだけで変電所ができることに気付かれるであろう。とくに路線上に自社送電線を有し、路線に並行した細長い敷地なら容易に得られるケースが多いから、今後の変電所合理化に役立つ面が多いと思われる。交流キュービクルは ABB・コンプレッサ・CTPT・アレスタなどを1面にまとめた小形かつ経済的なものである。

引込み鉄骨に受電断路器を付ければ高圧回路が完成する。図 6.3 は 600/1,500 V 切換え用であるが、専用ならより簡単になる。OT は変圧器二次側からとる形であるが別にするときは鉄骨の下、キュービクルの反対側におけばよい。直流キュービクルは HSCB 直流主回路機器いっさいを含む。バンク増設は並列において直流キュービクル間をダクトで母線接続する。各機器間もダクトで結べば安全、かつ狭い敷地にまとめることができる。これに隣接して小さな建屋に遠動盤やバッテリーなどを収容すれば簡単に変電所が構成できる。

7. む す び

以上に紹介したように電鉄変電所用レクチフォーマは新しい構造と冷却方式を採用したが予想以上にすぐれた特性が判明し、電鉄変電所の諸問題を解決するとともにご使用者側の満足ゆく運転を1号器より行なえたことは非常に幸運であった。当社は今後も改良と新製品の開発に努めて要望にこたえて行きたいと考えている。また高耐圧大容量素子の進歩はレクチフォーマをさらに発展させるものと思われる。

最後にこのレクチフォーマを世界に先駆けて完成し得たことは、その特長を認識いただきご採用に踏みきられた小田急電鉄、南海電鉄関係者各位のご英断によるものであってここに厚くお礼申し上げる次第である。

最近のコータ用電機品

安斎 広成*・兵頭 太郎**

Electric Equipment for the Latest Coating Machines

Kōbe Works Hironari ANZAI
Head Office Tarō HYODO

Development of photogravure has brought about increase of demands for coated paper. This has been followed by the extension, improvement and new setup of coating machines. For past two years Mitsubishi has manufactured five sets of electric equipment for coating machines, which have undergone great changes and been turning into higher speed and larger size. There are a variety of coating machines and also numerous kinds of electric apparatus to drive them. However, common problems to be posed with any of the sets are speed regulating accuracy and need for tension control, high speed flying splitters and winders. The article describes the current situation in the development of coating process and associated subjects including computer control of the coatmachines.

1. ま え が き

最近 高級なグラビア印刷をされた図書や、広告などの増加、洗剤、化粧品、薬品、食料品、繊維製品、ガソリンなどの化粧箱の印刷性、発色性の向上、表面の体裁をよくする必要のある品物などが増加しており、これらの要求に応ずるためにコート紙の使用が増加している。

新しく需要のできたものとして、冷凍食品の包装などのために、防水、防湿、耐油性をもった紙が要求され、紙にポリエチレン、ポリプロピレン、ナイロンなどの合成樹脂をコーティングした紙が使用され、身近には、牛乳が合成樹脂で内側をコーティングされた紙箱に入れて販売されている。また建築材料として多量の防湿紙が使用されるようになってきている。

事務用品としては、電子写真紙、ノーカーボン紙などの新しい製品が出現した。これら製品のよさが認められるにしたがって需要も増加している。

これらコート紙の需要の増加にこたえて、コートの新設が盛んに行なわれており、当社でも最近、種々のコート電機品を製作したので、これを紹介し、おもな問題点を取りだして考え、今後でべきような問題を提起したい。

2. コータの種類

被処理材料になんらかの材料を塗布し、乾燥あるいは冷却を行なって製品にする。この方法に幾種類がある。

2. 1 抄紙機の中に組み込んであるか、抄紙機と切り離れた単独のコータであるかの別

2. 1. 1 オンマシン コータ

抄紙機の中に組み込んである コータ

2. 1. 2 オフマシン コータ

抄紙機と切り離れた、塗工のみを目的とした コータ

2. 2 塗工方法による分類

原紙に塗料をコートするには、

- (1) 塗料を塗り付ける。
- (2) 計量する。
- (3) 平滑化する。

の3つの段階をへるのであるが、この方法に数種類あってそれぞれ

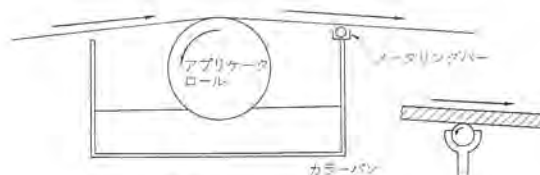


図 2. 1 メータリングバーコータ
Fig. 2.1 Metering bar coater.

の特長をもっており、どの方法によってコートするかにより乾燥方法や運転速度もある程度決まってくる。

2. 2. 1 メータリングバー コータ (METERING BAR COATER)

カリーバン、アプリーケーターロール、それにつづいて配置される回転する細い棒 (メータリングバー) とにより構成される。(図 2. 1)

原紙はアプリーケーターロールにより多量の塗料が塗られ、紙の進行方向とは逆の向きに回転するメータリングバーにより余分の塗料が落とされ、計量と平滑化とが同時に行なわれる。

メータリングバー コータの特長は、

- (1) 運転の簡単なこと。
- (2) 清掃の簡単なこと。
- (3) 保守の簡単なこと。
- (4) 据付け面積が少なく、設備費が安いこと。

であるが、使用面では次のような制約がある。

塗布量が 3~10 gr/m² で他の塗工法より塗布量が少なく原紙の色を完全に隠すことができない。

2. 2. 2 エアナイフ コータ (AIR KNIFE COATER)

カリーバン、ピックアップロール、メータリングロール、アプリーケーターロール、スミージングロール、バックアップロールおよびエアナイフからなる。アプリーケーターロールにより原紙に多量の塗料を塗布しエアナイフから吹き出す空気流により計量と平滑化とが同時に行なわれる。(図 2. 2)

特長としては、塗料の厚みが一定となり紙のオウトツがそのまま現われる。すなわち紙の表面にオウトツがあればコート紙の表面も同じようにオウトツが現われる。このため他のコート方法により紙のオウトツを埋めて平面を作りその塗料がぬれている時、すぐにエアナイフコーティング (wet on wet coating, double coating) することが行なわれる。

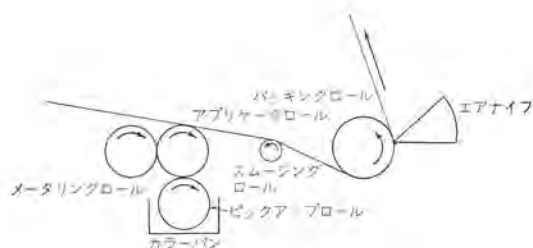


図 2.2 エアナイフコータ
Fig. 2.2 Air knife coater.

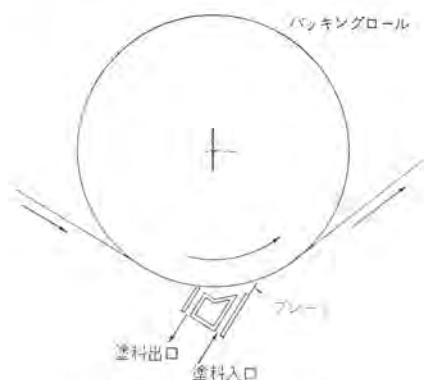


図 2.3 フレキシブルブレードコータ
Fig. 2.3 Flexiblade coater.

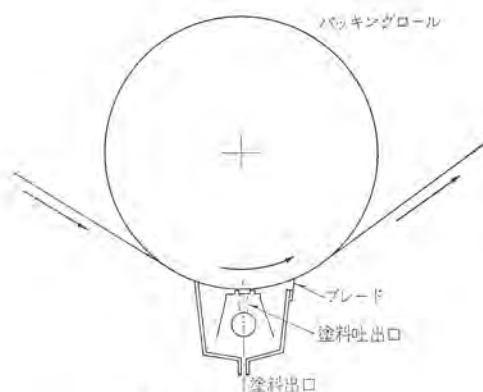


図 2.4 ファウンテンコータ
Fig. 2.4 Fountain coater.

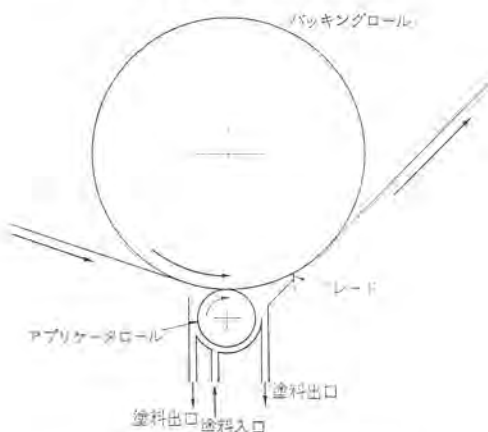


図 2.5 フラデッドニップコータ
Fig. 2.5 Flooded nip coater.

長所としては

- (1) あらゆる種類の原紙に使用できる。
- (2) 塗布量が多い。
- (3) 塗布量を加減できる。

などの点があげられる。

最近のコータ用電機品・安斎・兵頭

欠点としては

- (1) 塗料濃度 35~40% であって、濃度の高い塗料を塗工できない。
- (2) 低濃度の塗料を、多量に塗工するので、長いアーチドライヤを必要とし、設備面積が広がる。
- (3) 塗料の霧化の問題、乾燥能力、などの原因により運転速度はあまり高くできない。

2.2.3 ブレードコータ (BLADE COATER)

ゴムカバーされたバックアップロールにささえられた原紙に塗料を塗りつけて、ブレードによって余分の塗料をかき落とすことにより計量と平均化とを行なう方法である。

ブレードコータにもいろいろあるが最近使われているものに次の種類がある。

フレキシブルブレードコータ (flexi blade coater) (図 2.3)

ファウンテンコータ (fountain coater) (図 2.4)

フラデッドニップコータ (flooded nipcoater) (図 2.5)

ブレードコータの特長として

- (1) 濃度の高い塗料の塗工ができる。
- (2) 粘度の高い塗料の塗工ができる。
- (3) 濃度の高い塗料を少量塗工するので、乾燥負荷は少なくてすみ、シリンダドライヤを使用して乾燥させることができるので機械の全長が短くなる。

(4) 高速の塗工ができる。

(5) ブレードにより塗料の表面が均一化され紙のアウトツがなくなり仕上がりが平滑となる。

欠点としてストリーク(筋)の出やすいことであるが、最近のものは塗料を循環させて塗料によりブレードを洗いストリークの出ないようにくふうされている。

2.2.4 コントラコータ (contra coater)

カラーパン、ピックアップロール、メータリングロール、アプリーケーターロールバックアップロールから構成される。カラーパンからピックアップロールによってピ

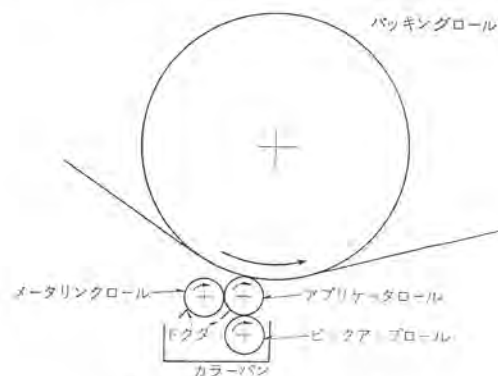


図 2.6 コントラコータ
Fig. 2.6 Contra coater.

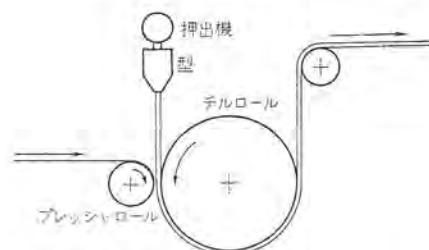


図 2.7 エクストルジョンコータ
Fig. 2.7 Extrusion coater.

ツクアツた塗料はアプリケータ ロールに移されるが、塗料が紙に移される前にメタリング ロールによって塗料の厚さが決められ、一様な厚さの塗料がアプリケータ ロールから紙に移される。(図 2. 6)

特長として

- (1) あらゆる種類の塗料を塗工することができる。
- (2) 高粘度の塗料から低粘度の塗料まで使用できる。
- (3) 平滑で、塗工精度のよい塗工を行なうことができる。

などがあげられ、金属用のコートに使用される。

2. 2. 5 エクストルージョン コータ

ポリエチレン、ポリプロピレン、ナイロンなどの合成樹脂を加熱して型(die)から押し出して紙にコートするものである。紙に樹脂を塗工することにより耐水、耐気、耐油性などをもちあふることができる。最初に使用されたのは昭和 24 年であり、工業用に使用されたのは昭和 33 年以降であり新しいコートである。最初のころの運転速度は 150 m/min 程度であったが、紙とプラスチックの結合度を高める研究などがなされており、工場のテストマシンでは運転速度 750 m/min を越える速度で運転された記録がある。樹脂の研究とあいまって今後の発展を期待できるものである。(図 2. 7)

3. コータ電機品の概要

当社が最近製作、納入したコート電機品のうちで代表的と思われる オフマシン 片面エアナイフコートにつき紹介する。

3. 1 仕様の概略

原紙幅	1580~2008 mm
坪量(ツボリヨウ)	50~140 g/m ²
巻戻コイル外径	400~1100 mm
巻取コイル径	165~1100 mm

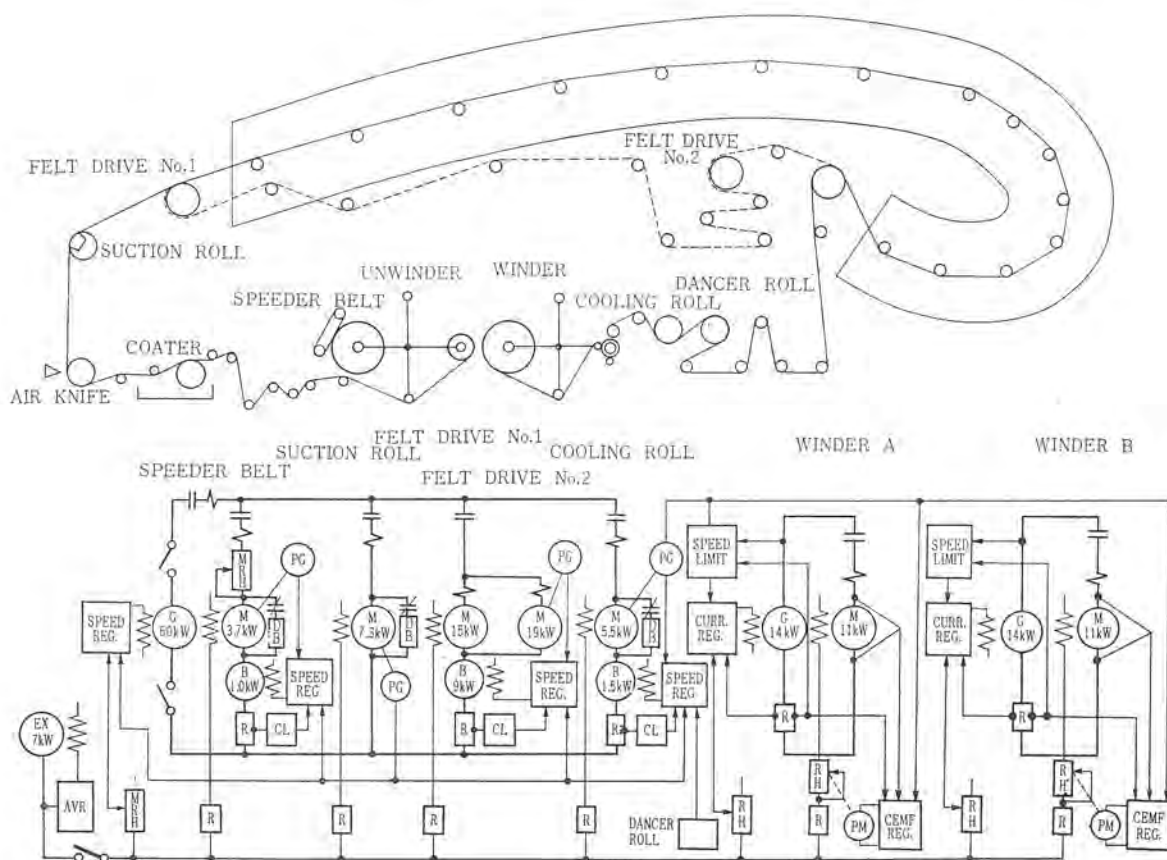
巻取運転張力	46~155 kg/幅
巻取テープ量	0~50%
静止張力	23 kg/幅
運転速度	100~250 m/min
通紙速度	20 m/min
速度精度	±0.1% 以下
フロ調整範囲	±5%
加減速度	5~10 m/min/sec

機械構成の概略と、電機品の簡略結線図とを図 3. 1 に、直流制御盤の外観を図 3. 2、その内部を図 3. 3 電磁弁盤の外観を図 3. 4、その内部を図 3. 5 に交流補助電動機盤を図 3. 6 にそれぞれ示す。

3. 2 電機品の概要

図 3. 1 から明らかなように、2アームターレット式アンワインダから巻き戻した紙にエアナイフコートによって塗工を行ない、エンドレスに回転するフェルトに乗せられてアーチドライヤーにはいり熱風を吹き付けて乾燥を行ない、クーリングロールで冷却したのちに2アームのターレット式ワインダにより中心駆動で巻き取られる。

アンワインダからコート部にかけての紙張力は、張力検出器とエアブレーキとにより自動調整される。アンワインダ上の旧コイル径が小さくなるとスピードベルトにより新コイルを加速して自動紙継ぎを行なう。紙継ぎ部分がコータを通るときには塗工を中止するために、アプリケータロールに紙を接触させているところのリードインロールおよびオールドダウンロール、余分の塗料を吹き除いているところのエアナイフとが自動的に上昇し、紙継ぎ部分が通過したら下降するように電磁弁回路にも自動操作の回路が使用されている。紙継ぎが終わるとスピードベルトは後退して停止する。



紙幅 2008 mm
速度 100~250m/min
坪量 50~140 g/m²

図 3. 1 オフマシン 片面エアナイフコート

Fig. 3. 1 Off machine air knife coater.



図 3.2 オフマシン片面エアナイフコータ 直流制御盤
Fig. 3.2 Direct current control cubicles for off machine air knife coater.

サクションロールは、このコータの速度基準となっており常に一定の速度で運転される。他のセクションはサクションロールの速度に対して一定のドローをもって運転する。アーチドライヤの中を紙を移送するのにエンドレスのフェルトが使用されているが、このフェルトを駆動するために No. 1 および No. 2 フェルトドライバが用意されており、No. 2 フェルトドライバが速度制御を行ない、No. 1 フェルトドライバはヘルパとして使用され、界磁調整器により負荷分担の調整を行なう。アーチドライバとクリーニングロールとの間ではドライバの中での紙の伸縮に対しても張力の変化がないように、張力制御を行なっている。

ワインダは 2 アームターレット式であるが、それぞれの電動機は地上に設置されて、チェーンによりコアまで動力が伝達される。2 台のワインダにはそれぞれ専用の発電機が用意されており、機械損補償、慣性補償を併用した電流制御による張力制御を行なっている。

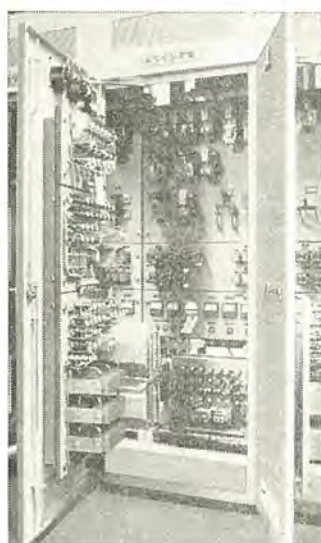


図 3.3 直流制御盤内部
Fig. 3.3 Interior view of DC control cubicle.



図 3.4 電磁弁制御盤
Fig. 3.4 Control cubicle for valves.

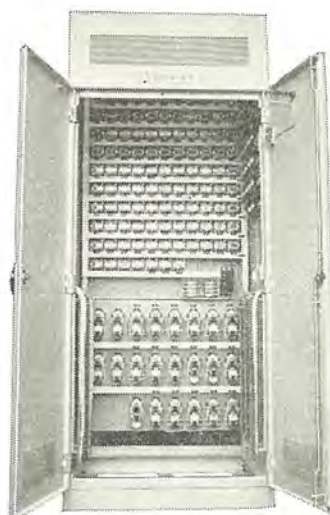
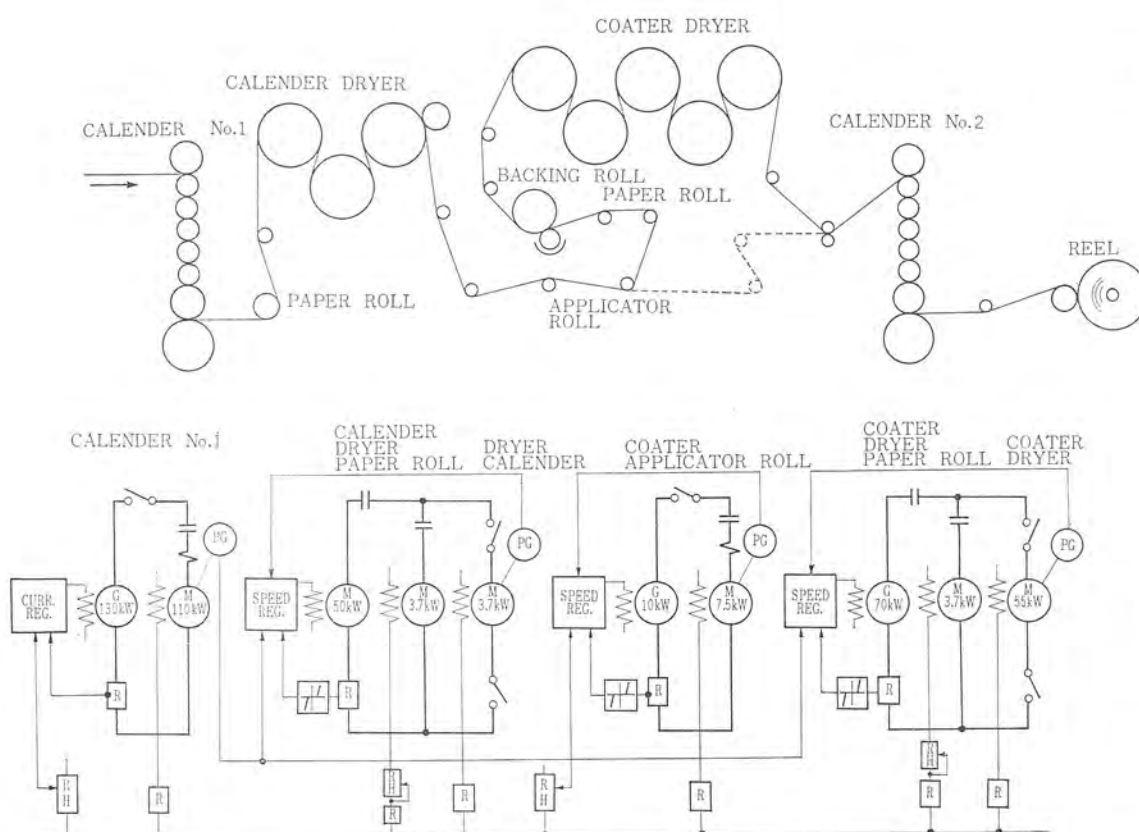


図 3.5 電磁弁盤内部
Fig. 3.5 Interior view of control cubicle for valves.



図 3.6 交流補助電動機盤
Fig. 3.6 Control cubicle for auxiliary motors.



紙幅 6960 mm
速度 200~600m/min
坪量 130~460 g/m²

図 3.7
オンマシンコータ
Fig. 3.7
Mechanical arrangement
electrical schematic diagram
for on-machine coater.

ワインダの一方のアームのコイル径が決められた大きさになると、ワインダのターレットを回転させて、コア交換位置で停止させる。

空コアを電流制御により加速し、速度制限装置により運転速度より数%早い表面速度で回転させる。プレッサロールと空気流により空コアに巻き付けて、ナイフにより旧コアの紙を切断して旧コアを停止させる。ワインダのコア交換も押しボタン2個を操作するだけで自動的に、ターレットの回転、定位置停止、プレッサロール加圧、エアノズル噴射、ナイフ動作および復帰、旧コア停止、などの一連の動作を行なうことができる。

電氣的な操作を行なう操作盤は机形が3面、壁掛形が2面あり各所に設置されている。直流制御盤、電磁弁盤および補助交流電動機盤はキューピクル形配電盤で機械室内に設置されている。

3.3 その他の代表例

製作例のうちから各種方式の代表的と思われるものの機械の概略構成と電気の簡略結線図とをかかげる。

3.3.1 オンマシン コータ (図 3.7)

紙幅 6960 mm, 食品用板紙抄紙機の オンマシンコータで、運転速度は 200~600 m/min, 坪量は 130~460 g/m² 国産最大の オンマシンコータである。負荷変動 25% において速度変動 0.05% の仕様に対し、仕様を上回る良好な結果を得た。カレンダーとパッキングロールとはラインシャフト駆動である。

3.3.2 エクストルージョン コータ (図 3.8)

紙幅 1700 mm, 坪量 38~200 g/m², 運転速度 40~400 m/min のエクストルージョンコータである。

3.3.3 オフマシン両面エアナイフ コータ (図 3.9, 3.10)

紙幅 3350 mm, 坪量 50~100 g/m², 運転速度 150~300 m/min, 国内のコータのうちで、機械的規模が最大のコータであり世界的にも最大級のものである。

3.3.4 オフマシン両面ブレード コータ (図 3.11, 3.12, 3.13)

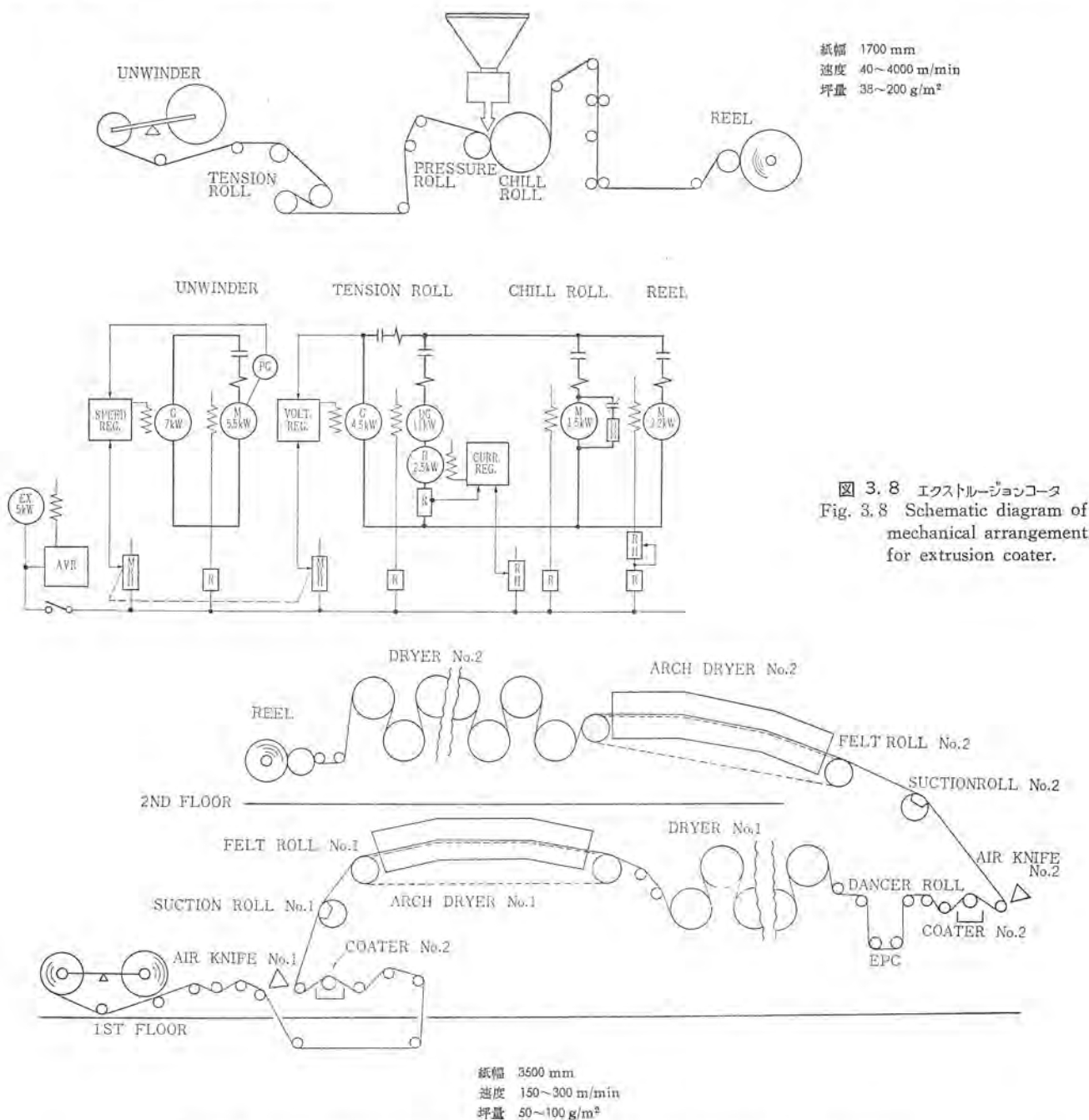


図 3.9 オフマシン 両面 エアナイフコータ Fig. 3.9 Off machine inverted air knife coater.

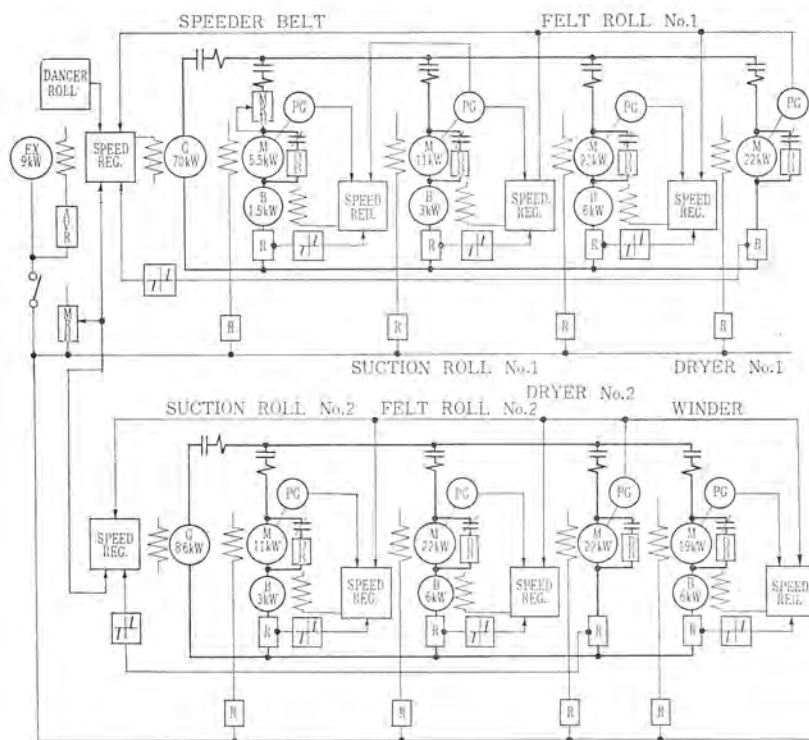
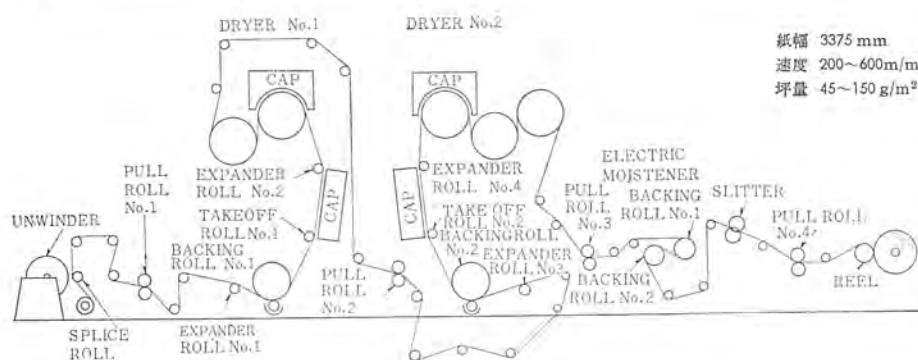


図 3.10 オフマシン 両面エアナイフコータ 簡略結線図

Fig. 3.10 Schematic diagram of off-machine inverted air knife coater.



紙幅 3375 mm
速度 200~600m/min
坪量 45~150 g/m²

図 3.11 オフマシン 両面 ブレードコータ

Fig. 3.11 Off-machine inverted blade coater.

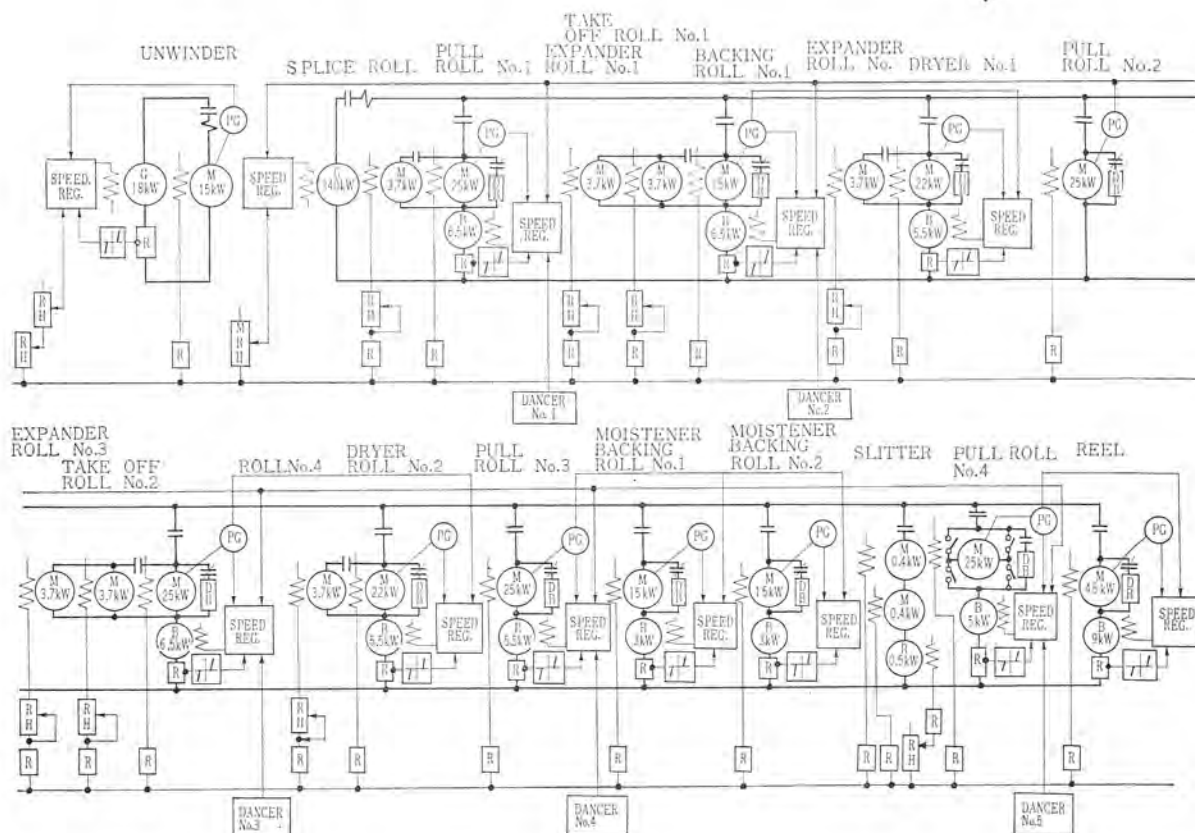


図 3.12 オフマシン 両面 ブレードコータ 簡略結線

Fig. 3.12 Schematic diagram of off-machine inverted blade coater.

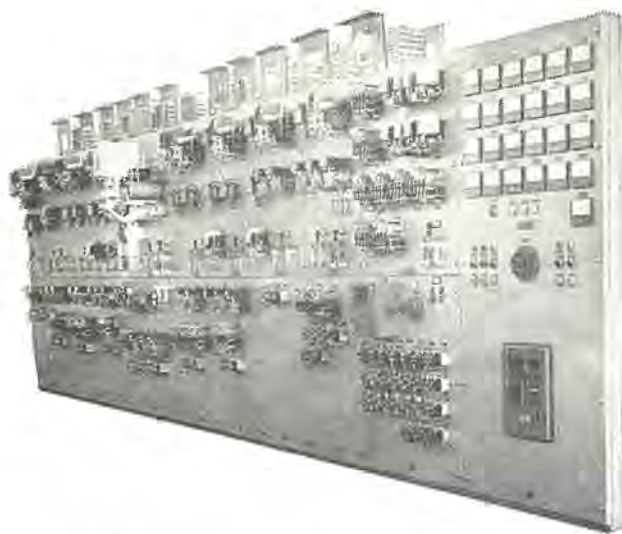


図 3.13 オフマシン 両面 ブレードコート 用直流制御盤
Fig. 3.13 Direct current control panel for off-machine inverted blade coater.

表 3.1 コータ電機品製作経歴

納入先	運転速度 (m/min)	納入年度	その他
五 条 製 紙	125	昭 34	オフマシンコート
三 菱 製 紙 (高砂)	37.5~300	35	オフマシンコート
三 菱 製 紙 (高砂)	30~180	37	オフマシンコート
三 菱 製 紙 (京都)	45~300	37	オフマシンコート
某 社	20~100	38	オフマシンコート
ソ 連 (シクティフカル)	200~600	39	オンマシンコート
石 川 島 播 磨 重 工 業	100~250	39	オフマシンコート
石 川 島 播 磨 重 工 業	50~250	40	オフマシンコート
石 川 島 播 磨 重 工 業	150~300	41	オフマシン両面コート
三 菱 重 工 業	40~400	41	エクストルージョンコート
三 菱 重 工 業	200~600	41	オフマシン両面コート
王 子 製 紙 (春日井)	250~750	41	高速ノリ 縦装置巻戻機のみ

紙幅 3375 mm, 坪量 45~150 g/m², 運転速度 200~600 m/min, 国内のコータのうちで本格的な エレクトリックモイスタを使用した最初のコータである。モイスタ パッキング ロール No. 1 および No. 2 と水の噴射 ノズル との間に直流 10 万 V を印加して、微細な霧状にして処理する。駆動電動機数でも、駆動容量でも生産能力でも国内最大の規模のブレード コータである。世界的にも最大級のものである。

3.4 製作経歴

当社のコータ電機品製作経歴を表 3.1 に示す。

4. コータ電機品の問題点

コート紙が最初に商品として製造されたのは 1852 年のことであるが、現在のようにコータの需要が急増したのはごく最近のことである。増加の様子をアメリカの例でみると、

昭和 34 年のアメリカ内でのコート紙の生産量は 190 万 ton であったものが、昭和 40 年には 288 万 ton になっている。すなわち 6 年間で、50% の伸びを示している。雑誌、カタログなどに使用されるコート紙の原紙の単位面積あたりの重量は年々低下しているから、コート紙の面積の増加は、コート紙生産トン数の増加の割合よりさらに大きいことが想像される。

このように急増するコート紙の需要にこたえるためにコータ設備の新設が続いているのであるが、新設される機械は年々設計速度が上昇し、坪量も小さいものが使用されるようになってきている。それに伴って電機品に対する要求仕様も複雑で、むずかしいものになってきている。欧米で新しく製作された設備と同様の性能を有する設備を、何年か遅れて国産する例が多いが、最近ではこ

の遅れが段々縮まってきた。このような場合には欧米の設備の資料もなかなか入手できないし、最近のように短納期の製品では電報で問い合わせても回答がきたころには製作に取りかかっており仕様変更すれば納期に間に合わないということも起こり得る。最終需要家、機械メーカ、電機メーカの三者ともはつきりしない場合には、機械品も電機品も、仕様過剰のものになりがちである。これは需要家にとっても、メーカにとっても損失であるので、製作経験やテスト コータによる実験などによりできるだけ適正仕様に近いようにしなければならない。3 章にかかげたコータ電機品を製作して、共通して問題となると思われる、速度制御、ノリ付け制御、巻取り制御の三つについて考えてみる。

4.1 速度制御

抄紙機の駆動装置の変センと同様に、コータ駆動装置も最近までラインシャフト駆動方式が使用されてきた。最近のコータ設備でも、テストコータや小規模の実用機などではラインシャフト駆動方式が使用されている。ラインシャフト駆動方式を使用すれば、単一の電動機を速度制御で駆動するだけで、コータの各セクションは強固に連結されて、各セクション間の相互の速度は、負荷変動、加速時、減速時、にも常に一定に保たれる。この場合には、電源電圧変動、周波数変動、負荷変動などに対して、ラインシャフト電動機を一定に保てばよいのであるから簡単である。最近の実用機はセクショナル駆動方式が一般的であるのでこの節では、コータ電機品のセクショナル駆動方式の速度制御について考える。

4.1.1 速度制御精度および張力制御の必要性

コータ電機品の制御をまったく速度制御だけによって行なおうとする場合に、速度制御精度をどの程度にしたら満足な操業ができるかということが問題となる。このときに抄紙機の速度制御精度を決める際に問題とする事柄とさらにコータ特有の問題がある。これは抄紙機とコータの運転方法の差違によるものである。

抄紙機においては、抄紙を始めるに先だって、各セクションとも指定の速度で運転させておいてから、ワイヤに種を乗せたり、サクショスピックアップを下降させるなどの作業を行なう。運転中には抄速を変えることはあまりなく、抄速変更をする場合でもごくわずかづつ行ない、速度を急変することはない。抄紙機を停める場合でも、抄紙をやめてから各セクションを切り離す。

コータにおいては、巻戻し機から巻取り機まで紙を通しておいてから各セクションをいっせいに加速し、停止するときにも各セクションとも、セン(揃)速制御を行ないながら減速し停止させる。加減速中の紙は損紙になるので、損紙を少なくするために急加減速を要求される。定速運転中にかざれば、隣合う 2 つのセクションの速度を材料の進行順に V_1, V_2 , 係数を E , 紙張力を T とすると、 $T = E(V_2 - V_1)/V_1$, の関係があるので、紙の許容張力範囲によって、要求される速度制御精度を決定することができるのであるが、加減速中には、速度制御だけで紙張力を一定に制御することはできない。速度制御だけによって運転しているコータもあるが、これは加減速時の紙張力の変動が、許容張力範囲内になるように加減速度を減じて運転を行なっているのである。

急加減速を行なうコータでは張力検出器を設けて、直接紙張力を検出して許容張力範囲内になるように張力制御を行なう必要がある。

セクション間の張力制御を行なうのに垂下特性をもたせた速度制御を行なう方法も一般的であるが、機械的構造にもよるが、紙の有無にかかわらず、負荷電流に変化のないセクションがある。この

ようなセクションでは実際上張力変動による負荷電流を検出することができない。紙が弱くて負荷電流を変化させるだけの張力を掛けられないような場合もある。

このように垂下特性をもった速度制御がどこでも使用できるとはかぎらない。各セクション間に張力検出器を設置して速度を調整する方法が最も理想的である。

コータ電機品の製作仕様では、負荷変動20%で速度変動0.1%のように指定されることが多いのであるが、この数字のみを守って、積分制御の速度制御を行なえば、負荷変動に対する定常偏差はゼロにすることができて、上記仕様を満たすのであるが、加減速時には各セクションのGD²の影響がそのまま表われて紙がずたずたになってしまい、まったく使いものにならないことも起こり得る。

将来は、マスタセクションにのみ速度精度が指定され、他のセクションについては、電圧変動、周波数変動のある範囲内で使用張力範囲を指定し、加減速時を含めて、張力変動±30%以内のこと、などと指定されるようになるであろう。このほうが紙を切らずに運転するという目的にかなっている。最終需要家から電機品込みで機械メカに発注され、機械メカから電機メカに電機品を発注するという場合が多いのであるが、電機品の仕様の打ち合わせの段階で、張力検出器を追加するのは、機械の構造、寸法の変更を要するので、たいへん困難な場合が多い。

張力検出器としては、ダンサロールと差動トランスを使用したもの、ダンサロールとシンクロ発信器を使用したもの、板バネと差動トランスを使用したもの、圧力による導磁率の変化を使用したものなどがある。いずれを使用するかは、機械的構造、使用される張力範囲、納期などによって決められる。

紙に印加される張力が破断張力以内であっても適正張力を越えると縦じわを生じて製品にならないし、張力が不足の場合には、ドラムドライヤ部で横じわを生じたり、EPCを使用しても制御できずにダ行したり、アーチドライヤ中で紙とフェルトとの間に空気が入り込み、紙が浮き上がってしまったり、種々不つづろを生ずる。高速機ではとくに適正張力に保つことが大切である。

ブレードコータにおいてブレードをタッチさせるときと離すときには駆動電動機定格の数十%におよぶ負荷変動がある。各セクション間が機械的に強固に結合されている場合以外は、このときにコータバックングロールの速度変化が必ず起こる。ブレードの着、離に際しても他のセクションでは負荷変動は起こらないのであるから、バックングロールの前後で紙の伸びあるいは縮みが起きて、紙の張力変動を生ずる。

この張力変動が許容範囲内であればよいが、許容範囲を越えると縦じわを生じたり、紙切れを生じたりする。このような不具合を避けるために、一定張力を保ったまま紙の長さを調節するような緩衝装置が必要となる。

一般にこれをダンサロールによって行なっている。ダンサロールはバックングロールの速度の変化に応じてすみやかに動き、紙の伸縮を吸収しなければならない。ダンサロールの動きが遅くて紙の伸縮の速度に追従できなければ紙の張力変動を生じダンサロールとしての役目を果たすことができない。

ペイト社あるいは三菱重工業ではエアローデットテンションデバイスという装置を使用して高速コータに多数の実績を有している。これは図4.1に示すような構造でコータの各セクション間に設置される。ロールは水平方向に±10cm動くことができ、ロールの動きを指示

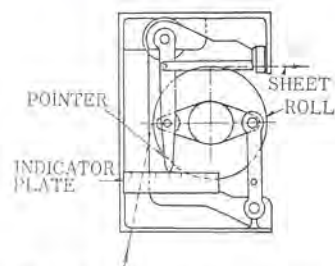


図 4.1 エアローデットテンションデバイス
Fig. 4.1 Air-loaded tension device.

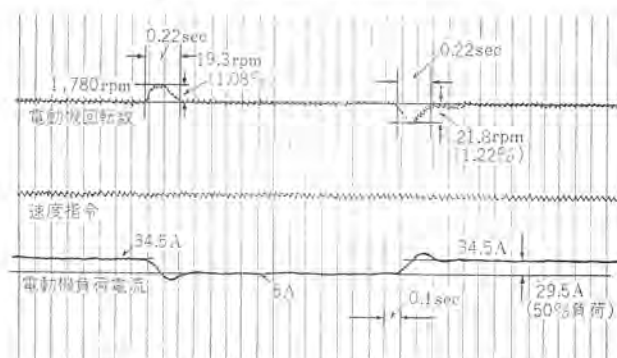


図 4.2 コータ駆動用 11 kW 直流電動機速度制御過渡特性 (50% 負荷急変)

Fig. 4.2 Transient characteristics of a speed controlled 11 kW DCM for coating machine drive (50% load change).

するための指示器が用意されており、運転者が容易に紙張力を知ることができる。張力制御を行なわない場合にはこの指示に基づいて各セクション間のドローを調整することができる。張力制御を行なう場合にはこのロールの動きを電気信号に変えてロールを常に中心の位置にくるように制御する。

運転速度 600 m/min、速度制御精度 0.1% のコータにおいて、0.1% の速度変動を生じた場合には、1 cm/sec の速度差になる。ロールは±10 cm 動けるから 10 秒以内に速度が元に戻れば紙張力に変化が生ずることはない。運転速度が 1200 m/min、速度制御精度が 0.1% の場合には、5 秒以内に速度を修正しなければならない。

もしもこのダンサロールがなくて、セクション間の紙の伸びが仮に 1 cm 許容されるものとすれば、上記の条件においてそれぞれ、1 sec、0.5 sec 以内に速度を修正することが必要となる。速度制御の応答時間が遅くて 1 sec、あるいは 0.5 sec 以内に速度を修正しきれなければ紙張力に許容値以上の変動を生じて不具合である。

このことから、ロールの動きを生じないような張力検出装置、たとえば、ロードセル、プレスダクタなどを使用する場合にも、緩衝装置として上記のような装置を備える必要があることがわかる。またダンサロールを使用せずに速度制御だけにたよるときには、速度精度あるいは応答速度に対する要求が高度になり、電機品の価格が増し需要家にとって不経済になる場合もあることがわかる。

コータ駆動用 11 kW 直流電動機の工場における組み合わせ試験の際の 50% 負荷急変時の速度制御過渡特性の一例を図 4.2 に示す。速度変動は 0.02 秒で回復している。積分制御を行なっているので定常偏差はゼロである。機械時定数は 0.29 sec である。

4.1.2 加減速時の問題

コータの駆動電機品と抄紙機の駆動電機品との最大の相違点は加減速時の各セクションのセン速が必要であるのと不要であるとの相違であろう。抄紙機では、全セクションが運転速度に達してから

紙の生産が始まるのに対して、コータでは巻戻し機から巻取り機まで紙を通しておいてから起動加速を行なう。停止する場合でも、抄紙機は、紙の生産を止めてから各セクションをバラバラに停止させるが、コータでは、紙が切れないようにセン速制御を行ないながら停止させる。

機械的 GD^2 や電動機容量、定格回転数など、種々の値が異なるセクションを、損紙を最小限にとどめるために電動機能力の許す限りの加減速電流を流して、できるだけ短時間で加減速することを要求される。この場合各セクション間に張力制御を行なうのは大変有効な手段である。速度制御系を1形にすれば定速運転中の定常偏差をゼロにすることができるが、一定加速度で変化する入力信号に対しては定常偏差が表われる。一定加速度で変化する信号に対して定常偏差をゼロにするためには、2形の制御系にしなければならない。2形速度制御系をもったコータ電機品を製作し、好結果のうちに組み合わせ試験を終え、客先に納入した。

4.2 ノリ(糊)継制御

コータの運転においては、機械は一定速度で運転を続けながら給紙コイルがなくなると次々と新しいコイルをノリ継ぎして、給紙を続けていく。このため、給紙のノリ継ぎ制御は不可欠のものである。

給紙コイルを装着する巻戻し機にも、2本あるいは3本アームの回転式のもの、給紙コイル径の大きいときには固定のベダスタル上に置き、径が小さくなるとアームに移す、トランスファタイプのものなどがある。新コイルの駆動方式にもベルトによる表面駆動のものと中心軸駆動のものがあり、紙継ぎ動作を自動的に行なうもの、手で新紙表面速度をライン速度に合わせる方式のものなど、種々の形式がある。

一例としてターレットタイプ、表面駆動方式の巻戻し機を図4.3に示す。

運転中は運転位置にあり、新コイルをターレットに装着する。巻戻しコイルの径が小さくなるとターレットを反時計方向に回転し、新コイル表面とプレッシャロール表面との間隔が一定の値になると停止し、スピードベルトが新コイル表面に接触し電動機により新コイルを駆動する。ベルト駆動電動機は速度制御を行っており、新コイルの表面速度をライン速度と一定の速度関係になるように制御する。

新リール表面のノリの位置が、プレッシャロールとある関係位置にきたときにプレッシャロールを新リール表面に押し付ける。さらにノ

リの位置が進んでプレッシャロールとある関係位置にきたときにナイフを動作させて旧紙を切断する。ノリ付け部分がプレッシャロールの下を通ると、新コイルの巻きはじめの部分が旧紙の終端にノリ付けされる。プレッシャロールとスピードベルトとを後退させてベルト駆動電動機を停止させればノリ付けは完了する。

コータ、新聞輪転機など以外に今まで自動ノリ継装置を使用しなかった機械たとえばスーパーカレンダーなどでも最近では自動ノリ継装置を使用して、加減速時間の損失をなくし生産性を上げる傾向にある。製紙工業界において自動ノリ継装置の使用される分野は今後さらに広がるものと思われる。

4.2.1 オートペースタ(自動ノリ継装置)

運転速度が100 m/minを越えると、プレッシャロールやナイフの動作したことが見わけられなくなる。300 m/minになると、紙の継ぎ目が走るのが見えなくなる。

高速で回転する新リールのノリ付け位置とプレッシャロールの相対的位置を測定して、プレッシャロールを動作させ、続いてナイフを動作させて、高速においても確実に、しかも任意のテイル長に制御するために、プレッシャロールを動作させる信号、ナイフを動作させる信号を発生する装置をオートペースタ(自動ノリ継装置)と名付

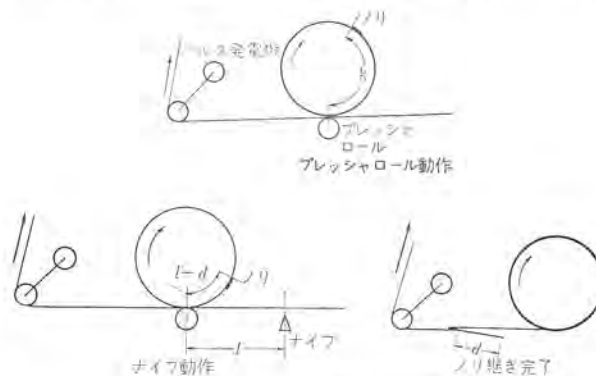


図 4.4 ノリ継動作
Fig. 4.4 Movement of pressure roll and knife.



図 4.5 オートペースタ
Fig. 4.5 Auto paster.



図 4.6 オートペースタ内部
Fig. 4.6 Auto paster with the cover removed.

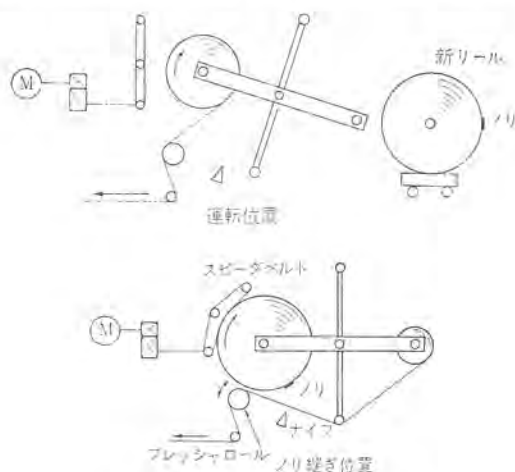


図 4.3 ターレット形巻戻機
Fig. 4.3 Turret type unwinder.

けている。(図4.4)

紙の長さ1mmにつき1パルスを出すようなパルス発電機と、新リールが1回転すると1パルスの信号を出す装置とを用意する。新リールの表面速度をライン速度に s 速したのち、新リール1回転に1パルス発生するパルスの2個のパルス間の1mm単位ごとのパルスを $1/10$ に分周し計数して記憶する。これを s とすると新リールの円周が s cmであることがわかる。この s から1mmごとのパルスの $1/10$ に分周したものを減算していき残りが k になったときにラレツァーロールを動作させる。 k はラレツァーロールの動作時間や新リール径の使用範囲などから決められる。更に減算を続けて残りが $l-d$ になったときにナイフを動作させる。(ラレツァーロールとナイフとの間の距離を l cmとする)旧紙のテイル長は d cmとなる。 k および d の値は任意に設定できるので1cm単位でテイル長を制御することができる。

この機器を実際に使用した結果は良好で、確実に動作し、しかもテイル長のバラツキもない。(図4.5, 4.6)

360mm(w)×220mm(k)×360mm(l)のコンパクトな装置であるので現場の操作盤に組み込んで使用する。

4.2.2 高速運転時のノリ継制御

アメリカにおいては、設計最高速度900m/minのコータがあちこちで設置されているようであるが、必ずしも運転開始と同時に最高速度で運転されていないようである。これは主としてノリ継ぎ装置の不調が原因となっていると考えられる。

ドライの乾燥能力、駆動装置の性能、そのほかすべての条件が、900m/minの運転条件を十分満たすものであっても、ノリ継ぎ制御の可能な速度で運転を行わなければならない。ノリ継ぎ制御が600m/minまでしか満足に働かなければ、コータの運転可能な最高速度は600m/minになってしまう。なぜならば、運転速度は900m/minにし、紙継ぎ時には600m/minに減速するとすれば、直径1200mmφ、52gr/m²の紙コイルを使用しても約10分ごとに減速しなければならないという煩雑さ以外に、運転速度が変化すると塗工量も変化し、乾燥の度合いも変化するので均一な製品を作れないという重大な欠点がある。ノリ継ぎ制御の良否はコータ運転の成否を決するほど重要なものである。

新聞輪転機においてもコータの給紙部と同様に2本あるいは3本のターレット式巻戻し機を使用して給紙し、運転中に自動ノリ継ぎを行なう。発行部数の増加と原稿の締切り時間を遅くするために、新聞輪転機の運転速度も急速に上昇しており、現在のところ680m/min(15万部/時)が最高である。自動ノリ継ぎ制御の可能な速度は、世界でも優秀と認められている会社の製品でも500m/minが最高でそれも最高速度での成功率はあまり高くないようである。

当社は昭和39年春から三菱重工業と共同で輪転機用高速自動ノリ継ぎ装置を製作し、昭和40年春から種々のテストを行ない、それによって、旧紙コイル径を純電氣的に測定してノリ継ぎを行なう、まったく人手を使う必要のない、全自動のノリ継ぎ装置を完成した。このテスト機械では、640m/minでのノリ継ぎも余裕をもって行ない、400~520m/minの多数回のノリ継ぎテストでは98%以上の成功率を得ている。このテストにおいて新紙コイル駆動装置の所要速度精度、新紙コイル表面と、旧紙速度とのノリ継ぎ可能な相対速度範囲、その他機械的、電氣的に、種々有益な資料を得ることができた。これによりノリ継ぎ速度680m/min(15万部/時)の自動ノリ継ぎ制御装置の標準品を完成した。コータ電

最近のコータ用電機品・安斎・兵頭

機品の巻戻し機にもこの技術はまったく同様に適用できる。今回最高速度750m/minのコータの給紙装置を製作し王子製紙(春日井工場)に納入し、好調に運転中である。

現在当社では、種々の方式ノリの継ぎ制御装置を製作し得るし、最高速度900m/minの確実な自動ノリ継ぎ装置も製作可能である。

4.3 巻取制御

巻取り機には、ターレット上で中心軸駆動で巻き取る方式と、抄紙機で多く用いられるように、表面駆動で巻き取る方式とがある。表面に圧力を加えることのできない感圧紙などは中心駆動で巻き取らなければならない。高速のコータでは機械的強度の関係で表面駆動方式が採用されるようである。いずれを採用するかにより制御装置は異ってくる。

4.3.1 中心軸駆動方式

巻取り用直流電動機の逆起電圧制御を行ないつつ張力制御を行なうのであるが、張力制御を直流電動機の電機子電流を制御することによって行なう方式と、実際の紙張力を検出して張力制御を行なう方式とがある。

電機子電流を制御することにより張力制御を行なう方式は、紙に印加する張力が大きく、張力に使用される動力が、巻取り機の機械損失に消費される動力よりはるかに大きくて機械損失の変動が無視できる場合にのみ使用できる。一定速度で運転中でもコイル径が変化するようにして、電動機速度が変化し機械損失が変化する。機械損失変化の実測値の一例を図4.7に示す。機械損失が最大の部分では電動機定格の40%以上にも達している。運転最高速度で50%の張力設定を行なったとすれば、巻き初めには紙の張力は10%ぐらいであり、コイル径が5倍に巻き太ったときには紙張力は45%に増加する。張力設定を40%以下にしたら、巻きはじめには紙に張力を与えることはできずにたるんでしまう。機械損失を補償すれば使用できるが機械損失が経年変化するのでときどき調整し直す必要がある。

ターレット式ワインダで電動機を地上に設置する方式の機械では、一方のワインダを運転中に、他方のワインダを起動停止すれば機械損失が変化し、電流制御の電流値を一定に保つだけでは紙張力が大幅に変化するものがあるのであらかじめ注意する必要がある。

原紙の坪量変化範囲が大きくて坪量の小さい紙まで使用するもの、張力設定範囲が1:4を越えるものでは、張力検出器を使用したほうが無難である。

張力検出器を使用する場合には、電流制御をしておいて電流設定値をサーボモータで修正する方法と、張力検出器の出力と張力設

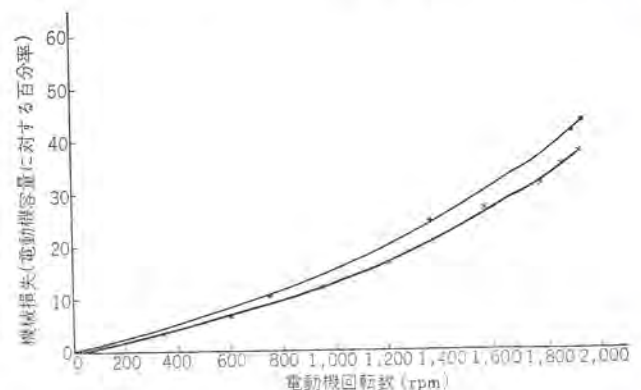


図4.7 ウィンダ機械損失曲線
Fig. 4.7 Winder mechanical loss curve vs motor speed.

定値とを比較して その誤差信号により増幅器を通して巻取り電動機を制御する方法とがあるが、いずれの方法によっても良好な結果が得られる。

4.3.2 表面駆動方式

抄紙機のワインダの制御と同一である。速度制御と電流制御とを切り換えて使用するもの、垂下特性をもった速度制御を行なうもの、張力検出器の出力により速度を修正するものなどがある。

5. コータの最近の傾向と将来の問題

高速運転が可能なることから、外国ではブレードコータが大流行で、ブレードコータの改良がコータ発展の原動力になったといわれている。アメリカでは既設のエナイツコータがどんどんブレードコータに置き換えられて全コータの3分の2がブレードコータになった。最近、ヨーロッパで設置されたコータはほとんど全部ブレードコータであるとのことである。一方、エナイツコータも研究されて600 m/minの高速コータもある由である。国内では今のところエナイツコータのほうが多いが、将来はどうなるであろうか。

よいコート紙を得るためにはよい原紙を使用しなければならないことから均一な紙を製造するための抄紙機に関する研究の発表もふえている。塗工材料に関する研究も盛んでとくにパラルコーティング（塗料の中に微細な空気のアワを作り塗工量を減じて、不透明度を保つことを目的とする）に対する関心も強い。

日本でのコータに関する秘密保持の傾向はたいへんなもので、TAPPIのコーティング会議でも発表され、世界的に有名になってしまったが、この傾向は今後とも続くのであろうか。

いろいろと話題は豊富であるがここでは、運転速度と計算機制御とについてご紹介したい。

5.1 運転速度

1台のコータで、できるだけ多量のコート紙を生産したほうが経済的であることは明らかであるので運転速度は増大するものと思われる。

運転速度が早くなれば、駆動装置に対して出される要求精度が高くなりまた早い応答速度が必要となる。これにこたえるために速度制御装置には、高い増幅率をもち、しかもドリフトの少ない演算増幅器の使用が一般的となり、各セクション間には紙の張力を検出するための張力検出器が使用されることとなる。

一つ忘れてはならないのは、電機メカの保証する精度はあくまでも電動機軸端での速度精度であって、電動機軸端から紙を駆動しているロールまでの間の動力伝達方式によっては、この速度精度が低下することがあることである。当社の製作したコータでもタイミングベルトを使用しているセクションでは回転にムラがあり、

電動機電流が振動するという現象があった。

機械と切り離して電動機単体で回転すると安定しているので原因が機械側にあることがわかるのであるが、機械と結合した状態では、機械負荷の変動によって負荷電流に変化が起きているのであるが、速度制御系の不安定に起因していると思われれることがある。このように機械側に回転ムラがあると電気系も速度制御精度を下げて使用しなければならない。歯車でしっかり結合してあるセクションではスムーズに回転するので、この回転ムラはタイミングベルトに原因があると思われる。高速の機械になるとロールの不整回転は張力変動や紙のタ(蛇)行などを起こすので、回転を正確に伝達しないおそれのある動力伝達方式を採用する場合には十分な注意を要する。

ロールが高速回転⁽¹⁾すると、ロールと紙との間に空気をだき込んで ついには紙が空気の上にまったく乗ってしまい、ロールから紙に動力を伝達することができなくなる。(図5.1)

ロールと紙との動力伝達能力に影響を与える要因として、

- (1) 紙張力
- (2) 紙速度
- (3) ロール抱角
- (4) ロール径
- (5) 紙の通気性
- (6) 紙湿度
- (7) 紙の種類

があげられる。それぞれの要因の動力伝達能力に対する関係を図5.2に示す。

- (a) 紙張力—張力の増加により動力伝達能力が増大する。
- (b) 速度および通気性—通気性がよいか悪いかにより高速での動力伝達能力は大幅に変化する。(通気性(多孔性)を表わす単位として、標準圧力で6.45 cm³(1 in³)の紙を100 ccの空気が通り抜けるに要する時間を秒で表わしたものを使用する、数値が小さい程通気性が良い。)通気性のよいクラフト紙(4秒)は1200

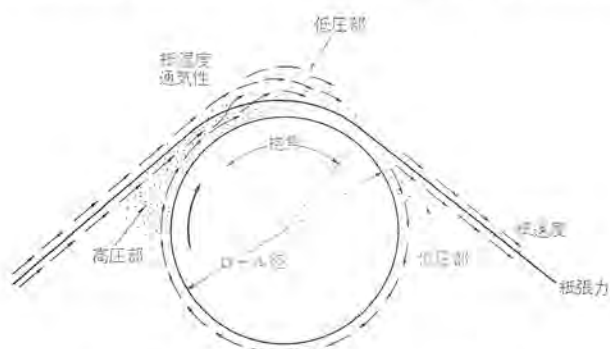


図 5.1 ロール上に紙が浮き上がった状態
Fig. 5.1 Ultimate "full floating" condition.

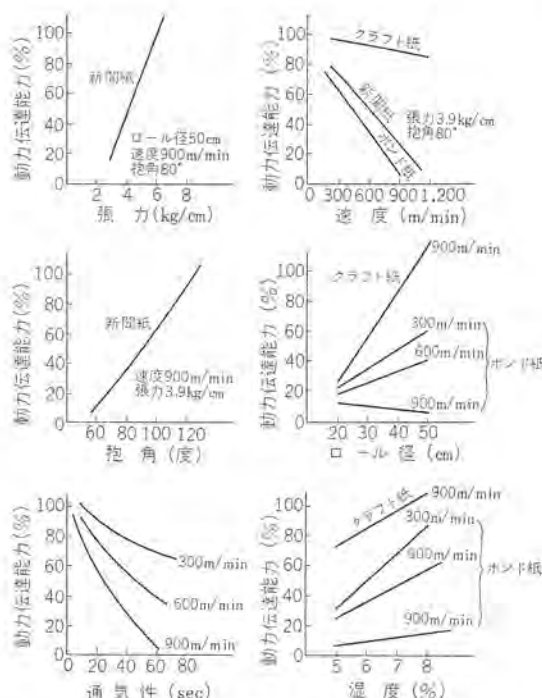


図 5.2 ロールと紙との動力伝達能力の変化
Fig. 5.2 Typical variation of roll traction as a function of significant variables.

m/min でもさしたる動力伝達能力の低下はみられないが、通気性の悪いボンド紙 (65 秒) では 900 m/min でほとんど動力伝達能力を失う、さらに通気性の悪い紙、たとえばコートしてスーパーカレンダに掛けた紙では 300 m/min 以下で完全にロール上に浮き上ってしまうものと想像される。

(c) 抱角—抱角が大きくなるほど、動力伝達能力は大きくなる。

(d) ロール径—同じ抱角では、ロール径が大きくなるほど、紙とロールとの接触する面積が増大するので動力伝達能力が増大する。ただし通気性の悪い紙を高速で運転する場合には、ロール径が増すにしたがって動力伝達能力が減少する。これは直径の大きいロールであるほどロール表面に沿って空気の層を作りやすくなり、紙との接触面積が増大するほど低い空気圧で紙を浮き上らせてしまうためである。

(e) 湿度—通気性のよい紙は湿度が高くなると摩擦係数が増大するので動力伝達能力が増大するが、通気性の悪い紙で運転速度の高い場合には、湿度の増加による摩擦係数の増大よりも、空気層の影響のほうが大きくて、動力伝達能力に対する湿度の影響は小さい。

高速運転で電氣的に問題となるのは精度、張力制御の早い応答、および加減速時間である。運転中のコートの負荷状態をみると、電動機定格の数十%程度であり、余分の動力は加減速時間を短くするために用意されている。今後コートの運転速度が高速になるにしたがって、損紙を最小限にとどめるために、高加減速度の運転が要求されるものと思われるが、これは電動機容量を増すだけでは達成できない、加減速度が大きくなるにしたがって、紙のスリップ、浮き上りなど、不安定な動きが増加するためである。高加減速度の運転を実現するためには種々な点に十分な検討を加える必要があろう。

5.2 計算機制御

未知の変数が多く、変数相互間の関係や、変数と製品との関係がわからないなど、多くの不明の要素を含んでいるために計算機制御がむずかしいといわれていた抄紙機も、外国ではすでに計算機制御が行なわれており、抄速の増加、生産量の増加、紙質変更時の休止時間の減少などの効果を得たと報ぜられているが、コ

ートにも計算機制御を行なった機械が完成した⁽⁹⁾。

運転最高速度 765 m/min のこのコートは、製造するコート紙に応じてそれぞれパンチテープが用意されており、製造するコート紙に応じて運転速度、各部の紙張力、温度などをこのテープによって計算機に記憶させ、運転中にβ線検出器により品質管理を行なうようになっている。これによりいつでもまったく同一の仕様のコート紙を製造することができ、今まで通りの機械を使用した場合よりも短時間に安価に、要求された仕様の製品を製造し出荷することができると説明されている。

ヨーロッパでもコートおよび抄紙機の計算機制御に対する関心が強いようで、各国でセミナーが開かれている由である。日本においても早晚コートの計算機制御という要求も現われよう。上記計算機制御コートの製作に先だって数年にわたる調査研究が行なわれた。国内大手機械メーカーではそれぞれテストコートを設置し、自社研究のほか依頼された紙のコーティングテストおよび運転操作の実習などに使用されているようである。計算機制御のための基礎資料を集めるためにも使用されていることであろう。

国内でも、鉄鋼関係では計算機制御が実施されており、計算機制御を行なう技術は各社ともすでにもっているの、基礎資料が集まればコートの計算機制御もさして困難なく実現するものと思われる。

6. む す び

最近 当社で製作したコート電機品のうち代表的と思われるものの概要と各コートに共通して問題となると思われる点を紹介した。今後ますます高速、大形化が進むであろうが、塗料、乾燥法、原紙の研究、開発とともに、更に新たな使用法も発明され、これに遅れないように電機的技術も向上させ、コートがいよいよ隆盛に向うのを願うものである。

(昭 41-3-10 受付)

参 考 文 献

- (1) D. A. DALY, TAPPI : 48 No. 9, 88 A (1956)
- (2) TAPPI : 48 No. 6, 15 A (1965)

MELISS 文 献 機 械 検 索 シ ス テ ム

— MELCOM-1530 の 利 用 —

有田不二男*・小林吉三郎**・黒田 寿一**

MELISS Document Retrieval System — Using Digital Computer MELCOM-1530 —

Central Research Laboratory Fujio ARITA・Kichisaburo KOBAYASHI・Toshikazu KURODA

For use with MELISS document information service system of the Company has been developed a new mechanized data retrieval system which employs the electronic digital computer MELCOM-1530 to strengthen and extend the function and has been put in a practical service since the beginning of the year 1966. In this system each of technical information is arranged in the form of a set of key words and is memorized on magnetic tapes by the computer through the punched cards. The required material is made available through the information retrieval function of the system, which is designed with a special device to operate with the least omission and noise in the retrieval. At present, it takes about 7.5 min. for each request to retrieve out of 10,000 stored data, but the improved system which is now under development will diminish the time to within the order of 1 min. This account gives the details of the system and also of the MELISS.

1. ま え が き

技術革新の世相を反映して、最近の科学技術文献数の増加は著しいものがあり、しかもその内容の専門化、細分化が進むとともに各専門技術分野間の関連の増大などの傾向も著しく、ある限られた専門分野の研究においてさえ、特定少数種の専門誌によってその全容をつかむことは非常に困難な状況になっている。このような状況のもとで、おびただしい文献の中から必要かつ十分な文献を迅速、適確に、漏れなくさがしだし、それを必要とするものが迅速に入手することを可能ならしめるためには情報管理体制の確立、とくにその業務処理方式の機械化による合理化が是非とも必要となってくる。このような情報管理機械化の中核になるものは当然最近長足の進歩を見せつつある電子計算機による情報処理方式であって、今後の企業体の経営意志決定の有力な手段を与えるものとして最近とくに注目されている広義の情報処理機械化である。ここで、文献機械検索体制の確立は非常に重要な意義をもつものと考えられ、当社の技術情報サービスシステム(MELISS—Mitsubishi Electric Corp. Literature and Information Search Service)はこのような技術文献の組織的管理を意図して昭和36年11月発足したが、その発足以来情報の蓄積とともに、機械化されたサービスシステムの開発に重点をおいて運営を進め、このほど電子計算機 MELCOM-1530 を検索機として利用する文献機械検索システムの開発を完了、昭和41年初頭から同機による本格的な検索サービスを開始した。この機会に、一般的な文献情報処理機械化の現状、とくにこの MELISS システムの特長諸機能と MELCOM-1530 による文献機械検索方式の概要を紹介し参考供したい。

2. 文献情報処理機械化の現状

電子計算機を利用して膨大なデータの中から問題解決のために必要なデータを取り出す方式はいわゆるインフォメーション・リトリバル(I. R.)技術としてここ数年来急激に進展してきたものであるが、とくに文献情報検索の機械化はそのうち最も基本的なものとして最近各国で大いに研究開発ならびに実用化が進められてい

る。これは文献情報の組織的管理運営上必然的に要求されるものであると同時に、単にこれが科学技術文献情報処理にとどまらず、特許調査、人事管理、需要販売分析、さらには法律業務処理や医学の自動診断分野など広範な応用分野と直結しうるものだからである。

文献情報処理のうち直接機械化の対象となりうるものは、たとえばこの情報処理活動を構成する4段階

- (1) 情報の収集
- (2) 情報の整理
- (3) 情報の検索
- (4) 情報の配布

のうち(2)～(4)、またその処理内容からみた分類

- (a) 資料原典の蓄積手段(マイクロ化)、複写、印刷に関するもの
- (b) 索引作成
- (c) 抄録、翻訳、主題分析
- (d) 情報検索

のうち(c)を除く各項であらう。

現在の日本の状況についていえば、上の(b)による文献索引作成作業は以前のPCSによる照合作表作業から進んで、最近ではアメリカで最初始められたKWIC, KWOCなどを中心とする作業に移りつつあり、官庁、企業体などこれを採択しているところは少なくない。しかしこれは要するにアルファベット順の文献リストを作るものであってももちろんそれ自体の重要性はあるが一応情報の検索作業とは区別して考えられるべきものである。(d)の情報検索は蓄積情報の中から求めるものを抽出する本来の検索作業であって各国とも活発な研究を進めつつある。日本でも現在外務省、通産省をはじめとして学校、官庁その他若干の企業体での開発が進められているが、ようやく実用化され始めた部門といえる。この場合の問題点、当社でのMELISSにおける方式などは次章以下に記するとおりである。

3. 情報機械検索システム設計、運用上の問題点

機械検索実施にあたり、最も重要な考慮項目の一つにその検

索作業をどのような方式に従って行なうかということがある。現有方式としてたとえば蓄積すべき情報がある基準に従って分類し、それによって検索を行なう方式（この場合にはたとえば分類コードの制定とか、リスト配列の仕方、その配列に従っての情報所在位置の見出しとか）などが主要な問題になる。あるいは内容的分類を度外視して自然語形態で与えた key word（見出し語）を蓄積と検索の双方に利用し、その双方の key word のマッチングにより検索する、などという方式がある。いずれを選定すべきかは使用すべき機種の機能上の特性のほか、検索の対象、あるいは検索の目的によっても著しく左右され、一概にいずれを可とするわけにはいかない。しかしとくに包括すべき対象の種類が広範でしかも旧概念で押し得ないような項目の追加補充が常時必要とされるような場合には、上記の自然語のマッチングによる検索方式を中心とし、必要に応じて一部に分類方式を取り入れたものが有利とみられる。ここで紹介する MELISS システムでは、そのような見とおしの下に当初から自然語 key word 体系による検索システムとしてスタートしたものであるが、この MELISS システムでは後述するように MELCOM-1530 による検索プログラムに諸種の独特な検索機能上の融通性をもたせたこととあいまって、一般的文献検索機としてはかなり機能的にすぐれたものとなっている。

なおこの MELISS システムに限らず自然語の key word 体系による検索を行なう場合、索引の用語規制が実際上非常に重要な問題となり、同義語、多意語、包括概念の大小など、規制処理の適否が、検索体系を生かすかどうかのキポイントの一つとなる。

また文献検索システムに実用性をもたせるための全体的な留意点として、必要な文献がどの程度適確に抽出されるか、ということはもちろん第一義的に重要であるが、情報の収集、蓄積を有効確実に進めるためのシステムの確立、計算機の直接的検索作業のスピード化、および文献要求者が要求を出してから最終的に原典またはそのコピーを入手するまでの総合的所要時間を短縮することが必要で、そのため原典の蓄積、複写、流通配布、までを含めた全体的な情報管理系のバランスのとれた合理化がシステム設計と運用に要求される。

4. MELISS システム概要

4.1 情報の収集と蓄積

情報の予託制度をとる。すなわち技術者または研究者が技術情報を入手、または利用したときにはこれを全社的に広く利用できるように内容を要約整理して社内情報センター（IC）に提供するという方法をとるもので、IC より一般技術者へ配布する新着誌のコンテンツシートサービスにリンクして、有用記事のコピー依頼者にその記事の報知的抄録、key word の記入を TI カード原稿の形にまとめて、IC に提供することを義務づけているわけである。ただし運営にあたっては利用者にとって、情報提供の負担が最小限にとどまるように配慮している。

利用者から TI カード原稿の形式で提供された情報は、内容を適切に表示する key word 群をつけるために IC で規制を受けたのち、規定の TI カードに標準化され、内容に無関係に番号をふりあて、番号順に蓄積される。

なお TI カードは MELISS の情報の蓄積、流通の担体となっている抄録カードであり、次の 5 部分、すなわち

- (1) key word グループ
- (2) カード番号 (TI 番号)

MELISS 文献機械検索システム—MELCOM-1530 の利用—・有田・小林・黒田

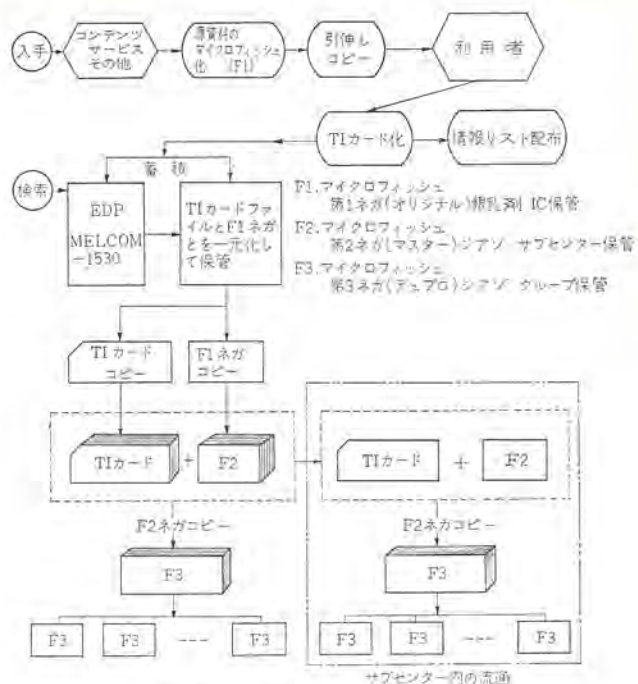


図 4.1 MELISS システムの概要
Fig. 4.1 Block diagram of MELISS system.

- (3) 書誌事項
- (4) 報知的抄録
- (5) マイクロフィルム番号、抄録者その他からなっている。

MELISS に収録された情報の原典は、マイクロフィルム化して保管するとともに、必要に応じてマイクロフィッシュを該当記事の TI カードの裏にはり付ける方法をとる。(図 4.1)

4.2 検索系の総合的な機能の増大方策

情報の収集から最終利用者への配布までの総合的諸作業の合理化をはかっている。すなわち、検索用電子計算機のほか、原典の蓄積、複写、配布などのため、マイクロフィッシュ、カメラ、シアゾーリソダリソダ、リーダー、その他電子式複写機、オフセット印刷機の各種の単機を有機的に組み合わせて用い、総合的な効果をあげる構成とする。

4.3 計算機への蓄積情報

情報の対象は自然科学全般にわたり、社内外で発生した技術に関する情報、および特許情報などのうちから現在の問題解決、または将来やくだつと予想されるものを選択的に磁気テープ中に収録する。詳細は後述する。

4.4 情報の蓄積および検索に使用する見出し語の規制

MELISS では情報の蓄積および検索に自然語の key word を用い、いわゆるコーディネート・インデックス方式を採用しているが、これは情報の内容を、その主題を適切に表示する key word 群で表示し、情報の蓄積および検索にやくだてる方法である。

key word の適否が検索効果を決めてしまうものであるから、自然語（英語）を用いる場合には用語の規制を行なうことが不可欠である。そのためにシソーラス（Thesaurus）を編集して同義語、言語の意味内容の多様性由来の問題を処理し、また各用語間の相互関係を指定して包括概念の規制、用語の定義づけなどを行なう。

基準として準拠しているのは“EJC THESAURUS OF ENGINEERING TERMS”で必要に応じて、適当に追加修正などを加える。

この key word の規制は、情報の蓄積、検索、いずれの場合に

も必要であって「key word 処理担当グループ」を設けてミソースに準拠して、利用者から提供される情報に記入された key word を適切な key word に規正し、また検索要求の内容をドゥ察して適切な key word を選定して検索指令語を決定する。

5. MELISS の機械検索方式

5.1 概要

要求する文献の内容を表現する key word を自然語の形で与え、それを蓄積文献の key word と照合し、その中に同一 key word を含むものがあれば、その文献番号をその文献に付けたすべての key word とともに抽出するというのが基本作業である。

蓄積文献は、(a) 文献発行年代、(b) 文献内容を表現する 120 字以内の自然語 key word グループ、(c) 文献番号、からなり、これら 3 組が 1 個の文献を表現する情報として磁気テープ中に蓄積される。

検索に際しては何件かの要求を一括処理する Batch 検索方式がとられる。すなわち、検索要求件ごとに質問 key word (単数または複数) をパンチし、それをカード・リーダーから一括読み込んで、それと磁気テープ中に蓄積された文献の key word との逐次照合が行なわれ要求 key word と一致したものはいったん他の磁気テープに格納され、全蓄積文献の照合動作完了後、抽出された内容を検索要求別に分類して高速ラインプリンタからプリントアウトされる。

このような文献検索を有効に実施するため、上記基本作業のほかに蓄積データの常時 up dating が必要であり、それらを能率的に行なえるようにくふうした諸種の付加ルーチンを有している。

自然語を key word として用いる検索方式において最も留意しなければならないのは、既述のように key word として使用する用語が十分に標準化されているということである。すなわち一般には蓄積用文献の key word をつける人と、検索要求の key word をつける人とは別人であるが、一方 key word の一致によってのみ文献抽出が可能となるから、用語の十分な標準化が行なわれず、同一意味内容が別の言葉で表現されていれば、実際には抽出が行なわれない。MELISS では IC で用語の規制を行ない、標準化を行なっているが、標準化の可能性には限度があり、全部の用語を規制することは不可能に近い。このような例は語尾変化の外挿性にとくに著しい。たとえば ELECTRON BOMBARDMENT と ELECTRON BOMBARDING とは両者とも同一内容を表現しているにもかかわらず、語尾変化によって、検索 key word として前者を用いたときは後者が、後者を用いたときには前者が、それぞれ抽出不可能となってしまう。このような検索漏れを防ぐ手段としては、BOMBARDMENT と BOMBARDING の両者による OR (論理和) 検索を施せばよいが、繁出する検索要求に対して上記方法は検索時間の増大を招き得策ではない。MELISS においては、いわゆる INDIFFERENT 検索機能をもたせ語尾変化に無関係な検索を行ないうることになっている。上例でいえば ELECTRONBOMBARD※ (※は以下 INDIFFERENT) という key word 検索を与えることにより BOMBARDMENT も BOMBARDING も両者とも抽出可能とする。この INDIFFERENT 機能をつけ加えることにより検索漏れに対する欠陥は大きく緩和されている。またこのシステムでは不要文献の抽出をできるだけ除外する目的で長い複合語もそのまま蓄積および検索の単位 key word として使用できるようになっており、そのため 1 文献あたりの key word の割当個数のみならず 1 個の key word の

語長として任意の長さを許している (最大字数 120 字)。したがって従来多く使用されている固定長、固定個数の key word を用いる表現形式では、いわば包括的な分類概念を表わす互いに独立な単語のら列をもって文献内容を表現していたのであるが、このような複合語によって、語間の相互関係をも考慮に入れて文献内容に固有の概念を表現することが可能になっている。たとえば、DIGITAL COMPUTER という言葉は DIGITAL と COMPUTER とを独立にならべた見出し語よりは、はるかに個性の強い概念を表わしていることになる。DIGITAL COMPUTER に関する文献を取り出したい場合、もし複合語を使用しないで DIGITAL と COMPUTER との両者を key word として含む文献をさがしたとすれば ANALOG, COMPUTER, DIGITAL, SIMULATION, (Digital Simulation of Analog Computer という文献) をもつものも抽出対象となるであろう。これを複合語としての DIGITAL COMPUTER, という key word を検索質問語として用いれば、このような ANALOG COMPUTER に関する文献はでてこない。このように複合語を用いることによって検索 noise を減らしうることになる。もちろんリストアップされた key word をながめるとき、単語のら列よりは複合語化された表現のほうが見やすいという点においてもこの方法は有意義である。うえのような理由により、このシステムでは意味上の直接関連のある語はできるだけ複合語形式で表現されている。

一方このままでは検索要求語を定めるに当たり、あらかじめどのような複合語を使用したかを明確にする必要があるが、これは情報の増加に伴いすべてをチェックすることが困難になり、key word 選定の繁雑さを増すことになる。このようなときには複合語ではなく、その構成単位語またはその部分的組み合わせで分離検索するほうが安全なことがある。

このような点を考慮して、このシステムでは複合語による検索だけではなく、複合語をもつ文献をその複合語を構成する単語を検索質問として用いることにより、抽出することもできるようにされている。すなわち包括的概念で、それらに関するすべてのものを抽出したいときに用いるものである。これに反し前記の複合語を検索 key word として用いるときは、その構成因子たる単語の配列順序にある特殊な関係を要求することとなり、せまい概念のそのものずばりの検索効果を期待したいときに使用する。このような意味でこのシステムでは、文献の蓄積情報はできるだけ自由度の高い表現法を許し、検索指令の与えかたにより種々の検索機能を有するように設計してある。具体的詳細を以下各章に述べる。

5.2 使用検索機の概要

検索機は当社の電子計算機 MELCOM-1530 である。参考のためその構成、機能の概要を記すると次のとおりである。

(1) メモリ	8,192 語 (18 bits/word, 6 bits/char)
(2) サイクルタイム	6 μ s
(3) I/O 装置	
カードリーダー	1,650 枚/min : 1 台
磁気テープ装置	41.7 kc/sec : 4 台
ラインプリンタ	750 行/min : 1 台

5.3 蓄積文献ファイルの構成

5.3.1 蓄積データの形式

各文献内容を表現する情報は次のものから構成される。

- (1) 文献の発行年代 (西暦年下 2 ケタ→例 1966 年は 66)

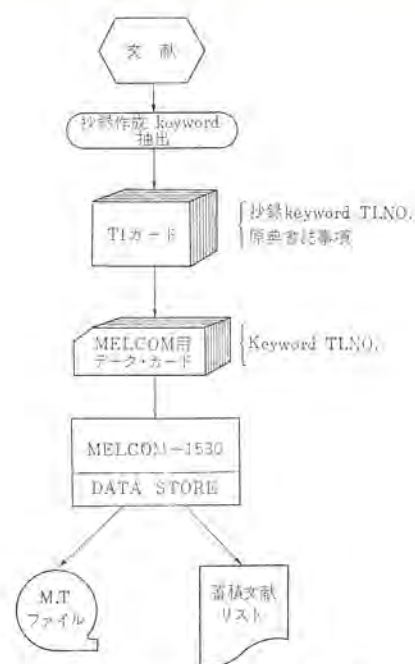


図 5.1 ファイル構成の手順
Fig. 5.1 Flow chart of file constitution.

(2) 文献の内容を表わす key word (120 字以内)
これは次のものから構成される。

(a) uniterm からなる key word (任意長からなる単位 key word)

例 SEMICONDUCTOR, ANTENNA.....etc.

(b) uniterm を複数個組み合わせて 1 語とした複合語 (単語と単語の間には 1 語のスペースを置く)

例 ACRYLIC RESIN, LOGICAL CIRCUIT DESIGN, etc.

(c) (a) または (b) による語を一つの文献ごとに任意個数与えうる。その際、各語間は コマ (,) 記号で区切る。

(d) key word の文字制限

key word としては通常の文字以外に、数字、各種記号などを使いうるが、コマは上記語間分離記号としてのみ使い、また * は後述の検索の項で述べる Indifferent 記号となるのでこれらは使わない。

(3) 文献番号 (10 進 8 ケタの数字)

(4) 蓄積データ：この形式の具体例は図 5. 4 参照。

5. 3. 2 ファイル構成

5. 3. 1 項の形式で構成されたデータを単位文献あたり 1 枚ないし 2 枚のカードにパンチし以下に示す蓄積機能に従ってファイルを構成する。

(1) DATA STORE JOB

最も基本的なファイル構成作業であり、カード化されたデータからオリジナルファイルを作りだす。蓄積データは 70 件を 1 ブロックとし逐次蓄積される。データのリストも同時に作りだす。

(2) FILE MAINTENANCE JOB

これはファイルの up dating を行なうルーチンであり以下の 3 ルーチンからなる。

(a) DATA SUPPLEMENT

データの追加蓄積を行なう

(b) DATA REPLACEMENT

使用 key word の改正変更による蓄積データの更新を文献単位

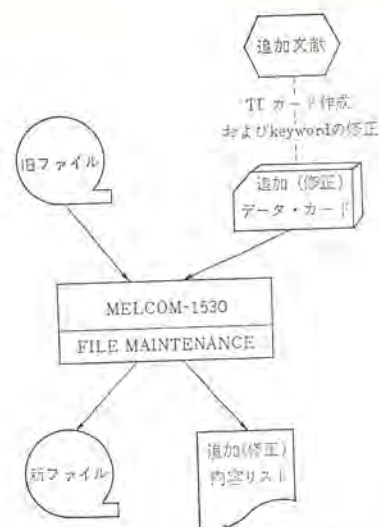


図 5.2 ファイル更新の手順
Fig. 5.2 Flow chart of file renewal.

で行なう。

(c) BLOCK REPLACEMENT

(b) の仕事大量に行なわれるとき、ファイル構成単位ごとの更新を行なう。(図 5. 1, 図 5. 2)

5. 4 検索機能

“年代範囲” および文献内容を指示する “uniterm key word” または複合語 key word, または それらの組み合わせ”を要求語として与えて検索を行なう。検索要求は何件でも同時処理可能であり、検索要求のパンチされたカードの最後に特定の END カードを付けて一括カード・リーダから読みこませる。検索機能の概要は以下のようなものである。

(1) 年代比較によるソーティング

指定年代以前、または以後を指定、その範囲内のものを検索対象とする。

(2) key word による検索

要求 key word (複数個指定された場合はその全部) を含む文献を抽出する。とくにこれら key word の中に複合語が含まれる場合には次のような検索機能をもつ。

蓄積データの key word として

ABC, EF, …… (A, B …… は uniterm, ABCD, …… は複合語)

という key word が含まれるとき、検索要求として ABCD または EF のような、そのものずばりの複合語 key word を要求語とする場合はもちろん抽出されるが、その他、A; B; C; D; E; F のような uniterm key word, または AB; BC; CD; ABC; BCD などのような部分複合語、またはこれらの組み合わせ (要求語間を、で区切って複数個指定) 質問に対しても抽出可能である。ただし BA とか DE とか CAB のように蓄積データに含まれる key word と語順が異なる場合や、単語としてすべて含まれても検索要求のような複合語構成となっていない場合は抽出対象とはならない。

例 蓄積データとして

VARACTOR DIODE, SILICON, MANUFACTURING という key word が与えられているときこの文献を抽出できる key word は

(a) VARACTOR, DIODE, SILICON, MANUFACTURING なる uniterm または

(b) VARACTOR DIODE という複合語

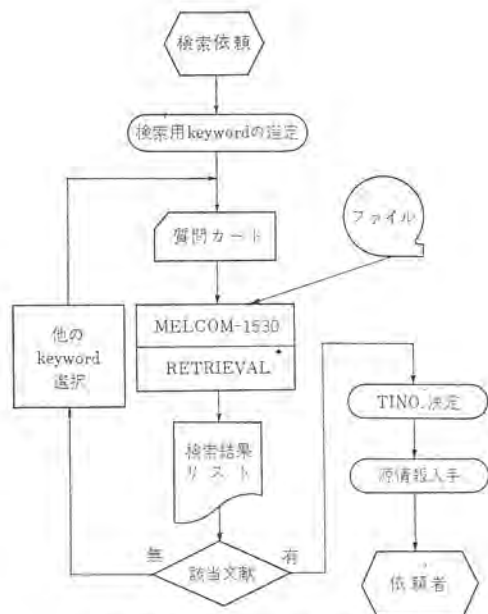


図 5.3 検索の手順
Fig. 5.3 Flow chart of retrieval.

(c) (1), (2) の組み合わせ

以上3種であり、SILICON DIODE や DIODE VARACTOR という複合語の要求に対しては抽出対象とならない。

(3) INDIFFERENT 検索

必要に応じ蓄積データの key word の語尾いかに関係せず、要求 key word と語幹だけ一致していれば検出しようとする機能。このような検索を行ないたいときは検索要求 key word として語幹のみを指示し、そのあとにくるべき語尾に関係なく、検索を要求することの指示記号としてこの語幹の直後に * 記号を付加する。

例 COMPUTE* DEVICE という質問語を出す

COMPUTING DEVICE, COMPUTATION DEVICE, ……などがいずれも抽出可能対象となる。

(4) 区間指定検索

蓄積文献データの全数でなくファイル中の特定の指定範囲を限定して検索する。(図 5.3)

5.5 検索実施結果のプリント

検索要求の各件ごとに検索結果のプリントが行なわれる。(図 5.4 を参照)

5.6 このシステムの特長の総括

この機械検索システムの特長をまとめて記すると次のようになる。

(1) 文献の内容を表わす key word の構成法に大きな自由度をもたせ、できるだけすなおに内容表現ができるようになっていく。

(2) 蓄積、検索要求に複合語を用いることにより検索 noise の減少をはかるとともに、複合語利用の際の検索漏れ予防処置も講じてある。

(3) Indifferent 検索により、語尾変化の多様性による検索漏れ防止処置を講じることができる。

以上がこのシステムの主要な機能上の特長としてあげられる。この検索システムでの検索所要時間は蓄積文献 10,000 件ごとに検索要求 1 件あたり約 7.5 分で、蓄積件数と要求件数とにほぼ比例して増加する。

なおこのシステムは現在実検索作業に操業中であるが、上記の検

索所要時間をさらに減少して検索コストの低減をはかるため、いっそう改良されたルーチンの作成作業も併行して進行中で、この夏には同一検索機能につき所要時間を上記の数分の 1 以下としたものを実動するようになるはずである。

6. 将来の諸問題

当社で開発、実用を開始した MELISS 機械検索システムの概要は以上述べたとおりであるが、わが国全体を通じて企業において文献情報管理に電子計算機を導入した歴史はきわめて新しく、このようなシステムの研究と経験の蓄積、ならびに電子計算システム自体の進歩とあいまって今後さらに大幅の改善進歩がなされるものと予想される。

これに関連して、今後このようなシステムの進歩改善のための問題点を、(1)検索精度、(2)検索コスト、(3)検索要求に対する回答入手時間、のおおのについてあらためて概観すると次のようになる。

(1) とくに自然語使用検索系における key word の標準化、Thesaurus の整備とその常時の up dating、そのための運営組織体制の充実をはかること。

(2) これはシステムの維持、運営の全体的な見地から考慮すべきものであるが、とくに高価な計算機を使用する以上その計算機の検索費はシステム運営費のかなりの部分を占める。その意味で検索機能上の cost performance のすぐれた機械を用いることと、ソフトウェア技術面で最も検索目的に適合しかつ洗練された手法により高速化をはかることが重要となる。たとえば MELISS についても最近当社で開発した MELCOM-3100 シリーズなどを利用すればさらにすぐれた検索能力をもつであろうし、また情報蓄積媒体として磁気テープでなく磁気ディスクなどの random access 方式のものを採用することにより、いっそう能率を高めようであろう。特殊目的の検索で検索ヒット度の高いものについては専用機の開発なども当然考慮の対象となる。

(3) 回答入手時間の低減問題については、検索機のスピードよりも検索質問を検索機に入れるまでの過程に要する時間と、必要情報を要求者の手元に渡す配布時間を含めた総合的な時間短縮が重要である。将来はさらに検索の対象分野、検索目的などにより一律でないにせよ、検索質問に応じて即時に回答を入手しようとする real time 処理システム、またはこれに近いものが広範囲の利用者側から要求されるようになるであろう。これは文献検索に限らず広義の情報処理システム全体の問題として考慮すべきことで、現在とくにアメリカを中心として研究開発が進められているような中央集中大形電子計算システムによる time sharing の実用化とともに具体的なテーマとしても当然取り上げるべきものであろう。

7. む す び

現在の MELISS システムは情報検索システム実用化の第一歩としてスタートしたものであるが、実施開始後日なお浅く、その実用機能をいっそう高めるため、今後このシステムの実用経験をさらに豊富に積み重ねることを要する。これは単に直接的な文献検索業務への寄与にとどまらず、企業全体の総合的情報処理システム建設への一つの有力な足がかりとしても役だたせうることを意図して今後の発展をはかりたい。

(昭 41-4-11 受付)

RETRIEVED DOCUMENTS.		
SEMICONDUCTOR, MANUFACTURING.		
64	METAL BONDING, SEMICONDUCTOR MANUFACTURING.	01105260
INFORMATION RETRIEVAL.		
64	INFORMATION RETRIEVAL, SEARCHING PROCEDURE, RELEVANCE.	01104960
	INFORMATION RETRIEVAL, BIBLIOGRAPHY.	01105288
	INFORMATION RETRIEVAL, INDEX.	01105289
	INFORMATION RETRIEVAL, USER REQUIREMENT.	01105290
	INFORMATION RETRIEVAL, LANGUAGE.	01105436
64	INFORMATION RETRIEVAL, INDEXING.	01105438
	INFORMATION RETRIEVAL, INDEXING, CLASSIFICATION.	01105440
	INFORMATION RETRIEVAL, AERONAUTICS.	01105830
	INFORMATION RETRIEVAL, DATA PROCESSING.	01105831
65	INFORMATION RETRIEVAL, VIDEO FILE SYSTEM.	01105930
ELECTRON* GUN		
	ELECTRON GUN ANALYSIS, DIGITAL COMPUTER.	01105151
	ELECTRON GUN, LOW NOISE.	01105161
	ELECTRON GUN, COMPUTER PROGRAM.	01105337
SEMICONDUCTOR.		
	POLYMER, SEMICONDUCTOR, ELECTRONIC CONDUCTION.	01104882
64	SEMICONDUCTOR, THIN LAYER, HALL EFFECT, RESISTIVITY.	01104894
64	SEMICONDUCTOR, SPACE CHARGE, CURRENT VOLTAGE RELATION.	01104895
64	SEMICONDUCTOR, 3-5 2-6 COMPOUND, PROPERTY, APPLYING.	01104903
64	SEMICONDUCTOR, INSULATOR, SPACE CHARGE LIMITED CURRENT.	01104905
64	SEMICONDUCTOR, INSULATOR, DOUBLE INJECTION.	01104907
64	METAL OXIDE SEMICONDUCTOR, SWITCHING, CIRCUIT.	01104912
	SEMICONDUCTOR, ELECTRICAL PROPERTY, OPTICAL PROPERTY.	01104928
	SEMICONDUCTOR CATALYST, RADIATION EFFECT.	01104930
	SEMICONDUCTOR, HIGH LOW JUNCTION.	01105089
	RADIATION DAMAGE, SEMICONDUCTOR PARTICLE DETECTOR.	01105119
	NEUTRON SPECTROMETER, SEMICONDUCTOR RADIATION DETECTOR.	01105120
	RADIO FREQUENCY GENERATOR, SEMICONDUCTOR DEVICE.	01105160
	SEMICONDUCTOR PURIFICATION, SOLVENT ACTION.	01105180
	DIRECT POWER GENERATION, SEMICONDUCTOR, THIN FILM.	01105182
	PLASMA OSCILLATION, SEMICONDUCTOR.	01105258
	SEMICONDUCTOR, OPTICAL PROPERTY, SECOND HARMONIC GENERATION.	01105259
64	METAL BONDING, SEMICONDUCTOR MANUFACTURING.	01105260
	SEMICONDUCTOR, ELECTRICAL PROPERTY, HIGH TEMPERATURE, PRESSURE.	01105268
	NEUTRON SPECTROSCOPY, SEMICONDUCTOR.	01105283

図 5.4 検索例

Fig. 5.4 Example of retrieved result.

参考文献

- (1) Information Retrieval System の現状と動向, 昭和 39 年度機械工業基礎調査報告書 39-K 592, 日本電子工業振興協会 (昭 40)
- (2) 科学技術会議海外調査団調査報告——欧米における科学技術情報活動および国際協力活動の現状——, 科学技術調査 No. 45 (昭 40)
- (3) 木沢: 情報の検索とその機械化, 日科技連数学計画シンポジ

ウム 報文 シリーズ No. 11, 日科技連 (昭 40)

- (4) 芦野ほか: 新三菱技術情報サービス (MITS), JICST 情報管理, 7, No. 4
- (5) 小林: 社内技術情報 サービスシステム に関する考察, 第 1 回 ドキュメンテーション 研究集会予稿集, 日本科学技術情報センタ (昭 39)
- (6) 小林: 文献情報の流通媒体としてのジャジマイクロフィッシュの利用, 第 2 回 ドキュメンテーション 研究集会発表論文集, 日本科学技術情報センタ (昭 40)

ZKG 形マイクロパウダクラッチとその応用

村田 俊哉*・浅野 哲正*・植田 雅晴*・二出川 忠*

Type ZKG Micro Powder Clutches and Their Applications

Himeji Works Toshiya MURATA・Tetumasa ASANO・Masaharu UEDA・Tadashi NIDEGAWA

Powder clutches have such excellent performances as to have a constant torque against the slip speed and adjustable torque on exciting at will. They are well commented on as to permit the operation under continuous slip conditions. However, type 2KG micropowder clutches are the ones having higher responsive speed than the conventional powder clutches and being built into the possible smallest size. Generally speaking, the smaller the size of powder clutch, the larger the range of allowable slip for the rated torque. In the case of the type 2KG units, they can be combined to clutch to clutch or clutch to brake so that they shall be assigned the work of pulse drive, position control, speed control and torque limiting under the state of continuous slip. Their applications cover electronic computers, high speed typewriters, controllers in general.

1. ま え が き

従来から一般産業機械用として ZKA 形, ZKB 形 パウダクラッチ, およびブレーキを発売して好評をえているが, 産業機械でも 1~50 kg-cm 程度の小トルクの範囲でしかも極力小形化を要求されるもの, または電子計算機, 電動タイプライタ, 事務機械, 計測, 制御機器関係などの分野については十分でなかったのが, とくにこの方面の応用を対象に開発したのが, この ZKG 形 マイクロパウダクラッチである。

マイクロパウダクラッチは現在アメリカでもっともさかんに実用されており, ヨーロッパにおいてもフランス, イギリスではこの種の用途にかなり使われている。

ZKG 形は技術提携関係会社の一つであるフランスの Jaeger 社の技術をもとにして開発したものであり, 定格トルクの大きさに対し, 非常に小形化されているのが特長である。(図 1. 1 参照)

以下にはパウダクラッチの一般的なことはすでに発表している中で極力さけ⁽¹⁾, この ZKG 形クラッチの構造が非常に小形化されたこと, ならびに特性上の重要点である応答性能の問題, さらにこの応用のガイ要などを中心のべる。

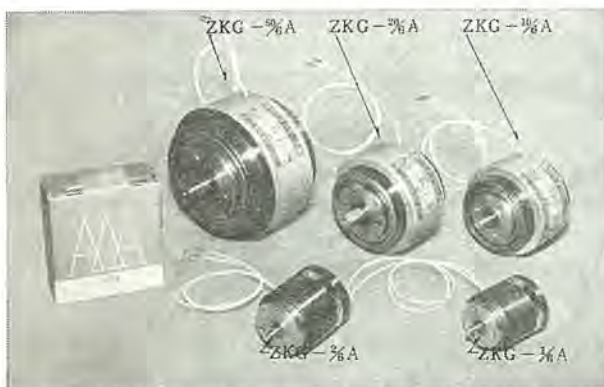


図 1.1 ZKG 形 マイクロパウダクラッチ
Fig. 1.1 Type ZKG micro powder clutch.

2. 構 造

ZKG 形クラッチの構造は図 2. 1 のように従来の ZKB 形 パウダクラッチとどうよう コイル 静止形である。すなわちドライブメンバ(駆動側)とドリフメンバ(出力側)とを同心円上にパウダギャップをへだてて

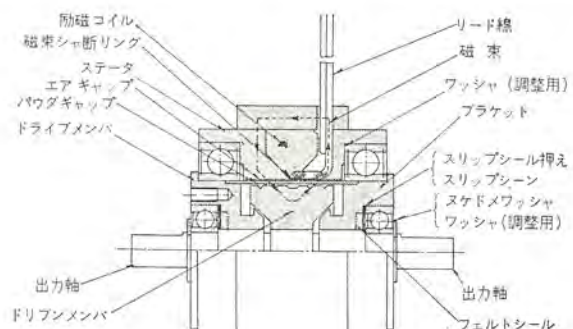


図 2.1 ZKG 形 マイクロパウダクラッチ 構造
Fig. 2.1 Construction of type ZKG micro powder clutch.

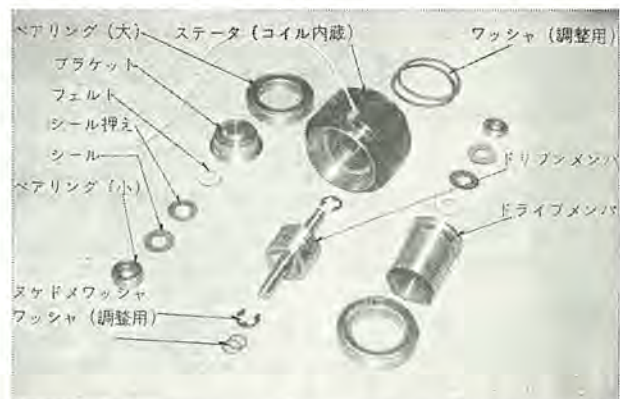


図 2.2 ZKG 形 マイクロパウダクラッチ 構成部品
Fig. 2.2 Type ZKG micro powder clutch parts.

て配置し, それぞれのメンバは自由に回転できるようベアリングでささえられている。パウダギャップには透磁率が高く耐熱性のすぐれたステンレス系のパウダ(磁性鉄粉)が入れてあり, それに磁束を通すためにエアギャップをへだてたステータ内に励磁コイルを内蔵している。図 2. 2 はクラッチ構成部品であるが非常に簡素化され部品数も少ない。以下構造上の特色について述べる。

2.1 エアギャップ, パウダギャップ

コイルの電流時定数を小さくするためにはコイルの形状はできるだけ小さくする必要があり, したがって所要 AT は極力小さくしなければならない。AT を小さくするにはコイル回転形のほうが望ましいが非常に小形であるためスリップリングなどの給電構造

に難点がありコイル 静止形を採用した。したがって所要 AT に大きく影響する磁気回路中の空ゲキでの AT をおさえるため、エアギャップの大きさは工作上、および機械構造上さしかええない程度に極力小さくしている。またエアギャップとどのような趣旨でパウダギャップも小さいことが望ましいが、あまり小さくするとパウダが動作面に入りにくくなったり、シャ断特性が悪くなったりする。またパウダの耐久性にも悪影響を与えるなどの問題が生じてくるので、クラッチの大きさに応じて 0.3~0.4 mm の値にしている。このようにパウダギャップが小さいので使用するパウダもそれに適したもの、すなわち、従来の ZKA 形、ZKB 形に使用しているパウダより幾分粒度の小さいものを採用し、シャ断特性、および立上がり特性などの改善をはかっている。

2.2 コイル絶縁

クラッチの形状を小さくするためにはコイル部のスペースを極力制限する必要がある。そのために絶縁紙は使用せずステータコイル巻きこみ部分に直接噴霧状のエポキシレジン を 0.3 mm 程度の厚さに吹きつけて絶縁皮膜としている。なおその上にポリエステル線を巻き、エポキシレジンを含浸しコイルを固着している。リード線は耐熱性を考慮して外径 1.5 mm 程度のテフロン線を使用しており、耐熱度としては B 種を保障している。

2.3 磁気回路

磁路の磁気材料としては、出力トルクの増加、トルクのバラツキ、および空転トルクの軽減をはかる目的として電磁軟鉄を使用している。いっぽうブラケット、出力軸などは磁束の漏エィを少なくするほか残留磁気によるパウダの付着を防止するため非磁性体材料、すなわち黄銅、非磁性ステンレス鋼を使用している。またトルク時定数を小さくするため図 2.1 に示すようにコイル内面に磁束シャ断リングを入れている。このリングを入れた結果トルクの立上がり時定数は 30 % 以上早くなった。なお定格電流時の出力トルクは数 % の向上が認められた。

2.4 パウダ漏れ防止構造

パウダが動作面からベアリングへ漏エィ浸入するのを防ぐためにベアリング内輪にスリッパシールを接触させその上から押えパネである圧力をかけた、摩擦シールを行なっている。さらに確実性を増すためにそのまゝにフェルトをおいている。このような摩擦シールは空転トルクを増加させる傾向をもっているが、シール押えパネの圧力を適当な値に設定し調整している。なおスリッパシールには摩擦係数が低く、かつ耐摩耗性のよいテフロン材料を使用している。

3. 外形寸法および仕様

外形寸法図を図 3.1 に、表 3.1 に外形寸法を、表 3.2 には

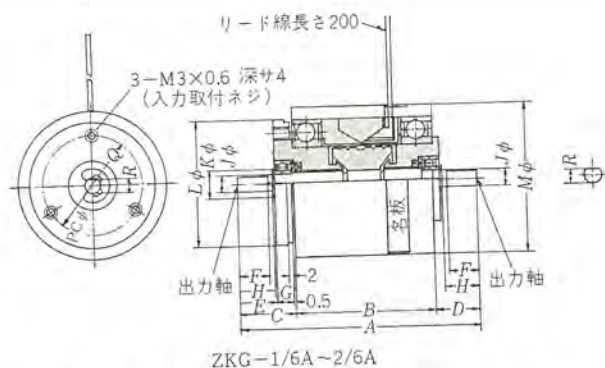


図 3.1 ZKG 形マイクロパウダクラッチ外形寸法図

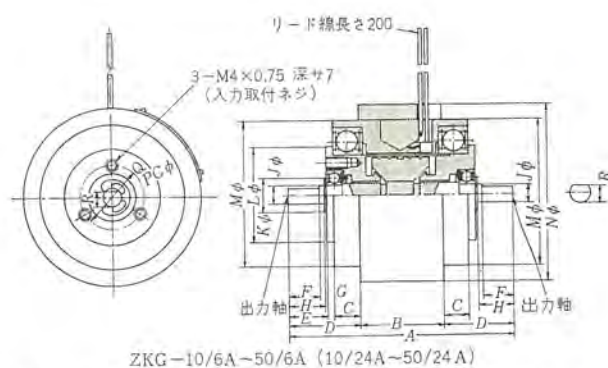


Fig. 3.1 Dimensions of type ZKG micro powder clutch.

表 3.1 ZKG 形マイクロパウダクラッチ外形寸法

形 名	A	B	C	D	E	F	G	H	J(g6)	K	L(g7)	M(g7)	N	Q	R
ZKG-1/6 A	54	30	14	10	9	7.5	4.5	8.3	4	7	26	32	—	20	3.5
ZKG-2/6 A	58	33	14.5	10.5	9	7.5	5	8.3	4	7	30	36	—	24	3.5
ZKG-10/24 A	70	26	8	22	12	10	2	11.3	6	11	30	46	56	20	5
ZKG-10/6 A															
ZKG-20/24 A	74	28	8	23	13	11	2	12.1	8	14	35	50	62	25	7
ZKG-20/6 A															
ZKG-50/24 A	92	32	11	30	17	15	2	16.1	10	18	45	70	84	32	9
ZKG-50/6 A															

表 3.2 ZKG 形マイクロパウダクラッチ性能 (その1)

形 名	公称伝達トルク (kg-cm)	コ イ ル				回 転 部 GD ² (g-cm ²)		重 量 (kg)
		電 圧 (V)	電 流 (A/75°)	抵 抗 (Ω/75°)	消費電力 (W/75°)	入 力 側	出 力 側	
ZKG-1/6 A	1	6	0.5	11.9	3.0	100	11	0.2
ZKG-2/6 A	2	6	0.68	8.8	4.1	190	22	0.3
ZKG-10/24 A	10	24	0.54	44.3	13	370	150	0.65
ZKG-10/6 A		6	2.0	3.0	12			
ZKG-20/24 A	20	24	0.67	36.0	16	780	400	0.80
ZKG-20/6 A		6	2.48	2.42	15			
ZKG-50/24 A	50	24	0.83	28.8	20	2,450	1,450	1.6
ZKG-50/6 A		6	3.36	1.8	20			

その性能を示している。

トルクが 10 kg-cm 以上のクラッチについては後述するように用途によって使いわけができるよう系電圧を 6 V と 24 V の 2 種類にわけている。両者はコイル仕様が異なるだけで構造的、寸法的には同じである。

4. 性能

4.1 応答特性

4.1.1 トルク時定数

励磁コイルに電圧を加えてからのトルクの立上がり状態、逆にクラッチを切った後のトルクの減衰する様子は図 4.1 のとおりである。立上がり、減衰時とも時間的遅れが生じているがその原因としてはつぎの 3 点が考えられる。

- (1) コイルのインダクタンスによる電圧—電流間の電気的おくれ
- (2) 渦電流による電流—磁束間の磁気的おくれ
- (3) パウダの移動による磁束—トルク間の機械的おくれ

これらの原因によって、たとえばトルクの立上がりについては無応答時間 T_d の経過後トルクが増加しはじめ、最終的に 100 % の

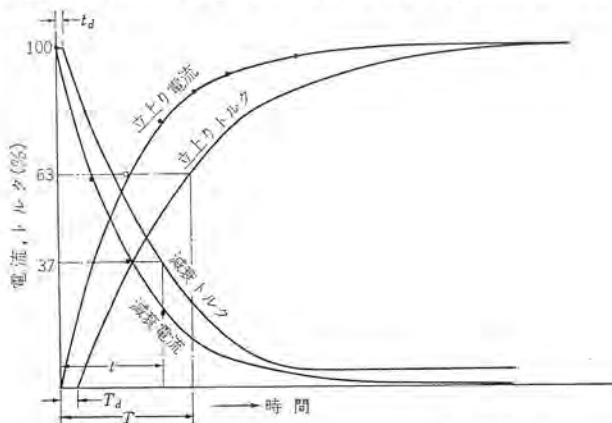


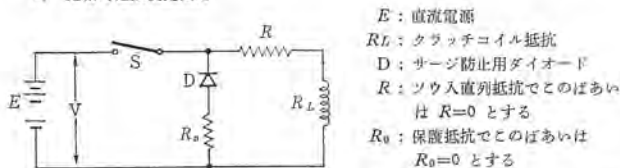
図 4.1 電流およびトルクの過渡特性
Fig. 4.1 Transition characteristics of exciting current and torque.

表 4.1 ZKG 形 マイクロパウダクラッチ 性能 (その 2)

形 名	定格時定数		コイル	熱 容 量				
	※立上り時定数 T (ms)	※減衰時定数 t (ms)		スリップ許容 工事率 (W)	許容最大 連続仕事 熱面積 (kg-m)(cm ²)	必要放 熱面積 (cm ²)	ドリブンメ ンバ動作面 当りのスリ ップ工事率 (W/cm ²)	パウダ量 当りのスリ ップ工事率 (W/gr)
ZKG-1/8 A	30 (7)	20 (5)	14	5	4.4×10^2	50	1.2	6.3
ZKG-2/8 A	30 (7)	30 (7)	17	8	6.0×10^2	80	1.2	6.7
ZKG-10/24 A	40 (10)	35 (8)	27	18	1.5×10^3	360	1.4	7.0
ZKG-20/24 A	50 (10)	40 (8)	32	25	2.1×10^3	410	1.4	7.0
ZKG-50/24 A	70 (15)	55 (10)	55	40	3.4×10^3	550	1.4	7.0

注 1) ※印 T および t は無応答時間を含んだ値であり () 内はその無応答時間を示している。

2) 定格時定数測定回路



3) $R \approx nRL$ ($n=1, 2, \dots, 10$) としたときの T および t は図 4.4 のように変化する。

4) $R_0 \approx mRL$ ($m=1, 2, \dots, 10$) としたとき t については $(m+n)RL$ を直列抵抗として時定数を算出する。 T については R_0 の値に無関係である。

トルクに達する。一つのためやすとしてトルクが 63 % に達するまでの時間を立上がり時定数と呼び T で表わすことにし、どのように減衰特性に関しては 37 % に減衰するまでの時間を減衰時定数 t と呼び両者を総称してトルク時定数と呼ぶことにする。トルク時定数はなるべく小さい方が望ましいわけでありそのためにはつぎの方法が考えられる。

(a) 励磁コイルに直列抵抗をつう入して、電流の立上がりを早める。

(b) 磁気回路を積層磁路にして磁気的おくれを改善する。

(c) 励磁コイルにバイアス電圧を与え、あらかじめパウダを動作面に集結させておく。

そのうち比較的簡単なのは (a) (c) の方法であり、適当な制御回路を用いることによりトルク時定数を大幅に改善できる。

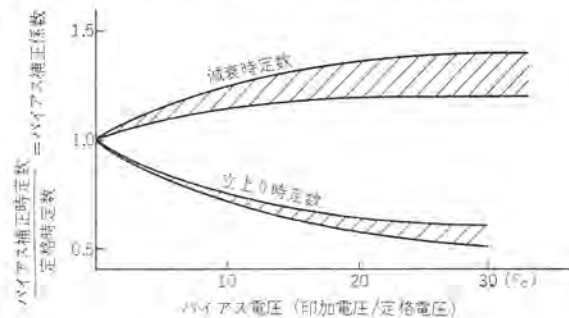


図 4.2 バイアス電圧—トルク時定数特性
Fig. 4.2 Bias voltage-torque time constant characteristics.

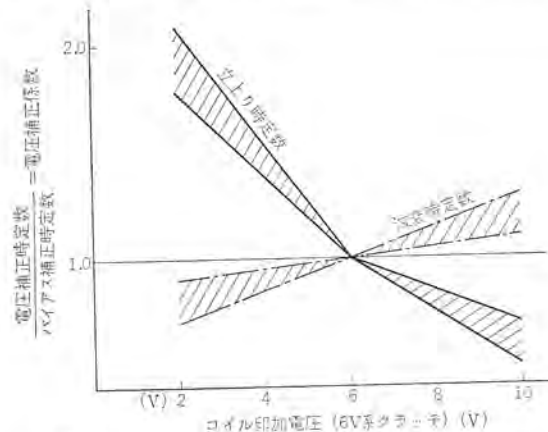


図 4.3 印加電圧—トルク時定数特性
Fig. 4.3 Applied voltage-torque time constant characteristics.

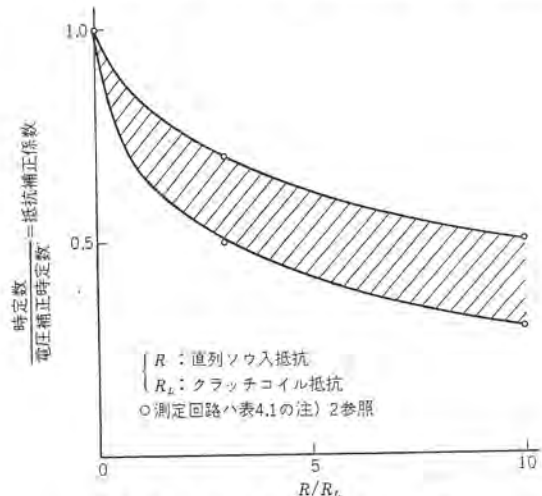


図 4.4 R/R_L -トルク時定数特性
Fig. 4.4 R/R_L -torque time constant characteristics.

表 4. 1 には定格時定数（直列抵抗ゼロ、バイアス電圧ゼロ、定格電圧印加）を示しているが制御回路の状態によりどのように実際の時定数が変化するかは図 4. 2、図 4. 3、図 4. 4 で示される。

図 4. 2 のバイアス補正係数は定格時定数とバイアスを加えたときの時定数の比、図 4. 3 の電圧補正係数は印加電圧が定格電圧のときとそうでないときのバイアス補正時定数の比、図 4. 4 は直列抵抗をソウ入したときとしないときの電圧補正時定数の比であり各補正係数をかけ合わせると定格時定数に対する実際の時定数の比が求められる。

図 4. 2 と図 4. 3 はいずれも立上がり時定数が小さくなると減衰時定数が大きくなっているが、平均した時定数はバイアス電圧および印加電圧の大きいほど小さくなっていることがわかる。

なおこのようにトルク時定数を問題にするばあいには系電圧 6 V のクラッチを使用するのが電源部品との関係から便利である。

4. 1. 2 トルク-慣性比

パウダクラッチは公称トルクに比較して、それ自体の慣性モーメントが小さく、トルク慣性比は非常に大きな値となる。この値は負荷の回転変化に対する応答性のめやすとなるものであり、一般に

GD^2 : 回転部慣性効果 [g-cm²]

T : 加速トルク [g-cm]

W : 回転部角速度 [rad/sec]

$\frac{dW}{dt}$: 回転部角加速度 [rad/sec²]

g : 重力の加速度 $g=980$ [cm/sec²]

とすると次式の関係がある。

$$\frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{dW}{dt} = T$$

上式のうち負荷の GD^2 を無視して回転部慣性効果がパウダクラッチの出力側回転部 GD^2 のみとし、また負荷トルクを無視してパウダクラッチの公称トルクそのものが負荷の加速トルクであるとしたばあいの $\frac{dW}{dt}$ は次式のとおりである。

$$\frac{dW}{dt} = 4g \times \frac{T(\text{公称トルク})}{GD^2(\text{パウダクラッチ出力側慣性効果})} \text{ [rad/sec}^2\text{]}$$

これに表 3. 2 の値を入れ計算すると公称トルクが 2 kg-cm のものでは 356,000 rad/sec²、10 kg-cm のものでは 260,000 rad/sec²、50 kg-cm のものでは 130,000 rad/sec² となる。この値は一般のサーボモータに比べ数倍ないしは十数倍の値である。

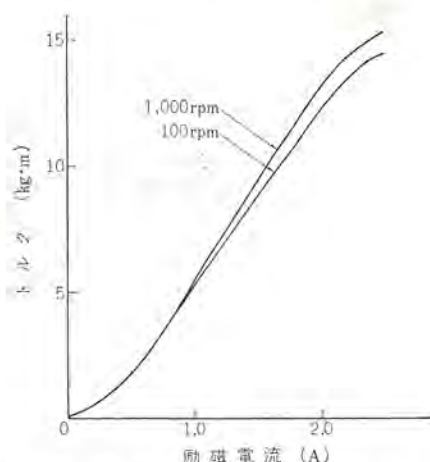


図 4. 5 ZKG-10/6 A 形 マイクロパウダクラッチトルク-電流特性
(定格トルク 10 kg-cm, 定格電流 2.0 A)
Fig. 4.5 Type ZKG-10/6 A micro powder clutch torque-excitng current characteristics.

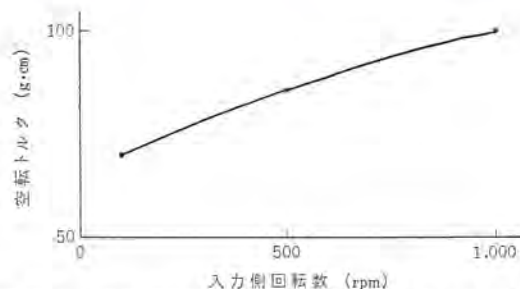


図 4. 6 ZKG-10/6 A 形 マイクロパウダクラッチ空転トルク特性
(定格トルク 10 kg-cm, 定格電流 2.0 A)
Fig. 4.6 Type ZKG-10/6 A micro powder clutch racing torque characteristics.

4. 2 トルク-励磁電流特性

トルクと励磁電流の関係は図 4. 5 に示しているが、微弱励磁時、および強励磁の磁気飽和時においては直線性は悪くなり、定格の 10~120 % 程度の範囲ではほぼ比例関係が成立している。実際には多少ヒステリシス特性をもっているためトルク特性は $\pm 5\%$ 程度の幅を考える必要がある。また入力回転数が 100 rpm 付近では 1,000 rpm 付近にくらべ定格電流時でトルクが数 % 程度低く現われている。これはパウダギヤツウでのパウダ分布の状態によるもので、ある程度高速回転のほうが遠心力の作用で動作面へパウダがはいりやすくなるためと想像され、ZKG 形にかぎらず従来の ZKA 形や、ZKB 形にも多少みられる傾向である。

しかしトルクの安定性という面では ZKG 形の動作面は直径が小さいため、従来のクラッチに比べて低速でのその変動は大きいようである。100 rpm ないし 50 rpm 程度までではあまり大きな差はないがそれ以下の低速になるとパウダ分布が不均一となりトルクが低下し、同時にバラツキ幅も大きくなってくるので 50 rpm 以上の速度での運転が望ましい。なおクラッチの設計にあたってはパウダの劣化を考慮しトルクは 20~40 % 程度の余裕を見込んでいるので、図 4. 5 からわかるとおり定格電流 2.0 A において 1,000 rpm 時には定格トルクの 30 % 増し、100 rpm のときには 20 % 増しの値になっている。

4. 3 空転トルク特性

空転トルクは残留磁気、ベアリングの摩擦トルク、およびパウダ漏れ防止用のスリッパールの摩擦トルクなどによるもので極力小さいことが望ましい。図 4. 6 はその一例を示すが高回転になるほど空転トルクが増加する傾向があり、1,000 rpm においては定格トルクの 1 % 程度となる。しかし個々のクラッチのバラツキなどを考えたばあい空転トルクはもう少し大きくなるので 10 kg-cm 以上のクラッチについては 2 % 以下、1~2 kg-cm のものについては 4 % 以下と規定している。

4. 4 熱容量

熱容量はクラッチ自体が非常に小形のため取付セットへの放熱のぐあいによってかなり異なってくる。表 4. 1 には必要放熱面積と許容熱容量（スリッパ許容工率）を示している。この必要放熱面積とは、これ以上放熱面積を大きくしても、クラッチのスリッパ許容工率が増加しない限界値をあらわしている。これは通常取付状態であれば取付セット自体で十分得られる値でありとくにこのために放熱板をとりつける必要はない。

また表 4. 1 のスリッパ工率、および連結仕事の許容値は各部の温度上昇、およびドリフトメンバの単位面積、ならびにパウダの単位重量当たりのスリッパ工率などを参考にして決定している。しかし長期の耐久性を希望するばあいは許容値に対し余裕のある状態で

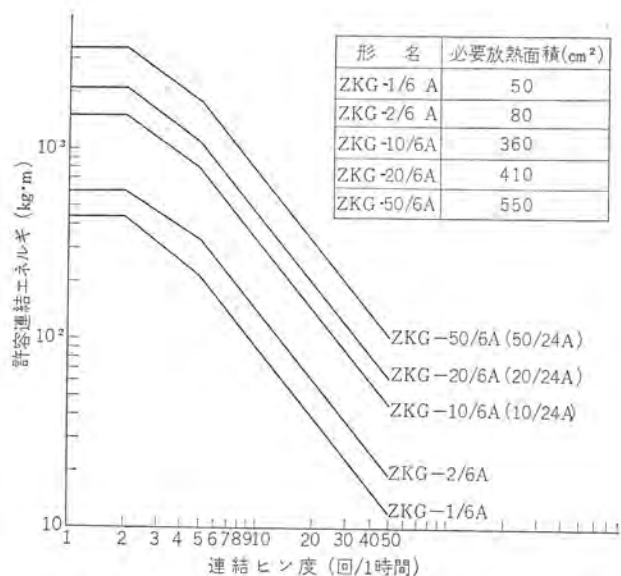


図 4.7 ZKG 形 マイクロパウダクラッチ 許容連結 エネルギ 線図
Fig. 4.7 Type ZKG micro powder clutch allowable engaged energy diagram.

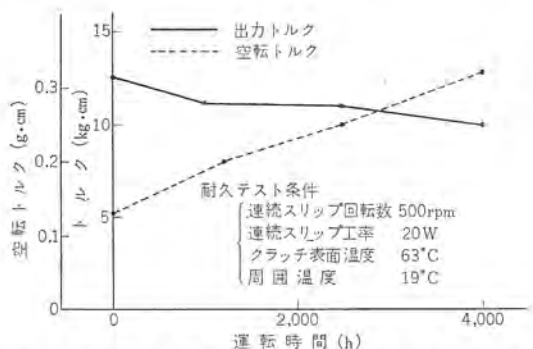


図 4.8 ZKG-10/6 A 形 マイクロパウダクラッチ 耐久 テスト 性能
(定格トルク 10 kg·cm, 定格電流 2.0 A)
Fig. 4.8 Type ZKG-10/6 A micro powder clutch endurance test characteristics.

使用するのが望ましい。スリップ許容工率の値は連続スリップ状態で使用するばあい、1時間あたりの連結ヒン度が50回以上の高ヒン度のばあいに適用する。ZKG形はコイル静止形であるため従来の回転部が直接外気と接触するZKA形に見られた、入力側回転数が増すとスリップ工率の許容値が増大する傾向は期待できない。

また連結ヒン度と許容連結エネルギの関係を図4.7に示す。

4.5 耐久性

クラッチの耐久性を左右するものとしては、パウダとベアリングがあげられる。酸化によるパウダの劣化はクラッチのトルク低下となるが、初期値より30%以上低下すれば一応パウダの寿命であるとして交換するようにしている。パウダを交換すれば再び新品のときと同じ程度のトルクが出るようになる。図4.8はクラッチ許容スリップ工率の約110%の過負荷状態で連続耐久運転をおこなったばあいのトルクの低下傾向を表わしているが、4,000時間の時点で約20%トルクが低下している。一方空転トルクは最初定格値の1%強であったものが3%に増加している。これはベアリングのグリス枯渇、さらにはパウダの微粉化による体積増加のための摩擦トルクの増加などが原因と考えられる。

5. 用 途

ZKG形パウダクラッチのばあいの用途も従来のZKA形、ZKB形

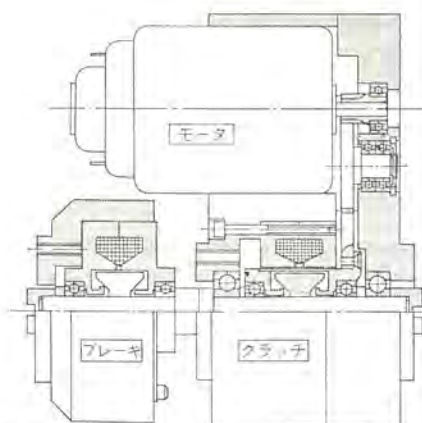


図 5.1 パウダクラッチブレーキの組合せ
Fig. 5.1 Combination of powder clutch and brake.

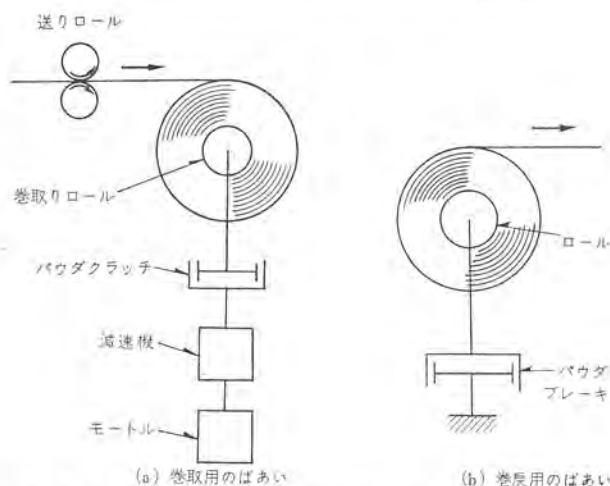


図 5.2 巻取用・巻戻用に パウダクラッチブレーキ を使用した例
Fig. 5.2 Application of winding mechanisms of powder clutch and brake.



図 5.3 ダブル形マイクロパウダクラッチ
Fig. 5.3 Double micro powder clutch.

のばあいと本質的にはどのようなものであるが、クラッチの小形化、トルクの高速応答性などの特長をいかした用途として次のようなものがあげられる。

5.1 パルスドライブ用

パウダクラッチ、ブレーキの低慣性モーメント、定格トルク特性、高速応答性を利用したもので、電子計算機、電動タイプライタなどの高速間欠駆動用としてクラッチブレーキの組合せで使用される。図5.1はその構造の一例であり、一定回転数で常時回転しているモータの出力軸にパウダクラッチとブレーキが設けられ負荷を急速に加速、または停止する。

この種の用途では、

(a) クラッチ、ブレーキのトルク時定数が小さいこと、

(b) それ自体の慣性モーメントが小さいことが必要である。ZKG形クラッチの慣性モーメントはその伝達トルクの割合に比べて非常に小さいことは前述したとおりである。

そのほかこのクラッチは伝達トルクが負荷回転数によって変化しないので高速になっても十分な加速トルクをもっており、この点がモータによる直接起動に比べて非常に大きな特長である。

5.2 定張力制御用

ZKA, ZKB形パウダクラッチとどのように繊維、電線、紙、フィルムなどの巻取り、巻戻し機構に張力制御用として使用される。(図5.2)とくにZKG形のばあいは単糸やミクロン単位の極細電線などの微小張力制御用として適している。

この種の用途では巻太り、巻細りに応じてパウダクラッチ、またはブレーキの励磁電流を加減すればよいわけでライン速度が変化しても張力は変化しない。

モータで直接巻取制御を行なうものでは巻径変化、ライン速度の変化に応じて広範囲な制御が必要となるが、パウダクラッチ、ブレーキでは巻径変化のみを補償すればよいわけである。

5.3 各種サーボ用、速度制御用

図5.3は、クラッチを2個組合せたダブル形マイクロクラッチである。このクラッチは位置制御、速度制御、シュミレータ用として利用できる。位置制御では自動操縦装置、各種ナライ装置、記録計、サーボ演算機などの実用例がある。またダブルクラッチをクラッチ-クラッチ、またはクラッチ-ブレーキの組合わせで速度制御を行なうことができる。これは速度発電機の電圧と信号電圧を比較し、これが常に等しく

なるよういずれか一方のクラッチ、またはブレーキを作動させるものである。

5.4 その他の用途

マイクロパウダクラッチは許容連結エネルギーが大きく連続スリップで使用できることなどから、高ヒン度の連結、または所定のトルクで連続スリップを行なうような各種シーケンス制御用、小形機器一般用など各種制御要素として使用可能である。

またチャック、クランプ、ネジ締め装置などにトルクリミッタとして使用することができる。この用途ではパウダクラッチの定トルクの特性のほかそれにそれ自体の慣性モーメントが小さいので衝撃力低減に非常に有効である。

6. む す び

ZKG形マイクロパウダクラッチは従来のZKA形、ZKB形などと同じくトルクの調整がしやすいこと、スリップ速度の変化に対してトルクが変わらないこと、連続スリップで使用できることなどに加えて、高速応答性に重点をおき、さらに超小形化などの特長をもちこんだものである。したがってその応用も電子計算機、電動タイプライタ、サーボ機構などの分野が考えられる。さらにダブル形マイクロクラッチ、ブレーキなどのシリーズを早急に完成し、いっそうの用途の拡充をはかりたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 宮崎、村田、中田、植田：ZKA形・ZKB形パウダクラッチおよびZKB形パウダブレーキ、「三菱電機技報」38, No. 10 (昭39)

製鉄用電動機の選定(その2)

市川 健二*

Selection of the Motors in Iron and Steel Works (No. 2)

Chiba Works, Kawasaki Steel Corp. Kenji ICHIKAWA

A large iron and steel works possesses many motors of different capacities totalling above ten thousand units and aggregating four hundred thousand kW. In constructing new plants the cost of motors accounts for a large portion of the total construction cost. Their operations also govern largely the production and the quality of products. Then consideration in logical selection of motors is as important as the progress of manufacturing technique. Even in the works each plant many have different circumstances and dissimilar working assignment. Selection of the motors shall be made with these points in mind. As one of points in guidance it is suggested to choose a series of machines having unified standards, which helps procure the motors in a short period of delivery time at economical prices. The article elucidates the features of various motors.

3. 形式の選定

電動機の機種が決定すれば、次に外被の形・通風方式・冷却方式・保護方式を選定する。これらは、JEC-146 (1960)「回転電気機械一般」に規定されているが、製鉄所ではこれらの中からいかに選べばよいかについて、次に述べる。

(1) 外被の形には次の二つがある。

開放形 (旧規格の閉鎖形を含む)

全閉形

(2) 通風方式には次の二つがある。

自己通風形

他力通風形

(3) 冷却方式には、空気冷却式・ガス冷却式・水冷式・油冷式があるが、ほとんどの用途には空気冷却式でさしつかえなく、まれに水冷式が用いられる。

(4) 保護方式には13種類が規定されているが、防滴形・防滴保護形・水中形・防爆形・屋外形などが多く用いられる。

以上のように分類されたものを組み合わせて、製鉄所で多く用いられるものは次のとおりである。

3.1 防滴保護自己通風形

開放形であって、鉛直から15度以内の角度で落下する水滴が直接または機体の面に沿って、あるいはこれらの面に反発されて機体内にはいり、鉄心または絶縁物と接触することがなく、また回転部分(軸表面を除く)および導電部分に異物が接触できないようにすべて開口部が、金網その他類似の方法で保護されている構造で、通風方式としては回転子自身の扇風作用により、または回転子に取り付けた羽根によって通風する回転機をいう。



図 3.1 防滴保護形
Fig. 3.1 Drip-proof type.

この形式のものは、とくに粉じんの問題にならない工場(冷延工場、一般電動機室など)で、速度調整範囲のせまい場合(工業用直流電動機(JEM 1170)においては、基底速度の30~50%以上で使用する場合)に広く用いられる。一般用高圧交流電動機(JEM 1160)などの標準形式にも防滴保護自己通風形が選ばれている。図 3.1 は直流電動機に適用した場合の外観である。

3.2 開放管通風形

開放形であって、冷却空気吸入口および吐出口のいずれか一方に通風管または風道を取り付けられる構造のもので、通風方式は自己通風・他力通風のいずれでもよく、圧延用電動機など大形機に広く用いられる。また中小形機(工業用直流電動機(JEM 1170)、圧延補機用直流電動機(JEM 1109))でも連続定格として使用し、掘付場所以外から清純な空気を送り込む必要がある場合に用いられる。なおこの形式にはアップドラフト、ダウンドラフト両方式があつて、電動機室設置の大形機には、室内の通風冷却にも長所の多いダウンドラフト方式が採用されることが多くなってきた。図 3.2 はその一例を示す。

3.3 開放他力通風形

外被に取り付けられた別個の独立した送風機(フィルタ付きがよい)によって冷却されるもので、3.2節でも述べた中小形直流電動機であつて、電動機周囲の空気を吸い込んでさしつかえない場合に適用される。図 3.3 にその外観を示す。

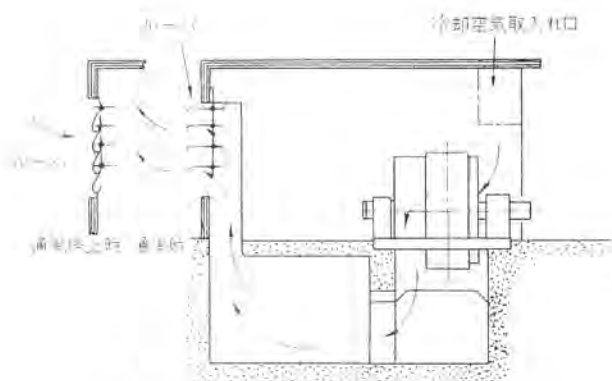


図 3.2 ダウンドラフト方式の一例
Fig. 3.2 An example of down draft system.



図 3.3 他力通風形
Fig. 3.3 Forced ventilating type.



図 3.4 全閉形
Fig. 3.4 Totally enclosed type.

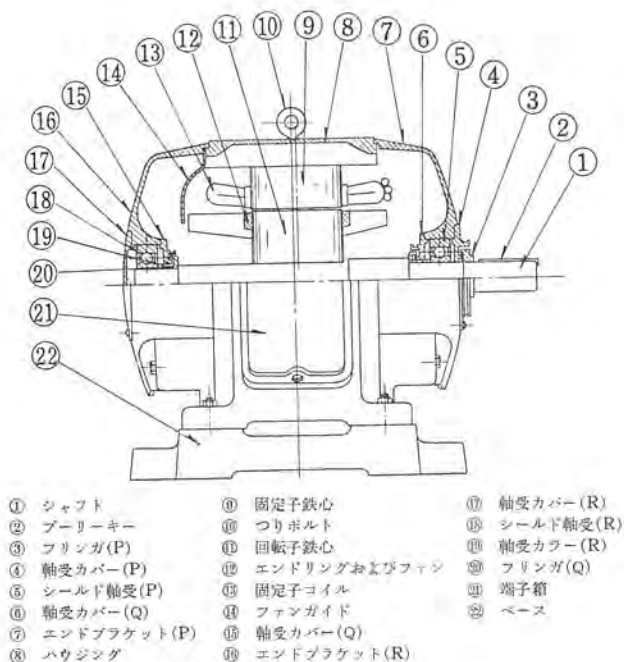


図 3.5 開放屋外形構造図
Fig. 3.5 Weather-proof open type.

3.4 全閉自冷形(全閉形)

機体周囲の外気が機内に流通しないように外被が閉鎖された構造のもので、粉じんの多い工場など(製鉄・製鋼・圧延)の小形機や短時間定格機に多く用いられる。内部損失熱は外被からしか放散されないから、外形寸法が開放形のものよりも大形となる。起重機用巻線形誘導電動機(JEM 1065)、圧延補機用直流電動機(JEM 1109)は全閉形を標準としている。図 3.4 は全閉形直流電動機の外観である。

3.5 全閉外扇形

全閉形で、回転軸に取り付けた羽根によって外被表面が冷却される構造であって、粉じんの多い場所で用いる連続定格の小形誘導電動機に広く適用される。JEM 1110、1180 のハ用交流電動機の標準形式となっている。開放形も標準形式に指定されてい

製鉄用電動機の選定(その2)・市川

るが、電気室内設置以外のものは粉じんの多い製鉄所では全閉外扇形を適用すべきである。高圧標準誘導電動機(JEM 1160)では、開放形が標準形式となっているが、全閉外扇形を標準として新系列を最近発表したメーカーもある。その内容は、

電 圧	3 または 6 kV
出 力	60~315 kW
極 数	2~12 極
絶 縁	B 種

3.6 全閉屋外形

全閉形で屋外に常置して使用に耐える構造であって、小形機に多く用いられる。最近では、全閉屋外形よりも小形軽量で絶縁の低下が少ないといわれる開放屋外形があらわれた。これは充電部はエポキシワニスで処理し、防水性に富み、端子箱は接合面に合成ゴムパッキンを用いて浸水を防いでいる。また軸貫通部は迷路を形成し、運転中は遠心力で水滴を飛散させるように考慮されている。鉄心などは十分なサビ止め処理を行なっている。

図 3.5 は開放屋外形電動機の構造図である。最近 60~500 kW の中形電動機の新標準シリーズが発表されている。

3.7 防爆形

工場防爆電気品については JIS C 0903「電気機器の一般用防爆構造通則」があり、工場電気設備防爆指針(ガス・蒸気防爆—1965)では若干の改正が行なわれた。また、労働省告示第 42 号「電気機械器具防爆構造規格」によって防爆構造の機器の使用が義務づけられている。製鉄所において防爆構造を使用しなければならないのはアセチレン・アンモニア・ガソリン・水素・石炭ガス・プロパン・ベンゾールなどを取り扱う工場であって、化工工場において最も多く用いられている。

防爆形電動機を適用するにあたっては爆発性ガスの発火度、爆発等級および危険場所の種別に応じた形式のものを選定しなければならない。その大略を次に示す。

(a) 耐圧防爆構造

発火度 $G_1 \sim G_4$ 、爆発等級 1~2 級の範囲とし、使用場所は第 1 種および第 2 種に適用する。なお大容量機には経済的見地から内圧防爆形を採用したほうがよい。

(b) 内圧防爆構造

耐圧防爆形では製作できない場合に採用する構造で、発火度 $G_1 \sim G_5$ 、爆発等級 3 の範囲とし、第 1 種および第 2 種場所に適用する。発火度 G_5 、爆発等級 1~2 の範囲は電動機容量・爆発性ガスの種類・危険場所などを考慮し、耐圧防爆または内圧防爆構造とする。

(c) 安全増防爆構造

安全増構造は主として発火度 $G_1 \sim G_3$ 、第 2 種危険場所に適用する。安全増防爆構造は構造上および温度上昇について安全度を増し、点火源となる機会すなわち事故を起こす機会を少なくした構造であるので、設置場所の選定に考慮を払えば爆発等級には無関係に適用できる。ただし巻線形誘導電動機のように、たえず火花を発生するおそれのある集電環装置部には耐圧防爆構造を採用すべきである。

(d) 特殊防爆構造

工場電気設備防爆指針(ガス・蒸気防爆)1965 年の改正により特殊防爆構造の中に新しく本質安全防爆構造が設けられ、計測制御装置等の小容量の機器で、他の防爆構造によりにくいものに広く利用できるようになった。本質安全防爆構造というのは常時運

表 3.1 発火度の分類

発火度	発火点の範囲
G 1	450°C 超過
G 2	300°C 超過 450°C 以下
G 3	200°C 超過 300°C 以下
G 4	135°C 超過 200°C 以下
G 5	100°C 超過 135°C 以下

表 3.2 爆発等級の分類

爆発等級	スキの奥行き 25 mm において 点火波及を生ずるスキの値
1	0.6 mm 超過
2	0.4 mm 超過 0.6 mm 以下
3	0.4 mm 以下

表 3.3 爆発性ガスの分類例

発火度 爆発等級	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5
1	アセトン エタノール ガソリン アセトアルデヒド アンモニア 酢酸 シアン化水素 エチルエーテル 一酸化炭素 ブタノール エタン プロパン ベンゼン メタノール メタン	エチレン エチレンオキシド			
2	石炭ガス				
3	水性ガス 水素	アセチレン			二酸化炭素

表 3.4 危険場所の分類

ガス蒸気危険場所の程度に従って、第1種場所または第2種場所のいずれかに分類する。

第1種場所

第1種場所とは通常の状態において危険となるおそれのある場所で、つぎのような場所をいう。

(1) 爆発性ガスが通常の使用状態において集積して、危険となるおそれのある場所

(2) 修繕、保守または漏えい等のため、しばしば爆発性ガスが集積して危険となるおそれのある場所

第2種場所

第2種場所とは特殊な状態において危険となるおそれのある場所で、つぎのような場所をいう。

(1) 可燃性ガスまたは可燃性液体を常時取扱っているが、それらは密閉した容器または設備内に封じられており、その容器または設備が事故のため破損した場合、または操作を誤った場合にのみ漏出による危険を生ずる場所

(2) 確実な機械的換気装置により、爆発性ガスが集積して危険とならないようにしてあるが、換気装置に異常または事故を生じた場合は危険を生ずるおそれのある場所

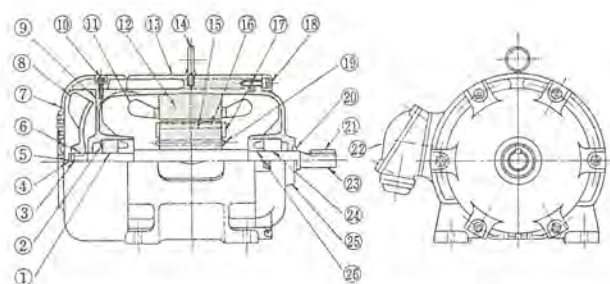
(3) 第1種場所の周辺または隣接する室内で、危険な濃度で爆発性ガスがまれに侵入するおそれのある場所

転中および事故時（短絡、地絡、切断など）に発生する火花、アークなどが爆発性ガスに点火し得ないことが確認された構造である。

図 3.6、3.7 はおのの耐圧防爆形、内圧防爆形電動機の構造を示している。なお 圧延工場の機械用または電動機用の潤滑装置のある各オイルセラーは 消防法合による危険物取扱所となる場合が多いので、その場合には電気工作物も規制を受けるが、電動機については全閉形（全閉外扇形）であって、その端子箱も全閉構造のものであればとくに問題はないようである。

3.8 その他の事項

電動機に電磁制動機を備える場合は、電動機の両軸を延長して反負荷側につけるのが普通であるが、負荷側のカップリングをブレーキホイールと共用にして制動機を電動機の負荷側に取り付けられ、



- | | | |
|-------------|---------------|------------|
| ① ボールベアリング | ⑩ エンドカバー | ⑬ 回転子鉄心 |
| ② 調整座金 | ⑪ 固定子コイル | ⑭ フリッジ |
| ③ 座金 | ⑫ 固定子鉄心 | ⑮ 軸端キー |
| ④ 爪付き座金 | ⑬ ワタ | ⑯ 端子箱 |
| ⑤ ファン補付けボルト | ⑭ アイボルト | ⑰ 軸 |
| ⑥ ファンキー | ⑮ 回転子鉄心 | ⑱ ボールベアリング |
| ⑦ エンドカバー | ⑯ ローダバー | ⑳ 負荷側ブラケット |
| ⑧ ファン | ⑰ エンドリング | ㉑ 防爆環 |
| ⑨ 反負荷側ブラケット | ⑱ ブラケット補付けボルト | |

図 3.6 耐圧防爆形カゴ形電動機の構造

Fig. 3.6 Construction of pressure-resisting explosion-proof type cage rotor induction motor.

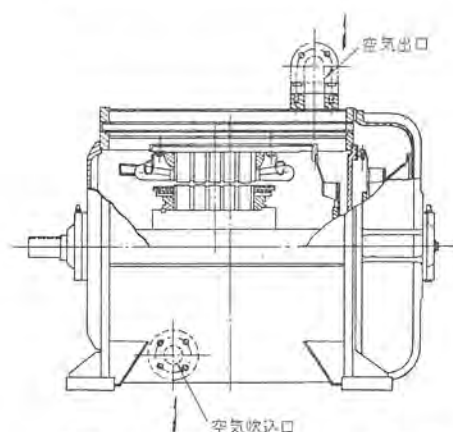
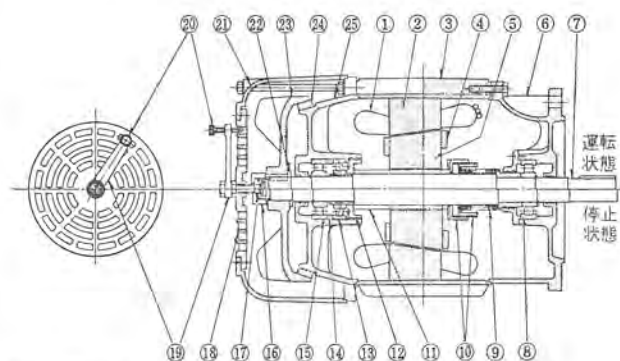


図 3.7 内圧防爆形カゴ形電動機

Fig. 3.7 Pressurized explosion-proof type cage rotor induction motor.



- | | | |
|------------|-------------|--------------------|
| ① 固定子コイル | ⑩ バネ圧調整装置 | ⑲ 手動開放ハンドル |
| ② 固定子鉄心 | ⑪ ロッド | ⑳ 特殊ボルト |
| ③ フレーム | ⑫ 内側カラー | ㉑ ブレーキカバー |
| ④ エンドリング | ⑬ 玉軸受 | ㉒ 調整座金 |
| ⑤ 回転子鉄心 | ⑭ ベアリングスベアサ | ㉓ ブレーキホイール（兼外扇ファン） |
| ⑥ ブラケット負荷側 | ⑮ コロ軸受 | ㉔ ブレーキワイニング |
| ⑦ 軸 | ⑯ 特殊ナット | ㉕ ブラケット（ブレーキ側） |
| ⑧ コロ軸受 | ⑰ 引き棒 | |
| ⑨ バネ | ⑱ 通風窓 | |

図 3.8 コーンブレーキモータの構造

Fig. 3.8 Construction of cone brake motor.

電動機は片軸のみの標準形ですみ、据付けもスペースもコンパクトになる利点があるが、反対にカップリング付近のスペースがせまくなりすぎ、点検・保守に不便を生ずることもある。

なお最近の小形電動機では、電動機と制動機とを一体として組み合わせ、小形化したものも多く、制動の方法も全閉外扇形電動

機の外扇をブレーキホイールと共用させたものや、回転子を円錐台形として停止時には電動機軸全体を軸方向に移動させ、外扇と共用のブレーキホイールを外被についたブレーキシュに接触させて制動をかけるものなど、種々のアイデアのものが実用されている。図 3.8 は後者の構造を示している。

4. 絶縁と温度上昇の選定

電動機の充電電路の絶縁と温度上昇限度などについては JEC-146 (1960)「回転電気機械一般」、JEC-147 (1960)「電気機器絶縁の種類」に普遍的な事項が規定されている。また、すでに述べた統一規格を有する電動機{たとえば圧延用直流電動機は JEM 1157 (1961)}は個別に定められているので詳細は省略するが、それらの選定に際しては種々の条件から絶縁の種類を決定し、なるべく統一規格を有する電動機を選ぶのが得策である。基準周囲温度については炉周辺等を除いては 40°C としてさしつかえない。(電動機の冷却媒体が空気の場合) 炉周辺等、電動機が実際に使用される場所の基準周囲温度が 40°C を超える場合には、その差だけ定められた温度上昇限度の値より低減したものをその電動機の溫度上昇限度として計画しなければならない。

また電動機の温度上昇は、その絶縁の種類によって決まる温度上昇限度と同一の値をとることが多いが、温度上昇の限度内に決めて、その温度差で連続または短時間の過負荷を保証する(サービスマークを有する)場合もある。たとえば工業用直流電動機 JEM 1170 (1963)の防滴保護形では巻線に B 種絶縁を用いてその温度上昇限度を 60°C (温度計法)と定めている。通常 B 種絶縁の温度上昇限度は防滴保護形では 70°C となっているので、その差 10°C だけの余裕があり、それによって定格回転数の全範囲を通じて定格出力の 115% 負荷連続運転に対して実用上支障のないことを保証している。

熱帯地方では基準周囲温度を 50°C とする 경우가多いが、この規格による電動機をそのまま用いて定格負荷連続運転が可能となるわけであるが、115% の連続運転は保証されないこととなる。

また誘導電動機は一般に過負荷運転に際してある程度のサービスマークをもっているが(NEMA の一例では 60 c/s 専用 2.2 kW 開放形 A 種電動機の場合、定格負荷で温度上昇は 40°C として設計し、温度上昇限度 50°C との差 10°C によって定格電流の 115% の連続運転が可能である) 電磁開閉器は JISC 8325 (1963) の規定により、定格電流の 100~125% の範囲内で開路することになっているので、サービスマークを考慮して使用する場合には、それにたえる電磁開閉器を適用しなければならない。抵抗法で巻線温度を測定する場合には巻線の平均温度しか得られないので、最高部の温度がその限度を超えないように若干の開きが設けられている。

なお電動機の GD² を小さくするか外形寸法を切りつめる必要がある場合(冷間圧延機の巻取機用電動機等)には F 種、H 種絶縁を用いて温度上昇限度を高く(B 種と同じ値)にとる場合が多い。

5. 定格の選定

電動機の使用の種類には、

- (1) 連続使用
- (2) 短時間使用
- (3) 短時間負荷連続使用

製鉄用電動機の選定(その 2)・市川

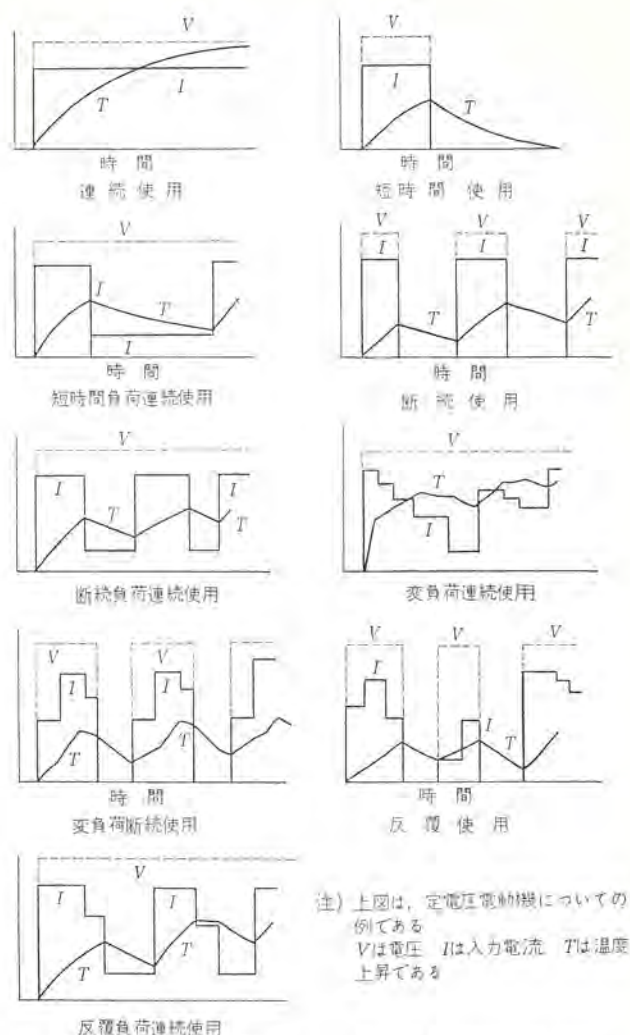


図 5.1 使用の種類

Fig. 5.1 Parts of duty.

- (4) 断続使用
- (5) 断続負荷連続使用
- (6) 変負荷連続使用
- (7) 変負荷断続使用
- (8) 反覆使用
- (9) 反覆負荷連続使用

などがあり、それらの概要を図 5.1 に図示する。これらの使用状態に対する電動機の選定には

(a) 負荷の要求する最大トルク、起動トルク(同期電動機の場合は、引入れトルクを含む)に耐えられるか。

(b) 温度上昇は、JEC-146 その他に規定する限度内にはいるか。

(c) 直流機では整流に支障はないか、などを考慮すべきである。

(1)の場合、一定負荷であれば、その負荷に相当する出力の連続定格のものでよく、(2)の場合、一定負荷であれば、その負荷に相当する出力の短時間定格のものを採用すればよい。

(3)~(7)の使用のものについては、等価連続出力を算出することが困難であるから、従来の経験から全閉形では、全負荷全速度に必要な出力を基礎にして、30 分定格・1 時間定格の機器を使用する。(8)、(9)のものは、等価連続出力を計算することができる。これらは温度上昇によって定格を決めるものであるから、2 乗平均法または平均損失法を用いる。前者が一段的であるが、熱損失が負荷の 2 乗に比例するとの仮定に基づくものであるから、

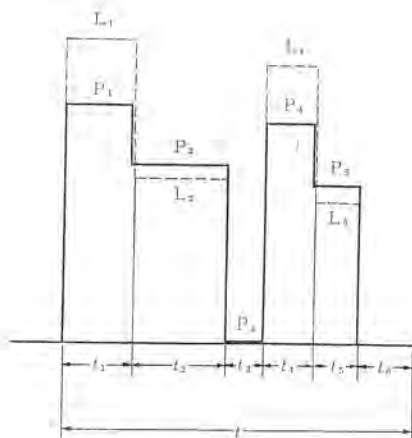


図 5.2 電動機負荷の例
Fig. 5.2 Sample of motor load.

鉄損が銅損に比べて大きい短時間定格の誘導電動機や、起動をひんぱんに繰り返すカゴ形電動機などのように、損失が出力に比例しないような場合には適用できず、1周期中の平均熱損失から定格を決める平均損失法によったほうがよい。

図 5.2 のような t を 1 周期とする反覆負荷の出力の 2 乗平均値 P_a は

$$P_a = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4 + P_5^2 t_5}{t}}$$

また 1 周期中の平均損失 L_a は

$$L_a = \frac{L_1 t_1 + L_2 t_2 + L_3 t_3 + L_4 t_4 + L_5 t_5}{t}$$

これらの計算結果から P_a または L_a に等しい連続定格の電動機を選ぶか、またはこれに対応する短時間定格のものを採用すればよい。なお、最大負荷が電動機の過負荷耐量を越える場合は、上位のワッ番を採用し、過負荷耐量を越えないようにしなければならない。しかし、定格出力は作業の duty から決まる値に近くとり、過負荷耐量を高く採ったものを用いるほうが経済的な場合がある。

6. 電動機選定の一例

電動機選定の一例として、冷延工場スリットライン用主電動機の選定方を述べよう。

スリットラインの機械側諸要目は、下記のとおりと仮定する

処理材料	冷間圧延軟鋼板
板厚	0.23~3.2 mm
板幅(材料)	1,300 mm (max)
コイル寸法(材料)内径	419 mm (16 $\frac{1}{8}$ ")および 508 mm (20")
外径	2,134 mm (84") max
(製品)内径	508 mm (20")
外径	2,134 mm (84") max
コイル重量	20,000 kg max
ライン速度	厚物または多条数スリットの場合 100 m/min 薄物を小条数スリットの場合 300 m/min
最低連続ライン速度	定格速度の 30 %

またラインの構成は、図 6.1 のとおりである。

6.1 機種を選定

起動の際は、4 台の電動機がいっせいにセン(揃)速起動し、ストリップに引張りタルミを与えないようにし、また定格ライン速度の 30~100 % の間の任意の速度で連続作業の必要あり、巻戻し・巻

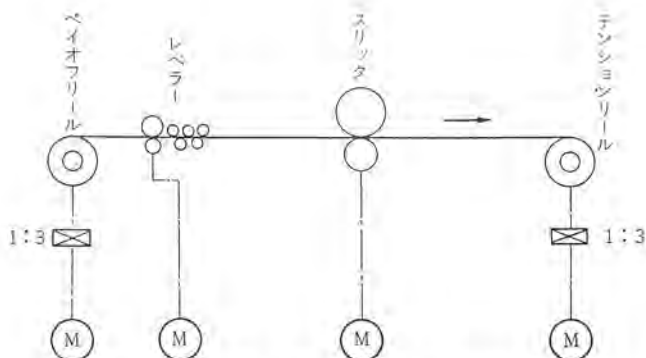


図 6.1 冷延工場スリットラインの構成
Fig. 6.1 Arrangement of slitter line.

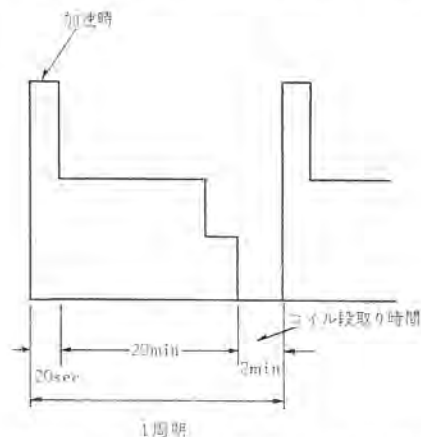


図 6.2 スリットライン用電動機の負荷曲線
Fig. 6.2 Time-load curve of slitter line motors.

取り張力は、巻細り・巻太りに際しても一定設定値を保たなければならないなどの理由から、速度制御・トルク制御の容易な他励分巻直流電動機をフーレンワード制御で用いることにする。

6.2 形式の選定

設置場所は冷延工場(屋内)であり、また最低連続速度は定格速度の 30 % であり、後述のように定格ライン速度が 100 m/min の場合の電動機(レベル、スリット)の回転数は基底速度に近くなるので、防滴自己通風形が適用できるかどうかの境界点となる。したがって安全側をとって各電動機外被に送風機を取り付けた開放他力通風形とする。ペイオフリール・テンションリール用については加減速時間を短縮し、制御の速応性を高めるために GD^2 を極度に小さくする必要があり、開放他力通風形が適当である。

6.3 定格の選定

スリットラインに使用される電動機の負荷曲線は、図 6.2 に示すものであって、最も重負荷のスケジュールにおける反覆負荷連続使用にあたるわけである。したがって 5 章で述べたように、2 乗平均法で計算するのが正攻法であるが、加(減)速時間とコイル段取り時間などは定速作業時間に比べて非常に短い場合が多いから、加速時のセン頭負荷は電動機の過負荷耐量(たとえば 200 % 1 分間)でもたせ、定速度運転時における持続最大負荷を出力とし、連続定格とする電動機を選ぶ場合が多い。

電動機の定格の選定は、セン頭負荷に対する過負荷耐量より決まる場合と、作業の Duty より決まる rms 電流の %、すなわち平均負荷によって決まる場合とあるので、特殊なものたとえばスロブシャモータのごときものは、過負荷の % を 350 % のように高くとったほうが経済的になる場合がある。

次にペイオフリール電動機の回転数を決定しよう、コイル外径は

84"~161/8"まで変化するから、定格ライン速度（定格電圧）における電動機の基底速度をあまり高くすることは構造上むずかしい、またあまり低くすると電動機の外形寸法が大きくなるので、それらを考慮して

300/1,530 rpm（界磁制御範囲）

とする。（この値に対して上下に5%程度ずつの余裕をとるのが普通であるが、界磁制御範囲が広がっている現在、余裕はとりにくくなっている。）

さてこのラインは前述のように定格速度が100 m/minと300 m/minの2段切換えとなっており、所要トルクが大のときは界磁を強くし、速度を下げ、100 m/minとし、反対に所要トルクが小のときは界磁を弱くし、ライン速度を上げて300 m/minの高速運転を行なうという電気的方法と、電動機と機械との間に1:3の減速機を置き、それを入れたり、短絡したりして、速度を1:3に切り換える機械的方法の二つの方法が考えられる。いずれにしてもテンションリール、パイオフリー電動機は、界磁制御範囲が上述のように1:5.1のように大きなものとなるので、これにさらに1:3の制御を行なうことは不可能であるので、1:3の減速機を置くことを決定する。

レバ、スリットについてはどちらでも可能であるが、電気的方法の場合には、

- a. 機械、電動機回りの構造が簡単になる。
- b. 切換操作が簡単円滑である。

などの長所があるが、経済面では機械的方法が有利なようである。すなわち30 kW電動機で400/1,200 rpmのものと1,150 rpmのものの重量比は理論上、基底速度に逆比例すると見てよく、価格も400/1,200 rpmのものは1,150/400=2.9倍程度になると思われる。30 kW 400/1,200 rpmの直流電動機の価格を140万円程度と仮定するとき、これを30 kW 1,150 rpmのものにすると

$$140 \text{ 万円} \times \frac{1}{2.9} = 49 \text{ 万円}$$

と計算されるが実際には、ワッ番を下げれば重量では多少理論上の計算値よりも増し分があるのが普通であり、60万円ぐらいと思われる。（直流機の重量比は基底回転数のほぼ0.75乗に逆比例するとも言われ、概略値を得る目的には、計算値の補正は行なう必要はない。）したがって差し引き80万円安価となったわけである。1:3の減速機は40万円程度と推定されるから、総計40万円の差額が出されるわけである。（双方とも付属品の計算は省略した）

なおスリットの刃の径は最大10%程度摩耗することが考えられ、また界磁制御範囲の上下に、おののおのいくらか（5%程度）の余裕をとって、400/1,400 rpmをスリット電動機の界磁制御範囲とする。

7. 電動機の最近の動向

従来交流電動機とくに誘導電動機は堅ろうで保守も簡単で、商用電源から直接駆動できるため、一般の動力源として広く利用されてきた。しかしながらこれを用いて広範囲の速度調整や、精密な定速度運転を行なうことが困難であることは前述のとおりである。これに反して直流電動機はブラシ・整流子の摩耗部分をもつ欠点はあるが、制御性能はすぐれており、精密速度制御はいうに及ばず、可変速度調整・急激な可逆運転が可能のため広く用いられるものである。

製鉄用電動機の選定（その2）・市川

これら両者の長を結びつけて交流機を用いて制御性能を直流分巻電動機に似せることは、われわれの多年の夢であるが、サイリスタ（SCR）の開発により、にわか研究が進みその優秀なインバータ作用を利用する方法がいろいろ実験されているので、誘導電動機・同期電動機を用いる場合のおおのについてごく概略を紹介する。

（1）誘導電動機の変周波数インバータによる速度制御回路構成は、図7.1のとおりであるが、交流商用電源を可変出力電圧整流器によって可変電圧の直流電源を得、これを可変周波数インバータ（SCR）に入れる。SCRインバータのゲートにはリングカウンタにより、各相へ所要周波数の出力を得るようにパルスが分配され与えられる。

図7.1のインバータの出力電圧は、大略インバータ出力周波数に比例させて、図7.2の説明に示すような2.2 kWカ形誘導電動機を可変周波数制御した実験結果は、図7.2のとおりであって直流分巻電動機に近い特性が得られている。

きわめて簡単な説明であるが、詳細について興味のある方は、参考文献（1）を一読されたい。

（2）同期電動機の変周波数制御

脱調や乱調のため、取り扱いのやややっかいな同期電動機の場合には、誘導電動機のような可変周波数インバータによる単なる駆動は実用上問題が多く、界磁の回転と同期して電機子電流を切り換える、いわゆる無整流子電動機によらなければならない。こ

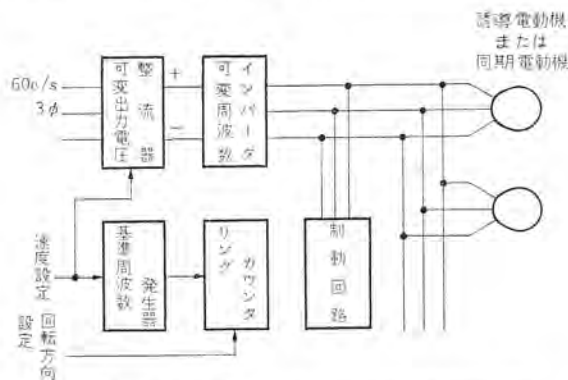
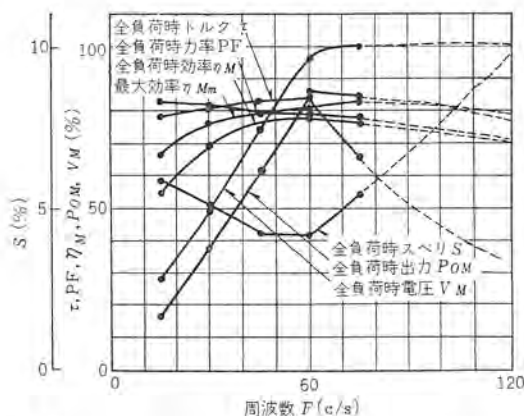


図 7.1 可変周波数インバータによる速度制御装置
Fig. 7.1 Speed control system of AC motors using variable frequency inverter.



誘導電動機定格
電圧：200 (V) 電流：8.5 (A) トルク：1.24 (kg-m) 周波数：60 (c/s)
極数：4 スベリ：5 (%) 出力：2.2 (kW) 相数：3
(注) 全負荷時は電流が定格値のとき

図 7.2 2.2 kW 誘導電動機駆動特性（実測）
Fig. 7.2 Driving characteristics of 2.2 kW induction motor with the variable frequency inverter.

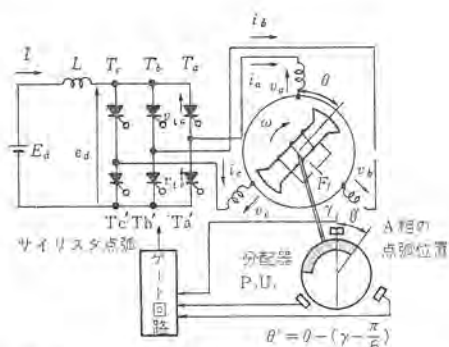


図 7.3 無整流子電動機の基本回路結線
Fig. 7.3 Schematic circuit of commutatorless motor.

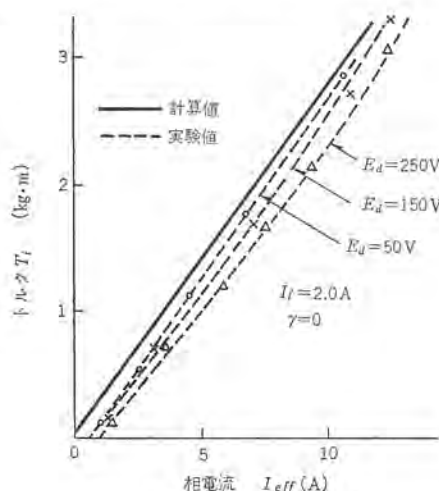


図 7.4 トルク対相電流
Fig. 7.4 Torque vs current. (Measured and calculated)

の方式は分配器によって回転子の位置を検出し、それに応じてサイリスタインパースを制御するもので、直流機が回転軸に直結された整流子によって電機子電流の切り換えを行なっているのとまったく等価に考えることができる。

基本回路は図 7.3 のようなものであって、直流電源電圧 E_d (交流商用電源から SCR コンバータを通して任意の値が得られる)、位相角 γ ・界磁電流 I_f を変化させることによって、種々の特性が得られるが、3 kW 200 V 50 c/s 12 A トツ (凸) 極同期電動機について行なわれた実験結果の一部を掲げると、図 7.4, 7.5 のようであって、

- 起動・低速運転・高速運転を含めて、きわめて安定な動作が得られる。
- 直流分巻電動機と同様なすぐれた分巻特性が得られる。

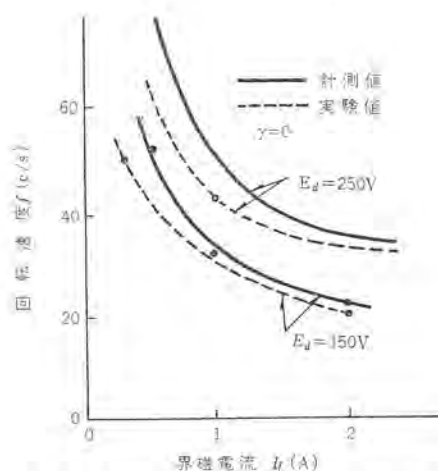


図 7.5 回転速度：界磁電流 (実験値との比較)
Fig. 7.5 Speed vs field current. (Comparison between calculated)

というのが特性の要約である。詳細については、参考文献(2)を参照されたい。

本文では電動機の最近の動向について最も顕著な例を無整流子電動機にとり略述した。

8. む す び

以上 製鉄所における電動機を選定法の一部を記したが、機種形式・定格・出力・回転数・温度上昇などはできるだけ標準規格を適用することが、技術的にも経済的にも有利であることは申すまでもない。

紙面の都合もあるので筆をとめるが、まだ記したいことが多い。電動機出力の計算実施例、電圧の選定などについては、機会をみて研究の成果を発表したいと思っている。筆者の浅学のためにまづいものになってしまったが、合理的な電動機選定にあたってなんらかの参考になれば幸とすところである。

執筆にあたり多くの有益な文献を参考にさせていただき、また三菱電機株式会社の皆様より適切なご助言を賜りましたので、末筆ながら紙上から厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 大野, 赤松: SCR 可変周波数インパースによる交流電動機の速度制御「三菱電機技報」38, 931 (昭 39)
- (2) 大野, 岸本, 赤松: サイリスタ無整流子電動機「三菱電機技報」39, 1103 (昭 40)



電子計算機による三相誘導電動機特性算定

桐 生 悠 一*

1. ま え が き

コンピュータは高価な機械である。多くのビジネスがコンピュータ利用に意欲的なのはそれが技術的に高級で面白いからではなく、それにより大きな利益機会の開発が可能となるからである。

したがってわれわれがコンピュータをどのような分野の機会開発に利用すべきかを考えるとき、最大の関心をその経済性におかねばならない。

技術計算といわれる分野ではあまりに簡単な計算にコンピュータを使うのはペイしないことは理解できるが、それではどの程度のものから採算ベースに乗るのであろうか。本文はこの間に実例をもって答えるものである。

円線図計算プログラムの技術的内容は比較的簡単なものではない。それが当社最初のルーチン計算となりえた理由であろう。当初は手計算でやれるものをなぜコンピュータにかけるのかといった疑問がよく聞かれた。しかし手計算で1件あたり30分以上を要するこのジョブはコンピュータの利用が十分に経済的であったし、その利用量も着実に伸び、今では当社で最大の使用実績を記録するにいたり、マンパワーの節約に大きな寄与を行なっている。このジョブの機械化は最初は円線図専用アナログコンピュータとして計画していたがIBM 650の利用が可能になった時点でそれに切り換え、さらにIBM 7090からMELCOM 1530と6年間に3度も使用するコンピュータの機種を変えてきた。またその間プログラム担当者も三代にわたって円滑に引き継がれ、有効利用のための絶えざる改良の努力がはらわれてきた。

本文ではこのジョブを手計算の分野にコンピュータを利用し効果を上げた例として各時点における問題点と改良のあとを紹介して参考に供したい。最初に過去、現在、将来にわたってコンピュータ利用の進化を展望し、このジョブがどのような位置にあるかにふれよう。

2. コンピュータ利用の進化

2.1 二つの進化の系列

コンピュータは軍事研究の産物であり、微分方程式の数値解析を目的に開発されたものであった。しかし科学技術計算用として軍、大学、電子工業界の研究所の手で発達し実用化されるであろうとするおおかたの予想を裏切って、当時すでに適当な入出力装置を有していたIBM社などの事務機械メーカーがその後の実用化の主導権をにぎる結果となった。こうして事務計算と技術計算という二つの利用分野が別個に開拓されることとなった。

産業界においてはこの二つの分野は現在のところ独立した進化の線に沿って発展しつつあるようにみえる。常識的には事務計算は経理出身者が、技術計算は設計技術者やIE技術者が取り扱う分野であり、同一のコンピュータを利用している場合でもこの二つのグループは性格的にも職制上からも独立して活動している。

しかし遠からずこれらはトータルシステムにその接合点を見いだすものと思われる。その一般的な進化の姿を描くと次のようであろう。

2.2 事務計算の進化

事務サイドでは数十年前からパンチカードシステムが着実に浸透し、わが国でも昭和20年代後半の急速な普及が静かな事務革命として注目されたことは記憶に新しい。この時期の主役は分類、四則演算を行なう統計会計機であった。

昭和30年代にはいってコンピュータが事務データ処理に導入されるとテープによる高速分類集計作業、大容量ランダムアクセスメモリによる在庫、出荷管理が一般化するようになった。その後も多くの作業分野に適合する各種入出力装置、データ伝送、オンラインリアルタイム方式の実用化により急速な進化が行なわれ、銀行などの業界ではすでにトータルシステムと呼べるものを実現している。また他の産業界ではデータの複雑多様性が障害となってそこまでは到達していないが、進取な事業体ではすでに営業所、本社、工場を結ぶ営業データ処理システムを完成し、トータルシステムの実験的段階にはいっているものもある。

2.3 技術計算の進化

技術サイドのコンピュータ利用の進化を具体的に説明するため個別注文生産工場を例にとってみよう。

この第1段階は従来人がやってきた計算作業をコンピュータに置き換えるもので、設計部門などのルーチン計算のコンピュータ化がこれである。

第2段階は人がやるのが経済的でないため従来は行なわれていなかった計算作業がコンピュータにより初めて現実的となるもので、より精密な設計計算、最適設計計算、複雑な研究開発の単発計算、重回帰などの統計計算がこれに該当する。ここまではコンピュータによる技術計算分野の量的改革と考えられる。

次の段階ではコンピュータは設計、工程、工作、営業、経理などいくつかの職能にわたる業務を一貫して取扱うもので、たとえば受注仕様書をインプットとし、設計書、部品表、各種帳票、日程表、工数表、原価表などをアウトプットするオーダー処理プログラムなどがこれに当たる。このさいデータ処理システムが従来の人間向きの方式からコンピュータ向きの方式に切り換えられるのが通常であり、これはコンピュータによる質的改革と考えてよい。

工程管理の分野では日程計画、部品の量と状態の掌握、各工事の工程進行なども量産品工場ではすでにパッチ処理方式のコンピュータで実現しているが、個別生産工場でもオンラインリアルタイム方式のコンピュータによる生産管理が普及するのは遠いことではない。

最後の段階では事務サイドにおける営業管理と技術サイドにおける生産管理は統合され、事業所レベルさらには事業体レベルにおいてトータルシステムが実現するであろう。

さて、以上の考察によると本文の円線図計算は技術計算の第1段階、すなわちコンピュータの導入に当たって最初にそして徹底して開拓されねばならぬ分野に属していることがわかる。この分野

においては 人手でやるほうが経済的であるものが少なくないから、着手にあたっては慎重に経済性の検討が行なわれなくてはならない。以下、円線図計算法がどのような意図の下にコンピュータ化され、変遷してきたかを説明しよう。

3. 円線図法による特性算定

3.1 三相誘導電動機 の特性算定と所要マンアワー

三相誘導電動機の電気的等価回路は本質的に変圧器のそれと同等であり、手間のかかる実負荷試験によらずとも簡単なショートテスト、すなわち無負荷試験、拘束試験、一次巻線抵抗測定だけから後は計算で最大出力、停動トルクや任意の出力における一次電流、力率、効率、スベリなど所要の特性値を求めることができる。JIS C 4207「三相誘導電動機の特性算定方法」には甲種および特殊甲円線図には図 3.1、乙種および特殊乙円線図には図 3.2 に示す等価回路を適用することとし、特性算定にあたっては作図による円線図法と、計算のみによる円線図計算法の両方法の計算手順を規定している。

円線図法は等価回路の二次側が抵抗とリアクタンスの直列回路であり電流ベクトルの軌跡が円になることを利用してアナログ的に特性を求めるもので、参考までに図 3.3 に乙種円線図を示した。人手による場合は円線図法のほうが円線図計算法よりはるかに楽で短時間内に算定できるため試験場においては従来はすべて円線図法によっており、円線図計算法によることはなかった。

円線図法による特性算定が必要となるのはおもに標準品から定期的に抜き取って標準成績表を作成するときと、個別受注生産

品で客先提出用試験成績表を作成するときである。当所の場合この特性算定のため月間約1,100マンアワーを要すると見積られている。

数人の円線図専任者が終日細い鉛筆で書かれた円線図と計算尺に目をこらして特性算定しており、疲労が著しく無理がきかない作業であると以前から問題になっていた。

3.2 アナログコンピュータの試み

この計算作業が人間を単なる低級な計算機械として使う非人間的な作業であることは明白であり、とくにそれに費されるマンアワーが膨大であることから早急に何らかの現状打開が必要であることが理解できよう。このため昭和33年より円線図法専用アナログコンピュータの開発に着手した。

これは図 3.1、図 3.2 の等価回路において一次抵抗を基準量とし、他の抵抗およびリアクタンスはサーボドライブされる可変素子とし、これに多数のサーボ演算器を組み合わせたものであった。無負荷試験、拘束試験などの数値はポテンショメータに設定されそれを内部で基準化し、これらを満足するように可変素子が平衡した後出力抵抗を任意の出力をうるように変化させて一次電流、力率、効率、スベリ、トルクなどが計器に指示される構成になっていた。

翌34年後半にはすでに基本設計を完了し、試作したサーボ演算器の精度測定を行ないつつあった。この時期に IBM 650 の利用が可能となったことが紹介されたのであった。

4. IBM 650 時代

4.1 利点と欠点

IBM 650 は1語10デジット、有効ケタ数は10進法8ケタ、2K語の磁気ドラムメモリを有する科学技術計算用として最初の成功した量産モデルであるといわれる。コンピュータ部門では出遅れていた IBM 社がより高度のエレクトロニクス技術を有する先発メーカを FORTRAN を主力とするソフトウェアの総合力で決定的に追い抜いていった時期の産物であった。

一方はこれから多大の労力と費用を投じて開発せねばならぬ円線図専用アナログコンピュータ、他方は FORTRAN でコーディングすればすぐにも使えるデジタルコンピュータとあっては優劣はおのずから明らかである。ただちに前者の開発を打ち切り、昭和35年8月には円線図計算法の FORTRAN プログラムを作成し、若干の試用期間ののち各試験場において本格使用にはいった。

人手による計算から解放されかなりの時間節約ができたこと、計算精度が驚異的に高く従来よく問題にされていた個人差がなくなったこと、人間のようなエラーがないことなど圧倒的な利点がある一方、特異なインプット、アウトプット様式を用いなければならぬこと、計算依頼から結果の到着までの所要時間が長いなどの欠点をしのばなければならなかった。

第1の欠点である特異な様式とは650 FORTRAN においては話の読み書き順序は指定できるが語長は1語10カラム、語間の空白3カラムと固定されており、様式设计が不自由であることをいう。図 4.1 はそのアウトプットの例であるが、2000000053 は200を、4990000049 は0.0499を意味するなど暗号の解読のような困難さがある。

第2の欠点である所要時間が長い原因はインプットは当所から本社へ送られ、ここから日本 IBM 社の計算センタへ計算依頼する

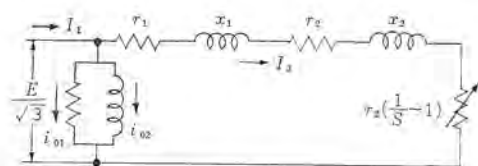


図 3.1 甲種等価回路
Fig. 3.1 Type Koh equivalent circuit.

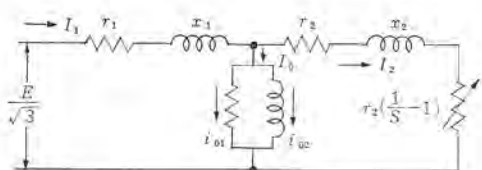


図 3.2 乙種等価回路
Fig. 3.2 Type Otsu equivalent circuit.

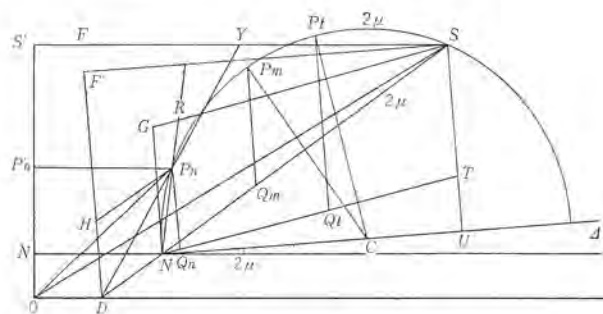


図 3.3 乙種円線図
Fig. 3.3 Type Otsu circular diagram.


```

21      202197      4      102
2000000053 2850000052 6850000053 4990000049
4800000052 8000000052 3630000054
3150000052 8000000052 2520000054
1499121153 1719729353 2344826153 3727145752
2500000050 5500000051 3486297952 5196509552
5000000050 1100000052 4832807552 7209519552
7500000050 1650000052 6589948152 7935324752
1000000051 2200000052 8706949052 8125884752
1250000051 2750000052 1137713753 7993901852

```

図 4.1 IBM 650 のアウトプット

```

2200000052      8      60      2220000
1800000052      2230000
2240000
2250000
2260000
2270000
2280000
2290000
2300000
2310000
3333332353 4359234653 5248636451
8763864452 9437545550
9113727552 1968467651
9108490852 3128950951
8976255352 4531947451
8728710152 6461643451

```

Fig. 4.1 Output list of IBM 650.

ため、結局往復で1週間近くかかる実状で急場の役にたたなかった、とくに客先提出用試験成績表は急ぐのがほとんどで、利用したくとも時間的に許されない場合が多かった。

しかし上記利点の魅力は大きく、これらの欠点にもかかわらず全件数中の約3割がコンピュータを利用するという当初としては良好な成績を上げることができた。

参考までにこのプログラムの FORTRAN カード枚数は147枚であり、計算時間は出力を10%きざみで200%まで計算させて1件あたり23秒、計算費用はパンチ代なども入れて1件あたり約200円であり、経済分岐点ぎりぎりであるため当初は経済性を疑問視されたこともあった。

4.2 チェッキングルーチン

円線図の熟練者は計算が早く正確でデータの誤りを発見し訂正することができる。コンピュータは本質的に高速性と高信頼性を備えているが、そのままではデータの誤りを検出し修正することはできない。誤りを修正するような器用なことは容易ではないが、ある程度の誤りを発見することはプログラム作成時にそのような機能を作り込むことにより可能となる。この誤りを発見しあとの演算に支障のないよう処置をとる機能をチェックルーチンとよび、結果の信頼性を高めいかなる条件のもとでも円滑な作業を保証するために重要な業務計算には完備しなければならない機能とされている。

このプログラムにも1以上の力率、負数の平方根、分母の零など物理的に不可能な状態を検出し、エラーメッセージを出し、次のケースの計算に移るためのエラーチェックルーチンが11個所に組み込んである。また物理的には可能だが従来の計算例の経験から判断して異常とみられるインプットがあるときに計算はそのまま続けるが、異常警告のメッセージを出す警告用チェックルーチンを5種類備えている。警告用チェックルーチンは次の五つの数値がそれぞれの正常範囲内か、それとも大きすぎるか小さすぎるかにより動作するもので、多数の計算例によりそれらの統計的分布を求め、これに対数正規分布するものと仮定して3シグマ限界を決定している。

$$C_1 = \frac{R_1 I_s^2}{W_s'} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$C_2 = \frac{E_s'}{E} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$C_3 = \frac{W_0}{E I_0} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

$$C_4 = \frac{E_s''}{E_s'} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

$$C_5 = \frac{E_s' W_s''}{E_s'' W_s'} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

上式において R_1 は一次巻線端子間抵抗値、 E は定格電圧、 E_s' 、 E_s'' は定格周波数および $1/2$ 周波数におけるインピーダンス電圧、 I_0 は無負荷電流、 I_s' は拘束電流、 W_0 は無負荷入力、 W_s' 、 W_s'' は定格周波数および $1/2$ 周波数における拘束入力である。現在はどうのような電動機に対しても同一の判定範囲を用いているが、電動機の機種や極数により層別した判定範囲を適用すればより高性能なチェックルーチンとなろう。

5. 7090 時代

昭和37年3月に極東では最初の大形コンピュータ IBM 7090 が三菱計算センタで業務を開始し、円線図計算もこの FORTRAN に書き換えられた。

7090 FORTRAN では FORMAT ステートメントによりインプット、アウトプットの読み込み、印刷様式の設計が自由になり、図5.1に示すような見やすいアウトプットが得られるようになった。

このころになるとルーチン計算に優先権が与えられて処理がスムーズになり、所要時間は従来よりは改善されたというもののいぜんとして3日以上を要していたが、依頼元である各試験場では特性算定をできるだけコンピュータに肩代わりさせる傾向が顕著になってきたのと急激な生産量の増大にとても手計算ではついてゆけなくなったことから、とくに緊急なものの以外はコンピュータによることとなり利用量が急激に増加してきた。このため試験場は楽になったが試験所要期間が長びくようになったため他の部門に若干の迷惑がかかったのは事実である。

この状態をいくらかでも改善すべく次のプログラム担当者により図5.2のような専用インプット用紙が工夫されて、従来1ケース当たりカード3枚であったのをカード2枚にしてパンチ時間を低減し、従来インプット用紙のまま三菱計算センタに送っていたのを当所でパンチしてインプットカードにして送ることにした。またアウトプットの返送を航空便で行なうことになり、以上の改善の集計により約1日間分の時間短縮が得られた。

なお IBM 7090 になってからの計算費用は1件あたり100円程度であり、そのうち計算機直接の費用は約25円で他はパンチ代やプリンタの使用代となっており、経済的に十分引き合うようになった。

6. MELCOM 1530 時代

どのような種類の計算でも何日ものんびりとアウトプットが返送

SER. NO. 20417
TYPE SF-E

4P

60CY

```
RBT= 0.1232E 02
TEMP= 23.0
INS.CLASS= E
```

```

ISTA= 427.0*
ISTA= 0.6448E 01A
CLASS= 6.14 (E)

```

R= 0.1211E 02
X= 0.1553E 02 2-MFW= 3.37DEG.

FF= 68.78
78.36
80.25
79.35
76.71

PF=	54.07*	SLIP=	1.14*	INPUT=	0.1454E-00KW
	74.00		2.41		0.2552E-00
	83.33		3.84		0.3738E-00
	87.60		5.54		0.5041E 00
	89.36		7.66		0.6518E 00

図 5.1 IBM 7090 のアウトプット

Fig. 5.1 Output list of IBM 7090

[illegible]

図 5.2 円線図専用インプット用紙

Fig. 5.2 Input data sheet for this routine.

それにもかかわらず、前述のように所要時間が長いコンピュータの利用が向上して100%近くになったのは、生産性向上の要請により試験場に田線区専任者をおく余裕がなくなったためである。実

この事態は前述の改善努力により多少好転できては郵便に頼っているのでは限界がある。その本質的な改善は中央の大形コンピュータ

MD-04790

18

TEST REPORT OF INDUCTION MOTOR

Customer Messrs.

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION NAGOYA WORKS
YADA-CHO HIGASHI-KU, NAGOYA, JAPAN

Cust's Order No. M-1--1476

Used for

Manf's Order No. 14--5678-9

No. of Sets

1298

Manf's Type	SF-E	Rotor Construction	C	Manf's Serial No.	808118
Insulation Class	E	Rating	CONT	3 Phase	Frame No. 80
4 KW	6	Poles	50	200.0 Volts	1.92 Amp. 920 R/M

Coil Resistance between Terminals

Stator Coil	9,5000	R	Rotor Coil	.	R	Amb. Temp.	23.5	D
-------------	--------	---	------------	---	---	------------	------	---

No Load Test

	%	Volts	Amp.	Watts
No Load Test	50	200.0	1.92	95

Load Characteristics (Circular Diagram Method)

Load (%)	Current (A)	Efficiency (%)	Power Factor (%)	Slip (%)
25	1.99	50.9	29.2	1.0
50	2.07	65.6	43.4	2.2
75	2.23	71.1	55.7	3.5
100	2.47	72.6	65.4	4.9
125	2.79	72.3	72.8	6.7

Max. Rotor Volts (V)	1500
Max. Torque (%)	254
Max. Output (%)	200
Starting Torque (%)	231
Starting Current (A)	9

Temperature Test

Load Current (A)	Hours Run	Temperature Rise (deg. F) by Thermometer Method							
		Stator			Rotor			Bearing	
		Coil by Resist Method	Core	Frame	Coil by Resist Method	Slip Ring	Generator	Load Side	Free Side
2.6	30	46.0	.	29.5	.	.	.	23.5	.

Insulation Test

	Insulation Resistance (by 500V Megger)			High Potential Test	
Stator Coil	100	MΩ	A.C. 60 Hz	1500	V for 1 Min. O.K.
Rotor Coil		MΩ	A.C. 60 Hz		V for 1 Min. O.K.

Remarks:

Date

6. 11. 1966

図 6. 1 MELCOM 1530 のアウトプット
Fig. 6. 1 Output list of MELCOM 1530.

ータに直結するデータ伝送を行なうか、手近で利用できるコンピュータを設置するかでなければならない。

昭和40年末に当所に MELCOM 1530 が設置され、永年の懸案がやっと解決可能となった。この MELCOM 1530 は1語18ビットで8K語のコアメモリを有し、この3語をフローティング1語と

して10進法10けたの有効精度をもつ中形コンピュータである。当所へは事務計算用として導入されたが、SIA または FORTRAN でコーディングして技術計算にも使用することができる。図 6. 1 に最近作成された MELCOM 1530 用の円線図計算プログラムのアウトプットを示す。これは円線図専用のフォーム印刷用紙にコンピュータのプリンタでタイプライタのもので、感圧紙を用い同時に多数部タイプライタ、そのまま客先へ提出することができる。このような専用紙の使用は、モニタコントロールにより運転されている大形コンピュータでは不可能ではないにしろ困難であったことで、手近なコンピュータを使うことによる大きな利点である。アウトプットが直接客先提出用試験成績表となるため温度上昇試験や絶縁抵抗値など従来なかった項目が新たにインプットに加えられた。

以上のようないくたびかの変遷をへてついに円線図計算はその究極目標に到達することができた。現在は過渡的に MELCOM 1530 と IBM 7090 の並行使用を行なっているが、近い将来には所内用試験成績表まで MELCOM 1530 で作成する計画である。

7. む す び

技術計算分野でも比較的簡単な内容のものの中に、意外にコンピュータ利用の効果が大きいジョブがあることの具体例として円線図計算による特性算定ルーチンを紹介した。このようなジョブはまだいくらかでもわれわれの周囲にころがっているものである。またコンピュータ技術の急速な進歩、普及にともなって過去には費用や時間の点で実用的でなかった領域にも状況の変化が起こりつつあることを見落としてはならない。

次々と開発される大規模なデータ処理プログラム、シミュレーションプログラムなど、コンピュータ利用は急速に複雑

化し大形化する傾向にあるが、厳密な経済性の追求に徹すればむしろ手計算でやってきたジョブをそのまま、あるいは若干改良し高度化する程度の平凡な領域を着実に広範囲に開拓し、常に改善を続け最良の状態を保たせることにこそより多くの成果の機会が存在するのではなかろうか。(昭41-7-18受付)

配電用避雷器の特性和その適用

岡田 昌治*・永井 信夫*・三住日出夫*

1. ま え が き

最近の避雷器の進歩発達はめざましく、配電用避雷器についても磁気消弧方式の採用による「ファッパ」の遮断能力の向上、特性要素の放電耐量の向上により、高性能。しかも小形・軽量になった。配電系統における避雷器のはたす役めは大きく、柱上変圧器やその他の配電機器の雷害事故を防止するとともに、事故にともなう停電を減少することにより、一般需要家へのサービス向上にも大きく貢献している。

「配電線耐雷設計基準要綱」(電力中央研究所)が発刊されるにおよんで、耐雷設計の基本方針が確立されたといえるが、この技術解説では、主としてその内容から避雷器の保護効果と適用方針について説明し、同時に最新形避雷器の性能を検討して適用上の問題点と対比して解説する。

2. 配電用避雷器の必要性

避雷器の機器保護効果については「配電線耐雷設計基準要綱」その他に述べられているが、一例として Utah Power & Light Co. の停電に関して行なった研究報告⁽¹⁾を引用すると、配電線における避雷器設備の数と雷による停電回数との間には一定の関係があり、停電回数/年 $I=5.62L/Au$ で表わされることが示されている。

L : 線路長 (km)

Au : 避雷装置の設置数

避雷器の定格電圧は ASA 規格に準拠した 9 kV であり、線路

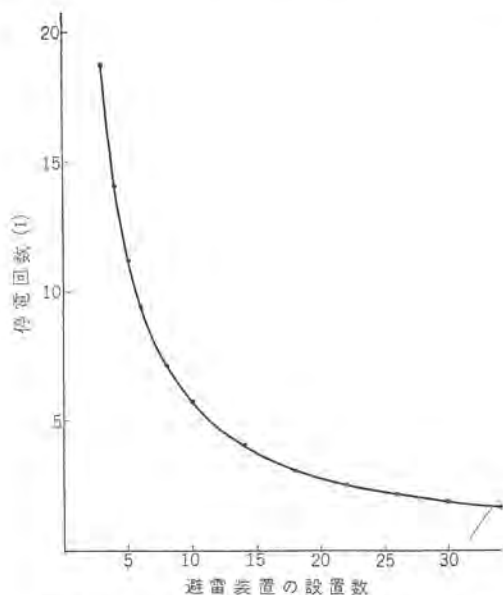


図 2.1 避雷装置の設置数と停電回数の関係 (線路長 10 km あたり)

長マイルを km に、またドルを 1ドルあたり 360 円で円に換算して説明する。

図 2.1 に線路長 10 km の場合の停電回数と避雷装置の設置数の関係を示すが、避雷器を 10km あたり 30 箇所程度設置することにより、停電を非常に少ない回数に減らせることを示している。また配電線路の固定経費を 15% とすると、

避雷器の年経費は $Ca=0.15 KaA$ (A : 避雷器設置数)

停電による損失 $Ci=KiI$

Ka として避雷器の購入費、装柱費、労務費を含めて 7,200 円、1 回の停電による損失 Ki を復旧費、停電による収入減を含めて

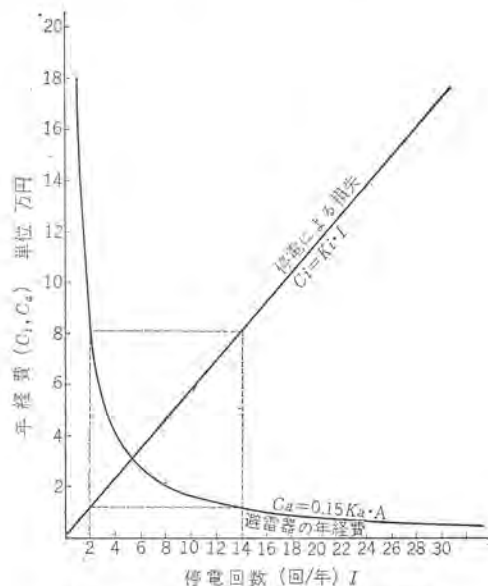


図 2.2 停電による年損失と避雷器経費

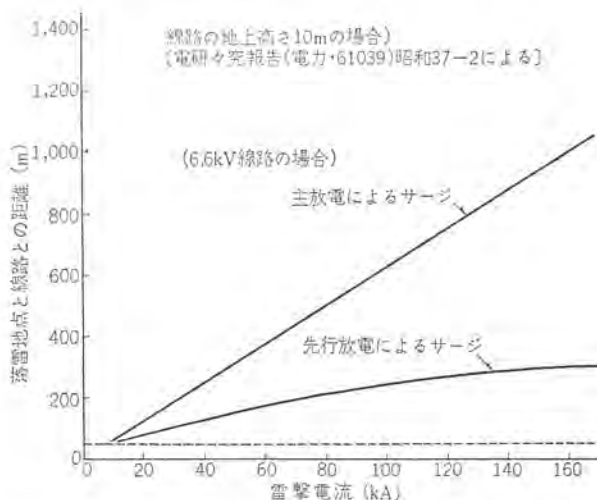


図 2.3 雷撃電流と BIL を超過するサージ(波高値)を発生する線路一落雷地点間の距離の限度

5,760 円と仮定すると上記関係は図 2. 2 で表わされる。図 2. 1, 2. 2 を使用して避雷器の設置費用と避雷器設置による節減費用の関係の求めると、4 個所の避雷装置のある 10 km の線路では年に 14.1 回の停電があり、24 個所増せば年 2 回になりこのときの経費は避雷装置が 4 個所のときと同じになる。

このように避雷器の設置により停電事故が大幅に減少し、機器の焼損による損失、需要家へのサービス向上を考えた場合、配電用避雷器を適当数設置することによる利益は非常に大きなものになる。雷現象による異常電圧の発生には直撃雷によるものと、階段上先行放電および主放電による誘導雷サージによるものがある。配電線における雷サージ発生回数は、線路通過地域の年間落雷回数に比例すると考えられ、これはその地域の年間雷雨日数 (I. K. L.) に関係する。

図 2. 3 に雷撃電流と BIL を超過するサージを発生する、線路一落雷地点間の距離の限界を示す⁽²⁾が、雷撃電流が大きくなると落雷地点が相当離れていても BIL を超過するサージが発生する。たとえば、雷撃電流 100 kA の場合だと、先行放電による誘導雷サージでは 250 m 以下であれば BIL を超過し、主放電による誘導雷サージでは 600 m くらい離れても BIL を超過する。

6.6 kV 配電線路の場合、機器の BIL を 60 kV とすると発生する雷サージのうち BIL を超過する回数は、I. K. L. 30 の地域での落雷回数を km^2 あたり年 4 回とすると図 2. 4 のようになり、I. K. L. 30 の地域では線路長 1 km あたり約年 1 回 BIL を超過する雷サージが発生することになる。実際に雷実測対象配電線における避雷器の動作状況の調査によると、1 雷雨期平均 2 回弱動作し、避雷器放電電流 200 A 弱を越えたとき BIL を超過するサージが発生したと考えると、年平均約 1 回有効動作していることになる。雷サージの値は線路電圧には無関係で、3.3 kV 配電線の

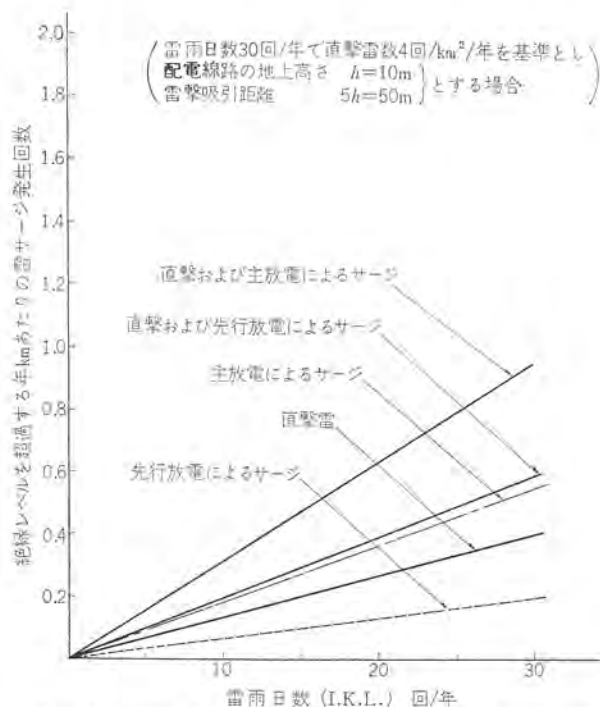


図 2. 4 雷雨日数と絶縁レベルを超過する雷サージ発生回数 (機器の耐圧 60 kV の場合 (回/年/km あたり))

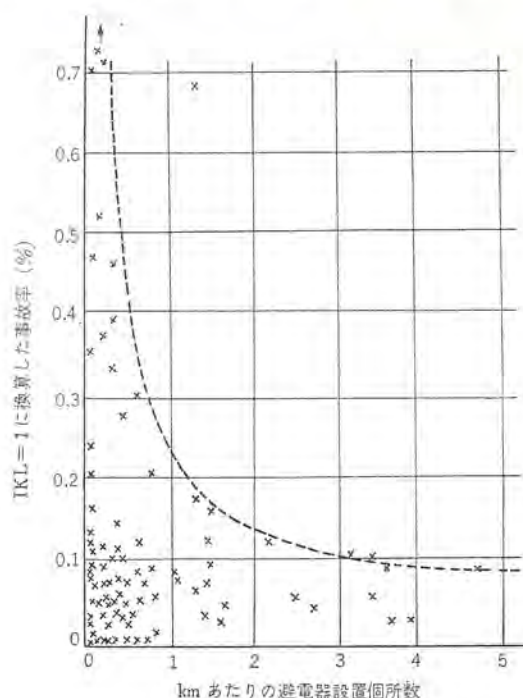


図 2. 5 避雷器設置間隔と柱上変圧器の事故率 (九電力会社の雷実測対象配電線における実績)

場合は機器の BIL が 45 kV と低くなるので、BIL を超過する回数は 6.6 kV 配電線に比べ相当大きな値となる。

なお雷撃回数は雷撃吸引距離によって変わるが、雷撃吸引距離は雷撃電流が大きく線路の接地点が多いほど大きくなる。

図 2. 4 によると直撃雷の占める割合がかなり大きい、実際の配電線路では線路より高い建造物や樹木が周辺にあることが比較的多く、雷撃吸引距離内にあるはずの雷が線路以外のものに落雷し、したがって直撃雷の回数が減り、逆に誘導雷サージの発生回数が増加すると考えられる。従来の実績から、配電線の雷害事故のうち誘導雷サージに基因するものとみられるものが 80~95 % あり、また線路を構成している機器の絶縁耐力が小さいので、配電用避雷器による耐雷設計は誘導雷サージを主対象と考えられているが、その主要な保護は柱上変圧器、油入開閉器などの重要機器および架空線路とケーブルの接続点などである。

配電系統における絶縁協調を考える場合、一般に柱上変圧器などの外箱が接地された柱上機器がいちばんの弱点になり、配電機器のうち最も重要である柱上変圧器の事故率 (I. K. L.=1 に換算したもの) と避雷器の設置個数との関係を図 2. 5 に示す。これによると、たとえば I. K. L. 10 の地域でも避雷器が設置されていないと年間の変圧器事故率は 10 % 以上になることがあるが、避雷器が 1 km あたり 3~4 個所設置されると 1 % 以下になり、I. K. L. 30 の地域でも 3 % 以下に減少する。

なお I. K. L. を 1 に換算した場合で、避雷器の設置個数 1 km 当り 4~5 個所になるとだいたい 0.1 % と一定になるが、これは直撃雷などの避雷器で抑制できないときの事故とみられる。この実績からも避雷器が耐雷設計に欠くことのできない保護機器であることが立証され、機器の焼損による損失の低減、停電防止サービス向上のためにもますます配電用避雷器の普及が望まれている。

3. 配電用避雷器の特 性

3.1 JEC-156 による特性

現在施行されている配電用避雷器に関連した JEC-156 規格には、弁形避雷器に適用される JEC-156 (1963) と放出形避雷器に適用される JEC-142 (1957) の 2 種類がある。放出形避雷器は、元来その特長として制限電圧が低い、価格が比較的低廉であるなどの点があげられ、主として地方の配電系統で使用されたが、4.3 節で記載するように弁形避雷器に比較して制限電圧が低いということは、必ずしも適用上の利点にはならず、また、価格面でも弁形避雷器の量産化により放出形避雷器の魅力がなくなった、系統の短絡容量に適用限界があるなどの理由で、当社では放出形避雷器の生産を昭和 39 年に中止し、生産機種を弁形避雷器に統一している。

弁形避雷器は、構造上密封形であるため、特性が外気象条件による影響を受けにくい、長年月の使用による特性の変動がない、また、繰り返し動作による消耗がない、適用時に系統容量の影響を受けにくいことなどを特長として設計製作される。

JEC-156 によれば、公称放電々流 2,500 A 避雷器が配電線路用避雷器に相当し、「配電線路に分布設置される柱上変圧器その他の機器、送配電線の絶縁および線路途中の比較的重要度の低い機器を保護し、あわせて発電所へ侵入する衝撃性過電圧を低減させることを目的として線路に設置する避雷器である」と説明され、また経済的に設計されていることが強調されている。

当社では、配電線路用弁形避雷器として昭和 5 年に LV 形を開発し、以来年々改良を続け、現在は JEC-156 規格に準拠した公

表 3.1 JEC-156 による 3.3 kV, 6.6 kV 系配電用 2,500 A 避雷器の特性と LV-GL 形避雷器標準特性

	避雷器規格電圧		商用周波数放電開始電圧		耐電圧		衝撃放電開始電圧		制限電圧 kV crest 2,500 A において	放電耐量
	kV rms	kV rms	kV rms	kV crest	kV rms	kV crest	kV crest	kV crest		
							100 μ s	0.5 μ s		
JEC-156 規格値	4.2	6.3	16	45	17	20	17			10 kA (4 × 10 μ s) ・ 2 回 75 A ・ 2 ms ・ 20 回
	8.4	12.6	22	60	33	38	33			同 上
LV-GL 形 オートパルス 避雷器標準特性	4.2	6.3 以上	16	45	14 以下	17 以下	14 以下			10 kA (4 × 10 μ s) ・ 2 回 150 A ・ 2 ms ・ 20 回
	8.4	12.6 以上	22	60	28 以下	33 以下	28 以下			同 上

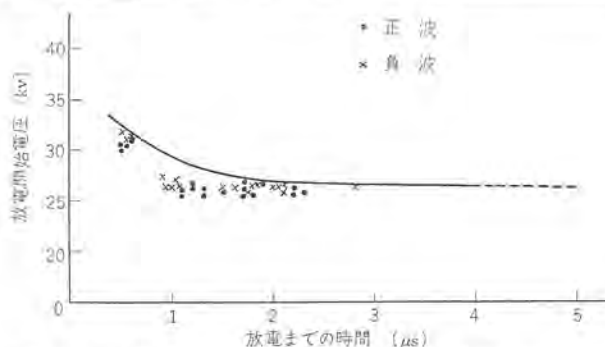


図 3.1 LV-GL 形 8.4 kV 避雷器の衝撃放電開始電圧—時間特性

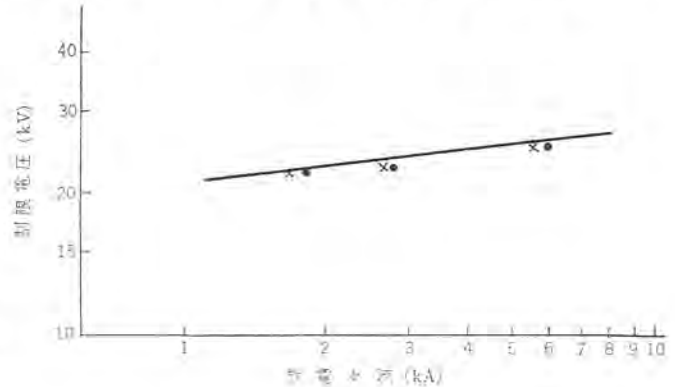


図 3.2 LV-GL 形 8.4 kV 避雷器の制限電圧—放電電流特性



図 3.3 LV-GL 形 8.4 kV オートパルス 避雷器

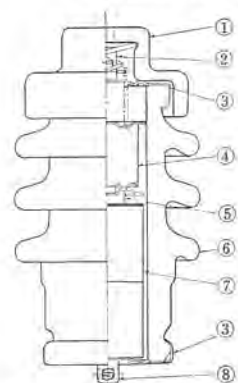


図 3.4 LV-GL 形 8.4 kV オートパルス 避雷器の内部構造

- ① 磁器フタ フタにあらかじめリード線を通しておき、リード締め付け後、右方向に軽く回すと 1~2 回転で止まる。
- ② 線路側端子 直径 5φ (心線) までのリード線を締め付けることができる。
- ③ 密 封 ガasket を金属フタで締め付けてある。
- ④ 消弧間ゲキ 円板状永久磁石をそう着し、雲母板をスペーサとする消弧間ゲキで、衝撃比が低く、しかも大きな消弧力を持っている。
- ⑤ 金属スペーサ
- ⑥ 磁器ガイ管 炭化ケイ素を主体とする非直線抵抗体で 4 × 10 μ s 10,000 A 2 ms 150 A の放電耐量を持っている。回路電圧では数 10 アンペアに電流を絞って続流シャ断をする。
- ⑦ 特性要素
- ⑧ 接地側端子 直径 5φ (心線) までのリード線を締め付けることができる。線路側、接地側端子とも、リード線の着脱はドライブで簡単にできる。

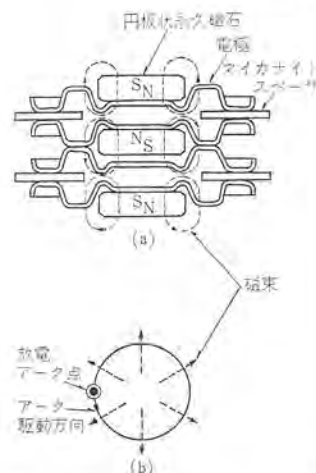


図 3.5 LV-GL 形避雷器ギャップ構造

称放電々流 2,500 A の LV-GL 形避雷器を新設の配電用避雷器専用組立工場において量産している。

表 3. 1 に 3.3, 6.6 kV 系統に使用される避雷器の JEC-156 規格値と当社 LV-GL 形避雷器の標準特性を示す。LV-GL 形避雷器の衝撃放電開始電圧—時間特性を 図 3. 1 に、制限電圧—電流特性を 図 3. 2 に示すが、いずれも JEC-156 規格値に 15~30 % の裕度をもっている。

3. 2 避雷器の特殊試験

JEC-156 規格の 2,500 A 避雷器は、配電系統に多数適用することを考え経済設計が行なえるように特性が規定されている。したがって JEC の思想を尊重すれば、規格を満足すれば避雷器は合格することになるが、実系統での避雷器の動作条件を考慮すれば、規格外の動作責務能力を検討しておくことも適用上有力な参

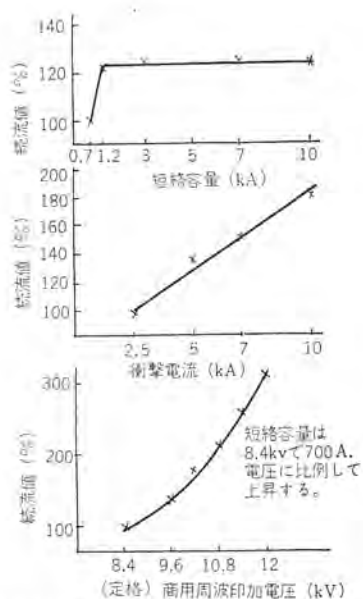


図 3. 6 短絡容量、衝撃電流および機圧が避雷器続流値に及ぼす効果 (LV-GL 形 8.4 kV 避雷器による動作責務試験結果)

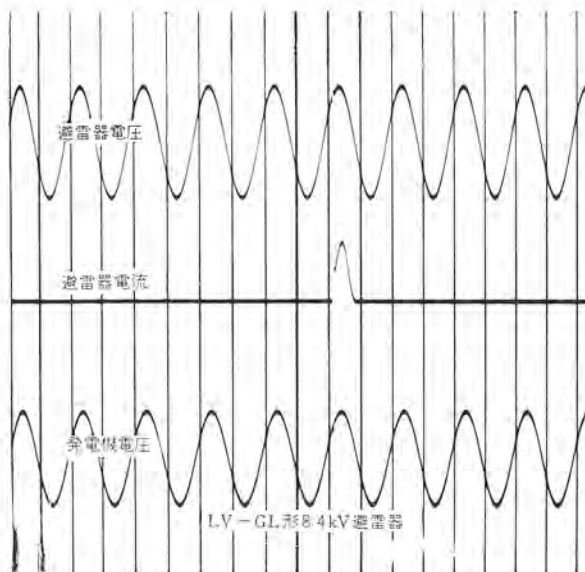


図 3. 7 固有短絡電流 10,000 A 回路における普通動作責務試験 オシログラム (LV-GL 形 8.4 kV 避雷器)

考資料を提供する意味で重要なことである。弁形避雷器である LV-GL 形避雷器について実施した参考試験について記載する。

3. 2. 1 大容量回路での動作責務試験

弁形避雷器は、その構造上動作時に流れる続流値には上限があり、「一定の短絡容量回路で試験を行なえば、事実上無限大容量の回路での動作を確認したことになる」との思想によって設計される。しかしながら、最近は制限電圧が低くなる傾向にあるため、JEC-156 で 2,500 A 避雷器に対して規定している短絡容量 700 A 回路で動作責務試験を行なっただけでは不十分と考えられる。

LV-GL 形避雷器の試験結果では、図 3. 6 (a) に示すように⁽³⁾少なくとも 1,200 A の短絡容量回路で動作責務試験を施行しておかないと、大容量回路への避雷器適用に問題の生ずる可能性がある。また、1,200 A 回路での試験を実施すれば、続流々通時の避雷器端子電圧降下が実質的に無視できる程度であるため、短絡容量がこれ以上増加しても続流の実質的増大がなく、無限大容量までの避雷器適用が検証できたことになる。図 3. 7 に短絡容量 10,000 A 回路での動作責務試験 オシロを示すが、これは 1,200 A 回路での試験と実質的に同一の責務であり、短絡容量による適用上の制限を受けないことが立証された。

3. 2. 2 衝撃大電流による動作責務試験

JEC-156 では、2,500 A 避雷器の普通動作責務時衝撃電流を 2,500 A ($8 \times 20 \mu s$) と規定しているが、近接雷撃を考慮して始動サージ 5,000 A、7,000 A、10,000 A の 3 種類について動作責務試験を実施した。固有短絡電流は、1,200 A とし、JEC-156 の方法による 10 回連続動作試験を行ない続流遮断を確認した。図 3. 6 (b) に続流の増加状況、図 3. 8 に 10,000 A サージによる動作責務試験の代表 オシロを示す。始動サージの電流値の増大にともない特性要素が処理するエネルギーが大きくなり、続流値が増大している。これらの試験結果からも、配電用避雷器の最近のめざましい進歩がうかがえる。

3. 2. 3 機圧上昇による動作責務試験

避雷器の商用周波印加電圧が定格以上に上昇した状態での動作状況を検討したもので、定格電圧 8.4 kV に対して印加電圧 12 kV

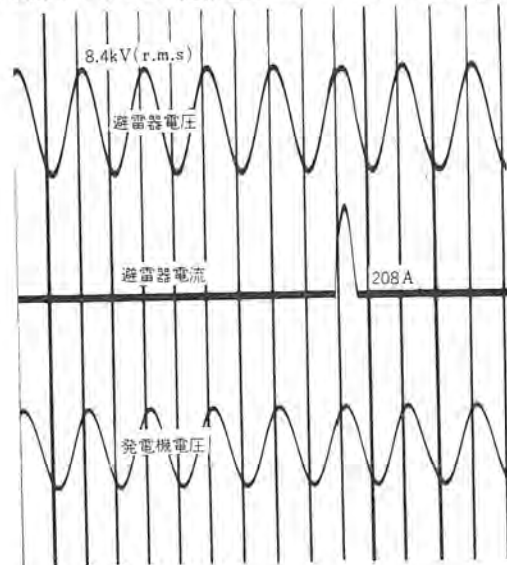


図 3. 8 10,000 A 始動サージによる普通動作責務試験 オシログラム (LV-GL 形 8.4 kV 避雷器)

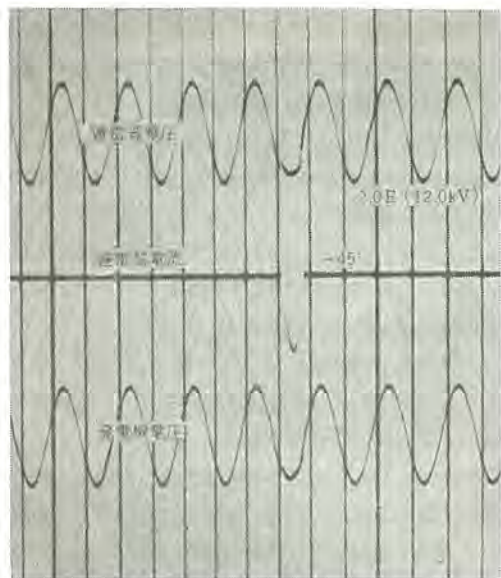


図 3.9 普通動作責務機圧上昇試験 オシログラム
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器に対して 12.0 kV を印加した)

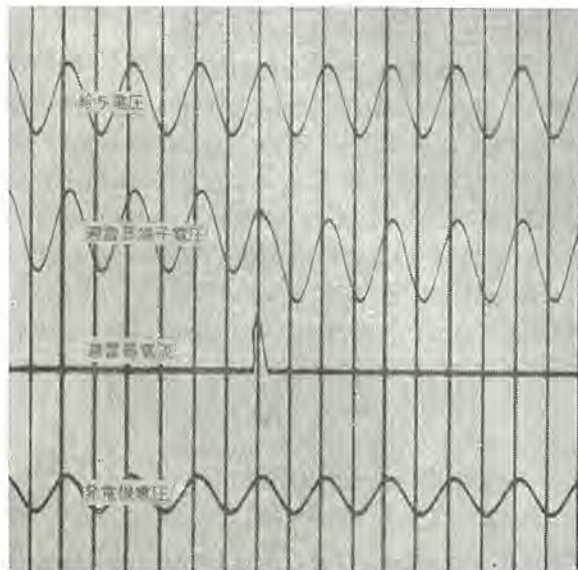


図 3.10 進相回路における充電電流 シュ断 オシログラム
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器に対し 0.9 E=5.4 kV で試験を行なった)

V (回路の固有短絡容量 1,000 A, 衝撃電流 2,500 A) での動作責務試験を行ない続流をシュ断した。図 3.6(c) に続流値の増大状況を、図 3.9 に代表オシロを示す。また、定格 8.4 kV に対して印加電圧 10.8 kV の状態で 10,000 A サージ (固有短絡容量 1,500 A) の動作責務試験を行ない、続流をシュ断したデータもあり、きわめてシュ断能力の高いことがわかる。

3.2.4 進相動作責務試験

中性点非接地系統で、常規状態において一相の避雷器が動作する場合には、6.6 kV 系を考えると 5.4 kV の試験電圧で、避雷器に流れる電流としては線路の静電容量による充電電流を考慮する必要がある。定格 8.4 kV 避雷器について、印加電圧 5.4 kV、始動サージ 2,500 A、充電電流 18 A の試験条件で 10 回連続の動作責務試験を実施した。代表オシロを図 3.10 に示すが、LV-GL 形避雷器は 10 回連続で続流をシュ断しており、充電電流回路での

動作責務能力が検証された。

3.2.5 放電耐量

JEC-156 による 2,500 A 避雷器の衝撃放電耐量は 10,000 A (4×10^{-6} s)・2 回であるが、LV-GL 形避雷器は 20,000 A ($7 \times 17 \mu$ s)・1 分間隔 50 回の連続試験にも合格している。方形波放電耐量は 75 A・2 ms・20 回が規格値であるが、200 A 以上の電流に耐えうる。

4. 配電用避雷器の適用

4.1 短絡容量・制限電圧特性との関係

避雷器が雷サージにより放電した場合、この放電に続いて系統の back power から供給される続流が流れうる。続流の有無およびその大きさは、

- (1) 放電したサージ電流およびその波形
- (2) そのとき避雷器両端に印加されている系統電圧とその位置における系統の短絡容量と力率
- (3) 系統電圧に対する放電位相
- (4) 避雷器の特性

によって決まる。

弁形避雷器の特長の一つは、動作責務試験において続流々通時の電圧が定格電圧よりそれほど低下していなければ、それ以上の短絡容量での動作責務は行なわなくても十分性能を保証できることである。しかし最近の避雷器は、過去に比較すると制限電圧が低く製作される傾向にあるため、JEC-156 の 2,500 A 避雷器の動作責務規定である短絡容量 700 A 回路で試験を行なっただけでは、無限大容量への適用を保証するのに不十分な場合があり注意を要する。3.2.1 項で記載したように、LV-GL 形避雷器では 1,200 A 程度の回路で試験を行なえば、大容量系統への適用が保証できることがわかっている。

弁形避雷器以外の構造の避雷器、すなわち放出形避雷器をはじめとして、放出保護筒やその他の簡易形避雷器で制限電圧が弁形に比較して低い構造のものについては、続流が短絡容量の影響を受けやすく適用上の限界が生ずる。これら弁形以外の構造の避雷器で、一般に続流が流れにくいと称しているものがあるが、これは始動サージの大きさと印加位相によっては続流の発生しにくい場合があり、また 700 A 程度の小さな短絡電流回路では、続流の流れはじめの上昇率が緩慢なので、起動サージがなくなるまでに十分なアークに成長せず消弧してしまうためで、適当な印加位相と短絡容量が大きければたいてい続流が発生する。続流値の大きさは、制限電圧が低いものではほとんど抵抗がないと考えてよいので電源の back power に応じた続流が流れる。したがって、たとえば放出形避雷器の場合、JEC-142 では短絡容量 5,000 A 回路までの動作責務試験を規定しているため、これに耐えるには強固な避雷器構造が要求される。また、この場合 JEC-142 に合格しても、5,000 A 容量が適用限界になる。放出形避雷器以外の簡易形避雷器では、一般に続流に耐えられないものが多いため適用上に限界があり、とくに短絡容量については弁形避雷器と区別して考えないと事故発生の原因になる。

弁形避雷器の制限電圧が低下する傾向にあることを短絡容量の点からその影響について述べてきたが、再起電圧の点からも必要

以上に低くすることは好ましくなく、この問題点については四国電力で各社避雷器を試験された結果⁽⁴⁾、「制限電圧があまり低いと続流シャ断能力が回路条件に左右されるため、適用上検討を要する」むね報告されている。放出形避雷器では、続流が生じればほとんど短絡状態になるため電圧・電流間に位相差を生じ、電流ゼロ点で大きな再起電圧を発生することがあるのはすでに知られているが、弁形避雷器でも制限電圧を低く設定しすぎると同様の問題が生じ、再起電圧が続流シャ断能力に影響をおよぼすことになる。

当社 LV-GL 形避雷器はこれらの点も考慮して設計されており、絶縁協調上も JEC-156 に対して 15~30% の保護裕度を見込んだ特性であるため、適用上からの制約条件のない最適性能を選定していると考えられる。

4.2 進相回路との関係

6.6 kV 系を例にとって考えた場合、 $E=6.0$ kV とすると避雷器の定格は $1.4E$ である。配電系統は一般に非接地系であるため、通常の運転状態で避雷器が一相だけ動作した際は充電々流をシャ断することになる。放出形避雷器に対する JEC-142 規格では $0.9E$ で動作責務試験を行なうことになっているが、弁形避雷器に対する JEC-156 規格ではこの試験を要求していない。しかし、実際の系統では充電々流をシャ断する場合があるわけで、LV-GL 形避雷器定格 8.4 kV に対して $0.9E=5.4$ kV で試験を行なった結果、3.2.4 項で報告したようにそのシャ断能力が検証されている。進相回路で避雷器が動作した場合、系統電圧がシフトする関係で最高 $2 \times 0.9E=1.8E$ の電圧が生ずる。避雷器の商用周波放電開始電圧は $2.1E$ 以上と JEC-156 規格で規定されているが、この下限値に近い値に放電開始電圧を設定すると、進相回路でのシャ断能力に裕度が少なくなるためシャ断不能になる可能性がある。適用避雷器を選定する場合は、この点に注意してシャ断能力を確認しておく必要がある。

4.3 配電用避雷器の適用指針

配電用避雷器は前述のように広範・多岐にわたる配電系統に多数取付けられ、しかもほとんどが電柱などの高所に設置されるので、小形・軽量で取扱いが容易、かつ保守点検の簡便なことが必要である。また適当な保護性能と十分な耐久性、さらに価格が安価なことが要求される。これらの要求条件と、適用上、短絡容量の影響を受けないということを考慮すれば、将来は構造的に弁形避雷器の使用がいつそう拡大されると考えられる。

4.3.1 避雷器接地抵抗の許容限度

避雷器により機器を雷サージから保護する場合、被保護機器には避雷器放電々流による接地電位上昇分と、避雷器の制限電圧の和が印加されることになる。

一般には避雷器が柱上変圧器と同一柱に設置されることが多く、変圧器の外箱は接地されているか、または、雷雨時には接地されたと同じ状態になる場合が多いと考えられる。したがって避雷器の接地と、変圧器の接地が図 4.1 の関係にあるとき、避雷器放電時に被保護機器に加わる電圧 V は、避雷器接地電位上昇 V_0 、変圧器の接地 R_{Tr} にあられる電圧 V_1 、避雷器の制限電圧を E_a とすると下記式であらわされる。

$$V = (V_0 - V_1) + E_a$$

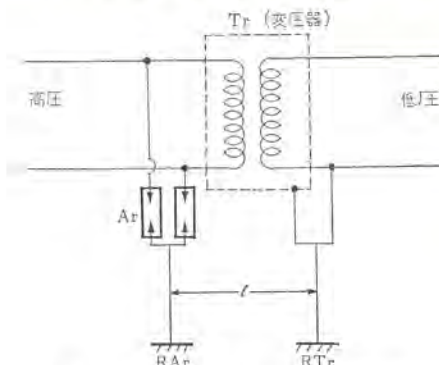


図 4.1 避雷器と変圧器接地の一例

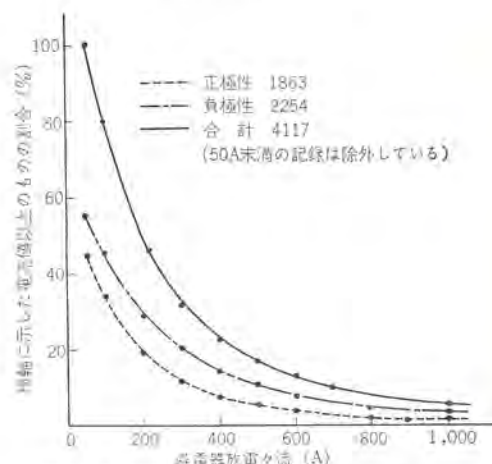


図 4.2 避雷器放電電流発生ひん度
(昭和 33 年~39 年の九電力会社における記録値の合計)

R_{Tr} にあられる電圧 V_1 は、避雷器および変圧器の両接地間隔 l が小さいほど大きくなるが、この V_1 は低圧側の需要家への侵入サージになるので、 R_{Tr} が 10Ω 程度に小さい場合でないと連接できないわけで、それ以上の場合には低圧側に危険なサージが侵入しないよう種々の考慮がはらわれている。避雷器の接地電位上昇 V_0 は V が BIL 以下になるような値にすればよく、一般には 30 kV が採用されているが、これは変圧器の BIL を 60 kV としたとき避雷器の制限電圧が 30 kV のときに相当する。

図 4.2 に配電用避雷器の放電々流発生ひん度を示すが、ほとんどが $1,000$ A 以下であり、配電用避雷器が主対象としている誘導電サージの場合、避雷器放電々流値は $1,000$ A 以下と考えて差しつかえない。

V_0 を 30 kV、避雷器放電々流の最大値を $1,000$ A とすると、弁形避雷器の接地抵抗は 30Ω 以下であればよいことになるが、実際には l の値をそれほど大きくとれないので、 R_{Tr} の電位上昇分 V_1 だけ変圧器に加わる電圧は少なくなり、また最近の弁形避雷器は放電々流が $1,000$ A 程度だと、避雷器の制限電圧 E_a は 30 kV には相当裕度があるものが多く、接地抵抗 30Ω はかなり余裕のある値と考えられる。

今避雷器がない場合に避雷器設置点にあられる電圧を U 、避雷器設置点から見た線路の等価インピーダンスを Z 、避雷器の抵抗を R_a 、接地抵抗を R_{Ar} とすると、避雷器放電々流 I_a は、

$$I_a = \frac{U}{Z + R_a + R_{Ar}} \text{ となり、}$$

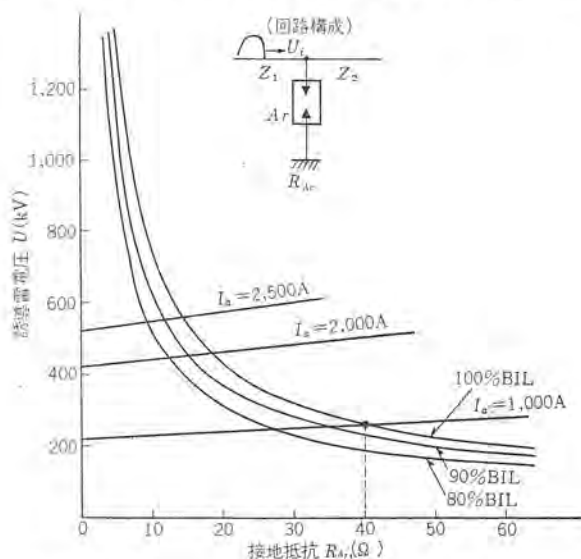


図 4.3 避雷器端電圧を BIL 以下に押えるために必要な避雷器接地抵抗 (R_{Ar}) と避雷器放電電流 (I_0) (LV-GL 形 8.4 kV 避雷器の場合)

U : 避雷器のない場合に避雷器設置点に現われる電圧
 Z_1, Z_2 : 線路のサージインピーダンス
 $U = \frac{2Z_2 \cdot U_i}{Z_1 + Z_2}$ $Z = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$
 $I_0 = \frac{U}{Z + R_{Ar} + R_{Ac}}$
 R_{Ar} : 避雷器の抵抗
 R_{Ac} : 接地抵抗
 I_0 : 放電電流
 $Z_1 = Z_2 = 400 \Omega$ として計算した

被保護機器にかかる電圧 V は、

$$V = I_0(R_{Ar} + R_{Ac}) \text{ となる。}$$

当社 LV-GL 形 8.4 kV 避雷器について具体的に計算したのが図 4.3 であるが、BIL を 60 kV (100 % BIL)、避雷器放電電流が 1,000 A の場合、接地抵抗を 40 Ω まで許容でき、前記 30 Ω 以下に対して十分の裕度をもっていることになる。簡易形避雷器や放出形避雷器などの制限電圧の低いものについての接地抵抗許容限度は、定格電圧 8.4 kV 避雷器で普通 55 Ω といわれているが、これは変圧器接地線などの第 2 種接地がない場合の値である。一般には避雷器を柱上変圧器と同一柱に取付けるのが大部分で、この場合避雷器の接地電位上昇が大きくなると必然的に変圧器の接地電位上昇も大きくなり、避雷器と変圧器の接地極間 l を 1 m 程度以上にとれないときは、接地抵抗 30 Ω 以下でも低圧側需要家に危険なサージが侵入することになる。また 1 m 以上の場合でも 30 Ω 以上の接地抵抗に対しては検討を要する。

低圧側保護のためには低圧側接地線を 50 m 以内で中間接地するなどの低圧側に侵入するサージの抑制が必要で、この場合、変圧器接地線と避雷器接地線を変圧器付近で接続すれば、制限電圧のわずかな差をそれほど重要な問題に考える必要はなく、いずれにしても放出形で接地抵抗 55 Ω 以下というのは制約条件があるため、従来のように接地抵抗の高いところには放出形または簡易形避雷器をという考え方は改めねばならないわけである。

4.3.2 避雷器の適正配置

配電用避雷器の保護の対象になる誘導雷サージには先行放電の段階に生じるものと、主放電の段階に生じるものと 2 種類あるが、危険なサージ発生ヒューズ度は先行放電による誘導雷サージのほうが少

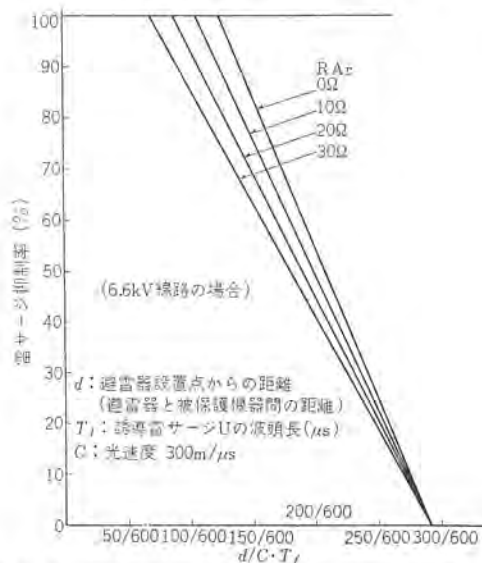


図 4.4 避雷器設置点よりある距離はなれた点における誘導雷サージ抑制率

なく、主放電による場合の $1/3$ 程度であるが、配電線路の近傍落雷時には、波高値、波頭シュン(峻)度共主放電によるサージに比べて大きくなる。

図 2.4 から避雷器がないときの先行放電によるサージのうち、BIL を超過するものの発生予想回数は、I. K. L.=30 の地域の 6.6 kV 線路で、0.19 回/km/年であるが、避雷器を設置したときに避雷器設置点付近で BIL を超過するものの発生予想回数は、接地抵抗が許容値の最大 30 Ω のとき 0.05 回/km/年程度になると考えられ約 $1/4$ に減少する。主放電による誘導雷サージのとき、BIL を超過する誘導雷サージの発生回数は I. K. L.=30 の 6.6 kV 線路で図 2.4 から 0.55 回/km/年となり、サージ発生回数の面からみれば、主放電による誘導雷サージを保護の主対象に考えなければならないことになる。図 4.4 は線路近傍落雷時のきびしい場合を考えて、BIL を超過する誘導サージに対する避雷器のサージ抑制率で示したものであるが、接地抵抗値が 30 Ω 以下だと $d/c \cdot T_f$ が 100/600 前後であれば、誘導雷サージの抑制率は 100 % になる。

このとき T_f を 2 μs とすると避雷器の有効保護距離は 100 m となり、設置間隔は 200 m になる。

近傍落雷時の先行放電による誘導雷サージの場合は T_f が 1 μs 前後であり、避雷器を設置しても、このサージによる事故を完全に防止することはできないが、その発生回数は強雷地区においても非常に小さな値であり、避雷器の設置間隔は発生ヒューズ度の大きな主放電による誘導雷サージを、ほぼ 100 % 抑制できる 200 m 以下にするのが適切と考えられ、この値は図 2.5 の変圧器事故率の実績と一致する。

なお、これは過酷なサージを考えた値であり、100 kV 以下の誘導雷サージの保護を対象にする場合や、襲来ヒューズ度が小さく事故率の低い地域では多少長くともさしつかえないと考えられる。

また線路の末端・屈曲点・分岐点では誘導雷サージが反射のために直線上線路より大きくなり、事故もこの付近で多く発生しており、避雷器を重点的に設置することを考える必要がある。ただしこれらに設置される機器が、近接避雷器の有効保護距離内にあ

る場合は重複して避雷器を設ける必要はない。その他 2 回線以上の線路においては、一般に下回線に機器が設置されることが多く、また回線の上下による危険度の差は考慮できないので、上下回線共同程度の耐雷設計をする必要がある。

4.3.3 重汚損地区・塩害地区への適用

わが国は周囲を海にかこまれた小さな島国であり、季節風・台風による塩の襲来はヒン度が大きく、また世界有数の工業国でもあり、塩害や汚損問題には常に頭を悩まされている、とくに配電用避雷器のとき、その保守はきわめてむずかしく、実際には不可能に近い状態であり、したがってその汚損度も設置場所によっては超重汚損になることがあり、普通の配電用避雷器ではその漏れ距離、セン絡距離から考えて使用には限度がある。

このような重汚損地区の場合、シリコン化合物の塗布の効果がよく知られており、発電電所用避雷器ではこれを塗布することが多いが、1年程度で塗りかえる必要があり、配電用避雷器は使用個数が多いため、特殊なケースを除きシリコン化合物の塗布は困難であろう。当社ではこのような超重汚損地区に配電用避雷器を使用する場合、図4.5に示すような耐塩ザラ付LV-GL形避雷器を推奨している。これは高圧ピンガイ子などに使用されている耐塩ザラを応用したもので、塩風などのシャヘイ効果のほか、雨水のハネ上がりによりガイ管ヒタの上側のみでなく、下側の雨洗効果も期待できるものである。このLV-GL形避雷器は本体だけでも良好な汚損特性をもち、耐塩ザラとの組み合わせによりすぐれた耐汚損・塩害形避雷器となる。

4.4 保守

配電用避雷器は、発電所用避雷器と異なり広範かつ多岐にわたる配電系統に多数取付けられるため、個々の機能点検が非常に困難であるが、避雷器の良否判定法としてメガーにて絶縁抵抗を測定する方法がある。当社弁形避雷器の場合、1,000 V メガーにて1,000 M Ω 以上あることが必要である。なお、測定の際、ほかの

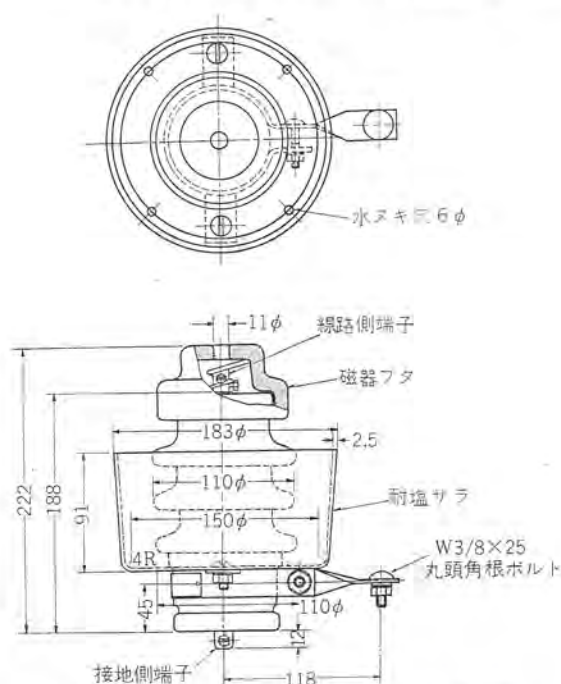


図 4.5 耐塩サマ付 LV-GL 形 8.4 kV 避雷器

機器が並列に接続されていたり、避雷器ガイ管の表面がよごれていたり湿っていたりすると、低い抵抗値を示すので注意を要する。その他、現場試験器などにより特性調査をする方法があるが、個々の避雷器を調べるためには相当の労力をとめない、一般には外観点検による保守にたよらざるを得ないことが多い。

万一避雷器が責務以上の動作などで破壊したときに、故障避雷器がそのまま線路に接続されていると、その部分で接地事故を起こし再送電が不可能になる可能性があり、故障避雷器による事故防止のためには定期的あるいは台風などの際の臨時的な巡視点検を実施し、故障避雷器は早急に線路から取りはずすことが必要である。そのためには故障避雷器は外観ですぐにわかることが望ましく、当社 LV-GL 形避雷器は避雷器破壊事故発生時に下部金属ツタに穴があき、故障表示をするので巡視により容易に故障避雷器を検出できる。故障避雷器を線路から切離す方法として外国ではドロップアウト方法を採用し、避雷器破損時に接地線を避雷器から切離す装置を備えた避雷器もあるが、このような避雷器では一般にドロップアウトの部分が構造的に弱点となり、気密不良の原因になることがある。当社では避雷器接続線切離装置として避雷器取付用アイソレータを開発したが、これは避雷器が責務をこえる動作により破壊した場合、アイソレータにより避雷器を系統から自動的に切離すと同時に避雷器の故障表示をするもので、また従来のドロップアウト方式とは異なり、避雷器の一部に設ける装置ではないので避

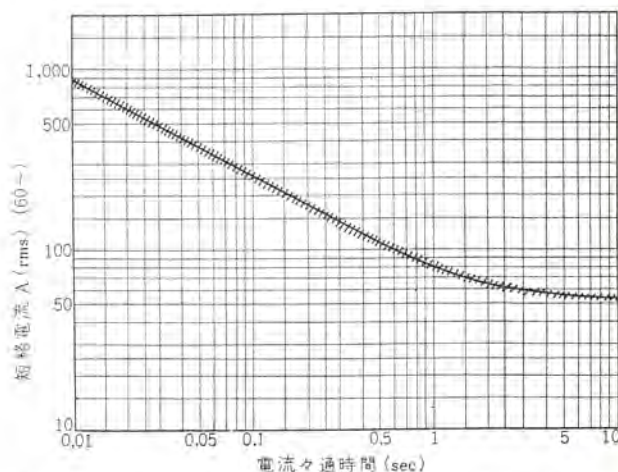


図 4.6 短絡電流連続流通によるアイソレータの標準動作時間



図 4.7 アイソレータを取付けた LV-GL 形 8.4 kV 避雷器

雷器構成上の弱点になることがない。しかも避雷器の線路側、接地側をとわず接続線のどの部分にでも自由に使用でき、取付けが容易で、またアイソレータの端子構造を一部変えるだけで既設の避雷器にも取付けできるという特長をもっている。

このアイソレータは JEC-156 公称放電々流 2,500 A 避雷器への取付けを対象にしたものであるが、普通動作責務試験により公称放電々流 5,000 A 避雷器に対しても、正常動作の場合には損傷などの変化をまったく受けないことを確認している。図 4.6 にアイソレータの構造を、図 4.7 にその標準動作特性を示す。

保守でしばしば問題になるのは機器の寿命であるが、配電用避雷器、とくに弁形避雷器の場合は内部要素が完全密封されているので、その寿命は直撃雷などによる責務以上の動作による破壊を除けばパッキンなどの気密構成品の不良、または過酷な外気条件による自然劣化が原因の吸湿による内部要素の特性低下に左右されることが考えられる。最近の避雷器は従来のものに比べ保護特性、耐量が一段と向上し、またパッキン材料の向上、気密構造の改良などにより避雷器の信頼性が増し、当社では気密構造を検査する真空気密試験を全数について施行している。避雷器の性能向上により普通の動作ではその動作回数が避雷器の寿命に影響することはほとんどないが、やはり襲来時のヒン度も周囲条件と同様に考慮するのが望ましい。

配電用避雷器の場合使用範囲が広範で取付数が多く、そのため周囲条件にも相当差があり、一般的に避雷器の寿命を決めることは不可能である。したがって自然条件等の使用条件を考慮して、ある範囲内ごとに取付時から一定の期間を経た避雷器を計画的に一括して取りかえるという保守方針に従うことが望ましいと考えられる。取付けから取りかえまでの期間については、配電用避雷器が発変電所用避雷器に比べて一般に周囲の自然条件がきびしく、保守が困難で定期的な清掃などができないので使用条件が過酷であるということと、避雷器の原価償却、万一避雷器の保護特性が低下し機器を焼損した場合、また不良避雷器が事故の原因になるなどを考慮して 15 年程度を推奨する。

使用条件が JEC-156 の特殊使用状態に相当する過酷な地域、とくに化学工場内や付近に化学工場などがあり、パッキンや金属フタの劣化を促進するフイイ気での使用や塩風を著しく受ける地域での使用には、ガイ管表面へのシリコンコンパウンド塗布や短期間の定期的な清掃などの特別の保守を行なうことが望ましく、使用期間についても考慮する必要がある。

シリコンコンパウンド塗布は汚損・塩害の著しい地区に有効で、0.2～1.0 mm 厚塗布で約 1 箇年の寿命がある。シリコンコンパウンドにはたとえば信越化学の KS-63 があり、塗布時には布などでふきとればよい。

5. む す び

配電用避雷器の特性と耐雷設計について解説した。

従来から、配電用避雷器としては接地抵抗の関係で制限電圧の低い避雷器が要望されることがあり、弁形避雷器以外の構造をもつ放出形避雷器、簡易形避雷器なども適用されてきた。配電線耐雷設計基準要綱の発刊により、弁形避雷器でも定格 8.4 kV の場合 30 Ω 以下の接地抵抗でよいことが明らかにされ、放出形避雷器などでは 55 Ω まで許容されるが、これも変圧器の接地電位上昇を考えると連接々地が必要なことが多く、適用上接地抵抗についてはどの構造の避雷器でも差のないことが証明された。

寿命、外気々象条件などを考慮すると、消耗部分のない完全密封形である弁形避雷器を適用するほうが保守上からも利点が多い。当社の LV-GL 形避雷器(弁形構造)の性能を中心として適用上の問題点を詳細に検討した結果、

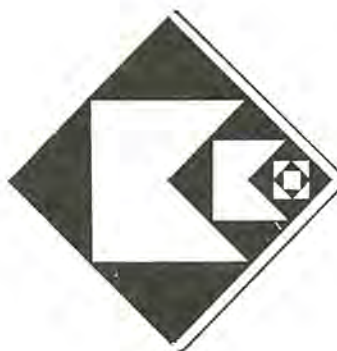
- (1) 短絡容量に適用上の限界がない。
- (2) 制限電圧が低過ぎないため、再起電圧が過酷になることがなく、安定したシャ断能力が得られる。
- (3) 進相回路での動作責務にも問題がない。
- (4) LV-GL 形避雷器は、エネルギー処理能力が JEC-156 に比較してきわめて大きく、種々の特殊な動作条件に耐える。

などの結論を得、弁形避雷器の適用指針を確立した。弁形避雷器は密封形であるため、上記の利点に対して内部要素が破損したときの検出が不明確という欠点があったが、外観上からの検出方法とアイソレータによる故障表示方法を開発し、保守上の便宜をはかった。配電用避雷器適用上の一助になれば幸いである。

(昭 41-7-18 受付)

参 考 文 献

- (1) K. B. Powell : Electrical World, Mar. 15, 28 (1965)
- (2) 電力中央研究所技術研究所：配電線耐雷設計基準要綱(昭 38)
- (3) 岡田ほか：電連大 509 (昭 41)
- (4) 鷹尾ほか：電力, 49, 14, 42 (昭 40)



技術講座

室内照明の設計指針

小笠原善丸*・石井 重行*

1. ま え が き

この文は ごく一般的な ケイ 光灯による室内照明で、照明の設計者がしばしば遭遇する種々の疑問点についてその一部を実験や計算に基づいて説明し、実用的な参考データを提供するものである。したがって理論の解説ではなく 実務家に今日からの参考となるようきわめて 身近な問題で かつ現在までほとんど公表されていないものを取り上げた。

2. 各種プラスチックカバー・ルーパによる配光特性

2.1 趣 旨

最近種々のプラスチックカバーやルーパが ケイ 光灯器具に用いられているが これらがどのような特性を示すかを調べた。また天井埋め込み器具で カバーをペン 皿状に成形すると平板に比べどのように変化するかをも見た。

2.2 供試品

天井埋め込み形 40 W 2 灯 ケイ 光灯器具 (当社 FY-402 形器具) に各種 カバー、ルーパを用いて実測した その断面を図 2.1 に示す。ランプは FL-40 SW (ルミスーパー 3,300 lm) である。供試カバー、ルーパは次のとおりである。

- (a) アクリライト 乳白色半透明 (平板) : 三菱レーヨン (株) 製 アクリライト No. 432 製厚さ 2 mm.
- (b) 同上 (成形) : 同上品をペン 皿状に成形したもの。
- (c) アクリライト 透明 ピラミッドパタン (平板) : 三菱レーヨン 製品。形状は図 2.2 に示す。
- (d) 同上 (成形) : 同上品をペン 皿状に成形したもの。
- (e) アクリライト 透明 ダイバタン (平板) : 三菱レーヨン 製品。形状は図 2.2 に示す。
- (f) 同上 (成形) : 同上品をペン 皿状に成形したもの。
- (g) スチロール 透明球形 パタン (平板) : 某社製品。形状は図

2.2 に示す。

(h) 同上 (成形) : 同上品をペン 皿状に成形したもの。

(i) スチロールルーパ : 某社製品。乳白色で形状は図 2.2 に示す。

(j) パラウェッジルーパ : 米国製品。アルミ 蒸着面を有し形状は図 2.2 に示す。

2.3 配光曲線 (図 2.3)

乳白半透明 アクリライトの場合は ほとんど球状の配光であるのに対しその他のものは かなり配光が制御されている。結果を明確にするため図には ランプ軸を含む面と それに直角な面における配光のみを示した。

2.4 照明率

光束法による室内平均水平照度算出の際に使用する 照明率を各種カバー、ルーパでどのように変わるかを示したのが図 2.4 である。これは照明率の値の両極端 (室指数 A と J) のみ比較のために抽出した。表面を拡散のためエンボスした透明プラスチックカバーが比較的高い照明率を有し高照度をうるために有利であることがわかる。

2.5 器具効率、光度、輝度 (表 2.1)

器具効率は内蔵されている ランプ 全光束に対する器具から外に出る光束の比である。表によれば成形プラスチックカバーが いずれも上半球効率が 1 % 以上あり 天井面を明るくするのに役立つ

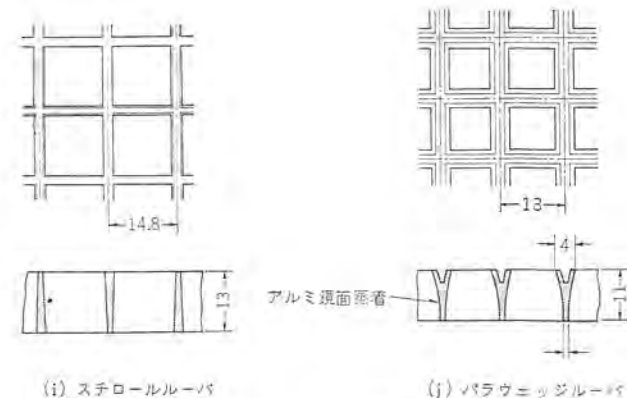
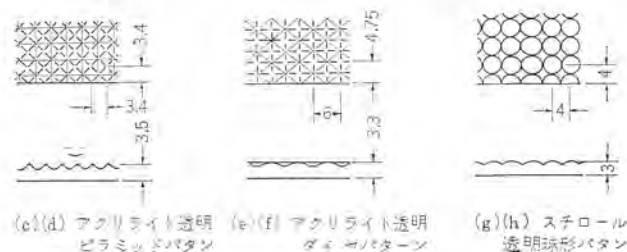


図 2.2 供試カバー、ルーパの形状 (カバーはパタン面を外側とする)

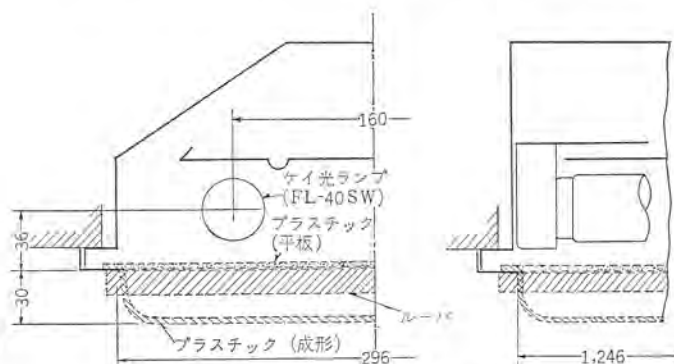


図 2.1 供試 ケイ 光灯 器具

とがわかる。カバーなしの場合の全効率に対するカバー付の場合の効率を全光束比として示せば、いずれも100%より低くなるがこれはカバーの総合的な透過率とみてよいであろう。

光度は直下と鉛直角45°方向の値を示したが、カバーなしの場合よりも直下の光度が高くなるカバー、ルーパが相当にある。

次にまぶしさに関係する輝度も測った。表の値はランプ軸に平行な方向からの輝度でカバーなしの場合はランプの表面の輝度である。このうち鉛直角75°の値は通常視野内にはいる輝度であるが、乳白色半透明のアクリライトより透明でパターン付きのものがいずれも輝度が低く、またパラウエッジルーパは0の値を示したことは興味あることであろう。

2.6 考察

照明用カバーの重要な特性として透過率とともに最近とくに集光性が採り上げられてきた。水平に近い方向には光を出さず、直下方向に集光するようなカバーがつつぎに開発されている。これは視野内にまぶしい光源があるときに見えにくく、目を疲れさせることからでたものである。天井高さに比べ奥行の大きい事務室などには鉛直角60°以上にはなるべくまぶしい光を出さないほうがよい。表2.1で45°の輝度は大きくてもよいが75°の輝度は低いほうがよい。一方、効率はもちろん高いほどよいが効率がよくかつ下方に集光性のあるカバーが照明上好ましい材料である。

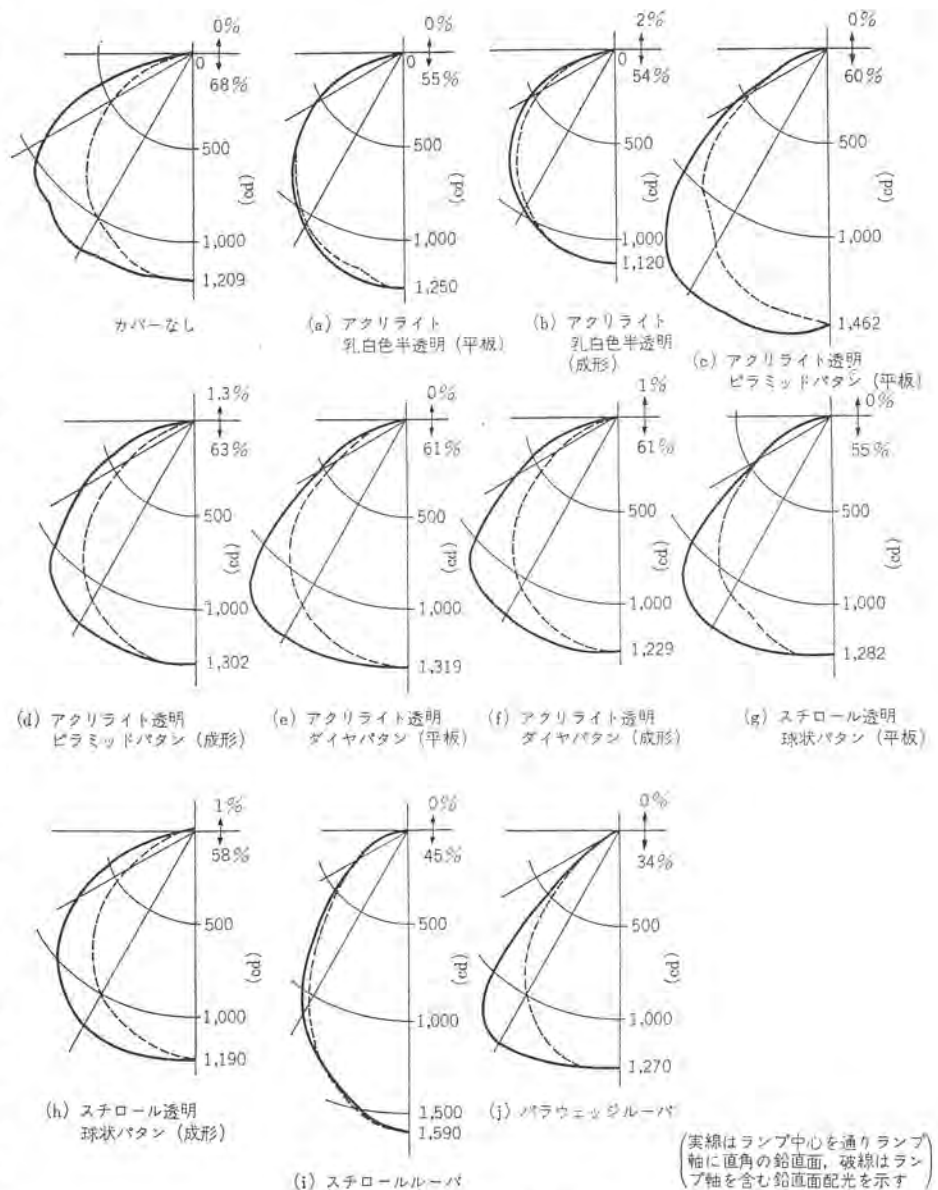


図 2.3 カバー別の配光曲線

表 2.1 カバー別の器具効率、光度、輝度一覧

カバ ー 種 類	器 具 率 (%)			全効率比 (%)	光 度 (Cd)		直下光度比 (%)	輝 度 (Cd/cm ²)		
	全 効 率	下半球効率	上半球効率		直 下	45°		45°	60°	75°
カバ ー な し	67.9	67.9	0.0	100	1,209	1,020	100	1.11	1.01	0.74
アクリライト乳白色半透明(平板)	54.9	54.9	0.0	81.3	1,250	843	107.0	0.38	0.37	0.31
アクリライト乳白色半透明(成形)	55.6	53.6	2.0	81.9	1,120	791	92.6	0.35	0.33	0.27
アクリライト透明ピラミッドパターン(平板)	60.0	60.0	0.0	88.3	1,462	1,096	121.0	0.41	0.27	0.19
アクリライト透明ピラミッドパターン(成形)	63.9	62.6	1.3	93.9	1,302	982	108.0	0.38	0.27	0.15
アクリライト透明ダイヤパターン(平板)	61.1	61.1	0.0	89.9	1,319	1,055	109.1	0.43	0.30	0.20
アクリライト透明ダイヤパターン(成形)	62.2	61.1	1.1	91.6	1,229	986	101.7	0.41	0.28	0.20
スチロール透明球状パターン(平板)	55.3	55.3	0.0	81.3	1,282	996	106.1	0.35	0.25	0.15
スチロール透明球状パターン(成形)	59.4	58.4	1.0	87.4	1,190	919	98.5	0.33	0.29	0.16
スチロールルーパ	45.0	44.8	0.2	66.3	1,590	622	131.5	0.23	0.18	0.14
パラウエッジルーパ	33.6	33.6	0.0	49.9	1,270	617	105.0	0.16	0.00	0.00

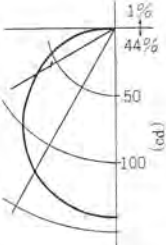
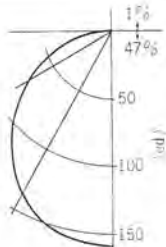
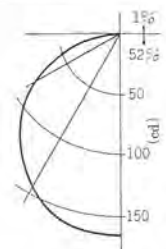
表 3.1 方形埋め込み形乳白プラスチックカバー付ケイ光灯器具の配光曲線・照明率表

器 種	配 光 曲 線	天 井	75 %			50 %			30 %	
		壁	50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	30 %	10 %
		室指数	照 明 率							
40 W 6灯 アクリライトカバー付 (FY-4096 形) (ワケ外形 1,250×1,250)		J	.32	.27	.23	.31	.27	.23	.26	.23
		I	.39	.35	.32	.39	.34	.31	.34	.31
		H	.43	.39	.37	.42	.39	.36	.38	.36
		G	.47	.43	.40	.45	.42	.40	.41	.40
		F	.49	.46	.43	.48	.45	.42	.44	.42
		E	.53	.50	.48	.52	.49	.47	.49	.47
		D	.57	.54	.51	.56	.54	.51	.53	.51
		C	.59	.56	.53	.57	.55	.53	.54	.53
		B	.62	.59	.57	.60	.58	.56	.57	.56
		A	.63	.61	.59	.61	.59	.58	.58	.57
20 W 9灯 アクリライトカバー付 (ワケ外形 930×930)		J	.30	.26	.22	.30	.26	.22	.25	.22
		I	.37	.33	.31	.37	.33	.30	.33	.30
		H	.41	.38	.35	.40	.37	.35	.37	.35
		G	.44	.41	.38	.43	.41	.38	.39	.38
		F	.47	.44	.41	.45	.43	.41	.42	.41
		E	.51	.48	.46	.50	.47	.45	.47	.45
		D	.55	.52	.49	.53	.51	.49	.50	.49
		C	.56	.54	.51	.55	.53	.51	.52	.50
		B	.59	.57	.55	.57	.55	.54	.55	.53
		A	.61	.58	.56	.59	.57	.55	.56	.55
20 W 9灯 デラックスパネル DP-338 B 付 (ワケ外形 930×930)		J	.34	.29	.27	.33	.29	.27	.29	.27
		I	.41	.37	.35	.40	.37	.35	.37	.35
		H	.45	.42	.40	.44	.42	.39	.41	.39
		G	.48	.45	.43	.47	.45	.43	.44	.43
		F	.51	.48	.45	.49	.47	.45	.46	.45
		E	.54	.52	.49	.53	.51	.49	.50	.49
		D	.58	.55	.53	.56	.54	.53	.54	.53
		C	.60	.57	.54	.58	.56	.54	.55	.54
		B	.62	.59	.58	.60	.58	.57	.57	.56
		A	.63	.61	.59	.61	.59	.58	.59	.57
20 W 5灯 アクリライトカバー付 (ワケ外形 700×700)		J	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23
		I	.36	.33	.31	.36	.32	.30	.32	.30
		H	.40	.37	.35	.39	.37	.35	.36	.35
		G	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.39	.38
		F	.45	.43	.40	.44	.42	.40	.41	.40
		E	.49	.46	.44	.48	.45	.43	.45	.43
		D	.52	.49	.47	.51	.49	.47	.48	.47
		C	.54	.51	.48	.52	.50	.48	.49	.48
		B	.56	.53	.52	.54	.52	.51	.51	.50
		A	.57	.55	.53	.55	.53	.52	.52	.51
20 W 4灯 デラックスパネル DP-22 D 付 (FY-2024 形) (ワケ外形 632×632)		J	.30	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23
		I	.36	.33	.31	.36	.32	.30	.32	.30
		H	.40	.37	.35	.39	.37	.35	.36	.35
		G	.42	.40	.38	.42	.40	.37	.38	.37
		F	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40
		E	.49	.46	.44	.47	.45	.43	.45	.43
		D	.52	.49	.47	.51	.48	.47	.48	.47
		C	.54	.51	.48	.52	.50	.48	.49	.48
		B	.56	.53	.52	.54	.52	.51	.51	.50
		A	.57	.55	.53	.55	.53	.52	.52	.51
20 W 4灯 リアクリライトカバー付 (FY-2604 形) (ワケ外形 626×626)		J	.29	.24	.21	.28	.24	.21	.24	.21
		I	.35	.32	.30	.35	.31	.28	.31	.28
		H	.39	.36	.33	.38	.35	.33	.35	.33
		G	.42	.39	.36	.41	.39	.36	.37	.36
		F	.44	.41	.39	.43	.40	.38	.40	.38
		E	.48	.46	.43	.47	.45	.43	.44	.43
		D	.52	.49	.46	.50	.48	.46	.48	.46
		C	.54	.51	.48	.52	.50	.48	.49	.48
		B	.56	.54	.52	.54	.52	.51	.52	.51
		A	.57	.55	.53	.56	.53	.52	.53	.52

注 1. 配光曲線の光度は (実測光度×1,000/総ランビ光束) の値を示す。

2. 配光曲線は水平各角度における鉛直面配光の平均を示す。

表 4.1 円形ランウの組み合わせによる配光曲線・照明率

組 合 わ せ	配 光 曲 線	天 井	75 %			50 %			30 %	
		壁	50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	30 %	10 %
		室指数	照 明 率							
30 W×20 W		J	.20	.17	.14	.20	.17	.14	.16	.14
		I	.25	.22	.20	.24	.21	.19	.21	.19
		H	.27	.25	.23	.26	.24	.22	.24	.22
		G	.29	.27	.25	.29	.27	.25	.26	.25
		F	.31	.29	.27	.30	.28	.26	.28	.26
		E	.34	.32	.30	.33	.31	.30	.31	.30
		D	.36	.34	.32	.36	.34	.32	.33	.32
		C	.38	.36	.34	.37	.35	.34	.34	.33
		B	.40	.38	.36	.38	.37	.36	.36	.35
		A	.41	.39	.37	.39	.38	.37	.37	.36
32 W×30 W		J	.22	.19	.17	.22	.19	.17	.19	.17
		I	.27	.25	.23	.27	.24	.23	.24	.23
		H	.30	.28	.26	.29	.28	.26	.27	.26
		G	.33	.30	.28	.32	.30	.28	.29	.28
		F	.34	.32	.30	.33	.31	.30	.31	.30
		E	.37	.35	.33	.36	.34	.33	.34	.33
		D	.39	.37	.35	.38	.37	.35	.36	.35
		C	.41	.39	.37	.39	.38	.36	.37	.36
		B	.42	.40	.39	.41	.39	.39	.39	.38
		A	.43	.41	.40	.42	.40	.39	.40	.39
40 W×30 W		J	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.19	.17
		I	.29	.26	.24	.29	.25	.23	.25	.23
		H	.32	.29	.27	.31	.29	.27	.29	.27
		G	.35	.32	.30	.34	.32	.29	.31	.29
		F	.37	.34	.32	.36	.33	.31	.33	.31
		E	.40	.38	.36	.39	.37	.35	.36	.35
		D	.43	.41	.38	.42	.40	.38	.40	.38
		C	.45	.42	.40	.43	.41	.40	.41	.40
		B	.47	.45	.43	.45	.44	.43	.43	.42
		A	.48	.46	.44	.47	.45	.43	.44	.43

注 1. 配光曲線の光度は(実測光度×1,000/総ランプ光束)の値を示す。

2. 配光曲線は水平角の各角度における鉛直面配光の平均を示す。(各水平角により変化はごくわずか)

5.5 考 察

ライン照明は大規模な事務所、工場などでよく用いられている照明方法である。この場合の配置は一般の器具配置、たとえば器具間隔は光源高さの1.5倍以内にするとなどという基準にあてはめることができないが、適当な基準は今までなかったようである。

所要照度をうるために必要な器具の台数が決まると、これらを照度Δができないように配置する。照度Δの許容範囲はアメリカでは室内照明の場合 $\frac{\text{最大}-\text{平均}}{\text{平均}}$ 、あるいは $\frac{\text{平均}-\text{最小}}{\text{平均}}$ のうち大

きいほうをとり、それが30%以内なら一様な照明であるという。

このデータの各場合の室中央部付近の光源列間照度分布から均斉度を計算すると表5.1のようになる。

平均照度は 光源間隔3mの場合 573(lx)

5mの場合 344(lx)

7mの場合 246(lx)

$$\left(\text{平均照度} = \frac{\text{光源面の光束発散度} \times \text{光源の幅}}{\text{光源の列間隔}} \right)$$

明るさのΔはこの場合最大値と平均値との差のほうが大いので $\frac{\text{最大}-\text{平均}}{\text{平均}}$ をとる。

このデータは理想条件(平面長方形等輝度光源)についての計算結果であるが、埋込形下面拡散カバー付のケイ光灯器具の場合などでは器具の配光から考えるとかなり近似した結果が現われる

表 5.1 ライン照明の光源高さ、列間隔と均斉度

列間隔(m)	3(EAV=573 lx)		5(EAV=344 lx)		7(EAV=246 lx)	
	E _{max} (lx)	均斉度(%)	E _{max} (lx)	均斉度(%)	E _{max} (lx)	均斉度(%)
光源高さ(m)						
1.65	665	16	557	62	533	117
2.15	605	6	458	33	422	72
2.65	580	1	404	17	357	45

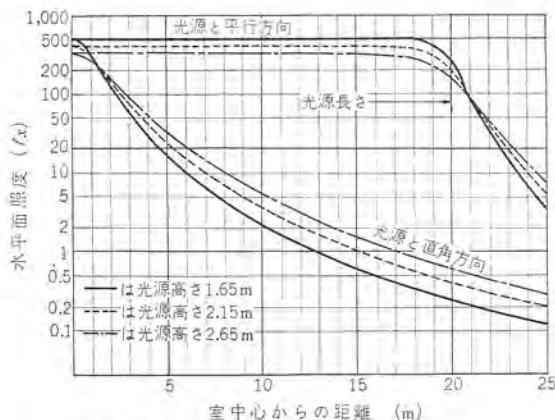
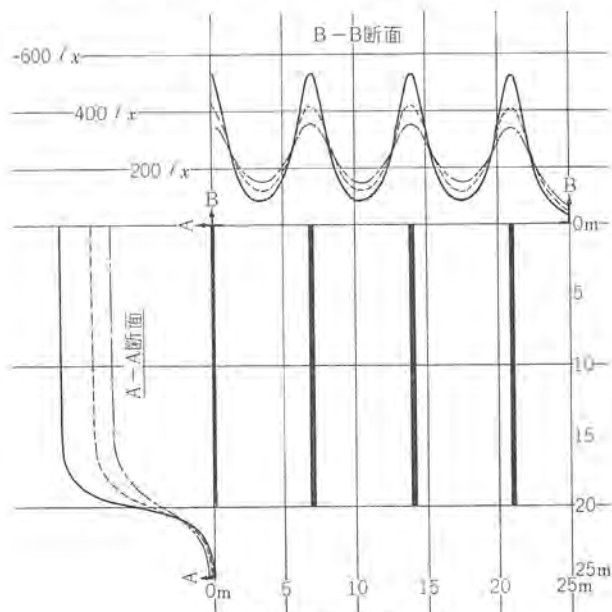
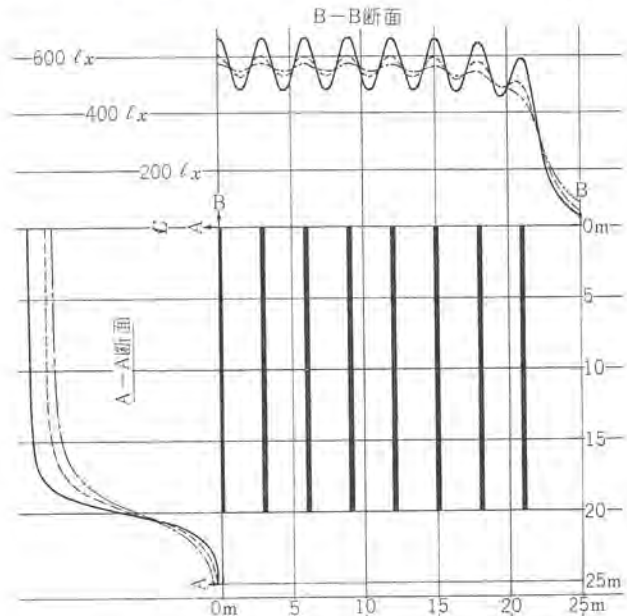


図 5.1 ライン状光源による照度曲線

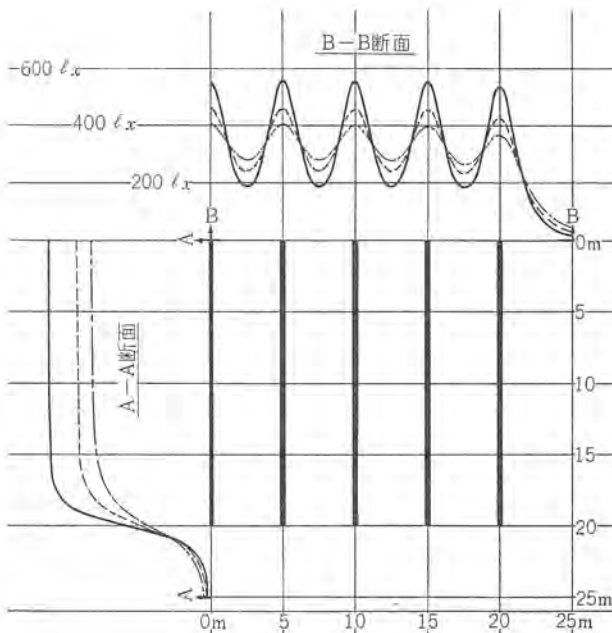


(a) 光源間隔 7.0m



(c) 光源間隔 3.0m

図 5.2 ライン照明による照度曲線



(b) 光源間隔 5.0m

ものと思われる。一般の器具についてもそのまま充当はできないが照度分布の傾向をつむことはできるだろう。

6. 器具配置による照度分布の変化

6.1 趣 旨

室内照明で所要の平均照度を出すため、拡散カバー付の埋込ケイ光灯具として所要ラング本数は光束法で容易に求められるが、これを何灯用の器具何台にわけてどのように配置するかによって照度分布が非常に変化する。

このデータは、決められた面積を一定のラング数で照明するいくつかの代表的な照明器具配置について照度分布を理論計算したものである。

6.2 仮 定

計算にあたっては次の仮定を設けた。

(a) 光源は等輝度長方形の平面光源とする。(一般の拡散カバー付埋込ケイ光灯具は、近似的にこのようにみなせる配光である)

(b) 照射面から天井までの高さは 1.65 m, 2.15 m, 2.65 m の 3 種とする。(床面から天井までの高さ 2.5 m, 3 m, 3.5 m 作業面高さ 0.85 m の室を想定した)

(c) 値は図示光源による水平面直射照度で、壁面などの反射による影響は無視した。

(d) 照射面の大きさは 7 m × 7 m とした。

(e) 光源の配置はすべて室中心に対し点対称とした。

6.3 基礎理論式

原点からの光源の中心座標を (x_i, y_i)
照度を求める点の座標を (x, y)
光源の大きさを $2a \times 2b$ } (図 6.1)

とすると、立体角投射の法則から求める点の水平面照度 E は

$$E = \frac{L}{2\pi} \sum_{K=1}^4 \left(\frac{x_K}{\sqrt{x_K^2 + z^2}} \tan^{-1} \frac{y_K}{\sqrt{x_K^2 + z^2}} + \frac{y_K}{\sqrt{y_K^2 + z^2}} \tan^{-1} \frac{x_K}{\sqrt{y_K^2 + z^2}} \right)$$

(表 6.1)

すなわち、図 6.2 で示す 4 例について点線の範囲の天井を光源とみなして求める点の照度を計算し、これを加え合わせる。

(図 6.2 では $K=2$ と $K=3$ による照度は(-)になるから けっきょく $E=1-2-3+4$ となる)

光源が多い場合にはそれぞれの光源についてこのように計算した照度を加え合わせる。

6.4 光源の光束発散度 (L)

光源の光束発散度には次のような仮定を定めた。

室の広さ 7 m × 7 m あたりケイ光ラング FL-40 SW (全光束 3,300 lm) を 24 灯使用し、

器具効率 $U=0.5$

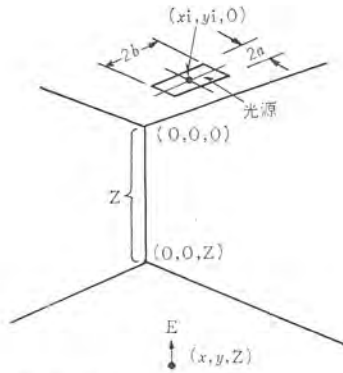


図 6.1 計算点の立体座標

表 6.1

K	x_k	y_k
1	$a+(x-x_i)$	$b+(y-y_i)$
2	$a-(x-x_i)$	$b+(y-y_i)$
3	$a+(x-x_i)$	$b-(y-y_i)$
4	$a-(x-x_i)$	$b-(y-y_i)$

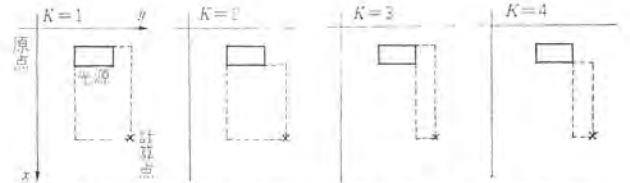


図 6.2 等輝度長方形平面光源の照度計算説明

	0	1	2	3	4	5	6	7m
0	936 (848) (954)	274 (244) (307)	184 (164) (204)	41.1 (37.1) (45.9)	19.1 (17.1) (21.9)	7.18 (6.44) (7.93)	3.06 (2.74) (3.42)	2.04 (1.82) (2.24)
-1	374 (344) (407)	246 (226) (287)	96.2 (88.2) (110)	34.9 (31.9) (39.7)	14.3 (12.3) (15.9)	6.61 (5.97) (7.46)	2.47 (2.25) (2.86)	1.96 (1.74) (2.24)
-2	28 (25) (31)	39.2 (35.2) (43.9)	47.4 (43.4) (53.9)	22.7 (20.7) (25.9)	10.8 (9.8) (12.4)	5.47 (4.93) (6.11)	3.03 (2.71) (3.39)	1.95 (1.73) (2.24)
-3	41.1 (37.1) (45.9)	34.9 (31.9) (39.7)	22.7 (20.7) (25.9)	13.0 (11.0) (13.6)	7.19 (6.45) (7.93)	4.07 (3.63) (4.51)	2.45 (2.23) (2.86)	1.48 (1.26) (1.61)
-4	15.9 (14.9) (18.5)	14.3 (12.3) (15.9)	10.8 (9.8) (12.4)	7.19 (6.45) (7.93)	4.07 (3.63) (4.51)	2.45 (2.23) (2.86)	1.48 (1.26) (1.61)	1.08 (0.96) (1.24)
-5	7.18 (6.44) (7.93)	6.61 (5.97) (7.46)	5.47 (4.93) (6.11)	4.07 (3.63) (4.51)	2.45 (2.23) (2.86)	1.48 (1.26) (1.61)	0.927 (0.827) (1.03)	0.612 (0.544) (0.688)
-6	3.06 (2.74) (3.42)	2.47 (2.25) (2.86)	1.96 (1.74) (2.24)	1.48 (1.26) (1.61)	1.08 (0.96) (1.24)	0.732 (0.654) (0.827)	0.468 (0.414) (0.519)	0.305 (0.271) (0.342)
-7m	2.04 (1.82) (2.24)	1.96 (1.74) (2.24)	1.75 (1.53) (1.96)	1.58 (1.36) (1.75)	1.18 (1.06) (1.36)	0.732 (0.654) (0.827)	0.468 (0.414) (0.519)	0.305 (0.271) (0.342)

(a) 光源の大きさ $1,200 \times 1,200$ 光束発散度 4,300 (lm/m^2)
照度の単位 lx

	0	1	2	3	4	5	6	7m
0	4.1 (3.7) (4.7)	247 (227) (287)	80.2 (74.2) (92.4)	20.5 (18.5) (23.9)	10.4 (9.4) (11.9)	4.71 (4.31) (5.4)	2.41 (2.21) (2.81)	1.35 (1.15) (1.5)
-1	250 (230) (290)	163 (143) (183)	61.7 (55.7) (70.1)	22.0 (19.0) (24.4)	9.25 (8.25) (10.4)	4.39 (3.99) (5.0)	2.29 (2.09) (2.69)	1.29 (1.09) (1.44)
-2	84.9 (78.9) (97.7)	63.6 (57.6) (72.0)	32.5 (29.5) (37.7)	14.9 (13.9) (17.5)	7.06 (6.46) (8.11)	3.60 (3.20) (4.0)	1.98 (1.78) (2.24)	1.16 (1.06) (1.36)
-3	27.6 (25.6) (32.0)	23.3 (21.3) (26.7)	15.1 (13.1) (16.7)	8.57 (7.57) (9.7)	4.74 (4.34) (5.4)	2.49 (2.29) (2.89)	1.59 (1.39) (1.79)	0.977 (0.877) (1.12)
-4	10.7 (9.7) (12.4)	9.25 (8.25) (10.4)	7.16 (6.46) (8.11)	4.77 (4.37) (5.4)	3.62 (3.22) (4.0)	1.90 (1.70) (2.16)	1.21 (1.01) (1.29)	0.785 (0.685) (0.88)
-5	4.80 (4.40) (5.4)	4.47 (4.07) (5.0)	3.60 (3.20) (4.0)	2.71 (2.31) (2.89)	1.90 (1.70) (2.16)	1.33 (1.13) (1.44)	0.888 (0.788) (1.03)	0.612 (0.544) (0.688)
-6	2.44 (2.24) (2.86)	2.47 (2.27) (2.87)	2.00 (1.80) (2.24)	1.69 (1.49) (1.89)	1.21 (1.01) (1.29)	0.890 (0.790) (1.04)	0.648 (0.548) (0.71)	0.468 (0.368) (0.479)
-7m	1.35 (1.15) (1.5)	1.31 (1.11) (1.44)	1.17 (0.97) (1.29)	0.983 (0.783) (1.03)	0.789 (0.589) (0.78)	0.614 (0.414) (0.54)	0.462 (0.262) (0.342)	0.305 (0.105) (0.144)

(b) 光源の大きさ $900 \times 1,200$ 光束発散度 3,820 (lm/m^2)

	0	1	2	3	4	5	6	7m
0	991 (901) (1091)	184 (164) (204)	184 (164) (204)	19.2 (17.2) (21.9)	7.57 (6.77) (8.42)	3.06 (2.74) (3.42)	2.04 (1.82) (2.24)	2.779 (2.55) (3.19)
-1	199 (179) (224)	121 (101) (129)	44.8 (40.8) (50.4)	16.9 (14.9) (18.5)	8.89 (7.89) (9.9)	3.24 (2.84) (3.56)	1.67 (1.47) (1.85)	0.902 (0.702) (0.92)
-2	84.7 (78.7) (97.7)	47.9 (41.9) (51.9)	24.0 (20.0) (25.9)	11.7 (10.7) (13.3)	5.21 (4.61) (5.79)	2.54 (2.14) (2.71)	1.47 (1.27) (1.61)	0.962 (0.762) (1.03)
-3	31.0 (28.0) (34.4)	17.6 (15.6) (19.2)	11.4 (9.4) (11.9)	6.35 (5.35) (6.79)	3.52 (2.92) (3.63)	2.00 (1.60) (2.04)	1.18 (0.98) (1.29)	0.729 (0.529) (0.69)
-4	8.46 (7.46) (9.3)	7.22 (6.22) (7.79)	5.27 (4.27) (5.39)	3.57 (2.57) (3.29)	2.25 (1.25) (1.59)	1.41 (0.81) (1.03)	0.879 (0.679) (0.88)	0.586 (0.386) (0.51)
-5	3.62 (2.62) (3.39)	3.37 (2.37) (2.99)	2.74 (1.74) (2.16)	2.03 (1.03) (1.29)	1.42 (0.42) (0.54)	0.973 (0.573) (0.73)	0.604 (0.404) (0.51)	0.457 (0.257) (0.342)
-6	1.94 (0.94) (1.24)	1.74 (0.74) (0.99)	1.59 (0.59) (0.79)	1.30 (0.30) (0.39)	0.907 (0.407) (0.51)	0.666 (0.266) (0.342)	0.483 (0.283) (0.363)	0.350 (0.150) (0.199)
-7m	1.02 (0.42) (0.54)	0.989 (0.389) (0.51)	0.879 (0.279) (0.363)	0.733 (0.133) (0.175)	0.592 (0.092) (0.129)	0.460 (0.060) (0.088)	0.351 (0.051) (0.069)	0.266 (0.026) (0.034)

(c) 光源の大きさ $300 \times 1,200$ 光束発散度 8,590 (lm/m^2)

	0	1	2	3	4	5	6	7m
0	991 (901) (1091)	184 (164) (204)	184 (164) (204)	19.2 (17.2) (21.9)	7.57 (6.77) (8.42)	3.06 (2.74) (3.42)	2.04 (1.82) (2.24)	2.779 (2.55) (3.19)
-1	199 (179) (224)	121 (101) (129)	44.8 (40.8) (50.4)	16.9 (14.9) (18.5)	8.89 (7.89) (9.9)	3.24 (2.84) (3.56)	1.67 (1.47) (1.85)	0.902 (0.702) (0.92)
-2	84.7 (78.7) (97.7)	47.9 (41.9) (51.9)	24.0 (20.0) (25.9)	11.7 (10.7) (13.3)	5.21 (4.61) (5.79)	2.54 (2.14) (2.71)	1.47 (1.27) (1.61)	0.962 (0.762) (1.03)
-3	31.0 (28.0) (34.4)	17.6 (15.6) (19.2)	11.4 (9.4) (11.9)	6.35 (5.35) (6.79)	3.52 (2.92) (3.63)	2.00 (1.60) (2.04)	1.18 (0.98) (1.29)	0.729 (0.529) (0.69)
-4	8.46 (7.46) (9.3)	7.22 (6.22) (7.79)	5.27 (4.27) (5.39)	3.57 (2.57) (3.29)	2.25 (1.25) (1.59)	1.41 (0.81) (1.03)	0.879 (0.679) (0.88)	0.586 (0.386) (0.51)
-5	3.62 (2.62) (3.39)	3.37 (2.37) (2.99)	2.74 (1.74) (2.16)	2.03 (1.03) (1.29)	1.42 (0.42) (0.54)	0.973 (0.573) (0.73)	0.604 (0.404) (0.51)	0.457 (0.257) (0.342)
-6	1.94 (0.94) (1.24)	1.74 (0.74) (0.99)	1.59 (0.59) (0.79)	1.30 (0.30) (0.39)	0.907 (0.407) (0.51)	0.666 (0.266) (0.342)	0.483 (0.283) (0.363)	0.350 (0.150) (0.199)
-7m	1.02 (0.42) (0.54)	0.989 (0.389) (0.51)	0.879 (0.279) (0.363)	0.733 (0.133) (0.175)	0.592 (0.092) (0.129)	0.460 (0.060) (0.088)	0.351 (0.051) (0.069)	0.266 (0.026) (0.034)

(d) 光源の大きさ $300 \times 1,200$ 光束発散度 5,730 (lm/m^2)

図 6.3 長方形光源による水平面照度分布

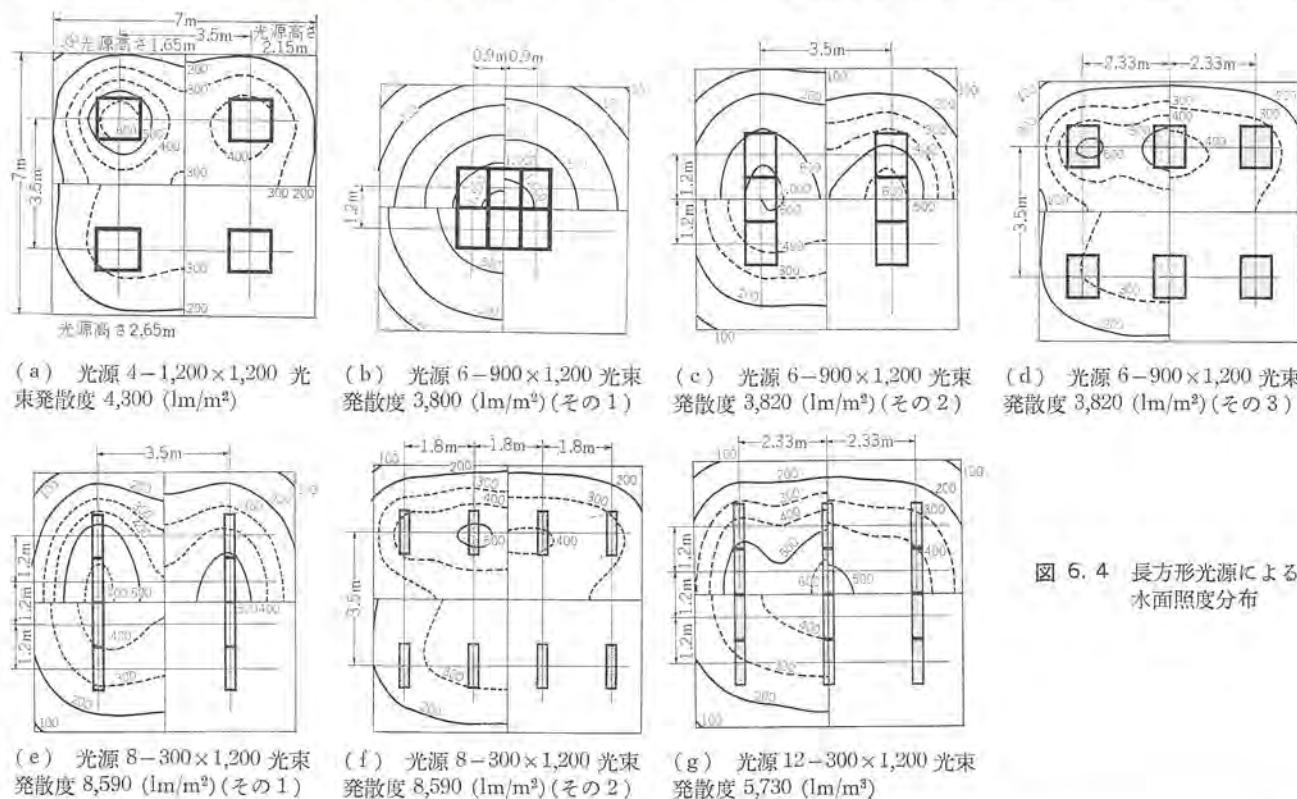


図 6.4 長方形光源による水面照度分布

減光補償率 $D=1.6$

とし、下記の場合について計算する。

6 灯器具 (カバー面大きさ 1,200×1,200 mm) 4 台

4 灯器具 (カバー面大きさ 900×1,200 mm) 6 台

3 灯器具 (カバー面大きさ 300×1,200 mm) 8 台

2 灯器具 (カバー面大きさ 300×1,200 mm) 12 台

6 灯器具の光束発散度は、

$$L = \frac{3,300 \times 6 \times 0.5}{1.2 \times 1.2 \times 1.6} = 4,300 (\text{lm/m}^2)$$

同様に、4 灯器具では $L=3,820 (\text{lm/m}^2)$

3 灯器具では $L=8,590 (\text{lm/m}^2)$

2 灯器具では $L=5,730 (\text{lm/m}^2)$

6.5 計算

室の中心を原点とし、縦横それぞれ 0.25 m 刻みにしたこうし (格子) 目の各点について基礎理論的にしたがって計算した。計算は電子計算機 IBM 7090 を使用し、小数点以下第 5 位まで求めている。

6.6 照度分布

図 6.3 は器具 1 台の照度分布計算値、図 6.4 はこれらを重ね合わせて作られた照度分布図である。図 6.3 の記入値のうちカッコなしは光源高さ 1.65 m の場合、() 内数字は光源高さ 2.15 m の場合、[] 内数字は光源高さ 2.65 m の場合の照度を示す。また図 6.4 では照射面を 4 分割し、各区画を図 6.4(a) に示す天井高さの場合の照度分布としている。

6.7 考察

このデータでは 7 m×7 m 1 区画における器具配置と照度分布の関係について計算した。実際にはこのような区画が隣接してあれば当然 それらからの影響があり、またこれだけの大きさの独立

した室なら壁面からの反射も無視できない。

したがってこのデータだけで結論を出すのは危険であるが、照度 Δ の傾向については注目してよいと思う。

7. 帯状照明における器具配置と照度との関係

7.1 趣旨

ケイ光灯照明による平均照度を求める方法として従来から光束法が用いられているが、いわゆる局部的全般照明の場合たとえばコッパ上のみを重点的に照明するような場合にこの、コッパ上の平均照度を求めるためには光束法の適用はむずかしい。

このような場合について 110 W 反射カサ付ケイ光灯による帯状の照明で次の 2 列を検討した。

(a) 器具を 1 台ずつ並列等間隔に配置した場合の器具間隔および取付高さと列中央の床面水平面平均照度との関係 (図 7.1)

(b) 器具を 2 列ライン状に配置した場合の列間隔、および取付高さと列中間点床面の水平面平均照度との関係 (図 7.2)

7.2 計算条件

(a) 器具は当社 FH-11601 (1 灯用、反射カサ付、器具効率約 82%) および FH-11602 (2 灯用、反射カサ付、器具効率約 81%) を使用する。

(b) 減光補償率は 1.5 とする。

7.3 計算と結果

(a) 並列等間隔の場合

光源の大きさを (器具間隔×光源長さ) とし、この大きさの平面から (器具 1 台あたりのランプ全光束×器具効率) だけの光束をいちように出しているものと仮定する。列の長さが無限に続くとして「立体角投射の法則」を適用すると、

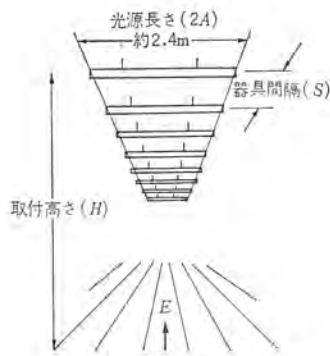


図 7.1 並列等間隔配置

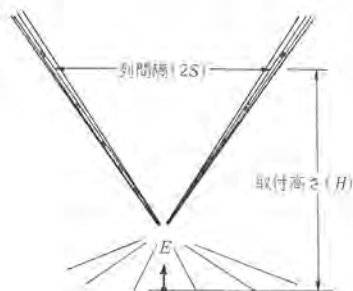


図 7.2 ライン状2列配置

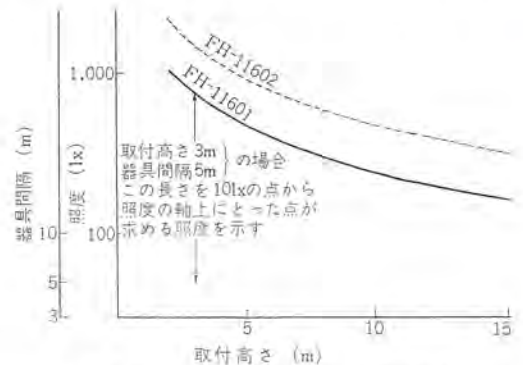


図 7.3 並列配置による照度曲線
使用器具 110 W 灯および2灯反射カサ付高出力ケイ光灯器具
(FH-11601-R 1灯用)
(FH-11602-R 2灯用)
2 × 2 FLR-110 HW (全光束 8,700 lm)

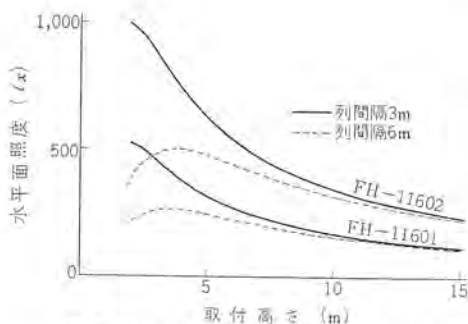


図 7.4 ライン状照明の取付高さによる照度曲線

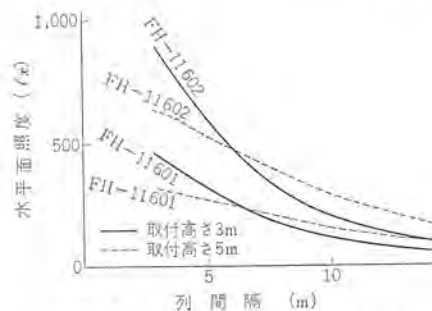


図 7.5 ライン状照明の列間隔による照度曲線

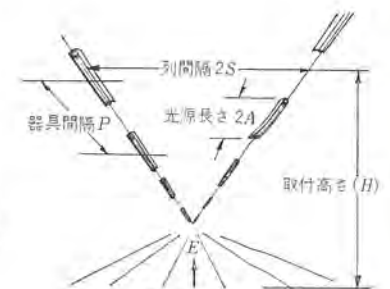


図 7.6 直列千鳥配置

$$E = \frac{L \cdot A}{D \sqrt{H^2 + A^2}} \quad (\text{lx})$$

L: 光束発散度 (lm/m²)
2A: 光源の長さ (図 7.1 参照) (m)
D: 減光補償率 (1.5 とする)
H: 取付高さ (m)

光束発散度は前記条件から

$$L = \frac{F \cdot \eta}{2A \cdot S}$$

F: 器具あたりのラング全光束 (lm)
η: 器具効率
S: 器具間隔 (m)

したがって、

$$E = \frac{F \cdot \eta}{2S \cdot D \sqrt{H^2 + A^2}} \quad (\text{lx})$$

上式から照度は器具間隔Sに逆比例することがわかる。この関係を対数で表わすと、

$$\log E = \log \left(\frac{F \cdot \eta}{2D \sqrt{H^2 + A^2}} \right) - \log S$$

したがって (S=1 m) の場合の取付高さとの関係のEを対数目盛にした片対数グラフに表わすと、上式を利用して任意の器具間隔の場合の照度をグラフから簡単に読みとることができる。

図 7.3 に FH-11601, FH-11602 の場合のグラフを示す。

b. ライン状2列の場合

光源は無限長の等輝度線光源として積分すると、列中間点床面の水平面照度Eは (図 7.2)

$$E = \frac{\pi \cdot B \cdot H}{D(S^2 + H^2)}$$

B: 単位長さあたりの光度 (cd/m)
H: 光源の高さ (m)
2S: 列間隔 (m)
D: 減光補償率

この場合Bはケイ光灯器具ではラング軸に直角方向の配光曲線から鉛直角が $\tan^{-1}(B/H)$ 方向の光度を読み、これをラング長さ (約 2.4 m) で割った値である。

上式により次の関係を算出し図示した。

b-1 列間隔を一定 (3 m および 6 m) にした場合の取付高さ
と列中間点床面の水平面照度との関係 (図 7.4)

b-2 取付高さを一定 (3 m および 5 m) にした場合の列間隔
と列中間点床面の水平面照度との関係 (図 7.5)

なお 器具をライン状にせずの間隔をあけて断続的に配置する場合 次のようにして平均照度を求めることができる。

$$E = \frac{2\pi \cdot A \cdot B \cdot H}{D \cdot P(S^2 + H^2)} \quad (\text{lx})$$

2A: 光源長さ (m)
R: 器具間隔 (m)

この場合、平均照度とともに均斉度についても十分考慮する必要がある。器具を千鳥配置にすることも均斉度をよくするために効果がある (図 7.6 参照)

7.4 考 察

上記2列とも局部的平均照度を求めるものであった。一般の平均照度が平面における平均を意味しているのに対し、上記の例で

は平面内の特定線上における平均を求めている。これらの値は並列配置の場合には光源が線光源に近いものを面光源として計算しているから、実際に比べて器具直下は暗く光源から離れるにしたがって明るくなる傾向が出る。一方等輝度面光源の配光は鉛直角の余弦に比例するが、反射カサ付器具のラング軸に直角方向の配光は余弦の $1/2 \sim 1/3$ 乗に比例する傾向にあり、この関係は前記線光源と面光源との相違と相殺するように影響するから、器具間隔が極端に大きくない場合は比較的均斉度の照明ができる。ライン状2列の場合には等輝度線光源として計算したが、実際の器具は正確には等輝度線光源とはいえないがそのラング軸に平行方向の配光が等輝度の場合の傾向ときわめて似ていることから大幅な相違はないものと思われる。

8. 線分光源による照度計算法

8.1 趣旨

ケイ光灯光源による直射照度を求める場合照射点が光源に近い場合には点光源として計算するより、線分光源として計算するほうがはるかに正確な値が得られる。この文のねらいは一般のケイ光灯器具についての照度計算を、線分光源の要素を盛り込んでしかも容易に行なえるようにしようというものである。

8.2 理論

照射面に平行な等輝度の線分光源による照度は次式によって得られる。(図8.1)

光源の長さを \overline{ab} 、光源と照射面との距離を H 、照射点 P から光源を含む直線に下した垂線の足を C 、 PC を x 、とすると光源 \overline{ac} による P 点の水平面照度 E_{ac} は

$$E_{ac} = \frac{H \cdot I}{2x} \left(\frac{1}{x^2 + ac^2} + \frac{1}{x \cdot ac} \tan^{-1} \frac{ac}{x} \right) \dots \dots \dots (8.1)$$

I : 光源 \overline{ac} の法線方向の光度

C 点が光源上にあるときは \overline{ac} 、 \overline{bc} による照度を加え合わせ、 C 点が光源の延長線上にあるときは \overline{ac} 、 \overline{bc} の大きいほうから小さいほうを減ずる。

ケイ光灯は等輝度光源ではないが等輝度線分光源による照度を E_0 としたとき、一般のケイ光灯器具による照度 E を、

$$E = E_0 \cdot K_\theta \dots \dots \dots (8.2)$$

で表わせるような係数 K_θ を求めようと思う。

ケイ光灯器具を線分光源とみなしたとき、微小長さあたりの配光は各部分について同一で、器具全体から得られる配光で代表されたと仮定する。等輝度線分光源の場合にはもちろんこれが成立するから等輝度線分光源による配光と、一般のケイ光灯器具の配光とを比較して以下推論する。

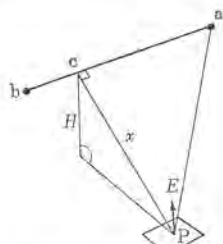


図 8.1 等輝度線分光源の照度計算説明

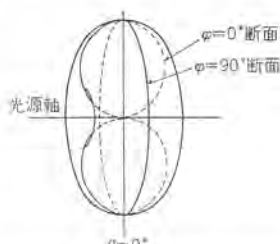


図 8.2 等輝度線分光源の配光立体

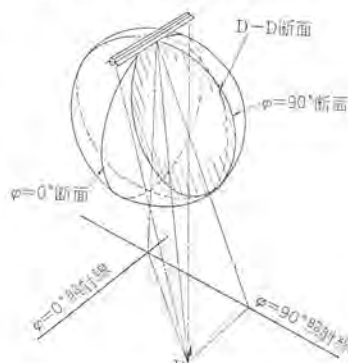


図 8.3 ケイ光灯器具の一般的な配光立体

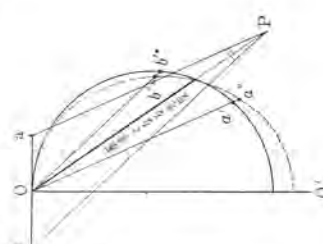


図 8.4 ケイ光灯器具の照度計算説明

等輝度線分光源の配光立体は、光源の軸を含む平面に垂直な線の方角を鉛直角 0° にとって光源の軸に平行方向を水平角 0° とし水平角を φ 、鉛直角を θ で表わすと

$$I_{\varphi\theta} = I_0 \sin \{ \cos^{-1} (\cos \varphi \sin \theta) \} \dots \dots \dots (8.3)$$

で表わされる。 I_0 は最大光度である。

また一般のケイ光灯器具の配光特性は器具の通常の出付状態での直下方向を鉛直角 0° に決め、ラング軸に平行方向を水平角 0° としたとき水平角 0° 、 45° 、 90° の3断面について、鉛直角を $-180^\circ \sim +180^\circ$ に変えたときの鉛直角に対する光度をとって表わしている(図8.2)。そして照度計算もこのデータを使って行なわれるわけである。その配光は水平角 0° の断面では $\cos \theta$ に、 90° 、 45° の断面ではそれぞれ $\cos \sqrt{2} \sin \theta$ 、 $\cos \theta$ に近似した傾向をもっていて配光立体は回転楕円体に似ているものが多い。このうちでも乳白カバー付の埋込み、半埋込形器具の配光立体は $I_0 \cos \theta$ で表わされる球に近い。

線分光源によって任意の点の照度を計算するとき必要となる配光は、配光立体を光源の軸と照射点を含む面で切断した切り口(D-D断面とする)で表わされる(図8.3)。ただしその配光の全域が必要ではなく、光源の照射点に近い端から出発して遠い端に至るまでの間に照射点をみこむ角が変化する範囲である。光源と照射点の距離が大きくなればしだいにその範囲は小さくなり、ついには一定方向に収まるがこうなると光源を点光源と考えてよいわけである。

等輝度光源ではこの切り口の配光は照射点の位置に関係なく光源の軸に対する角を Ψ とすると $I_0 \sin \Psi$ で表わされる。

一般の器具の場合、水平角 0° の断面の配光は

$$I_0 \cos \theta = I_0 \sin \Psi$$

であるからこの方向における照度は等輝度光源による照度からすぐに求められる。等輝度光源による照度を E_0 、求める照度を E とすると、

$$E = E_0 \cdot \frac{I_\theta}{I_0}$$

さらに I_θ の代わりにこの方向の光度 $I_{A\theta}$ を用いると、

$$E_A = E_0 \frac{I_{A\theta}}{I_0 \cos \theta} \dots \dots \dots (8.4)$$

水平角 90° の断面方向の各点については一般の器具のD-D断面は $I_{A\theta} \sin^{f(\theta)} \Psi$ で表わされるが、照射点をみこむ角は光源の両端で対称で、変化する角の範囲がそれほど大きくないときには、

$$I'_{B\theta} \sin f(\theta) \Psi = I'_{B\theta} \sin \Psi$$

として考えても球に近い配光立体をもつ一般の器具では大きな誤差を生じない。

このように仮定すると求める照度 E は

$$E_B = E_0 \cdot \frac{I_{B\theta}}{I_0} \dots\dots\dots (8.5)$$

水平面 45° の断面方向では、 90° の場合と同様 D-D 断面の配光は $I'_{c\theta} \sin f(\theta) \Psi$ で表わされるが、使用範囲がかたよるので少し複雑になる。結果を先に述べると等輝度光源による照度にこの方向の器具の光度と等輝度光源の光度との比を乗じたものを求める照度とする。この方向の等輝度光源の光度は式 (8.3) で $\cos \Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}$ として、

$$I_\theta = I_0 \sin \{ \cos^{-1}(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin \theta) \}$$

$$\therefore E_c = \frac{E_0 I_{c\theta}}{I_0 \sin \{ \cos^{-1}(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin \theta) \}} \dots\dots\dots (8.6)$$

この式の意味は次のようなものである。

図 8.4 のように等輝度光源による P 点の照度は P 点を含む D-D 断面の配光のうち、光源の一端から出発して他端に至るまでの間に光源が照射点をみこむ角の範囲である。光源を ab 、その中点を o 、D-D 断面内における光源の軸に対する法線を oo' とすると、

$$pa // oa', pb // ob'$$

なる点 a' 、 b' を D-D 断面配光曲線上にとり、すなわち $\angle a'ob'$ の範囲がこの計算に用いられる部分である。

いま等輝度光源の OP 方向の光度の代わりに実際の器具のこの方向の光度を代入すると、実際の器具と OP 方向で光度が等しい等輝度光源の計算をしたことになり、これが上式で求めた照度である。

実際の器具の配光を図の点線で表わすと、OP 軸を境にして実際の光度より片側は小さく片側は大きい光度で計算した値になっていることがわかる。これらによる誤差は両側で互いに打ち消しあうように働くが水平面照度は光度と距離、角度の関数であるから光度が加重平均的に影響する。 oa' および ob' と実際の器具の配光曲線とが交わる点を a'' および b'' とすると一般に $oa' < oa''$ のときは、実際の器具のほうが計算値よりも明るく逆のときは暗くなる。

等輝度線分光源で線分の長さ、最大光度を一定にし光源高さ、照射点の光源中心に対する鉛直角、水平角も決めると照度 E_θ が決められる。これらの条件の下に最大光度を 1 とすると、式 (8.4) (8.5) (8.6) はそれぞれ次のような形になる。

$$E'_{A\theta} = K_{A\theta} \cdot I'_{A\theta} \text{ ただし } K_{A\theta} = E_{A\theta} \sec \theta \dots\dots\dots (8.7)$$

$$E'_{B\theta} = K_{B\theta} \cdot I'_{B\theta} \text{ ただし } K_{B\theta} = E_{B\theta} \dots\dots\dots (8.8)$$

$$E'_{c\theta} = K_{c\theta} \cdot I'_{c\theta} \text{ ただし } K_{c\theta} = E_{c\theta} \operatorname{cosec} \{ \cos^{-1}(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin \theta) \} \dots\dots (8.9)$$

8.3 係数の計算

線分の長さを 40 W ケイ光ランプの発光部分の長さに合わせて 1.174 m、光源高さは 0.5 m から 0.5 m おきに 3 m までと 4 m、5 m について水平角 0° 、 45° 、 90° の方向の鉛直角 0° から 5° 刻みに 80° までの各照射点の $K_{A\theta}$ 、 $K_{B\theta}$ 、 $K_{c\theta}$ を電子計算機により求め表 8.1 に示す。

表 8.1 線分光源の直射照度計算係数 (光源長さ 1.174 m)

H=0.5 m				H=1.0 m			
θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$	θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$
0	2.3150	2.3150	2.3150	0	0.8240	0.8240	0.8240
5	2.3193	2.2947	2.3069	5	0.8208	0.8156	0.8182
10	2.3317	2.2346	2.2822	10	0.8110	0.7909	0.8009
15	2.3514	2.1365	2.2394	15	0.7935	0.7509	0.7717
20	2.3760	2.0038	2.1758	20	0.7667	0.6972	0.7304
25	2.4015	1.8407	2.0880	25	0.7283	0.6322	0.6770
30	2.4201	1.6528	1.9716	30	0.6761	0.5585	0.6119
35	2.4180	1.4466	1.8217	35	0.6085	0.4794	0.5365
40	2.3712	1.2293	1.6344	40	0.5256	0.3982	0.4533
45	2.2412	1.0088	1.4084	45	0.4307	0.3184	0.3663
50	1.9798	0.7935	1.1485	50	0.3307	0.2432	0.2804
55	1.5610	0.5918	0.8691	55	0.2349	0.1758	0.2012
60	1.0435	0.4120	0.5962	60	0.1524	0.1183	0.1333
65	0.5727	0.2613	0.3606	65	0.0887	0.0725	0.0798
70	0.2570	0.1450	0.1857	70	0.0449	0.0390	0.0417
75	0.0927	0.0654	0.0767	75	0.0186	0.0171	0.0178
80	0.0240	0.0204	0.0220	80	0.0054	0.0052	0.0053

H=1.5 m				H=2.0 m			
θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$	θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$
0	0.4045	0.4045	0.4045	0	0.2367	0.2367	0.2367
5	0.4016	0.4002	0.4009	5	0.2346	0.2341	0.2343
10	0.3929	0.3874	0.3901	10	0.2284	0.2264	0.2274
15	0.3782	0.3667	0.3724	15	0.2182	0.2140	0.2161
20	0.3573	0.3391	0.3480	20	0.2040	0.1976	0.2007
25	0.3301	0.3059	0.3176	25	0.1862	0.1779	0.1819
30	0.2969	0.2686	0.2821	30	0.1654	0.1558	0.1604
35	0.2585	0.2290	0.2421	35	0.1422	0.1324	0.1371
40	0.2164	0.1887	0.2016	40	0.1178	0.1088	0.1131
45	0.1729	0.1496	0.1604	45	0.0934	0.0859	0.0895
50	0.1308	0.1133	0.1214	50	0.0704	0.0649	0.0675
55	0.0927	0.0812	0.0865	55	0.0499	0.0463	0.0480
60	0.0607	0.0542	0.0573	60	0.0329	0.0308	0.0318
65	0.0360	0.0330	0.0344	65	0.0196	0.0187	0.0192
70	0.0187	0.0176	0.0251	70	0.0103	0.0099	0.0101
75	0.0080	0.0077	0.0078	75	0.0044	0.0043	0.0044
80	0.0024	0.0023	0.0023	80	0.0013	0.0013	0.0013

H=2.5 m				H=3.0 m			
θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$	θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$
0	0.1544	0.1544	0.1544	0	0.1084	0.1084	0.1084
5	0.1529	0.1527	0.1528	5	0.1073	0.1072	0.1072
10	0.1485	0.1476	0.1481	10	0.1040	0.1036	0.1038
15	0.1413	0.1395	0.1404	15	0.0987	0.0978	0.0983
20	0.1314	0.1286	0.1300	20	0.0915	0.0902	0.0909
25	0.1192	0.1157	0.1174	25	0.0828	0.0801	0.0819
30	0.1052	0.1012	0.1031	30	0.0728	0.0708	0.0718
35	0.0899	0.0858	0.0879	35	0.0621	0.0601	0.0610
40	0.0742	0.0704	0.0722	40	0.0510	0.0492	0.0501
45	0.0586	0.0556	0.0571	45	0.0403	0.0388	0.0395
50	0.0441	0.0419	0.0430	50	0.0303	0.0292	0.0297
55	0.0313	0.0298	0.0306	55	0.0215	0.0208	0.0211
60	0.0207	0.0198	0.0202	60	0.0142	0.0138	0.0140
65	0.0124	0.0120	0.0122	65	0.0085	0.0083	0.0084
70	0.0065	0.0064	0.0064	70	0.0045	0.0044	0.0045
75	0.0028	0.0028	0.0028	75	0.0019	0.0019	0.0019
80	0.0008	0.0008	0.0008	80	0.0006	0.0005	0.0006

H=4.0 m				H=5.0 m			
θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$	θ (度)	$K_{A\theta}$	$K_{B\theta}$	$K_{c\theta}$
0	0.0616	0.0616	0.0616	0	0.0396	0.0396	0.0392
5	0.0610	0.0609	0.0609	5	0.0392	0.0392	0.0392
10	0.0590	0.0589	0.0590	10	0.0379	0.0379	0.0379
15	0.0558	0.0556	0.0557	15	0.0359	0.0357	0.0358
20	0.0517	0.0512	0.0514	20	0.0331	0.0329	0.0330
25	0.0466	0.0460	0.0463	25	0.0298	0.0296	0.0297
30	0.0408	0.0402	0.0405	30	0.0261	0.0258	0.0259
35	0.0347	0.0340	0.0343	35	0.0221	0.0219	0.0220
40	0.0284	0.0279	0.0281	40	0.0181	0.0179	0.0180
45	0.0224	0.0219	0.0222	45	0.0143	0.0141	0.0142
50	0.0168	0.0165	0.0167	50	0.0107	0.0106	0.0107
55	0.0120	0.0117	0.0119	55	0.0076	0.0075	0.0076
60	0.0079	0.0078	0.0078	60	0.0050	0.0050	0.0050
65	0.0048	0.0047	0.0047	65	0.0030	0.0030	0.0030
70	0.0025	0.0025	0.0025	70	0.0016	0.0016	0.0016
75	0.0011	0.0011	0.0011	75	0.0007	0.0007	0.0007
80	0.0003	0.0003	0.0003	80	0.0002	0.0002	0.0002

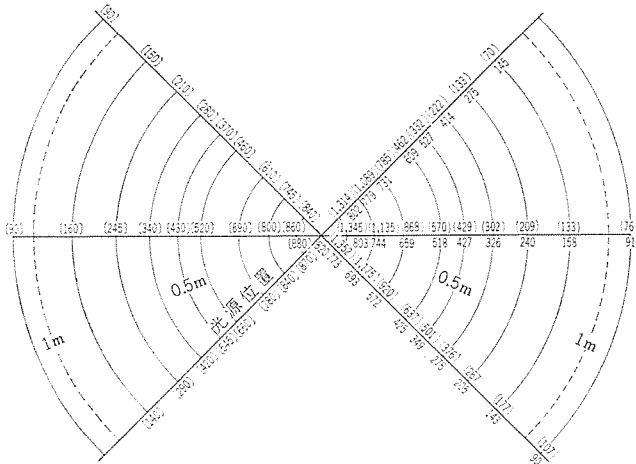


図 8.5 40 W 白色“ルミスーパー”ケイ光ラング照度分布 (光源高さ 0.5 m)

図中[]内数字は実測照度, ()内数字は点光源としての照度計算, カッコのない数字は線分光源としての照度計算値を示す。

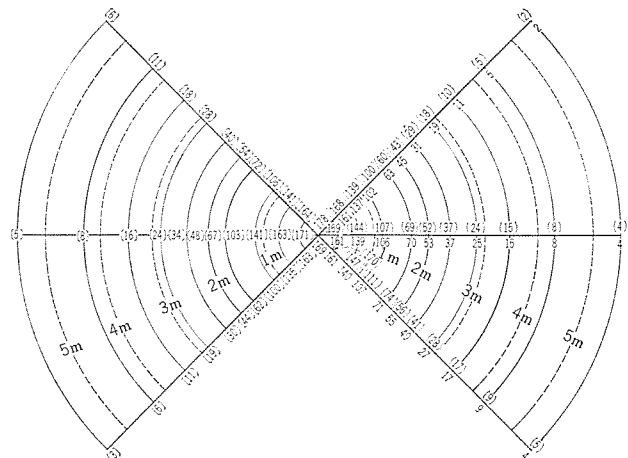


図 8.6 40 W 1 灯 ケイ 光 灯 器 具 による照度分布 (光源高さ 2.0 m)

[図中の記号は図 8.5 に準ず]

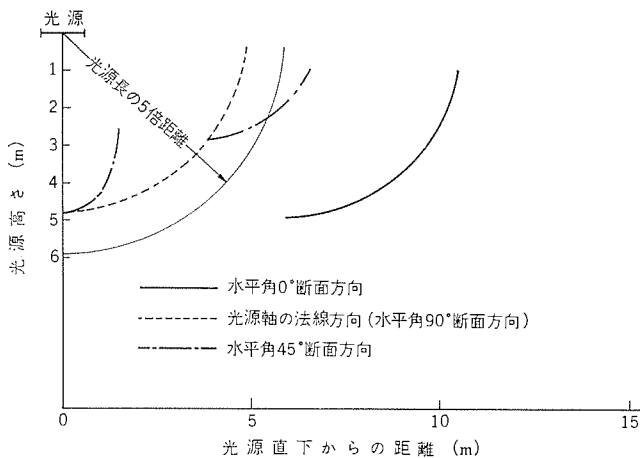


図 8.7 点光源としての計算が誤差 1% 以下になるための照射点位置 (光源長さ 1,174 m)

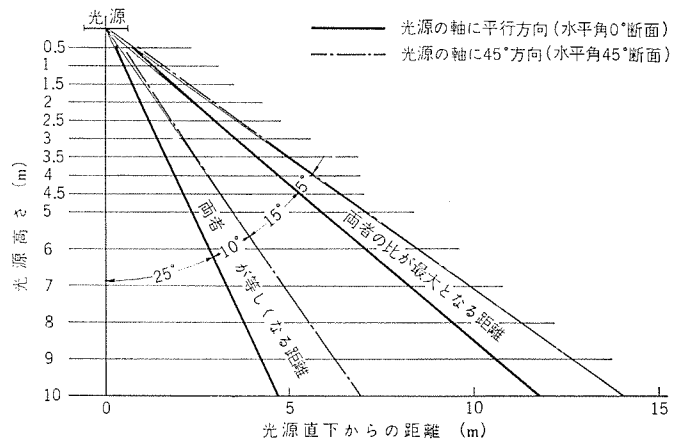


図 8.8 線分光源としての計算値と点光源としての計算値との関係

8.4 計算と実測との比較

例として 40 W ルミスーパーケイ光ラングを 高さ 0.5 m に取り付けした場合と 40 W 1 灯 ケイ 光 灯 器 具 FH-4601 を 高さ 2.0 m に取り付けの場合について上記方法で計算した値と、光源を点光源とみなした逐点法による計算値、および実測値とを比較して図 8.5、図 8.6 に示す。40 W ケイ光ラングの例では線分光源としての計算のほうが有利なことがきわめて顕著に表われるが、それでも計算値と実測値との間に 7～8% の違いがある。このような近距離になるとラングの太さが影響してくるからで、正確にはラング発光面の平均距離はラング中心からの距離からラング半径の $\sqrt{3}/2$ を減じたものである。これを考慮して計算しなおすと実測値との差は 2～3% になり この程度の差は実用上ほとんど問題にならない。

40 W 1 灯器具 (当社 FH-4601 形) 高さ 2 m の場合には 図に示すように高さが 2 m になると点光源としての計算と線光源としての計算との差が最大 6% 程度となり、目だつほど著しくなるがやはり線光源としての計算のほうが正確であることがわかる。

8.5 点光源としての計算と線分光源としての場合との計算差「線分光源はその長さの 5 倍以上離れると点光源と見てもよい」

というのが照明計算の常識となっている。しかしこれには「線分光源の中心の法線方向における照度」という限定があることを注意しなければいけない。その他の照度についてはどのような関係になるかを 前記長さ 1,174 m の等輝度線分光源について検討した結果を図 8.7 に示す。これは点光源としての計算が線分光源としての計算に対して誤差 1% 以内となる距離の関係を表わしたものである。光源軸の法線方向ではその距離は光源長の 5 倍以内におさまっているが、水平角 0° 断面方向では最大 10 倍近くの距離になっている。また 光源高さが 5 倍以上になると、どの点においても 1% 以内の計算誤差となることが認められる。

線分光源としての計算値は点光源としての計算値に比べ 法線方向では全体に暗くなるが、水平角 0°, 45° 断面方向では直下が暗く、鉛直角が大きくなると明るくなる。したがってこれらの断面方向では両方の計算値が等しくなる点がある。これと両者の比が最大になる点について図 8.8 に示す。この場合光源長さは 1,174 m で計算しているが、図は鉛直角と前記点の関係について顕著な傾向を示している。

なお 図 8.8 の水平角 45° 方向の曲線が不連続になっているのは、一方は線分光源としての計算値のほうが 1% 大きく、他方は

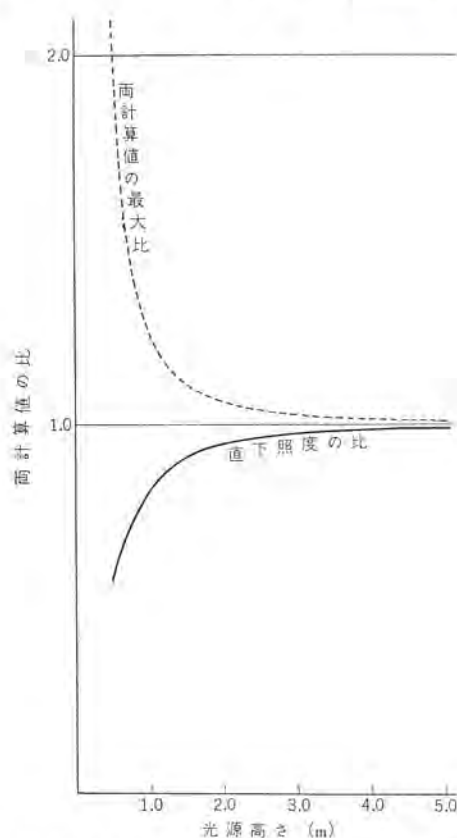


図 8.9 線分光源としての照度と点光源としての照度の比
(点光源照度を 1.0 としての比)

1%小さい点を示す曲線であるため図 8.8 と照合すると両計算値が等しくなる点を示す線で両曲線がわけられていることがわ

かる。

両計算値の最大比および直下照度の比を図 7.9, 図 8.9 に示す。両計算値の差が完全に 1% 以下となるのは光源高さが 5 m 以上となった場合であることがこの図でもわかる。

8.6 考 察

以上の例は一般に多く用いられている 40 W ケイ光灯器具を対象として行なったものであるが 110 W, 20 W 用器具についてもこれを利用して略算できる。

110 W ケイ光ランプの長さは 40 W ランプの約 2 倍、20 W ランプは約 $\frac{1}{2}$ 倍であるから、この関係を式 (8.1) に代入すると、

110 W の場合には実際の取付高さの $\frac{1}{2}$ の高さの場合の上記表を用い、得た照度を $\frac{1}{4}$ 倍する。

20 W の場合には、実際の取付高さの 2 倍の高さの場合の上記表を用い、得た照度を 4 倍すればよい。

この理論は便宜的な立場から、かなりむりと思われる仮定をおいて行なった。結果についても比較検討するデータに乏しく、これだけで結論するのは危険であるが上記であげた 2, 3 のデータの限りでは満足できる結果が得られた。さらに多くの例について実験を重ね検討して行きたいと思う。

9. む す び

われわれが照明設計をする場合、たぶんこうであろうと予想して設計することが実に多い。これを少しでも明確な根拠あるデータに立脚したものにしたいのは、照明技術者のだれもが日頃感じていることと思う。この文はごく一部のデータを提供したにすぎないが、今後も機会あるごとに実際のデータを取り 逐次発表していくつもりである。



新製品紹介

NB形ブレーキ付E種モートル

三菱E種モートルは発売以来好評を博しているが、今回、E種モートル用のブレーキとしてNB形三相交流電磁ブレーキを開発し、NB形ブレーキ付E種モートルとして0.75~30kWまでの新系列を完成した。

従来A種モートル用には、AD形ブレーキを取付けた系列があり、今回系列化したNB形ブレーキ付E種モートルとAD形ブレーキ付モートルを比べると、モートルはほぼ2ウツ(粋)程度小形化されており、しかもブレーキ軸方向寸法においてもAD形ブレーキの85%程度と大幅に小形化し、さらに、より軸方向寸法の短いブレーキ付モートルの要求のためにNB形ブレーキ付E種モートルより20%短いブレーキ付フラットモートルも系列化した。性能はモートルGD²が小さくなったことと、特殊結線三相電磁石(新案出願中)の開発で直引構造としたため、制動時間も大幅に短縮され、高性能なブレーキ付モートルとなっている。

■特長

- (a) モートル部分はIEC寸法に準拠し、ブレーキ部分も従来のものと比べてきわめて小形化された。
- (b) ブレーキトルクが簡単な操作で、80~250%まで広範囲に調整できる。
- (c) 外部からの簡単な手動操作でブレーキの開放ができるので、機械の調整が容易でしかも安全に行なうことができる。

- (d) 出力軸が移動しないので、あらゆる用途に使用できる。
- (e) モートルは定評あるスーパーラインモートルを使用しているため、E種モートルの特長がそのまま生かされた高性能なブレーキ付モートルである。
- (f) 外観は近代的感覚にあふれたスマートなデザインで、あらゆる場所、機械に調和する。

■仕様

- (1) 適用モートル：スーパーライン三相誘導電動機 0.75~30kW(ただし、SBU、SFVは11kWまで)
開放防滴形モートル(SB-E、SB-EV、SB-EF)
全閉外扇形モートル(SF-E)
開放防滴薄形モートル(SBU-F)
全閉外扇薄形モートル(SFV-F)
- (2) ブレーキ：NB形三相交流電磁ブレーキ(スプリング制動式)
制動トルク：150%以上
定格：220V、50/60c/s、200V、60c/s、85%電圧保証、連続

■用途

各種工作機械、産業機械、専用機械、ホイスト、コンベア、クレーン他。



NB形ブレーキ付スーパーラインEモートル
SB-E 750W 4P



NB形ブレーキ付フラットモートル
SBU-F 750W 4P

ドリルキット用アタッチメント芝刈り・床みがきを新発売

家庭電化とともに芝庭の小住宅が多くなっているが、これらの芝庭や雑草刈りなど庭の手入れが労力を要せず、簡単にできるドリルキット用アタッチメント芝刈り(DKT-1形)を開発した。なおこの芝刈機は電動機に取り付けてあるカッタを取り除き羊毛ポンネットに取り換えると床みがき(DKU-1形)にも使用できるものになっている。

■用途

- (1) 芝刈り(DKT-1形)
一般家庭の各種雑草刈り芝刈りに用いる。
- (2) 床みがき(DKU-1形)
一般家庭の各種木製フローリング、リノタイル類の床のつや出しに用いる。



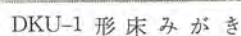
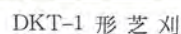
注) 1. モートルはドリルキット (DKM-6A) が使用できる
2. モートルの手持ちがないときはモートル本体 (DKM-6A) を購入することができる

■ 特 長

カッタの外部にガイドが取り付けられているので雑草刈りでも芝刈りでも柄を握り、機体を進めるのみで刈り込みができるとともに一定の高さにカッタが保持できるので刈り込みが美麗にできる。女性、子供でも使用できる。

芝刈、床みがきアタッチメントにモートルを取り付けて、カットもしくは羊毛 ポケットを取り付けることで使用できるもので簡単である。

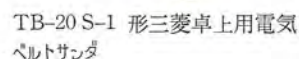
長い使いやすい柄がついていて使用しやすいとともに長さを約 $\frac{1}{3}$ に短くすることができる（パイラ式で中にそう入できる）ので格納する場合、場所をとらずに便利である。また柄に樹脂を用いているので感電の心配もない。



現在販売中の卓上用電気 ベルトサンダ (TB-75 S-1 形) よりも小形で、できるだけ据付面積を小さくし、どこへでも簡単に据付けて、容易に使用できる小物部品研削用の卓上用電気 ベルトサンダ (TB-20 S-1 形) を開発した。

■ 用 途

金属、木材に限らず、硬質ゴム、皮革、合成樹脂、ファイバ、フェルト、ガラス、陶磁器、人造石、天然石等の研削に使用できる。



■ 仕 様

新製品紹介

寸 法

外形	562 (高さ) × 618 (幅) × 561 mm (奥行)
オープン	260 (高さ) × 360 (幅) × 300 mm (奥行)
重量	67 kg



RR-700 形三菱電子レンジ
現金正価 ￥ 298,000
月賦正価 ￥ 322,000 (12 回)

NEWS FLASH

■ BHF-30 形直流高速度シャ断器完成

電磁保持、衝撃開放形の機構を採用した AHF-30 形直流高速度シャ断器は小形、軽量、高性能でありすでに約 400 台の納入実績をもっているが、このシャ断器は空気投入操作方式専用であるため、そのほとんどは空気投入操作方式を標準としている国鉄向けであり、空気投入操作方式があまり普及していない私鉄用および一般工業用には使用できず一般向きしなかった。当社では、このすぐれたシャ断器を一般用にするため、このたび、AHF-30 形直流高速度シャ断器における電磁保持、衝撃開放形の特長を生かし、操作機構の一部を改良してその投入操作方式に空気または電気のいずれでも採用できるようにした BHF-30 形直流高速度シャ断器を開発した。

BHF-30 形直流高速度シャ断器のおもな特長は次のとおりである。

- (1) シャ断容量が大きく、限流特性にすぐれている。
- (2) 投入操作方式は空気または電気のいずれでも採用でき、また据付方式は引出形または固定形のいずれでも製作できる。
- (3) 保持電磁石および接触子には特殊表面処理を施こしこれらの防シヨウ(錆)力を増すとともに、その接着面にはわずかの磁気間(隙)を設けたため、長期間の使用に対しても目盛誤差が少なく、電流目盛は安定している。
- (4) 試験コイルを小形に形成し、保持電磁石を工夫して試験コイルを自動引はずしコイルと同一磁路に装着したため、試験による電流目盛の等価試験コイルが可能である。

また、このシャ断器のおもな定格は次のとおりである。

形 式 BHF-30 形

定格電圧 DC 1,500 V

定格電流 3,000 A

方向性 正方向性

定格シャ断容量 50,000 A

突進率 $3 \times 10^6 \text{ A/S}$

の回路における推定

短絡電流最大値

定格投入操作圧力 5 kg/cm²

(空気投入操作方式)

定格投入操作電圧 DC 100 V,

200 V (電気投入操

作方式)

標準動作責務 0-30 秒-CO

定格保持電流 0.6 A

重 量 480 kg (電気投入操
作方式、引出形)



BHF-30 形直流高速度シャ断器 DC 1,500 V, 3,000 A

■ 阪神電鉄納め高圧インバータ営業運転にはいる

電気車において、ケイ光灯、扇風機、制御などの電源としては、従来から回転式電動発電機が使用されてきているが、これに代わってサイリスタを用いた静止インバータを応用することが注目されている。

当社は早くからこの研究に着手し、新しい技術とアイデアを導入し、電気車に固有の困難な問題、たとえば、サージの問題、高圧化の問題などを解決し、その製品化に成功した。

今回、阪神電鉄に DC 600 V, 5 kVA インバータを納入し、すでに営業運転にはいっており、きわめて順調にか動している。その特性も従来の電動発電機をはるかに上まわるもので好評を博している。

車両用高圧インバータとしては、わが国で初めてのものであり、今後電動発電機にとって代るものとして、電鉄各界の注目を集めている。

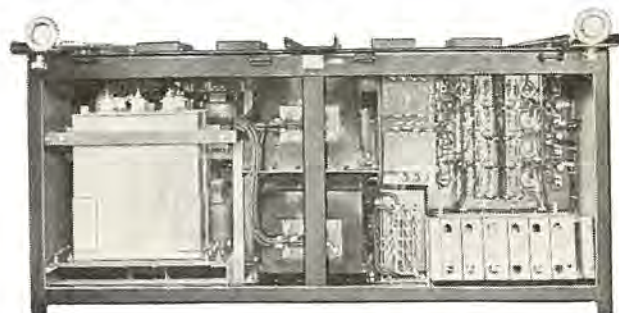
おもな特長および仕様は次のとおりである。

特 長

- (1) サイリスタを使用しているため小形、軽量である。
- (2) 回転機のような摩耗部分がないため寿命が長く、信頼度が高い。
- (3) 電力変換効率がきわめて高い。
- (4) 入力電圧変動、負荷変動があっても、安定な出力が得られる。
- (5) 振動、騒音がない。
- (6) 保守、点検が容易である。

仕 様

- | | | |
|------------|----------|----------------|
| (1) 入力電圧 | DC 600 V | +10 %
-40 % |
| (2) 出力電圧 | DC 110 V | ± 5 % |
| | DC 100 V | +10 %
- 0 % |
| (3) 出力容量 | 5 kVA | 連続 |
| (4) 周波数 | 60 c/s | ± 5 % |
| (5) 波 形 | 正弦波 | |
| (6) 波形ヒズミ率 | 10 % | 以内 |
| (7) 効 率 | 70 % | 以上 |



阪神電鉄納め車両用高圧インバータ (DC 600 V, 5 kVA)

(8) 冷却方式 自然冷却

■ スペイン国鉄向け 1,350 kW 主電動機完成

当社ではスペイン国鉄から、ヨーロッパの強豪を押えて機関車を受注し[三菱電機技報 40, 749 (昭41)]鋭意製作を進めていたが、このたびその機関車の心臓部である主電動機の製作を終わり、タイプテストを良好な成績をもって完了した。主電動機の容量は 1,350 kW というわが国最大の記録品であり、日本からのヨーロッパ進出第一歩の重責をになったものでもあるだけに、設計ならびに工作には当社の技術の粋をつくした。とくに絶縁は線電圧 3,000 V であり当社の誇る無溶剤 F 種エポキシ樹脂により十分に所期の好結果をうることができた。

設計工作上留意した点はつぎのとおりである。

- (1) 粘着条件が比較的シビアであり重量の制限も厳重をきわめたので、一台車一電動機式とした。
- (2) 直流線電圧 3,000 V/1,500 V 両用であるため主電動機の端子電圧も 3,000 V/1,500 V の二重定格とし、電機子構造を 1 本の軸に 2 個の電機子を有するいわゆるタンデム形とした。
- (3) 駆動方式は大容量分離駆動方式に最も適した WN ドライブとした。なお伝達歯車機構の中には貨物、旅客それぞれに適するようにギヤ比切換機構を納めている。
- (4) 絶縁は無溶剤 F 種エポキシ樹脂を真空圧入含浸したいわゆるボイドフリーの一体固化絶縁であって、かなりシビアな設計特性値に対しても十分満足すべき温度上昇を示し、主電動機の設計は十分に合理化された。
- (5) 整流の安定にはとくに留意し、十分な界磁装荷を与えてあるために弱界磁制御を行なっても補償巻線なしで良好な整流を保つことができる。
- (6) ブラシ保持器はロッキング上に取りつけられていて保守点検時には必要に応じて回すことができる。

主電動機の定格はつぎのようである。

形名	MB-3200-A
形式	直流直巻補極つき、4 極、タンデム電機子形
定格	連続定格 1,350 kW, 3,000 V/1,500 V 485 A/970 A, 1,000 rpm
絶縁	F 種



スペイン国鉄向け MB 3200-A 形 1,350 kW 主電動機

通風 260 m³/min 他力通風

規格 UIC 610 OR

駆動方式 一台車一電動機式 ギヤ比切換式 伝導歯車機構
つき WN ドライブ

■ 近鉄伊勢特急用電機品受注

近畿日本鉄道ではこのたび京都一宇治山田間の新直通特急用として 2 編成分 4 両 (うち電動車 2 両) の車両を新造されることになり、当社は主電動機、制御装置など電機品一式を受注した。

この伊勢特急は

(1) 架線電圧 600 V の区間 (京都線) と 1,500 V の区間 (大阪線) を直通運転する。

(2) 従来の名阪特急と同様な高速性能をもつが基本編成は MT 編成で M 車の割合が減少している。

という特長がありそのため電機品にもくふうがこらされている。

主電動機……MT 編成でも高速運転できるように 180 kW という私鉄電車用としては最大容量の主電動機となった。現在最大容量主電動機としては先に完成した近鉄新通勤車用 MB-3110-A 形主電動機 (155 kW) があるが、今回の 180 kW 主電動機はそれと同じ外形寸法で大幅に容量が増大している。

制御装置……主電動機の直並列制御を行なわず運転台より操作することにより永久並列または永久直列運転を行ない、架線電圧が 600 V、1,500 V いずれの場合にでも力行可能なように回路を切換えられる。すなわち架線電圧が 600 V のときには主電動機 2 台を並列に接続したものを 1 グループとし、1,500 V のときには主電動機 2 台を直列に接続したものを 1 グループとして二つのグループを永久直列または永久並列制御するようになっている。

主要要目

車両自重	M 車 40 t, T 車 34 t
定員	56 人/両
加速度	2.4 m/h/s (1,500 V 区間) 1.5 m/h/s (600 V 区間)
編成	MT
車輪径	860 mm
主電動機	形式 直流直巻自己通風形 形名 MB-3127-A 1 時間定格 180 kW, 675 V, 296 A, 1,850 rpm 連続定格 180 kW, 675 V, 296 A, 2,500 rpm
制御装置	形名 ABFM-254-15 MDH 制御段数 力行 23 (抵抗制御 18, 界磁制御 5) 制動 18 エース・カー、ピスタ・カーと連結可能
制動装置	電空併用形 (HSC-D)、抑速制動付

なおこの伊勢特急用車両は 10 月に完成し年末年始の輸送に活躍するよう計画されている。

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
変圧器	40-11-19	786217	野口昌介	名古屋
変圧器の放圧装置	40-11-19	786218	広尾次郎市	伊丹路
内燃機関点火装置	40-11-19	786219	三木隆雄	姫路
機関の異常回転上昇防止装置	40-11-19	786220	三木隆雄	姫路
電球の受金部	40-11-19	786221	都築勇吉・杉浦博	名古屋
シューサ	40-11-25	786427	{武井久夫・服部信道 岩田尚之	群馬
シューサ	40-11-25	786428	{武井久夫・服部信道 岩田尚之	群馬
吸排気形換気扇	40-11-25	786429	吉村宏	中津川
電気かみそり	40-11-25	786430	武井久夫	群馬
冷暖房機用空気吹出口の整流板取付装置	40-11-25	786431	{福田稔・桜井信捷 根岸宣匡	群馬
換気扇	40-11-25	786432	入沢淳三	中津川
電気毛布の保護回路	40-11-25	786433	小原英一	商品研究所
電気毛布の発熱体	40-11-25	786434	中村富家・慶野長治	群馬
換気扇の防水装置	40-11-25	786435	今井進	中津川
電熱線支持装置	40-11-25	786436	馬淵公作・中野嘉博	群馬
電気かみそり	40-11-25	786437	武井久夫・小川昇	群馬
電気かみそり	40-11-25	786438	奥田文一・小川昇	群馬
換気扇シャッタの開閉装置	40-11-25	786439	入沢淳三	中津川
換気扇油受取付装置	40-11-25	786440	白石和雄	中津川
換気扇油受取付装置	40-11-25	786441	白石和雄	中津川
換気扇	40-11-25	786442	入沢淳三	中津川
電動機速度制御装置	40-11-30	787154	加藤悟・長嶺元	群馬
積算計器用回転円板の微小磁性体検出装置	40-11-30	590475	武田克己・矢野正数	福山
度数計	40-12-6	787771	林正之	福山
強制給油性軸受	40-12-6	787772	永野間勝国・大旗康文	長崎
目盛装置	40-12-6	787773	{高見登・小野達男 寄森正樹	福山
伸縮導波管	40-12-6	787774	東野義夫・三宅隆	鎌倉
変速装置	40-12-6	787775	田中正徳	福岡
始動電動機保護装置	40-12-6	787776	平田毅	姫路
モールド形電磁器	40-12-6	787777	中村昇・福田清司	伊通
同軸または半同軸空洞共振器	40-12-6	787778	川上昭	信機
周波数変換回路	40-12-6	787779	川井尚・太木滝夫	通信
蓄電池充電用交流発電機	40-12-6	787780	脇坂博視	姫路
圧力継電器の誤動作防止装置	40-12-6	787781	谷中頼朝	伊丹
交流発電機の回転界磁鉄心	40-12-6	787782	平田毅・石橋光雄	姫路
可調整形飽和リアクトル	40-12-6	787783	大矢敏靖	名古屋
推力軸受保護装置	40-12-6	787784	田附和夫	神戸
機関の異常回転上昇防止装置	40-12-6	787785	三木隆雄	姫路
押しボタン操作スイッチ	40-12-6	787786	都築勇吉・杉浦博	名古屋
救命いかだ	40-12-6	787787	宇川彰	中央研究所
内燃機関点火装置	40-12-6	787788	市川和	姫路
高圧電気機器の保安装置	40-12-8	788227	岸本茂雄・八木敏之	伊丹
開閉器	40-12-8	788228	長尾良章・佐藤一	名古屋
押しボタンスイッチ	40-12-8	788229	都築勇吉・杉浦博	名古屋
ブラダ	40-12-8	788222	日比野浩一・鶴谷嘉正	群馬
道路照明灯	40-12-8	788223	小笠原善丸・田中辰雄	大船
ヘッドイヤー	40-12-8	788224	武井久夫	群馬
トビラの両開き装置	40-12-8	788225	木下忠男	静岡
冷蔵庫のトビラ	40-12-8	788226	木下忠男	静岡
電気ルータの安全装置	40-12-14	789263	入江厚	福岡
自吸水ポンプ	40-12-14	789265	吉田清	福岡
モーターリ	40-12-14	789266	鬼木博愛	福岡
充電表示装置	40-12-14	789267	平田毅	姫路
ジグザグミシン	40-12-14	789269	森田稔	和歌山

次号予定

三菱電機技報 Vol. 40 No. 10

溶接特集

特集論文

- 将来の溶接技術
- トランジスタ制御三相低周波点溶接機
- SA形半自動アーク溶接機
- 三菱高周波圧接・ろう付け装置
- 航空機用部品の溶接とろう付け
- 線形陽子加速器空洞の溶接
- JRR-2研究用原子炉シャハイララ修理工事
- マルチスポット抵抗溶接
- No Gasアーク溶接現象
- プラズマ電子銃の溶接への応用

普通論文

- タービン発電機水素制御装置の最近の問題
- 回転軸系の横振動
- 八幡製鉄(株)堺製鉄所納入第三熱間圧延機用電機品
- 熱可塑性プラスチック成形品のインサート部の残留応力
- 水道用無線集中監視記録装置
- 自動血管撮影用注入装置

電子計算機利用シリーズ

- 電子計算機による内部冷却タービン発電機固定子コイル温度上昇計算

技術講座

- 車両用新形電気連絡器

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
副委員長	片岡高示
常任委員	明石精二
"	安藤安二
"	石川理一
"	宇佐見重夫
"	大野寛孝
"	北川和人
"	小堀富次雄
"	鈴木正材
"	祖父江晴秋
"	馬場文夫
"	山田栄一
"	横山茂人
委員	出雲義人
"	尾畑喜行
"	神崎通幸
"	林昇寿
"	堀真幸
"	松元雄哉
	(以上50音順)

昭和41年9月22日印刷 昭和41年9月25日発行

「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)

(電) 東京 (212) 大代表 6111

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

電話 (291) 0912 振替東京 20018

本社・営業所・研究所・製作所・工場 所在地

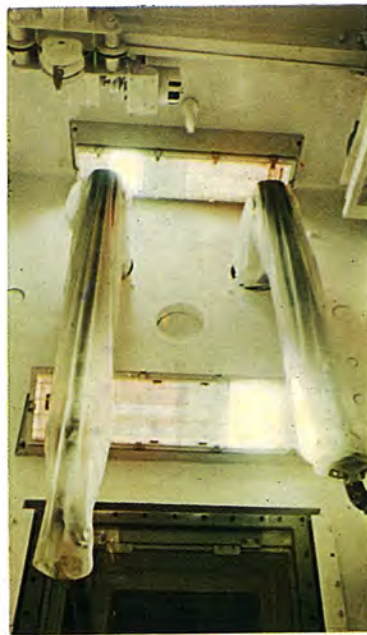
本 社	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(26)大代表 9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(21)代表 1211
富山営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館(電)富山(31)代表 3151
広島営業所	広島市中町7番32号・日本生命ビル(電)広島(47)大代表5111
高松営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (51) 代表 0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番地1号・天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(26)大代表9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台(21)代表 1211
富山商品営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館(電)富山(31)代表 3151
広島商品営業所	広島市中町7番32号・日本生命ビル(電)広島(47)大代表5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
北九州出張所	北九州市小倉区京町10の281・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町3番1号・長崎交通産業ビル (電) 長崎 (3) 代表 6101
横浜出張所	横浜市中区富士見町2の12 (電) 横浜 (65) 2691~3
新潟出張所	新潟市万代町69番地 (電) 新潟 (45) 1378
長野出張所	松本市白坂212番地 (電) 松本 (3) 1453
京都出張所	京都市中京区壬生坊城町5(古橋ビル) (電) 京都(82)1245
神戸出張所	神戸市兵庫区西宮内町82(万統ビル) (電) 神戸 (68) 1396
静岡出張所	静岡市七間町9の10・池田ビル (電) 静岡(53)代表 9186
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北122の1 (電) 岡山 (24) 代表 0331
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船782番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電) 神戸(67)大代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電) 長崎 (3) 大代表 6211
稲沢製作所	稲沢市井之口町1100番地 (電) 稲沢 (32) 代表 4121~9
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275~9
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 1111
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
北伊丹製作所	伊丹市大蛇字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋 (721) 大代表 2111
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 福岡 (88) 代表 0431
福山製作所	福山市緑町1番8号 (電) 福山 (2) 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原 (72) 代表 5131
静岡製作所	静岡市小島110番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号 (電) 中津川 (5) 大代表 2121
大船製作所	鎌倉市大船800番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山 (2) 1220~3
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 太田 代表 4311
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪(481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所1 (電) 京都 西山 (92) 大代表 4171
伊丹製作所	三田市三輪町字父々部85番地 (電) 三田 4371~4375
相模製作所	東京都世田谷区池尻町437番地 (電) 東京 (414) 代表 8111
札幌製作所	札幌市北二条東12丁目98番地 (電) 札幌 22 3 9 7 6

最近の照明施設(2)



① 但馬トンネル(兵庫)

このトンネルは一級国道9号線にあり、長さ1,256m、車線幅員7m(往復2車線)で制限速度は50km/hである。ケイ光水銀灯を使用した本格的トンネル照明を行なったもので銀白色ケイ光水銀灯HF-200SW使用のプリズムガラスグローブ付防水形器具313灯を使用し、中央部平均106lx入口増灯部1,400lxあり、まぶしさを与えず明るくて演色性がよく安全で快的な運転ができる。



② 日本原子力研究所汎用ケーブル室(茨城)

汎用ケーブル室は危険な放射性物質を取扱う特殊小室である。放射線をカットする透過率の悪い鉛ガラスの操作室を通じてマンipレータを操作するため、単色光で鉛ガラスによる吸収の少ないナトリウム灯と演色性のよいケイ光水銀灯の組合せにより効率のよい高照度の混合照明が得られた。ナトリウム灯N-140とケイ光水銀灯HF-400を各1灯ずつ特殊なガラスカバー、ガード付防水器具におさめ照度は作業面の中心で約4,000lxである。



③ 農電研究所カラードケイ光ランプ実験室(千葉)

植物栽培用ケイ光ランプについては光合成と波長の関係から生長栽培用の青色および赤色に感度最大値をもつ分光分布のランプが完成しているが農電研究所では各純色のカラードケイ光ランプを多数使用して植物に対する種々の研究を行っている。



④ 山形屋デパート(鹿児島)

百貨店屋上の広告塔照明で高出力タリウム水銀灯H-400×12灯、H-1000×12灯、同じく黄色フィルタ付ケイ光水銀灯HF-1000×12灯で投光照明されている。夜空に緑色、青白色および黄色に彩られて美観を示している。



⑤ 三菱石油・川崎製油所(神奈川)

引火爆発のおそれのある石油化学工場などの照明には従来白熱電球器具が使用されていたが安全増および耐圧防爆形ケイ光灯が完成し、上記の危険場の作業の安全性、人命の保護、設備の保全などに万全を期することができるようになった。写真は同所に使用された耐圧防爆形20W×1灯用ケイ光灯である。



⑥ K氏邸の居間(神奈川)

家庭用円形つり下げ器具の高効率化をねらって開発した画期的新製品FCX-P331CP形(円形30W)パラボライトケイ光灯の使用例である。反射板はパラボラ状(ほう物線)のアルミ電解研磨板を使用しているからランプから出る光を有効に反射させ、また光の透過率のよいプラスチックセードを使用していて効率のよい照明となった。明るさは器具直下で従来の器具の約2倍も明るくなるため食卓上の照明も十分有効にケイ光灯で行なうことが可能となった。

最近の照明施設(3) キャタピラー三菱・相模工場



① 正面玄関ホール

新しい工場にふさわしい開放的な玄関ホールで床面積 324m²、天井の高さ 6.1m、ケイ光灯 FLR-40W×3 灯用アクリライトカバー付埋込器具 14 連 9 列の施設である。床上の平均照度は約 900lx である。



② 技術部設計室

近代的な設計室として床面積 864m²、天井の高さ 2.9m に高出力ケイ光灯 FLR-110HW×2 灯用アクリライトカバー付埋込器具 128 セットのラインライティング照明である。机上面の平均照度は約 900lx あり、製図機の方向は光源の長手方向に設置しているので低輝度の快的な設計室となっている。



③ 工場

トラクター(床面積 80,000m²)、エンジン(30,000m²) およびフレーム(19,000m²) 工場の一部で天井の高さ 6.0m、高出力ケイ光灯 FLR-110HW×2 および 3 灯用反射カサ付器具併用で合計 7,700 セット使用されている。作業面の平均照度は約 600 lx の高照度となっている。



④ 部品保管倉庫

床面積 864m²、高さ 2.0m の部品保管倉庫では通路天井面にリング状ルーバ付 FLR-40W×1 灯用器具 10 連×18 列、他に下面開放器具 FLR-40W×1 灯用 19 連×4 列を使用している。床上の平均照度は約 350lx、床上 1m の点で 650lx となっている。