

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.44 November 1970

照明特集

11

新日鉄ビルディング基準階の照明



最近の三菱照明施設例 (1)



① 東京アスレチッククラブ (東京)

室内プールの照明で照明器具は反射かき器具でルーバ付のもの、光源は高効率H F 400 E (400W) × 30台使用し、取付け高さは 3.6m、平均照度650 lx、ルーバのためまぶしさを感じさせず高照度のすぐれた照明施設となっている。



② 中野区立体育館 (東京)

バレーなどの競技に使用する室内体育館で照明はけい光水銀灯700W × 96灯と白熱電球1,500W × 64灯の混光照明で平均照度は床面で1,000 lxの高照度となっている。



③ 読売ランド・サッカー場 (神奈川)

サッカー場の夜間照明で光源は水銀灯1,000W × 120灯、けい光水銀灯1,000W × 60灯の組み合わせによるもので平均照度は750 lxの高照度となっている。



④ 松屋百貨店銀座店 (東京)

百貨店のショーウィンドウの照明を活用したはなやかなディスプレイである。カラード純色けい光灯として純赤色、純黄色、純青色、純緑色 (いずれも40Wランプそれぞれ30本) のランプをあしらったもので左から右へ調光を行ない人目を引いている。



⑤ 向ヶ丘ショッピングワールド (神奈川)

同店2階売場の照明で高出力けい光灯 110W × 2 灯用多連器具の高照度施設の中に はなやかなけい光灯器具ルミフラワーダリヤ60W10台配したものである。平均照度 2,000 lx。



⑥ 西川屋刈谷ショッピングセンタ (愛知)

1階食品売場の照明で高出力けい光灯 110W × 2 灯用器具7連70台および40W × 8 灯用ルーバ器具により平均 1,800 lxの高照度施設となっている。



照 明 特 集

目 次

《特集論文》

メタルハライドランプの添加物金属の消失……………	甲斐潤二郎・平野昌彦・渡部勲二・尾形善弘・西山京子…1435
Th 増感 YPO ₄ :Ce 蛍光体の光学的特性……………	栗津健三・武藤勝俊…1439
紫外線けい光ランプ用けい光体……………	太田重吉・山崎清司・大谷光興…1442
メタルハライドランプ“三菱 BOC ランプ”の特性改善……………	竹田俊幸・土橋理博・若林正雄・風間 誠…1447
光化学反応用点光源……………	竹田俊幸・加茂部透・正田 勲…1455
海洋照明に関する各種の実験と考察……………	小堀富次雄・田中民雄・狩野雅夫…1461
空調けい光灯具の機能分析……………	勝田高司・石井重行…1466
人工気象室と照明……………	飯塚宗夫…1472
美浜原子力発電所1号機の照明……………	金 関 勇…1478
最近の三菱照明施設例……………	願 念 和 男…1485

《普通論文》

電気化学用整流装置の進歩……………	小林 凱・大沢喜信・田中潤次郎…1493
アルコア社納めアルミボットライン電源用シリコン整流器……………	横 昌 洋 志・織 井 稔・児玉俊英・三谷俊介・笠原 清…1502
鹿島電解(株)納め 103.5 MW 450 kA サイリスタレクチフォーマ……………	小林 凱・大沢喜信・田中潤次郎・佐藤辰夫・児玉俊英…1511
鹿島北共同発電(株)向け1号 111,765 kVA, 147,059 kVA 号タービン発電機……………	甲 斐 高・大石紀夫・浜田一義・天笠信正…1520
EL パネルテレビ……………	伊吹順章・倉橋浩一郎・新居宏王・池端重樹・栗津健三…1534
計算機による布線検査の自動化……………	小島一男・上野靖彦・渡辺照久・斉藤正宏…1540
熱間圧延ミルにおける自動クロップ装置……………	小藪俊昭・山崎英蔵・淡野光章…1546

《技術解説》

水中におけるレーザの応用……………	稻 荷 隆 彦…1553
-------------------	--------------

《新製品紹介》

新形電磁クラッチ2種完成・乗車券等自動発売機用テープさん孔装置・定期券印刷発行機を開発……………	1560
--	------

《ニュースフラッシュ》

原子力第一船「むつ」向け原子炉出力自動制御装置核計装装置の完成・列車ダイヤ自動記録装置の新機種完成……………	1563
--	------

《特許と新案》

雑音除去回路・やぐら形電気こたつ・周波数測定装置・空間ダイバシティ受信装置……………	1491
--	------

ハイライト……………	わが国はじめての海中作業基地用照明装置の完成
------------	------------------------

表紙 1 新日鉄ビルディング基準階の照明

新日鉄ビルディングは日本最大の企業「新日本製鉄株式会社」の本社として、本年2月、東京駅に近い大手町の一角に完成した。

敷地面積 3,353 m²、地上 20 階、地下 5 階、塔屋 2 階、延面積 66,427 m²、地上高 84 m の規模のこのビルは付近でもぬきんでている。このビルのフロアは 1.85 m×1.85 m のモジュールで構成され、設計照度は 1,000 lx となり、各モジュールに照明器具 1 台の割合で、事務室部分はけい光灯 40 W×3 灯用 6,359 台、窓ぎわおよび通路スペースとなる壁ぎわは、けい光灯 20 W×3 灯用 2,048 台の埋込み下面パネル付き器具計 8,407 台が配置され、壁ぎわから窓ぎわまでモジュール 7 ユニット分の 7 連器具とし、各器具間にスプリンクラー、煙感知器、空調用吹出しロススピーカーなど天井設備と照明器具とが一体化された ESC 方式を採用した。

表紙 2, 3, 4 最近の三菱照明施設例





SPECIAL EDITION FOR ILLUMINATION

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Disappearance of Added Metals in Metal Halide Lamps	J. Kai • M. Hirano • K. Watanabe • Y. Ogata • K. Nishiyama	1435
Optical Properties of the Sensitized YPO_4 : Ce Phosphors	K. Awazu • K. Mutô	1439
Phosphors for Ultra-Violet Rays Emitting Fluorescent Lamps	J. Ôta • S. Yamazaki • M. Ôtani	1442
"Mitsubishi BOC Lamps"-Improved Characteristics of Metal Halide Lamps	T. Takeda • M. Tsuchihashi • M. Wakabayashi • M. Kazama	1447
Point-Source Discharge Lamps for Photochemical Reaction	T. Takeda • T. Kamobe • I. Shôda	1455
Various Experiments and Consideration on Oceanic Illumination	F. Kobori • T. Tanaka • M. Karino	1461
Functional Analysis of Air-Handling Troffer	T. Shouda • S. Ishii	1466
Biotron and Its Artificial Light	M. Iizuka	1472
Illumination of Mihama Nuclear Power Plant Machine No. 1	I. Kaneseiki	1478
The Latest Mitsubishi Lighting Installations	K. Gannen	1485

TECHNICAL PAPERS

Progress of Rectifier Equipment for Electrochemical Industry	G. Kobayashi • Y. Ôsawa • J. Tanaka	1493
Silicon Rectifier for Aluminum Pot Lines of ALCOA	H. Yokohata • M. Orii • T. Kodama • S. Mitani • K. Kasahara	1502
103.5 MW 450 kA Thyristor Rectifier for Kashima Chlorine and Alkali Company	G. Kobayashi • Y. Ôsawa • J. Tanaka • T. Satô • T. Kodama	1511
111,765 kVA and 147,059 kVA Turbine Generators for the Kashima-Kita Kyodo Electric Power Co.	T. Kai • N. Oishi • K. Hamada • N. Amagasa	1520
Electric-luminescent Panel TV	S. Ibuki • K. Kurahashi • H. Arai • S. Ikebata • K. Awazu	1534
Automatic Wiring Verifiers through Digital Computers	K. Kojima • Y. Ueno • T. Watanabe • M. Saito	1540
Automatic Crop System for Hot Strip Mill	T. Koyabu • E. Yamazaki • M. Danno	1546

TECHNICAL ELUCIDATION

Underwater Laser Application	T. Inari	1553
------------------------------	----------	------

NEW PRODUCTS	1560
--------------	------

NEWS FLASH	1563
------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL	1491
--------------------------	------

HIGH LIGHT	Completion of the first lighting equipments for Working Bases Under Sea in Japan
------------	--

COVER :

1. Illumination of Basic Floor of Shin-Nittetsu Building, Tokyo

Shin-Nittetsu Building was brought to completion last February at a corner Otemachi near Tokyo Station as a head office of the Shin-Nippon Seitetsu Co. the largest enterprise in this country. The building has a site of 3,353 m², 20 stories above the ground, 5 stories under it, a 2 storied tower house, the total floor space of 66,427 m² and a height of 84 m, standing conspicuous of the scale in the surrounding. The floor of the building is constituted of modules of each 1.85 m × 1.85 m. Its designed illumination is 1,000 lx. The luminaires are provided at the rate of one unit for one module.

On the portion of offices are installed 6,359 units of fluorescent light each consisting of 3—40 W lamps. At a space adjacent to the windows and also at a floor area used as passages near the windows are set up 2,048 units of flush mount luminaires with downward panels each having 3—20 W fluorescent lamps : the number of the units totals to 8,407.

From the space next to the windows to another space in the same condition are installed seven-connected luminaires for 7 modules. Among each of the luminaires there are such ceiling equipment as sprinklers, smoke detectors, air condition troffers and loud speakers together with the luminaires, all being integrated to one body by the ESC system.

2, 3, 4. The latest Mitsubishi lighting installations

HIGH-LIGHT

わが国ではじめての海中作業基地用照明装置の完成

海洋開発が世界的な規模で行なわれている折から、わが国では科学技術庁の海中作業基地で昭和46、47、48年を目標に、海底100mで海底調査技術者4名が1カ月生活し、各種の海底調査や作業訓練を行なう予定である。

三菱電機(株)ではこの海中作業基地および支援システム(図1)で使用される各種電気機器の研究を行なってきたが、このほど基地内外の照明装置をはじめ、基地内で使用するテレビ・電気冷蔵庫・除湿器・電気暖房器などの居住用電気品の開発に成功し納入した。

深度100mの海底では飽和潜水を必要とし、海中作業基地内では海水の圧力と等しいため、11気圧となり、普通の空気では呼吸生理面から危険がともなうので、特殊配合の人工空気(ヘリウム-窒素-酸素)が使用される。ヘリウムの熱伝導度は空気の約6倍、同じく密度は約1/6と小さいので浸透性が高く、普通の空気中での状態とは異なった現象を生ずる。この種の研究はわが国ではほとんど行なわれた例がないため、高圧ヘリウムガスそう(槽)を使用して基礎実験を行ない、今回の開発に成功したものである。

海中作業基地内の照明装置としては、上記の高圧人工空気の下での耐圧性ならびに効率・演色性・寿命などのすぐれた諸特性よりすべてけい光ランプが採用され、照度は居室200lx、出入口室100lxとし、20W 12個、10W 5個、6W 4個が使用された。けい光ランプ(20W用ランプは直径32mmの細管を使用)および照明器具は、プラスチックカバー付きの特殊設計のもので万一、破損の場合も技術者が害を受けないように細心の考慮が払われ安全性の高いものとなっている、なお、これらのけ

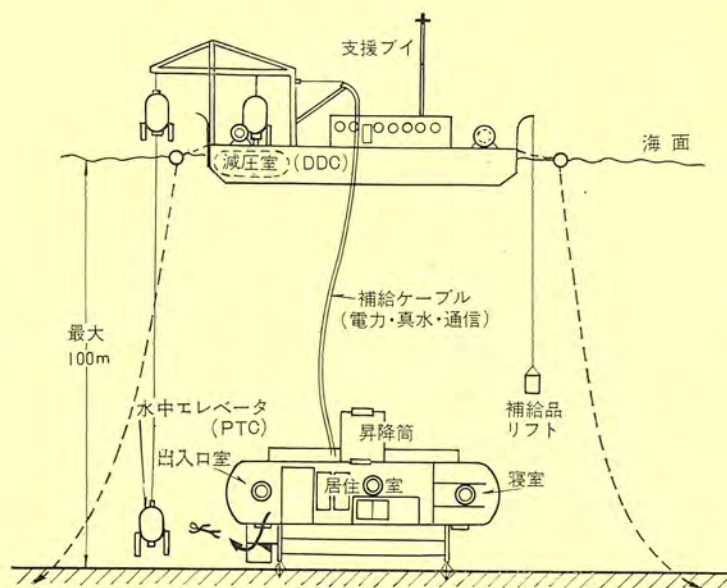


図1 海中作業基地と支援システム

い光 ランプは支援 ブイ上の減圧室 (DDC) および水中 エレベータ (PTC) 内にも使用されている (図 2)。

基地への出入および基地外の作業活動を助けるための基地外部に取り付けられる海中投光器には高効率と高演色性の両立する反射形 メタルハライドランプ-三菱 BOC ランプ-MR 400-BOC (400 W) が使用され、出入口用の広配光形 4 個、周辺照明用の狭配光形 9 個が使用される。ランプは反射形で耐圧性とともに海中で直接使用されるため、耐食性を考慮した設計となっている。照明器具も耐食性金属を用いとくに外部よりの衝撃に耐えるように堅固に作られ、安定器も防食、防水構造となっている。さらに海中でランプ交換ができるように特殊な水中コネクタを使用し、万一、海中でランプが破損した場合も自動的に電源が切れるような保安回路が設けてある (図 3)。

なお、海中作業基地に開連した水中 エレベータには 500 W ハロゲン 電球による海中投光器 4 個が使用されている (図 4)。



図 2 海中作業基地内で使用されるけい光灯

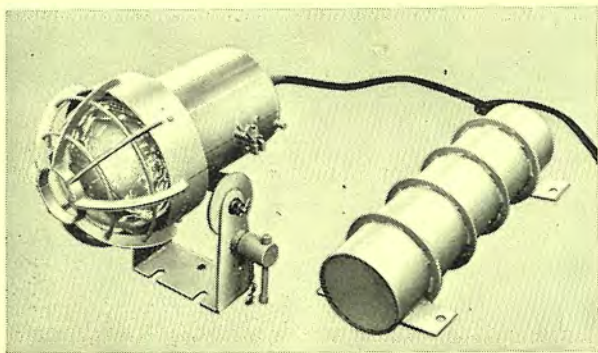


図 3 海中作業基地外に使用される海中投光器
反射形 メタルハライドランプ-三菱 BOC ランプ (MR-400-BOC)

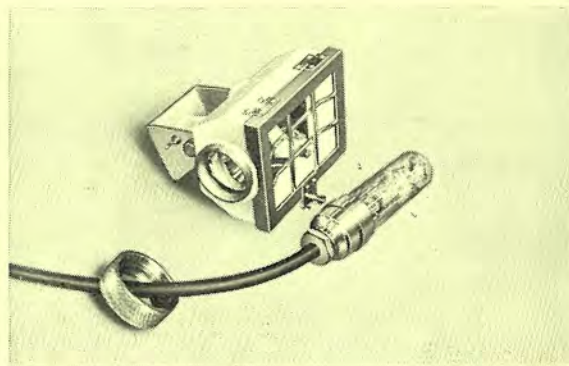


図 4 水中 エレベータ 用 ハロゲン 電球海中投光器 (500 W)

[大船製作所]

UDC 621.327.9:541.124

メタルハライドランプの添加物金属の消失

甲斐潤二郎・平野昌彦・渡部勤二・尾形善弘・西山京子

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1435～1438

初期のメタルハライドランプでは、添加物の消失現象がみられ、ランプの寿命に大きく影響をおよぼした。この消失は、不純物酸素の存在により添加物金属が酸化物となりこれが発光管石英ガラスと反応し、その後、拡散とか発光管支持棒からの光電子などの影響により石英ガラス管壁を通過することに原因する。金属の種類により消失の仕方が異なるのは、ガラス中での単結合強さに差があるためと考えられる。消失現象をひきおこす本質的な原因は不純物酸素の存在であり、発光管中への酸素の混入をさけることにより、添加物消失現象のみられない長寿命のメタルハライドランプをつくることができた。

UDC 621.327.534

光化学反応用点光源

竹田俊幸・加茂部 透・正田 勲

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1455～1460

光化学反応用点光源として利用される水銀ショートアークランプと、ガリウムショートアークランプとの設計上の問題点や諸特性についての研究報告である。水銀ショートアークランプは、水銀の輝線スペクトルが近紫外部および可視部短波側に集中しているため、光化学反応用点光源としてはすぐれた特性を示す。一方ガリウムショートアークランプは、水銀ショートアークランプにヨウ化ガリウムを添加したランプで、ガリウムの共鳴線が水銀スペクトルに重畳されるため光出力はさらに向上する。これらのランプは、発光管材料、電極構造および封入ヨウ化ガリウム量がランプ特性に大きな影響を与える。

UDC 535.35:535.37

Th増感YPO₄:Ce蛍光体の光学的特性

栗津健三・武藤勝俊

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1439～1441

YPO₄:Ce蛍光体にThを導入すると紫外線刺激による発光強度が増し、最適条件では約2倍の値が得られる。いくつかの光学的特性を測定し、Thの添加によって発光スペクトルの形は変わらないが刺激スペクトルが変化し、かつ、Thのみで付活したときの刺激および発光スペクトルとも異なる結果を得た。これらのことからThO₄⁴⁺イオンによる増感作用であると結論した。

超高出力蛍光灯に使用した場合とは、同じ条件で劣化テストを行ない、長時間にわたって高い効率を維持することを確かめた。光化学反応用あるいは捕虫用蛍光灯への応用が期待される。

UDC 628.91

海洋照明に関する各種の実験と考察

小堀富次雄・田中民雄・狩野雅夫

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・1461～1465

この数年間、急速に各種の海洋開発事業が行なわれ、幾多の成果をおさめつつあるが、これらの開発技術においては未開拓の分野が多く、照明に及ぼす役割りは大きい。海中では昼間でも太陽光は深度数10m以上は到達しにくいといわれ、ここに海洋照明の必要性があるが、海中では密度が大きいため、大気中と異なる条件の下での照明は、他分野の照明に比べて著しくおくれしている。ここでは昼光の海中における諸特性、海中の光の伝波と、それにふさわしい光源および最近行なった海洋照明に関する海中の透過率、光の減衰、標識効果、海中投光器による配光特性などの実験およびそれらの結果についてのべた。

UDC 621.327.534:661.14

紫外線けい光ランプ用けい光体

太田重吉・山崎清司・大谷光興

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1442～1446

紫外線を放射するけい光ランプは複写機・捕虫機・健康けい光ランプ等に使用されている。これらの用途に使用されているけい光ランプのけい光体について、従来より使用されているものおよび新しく開発されたものについて、その特性と問題点を説明する。

UDC 628.972

空調形けい光器具の機能分析

勝田高司・石井重行

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1466～1471

空調形けい光器具は照明器具と空調器具とを兼ねたものであるがその機能は本来の照明と空調のほかに、さらに空調照明器具固有のものがある。それらを項目としてとり上げ、これまでの実験、文献等から得られた資料により分析し、理論的な予想による性能目標の設定の方法を今後のこの検討の参考として供するものである。

UDC 621.327.534

メタルハライドランプ“三菱BOCランプ”の特性改善

竹田俊幸・土橋理博・若林正雄・風間 誠

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1447～1454

メタルハライドランプの放電路内に、多量のハロゲンが導入されると、鉛直点灯状態でアークの不安定性が生じ、しばしばアークスネイクが発生するが、発光管下端部に小形マグネットを備えることにより容易にスネイクが防止でき、安定した特性のランプが得られ、演色性をいっそう向上させることができる。さらにメタルハライドランプの諸特性は本質的にばらつきやすく、これをランプ自身で解決することは困難であるが、ランプ初期および寿命中を通じて、ランプ電力の変化が小さくなるように考慮して設計されたリーケージ形安定器を使用することにより、ランプの諸特性が大幅に改善される。

UDC [631.92:551.5]:53.07:628.9

人工気象室と照明

飯塚宗夫

三菱電機技報 Vol. 44, No. 11・P1472～1477

近代科学の進歩は、生物学境界領域の学問として合目的に制御環境を作り出し、その環境のなかにおいて生命現象を解明し、その結果を利用する一連の科学、バイオロニクス（バイオロニクス）の必要性をもたらした。生物学領域の人工気象室はこの必要性をみたしたもので、一般植物に関係したこの種施設をPhytotronと呼び、温度、湿度、光、ガス、その他の環境制御能力の向上とともにこれら施設を用いて得られる成果も急速に高まってきた。これら成果は施設農業の発展を促し、企業的農業経営の端緒をひらいた。しかし、光環境の調節とその生物の利用とは、今後に残された問題がきわめて多く、施設農業においてもさらに多くの夢を与えている。

UDC 621.311.25:621.039:628.93/97

美浜原子力発電所1号機の照明

金関 勇

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1478~1484

発電コストの低廉化と、エネルギー資源の将来性より、近年原子力利用による発電所の建設が活発に行なわれている。このたび当社で照明設計に参画し、照明器具を納入した関西電力(株)美浜原子力発電所1号機が完成し、10月より営業運転に入る予定である。(8月末現在)原子力発電所の照明は一次系を除いて火力発電所のそれと基本的に大差ない。一次系関係は耐震・防食その他に対し、構造・仕上・性能などに十分な配慮が特に重要である。一次系の原子炉格納容器内の照明を中心にPWR発電所全体の照明の概要をのべる。



UDC 621.314.63:621.314.22

鹿島電解㈱納め103.5MW 450kA

サイリスタレクチフオーマ

小林 凱・大沢喜信・田中潤次郎・佐藤辰夫・児玉俊英

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1511~1519

このたび完成された鹿島電解㈱向け103.5MW、230V、450kAサイリスタレクチフオーマは、プラント容量においても単器容量においても世界に類をみない記録品である。

500A定格の大電力平形サイリスタ、低粘度不燃油を用いた一括締付形油冷スタックはその特長を遺憾なく発揮し、すぐれた性能をもたらした。本文ではプラントの構成機器、サイリスタ整流器および変圧器の構造、制御系統、動作特性について報告する。



UDC 628.971/972

最近の三菱照明施設例

願念和男

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1485~1490

'70年のトビックス日本万国博覧会における照明は、これまでの照明技術の集大成とともに、最新光源、器具の駆使から、これからの照明への示唆を与えた。また一般の事務所・工場等の照明では高照度化が進んだ一方、ただ照度のみに固執した照明ではなく、光源の演色性、グレア防止等照明の質を考慮した照明が考えられるようになったことは好ましい傾向である。特殊な用途としては、最近、光の農林・畜産・漁業への応用が注目される。



UDC 621.313.322-815

鹿島北共同発電(株)向け1号111,765kVA

2号147,059kVA タービン発電機

甲斐 高・大石紀夫・浜田一義・天笠信正

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・1520~1533

近年産業用火力発電設備が大形化し、水素冷却タービン発電機が採用される例が多くなってきている。本文では2号発電機に新たに適用したラジアルベント冷却回転子の構造特性を中心とし、水素冷却発電機の構造一般、水素制御装置、ブラシレス励磁機の概要を紹介する。ラジアルベント冷却回転子は、同一電流密度で普通水素冷却回転子の1/3の温度上昇というすぐれた冷却効果を示した。

当社のラジアルベント方式は冷却ガスの導入のためにスロット絶縁底部に通風穴をあける必要がなく、強度上の弱点を持たないすぐれた構造である。



UDC 621.314.63

電気化学用整流装置の進歩

小林 凱・大沢喜信・田中潤次郎

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1493~1501

最近の電気化学用整流設備は300kAを越えるものが続出し、整流装置も単器100kA以上が多数製作されるようになった。整流装置の大容量化に伴う冷却、電流バランスの問題は、大電力整流素子の使用、新しい整流器構造の開発により解決された。

一方、電解用途におけるサイリスタの進出は目ざましい。すぐれた特性を有する平形サイリスタ、新開発の油冷スタックの採用など多くの特長を有するサイリスタレクチフオーマもすでに2年の運転実績を持つに至った。

本文ではこれら最新の整流装置について、冷却、構造、サイリスタ整流器、電圧調整方式、電源系統への考慮などについて紹介している。



UDC 535.376:621.397

ELパネルテレビ

伊吹順章・倉橋浩一郎・新居宏壬・池端重樹・栗津健三

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1534~1539

電子機器の固体化の流れに沿ってブラウン管を固体化することを試み、EL板を使ってTVの映像を受像することを行なった。

ELけい光体およびEL板製作法の改良と、走査回路におけるメモリー導入、パルス数変調による輝度の制御、コントラスト向上のためのくふうなどが行なわれて、大きさ100mm×75mm、絵素数6,400個のパネルに、最大輝度11FL(緑色)、最大コントラスト10:1の画像を得ることができた。

解像度・輝度・コントラストの増大のための研究を行ないつゝあるが、この装置は計算機からの出力表示などにも利用できるものと思っている。



UDC 621.314.63:546.28

アルコア社納めアルミポットライン電源用シリコン整流器

横島洋志・織井 稔・児玉俊英・三谷俊介・笠原 清

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1502~1510

今回、世界最大のアルミメーカー米国アルコア社に、オーストラリアおよびブラジルの現地会社のアルミポットライン電源としてシリコン整流器を納入した。オーストラリア納めのものは、すでに好調運転中であり、ブラジル納めも近々動きが予定されている。このことは、アルコア社に納入実績を築いたとともに、技術・価格の両面とも、世界に認められたと自負できうであろう。アルコア社の仕様指導にしたがって、新しく開発したシリコン整流器を中心に、納入した電機品の説明、紹介をする。



UDC 631.142.004 others

計算機による布線検査の自動化

小島一男・上野靖彦・渡辺照久・斉藤正宏

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1540~1545

最近電子装置の製造および検査の段階における自動化の問題は、省力化と合理化の観点より非常に大きく取上げられている。布線検査の自動化は、設計・製造・検査の自動化システムの一端を構成するものである。

本文のAutomatic Wiring Verifierは計算機を使用し、20,000ピンの被検査装置の布線検査を15分程度で行なえる性能をもっている。布線情報は計算機により磁気テープから読込まれ、エラー情報はラインプリンタにより印字される。

本文においては現在実用化されている計算機による完全自動化AWVについて、そのハードウェアとソフトウェアの紹介をする。



UDC 621.523:621.589:621.383

熱間圧延ミルにおける自動クロップ装置

小薮俊昭・山崎英蔵・淡野光章

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1546~1552

鉄鋼の熱間圧延工程において、仕上圧延機の通板性を良好にし、かつ、品質、歩留り、作業能率の向上のために、粗圧延後、鋼材の端部の形状をせん断によって整える必要がある。

本稿は鋼材の先端、終端の変形部分の像を光電的に処理し、必要最少長のせん断位置を検出する検出器を中心に、変形部分を自動的に切り取るせん断装置について述べるものである。




UDC 621.391.63:621.391.338

水中におけるレーザの応用

稲荷隆彦

三菱電機技報 Vol. 44. No. 11・P1553~1559

海洋開発に関心が集るにしたがい、海中では電磁波が使用できないことから超音波とともにレーザの応用が注目されている。ここではレーザの応用の現状と問題点を最近の文献等にもとずき解説し、また当所における実験状況を紹介する。レーザは超音波に比較して到達距離が短く（1km以下程度）、じょう乱の影響は受けやすいが周波数が高いこと、指向性が鋭いことが特長であり、レーザが有効に用いられるのはアライナー、位置合せ装置、短距離多重通信、自動機械のための情報伝送、そして水中探査装置であると考えられる。水中では散乱が最も問題であるが、 水中探査装置では現在いくつかの方式が提案され、開発が進められている。

メタルハライドランプの添加物金属の消失

甲斐潤二郎*・平野昌彦**・渡部 勁二**

尾形 善弘**・西山 京子**

Disappearance of Added Metals in Metal Halide Lamps

Central Research Laboratory

Junjiro KAI・Masahiko HIRANO・Keiji WATANABE

Yoshihiro OGATA・Kyôko NISHIYAMA

Studies were made on the disappearance of added metals from an arc tube of a metal halide lamp having thallium, indium and dysprosium iodide. The distribution of concentration of the above metals in the tube was examined, and the effect of electric field caused by charging of photoelectrons from metal rods supporting the tube was ascertained. It was found that the dissolution of the metals into the tube was hard to prevent by reducing photoelectric emission. However, the disappearance was minimized with fused silica free from OH radical. Improvement of lamp making technique to prevent the entry of moisture in the arc tube also was proved effective for minimizing the disappearance. Discussion is made in this article on the dissolution rate of those metals into the tube and their mobility inside.

1. ま え が き

従来の高圧水銀ランプの管内に水銀とともに、各種金属ハロゲン化物を封入したいわゆるメタルハライドランプは、高圧水銀ランプより演色性および発光効率が、著しくすぐれたものとして最近、脚光をあびている。

当社においてもタリウム、インジウム、ジスプロシウムなどの3種のよう化物を添加したメタルハライドランプ“三菱BOCランプ”を製品化した⁽¹⁾。BOCランプはよう化ジスプロシウムの豊富な連続スペクトルを利用することによって、効率をそこなうことなく演色性をさらに向上させたものであり、屋外・屋内照明にすぐれた特性を有している。

メタルハライドランプが最近のように広く使用されるようになったのは、その高演色性・高効率とともに各方面における絶えまない改善、特にランプの長寿命化に負うところが大きい。BOCランプにおいても、その開発初期にはランプを長時間点灯すると外管が茶色に変色し、発光管には黒化が生じ、光束低下をきたす現象がみられた。この原因は発光管内に封入した金属が発光管石英ガラス中にとりこまれたり、あるいは発光管外に消失するためと推定された。添加物としてナトリウムを含むランプについては、J. F. Waymouth et al.⁽²⁾は、発光管支持棒からの光電子放射により発光管管壁の内外面に形成された電場によって、ナトリウム消失が加速されることを示した。われわれは発光管に封入したタリウム、インジウム、ジスプロシウムなどの金属の消失に関する実験を行なって、その機構を考察し、その防止対策によってランプの動程特性を著しく改善したのでここに報告する。

2. 実験と結果

メタルハライドランプにおいて、発光管支持棒から放出される光電子が、添加金属の発光管石英ガラス中の移動におよぼす効果と、金属濃度分布を調べるため、実験用ランプを作り、これを点灯したときの発光管壁中に溶存する添加金属量を分析した。

2.1 実験方法

2.1.1 実験用ランプ

実験用ランプの構造は、図2.1に示したごとく発光管両面に近接して、むき出しの金属支持棒を設け、発光管を23°傾けてマウントし

外管内を真空としたもので、発光管内にはタリウム、インジウム、ジスプロシウムなどのよう化物が添加されている。この種のランプを3本用意し、このうち2本(No. 1 No. 2)は点灯時間の違いによる影響をみるため、また他の1本(No. 3)は発光管上下部の差異を調べるために使用した。

2.1.2 点灯条件

口金を上方にして鉛直点灯を行ない、表2.1に示した時期に点灯をやめた。

2.1.3 分析試料

所定の点灯経歴を経た発光管をとりだし、ランプNo. 1, No. 2は図2.2(a)のごとく4等分、ランプNo. 3は図2.2(b)のように8等分した。これらの石英片は希塩酸、純水で順に洗浄したあと、片面にパラフィン塗布して保護し、硫酸(50%) 5mlとふっ(弗)酸

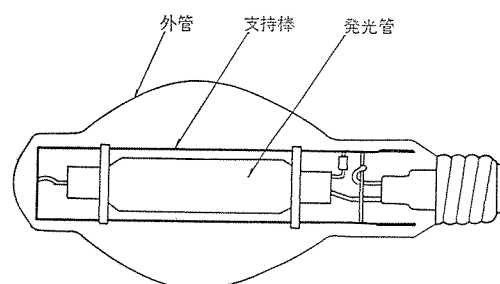


図2.1 実験用ランプの構造
Construction of an experimental lamp.

表2.1 サンプルング
Sampling.

ランプ番号 (No.)	サンプリング時期
1	Tlスペクトル線消失直後 (In, Dyのスペクトル線あり)
2	Tlスペクトル線消失後1,500時間点灯 (Inスペクトル線少しあり) (Dyスペクトル線少しあり)
3	Tlスペクトル線消失後2,200時間点灯 (In, Dyスペクトル線あり)

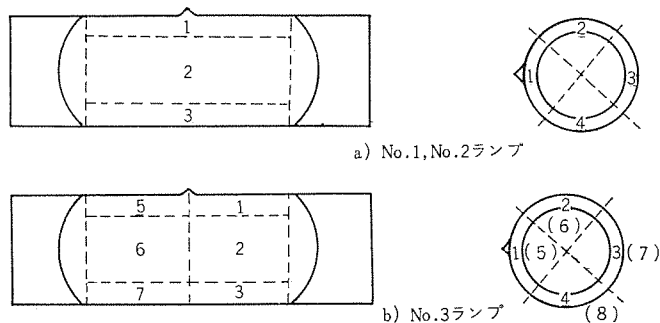


図 2.2 発光管分割位置
Numbering of arc tube sections.

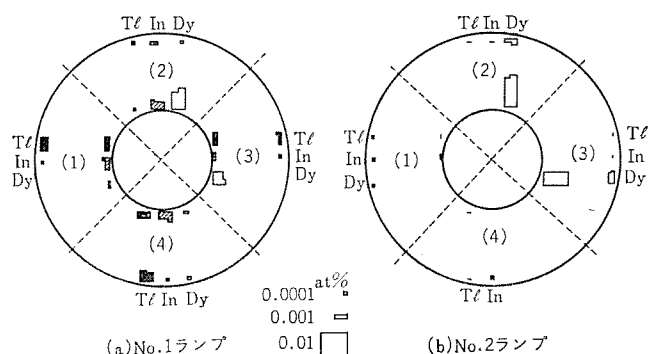


図 2.3 添加金属の発光管断面濃度分布 (No. 1, No. 2 ランプ)
Distribution of added metals in the section of arc tube
(No. 1 and No. 2 lamps)

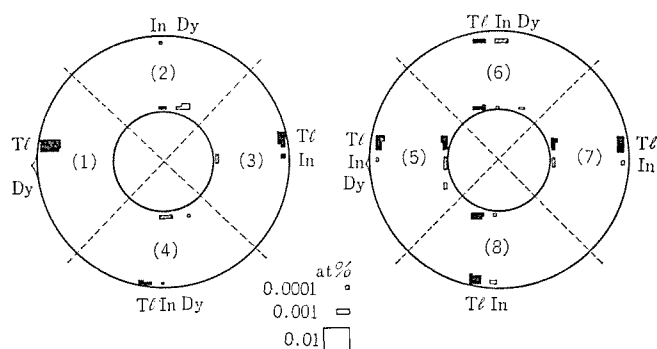


図 2.4 添加金属の発光管断面濃度分布 (No. 3 ランプ)
Distribution of added metals in the section of arc tube
(No. 3 lamp).

20 ml の混合溶液に約 3 時間浸漬してエッチングを行なった。同様の操作を裏面についても行なうことにより、発光管内壁、および外壁の溶解液を得た。なお、エッチング厚さは、発光管厚約 1.2 mm に対して、片面約 0.2 mm 厚であった。

2.1.4 分析法

このようにして得られた溶解液に高純度黒鉛粉末を添加して蒸発乾固したのち、乳鉢でよく混合し、発光分光分析法により、添加金属を分析した。装置は JACO 製 1.5 m ワズース形を使用した。

2.2 実験結果

図 2.3 にランプ No. 1 および No. 2 の発光管石英ガラスの内壁側と外壁側におけるタリウム、インジウム、ミスマンシウムの濃度分析を示した。

また図 2.4 にランプ No. 3 の濃度分布を同様に示した。なお、分析値の相対誤差は約 50% である。

3. 考 察

3.1 ガラス中のイオンの濃度分布——様電場がある場合——

J. F. Waymouth et al. ⁽²⁾ によれば、光電子にもとづく電場の影響で石英ガラスにとけこんだナトリウムイオンが、内側より外側に多く集まっていることが実験的に示されている。

ここでは拡散に関する基本式を導入して、電場が存在する場合のガラス中の金属イオンの濃度分布を検討し、分布を規制する諸量を明らかにする。

ガラス中に、濃度 C なるイオンが存在するとき、これに x 方向へ電場 E をかけるとイオンの流束 J_x は次式で与えられる。

$$J_x = CvE - D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.1)$$

ただし v : イオン易動度

D : 拡散係数

ここに、右辺第 1 項は電場の存在に、第 2 項は Fick の法則として知られる濃度拡散に、それぞれ起因する流束である。とくに平衡状態に達したあとでは

$$CvE - D \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (3.2)$$

となる。式 (3.2) をたとえば図 3.1 に示したような様電場 E が x 方向にかかっている厚さ d のガラス板について解いてみる。ただし境界条件として、 $x=d$ ではイオンの流入は無いが、 $x=0$ ではイオン濃度が常時 C_0 に保たれるかぎり、イオンの流入が許される（流出は不可）とする。解を C_{eq} と書いて

$$C_{eq} = C_0 \cdot \exp\left(\frac{vE}{D}x\right) \quad (3.3)$$

ここで Nernst-Einstein の関係式

$$D = \frac{kTv}{e} \quad (3.4)$$

を式 (3.3) に代入すれば

$$C_{eq} = C_0 \cdot \exp\left(\frac{eE}{kT}x\right) \quad (3.5)$$

が得られる。ただし、 e : イオンの荷電数

すなわち、平衡状態でのイオン濃度分布は、イオン種の特異定数には関係なく決まり、その形は x に対して指数函数的であることがわかる。 $E=0$ のときは明らかに

$$C_{eq} = C_0 \quad (3.6)$$

次に、この平衡状態に達するまでの濃度の時間変化について大まかに考察する。式 (3.1) を x に関して微分すると

$$\frac{\partial J_x}{\partial x} = vE \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.7)$$

ここで $-\partial J_x / \partial x = \partial C / \partial t$ なる関係があるので、これを式 (3.7) に代入すると、

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -vE \frac{\partial C}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.8)$$

式 (3.8) と、式 (3.4) とを考え合わせると、結局

$$\left| \frac{\partial C}{\partial t} \right| \propto v \text{ (or } D) \quad (3.9)$$

と書ける。すなわち平衡状態に達する速さは、イオン種の易動度または拡散係数に比例する。図 3.1 には $C=C_0(x=0)$, $C=0(x=d)$ なる初期条件を与えたときの濃度分布の時間変化を、 C_1 , C_2 , C_3 な

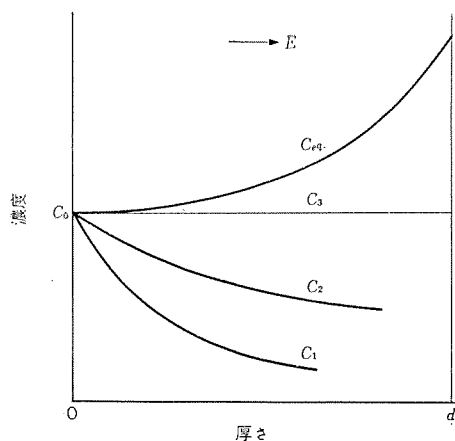


図 3.1 ガラス板の金属イオン濃度分布
Distribution of metal ions in the glass.

どにより、概念的に図示した。

ところで本実験のごとく、発光管ガラスの内外面でイオン流入がある場合には、当然、式(3.5)は厳密には成立しない。しかし、すでに述べたところから推察されるように、これらの式は厚さ方向に電場 E が存在するときの発光管壁中の金属イオン濃度分布を大まかな傾向としては(把)握するのに利用できるし、かつ有用である。

すなわち、電場 E が存在すると、発光管石英ガラス中のイオン濃度は初期では内側にかたよっているが、経過時間とともにやがては外側に高くなることがわかる。また、分布を決める要因は以上の議論から電場 E 、イオン易動度 ν (あるいは拡散係数 D)、イオン電荷 e 、温度 T および時間 t である。

図 2.3 の濃度分布を見ると、図(a)ではタリウムは外側で高濃度であるが、インジウム、ジスプロシウムは内側のほうが高濃度である。また、図(a)よりさらに時間の経過した図(b)ではインジウムは外側で高濃度になっているが、ジスプロシウムは依然として、内側で高濃度である。このように本実験のランプにおいても金属イオンが外側に引かれる現象が見られ、発光管内外壁に電場が存在し、影響をおよぼしていることが明らかになった。

3.2 各イオンの易動度

ガラス中の金属イオン濃度分布を規制するものとして、前節に述べた諸量のうち、本実験の場合には、電場 E および温度 T はタリウム、インジウム、ジスプロシウムの各イオンにとって同等である。また、このことを考慮すれば式(3.4)より、イオンの電荷を同じとすれば、これらイオンの易動度は拡散係数に比例する。

結局、ガラス中のこれらのイオンの濃度分布を規制するのは、イオン電荷が同じであれば、イオンの易動度 ν と経過時間 t とである。すなわち、易動度の大きなイオンほど外側の高濃度の分布により早く到達する。

図 2.3 から、タリウムが一番早く外側の高濃度の分布に達し、インジウムはこれにつき、ジスプロシウムが一番おそいことがわかる。また、これらのイオンのガラス中での価数は、後述のように一応、いずれも3価と考えられる。したがってイオン易動度はタリウムが一番大きく、次いでインジウム、ジスプロシウムの順となることが推論される。

ところで石英ガラス中の金属の移動は、金属陽イオンとそれを取り囲む酸素イオンとの間の単結合強さで律速されると考えられる。すなわち、石英ガラス中の移動は、定性的には小さな陽イオンが大きな酸素イオンの中を通過することであり、酸素イオンとの親和力が大きいほど移動の活性化エネルギーは大となり、また、陽イオン数が石英

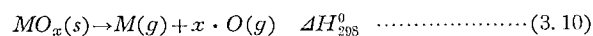
表 3.1 Tl, In, Dy の単結合強さ
Single bond strength of Tl, In and Dy.

	イオン半径 Å	配位数 n	$-\Delta H_{5,298}^0$ kcal/mole	ΔH_s^0 kcal/mole	ΔH_{298}^0 kcal/mole	S kcal
Tl (TlO $\frac{1}{2}$) (TlO $\frac{2}{3}$)	Tl $^{+}$ (1.60 1.57) Tl $^{+3}$ 0.95	(12 10) 6	20.95 42.25	42.85	93.6 174.4	(7.8 9.35) 29.0
In (InO $\frac{3}{2}$)	In $^{+3}$ 0.81	6	111.25	57.50	258.1	43.0
Dy (DyO $\frac{3}{2}$)	Dy $^{+3}$ 0.92	6	222.90	69.40	381.6	63.6

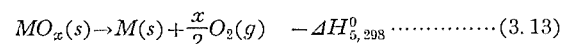
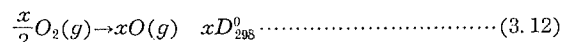
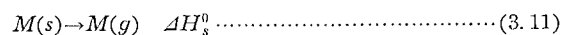
$1/2 O_2(g) \rightarrow O(g); D_{298}^0 = 59.55(\text{kcal/mole})$

内に増加すれば、陽イオン同志の反発力が生じ、陽イオンは移動しにくくなる。本実験の場合には、石英中にとりこまれる陽イオンの数は 0.1 atomic % 以下とかなり少ないので、陽イオンの移動に対しては陽イオン同志の反発力よりも酸素イオンとの親和力のほうが影響が大きい。

陽イオンと酸素イオンとの親和力は結合の強さであり、結合の強さはその陽イオン酸化物の解離エネルギーを酸素配位数で割った値で示すことができる⁽³⁾。ここでは金属酸化物の解離エネルギーは、次のような反応式によって ΔH_{298}^0 を計算して求めた。



式(3.10)の ΔH_{298}^0 は以下の各反応式から得られる。



ΔH_{298}^0 は式(3.11)、(3.12)、(3.13)より

$$\Delta H_{298}^0 = -\Delta H_{f,298}^0 + xD_{298}^0 + \Delta H_s^0$$

したがって、単結合強さ(S)は、酸化物の酸素配位数を n とすると

$$S = \frac{\Delta H_{298}^0}{n} \quad (3.14)$$

となる。

式(3.14)によってタリウム、インジウム、ジスプロシウムの酸化物の単結合強さを算出し、表 3.1 に示した。

この結果から、単結合強さはジスプロシウムが一番大きく、次いでインジウム、タリウムの順となる。すなわち、タリウムイオンはまわりに配位している酸素イオンからの拘束力が弱く、ガラス中での移動が、インジウム、ジスプロシウムに比べて容易である。

以上のように前述のタリウム、インジウム、ジスプロシウム各イオンの移動度の差は、これらのイオンと酸素イオンとの単結合強さを導入することで説明できた。

なお、ここではこれらのイオンのガラス中での価数はいずれも3価として扱った。一般にガラス中でのとりうる安定な価数は、酸化物として安定な価数であることから、インジウムおよびジスプロシウムについては3価で妥当である。タリウムは室温では3価の酸化物が安定であるが、高温(融点以上)では1価が安定となる。また、タリウムシリケートガラスといわれる比較的タリウム含量の多いガラスでは、タリウムイオンの97%以上が1価として存在していることが報告されている⁽⁴⁾。したがってこれらのことが今回の場合にも、タリウムはガラス中では1価

として存在している可能性がある。タリウムが1価であっても、濃度分布がイオン易動度の相対的な指標であることにかわりない。1価であるとした場合、電場の影響は3価と比べて小さい。したがって、外側が高濃度な分布に最も早く到達するためには、タリウムの1価イオンが最も動きやすいということが結論されるからである。表3.1にはタリウム1価酸化物の単結合強さも示してある。この値は3価のそれよりもさらに小さくなっている。

3.3 ガラス中への金属の溶解

発光管からの金属消失は、1) 添加金属の石英ガラス内への溶解、2) 電場あるいは拡散による石英ガラス内の移動、3) 石英ガラス表面でのイオンの中和、4) 金属原子の熱蒸発、の過程を通して行なわれると考えられる。したがって、金属消失の本質的な要因は、添加金属の石英ガラスへの溶解である。

Waymouthは発光管支持棒からの光電子放出を抑制することにより、ナトリウムの発光管からの消失が減少することを示している⁽²⁾。この事実は石英管内外壁間に生ずる電場がナトリウムの石英ガラス内への溶解速度にも関与することを示している。光電子の抑制がタリウム、インジウム、ジスプロシウムの石英ガラス内への溶解速度に対して同様の効果をもつかどうかを知るために、支持棒なしの実験球を作って検討した。このランプを2,000時間点灯しても、タリウムのスペクトル線の消失はおこらなかったことは、光電子放出の抑制の効果とも考えられるが、石英ガラス中には、やはり、タリウム、インジウム、ジスプロシウムが溶解していることが分析の結果をたしかめられ、光電子放出抑制のみで、これら添加物金属の消失を防止することは不可能であることが明らかとなった。

図2.3から、発光管内に生成した添加金属の石英ガラス内に溶解する速度の傾向がうかがえる。図において点灯中の温度分布は(2)の部分が一番高く、次いで(3)、(1)、(4)の順である。ジスプロシウムは高温部にかたよっていることから、石英ガラス中へ最も溶解しにくいことがわかる。図2.4の発光管の点灯時の温度分布は、(2)の部分が最も高く、次いで(3)、(1)、(4)、(6)、(7)、(5)、(8)の順であった。ここでも図2.3と同じように、やはり高温部にジスプロシウムが多く溶けこんでいることが示されている。

ランプの発光スペクトルの観察と、発光管内に残っている添加金属の分析によって、これら金属のなかではタリウムが一番早く消失することがわかっている。したがってタリウムは石英ガラス中へ一番溶解しやすいことになる。ゆえにこれらの金属の石英ガラスの溶解速度はタリウムが最も速く、次いでインジウム、ジスプロシウムであると考えられる。

添加物は通常、よう化物の形で封入されており、よう化物である限り石英ガラスと反応しない。しかし、これらの金属酸化物は石英ガラスと反応し、シリケートをつくって石英内に溶解する。また、これら金属はよう化物になるよりは、酸化物になりやすいことが熱力学的に明らかである。したがってもし発光管内に微量の酸素が存在しておれば、発光管のアーク中で解離した金属原子(イオン)は再結合の際、酸化物となり石英ガラス内に溶解するであろう。

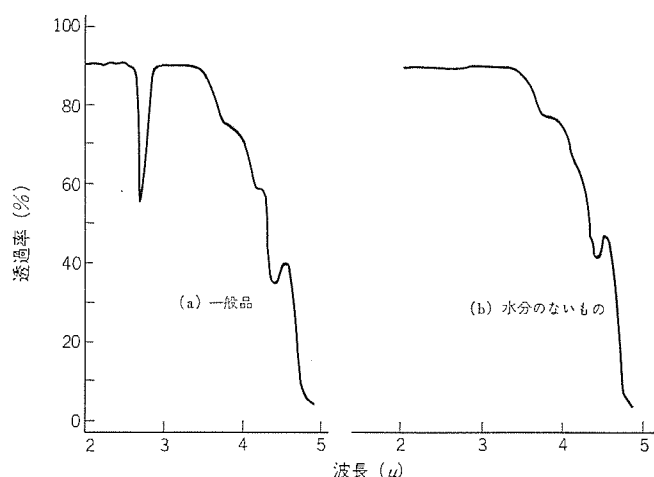


図 3.2 石英ガラスの赤外透過率曲線
Spectral transmission curves for quartz glass.

われわれはこの考えにもとづき、酸素源を極力、少なくする方策をとった。その一つとして発光管の石英ガラスの含有水分の影響をしらべた。図3.2に2種の石英ガラス管の赤外吸収スペクトルを示してある。(a)は2.8 μ 付近に水分による吸収があるが、(b)には見られない。この2種の石英管を使って前述と同じ構造のランプを製作し、点灯したところ、(a)の石英ガラスを使用したランプは添加金属の消失が起こるが、(b)の石英ガラスを使用したランプは7,000時間点灯しても発光は正常であり金属消失は見られなかった。またこのような長時間点灯後にもかかわらず、このランプの石英ガラス中へのタリウムの溶解量は、図2.3 No. 1ランプのそれよりも少なかった。この結果、発光管内の水分(酸素源)を少なくすることで、金属消失は押えられることが明らかになった。

4. む す び

発光スペクトルおよび発光管石英ガラスの断面の濃度分布の測定により発光管内からの添加物の消失傾向は、タリウムが最も大でインジウムがこれに次ぎ、ジスプロシウムは最も小さいことがわかった。また、単結合強さという考え方を導入することで、石英ガラス内の金属イオンの易動度の差を説明できることを示した。

メタルハイドライドランプの添加物の消失は発光管中で、添加物が酸化物になることが本質的な原因であり、水分の少ない石英ガラスの使用、添加物の精製、封入技術の確立により消失現象はさけられる。

最後に、助言ならびに協力をいただいた大船製作所管球技術課の関係諸氏に対し謝意を表わします。(昭和45-9-8受付)

参 考 文 献

- (1) 久保, 竹田, 土橋, 若林: 三菱電機技報 42, No. 8, 1,072 (昭43)
- (2) J. F. Waymouth et al: Illum. Eng., 62, 214 (1967)
- (3) K. H. Sun: J. Amer. Ceram. Soc., 30, 277 (1947)
- (4) K. Otto, M. E. Milberg: J. Amer. Ceram. Soc., 51, 326 (1968)

Th 増感 $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ けい光体の光学的特性

栗津 健三*・武藤 勝俊*

Optical Properties of Th Sensitized $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ Phosphors

Central Research Laboratory Kenzô AWAZU・Katsutoshi MUTÔ

Introducing of Th into $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ phosphor increases the luminous intensity by ultraviolet excitation, the value of increase reaching about twice as much as the ordinary one under the optimum condition. It has been made known as a result of a number of measurements on optical properties that, though the shape of emission spectra remain unchanged through this addition of Th, the excitation spectra change and also the change differs from the excitation and emission spectra of the case when activated with Th only. From this fact conclusion has been made that the sensitization due to ThO_4^{4-} ions plays a role.

By conducting deterioration tests in the almost same condition as used for the extra high output fluorescent lamps, it has been confirmed that high efficiency is maintained for a long time. The application to photochemistry and light traps is being expected.

1. ま え が き

活性体として Ce^{3+} を用いたけい光体は数多く知られている⁽¹⁾。これらは紫外線を放射すること、残光時間が短いといった特性から光化学反应用けい光灯、フライングスポット用陰極線管などに使用されている。最近新しい物質 YPO_4 系のけい光体が発表された⁽²⁾。特に (Y, Gd, La) PO_4 を母体とすると、残光時間が $1/e=40$ ns と短く、従来から使用されている $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7 : \text{Ce}$ の約 1/3 の値をしめし注目されている。

われわれは $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ に Th イオンを添加すると紫外線刺激で、その発光出力が増大することを見出し、Th イオンによる増感作用によるものであると結論した⁽³⁾。これらの光学的性質と増感の機構について述べる。

2. 試料の作成および測定

イットリウム、セリウムおよびトリウム各硝酸塩水溶液を混合加熱し、これを正りん酸溶液に注加する。Y, Ce, Th は正りん酸塩として沈殿する。反応母液をそのまま加熱すると次第に結晶性のよい沈殿となり取扱いが容易である。濃度、 P^{5+} および温度は収量に関係する。90%以上の収量が得られるように条件を決め、反応生成物は化学分析によりほぼ添加した比率の組成を有することを確かめた。なお原料は他の希土類イオンの影響を避けるため、分光分析的に高純度のものを用いた。

Ce の濃度は 1~10 atm %, Th は 0~0.6 atm % の範囲で変化させた。これらを石英るつぼ中に入れ、約 1,300°C で 2~5 時間、 N_2 , H_2 混合還元気流中で焼成した。得られた粉末の結晶構造は、X 線粉末回析法によりいずれも Xenotime 構造を有していることが認められた。

刺激および発光スペクトルは、リトロー形石英プリズムモノクロメータと 1 P 28 光電増倍管を用い自動記録させた。刺激光源としては、低圧水銀放電灯とクセノンショートアークランプを使いわけた。測定値はいずれも NBS 標準 A 光源と対応させて補正した。

発光出力の温度依存性は低圧水銀放電灯の 253.7 nm 放射のみをモノクロメータを通じて取り出し、粉末反射法によって測定した。

陰極線による刺激は demountable 電子ビーム走査装置を用いた。

試料は硝子板に沈降法で塗布したのちアルミバックを施し、刺激の反対方向から観測した。加速電圧は 15 kV 電流密度は $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ である。

3. 実験結果

3.1 $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$

253.7 nm 紫外線および陰極線の刺激により、336 および 356 nm にピークを有する (図 3. 1) 発光スペクトルをしめす。253.7 nm 刺激では、市販の $\text{BaSi}_2\text{O}_5 : \text{Pb}$ けい光体の発光出力と比較して積分値で約 3/4 である。そしてこの発光に対して大きい影響を与える不純物は他の希土類元素の存在で、たとえば Nd が分光分析的にこの (痕) 跡程度含まれていても、その出力がもとの 1/2 程度に低下することが認められた。

刺激スペクトルは約 250 と 320 nm に二つのピークがあり、前者のほうがやや高い (図 3. 2)。これらの特性の Ce 濃度依存性はあまり大きくないが、最適濃度は 6 atm % 付近にある。

3.2 $\text{YPO}_4 : \text{Ce, Th}$

6 atm % の Ce を含む $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ にさらに Th を導入すると、発光スペクトルの形状は変光しないが光出力が増大する (図 3. 1)。その濃度依存性は Th が 0.1 atm % 程度まで急激な立ち上りをしめし、

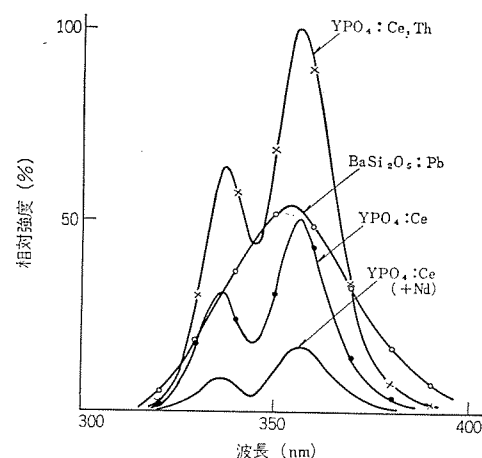


図 3. 1 253.7 nm 刺激による発光強度の比較
Radiometric comparison of UV emitting phosphors
(excited by 253.7 nm)

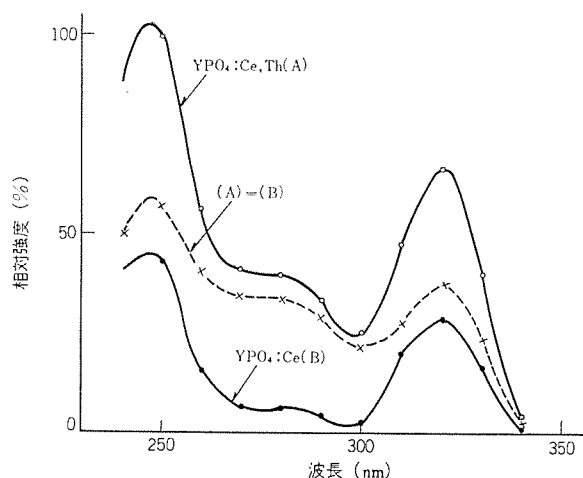


図 3.2 YPO₄:Ce および Th 増感けい光体の刺激スペクトル
Excitation spectra of YPO₄:Ce and Th sensitized phosphors.

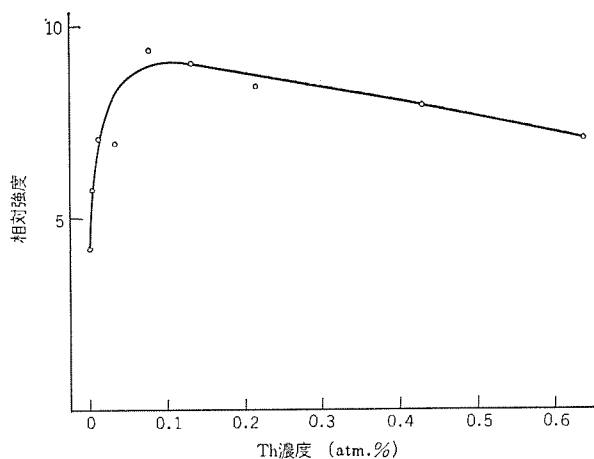


図 3.3 発光強度の Th 濃度の濃度依存性
Concentration dependence of Th sensitizer in YPO₄:Ce.

のち徐々に低下する (図 3.3)。この増大な紫外線刺激のときのみあらわれ、陰極線刺激下では観測できなかった。図 3.2 の刺激スペクトル回線から 0.1 atm % Th のとき、全刺激波長域にわたって YPO₄:Ce のそれより高くなっている。二つのスペクトルの差をプロットして曲線としてしめす。253.7 nm 刺激による発光を BaSi₂O₅:Pb と比較すると積分値で約 2 倍で、Th を添加することによって増大した発光出力は、刺激強度の差にほぼ対応する。比較に用いた BaSi₂O₅:Pb は、現在光化学反应用けい光灯に使用され十分な出力を有するものである。

3.3 YPO₄:Th

Th のみで付活した YPO₄ も光ルミネッセンスをしめす (図 3.4)。395 nm の主発光バンドに対する刺激スペクトルは、245 nm にピークを有する幅狭いバンド構造をもち、この波長で刺激したときの発光スペクトルは、270~500 nm に大小二つのピークからなる幅広いバンド構造が認められる。用いた試料の Th 濃度は 0.1 atm % であるが、濃度をさらに増大させても発光の強度および形状はあまり影響されない。そしてこの発光の強さは、Ce で付活したときの 1/15 以下である。なお低温 (77°K) においては発光スペクトルはあまり変化しないが、刺激スペクトルは 2 本に分裂することが認められた。

3.4 発光強度の温度依存性

YPO₄:Ce および YPO₄:Ce, Th の紫外線刺激による発光強

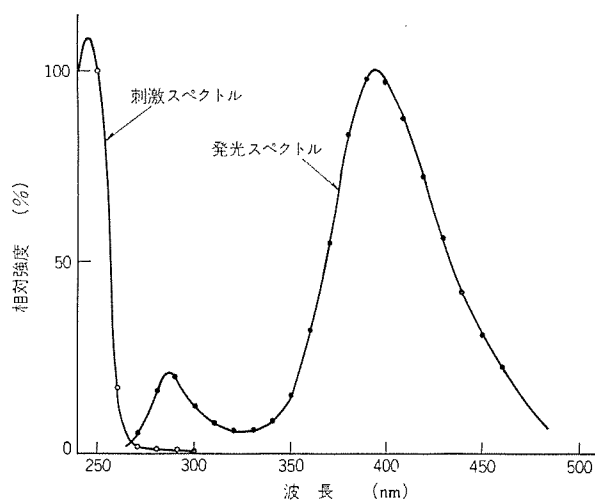


図 3.4 YPO₄:Th の刺激および発光スペクトル
Emission and excitation spectra of YPO₄:Th.

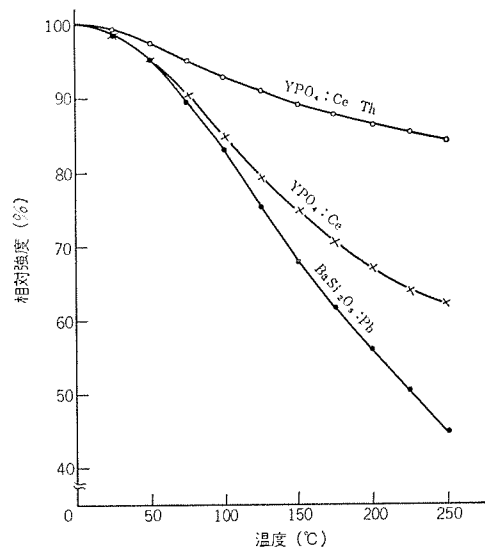


図 3.5 紫外発光強度の温度依存性
Temperature dependence of UV emitting phosphors.

度と、温度の関係を図 3.5 にしめす。参考のため BaSi₂O₅:Pb のそれも付した。これはいずれも室温における値を 100 としたものであるが、YPO₄:Ce が Th の導入によって温度特性が改善されることをしめしている。なお 200°C 付近まで刺激、発光スペクトルとも著しい波長の移動は観察されず、ピークの高さの相対的な変化のみである。通常けい光灯の管壁温度は 50~60°C、高出力形のものでも 80~90°C であるから、YPO₄:Ce, Th のこの付近における出力低下は、数%にすぎず実用的にもすぐれていることをしめしている。

3.5 けい光灯への応用

重量平均径約 15 μ の YPO₄:Ce, Th けい光体を用い、水銀蒸気およびイオンの存在下で低圧水銀放電による照射を行なった。塗布密度は約 7 mg/cm² である。通常のけい光灯の約 3 倍、0.95 W/cm² の表面負荷で点灯し発光出力とその維持率を測定した。初期における出力は BaSi₂O₅:Pb の約 1.7 倍であった。そして連続点灯 1,000 時間で初期値の 70 % 以上をしめし、BaSi₂O₇:Pb を用いたときの残存率 40 % 以下に比べ、すぐれた特性が得られた。これらの測定には、UVD-1 フィルタと 1P 28 光電増倍管を組合わせて受光器とした。

4. 考 察

Ce^{3+} は 1 個の 4f 電子を有する。発光は 5d → 4f 間の遷移によっておこなわれる。刺激スペクトルおよび発光スペクトルから求めたエネルギー準位を図 4.1 にしめす。4f の多重項は $^2F_{7/2}$ および $^2F_{5/2}$ で準位間の差は約 $1,800\text{ cm}^{-1}$ 、これより得られたスピン軌道結合係数は 514 cm^{-1} である。5d 準位は $30,000\text{ cm}^{-1}$ から $40,000\text{ cm}^{-1}$ にわたって $^2D_{3/2}$ および $^2D_{5/2}$ が存在し、その間隔は約 $10,000\text{ cm}^{-1}$ である。これらの結果はすでに得られている数値⁽⁴⁾とはやや異なっているが、これは母体である YPO_4 の結晶場の影響によるもので当然の結果である。

Th イオンの準位は Th のみで付活したときのスペクトルから求めた。図 3.2 の $\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ と $\text{YPO}_4 : \text{Ce, Th}$ の刺激スペクトルの差と、Th のみでの刺激スペクトルは著しく異なる。これは Th の存在により Ce イオンの励起準位が影響をうけ、吸収の確率が増すためと考えられる。それと同時に両者のエネルギー準位からわかるように、

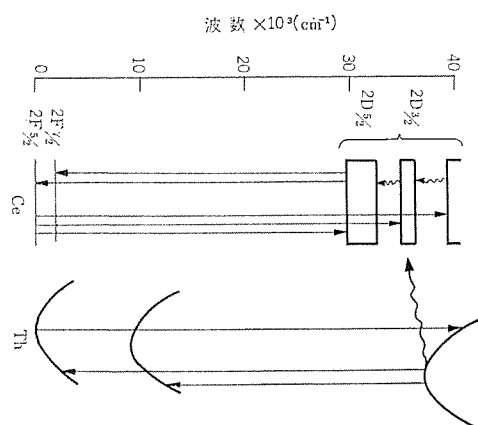


図 4.1 $\text{YPO}_4 : \text{Ce, Th}$ のエネルギー準位
Simplified energy level diagram of the system
 $\text{YPO}_4 : \text{Ce, Th}$.

Th の励起準位から Ce のそれへの共鳴遷移によるエネルギー伝達の可能性もある。しかし Th のみでの刺激および発光強度が非常に弱いところから、前者の過程が大部分を占めると考えたほうがよい。Th による発光はほぼ Gaussian 分布をしめし、比較的幅広い (0.5 eV) ところから、自己付活型のけい光体でみられる MnO_4^{2-} , WO_4^{2-} , $\text{V}_2\text{O}_7^{4-}$ などの遷移金属の錯イオンによる発光⁽⁵⁾であろう。この場合濃度消光作用がほとんど働かないから得られた結果と一致する。発光の最大値をしめす濃度が比較的低いのは、 YPO_4 に対する ThO_2 の溶解度が小さいためと推定される。

陰極線刺激下においては Th イオンによる増感作用がみられないのは陰極線のようにエネルギーが高い場合、電子は母体を励起し、これから直接 Ce イオンへ遷移するためと考えられ、Sb, Mn 付活カルシウムリン酸塩での陰極線による Mn の発光の場合と同じである。

5. む す び

$\text{YPO}_4 : \text{Ce}$ に Th を導入すると紫外線刺激により発光出力が増大する。その光学的特性から増感作用について考察を加え、その機構について論じた。そして YPO_4 から誘導した多くの組成の母体に対しては、どのような効果を有するか興味を持たれる。このけい光体は、光化学反应用あるいは誘虫用高出力の紫外線放射けい光灯に応用し、その効果が期待される。

(昭和 45-9-3 受付)

参 考 文 献

- (1) J. W. Gilliland et al. : Electrochem. Technl., 4, 7-8 (1966)
- (2) R. C. Ropp : J. Electrochem. Soc., 115, 5 (1968)
- (3) K. Awazu : J. Electrochem. Soc., 116, 2 (1969)
- (4) R. Lang : Can. J. Research, A 13, 1 (1935) ; A 14, 127 (1936)
- (5) 塩谷 : 化学の領域 11, 1 (昭 32)

紫外線けい光ランプ用けい光体

太田 重吉*・山崎 清司*・大谷 光興*

Phosphors for Ultra-Violet Rays Emitting Fluorescent Lamps

Ofuna Works Jukichi ÔTA・Seiji YAMAZAKI・Mitsuoki ÔTANI

The production of fluorescent lamps increases year after year, reaching one hundred and forty million a year. But most of them are used for general lighting. However, some of them are used for the purpose of emitting ultraviolet rays in particular. They are applied to copying machines, insect traps and health lamps.

This article describes phosphors newly developed as well as those employed for the existing lamps of the kind in reference to their characteristics and problems imposed by them.

1. ま え が き

けい光ランプの生産量は年々増加し、最近のわが国における年間の生産量は全機種を含めて約1億4千万本に達している。このうちのほとんどが一般照明用として使用されているが、最近ではけい光ランプの光化学面での応用が急速に発展し、それにともない紫外線を放射する多くのけい光体が開発され実用化されている。紫外線を放射するけい光ランプの概要とおもな用途を述べると次のようなものがあげられる。

(1) 健康けい光ランプ

このけい光ランプ、タリウムで付活したオルソリン酸カルシウム・亜鉛けい光体と、紫外線を透過する特殊なバルブを使用して作ったもので、その発光ピーク波長は310 nmにあり、人間の皮膚に対して強い紅はん(斑)効果、いわゆる日焼現象を示す。この付近の波長の紫外線はドルノ線と呼ばれ、紅はん効果を示すと同時に、人間の皮膚から吸収され体内でエゴステロールからビタミンDを生成したり、鉱物質の代謝を促進する効果があるので健康線とも呼ばれている。このけい光ランプで、学童や乳幼児の照射をして屋外日光浴に匹敵する保健・発育・抵抗力増大の効果があり、結核患者の治療に化学療法と併用して好結果が得られている。日照過少地帯や大気汚染により自然光中の紫外線の減少している都会の一般事務所や作業場でも、従業員の健康管理の一つとして使用している例もある。そのほか養鶏や畜産にも応用して順調な発育、体重の増加、くる病や骨軟症の予防にも使用されている。乾燥したいけのビタミンD₂の生成や、B₁B₂・ニコチン酸の破壊防止にも使用されるなどの食品工業にも応用されている。

(2) 捕虫けい光ランプ

捕虫けい光ランプは360 nm付近の発光ピークがあり、こん(昆)虫類の走光性を利用してこん虫類を捕獲して農作物等の被害を少なくしようとして開発されたもので、農薬の普及により一時減少したが、最近になって農薬による公害問題等も起き再び価値が認められてきている。さらに最近では食品加工業やその他の工場、事務所、畜産業等にも利用されている。

(3) ブラックライト

ブラックライトは紫外線のみを放射して可視線をカットするように設計されたもので、けい光体として捕虫けい光ランプと同じものを使用し、バルブとしては可視光線をカットするようなフィルターガラスを

使用している。おもな用途としては物質(宝石・美術品・油の不純物)の鑑別、法医学鑑識、食品類の鮮度の判定、計器盤照明、けい光探像(おもに金属面)、鉱物原石探査、舞台照明、けい光顕微鏡等である。

(4) 複写機用けい光ランプ

青図の焼付けや写真製版に古くから水銀ランプやキセノンランプが使用されていたが、近年ジァゾ感光紙を使用した事務用複写機が急速に普及し、水銀ランプを使用した複写機のほかに、光源としてけい光ランプを使用したものが実用化されている。けい光ランプを使用した複写機は、ジァゾ感光紙の分光感度の最大感度波長域にけい光ランプの発光波長域が集中しているので複写効率が高い、点灯後の安定するまでの待ち時間が短くてすみ等の長所がある。本報では以上述べたけい光ランプに使用されているけい光体の特性、最近の進歩および問題点等について概説する。

2. 健康けい光ランプ用けい光体

現在ではタリウム付活オルソリン酸カルシウム・亜鉛けい光体を使用されている。このけい光体はFroelick⁽¹⁾が開発した330 nmに、発光ピークのあるタリウム付活オルソリン酸カルシウムけい光体を、Nagy等⁽²⁾が発光ピークを紅はんが果の大きい310 nmになるように改良したもので、りん酸カルシウムのカルシウムの約7モル%を亜鉛で置換したもので、Ca_{2.7}Zn_{0.2}(PO₄)₂:Tlで示される。紅はん効果の最も強い

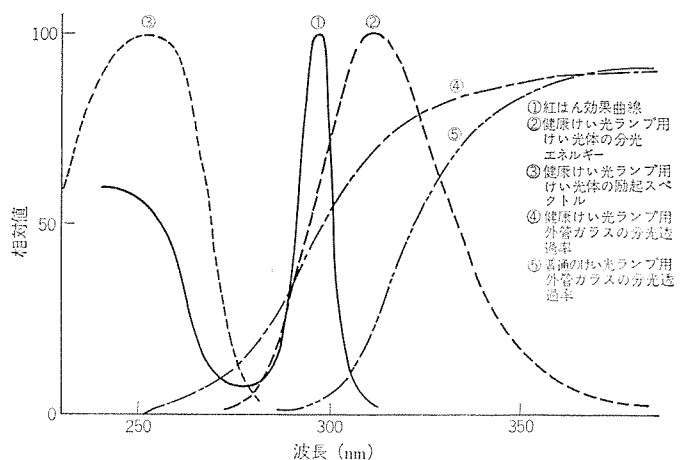


図 2.1 健康けい光ランプ用材料の特性と紅はん効果曲線
Spectral characteristics of the materials used for fluorescent sun lamp.

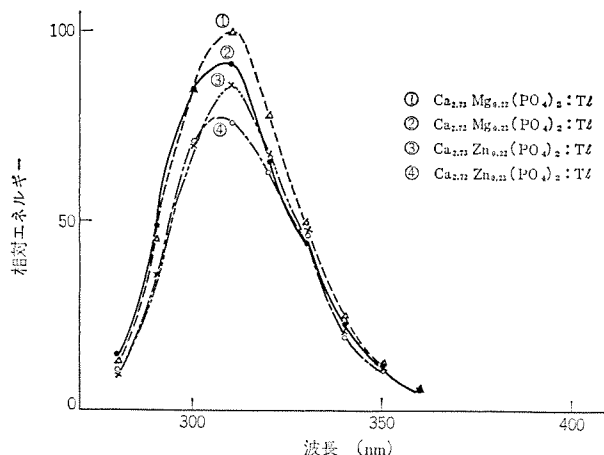


図 2.2 $(\text{CaZn})_3(\text{PO}_4)_2:\text{Tl}$ と $(\text{CaMg})_3(\text{PO}_4)_2:\text{Tl}$ の比較
Comparison of $(\text{CaZn})_3(\text{PO}_4)_2:\text{Tl}$ and $(\text{CaMg})_3(\text{PO}_4)_2:\text{Tl}$.

波長は、図 2.1 に示したように 296.7 nm にあるので、この波長に発光ピークのあるけい光体が望まれているが、現在でも 310 nm に発光ピークのあるけい光体を使用されている。このけい光体の最近の改良研究としては、著者等が行なった実験⁽³⁾があり、これはオルソリン酸カルシウムのカルシウムの 1 部をマグネシウムで置換したもので、図 2.2 に示したように、現在使用されている亜鉛で置換したものにくらべて約 17 % 改良されている。

これらのけい光体をけい光ランプにする場合は、普通のけい光ランプ用バルブでは、けい光体から放射されるドノ線が吸収され紅はん効果が減少するので、図 2.1 に示したように、300 nm 付近の紫外線を透過する特殊ガラスで作られたバルブを使用する必要がある。さらにこのけい光体は付活剤としてタリウムを使用しているので、ランプ製造中にタリウムが蒸発してけい光体中のタリウム濃度が減少して、けい光体の発光効率が低下したり、種々なランプトラブルの原因となるので、ランプの製造条件を厳密に規制する必要がある。

健康線の単位としては一般に E-Viton 単位が使用され、296.7 nm の波長の紫外線の 10 μW が 1 E-Viton に相当する。通常の 20 ワットの健康けい光ランプで 45,000 E-Viton、40 ワットのランプで 100,000 E-Viton の健康線を放射している、20 ワットの健康ランプから約 50 cm の距離で、真夏の晴天時正午の屋外に相当する健康線が得られる。

3. 捕虫用けい光ランプ用けい光体

こん虫の多くは 300~400 nm の波長に感応し、そのピークは 365 nm にあるといわれているが、可視光波長の 480 nm~520 nm あたりにも小さなピークがあり⁽⁴⁾、一般に人間より短波長の光波に感ずるようであるが、こん虫の種類やそのときの状態によっても変わるので一概には決定されない。図 3.1 にこん虫類と人間の光波に対する感受の様子を示した。図よりわかるように捕虫用けい光ランプに使用されるけい光体としては、365 nm 付近に発光ピークのあるけい光体を使用すればよいことがわかる。現在使用されているけい光体は、鉛付活けい酸バリウムけい光体⁽⁵⁾であり、 $\text{BaSiO}_5:\text{Pb}$ で示され 355 nm に発光ピークがある。このけい光体のほかに鉛付活けい酸バリウム・ストロンチウム・マグネシウムけい光体⁽⁶⁾がある。このけい光体は三元けい酸塩として知られ、発光ピークが 372 nm にあり一部で使用されている。現在使用されているけい光体の発光スペクトルと励起スペクトルを図 3.2 に示した。

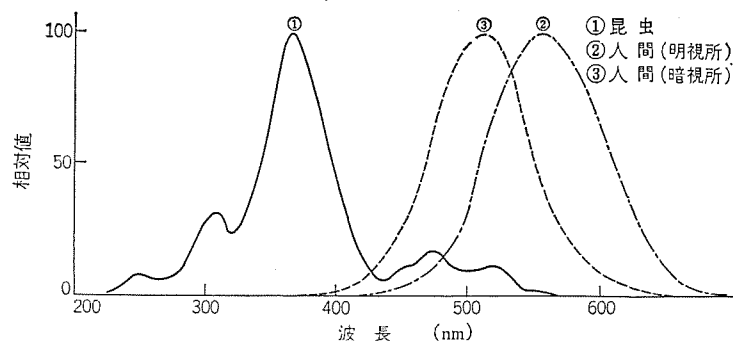


図 3.1 人間とこん虫の視感度
Luminous efficiency of human and insect.

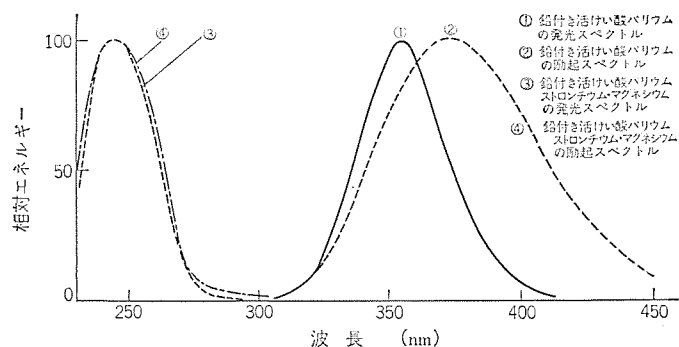


図 3.2 捕虫用けい光ランプ用のけい光体の励起スペクトルと発光スペクトル
Excitation and emission spectra of the phosphors used for insect trap.

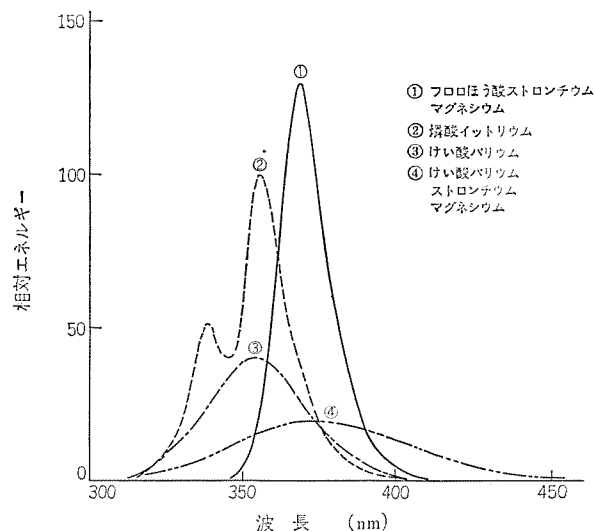


図 3.3 捕虫用けい光ランプ用の新けい光体の発光スペクトル (254 nm 刺激)
Emission spectra of some new phosphors for insect trap (254 nm excited).

最近の研究成果では、セリウムおよびトリウムで付活したりん酸イットリウムけい光体⁽⁷⁾、2価ユーロピウムで付活したフッほう酸ストロンチウム・マグネシウムけい光体があげられ、いずれも実用化が期待される。前者は Ropp 等⁽⁸⁾が開発したセリウムのみで付活したりん酸イットリウムけい光体に、増感剤としてトリウムを加えたもので、現在使用されている鉛付活けい酸バリウムけい光体にくらべて約 2 倍のピーク強度が得られている。後者はシルバニアにて開発された 2 価ユーロピウム付活フッほう酸ストロンチウムけい光体⁽⁹⁾の、ストロンチウムの 1 部をマグネシウムで置換して発光強度を増大させたもので、鉛付活けい酸バリウムけい光体にくらべて約 2.5 倍の発光ピーク強度を示している。

図 3. 3 は同じ強度の 254 nm の紫外線で励起したときの、各種捕虫用ランプ用のけい光体の発光スペクトルを示したもので、発光ピーク強度を直接比較できる。図よりわかるように従来より使用されている鉛付活けい酸バリウムけい光体にくらべてピーク強度が改良されていることがわかる。これらの新しいけい光体の使用したランプについての実際の捕虫効果については、現在調査中である。

4. 複写機用けい光ランプ用けい光体

事務用複写機の急速な普及にともない複写機用の光源として、けい光ランプが使用されるようになった。従来複写機用の光源として「は、おもに高圧水銀ランプが使用されていたが、複写効率が悪く、点灯してから使用可能になるまでの待ち時間が長い等の欠点があった。一方事務処理の迅速化の要求が強まり、スイッチを入れてから直

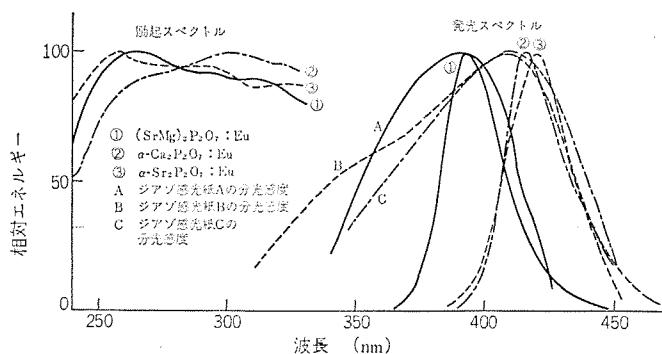


図 4.1 2価ユーロピウム付活アルカリ土類ピロりん酸塩けい光体の特性
Spectral characteristics of Eu^{2+} activated alkaline earth pyrophosphate phosphor.

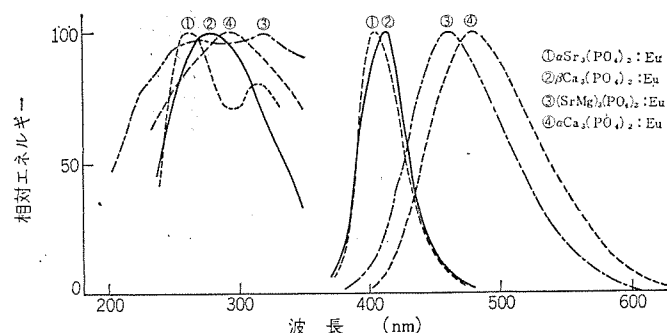


図 4.2 2価ユーロピウム付活アルカリ土類オルソりん酸塩けい光体の特性
Spectral characteristics of Eu^{2+} activated alkaline earth orthophosphate phosphors.

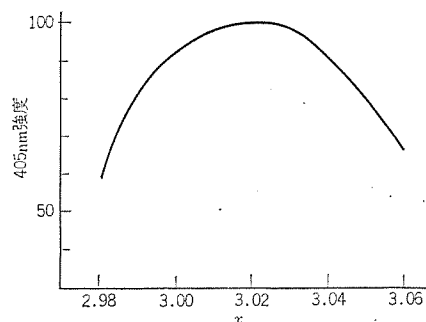


図 4.4 $\text{Sr}_x(\text{PO}_4)_2:0.015\text{Eu}$, x と 405 nm 強度
 $\text{Sr}_x(\text{PO}_4)_2:0.015\text{Eu}$, x and intensity of 405 nm emission.

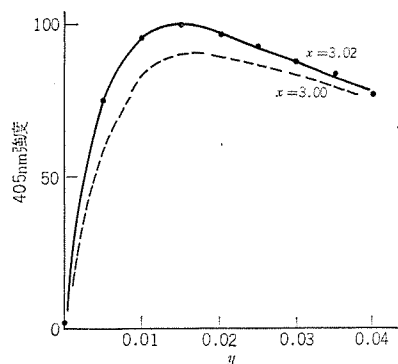


図 4.5 $\text{Sr}_x(\text{PO}_4)_2:y\text{Eu}$, x, y と 405 nm 強度
 $\text{Sr}_x(\text{PO}_4)_2:y\text{Eu}$, x, y and intensity of 405 nm emission.

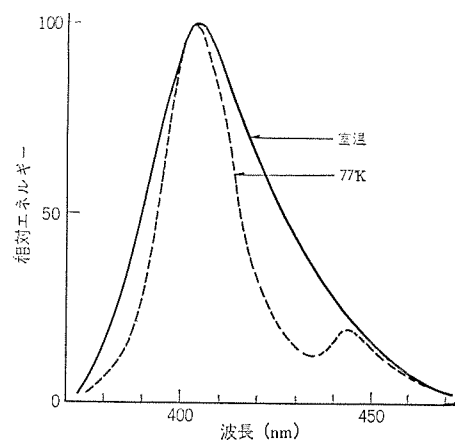


図 4.6 $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2:0.015\text{Eu}$ の発光スペクトル
Emission spectra of $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2:0.015\text{Eu}$.

ちに使用できるような小形複写機が要望されるようになったため、複写機用のけい光ランプの改良が必要となった。過去において使用されていたけい光体としては、405 nm に発光ピークのある鉛付活けい酸カルシウム、マグネシウムけい光体が、その後種々の新しいけい光体が開発され、現在では2価ユーロピウムで付活したオルソリン酸ストロンチウムけい光体⁽¹⁰⁾がおもに使用されている。最近になって2価のユーロピウムで付活したアルカリ土類りん酸けい光体が発表され⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾ており、当所においてもこれらのけい光体の実用化を進めている。図 4.1 および図 4.2 にこれらのけい光体の分光特性を、複写用の感光紙の分光感度曲線とともに示した。

図 4.1 はピロりん酸塩に関するもので、図 4.2 はオルソりん酸塩に関するものである。複写機用の光源に使用するけい光体として具備すべき条件としては、図 4.1 および図 4.2 に示したように、発光スペクトルのピーク波長が、感光紙の分光感度の最大値付近にあることが第1にあげられるが、そのほかに、約 80°C に加熱されても効率よく発生することがあげられる。これは複写機用のけい光ランプは、'複写スピード'を上げるために高出力形のけい光ランプとして使用され、さらに複写機に組入れられるために放熱効果が悪くなりけい光体面の温度が 80°C 程度に上昇するためである。図 4.3 に2価ユーロピウムで付活したアルカリ土類りん酸塩けい光体の温度特性を示した。

以上の特性を考慮すると実用化が期待されるものとしては、 $\alpha\text{-Sr}_3$

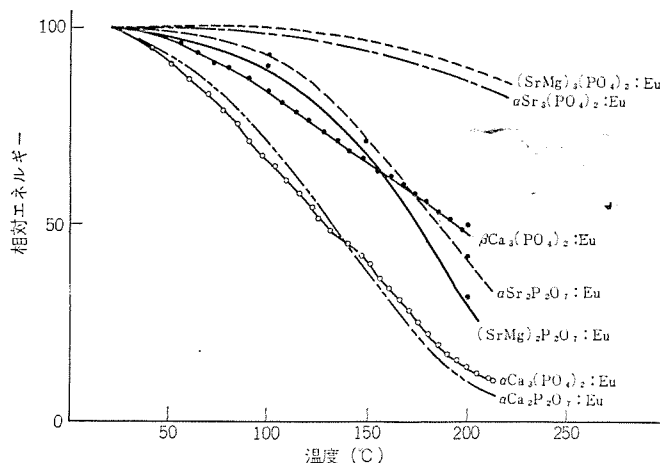


図 4.3 複写機用けい光体の温度特性
Temperature dependence of phosphor brightness.

$(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$, $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$, $\alpha\text{-Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$, $(\text{MgSr})_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$ および $\alpha\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$ 等があげられる。次に $\alpha\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$, $\alpha\text{-Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$ および $\alpha\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ についての、けい光体の製造条件の検討結果と複写スピードの比較検討結果を示す。

4.1 $\alpha\text{-Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$

このけい光体はすでに実用化され市場に出ているものであり、図 4.4 は $\text{Sr}_x(\text{PO}_4)_2 : y\text{Eu}$ において $y=0.015$ とし x と 405 nm の発光ピーク強度の関係を示したもので、 $x=3.02$ に最大のピークがあり、オルソリン酸ストロンチウムの化学量論値より陽イオンが多いところに、最大の発光強度を示す点があることがわかる。図 4.5 は $\text{Sr}_x(\text{PO}_4)_2 : y\text{Eu}$ において $x=3.00, 3.02$ とし、 y の変化と 405 nm の強度の

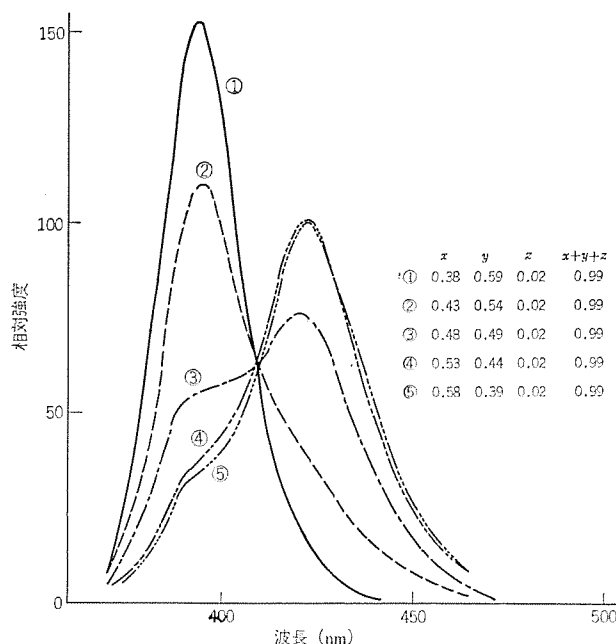


図 4.7 $(x\text{Sr} \cdot y\text{Mg} \cdot z\text{Eu})_2\text{P}_2\text{O}_7$ の発光スペクトル (254 nm 励起, 室温測定)
Emission spectra of $(x\text{Sr} \cdot y\text{Mg} \cdot z\text{Eu})_2\text{P}_2\text{O}_7$ (254 nm excited, room temperature).

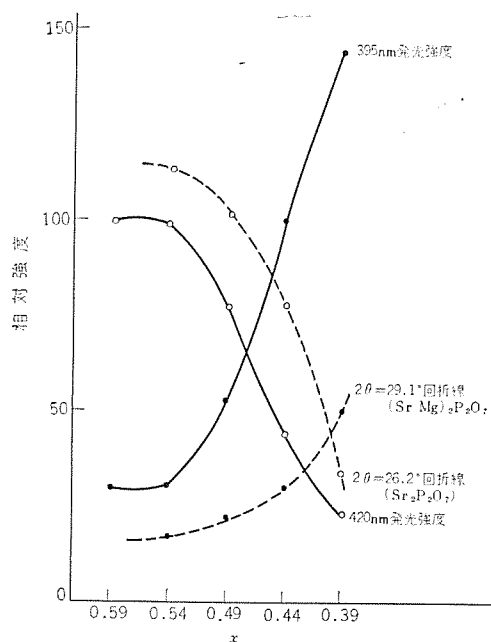


図 4.8 発光ピーク強度と X 線回折強度の関係
Relationship of emission peak intensity and X-ray diffraction line intensity.

関係を示したもので、 y としては 0.015 付近がよいことがわかる。なお焼成条件としては、各種の実験の結果、温度は $1,250^\circ\text{C}$ が良く、ふんい気としては、ユーロピウムを 2 価の状態では基体中に導入させるために、弱還元性であることが必要で、水素を 5 vol % 含む窒素ふんい気が最も良かった。またこのけい光体は図 4.6 に示したように、405 nm の主発光ピークのほかに 440 nm 付近に副発光ピークがあり、これはけい光体の液体窒素温度まで冷却して発光スペクトルを測定することにより判明した。

なお測定に供した試料は SrHPO_4 , SrCO_3 および Eu_2O_3 の混合体を、 $1,250^\circ\text{C}$ で水素を 5 vol % 含有する窒素ふんい気中で 2 時間焼成したものを粉砕し、400 メッシュふるいを通したものである。

4.2 $(\text{Sr} \cdot \text{Mg})_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$

図 4.7 に $(\text{Sr}_x\text{Mg}_y\text{Eu}_z)_2\text{P}_2\text{O}_7$ において $z=0.02$ に一定にしたときの、 x, y の変化と同じ強度の 254 nm 紫外線で励起したときの発光スペクトルの関係を示した。図よりわかるように x が増加するにつれて 395 nm の主発光ピークが弱くなり、420 nm の副発光ピークが強くなることがわかり、 $x+y+z=0.99$ とした場合 $x=0.38$ 付近に 395 nm の発光ピークが最も強くなる点が存在していることがわかる。副発光ピークが現われる原因を究明するために発光ピーク強度と X 線回折線の強度を測定した結果、副発光ピークは $\alpha\text{-Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7$ が存在しているためであることが判明した。この様子を図 4.8 に示した。な

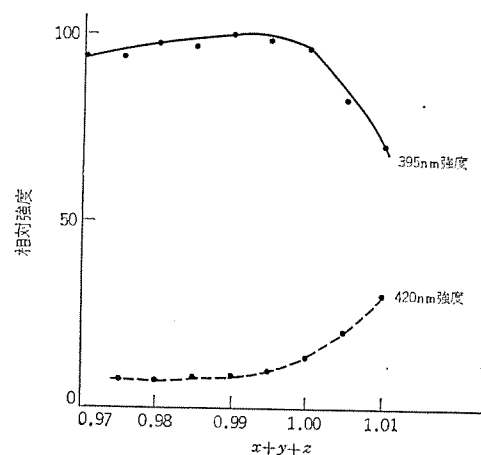


図 4.9 $(x\text{Sr} \cdot y\text{Mg} \cdot z\text{Eu})_2\text{P}_2\text{O}_7$, $x+y+z$ と発光強度 (254 nm 励起, $x/y=4/6$, $z=0.02$)
 $(x\text{Sr} \cdot y\text{Mg} \cdot z\text{Eu})_2\text{P}_2\text{O}_7$, $x+y+z$ and intensity of emission (254 nm excited, $x/y=4/6$, $z=0.02$).

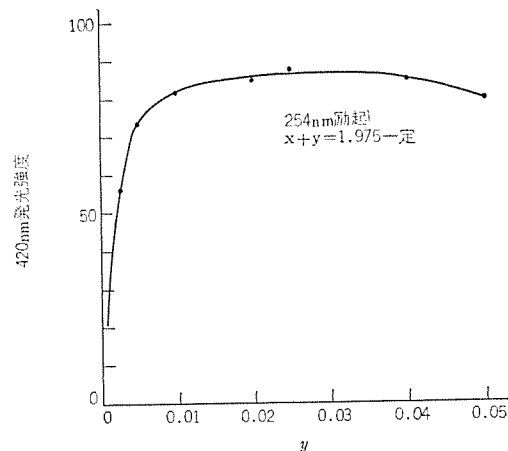


図 4.10 $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : y\text{Eu}$, y と 420 nm の発光強度 (254 nm 励起, $x+y=1.975$ 一定)
 $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : y\text{Eu}$, y and intensity of 420 nm emission (254 nm excited, $x+y=1.975$ constant).

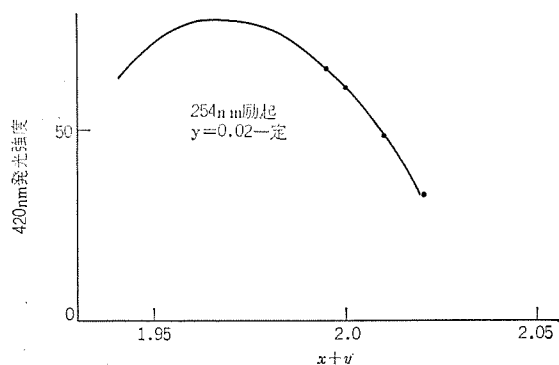


図 4.11 $\text{Sr}_x\text{P}_2\text{O}_7 : y\text{Eu}$, $x+y$ と 420 nm の発光強度 (254 nm 励起, $y=0.02$ 一定)
 $\text{Sr}_x\text{P}_2\text{O}_7 : y\text{Eu}$, $x+y$ and intensity of 420 nm emission (254 nm excited, $y=0.02$ constant).

お X 線回折には X 線として $\text{CuK}\alpha$ 線を使用し, $2\theta=29.1^\circ$ の ($\text{Sr}_{0.39}\text{Mg}_{0.59}$) $_2\text{P}_2\text{O}_7 : 0.02\text{Eu}$ の特長線と, $2\theta=26.2^\circ$ の $\text{Sr}_{1.905}\text{P}_2\text{O}_7 : 0.02\text{Eu}$ の特長線について測定した。

図 4.9 は $x+y+z$ と発光強度の関係を示したもので, $x/y=4/6$, $z=0.02$ 一定とし $x+y+z$ と発光強度の関係を示してある。図より 395 nm の発光強度が最も強くなるのは $x+y+z$ が 0.99 付近であり, それ以上になると 395 nm の強度が減少し, 420 nm の強度が強くなることわかる。以上の測定に供した試料は SrHPO_4 , MgHPO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ および Eu_2O_3 の混合体を 900°C で 1 時間, 空气中で焼成し, これを粉砕し, 水素を 5 vol % 含む窒素ふんい気中で $1,150^\circ\text{C}$ で 2 時間焼成し, 400 メッシュのふるいを通して作成した。

4.3 $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$

図 4.10 は $\text{Sr}_x\text{P}_2\text{O}_7 : y\text{Eu}$ において, $x+y=1.965$ として 420 nm の発光ピーク強度と y の関係を示したもので, 図 4.11 は, $y=0.02$ 一定とし $x+y$ と 420 nm の発光ピーク強度の関係を示したものである。測定に使用した試料は SrHPO_4 , SrCO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ および Eu_2O_3 の混合体を, 水素 5 vol % を含む窒素ふんい気中で $1,300^\circ\text{C}$ で 3 時間焼成し, 粉砕し 400 メッシュのふるいを通して作成した。図より $x+y=1.975$, $y=0.02$ のときに, 最高の発光強度を示すことがわかる。

4.4 $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$, $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$, $(\text{SrMg})_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$ についての複写スピードの比較

4.3 節で説明した 3 種類の けい光体を最高の発光強度を示すような条件で製造し, これを けい光ランプにし, 実際の複写機に組入れて, 図 4.1 に示した感光紙のうちの 2 種類の感光紙 A, B について, 複写スピードを比較し表 4.1 のようになった。表 4.1 は, $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ を使用したものの複写スピードを 100 とした相対値で

表 4.1 複写スピードの比較
 Comparison of copying speeds.

使用したけい光体	感光紙 A	感光紙 B
$\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ (従来品)	100	100
$\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$	87	125
$(\text{SrMg})_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$	163	126

示した。表より $(\text{SrMg})_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$ けい光体を使用した場合は, A, B いずれの感光紙を使用しても複写スピードは改良され, $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7 : \text{Eu}$ を使用する場合は, B 感光紙を使用することにより複写スピードが改良されることがわかる。

5. む す び

健康けい光ランプ, 捕虫用けい光ランプおよび複写機用けい光ランプ等に使用されるけい光体について, 従来より使用されているけい光体と最近開発されたけい光体についての特性を紹介したが, 紫外線を放射するけい光体は一般に劣化がはげしいので, この点の改良が必要であり, さらに, けい光ランプはますます高出力形になる傾向にあるので, 温度特性の良いけい光体の開発に努力するとともに, 新応用面の開発にも努力を注いでいくつもりである。

参 考 文 献

- (1) H. C. Froelick : Trans. Electrochem. Soc., 92, 241~261 (1947)
- (2) R. Nagy, et al. : J. Electrochem. Soc., 97, 29~32 (1950)
- (3) 太田, 山崎 : 特公, 昭 45-14895
- (4) 小山 : 照明学会誌, 53, 3, 22 (昭 44)
- (5) R. H. Clapp. and R. J. Ginther : J. Opt. Soc. Am., 37, 355
- (6) H. A. Klasens, et al. : J. Electrochem. Soc., 104, 93(1957)
- (7) Kenzo Awazu and Katsutoshi Muto : J. Electrochem., 116, 2 (1969)
- (8) R. C. Ropp : J. Electrochem. Soc., 115, 531
- (9) チャールズ・エフ・シエノット : 特公, 昭 45-2293
- (10) 栗津, 松永 : 特公, 昭 43-19858
- (11) U. P. Nazarova : Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser., 25, 323 (1961)
- (12) W. L. Wanmaker and J. W. ter Vrugt : Philips Res. Repts, 22, 355~366 (1967)
- (13) W. L. Wanmaker and J. W. ter Vrugt : Philips Res. Repts, 23, 362~366 (1968)

メタルハライドランプ“三菱 BOC ランプ”の特性改善

竹田 俊幸*・土橋 理博**・若林 正雄**・風間 誠**

“Mitsubishi BOC Lamps” —Improved Characteristics of Metal Halide Lamps

Ofuna Works Toshiyuki TAKEDA・Michihiro TSUCHIHASHI・Masao WAKABAYASHI・Makoto KAZAMA

When a good number of halogen particles are introduced into a discharge path of the metal halide lamp, the arc operating in vertical position tends to become unstable. If a small, simple electromagnet is placed near the lower end of the arc tube in the center bulb, the arc is stabilized by the magnetic force, thus enabling the lamps to have steady characteristics and improved color rendition. However, there are still many drawbacks with the lamp and changeable lamp voltage is the most noticeable among the characteristics of essential irregularity. By the use of properly designed leakage ballasts, the lamp wattage is made to remain almost the same. The characteristics of BOC lamps—best output and color—are thus improved. The article describes the principle of the above achievement and the improved characteristics of the BOC lamp.

1. ま え が き

高圧水銀 アーク 内に、種々の金属蒸気を導入することにより、高圧水銀 ランプの発光効率と演色性を著しく改善した新しい光源“メタルハライドランプ”は、その特長を十分生かして、かなり使われるようになり、新しい照明の分野を確立しつつある。しかし、メタルハライドランプは、光源として好ましい条件を十分備えていて、将来最も有望な光源の一つであると考えられているが、実用的にはまだ幾つかの特性が不十分であり、解決しなければならない問題が残されている。メタルハライドランプの諸特性を、高圧水銀 ランプの特性と比較してみると、光源として重要な特性である発光効率および演色性は、きわめてすぐれているが、ランプ始動、放電の安定性、電気的・光学的ばらつき、寿命中の諸特性の変化および寿命などの点で不十分な部分がある。

これらの不十分な部分を改善する試みが、種々なされているが、そのうち、ランプ始動に対しては、二次電圧を高くしたメタルハライドランプ専用安定器を使用することによって解決している^{(1)~(3)}。その他の特性改善に対しても、有効な試みがなされている⁽⁴⁾。

ここでは、当社メタルハライドランプ“三菱 BOC ランプ (Best Output & Color)”についての最近の研究成果である、放電の不安定性、ばらつきおよび諸特性の変化の改良など、上記の問題の解決の方法、原

理およびランプの特性などについて述べる。

2. メタルハライドランプの放電の不安定性の改良

メタルハライドランプの放電の不安定性は、ランプを鉛直または鉛直に近い点灯状態で点灯した場合に起こる現象であり、著しいときには、被照体が動いて見えるために、実用上問題である。

2.1 鉛直点灯時のアークの状態

発光効率が高圧水銀ランプの1.5倍に近い、高効率メタルハライドランプに、一般的に用いられている添加金属は、ナトリウム (Na)、タリウム (Tl)、インジウム (In)、トリウム (Th)、スカンジウム (Sc) およびジスプロシウム (Dy) などであり、これらの金属の中から、ヨウ化物の形で、一種または数種を組合せて用いている。組成としては、NaI-TlI-InI₃-Hg、TlI-Hg、NaI-ScI₃-ThI₄-Hg および DyI₃-TlI-InI₃-Hg などであり、各添加金属は、数千度という高温の高圧水銀アーク内で励起され、各金属固有のスペクトルを放射し、ランプの発光効率の向上と、演色性の改善に寄与している。

これらの組成を、上記の添加金属の中で、金属として最も活性なアルカリ金属の一つである Na に着目して分類すると、発光管内添加封入物の一組成として、Na を含む組成と、含まない組成に大別できる。上記添加金属の電離電圧は、表 2.1 に示されているように、Na が特別低い値を持っているために、Na の働きは、それ自身のス

表 2.1 金属およびヨウ化物の特性
Data for metals and metal iodides.

封入元素	電離電圧 eV	励起電圧 eV	主スペクトル 波長 nm	ヨウ化物		
				化学式	融点 °C	沸点 °C
Dy	6.82	>2.9	多数	DyI ₃	955	1,317
Sc	6.56	>3.1	多数	ScI ₃	945	900 (昇華)
Th	—	>3.1	多数	ThI ₄	566	837
Tl	6.07	3.3	535.0	TlI	440	824
In	5.76	3.0	410.1 451.1	InI ₃	210	500
Na	5.14	2.1	588.9 589.5	NaI	651	1,300

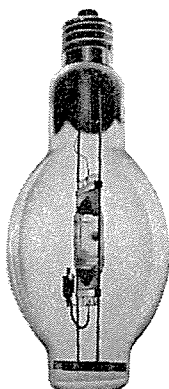


図 1.1 三菱 BOC ランプの構造
Construction of the Mitsubishi BOC lamp.

ペクトル、つまり、波長 588.9/9.5 nm の光を強力に放射して、発光効率および演色性の向上に寄与すると同時に、電離が容易に行なわれるために、アークを安定化する働きも同時にしている。しかし、発光管内添加封入物の一組成として、ヨウ化ナトリウム (NaI) を含むメタルハライドランプでは、寿命中に点灯時間とともに、発光管内から石英壁を通過して、Na が発光管外に侵出してくる現象、いわゆる Na 消失現象が起こる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。この現象が起こると、それまでは Na と結合していたヨウ素 (I) は、その結合相手を失い、その結果発光管内に、遊離した形のヨウ素が発生する。点灯時間が進むにともない、発光管内の遊離ヨウ素量が多くなると、アークの径が細くなり、放電路中の電気伝導度が低下し、ランプ電圧が上昇する。それと同時に、それまでは安定状態にあったアークが不安定になり、アークのゆれが発生する⁽⁶⁾⁽⁷⁾ (以下アークのスネイクと呼ぶ)。このアークのスネイクが発生すると、被照体もそれにつれて動いているように見えるばかりでなく、ランプ電圧、ランプ電流およびランプ電力なども、同時に変化し、さらに Na の消失が多くなると、ランプ光色が変化したり、演色性が低下することがしばしばあるために、実用上好ましくない現象である。

一方、当社 BOC ランプの発光管内添加封入物の組成は、 $\text{DyI}_3\text{-TlI-InI}_3\text{-Hg}$ であり、NaI を添加封入物の一組成として含んでいないために、ランプ点灯中に発生する Na 消失の懸念はないが、NaI が含まれていないために、NaI を含むメタルハライドランプにくらべ、アークが不安定になりやすい。この添加封入物組成を有するランプのアークの不安定性は、発光管内封入物の蒸気圧に密接な関係があり、発光管内最冷部の温度が低く、封入金属ヨウ化物の蒸気圧が比較的低いときは、アークの径は太く安定していて、スネイクは発生しないが、封入金属ヨウ化物のうち、比較的低蒸気圧の低いヨウ化ジスロジウム (DyI_3) の蒸発量が十分でなく、蒸気圧の比較的高いヨウ化タリウム (TlI) とヨウ化インジウム (InI_3) がともに蒸発し発光するために、発光スペクトルが、Tl の 535.0 nm と In の 451.1 nm おもに集中し、ランプの光色はかすかに青色味を帯びた緑白色になる。発光管内最冷部の温度が上がるにともない、封入金属ヨウ化物の蒸気圧が上がり、 DyI_3 の蒸発量が増加し、ランプ光色が徐々に緑白色から白色に近づき、同時に演色性が急速に向上する。しかし、好ましい光色と高い演色性が得られる程度、つまり、発光管内金属ヨウ化物の蒸気圧を上げ、ランプ光色が白色で、しかも CIE による平均演色評価数 R_a が、ほぼ 80 を越えるようなランプデザインにすると、アークの安定性がぐずれ、不安定になり、スネイクが発生する。このような現象は、NaI を含まない別の添加物組成を有するメタルハライドランプにおいても、しばしば遭遇するところである。したがって、 R_a がほぼ 80 以上の値を有するランプを得るためには、何らかのスネイク防止策を施す必要がある。スネイク防止策を施すことにより、ランプの特性をさらに上げることが可能であり、 R_a が 90 を越える値にまで上げることができ、発光効率および演色性がともにきわめてすぐれたランプが得られる。

図 2.1 に、発光管内封入物組成が、 $\text{DyI}_3\text{-TlI-InI}_3\text{-Hg}$ であるメタルハライドランプの点灯中のアークの状態を示す。(a) は放電が安定なときの状態であり、アークは太く、発光はほぼ管全体に広がって見え、安定している。(b) は同じランプのアークが、点灯中にスネイクしている瞬間の状態を示す。アークの発光部分は二重層になっていて、中央部の輝度が高く、白く輝いている部分と、それを取り囲んで赤く発光している部分とからなっている。中央高輝度部で、発光管上側部分は、アークの径が太く、下側部分では、上側部分よりアークの径

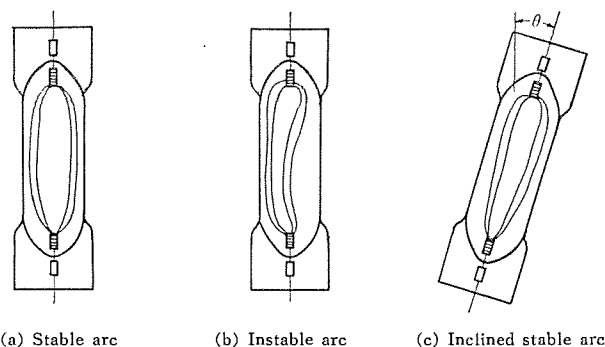


図 2.1 アークの状態
Arc configuration of lamps.

が細くなっている。アークのスネイクは、発光管軸を中心にして、アークが左右に周期的に振動する現象であり、周期は約 1 秒で、最大振幅の位置は、発光管中央部より下側にある。

アークの安定性とアークの形状とは、密接な関係があり、安定アークから不安定アークに近づくにしたがい、アークの径が徐々に細くなり、同時に、発光管上側部分と下側部分のアーク径の差も大きくなり、下側部分のアーク径のほうが細くなる。そして、ある状態を境として、スネイクが発生する。

高圧水銀アーク内にハロゲンが導入されると、その導入量によりアークの状態が変わり、量が多くなるにしたがってアークの径が細くなっていく。これは一般に、ハロゲンは電子親和力が大きいため、電子が付着して陰イオンになる傾向が強く、そのため電子の累積電離が阻害される結果、径方向への電子の拡散が防げられることが原因していると思われる。その結果、発光管軸から管壁にいたる径方向のアーク温度分布が、アーク内外の境界で変化が大きくなり、高温低ガス密度のアーク内から、低温高ガス密度の周辺部へのガス密度の変化が大きく、そのために、高温で高速の低密度ガスの流れているアークは、周辺部から力学的影響を受けやすい状態にあり、不安定になりやすいと考えられる。

2.2 アークに作用する力

不安定アークの改善方法を考える前に、まずスネイクしているアークに作用する力の大きさを明らかにする。

鉛直点灯状態でスネイクしているアークを、傾けてゆくと、アークのスネイクが止まり、安定したアークになるのが、実験的に確かめられる。今、図 2.1 (c) に示すように、ランプを傾けることにより、スネイクしているアークを傾け、鉛直に対して約 25° 傾けたときに、アークのスネイクは完全に止まり、安定したアークが得られるので、このときにアークに作用する力を算出する。鉛直状態で点灯しているアークを傾けると、アークに浮力が作用する。この浮力は、アーク内外のガス密度の差によって生じるので、次式で表わされる。

$$F_{\theta} = \left\{ \pi \left(\frac{r}{2} \right)^2 \rho_d g - \pi \left(\frac{r}{2} \right)^2 \rho_a g \right\} \sin \theta \\ = \pi \left(\frac{r}{2} \right)^2 g (\rho_d - \rho_a) \sin \theta \quad (\text{dyne/cm}) \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

ここで、 F_{θ} は鉛直に対してアークを θ° 傾けたときにアークに作用する浮力のアーク軸に対する垂直成分、 r はアークの径、 ρ_d はアーク周辺部のガス密度、 ρ_a はアーク内のガス密度、 g は重力の加速度をそれぞれ表わす。アーク内の温度は周辺部分の温度にくらべ、著しく高いので、 ρ_a は ρ_d に比較しきわめて小さな値になる。 ρ_m を発光管内の平均ガス密度とすると、 ρ_a , ρ_d , ρ_m の関係は近似的に次式で表

わすことができる。

$$\rho_a \ll \rho_d \approx \rho_m \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

今、電極間距離 1 cm 当たりの水銀量を $m(\text{mg})$ とし、発光管内径を $d(\text{cm})$ とすると ρ_m は次式となる。

$$\rho_m = \frac{m}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot 10^3} \quad (\text{mg/cm}^3) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、式 (2.1) に式 (2.2) および式 (2.3) を代入すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} F_\theta &\approx \pi \left(\frac{r}{2}\right)^2 \rho_m g \sin \theta \\ &= \pi \left(\frac{r}{2}\right)^2 g \frac{m}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 10^3} \sin \theta \\ &= m \left(\frac{r}{d}\right)^2 \frac{g}{10^3} \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

点灯状態のアークの観察より、アークの径 r と発光管内径 d の間に次式の関係があるとする。

$$r \approx 0.33d \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

式 (2.4) に式 (2.5) および $g=980$ を代入して次式をうる。

$$\begin{aligned} F_\theta &\approx m \left(\frac{0.33d}{d}\right)^2 \cdot \frac{980}{10^3} \sin \theta \\ &\approx \frac{m}{10} \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

アークを鉛直に対して 25° 傾けたときに、アークのスネイクが止まるので、そのときアークに作用している力は、式 (2.6) に $\theta=25^\circ$ および発光管内封入水銀量 m の値を代入して得られる。

$$F_{25^\circ} \approx 3 \times 10^{-1} \quad \text{dyne/cm}$$

したがって、アークに 10^{-1} dyne/cm のオーダーの力が作用することにより、アークのスネイクが防止され、安定したアークになったと考えられる。実際には、上記 m には、添加金属ヨウ化物の蒸気になって発光管内を浮遊している部分を、含ませなければならないが、それらの値は、水銀の蒸気密度に比較して、きわめて小さいと考えられるのと、ここでは概算であり、オーダー程度がわかればよいので、無視して計算している。

2.3 アークのスネイクの防止

上記のアークのスネイクに関する考察、つまりスネイクはアークの下側部分で発生し、そのスネイクを発生させる力は、発光管軸に対して垂直に 10^{-1} dyne/cm 程度あることから、スネイクしているアークを安定化するには、アークの下側部分に、何らかの方法で、 10^{-1} dyne/cm のオーダーの力を、アーク軸に垂直に作用させればよいことがわかる。この程度の力を得る方法は、種々考えられるが、著者らは電磁力を利用することにより、きわめて簡単にアークのスネイクを防止することができ、安定したアークが得られた。

今、電流 $I_L(\text{A})$ が流れている単位長さの導体を、電流の流れる方向に対して、直交する磁束密度 $G(\text{gauss})$ の磁界内に置いた場合を考えると、この導体には、フレミングの法則による横方向の電磁力が作用し、その力 F は次式によって表わされる。

$$F = \frac{GI_L}{10} \quad \text{dyne/cm} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

アークは一種の導体であるから、式 (2.7) の I_L にランプ電流を、 F に先に 2.2 節で求めた $F_\theta = 3 \times 10^{-1} \text{ dyne/cm}$ を代入して G を求めると、400 W メタルハライドランプの場合は、 $G=0.87 (\text{gauss})$ となる。

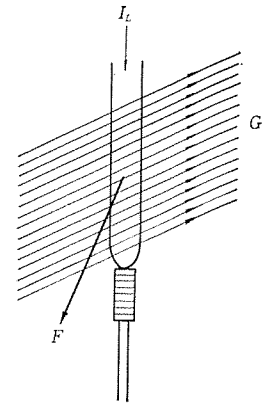


図 2.2 アークに作用する力
Electromagnetic force making the arc stable.

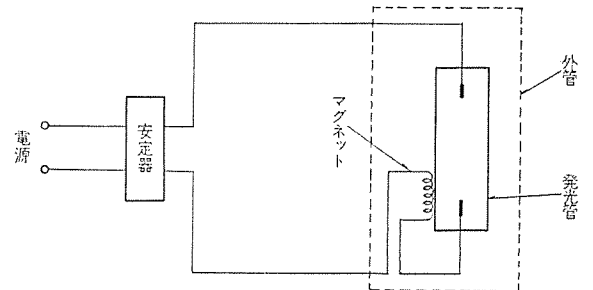


図 2.3 結線図
Connection diagram of arc stabilization.

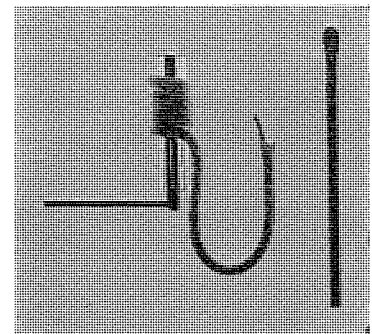


図 2.4 マグネットの構造
Construction of the magnet.

したがって、1 gauss のオーダーの磁束密度を有する磁界を、発光管下側のスネイクしている部分のアークに、図 2.2 に示すように、作用させればよく、その結果、磁界とアークを流れる電流によって生ずる磁界との相互作用により電磁力が発生し、この力がアークに作用する。このときにアークに作用する力は、ほぼ 10^{-1} dyne/cm のオーダーの力であり、この力の作用により、アークのスネイクは完全に止まり安定する。

この磁界を得る方法は種々あるが、著者らは小形でしかも構造が簡単なマグネットを用いて達成した。つまり図 2.3 に示すように、マグネットを発光管と直列に接続し、ランプ電流をコイルに流すことにより、必要な磁界を得る方法である。磁束密度はコイルの巻き数を変えることにより自由に変えることができ、必要な強さを有する磁界を得ることができる。図 2.4 はアーク安定化に使用するマグネットを示し、図 1.1 はこのマグネットを、発光管端部に取り付けた 400 W BOC ランプを示す。図から明らかなように、マグネットはきわめて簡単な構造であるうえに、小形であるため、ランプ外管内に容易に取り付けることができる。

この小形マグネットを取り付けることにより、メタルハライドランプのアークのスネイクを完全に防止することができ、その結果、ランプの特性をいっそう向上させることが可能となった。

このスネイク防止用マグネットは、当社 BOC ランプのように、発光管内添加封入物の一組成として NaI を含まない種々の組成を有するメタルハライドランプばかりでなく、NaI を含むメタルハライドランプに対しても有効であり、スネイク防止用マグネットを使用することにより、ランプ寿命中に発生する Na 消失現象にともなう遊離ヨウ素の多量の発生によるアークのスネイクを防止でき、寿命中長時間にわたって、安定したアークが得られる。

3. メタルハライドランプのばらつきおよび特性変化の改良

メタルハライドランプは、発光管内にアルゴン (Ar) と水銀 (Hg) のみを封入した高圧水銀ランプと異なり、発光管内に Ar と Hg のほかに、種々の金属ヨウ化物が、添加封入されていて、それらの封入量および発光管最冷部の温度を、ランプ点灯中適正に保つことにより、必要量の金属ヨウ化物を蒸発させ、高圧水銀アーク内に、それらの金属蒸気を導入することにより、高い効率と良好な演色性を得ているが、ランプの電気的・光学的特性に影響をおよぼす因子が多いために、それらの諸特性がばらつきやすく、特にランプ電圧のばらつきが、高圧水銀ランプにくらべて大きく、このばらつきをランプの初期ばかりでなく、寿命中も含めて、高圧水銀ランプなみに押えることは困難である。ランプ電圧が変化すると、それによってランプ電力も変化する。ランプ電力が減少した場合は、発光管内の最冷部温度が低下し、管内の金属ヨウ化物の蒸気圧が下がり、その結果ランプ光色に変化し、演色性が低下する。また反対に、ランプ電力が上昇すると、発光管内の最冷部の温度が上昇し、管内の金属ヨウ化物の蒸気圧が上がり、その結果ランプ光色に変化し、演色性が向上する。そのうえ、ランプ電力の変化にともない、ランプ電圧も同時に変化するために、特性の変化を増長する結果になり、諸特性のばらつきが大きくなる。

したがって、ランプの諸特性のばらつきを、極力小さく押えるためには、ランプ電圧が大幅に変化しても、ランプ電力の変化が少ないような回路条件で点灯することが望ましい。

3.1 安定器の回路条件の検討

放電灯のランプ電力 W_L は、次式によって与えられる。

$$W_L = V_L I_L \cos \phi \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、 V_L はランプ電圧を、 I_L はランプ電流を、 $\cos \phi$ はランプ力率をそれぞれ表わす。式 (3.1) でランプ電圧 V_L が大幅に変化した場合に、ランプ電力 W_L を一定に保つには、ランプ電流 I_L またはランプ力率 $\cos \phi$ を大幅に逆比例的に変化させなければならない。 $\cos \phi$ を大きく変化させることは大変困難であるために、 I_L を V_L の変化に見合った値だけ、逆比例的に変化させなければならない。

一般高圧水銀ランプ用安定器には、大別して定電力形安定器と、チョーク形およびリーケージ形安定器とがある。定電力形安定器はむしろ定電流形安定器と呼ばれるべき特性を有し、ランプ電圧の変化に対して、電流変化が小さいために、ランプ電圧の変化が、直接比例的に、ランプ電力の大幅な変化になって現われるが、チョーク形およびリーケージ形安定器は、ランプ電圧の変化にともなう電流変化が大きいので、適当な回路条件を選ぶことにより、ランプ電圧の変化に見合う値だけ、逆比例的にランプ電流を変化させ、ランプ電力をほぼ一定に保つことができると考えられる。

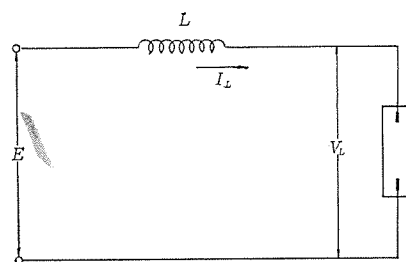


図 3.1 回路図
Circuit diagram for calculation.

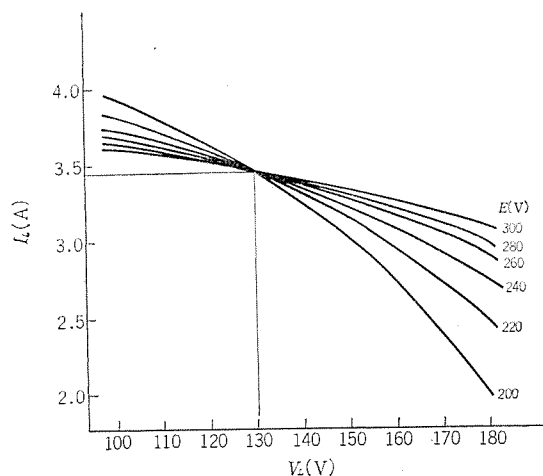


図 3.2 V_L と I_L の関係
Relation between V_L and I_L with E as a parameter.

大体の傾向をつかむために、図 3.1 に示す点灯回路の電圧 E とランプ電圧 V_L を、大幅に変化した場合のランプ電力 W_L を算出してみる。チョークのインダクタンスを L 、回路を流れるランプ電流を I_L 、周波数を ω とすると、図 3.1 の回路に対して次式が成り立つ。

$$E^2 = V_L^2 + I_L^2 (\omega L)^2 \dots\dots\dots (3.2)$$

式 (3.2) を用いて、 E を 200 V から 20 V おきに 300 V まで変化させ、そのおのおのの値に対して、400 W メタルハライドランプの定格であるランプ電圧 130 V を V_L に、ランプ電流 3.45 A を I_L に代入して、 ωL の値を求めておき、次に求めた ωL とそのおのおのの値に対応する E の値を式 (3.2) に代入し、 V_L を 100 V から 10 V おきに 180 V まで変化させ、そのおのおのの値に対応する I_L を求める。求めた I_L と V_L および E の関係を図 3.2 に示す。図 3.2 から、 E が低いときは、 V_L の大幅な変化に対して I_L も大きく変化するが、 E が高くなるにしたがって I_L の変化が少なくなることがわかる。

図 3.3 には、うえの計算で求めた相対対応する V_L と I_L の値を式 (3.1) に代入して求めた W_L の値を示す。ただし $\cos \phi$ は一定の値を用いた。図 3.3 からわかるように、安定器の回路条件のきめ方により、同じ V_L の変化に対して、 W_L の変化が異なる。すなわち、予想されるランプ電圧の変化に対して、ランプ電力の変化が最低になるような適当な電圧 E が存在する。

これらの特性を利用して、ランプ電圧が大幅に変化した場合でも、ランプ電力の変化が少ない安定器を得るには、リーケージ形安定器の二次電圧を適当な値に選ぶことにより、ランプ電圧の変化に見合った値だけランプ電流を変化させ、ランプ電力をほぼ一定に保つようにすればよいことが理解される。

図 3.4 は上述の検討により、二次電圧を 260 V に設定したリーケージ形安定器で、ランプ電圧を大幅に変化させた実験用ランプを点灯

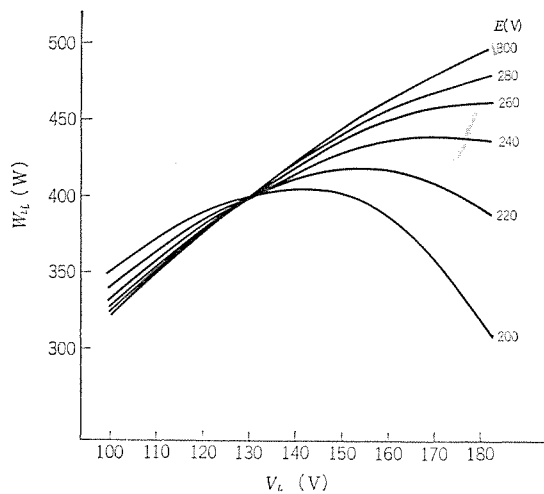


図 3.3 V_L の W_L の関係
Relation between V_L and W_L , with E as a parameter.

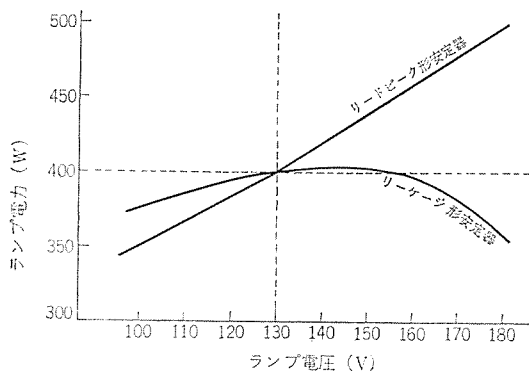


図 3.4 ランプ電圧とランプ電力の関係
Relation between lamp voltage and lamp wattage
in operation with different ballasts.

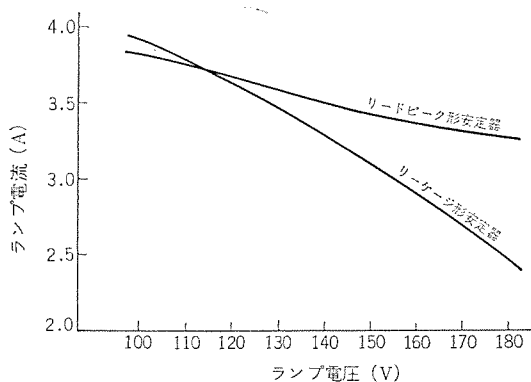


図 3.5 ランプ電圧とランプ電流の関係
Relation between lamp voltage and lamp current
in operation with different ballasts.

した場合のランプ電力の変化を、同じランプを、一般メタルハライドランプ用リードピーク形安定器(定電力形安定器)で点灯した場合と比較して示している。リーケージ形安定器によるランプ電力の変化は、大幅なランプ電圧の変化に対して、図 3.5 に示すようにランプ電流が、逆比例的に大きく変化する結果、なだらかなとつ(凸)形となり、ランプ電力の変化が小さいことを示しているが、リードピーク形安定器によるランプ電力の変化は、ランプ電流の変化が比較的小さいために、ランプ電圧の変化に比例して、ランプ電力が直線的に変化する特性を示している。

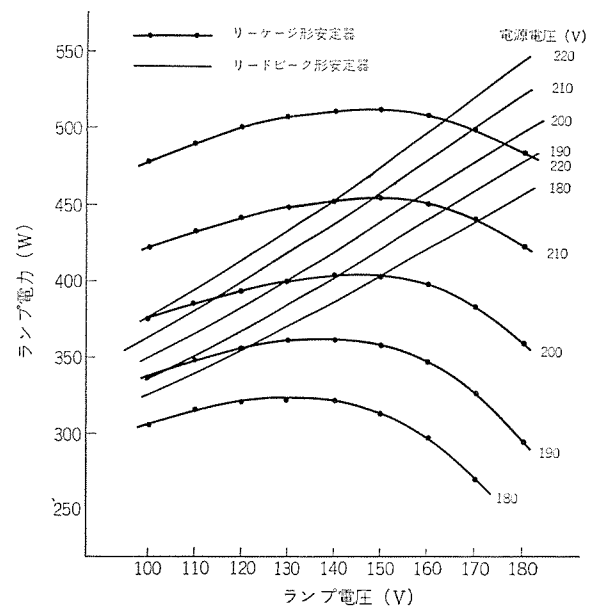


図 3.6 ランプ電圧とランプ電力の関係
Relation between lamp voltage and lamp wattage
as a function of different line voltages in operation
with different ballast.

3.2 安定器による点灯特性比較

現在使用されているメタルハライドランプ用安定器は、大別すると、リードピーク形安定器とリーケージ形安定器の二種類あり、それぞれ長短を有している。一般には、リードピーク形安定器は、ほぼ定電流回路であるために、ランプ電圧の変化によるランプ電力の変化が大きく、リーケージ形安定器は、電源電圧変動の影響を大きく受けるなどの欠点があるとされている。

図 3.6 には、ランプ電圧が大幅に変化するように、特別に作られた実験用の $DyI_3-TII-InI_3-Hg$ の組成を有する 400 W メタルハライドランプを、電気炉内で点灯し、炉内の温度を変化して、発光管内の添加金属ヨウ化物の蒸気圧を変化させることにより、ランプ電圧を任意に変化させられるようにして、定格電源電圧が 200 V の 400 W 用リードピーク形安定器と定格電源電圧が 200 V、二次電圧が 3.1 節で述べた 260 V の 400 W 用リーケージ形安定器で、このランプを点灯し、ランプ電圧と電源電圧を変化させた場合のランプ電力の変化のようすが示されている。

図 3.6 からわかるように、同じ電源電圧の場合で比較すると、前述のように、リーケージ形安定器のほうが、ランプ電圧の変化に対するランプ電力の変化が小さいが、電源電圧の変動に対しては、リードピーク形安定器のほうが、影響が少ない。

しかし、メタルハライドランプでは、ランプ電力が変化すると、ランプ電圧も同時に変化し、ランプ電力が増加するとランプ電圧が上昇する。したがって、図 3.6 から直接どちらの安定器で点灯するのが有利であるかは決定できない。図 3.6 から、電源電圧とランプ電圧が定められた場合に、どちらの安定器で点灯するのが有利であるかを知るために求めたのが、図 3.7 である。図中曲線 A はリーケージ形安定器による定格電力線であり、この曲線上のすべての点で、ランプ電力 400 W が得られる。曲線 B はリードピーク形安定器による定格電力線であり、この曲線上のすべての点で、ランプ電力 400 W が得られる。曲線 C は両安定器による等電力線であり、この曲線上のすべての点で、リーケージ形安定器で点灯しても、リードピーク形安定器で点灯しても、同じランプ電力が得られ、電源電圧が 200 V 以上の領域

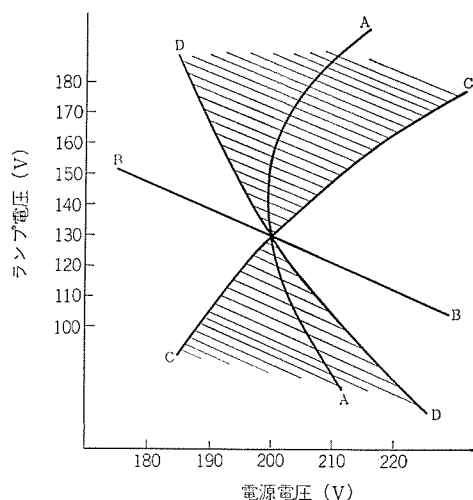


図 3.7 電源電圧とランプ電圧に対する安定器の有利領域
Suitable area of different ballasts concerning line voltage and lamp voltage.

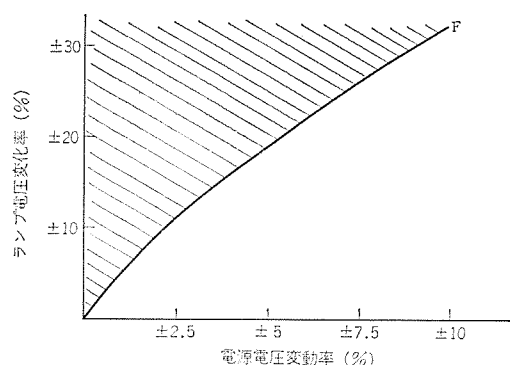


図 3.8 電源電圧変動率とランプ電圧変化率に対する安定器の有利領域
Suitable area of different ballasts concerning line voltage variation and lamp voltage variation.

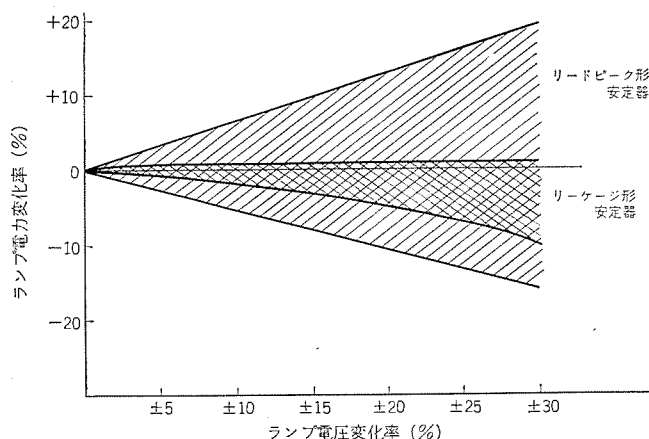


図 3.9 ランプ電圧変化率に対するランプ電力変化率比較
Comparison of lamp wattage variation concerning lamp voltage variation in operation with different ballasts.

では定格電力以上のランプ電力となり、電源電圧に比例してランプ電力が増加し、電源電圧が 200 V 以下の領域では定格電力以下のランプ電力となり、電源電圧に比例してランプ電力が減少する。曲線 D は等隔線であり、この曲線上のすべての点で、両安定器によるランプ電力の定格電力からの隔りが等しくなる点を示し、電源電圧が 200 V 以上の領域では、リーケージ形安定器では定格電力以上のランプ電力を示し、リードピーク形安定器では定格電力以下のランプ電力を示

す、また電源電圧が 200 V 以下の領域では、リーケージ形安定器では定格電力以下のランプ電力を示し、リードピーク形安定器では定格電力以上のランプ電力を示している。

ここで、有利領域を、その領域内で点灯する場合は、その安定器で点灯したほうが、他の安定器で点灯する場合より、より定格に近いランプ電力になる領域を示すと定義すると、図 3.7 において、斜線を施してある部分が、リーケージ形安定器で点灯したほうが有利である領域を示し、斜線を施してない部分が、リードピーク形安定器で点灯したほうが有利である領域を示す。図 3.7 より、ランプ電圧と電源電圧の変動値が与えられれば、どちらの安定器で点灯したほうが、より定格に近いランプ電力を示して点灯するかを知ることができる。

図 3.7 より、電源電圧 200 V を中心とした電源電圧変動率と、ランプ電圧 130 V を中心としたランプ電圧変化率に対する安定器の有利領域を図 3.8 に示す。図中曲線 F は等有利線であり、この曲線上のすべての点で、両安定器による有利領域が等しく、曲線 F より上側の斜線が施してある部分は、リーケージ形安定器で点灯したほうが有利である領域を示し、曲線 F より下側の斜線が施してない部分は、リードピーク形安定器で点灯したほうが有利である領域を示す。

図 3.8 から、一般的に、ランプ電圧の変化率が小さく、電源電圧変動率が大きい場合は、リードピーク形安定器で点灯するほうが有利であり、ランプ電圧変化率が大きくて、電源電圧変動率が小さい場合は、リーケージ形安定器で点灯するほうが有利であることがわかる。特に、電源電圧の変動がなく、一定不変である場合は、ランプ電圧変化率とランプ電力変化率との関係が、図 3.9 に示すようになる。図中右上がりの斜線を施した部分が、リードピーク形安定器を使用した場合の変化率を示し、右下がりの斜線を施した部分が、リーケージ形安定器を使用した場合の変化率を示す。したがって、リーケージ形安定器によるランプ電力の変化率が小さく、特にプラス側のランプ電力変化率がきわめて小さく、過負荷点灯になりにくいことがわかる。

しかし、実用的には電源電圧の変動があるうえに、さらにメタルハライドランプの諸特性は、ばらつきやすいので、それらの諸特性の変化状態を考慮し、さらに安定器の電源タップを適切に設けるなどして、電源電圧変動率が $\pm 5\%$ を越えない状態で、ランプを点灯できれば、リーケージ形安定器のほうが有利である。今後の改良により、特にランプ電圧の変化率が小さくなってくると、リードピーク形安定器の有用性が増してくる。

4. ランプの構造

鉛直点灯用メタルハライドランプでは、先に述べたように、アークのスネイクを防止し、安定したアークを得るために、発光管端部外側にマグネットを設置する必要がある、このマグネットはランプ点灯中必ず下側にくるようにしなければ、アークのスネイク防止効果が現れない。したがって、ランプ構造も、それに応じて定めなければならない。

アークが鉛直に対して 25° 以上傾くと、アークはスネイクせずに安定するので、スネイク防止用マグネットの必要はなくなる。水平点灯の場合は、アークは鉛直に対して 90° の傾きをなしているために、アークは安定状態にあり、マグネットを設ける必要はない。

両端部に主電極を備え、内部に DyI_3 , TiI , InI_3 , Hg および始動補助用 Ar を封入した石英製発光管は、硬質ガラス製外管内に、支持わくによって固定保持されている。発光管の両端部には、発光管内最冷部の温度を上げ、封入金属ヨウ化物の蒸気圧を高くして、高い

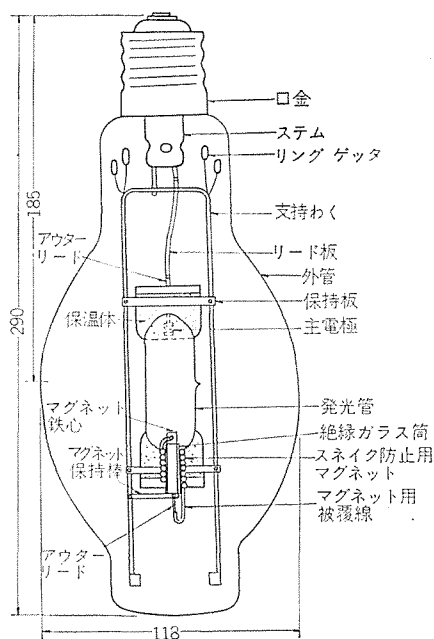


図 4.1 BOC ランプの構造 (鉛直口金上側)
Construction of the BOC lamp for vertical base up operation.

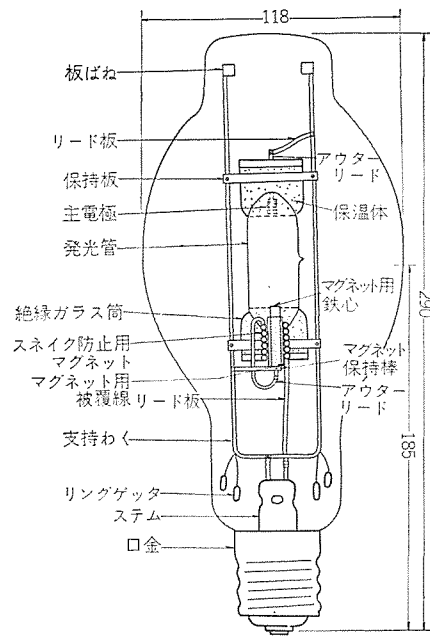


図 4.2 BOC ランプの構造 (鉛直口金下側)
Construction of the BOC lamp for vertical base down operation.

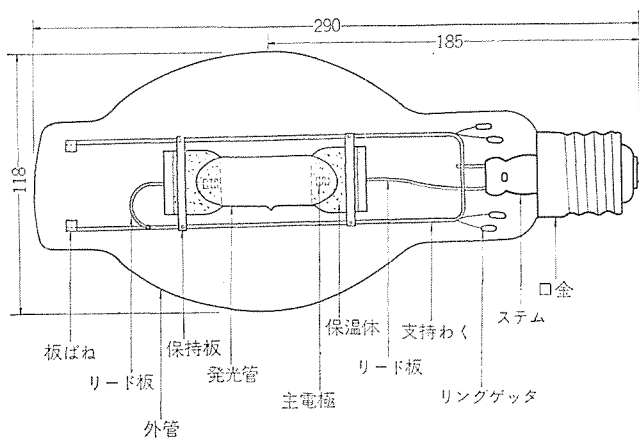


図 4.3 BOC ランプの構造 (水平口金横側)
Construction of the BOC lamp for horizontal operation.

発光効率と良好な演色性を得るために、耐熱性白色保温体が塗布されていて、さらに外管内を高真空に保ち、発光管からの熱伝導ロス無くするために、リングゲッターが備えられている。

また、3.1 節で述べたリーケージ形安定器は、ランプの始動を容易に、かつ確実にするために、パルス始動方式を採用しているので、一般に使われている始動補助電極を設けていない。そのために、補助電極が存在することによって、発光管端部に発生する直流電界の作用で、発光管端部封着部のクラックなどのおそれはない⁽⁸⁾。

図 4.1、4.2 および図 4.3 に、鉛直口金上側点灯用 (M 400-BOC-U)、鉛直口金下側点灯用 (M 400 BOC-D) および水平口金横側点灯用 (M 400 BOC-H) の BOC ランプの構造をそれぞれ示す。

5. 特 性

表 5.1 に当社 BOC ランプの特性を示す。

5.1 電気的特性

BOC ランプは、ランプ始動時に安定器内で発生するパルス電圧の作用で容易に始動し、約 3 分で安定する。安定点灯中は、リーケージ形安定器の特性が最高に発揮され、3.1 節で述べたように、ランプ電圧がほぼ一定に保たれる。そしてランプ寿命中に、たとえランプ電圧が上昇しても、ランプ電圧が増加しないために、ランプ電圧の上昇率は、比較的低い値に押えられる。そして、特に高過ぎるランプ電圧に対しては、ランプ電圧が徐々に低下する方向にあるために、過負荷点灯の心配がなく、長時間にわたって安定した特性を示す。

5.2 光学的特性

発光管内に DyI_3 、 TlI 、 InI_3 、 Hg を適量添加封入した当社 BOC ランプにおいては、おもに強力な Tl の発光により、発光効率の向上を計り、 Dy の幅広い豊富な連続スペクトルにより演色性を改善し、少量添加された In により光色の修正を行なっているために、快い光源色と良好な演色性を示す。図 5.1 に BOC ランプの分光エネルギー分布が示され、図 5.2 には演色評価数が、高圧水銀ランプと比較

表 5.1 BOC ランプの初特性

Initial characteristics of BOC lamps.

形 名	ランプ電力 W	全 光 束 lm	効 率 lm/W	ランプ電流 A	ランプ電圧 V	始 動 時 間 min	再始動時間 min	二 次 電 圧 V	点 灯 方 向	平 均 寿 命 時間
M 400 BOC-U	400	30,500	76	3.45	130	3	10	260	鉛 直 (口金上向き)	6,000
M 400 BOC-D	400	30,500	76	3.45	130	3	10	250	鉛 直 (口金下向き)	6,000
M 400 BOC-H	400	28,000	70	3.45	130	3	10	260	水 平 (口金横向き)	6,000

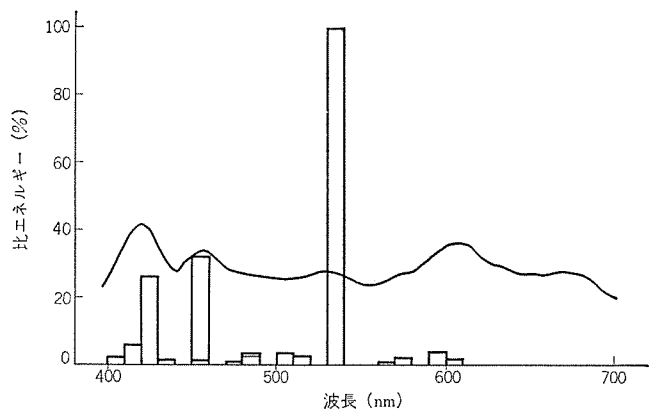


図 5.1 BOCランプの分光エネルギー分布
Spectral energy distribution of the BOC lamps.

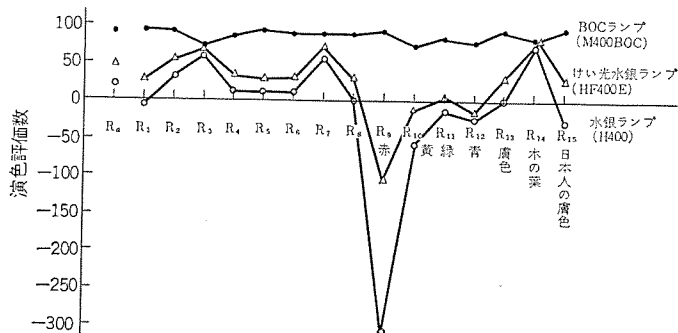


図 5.2 演色評価数比較
Comparison of color rendition.

して示されている。これらの図からわかるように、BOCランプはすべての色に対して、ほぼ平均的に高い演色性を示すことが理解される。特に膚色に対しては最高の演色評価数を示している。

さらに、安定器との組み合わせにおいて、ランプ寿命中に大幅なランプ電力の変化がないために、ランプ電力の変化にともなうランプ光色、演色性などのばらつきも、比較的小さい値に押えられ、長時間にわたって安定した特性を維持する。

6. む す び

メタルハライドランプの放電路内に、多量のハロゲンが導入されると、鉛直点灯状態でアークの不安定性が生じ、しばしばアークのスネイクが発生するが、発光管下端部に小型マグネットを備えることにより、容易にスネイクを防止でき、安定した特性を有するランプが得られる。さらに、メタルハライドランプの諸特性は本質的にばらつきやすく、これをランプ自身で解決することは困難であるが、ランプ初期および寿命中を通じて、ランプ電力の変化が小さくなるように考慮して設計されたリーケージ形安定器を使用することにより、大幅に改善される。上記の方法により、メタルハライドランプの演色性を、放電の不安定性を克服して向上させることができ、かつ電源電圧変動を適正範囲内に押えることにより、寿命中安定した特性を、長時間維持することが可能となり、照明の質的向上に貢献できると確信する。

参 考 文 献

- (1) S. Cohen : Ballesting the New Metallic-Additive Discharge Lamps, Ill. Eng., 60, 660 (1965)
- (2) A. Frank, et al. : Reignition Characteristics of Metal Halide Lamps and their Effect on Ballast Design, I. E. S., Apr., (1967)
- (3) 戸田ほか : アイマルランプ用安定器, 岩崎電気技術広報, 10, 51 (昭43)
- (4) 祇園ほか : 金属ハライドランプ“マルチハロゲン灯”の最近の開発, National Technical Report 15, 559 (昭44)
- (5) J. F. Waymouth, et al. : Sodium Loss Processes in Metal Iodide Arc Lamps, Ill. Eng., 62, 214 (1967)
- (6) 久保ほか : 金属添加物入り水銀灯の特性と問題点, 三菱電機技報, 40, 1,402 (昭41)
- (7) 大沢ほか : メタルハライドランプのランプ電圧上昇について, 昭和44年連合大会講演論文集, 講演番号 871
- (8) E. C. Mart, et al. : Iodide in Mercury Arcs—far Improved Color and Efficiency, Ill. Eng., 59, 34 (1964)

光化学反応用点光源

竹田 俊幸*・加茂部 透**・正田 勲**

Point-Source Discharge Lamps for Photochemical Reaction

Ofuna Works Toshiyuki TAKEDA・Tôru KAMOBÉ・Isao SHÔDA

The wave length suited for photochemical reaction is generally found between 300 m μ and 500 m μ . Consequently mercury short arc lamps are used for point light sources in photochemical reaction. These lamps have small luminous areas of high light output. They radiate many line spectra and continuous ones in the near ultraviolet and the visible short wave range. Recently Mitsubishi has developed new type short arc lamps in which gallium iodide is introduced. The light output of the new products is about twice as large as that of the conventional mercury short arc lamps.

This article describes a number of problems and characteristics of the mercury short arc lamps and the gallium short arc one.

1. ま え が き

今日、電子工業のめざましい発展に伴い、一躍脚光を浴びるに至ったものに光エネルギーを利用した光化学反応用点光源がある。ここで特別に点光源が要求されるのは光学系による光の制御が容易だからである。適当な形の反射鏡、レンズ、プリズム等を用いることにより希望する形の光、たとえば平行光や非常に細いビームとなる光や一点に集中する光などが、効率よく得られるためである。

この種の光源としては、可視部の短波長側および近紫外部にスペクトル放射をし、かつ高出力になることが必要であり、一般に水銀ショートアークランプが使用されている。このランプは小容積の石英管球内に数十気圧の水銀蒸気を閉じ込めてあるため、この蒸気中の放電によって得られる水銀スペクトルのうち、近紫外部や可視部の短波長側に密集した輝線スペクトルや連続スペクトルを放射し比較的効率が良い。

しかしながら光化学反応時における作業性向上および品質向上の点から、この水銀ショートアークランプよりもさらに効率の高い点光源が切望され、われわれは種々の金属ヨウ化物を水銀ショートアークランプに添加して従来以上の光出力を有する点光源の開発を試みた。この一例がガリウムショートアークランプである。このランプはガリウムの共鳴線で

ある 403 m μ 、417 m μ が水銀スペクトルに重畳されるため高出力となる。ここでは水銀ショートアークランプとガリウムショートアークランプについて報告する。

2. 水銀ショートアークランプ

水銀ショートアークランプは水銀蒸気圧を高め、電位傾度を高くし、電極間けき(隙)を短くし、電流密度を増加させ、輝度を増したものであって、高輝度点光源が必要な場合に最も適した光源である。発光管は融点のきわめて高い石英ガラスよりなり、電極も難熔融性の金属が使用されている。図 2. 1 は水銀ショートアークランプの外観図を示したものである。

2. 1 構造

(1) 発光管

発光管は石英ガラスよりなり、球状のもの、レモン形のものがある。後者は電極の位置を中心から少し下げて、鉛直点灯の場合に発光管の温度が一樣になるように設計されている。表面負荷は 20 W/cm²~35 W/cm² ぐらいである。直径が増大すると内圧に対する強度が弱まるので、厚さを増してやる必要がある。内圧を p 、球の半径を r 、厚さを t とすると引張り応力 $f = p \cdot r / 2t$ となり、厚さが

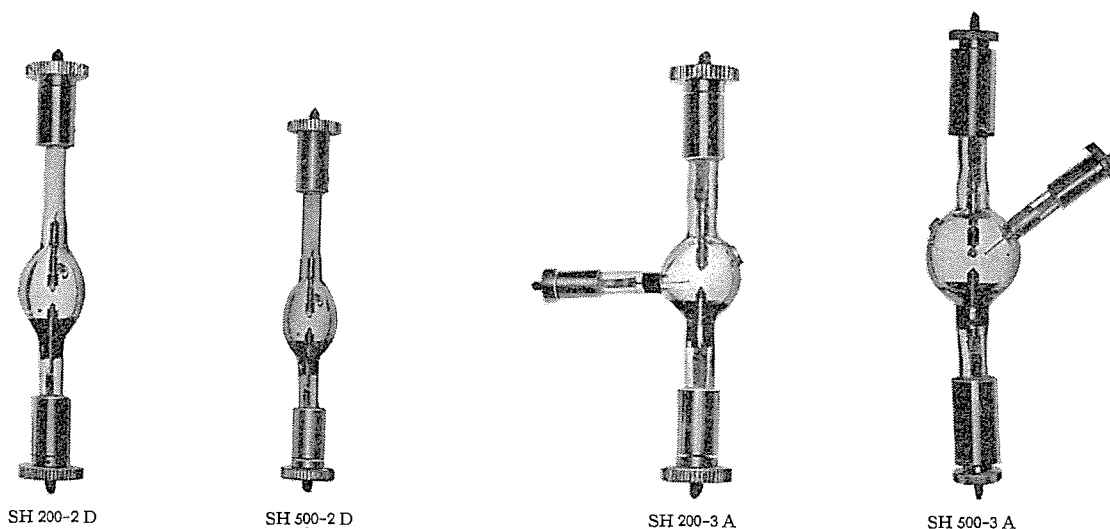


図 2. 1 三菱ショートアークランプ Mitsubishi short arc lamps

* 大船製作所(工博) ** 大船製作所

増すほど引張り応力は小さくなってラップは丈夫となる。しかし石英の応力は内圧による引張り応力だけではなく、厚さを通しての温度差による応力も生ずる。もし厚さが厚すぎると温度差による応力のほうが内圧よりも重大となる。そのため厚さは5 mmが限度となる⁽¹⁾。

さらに石英ガラスは、これら機械的応力による破損以外に、失透現象よりひき起こされる爆発という問題がある。失透現象には熱的結晶析出と異物質付着反応による結晶析出とに大別される。図2.2はSiO₂系の状態⁽²⁾を示したものである。石英ガラスが失透するのは、すべて1,150~1,250°C付近で生ずるβクリストパライトと石英ガラスとの熱膨張係数の差から生ずる応力によるひび割れである。このひび割れが白色不透明体として残るため白色失透を形成する。

一般に失透現象は、ガラス内部より起こる場合もあるが表面のほうが起こりやすい。これは内部よりも表面のほうが原子配列が乱れているためにエネルギーが高く、したがって原子は動きやすく、他の不純物を付着して結晶核を形成し、失透現象をひき起こす。たとえばアルカリ金属、アルカリ土類金属および金属酸化物などが付着した場合は失透現象が起こる。また失透核の成長は周囲のふんい気中に大きく影響されとくに水分のふんい気中ではきわめて大きい。

(2) 電 極

水銀ショートアークランプは、水銀蒸気圧が数十気圧にもなるので、アークはしばれ、電極での電流密度は10⁴A/cm²にもなり、電極の輝点温度は数千度にも達し、電極損耗は熱蒸発が大部分である⁽³⁾⁽⁴⁾。図2.3は一般に使用されている交流点灯用の電極構造である。この構造の場合、輝点直下に電極物質を包蔵させてあるため、主として電極物質のスパッタによる光出力の低下をきたす。そこで始動も良く、動作中における熱蒸発にも強い電極構造としては、図2.4に示すような分離形電極が最適である。しかしこの電極構造は形状・寸法がラップの点滅特性に大きな影響をおよぼすことがわかった。

図2.5は電極寸法の組合わせと減光率との関係を示している。この図において $l_1 D_1^2$ は電極先端部の熱容量に関与する量であり、 D_2^2/l_2 は熱伝導制御用輪溝部の熱伝導に関与する量である。したがって $l_1 D_1^2 \cdot D_2^2/l_2$ は電極先端部の温度分布を決める量となる。ここで曲線Aは2時間点灯、0.5時間消灯の点滅サイクルという実用点灯に最も近い条件で、累積実点灯時間200時間後の結果を、曲線Bは2分点灯30分消灯の点滅サイクルにおける純点滅点灯の条件で、点滅回数100回後の結果を、曲線Cは点滅のない純連続点灯の条件で、200時間点灯後の結果を示している。この図から明らかなように、純点滅点灯特性Bと純連続点灯特性Cとはまったく逆の関係にあり、実用点灯条件の場合はこれらの曲線B、Cを加え合わせた点灯特性になる。この逆なる相関関係は、電子放射性物質充てん(填)部と電極先端突出部のそれぞれ異なる条件での、熱蒸発・スパッタリングによる管壁汚損によってひき起こされるものである。

つまり純点滅点灯による管壁汚損は $l_1 D_1^2 \cdot D_2^2/l_2$ が大きくなるほどひどくなるということは、電極先端部の熱容量が大きいかつ熱伝導制御用輪溝部からの伝導熱が大きいため、電子放射性物質充てん場所の温度が高くなり、この部分に輝点が存在して先端に移行しにくく、電子放射性物質のスパッタによって起こる。一方純連続点灯による場合は、 $l_1 D_1^2 \cdot D_2^2/l_2$ が小さくなるほど減光率が大きい。これは電極先端部の熱容量が小さく、また伝導による熱移動が小さいため、電極先端部の輝点直下の温度が高くなりすぎて、タングステンの熱蒸発をひき起こし、これが管壁に付着して光出力を低下させる。これ

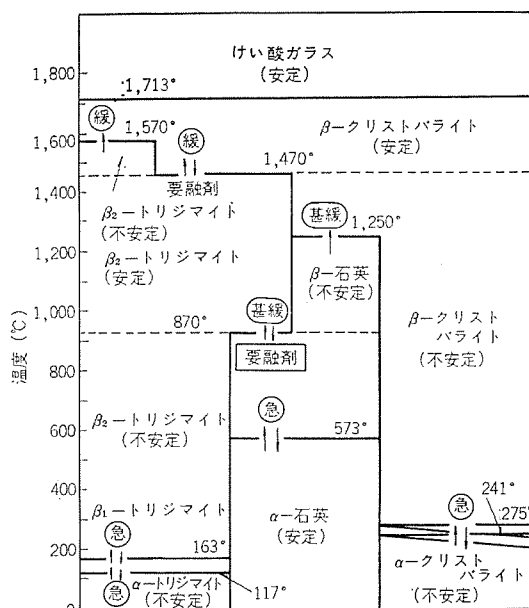


図 2.2 SiO₂系の結晶変態
Crystal transformation of SiO₂ system.

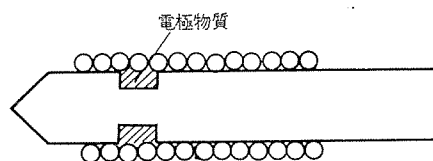


図 2.3 一般の電極構造
Construction of typical electrode.

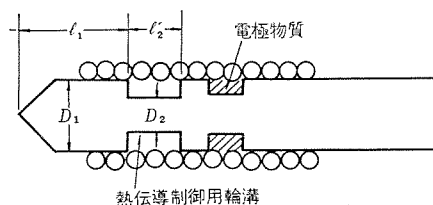


図 2.4 分離形電極構造
Construction of electrode of separated type.

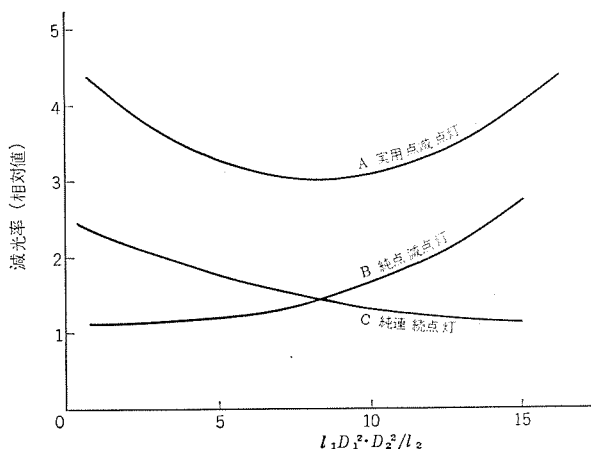


図 2.5 電極寸法と減光率
Relation of deterioration rate of light output relative to electrode dimensions.

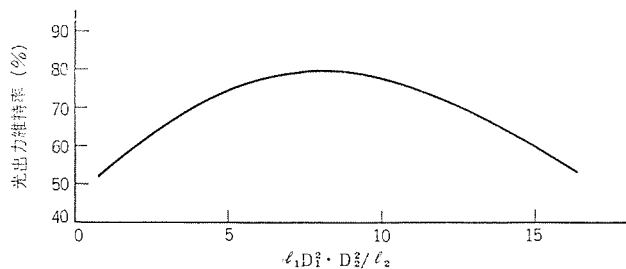


図 2.6 電極寸法と光出力維持率
Relation of maintenance characteristics relative to electrode dimensions.

らのことから明らかなように、光出力維持率は電極先端部の熱容量と温度制御用輪溝部分との熱伝導によって、つまり電極先端部と輪溝部との保温状態によって決定される。

図 2.6 は、1 回の点灯時間 2 時間の実点灯に近い点灯条件での、累積点灯時間 200 時間後の光出力維持率を各寸法の電極について求めた結果を示している。明らかに図 2.5 A 曲線との直接的対応がみられる。 $l_1 D_1^2 \cdot D_2^2 / l_2$ の値が大きくなれば図 2.5 より明かなように、点滅時における主として電子放射性情質の飛散による減光が現われ、一方 $l_1 D_1^2 \cdot D_2^2 / l_2$ が小さくなれば、連続点灯時における電極先端部の熱蒸発・スパッタリングによる減光が大きくなることを示している。電極寸法を適切な値に選んだ分離形電極は、点灯と同時に電子放射性情質充てん部に輝点は形成されるが短時間のうちに先端に移行し、始動時における電子放射性情質飛散による管壁汚損が少なくなる。また動作中における輝点形成部の温度も選定された熱伝導制御用輪溝の作用によって適正動作温度となり、熱蒸発・スパッタがきわめて少なくなる。

一方直流用の場合は、陽極と陰極との損耗機構がそれぞれ電子流による熱蒸発およびイオン衝撃によるスパッタリングが主要因となるので、構造・材料ともに異なってくる。陽極は熱蒸発にきわめて強いタングステンが使用され、陰極は電極心線にコイルを装着した構造のものでトリウムタングステンが使われている。直流点灯の場合は陰極の心線径によってアークのちらつきが起こり、またコイルの装着位置が適切でないと立消えを起こす。アークのちらつきは一般に陰極輝点の移動によって起こる場合が多い。これは陰極心線径が太すぎると、陰極先端部の温度こう配がゆるやかになるため熱電子放射中心が移動し、それに伴って陰極輝点が動きまわり、これがアークのちらつきをひき起こす。

また寿命末期になると陰極先端部にたくさんの突起ができ、この部分に電界が集中して陰極輝点が動きまわりちらつき現象をひき起こす。一方ランプの立消え現象は、点灯と同時にコイル部後方に形成された陰極輝点が、水銀蒸気圧の上昇とともにコイル部に沿って先端に移動していくが、コイル先端部より電極心線先端に移行しないため、ランプ電圧が上昇して起こる現象である。この場合陰極輝点のコイル先端部より心線先端部への移行条件は、最小電力の法則によって決まり、心線先端部とコイル先端部との熱電子放射能力差に左右される。たとえば陰極先端部の温度が、コイル先端部の温度より高くなるような電極寸法にするか、心線材料のほうがコイルよりも仕事関数の小さなものを使うことにより陰極輝点はスムーズに先端に移行し、この立消え現象を防止することができる。

2.2 点灯回路

水銀ショートアークランプは一般に交流と直流との二つの点灯方式があるが、電源が交流なので直流点灯のときは整流器を必要とし、重量

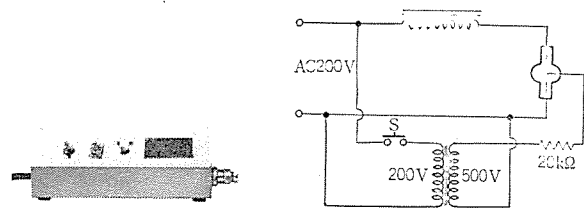


図 2.7 交流点灯回路
AC operating circuit.

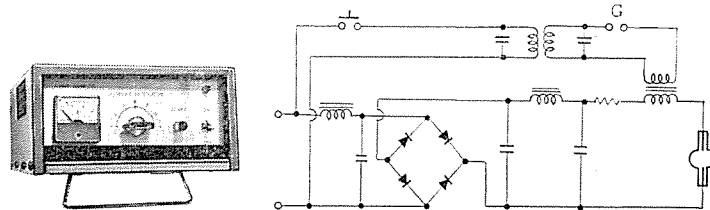


図 2.8 直流点灯回路
DC operating circuit.

表 2.1 安定器定格表 (AC)
List of ratings of ballasts (AC).

項 目	形 名	HS-2 A 11 LA	HS-2 A 21 LA	HS-5 A 21 LA
一 次 電 圧 V		AC 100	AC 200	AC 200
入 力 電 流 A		9	3.9	7.4
二 次 電 圧 V		200	200	200
ラ ン プ 電 流 A		3.9	3.9	7.4
入 力 電 力 W		250	240	550
短 絡 電 流 A		4.7	4.5	9.0
適 合 ラ ン プ		SH 200-3 A	SH 200-3 A	SH 500-3 A

表 2.2 安定器定格表 (DC)
List of ratings of ballasts (DC).

項 目	形 名	HS-2 D 11 LA	HS-5 D 11 LA
一 次 電 圧 V		AC 100	AC 100
始 動 時 一 次 電 流 A		4.3	15
安 定 時 一 次 電 流 A		2.9	9
一 次 電 力 W		245	600
二 次 電 流 A		3.5	6.5
二 次 電 圧 V		57	77.5
二 次 短 絡 電 流 A		4.5	11
直 流 リ ッ プ ル %		10 以下	10 以下
適 合 ラ ン プ		SH 200-2 D	SH 500-2 D

・大きさもふえ経済的に不利になる。しかしアークの安定性・寿命は直流のほうが圧倒的に良い。交流および直流の点灯回路を図 2.7, 図 2.8 に示す。これらのランプは使用する安定器によって大きく特性が変わり、組み合わせを誤ると爆発などの思わぬ事故をまねくのでこの点十分注意が必要である。表 2.1, 表 2.2 は安定器特性と適合ランプとを示したものである。

2.3 特 性

水銀ショートアークランプは、放電開始直後は水銀蒸気圧が低く光出力が小さいが、アークの熱により徐々に水銀蒸気圧が増してゆき、数分後に安定状態になり光出力もふえ一定になる。このときの状態を図 2.9 に示す。図 2.10 は安定時に電源電圧が変動したときの諸量の変化を示す。ランプ電圧は電源電圧が下がるとともに下がり、他の諸量の変化も高圧水銀ランプに比べて大きい。消灯後再点灯に要する時間は冷却条件に支配されるが、大体 5~10 分かかる。また瞬時に再点灯させるには、10 kV 以上ぐらいのパルスが必要である。

分光エネルギー分布の例を図 2.11 に示す。可視部には 4 本の大きな輝線スペクトル 405 mμ, 435 mμ, 546 mμ, 578 mμ があるほか、かなりの連続スペクトルが現われるが、やはり短波長側のスペクトル放射

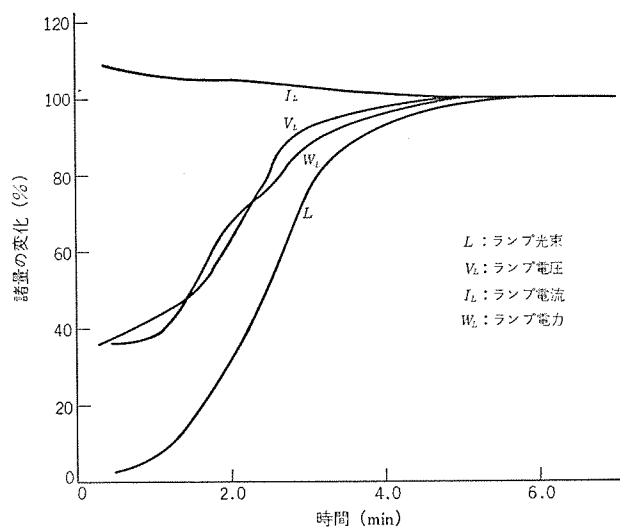


図 2.9 始動時のランプ特性
Starting characteristics of short arc lamps.

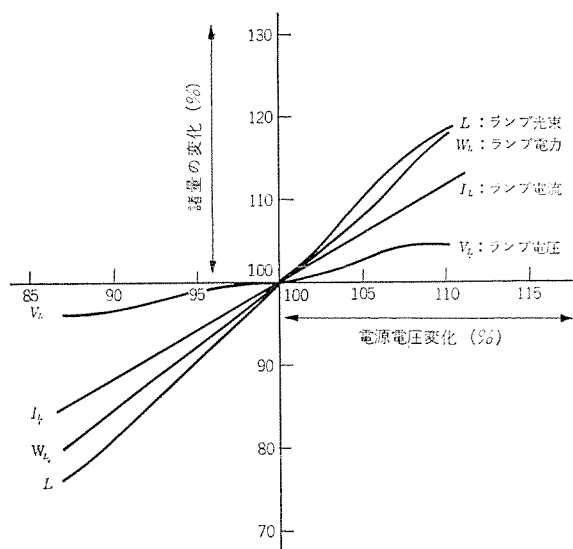


図 2.10 電源電圧変動特性
Lamp characteristics with relative to source voltage variation.

が大きいため青白色の光源になり、演色性を重視する光源としては適当でない。一方近紫外部には多くの輝線スペクトルがあり、とくに $300\text{ m}\mu$ 付近に密集しており、 $365\text{ m}\mu$ には最も強い輝線スペクトルがある。したがって近紫外線および可視光線の短波長側を利用する光化学反応用光源としては最適である。

図 2.12 はアークの輝度分布を示したものである。この図は交流点灯時の分布であり、アークに沿った A-A' 方向の輝度は中央の部分が均一で、電極の前は特に高いが、上下電極間では大差ない。ただし直流点灯の場合は陰極のほうが陽極より高くなる。一方アークと直角方向の B-B' 面の輝度分布は、中心が最も高く両方に対称的に下がっていく。

点灯方向は鉛直が普通である。つまりアークが鉛直になるように使用する。許容傾き角度は、鉛直に対して $\pm 15^\circ$ 以内であり、これより大きな角度になるとアークが発光管内壁を過熱し、そのため劣化を起したり、その部分が機械的に弱くなり、爆発を起すことがあるので注意を要する。なお、口金には上下のマークがついており、ランプをこの位置で点灯しないと水銀がコンデンスしてランプ電圧が上がらず、定格どおりの特性が得られないばかりでなく、ランプに過電流が流れてランプ破損をひき起こす。表 2.3、表 2.4、図

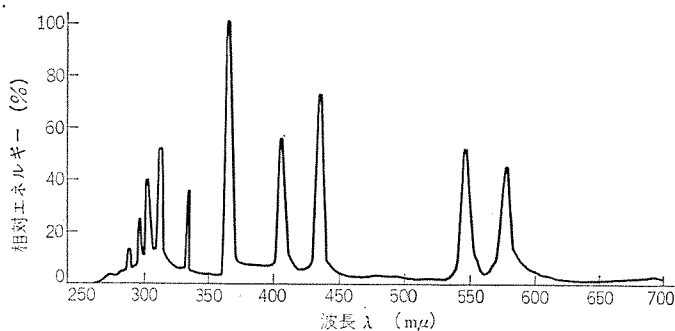


図 2.11 分光エネルギー分布
Spectral energy distribution.

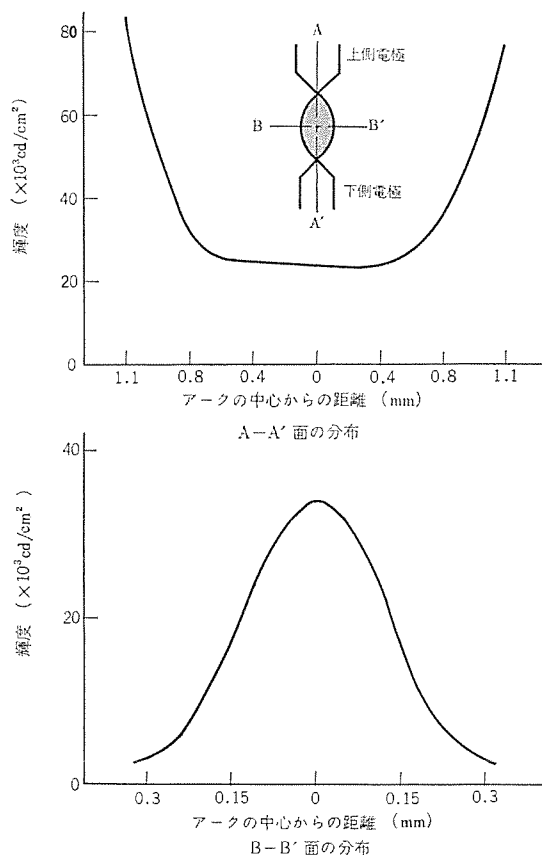


図 2.12 輝度分布 (交流点灯時)
Brightness distribution in AC operation.

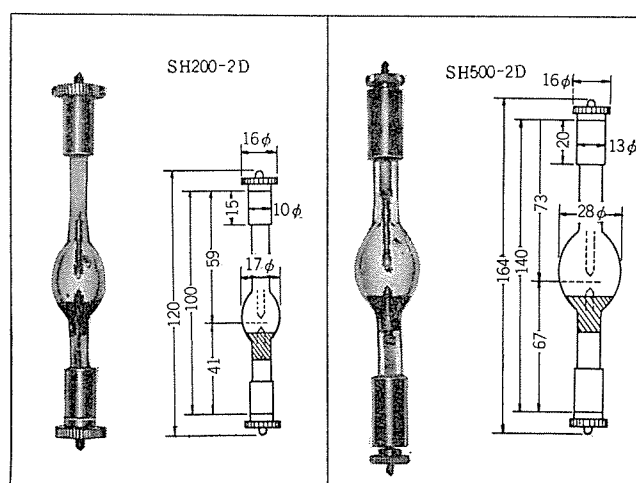


図 2.13 水銀ショートアークランプ寸法
Dimension of mercury short arc lamps.

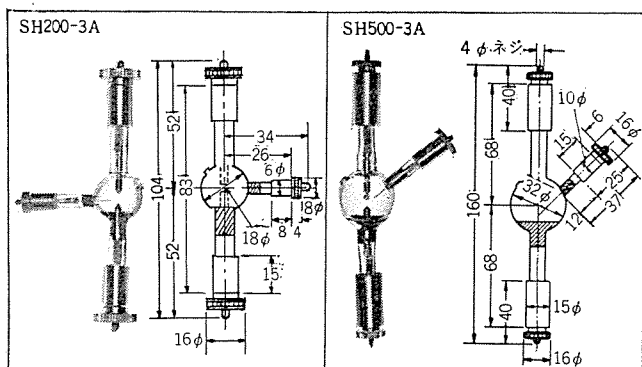


図 2.14 水銀ショートアークランプ寸法
Dimension of mercury short arc lamps.

表 2.3 水銀ショートアークランプ定格表
List of ratings of mercury short arc lamps.

ランプ形名		SH 200-2 D	SH 500-2 D
項目			
電 流 方 式		DC AC	DC AC
定 格 回 路 電 圧	V	140 200	140 200
定 格 ランプ 電 力	W	200	500
定 格 ランプ 電 圧	V	57±4	77±7
定 格 ランプ 電 流	A	3.5±0.3 3.9±0.3	6.5±0.6 7.4±0.7
全 光 束	lm	10,000	30,000
効 率	lm/W	50	60
水 平 光 度	cd	1,000	2,850
平 均 輝 度	cd/cm ²	33,000	30,000
アーク寸法(長さ×幅)	mm	2.2×0.6	4.1×1.1
点 灯 方 向		鉛直±15°	鉛直±15°
平 均 寿 命	時間	600 300	600 300

表 2.4 水銀ショートアークランプ定格表
List of ratings of mercury short arc lamps.

ランプ形名		SH 200-3 A	SH 500-3 A
項目			
電 流 方 式		AC	AC
定 格 回 路 電 圧	V	200	200
定 格 ランプ 電 力	W	200	500
定 格 ランプ 電 圧	V	57±4	77±7
定 格 ランプ 電 流	A	3.9±0.3	7.4±0.7
全 光 束	lm	10,000	30,000
効 率	lm/W	50	60
水 平 光 度	cd	1,000	2,850
平 均 輝 度	cd/cm ²	33,000	30,000
アーク寸法	mm	2.2×0.6	4.1×1.1
点 灯 方 向		鉛直±15°	鉛直±15°
平 均 寿 命	時間	300	300

2.13, 図 2.14 は水銀ショートアークランプの定格表およびランプ寸法を示したものである。

3. ガリウムショートアークランプ

光化学反应用点光源として、水銀ショートアークランプに種々の金属ハロゲン化物を添加したランプが開発されているが⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、今回はヨウ化ガリウムを添加したガリウムショートアークランプについて報告する。

3.1 アーク長と輝度および光出力との関係

図 3.1 は、アーク長と輝度および光出力との関係を示したものである。ここで述べる光出力とは、400 mμ 付近にピーク値があり、350 mμ から 450 mμ にわたって正規分布するような感光特性に合致した短波長照度を言う。図からも明かなように、光出力と輝度とはアーク長に関して互いに逆の関係があり、アーク長が 2 mm 以下になるとガリウム添加の効果がなくなるばかりでなく、ガリウムによって水銀の発光までがおさえられ、ガリウムショートアークランプは水銀ショートアークランプに比べて、光出力・輝度とも急激に減少する。一方アーク長が 16 mm 以上になると、光出力は飽和しかつ輝度が低下して点

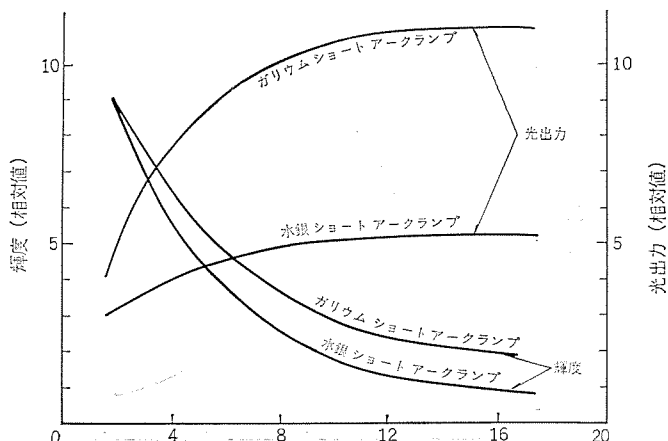


図 3.1 アーク長と輝度および光出力との関係
Brightness and light output relative to arc length.

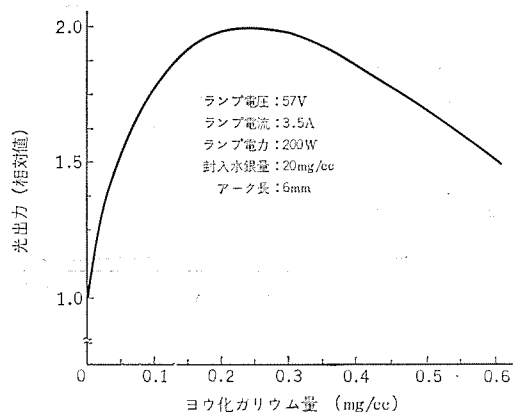


図 3.2 ヨウ化ガリウム封入量と光出力
Light output as a function of gallium iodide amount.

光源としての特長がなくなる。

3.2 封入ヨウ化ガリウム量と光出力

図 3.2 は、ランプの電気的特性、アーク長および封入水銀量を一定にしたときの封入ヨウ化ガリウム量と光出力との関係を示したものである。光出力に対して最適の封入ヨウ化ガリウム量が存在する。ヨウ化ガリウム量が 0.5 mg/cc を越えると、光出力は低下してくる。このことについては 3.4 節のところで説明するが、管内蒸気中に含まれるガリウム金属濃度が増大するため、ガリウム共鳴線である 403 mμ, 417 mμ の輝線スペクトルが自己吸収を起こし、さらに水銀の発光までもおさえってしまうため光出力は低下してくる。

一方 0.1 mg/cc 以下になるとガリウム金属濃度が減少するため、励起されるガリウム金属原子数の減少により、やはり光出力が低下する。このように封入ヨウ化ガリウム量には最適値が存在する。しかしこの値はランプ電圧の設定値、つまり封入水銀量によって変化するが、大体 0.05 mg/cc から 0.5 mg/cc の範囲に存在するようである。また封入ヨウ化ガリウム量が多くなるとアークが不安定になったり、光出力維持率が悪くなり実用にならない。

3.3 封入水銀量と光出力

図 3.3 は、ランプの電気的特性および封入ヨウ化ガリウム量を一定にしたときの封入水銀量と光出力との関係を示したものである。封入水銀量が 20 mg/cc を越えると、光出力は低下してくる。これは封入水銀量が多いため水銀蒸気密度が高すぎ、ガリウム金属の発光が少なくなるためである。一方 10 mg/cc 以下になると、光出力は飽和し、また水銀量が少なく、電気的特性、とくにランプ電圧を一致

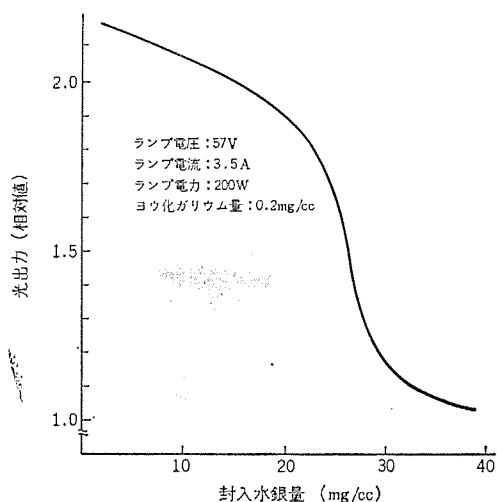


図 3.3 水銀封入量と光出力
Light output as a function of mercury amount.

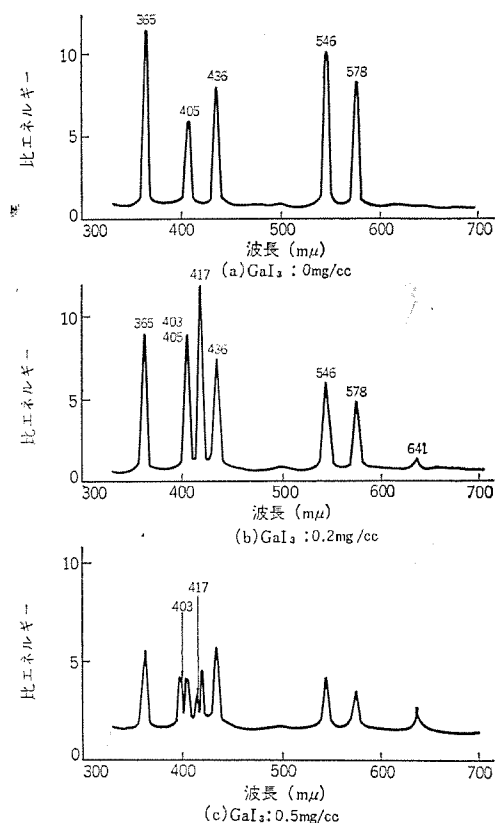


図 3.4 ヨウ化ガリウム封入量と分光エネルギー分布
Spectral distribution curves for various amounts of gallium iodide added.

させるためにアーク長を大きくする必要があり、これによって輝度の低下をきたし、実用上点光源としての利点なくなる。また、この封入水銀量に対する光出力特性は、封入ガリウム量によっても変わる。

3.4 スペクトル特性

図 3.4 は封入ヨウ化ガリウム量によるスペクトル特性の変化を示したものである。(a)は一般の水銀ショートアークランプでヨウ化ガリウムが添加されていない。(b)はヨウ化ガリウムを 0.2mg/cc, (c)は 0.5mg/cc それぞれ添加したときのスペクトル特性を示したものである。

表 3.1 ガリウムショートアークランプ 定格表
List of ratings of gallium short arc lamps.

項 目	ランプ形名		SH 200-G		SH 500-G	
	電 流	方 式	DC	AC	DC	AC
定 格 回 路 電 圧	V		140	200	140	200
定 格 ラ ン プ 電 力	W		200		500	
定 格 ラ ン プ 電 流	A		3.5±0.3	3.9±0.3	6.5±0.6	7.4±0.7
定 格 ラ ン プ 電 圧	V		57±4		77±7	
ア ー ク 長	mm		6		10	
ア ー ク 幅	mm		1		1.2	
光 出 力	倍		1.8 倍		2.2 倍	
点 灯 方 向			垂 直		垂 直	
平 均 寿 命	h		200		200	

封入ヨウ化ガリウム量によってスペクトル特性が大きく変化することがわかる。図 3.2 で示されたように、封入ヨウ化ガリウム量が 0.2mg/cc 付近で光出力が最大になるのは、図 3.4(b) より明らかなようにガリウム金属の共鳴線である 403mμ, 417mμ の輝線スペクトルが、光出力感度特性のピーク値付近に集中しているためである。(c)はヨウ化ガリウム量を 0.5mg/cc 封入したときのスペクトル特性を示したもので、ガリウム金属の共鳴線は自己吸収を起こし、さらに水銀の輝線スペクトルまでもおさえてしまうが、連続スペクトルは短波長側から長波長側に至るまで増大する。またガリウム金属の長波長側の輝線スペクトルである 641mμ が現われてくる。封入ガリウム量を多くしたときに、陰極輝点および陽極輝点のところが赤く見えるのは、この 641mμ の輝線スペクトルによるものである。

このように封入ヨウ化ガリウム量を増大させると、連続スペクトルは増大するが、光出力感度特性に合致したところの輝線スペクトルが大きく減少するので光出力が低下するのである。表 3.1 はガリウムショートアークランプの定格表を示したものである。

4. む す び

水銀ショートアークランプは、輝線スペクトルが近紫外部および可視部に集中しており、さらに高輝度であるため、光化学反応用点光源としてはすぐれた特性を示す。さらにこの水銀ショートアークランプにヨウ化ガリウムを添加すると、ガリウム金属の共鳴線スペクトルが水銀の輝線スペクトルに重畳されるため、光出力は水銀ショートアークランプの約 2 倍程度まで向上する。これらの光源はいずれも小さな容積中に高い水銀蒸気圧を閉じ込めてあるため、ランプ材料とくに石英ガラスおよび電極の受ける条件はきびしいもので、材料および構造がランプ寿命に大きな影響を与える。

しかしこれら設計上の問題点も逐次解決されており、これらの光源はこれからの電子工業・化学工業に大いに役立つものと思われる。

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る。

参 考 文 献

- (1) 大須賀：高圧水銀灯とその取扱い，61 (昭 34)，オーム社
- (2) 森谷ほか：ガラス工学ハンドブック，248 (昭 38)，朝倉書店
- (3) 土井，加茂部，正田：昭 44 電気学会連合大会予稿集，74
- (4) 土井，伊藤，加茂部，宮井：三菱電機技報 40, 9, 1,931 (昭 41)
- (5) 久保，竹田，土橋，三上，若林：三菱電機技報 40, 9, 1,402 (昭 41)
- (6) 竹田，加茂部，正田：昭 44 電気学会連合大会予稿集，876
- (7) S. L. Slomski：Illum. Engng., 62, 4, 229 (1967)

海洋照明に関する各種の実験と考察

小堀 富次雄*・田中 民雄**・狩野 雅夫**

Various Experiments and Consideration on Oceanic Illumination

Ofuna Works Fujio KOBORI・Tamio TANAKA・Masao KARINO

Various kinds of oceanic developments have been rapidly made recently and a number of achievements are reported. As for the technique in the development, there are still many fields remain unexplored. This leads to a situation where illumination plays an important role. It is said that in the water the daylight can hardly penetrate the depth of scores of meter. Though the oceanic illumination is regarded as vital necessity, it has made less advancement than that in the atmosphere because of high density of water offers different condition from that in air. This article describes underwater experiments and the results in regard to various characteristics of the daylight there, light propagation, befitting light sources, penetrating power of light, light attenuation, marking effect and light distribution characteristics of underwater projectors.

1. ま え が き

最近の海洋開発または海洋産業などの将来への動向から、海洋または海中の照明は、太陽光の海面および海中での光学的現象、すなわち海中での深度に対する光の透過、拡散および屈折、または波長別の透過率などの研究だけでは不十分である。

筆者の1人は、自然光はもちろん人工光すなわち、海洋開発にふさわしい各種光源による海中における照明の諸特性の究明なども含めて、海洋照明⁽¹⁾⁽²⁾ (Hydro Illumination or Oceanic Illumination) といった照明分野の学問が必要であると提唱している。

ここでは、このような海洋照明の究明に対して、海洋環境と照明条件として昼光の海中における諸特性、海中の光の透過とそれにふさわしい光源、および地球上の海域別の海水の光学特性について、さらに最近、行なった海洋照明についての幾つかの実験とその結果をのべた。

これらの研究成果は、海中作業基地⁽³⁾、最近のレジャーブームを反映しての海中公園、あるいは深海用潜水調査船の海中投光器などの照明装置を完成するための基礎資料である。

2. 海洋環境と照明の状況

2.1 昼光の海中における諸特性

昼間における太陽光の下での海洋の光学については、比較的近年になってから種々の研究が行なわれた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。大気中における昼光の透過の状態、すなわち、清浄な空气中、または、霧・もや・スモッグを通じての照明の諸現象に比較して、海洋に入射した昼光は非常に複雑な現象を示すものである。まず、空気と海水との境界面、すなわち、海面において昼光の反射が行なわれる一方、海面を通過した光は、海水および海水中的のプランクトンその他の懸濁物などによって吸収、屈折および拡散が行なわれる。このように、空気と比較して密度の大きい海水中的の光の伝ば(播)は以上の諸現象にもとづき、空気中の光の透過に比べて、はるかに減衰しやすい照明の状況下にあるといえよう。また、昼光は晴天・曇天・雨天などの天候、一日中の時刻による変化、季節による太陽の位置、または気候による海面の変動、海流などの影響を受けるものである。

さらに、季節・天候・時刻・気候などが同一条件と仮定しても、

複雑な環境下における海域の照明状況は一般にかなり異なったものであるが、これらのことは、われわれが経験している地上の照明とはおよそ異質なものであることを認識すべきであろう。

また、海中の深度10mあたり1kg/cm²の圧力は、深度が増加するにともないその圧力が増すから、高圧に対する海水の分子配合、あるいは、気ほう(泡)の含有などにも変化を及ぼし、光の伝ばに影響し、海中における光の特性にもその影響が表われるものと予測される。

2.2 海中の光と光源

空気中では可視光の範囲の光(光の波長380~780nmの範囲)は十分透過するが、海中では長波長の光の吸収が大きいため、その減衰はとくにはげしく、一般に海水の深度数mですでに600nm以上の赤色成分の光はほとんど透過せず、550~600nmの黄色光も、その到達距離は20~40mが限度とされている。海中を比較的透過しやすい光の波長は、緑色光または青緑、青色(波長400~550nm)などの光である。

一方、赤外線(波長780nmから10⁵nm)は、ほとんど海中を透過しないが、380nm以下の短波長の近紫外線は比較的深くまで浸透するが、遠紫外線に相当する280~310nm域の健康線(ドルノ線)や、253.7nmの殺菌線はきわめて透過しにくい。

海中を透過しやすい光として、外管の透明なH形水銀ランプの光の大部分は水銀放電の輝線で、405nm(紫)・434nm(青)・546nm(緑)および578nm(黄)の4本の輝線をもっているから、比較的海中を透過しやすい光をだす光源である。

水銀ランプの内管に各種金属ハロゲン化物を添加したメタルハライドランプ⁽⁶⁾⁽⁷⁾の一種で、タリウム化合物を添加した高出力タリウム水銀灯⁽⁸⁾は、波長535nmの緑色光を豊富にだすので、とくに海中の透過に対してすぐれた特性をもっている。

また、空気中での物の見え方・立体感・色の識別など明確であるのは当然であるが、海中では光の透過・屈折・拡散などによって、物の形、立体感とはぼしく、色なども青・緑がかって見え、しかも不明確である。これらの照明の諸特性について大気中と海中での相違点をまとめると表2.1のようになる。

なお、図2.1は光の波長と光の透過する水深との関係を示す一例⁽⁹⁾であるが、明所視および暗所視における比視感度曲線を併記す

表 2.1 大気中と海中における照明の相違点
Difference of illumination in the atmosphere and under sea water.

項	大 気 中 (地 上)	海 中	適 用
おもな相違点	1 光の透過率は大気の厚さにほとんど関係ない	光の透過率は水の深さ・厚さ・種類によって変化し、一般に減衰が大きい	空気に比べて海水の密度は大きいから、一般に光の透過は悪く、減衰しやすい
	2 静止した空気が普通である 風があっても光にはあまり影響ない	特性の変動する海水が普通で、海流の影響がある	海域によって海水の光学的特性は著しく変動する
	3 一般には1気圧における空気中	一般には1〜数十気圧の海中または数百気圧の海中、あるいは人工空気 (He, N, O ₂ の混合) の室内	光源および照明器具として耐圧性、耐水、耐塩害を考慮しなければならない
	4 霧・もやなどの発生の場合、水の質、粒子の大きさや分布により光の透過・拡散・屈折がちがう	海中のプランクトン、懸濁物などにより光の透過・拡散・屈折がちがう。とくに拡散によって光幕現象を生ずる	季節、時刻、天候、海域などによってプランクトン、懸濁物などの発生状況が異なる
	5 可視光の範囲の波長の光は十分透過する	海中ではとくに黄、だいだい、赤などの長波長の光の減衰がはげしい	きれいな海の色は青であり、汚れた海は緑から黄緑がかって見える
	6 一般に物の形状、色ははっきり識別できる	一般に物の形状、色が不明確で立体感にとぼしい	海水をとおして、物を見るから海水の動き、海水の色が加わって見える

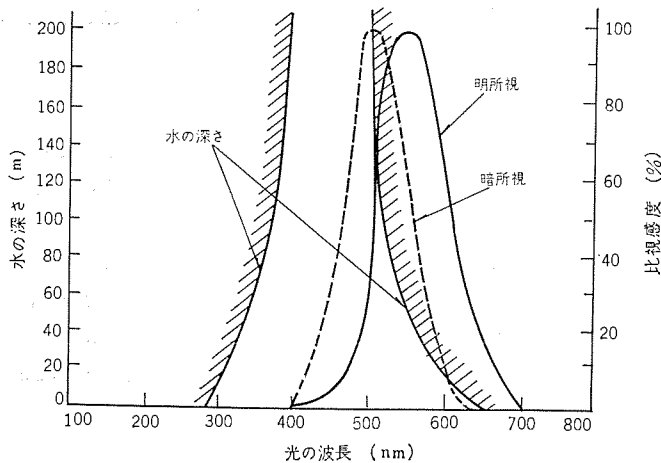


図 2.1 光の波長と水深との関係
Relation between the wavelength of light and the depth of water.

ると、海中で暗い状態、すなわち暗所視でほぼ 0.01 nt 以下の輝度で、おもにカン状態が働いている視覚の状態では、光の透過は青・青緑および緑の色光のうちで若干、波長の短い青緑色がもっとも光の到達距離が長いことになる。

3. 海域別の海水の光学特性

海水の特性によって光の透過する距離は異なるが、図 3.1 は海域別の光学特性⁽⁵⁾で光の波長と水深との関係を示すものである。海水の特性の分類では、一般に光の透過による水深は、下方照度が海水の表面照度の 1% に減少するところの深さで表わされる最小値である。これらの値は海水の形式によって異なるが、光の波長と関係があり、浅いところでは赤色光を通しやすいが、全般としては懸濁がまずと分光分布の短波長部分は、長波長部分より大きく減少する傾向を示している。

海域別の海水の形式は、地球上の海域をいくつかに分類した海域分布図に関連があり、いくつかの大洋と沿岸とに分離された海洋の水の異なる形式に対し波長の関数で示される。

光学的な海水の形式には三つの異なる形式 I, II および III があり、二つの基本形 I, II と二つの中間形 I A, I B および III が大洋形, 1, 3, 5, 7 および 9 が沿岸形に分類される。これらの資料をもとにして、光の波長と透過率との関係を曲線で示すと図 3.2 および図 3.3 のようになる。図 3.2 は大洋形海水の透過率、図 3.3 は沿岸形海水の透過率を示しているが、大洋形および沿岸形海水の

両形式を通じていえることは、大洋形海水については、全般的に光の波長 400~550 nm の範囲でやや透過率が一樣であるため、大洋形海域の海水では青および青緑の色光であって、いわゆる、きれいな青い海であるが、沿岸形海水は、全般的に光の波長 450~550 nm の範囲で透過率がほぼ一樣であるため、沿岸形海域の海水では大洋形よりやや長波長の光の透過が多く、このことは青が少なく、青緑

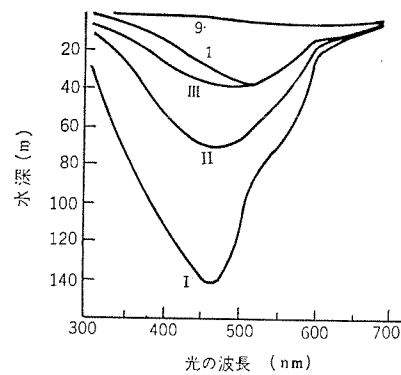


図 3.1 水の光学的特性格の光の波長と水深との関係
(各種の水の形式別、下方照度が表面値の 1% とする)
Relation between the wavelength of light classified according to optical characteristics of water and water depth.

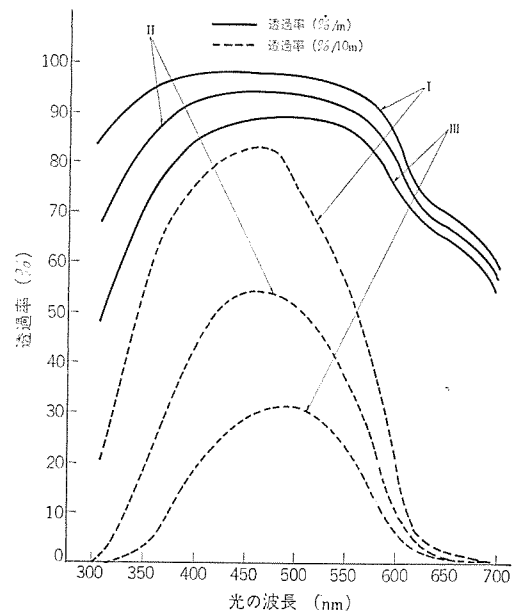


図 3.2 大洋形海水の透過率
Penetrating power of ocean type sea water.

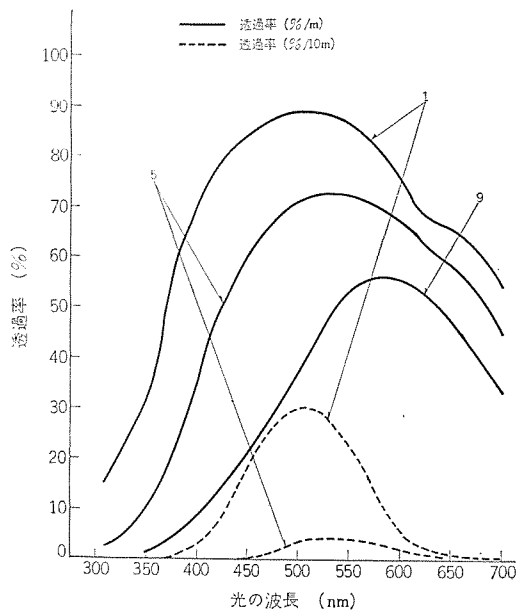


図 3.3 沿岸形海水の透過率
Penetrating power of coast type sea water.

ないし緑がかって見えることを意味している。

これらの相違は、大洋形および沿岸形海水の汚染の程度の差と見られるが、最近、各方面で問題になっている公害として、海洋汚染の原因である多数の各種廃棄物、下水処理場の汚水、タンカーよりの廃油などによる海水の汚染の影響はとくに沿岸形海水の光の透過率の低下はもちろん、光の波長別では長波長へと移行し、これらの汚染物の種類・濃度などにもよるが、海水自身の色がだいたいないしは褐色または黒色となってみえることもある。

4. 海洋照明に関する各種実験と結果

ここでは最近、行なった各種の照明実験とその結果についてのべることにする⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。使用した光源はいずれも反射形のもので白熱電球 RS 500 WH、水銀ランプ HR 400 N、各種メタルハイドランプとして、インジウムランプ MR 400 IN、タリウムランプ MR 400 L、およびメタルハイドランプ MR 400-BOC などであって、防水・耐水などを考慮した実験用のものである。これらの各種供試光源の特性は表 4.1 に示した。

図 4.1 は実験に使用したメタルハイドランプ MR 400-BOC 海中投光器、図 4.2 は実験状況の一例である。また、図 4.3 は海中におけるダイバーの作業状況を示している。

4.1 海中における光の減衰

海中における各種光源による光の減衰は実際に海中にある諸設備に対する照明設計を行なう場合、光源の選定、灯数の計算などの面で基準資料となるものである。図 4.4 は昨年 7 月静岡県下田水族館における実験とその結果をまとめたものである。透過度 5 m 以上というのは水深の関係でそれ以上は測定不可能なためである。図 4.4 は各種光源の光軸上の照度を表わしたものであるが、各光源とも光源からの距離と照度との関係ではだいたい距離に対して照度が指数関数に近い減衰傾向を示している。さらに各光源別の特性では白熱電球に対して、水銀ランプ、メタルハイドランプとして MR 400 IN、MR 400 L および MR 400-BOC の順で中心光度の大きさに関連している。なお、本年 5 月高知県電串海域で行なった MR 400-BOC の実験⁽¹⁰⁾でも、海中の距離と照度との関係は大体指数関数に近い減衰を

表 4.1 海洋照明実験の供試光源
Sample light source in the oceanic illumination experiment.

項目	品名	形名	ランプ 入力 W	中心光度 Cd	全光束 lm
1	反射形水銀ランプ	HR 400 N	400	8×10^4	16,700
2	反射形タリウム水銀ランプ	HR 400 L	400	10×10^4	20,880
3	反射形インジウム水銀ランプ	HR 400 IN	400	2.2×10^4	7,500
4	反射形メタルハイドランプ	MR 400-BOC	400	16.2×10^4	24,300
5	反射形投光電球	RS 100 V 500 WH	500	2.7×10^4	7,050

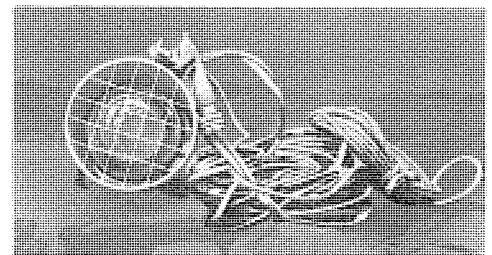


図 4.1 メタルハイドランプ MR 400-BOC 海中投光器
Metal halide lamp MR 400-BOC underwater projector.



図 4.2 海洋照明の実験状況の例
(昭和 44 年 7 月静岡県下田海域にて)
Example of experimenting oceanic illumination.

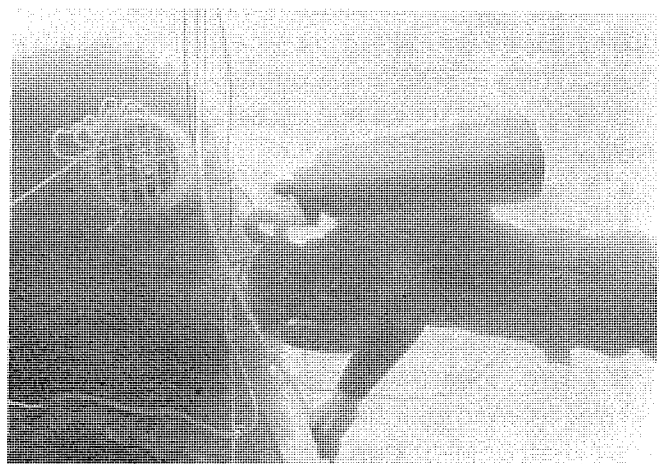


図 4.3 海中におけるダイバーの作業状況
(昭和 45 年 5 月高知県電串海域にて)
Example of work of divers in the sea.

示している。

4.2 海中における透過率

メタルハイドランプ MR 400-BOC について図 4.5 の値をもとにして、水中における照度 E_w 、空気中での照度を逆 2 乗の法則によって、

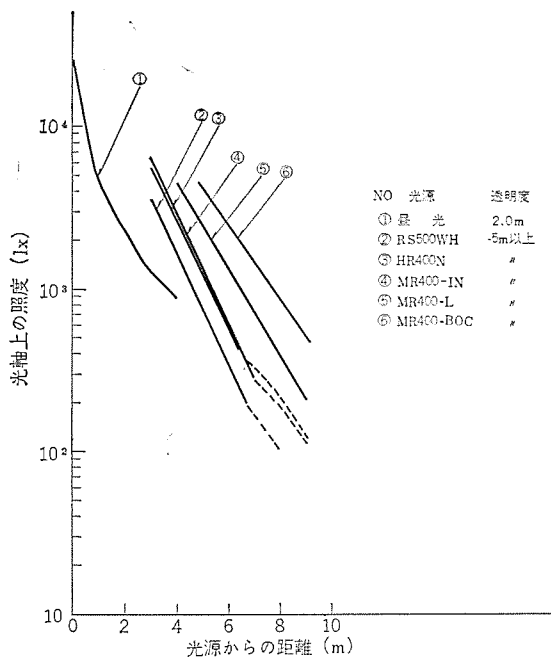


図 4.4 海中における光の減衰
Attenuation of light under sea water.

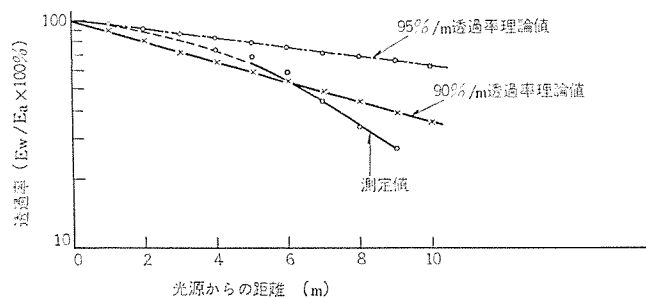


図 4.5 メタルハライドランプ MR 400-BOC の海中における透過率
Penetrating power of metal halide lamp MR 400-BOC under sea water.

中心光度より算出し、 E_a として各距離におけるそれぞれの比 E_w/E_a (空気の透過率は配光測定程度の距離では無視できる)、すなわち、透過率を示すと図 4.5 のようになる。同図に示した透過率の理論値 90 %/m および 95 %/m の直線から推測して、海中におけるメタルハライドランプ MR 400-BOC による測定値による透過率は約 93 %/m となる。

4.3 海中における配光特性

配光特性は一般に空気中では光度で表わすが、水中では直接の光度測定が困難なことから水中での光の透過率が空気中と異なり、極端に悪い場合、照度を光度に換算する逆 2 乗の法則がそのまま適用できないため照度で配光をあらわすことにした。

図 4.6 は、光軸中心の照度を基準として各角度における照度をその百分率で表わした配光曲線であって、空気中での配光が狭照形であるのに対して同一投光器による海中の配光は広がり、中照形に近くなっている。なお、海中における中心照度は海中の測定距離 5 m において 925 lx で、空気中の中心照度 3,480 lx の約 1/4 となった⁽¹⁰⁾。

4.4 光源の海中における標識効果試験

光源の海中における見え方、光色の変化などの観察を標識効果試験と名づけたが、光源を見ることによって海中の信号や誘導などのための照明としての効果が明確となる。

表 4.1 の 5 種類の光源について、暗夜に水深 1.0 m の海中で海

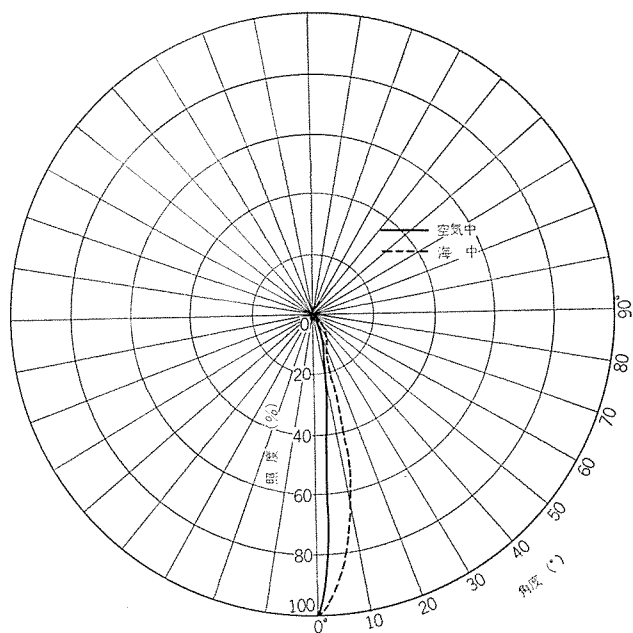


図 4.6 メタルハライドランプ MR 400-BOC 配光曲線
Light distribution curve of metal halide lamp MR 400-BOC.

表 4.2 標識効果試験 (水深約 1.0 m における潜望鏡による観察)
Test of marking effect observed under water.

距離 (m)	約 1.5	3	4~9	10~20	30~40 ⁽²⁾
HR 400 N	ランプが識別できる 青緑色	ランプはどうやら識別できる	光が拡散しているがランプの方向はよくわかる	ランプの方向が明るくわかる	うす暗いが方向はわかる・白っぽく見える
HR 400 L	ランプが識別できる 青緑色	ランプはどうやら識別できる 緑色	光が拡散しているがランプの方向はよくわかる	ランプの方向が明るくわかる・約 15 m 以上で白色に見える	うす暗いが方向はわかる・白っぽく見える
HR 400 IN	ランプが識別できる うす紫色	ランプはどうやら識別できる	光が拡散しているがランプの方向はよくわかる	ランプの方向が明るくわかる・青味がかった白色	うす暗いが方向はわかる・白っぽく見える
MR 400-BOC	ランプが識別できる 緑白色	ランプはどうやら識別できる	光が拡散しているがランプの方向はよくわかる	ランプの方向が明るくわかる・青味がかった白色	うす暗いが方向はわかる・白っぽく見える
RS 500	ランプが識別できる 白色	ランプはどうやら識別できる	光が拡散しているがランプの方向はよくわかる	ランプの方向はわかる	うす暗いが方向はわかる・白っぽく見える
直接潜水 ⁽⁶⁾	窓とランプの区別を確認	同左の区別はわかる	同左の区別はつかないが方向はわかる	—	—

- 注 (1) 実験は 44-7/17 20.30~23.30
 (2) 各光色の光源とも 30~40 m で白っぽく見えるのは暗所視の状態のためと思われる
 (3) 海水の平均透過率 87.5 % (海水の厚さ 1 cm)
 (4) 海水の透明度 2 m (白色円板 30 cm, 反射率 85 % 以上)
 (5) 水温平均 22.5 °C (7/17 22.40)
 (6) 直接潜水とは直接もぐって肉眼観測によって確認したもの

面と平行になるように光源よりの光を照射し、潜望鏡および直接もぐって肉眼で観測したものが表 4.2 である。

光源からの観測距離は約 1.5 m より 40 m までであった。各光源とも 1.5 m 程度の至近距離では、それぞれの光源の特長ある光色とランプ形状は識別ができる。3 m の距離ではランプはどうやら識別できる程度の鮮明さであるが、光色は各光源とも緑がかった見える。4~9 m では光源が拡散した感じを示すが光の方向はよくわかる。

10~20 m 程度はなれると ランプの光の方向は明るく感じるのでよくわかるが、各光源とも白色がかって見え、30~40 m 程度では うす暗いが光の方向はわかる。各光源とも光色は白っぽく見える。これは暗所視の状態、うす暗いところでも弱い光に対して視細胞中の カン 状態が働いて、明暗のみを知覚する視覚の状態のためと思われる。

なお、この実験は7月に行なわれたもので、実験場所である下田海域の海水は夏期のため必ずしもきれいなものではなかった。前述のように海域の条件によって、これらの実験結果は大きく変化するものと思われる。

4.5 その他

以上のほか、試験としては演色性、視認性についても行ない種々の実験結果を得ている。それらをまとめてみると、

(a) 光源の選定には用途・目的にもよるが、数m程度の近距離を照明するには白熱電球が手軽で経済的である。演色性（海中では色の識別ができ、各色とも青または青緑がかって見えるが）を考慮し、しかも海中の感じをだすためには メタルハイドランプ が適している。

なお、独得な海中のふんい気をだすために特殊な光色の光源も使用する必要がある。

(b) 海中における光の減衰は吸収および拡散によるものが考えられる。拡散によるものは照度低下だけでなく、対比を弱めるため、視認性を悪くする。光が海中の プラントン または懸濁物などにあたって拡散するために起こる光幕現象は、照度を増しても対象物とその周囲の輝度差が少なくなり、照明をしたために対象物がはっきり見えなくなるという結果を生ずる。この現象を極力減少するには対象物の近くから照明し、しかも対象物以外に光を照射しないようにして、対象物と周囲との対比を強くするのが効果ある方法といえよう。

5. む す び

以上、海洋開発および海洋産業をすすめるために、必要な海洋照明に関する海洋環境と照明状況、海域別の海水の光学特性について

のべ、さらに最近行なった海洋照明に関する種々の実験と、それらの結果についてのべた。これらは今後の海洋照明の設計のための基礎資料である。海洋照明は大気中と異なる特殊な条件の下での技術であり、一般の他の分野の照明に比較して著しくおくれている。したがって、諸資料は正確さよりも早く、しかも広範囲に海洋における照明技術の全般については握る必要がある。これらの海洋照明に関する未確認・不明確な研究課題は早急に解決していかなければならない。
(昭和45-9-17 受付)

参 考 文 献

- (1) 小堀：海洋照明に関する諸問題，照学誌 54, No. 9, 4 (昭45)
- (2) 小堀：最近の海洋照明技術を展望する，OHM ジャーナル 昭和45年8月号，別冊 16
- (3) 小堀，田中：海中作業基地の照明実験，昭45電気学会連合大会論文 837
- (4) 佐々木：海洋光学，照学誌 54, No. 1, 4 (昭45)
- (5) N. G. Jerlov : Optical Oceanography, Elsevier Publishing Co. (1968)
- (6) 小堀：メタルハイドランプの将来性をさぐる，OHM ジャーナル 昭44年12月号，別冊 15
- (7) 久保，竹田ほか：三菱 BOC ランプ—新しいメタルハイドランプ—，三菱電機技報 42, No. 8, 1,072 (昭43)
- (8) 大盛，大田ほか：新形水銀ランプ，三菱電機技報 37, No. 10, 1,211 (昭38)
- (9) 小堀：照明設備，(株)海洋開発センター，海洋開発 [I] 概論，p. 342 (昭45)
- (10) 小堀，田中：海洋照明に関する2~3の照明実験，昭45照明学会全国大会論文，94
- (11) 小堀：海洋開発における照明技術の問題，昭45電気関係学会東北支部連大 1 C-1

空調形けい光灯器具の機能分析

勝 田 高 司*

石 井 重 行**

Functional Analysis of Air-Handling Troffer

University of Tokyo, Institute of Industrial Science

Takashi SHODA

Mitsubishi Electric Corp., Ofuna Works

Shigeyuki ISHII

An air-handling troffer combines a lighting fixture and an air conditioner. It is possessed of a peculiar function of the air-handling troffer as well as the essential one assigned to the illumination and air conditioning. This point is taken up as a central item of discussion, and analysis is made on the information made available from experiments which have been made so far and from reference materials now found in the circles. As a result, logical conjecture is made to find means of establishing the objective of performance as a reference to the future study of the subject.

1. ま え が き

空調形けい光灯器具はすでに進歩的な施主によって国内各所に徐々に普及しているが、照明、空調を主体としたビル内居住環境の向上の要求に伴いその解決策として、これに対する期待が一般的にな



(a) 大阪三菱ビル 一般事務室



(b) 八十二銀行本店事務室

図 1.1 空調形けい光灯器具による照明
Lighting by air-handling troffer.

りつつある。この理由としてはこの器種の使用により

- (a) 天井面の簡素化、整理
- (b) 設備の空間単位(空調グリッド、照明グリッド)の小形化、統一
- (c) 照明器具効率の維持・過熱防止
- (d) 空調負荷熱の軽減

などの諸利益が考えられるためである。

以下、空調形けい光灯器具の機能要素について説明し、これによる性能目標の設定方法を示して、今後の設計にあたっての一助としたい。

2. 空調形けい光灯器具の機能要素

空調形けい光灯器具は照明器具としての機能と空調器具としての機能を合わせたものにさらに、熱交換率、あるいは光出力比という空調形けい光灯器具固有の機能を合わせ持つものである。

ここでとりあげる機能要素はつぎの各項である。

(1) ワット数：器具1台あたりのランプワット数合計、これから熱負荷を計算する場合には安定器損失を含める必要がある。

(2) 風量：吹出空気との室温との温度差と器具あたりの顕熱負荷より算出した値、吸込みの風量もこれに等しい。

$$\text{風量 (m}^3/\text{min)} = \frac{\text{器具あたりの顕熱負荷 (kcal/min)}}{0.28 \times \text{吹出温度差 (deg)}}$$

(3) 器具あたりの顕熱負荷：室内顕熱負荷(冷房負荷)を器具あたりに換算したもの。

(4) 発声音 (dB) : S. I. B (Speech Interference Band) のパワーレベル⁽¹⁾、すなわち発声音をオクターブ分析し、600 Hz~1,200 Hz, 1,200 Hz~2,400 Hz, 2,400 Hz~4,800 Hz の三つのバンドパワーレベルのdB数を算術平均したもの。NC値は騒音レベルであり、S. I. B 3バンドの平均音圧レベルはNC値と等しいから、パワーレベルと室定数、吹出口個数、および指向係数から決まる。

(5) スリット幅：一般に空調形けい光灯器具の吹出口あるいは吸込口はスリット状をなしているから、つぎのスリット長とともにスリット面吹出しあるいは吸込風速の算出に用いる。

(6) スリット長：一般には使用するけい光ランプの長さに対応する。

(7) 到達距離 (m) : 吹出しの場合、噴流の中心速度が 0.5 m/s となる点の吹出口面よりの距離⁽²⁾。

(8) 熱交換率 (%) : 吸込みの場合、照明器具を通過する空気の流れ温度上昇に変換される熱量の入力に対する割合。

(9) 光出力比 (%) : 照明器具を通過する空気によりランプが冷却されて光出力が変化する割合。無風時を 100 とする。通過空気の流れ温度によっても変化するので吹出しについては設定しがたい。

他に照明器具の機能要素としては器具効率、配光、などが考えられるがここでは主として空調の観点から取扱うので省略する。

3. 性能グレード

グリッドは天井面の単位およびそれによって構成される空間の単位である。グリッドの大きさはそれぞれのビルによって異なるが照明のグリッドとしてはむらの少ない照明とするために、両辺が天井高さの

表 3.1 性能グレード表
Performance grade table.

機能要素	性能 グレード 単位	1	2	3	4	5	6	7
ワット数	W	40	56	80	112	160	224	315
風量	m ³ /min	0.5	0.9	1.6	2.8	5.0	9.0	16.0
器具あたり 顕熱負荷 (適用)	kcal/h	85	150 住宅	265 事務室	475 事務室	850 電算機室	1,500 テレビスタジオ	2,650
発生音 (適用)	dB	30 図書室	35 教会	40 事務室	45	50 料理店	55	60 体育館
スリット幅	mm	10	13	16	20	25	32	40
スリット長	m	0.60	0.75	0.95	1.18	1.50	1.90	2.36
到達距離	m	0.28	0.48	0.80	1.32	2.24	3.75	6.30
熱交換率	%	30	36	43	50	60	71	85
光出力比	%	90	95	100	106	112	118	125

表 3.2 大阪三菱ビル向け器具の性能グレード表
(40 W 3 灯埋込下面開放形、ダブルシェルタイプ)
Performance grade table of Osaka Mitsubishi building
type troffer.

機能要素	性能 グレード 単位	1	2	3	4	5	6	7
ワット数	W	40	56	80	112	160	224	315
風量	m ³ /min	0.5	0.9	1.6	2.8	5.0	9.0	16.0
器具あたり 顕熱負荷 (適用)	kcal/h	85	150	265 住宅	475 事務室	850 電算機室	1,500 テレビスタジオ	2,650
発生音 (適用)	dB	30 図書室	35 教会	40 事務室	45	50 料理店	55	60 体育館
スリット幅	mm	10	13	16	20	25	32	40
スリット長	m	0.60	0.75	0.95	1.18	1.50	1.90	2.36
到達距離	m	0.28	0.48	0.80	1.32	2.24	3.75	6.30
熱交換率	%	30	36	43	50	60	71	85
光出力比	%	90	95	100	106	112	118	125

注) 熱交換率、光出力比は風量 1~5 m³/min の吸込みについて、
他は吹き出しについての値

表 3.3 八十二銀行本店向け器具の性能グレード表
(110 W 1 灯埋込下面開放形、給・還気ダブルシェル、
排気シングルシェルタイプ)

Performance grade table of Hachijuni bank type troffer.

機能要素	性能 グレード 単位	1	2	3	4	5	6	7
ワット数	W	40	56	80	112	160	224	315
風量	m ³ /min	0.5	0.9	1.6	2.8	5.0	9.0	16.0
器具あたり 顕熱負荷 (適用)	kcal/hr	85	150	265 住宅	475 事務室	850 電算機室	1,500 テレビスタジオ	2,650
発生音 (適用)	dB	30 図書室	35 教会	40 事務室	45	50 料理店	55	60 体育館
スリット幅	mm	10	13	16	20	25	32	40
スリット長	m	0.60	0.75	0.95	1.18	1.50	1.90	2.36
到達距離	m	0.28	0.48	0.80	1.32	2.24	3.75	6.30
熱交換率	%	30	36	43	50	60	71	85
光出力比	%	90	95	100	106	112	118	125

注) 熱交換率、光出力比は風量 0.3~1.2 m³/min の排気について、
他は吹き出しについての値

1.5 倍⁽³⁾以内の長方形であることが望まれる。一方、経済上からは照明器具 1 台あたりの床面積が広いほど一般に有利である。一般事務室の天井高さは低いもので 2.5 m 程度で、作業面である机上面は床上 0.85 m であるからさしひき作業面からの天井高さは 1.6 m 以上はあるとみなせる。この点から目安として 2.4 m² のグリッドについて、考え得る器具の機能の大きさから上限と下限を定め、これらを工業標準数 (R 40) によって 7 段階に分割した性能グレード表を表 3.1 に示す。ただし発生音はすでにエネルギーの対数をとった量であるため等間隔の分割とした。表中の「適用」欄は建築用途別の基準である⁽⁴⁾。

空調形けい光灯器具を性能分析する場合、この表によって各機能のグレードづけを行なう。これらから形状や構造と各機能との関連、また機能要素間の相関、その器具の水準等を知ることができ、新しい器具の設計目標の資料とすることができる。表 3.2、3.3 は既設の空調形けい光灯器具について性能グレード表に記入した例である。

4. 機能要素の相関

4.1 発生音とスリット面速度

吹出口における発生音は吹出口速度の対数に比例することが知られている。空調形けい光灯器具の吹出口として一般的なスリット吹出口の一例についての関係の実験データを図 4.1 に示す⁽⁵⁾。縦軸は吹出口断面積 10⁻² m² あたりのパワーレベルである。パワーレベル PWL [dB] は音圧レベル SPL [dB] と通過面積 S [m²] とにより次式で表わされる。

$$PWL = SPL + 10 \log_{10} S^{(6)}$$

したがって吹出口断面積が A [m²] のとき、吹出速度を V_0 [m/s] とすれば V_0 [m/s] におけるパワーレベル ($S.L.B$) を図から読みとり、これを PWL [dB] として、吹出口全体のパワーレベル (PWL)_T [dB] は次式で求められる。

$$(PWL)_T = PWL + 10 \log_{10} \frac{A}{10^{-2}}$$

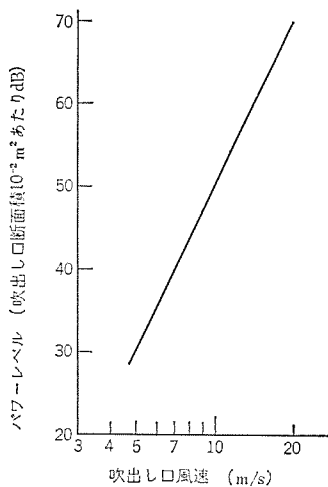


図 4.1 スリット形吹出口（オリフィス状）の騒音特性
供試吹出口 12 mm×1,000 mm
Noise characteristics of slit type diffuser.

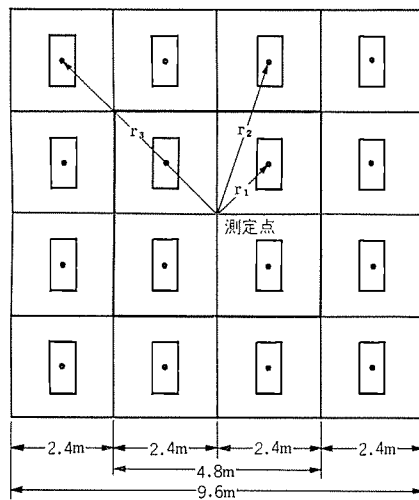


図 4.2 音圧レベル計算のためのモデル
Model for sound pressure level calculation.

$$=PWL+20+10\log_{10}A \dots\dots\dots (4.1)$$

吸込口として使用した場合には、一般に吹出口の場合と同程度以下となるが、一応同じとみて図 4.1 を用いることにする。

パワーレベル (S. I. B) と騒音レベル (NC) との関係はつぎのように求める。

室内のある点での音圧レベル SPL [dB] は

$$SPL=PWL+10\log_{10}\sum\left(\frac{Q}{4\pi r^2}+\frac{4}{R}\right) \dots\dots\dots (4.2)^{(7)}$$

ただし PWL : パワーレベル [dB]

Q : 音源の指向係数

r : 音源からの距離 [m]

R : 室定数 $R=\alpha S/(1-\alpha)$ [m^2]

α : 平均吸音率

S : 室の全内表面積 [m^2]

NC 値は S. I. B の 3 バンドの平均音圧レベルであるから、式 (4.2) を用いて計算できる。たとえば、図 4.2 に示すような 2.4 m のグリッドで構成される 4.8 m の室および 9.6 m の室で、天井高さ 2.7 m、中央床 1.2 m の点における SPL (S. I. B) は、器具が各グリッドの中央にあってそれは中央の点音源であると仮定すると

$$r_1=1.7 \text{ m} \quad \text{個数} \quad 4 \quad 4/r_1^2=1.38$$

$$r_2=3.8 \text{ m} \quad \text{個数} \quad 8 \quad 8/r_2^2=0.56$$

$$r_3=5.1 \text{ m} \quad \text{個数} \quad 4 \quad 4/r_3^2=0.15$$

Q は音源の指向性とその位置によるが、天井平面に取りつけた無指向性音源の値 $Q=2^{(8)}$ を用いる。室定数は周波数、室内の条件によって異なるが、一般事務室の平均として $R=0.2S^{(9)}$ を用いる。

(a) 4.8 m×4.8 m の場合

$$SPL=PWL+10\log_{10}\left\{\frac{Q}{4\pi}\left(\frac{4}{r_1^2}\right)+\frac{4\times 4}{0.2S}\right\}$$

$$=PWL+0.2$$

すなわち、NC 値はパワーレベル (S. I. B) より 0.2 大きくなる。

(b) 9.6 m×9.6 m の場合

$$SPL=PWL+10\log_{10}\left\{\frac{Q}{4\pi}\left(\frac{4}{r_1^2}+\frac{8}{r_2^2}+\frac{4}{r_3^2}\right)+\frac{4\times 16}{0.2S}\right\}$$

$$=PWL+1.6$$

この結果から、2.4 m のグリッドに 1 台の割で取りつけた器具による騒音レベル (NC) は、室の大きさによってあまり変化せず、パワーレベル (S. I. B) の値に概略等しいとしてよい。

したがって、騒音の許容値を NC-35、使用器具は 40 W 空調形けい光灯でスリット幅 12 mm、長さ 1,200 mm の両側吹出しとすれば式 (4.1) から

$$(PWL)_T=PWL+20+10\log_{10}(0.012\times 1.2\times 2)$$

$$=PWL+4.6$$

図 4.1 より、吹出速度 5 m/s のとき許容値とほぼ一致する。

4.2 到達距離と吹出速度およびスリット幅

空調形けい光灯器具の吹出口は、器具の両側のわくに沿ったスリット状のものが一般的である。これを軸流である連続スロット吹出口と考えると、到達距離とスリット幅との関係は次式で示される。

$$\frac{V_x}{V_0}=\sqrt{K\frac{H_0}{X}} \dots\dots\dots (4.3)^{(10)}$$

ただし V_0 : 吹出口の中心速度 [m/s]

V_x : 吹出口より水平距離 X [m] の面での中心速度 [m/s]

H_0 : 連続スロット幅 (スリット幅) [m]

K : 吹出口定数 (実験値)

$0<X\leq 5H_0$ では $V_x=V_0$ となる。図 4.3 はこの関係を示したものである。性能グレード表中の到達距離は $V_x=0.5$ m/s として、 H_0 (スリット幅) と、 V_0 (ここではスリット面速度) を用いて式 (4.3)

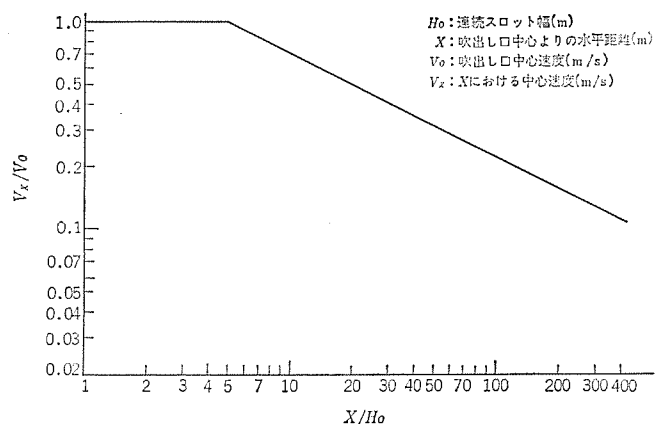


図 4.3 吹出口からの距離と風速
連続 (端板付) スロット $K=5$
Air flow velocity at a distance from diffuser.

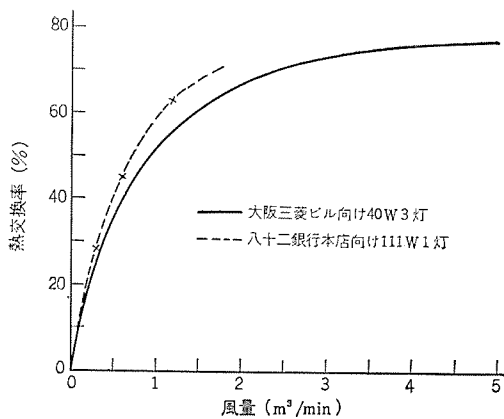


図 4.4 空調形けい光灯器具の熱交換特性
Heat removal characteristics of air-handling troffer.

あるいは図 4.3 によって求めることができる。

天井に沿って水平に吹出す場合、 H_0 が 2 倍になった場合と等しくなる。したがって到達距離は 2 倍となる。

4.3 熱交換率と風量および器具の構造

熱交換率はランプ入力と安定器損失との和に対する、器具を通過する空気温度上昇に変換された熱量の割合である。それは器具の構造および風量によってかなり異なる。

風量との関係は実験によって示されている。その例を図 4.4 に示す。その傾向は風量の少ないうちは熱交換率が急速に増すがしだいに一定の値に近づく。器具の構造は器具内のランプ、安定器などの発熱体と通過する空気との接触の程度が大きいほど、したがって器具内の空気径路が長いほど熱交換率が大きくなることが予想される。また、ランプ下面のカバーの有無が大きな影響となる。カバー付きの場合は室内へ放出されるふく(輻)射熱量が少なくなり、その分熱交換率を大きくすることが可能となる。

5. 性能目標決定法

空調形けい光灯器具はどの程度の性能まで可能であるかを空調システム性能にまでさかのぼって検討し、器具の設計にあたっての性能の目標値を決定するプロセスについて述べる。

フローチャートを図 5.1 に示す。

(1) 独立な機能に関する目標の設定：ある用途の建築に関して、照度、室温、騒音、システムとしての経済性などに対する要求を検討し、表 3.1 中の機能要素のうち他の要素と直接関連のない独立な機能についての性能の目標を基準として設定する。

(2) モデルの設定および分析：(1) で設定した機能の性能目標から、それに関連する他の機能のグレードを求める。求めたすべての

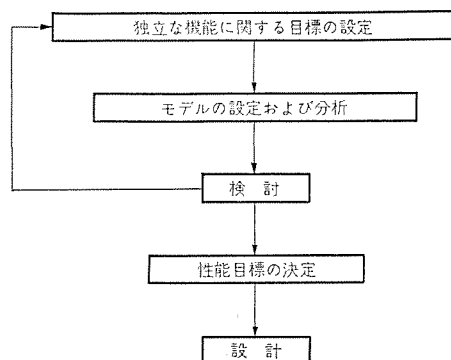


図 5.1 性能目標決定のためのフローチャート
Flow chart for performance target determination.

性能をグレード表上にプロットする。

(3) 検討：設定したモデルの性能が(1)における建築用途に関する所期の諸要求を満足するかどうかチェックする。さらに技術的に明白に不可能な点はないかチェックする。満足しなければ(1)にフィードバックして目標値を変更する。

(4) 性能目標の決定：(3)のチェックを通過したモデルは性能目標として決定され、設計段階に進む。

〔性能目標決定の例題〕(フィードバック後の結果)

(1) 独立な機能に関する目標の設定

- 一般事務所建築のインテリアゾーン(東京)
- 照度 1,000 lx
- 室内温湿度 26°C、50 %
- 騒音 NC-40 以下
- 居住域における気流速度 0.5 m/s 以下
- 設備費、経常費の低いこと
- 美観

これらの要求から空調形けい光灯器具を吸込口として使うこととし、つぎのように機能の目標値を設定する。

- ワット数 240 W (40 W 6 灯下面カバーつき)
- スリット幅 12 mm
- 熱交換率 70 %

(2) モデルの設定および分析

- スリット長：けい光灯の長さに対応して 1.2 m
- 器具あたりの顕熱負荷：けい光灯の入力(安定器損失分も含め)および人体負荷(1 人/5 m²×54 kcal/h・人⁽¹¹⁾) 320 kcal/h
- 風量：93 m³/h (吹出温度差を設定して、顕熱負荷より求める。ここでは(3)からのフィードバックの結果)
- スリット面速度：器具の両側に設けたスリットの面積と風量より 0.9 m/s
- 騒音：図 4.1 を用いて、スリット面速度と吹出口断面積より 30 dB 以下

以上をグレード表上にプロットして表 5.1 に示す。

(3) 検討

フィードバック後の結果であるので(1)における各要求は一応満足さ

表 5.1 例題の性能グレード表
Performance grade table of an example.

機能要素	性能グレード	1	2	3	4	5	6	7
ワット数	W	40	56	80	112	160	224 ⊕220	315 ⊕240
風量	m³/min	0.5	0.9	1.6 ⊕1.55	2.8 ⊕1.55	5.0	9.0	16.0
器具あたり 顕熱負荷 (適用)	kcal/h	85	150	245 ⊕320	475 ⊕320	850	1,500	2,650
発生音 (適用)	dB	30 ⊕30以下	35 ⊕30以下	40	45	50	55	60
スリット幅	mm	10	13 ⊕12	16	20	25	32	40
スリット長	m	0.60	0.75	0.95	1.18 ⊕1.2	1.50 ⊕1.2	1.90	2.36
到達距離	m	0.28	0.48	0.80	1.32	2.24	3.75	6.30
熱交換率	%	30	36	43	50	60	71 ⊕70	85 ⊕70
光出力比	%	90	95	100	106	112	118	125

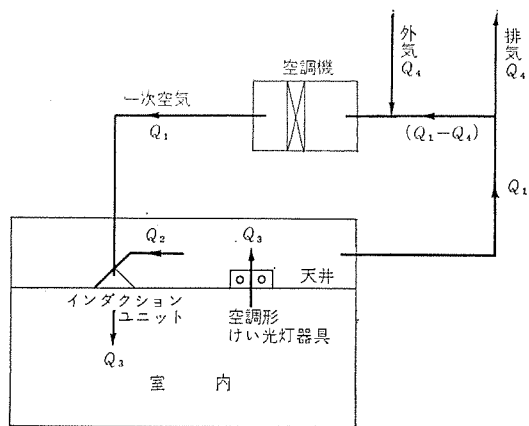


図 5.2 採用する空調システムの系統図
Diagram of adoptive air-handling system.

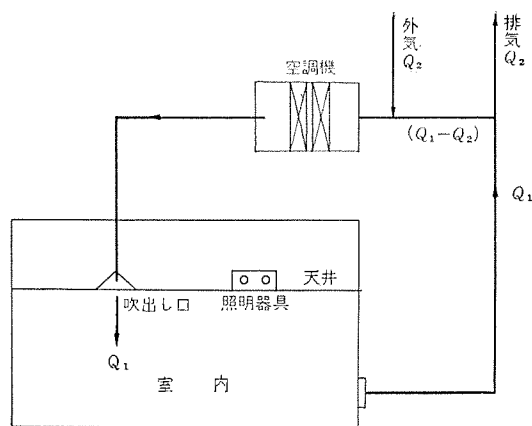


図 5.4 従来の空調システムの系統図
Diagram of common air-handling system.

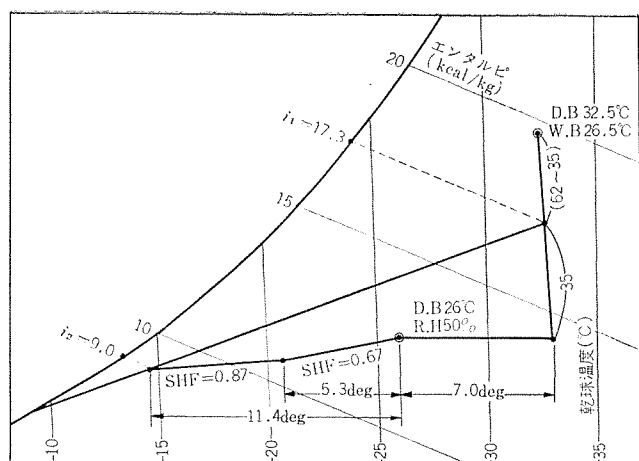


図 5.3 採用する空調システムの空気線図
Psychrometric chart of adoptive air-handling system.

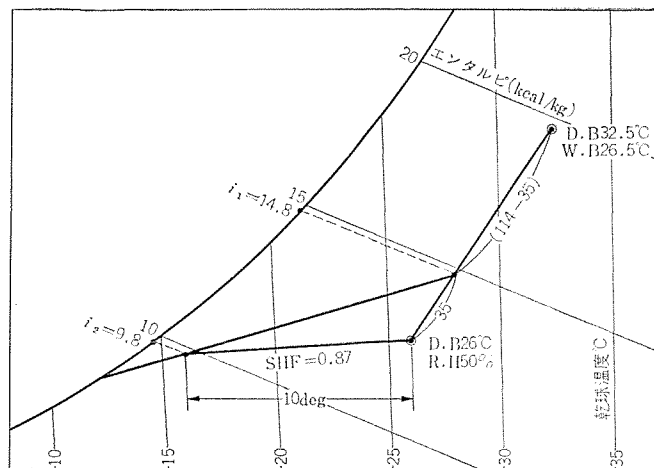


図 5.5 従来の空調システムの空気線図
Psychrometric chart of common air-handling system.

れているが、設備費・経常費に関連して、採用する空調システムおよび従来の（空調形けい光灯器具を用いない）一般的な空調システムとの比較を行なう。

(a) 採用する空調システム（図 5.2 参照）

空調形けい光灯器具を天井裏が還気チャンバである天井に取付けて吸込口とし、給気はインダクションユニットを用いて天井裏の温風と冷風である一次空気との混合空気を吹出すものとする。

インダクションユニットの誘引比を 1.5 とすると

$$\frac{Q_3}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = 1.5$$

Q_1 : 一次空気量

Q_2 : 二次空気量

Q_3 : 吹出空気量 93 m³/h

$$Q_3 = 1.5Q_1 \text{ より } Q_1 = 62 \text{ m}^3/\text{h}$$

必要新鮮空気量は 6 m³/h・m² (12) として $Q_4 = 35 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{吹出温度差} = \frac{139 \text{ kcal/h}}{93 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.28 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{deg}} \div 5.3 \text{ deg}$$

器具を通過した空気の温度上昇は除去熱量より

$$\frac{181 \text{ kcal/h}}{93 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.28 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{deg}} \div 7.0 \text{ deg}$$

空調機からの一次空気温度は

$$\frac{93 \text{ m}^3/\text{h} \times 5.3^\circ\text{C} + 31 \text{ m}^3/\text{h} \times 7.0^\circ\text{C}}{62 \text{ m}^3/\text{h}} = 11.4 \text{ deg}$$

顕熱比 (S. H. F) は 1 人あたりの潜熱を 59 kcal/h (13) として二次空気の混合については、

$$\frac{320}{320 + (59 \times 5.76/5)} = 0.87$$

室内への吹出しについては

$$\frac{139}{139 + (59 \times 5.76/5)} = 0.67$$

外気条件を東京の設計条件の夏期ピークである乾球 32.5°C 湿球 26.5°C (14) としたときの空気線図を図 5.3 に示す。図からエンタルピー $i_1 = 17.3 \text{ kcal/kg}$, $i_2 = 9.0 \text{ kcal/kg}$ を得る。

(b) 従来の一般的な空調システムの場合（図 5.4 参照）

必要新鮮空気量, 1 人あたりの潜熱, 外気条件は (a) の場合と同じ, 顕熱比は (a) における二次空気の混合の場合と同じ。

吹出温度差を 10 deg とすると吹出風量は

$$\frac{320 \text{ kcal/h}}{0.28 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{deg} \times 10 \text{ deg}} = 114 \text{ m}^3/\text{h}$$

これらの値を用いた空気線図を図 5.5 に示す。図からエンタルピー $i_1 = 14.8 \text{ kcal/kg}$, $i_2 = 9.8 \text{ kcal/kg}$ を得る。

(c) 冷房負荷の比較

冷房負荷はつぎの式により得られる。

$$q = G(i_1 - i_2)$$

ただし q : 冷房負荷 [kcal/h]

G : 風量 [kg/h]

i_1, i_2 : 空調機入口および出口空気のエンタルピー
[kcal/kg]

従来の一般的な空調システム

$$q_b = G_b(14.8 - 9.8) = 5.0G_b$$

採用する空調システム

$$q_a = G_a(17.3 - 9.0) = 8.3G_a$$

$$= 8.3 \times \frac{62}{114} G_b = 4.5G_b$$

$$= 0.90q_b$$

(d) 採用する空調システムの検討結果

(i) 一般の空調に比べ冷房負荷は約10%減少する。

(ii) ダクトを通る風量が約半分にになり、ダクトを細くできて、送風機の容量も小さくできる。

(iii) 再熱のための熱量が不要である。

(iv) 吹出温度差が小さくなるから室内の空気分布が良くなる。

(v) インダクションユニットを別に取付けなければならない。

(vi) 天井チャンバの断熱性・気密性を良くする必要がある。

6. む す び

照明・空調はビル環境設備の二本柱である。この二つを兼備した

空調形けい光灯器具は、ますます増大する居住環境高度化の要求とともに期待される設備として発展を続けよう。

すでに各所に大規模なこれらの設備が出現している現時点は開発についても第二段階を迎える時期でもあり、これらの見直しをする絶好の機会といえよう。以上述べてきたことがこの見直し、あるいは将来の目標へのアプローチの手段として活用され改良されていくことを望むものである。

参 考 文 献

- (1) ASHRAE : Guide and Data Book Fundamentals and Equipment, 203 (1961)
- (2), (7)~(14) 井上 : 新版空気調和ハンドブック, 257・242・258・61・67・5 (昭42) 丸善
- (3) 照明学会編 : 新編照明のデータブック, (昭43) オーム社
- (4) 建築学会 : 「環境基準のあり方」資料集 (昭42)
- (5) 板本 : ダクト系の騒音に関する実験的研究 (未公刊)
- (6) 空気調和・衛生工学会 : 空気調和・衛生工学便覧Ⅰ, 45 (昭42)

人工気象室と照明

飯塚 宗夫*

Biotron and Its Artificial Light

Horticultural Research Station, Ministry of Agriculture & Forestry, Hiratsuka, Kanagawa

Muneo IIZUKA

With the progress in modern science, the necessity of biotronics has been stressed—a series of science to solve vital phenomena in the controlled circumstances and to make use of the result.

An artificial atmosphere room in the domain of biology is the one satisfying the necessity of fundamental researches of plants. Installations of the kind related to general plants are called Phytotron; achievements available from the installations are promoted as well as the improvement of the control power of the circumstances such as temperature, humidity, light and gas etc. The results have helped stimulating the development of agriculture in plastic or glass houses and opened up agricultural enterprise. But there still remain many problems unsolved in the control of light circumstances and biological utilization, thus leaving many dreams to the agriculturist.

1. ま え が き

地上に生命の誕生があって以来、生物は進化を重ね、それぞれ、その環境に適応した形質を保有して、今日見られるような種(species)の多様性を示すようになった。このことは動物界・植物界を通じて共通の現象である。この場合、環境構成要因としては、気温・地温・光・水・大気組成・土壌・無機質肥料などの自然発生の物理・化学的現象に関連したものを主体とし、食物・有機質肥料などの食物連鎖と関連した現象が副次的となっている。生物の持つ適応形質は、各生物の生活を取りまくこうした諸環境のなかにおける進化の過程において、まず、個体の維持と種属の維持とに顕著に現われる。ここで前者を種属維持のための一過程の姿として考えるとき、進化の結果として現われた適応形質は、種属維持のために関連した諸形質に集中されると言っても過言ではなからう。人類も本質的には一般生物の一種であることは免れない。ただそこに考える力、意志をもつ点において異なるに過ぎない。この考える力は、いわゆる生活の知恵として原始生活から芽ばえ、人類の生活向上のささえとなってきた。自然のままに採取・狩猟して食糧を得ていた生活から、進んで自ら食用植物を耕す農耕と、有用動物を馴化し飼育する牧畜の方法を見出し、それがさらに進んで、時とともに近代農業への展開をはかってきた。この間、人類はもっぱら自然環境のままに生物・作物面から自然環境を有効に利用するような個々の生物を選抜、あるいは育成する——立派な品種をつくりかつ選ぶことに努力が払われてきた。しかも一方では、育成された作物を自然環境のもとにおいて、100%利用するという努力に限られていた。これは、生物をそれらの保有する遺伝質と環境との反応の総和として利用していたにすぎないことを意味する。このような原始的な生物の利用方法は、やがて各生物の保有する遺伝能力を、人類の生活のために有効に発揮させる積極的な手段の開発へと進め、地温・気温・光などを主体とした初歩的環境調節のくふう——たとえば、温床・むろなどの開発を促した。

近年になって生物を取りまく諸基礎科学および応用科学は、生物の進化過程において蓄積された各遺伝質の作用面を、各形質の発現にいたる各過程においてとらえ、最終形質のよって来るゆえんを解明する手段をくふうし、ここに生物をめぐる高度の環境調節施設が

発展してきた。今日、こうした施設を必要とする関連研究分野はきわめて広く、動物学・植物学・医学・農学など生物科学の基礎および応用の全般にわたっている。

2. 人工気象室の調節対象環境と調節施設の種類の

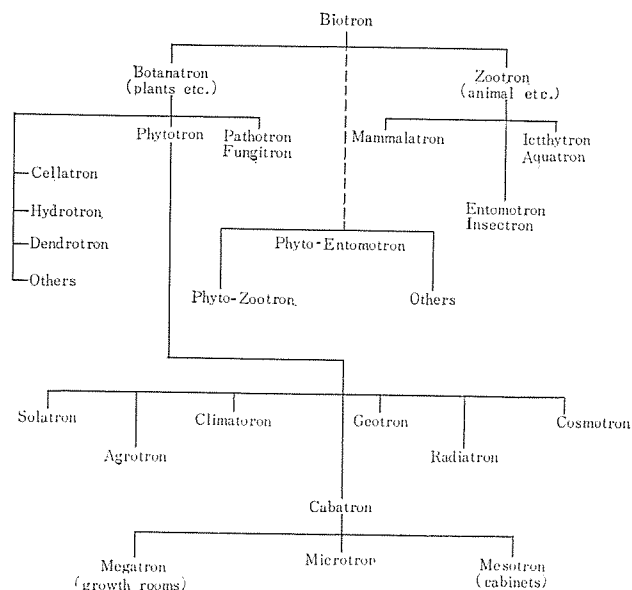
調節の対象となる環境としては、まず地球上を取りまく物理化学現象のすべてが包括されている。しかし、調節施設設定のうえで必要とする界面の諸科学の現状および施設建設のための経済的背景などのために、今日では温度・湿度・光・ガスを中心にした表2.1にかかげる諸現象に主体がおかれている。これら諸要因の制御は単独で行なわれるよりも、むしろ2要因以上が組み合わせられた環境として設定されている場合が多い。しかし、近年では宇宙空間への研究の発展に伴って、地上ではあり得ないような環境が、生物に与える影響をしらべる必要が生じ、この面の特殊環境の施設が要求されるようになってきた。また、急速に高まりつつある諸公害に対処する環境調節施設の開発と、その利用も急を要するようになった。

生物環境調節施設は、その場を用いて行なう研究材料および目的などによって、調節対象となる環境要因の数・精度・規模などが異

表 2.1 対象とする制御要因
Various environmental factors controlled in the phytotron.

大 項 目	小 項 目	備 考
温 度	気温、地温、水温、温度リズム	諸組み合わせを含む
湿 度	空気中湿度、土中湿度	諸組み合わせを含む
光	光量、光質、光量・質のリズム	諸組み合わせを含む
ガ ス	量、質、流れ	諸組み合わせを含む 空気中、土中とも
降 水	量、質、リズム	諸組み合わせを含む
風	量、質、リズム	諸組み合わせを含む
音	量、質、リズム	諸組み合わせを含む
重 力	強 弱	
水	量、質、流れ	諸組み合わせを含む
生 物	密度、種類	諸組み合わせを含む 下等～高等生物まで

表 2.2 Biotron の 類 別
Classification of various biotrons.



なる。一つの環境調節施設が、多くの使用目的に適合した施設であれば便利ではあるが、その建設には、経済上の問題も手伝い不可能にちかい。

一般に環境要因に対する生物の反応を研究するために調節された諸環境、あるいは種々の環境を造り出す装置を持っている施設を総称して Biotron とよび、これにはさらにガラス室・諸化学実験室・作業室・工作室などの付属施設も含まれる場合が多い。Biotron は研究目的・研究対象などの別にしたがって、合目的に種々の型がとられ、種々の名称で呼ばれている(表 2.2)。なお、生物学領域における環境生物学および環境調節に関する研究をバイオトロニクスと呼んでいる。なお、わが国においてはバイオトロニクス関係の諸研究分野の発達を期し、関係者により構成された日本生物環境調節学会が設けられ、この面の研究の推進をはかっている。今日、環境調節施設の利用は生物全分野でみられ、しかも利用目的はきわめて多岐にわたる。ここでは生物界において食物連鎖のもととなる植物関連の、主として農学の立場にたつての生物環境調節施設、Phytotron(ファイトトロン)について紹介を進めたい。

3. 植物分野におけるバイオトロニクスの展開

植物分野におけるバイオトロニクスの研究は、Went (1950)⁽¹⁾によって“完全に制御され、しかも再現できる気象条件”の作出を目標として、California Institute of Technology に Phytotron が 1949 年に設立され、端緒がひらかれた。わが国では 1953 年にはじめて国立遺伝学研究所と、日本専売公社秦野たばこ試験場に小規模の Phytotron が設置された⁽²⁾。しかし、これらの施設は Lang⁽³⁾のいう Phytotron の具備条件である、“環境の制御と再現性のほか種種の環境条件の交換を可能にしようる人為環境を創造する”には乏しかった。その後、バイオトロニクス部面における植物学諸分野の研究の進展に伴い、Phytotron 能力の質的向上と規模拡大への要望が、特に光質・光量・制御などの面で急速に高まり、試行錯誤の面を多分にふくみつつ、大学あるいは他の試験研究機関に種々の型の Phytotron が設置され、諸機能も向上した。このような経緯を経て、1963 年に農林省園芸試験場にはじめて、気温・湿度・光量を広範囲

に調節することのできる Phytotron が設置され、近代的 Phytotron の発展期を迎えた⁽⁴⁾。以来、北海道農業試験場に前者とほぼ同規模のそれが、秦野たばこ試験場にはガス制御をとり入れた Phytotron が⁽⁵⁾、理化学研究所には植物病理学の立場から Fungitron、応用こん虫学の立場から Insectron、植物生理学の立場から Phytotron が建設され⁽⁶⁾、また、九州大学に生物環境調節センターが付置されて、バイオトロニクス分野の研究が活発に行なわれるようになった。これらを含む、既往のバイオトロニクス関連研究の成果は、実際農業面にも活用され、たとえば、1970 年にはタイ研究農場に温湿度調整に関し、プログラムコントロールが可能な Phytotron が建てられ、育種の進展のために大きな力となることが期待されるようになった。このようにバイオトロニクス研究の一面、施設工学分野の技術にも長足の進歩が見られ、今では建設に当たって数社がその技を競うようになった。

なお、ここに諸外国における植物関係の主要な環境調節施設名をあげたい。先にも述べたように、1949 年に Calif. Inst. of Tec. に Phytotron が設立されてから、諸外国においても種々の型の Biotron が建設された。とりわけ近年においてはオーストラリアの Canberra に建てられた CSIRO の Phytotron(1962)、フランス Gif の Phytotron (1965)、米国の Wisconsin Biotron (1967) などは、それぞれ現代の先端をゆく施設で、これらはいずれも温度・湿度・光要因についての制御機構はもちろん、種々の要因の組み合わせがとられるようになっている⁽⁷⁾。なお、Wisconsin Biotron は光要因はすべて人工光によるもので、バイオトロニクス関連の基礎生物学の今後の方向を示唆している。

4. Phytotron の一例

ここに Phytotron について、一例として農林省園芸試験場のそれをあげ、その内容を概説したい。この Phytotron は自然光室 6 室(各 26.4 m²)、人工照明室 4 室(各 12.8 m²)、暗室 2 室(各 12.8 m²)を主体として、これに機械室・調査室・準備室・消毒室・宿直室などからなる本館(868.80 m²)と、付属温室として第 1 温室(92.4 m²、室温 35°C まで)、第 2 温室(61.5 m²、パッドアンドファン方式冷房、室温 20°C まで)、発電および変電室(108.0 m²)の合計 1,130.7 m²からなっている。制御各室の温度条件は、正確に均一に制御できることを目標として、室の組み合わせによって -5°C~35°C の幅にわたって調節する機能を持つ。湿度については、人工照明室で 70±5% に調節し、自然光室では 70~95% の粗制御にとどまった。人工照明室の照度については 7,000~15,000 lx とされた。炭酸ガスについては、常時一定量の新鮮空気をダクト内を循環する空気の中に導入している。この循環空気は各制御室の床全面から吹き出し、これを壁面から回収して室内条件を均一に保つように図られている。このた

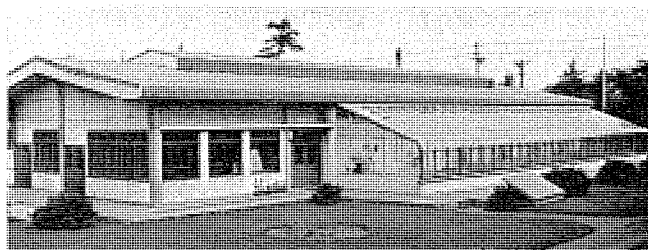


図 4.1 農林省園芸試験場 Phytotron 外観
Exterior view of the phytotron of the Horticultural Research Station, Ministry of Agriculture & Forestry, established in 1964.

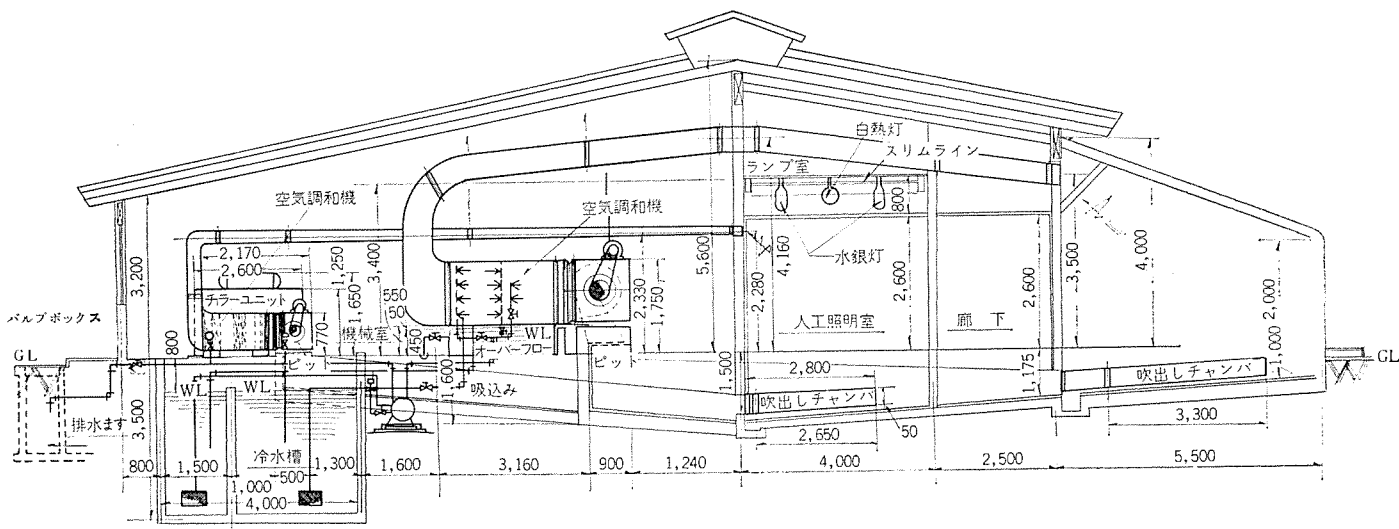
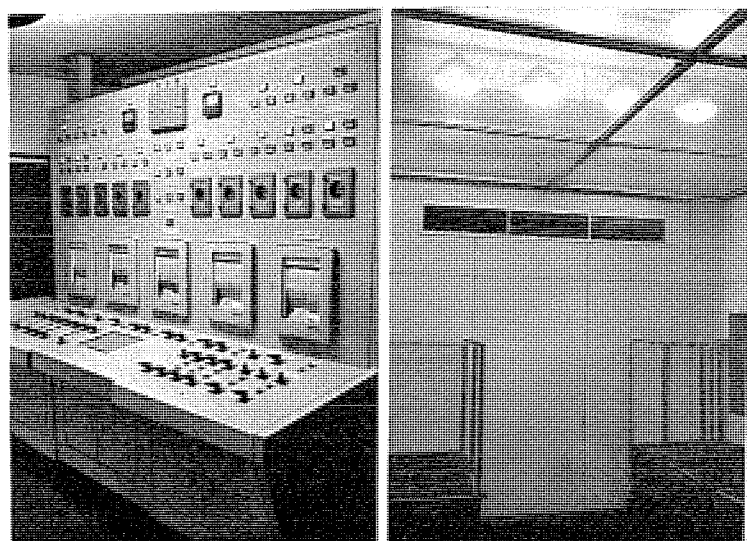


図 4.2 農林省園芸試験場 Phytotron 断面図
Section of the phytotron of the Horticultural Research Station.



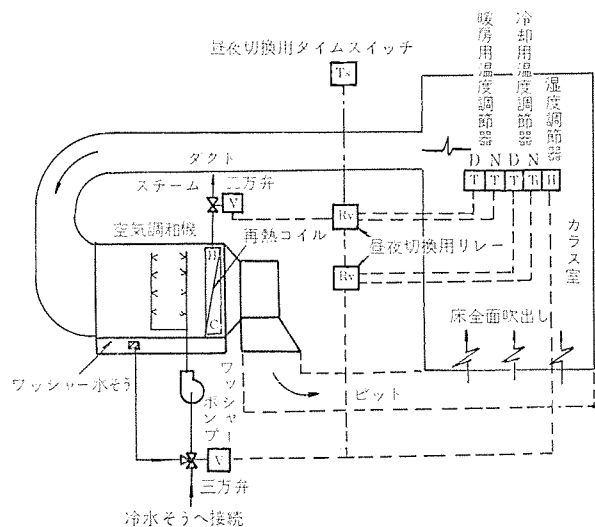
制御盤

人工光室

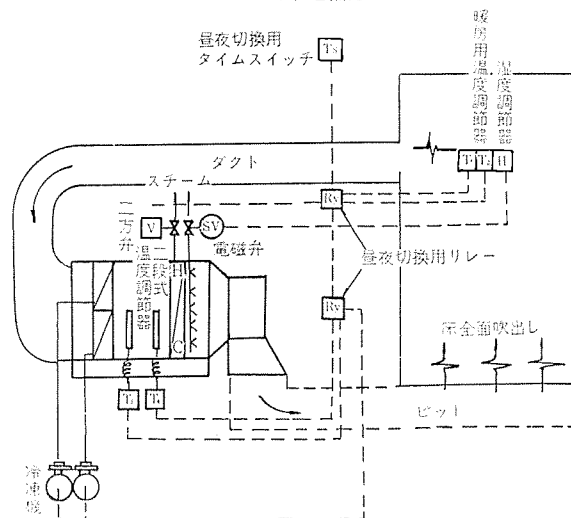
図 4.3 農林省園芸試験場 Phytotron 内部(左制御盤, 右人工光室)
Interior views of the phytotron of the Horticultural Research Station.

め室内空気の動きは 1 m/s 以内にとどめられた。この施設においては、故障による危険を最少にとどめるため、各室ごとに別々に空調和装置を設け、停電を考慮して自家発電装置が付置されている。各室の温度調整は、主として冷却水を用いてのエア・ワッシャー方式のほか、直膨コイル・噴霧加湿方式・直膨コイルスチーム加湿方式・冷水コイルスチーム加湿方式などが用いられている。以上のように当園芸試験場の Phytotron は、気温による環境制御と光による環境制御とを主体としている。ここでは、以下に温度環境を除き、中心を光環境において記述をすすめたい。

先にふれたように人工照明室は、合目的な光量・光質が得られ、しかも温度・湿度・ガスなどの組み合わせによる制御が望ましい。園芸試験場に設置された人工照明室は、自然光に近い光質で光量の多いことを目標として、気温および湿度との組み合わせのもとに設定された。当初、光源はけい光水銀灯 (700 W , 1 kW)・スリムライン (66 W)・白熱電球 (100 W) の組み合わせからなっていた(表 4. 1)。これら光源はアルミ反射板からなる天井の下に取り付けられ、このランプハウスは天井高 0.8 m で、 5 mm 厚の亚克力板で実験室とし



(a) 自然光室



(b) 人工照明室

図 4.4 2 種類の空調方式 (A 自然光室, B 人工照明室)
Two types of air conditioning systems used for natural light room (A) and artificial light room (B).

断され、ランプハウスの側面および天井からの自然換気によって、ランプハウス内の放熱をはかった。ところが、これでは光量の絶対値が低すぎるのみならず、太陽光に比べ、また植物の吸収スペクトル(図

表 4.1 最近における Phytotron 人工照明室の制御諸元
Factors of artificial light room of various phytotrons recently developed in Japan

所 属	室番号 m ²	温 度 °C			湿度 %	照 度 lx				灯 具	そ の 他
		昼	夜	精 度		1 段	2 段	3 段	4 段		
農 林 省 園芸試験場 Phytotron	1 12.8	8—13	8—12	± 1	70 ± 5	7,000	5,000	5,000	—	白熱電球, スリムライン または, 屋光色けい光灯 水銀灯	換気回数 4/h
	2 12.8	15—20	12—15			10,000	7,000	5,000	—		
	3 12.8	19—26	15—20			20,000	16,000	10,000	7,000☆		
	4 12.8	25—35	20—25			26,000	20,000	10,000	7,000☆		
北 海 道 農業試験場 Phytotron	1 19.3	10—30	10—30	± 1	75 ± 5	27,600				白熱電球 けい光灯 水銀灯	
	2 19.3	10—30	10—30			27,600					
	3 19.3	10—30	10—30			27,600					
秦 野 たばこ試験場 Phytotron	5 14.0	20—35	12—28	± 0.5	30—95 ± 3	30,000	20,000	10,000	—	メタルハライドランプ	CO ₂ を 2,000~200 ppm ±10 ppm 水温を 5~45±1°C に 制御 換気回数 4/h
	6 14.0	20—30	12—22			30,000	20,000	10,000	—		
	7 14.0	15—30	18—22			30,000	20,000	10,000	—		
理化学研究所 Fungitron	A 9.9	15—35	15—35	± 1	50—90 ± 3	10,000				メタルハライドランプ	
	B 9.9	15—35	15—35			10,000					
	C 9.9	15—35	15—35			10,000					
Phytotron	A 16.0	12—40	12—40	± 1	70—80 ± 5	30,000				メタルハライドランプ	プログラム, ランプ室空 調, 換気回数 6/h
	B 16.0	12—40	12—40			30,000					

☆改修後の値である

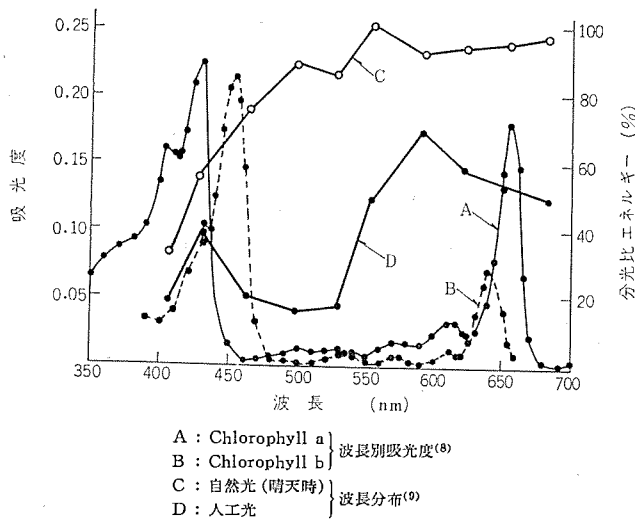


図 4.5 いね葉緑素の吸収スペクトルと人工光の波長分布
Absorption spectrum of the chlorophyll-a (A), -b (B) of rice plant and distribution of the wave length of natural light (C), artificial light of the phytotron.

4. 5) を考慮しても、470~520 nm の波長部の相対エネルギーが著しく低く、また 600~700 nm のそれも低すぎた。さらに、ランプハウスの気温が 50°C を越え、アクリライト板を通じ実験室の気温に影響し、また光源の能力も阻害されることがわかってきた。そのうえ、実験室内の受光量にも平面分布・垂直分布のいずれにおいても不均一性のあることが判明した。これらの欠点のうち、ランプハウスの過高温は空気とり入れ口を大きくする一方、反対側に換気扇を取り付け、強制換気によって改善することができた。光量と光質については、光源をスリムラインから屋光色けい光灯 (110 W)、筒形水銀灯から反射形水銀灯にかえ、しかも水銀灯の 1/2 は赤色補光の特殊形へ換えることによって改善された。たとえば、No. 4 室では初期照度で 30,000 lx、安定した照度で 26,000 lx となり、光質も自然光と大差がなくなった。ただ、室内光量分布の不均一性はランプ取り付け位

置を変えることが望ましく、なお保留の状態にある。

ちなみに平塚における晴天の日の正午前後における屋外での照度は冬季で約 30,000 lx、夏季で約 110,000 lx となっている。表 4.1 に、近年日本で設立された Phytotron の人工照明室制御諸元の数例を示した。この種の人工照明室では照度は 30,000 lx 程度にとどまっている。また光源は、混合光か単一光かのいずれかであるが、廉価で太陽光にちかい単一光源となるとメタルハライドランプが便利である。しかし特殊光質を強調するような場合には、混合光源が好都合である。建設費および維持更新費を別とすれば、太陽光にちかい強光源としてはキセノンランプがあるが、1,000 時間程度の保証ではなお問題があろう。

先にも記したように 30,000 lx 未満の光量では、農業上においては、多くの作物で正常な生活反応をみることは困難である。特に生殖生長に関する諸反応をみる場合、予備の環境下においてもいわゆる buffer action などの植物自らの自己調整作用によって、植物にとって最も大切とする種子は得られても、その性質発現の過程において現われる諸形質はゆがめられる場合が多い。したがってこの種の人工照明下では特殊な目的、たとえば、花芽の形成や開花促進など日長効果、光量と同化・呼吸、栄養代謝などの基礎問題や、育苗時の補光、球根類の促成開花などの諸応用問題の解明の場として、温度・湿度・CO₂ などと関連づけた研究が進められている。これらから得られる結果は、プラスチックハウス、トンネルなどプラスチック被覆下栽培その他施設農業の推進に役立っている。

現在、100,000 lx 内外の強光を得る装置としては完全空調のできるランプハウスを持ち、キセノンランプを光源とする growth cabinet が多く考案されている。この場合、ランプハウスの強い放射熱吸収にはフィルタとして水そう(槽)を用いている場合が多い。

5. 光質をめぐるバイオトロニクス

人工照明において、光量とともに重要な点は光質についてである。ここで、さらに生物と光の関連にふれてみたい。

光質環境は光量環境におとらず各生物の進化の過程において、その生存・繁殖などに大きな影響を与えてきた。このことは高等植物から微生物まで陸生および水生の別を問わず共通した事実である。この現象によって、植物の種 (species) の水平的、垂直的分布および同一種の生態型の相異などがもたらされた。地球をとりまく大気圏を通過して地上に到達する光の質——七色の光の比率は赤道直下と当地方および極地とは大きなちがいがある。また、水中では水深によって光質が異なる。それぞれの地でその環境——光質もふくんで——適応した型の植物が栄えるわけである。作物もまたある地域の光質下において、光適応型として育成とうたされてきた。したがって、それぞれの作物の持つ遺伝子的背景を考慮し、それらが反応する光質を合目的に照射することによってその発芽・分化・開花・結実などを人為的に制御することができるはずである。近年における基礎植物生理学はこの種の問題を実験的に展開し、さらに進んで分子生物のレベルで解明を試みるようになってきた。一方、農業の部面においては基礎学で得られた知識が積極的に活用され、特に、赤色光利用の電照栽培による開花抑制や、かんらん・白菜など十字花科野菜の赤色光バーナイズーションによる抽苔 (花の軸ができる)・開花促進などにみられるように、光質利用による開花・結実の制御が盛んに行なわれるようになった。さらに最近における色プラスチック被覆材の進歩、簡易加温・冷却装置の進歩、砂・れき (礫) 耕栽培の発展などによって、これらの組合せから農業は企業的展開が可能となってきた。このように生物の基礎および応用実験をとりまく光質制御環境の重要性は、いよいよ高まっている。しかし厳密な光質制御環境は巨額の金を投じないかぎり、作出することがむずかしいために、今日までなおざりにされていたうらみがあり、バイオロニクス面での解決を望まれる部面がきわめて多い。今日、植物関係の研究に利用する光質の制御方法は、大別して次の2方法となる。

5.1 光質の粗制御

現在望まれている光質の粗制御環境としては、1対象として50mμ幅をセッティングできるようなgrowth cabinetが多く用いられている。光源にはカラーランプのような特殊けい光灯を用い、さらに色セロファン・色プラスチック・着色木などをフィルタとして用い、両者の組み合わせによって純度を高めている。この方法によると、相当大きな照射面積が得られ、しかも扱いは便利である。三菱カラーランプBF-2・YRF-2・RF-1などは波長分布は狭く、相対エネルギーは比較的高い。近年、近赤外部が植物の生理反応に大きな影響を与えることがわかってきた。この点に留意した光源およびフィルタの開発が望まれる。

5.2 光質の精密制御

スペクトルグラフによる方法と干渉フィルタによる方法とがある。

(a) スペクトルグラフによる方法

太陽光に近い強光線、たとえばキセノンランプから発する光を、プリズムまたは回折格子によって分光するいわゆるスペクトルグラフ装置を用い、さらにフィルタを過によって、高い純度の光をとり出す方法である。プリズムスペクトルグラフによる大形の装置は、米国 Beltsville の農務省農学研究所に、回折格子スペクトルグラフ装置は、米国 Argonne 国立研究所⁽¹⁰⁾にあって、光植物反応における作用スペクトルの研究に非常な力となっている。この種装置はフランス Gif の Phytotron 研究所にもあるという。これらは巨額の建設費を必要とするとはいえ、わが国にも望まれる施設である。しかし小型の分光装置は日本でも用いられている。京大農学部照射分光装置でみると、キセノンランプ (6.5 kW) からの光をおう (凹) 面回折格子によって400~800 mμ間

に分光し、高さ10 cm、幅200 cm間に投射する。この場合波長純度は1 mm幅に0.15 mμとなり、エネルギーは5,000 erg/cm²/sとなっている⁽¹¹⁾。

(b) 干渉フィルタによる方法

強光源から発する光を照射器によって損失を少なくして干渉フィルタ群を通し光質を整え、その光を利用する方法である。米国の Smithsonian Institution⁽¹²⁾、ドイツの Tübingen 大学⁽¹³⁾などのほうが広く用いられている。日本でも農林省農業技術研究所で、この種の照射装置を考案し、可視部光線の大部分が照射面において、1 mW/cm²で得られている⁽¹⁴⁾。

(c) 問題点

植物を材料として光質に関連した研究を進める場合には、得られる光の純度の高いこと、エネルギーの大きいこと、これらが光源の新旧や電圧などにより変化しないこと、被照射面積・高さが大きいこと、など矛盾した要求も含まれる。廉価で、太陽光に似た強光を発し、長時間寿命のある光源が望まれる。また、干渉フィルタを通過した弱光の増幅など手法の開発が望まれている。

6. む す び

ここ2~3年における二次産業の成長は誠にめざましく、その収益性については、農業をふくむ一次産業との間に大きなこう (較) 差がうまれつつある。一方では国際的立場、国の経済的背景も手伝って、農産物は今や国際商品となり、国際的競争力が得られなくては、その存続は不可能となりつつある。こうした背景は一部において離農・過疎問題をおこしてきた。この時点において、一つには農業と二次産業との間の収益性のこう差をちぢめ、また一つには生産物の価格面においても、品質面においても、国際的競争力を付与することはきわめて重要で、そのため関係各面の技術開発は誠に急を要する。この意味において、生物学領域におけるバイオロニクス分野の技術開発はその一翼をになうものとして注目されている。特にこの面から得られる施設工学および生物学の基礎研究の成果は、長い進化の過程を経て到達した現在の生物、品種の持つ生命現象および種属保存のための環境反応のからくりを、明らかにしてきた。これらの成果は、たとえば施設農業に應用され、完全に計画のもとに農産物生産の営みを行なうことができる方向をひらいた。このことは、まさに一次産業としての農業の企業的展開への一步を示すものであ

表 6.1 農学領域における光制御の活用部面
Usages of light control in the agricultural fields.

対 象	基 礎 ま た に 応 用 部 面
作 物	光合成 光周性 光形態形成 光発芽 風光性 走光性 その他
有 用 微 生 物	生殖 代謝 その他
有用・有害こん虫	化感 成熟 生殖 休眠 発育リズム 走光性 抵抗性 (侵入病虫) その他
家 畜・家 禽	繁殖 代謝 害鳥 換羽・休眠 その他
水 産 生 物	食性 繁殖 その他
各種または特定生物	冬期育苗補光、菊その他の電照、特に光中断による周年栽培 開花調節による育種 (世代促進) 種子 (レタス) の寿命延長、誘が、忌ひ効果 鳥類の産卵期調節 魚類の成熟期調節 微生物繁殖制御 病虫害抵抗性検定

て、たとえば、環境調節の発達した今日の養鶏業は、一人当たり生産において自動車工業のそれに相当するといわれている。

バイオロニクス の領域において特に光環境の制御と利用とは、施設農業の発展に無限の夢を与えている。いずれの場合においても光の調節は、質・量・照射時間・リズム・波長分析・光熱の除去などについて合目的に行ないることが望ましく、光制御工学と、それをとりにくく諸学の進歩に大きな期待がよせられている。

参 考 文 献

- (1) F. W. Went : Chronica Botanica, 12, 96 (1950)
- (2) 環境調節実験委員会 : 生物学領域における環境調節, 技報堂 (昭 32)
- (3) L. T. Evans : Environmental control of plant growth, (1963) Academic Press, New York.
- (4) 農林省園芸試験場 : 人工気象室 (1964)
- (5) 小倉 : 生物環境調節 6, No. 2, 29 (昭 44)
- (6) 農林省ワーキンググループ 報告 No. 3, 生物環境調節施設に関する報告書 (昭 43)
- (7) 塚本, 宮山 : 空気調和・衛生工学, 37, No. 1 (昭 38)
- (8) 赤井, 福富 : 病虫発予特報, 農林省, 17, 24 (昭 39)
- (9) 中川 : 園試気象研究室業績 5 および 7 (昭 41)
- (10) G. S. Monk, C. F. Ehret : Radiation Research, 5 (1956)
- (11) 小西, 塚本 : 日本生物環境調節研究会講演集 6 回 (昭 43)
- (12) R. B. Withrow : Plant physiology, 32 (1957)
- (13) H. Mohr, G. Schoser : Planta, 53 (1959)
- (14) 稲田, 溝尻 : 生物環境調節 6, No. 2 (昭 44)

美浜原子力発電所 1号機の照明

金 関 勇*

Illumination of Mihama Nuclear Power Plant Machine No. 1

Osaka Sales Office Isamu KANESEKI

From the viewpoint of reducing the power cost and of the future of energy sources, building nuclear power plants has been going on briskly. Mihama nuclear power plant machine No. 1 of the Kansai Electric Power Co., where Mitsubishi participated in the design of the illumination and delivered lighting fixtures, has been now completed and scheduled to enter into commercial operation from October. The illumination of the nuclear power plant is not basically different from that of thermal power plants except for the primary system. With the primary system, it needs specially thorough consideration on the construction, finish and performance against earth quake, corrosion and other failures.

The article describes the illumination of the whole installations of PWR power plant in brief with the illumination of the container taken up as the main topic.



図 1.1 建設中の様子 (昭和43年8月当時)
Power plant under construction.

1. ま え が き

発電コストの低廉化と、エネルギー資源の将来性より、原子力発電が近年多数実用されてきた。わが国においても各電力会社が原子力発電に注目し、各地に原子力発電所の建設が進められている。関西電力(株)においてもいちはやく計画し、9電力会社のトップをきいて、昭和37年11月福井県三方郡美浜町丹生に建設を計画、第1号機340,000 kW、第2号機500,000 kWの原子力発電所を昭和41年12月に着工、本年8月より試運転に入り、10月より正式運転の予定である(8月末現在)。筆者は当初より本発電所の照明設計に参画したので、第1号機の完成を機に、その概要を述べて読者の参考に供したいと思う。

原子力発電所はほぼ火力発電所と類似で、火力発電所は石炭や重油などを燃料として、ボイラーで水を高温高压の蒸気として、そのエネルギーでタービン発電機をまわして発電している。原子力発電所では、石炭や重油などのかわりにウランを燃料として使用し、ボイラーにかわって原子炉がある。したがって、原子力発電所では核燃料を使用するため、放射性物質に対する安全対策が種々施されている。当美浜発電所は加圧水形軽水炉形を使用し、直接原子炉内を循環する一次系は原子炉格納容器(以下コンテナ)内で処理され、コンテナ外では蒸気発生器を経由して、放射能のまったく絶縁された二次系と

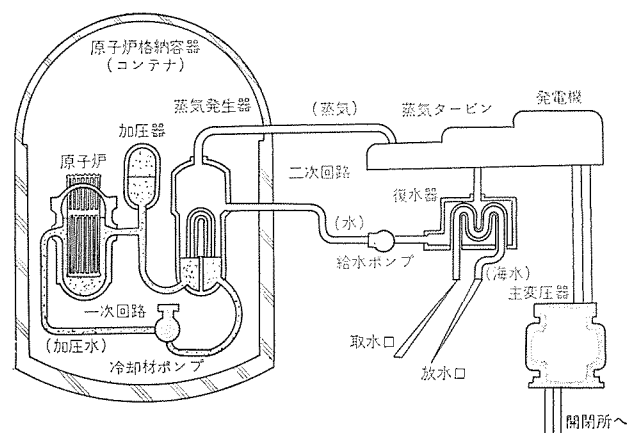


図 1.2 美浜原子力発電所系統図
System diagram of Mihama nuclear power plant.

なっている。したがって、照明方式は一部を除いて火力発電所とほぼ同様である。なお、核燃料の保管、使用済燃料の処理などの補助建屋がある点は火力発電所にはない大きな違いである。

関西電力(株)美浜発電所第1号機の仕様概要⁽¹⁾次のとおり

(1) 原子炉

形式 加圧水形軽水炉

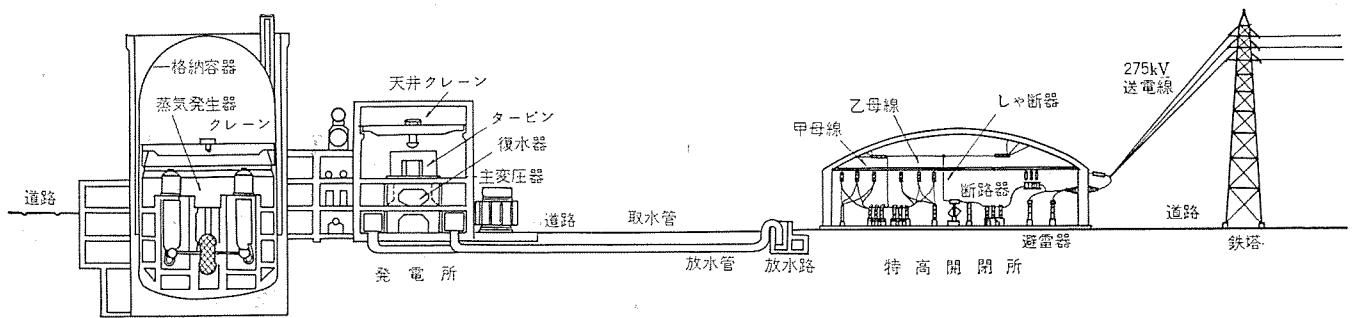


図 1.3 機器配置断面
Sectional view of the arrangement of apparatus.

熱出力	1,031,000 kW
燃料	低濃縮二酸化ウラン
	平均濃度 (初装荷炉心) 約 2.6 %
燃料集合体個数	121
ウラン装荷量	約 40 t
制御方式	制御棒およびほう酸濃度の加減
台数	1 台
(2) 蒸気発生器	
冷却材流量	11,800 t/h × 2
冷却材圧力	157 kg/cm ²
冷却材温度	308°C (平均)
蒸気発生量	1,015 t/h × 2
台数	2 台
(3) 原子炉格納容器	
形式	円筒形 アニュラスシールド付き
寸法	内径 33.4 m, 全高 66.5 m
台数	1 台
(4) 蒸気タービン	
形式	横置き形 2 車室再熱再生式
出力	340,790 kW
回転数	1,800 rpm
蒸気条件	圧力 54.5 kg/cm, 温度 269°, 真空度 722 mmHg
台数	1 台
(5) 発電機	
形式	タービン直結三相回転界磁形 (水素冷却)
定格容量	400,000 kVA
力率	85 %
周波数	60 Hz
台数	1 台
(6) 主変圧器	
容量	370,000 kVA
電圧	一次 17,000 V, 二次 275,000 V
台数	1 台

2. コンテナ内の照明

2.1 一般照明

前述のとおり、コンテナ内には原子炉をはじめ一次系の機器が格納されているため、コンテナ自体、地震その他に対し厳重な安全対策がなされている。照明においても光源・構造・材質その他に幾多の配慮がなされている。

表 2.1 コンテナ内照度基準
Standard of illumination in the container.

	天 井	3 FL	2 FL 以下
W 社要求	な し	300 lx	200 lx
実 施	8 lx	200 lx	100 lx

2.1.1 光源

効率・ランプ寿命などより、当初関西電力(株)関係者と打合わせ、けい光ランプおよび水銀ランプを使用する予定であったが、Westinghouse 社 (以下 W 社) よりランプが破損したとき、ランプ内の水銀が飛散し、コンテナ内の機器や構造物の金属を腐食させるおそれがあり、水銀を封入したランプの使用禁止の申し出があり (一次系は W 社の責任施工)、白熱電球を採用することとし、なるべく大きい容量を使用、灯具数および消費電力の節減に努めた。すなわち、取付高さの高い運転フロア (EL 10.1 m 以下 3 FL) 照明用および水中照明用光源は 1,000 W 電球、その他のフロア用は 300 W 電球とした。なお、DC 非常用およびアニュラス照明用は 100 W 電球を採用した。また、コンテナ内は放射性物質の空気飛散を防止するため、外気より低圧としており、定期的にコンテナの気密試験が行なわれる。この際 2.75 kg/cm² の圧力を加圧する。したがって、電球にこの圧力がかかるのでこの圧力に十分耐えるものでなければならない。この圧力に耐えない電球だと気密試験時に全部取りはずさねばならない。市販の一般照明用電球 (1,000 W 投光器用 PS 形電球) をテストの結果、3 kg/cm² の圧力に耐えることが判明したので、電球はすべて入手の容易な市販品を採用した。

2.1.2 照度

当初 W 社よりの要求は表 2.1 のとおりであったが、この値は、関西電力(株)の火力発電所の実績照度に比べ 1.5~2 倍の高照度であるばかりでなく、光源に白熱電球を使用するため、この照度を確保するには、水中照明を除いても消費電力は 110 kVA を越え、照明器具も 8 m² に 1 台と非常に多くなるため、W 社の了解のもとで同表の実施値とした。なお、W 社は天井照明については要求していなかったが、天井は高天井 (3 FL より約 44.3 m) の鋼板製ドーム天井で、同鋼板に溶接その他の加工を現場で施すことは、気密保持上通産省の施工認可所要日時が工程上問題があるばかりでなく、保守点検、万一時の放水など幾多の問題があるので、配置図 (図 2.4) に示すとおりにコンクリートの壁面より 3 FL を照明しており、天井は 3 FL よりの反射光のみで非常に暗くなり陰うつとなるから、ポーラクリンより 10 lx 程度の照明を施した。ただし、保安灯を除いて大部分の照明は点検・燃料交換時などに点灯し、常時は消灯している。

2.1.3 照明器具

コンテナ内は前述のとおり定期的に圧力 2.75 kg/cm² の気密試験が

行なわれる。また、万一原子炉に事故があり、最悪の事態となったときに天井より放水される仕組みとなっているので、照明器具は防雨構造とするとともに、下層部の器具は密閉構造とした。材質・仕上げなども特に考慮し、ガラスは硬質ガラスまたは熱強化ガラスを使用、

金属部は原則としてステンレス (SUS 27) または黄銅製クロームメッキ仕上げとし、やむを得ず銅やアルミニウムなどを使用するものの外面は、サンドブラスト処理後、下塗りに亜鉛系無機質 ジンクリッチプライマーを焼付

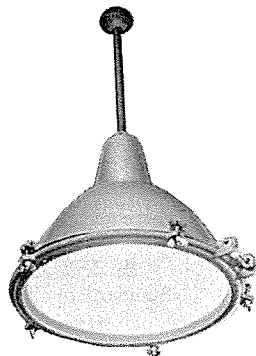
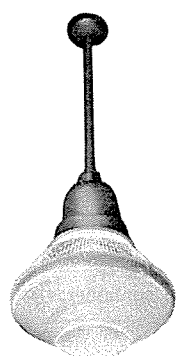


図 2.1 HP-201 形プリズムグローブ 300 W 白熱灯器具
Illumination standard in the container.

図 2.2 HE-302 形 1,000 W 白熱灯器具
Type HE-302 1,000 W incandescent lighting fixtures.



図 2.3 コンテナ内 2 FL (EL 4.0 m) の照明
Lighting of container with 2 FL.

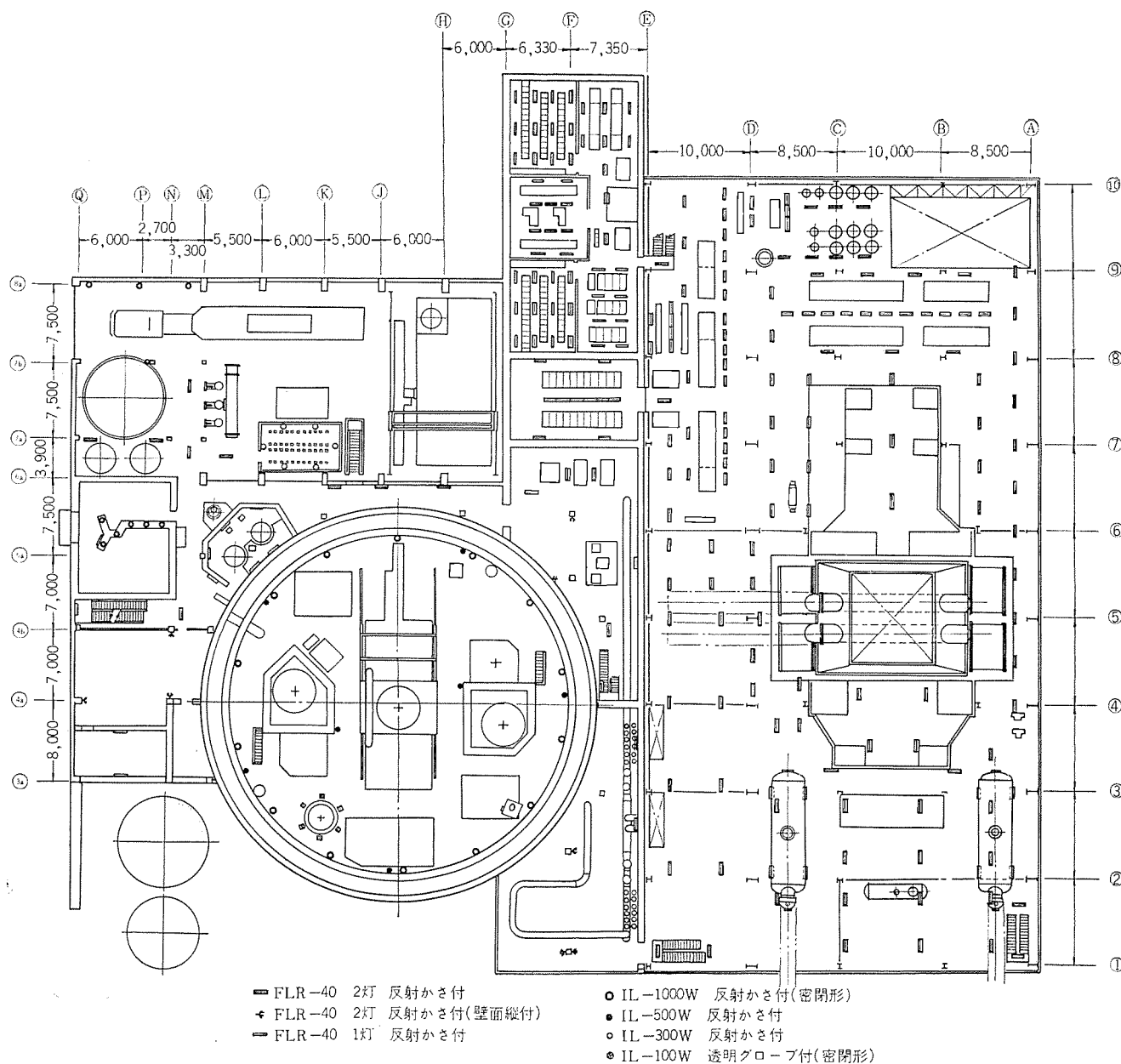


図 2.4 コンテナ内照明器具配置図 (EL 10 m 100)

Arrangement of lighting fixtures in the container (EL 10 m 100).

け、上塗りには放射能・溶剤・薬品などに対して高性能なフェノール系厚付塗料を焼付塗装仕上げしている。

2. 1. 4 各部の照明

(1) 天井の照明

前述のとおり、鋼板部分には照明器具を取り付けず、ポーラレン中央部に 500 W 投光器 4 台、両端部に 200 W 投光器 8 台を取り付けて照明した。取り付け可能なコンクリート壁に取り付けると、クレンの保守点検時にまぶしさを与えるとともに、天井にクレンの陰ができるため、この方法は採用しなかった。

(2) 3 FL (EL 10.1 m) の照明

中央部はポーラレンに、1,000 W 白熱灯投光器 5 台が取り付けられ、原子炉上部を照明しているの、主として周辺部照明用として、床上 6 m の壁面に密閉防水形の 1,000 W 白熱灯器具を 14 台等間隔に取り付けて照明している。停電時の非常用としては、床上 3.5 m の壁面にほぼ等間隔に 100 W 白熱灯器具を 5 台と、中央部に 2 台を配置している。

(3) 2 FL 以下 (EL 4 m, -2.15 m, -6.15 m) の照明

上方にも約 30 % (器具効率 87.5 %) の配光を持つ、密閉形硬質

ガラス製のプリズムグローブ 300 W 白熱灯器具を 13~18 m² に 1 台の割で、階段・出入口を考慮して、天井よりつり下げ (一部壁付け) とほぼ 100 lx になるように照明している。また、アニュラスには出幅の少ない非常用器具を壁面にほぼ等間隔に取り付けて照明した。

2. 2 水中照明

コンテナ内には燃料交換時などに放射能をしゃへいするための水そう (槽) がある。使用済み燃料は水中で原子炉より取り出され、補助建屋内の使用済み燃料ピットへ送り込まれる。この作業を水そう内で行なうため、水底はもちろんのこと水中の照明が保安上重要な役割となる。この水そうに使用される水は数パーセントのほう酸水で純水に近い水である。

したがって、水中での光の透過率は蒸留水中の 75 %/m⁽²⁾ に近い相当高い値であると思われる。

2. 2. 1 水中照明に対する W 社の要求条件

- (1) 燃料交換時に邪魔にならない位置
- (2) 燃料交換中でも電球交換が可能な構造
- (3) プールサイドから照明器具の水平回転が可能なこと
- (4) 照明器具の取り付け時に垂直方向の調整が可能なこと

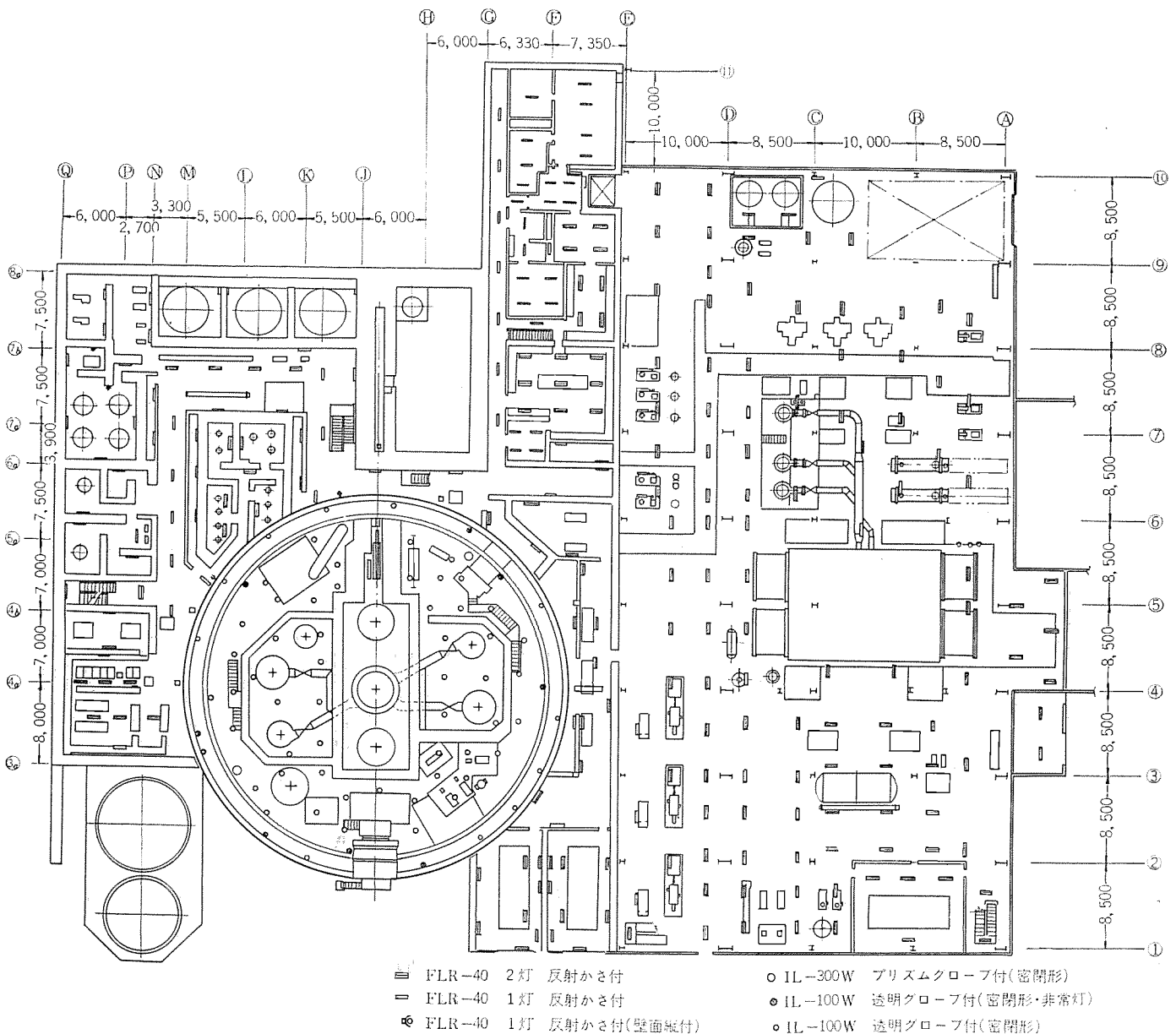


図 2. 5 コンテナ内照明器具配置図 (EL 4.00 m)

Arrangement of lighting fixtures in the container (EL 4.00 m).

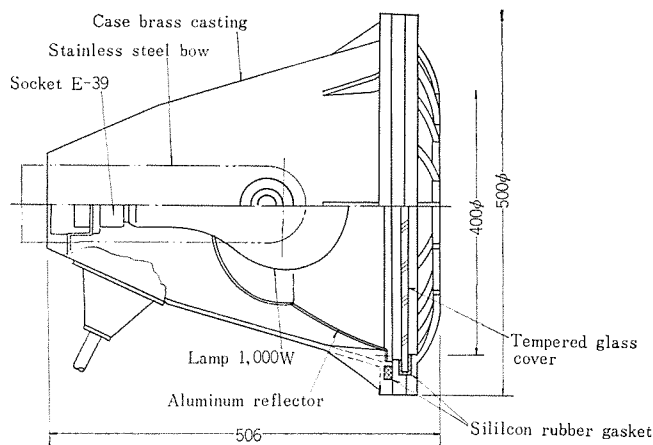


図 2.6 1,000 W 白熱灯水中投光器
1,000 W incandescent lamp underwater projector.



図 2.7 1,000 W 白熱灯水中投光器の水密試験
Watertight test on 1,000 W incandescent lamp
underwater projector.

- (5) 照明器具の取り付け時に上下に多少移動できること
- (6) 前面ガラスが破損落下せぬよう保護網をつけること
- (7) 各ポールに2個の照明器具を取り付け、プールの底面と水中の両者を照明すること
- (8) プール底面の照度は水を張った状態で 300 lx 以上
- (9) 光源は 1,000 W 白熱電球を使用すること
- (10) ほう酸のしゃへい水に接液する金属はステンレス SUS 27 または黄銅クロームメッキ仕上げを使用すること

2.2.2 光源

一般照明用と同様に、入手が容易で最低 300 h 以上点灯可能なことを条件に選定した。W 社は G 型水中専用電球（定格：電源電圧 120 V、光束 25,000 lm、寿命 50 h）を 105 V（寿命 200 h）で使用するよう推奨してきたが、国産品に概当品がなく、また、万一ランプが破損したとき短絡するなどの問題があるため採用しなかった。市販されている JIS C 7512 投光器用電球 PR 100 V 1,000 W（定格：電源電圧 100 V、光束 18,000 lm、寿命 1,500 h）を 105 V（寿命 300 h 以上、光束 21,000 lm 以上）で使用することにした。燃料交換時の作業時間が延べ約 200 h であること、ランプ効率をできる限り最大とすることを考慮して、寿命が確実に 300 h を越える範囲で電源電圧を高くして光束が多くなるようにした。300 h より短寿命とすると、作業時間の延長、ランプのばらつきによる短寿命などによる作業中の消灯事故を防ぐため、予定作業時間の 50 % 増しの寿命を確保するようにした。逆にあまり長寿命とすると、ランプ効率が悪くなるばかりでなく、次の作業中に消灯するおそれがある。したがって、

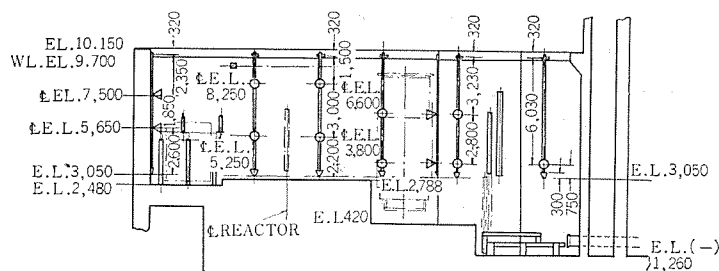


図 2.8 コンテナ内水中投光器配置図(断面)
Arrangement of underwater projectors in the container.

水中照明用電球は一作業終了後は必ず交換することとした。

2.2.3 照明器具

ランプ室を密閉とし、ランプ室内の反射鏡により配光を制御した。接液部の金属は W 社の指示により、板、パイプおよび棒材は SUS 27 を使用し、铸件部分は黄銅製クロームメッキ仕上げとした。前面ガラスは 8 mm 厚の透明熱強化ガラスを用い、密閉部のパッキンにはシリコンゴムを使用した。使用時の水深が 10 m 以内であるので、水圧は 1 kg/cm² 以内であるから、器具は 2 kg/cm² の気圧差に十分気密であることとした。

2.2.4 配置

図 2.8 に示す。

3. タービン建屋の照明

タービン建屋は前述のとおり二次系で、放射能のおそれは全くと言ってもよいほどないので、一般の火力発電所の照明と同一とした。

表 3.1 火力発電所本館内照度実績
Actual result of illumination in the thermal power
plant main building.

場 所	基 準 (lx)
ボ イ ラ ー 周 辺	100
空 気 予 熱 器	100
給 水 加 熱 器	100
タ ー ビ ン 台 内 部	100
タ ー ビ ン 運 転 床	200
電 気 室 (ス イ ッ チ ギ ャ)	200
デ ィ ー ゼ ル 発 電 機	100
蓄 電 池 室	100
H, C O ボ ン ベ 室	50
給 水 ボ ン プ	100

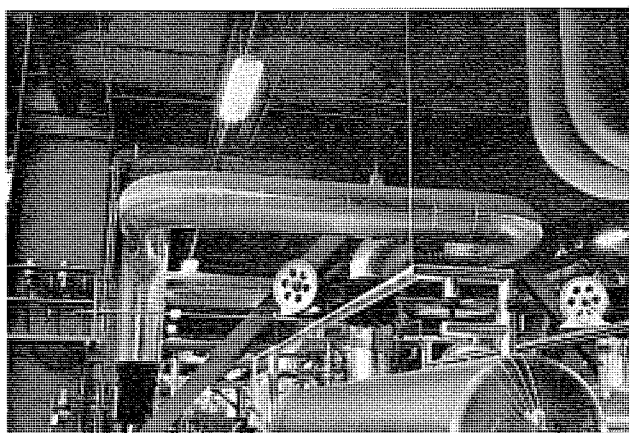


図 3.1 給水加熱器床付近の照明
Illumination in the neighbourhood of the floor of feed water heater

3.1 光源

けい光ランプを主として使用し、取り付け場所の関係で、けい光ランプの使用が不適当な場所にはけい光水銀ランプを使用した。

3.2 照度

関西電力(株)火力発電所の照度実績に準じた。

3.3 照明器具

照明効率のよい反射かさ付き器具を使用、けい光灯具は原則として40 W 2灯用器具を採用し、水銀灯器具はタービン運転床照明用として、1,000 W 用反射かさ付き器具を採用した。

3.4 配置

図2.4および図2.5に一例を示す。

4. 補助建屋の照明

補助建屋には燃料保管場所や、使用済み燃料の処理施設があるが、照明は一部を除いてタービン建屋と同様の照明方式とした。すなわち、反射かさ付き器具を使用し、けい光灯を主体として、場所により適宜白熱灯で照明した。

燃料保管室には反射かさ付き300 W 白熱灯器具を使用し、使用済み燃料ピット用水中照明には、コンテナ内プールと同様に1,000 W 白熱灯水中投光器を用いた。

補助建屋の照明器具の配置の1部を図2.4および図2.5に示す。



図4.1 補助建屋燃料保管室の照明
Illumination of fuel store room in auxiliary building

5. 中央制御室の照明

火力発電所の中央制御室と同様、計測器盤で囲まれる部分全面を

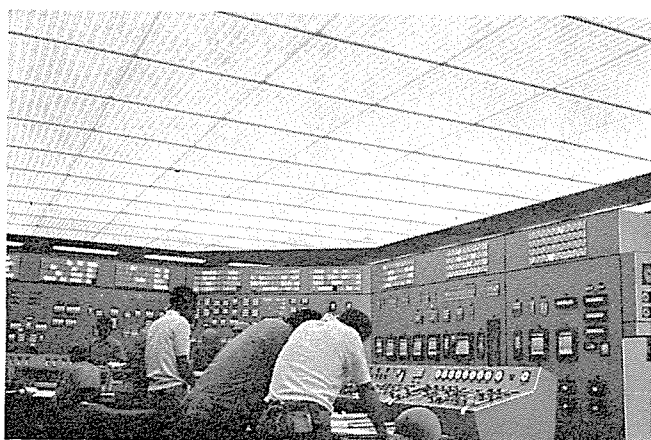


図5.1 中央制御室の光り天井照明
Illuminated ceiling of the central control room.

光り天井として、盤面が光源による輝度むらをおこさないようにした。光り天井内のふところを広くするとともに、ランプ配列を千鳥配置として、パネル面の明暗差はもちろんのこと、ランプが一部不点となっても目立たないよう考慮した。盤背面には半埋込カバー付きけい光灯具を配し、光り天井とのつりあいを保った。

6. 開閉所の照明

6.1 照明方式

開閉所や変電所は一般にディスコン部より高い位置に光源を設けて、上部から下向けに照明しているが、照明器具の保守点検時に非常に危険であるばかりでなく、監視の際、ディスコンやブスは照明の影の部分を見ることになるとともに、高輝度な光源が目にはいりいっそう見えにくくなる。これらの欠点を除くため、関西電力(株)の火力発電所の特高開閉所では大阪火力発電所以来、床上3 m以下に上下2方向配光の照明器具を取り付けて、機器の鉛直面はもちろん、ディスコン部の下向水平面、床面ともに十分な照明として好評を得ている。本美浜原子力発電所においてもこの方式を採用した。

6.2 照明器具および光源

アルミ電解研磨の反射鏡と拡散用プリズムグローブの組合わせにより、上方へ65%、下方に35%の光を出すとともに、水平方向の輝度を極力押えている。

この配光制御を確実にするためには、光源の発光面が小さいほど有効である。すなわち、けい光水銀ランプは発行面が外管となるため、指向性が悪く上下主光軸の光度が小さくなるばかりでなく、水平方向の光度が大きくなり、監視者にまぶしさを与えることになる。したがって、外管の透明な高圧水銀ランプを使用した。

6.3 照度

関西電力(株)の火力発電所の実績に準じて、機器の鉛直面照度およびディスコン部の下向水平照度を50 lx以上、床面の水平照度を30 lx以上とした。

6.4 配置

275 kV 特高開閉所は、建屋の両側の床上3 mの高さの壁面に8 m間隔に取り付けるとともに、中央部に支柱を設けて、床上2.5 mの高さに10 m間隔で背中合わせに取り付けている。77 kV 開閉所は建屋の幅が狭く高さも低いので、取り付け高さ2.5 m、8 m間隔に壁面に取り付けて照明している。



図6.1 275 kV 特高開閉所の照明
Illumination of 275 kV extra high tension switching station.

7. その他の照明

出入管理室は、40 W 2 灯または1 灯用反射かき付きけい光灯器具により照明している。構内道路・取水口その他の照明は一般の火

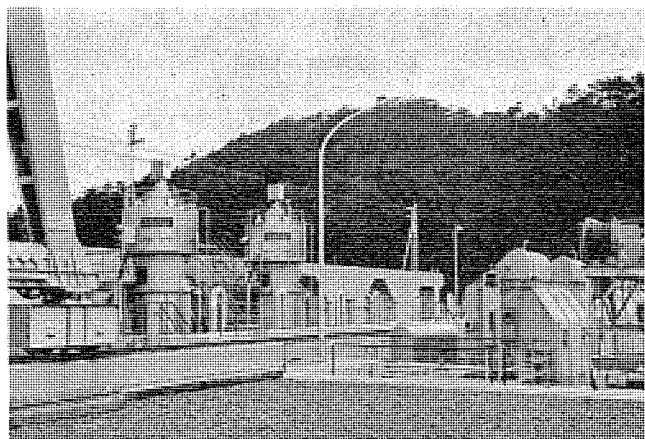


図 7.1 取水口付近の照明
Illumination around the intake.

力発電所の照明と同様に、けい光水銀灯道路灯およびリフレクタランプによる投光照明により行なわれている。

8. む す び

以上、美浜原子力発電所1号機の照明について概要を説明したが、原子力発電所の照明は、一次系を除いて火力発電所のそれと基本的にはなんら変わらない。一次系関係は耐震・防食その他保安上十分な対策が必要で、万一の事故も許されないので慎重なる設計・施工が必要である。

なお、稿を終わるにあたって、種々ご指導・ご便宜を賜った関西電力(株)美浜原子力発電所建設事務所の関係者のかたがたと、ご協力いただいた三菱原子力工業(株)、当社現場事務所および大船製作所の関係者各位に対し、深く感謝の意を表する次第です。

(昭和45-9-7受付)

参 考 文 献

- (1) 関西電力(株): 美浜発電所建設工事概要(昭43)
- (2) 照明学会: 照明のデータブック, p. 55 (昭33)

最近の三菱照明施設例

願 念 和 男*

The Latest Mitsubishi Lighting Installation

Ofuna Works Kazuo GAN-NEN

The lighting worked out for the Expo 70—one of the worldwide topics of the year was the most remarkable as the outcome of illumination techniques accumulated and concentrated for the present. It made the fullest use of the latest light sources and fixtures so much that it brought about a suggestion to the lighting in the future.

On the other hand, the very technique in the offices and works in general has turned into not only the increase in luminous intensity but also the improvement of the quality of lighting such as better color rendition and prevention of glare, all being good trends.

Furthermore, such application as to the agriculture and forestry, stock-raising and fishery is coming in as special usage of the lighting, drawing the attention of the world,

1. ま え が き

70年、日本の夜明けはオリンピックに続く世界の祭典・日本万国博覧会によってきっておとされた。各国・各企業が・国力・技術力を総結集したこのパビリオンに、人類の歴史、科学、未来を一堂に集め、日本はもとより、世界各国から訪れた6,000万人の見学者を楽しませた。当社も三菱未来館を筆頭に各国パビリオンの屋内・外をはなやかな照明に色どり、よりいっそうの世界のお祭り気分を盛り上げる大役を果たしたが、中でもリコー館の“天の目”(図2.2参照)内に設置された赤・青・緑三原色けい光ランプ約200本による調光は、フロントビジョンを7色に変化させ、約100灯の白熱ビームランプが水玉のアクセントを添えるといった興味ある照明手法がなされた。これら各会場における新しい照明施設は、もちろん今までの照明技術を駆使したものであり、かつこれからの照明に大きな暗示を残したことはいままでもない。

照明の量、すなわち照度の変遷も経済の高度成長、文化水準のレベルアップに伴って、近年加速度的に高照度化が進められている。1969年に改正されたJIS照度基準によれば、事務所で1,500~300 lx、工場700~100 lxと30年前の実に5~10倍の値が推奨されている。一方これら高照度化の反面、住宅・ホテル等ではムードを尊重した白熱灯が復活し、リラックスな、落ち着いたきのある照明が行なわれるようになった。

光源は白熱ランプ・けい光ランプ・水銀ランプが主流となっているが、

改良され、ますます効率の良い照明が行なえるようになってきた。また新しい光源としてはメタルハイドランプ・高圧ナトリウムランプが注目を集めているが、前者は高演色性の点で、後者は高効率の点でそれぞれ新しい施設に威力を発揮している。

照明器具はますますデザインの改良が進み、スタンド・ブラケット・天井直付器具と各社に例を見ないGマークの大量取得に成功してはいらい、住宅用器具としてルミフラーが業界の話題をさらい、その洋風器具に対して、古都鎌倉のイメージから創造された純和風器具、鎌倉シリーズが開発され好評を博している。また環境工学の発達してきた今日、その一環をになう空調と照明の一体化が進められ、空調器具シリーズが開発されたことも見のがせない。

特殊な用途として、光の農林・畜産・漁業への応用が各界の注目を集めている。光による害虫の防除、植物の育成、養鶏、養豚、そして集魚にその応用は次々と新しい需要をもたらしている。これら特殊部門への応用、あるいは新しい器具、照明手法を駆使した最近の施設について実施例を示す。

2. 日本万国博覧会の照明

夜のパビリオンを美しく色どったカラーランプ、水銀灯のほか、この万国博照明の特長としては、よう素ランプ・メタルハイドランプ・キセノンランプ等の新光源群の採用が目だった。

- (1) 三菱未来館
- (2) リコー館



図 2.1 三菱未来館
Mitsubishi pavilion.

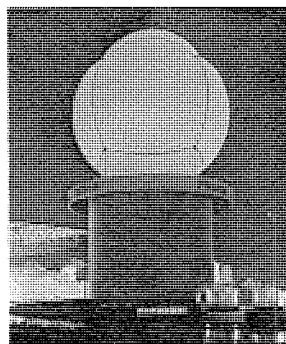


図 2.2 リコー館
Rikoh pavilion.

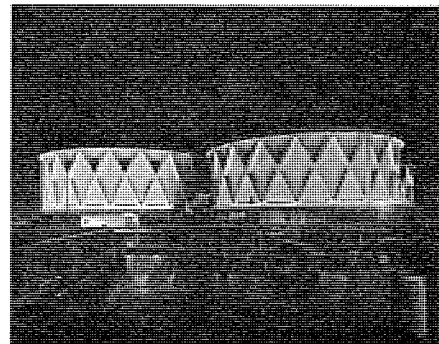


図 2.3 日本館
Japanese pavilion.

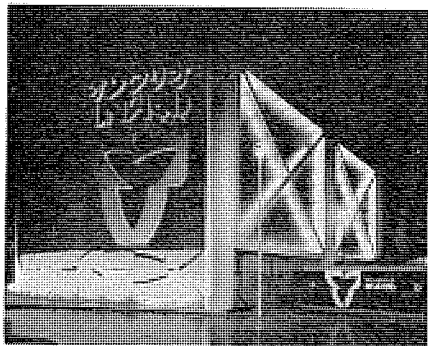


図 2.4 オランダ館
Dutch pavilion.

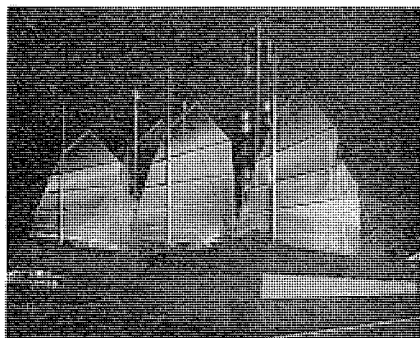


図 2.5 香港館
Hong Kong pavilion.

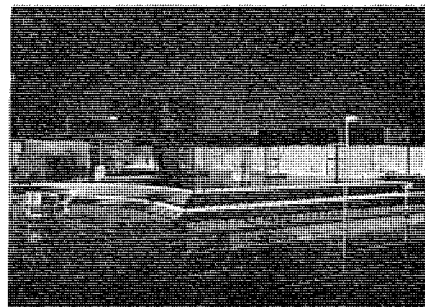


図 2.6 チェコスロバキア館
Czech-slovak pavilion.

- (3) 日本館
- (4) オンタリオ館
- (5) 香港館
- (6) チェコスロバキア館

3. 事務所照明

近年ビルはますます巨大化・高層化し、屋間の採光で昼光が奥深く到達しないような場所が多くなったが、照明技術はこの問題に対して PSALI (常設補助照明) の照明手法の適用から、心理的にも疲労の少ないより快適な環境作りを成功させた。また空調と照明を一体化した空調照明器具も年々改良・進歩し、最近のビル照明施設には、この種の器具を使用したものが多くなっている。

(1) 図 3.1 新日鉄ビルディング

基準階の照明は、FLR 20×3 灯+FLR 40×3 灯・5 連+FLR 20×3 灯用埋込下面パネル付きけい光灯器具によってライン照明されている。各連の器具間にはスピーカー・空調用吹出口のほか、煙感知器・スプリンクラー等の防災設備が、同プレート上にレイアウトされている。ま

た PSALI の照明手法がなされており、平均照度は初期で 1,300 lx を得ている。

(2) 図 3.2 八十二銀行本店ビルディング

営業室の照明。FLR 40×16 灯 (2 面) 用半埋込形・トリプルシエル方式空調照明器具の使用により、初期照度は 1,200 lx である。ほか一般事務室・電算機室には、FLR 110×1 灯あるいは 2 灯用埋込下面開放形・ダブルシエル方式の、空調照明器具が採用されている。

(3) 図 3.3 三菱銀行・渋谷支店

FLR 110×3 灯用下面乳白アクリライトカバー付き器具の、少数点灯による高照度照明に成功している。

(4) 図 3.4 鎌倉市役所

FLR 4.0×3 灯用天井埋込下面開放形器具を使用した、効率のよい事務所照明である。

(5) 図 3.5 キリンビール 取手工場

応接室の照明。FLR 40×8 灯用下面アクリライトカバー付き器具、および 60 W 白熱灯ダウンライトにより、明るく豪華な感じに照明されている。



図 3.1 新日鉄ビルディング
Shin Nittetsu building.



図 3.2 長野・八十二銀行
The Hachijuni bank, Nagano.



図 3.3 三菱銀行渋谷支店
Mitsubishi bank shibuya branch.



図 3.4 鎌倉市役所
Municipal office, Kamakura.

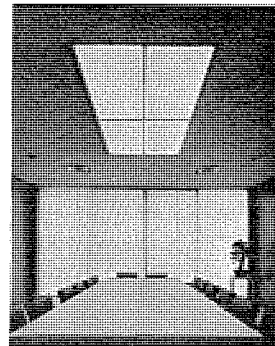


図 3.5 キリンビール (株) 取手工場
Kirin Beer, Toride plant.

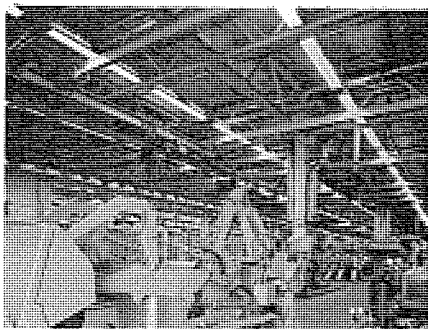


図 4.1 三菱重工業(株)東京工場
Mitsubishi Heavy Industries, Tokyo.

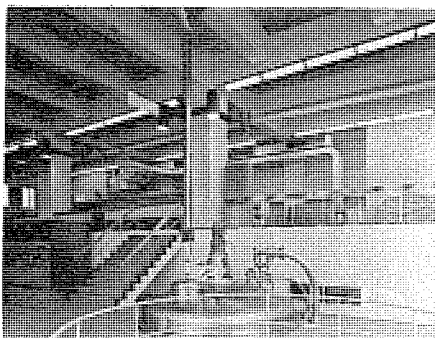


図 4.2 キリンビール(株)取手工場
Kirin Beer, Toride plant.

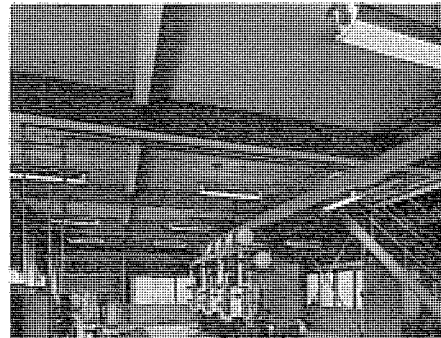


図 4.3 キリンビール(株)取手工場
Kirin Beer, Toride plant.

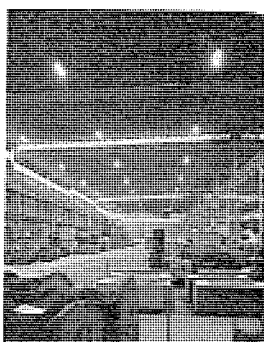


図 4.4 東洋電機(株)相模工場
Toyo Denki, Sagami works.

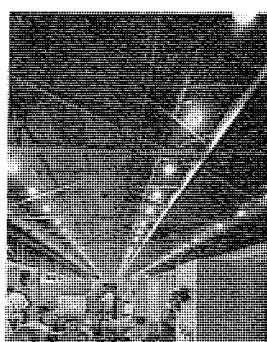


図 4.5 大日本電線(株)熊谷工場
Dainichi-Nippon Cables, Kumagaya works.

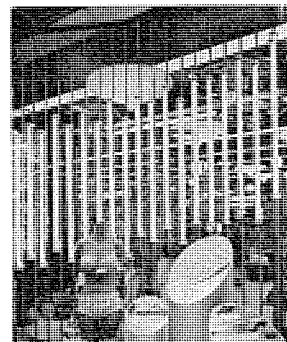


図 5.1 銀座・松屋ショーウィンド
Matsuya showroom, Ginza Tokyo.

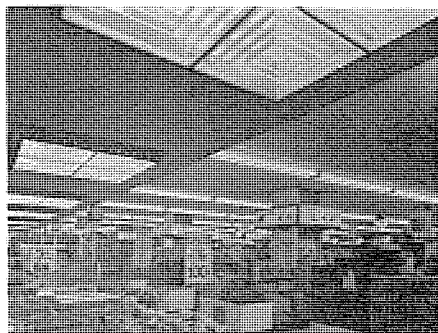


図 5.2 西川屋・刈谷ショッピングセンター
Nishikawaya Kariya shopping center



図 5.3 向ヶ丘ショッピングワールド
Mukogaoka shopping world.



図 5.4 栄地下街
Sakae underground market.

4. 工業照明

工業照明においては、照明の改善が作業能率を向上させ、しかも作業者の安全を守るとあって、最近各企業とも環境改善の一環とし、高照度化を計っており、すでに平均照度 500 lx を越える工場が、つぎつぎに誕生してきているのは注目に値する。また、光源も演色性のよいニューデラックス けい光水銀 ランプが使われるようになり、40 W・110 W けい光 ランプとともに、工場照明の主流を占めている。

(1) 図 4.1 三菱重工業(株)東京工場

第1工場の照明。FLR 110×2 灯用反射板つき器具により、平均照度 500 lx を得ている。特長は反射板に穴を開けて、上方に光束を 16% 出していることであり、それが天井面を明るくして、清潔な作業場のイメージを与えている。

(2) 図 4.2 キリンビール(株)取手工場

仕込室の照明。FLR 40×2 灯用 アクリライトカバー 付き器具 5 連によるスマートなライン照明に、HF 300×1 灯用下面ルーバ付き特殊柱付

き器具が、巧みにアクセントされている。床面平均照度は 300 lx。

(3) 図 4.3 キリンビール(株)取手工場

ボイラー室の照明。引火爆発による事故を防ぐために、危険場所に安全増防爆形器具を使用した例。FLR 40×2 灯用器具。

(4) 図 4.4 東洋電機(株)相模工場

組立工場の照明。HF 400 ニューデラックス けい光水銀 ランプにより、初期照度 1,000 lx を得ている。器具高さ 5.5~7.5 m。

(5) 図 4.5 大日本電線(株)熊谷工場

第6工場の照明。HF 400 により作業面上を、平均 250 lx に照射している。

5. 商業照明

ショーウィンドーに、陳列品のアクセントに、照明は商業に重要な役割を果たしている。特に照度は客足に関係することから、店内を高照度にするには品物を豊富に見せたり、商品の信用を得るのに役立っている。最近の特色としては大規模のスーパーマーケットが増加して



図 6. 1 別府
りんご園
Beppu apple
orchard.

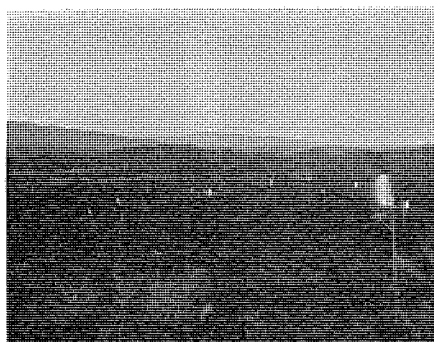


図 6. 2 宮崎県
みかん園
Mandarin orange
orchard, Miyazaki
prefecture.



図 7. 1 東京 アスレ
ティッククラブ
(株)
Tokyo athletic club.

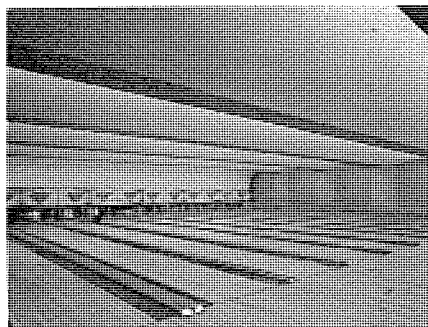


図 7. 2 ダイアボール
(名古屋)
Dia ball, Nagoya.

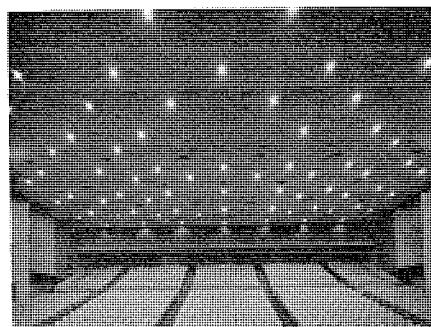


図 7. 3 大垣市民
会館
City hall, Ogaki.

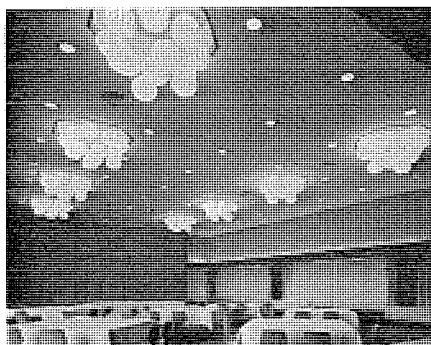


図 7. 4 犬山観光
ホテル
Inuyama sightseeing
hotel.

きたことで、店内全照度は1,000 lxが通常となり。中には3,000 lxの高照度を得ているところもある。

(1) 図 5. 1 銀座松屋 ショーウィンドー

40 W カラーランプ、各色の連続点灯に、ふと入って見たくなるような人目をひくショーウィンドー照明。

(2) 図 5. 2 西川屋・刈谷 ショッピングセンター

1階食品売場。FLR 110×2 灯用器具によるライン照明。平均照度は実に1,800 lxを得ている。

(3) 図 5. 3 向ヶ丘 ショッピングワールド

2階衣品売場。FLR 110×2 灯用器具によるライン照明によって、平均照度2,000 lxを得ている。ルミフラーダリヤがアクセント器具として使用されている。

(4) 図 5. 4 栄地下街

柱のまわりに美しくデザインされた、乳白アクリライトカバー付き器具の中にはFLR 40×48 灯が使用されており、地下街通路を1,000 lxと明るく照明している。

6. 農業の照明

最近の農林・畜産・水産業においては、その環境を人為的にコントロールして、効率のよい食料生産を行なうようになってきた。いわば農業の工業的手法による生産がなされるようになったといえる。

それら環境改善制御に照明が果たす役割は大きいですが、中でも害虫防除、植物の育成、集魚等にはすでに相当な実績をあげてきている。

(1) 図 6. 1 別府 リンゴ園

20 W 純黄色 カラーランプを樹上・樹下より照明している。毎年40～50%あった被害果実数が、防が(蛾)灯設置後5%以内にとどまった。

(2) 図 6. 2 宮崎県・みかん園

40 W 誘蛾灯による夜の防除。誘蛾灯設置以前には50%程度あった被害が、設置後はそれがほとんど無被害となった。

7. 宿泊・娯楽施設の照明

最近の観光・レジャーブームに応じて、宿泊・娯楽施設が急テンポに増設されている。照明もそれら目的に応じて豪華さ・落ち着き等に考慮が払われ、楽しいふん囲気を盛りあげている。

(1) 図 7. 1 東京 アスレチッククラブ (株)

ラールの照明。HF 400 ニューデラックス けい光水銀ランプ×1 灯用下面ルーバ付き器具を使用、グレアの軽減に努めている。

(2) 図 7. 2 ダイアボール (名古屋)

FLR 40 各連の照明によって、アベット上で平均照度200 lxを得ている。

(3) 図 7. 3 大垣市民会館



図 8.1 姉ヶ崎団地
Anegasaki apartment houses.



図 8.2 向ヶ丘ショッピングワールド
Mukogaoka shopping world.

ホールの照明。丸形白熱灯 ダウンライト を天井面に点在させ、客席を 500 lx に照明している。

(4) 図 7.4 犬山観光 ホテル

食堂の照明。ルミフラワーダリヤをシャンデリア風にした例。フラワーのイメージが室内を明るい、楽しいふんい気にしている。

8. 広場・住宅街の照明

文明の発達にともなって、町中からやみは追放されてきた。団地付近にはハイウェイ灯による本格的な照明がなされ、駐車場・公園等にも夜間照明施設が増加してきた。

(1) 図 8.1 姉ヶ崎団地

HF 400 ハイウェイ灯による団地構内道路の照明。

(2) 図 8.2 向ヶ丘ショッピングワールド

車の激増による駐車場難の昨今、各ビル・デパートではそれぞれ地下へ、屋上へと駐車場を設けるようになった。図は HF 400 ハイウェイ灯による照明。

9. 鉄道・道路照明

東名高速道路・中央高速道路の全線開通により、わが国の高速道

路網はますます充実されてきたが、一方交通量の増大、事故の激増から、一般道路・街路の整備が行なわれ、各種交通安全施設の拡充とともに照明施設の整備・改良がさかんになった。鉄道分野では、あまり目新しいものは見られないが、やはり他の分野と同様に照明施設のデラックス化・高照度化が、さらに一般化してきた。

(1) 図 9.1 中央高速道路 河口湖 インターチェンジ

図は料金所付近の照明で、光源には HF 400 ニューデラックス けい光水銀ランプが用いられている。

(2) 図 9.2 大阪中央環状線 池田 インターチェンジ

ポールは 10 m、光源には HF 400 ニューデラックス けい光水銀ランプが用いられている。

(3) 図 9.3 大阪市 四貫島笠原町付近

本線は Y 形 10 m ポール 上 200 W ナトリウムランプにより照明。インター付近には道路側を 200 W ナトリウムランプで、街路側を HF 400 シルバーホワイト けい光水銀ランプで照明している。

(4) 図 9.4 国鉄大阪駅東口

FLR 40×3 灯用埋込下面開放形器具により、改札口付近を特に高照度に照明している。

(5) 図 9.5 国鉄中央線西荻窪駅

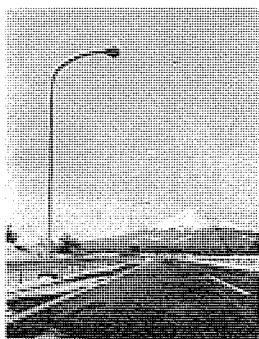


図 9.1 中央高速道路 河口湖 インターチェンジ
Central highway, Kawaguchi lake interchange.



図 9.2 大阪中央環状線 池田 インターチェンジ
Osaka central circling line, Ikeda interchange.

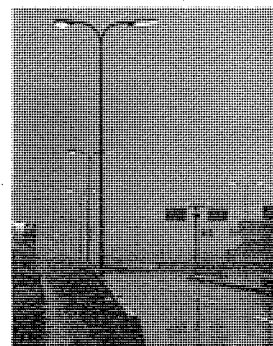


図 9.3 大阪市四貫島 笠原付近
Environment of Sasahara Shikanjima, Osaka.

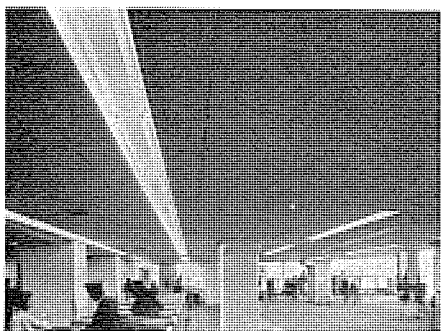


図 9.4 国鉄 大阪駅
J. N. R. Osaka station.

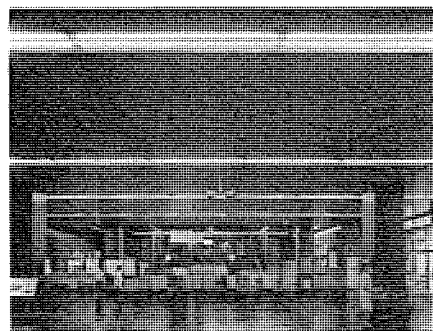


図 9.5 西荻窪駅
Nishi-Ogikubo station.

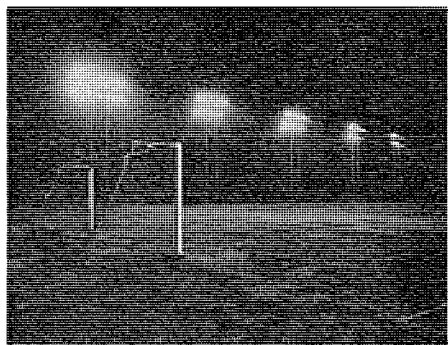


図 10.1 読売 ランド
Yomiuri Land.

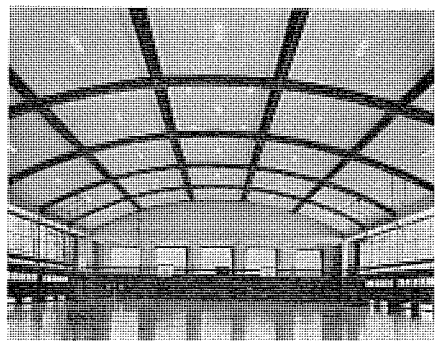


図 10.3 茨城県立常陸太田第2高等学校
Hitachi Ota Daini Highschool,
Ibaragi prefecture.

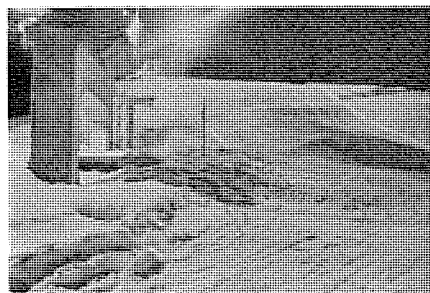


図 10.2 上越国際スキー場
International skiing ground, Joetsu.

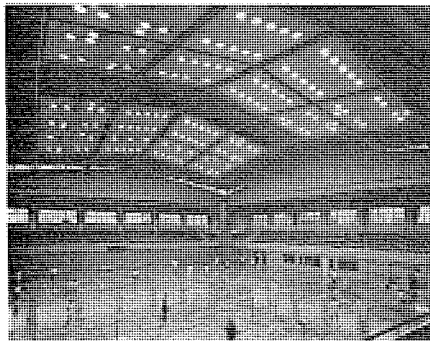


図 10.4 東京都中野区立体育館
Nakano-ku gymnasium, Tokyo.

FLR 110×2灯用下面開放形器具による ライン照明・平均照度は床面で 600 lx。

10. スポーツ照明

スポーツの大衆化にともない、それらの施設を夜間に利用する機会が増加した。サッカー・競技・アマチュア野球からスケート・スキーに至るまで、この種の夜間照明は年々増加の一途をたどっている。

(1) 図 10.1 読売 ランドサッカー場

H 1,000, HF 1,000 による 20 m ポール上からの照明は、夜のサッカー場をみごとに浮び上がらせている。芝生のグリーンが美しい。初期

平均照度 750 lx。

(2) 図 10.2 上越国際スキー場

H 1000, H 400, 200 W ナトリウムランプによるスキー場ゲレンデ照明。平均照度 15 lx。

(3) 図 10.3 茨城県立常陸太田第2高校 体育館

HRF 400 と 500 W 白熱リフレクタランプによるカクテル照明。器具はそれぞれルーパ付きであり、競技者をまぶしさから防いでいる。

(4) 図 10.4 東京都中野区立体育館

HF 700 と 1,500 W 白熱灯によるカクテル照明。平均照度 1,000 lx。



特許と新案

雑音除去回路

考案者 岡本春樹・吉越英雄・奥村 修

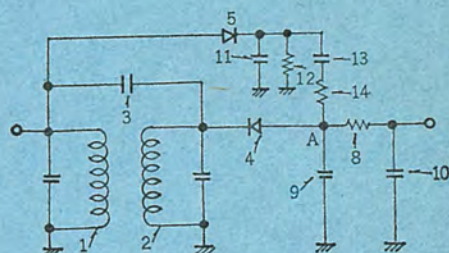
この考案は AM ラジオ受信機等で放送受信の際に、高周波伝送信号に含まれるたとえば自動車の点火せん(栓)等による持続時間の短い衝撃性雑音を検波段において除去する回路に関するものである。

図において、被変調波の負側(または正側)は中間周波トランスの出力側(2)に接続されたダイオード(4)によって検波され、一方被変調波の正側(または負側)は、トランスの入力側(1)に上記ダイオード(4)と逆極性になるように接続されたダイオード(5)によって検波されるが、中間周波トランスの入力側(1)は出力側(2)に比べ結合による損失がないためその変調波は大きく、ダイオード(5)によって検波された信号はダイオード(4)によって検波された信号よりも大きい。また入力側(1)は出力側(2)に比べ帯域が広いので、衝撃性雑音成分の二つの検波出力の差は、本来の信号成分の検波出力の差より大きい。

したがってダイオード(5)によって検波され抵抗(12)の両端にあら

われる検波出力をコンデンサ(13)、抵抗(14)を介してダイオード(4)による検波出力に加え合わせてやれば、コンデンサ(13)および抵抗(14)等のインピーダンスによる減衰が多少あっても、その接続点Aでは同じ大きさで打消し合う。よって信号をひずませたりすることなく雑音成分のみを効果的に打消することができる。

(実用新案第 868806 号)(宮本記)



周波数測定装置

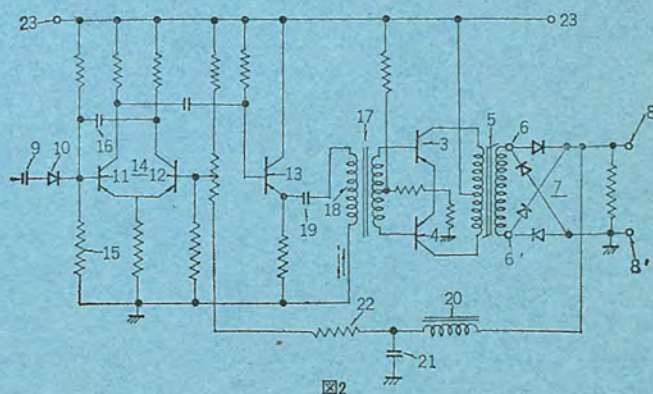
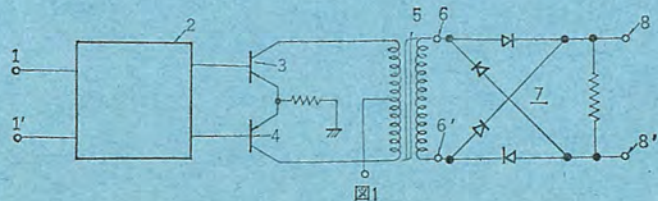
発明者 藤原謙一・柳沢 忍

この発明はテレメータなどに使用される周波数測定装置に関し、従来の周波数測定装置においては、印加されるパルス信号が伝送回路のかく乱などによりパルス幅 P が変動すると、入力パルスの周波数 f に比例した電圧がえられなかったが、この発明は伝送回路のかく乱などがあつた場合においても常に入力パルス幅 P を入力周波数 f の $1/2$ 、あるいは他の所定値とすることにより上記欠点を改良したものである。従来の測定回路を図 1 に示す。

この発明の実施例を図 2 について説明すると、(9)は直流阻止コンデンサ、(10)はダイオード、(11)(12)(13)は図 1 のシュミット回路(2)に相当する単安定マルチバイブレータ(14)を構成するトランジスタおよびスイッチ用トランジスタ、(15)(16)は単安定マルチバイブレータ(14)の時定数を定める抵抗およびコンデンサ、(17)は変圧器、(19)はその一次巻線(18)と直列に接続したコンデンサ、(20)(21)(22)はそれぞれ帰還回路

のチョーク、コンデンサ、抵抗、(23)は負電源接続端子を示す。

すなわち、入力パルスにより通常導通状態であるトランジスタ(11)を不導通することによりトランジスタ(13)が導通となり、変圧器(17)の一次巻線(18)には実線で示す矢印方向に電流が流れ、次に抵抗(15)およびコンデンサ(16)により定められた時定数によりトランジスタ(11)が導通となるとトランジスタ(13)は不導通となり、コンデンサ(19)の放電により一次巻線(18)には点線の方に電流が流れ、変圧器(17)を励磁し、トランジスタ(3)(4)を交互に付勢して端子(8)(8')に出力電圧



特許と新案

を得る。この出力電圧の一部をチョークコイル(20)、コンデンサ(21)および抵抗(22)で構成される帰還回路を通じて単安定マルチバイブレータ(14)を構成しているトランジスタ(12)のベースに帰還し、このベース電位を入力パルスの周波数 f に比例した出力電圧によって制御することに

より、抵抗(15)およびコンデンサ(16)で定まる時定数を制御し、単安定マルチバイブレータ(14)で形成されたパルス幅 P を入力信号周期の $1/2$ または他の値に保つことができる。

(特許第542231号)(宮本記)

やぐら形電気こたつ

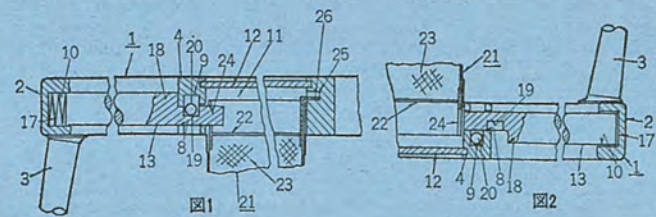
考案者 米本春夫

この考案はやぐら形電気こたつに関するもので、たとえばシーズンオフに発熱部を取りはずしてテーブルとして使用する場合に、こたつを転倒し円形機を外側に寄せることにより、簡単に発熱部をやぐらから取りはずせるようにしたものである。

すなわち図に示す実施例にしたがって説明すると、図1の正立状態から図2のように転倒すれば、円形機(13)の下向き穴(19)から球体(20)が自重によって角形機(4)の上向き穴(9)に完全に落ち込み、円形機(13)のしゅう動が自由にされる。この状態で円形機(13)を外側(図2で右側)に寄せるとその先端が発熱部(21)の孔(24)から

抜け、発熱部(21)の突片(26)(26)を角形機(6)の穴(25)(25)から抜いて取りはずせる。

(実用新案第871815号)(桜本記)



空間ダイバシティ受信装置

考案者 渡部 優・山内 信治

この考案は複数個のアンテナ系からの受信信号を合成して受信する空間ダイバシティ受信装置に関するものである。

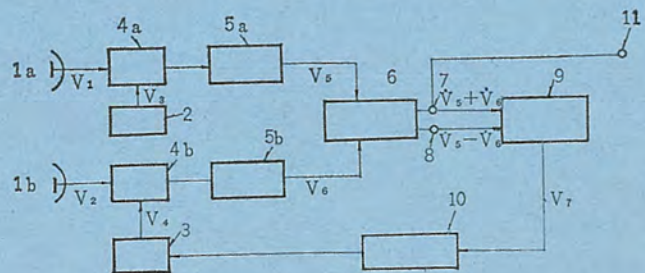
図において、(1a)(1b)はそれぞれ異なった位置で共通の目的に向って設置してある第1、第2のアンテナ、(2)は局部発振器、(3)は電圧可調発振器、(4a)(4b)は第1および第2のアンテナ(1a)および(1b)からの入力信号と、局部発振器(2)および電圧可調発振器(3)からの信号とを混合する第1および第2の混合器、(5a)(5b)は第1、第2の中間周波増幅器、(6)はハイブリッド回路、(7)および(8)はハイブリッド回路(6)の和出力端子および差出力端子、(9)は位相差検出回路、(10)は増幅器、(11)は出力端子である。

この考案は各アンテナ系からの受信信号出力 V_1 、 V_2 を局部発振器(2)および電圧可調発振器(3)により周波数変換した後合成し、そのベクトル和 $\vec{V}_s + \vec{V}_e$ およびベクトル差 $\vec{V}_s - \vec{V}_e$ の信号を取出し、これらと和差両信号の位相差を検出し、この位相差に比例した信号出力

V_7 により、この和差両信号の位相差が零になるよう増幅器(10)を通して電圧可調発振器(3)の出力 V_4 の位相を制御して、出力端子(11)に最大ベクトル和 $\vec{V}_s + \vec{V}_e$ をうるようにしたものである。

この考案にかかわる空間ダイバシティ受信装置によれば、出力の最大ベクトル和をうる応動時定数が超高速となり、制御回路が非常に簡単で、経費の節減ができる等の効果を有する。

(実用新案第879645号)(宮本記)



電気化学用整流装置の進歩

小林 凱*・大沢 喜信*・田中 潤次郎*

Progress of Rectifier Equipment for Electrochemical Industry

Itami Works Gai KOBAYASHI・Yoshinobu ÔSAWA・Junjiro TANAKA

Rectifier equipment for the latest electrochemical industry has been increasing its capacity and the units exceeding 300 kA are turned out in succession. The rectifiers rated more than 100 kA in a single unit come into production in quantities. Problems imposed with cooling and balancing of the current resulting from the enlargement of the capacity of the rectifier have been solved by the use of large power rectifier cells and the development of new rectifiers. On the other hand, the advance of thyristors into electrolytic work is remarkable. Thyristor rectifiers, with many features such as the employment of flat packaged thyristors having excellent characteristics and of newly developed oil cooled stacks, have been in practical service for two years. This article describes in reference to the latest rectifier equipment, the cooling method, construction, thyristors, the voltage control system and consideration of its influence into electric power system.

1. ま え が き

本邦第1号の電力用シリコン整流器が電解そうに通電したのは1958年はじめである。その後数年を経ずしてシリコン整流器は電気化学用直流電源の地位を独占したが、引続いて始まった発展過程では、まず半導体整流器によって初めて可能となった大電流電解設備が実現した。これは1959年の徳山曹達120 kAプラントより最近の数百kA装置にいたる大幅な上昇が整流器単位容量の拡大とともに行なわれた。つぎに、整流素子の急速な進歩が大電流のみならずアルミ、亜鉛電解等7~800 V級も経済的にカバーし、標準素子1個の2重星形結線での製作も可能な現状である。1963年にはわが国最初の整流器・変圧器完全一体構造のレクチフォームを完成納入し、今日の整

流プラントの形式が決定された。

最近の大きな課題はサイリスタの導入であった。当社はそのあるべき姿を基本に開発した結果、1968年に世界でも最初の油冷式大電流平形サイリスタ整流器を完成し、その優秀な特性は鹿島電解450 kAの超大容量装置に結実するところとなった。

このように長足の進歩をとげ、なお急速に発展しつつある装置を一時点の状態で示すことは困難な面もあるが、第二の発展段階にあるともいえる現在、その内容を示すことは意義があると思われる。

ただし本文ではアルミ、塩水、金属電解などに用いられる大電流装置を主体とし、メッキライン、金属処理用整流装置については別の機会に紹介したい。

2. 単位容量の拡大

2.1 シリコン(サイリスタ)整流器の発展経緯

初期におけるシリコン整流器と他機種との比較、寿命などの論議が消滅後、整流器単位容量と電解プラント定格が重要な関心事となった。この間、ある固定した定格単位が最適との誤解を生じるむきもあったが、激しい進歩と競争はプラント定格を生産量と電そう技術を主体として決定し、整流装置はその要求に対して常に最適構成単位で対応しうる形をもたらした。ここで、整流素子の進歩が大きな役割を占めるとともに、応用上の総合技術がさらに重要な要素となるに至った。他にさきがけた液冷方式の導入、レクチフォーム、大電流磁界間

表 1.1 シリコンサイリスタ整流器用途別実績(1970年3月現在)
Supply record of silicon and thyristor rectifiers for
electrochemical application (March, 1970).

用 途	容量(kW)	電流(kA)	備 考
塩 水 電 解	710,500	3,982	
ア ル ミ 製 錬	690,000	948	
金 属 電 解・精 製	98,400	348	亜鉛, 銅, マグネシウムなど非鉄 金属電解, シリコン精製など
諸 電 解	17,000	87	イオン交換膜, 薬品電解など
メッキプロセス	28,000	1,281	
	1,543,900	6,646	小容量の端数整理した値

表 1.2 最近のおもな製作例(1969~1970)
Installation list of major equipment (1969~1970).

納 入 先	用 途	台 数	定 格			冷 却 方 式	製 作 年 度	備 考
			出 力 (kW)	電 圧 (V)	電 流 (A)			
ALCOA (オーストラリア)	アルミ製錬	1	100,625	490	175,000	風 冷	1969	
ALCOMINAS (ブラジル)	アルミ製錬	1	55,860	490	114,000	風 冷	1969	
某 社	—	1	75,600	675	112,000	風 冷	1969	
徳 山 曹 達	塩水電解	1	57,000	190	300,000	送油水冷	1970	レクチフォーム
鹿 島 電 解	塩水電解	1	103,500	230	450,000	送油風冷	1970	サイリスタレクチフォーム世界最大
東 洋 曹 達	塩水電解	1	42,000	210	200,000	送油風冷	1970	レクチフォーム
三 菱 化 成 (小島有機)	塩水電解	1	66,000	200	330,000	送油水冷	1970	レクチフォーム
COMALCO(オーストラリア)	アルミ製錬	1	91,800	850	108,000	風 冷	製 作 中	
COMALCO(オーストラリア)	アルミ製錬	1	54,200	850	63,750	送油風冷	製 作 中	レクチフォーム
某 社	—	1	226,800	1,200	189,000	送油風冷	製 作 中	レクチフォーム
東 洋 曹 達 (四 日 市)	塩水電解	1	44,000	160	275,500	送油水冷	製 作 中	レクチフォーム

* 伊丹製作所

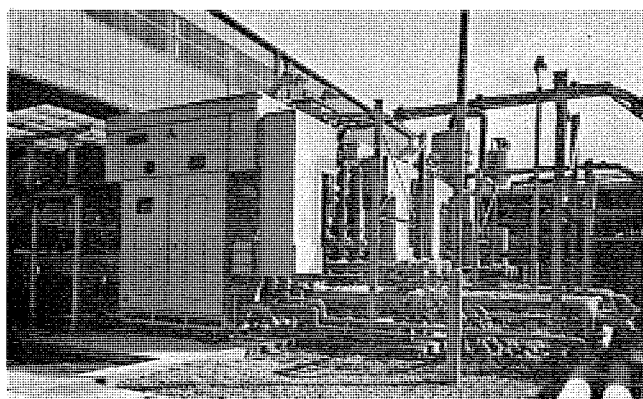


図 2.1 大容量整流設備 42 MW, 210 V, 200 kA
Large power rectifier plant 42 MW, 210 V, 200 kA.

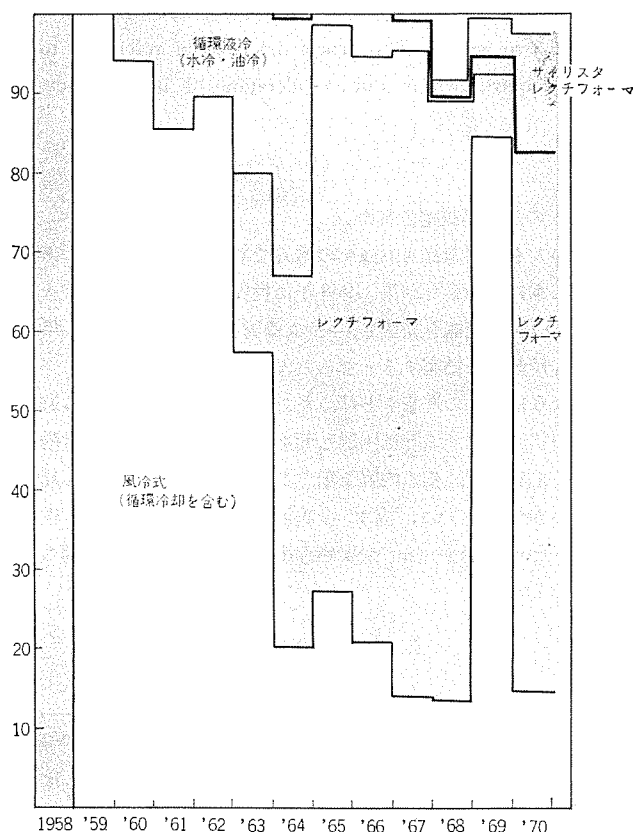


図 2.2 機種形式の変遷 (容量比, 納入時別)
Change of rectifier types.

題の解決, さらには新平素子方式の完成が常にもっとも大きな容量の装置を作る上に折りこまれてきたいくつかの例である。これらの技術はすでに多数の装置にとり入れられ, 整流装置の構成形式は10年間にまったく変化したものとなった。

2.2 整流器の単位容量

整流器の単位キュービクル容量あるいは変圧器と組み合わせての変換単位容量を対象として論じる。なお, 装置2組をタンデム構成にしたものを外観上1台の装置として容量を呼称することもあるが, 技術的には1/2の回路容量である。

直流電圧はアルミ製錬に1,200 Vの実績があるが, 素子定格はさらに高電圧も問題なく実質上制限がない。したがって, 容量は電流定格により決まるので, 当社ではこれをもって整流器部の標準系列を形成している。この基本構成は三相全波, 二重星形結線に共通で, 出力電圧・電流に1:2の相互関係を有する。以下の電流は二重星形結線に対応する値で比較される。

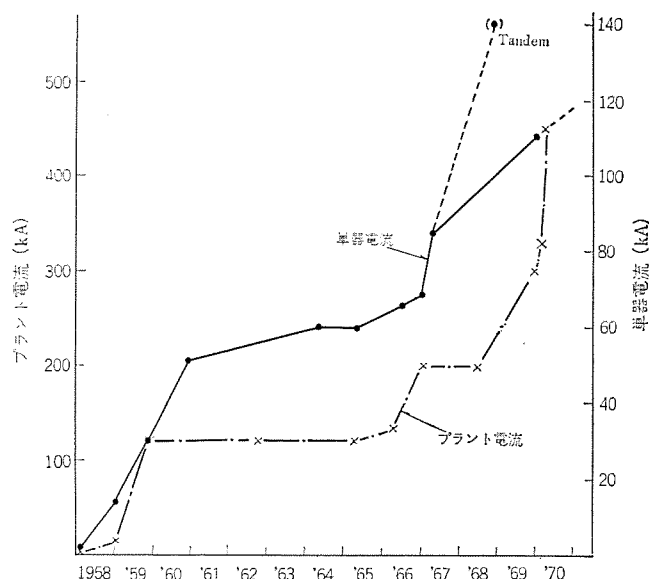


図 2.3 装置容量の増大
Enlargement of rating.

1959年に風冷15 kA×8/120 kAプラント(徳山曹達)が完成しているが, 1969年製作には油冷110 kA 2ユニット(東洋曹達—ダイオード), 油冷113 kA×4/450 kAプラント(鹿島電解—サイリスタ)がある。また, ALCOA 納め風冷式整流器は60 kA/面相当の容量を有する。この単位容量の拡大は図2.3にみられるように, 電解工業の発達に合致している。これはタンデム形式なら1組で240 kAの出力が可能であることを意味し, すでに140 kA整流装置が運転している。

上述の定格は世界で最も大きい部類に属するが, 大容量装置では整流器容量以外の要素が制限条件となる。たとえば, 850 V, 60 kAの装置で51 MWの単位出力となるが, 1台停止時の予備容量あるいは電源に与える影響(高調波も含め)などがより大きな単位の採用に慎重な検討を必要としよう。

2.3 冷却上の考慮

大容量化に際し小さなスペースより大量の熱放散と輸送が必要となる。幾何寸法の増大は電気特性と相反する。現在の標準方式は液冷および風冷を含んでいる。

新しい風冷アルミフィン1.1 m³/minの風量で, 0.08°C/Wの特性を与える。より大幅な改良は(平素子で両面放熱を除き)フィンの熱放散が次式で決まる。

$$Q = n\sqrt{2\alpha \cdot b\lambda} \cdot (\theta_f - \theta_a) \cdot \left(\tanh \sqrt{\frac{2\alpha}{b\lambda}} L \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

$\alpha \approx 35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ であるところから急速に重量を増加する。現在は単一放熱片では400 Aスタッド形素子まで冷却している。(平素子は両面液冷を用いている。)

つぎに, 空気の熱輸送は一般の多段構造では媒体温度上昇が

$$\Delta\theta_a \approx 50 \cdot \frac{Q(\text{kW})}{N(\text{m}^3/\text{min})} (^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (2.2)$$

により100 kWを200 m³/minで冷却して25°Cの上昇となる。この改善に当社の補償方式(特許)は有効であるが, さらに現在では独特の並列冷却を用いており, 全素子は同一条件で冷却される。

前記の風冷60 kA容量は, これらの考慮を含めた最大値に近いものであろう。液冷を使用すると表面伝熱率は, 10~数十倍となり, 小形化により等温面に近い放熱も可能となる。このときは,

$$Q = \alpha(\theta_f - \theta_a) A \dots\dots\dots (2.3)$$

表 2.1 冷却媒体の特性
Characteristics of coolant.

冷却媒体 特性 (at 60°C)	空 気	水	鉱 油	SK-2
比 重 γ (kg/m ³)	1.025	983	842	1,300
定圧比熱 CP (kcal/kg°C)	0.2429	0.998	0.5	0.3
粘性係数 μ (kg/m ²)	0.02×10^{-4}	0.48×10^{-4}	7.47×10^{-4}	1.66×10^{-4}
動粘性係数 ν (m ² /s)	19.4×10^{-6}	0.48×10^{-6}	8.7×10^{-6}	1.25×10^{-6}
熱伝導率 λ (kcal/mh°C)	0.024	0.566	0.105	0.1
温度伝導率 $\alpha = \frac{\lambda}{CP\gamma}$ (m ² /s)	267.8×10^{-7}	1.6×10^{-7}	0.69×10^{-7}	0.72×10^{-7}

で与えられる。表 2.1 は現用媒体の特性を示す。

循環水冷は 1958 年以來多数の実績ある安定した技術である。 $\alpha \approx 2.4 \text{ kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ がえられるために冷却は寸法決定の主要素ではなく、他の要素を勘案して設計される。油冷はより高度の技術を要するが、現用のアルミ油冷導体では素子最少取付けピッチで 0.08°C/W の冷却を与え、400 A スタッド素子のレクチフォームに使用されている。これで 60 kA 整流器の中身は $2.2 \times 0.8 \times 1.8 \text{ m}$ にはいる寸法に製作できる。油で良い冷却がえられるとき高圧領域まで安心な絶縁と無保守が利点となる。

500 A 以上の素子は平形で、新しい両面液冷が開発された。ここでは冷却液通路に曲部が多く粘性が重要となる。1968 年に完成した大電流平形サイリスタ整流器は、この新スタック構造と冷却片の組み合わせ（出願中）に低粘度絶縁液 SK-2（出願中）を使用している。ここで噴流による冷却効果は油でも 0.03°C/W の特性を与える。水の使用はまったく問題ないが、鉱油では約 5 倍の圧力損失を要して不利である。

液冷では熱輸送は限界でない。100 kW 冷却に対し鉱油 400 l/min の循環でも温度差 8°C におさまる。さらに、超大容量装置では気化冷却が重要な役割を占めよう。フロン R 113 の 70°C での液-気相エンタルピー差は 33 kcal/kg に達し、同じ冷却を 30 l/min. の冷媒が行なうことができる。

2.4 電流処理能力

整流器の特質は転流を常に扱うところにあるともいえ、大電流装置では特に重要な要素である。このきびしさは、

$$L \propto (I_P \cdot A) \times f \dots\dots\dots (2.4)$$

を指数として考えられる。 I_P は転流電流、 A は関与回路等価面積である。 L を増加せぬ、あるいはそれによる問題の対策が必要条件である。したがって、大電流にもかかわらずきわめて小型の装置に作られている。ここに高い冷却効果、絶縁と組立、保守上の考慮もおりこむ点が設計のキーポイントである。当社の整流器がもっとも小形であることと、電流平衡など諸特性の良いことは無関係ではない。さらに、大電流磁界の消去方式（特許）が有効である。

非対称な素子の配列接続であって、ALCOA 納入品の例では素子 22 並列、補正皆無で素子間電流分布 $\pm 15\%$ をえている。同時に、磁界による諸問題がない。磁界消去しないときも A を少なくする導体近接方式（共有権利）が有効である。電子計算機によりこれらの特性を正確に解析することが可能である。素子電流分担特性の解析例を図 2.4 に示す。これは各素子電流 i を多項式の関数として考え、

$$i = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + \dots\dots + B_1x_1^2 + B_2x_2^2 + \dots\dots (2.5)$$

統計手法を用いて重回帰、重相関分析を行なうものである。要素

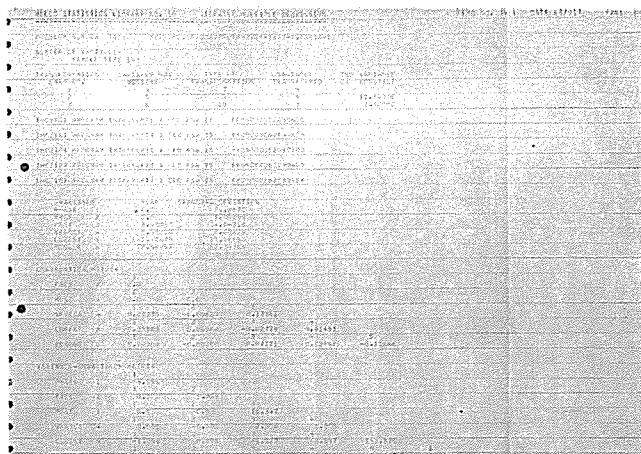


図 2.4 電子計算機による整流素子間電流分担の解析
Analysis of current sharing among rectifier cells with computer.

たとえば素子位置に対する回帰式係数が小さい設計がえられたときは、質の良い形としてさらに大電流の設計に拡大できることがわかる。現在の大電流整流器には、これらの検討結果がおりこまれている。

3. 冷却および機器構造

3.1 各種冷却方式

素子の冷却は、整流器の設計において第一に考慮されなければならない重要な問題である。現在実用されている各種冷却方式をまとめて表 3.1 に示す。これらはいずれも、当社が電解用途における標準系列として有しているタイプである。以下に各方式に簡単な解説を加えておく。

水冷式は当社でもっとも古い経験を有しているタイプで、すでに

表 3.1 冷却方式
Cooling system.

冷 却 方 式	再冷却装置	摘 要
風 冷	単 純 風 冷	エアフィルター
	循 環 風 冷	風-水熱交換器
水 冷	風 再 冷	水-風熱交換器
	水 再 冷	水-水熱交換器
油 (鉱 油)	風 再 冷	油-風熱交換器
	水 再 冷	油-水熱交換器
油 冷 (SK-2)	風 再 冷	油-風熱交換器
	水 再 冷	油-水熱交換器

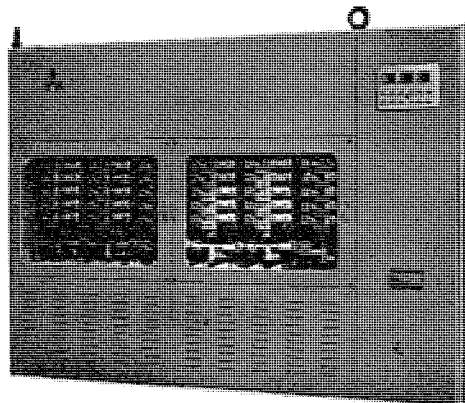


図 3.1 水冷式整流器 3,000 kW, 120 V, 25 kA
Water cooled rectifier 3,000 kW, 120 V, 25 kA.

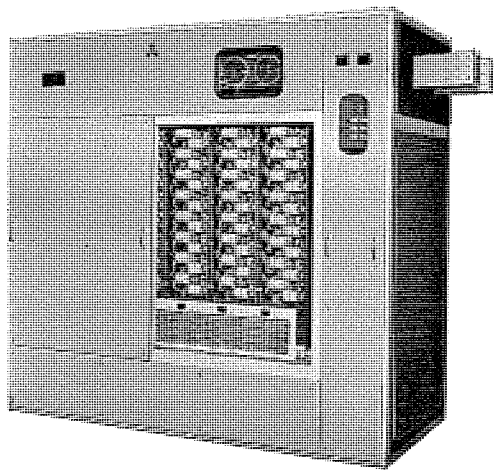


図 3.2 風冷式整流器 5,400 kW, 675 V, 8,000 A
Air cooled rectifier, 5,400 kW, 675 V, 8,000 A.

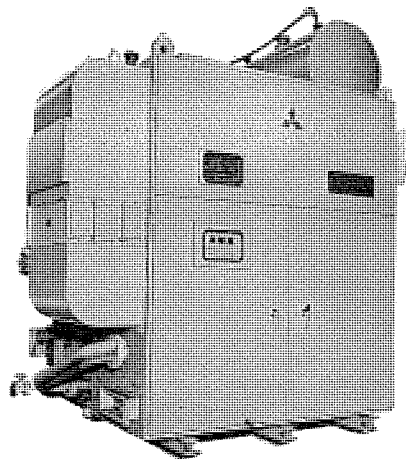


図 3.3 レクチフォーマ完成図
Complete rectifier.

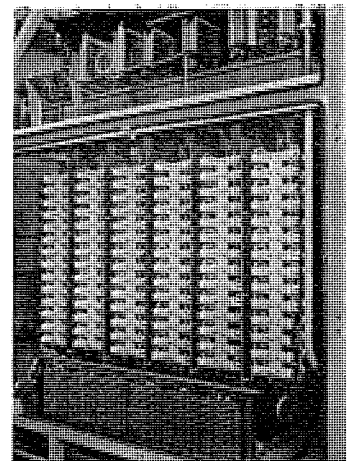


図 3.4 レクチフォーマ正面構造
Front view of rectifier construction.

10 余年の安定した運転実績を持っている。前述のように水はきわめてすぐれた冷却性能を有しているが、高い電圧の整流器では純水の保守と電食に特に注意を払う必要がある。しかし、そのすぐれた冷却性能を活かしてコンパクトで簡明な装置ができるので、低圧の領域では現在もさかんに採用されている。

風冷式は水冷式と並んで古い歴史を有するが、初期のトレイ方式はまったく影をひそめ、現在ではユニット方式と呼ばれる構造となっている。冷却片も冷却風がすべての素子を並列に通過する形のものが新しく開発されて、通過冷却風の温度差の解消、風圧損の軽減にいちじるしい効果をあげている。風冷式は屋内設置に適用されることが多いが、じんあいや腐食性ガスの多い悪環境では循環風冷が推奨される。

レクチフォーマで代表される油冷式は 1963 年に第 1 号器が完成されて以来、その製作実績の大半を占めることとなった。とくに、当社の開発になる変圧器と共通の油系統による冷却方式は当時、画期的なものであったが、循環油ポンプや再冷器など冷却系の機器が簡単化されて経済面、保守面でのすぐれた利点はいまなおうしなわれていない。レクチフォーマは組立輸送、高効率、小さな据付面積などの特長を有し、密閉構造が完全で、屋外設置にもっとも適している。

平形素子は素子の両面から冷却されるので大容量素子は平形で製作される。当社では、前述のようにいちばやく平形サイリスタに対する通油冷却スタックを開発、油冷平形サイリスタレクチフォーマ装置を完成した。後章でも述べられているように、この冷却スタックは 4 個ないし 8 個の平形素子を一括締め付ける構造を採用することにより、複雑になりがちな素子締め付け機構を単純化し装置の小形化、信頼性、保守性の向上などの利点を遺憾なく発揮している。この点、他方式には見られない特長の一つである。今一つの大きな特長は、冷却媒体に前述の SK-2 が用いられている点である。絶縁液 SK-2 は粘度が低いために平形素子の冷却には理想的である。

以上の他に、自冷式、油浸形、平形素子の風冷スタック、平形ダイオードの油冷スタックなど冷却方式は多岐にわたるが、電解用途にはあまり用いられないので、ここでは省略する。

3.2 整流器構造とその特長

整流器、とくに大容量器において導体構造は冷却、電流バランス、効率、絶縁、機械的強度など様々な要素を包含して装置の特性を左右する。水冷式整流器を除いて導体はすべてアルミが採用されている。アルミは任意の形状の押出材が得られるので、冷却片や導体に

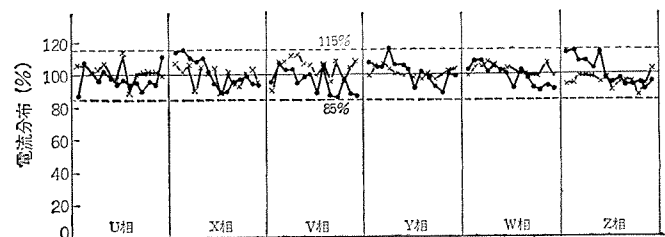


図 3.5 42 kA 整流器の素子電流分担
Current sharing among diodes in 42 kA rectifier.

大幅に採用されている。大電流導体はボルト締め接続を避けて溶接組立されるので接触部分の過熱は一掃され、構造的にもきわめて強固なものとなっている。また、大電流導体はすべて循環油または循環水により冷却されるので、整流器キュービクル内の導体は低い温度に保たれる。1 ユニット 100 kA をこえる大容量装置もこのような構造により、とくに回路数を分割することなくきわめてコンパクトな形で製作されている。

素子の電流バランスは、おもに導体インピーダンスに負うところが大きい。素子のアノード側およびカソード側導体の形状と配置を電磁気学的観点から設計することにより、各素子電流のインピーダンス電圧降下を均一化させて電流バランスは所期の好結果を得ている。たとえば、ダイオード、サイリスタとも 1 回路 55 kA のセットで、各アームとも電流バランスは $\pm 65\%$ 以内に納まる好結果を得ている。

整流器は容量の割にコンパクトな構造にしながらも、十分な絶縁距離をとるよう考慮されている。各導体間、相間には絶縁板のバリアをそうし、導体の支持は強度の大きい磁器がいしによるなど、簡明な導体構造と相まって絶縁の信頼性はきわめて高いものとなっている。各種絶縁材料はテフロン、ガラス基材マイカルタなど電氣的、機械的、熱的に十分吟味されたものを採用している。

ダイオードの場合に用いられる電圧調整リアクトルは、乾式導体貫通形で整流器キュービクルに内蔵される。電圧調整リアクトルは冷却条件に応じて油浸形も製作されている。その他、キュービクル付属品として異常電圧吸収装置、故障表示装置、ダイヤル温度計、補助冷却器（キュービクル内空気冷却用）が設けられる。

4. サイリスタ整流器

4.1 素子特性と主回路構成

サイリスタ素子を整流器に使用する場合、素子が理想的なスイッチで

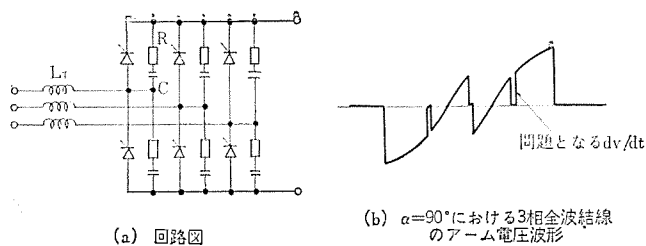


図 4.1 サイリスタに印加される dv/dt
 dv/dt impressed on thyristor cell.

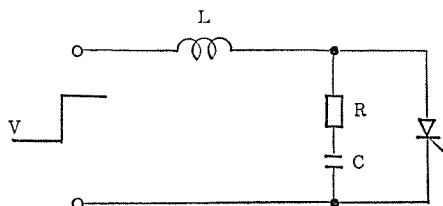


図 4.2 素子順方向 dv/dt 計算用等価回路
Equivalent circuit diagram for calculation of the positive voltage dv/dt .

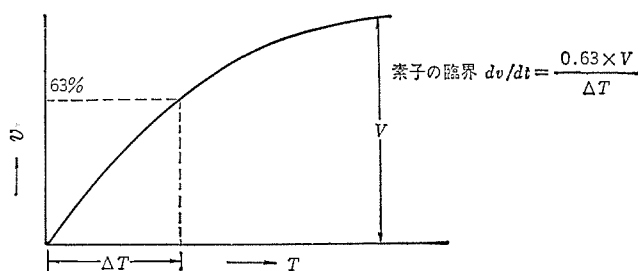


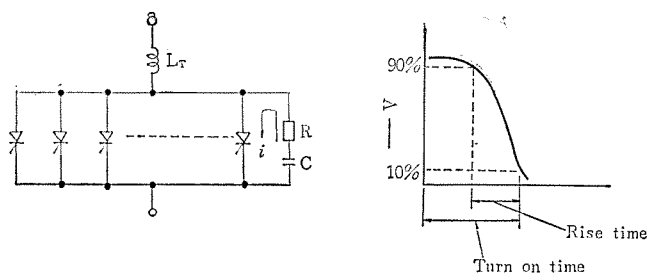
図 4.3 素子の臨界 dv/dt の定義
Definition of thyristor cell rated dv/dt .

ないことから、素子特性との関連において回路構成上種々の考慮がはらわれねばならない。そのうち、ホール蓄積効果による異常電圧のようにシリコン整流器におけるどのような現象もあるが、サイリスタ特有の現象が多い。

サイリスタ素子は、その阻止状態においては小容量のコンデンサのように動作し、順方向に急しゅんな電圧上昇 (dv/dt) が印加されると充電電流が流れ、それがターンオン電流と同程度に達すると素子はゲート信号なしで点弧されるに至る。たとえば三相全波順変換装置では、この順方向の急しゅんな電圧上昇は図 4.1 に示されるように、他の相のアーム間での転流が終了した時点で発生し、 $\alpha=90^\circ$ の時がもっとも過酷である。この等価回路は図 4.2 で示されるが、素子に印加される電圧上昇率の初期値は $dv/dt = \frac{R}{L} \cdot V$ で表わされる。

素子の臨界順電圧上昇率は図 4.3 のように定義されるが、回路の諸定数は図 4.2 の等価回路から計算した dv/dt が、素子の臨界順電圧上昇率以下になるように選定する必要がある。もちろん、電圧上昇率の初期値が素子の臨界値以下であれば問題はない。当社の大電流サイリスタ整流器には、FT-500 形平形サイリスタが使用され、その dv/dt は $200 \text{ V}/\mu\text{s}$ ときわめて大きく、実際の回路設計上まったく問題にならない。

サイリスタ素子が点弧される場合、最初ゲートの端から導通状態に入り、これが接合部全面に広がっていくが、これは順電流上昇率 (di/dt) が大きいと、ゲート付近の限られた面積に高密度の電力損失を発生して素子が破壊されることを意味する。点弧時の順電流上昇率は一般に転流電流の di/dt よりも、サージ電圧、前述の dv/dt などの抑制のための RC 回路により決定される。とくに、並列素子が多



(a) di/dt 計算のための等価回路 (b) サイリスタのターンオン特性

図 4.4 di/dt 計算のための等価回路
Equivalent circuit for di/dt calculation.

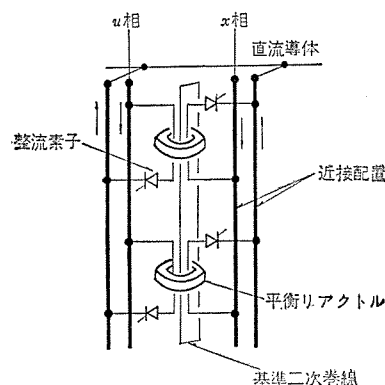


図 4.5 サイリスタの導体構造と電流平衡リアクトル
Busbar arrangement and current balancing reactor for thyristor.

く、素子間のターンオン時間のばらつきが大きい場合は di/dt が過酷になる。この等価回路を図 4.4 に示す。

CR の放電時定数が素子の rise time (Δt) に比較して十分大きい回路では、素子に加わる di/dt は $di/dt = \frac{V}{\Delta t \cdot R}$ で近似できる。臨界電流上昇率の小さな素子を使用する場合、この di/dt を小さく抑えるために RC 回路に種々の考慮が払われてきたが、当社の素子は $200 \text{ A}/\mu\text{s}$ ときわめて大きい臨界 di/dt 値を持つとともに、ターンオンタイムのばらつきが小さいこととあいまって実際の回路設計上まったく問題にならない。

多数の並列素子を使用するサイリスタ整流器においては、ターンオンのばらつきも加わって並列素子間の電流不平衡の問題は、ダイオード方式よりいっそう過酷になる。従来、単にターンオンタイム、順方向電圧降下をそろえてこの問題を解決しようとしている装置が多数見受けられるが、この方式では $\pm 30 \sim 40\%$ の電流不平衡をきたし、経済性、信頼性の点から得策ではない。当社サイリスタ整流器においては、図 4.5 のように当社特許の特殊な導体配置および電流平衡リアクトルを使用して電流不平衡を $\pm 15 \sim 20\%$ 以下に抑えている。

高価な素子を使用するサイリスタ整流器においてはできる限り高い直流電圧まで六相二重星形結線を採用するのが経済的である。当社では、 $3,000 \text{ V}$ 級の素子まで量産化されており、その使用により直流電流 500 V にいたるまで素子 1 個の二重星形結線での製作が可能になっている。

4.2 構造

サイリスタ素子の大容量化は使用素子数の低減による信頼性の向上、経済性などの観点から強力にもたらされる傾向で、従来のスタッド形素子に冷却の点で限界があることから平形サイリスタが必然の形として取りあげられてきた。当社ではこの素子の発展方向と電気化学用サイリスタ整流器のあるべき姿について検討し、1968 年世界最初に大

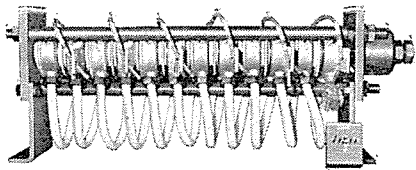


図 4.6 油冷式大容量平形サイリスタスタック
Outline of oil cooled type large power flat packaged thyristor stack.

容量平形サイリスタを使用した画期的な油冷式サイリスタを開発し、引き続き多数の装置を製作納入している。

このサイリスタ整流器の主体は、大容量平形サイリスタスタックで、その構造を図 4.6 に示す。平形サイリスタは冷却ブロックでサンドイッチされ、これら数組がスタックの一端に設けられた 1 個の締め付け機構により一括して締め付けられる。素子は冷却液に無関係に正面から容易に着脱が可能である。サイリスタ整流器全体の構造冷却方式については、別節にも述べられているのでここでは省略する。また、サイリスタの制御回路については別文に詳述されているので参照されたい。

5. 整流器系列

整流器形式や結線の選択は電流、電圧、冷却条件、環境を考慮して決定される。

整流器結線は二重星形六相または 3 相全波結線がほとんどである。最近は整流素子の耐圧の高いものが得られるようになってきたので素子の直列数 1 で、直流 850 V あるいはそれ以上も二重星形で製作可能となっている。しかし、二重星形六相の場合は変圧器の二次容量が大きくなり、変圧器の容量は三相全波の場合の 1.21 倍になる。また、相間リアクトル、電圧調整リアクトルなどの大きいものが必要となってくるので高い電圧では装置全体としてみた場合必ずしも経済的でない。普通、直流 500~600 V を境としてそれ以上の電圧では三相全波が採用される。

大容量装置では運転上、あるいは電源系統の立場から全体をいくつかのユニットに分割する必要があるが、この場合も製作者の単器容量の製作限界が制限条件になくはならない。当社の整流器は、こういった要求に応えるべく、変圧器 1 台に対応する単器容量として 120 kA に達するものを標準系列として有しているので、単器容量の選定はきわめて自由に行なうことができる。

整流装置は、電解そうに隣接して設置される関係から腐食性ガスが充満していることを常に考慮しておかねばならない。とくに、塩水電解における塩素ガスは過酷であり、多くの場合屋外設置される。当社のレクチフォームは、第 1 号器からこれらの悪条件に完全に対し得る特長、すなわち密閉、防水構造、耐腐食性、無人運転などの特長を有しており、これは今なお整流装置の主流を占めている。再冷却器は水冷、風冷のいずれも可能で、冷却水のまったく得られない場合にも適用できる。

屋内設置で清浄な空気のとれるところでは風冷式が適する。風冷式整流器は半導体整流器初期のものとは形態を異にして絶縁、冷却、保守の面目を一新し、大容量のものへの適用に新しい分野を開いた。この形式はすでに 100 MW をこえる輸出向けアルミ製錬用途に多数製作されている。

前章で述べられたサイリスタや水冷式などを含めて表 5. 1~表 5. 4 のような各標準系列が用意されている。もちろん、これ以外のさま

表 5. 1 油冷シリコン整流器標準系列
Standard series of oil cooled silicon rectifier.

二重星形結線		三相全波結線		外形寸法 mm			概略重量 kg
形名	定格電流 A	形名	定格電流 A	W	D	H	
SQ-1W14C4	21,000	SQ-1B14C4	10,500	2,500	1,200	2,780	3,300
SQ-1W16C4	24,000	SQ-1B16C4	12,000	2,500	1,200	2,850	3,400
SQ-1W18C4	27,000	SQ-1B18C4	13,500	2,500	1,200	2,920	3,500
SQ-1W20C4	30,000	SQ-1B20C4	15,000	2,500	1,200	2,990	3,600
SQ-1W22C4	33,000	SQ-1B22C4	16,500	2,500	1,200	3,060	3,800
SQ-1W24C4	36,000	SQ-1B24C4	18,000	2,500	1,200	3,130	4,000
SQ-1W26C4	39,000	SQ-1B26C4	19,500	2,500	1,200	3,200	4,200
SQ-1W28C4	42,000	SQ-1B28C4	21,000	2,500	1,200	3,270	4,400
SQ-1W32C4	48,000	SQ-1B32C4	24,000	2,500	1,200	3,300	4,900
SQ-1W36C4	54,000	SQ-1B36C4	27,000	2,500	1,200	3,385	5,200
SQ-1W40C4	60,000	SQ-1B40C4	30,000	2,500	1,200	3,470	5,500

表 5. 2 油冷サイリスタ整流器標準系列
Standard series of oil cooled thyristor rectifier.

二重星形結線		三相全波結線		外形寸法 mm			概略重量 kg
形名	定格電流 A	形名	定格電流 A	W	D	H	
CQ-1W10C5	18,000	CQ-1B10C5	9,000	2,500	1,200	2,400	2,000
CQ-1W12C5	21,600	CQ-1B12C5	10,800	2,500	1,200	2,700	2,400
CQ-1W14C5	25,200	CQ-1B14C5	12,600	2,500	1,200	3,000	2,800
CQ-1W16C5	28,800	CQ-1B16C5	14,400	2,500	1,200	3,300	3,300
CQ-1W18C5	32,400	CQ-1B18C5	16,200	2,500	1,200	3,600	3,800
CQ-1W20C5	36,000	CQ-1B20C5	18,000	2,500	1,200	2,400	3,800
CQ-1W24C5	43,200	CQ-1B24C5	21,600	2,500	1,200	2,700	4,600
CQ-1W28C5	50,400	CQ-1B28C5	25,200	2,500	1,200	3,000	5,400
CQ-1W32C5	57,600	CQ-1B32C5	28,800	2,500	1,200	3,300	6,400
CQ-1W36C5	64,800	CQ-1B36C5	32,400	2,500	1,200	3,600	7,400

表 5. 3 風冷シリコン整流器標準系列
Standard series of air cooled silicon rectifier.

二重星形結線		三相全波結線		外形寸法 mm			概略重量 kg
形名	定格電流 A	形名	定格電流 A	W	D	H	
SF-1W12C4	18,000	SF-1B12C4	9,000	2,000	1,100	1,930	800
SF-1W14C4	21,000	SF-1B14C4	10,500	2,000	1,100	2,040	1,100
SF-1W16C4	24,000	SF-1B16C4	12,000	2,000	1,100	2,150	1,400
SF-1W18C4	27,000	SF-1B18C4	13,500	2,000	1,100	2,260	1,800
SF-1W20C4	30,000	SF-1B20C4	15,000	2,000	1,100	2,370	2,200
SF-1W22C4	33,000	SF-1B22C4	16,500	2,000	1,100	2,480	2,600
SF-1W24C4	36,000	SF-1W24C4	18,000	2,000	1,100	2,590	2,900
SF-1W26C4	39,000	SF-1W26C4	19,500	2,000	1,100	2,700	3,200
SF-1W28C4	42,000	SF-1W28C4	21,000	2,000	1,100	2,810	3,500
SF-1W30C4	45,000	SF-1W30C4	22,500	2,000	1,100	2,920	3,800
SF-1W32C4	48,000	SF-1W32C4	24,000	2,000	1,100	3,030	4,100

表 5.4 水冷シリコン整流器標準系列
Standard series of water cooled silicon rectifier.

二重星形結線		三相全波結線		外形寸法 mm			概略重量 kg
形 名	定格電流 A	形 名	定格電流 A	W	D	H	
SE-1W14C4	21,000	SE-1B14C4	10,500	2,200	1,000	1,600	2,400
SE-1W16C4	24,000	SE-1B16C4	12,000	2,200	1,000	1,700	2,500
SE-1W18C4	27,000	SE-1B18C4	13,500	2,200	1,000	1,800	2,600
SE-1W20C4	30,000	SE-1B20C4	15,000	2,200	1,000	1,900	2,700
SE-1W22C4	33,000	SE-1W22C4	16,500	2,200	1,000	2,000	2,800
SE-1W24C4	36,000	SE-1W24C4	18,000	2,000	1,000	2,150	3,000
SE-1W26C4	39,000	SE-1W26C4	19,500	2,200	1,000	2,300	3,200
SE-1W28C4	42,000	SE-1W28C4	21,000	2,200	1,000	2,450	3,400
SE-1W32C4	48,000	SE-1W32C4	24,000	2,200	1,200	2,200	3,400
SE-1W36C4	54,000	SE-1W36C4	27,000	2,200	1,200	2,350	3,600
SE-1W40C4	60,000	SE-1W40C4	30,000	2,200	1,200	2,500	3,800

さまざまなバリエーションがあるが、環境、保守の面など考慮して最適のものが選定される。表にみられるように合理的な設計によりキュービクル寸法は小形で、1キュービクル出力60kAのものでもその正味床面積は1,200×2,500ときわめて小さく、単位面積あたり直流電流は実に20kA/m²、単位体積あたりで6kA/m³にも達している。

6. 電圧調整方式

6.1 方式の選択

ここでは整流プラント構成上の考慮を扱うので、調整機器各個の内容は他にゆずる。電解設備は起動停止ならびに運転電流の制御上かなり大幅な電圧調整を必要とする。同時に多くのばあい電流の増加に対応した直流電圧レゾの変更が伴うが、この部分についてはすでに本誌にても論じられているので参照いただきたい。

代表的な電解負荷特性を図6.1に示す。これに電源変動および電流(槽)数変化を含めた調整範囲が実際の計画に応じて決定される。溶融電解などを除いて多くの用途は、起動値より連続負荷時調整を必要とする。ダイオード方式では負荷時タップ切換器と電圧調整リアク

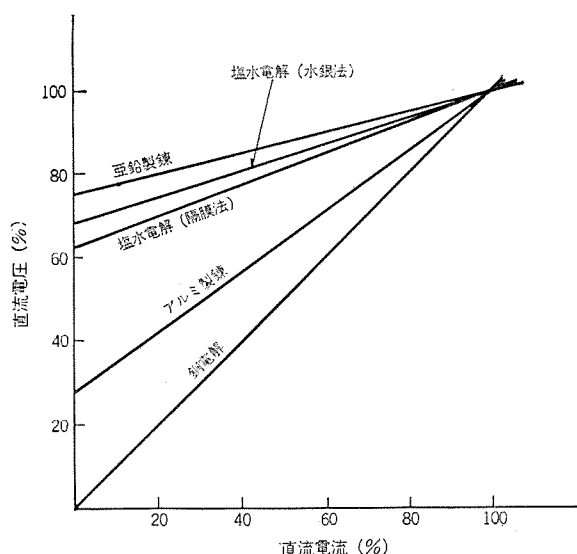


図 6.1 電解電流-電圧特性
Volt-ampere characteristics of electrolytic cell lines.

トルの組み合わせが用いられる。IVRの適用領域はサイリスタに完全に置換されたといつてよい。

大まかな区分ではあるが、数MW～十数MWの領域はサイリスタが主流をなすところである。それは単器でプラントが形成される容量で、かつ高調波などの問題も解決しやすい。さらに低圧大電流設備では、電源電圧など回路構成上の条件より幾組もの個別調整器が設けられるようなときには、数10MWの装置でもサイリスタの成立が可能となる。このもっとも大きな例が鹿島電解103.5MW、450kAサイリスタ装置である。

数MW領域でも波形などの諸条件よりダイオード方式が採用されることも多い。このばあいにも回路構成を考慮して急速に進歩するサイリスタとの経済的協調を保っている。また、単器数10MWの装置を並置する大容量プラント、あるいは回路条件より共通調整器が経済的に用いることができるときはダイオード方式が採用される。一方3～6kV入力で直流出力が低圧、かつ大電流のとき当社の開発になる高圧サイリスタ制御がすぐれた回路構成を与える。

6.2 電圧調整回路

現在、負荷時タップ切換器のほとんどがMR形を使用している。数MW級の装置でURA-2型切換器が用いられるが、その回路例を図6.2(a)に示す。これは各相直接切換である。従来使用されていた三次切換方式(図6.2(b))は技術の進歩により適用範囲が限定されてきた。サイリスタの領域が拡大する一方、整流装置がいちじるしく大電流化し、かつ高電圧領域まで二重星形結線が使用されることになったのがおもな理由である。さらに種々の結線組み合わせ、切り換えなどを導入するさいに大電流の二次回路を単純な形にしておくことは非常に有利である。ここで一次線路容量 p を基準とし、調整幅 $\pm\epsilon$ をとるとき、変圧器系全体の容量(各巻線容量加算)は三次切換で、

$$p_{T3} = p + \sqrt{2} \frac{(1-\epsilon)p + \epsilon p + \epsilon p + \sqrt{2} \epsilon p}{(1-\epsilon) + \epsilon + \epsilon + \epsilon} = (1 + \sqrt{2} + 2\epsilon)p \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

一次側線路切り換えを用いても次式のように容量はふえない。

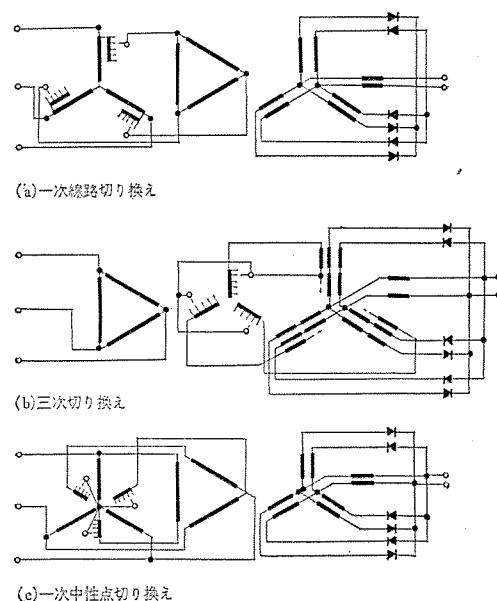


図 6.2 電圧調整回路
Type of voltage regulating circuit.

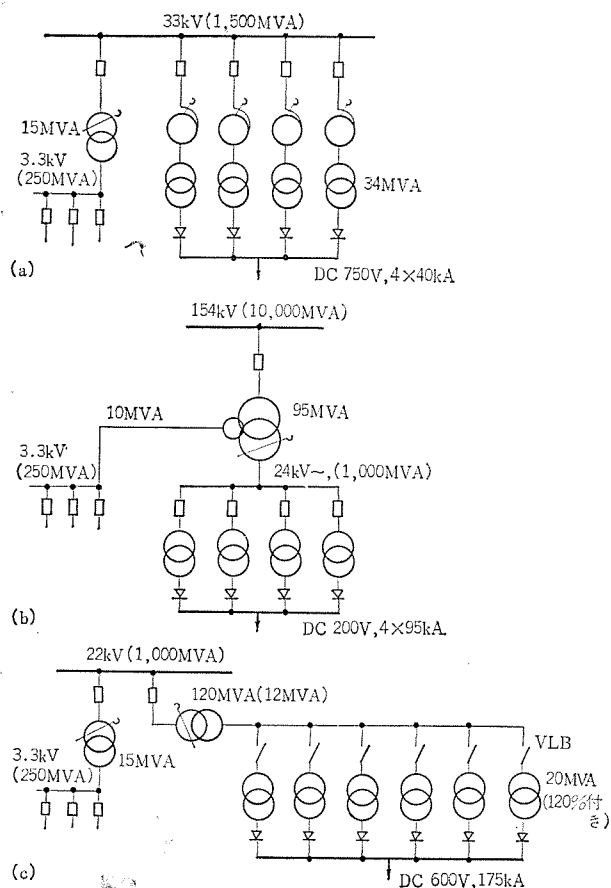


図 6.3 主回路構成と電圧調整器
Main circuit and regulator arrangement.

$$p_{T1} = \varepsilon p + (1 - \varepsilon) \left[\frac{1}{1 - \varepsilon} - 1 \right] p + p + \sqrt{2} \cdot p = (2\varepsilon + 1 + \sqrt{2}) \cdot p \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

(調整用巻) (一次) (二次)

調整が巻線の多い部分で行なわれることは最高設計を容易にし、かつ二次値は三角一星形といった組み合わせもとれる。ここで、図 6.2(c) の方式（出願中）は共通中性点の切換器が使用でき、これは電力系統用に高い BIL までそろっている。これは個別調整方式の大容量プラントに使用して非常に有利である。（図 6.3(a)）

とくに、大電流プラントで受電電圧が高いとき図 6.3(b) の一括方式が全体として経済的かつ効率の良い構成を与える。これは主調整変圧器の二次を直接調整するもので、MRF 形切換器各相使用で二次 24 kV といた手ごころな電圧でも、130 MVA の大容量が一括で扱える。米国系を中心としたアルプラントには、図 6.3(c) の一括調整器を用いた装置を納入している。この時は各レンジ調整幅 ±10% 位を ±17 段で切換え、リアクトルは用いないで、とくに多ひん度用に作られたタップ切換器を特殊な制御方式で運転する。

以上の調整方式では直流電圧レンジの切換えも無負荷タップの追加、あるいは直並列切換えの組み合わせできわめて自由度の多い対応を行なうことができる。

6.3 サイリスタによる調整

サイリスタでは自由な電圧調整がえられる。ただし、運転力率の考慮と二重星形結線では相間リアクトルの定格選定上、使用電圧レンジを指定する必要がある。大容量設備では結線切換えあるいは無負荷タップの併用となるケースが多くなる。この幅が大きいき単巻変圧器を付属する回路構成となる。

サイリスタによる電圧調整での別の問題は直流電圧リップルの影響で

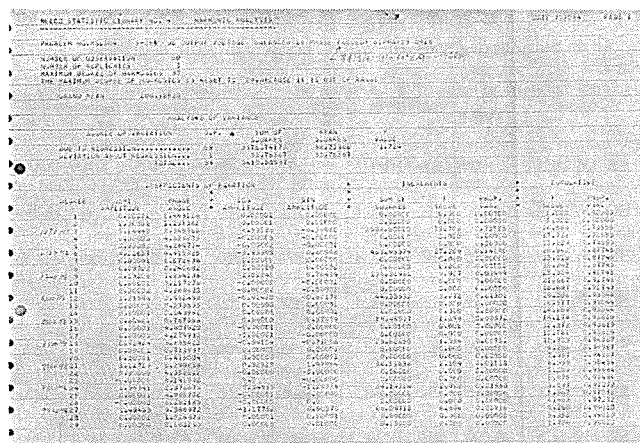


図 6.4 電子計算機による直流電圧波形調波分析
Harmonics analysis of DC output voltage with computer.

ある。この詳細な検討が電子計算機で行なわれており、最適方式の選択に役立っている。（図 6.4）

解析の結果では、12 相サイリスタがかなり大幅な制御を行なっても、タップ切換えによる 6 相ダイオード方式より良い波形を与える。なお、ダイオード方式でもリアクトル制御の幅により波形リップルはどのように増大する点忘れてはならない。

7. 電力系統への考慮

7.1 高調波の問題

整流器の転流動作のため、整流器の交流側線路電流には多くの高調波成分を含んでいる。整流器はこれら高調波の定電流源として動作し、この高調波によりその系統に接続される各機器にさまざまな影響を与える。

まず、高調波電流による電力機器の異常過熱、局部過熱は重要な問題で、よく検討しておかねばならない。発電機の場合、許容高調波量は二倍周波電流（すなわち逆相電流）により規定されているから、発電機へ流入する高調波の各次数に対して周波数補正を行ない、等価二倍周波電流に換算したもので評価することができる。電力用コンデンサの場合は、高調波の許容含有率は JIS で規定されているので流入する高調波電流がこれをこえないかどうかチェックする。

つぎの問題として通信線の誘導障害、系統内 L-C の並列共振とそれによる系統異常電圧がある。前者に対しては通信線のシールド、布設ルートの検討、燃架などが必要となり、後者に対してはコンデンサに直列リアクトルを入れて共振をずらすなどの考慮が必要となるが、多くの場合負荷および線路の抵抗分で共振は大きく減衰する。他に、高調波が継電器、計器類の動作に影響をもたらすことが考えられるが、通常あまり問題にならない程度である。

整流器の発生する高調波成分の次数 n は、よく知られているように次式で与えられる。

$$n = mp \pm 1 \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

ここで p は整流相数、 m は整数 (1, 2, 3, ……) である。各次高調波成分の大きさは位相制御角 α 、および転流重なり角 u の関数であるが、最大でも $1/n$ をこえることはない。当社では各次成分の正確な算出を電子計算機を利用した波形分析により求めている。たとえば表 7.1 に 6 相整流、12 相整流の場合の代表的な計算例をあげておく。サイリスタの場合は α が大、したがって u が小となるので高調波含有率は大きくなることや、組み合わせ相数を増せば含有率は

表 7.1 整流器一次電流高調波含有率
Harmonics contents of rectifier primary current.

高周波 次 数	6 相 整 流 $\alpha=9^\circ$ $u=18^\circ$	6 相 整 流 $\alpha=56^\circ$ $u=6^\circ$	12 相 整 流 $\alpha=10^\circ$ $u=18^\circ$	12 相 整 流 $\alpha=30^\circ$ $u=8^\circ$
基 本 波	100%	100%	100%	100%
5 次	18.40	19.85		
7 次	11.97	14.05		
11 次	5.74	8.75	5.72	8.30
13 次	3.90	7.28	3.88	6.75
17 次	1.66	5.35		
19 次	1.03	4.67		
23 次	0.82	3.64	0.77	2.76
25 次	0.86	3.24	0.86	2.29
29 次	0.93	2.59		
31 次	0.80	2.32		
35 次	0.58	1.86	0.60	0.69
37 次	0.38	1.67	0.42	0.46
41 次	0.27	1.33		
43 次	0.16	1.18		

α : 位相制御角
 u : 転流重なり角

急速に減少することがわかる。

つぎに、整流器で発生した高調波が工場系統内各機器にどのような分布で流入しているかを知ることが必要である。この問題については大容量整流器プラントにおける現地実測を数多く実施してきた。すなわち、各母線、フィーダの電流、電圧波形の観測と周波数分析を行ない、多くの興味あるデータを得ている。各電力機器はそれぞれ個有の高調波インピーダンスを有しているが、実測で得られたデータをもとにして新しいプラントにおける高調波電流の流れ分布を推定することが可能となり、多大の成果をあげている。

高調波発生量を減らすのは、整流器組み合わせ相数を増せばよいわけであるが、このためにいたずらに回路数を増加させるのは経済的でない。解析結果の示すところでは、組み合わせ相数を24相ないし30相に増しても高調波量の大きな低減は期待できない。また、たとえば12相か18相といった相数の選択が整流器プラントの基本回路の決定の重要な条件となり、機器構成、配置、コスト、運転などに大きな影響をおよぼす。こういった意味からも大形プラントの計画時においては、ダイオード、サイリスタを問わず高調波問題を十分検討しておくことは不可欠であり、以上のような技術サービスが大いに活用されている。

7.2 電力制御

電解工場においては、工場内負荷の70～80%が整流器負荷であ

る場合は珍しくない。一般に、整流器はほぼ一定負荷で運転されるのが常であるが、電力制御の面から整流器が負荷制御の対象としてしばしば取りあげられる。

工場の大部分が自家発電で給電されている場合、発電機のトリップなどにより容量の小さな買電母線のトリップ、生き残り発電機の過負荷などをもたらし、ひいては重大な系統の乱れを招くことがある。このような場合、急速な負荷制御が望まれるわけで、発電所からの指令で整流器負荷をユニットごとにトリップする方法はよく行なわれている。このとき、並列運転している他の整流器は瞬時に課せられる過負荷に耐えるものでなければならない。

プロセスからの要求で整流器出力を調整したり、整流器がデマンド制御の対象となる場合も多い。これらの要求は、整流装置の大形化に伴ってますます強くなってきているのが最近の傾向である。とくに、速い応答かつ連続的な制御が要求されるとき、あるいはコンピュータ制御の要求のあるときはサイリスタが偉力を発揮する。当社の整流装置の制御回路はこれらの要求に容易に適合することができる。

8. む す び

以上電気化学用整流装置の最近の技術的進歩と当社整流装置の現状につき紹介した。

電気化学工業は装置産業の一般的特長として今後ますますプラントの大形化、自動化、省力化が強く押し進められ、それに伴い整流装置の拡大、高い信頼性と高度の経済性がよりいっそう強く要求されてくるものと考えられる。この場合、製作者側としては常に使用者の要求に十分応じうる装置と技術を準備しておくことがたいせつであり、整流装置の構成について、製作者側からの理由で制限変更するようなことがあってはならない。

当社は常にわが国第1級の装置を製作してきたが、今後とも電気化学用整流装置のあるべき姿を追求して各需要家のご要望にこたえていきたいと考える。小文が今後、電解工場プラント計画者に対して多少とも参考になれば幸である。

参 考 文 献

- (1) 小林, 鶴田, 上岡: 三菱電機技報 39, 662, (昭40)
- (2) 小林, 佐野, 鶴田, 坂本, 石村: 三菱電機技報 40, 1, 173, (昭41)

アルコア社納めアルミポットライン電源用シリコン整流器

横 畠 洋 志*・織 井 稔*・児 玉 俊 英*・三 谷 俊 介*・笠 原 清*

Silicon Rectifiers for Aluminum Pot Lines of ALCOA

Itami Works

Hiroyuki YOKOHATA・Minoru ORII・Toshihide KODAMA

Syunsuke MITANI・Kiyoshi KASAHARA

Silicon rectifiers for the aluminum pot line power supply have been built by Mitsubishi and delivered to the plants in Australia and Brazil of ALCOA, the world largest aluminum manufacturer in the United States. The one sent to Australia is now operating satisfactorily, while the other shipped to Brazil is expected to start working in very near future. This fact tells that Mitsubishi products have made a foothold in extending a market in the ALCOA company. And also it manifests the excellent technique and the reasonable prices of Mitsubishi manufactures, in which the Company can take pride internationally.

This article describes silicon rectifiers newly developed according to the ALCOA specification and under their guidance. Other electric equipment going together with the rectifiers is also touched upon.

1. ま え が き

近年のアルミ需要の増加度合は、アルミ化時代と呼ぶにふさわしく目をみはらせるものがある。これに対して、アルミ地金は、世界的に不足傾向がつづいているのが実情である。このような需給関係を反映して、最近、国の内外を問わず、アルミ精練設備の新設、増設が、次々と計画され実施に移されている。

当社は、これらアルミ精練の直流電源設備として、三菱化成を初めとする国内のアルミ精練会社に、数多くのシリコン整流装置の納入実績をもっているとともに、輸出実績としても、オーストラリアアルコ社に納入している。

今回、世界最大のアルミメーカー、アルコ社に、オーストラリアアルコ社向け 100,625 kW 575 V 175 kA シリコン整流器、およびブラジルアルコミナス社向けとして、55,860 kW 490 V 114 kA のシリコン整流器を納入した。オーストラリアアルコ社向けのものは、すでに昨年 10 月より順調に運転にはいっており、ブラジルアルコミナス向けも、各機器現地に到着し工事待ちの段階にある。

アルコ社は、G E 社、W. H 社などをはじめとする世界の一流電機メーカー各社の整流装置を数多く使用してはいるが、機器仕様などに関してはすべて本社技術部に統括し、アルコ方式、アルコ基準を整備している⁽¹⁾。とくに、整流器に関しては、これら基準が完備されているといっても過言ではないと思う。これら基準に従う必要上からも、今回は新しい形式のシリコン整流器を開発したので、この点を中心に、アルコ社納入の整流装置につき、そのあらましを以下に紹介する。

2. 電源設備の概要

アルコ社が標準方式としているアルミポットライン電源設備の機器構成は、その装置容量の差異は別とすると、図 2. 1 の単線結線図に示すとおりであり、その特長とするところは下記のようなものである。

(a) 運転中の直流電源出力の調整は、負荷時タップ切替器付きの電圧調整変圧器によりおこなう。

(b) 電解そう(槽)の起動時や大幅な生産量の調節時には、単巻変圧器のタップ撰択によりおこなう。

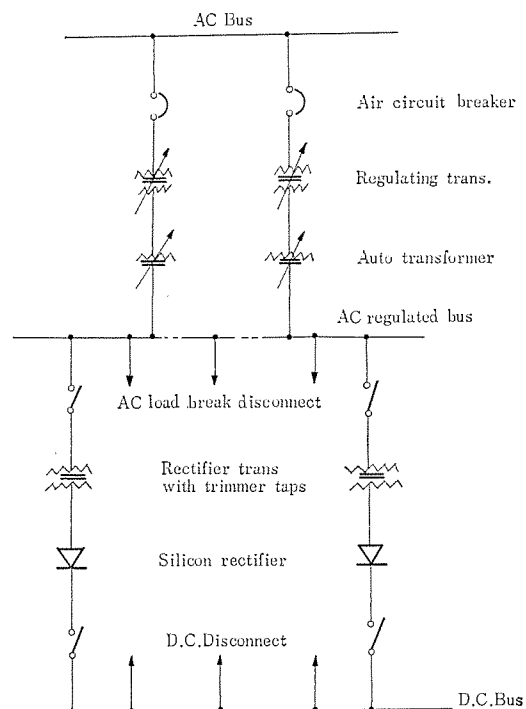


図 2. 1 アルミポットライン電源主回路単線結線図
Schematic diagram for aluminum pot line.

(c) 装置容量により、シリコン整流装置が、複数組(a), (b)によって調整された交流バスに直結して並列運転されるが、これら整流器群の負荷のバランスは、整流器用変圧器にもうけられた、トリマータップの選択によりおこなわれる。トリマータップは、各整流器の負荷が 2~3% の調整可能なような電圧に設計されなければならない。

(d) 直流電流の計測には、アルコ指定の計測装置、またはこれと等価の高精度のものを用いる必要がある。

(e) 整流群の各ブランチには、シャ断器を用いず、負荷断路器で回路の開閉がおこなわれる。

(f) シリコン整流器を初めとし、可能な限りアルミ材料の使用を原則とし、しかもその材料処理法などは、アルコ社標準方式に従う。

(g) 各機器のレイアウトにも、標準システムがあり、シリコン整流装置についての配置断面は、図 2. 2 のようである。

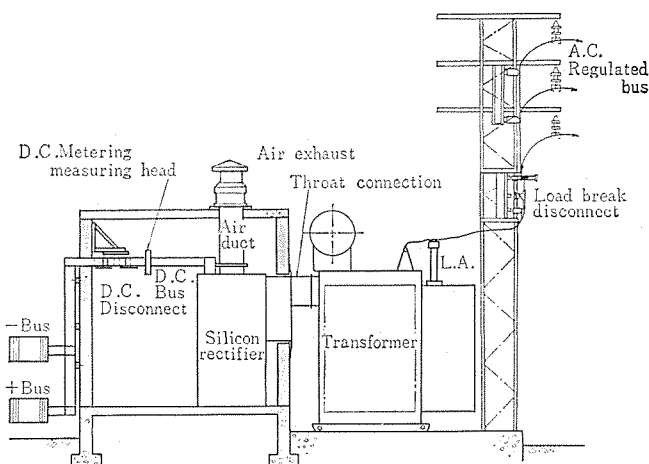


図 2.2 シリコン整流装置配置断面図 (ALCOA 標準形)
Typical cross section of silicon rectifier station.

オーストラリア および ブラジル 納め電源設備の仕様の概要は、下記のとおりである。

(1) アルコアオーストラリア 納め機器の仕様

直流出力	100,625 kW 575 V 175 kA
受電々圧	23 kV 3 相 50 Hz
電圧調整器	2 回路 (1 回路はスペアライン)
整流装置	7 回路, 組合わせ 42 相 (1 回路切りはなしたときも, 6 回路で全出力が出せること)
形 式	シリコン 整流器のみ屋内形, 風冷式 整流器用変圧器ほかは屋外形, 油入自冷
周囲温度	40°C
設置場所	海岸 (変圧器 プッシング 外部は絶縁を ランクアップ)

(2) アルコミナスブラジル 納め機器の仕様

直流出力	55,860 kW 490 V 114 kA
受電々圧	13.8 kV 三 相 60 Hz
整流装置	6 回路, 組合わせ 36 相 (1 回路切りはなしたときも, 5 回路で全出力が出せること)
形 式	シリコン 整流器: 屋内形, 風冷式 整流器用変圧器ほか: 屋外形, 油入自冷
周囲温度	40°C
設置場所	海拔 1,250 m

アルコア社の設備計画方式は、設備一式をまとめて購入せず、必要な機器単位で購入し、取りまとめおよび現地工事はいっさいを自社の責任において実施するものである。それゆえ、今回の電源設備納入もオーストラリア向けとしては、シリコン整流装置(変圧器含む)・電圧調整変圧器のみであり、ブラジル向けはシリコン整流装置、電圧調整変圧器および単巻変圧器がある。

なお、シリコン整流装置は、変圧器は屋外に、整流器は屋内に設置されるので、この間の接続導体は、水密のダクトに収納する必要がある。そこで、このバスダクトは、整流器に直結したものとして製作したため、外観上は、整流器と変圧器がバスダクトを通じて一体化された構造を有している。

3. 負荷時電圧調整器および単巻変圧器

3.1 仕様および構造

仕様を表 3.1 に示す。本負荷時電圧調整器は、22 kV または 13.8 kV で受電し、 $\pm 10\%$ および $+6\%$ 、 -10% の範囲で 33 点の

表 3.1 負荷時電圧調整器および単巻変圧器の仕様
Specification of regulation transformer and autotransformer.

	アルコア社納め Reg. Tr	アルコミナス社 納め Reg. Tr	アルコミナス社 納め Auto Tr
線 路 容 量 MVA	110	60	55
調 整 容 量 MVA	11	6	13.75
一 次 電 圧 kV	22	13.8	13.8
二 次 電 圧 kV	24.2~19.8	14.63~12.42	13.8~1.38
定 格 二 次 電 流 A	2,890	2,590	2,300
冷 却 方 式	ONAN	ONAN	ONAF
油 劣 下 防 止 方 式	窒素封入密封式	窒素封入密封式	窒素封入密封式

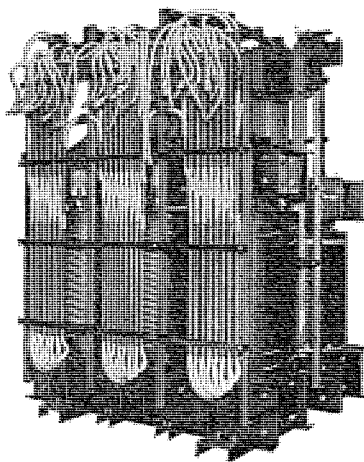


図 3.1 アルコア社納め電圧調整器の中身
Core and coils assembly of regulating transformer for ALCOA AUSTRALIA

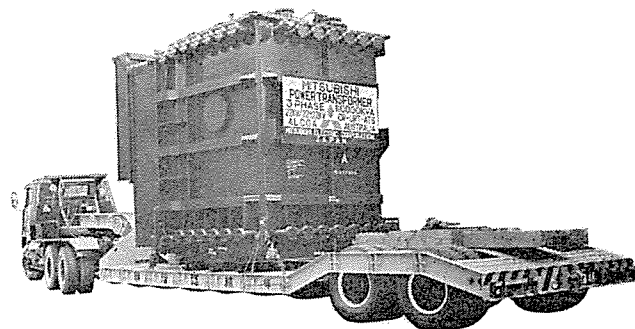


図 3.2 アルコア社納め電圧調整器の輸送荷姿
110 MVA regulating transformer under transport on trailers.

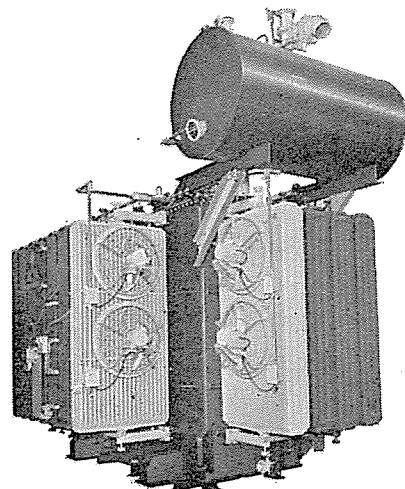


図 3.3 アルコミナス社納め 110 MVA 電圧調整器
110 MVA regulating transformer for ALCOMINAS

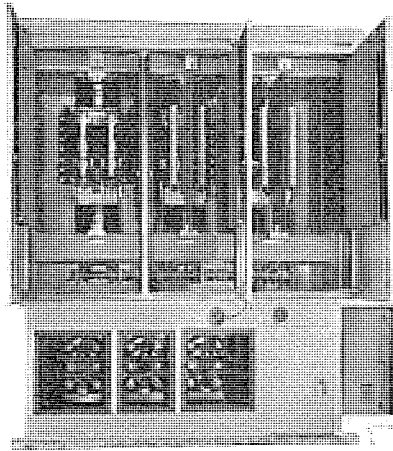


図 3.4 URT-ATS 形負荷時タップ
切換器
Type URT-ATS on load tap
changer.

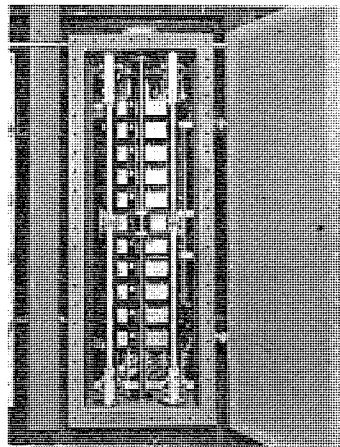


図 3.5 アルコミナス社納め単巻変圧
器用無負荷タップ切換器
No-load tap changer of auto-
transformer.

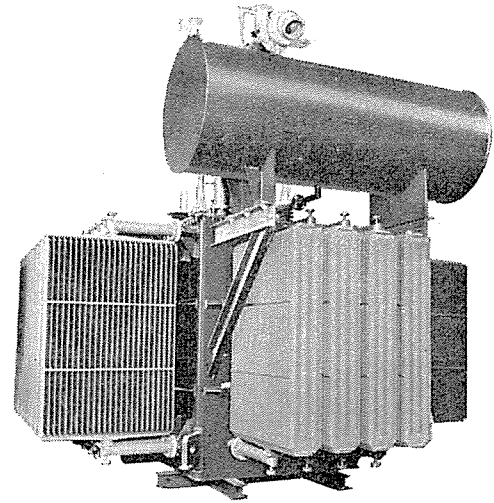


図 3.6 アルコミナス社納め 55 MVA 単
巻変圧器
55 MVA autotransformer for ALCOMINAS.

表 3.2 タップ切換器定格性能
Specification of tap changers.

	URT-ATS	URA-URS	アルコミナス向け Auto Tr 用
定 格 電 流 A	1,200	600	2,300
ス テ ッ プ 電 圧 V	900	500	1,380
タ ッ プ 点 数	33	33	10
対 地 絶 縁 階 級	15 号	6 A 号	15 号

出力電圧を得るものである。電圧調整方式としては、出力電流が 2,890 A・2,510 A という大電流であるため、直列変圧器式を採用した。また、アルコミナス向けにおいては、タップ切換器選択室を点検するため、変圧器本体と隔離する構造となっている。

3.2 負荷時タップ切換器

定格性能を表 3.2 に示す。アルコア向けでは WH 社製 URT-ATS 形、アルコミナス向けでは URA-URS 形を使用した。この URA-URS 形タップ形切換器は、1,400 回/日のタップ切換、6 か月間無点検という運転条件に応ずるため、URA-2 形をベースとして次のような性能を有している。ただし () 内は URA-2 形の性能である。

- (a) 機械的寿命 1,000 万回 (80 万回)
- (b) 切換開閉器接点寿命 30 万回 (30 万回)
- (c) タップ選択器接点寿命 80 万回 (80 万回)
- (d) 潤 滑 20 万回に 1 度 (1 万回)
- (e) 保守・点検 20 万回に 1 度 (2 万回)

3.3 単巻変圧器

仕様を表 3.1 に示す。本変圧器は出力電圧が 13.8 kV から 1.38 kV の広範囲にわたって変化するため、タップ抜けの場合の磁氣的バランスをとくに考慮して、コイルには円筒巻きを採用した。また、本変圧器無負荷タップ切換器は、通過電流が大きく、タップ点数が多いこと等を考慮して設計され、次のような特色を有している。

- (a) 可動コンタクトには、点接触コンタクトを多数並列に使った。
- (b) 可動コンタクトの直線駆動にボールねじを使用した。
- (c) プスバーのタプリードの接続を容易にするために、各タップ接点を縦に直線状配置とし、1 相分を一つのユニットとして各相タップコイルの前に取り付けた。

4. 整流器用変圧器

4.1 定 格

表 4.1 に、アルコアおよびアルコミナス社納め整流器用変圧器の定格・仕様を示す。両者とも三相全波結線の組合わせにより、おのの総合整流相数 42, 36 相を得ている。また、いずれも (n-1) 台で全負荷連続運転ができるよう規定されており、この場合の巻線温度上昇限度は、巻線絶縁紙に三菱 HIL 耐熱処理絶縁紙⁽²⁾を使用する条件で、定格負荷時の場合より 15 deg 高い 65 deg となっている。

表 4.1 アルコア社・アルコミナス社納め整流器用変圧器の定格仕様
Specifications of rectifier transformers.

	アルコア社納め	アルコミナス社納め
形 式	三相、全波結線、外鉄形、油入自冷式、窒素封入密閉式	
周 波 数 Hz	50	60
定 格 容 量 kVA	16,600	10,600
交 流 側 電 圧 V	23,000	13,800
直 流 側 電 圧 V	R 271 (相電圧)	R 228 (相電圧)
交 流 側 結 線	#1 Δ+12.86°, #2 Δ-12.86°, #3 Δ+4.29°, #4 Δ-4.29°, #5 入+8.57°, #6 入-8.57°, #7 入	#1 Δ, #2 Δ+10°, #3 Δ-10°, #4 入, #5 入+10°, #6 入-10°
直 流 側 結 線	△	△
過負荷連続容量 %	117	120
特 殊 条 件	—	据付場所 海拔 1,250 m

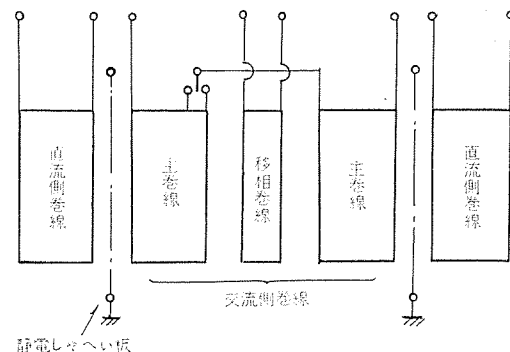


図 4.1 巻線配置
Coil arrangement.

4.2 巻線

当社の大電流整流器用変圧器⁽³⁾には、その特長が有効に生かされる外鉄形 フォームフィット 構造、交互巻線配置を標準的に採用しており、図 4.1 に移相巻線付きの巻線配置の一例を示す。中央部に交流側移相巻線、その両側に同主巻線部として両端部に直流側銅板コイルを並列に配している。容量の小さい移相巻線は、一般に1～2枚コイルで形成されるが、通常の電流密度で設計すると、コイルが薄くなりがちであるので漏れ磁束の小さい、したがって発生機械力がもっとも小さい中央部に配置させている。さらに、交流巻線と直流巻線の巻数比が大きいため、線路から侵入するサージの直流側への静電移行が問題となるので、これを防止する目的と混触防止を兼ねて両巻線間に静電しゃへい板を設けている。

4.2 転流リアクタンス

移相巻線を含めた三相結線の一例およびそのベクトル図を図 4.2、図 4.3 に示す。

移相巻線付き整流器用変圧器の転流リアクタンスは、一般に次式で表わされる。

$$X_1 = X_{as} \cdot n_a^2 + X_{bs} \cdot n_b^2 + X_{s(ab)} \cdot n_a \cdot n_b \dots \dots \dots (4.1)$$

ただし、 X_1 ：交流側よりみた転流リアクタンス(Ω)

X_{as} , X_{bs} , $X_{s(ab)}$ ：それぞれ交流側主巻線-直流巻線間、移相巻線-直流巻線間、主巻線-移相巻線間の漏れリアクタンス(Ω) (ただし、巻数1回当たり換算

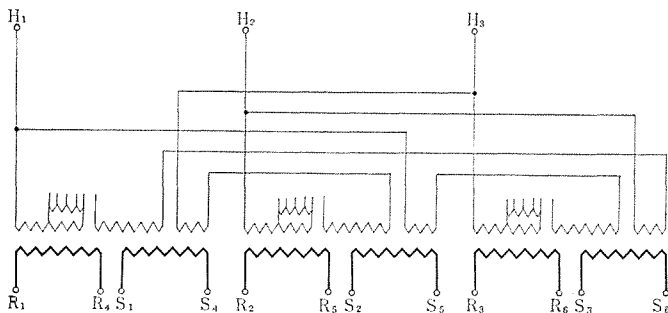


図 4.2 三相結線図 (+12.86° 移相巻線付)
Connection diagram of 3 phase windings.

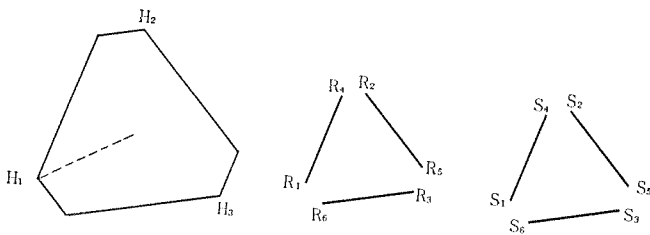


図 4.3 ベクトル図 (12.86° 移相巻線付)
Vector diagram.

表 4.2 実測 % リアクタンス, 抵抗および直流換算電圧降下
(アルコア 社納め)

Measured % reactance, resistance and DC voltage drop.

変圧器 移相角	実測 % IX	実測 % IR	直流換算電圧降下 V
#1 Δ+12.86°	3.72	0.43	14.7
#2 Δ-12.86°	3.81	0.44	15.0
#3 Δ+4.29°	3.81	0.42	14.9
#4 Δ-4.29°	3.80	0.42	14.8
#5 入+8.57°	3.66	0.44	14.5
#6 入-8.57°	3.66	0.44	14.5
#7 入	3.76	0.43	14.8

した値)

$$X_{s(ab)} = \frac{1}{2} (X_{as} + X_{bs} - X_{ab}) \quad (\Omega)$$

n_a , n_b ：それぞれ交流側主巻線、移相巻線の巻数

今回のように多数の変圧器を1台の調整器で一括して電圧調整を行なう場合、各ユニット間の電流アンバランスは主として変圧器のインピーダンス降下により決まるが、各変圧器は移相角、結線が異なるために上式により一般にインピーダンスが一致しないので、これらを許容範囲内に合わせるために各巻線配置の設計には特別の考慮を必要とした。その結果、表 4.2 にアルコア 社納め変圧器の場合の実測 % リアクタンス、抵抗およびそれらによる直流換算電圧降下を示すが、その最大-最小値は直流換算で 0.5 V と十分小さく抑えることができた。

4.4 トリマータップ

前述のとおり、各変圧器間のインピーダンスのアンバランスは十分小さく抑えているが、ほかに、電圧の非常に低い移相巻線を整数巻数で設計しなくてはならないために、直流側電圧に多少の差異は避けられないこと、さらに整流装置や現地での各ユニット直流バスの差異などから生じる電流アンバランスを微調整するために、トリマータップを設けている。このタップの仕様としては、以上の予想されるアンバランスから定格電圧の 0.3～0.35% のタップ間電圧で5点設けることに決定された。しかるに、交流側主巻線の巻数はΔ結線のものでも百数十

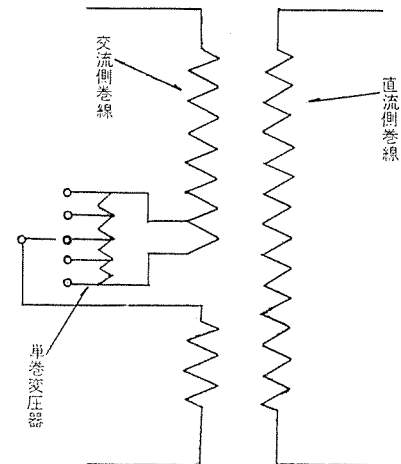


図 4.4 トリマータップによる電圧微調整回路
Trimmer tap's connection.

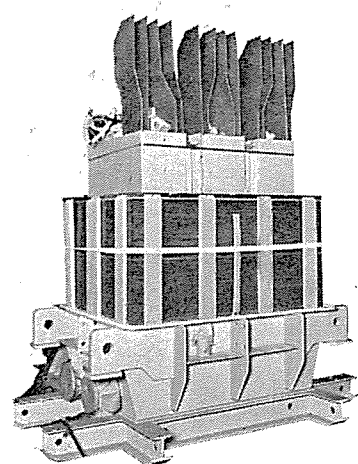
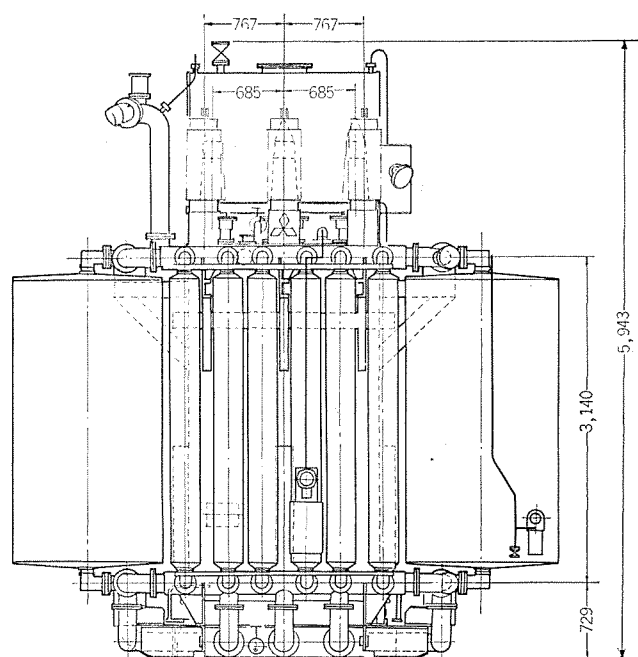


図 4.5 アルコア 社納め変圧器の中身
Core and coils assembly of transformer for ALCOA AUSTRALIA



同であり、直接主巻線にタップを設ける形では上記仕様を満足できないため、別に単巻変圧器を設け、図 4. 4 のような電圧微調整回路を考案した。(実用新案出願中)

これにより交流側 Δ 巻線はその 2 ターンを、入巻線はその 1 ターンを実質上さらに 4 等分したことになり、上記仕様を満足させることができた。なお、このトリマータップ切換えにより、移相角はごくわずかに変化するが、全体の高調波成分に与える影響は無視できる。

4. 4 構造全般

鉄心は冷間圧延けい素鋼帯を使用し、ボルト穴を設ける必要のない外鉄形 フォームフィット 構造の採用と相まって、優秀な磁気特性を得ている。鉄心近傍や直流側端子近傍で漏れ磁束の大きい部分には、非磁性 ステンレス を使用して局部加熱の発生を防止している。図 4. 5 に、下部タンクにフィットした変圧器鉄心、巻線グループの写真を示す。

直流側端子は、整流器キュービクルと特殊ダクトで結合されるために周囲にフランジを設けている。図 4. 6 にアルコア社納め 16,600 kVA の外形図を、図 4. 7 にその外形写真を示す。

5. シリコン整流器

5. 1 定格仕様

シリコン整流器の定格・仕様は、表 5. 1 に示すとおりである。アルコア（オーストラリア）とアルコミナス 向けでは、それぞれ 7 台、6 台の整流器が並列運転されるが、いずれの場合も、定期点検・保守などのために、そのうちの 1 台を数日間停止することがあるので、1 台を停止した場合でも装置全体としての全負荷運転をする必要があり、シリコン整流器としては、事実上はそれぞれ 117%、120% の過負荷にほぼ連続耐えねばならない。もちろんこのような条件下でも、アルミ導帯などの温度上昇は、大きく寿命をそこなわない範囲で、高くなることは許容されている。また、表 5. 1 に示した 1 台当たりの定格は、全出力を台数で均等割りしたものであるから、実際上は、各セット間の負荷分担不平衡を考慮して 5% 程度の過負荷に耐える必要がある。

5. 2 特長

まえがきでも述べたように、今回製作、納入したシリコン整流器は、従来の標準形式と比較して、種々の特長を有している新形式のもの

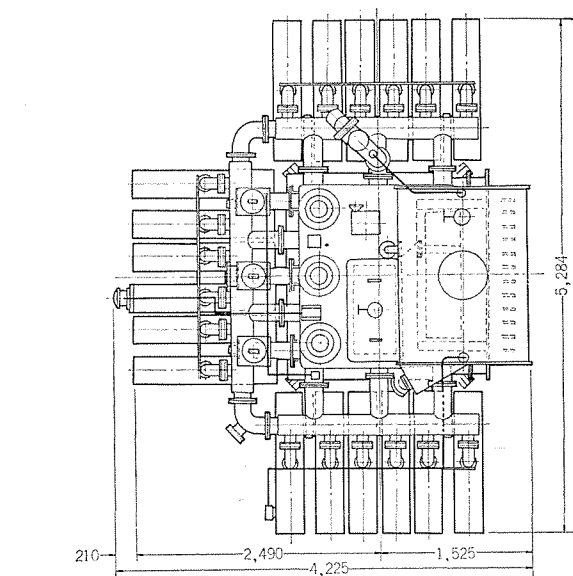


図 4. 6 アルコア社納め 16,600 kVA 変圧器外形図
Outline of 16,600 kVA transformer for ALCOA AUSTRALIA.

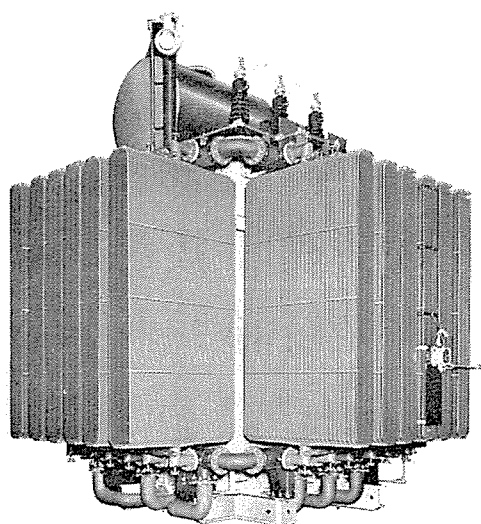


図 4. 7 アルコア社納め 16,600 kVA 変圧器
16,600 kVA transformer for ALCOA AUSTRALIA.

表 5. 1 アルコア社納めシリコン整流器の定格、仕様
Specifications of silicon rectifiers.

		アルコアオーストラリア 納め	アルコミナスブラジル納め
形	式	SF-1 B 22 C 3 X 屋内形、風冷式	SF-1 B 32 C 3 屋内形、風冷式
全出力	容量	100,625 kW	55,860 kW
	電圧	575 V	490 V
	電流	175,000 A	114,000 A
台数		7	6
単機出力	容量(注1)	14,375 kW	【9,310 kW】
	電流	25,000 A	19,000 A
	過負荷(注2)	117% 連続	120% 連続
交流入力		470 V 50 Hz 3 φ open delta	395 V 60 Hz open delta
整流回路		3 相ブリッジ結線 2 回路並列	3 相ブリッジ結線
冷却風量		300 m ³ /min	250 m ³ /min
シリコン整流素子形式		SR 300 B-32	SR 300 A-24
全素子使用数		264 個	192 個

注) 1. 各セット間の電流分担不平衡は別途加味してある

2. 素子温度上昇以外は寿命に大きい影響のない範囲で規定値を超えてもよい

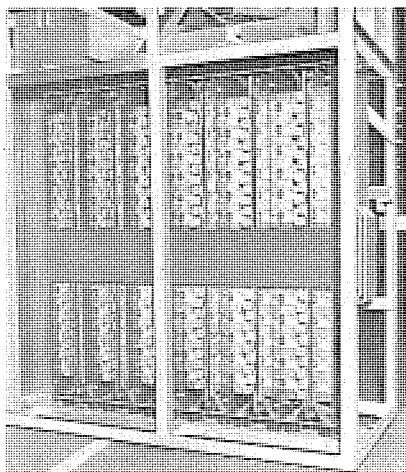


図 5.1 冷却スタック組立時の整流器内部
Heatsink stacks assembled.

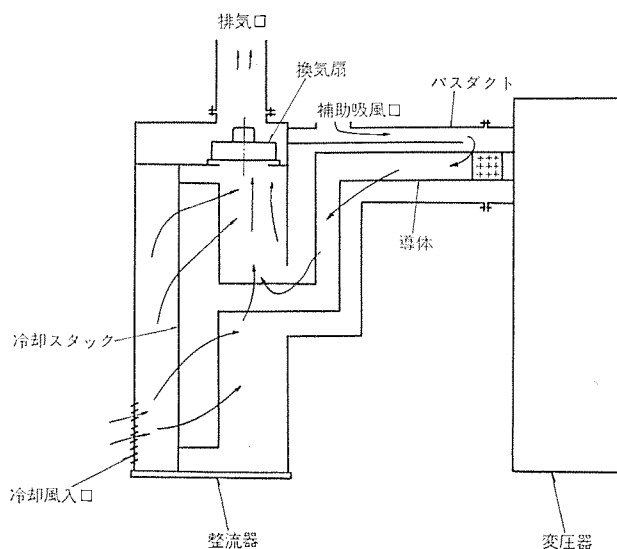


図 5.2 シリコン整流器冷却系統図
Cooling system of silicon rectifier.

である。もちろん、この形式のものも、以後は、当社標準系列の一つとして、その威力を発揮することになる。特長とするところは、以下のとおりである。

(1) 構成材料は、部品および一部の支技金具を除くと、すべてがアルミ材であり、わく組・とびら・カバーなどに至るまで一切塗装をしていない。

(2) シリコン整流器の本尊となる、スタック構成部分・導体配置には、大電流による磁界の影響を極力減小するような往復導体の近接配置、並列回路内の循環電流を防止するための均圧短絡導体ももうけられ、素子間の電流分担、スタック間の電流平衡をはかっているため、電流平衡用のリアクトルなどは、いっさい使用していない。変圧器・整流器間の接続導体による磁界の悪影響を防止するため、導体各相の配列にも考慮が払われている。

(3) アルミ材の接続箇所は、可能なかぎり溶接方式が採用されているので、運転信頼性が非常に高く、作業のばらつきによる性能への影響はほとんどない。冷却片も押し出し型材のアルミ製で、すべてバスバーに直接溶接されているので、作業時間も大幅な短縮となった。溶接不可能部分は、アルコア No. 2 ジョイントコンパウンドを塗付したうえ、バルビルワッシャを用いてボルト締めとした。

(4) 冷却方式は直接風冷式であるが、この方式では、最大の電

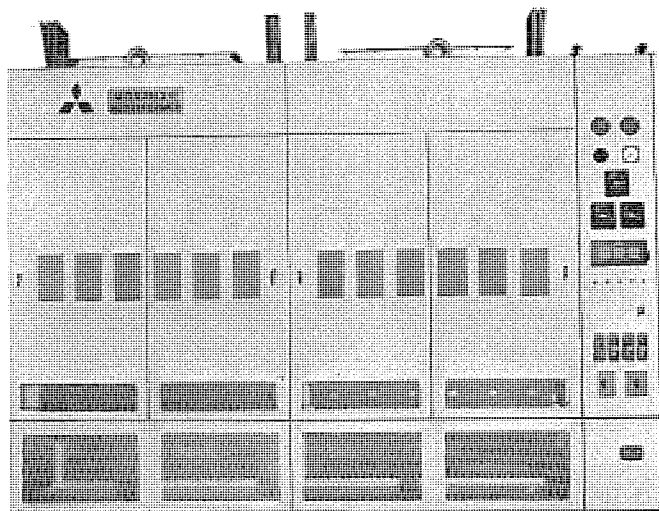


図 5.3 シリコン整流器の外観 575 V 25 kA
Silicon rectifier for ALCOA AUSTRALIA

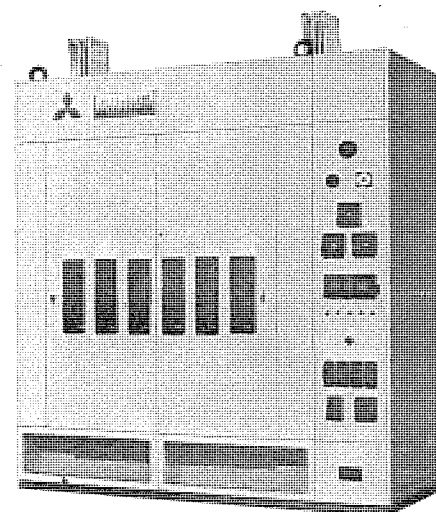


図 5.4 シリコン整流器外観 490 V 19 kA
Silicon rectifier for ALCOMINAS.

流容量 30 kA/キュービクル とするため、各シリコン整流素子をすべて並列風冷し、しかもその風量を極力少なくし、さらにキュービクルの小形化をはかるため、図 5.1 に示されているように、冷却片のひれの部分を交互に組合わせている。(実用新案出願中)

(5) 導体はすべてアルミバスバーを用いたが、このバスバーは確実に風冷されているので、材料が大幅に節減されている。アルミバスバー冷却には、特別な送風機を用いず、図 5.2 に示すような特別の考慮を払って、冷却片通風用の有圧換気扇を共用している。(実用新案出願中) すなわち、図に示したようにシリコン整流器キュービクル上方に補助吸風口を設け、バスダクトを通して冷却風を分流してその目的を達している。

(6) アルミポットラインは、その電源に短絡事故が発生すると、非常に大きい事故へと発展し、ついには電解そうそのものも復旧不可能になることはよく知られているとおりであるので、整流回路各相間および正負極間の絶縁には、とくに細心の注意が払われている。相間絶縁には、ガラスポリエステル板を3枚重ねてバリアにしているほか、空間絶縁距離も最短 100 mm とするとかして、速動ヒューズの溶断時に万一ガスの噴出があった場合にも、事故にならないような配慮がなされている。

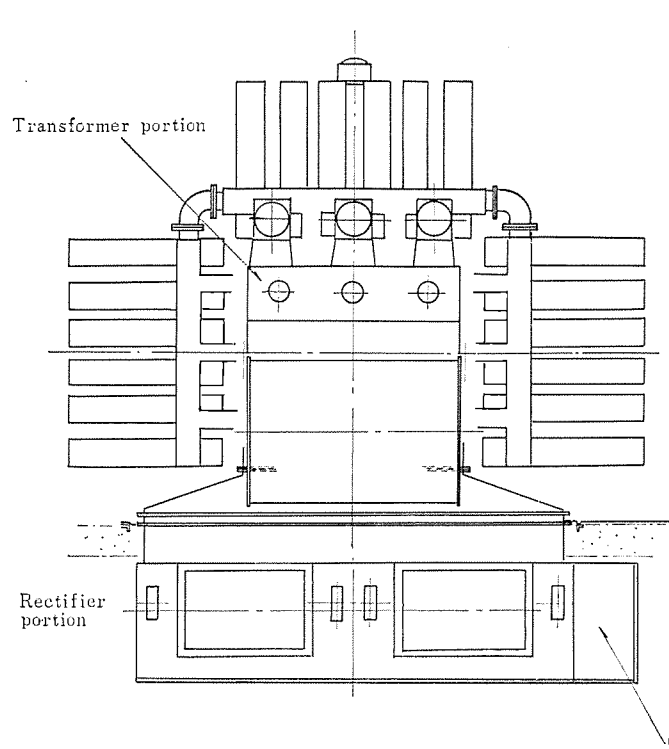
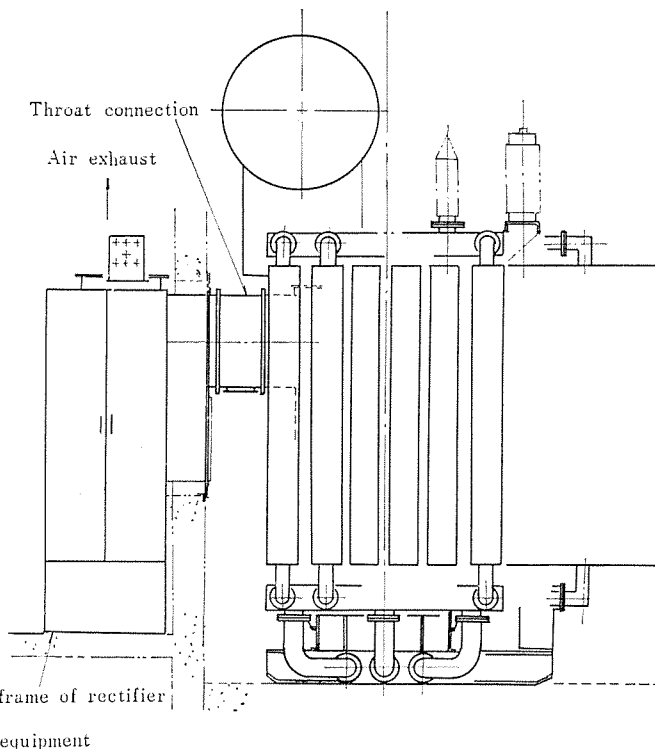
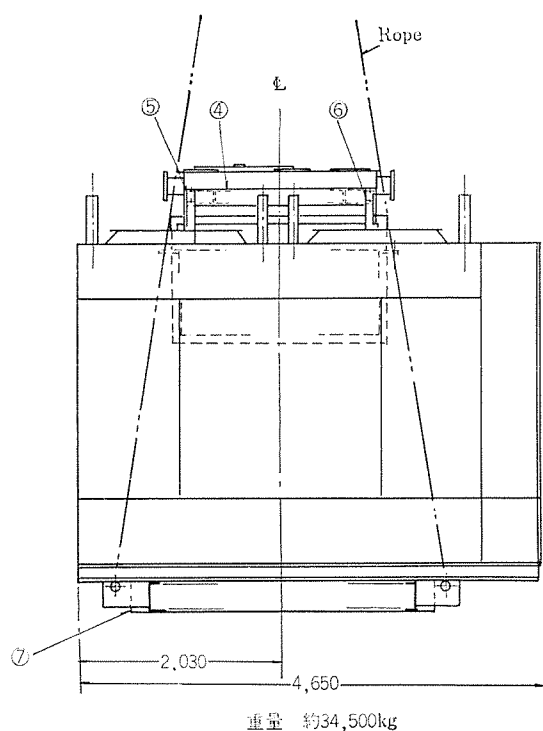


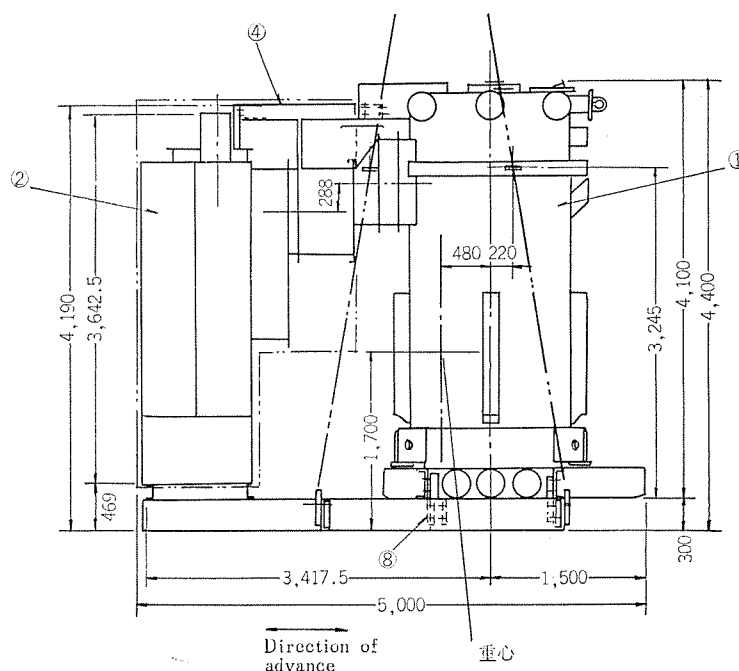
図 5.5 整流器と変圧器の一体化構造



Integral construction of rectifier.



重量 約34,500kg



- | | | |
|------------|----------|----------|
| ①変 圧 器 | ②シリコン整流器 | ④取 付 け 具 |
| ③フリフレーム | ⑤取 付 け 具 | ⑥取 付 け 具 |
| ⑦取 付 け 具 台 | ⑧取 付 け 具 | |

図 5.6 レクチフォーム荷姿

Packaged for transportation.

5.3 構造

シリコン整流器には図 5.3, 図 5.4 に示すように, 変圧器との接続導体およびバスダクトを付属せしめているほか, 保護回路・計器類などを収納する制御盤をその右側に一体化構造として取付けてある。変圧器との一体化構造とするため, 高さの調節をするスタンドフレームを下部に設けてある。図 5.5 にオーストラリア納めの場合の一体化構

造外形を示す。輸送に際しても, 特別の共通ベッドを準備して一体化構造として出荷した。図 5.6 に輸送荷姿を示す。

整流器キュービクルは, 図 5.7 で見ると, 正面側にシリコンダイオードスタックをがい子を通して取付け配してある。スタックの中央部の人間の目の高さのところに速度ヒューズ溶断表示ランプがもうけられている。キュービクル上部には, 有圧換気扇が設置され, 冷却風は正面下

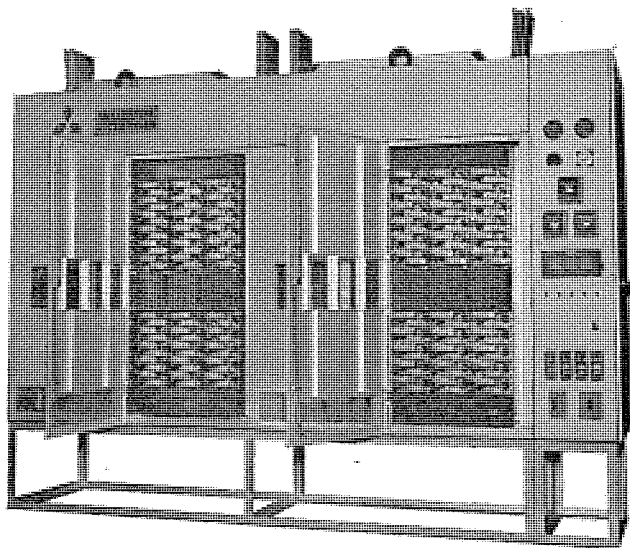


図 5.7 シリコン整流器の内部組立状態
Internal assemblies of silicon rectifier.

部より吸い込み、スタック部分を並列通風してスタック裏面を通り、キュービクル上部へ排風される。キュービクル上部には排風フレンジがもうけられ、電氣的に絶縁したうえ、図 5.2 に示すように整流器室外部へと排風される。

整流器キュービクルは、接地事故検出の目的で絶縁板上に設置、固定するとともに、バスダクトも変圧器フレンジ部分で絶縁してある。バスダクト下部には、変圧器端子部を点検するための点検窓をもうけた。

6. シリコン整流装置の保護と直流計測装置

6.1 保護装置

シリコン整流装置の過負荷保護協調を図 6.1 に示す。1 台分の運転休止を考慮しているため、CT 二次側にパーニア CT を追加して調整しているほかは、とくに新規なものはない。

異常電圧保護としては、変圧器タンクに直接避雷器を取りつけたほか、整流器用の C-R アプラーパ用コンデンサを不燃油入りとしたこと、C-R 回路にヒューズを入れたことなど、アルミ精練電源として、とくに接地、火災事故の防止をはかった。

保護連動は、重故障・軽故障の 2 段階で、重故障の場合はすべて、交流受電側のしゃ断器により一度全装置の運転を停止し、その後、負荷断路器で、がい当する機器ブランチを切りはなしてから運転を再開する方式で、機器の運転信頼性が十分高いことを条件にして設計されたシステムといえる。軽故障は、警報表示のみである。

重故障 (a) 整流装置交流過電流 #51, #50

(b) 変圧器接地 #64 T

(c) 整流器接地 #64 R

(d) 整流器直流過電流 #76

(e) 断風リレー動作 #63 A

(f) Sudden pressure リレー動作 #96

軽故障 (a) 変圧器油温上昇 #26 T

(b) 油面低下 #63 QL

(c) 整流器温度上昇 #26 R

故障表示は、各シリコン整流器ごとに SCAM 社 (U. S. A.) の、集中形アナウンスシートによりおこない、警報を集中監視盤に出している。

6.2 直流計測装置⁽⁴⁾

アルミの生産コストに占めるその電力代の比重が非常に大きいこと

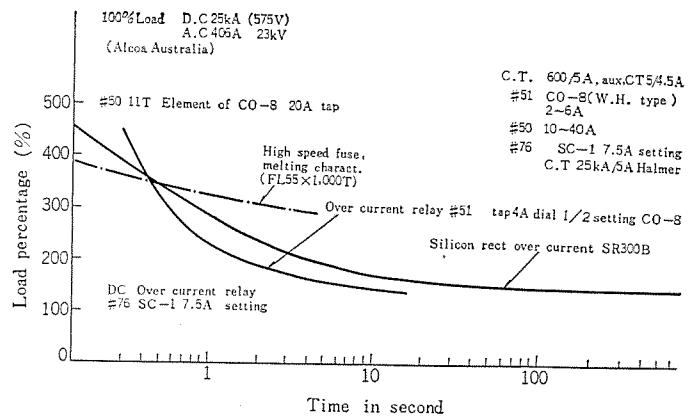


図 6.1 過負荷保護協調曲線
Silicon rectifier overload protection co-ordination.

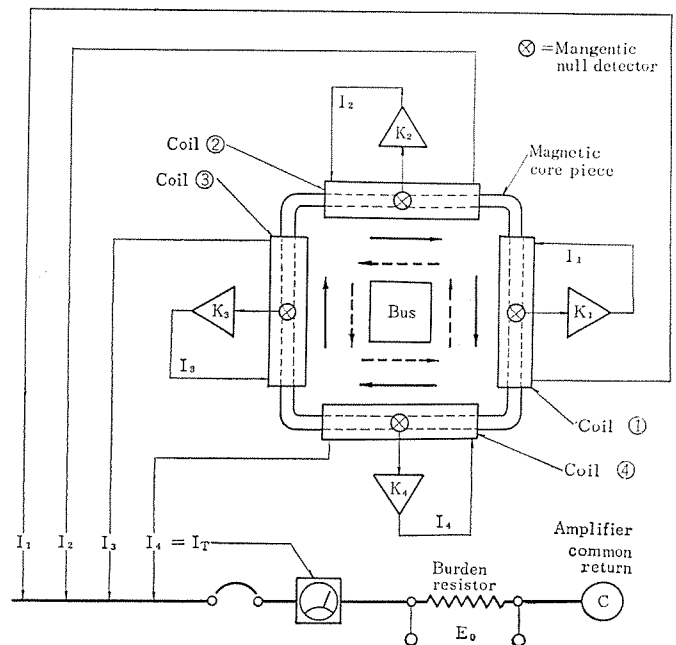


図 6.2 DC メータリングの原理図
Functional diagram of DC metering.

は周知のとおりであり、そのために整流装置の効率、直流計測は、最重要項目である。従来は、このような大電流の計測には DCCT を用いるか、AC 計測で代用するかの方法によっていたが、今回はアルコア社の指定による Halmer 社 (U. S. A.) のホール素子を利用した DC metering system を採用した。図 6.2 にその原理を示すように、その方式では、ホール素子の磁界が常に微少に保たれるため、非常に精度の高い計測ができるだけでなく、鉄心中の磁束が非常に小さいので、寸法上大幅に小形化される特長がある。なおこの system はアメリカでは広く用いられており、アルコア社も標準方式としているものである。

7. 工場試験結果

工場試験はレクチホーマとして変圧器、整流器キュービクル部分が完全に組み合わされた状態で、USASI-C 34, NEMA-RI 6, IEC-146, JEM-1156 の各規格を基準とし、これに工事仕様にもとづく製作基準、さらに製作所製品検査規格を加えた試験項目が消化されたが、いずれも満足すべき好結果が得られた。以下、おもな項目についてその結果を示す。

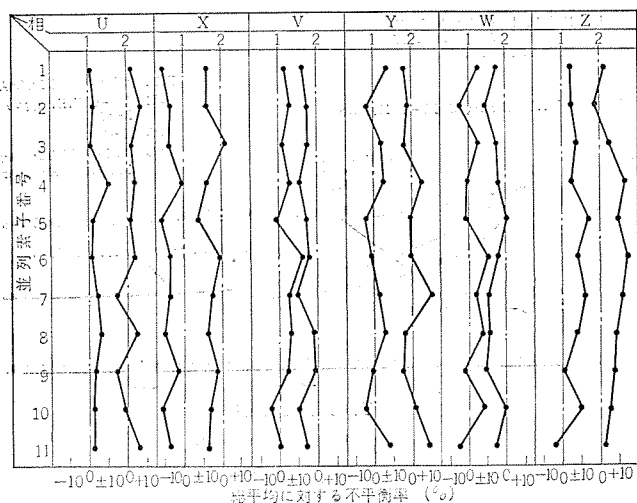


図 7.1 並列素子電流分担
Current share test data.

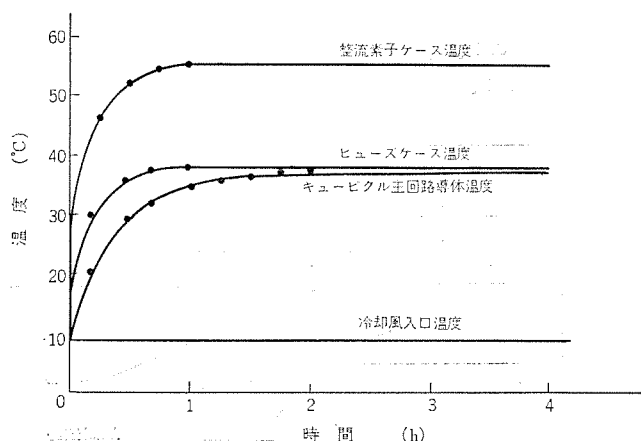


図 7.2 温度上昇試験
Temperature rise test data.

7.1 冷却風分布の測定

並列設置されている整流素子冷却フィン冷却風分布については、96カ所の風速を各フィン冷却風出口位置において実測を行なった。測定の結果は平均冷却風速に対し+2.5, -1 m/sのばらつきにとどまり、均一な冷却が各フィンに対して行なわれていることが立証された。これは温度上昇試験においても再確認されている。

7.2 整流素子の電流分担

図 7.1 に示すように、各素子の電流分担の不均衡については並列位置にある素子はもちろんのこと、各相間の素子全数を含めた総平均値に対してほぼ $\pm 15\%$ の不均衡にとどまり、非常にすぐれた平衡度をもつことがわかった。これは後述のように、現地運転時の測定においても、ほぼ同様の値を得ており、現地における調整作業は全く行なう必要がなく、工期短縮に大いに役立つことができた。

7.3 温度上昇試験

本器の冷却方式は、整流素子にへいこうしてキュービクル内主回路導体も、その冷却風の一部を導入することによって行なわれており、この両者の協調については良好な結果が温度上昇試験によって確認された。すなわち、図 7.2 に現わされている試験結果からもわかるように、整流素子・ヒューズ・主回路導体、いずれも温度上昇値に

ついて問題なく、冷却システムのすぐれている点が評価された。

8. 現地建設工事および運転

レクチフォーム納入先である ALCOA, Point Henry 工場は、Victoria 州, Geelong 市郊外約 8 マイルの岬の突端に位置し、据付工事開始の昭和 44 年 5 月半ばには約 60 マイルはなれた Melborn 港よりの、ほとんどの機材の陸送が完了されていた。

工事は、整流器キュービクル部分のみ屋内のため、建家の窓をとおして変圧器との結合を行なわなければならなかったが、現地据付を簡略にするため、あらかじめ主回路導体結合箇所は、変圧器二次端子部 1 箇所のみとされており、きわめてスムーズに結合作業が行なわれて現地作業者の好評を得た。とくに、本冷却方式によりキュービクル内スペースが広く、据付作業のみならず点検作業の簡単なことは将来の保守作業にも大きなメリットを与えることになると思われる。

関連各工事の完了を待ち、ただちに運転にはいったが、運転後の調整作業はほとんど必要とせず、各整流素子の電流分担状態、負荷試験結果等、ほぼ工場試験と同一の結果を得、またレクチフォーム各ユニット間の平衡も、変圧器トリマタップを選択することにより、十分良好な平衡度を保つことができた。したがって、作業は機器運転後の電流分担および負荷試験の測定にとどまり、約 1 週間の工期で完了し、客先の期待に十分こたえることができた。なお、並列定格運転時におけるレクチフォーム各ユニットの ON, OFF は一次側負荷断路器を遠隔操作機構により、1 アクション 取っ手操作により行なわれた。

9. む す び

シリコン整流器・サイリスタ装置など大電力用半導体整流装置の設計の基本は、すでに固まってはいるが、種々の応用面に対する特殊性から、完全に標準化されるには、まだ幾年かを要するであろう。

特殊性の一例として、今後いっそう進出せねばならない輸出事がある。今回、世界の超一流企業 ALCOA へシリコン整流装置を納入する機会に恵まれたことは、わが社の技術が世界に認められ、しかも価格競争力の点でも十分世界に通用するものであることの証明であるといえる。しかし、反面、設計仕様の打合せなどを通じて ALCOA の電気技術者から数えられるところが種々あった点など、合理的な物事の判断、処置をさらに推進して行かねば、欧米の同業者との競争をいっそう有利にすることはむずかしいのではなからうか。

最後に、今回の工事を無事完了するにあたり、関係各位の惜しみなきご協力、ご指導に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) R. V. Wachter : A User Looks at the Semiconductor Converter, IEEE, Oct., (1966)
- (2) 白井ほか : 変圧器用耐熱処理紙の実用性能試験, 三菱電機技報 38, 769 (昭 39)
- (3) 小林, 鶴田 : 電気化学用大電流レクチフォーム, 三菱電気技報 39, 662 (昭 40)
- (4) Instruction manual DYN/AMP, Halmer Electronics Co.

鹿島電解(株)納め 103.5 MW, 450 kA サイリスタレクチフォーマ

小林 凱*・大沢 喜信*・田中 潤次郎*・佐藤 辰夫*・児玉 俊英*

103.5 MW 450 kA Thyristor Rectifier for
Kashima Chlorine & Alkali CompanyItami Works Gai KOBAYASHI・Yoshinobu ÔSAWA・Junjiro TANAKA
Tatsuo SATÔ・Toshihide KODAMA

A rectifier, being rated at 103.5 MW, 230 V and 450 kA and delivered to the Kashima Chlorine & Alkali Company, is a record product unprecedented in the world in the capacity of the plant and also of a single unit.

A flat packaged thyristor rated at 500 A for large electric power and oil feeder stacks bound en bloc using noninflammable oil of low viscosity fully exhibit their features and prove their excellent performance.

Reported in this article are constitutional apparatus of the plant, the construction of the thyristor rectifier and the transformers, the control system and the operating characteristics.

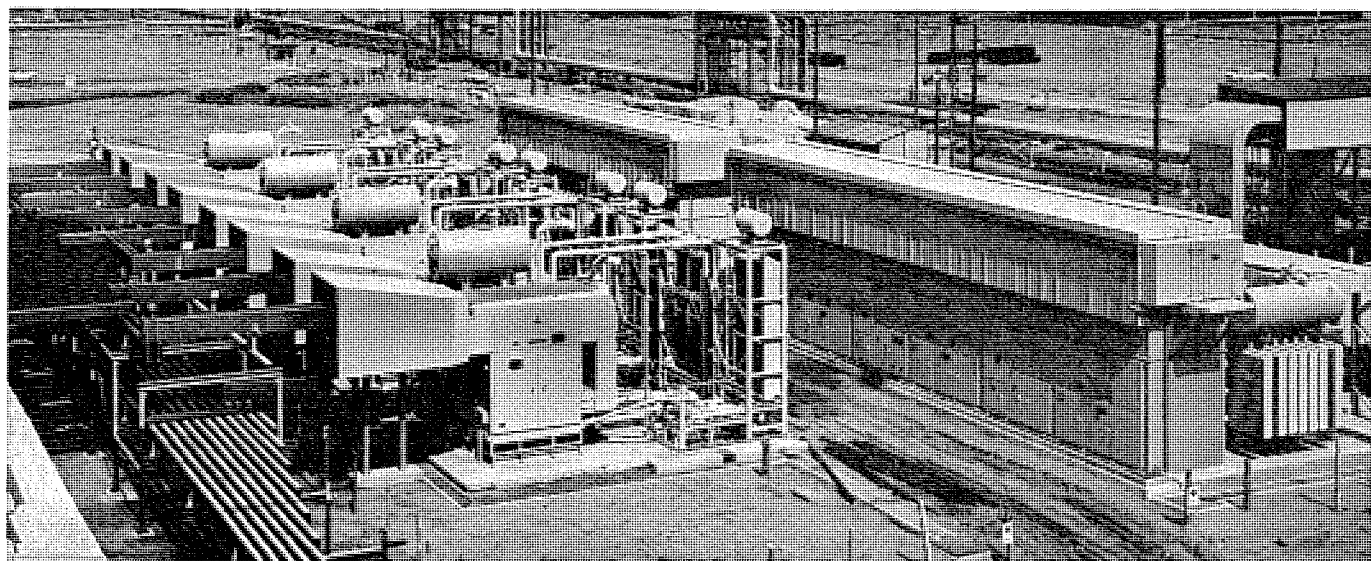


図 1.1 103.5 MW 450 kA サイリスタレクチフォーマ 設備
103.5 MW 450 kA Thyristor rectifier plant.

1. ま え が き

近年における電解プラントの大容量化のうちでもソーダ電解の超大電流設備の進歩はとくにいちじるしい。1968年にわが国最初の200 kA装置2組を納入したが、1969年～70年の当社の実績は300 kA以上の設備5件を含むに至った。いずれもレクチフォーマ形整流装置でDe Nora電解そう(槽)と組合わされるものである。なかでも、鹿島電解450 kA設備は世界最大の容量を有している。

一方、数年前より電動機制御などに進出したサイリスタは大方の予想をくつがえし、技術的、経済的にも困難を指摘されていた大電流電解用途にも相次いで採用されるに至った。当社が1968年にし(斯)界にさきがけて完成した大電流平形サイリスタレクチフォーマは、他に類のない高性能を示しているが、この基盤のうえに製作された450 kAサイリスタ装置は容量、電流すべての面で世界記録を有するとともに他形式の1/2近い小形化が達成された。同時に、計画過程における使用者側との入念な検討も特記されるものである。今後、大電流電

解設備を計画される際の参考に、この大容量サイリスタ装置の技術面を以下に報告する。

2. サイリスタ整流器の進歩

2.1 歴史的経過

サイリスタが静止レオナード装置を中心に直流電動機駆動用として製鉄をはじめ、各種工業界に本格的に実用化された1967年前後から電気化学用にサイリスタ整流器を使用し、その位相制御による電圧調整機能を利用して、従来ダイオード方式で必要としていた負荷時タップ切変変圧器、および電圧調整リアクトルを不要とする試みが各社で検討され、すでに多数の製作例をみるに至った。これらはダイオード方式で、すでにすぐれた特性が実証されている。整流器と変圧器の一体化構造方式が採用されているが、サイリスタ整流器の構造、冷却、制御方式等は大幅に異なっている。当初、サイリスタは300 A級のスタッド形を使用したのも見受けられたが、使用素子数低減による信頼性の向上、経済性等の観点から必然的に大容量平形素子が主流とな

るに至った。

当社は1968年に世界最初の大容量平形サイリスタを使用した画期的な油冷式サイリスタ整流器を開発し、その第1号器2,800 kW 140 V 20 kA を小名浜製錬に納入するとともに、引き続き多数の装置を納入した。これには新しい低粘度不燃性絶縁油（出願中）の開発、サイリスタ整流器の主体をなす保守点検が容易で、冷却能力のすぐれた液冷式大容量平形サイリスタスタックの開発など、多くのすぐれた技術が取り入れられている。これらの優秀な特性は今回の鹿島電解向け450 kA の超大容量装置として結実するところとなった。

表 2.1 サイリスタレクチフォーマ 納入実績表
Supply record of thyristor rectifiers.

納入先	用途	台数	定格			冷却方式	製作年度	備考
			出力 kW	電圧 V	電流 A			
小名浜製錬(株)	銅電解	1	2,800	140	20,000	送油水冷	1968	世界最初の油冷平形サイリスタ使用
三菱金銅(直島)	銅電解	1	3,750	150	25,000	送油水冷	1969	平形サイリスタ使用
某社	—	2	5,400	700	8,000	送油風冷	1969	平形サイリスタ使用
鹿島電解	塩水電解	1	103,500	230	450,000	送油風冷	1970	世界最大容量平形サイリスタ使用
旭硝子(関西)	塩水電解	1	4,500	150	30,000	送油水冷	1970	平形サイリスタ使用

2.2 素子特性の進歩と主回路構成

大容量平形素子の出現は、当社特許の特殊な導体配置および電流平衡リアクトルの使用とあいまって、使用素子数を従来のスタッド形と比較して半減した。さらに、油冷式大容量平形サイリスタスタック（出願中）の完成はサイリスタ整流器をいちじるしくコンパクトにし、他で50 kA のキュービクルに6 m×1.3 m×4 mを要していたものを、60 kA で2.5 m×1.2 m×3.3 mとその寸法を激減させることに成功した。

サイリスタの特性、とくに臨界 dv/dt , di/dt は、サイリスタ整流回路の主回路構成およびサージアブソーバ回路の設計に密接な関係を有している。臨界 dv/dt , di/dt の小さな素子が使用された従来のサイリスタ整流器においては、サージアブソーバ回路に特殊な回路構成の採用が必要であった。表 2.2 に示すように、当社サイリスタの臨界 dv/dt ,

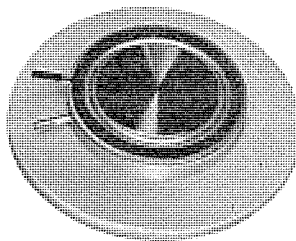


図 2.1 FT-500 形大電力平形サイリスタ
Large power flat packaged thyristor type FT-500.

表 2.2 FT-500 形平形サイリスタ特性表
Characteristics of flat packaged thyristor type FT-500.

最大定格

項目	記号	単位	FT 500 C -8 -10 -12 -16 -20 -24 -28							FT 500 A -32 -36 -40 -50			
せん頭逆電圧	V_{RRM}	V	400	500	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,500
過渡せん頭逆電圧	V_{RSM}	V	480	600	720	960	1,200	1,350	1,550	1,700	1,900	2,100	2,500
せん頭順阻止電圧	V_{DRM}	V	400	500	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,500
過渡せん頭順阻止電圧	V_{DSM}	V	480	600	720	960	1,200	1,350	1,550	1,700	1,900	2,100	2,500
実効順電流	$I_T(RMS)$	A	780								630		
平均順電流	$I_T(AV)$	A	500	(商用周波, 単相半波 180 度通電, 抵抗負荷, $T_f=77^\circ\text{C}$)							400	(商用周波 単相半波 180 度通電 抵抗負荷 $T_f=69^\circ\text{C}$)	
サージ電流	I_{TSM}	A	10,000	(商用周波, 単相半波, 1 サイクル波高値, 非繰り返し)							7,000	(商用周波 単相半波 1 サイクル波高値, 非繰り返し)	
電流二乗時間積	I^2t	A ² s	4.2×10 ⁵	(60 Hz 半波 1 サイクル)							200×10 ³	(60 Hz 半波 1 サイクル)	
せん頭ゲート入力	P_{GM}	W	16								16		
平均ゲート入力	$P_G(AV)$	W	3								3		
せん頭ゲート順電圧	V_{FGM}	V	10								10		
せん頭ゲート逆電圧	V_{RGM}	V	5								5		
せん頭ゲート順電流	I_{FGM}	A	4								4		
臨界順電流上昇率	di/dt	A/ μs	200	(VD=1/2 V_{DRM} , $T_f=25^\circ\text{C}$, ハイゲートドライブ)							200	(定格順阻止電圧の 1/2 を印加, ハイゲートドライブ, 接合部温度 25°C)	
動作接合部温度	T_j	$^\circ\text{C}$	-40~+125								-40~125		
保存温度	T_{stg}	$^\circ\text{C}$	-40~+150								-40~150		
圧接力		kg	1,500	(推奨値 1,200)							1,500	(推奨値 1,200)	
重量		g	195								230		

動作特性 (最大値)

項目	記号	単位	FT 500 C-8~28	FT 500 A-32~50 (2 SF 932~939)
せん頭逆電流	I_{RRM}	mA	30 (V_{RRM} にて, $T_f=125^\circ\text{C}$)	30 (単相半波平均値)
せん頭順漏れ電流	I_{DRM}	mA	30 (V_{DRM} にて, $T_f=125^\circ\text{C}$)	30 (単相半波平均値)
せん頭順電圧降下	V_{TM}	V	1.75 ($I_{TM}=1,500$ A, $T_f=125^\circ\text{C}$, 瞬時測定)	2.2 (順電流 1,250 A, 接合部温度 125°C 瞬時測定)
ゲートトリガ電圧	V_{GT}	V	4.0 ($T_f=25^\circ\text{C}$)	4.0 (接合部温度 25°C)
ゲート非トリガ電圧	V_{GD}	V	0.2 ($V_D=1/2 V_{DRM}$, $T_f=125^\circ\text{C}$)	0.2 (定格順阻止電圧の 1/2 を印加, 接合部温度 125°C)
ゲートトリガ電流	I_{GT}	mA	350 ($T_f=25^\circ\text{C}$)	350 (接合部温度 25°C)
臨界順阻止電圧上昇率	dv/dt	V/ μs	200 ($V_D=1/2 V_{DRM}$, 指数関数波形, $T_f=125^\circ\text{C}$)	200 (指数関数波形, 定格順阻止電圧の 1/2 を印加, 接合部温度 125°C)
熱抵抗	θ_{tf}	$^\circ\text{C}/\text{W}$	0.05 (接合部—フィン間, 定常値)	0.06 (接合部—フィン間 定常値)※

di/dt はそれぞれ 200 V/ μ s, 200 A/ μ s ときわめて大きく、他で必要としているは複雑な回路を使用する必要はない。

さらに、4,000 V にいたる素子の量産化は上記特性の優秀なこととあいまって、直流電圧 600~700 V 以上の用途にも標準素子 1 個の二重星形結線での製作が可能になった。

2.3 制御回路

サイリスタ整流器において制御回路の故障は装置の運転停止を意味し、その信頼性はきわめて重要である。その意味から信頼性の高い部品の使用、回路設計を行なうことはもちろん、万一の故障に対しては故障個所の発見が容易で短時間で復旧の可能な構造とすることが肝要である。さらに、制御電源の正常な変動に対しては十分な点弧能力を有し、異常な低下あるいは瞬時停電に対してもサイリスタを破損することのないように配慮されなければならない。

当社の制御装置はすぐれた回路設計と部品の完全なソリッドステート化、適切なカードユニットの採用等これらの点にも十分な考慮が払われているが、さらに過電流に対してゲートシャ断回路、制御電源の異常低下に対し低下期間中のみゲートシャ断を行なって制御電源回復後自動的に正常運転に復帰する異常点弧防止回路(出願中)等多くのすぐれた回路を含み、よりいっそう信頼性の高い装置となっている。

制御回路は低電力レベルの電子回路で構成されているが、主回路、補助動力回路等の電力回路が混在するため、ノイズ防止には十分な考慮がなされなければならない。当社の制御回路には適切なフィルタの採用と、電力回路との分離配線、シールド線の採用、補助動力配線のツイスト等の耐ノイズ配線 3 原則が適用され、ノイズに対しても強い回路となっている。

電気化学用特有の腐食性ガスに対しても密封キュービクルの採用、金めっきコネクタの採用、冗長度を持たせるなど信頼性の高い構造となっている。

3. 回路と機器構成

3.1 整流プラントの定格仕様

本設備に対して呈示された定格条件はつぎに示される。

交流入力	三相 50 Hz 66(+3, -6)kV
直流出力	103.5 MW 230 V 450 kA
電圧範囲	DC 230 V~0 V (起動運転範囲含む)
運転条件	全負荷連続 ただし 200 V, 450 kA 付近の運転諸特性も確保するほか、電源条件による 150 V, 200kA~120 V, 300 kA 付近の連続運転 特性も考慮する。プラントの力率は 92 %以上とする。
設置条件	全機器屋外、66 kV 機器はキュービクル収納、変圧器・整流器は一体構造方式

動力設備 15 MVA プラント動力および低圧配電系統

その他電解工場の運転に必要な電源、制御装置一式を含む。

受電系統は鹿島北共発と連系する 2 回線である。

3.2 回路と機器の選択

本方式選択の根本には、ダイオードとサイリスタの比較が長時間と多くの考慮を含めて検討された。結論として、電源と電そう側ともに電算機制御が導入されたことに対応して高速制御能力があることと、大電流サイリスタ技術の進歩によりこの装置の実現をみた。

つぎに整流器台数は単位容量の増大によるトリップ時の影響と、とくに 2 回線別受電時の高調波が慎重な検討を要した。これは 6 台—36 相構成では半構成でも 3 台—18 相群となり容易な解決となる。しかし、全プラントの経済性と連系解列時の運転条件も勘案して 4 台—24 相方式とした。この結果、単器容量も 26 MW, 130 kA 近くの世界最大のサイリスタ装置となった。これはいわゆるタンデム構成ではなく、この電流は単一変圧器回路よりえられている。

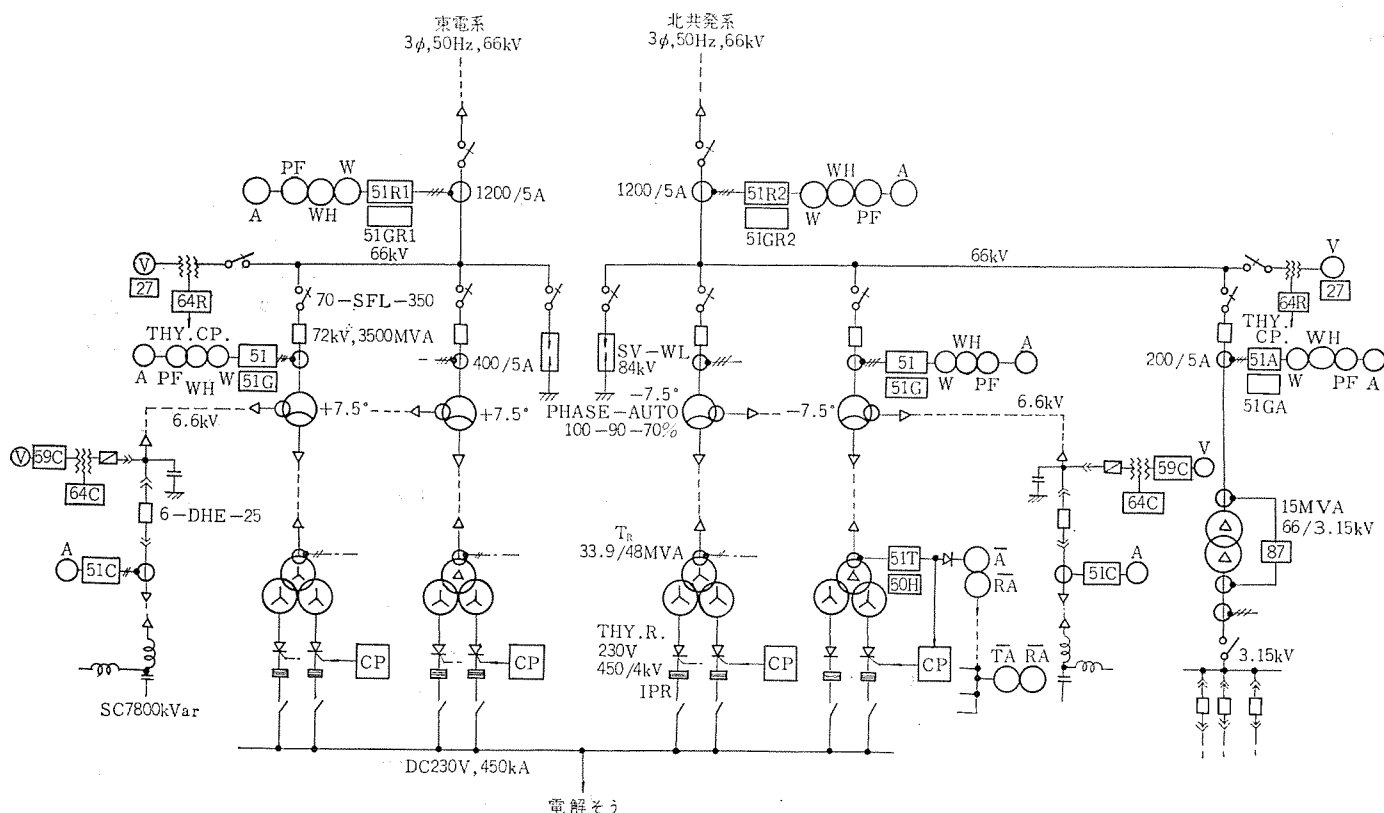


図 3.1 サイリスタレクチフォーマプラント単線結線図
Single line diagram of thyristor rectifier plant.

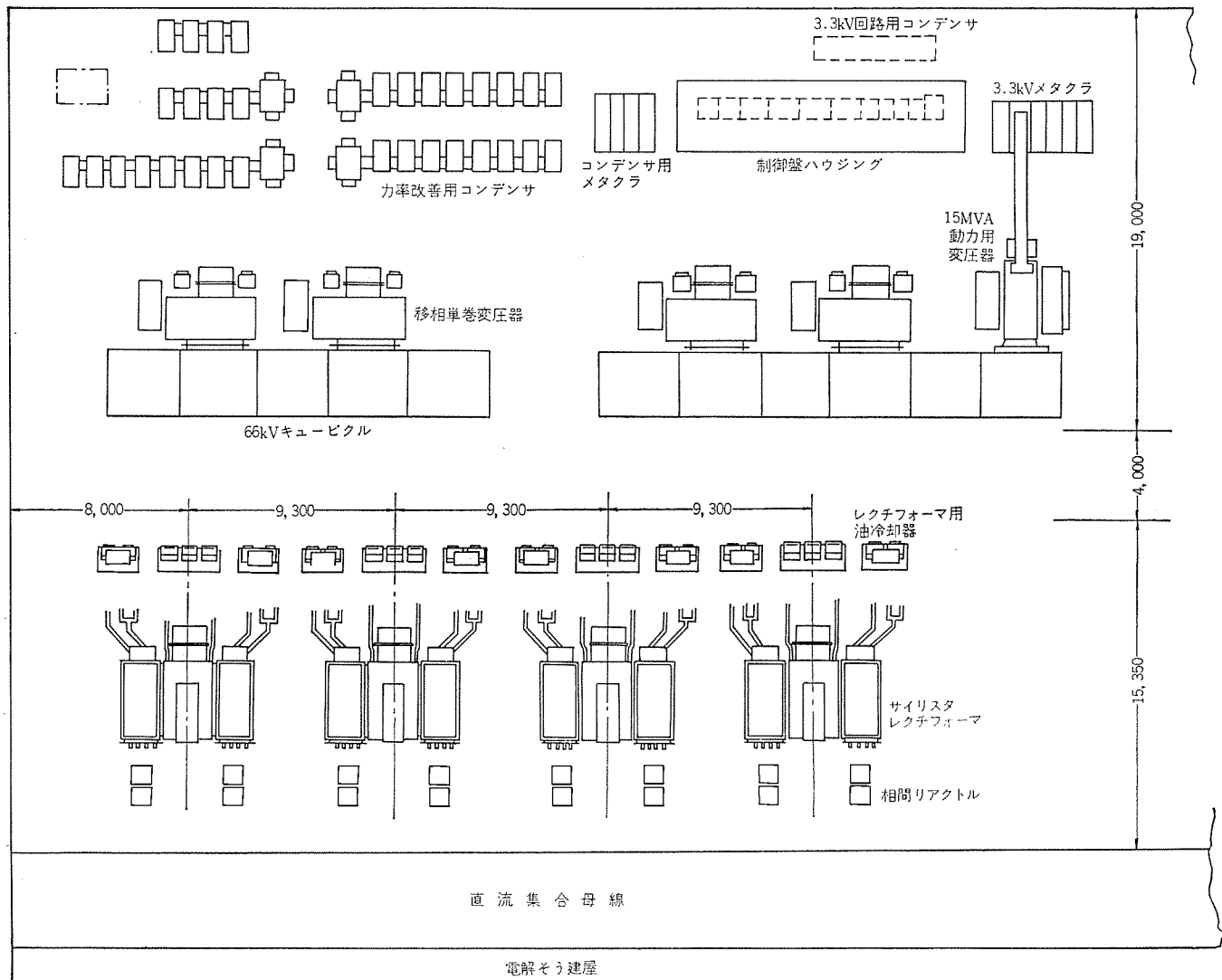


図 3.2 整流装置配置図 Arrangement of rectifier equipment.

Flywheel なしのサイリスタ整流回路の直流出力電圧は次式の関係で制御される。(記号は JEC-178 による)

$$E_d \approx \sqrt{2} E_s \cdot \frac{p}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \cdot \cos \alpha - \frac{p I_p X}{2\pi} - \frac{W}{I_d}$$

$$= E_{d0} \cos \alpha - e_x - e_r \dots \dots \dots (3.1)$$

すなわち、位相制御角 α により任意の電圧がえられるが、一方装置の力率も直接影響を受け、

$$P_f \approx 1 - \frac{E_x}{E_{d0}} - (1 - \cos \alpha) = \cos \alpha - \frac{e_x}{E_{d0}} \dots \dots \dots (3.2)$$

により低電圧領域の力率も低下する。また、直流波形に含まれるリップルの増加も電解そうにとり重要な問題である。この解決のために装置の一次側に単巻変圧器を設け、運転条件を考慮して 100-90-70 % のタップを設けた。この切換はそう電流を切らずに順次行なうことができる。

プラント一次電圧は皆 66 kV の直接変電で、力率改善は単巻変圧器二次 6.6 kV にコンデンサを入れている。このようにして構成された主回路は図 3. 1 である。

3.3 構成機器

本プラントの主要機器の諸元、様式をつぎに示す。

- (1) サイリスタレクチフォーム 4 組

- 屋外用送油風冷式, 25.9 MW 230 V 112.5 kA
CQB 形 サイリスタ 整流器 $\times 2$, 二重星形結線
SUB 形 整流器用変圧器 33.9/48 MVA
60.5 kV/DC 230 V 相当
CUB 形 移相巻線付単巻変圧器 線路容量 33.9 MVA
三次 7.8 MVA 6.6 kV
AV-L 形直流 プス 貫通形相間 リアクトル および開閉 プス
(2) 66 kV 受電 キュービクル 1 式
屋外単一母線形, 所要特高機器内蔵
70-SFL-350 形 ガスシャ断器 5 台使用
(3) サイリスタ 制御装置 1 式
中央制御室設置
特高受電盤, 動力盤, 直流計測盤, 操作 デスク 盤
現場屋外 キュービクル 設置
整流器操作盤, 定電流制御盤, 補機電源盤
直流制御電源設備
アルカリ 蓄電池 96 V-100 AH および充電装置
(4) 力率改善用 コンデンサ 設備
6 kV 屋外 メタクラ, 60 HE 25 磁気シャ断器 4 面
7,800 kVA, 6.6 kV コンデンサバンク 4 組

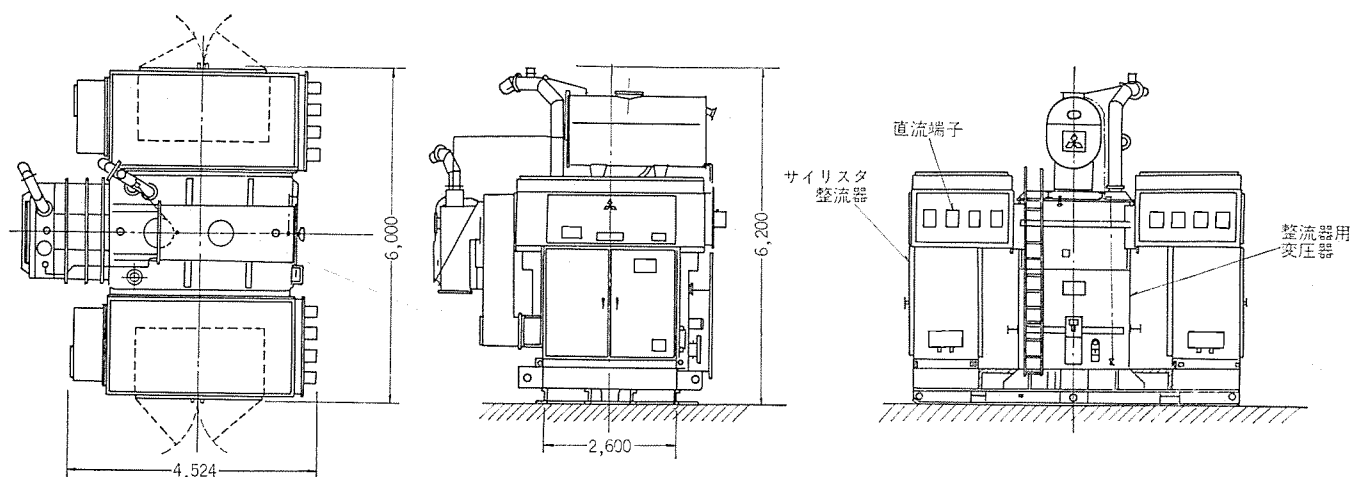


図 4.1 サイリスタレクチフォーマ外形図

Outline of thyristor rectifier.

(5) プラント 動力設備

CR 形変圧器 15 MVA 66/3.15 kV

なお、変圧器二次以降の動力配電設備詳細は省略する。

4. サイリスタ整流器

4.1 仕様

前述のように、全装置は4ユニットのサイリスタレクチフォーマから構成されている。レクチフォーマ1台あたりの出力は 25,875 kW, 112.5 kA と他に類をみない大容量である。

サイリスタレクチフォーマの整流器部分の仕様はつぎのとおりである。

整流器形名	CQB-1 W 32 C 5
直流出力	25,875 kW/2, 100 %連続
直流電圧	230 V
直流電流	112,500 A/2
整流回路	相間リアクトル付き二重星形六相結線
使用素子	大電力平形サイリスタ FT-500 C
冷却方式	送油風再冷
冷却液	低粘度不燃油 (SK-2)

1台のレクチフォーマは、整流器用変圧器の両側に整流器キュービクルを取り付ける形で、完全組立輸送を行なった。整流器1面は1群の整流回路から構成され、56,250 Aの電流定格を有しており、以下に述べるような数々の新方式、特長を備えている。

4.2 整流器の構造

据付設置スペースの制限、変圧器のサイズとの協調から整流器キュービクルの小形化は不可欠の条件であった。整流器キュービクルと変圧器との間に保守スペースを設けて両面保守形とすることにより、56 kAの電流容量にもかかわらず整流器キュービクルの実床面積は2,500W×1,200Dと20~30 kA級の整流器と何らかわらないコンパクトな形にすることができた。しかも、素子取り付け部分の高さ範囲は約1,800で保守も容易にできる構造である。

ここに使用された平形サイリスタ FT-500 C-26 は表 2.1 に示される。素子の冷却、締付けにはすでに多数の実績を有する、一括締め付け形油冷スタックが用いられている。すでに標準系列として整備されている8素子形スタックを用いることにより締め付け機構は素子数の1/8となり、装置の小形化の大きな要素となった。整流器の各アームはこの8素子形スタック4個から構成されている。各相導体電流は実効値 16,200 A、ピーク値 28,000 A を越えるが、当社特許の磁界消去配置とすることにより大電流による磁界の影響を完全に防止し

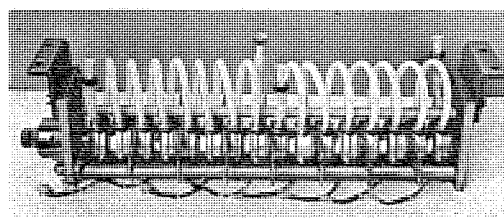


図 4.2 8 素子形油冷スタック
Eight element oil cooled stack.

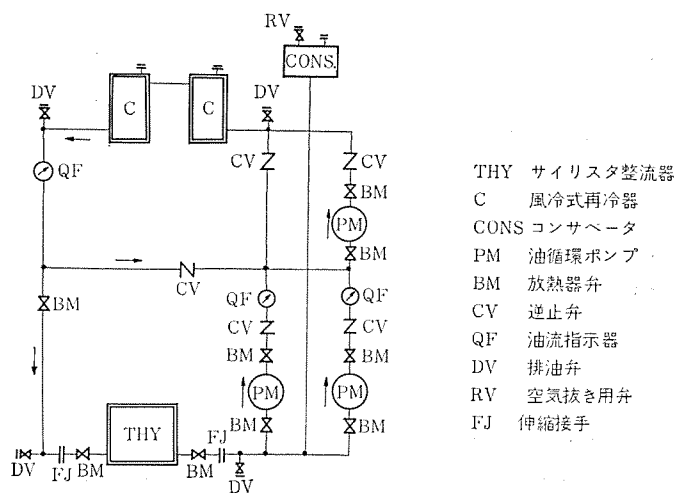


図 4.3 サイリスタ冷却系統
Cooling system of thyristor rectifier.

ている。

素子のアノード側導体とカソード側導体は1mあたり0.58 μHのインダクタンスを有しているが、これらを近接配置、磁界消去配置することによりみかけ上のインダクタンスを0.071 μHに低下させた。こうして、素子電流分担の改善をはかったことも設計時に考慮した重要な点である。これらの導体はすべて通油冷却され、スタックへの油供給配管をも兼ねてキュービクル内の冷却配管系統を簡素化している。導体は電氣的接続と油通路の接続の完全を期してすべて溶接により組立てられている。

異常電圧吸収装置は素子の臨界 dv/dt , di/dt が大きいので、各アームに直接 C-R アブソーバを接続するだけの簡単なもので十分に素子の過電圧を保護している。

4.3 冷却系統

整流器部分の冷却液は低粘度不燃油 SK-2 を用いており、変圧器冷却油とは別系統を構成している。風冷式再冷却器は腐食性ふん

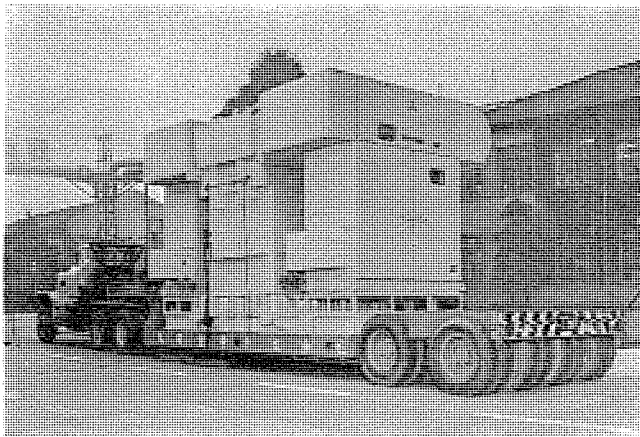


図 4.4 鹿島電解向け サイリスタレクチフォーマの輸送
Transportation of thyristor rectifier for Kashima.

気の化学工場で運転実績を豊富にもった U-フィン 管冷却器を用いた。これは変圧器部分の再冷却器と同形式のものである。

再冷却器、循環油 ポンプ、コンサバータ はまとめて別置され、変圧器冷却器と並べて設置されている。整流器 キュービクル 内の油系統は小流量で高揚程を要求するのに対して、冷却器は低揚程だが大流量を必要とする。このため高揚程、大流量の ポンプが必要となるが、これでは ポンプの容量が大きくなって不経済である。これを避けるために、整流器部分と再冷却器部分とにそれぞれ高揚程小油量の ポンプと大流量低揚程の ポンプ を別個に設けて、両者の流量差を補う バイパス配管を設けた新方式を採用した (出願中)。これにより再冷却器、ポンプは経済的に選ぶことができ、整流器および再冷却器はともに最適動作点で運転することができた。

整流器部分の油循環 ポンプ はそれぞれ常設予備を設けて、ポンプが故障した場合には自動的に予備機に切換えられる。補助冷却器は キュービクル 側面に取り付けられて、キュービクル 内部の空気の冷却と循環を行なっている。

5. 変圧器ならびに高圧機器

5.1 整流器用変圧器

5.1.1 定格仕様

3/2×3 相, 50 Hz, 外鉄形, 送油風冷式, 連続定格, 変形二重星形結線

交流側 △ (2 台), 人 (2 台), 33.9 MVA, 60.5 kV

直流側 人々, 48.0 MVA, 246 V

本変圧器は直流側巻線電流が 32.5 kA と今までの最高記録品であるため、とくにこの大電流巻線配置に重点をおいて設計が進められた。

5.1.2 構造とその特長

当社では整流器用変圧器、炉用変圧器など大電流変圧器には、その特長が有効に生かされる銅板コイルを用いた外鉄形 フォームフィット 構造を標準的に採用している。そのおもな特長を列挙すると次のとおりである。

(a) 大電流外鉄形銅板コイルは図 5.1 に示すようなきわめて簡単な構造のもので、口出し部分は往復導体を非常に近接して一体で製作するために、本質的に Flux cancel type でかつ低損失コイルといえる。また、引出部は上部の相方向に一直線上に並ぶために接続部分は短くなり、整流器との接続も簡単である。

(b) 同心形巻線配置の場合には、内側に巻く交流巻線の絶縁層

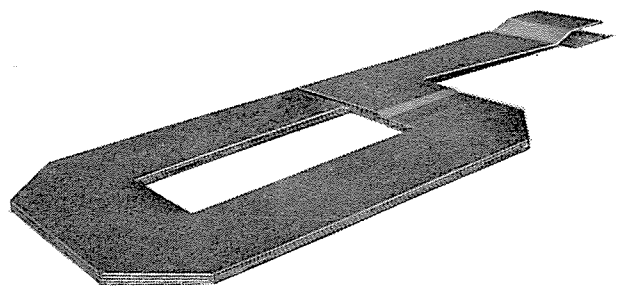


図 5.1 大電流銅板コイル
High current copper plate winding.

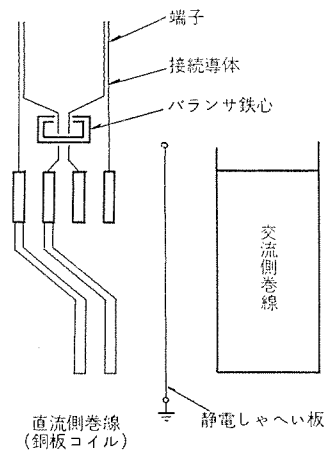


図 5.2 特殊並列巻線配置
Special arrangement of parallel winding.

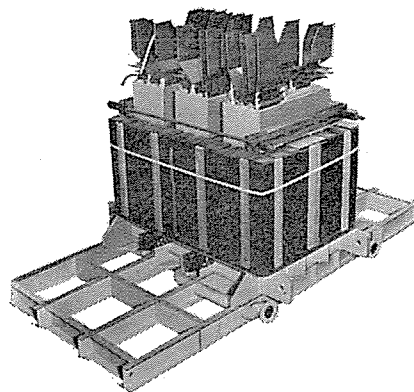


図 5.3 33.9/48.0 MVA 整流器用変圧器の中身構造
Internal construction of 33.9/48.0 MVA rectifier transformer.

級が高くなるにつれて外側の直流側大電流コイルが大きくなるが、外鉄形交互巻線配置ではこのようなことがほとんどなく、とくに直流側巻線の銅損失が大きい二重星形結線変圧器ではこの効果が有効に生かされる。

(c) 外鉄形 フォームフィット 構造は非常にコンパクトに仕上がり、かつ鉄心にはまったく締め付け用ボルト穴をもうける必要がないために方向性けい素鋼帯の優秀な特性をそこなうことはない。したがって、低鉄損、低励磁電流、鉄心構造として十分その特長を発揮する。

(d) 外鉄形変圧器は本来 3 方向への設計自由度が大きく、これはレクチフォーマのような変圧器・整流器一体構造方式の場合、両者の寸法協調をとりやすいという点でとくに有効となる。

以上の特長に加えて、今回のものでは直流側電流値が従来のものに比較して非常に大きいことから新しく図 5.2 に示すような バランス鉄心を含む特殊並列巻線配置を考案し (出願中)、採用した。これは同図からもわかるとおり、外鉄形交互巻線配置の特長を最大限

に活用したもので、バランス鉄心を貫通する二つの導体も本来非常に近接して取り出されるものであり、かつバランス鉄心をでた導体とそれぞれの相手の導体との並列接続も非常にスムーズにできる。

バランス鉄心の仕様は並列に接続する二つの巻線と交流巻線との間のインピーダンスの差に対応して決定されるが、今回の場合1回路あたりのバランス鉄心の断面積は 22.5 cm^2 とごく小さく、これをそう入したことによる導体の増加分は往復で 300 mm 以下に押えることができ、上記新巻線配置の採用により従来形式と比較して変圧器全体として約 15 % の重量減を達成することができた。電流のバランス状態はロスキ-コイルを用いて実測されたが、測定誤差内でほとんどバランスしていることが確認された。

5. 1. 3 冷却方式その他

冷却はサイリスタ装置を含めた総合的検討結果よりサイリスタ装置と変圧器の油回路を分離し、前述のようにサイリスタ装置には冷却性能のとくに高い SK-2 を、油量の多い変圧器には廉価な普通鉱油を使用し、両者はそれぞれ独自の最適設計となっている。

冷却器は配置上の検討から別置式とし、かつ現地の腐食性ふん囲気を考慮して一般用のものに比べてとくに耐食性を高めたものを採用している。

その他、交流端子にはエレファント式を採用して耐塩害性についても十分考慮した。電流、容量的に記録品であるにもかかわらず、さきに述べた新しい並列巻線配置の採用などにより、従来からの当社標準である整流装置との一体構造、一体輸送を実現し、現地での作業工程を大幅に短縮することができた。

5. 2 移相巻線付単巻変圧器

5. 2. 1 定格仕様

三相、50 Hz、内鉄形、送油風冷式、連続定格

入力側 人、30, 18 MVA, 66 kV

出力側 人、33, 9 MVA, R 60.5—54.45—42.35 kV
(負荷力率変動 50~90 %)

三次側 △, 7.8 MVA, 6.6 kV (コンデンサ 負荷専用)

角変位 7.5° 進み 2台, 7.5° 遅れ 2台

この単巻変圧器は後段の整流器用変圧器と組合わせて平衡 24 相整流を得るとともに、低電圧負荷時の高調波増加、力率低下を防止

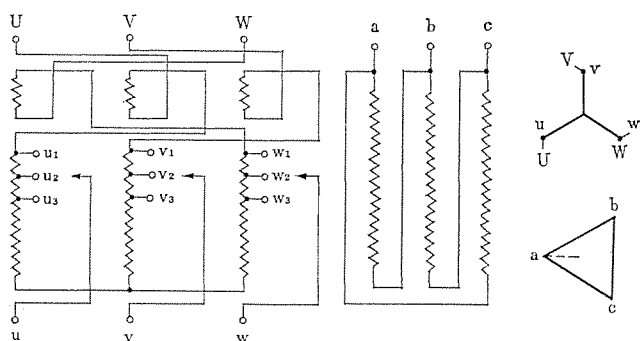


図 5. 4 移相巻線付き単巻変圧器の結線
Connection of phase shift auto-transformer.

表 5. 1 出力側負荷力率変動による巻線電流の変化
Variation of winding current due to change of load power factor.

出力側電圧 kV	直列巻線電流 A	分路巻線電流 A
60.5	240~274	113~117
54.45	211~245	137~133
42.35	159~189	188~178

するために出力側に無電圧切換 タップ が設けられている。さらに力率を改善するためのコンデンサ 接続用に三次巻線を有している。

5. 2. 2 特長

本変圧器は図 5. 4 に示すように、移相巻線 1 個、タップ 巻線 (使用タップによって直列巻線にも分路巻線にもなる) 2 個、分路巻線 1 個、三次巻線 1 個の計 5 種類の巻線を有している。これらのうち三次巻線以外の 4 巻線を通る電流は、使用タップ、入力側電圧変動、出力側負荷力率変動によって大幅に変化する。たとえば 7.5° 進み、入力電圧 66 kV、コンデンサ 負荷 7.8 MVA のときの直列巻線および分路巻線の電流は、出力側負荷力率によって表 5. 1 に示すように変化する。さらに、分路巻線を通る電流は、無効電流の方向がちがうために、7.5° 進みの変圧器と 7.5° 遅れの変圧器とでも値がちがってくる。

このように電流が変化するにもかかわらず、どのタップでも上記のような運転条件で連続運転可能にするための考慮がはらわれており、すべての運転条件に対して直列巻線、分路巻線の電流の大きさを求め、それらのうちの最大値と誘起電圧との積で各巻線の容量が決められている。このようにして求めた巻線容量をもった 4 種類の巻線と三次巻線との配置にくふうを凝らし、損失の減少を図るとともに磁氣的にも十分バランスのとれた内部構造になっている。

外部構造としては耐塩害仕様を考慮し、入力側は 66 kV 特高キュービクル、出力側、三次側はケーブル直結形でそれぞれ整流器用変圧器、コンデンサバンクへ接続されている。

5. 3 特高機器

特高機器はすべて屋外防じん、防食耐塩害構造の 66 kV 特高キュービクルに収納されている。66 kV シャ断器は 72 kV、シャ断容量は 3,500 MVA の定格をもつ 70-SFL-350 形ガス シャ断器が採用された。これらシャ断器については別に本誌にも発表されているので、それを参照されたい。

6. 制 御 系 統

6. 1 プラントの運転方式

本サイリスタ整流プラントは基本的には定電流制御が行なわれるが、電力供給源である「北鹿島共同発電」(以下「北共発」と略称する)

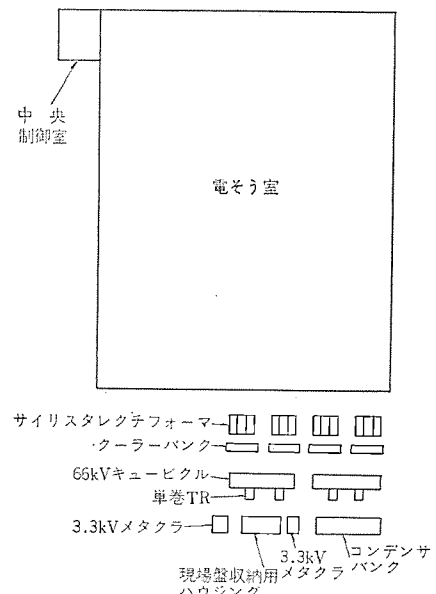


図 6. 1 プラントの概略配置
Layout of the plant.

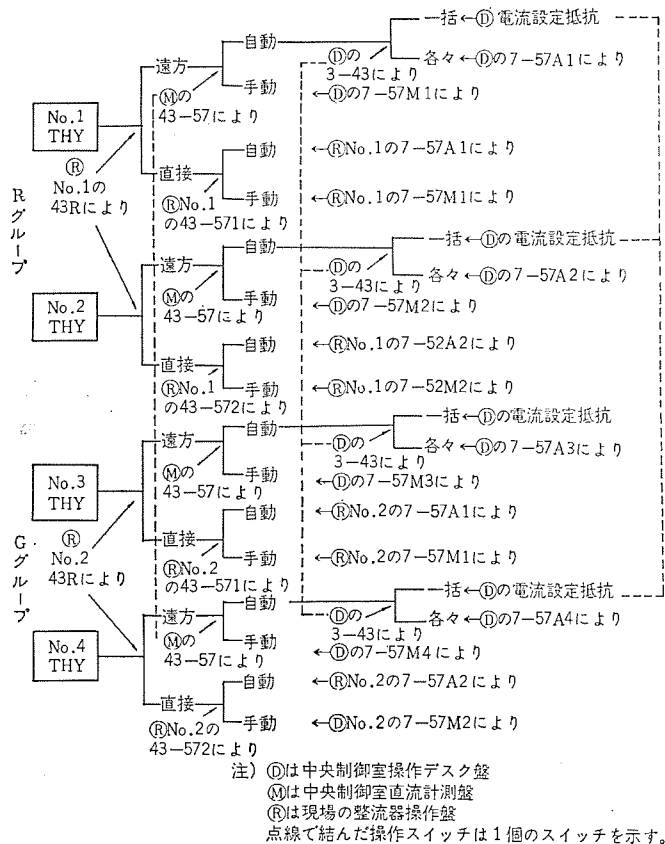


図 6.2 電流制御の操作位置切換および制御方法のブロック図
Block diagram of plant control system.

からの電子計算機指令による急速な負荷制限制御、鹿島電解に設置される電子計算機により将来実施される塩素需要に対応する電流制御など高度の制御が可能となっている。

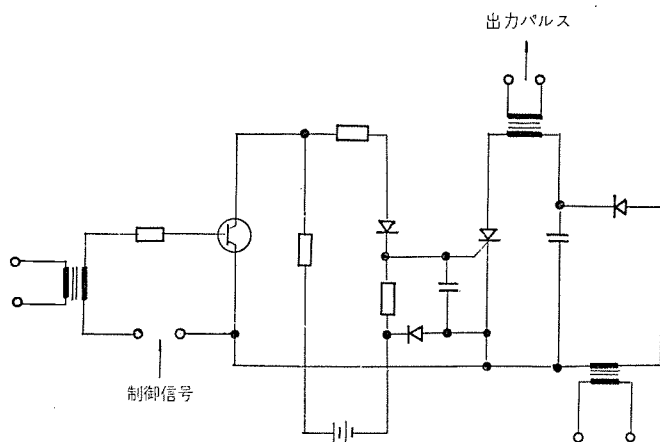
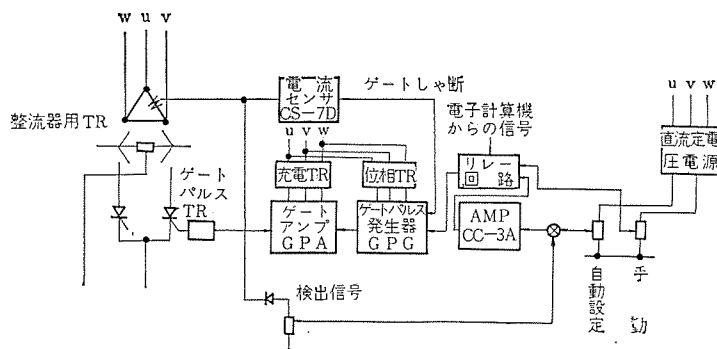
本プラントの受電は図 3.1 に示すように、「北共発」から直接 66 kV 2 回線で行なわれるが、「北共発」には 125 MW, 95 MW の発電機各 1 台が設置され、東京電力からの買電 50 MW と並列運転が行なわれている。本プラントの全入力力は約 120 MW と超大容量で、「北共発」の供給電力の約 1/2 を消費することから「北共発」の系統異常に対しては、真っ先に負荷制御の対象とならざるをえない。

本プラントの概略配置図を図 6.1 に示す。通常の運転操作は中央制御室設置のデスク盤から行なわれるが、サイリスタ整流装置と中央制御室の距離が長くて、制御線の増加に対する経済性、ノイズ防止、保守点検等の観点からサイリスタ整流装置に近接して定電流制御盤、整流器操作盤、補機電源盤を屋外用ハウジングに収納して設置した。本サイリスタ整流プラントはこの現場設置の整流器操作盤と中央デスク盤のいずれからも自動、手動両方式の運転が可能である。とくに、中央デスク盤からの自動定電流設定は、サイリスタ整流器 4 ユニットおのの一括設定の両方式が可能となっている。このブロックダイヤグラムを図 6.2 に示す。

サイリスタ整流器運転状態の信号は常に電子計算機に供給されており、負荷制限は同一受電線に接続された 2 ユニットとも自動運転時のみ行なわれる。「北共発」の電子計算機からは、プラントの運転容量に対して 10 段階の負荷制限信号が送られてくるが、この信号に対応して直流電流設定電圧を変化させて負荷制限を行なっている。

6.2 定電流制御回路の構成

本装置に使用している制御回路の基本的なブロックダイヤグラムを図 6.3 に示す。図 6.3 において直流出力電流は電流検出回路で比例



した電圧に変換され、一方基準設定回路から必要な電圧が設定される。この両電圧は増幅器で比較され、その差電圧が増幅されてゲートパルス発生器に供給される。

ゲートパルス発生器は入力電圧が負で大きくなるとパルス位相が進むように構成されている。このパルスはゲートパルス増幅器で増幅され、ゲートパルストランスを通してサイリスタの各ゲート端子に供給される。さらに、この回路には前述したゲートシャ断回路、制御電源異常に対するサイリスタの不整点弧防止回路が含まれている。

6.3 定電流制御回路要素と構造

本装置に使用している回路要素は、すべてブロック化されプリント基板に取り付けられているが、さらにその主要要素はプラグインタイプのカードユニットに構成され、保守点検がきわめて容易な構造となっている。防食対策、耐ノイズ対策にも十分な考慮が払われているが、前述したのでここでは省略する。以下に、主要制御回路について紹介する。

(1) 増幅器

増幅器は開回路直流利得 85 dB 以上のシリコントランジスタ増幅器と補償要素、調整要素から構成され、演算増幅器と補償要素はプリント基板に、調整要素は前面板に取り付けられて 1 個のカードユニットを構成している。この増幅器の補償要素、調整要素はすべての電気化学用サイリスタ整流器に使用できるように、その原因および伝達関数が調整可能であり、カードユニットは標準化されている。

(2) ゲートパルス発生回路

サイリスタのゲートパルス発生回路には、UJT を使用する回路、磁気増幅器を使用する回路等多数の方式が使用されているが、当社では電源電圧が自動的に補償される、応答速度が早い、移相特性の直線

性が得られる等多くの特長を有する電圧コンパレータ形ゲートパルス発生回路を使用している。その基本回路を図 6. 4 に示す。

ここで発生されたパルスはパルス増幅器、パルストランスを通してサイリスタに供給されるが、この増幅器にもサイリスタによるコンデンサの放電回路が使用され、サイリスタに与えられるゲートパルスは $1\mu\text{s}$ の立上りを示す Higher Gate Drive 方式である。

7. 動作特性

7. 1 温度試験

温度試験は各レクチフォームごとに 112.5 kA の定格電流を通電して、各部温度を熱電対により測定した。

電 流	56.25 kA (1 キュービクル 当たり)
周囲温度	11°C
油温度 (整流器出口)	38°C
油温度 (整流器入口)	31°C
26 H	37.5°C
キュービクル 内風平均温度	31°C
26 C	28.5°C

冷却油の温度上昇は整流器出口で 27°C であり、設計値の 30°C に対して満足すべきものである。温度計 26 H は油冷導体に取り付けられており、油温度を常時監視して設定値を越えれば警報を発する。キュービクル内循環風の温度は 31°C で、これも設計値に対して余裕あるものである。温度計 26 C は風温度を監視する。

油冷スタック冷却片の温度は、熱電対を取り付けた銅の薄板を冷却片と素子間にそう入して直接測定した。

油温度	47°C
アノード側	65°C
カソード側	66°C
冷却片温度 (校正值)	60.5°C

冷却片温度校正值は、そう入した熱電対取り付け板の熱抵抗による温度上昇分を差し引いた値で、実際の冷却片の温度を与えるものである。

上記の場合、接合部温度 T_j は電流アンバランスを考慮した最大の素子損失を考えて、

$$T_j = T_0 + (60.5 - 47) + 0.05 (^{\circ}\text{C}/\text{W}) \times 520 (\text{W}) = T_0 + 39.5^{\circ}\text{C}$$

となる。 T_0 は油温度を示す。油温度最高 $T_0 = 70^{\circ}\text{C}$ のときでも $T_j = 109.5^{\circ}\text{C}$ となり、素子の許容接合部温度 125°C に対して十分余裕を持っていることが確認できた。

その他、整流器各部導体、わく組各部について温度測定を行なったが、油冷導体の採用、磁界消去方式の効果は顕著で、いずれも問題のない温度を示した。

7. 2 電気的特性

当社のサイリスタレクチフォームの実績ではほとんどの場合、電流平衡

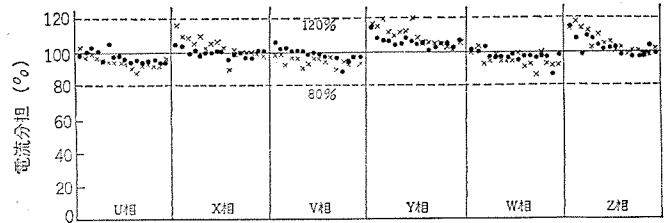


図 7. 1 サイリスタ素子電流分担
Current sharing among thyristors.

率は $\pm 15\%$ 以内にはいることが確認されてきた。今回は従来のものの 2 倍の容量であるにもかかわらず、各相内 $\pm 15\%$ 、相間の不平衡を入れて $\pm 20\%$ 以内に問題なくおさまることが確認された。各素子電流は、握電流計による直読により測定した。図 7. 1 に電流分担の測定結果を示す。

レクチフォームの効率 次のとおりである。(4 台合計)

整流器損失	1,027.60 kW
整流器用変圧器損失	1,209.80 kW
補機その他損失	110.64 kW
合 計	2,348.04 kW

レクチフォーム 総合効率 $= 103,500 / (103,500 + 2,348.04) = 97.78\%$

さらに、今回とくに設けられた単巻変圧器を含めた総合効率においても 96.71% と従来にみられない高い効率を得られた。

順電流上昇率、順電圧上昇率について測定した結果は $di/dt = 75\text{ A}/\mu\text{s}$ 以下、 $dv/dt = 150\text{ V}/\mu\text{s}$ 以下で、これらも素子の臨界 $di/dt = 200\text{ A}/\mu\text{s}$ 、臨界 $dv/dt = 200\text{ V}/\mu\text{s}$ に対し何ら問題のないことが確認された。

8. む す び

このようにして製作、建設された 450 kA サイリスタレクチフォームはわが国最新鋭の電解工場で、そのすぐれた性能を発揮するに至った。ここで計画段階よりふりかえてみると、世界でも例のない大容量設備故に多くの新しい技術を適用しなければならない問題を含んでいたが、それを順次解決して完成したことに、電力を通じてわが国の化学工業に貢献し得た喜びを感じる。これは少数の本文執筆者だけではなく、営業・工作・据付各部門を通して三菱電機の力の結集であった。また、同時に終始ご指導いただいた鹿島電解の増田取締役・八田次長・池島技師ほか各位に深く感謝の意を表したい。あわせて、この大容量サイリスタ装置の完成を通して得られた技術が、今後電解工業の各分野で活用されることをねがっている。

参 考 文 献

- (1) 富永、田辺、佐藤：三菱電機技報 43, No. 10, 1,383(昭 44)

鹿島北共同発電(株)向け 1号 111,765 kVA 2号 147,059 kVA タービン発電機

甲斐 高*・大石 紀夫*・浜田 一義*・天笠 信正*

111,765 kVA and 147,059 kVA turbine generators for Kashima-Kita Kyodo Electric Power Co.

Kobe Works Takashi KAI・Norio OISHI・Kazuyoshi HAMADA・Nobumasa AMAGASA

Recently industrial thermal power plants have grown to an enormous capacity and with this trend the numbers of hydrogen cooled turbine generators used in this region have considerably increased. This paper gives the description on the constitution and characteristics of a radial-vent cooled rotor newly adapted to the generator No.2 of the Kashima-kita Kyodo Electric Co's plant as the main topic of the statement. And the construction of hydrogen cooled generators in general and the outlines of hydrogen control apparatus and brushless exciters are explained also. The radial-vent cooled rotor is proved to have an excellent cooling effect with the temperature rise being one third of the conventional hydrogen cooled one at the same current density. The radial-vent system employed by Mitsubishi needs no vent hole at the bottom of the slot insulation to introduce the cooling gas, which might cause the weakness of slot insulation.

1. ま え が き

近年、わが国の経済の急速な発展に伴って、産業用火力発電設備も大容量化の傾向が著しい。特に最近では、発電機の単機容量が大きくなり空気冷却の範囲を越えたこと、ならびに水素冷却のほうが空気冷却より効率がよいことなどが認識されたため、水素冷却発電

機が産業用に利用される例が多くなっている。

産業用タービン発電機は、その工場またはコンビナートに対して重大な役割をにない運転上の最重要機器であるので、安定した高い信頼性が必要とされる。当社では、昭和28年に最初の66,250 kVA水素冷却機を製作して以来、20台以上の水素冷却機と40台以上の内部冷却機を電力会社向けに製作納入しており、産業用水素冷却タービン発電機の製作にあたっても、これらの経験を生かして信頼性の高いことを第一の目標としている。

本文では、このような産業用水素冷却発電機の一例として、このたび鹿島北共同発電(株)向けに製作納入した2台の発電機について概要を紹介する。1号機111,765 kVAは、従来当社で製作した普通水素冷却の最大容量95,909 kVAをしのぎ、この方式の記録品であり、2号機147,059 kVAはラジアルベント回転子冷却方式を採用した最初の機械である。ラジアルベント冷却回転子は、200,000 kVA程度までの発電機を対象として新たに開発したもので、今回の2号機で優秀な結果を収めた。

なお自家発ならびに共同自家発のユーザの中には、水素冷却になじみが薄く、水素関係の保守に懸念を持たれる向きもあるようだが、水素制御装置はほとんど自動化されており、日常運転に要する保守の手数はわずかである。また、水素ガスは可燃性であるため取り扱いには若干の注意を必要とするが、水素制御装置には二重、三重の保安装置を設けているので、その安全性は空気冷却の場合と変わらず、当社の発電機で水素ガスに関係した事故例は皆無である。

一方、当社では、ブラシレス励磁方式を多数のタービン発電機に標準的に適用しており、今回の1号機、2号機でもブラシレスが採用された。ブラシレスは、従来発電機の保守の中で大きなウェイトを占めていたブラシの取換え、整流子の削正などの作業を不要とするすぐれた方式で、省力化を要求される産業用タービン発電機に対しては、特に最適であると考ええる。

本文では、これらの水素制御装置およびブラシレス励磁方式の最近の進歩についてもかなり詳細な説明を加え、発電設備を計画されるかたがたのご参考に供したい。

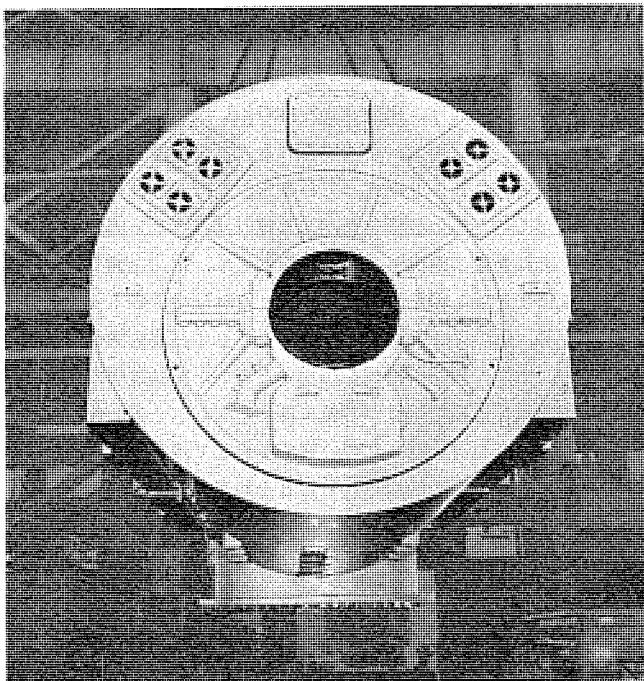


図 1.1 1号発電機 111,765 kVA 固定子
Stator of 111,765 kVA turbine generator

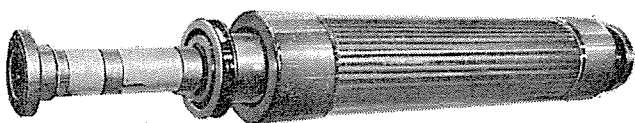


図 1.2 1号発電機 111,765 kVA 回転子
Rotor of 111,765 kVA turbine generator.

2. 発 電 機

2.1 産業用タービン発電機の冷却方式

タービン発電機のコイルその他の発熱部の冷却には、一般に空気、水素、水（純水）が用いられ、冷却方式は間接冷却と直接冷却に分けられる。表 2.1 に、当社タービン発電機の標準冷却方式の一般的な適用基準を示す。

40,000 kVA 程度以下の発電機は空気冷却であるが、容量が大きくなるにつれて、コイルに発生する熱を空気で冷却して絶縁に接する導体の温度上昇を許容範囲に納めることが困難になり、空気の代わりに水素ガスを発電機内に密封して冷却する水素冷却方式が広く採用される。米国では 20,000 kVA 程度以上の発電機に水素冷却が広く用いられているが、わが国では 35,000 kVA 程度以上に採用されている。35,000 kVA から 50,000 kVA 程度までの範囲は、空気冷却でも水素冷却でも製作できるので、発電機の価格とプラントの熱効率とを考えた経済比較により、冷却方式が選ばれる。

水素冷却が空気冷却よりよく冷える理由は、水素ガスの比重が軽いので、ガス圧力を高くして冷却媒体の単位流量あたりの熱容量を増し、コイル周囲から多量の熱を運び出すことができる点にある。この他、風損の減少により機内の発熱量そのものが減ることや、熱伝達率がよいことも冷却効果の改善に役立っている。また通風動力の減少により、空気冷却より発電機効率がよくなる。

コイルの対地絶縁の外側に冷却媒体を流して冷却する方式を間接冷却、対地絶縁の内部に冷却媒体を導入して発熱部を冷却媒体で直接に冷却する方式を直接冷却と呼ぶ。電気絶縁は熱も通しにくい性質を持っているから、絶縁の外側だけを冷却する間接冷却に比べて直接冷却は冷却効果はるかにすぐれている。間接冷却の固定子コイルの断面を図 2.1 に、また直接冷却の断面を図 2.2 に示す。

空気冷却はすべて間接冷却である。間接冷却、直接冷却は、それぞれ普通水素冷却、内部冷却とも呼ばれる。

回転子コイルの冷却にも間接と直接の両方があるが、空気の直接冷却は普通は用いられない。図 2.3 に間接冷却の回転子コイルの断面を示す。回転子コイルの下部に軸方向通風みぞ（サプスロット）があり、鉄心の両端からこのみぞに流入した冷却ガスは、歯の中に適当な間隔で設けられた半径方向の通風穴を通して回転子外周に排出される。回転子コイルは半径方向通風穴を通る冷却ガスにより対地絶縁（スロット絶縁）の外側から冷却される。冷却ガスは、通風用ファンの圧力と、半径方向通風穴内の冷却ガスに作用する遠心力により循環する。

当社では直接水素冷却の回転子コイルとして、内部冷却とラジアルベントの2方式を用いている。図 2.4 の内部冷却回転子コイルでは、2 個のコの字形の鋼帯を重ね合わせて内部に冷却ガスの通風路を形

表 2.1 タービン発電機の各種冷却法と適用基準
Cooling of turbine generator.

容量 (MVA)	35	50	100	200	400	600	800	1250
固定子 コイル	間接水素冷却 空気冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却
回転子 コイル	間接水素冷却 空気冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却	間接水素冷却 標準内部冷却

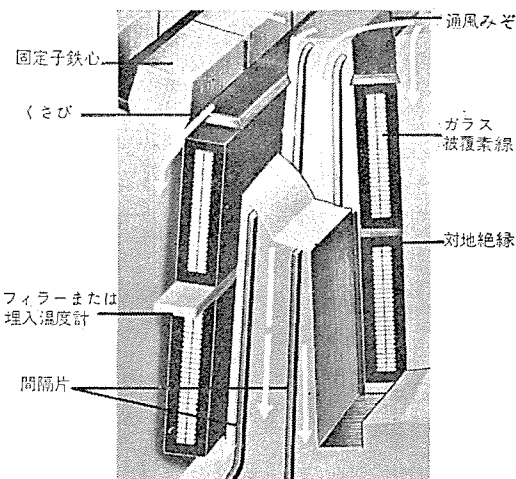


図 2.1 普通水素冷却固定子コイルの断面
Stator coil of conventional hydrogen cooled turbine generator.

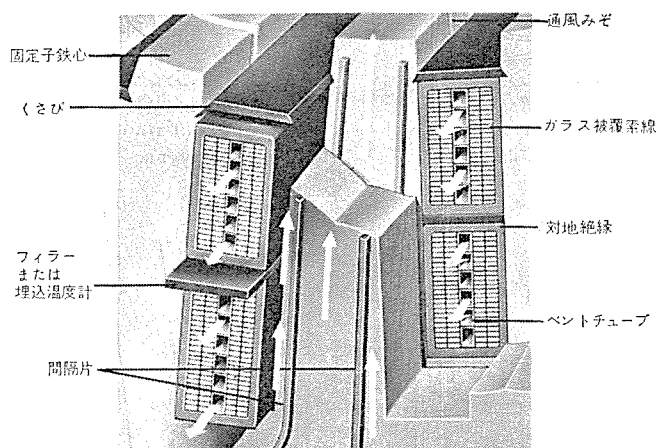


図 2.2 水素内部冷却固定子コイルの断面
Stator coil of hydrogen inner-cooled turbine generator

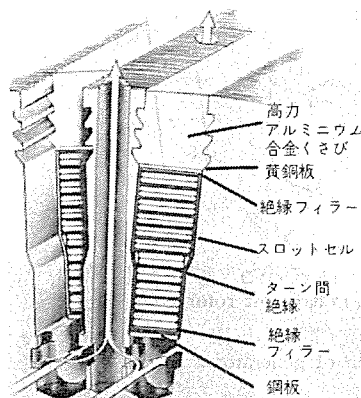


図 2.3 普通水素冷却回転子コイルの断面
Rotor coil of conventional hydrogen cooled turbine generator

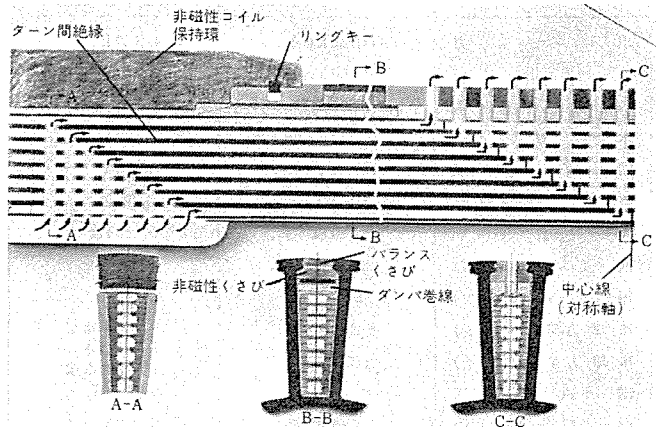


図 2.4 水素内部冷却回転子コイルの断面
Rotor coil of hydrogen inner-cooled turbine generator.

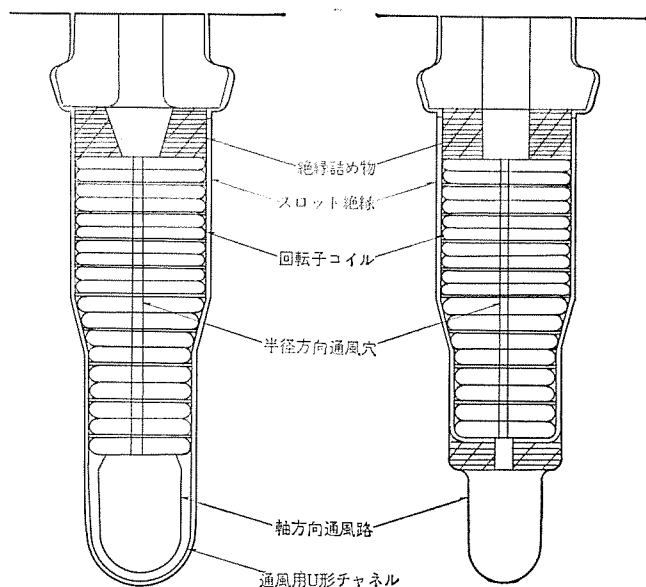


図 2.5 ラジアルベント 回転子
コイル (三菱)
Radial vent rotor
coil-Mitsubishi.

図 2.6 ラジアルベント 回転子
コイル (従来の方法)
Radial vent rotor coil-other
manufacturer's.

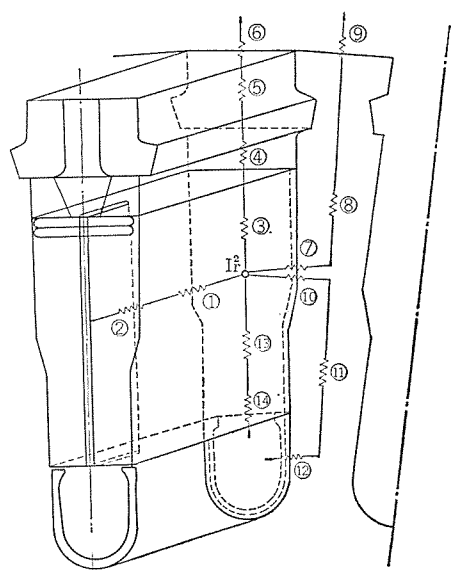


図 2.7 ラジアルベント回転子コイルの熱回路
Thermal circuit of radial vent rotor coil.

表 2.2 発電機仕様
Specification of generators.

	1 号 発 電 機	2 号 発 電 機
出 力	111,765 kVA 95,000 kW	147,059 kVA 125,000 kW
力 率	85 %	85 %
水 素 ガ ス 圧	2 kg/cm ² ・g	2 kg/cm ² ・g
端 子 電 圧	12,500 V	12,500 V
電 流	5,162 A	6,793 A
周 波 数	50 Hz	50 Hz
回 転 数	3,000 rpm	3,000 rpm
短 絡 比 (定格 kVA で)	0.58	0.58
冷 却 方 式 (固 定 子)	普通水素冷却	普通水素冷却
冷 却 方 式 (回 転 子)	普通水素冷却	ラジアルベント式水素冷却
励 磁 方 式	ブラシレス	ブラシレス
励 磁 電 圧	375 V	250 V
励 磁 機 出 力	340 kW	425 kW

成し、鉄心両端から冷却ガスを送りこんで鉄心中央部で回転子外周に排出する。この方式は、水素ガスがコイルに直接に触れている冷却表面積が大きく冷却効果がすぐれているが、細くて長い通風路に水素ガスを流すためには、高いブロー圧力が必要である。固定子コイルに内部冷却を採用する場合には、固定子コイルの細くて長いベントチューブに冷却ガスを送りこむため多段の高圧ブローを設けるので、回転子コイルにも内部冷却を用いる。

図 2.5 はラジアルベント冷却回転子コイルの断面図である。回転子コイルの下部に軸方向通風用の U 形チャネルがあり、鉄心の両端からこのチャネルに流入した冷却ガスは、回転子コイル内の半径方向通風穴を通して回転子外周に排出される。冷却ガスの通風には、通風用ファンの圧力と、半径方向通風穴内の冷却ガスに作用する遠心力とだけで十分であるので、普通水素冷却固定子コイルと組合わせて用いることができる。回転子コイルは半径方向通風穴を通る冷却ガスにより直接に冷却されるが、冷却表面積が内部冷却式より少ないので、冷却効果としては普通水素冷却と内部冷却との中間的な性格を示す。

ラジアルベント冷却回転子コイルは従来から主としてヨーロッパで用いられてきたが、それらの方式は図 2.6 のように軸方向通風みぞ(サブスロット)を流れてきた冷却ガスを、スロット絶縁底部の穴を通して回転子コイル内の半径方向通風穴に供給するものであった。これに対して図 2.5 の当社の方式では、スロット絶縁の底部に通風用の穴を設ける必要がなく、スロット絶縁に働く大きな遠心力に対して高い信頼性を有することが特長である(特許出願中)。

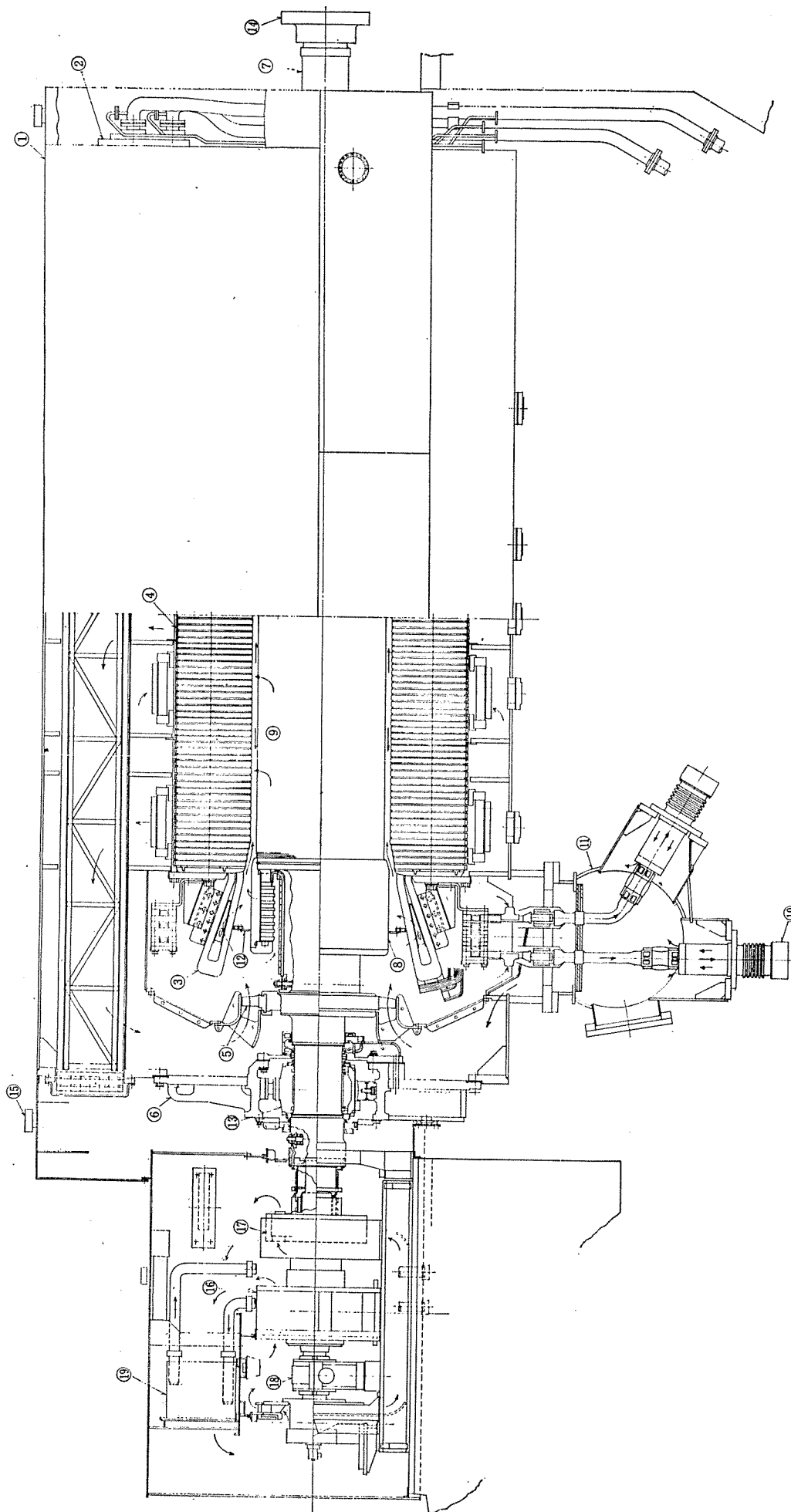
高速で回転するタービン発電機では、軸材の寸法に制約があるので、回転子コイルの冷却が固定子コイルの冷却より本質的に困難であり、回転子コイルを固定子コイルより強力に冷却するほうが発電機全体として冷却のバランスが良くなる場合が多い。したがって、当社では水素冷却発電機の冷却につぎのような組合わせを用意している。

- (1) 普通水素冷却固定子コイル+普通水素冷却回転子コイル
- (2) 普通水素冷却固定子コイル+ラジアルベント冷却回転子コイル
- (3) 内部冷却固定子コイル+内部冷却回転子コイル

(1) の組合わせを普通水素冷却発電機と称し、今回の 1 号発電機 111,765 kVA は当社のこの方式での最大容量機である。(2) の組合わせをラジアルベント式水素冷却発電機と呼び、今回の 2 号発電機 147,059 kVA は当社のこの方式での最初の製品である。(3) の組合わせを内部冷却発電機と言い、現在製作中の最大容量機は、2 極機で 670,000 kVA、4 極機で 920,000 kVA である。

発電機コイルの冷却効果を設計段階で予測するには熱回路を用いる。これはコイルに発生するジュール熱が冷却ガスによって運び去られるまでの熱の移動経路に沿って、熱伝導、熱伝達の抵抗を電気回路的に表現したものである。図 2.7 はラジアルベント冷却回転子の熱回路を示したもので、①はコイルの発熱部から半径方向通風穴に至る銅帯内の熱伝導にもとづく熱抵抗、②は半径方向通風穴表面の熱伝達にもとづく熱抵抗である。この場合は①+②の経路による冷却が主となり、スロット絶縁の熱抵抗⑦、⑩を通しての熱の移動は比較的に少ない。

水素冷却発電機の固定子コイルの冷却には、さきに述べたように普通水素冷却と内部冷却とがあるが、ラジアルベント冷却回転子が適用される容量範囲に対しては、固定子コイルを内部冷却にするほどの必要性はないので普通水素冷却を採用し、容量に応じて 2 並列、3 並列、4 並列などの多並列接続を行ない、比較的に低い端子電圧を



1	フレーム	6	ブラケット	11	リードボックス	16	交流励磁機
2	ガス冷却器	7	回転子軸	12	エアキャップバップル	17	回転整流器
3	固定子コイル	8	コイル保持器	13	軸受	18	励磁機軸受
4	固定子鉄心	9	回転子コイル	14	軸継手	19	空気を却る器
5	プロフ	10	プッシング	15	水抜き		

図 2.8 2 号発電機断面図
Sectional view of #2 generator.

選び、対地絶縁の厚さを減らして冷却効果を改善するのが普通である。今回の1号機では2並列回路、2号機では3並列回路を採用した。

2.2 発電機仕様

発電機の仕様を表2.2に示す。各発電機は三菱重工業製の抽水復水タービンに直結される。

2.3 構造

図2.8に2号発電機の組立断面図を示す。以下に2号発電機の構造を紹介するが、1号発電機の構造もほとんど同じである。

(1) 冷却ガスの循環

機内の水素ガスは、回転子軸の両側に設けた2個の軸流ブロウにより機内各部に送られ、吸収した熱損失をフレーム上部に軸方向に配置した2組のガス冷却器で冷却水に伝えた後、ふたたびブロウにはいり循環する。

固定子の通風には、いわゆる複式放射通風を採用している。固定子フレームと固定子鉄心の間のすきを数個のゾーンに区分し、交互にブロウの高圧側、低圧側に接続して高圧ゾーン、低圧ゾーンとする。高圧ゾーンにはいった水素ガスは固定子鉄心中の通風みぞを半径方向に内径側に進み、ギャップに出た後、隣の低圧ゾーンにはいり、鉄心中の通風みぞを高圧ゾーンとは逆に外径側に進んで鉄心背部に排出される。この間に水素ガスは固定子コイル直線部と固定子鉄心を冷却する。鉄心の両端部では、水素ガスは固定子コイル端部と回転子のコイル保持環の間からギャップにはいり、低圧ゾーンの鉄心中の通風みぞを外径側に進んで背部に出る。固定子コイル端部にはエアギャップパッフルと称する環状の絶縁板を取付け、ギャップにはいる水素ガスをう回させて固定子コイル端部に流すことによりこの部分の冷却効果を改善している（実用新案申請中）。

回転子コイル直線部の通風は2.1項で述べたとおりで、回転子鉄心の両端から流入する水素ガスは、回転子コイルを冷却した後ギャップに排出され、固定子を冷却する水素ガスと合流して低圧ゾーンからガス冷却器にもどる。回転子コイル端部は、端部間隔片の間を通りコイル保持環に設けられた通風穴からギャップに抜ける水素ガスにより冷却される。1号発電機では回転子コイル直線部の通風が、図2.3のように行なわれている点が2号機と異なっている。

ブッシングを冷却する水素ガスはリードボックス上部で中空管にはいり、ブッシングの中空導体を冷却した後リードボックスに排出される。リードボックスはブロウの低圧ゾーンに接続されている。

ブッシングの冷却が励磁機側で行なわれている点以外は、冷却ガスの循環はタービン側、励磁機側について対称に構成されている。

(2) 固定子

図2.9に完成した固定子を示す。

固定子フレームと両端の軸受ブラケットは、溶接構造用鋼板を溶接して構成したものである。フレームは水素ガスの圧力容器として、大気圧の水素ガスの最大爆発圧力 $7 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ に耐えるように設計してある。発電機運転中には、機内に純度の高い $2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ の水素ガスを封入してあるので、これが空気と混合して爆発性の混合気を生ずる可能性はないが、水素ガス置換時のように機内が大気圧に近い状態のときに誤操作により爆発性混合気を生ずる場合を想定したものである。

万一そのような事態が発生して仮に発電機内部が損傷したとしてもフレームは破壊せず、機外の人命や器物に危害を与えないような構造としている。これを確認するため、各フレームの代表機について

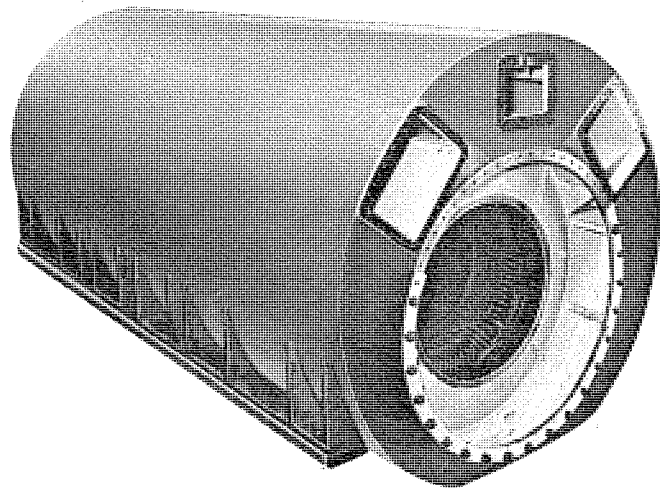


図 2.9 2号発電機 147,059 kVA 固定子
Stator of 147,059 kVA turbine generator.

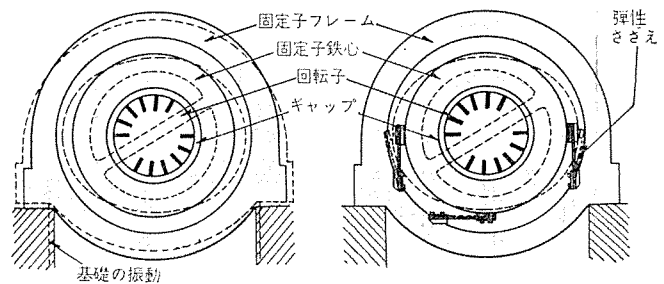


図 2.10 弾性ささえ
Flexible mounting of stator core.

水圧試験を行なって強度を確認する。溶接はすべて気密構造としてガスの漏れを防いでいるが、ブラケットの取付け面その他のボルト締めによる接合面には、適当なガスケットなどの漏れ止め構造を用いている。フレームは1台ごとに漏れ試験を行なって、漏れが許容値以内であることを確認した。フレームの両側には、各2個のトラクションと称するつり手をボルト締めできるようにし、輸送、据付時に使用する。

鹿島北共同発電所は半屋外構造となっているため、発電機、励磁機は屋外形に準じた構造とした。すなわち、発電機側面の計器用カバーおよびタービン側と励磁機側のカバーを屋外形構造とし、また各カバーの頂部には水素抜きのための換気孔を設けている。

固定子鉄心は、フレーム内部に積層された電気鉄板とその間に軸方向に適当な間隔をおいて配置した半径方向通風のための間隔片とからなる。電気鉄板としては、冷間圧延のけい素鋼板を使用し、扇形に抜いて両面に絶縁ワニス処理を施したものを積層して、鉄心内のうず電流損を最小限に保つ。鉄心は、適当厚さを積むごとに油圧でプレスし、最後に両端に非磁性のフィンガプレートとクランプを当てて鉄心外周のコアボルトにより均一にかつ強固に締めつける。

回転子の磁極と固定子鉄心の間に働く磁気吸引力により、固定子鉄心には2倍周波数の振動が生ずる。発電機が大容量になるほどこの振動も大きくなるので、約20,000 kVA以上の2極機では、振動が鉄心からフレームや基礎に伝わるのを防ぐため、弾性ささえと称する防振構造で固定子鉄心を支持している（図2.10）。弾性ささえは板ばね式で、鉄心の半径方向には十分な弾性を有し振動の伝達をしゃ断すると同時に、円周方向には鉄心の自重をささえ短絡トルクにも耐えるだけの剛性を持った構造である。

固定子コイルは上口コイルと下口コイルとからなる2層巻きで、短

節巻きのハーフコイルとして製作し、固定子鉄心のスロット内にそう入した後、端部で結線する。各コイルは多数のガラスで被覆した素線で構成し、これらの素線にスロット内でレーベル転位を施し、さらに端部の結線部でも素線間の外部交差を行なって、コイル内のうず電流を最小限に押えている。水素冷却発電機のコイルはほとんど例外なしに1回巻コイルで、容量の大きい機械では冷却効果を考慮して多並列接続を用いる。2極機で3並列以上の多並列回路の結線を行なう場合、各並列回路の電圧を完全にはバランスさせることができないが、特殊な結線法の採用により、循環電流が無視できる程度に小さくなるように設計する。

コイル導体にはマイカテープを巻きつけ、熱硬化性のレジンに真空含浸し、加熱して重合硬化させ、強固なダイヤモンド絶縁とする。コロナ防止のため、コイル直線部の表面には半導体塗料を塗り、スロット出口からコイル端部にかけては電位傾度を均一にするようにコロナ防止塗料を塗る。コイル端部は短絡電流による大きな電磁力に対抗するためにコイルささえによって強固に支持する。

各相の電流をフレームから引き出すため、線路側3本、中性点側3本、合計6本の気密ブッシングをフレーム下部のリードボックスに取付ける。従来、当社では普通水素冷却発電機には油入ブッシング、内部冷却発電機には乾式の内部冷却ブッシングを組合わせるのを標準としていたが、今回の1号、2号発電機は定格電流が大きい内部冷却ブッシングを使用した。内部冷却ブッシングでは、中空導体の内部に水素ガスを流し、導体を直接に冷却するので冷却効果がすぐれている。ただし、この程度の電流容量の範囲では油入りブッシングを用いることも、もちろん可能である。

ガス冷却器は、発電機上部の左右に2個ずつ合計4個を配置し、清掃や点検のため1個への冷却水の供給を停止する場合にも、発電機に定格出力の90%以上の負荷をかけることができる。冷却管の清掃や点検は、機内に水素ガスを封入したまま行なえるようになっている。

発電機の運転状態を監視するため、測温素子により機内の代表的な温度を計測する。固定子コイルの温度は、鉄心スロット内の上口コイルと下口コイルの間にそう入した埋入温度計(測温抵抗体)により計測する。ガス冷却器の出口ガス、入口ガスの温度も測温抵抗体により計測している。固定子鉄心部温度および軸受排油温度は、熱電対素子により計測する。軸振動計測のためには、軸振動計が取付けである。これらの計測値は、普通、記録計により指示・警報されることが多いが、鹿島北発電所ではすべてコンピュータによって記録・警報される。

(3) 回転子

図2.11に完成した回転子を示す。

回転子軸は、磁気特性のすぐれたニッケルモリブデンパナジウム鋼の一体鍛造品から削り出して製作する。タービン発電機の回転子は高速で回転し、機械構造上最も重要な部分であるので、材料・設計・工作に特別の注意を払っている。軸材は真空鋳造法によって鋼中の水素ガス濃度を下げ欠陥の少ないものとし、焼入れ方法を適切にして遷移温度が低くじん性の高いものとしている。完成した軸材は超音波探傷法により有害な欠陥のないことを確認し、コアドリルによって採取した試験片によって機械的性質、磁氣的性質を試験する。軸材で使用中の応力が最も高い中心部は、中心穴を貫通させて欠陥を除去したうえで内面をボラスコープにより検査する。

回転子胴部には放射状の導体スロットを加工する。このスロットは

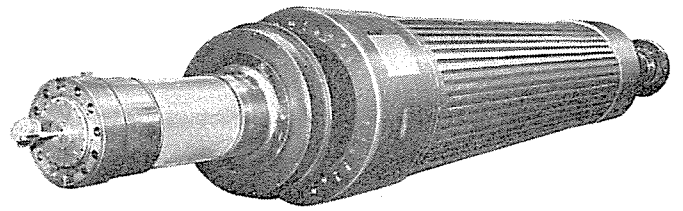


図 2.11 2号発電機 147,059 kVA 回転子
Rotor of 147,059 kVA turbine generator.

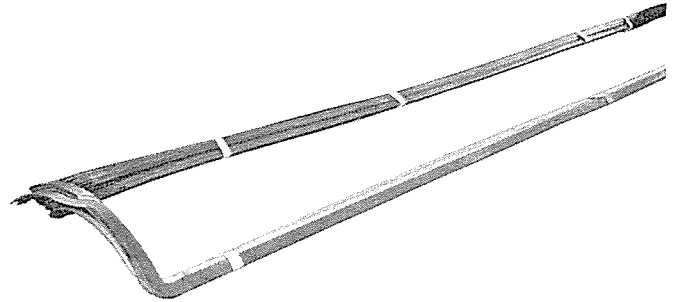


図 2.12 2号発電機回転子コイル
Rotor coil.

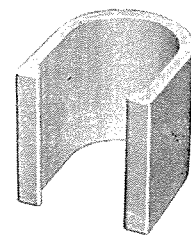


図 2.13 回転子コイル通風用 U 形チャネル
U-channel of radial vent rotor.

磁極中心線の付近にはなく、これと直角な極間中心線の両側にスロットが集中しているため、極中心と極間中心の互いに直角な2軸に関する断面二次モーメントが異なり、これが振動の原因となるおそれがある。この対策として、磁極表面には軸と直角方向に適當数の切込み(クロススロット)を設け、断面二次モーメントの均一化をはかっている。回転子表面には、漂遊負荷損低減のため浅いねじみぞを全面に加工している。

回転子コイルは、起動停止の繰返しによって収縮現象が生ずるのを防ぐため、材料として銀入銅を用いている(図2.12)。スロット内のコイルは非磁性合金のくさびによって保持し、コイル端部の遠心力は高張力合金鋼のコイル保持環で保持している。コイル保持環は回転子胴部の両端に焼ばめしてある。

2号発電機のラジアルベント回転子コイルを構成するU形チャネル(図2.13)には、回転中チャネル自身の遠心力とスロット絶縁の遠心力が加わるので十分な強度が必要である。数種の材料で試作した結果、本機には高力軽合金のチャネルを使用した。実物のチャネルに対し圧縮力を加えて破壊試験を行なったが、定格回転数で加わる遠心力の6倍以上の力に耐えることが確認され、規定の過速度時の応力にも十分耐えることがわかった。

回転子コイルと励磁機を接続する導体は、発電機の励磁機側軸受を貫通して接続しなければならないので、軸の中心穴に配置する。この軸内導体(アキシャルリード)と軸表面を結ぶため、軸受の機内側ならびに機外側にそれぞれ正負2本、合計4本のラジアルリードを設ける。ラジアルリードには回転中遠心力が働くので耐力の高に銅合金を用

いる。この接続導体に沿って機内の水素ガスが漏れるのを防ぐため、ラジアルリードの周囲に耐熱性ゴムパッキンをはめて漏れ止めを行なっている。

発電機とタービン間および発電機と励磁機間の軸継手はいずれも直結形である。発電機と励磁機とをつなぐ接続導体は励磁機軸継手の表面をわたっている。

発電機の軸受は空気側にあり、水素ガスの軸封装置は軸受より機内側に設けてあるので、機内に水素ガスを封入したまま軸受の点検が可能である。軸受は球面支持のジャーナル軸受で、タービン側、励磁機側とも軸電流防止絶縁を内蔵している。その他、油切り、軸封部、油管、取付けボルトなど軸電流の流れる可能性のある部分はすべて絶縁している。

3. 水素制御装置

水素は体積比で4.5~75% 空気に混入した場合、引火爆発性をもつので、これを安全に制御するために水素制御装置を設ける。水素制御装置は、発電機内の水素を制御するガス制御装置と、回転子軸が固定子フレームを貫通する部分に密封油を供給して機内ガスを密封する密封油制御装置に分けられる。

ガス制御装置は、水素の封入法により直接法と間接法の2種類に分けられるが、当社はすべての水素冷却発電機に、取扱いが容易で安全度の高い炭酸ガスによる間接法を採用している。これは機内の空気を炭酸ガスで置換した後、水素を封入する方法である。

軸貫通部の水素の密封は油膜により行なうが、油膜の形成方法により、ラジアル軸封とアキシャル軸封とがある。発電機軸の伸びに対する追従が容易で構造も簡単なラジアル軸封が一般的であり、当社の水素冷却発電機もすべてこの方式を採用している。

密封油制御装置には、一般につぎの3方式がある。

(1) 連続掃気式

密封油に溶解して機内に侵入する空気量に応じて機内ガスを一定の割合で連続的に放出し、その量だけ新しい水素を補給することにより機内を高純度に保つ。

(2) 真空処理式

密封油を高真空中に循環させて脱気した後、密封部に供給することにより機内への空気の侵入を防ぐ。

(3) 複流式

密封回路を空気側と水素側の2回路に分け、空気側密封油は常に空気のみ、水素側密封油は常に水素のみに接し、互いが混り合わないようして機内への空気の侵入を防ぐ。

一般に連続掃気式は最近ほとんど用いられず、真空処理式と複流式がそれぞれ適性に従って使用されている。当社は、内部冷却機には複流式を、普通水素冷却機には真空処理式を適用するのを標準としているが、その理由は、複流式は高ガス圧(3 kg/cm²・g 以上)に適し、真空処理式は低ガス圧(2 kg/cm²・g 以下)に適しているためである。本プラントでは、1号機は普通水素冷却、2号機は回転子ラジアルベント冷却・固定子普通水素冷却であるが、定格ガス圧はともに2.0 kg/cm²・g であるから、1・2号機とも真空処理式を採用し

表 3.1 真空処理式水素制御装置標準仕様
Standard specification of hydrogen control system-vacuum treating type.

形 名	ジャーナル径 mm	定格ガス圧 kg/cm ²	電 動 機 容 量 kW					
			密封油ポンプ AC	密封油ポンプ DC	真 空 ポンプ AC	ベーパーセクトラクタ AC	ガス乾燥器 AC	純度発信機 AC
S-1 B	~375	2	2.2	2.2	2.2	1.5	0.2	0.2
S-2 B	400~450	2	3.7	3.7	2.2	1.5	0.2	0.2

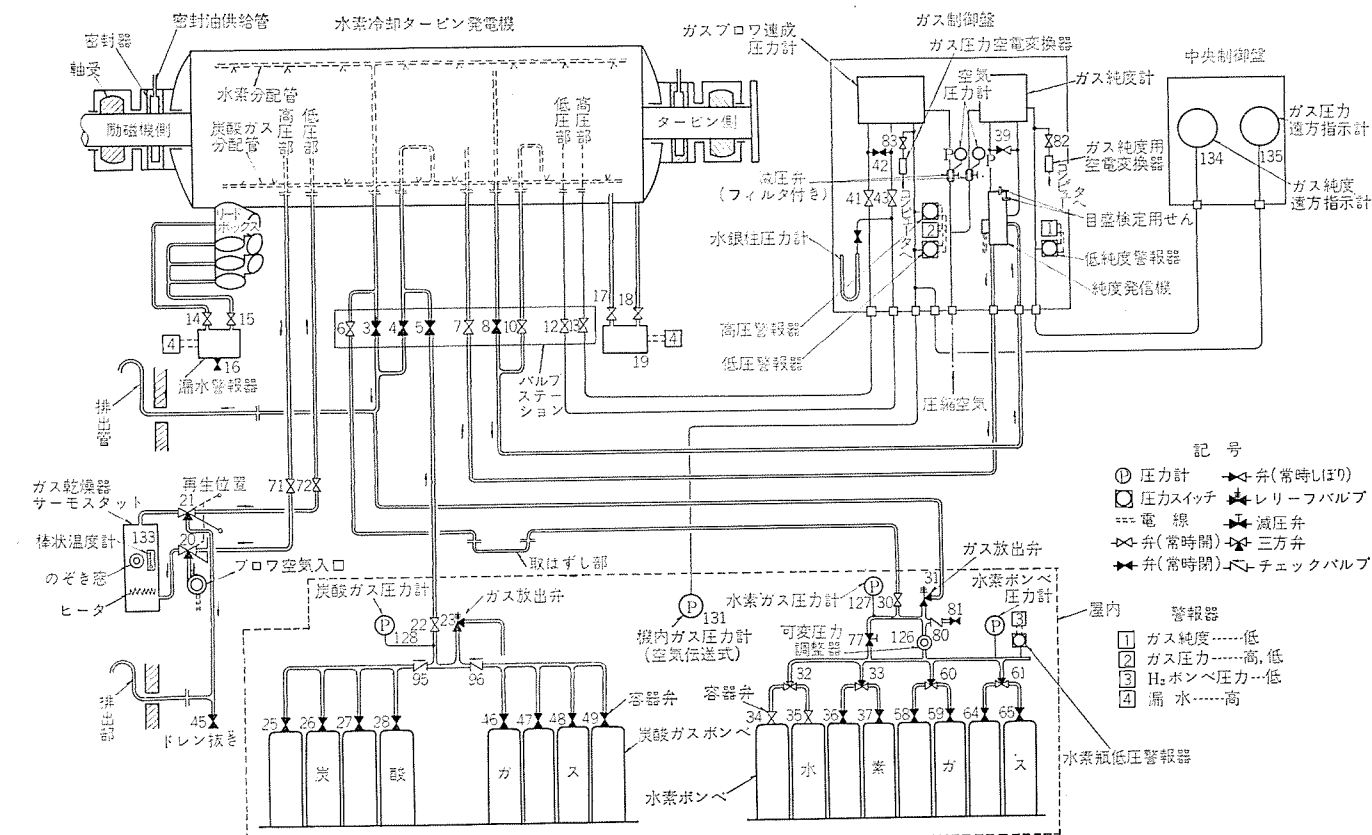


図 3.1 水素冷却発電機 ガス 系統図 Gas diagram for conventional hydrogen cooled turbine generator.

た。なお、当社は発電機の容量と形式に応じて水素制御装置を標準化している。表 3. 1 は真空処理式の場合の標準を示したもので、本プラントでは、1・2号機ともまったく同一の水素制御装置を使用した。以下に本プラントの水素制御装置の概要を述べる。

3. 1 ガス制御装置

ガス制御系統を図 3. 1 に示す。ガス制御系統は、水素供給装置、炭酸ガス供給装置、バルブステーション、ガス乾燥器、ガス制御盤、漏水警報器、純度発信機などからなる。

ガス制御装置の機能はつぎのとおりである。

- (1) 発電機内への水素封入
- (2) 運転中のガス純度・ガス圧力の維持および監視
- (3) 水素の補給および追い出し
- (4) 発電機内水素の乾燥
- (5) 発電機内への漏油、漏水の警報

発電機に水素を封入するときは、まず機内の空気を炭酸ガスで追い出し、つぎに水素で炭酸ガスを追い出して機内に水素を封入し、いかなる場合でも空気と水素とが直接混合しないようにする。炭酸ガス供給装置は、8本の炭酸ガスポンプと容器弁および2個の逆止弁を鋼管のマニホールドで接続したもので、ポンプ内で気化したガスを容器弁で適当な圧力に減圧して、機内に炭酸ガスを封入する。水素ガス供給装置も同様に、8本の水素ポンプと容器弁および4個の高圧弁を鋼管のマニホールドで接続したものに、圧力の自動制御用の可変圧力調整器と手動用減圧弁とを並列に設けたもので、調整器または減圧弁によってポンプ圧力を適正な圧力に減圧して、機内に水素を封入する。表 3. 2 に、本プラントの場合のガス入換えに必要な水素と炭酸ガスの量ならびに操作所要時間を示す。ポンプは弁操作により随時取換可能であるから、ポンプ取換時も封入は連続して行なうことができる。

発電機運転中には、フレームとブラケットの合わせ面などから水素のわずかな漏れがあり、また密封油に吸収されて機外に運び去られる水素もあるため、機内の水素圧力は徐々に低下する傾向をもつ。したがって、発電機には連続的または間欠的に水素を補給する。当社の系統では、水素供給装置に設けられた可変圧力調整器を必要な圧力に設定しておけば、水素は自動的に補給される。このように、純度の高い水素をポンプから常時補給することにより、機内水素純度の低下を防止することができる。表 3. 3 に本機の水素補給量を示す。

バルブステーションは発電機と各制御機器とを結ぶ配管途中の弁を1個所に集めたもので、主要な弁操作はすべてここで行なわれる。

ガス乾燥器は内部に吸湿剤（活性アルミナ）、ヒータ、ブロウなどを備え、発電機内のブロウの差圧を利用して、機内ガスを吸湿剤に循環し除湿する装置である。吸湿剤が水分で飽和したときには、手動で連動三方弁を再生位置に置き、ブロウとヒータを起動して吸湿剤を再活性化する。

ガス制御系統の監視用として、発電機基礎架台付近の一階床面にガス制御盤を設ける。ガス制御盤の外観を図 3. 2 に示す。盤面には、ガス純度計、ガスブロウ連成圧力計、故障表示器などを設け、盤内部には純度発信機を配置する。盤の内部は電気室とガス室とに分け、ガス室内のスイッチには水銀スイッチを使用して安全を計る。

ガス純度計は、純度発信機によって生ずる風圧を指示する一種の差圧計で、回転数が一定の場合、風圧がガスの密度に比例する原理を利用して純度を測定するものである。ガスの密度は純度だけでなくガス圧力によっても変わるが、この純度計にはリック式の圧力補

表 3. 2 ガス入換えに要するガス量と時間
Gas quantity and time required for replacing gas.

必要なガス	操 作	ガス所要量*	所要時間 h
CO ₂	Air→CO ₂ (CO ₂ 70 % まで)	1.0×Vg	1
H ₂	CO ₂ →H ₂ (H ₂ 95 % 以上)	2.0×Vg	2
H ₂	昇 圧 (大気圧→2 kg/cm ²)	2.0×Vg	1~2
CO ₂	H ₂ →CO ₂ (CO ₂ 95 % まで)	1.5×Vg	1

* : Vg は発電機のガス容積で、本プラントでは 1, 2 号機とも 65 m³

表 3. 3 水素補給量
Hydrogen consumption.

ガ ス 圧 kg/cm ²	水 素 補 給 量 m ³ /日
0.05	2.0
1	6.0
2	9.0

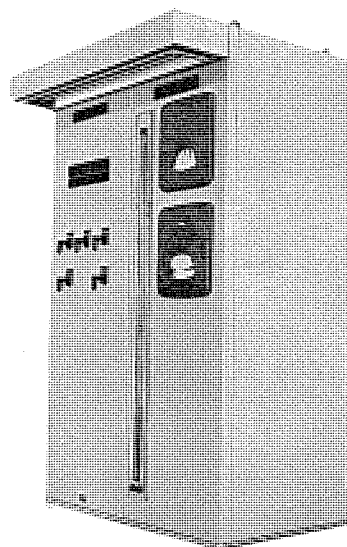


図 3. 2 ガス制御盤
Gas control panel.

正機構が設けられているので、機内圧力に関係なく直ちにガス純度を知ることができる。

ガスブロウ連成圧力計は、機内ガス圧と発電機軸上のブロウによって生ずる圧力を指示するものである。ブロウ圧力計は純度計と同一原理であるから、発電機運転時の純度計の校正用または予備として使用することができるが、圧力補正機構をもたないので、機内圧力に応じて、読みとった密度を純度に換算する。なお、純度計、連成圧力計はともに空気伝送器を内蔵しており、これを利用して機内圧力と純度を中央制御室で常時監視することができる。

漏水警報器は、本体、フロート、鉄心、磁石、水銀スイッチからなり、器内に 200 cc の水または油が入ればフロートが浮き、水銀スイッチを閉じて警報を発する。発電機本体のタービン側と励磁機側に 1 個ずつ設け、それぞれの側での軸受からの漏油とガス冷却器からの漏水を警報する。

3. 2 密封油制御装置

真空処理式密封油制御系統を図 3. 3 に示す。密封油制御系統は、AC 電動機駆動の常用密封油ポンプ、DC 電動機駆動の非常用密封油ポンプ、真空ポンプ、真空タンク、油冷却器、油こし器、差圧調整弁、補給調整弁、減圧調整弁、水素側油ならし箱、ルーパシールタンク、ベーパーエクストラクタなどからなる。ルーパシールタンクとベーパーエクストラクタ以外は、すべて密封油処理装置として 1 台のセットに組立てられている。そ

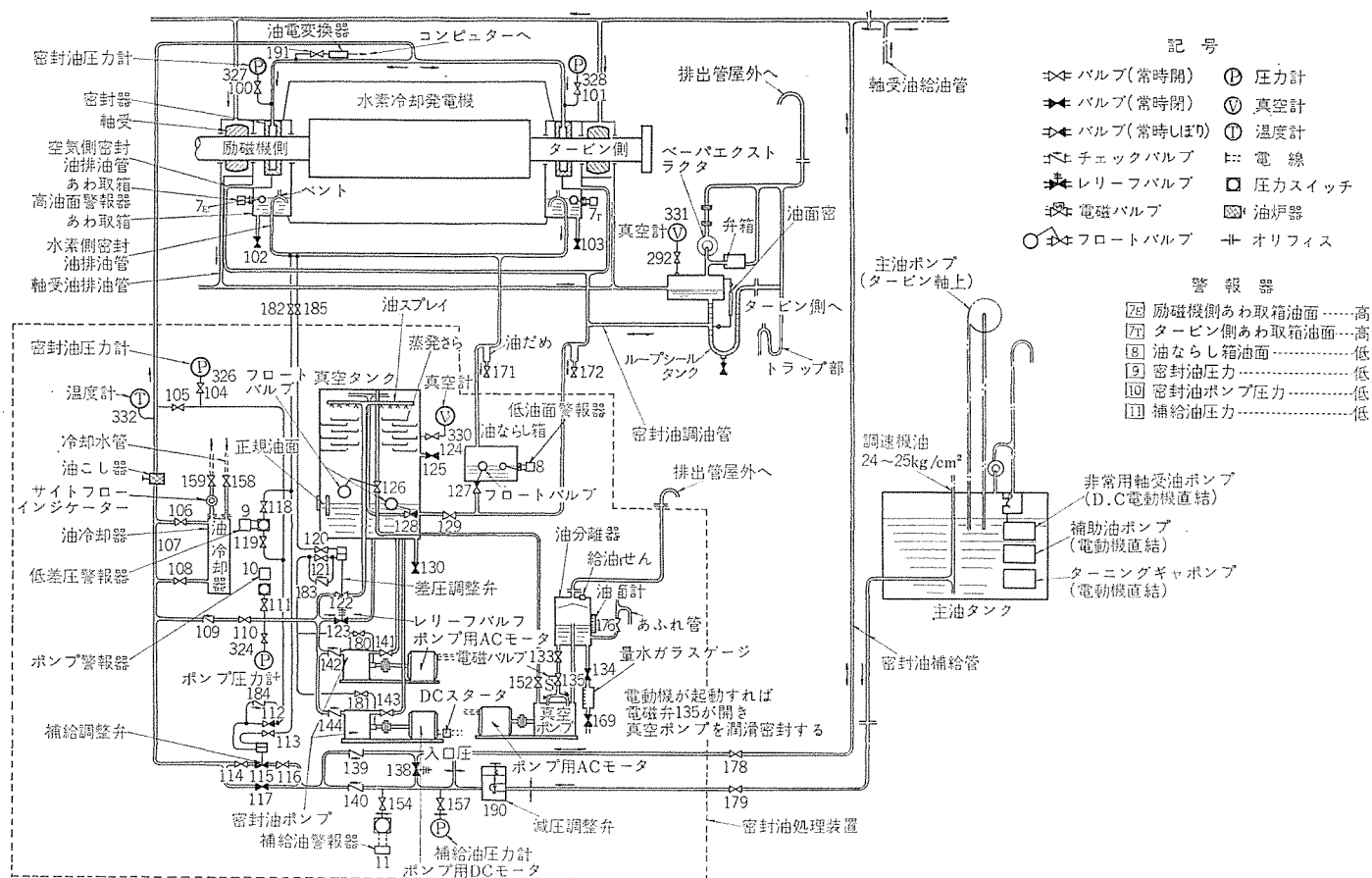


図 3.3 水素冷却発電機密封油系統図

Seal oil diagram for conventional hydrogen cooled turbine generator.

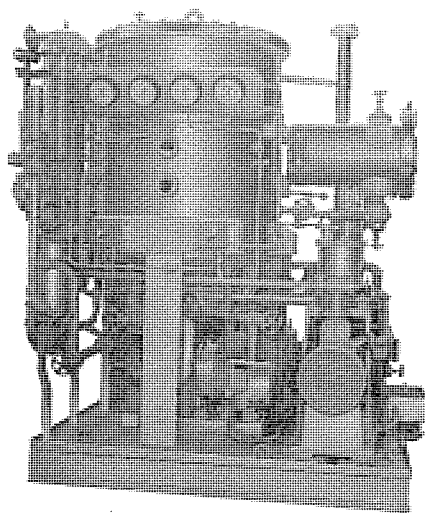


図 3.4 密封油処理装置
Seal oil unit.

の外観を図 3.4 に示す。

密封油制御装置の機能はつぎのとおりである。

- (1) 密封油圧を機内ガス圧より高い一定値に保ち、密封部に供給する。
 - (2) 運転中の密封油圧、密封油温の維持および監視
 - (3) 常用ポンプ油圧が低下した場合、直ちに他のポンプによりバックアップする。
 - (4) 密封油を真空処理して、油中に混入した空気その他の不純ガスにより機内ガス純度が低下することを防止する。
- 機内ガスを密封するために、軸受ブラケット内に設けたシールリングと軸との間の狭いリング状のギャップに密封油を供給し、密封油膜を

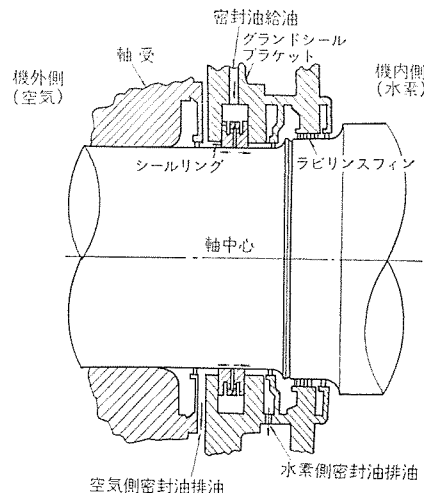


図 3.5 シールリング部分の構造
Sectional view of gland seal.

形成する。密封油ポンプの出口には差圧調整弁を設け、密封油圧力が密封部において機内ガス圧より 0.85 kg/cm^2 だけ高くなるように調整する。シールリングは軸とともに半径方向にある程度動くことはできるが、グランドシールブラケットから突き出たピンにより、回転はしないようになっている。シールリング部分の構造を図 3.5 に示す。

軸とシールリングの間のリング状のギャップを軸方向に流れる油は、油の粘性と軸の回転によって、熱損失を発生する。この熱損失の一部は、軸と軸受ブラケットを通して大気に放散されるが、大部分は密封油の温度上昇となる。したがって、密封油系統内に油冷却器を設け、シールリング入口油温が $35 \sim 48^\circ\text{C}$ になるように調節する。また、軸とシールリング間のギャップは系統中でさすが最小の部分であり、こ

表 3.4 密封油の安全供給
Safe supply of seal oil.

	正 常 運 転	第1段バックアップ*	第2段バックアップ	第3段バックアップ
油 圧 源	AC 密封油ポンプ	タービン主油ポンプまたは補助油ポンプ	DC 密封油ポンプ	ターニングギヤポンプまたは DC 軸受油ポンプ
密 封 油 圧	機内ガス圧+0.85 kg/cm ²	機内ガス圧+0.6 kg/cm ²	機内ガス圧+0.85 kg/cm ²	機内ガス圧+0.2 kg/cm ²
油 圧 調 整	差圧調整弁	補給調整弁	差圧調整弁	補給調整弁
警 報	—	—	「密封油圧一低」の警報	同 左
処 置	—	—	つぎのいずれかの処置をとる 1. 補助油ポンプの起動 2. 機内水素ガスの放出 3. 第3段バックアップに移行	機内ガス圧を 0.15 kg/cm ² 以下にする。油圧を常時監視し、異常があれば直ちに機内水素を放出し炭酸ガスに入れ換えられるよう準備
作 動 条 件	—	AC 密封油ポンプ停止などで、密封油圧と機内ガス圧との差が 0.6 kg/cm ² に低下した場合	タービンおよび補助油ポンプが停止中で、第1段バックアップが作動せず、密封油圧と機内ガス圧との差が 0.35 kg/cm ² に低下した場合	ターニングギヤポンプまたは、DC 軸受油ポンプ運転中に、DC 密封油ポンプによる油圧の維持ができなくなった場合

* : AC 密封油ポンプ用電動機が非常用ディーゼル発電機に接続されている場合には、AC 電源が喪失しても非常用電源に自動的に切換えられ、そのまま運転が継続される。

ここにゴミが入れば シールリングの焼付きという重大事故になるので、油冷却器と直列に積層鉄板式の油こし器を設け、異物やゴミなどを除去する。

密封油系統は排油側で軸受潤滑油系統と接続されているので、密封油には軸受潤滑油と同一の油を使用するが、空気を吸収した油を直接密封部に供給すれば油中の空気は機内に放出され、逆に機内の水素が密封油に吸収されて機内ガス純度の低下を起こす。これを防ぐため密封油をシールリングに送る前に、真空ポンプによって約 25 mm Hg に保たれた真空タンク内に数回循環させ、完全に脱気する。真空タンク内には、脱気を促進するためのスプレー、蒸発皿を設けている。

たとえ発電機が停止中でも機内に水素が封入されているかぎり、密封は常に保持されなければならないので、密封油の供給源は複数とし、万一、一方の供給源が停止した場合にも、密封油の供給が絶対に断たれることのないようにする。当社の真空処理式密封油制御系統には表 3.4 に示すバックアップの手段を備えて密封油の安全供給に万全を期している。すなわち、AC 密封油ポンプが何かの原因により停止し密封油圧と機内ガス圧との差が正常値の 0.85 kg/cm² から 0.6 kg/cm² まで低下すれば、第1段バックアップとして補給調整弁が開き、タービンの調速器油を密封部に供給する。この場合、密封差圧は 0.6 kg/cm² に保持される。

さらに、タービンおよび補助油ポンプも停止して第1段バックアップが作動しない場合には、密封差圧が 0.35 kg/cm² まで低下したときに、低差圧警報器が「密封油差圧一低」の警報を発し、これと同時に第2段バックアップとして非常用 DC 密封油ポンプが自動起動する。一般に発電所の直流電源は使用時間に制限があるため、第2段バックアップの状態を長時間続けることは困難である。

密封油制御装置は常につぎのバックアップがある状態で運転するのが原則であるから、DC 密封油ポンプが起動すれば、表 3.4 中に示す3種類の処置のうちのどれかを実施しなければならない。通常は、第1または第2の処置が適切であるが、第3の処置をとった場合には、たとえ DC 密封油ポンプが停止しても第3段バックアップとしてタービン軸受油が密封部に供給され、運転を続けることができる。なお本機では、タービン調速機油を補給調整弁に導く回路に減圧調整弁を設けているが、これは調速機油圧が 25 kg/cm² と高いためであり、10 kg/cm² の場合には設けない。

ループシールタンクは軸受排油管の途中に設け、万一、密封が破れた場合、空気側密封油排油管および軸受排油管に流出してきた水素が、タービン主油タンクに達するのを防ぐ。ループシールタンクに流入してきた水素が、トラップの油面を押し下げて主油タンクに達する前に、弁箱を通して屋外に出るように屋外排出管を設置する。屋外排出管の途中にはベーパーエクストラクタを設け、ループシールタンク上流側の軸受排油管および軸受油室に -50 mm Aq 程度の真空をつくり、いかなる場合にも水素のたまる可能性をなくする。

ベーパーエクストラクタは、副次的に、軸受油室からの油漏れを防ぐ効果もある。密封が破れたときループシールタンクに流入してくる水素量は、ベーパーエクストラクタの排気量の数十倍にもなるので、ベーパーエクストラクタには水素排出用のバイパス管と弁箱を設ける。弁箱は一種の逆止弁で、常時は閉でバイパス回路を閉じているが、多量の水素が流入してタンク内の圧力が上昇すれば、開いて水素を屋外に排出する。

4. 励磁機

4.1 ブラシレス励磁方式

図 4.1 にブラシレス励磁方式の基本原則を示す。ブラシレス励磁機は、交流励磁機、回転整流器、副励磁機などで構成される。回転電機子形同期発電機である交流励磁機の回転子（電機子）に発生した出力は、軸表面の交流リードにより回転整流器に接続される。回転整流器は、軸に焼ばめした整流器ホイールの内周に、シリコン素子、ヒューズなどの整流回路構成部品をとりつけたもので、交流励磁機の出力はここで直流に変換され、その直流出力は、軸表面のリードにより発

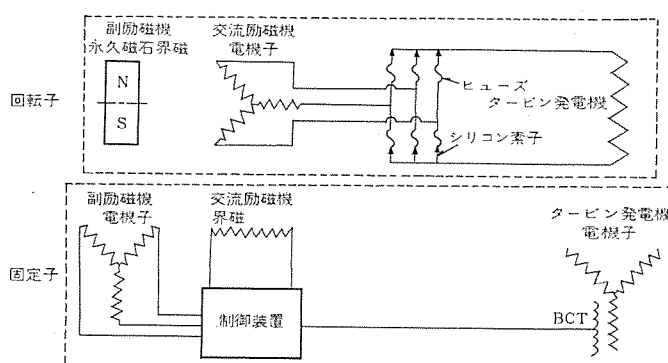


図 4.1 ブラシレス励磁機の原理
Principle of brushless excitation system.

電機機の回転子コイルに供給される。

ブラシレス励磁機では、このように、交流励磁機の電機子、回転整流器および主発電機の界磁が同一軸上に配置されているので、励磁機の交流出力または直流出力を静止部にとりだす必要がなく、したがって、整流子、スリップリング、ブラシなどのしゅう動接触部分がない構造になっている。これは、従来の励磁方式で保守上の大きな負担となっていたカーボンダストの除去、整流子およびブラシの保守などをまったく不要とするものである。また、予備励磁機や予備電機子が不要であること、基礎が簡単になること、軸方向長さがスリップリングの分だけ短くなることなども、ブラシレス励磁機の大きな利点である。

当社は、昭和40年に、わが国で最初のブラシレスタービン発電機を日本カーバイト魚津工場に納め、また、昭和43年には事業用の第1号機として、九州電力大分発電所に278,000kVAを納入したが、その後、自家発、共同火力、事業用を問わず、信頼性が高くメンテナンスフリーの励磁方式として、多数、製作納入してきた⁽²⁾⁽³⁾。今回、鹿島北共同発電に納入したタービン発電機プラントにおいても、上記の実績が認められ、1号機、2号機ともブラシレス方式が採用された。

4.2 励磁機の仕様と構成

励磁機の仕様を表4.1に、また2号機の回転整流器の構成を図4.3に示す。2号機のシリコン整流装置の接続は1S-5P-6Aで、三相全波回路の6アームのそれぞれに、直列に1個、並列に5個のシリコン素子を接続したものである。

整流回路の保護のために、各素子に直列に高速限流ヒューズをつなぎ、万一シリコン素子に短絡が生じて、その素子を回路から切り離して運転を継続できるようにしている。各素子に接続した分圧抵抗は、ブリッジを構成する正極性と逆極性のシリコン素子に、電圧を均等に分担させることを目的としたものである。1号機は、並列数が4個(4P)である点以外は、2号機と同じ構成である。

シリコン素子は三菱SR-200H-24で、定格順電流240A、せん頭逆耐電圧1,200V、過渡せん頭逆耐電圧1,500Vの性能を有する。

整流回路の構成とシリコン素子の定格を決めるには、タービン発電機事故時の最悪条件を考慮する必要がある。シリコン素子の電圧定格と直列個数の選定には、主発電機の同期化時および脱調時に界磁に誘起する電圧が問題となる。前者に対しては、異常電圧発生を限界を計算して安全な範囲で同期投入を行ない、後者の誘起電圧については、シリコン素子の逆耐電圧と直列個数をこれに十分耐えるように選ぶ。今回は、せん頭逆耐電圧1,200Vの素子を各アームに1個ずつ直列に接続すればよいことがわかった。

一方、シリコン素子の電流定格と並列個数の選定には、瞬時過電流の検討ならびに回転中のシリコン素子の短絡に対する予備の考慮が必要である。前者については、シリコン素子の熱過渡特性から考えて、一般に連続最大電流を検討しておけば、過渡状態でも十分である。後者に対しては、各アームの並列素子数に2個の余裕を見込んでいる。すなわち、1号機用340kW励磁機では各アーム4並列素子中2個が、また、2号機用425kW励磁機では各アーム5並列素子中2個が万一パンクしてヒューズにより切り離されても、主発電機の運転には支障を生じない。

なお、回転整流器用シリコン素子の故障率から考えると、素子の取換えは十数年に1回程度と予想される。事実、当社がこれまでに製作納入してきた多数のブラシレス励磁機では、まだ1個のシリコン素子の故障もない。

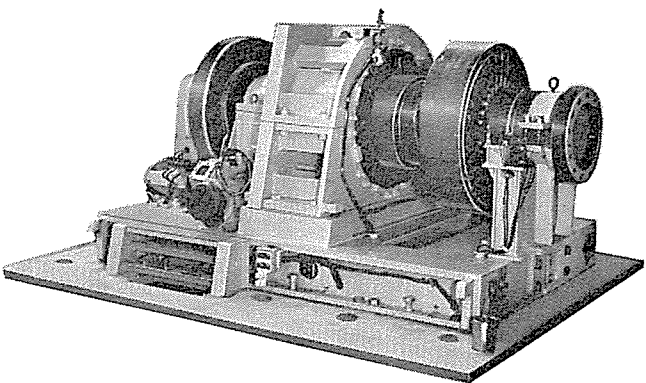


図 4.2 2号発電機用 425 kW ブラシレス 励磁機
425 kW brushless exciter.

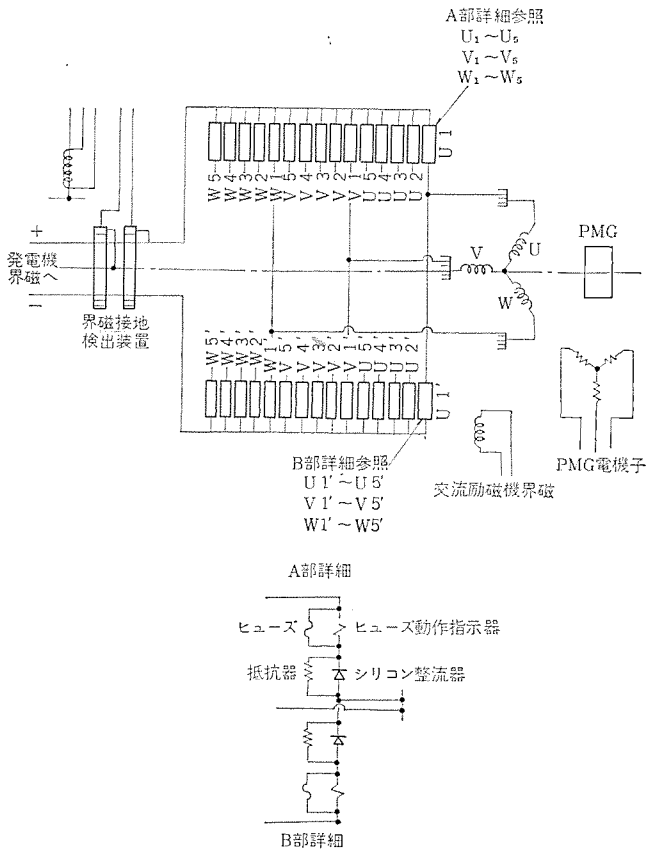


図 4.3 励磁機結線図
Brushless exciter wiring arrangement.

表 4.1 励磁機仕様
Specification of exciters.

		1 号 機	2 号 機
励 磁 機	容 量 kW	340	425
	電 圧 V	375	250
	電 流 A	908	1,700
	回 転 数 rpm	3,000	3,000
	形 式	シリコン整流装置	シリコン整流装置
回 転 整 流 器	構 成	1S-4P-6A	1S-5P-6A
	出 力 kVA	390	490
	相 数	3	3
交 流 励 磁 機	周 波 数 Hz	200	200
	出 力 kVA	10	10
	電 圧 V	125	125
副 励 磁 機	相 数	3	3
	周 波 数 Hz	400	400

4.3 構造

図4.4に2号機のブラシレス励磁機の構造を示すが、1号機の構造もこれとほとんど同様である。主要構成部品は、交流励磁機、回転整流器および副励磁機で全体をハウジングで密閉し、内部に空気冷却器を設けた内冷形であり、これによって基礎を単純にし騒音を低減している。回転子は発電機軸に直結された片軸受支持構造である。

本プラントが半屋外形であることを考慮して、ハウジングは、台板や主発電機との接続部および出入口のとびらの部分などに風雨が吹き込んだり水がたまったりすることのない構造としている。また、基礎内の水素配管などから漏れた水素ガスが、励磁機ハウジング内部に充満するのを防ぐために、ハウジング頂部に水素抜きを設けている。

冷却は図4.4に示すように1個の空気冷却器で行なうが、通風路を交流励磁機の部分と回転整流器の部分とに分け、後者の通風は下部台板を通し、遠心ファンおよび整流器ホイール自体のファン効果を利用して循環させている。

(1) 交流励磁機

交流励磁機の出力(kW)は、励磁機定格出力にシリコン素子などの内部電気損失を加えて決める。また、力率は三相全波整流回路があるので0.9とする。交流励磁機は回転電機子形同期発電機で、突極の静止界磁を有するので多数の積層界磁極を設けることにより、過渡時の応答性を高めることができる。電機子巻線端部には、特殊な耐遠心力構造を取り入れている。

(2) 回転整流器

シリコン素子、分圧抵抗、ヒューズなどの部品は、シリコン素子数が少ないので事業用大容量機とは異なり、1個の整流器ホイールに取りつけることができる。シリコン素子としては、正逆両極性の素子を使用し、正側と負側の整流回路を同一構造としてホイール内面にコンパクトにまとめた。

回転整流器の各種部品は強大な遠心力にさらされるので、これに十分に耐えるようなくふが必要である。たとえばシリコン素子は、

圧縮力に対しては非常に強いので、遠心力がPN接合部に圧縮力として加わるように、全素子をホイール内周に放射状に取り付けている。また素子自体に対しても厳重な形式試験を行なう。すなわち、通常運転時にPN接合部に加わる約100kgの圧縮力の数十倍の荷重で静圧縮荷重試験を行ない、電氣的、機械的特性に異常がないことを確認するとともに、回転試験装置によって実機と同様な荷重を加え、PN接合部のほか、リード、外部ケースなどにも問題がないことを確かめようとして使用している。

高速限流ヒューズは特殊な溶断指示器を有し、ストロボスコープを利用して、回転中でも動作ヒューズの個数と位置を容易に検出できる構造である。すなわち、ハウジングの点検窓をとおして、ホイール端部の円周上に固定されたヒューズにストロボ光線を照射し、周波数を合せて像を静止させ、溶断指示器の動作を確認する方法である。

(3) 副励磁機

界磁に永久磁石を利用した副励磁機は、回転界磁形の三相高周波発電機であり、交流励磁に励磁電力を供給するだけでなくAVRの電源も兼ねている。副励磁機は主軸によって駆動され、回転中は必ず電力を発生するので励磁系に高い信頼性を付与している。

(4) AVR

自動電圧調整器は、出力増幅器としてインバータ形サイリスタを使用しており、これにより、減磁方向にも強力なフォーミングをかけることが可能である。第1段、第2段の増幅器にはマグアンプを使用している。

5. 試験結果

5.1 試験項目

ブラシレス励磁方式の場合には、工場で発電機と励磁機におのの別個に試験用スリップリングを直結し、発電機には外部から励磁電流を供給し、励磁機には負荷を接続して特性を測定する。1号機、2号機とも表5.1に示す標準項目にしたがって試験した。

5.2 発電機の試験結果

2号発電機は、ラジアルベント冷却方式の最初の機械であるので、社内試験では回転子コイル、固定子コイルの温度上昇を特に詳細に測定した(図5.2)。

工場試験では負荷をかけられないため、定格界磁電流を流すことはできないが、定格界磁電流の85%までの電流を流して試験した。

その結果、実測の温度上昇と図2.7の熱回路による理論計算値とは、種々の電流値およびガス圧において実用上十分に一致することがわかった。また、本機と同一の体格の普通水素冷却回転子コイルのデータと比較すると、同一電流密度において、ラジアルベントの温度上昇は普通水素冷却の温度上昇の30%程度に減少している。本機はこの冷却方式の最初の機械であり、設計上の余裕を大きくとったため、定格界磁電流時の回転子コイルの温度上昇は21°Cにすぎず、JEC規格の許容温度上昇84°Cに対し十分の余裕を持っている。

なお、工場試験時には、回転子コイル温度は試験用スリップリングを介して抵抗法で測定したが、現地で励磁機と直結した場合には、工場試験時に実測した界磁電流と温度上昇の関係曲線に基づいて、励磁機界磁電流値から回転子温度上昇を推定する。

運転中の固定子コイル温度の計測は、上口コイルと下口コイルとの間にそう入した測温抵抗体で行なうが、間接冷却方式であるため、銅の素線の温度は対地絶縁の内外の温度差に相当する分だけ温度計

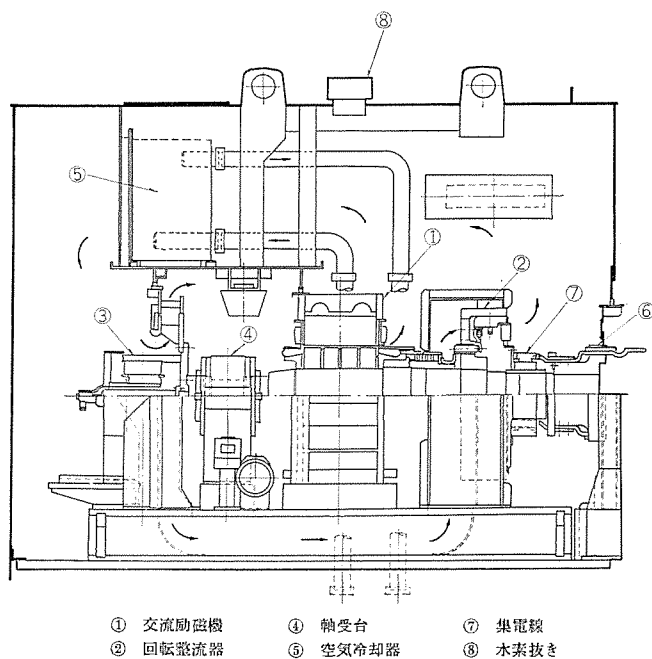


図4.4 2号発電機用ブラシレス励磁機の構造
Brushless exciter assembly.

表 5.1 標準の工場試験項目
Standard shop test items.

	試験項目	発電機	励磁機
1	巻線抵抗測定	○	○
2	絶縁抵抗測定	○	○
3	耐電圧試験	○	○
4	無負荷飽和特性測定	○	○
5	三相短絡特性測定	○	—
6	各種損失測定	○	○
7	リアクタンス測定	○	—
8	軸電圧測定	○	○
9	等価温度上昇試験	○	○
10	過速度試験	○	○
11	GD ² 測定	○	○
12	振動測定	○	○
13	漏れ試験	○	—
14	励磁機速度測定	—	○

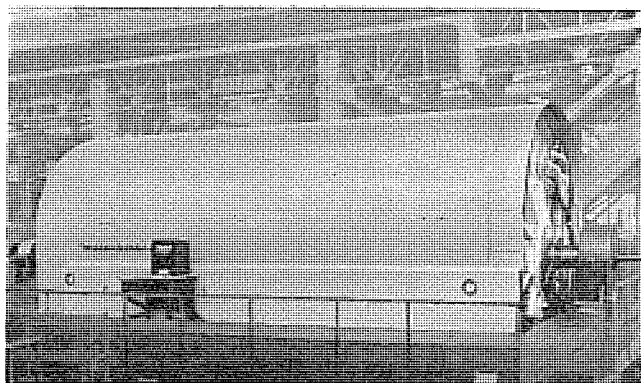


図 5.1 工場試験中の 147,059 kVA 2号発電機
Shop test of 147,059 kVA turbine generator.

ラジアルベント式は鹿児島共同2 147,059kVAの計算値および実測値を示す。
普通水素冷却式は、本機に相当する体積の他の機材についてのデータであり、
界磁電流は、回転子コイルのターン数の比で換算した。

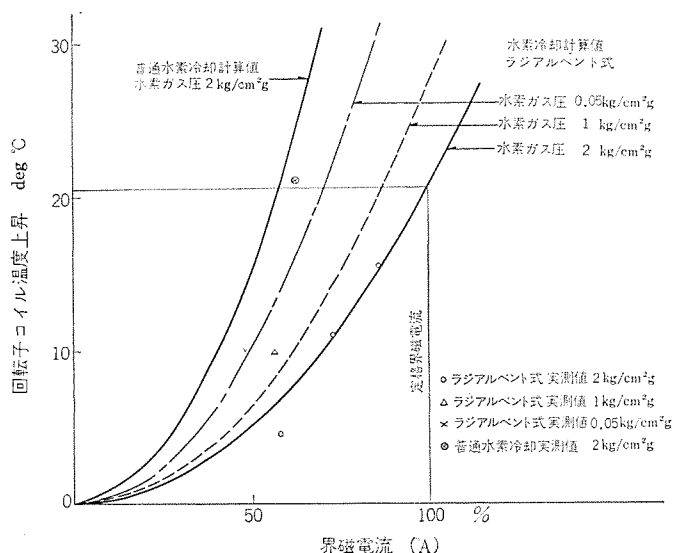
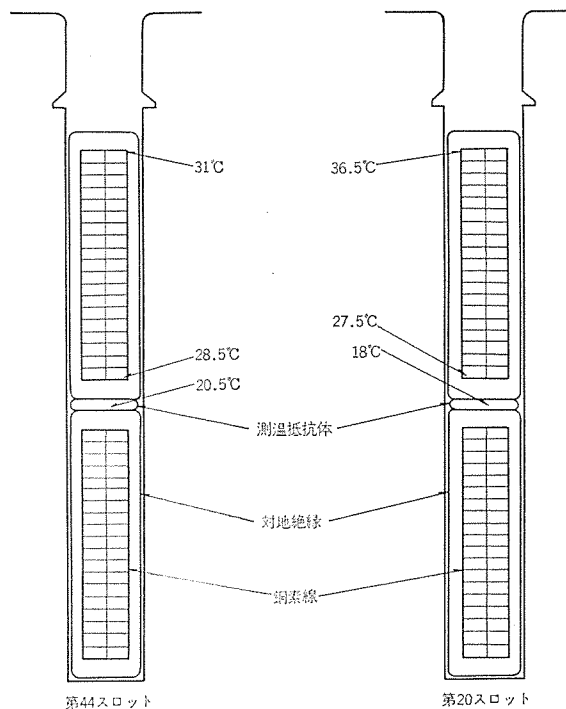


図 5.2 2号発電機の回転子コイル温度上昇
Rotor coil temperature rise of #2 generator.

の指示より高いはずである。この点を確認するため、本機では測温抵抗体と同一断面上で上口コイルの素線に熱電対を取付け、定格電機子電流を流して温度を測定した。その結果(図 5.3)によれば、対



試験条件：低温ガスを基準とした三相短絡ガス圧 2kg/cm²g, 6793A (定格電流)

図 5.3 2号発電機の固定子コイル温度上昇
Stator coil temperature rise of #2 generator.

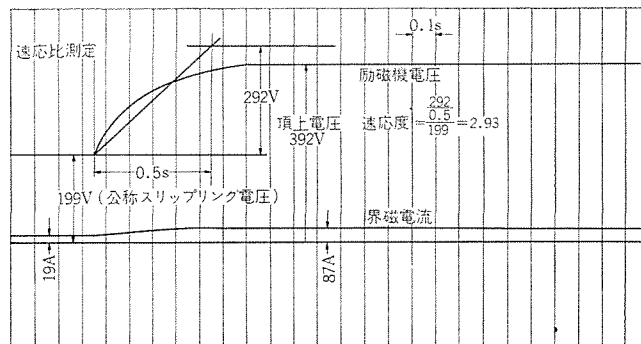


図 5.4 2号機用励磁機の速応度測定結果
Exciter response ratio.

地絶縁をととして約9°Cの温度差があること、ならびに、銅素線の最高温度と測温抵抗体の指示との間には 19°C の温度差がある。一般に、コイル内の温度分布は絶縁の厚さなどの設計諸元によって変わるが、JEC 規格で、測温抵抗体と最高温度の温度差を 19°C とみて測温抵抗体の温度上昇限度を 65°C と規定しているのは、本試験結果によってもほぼ妥当であることがわかる。

工場試験時には三相短絡の状態温度を測定しているのですが、定格負荷時には、鉄損に相当する約 4°C の温度上昇がこれに加わるようになるが、測温抵抗体の指示による温度上昇は 25°C 以下に納まるものと推定され、JEC 規格の 65°C に対して十分の余裕を持っている。

5.3 励磁機の試験結果

図 5.4 は 2号機の励磁機速応度の測定結果である。公称励磁機速応比は、通常の直流励磁機では 1.0 程度であるが、本機では 2.93 という高い値を得た。

6. む す び

本文では今回、鹿島北共同発電(株)に納入した1号機 111,765 kVA、2号機 147,059 kVA の2台のタービン発電機について、ラジアルベント冷却回転子の構造、性能を中心に、水素冷却発電機の一般的構造、水素制御装置およびブラシレス励磁機の概要を紹介した。当社ではすでに、普通水素冷却発電機の標準系列を確立しているが、容量の大きい範囲については今後ラジアルベント冷却を標準として適用する方針であり、鹿島北共同発電向け2号機に引続いて、現在さらに2台の発電機をこの方式で製作中である。

本文が火力発電設備を計画されるかたがたのご参考になれば幸い

である。最後に、本機の製作に関して終始ご指導、ごべん達をいただいた鹿島北共同発電(株)の関係各位に深く感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) 速水：昭和44年電気関係学会関西支部連合大会論文集 G 3-22 (昭44)
- (2) 甲斐，天笠ほか：三菱電機技報 43, 519 (昭44)
- (3) 甲斐：昭和45年電気四学会連合大会 シンポジウム 論文集 S 4-4 (昭45)

EL パネル テレビ

伊吹 順章*・倉橋浩一郎**・新居 宏壬**・池端 重樹**・粟津 健三**

Electric-Luminescent Panel TV

Central Research Laboratory

Sumiaki IBUKI・Koichiro KURAHASHI・Hirotsugu ARAI

Shigeki IKEBATA・Kenzo AWAZU

There is a trend of turning electronic equipment to solid state. In line with it a braun tube has been given the similar change and an EL panel has been charanged for receiving TV images. A number of improvements have been brought about relative to this trial : improvement of manufacturing EL fluorescent materials and EL panels, introduction of memory to scanning circuits, control of brightness by changing pulse numbers, and contrivance to improve the contrast. As a result it has been successful in producing a picture on a panel of 100 mm by 75 mm in size and the number of picture elements 6,400 with the maximum brightness 11 FL (green) and the maximum contrast 10 : 1.

Now study is going on for the increase of the resolution, brightness and contrast. It is believed that the device is applicable to the output indications of a computer.

1 ま え が き

最近の電子材料・IC 技術等の著しい進歩は、数多くの電子機器回路の固体化を可能にし、その小形・軽量・高信頼度化を着々と実現しつつある。テレビジョン受像機においてももちろん IC 化が進みつつある。このような回路部分の固体化に伴って、今までのブラウン管に代わる固体化された映像表示板の出現が、おおいに期待されるようになった。そして以前から Electroluminescence(EL) を用いて、平板上にテレビの映像を受像しようとする試みは、いろいろおこなわれてきた。しかしながら EL の輝度が不十分であること、明るさを増すために電圧を上げると寿命が短くなること、X-Y のマトリクス方式をとるとコントラストが低下すること、走査回路が高価になることなどの理由のため、その実現は困難であるとされていた。

今回われわれは EL 用のけい光体の改良、EL 発光板の製作技術の改良、回路にメモリーを導入することなどにより、普通のテレビ放送をかなり良質の画像で、5 型ブラウン管に相当する大きさの EL 発光板に受像することができたので、ここにその概略について述べる。

なおこの装置の製作に際しては、回路設計および EL 発光板の試作については、中央研究所が担当し、回路およびセットの製作は、京都製作所が担当した。

2. EL 発 光 板

この発光板に用いられた EL は、intrinsic EL (真性 EL) と呼ばれるもので、適当な樹脂の中に特殊なけい光体の粉末を分散させてフィルム状にし、その表裏に平板電極をつけて交番電場をかけると、発光するという原理にもとづくものである。

2.1 けい光体

EL けい光体には $\text{ZnS} : \text{Cu}, \text{Br}$ の粉末を用いた。 Cu は、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ の形で母体 (ZnS) を 1 として重量比で 0.25%, また Br は、 NH_4Br の形で同じく 2.0% 添加した。このようにして準備されたけい光体は、 H_2S ふんい気中で $1,000^\circ\text{C}$ で約 1 時間焼成した。焼成後 NaCN (10 wt %) + NaOH (5 wt %) 中で 1 時間洗浄し、400 メッシュのふるいで分級した。このけい光体の発光色は図 2.1 に示すように青緑

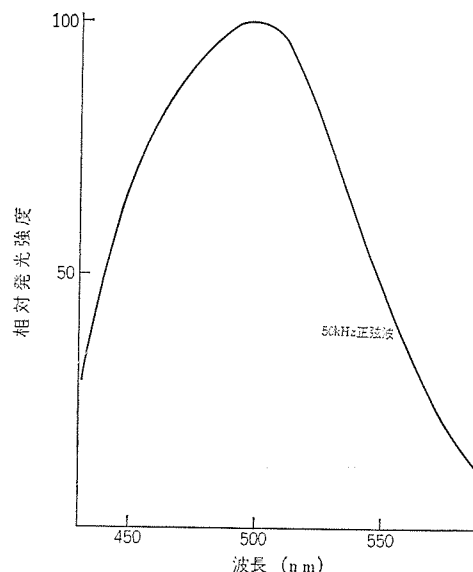


図 2.1 $\text{ZnS} : \text{Cu}, \text{Br}$ の発光スペクトル
Luminous spectrum of $\text{ZnS} : \text{Cu}, \text{Br}$.

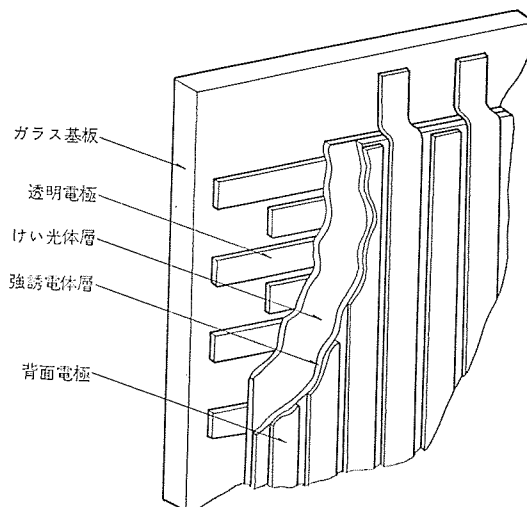


図 2.2 EL 発光板の構造
Structure of EL luminescent panel.

である。発光スペクトルは、一般に励起周波数が高くなるほどそのピークが短波長側に移動し、また発光強度が増してゆく傾向がある。

2.2 EL 発光板の構造

発光板の構造は、図 2.2 に示すようにガラス基板上に通常の X-Y マトリックス方式にした二つの帯状電極群の間に、けい光体層と強誘電体層をサンドイッチ状にはさんだものである。EL の発光は、ガラス基板側にとり出すようにするため、ガラス基板側の帯状電極には透明でなおかつ電導性のあるネリ膜 (SnO₂) を採用した。このネリ膜は横方向の電極にするので、ホトエッチングによって形状は幅 0.80 mm、長さ 108 mm の 80 本の帯状になっている。けい光体層は高誘電率を有する樹脂 (たとえばシアノセルローズ) 中に、前述の ZnS: Cu, Br のけい光体粉末を分散させたもので、適当な有機溶剤に溶かした状態で、スクリーン印刷法によりガラス基板上に塗布した。膜厚は印加電圧を考慮して 40 μm~50 μm とした。

次に強誘電体層であるが、これは耐圧を上げけい光体層に高電界を印加するためのもので、この層にあまり電圧をかけないようにするため、誘電率はできるだけ高いことが望ましい。この EL 発光板では、BaTiO₃ の粉末を有機樹脂中に分散させたものをけい光体層と同じ方法で塗布した。層の厚みは約 10 μm である。なお BaTiO₃ 層は白色を呈しているため、けい光体層背面での光の反射層としての役割も同時にはたしている。けい光体層に電圧を印加するためのもう一方の背面電極は、光を透過させる必要がないのでアルミの真空蒸着膜で作られている。この電極は縦方向 (ネリ電極に対して直角方向) に帯状にしたもので、やはりネリ電極と同じ 80 本で形状は幅 0.95 mm、長さ 83 mm である。これらの電極形状から、EL 発光板の一つの絵素はこの二つの帯状電極の交点にはさまれた部分になり、その形状は図 2.3 に示すように 0.80 mm×0.95 mm、各絵素間の間隔は縦方向に 0.15 mm、横方向に 0.3 mm で、縦横それぞれ 80 個ずつ合計 6,400 個の絵素によって、75×100 mm の大きさの映像表示面を構成している。

EL 発光板から走査変調回路への結線は、ガラス基板から直接おこなうことは困難であるので、プリント基板上にガラス基板をマウントし、コネクタを介して回路部と接続するようにした。このようにして作られた EL 発光板を図 2.4 に示す。発光板の大きさは、154 mm×196 mm、厚みはわずか 3.6 mm でブラウン管にくらべてはるかに薄いものである。

2.3 EL 発光板の特性

一般に intrinsic EL では、パルス電圧を印加した場合は、図 2.5 に示すようにパルス電圧の立上がりりと立下がりとの点で発光するから、発光の励起には急しゅん(峻)なパルス電圧を用い、パルス幅をせまくして繰返しの周波数を高くすることによって、単位時間内に得られる発光強度を大きくすることができる。しかし実際には EL の発光の立上がり、印加電圧の立上がりに対して数 μs のおくれを生じるため、あまりパルス幅をせまくすると、逆に発光強度は低下してゆく傾向がでてくる。実際図 2.6 にパルスの duty を 50% にして、パルス幅を変えていったときの EL 発光板の発光強度が示すように、パルス幅が 7 μs ぐらいのときが最も明るく、それよりせまくなると発光の立上がりのおくれにより、またそれより広い幅のパルスでは、単位時間内の発光回数の減少のためそれぞれ輝度が低下してゆく。

intrinsic EL の発光強度の電圧依存性は

$$L=L_0 \exp [V_0/V]^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.1)$$

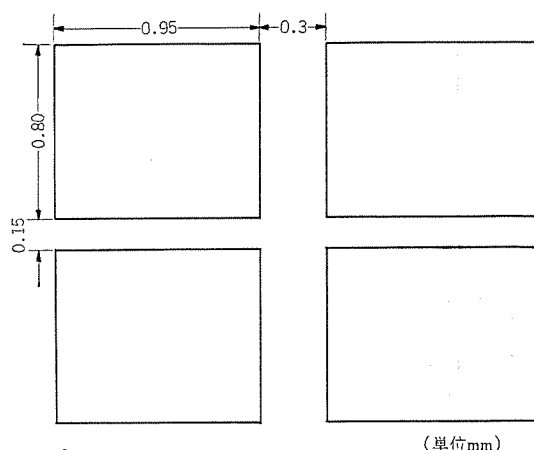


図 2.3 絵素の形状
Configuration of picture element.

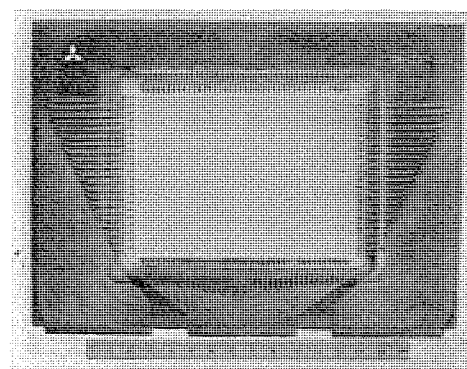


図 2.4 EL 発光板
EL luminescent panel.

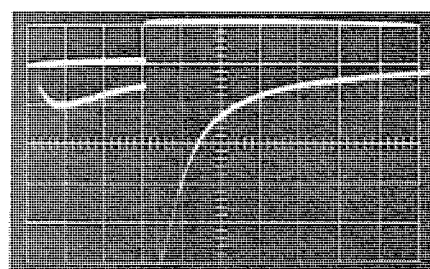


図 2.5 EL の発光波形
(上: 電圧波形 下: 発光波形 横軸一目盛 2 μs)
Luminescent waveform of EL

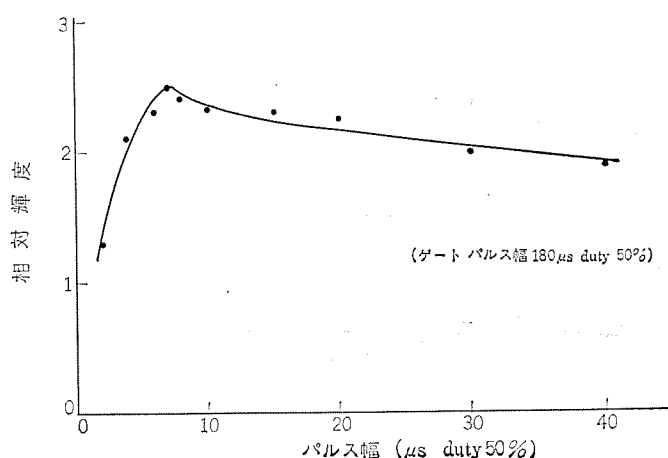


図 2.6 パルス幅と輝度の関係
Relation between panel width and brilliancy.

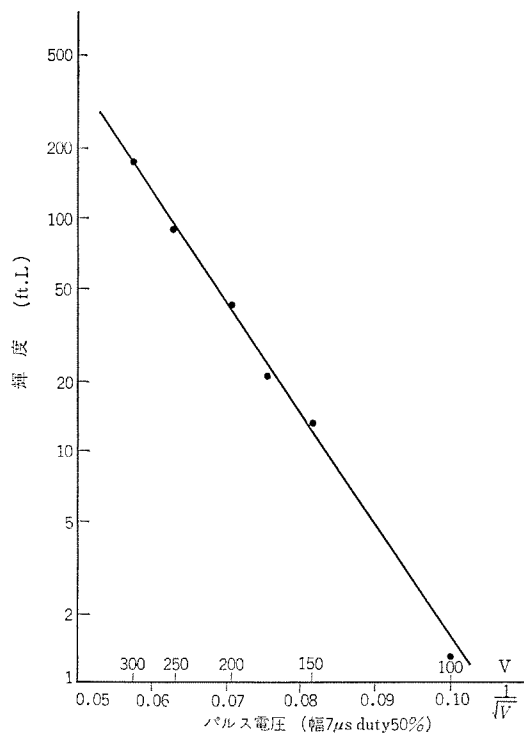


図 2.7 EL 発光板の電圧輝度特性
Voltage brilliancy of EL luminescent panel.

ただし、 L_0 , V_0 は定数である。

の関係がある。この EL 発光板では、 $7\mu s$ の幅で duty 50% のパルス電圧に対して図 2.7 に示すように変化する。

3. 輝度変調および走査方式

以上に述べた EL 発光板の特性を考慮して、TV 映像表示回路は、次のような機能をもつものにした。

(1) 標準 TV 信号から水平同期信号、垂直同期信号およびビデオ信号を取出し利用する。

(2) 走査線 80 本で全画域をまかなうため、TV 信号の三水平走査に一度の割合でビデオ信号を抽出する。

(3) 輝度を上げるため、一絵素あたりの励起時間を最大三水平走査時間 ($180\mu s$) まで引き延ばす。

(4) 輝度変調は、各絵素の励起時間 (発光回数) を変えることでおこなう。

(5) 励起パルスは $7\mu s$ 幅、duty 50% およびパルス電圧 420 V ($300 V + 120 V$) のものを使用する。

(6) 走査方式は線同時選択走査とする。

標準 TV 信号の 1 H (一水平走査時間) は、約 $63\mu s$ でこれを 80 本の EL 発光板電極に分割すると、一電極あたりの選択時間は $1\mu s$ 以下となる。前述のように EL 発光板が $1\mu s$ 以下のパルスでは非常に暗いので、何らかの形で信号を時間的に保持するためのメモリー回路が必要となる。今回試作した装置では、このメモリー時間を変化させることにより輝度変調の働きをもたせている。

一般に EL 発光強度を制御するためには、励起電圧を変えることが最も普通の方法であるが、図 2.7 に示した EL 発光特性からわかるように、EL の電圧-輝度特性は直線ではない。さらにアナログ電圧をスイッチすることは、回路的にもかなりめんどうであるので、励起時間変化 (あるいはパルス数変化) による輝度変調を採用した。図 2.8 に、パルス数変化による EL 発光板の輝度変調特性を示す。

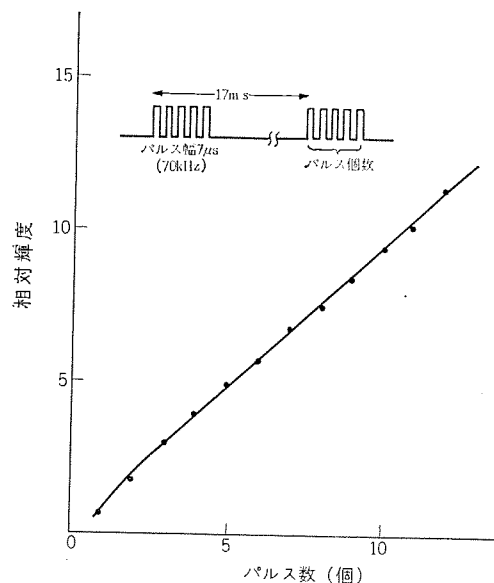


図 3.1 パルス数変化による EL 板の輝度変調特性
Brilliance modulation of EL panel by changing pulse number.

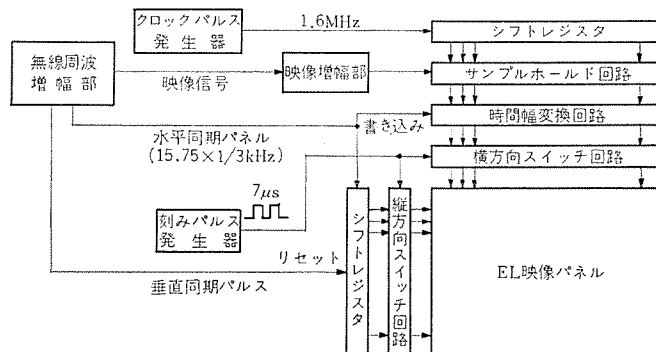


図 3.2 EL 発光板 TV 映像表示装置
EL luminescent panel TV image display device.

これは EL が最も効率良く発光する $7\mu s$ 幅のパルスを一定個数ずつ $17ms$ ごとに印加し、パルス個数対輝度の関係を測定したものである。ここで $17ms$ は標準 TV の 1 フィールド時間である。この図 3.1 の関係がほぼ直線であることから、パルス数変化による輝度変調が容易であり、しかも $7\mu s$ 幅のパルスを用いることにより、最大の発光エネルギーを得ていることがわかる。

図 3.2 は試作した TV 映像表示装置のブロック図である。まず水平・垂直走査パルスを IC によるシフトレジスタで発生し、水平シフトレジスタの出力はサンプルホールド回路に入り 1 H の間、入力映像信号を順次サンプルホールドする。サンプルホールド回路の出力は、別に発生した 3 H ほどの書き込みパルスで同時に次の時間幅変換回路に入る。時間幅変換回路は、書き込まれたサンプルホールド電圧に比例した幅のパルスを発生し、それぞれ対応する横方向高圧スイッチを駆動する。結局横方向高圧スイッチ回路は、サンプルした映像信号電圧に比例した個数の $7\mu s$ 幅パルス (パルス電圧約 $120 V$ 一定) を発生して、それぞれに継がれる EL 発光板の縦電極を駆動して輝度変調の機能をはたす。

一方垂直走査シフトレジスタに継がれる縦方向高圧スイッチ回路は、3 H ($180\mu s$) の間 $-300 V$ の負電圧パルス ($7\mu s$) を発生しながら、順次下方に出力を移行して EL 発光板の垂直走査を行なう。このように縦・横各スイッチ回路で選択され、1 ラインが同時に発光点として選ばれる、いわゆる線同時選択方式による走査が行なわれる (図 3.3 参照)。なお TV 信号と表示画像の関係を図 3.4 に示す。

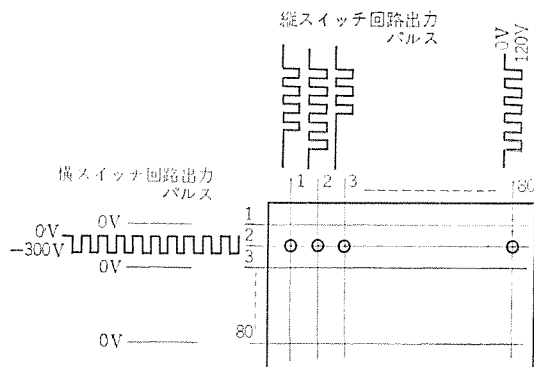


図 3.3 線同次選択方式による EL 発光板の走査
(上図○部分が同時に発光を開始する)
Scanning of EL luminescent panel by simul selection of lines.

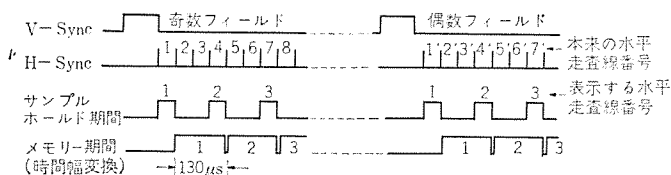


図 3.4 TV 信号と表示画像の関係
(画面書換 サイクル 60/s, 最大 メモリ 時間 180 μ s)
Relation between TV signals and displayed image

4. 走査回路

図 3.2 に示した走査装置を実現するために要した回路は、表 4.1 のとおりである。走査装置の主要部となるのは、縦・横各シフトレジスタと高圧スイッチ回路、および横方向高圧スイッチを駆動する 80 個のサンプルホールド 1 時間幅変換回路である。このうちシフトレジスタは当社製 IC、M 5373 で実現し他はトランジスタによる構成となっている。回路設計上特に留意したのは電力消費の点で、同一回路が多数必要ことから、部品点数ができるだけ少なくなること、および実装密度を上げ装置の小形化をはかることに十分な注意をはらって設計した。以下主要回路を簡単に説明しておく。

図 4.1 は横方向高圧スイッチ回路を示し、図において端子 1. には映像信号電圧に比例した幅の時間幅パルスが加えられ、端子 2., 3.

表 4.1 走査変調装置に要した回路
Circuit used for scan modulator.

回路の名称	個数 あるいは容量	仕様
横方向シフトレジスタ	80 ビット	クロック周波数 1.6 MHz
縦方向シフトレジスタ	80 ビット	クロック周波数 15.75/6 kHz
サンプルホールドおよび時間幅変換回路	80 個	サンプルパルス 0.6 μ s ホールド時間 63 μ s 変換時間幅 0~180 μ s
横方向高圧スイッチ回路	80 個	出力電圧 150 V パルス幅 7 μ s
縦方向高圧スイッチ回路	80 個	出力電圧 -300 V パルス幅 7 μ s
映像増幅回路	1 個	ゲイン 30 dB 帯域 30 Hz~2 MHz
クロックパルス発生器	1 個	1.6 MHz
TV 受像機無線周波部	1 個	Video OUT 1 V H-Sync., V-Sync. 5 V
走査制御回路	1 個	
電源回路	1 個	非安定, 全 100 W

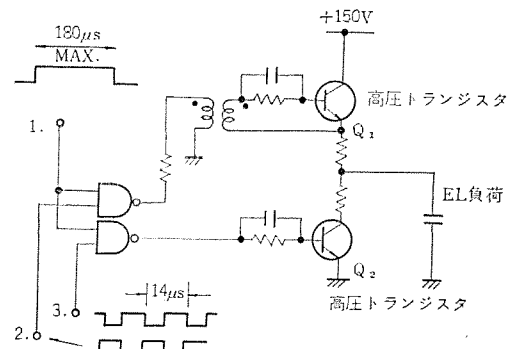


図 4.1 横方向高圧スイッチ回路
Horizontal high voltage switch circuit.

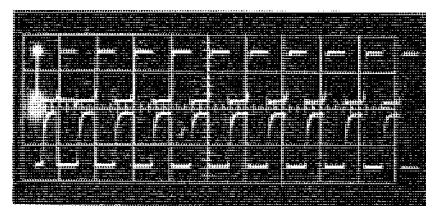


図 4.2 EL 駆動波形 (H : 10 μ s/div, V : 100 V/div)
(上 : 横方向高圧スイッチ回路出力
下 : 縦方向高圧スイッチ回路出力)
EL drive waveform.

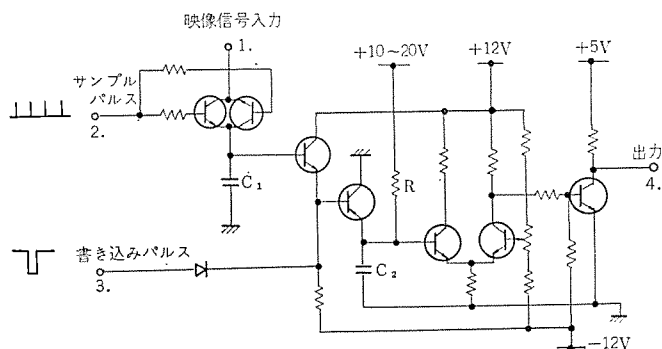


図 4.3 サンプルホールドおよび時間幅変換回路
Sample hold and time width changing circuit.

には 7 μ s 幅のチョップパルスを印加する。この入力により Q₁ が ON のときに Q₂ は OFF、Q₁ が OFF のときは Q₂ が ON となり、原理的に Q₁ と Q₂ が同時に ON となることはないから、回路自体に流れる電流がゼロとなり、回路での消費電力を原理的にゼロと成しうることになる。実際はこのような回路構成においても、トランジスタの過渡応答が理想的でないため、回路自体でのある程度の電力消費が生ずるが、各種の対策を導入して約 70% の効率を得ている。図 4.2 にこの回路の出力パルス波形を示す。

図 4.3 はサンプルホールドおよび時間幅変換回路を示し、0~3 V の映像信号を幅 0.6 μ s のサンプルパルスでサンプルホールドした後、映像信号振幅に比例した 0~130 μ s のパルス幅に変換するものである。図において入力映像信号を端子 1. に加え、サンプルパルスを端子 2. に印加する。サンプルパルスにより映像信号電圧が C₁ に保持された後、端子 3. に加わる書き込みパルスにより C₁ の保持電圧が C₂ に移動する。C₂ の端子電圧は抵抗 R を通じて放電するが、C₂ の端子電圧が一定電圧に低下するまでの時間を時間幅信号として差動回路により取出している。この回路の動作特性はほぼ表 4.2 のとおりである。図 4.4 に動作例を示す。約 50 mW の低消費電力である点が一つの特

表 4.2 サンプルホールド および時間幅変換回路の特性
Characteristics of sample hold and time width changing circuit.

最小 サンプルパルス幅	150 ns
最大 ホールド 時間	200 μ s (2% 低下)
書 込 パルス 幅	0.5 ~ 5 μ s
人 力 映 像 信 号 電 圧	0 ~ 3 V
精 度	5 %
消 費 電 力	50 mW

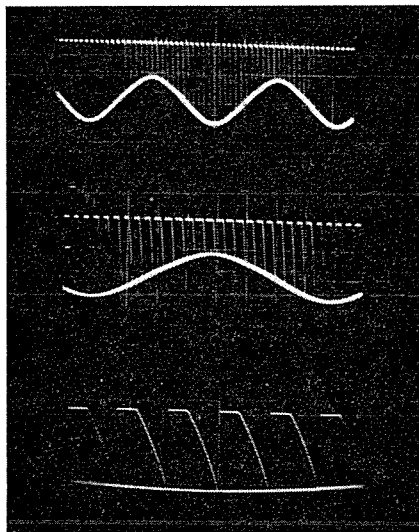


図 4.4 サンプルホールド、時間幅変換の動作例
(V : 1 V/div, H : 400 μ s/div)
(正弦波の時間幅変換, 各正弦波下方
の水平ラインが時間幅に変換される)
Operation example of sample hold and time width changing.

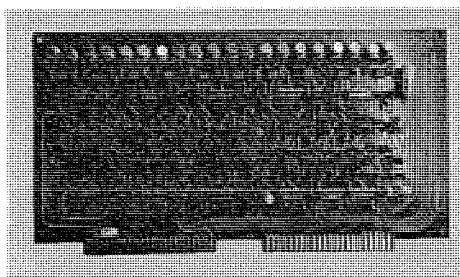


図 4.5 回路の実装例
(シフトレジスタ+サンプルホールド+時間幅変換+高圧スイッチ回路)
 $\times 10$ 回路

Practical example of circuit

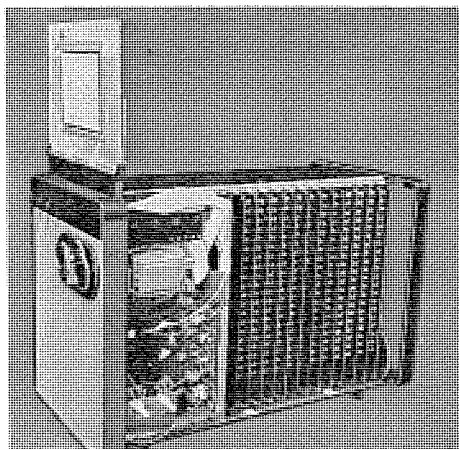


図 4.6 5" 薄形テレビの実装
Actual setup of 5" TV

長である。

装置を構成する回路の大部分はここで述べた高圧スイッチ回路、サンプルホールド1時間幅変換回路およびシフトレジスタであるが、これら回路の部品点数を少なくすることとともに回路の実装法が装置の大きさをかなり左右する。図 4.5 は横方向高圧スイッチ回路、サンプルホールド1時間幅変換回路、およびシフトレジスタのそれぞれ 10 回路分を一括して1枚のカードに収めたもので、装置は全体として、このカード8枚と縦方向スイッチ回路に属する4枚、および LOGIC 回路、VIDEO AMP の各1枚、計 14 枚のカードで構成されている。図 4.6 は装置の実装状態である。

5. テレビの受像

このような X-Y マトリックス 方式による EL 発光板を用いたテレビの受像における大きな問題は、各絵素間の容量性の結合による選択点以外の発光、すなわちクロストークをいかに防ぐかということである。その理由は、このようなクロストークの存在のため映像のコントラストの低下をまねくからである。

いま図 5.1 に示すような X 方向に m 本、Y 方向に n 本の帯状電極をもつ原理的な構造の EL 発光板を考えたとき、パルスの極性によって輝度が変わらないとすると、前節で述べた回路を用いて走査をした場合、線 X_i と Y_j に電圧を印加したとき、 X_i および Y_j の交点の絵素の 1 フィールドの走査内における輝度 $L_{i,j}$ は

$$L_{i,j} = N_{i,j} l_{V_1+V_2} + (M - N_{i,j}) l_{V_2} + \left(\sum_{m \neq i} N_{m,j} \right) l_{V_1} \dots \dots (5.1)$$

で表わされる。

ここで $N_{i,j}$: Y_j に印加される映像信号パルスの数

M : X_i に印加されるパルスの数

$l_{V_1+V_2}$: 1 本のパルス電圧 ($V_1 + V_2$) による EL の輝度

l_{V_1} : 1 本のパルス電圧 V_1 による EL の輝度

l_{V_2} : 1 本のパルス電圧 V_2 による EL の輝度

いま、問題を簡単にするため、画面の上半分が明るく下半分が暗いパターンを表示する場合を考えると、明るい画面にある一つの絵素の 1 フィールド内の輝度 L_1 は

$$L_1 = N_{i,j} \left\{ l_{V_1+V_2} + \left(\frac{m}{2} - 1 \right) l_{V_1} \right\} \dots \dots (5.2)$$

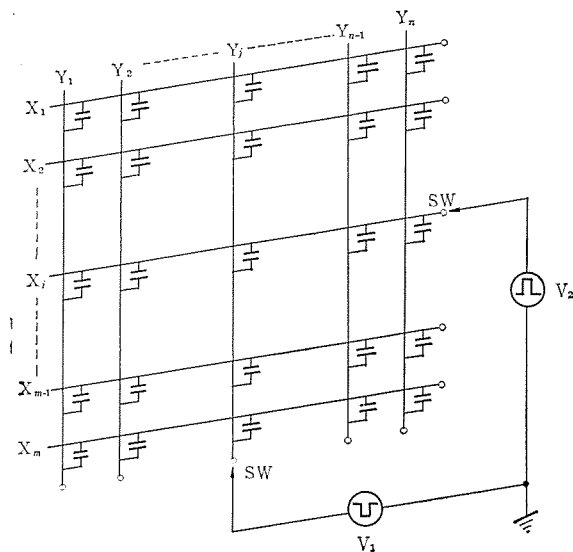


図 5.1 EL 発光板の等価回路
Equivalent circuit of EL luminescent panel.

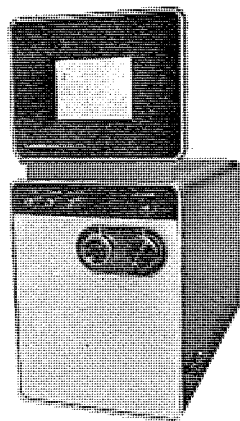


図 5.2 EL 発光板テレビの外観
Exterior view of EL luminescent panel TV.



図 5.3 テレビ画像の一例
Example of TV picture.

同様に暗い部分の一絵素の輝度 L_2 は

$$L_2 = M \left(l_{V_2} + \frac{m}{2} l_{V_1} \right) \dots \dots \dots (5.3)$$

となる。このようなパターンを表示する場合は $N_{x,y} = M$ となるから、明るい部分と暗い部分との輝度の比、すなわちコントラストは

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{l_{V_1+V_2} + \left(\frac{m}{2} - 1 \right) l_{V_1}}{l_{V_2} + \frac{m}{2} l_{V_1}} \dots \dots \dots (5.4)$$

となり、単純には絵素数を増すとコントラストが低下する。しかし一般に表示される画面はこのような簡単なパターンではないので、その計算は非常に複雑なものとなって定量的に求めることは困難である。

さらにコントラストは、たとえば式(5.4)をみてもわかるように V_1 と V_2 の値によっても大きく変わる。実験的に求めた結果では、 V_1 と V_2 の比を 1 : 3 ぐらいにしたとき、種々のパターンに対して比較的良好なコントラストが得られた。図 5.2 に装置の外観を、また図 5.3 にテレビを受像したものの一例を示す。このような EL 発光板によるテレビの映像表示において得られた最大輝度は 11 Ft-L、コントラスト比は約 1 : 4 であった。

このコントラストは V_1 と V_2 の比を 1 : 3 程度にして得たものであるが、各絵素に直列にインピーダンスが電圧に対して非直線性を示すよ

うな物質をそう入することによって、さらによりコントラストをうるることができる。実際背面電極と強誘電体層の間に非直線インピーダンス層をそう入することによって、コントラスト比を 1 : 10 程度に改善することができた。ただこのような層をそう入したものでは、その層での電圧降下があるため、外部からの印加電圧を上げなければ EL 層に印加される電圧が低下することになるので、全体的な輝度の低下をまねくといった問題が生じてくる。

6. 今後の問題

性能のうえでは今後まだまだ改善すべき点が多く、その課題としては次のようなことが考えられる。

(1) 明るさを増すこと

これには EL 発光板の製法や励起法の改良、またけい光体の改良などが考えられる。

(2) 画面を大きくし分解能を上げること

12 型ブラウン管に相当する大きさのものを試作した。これの詳細については別の機会に述べるが、画面寸法は 200 mm × 250 mm、絵素数は 200 × 250 個である。これによって画面の大形化と分解能の向上が達成されたが、現在の走査方式では絵素数の増加によって 1 絵素あたりの発光時間が短くなり輝度が低下する。そのため発光時間を延ばすためのメモリーを導入し、また回路が大きくなるので IC 化を進める必要がある。

(3) コントラストを向上させること

非直線性インピーダンス層をそう入することにより改良されつつある。

(4) 走査回路を小形化すること

(5) カラー化すること

7. む す び

以上試作した EL 発光板を使った映像表示装置の概略について述べた。ここでその特性についてまとめておく。

EL 発光板は通常の X-Y マトリックス方式で、二つの帯状電極の間に ZnS : Cu, Br のけい光体層と BaTiO₃ の誘電体層をはさんだものである。映像表示面の大きさは 75 mm × 100 mm で絵素数は 6,400 個、発光板の厚みは 3.6 mm である。走査回路は 80 個の回路的なメモリーを内蔵し、映像信号はパルス数変調にしてシフトレジスタによって走査した。この回路を用いてテレビを受像したときの最大輝度は 11 Ft-L、コントラストは約 1 : 4 (非直線性インピーダンス層をそう入すれば 1 : 10) となった。今後さらに画面を大きくし、輝度を上げる必要があり、また解像度やコントラストの向上が必要となってくる。このような表示装置は画面にひずみがないこと、デジタル処理に適しているから計算機の出力量表示をはじめ各種装置の端末素子として、これから大きな需要が予想され、今後の発展が大いに望まれる次第である。

末筆ながら本研究の遂行に対してご激励ご援助をいただいた本社技術管理部・商品事業部・商品研究所・京都製作所・通信機製造所、および中央研究所のかたがたに対し厚く謝意を述べる。

計算機による布線検査の自動化

小島 一男*・上野 靖彦*・渡辺 照久*・斎藤 正宏*

Automatic Wiring Verifiers by Digital Computers

Kamakura Works

Kazuo KOJIMA・Yasuhiko UENO・Teruhisa WATANABE・Masahiro SAITO

The problem of automatization in the step of manufacturing and testing electronics equipments is drawing keen attention recently from the viewpoint of the labor saving and rationalization. Automatic verification of the wiring constitutes a part of the automatic system in design, manufacture and test.

The automatic wiring verifier described herein has performance which is capable of completing the wiring verification on the apparatus under test of 20,000 pins in about 15 min. The wiring information is read in from the magnetic tape of the computer, and the error messages are printed with the line printer.

This article introduces the hardware and software of a completely automatized AWV by the computer now in practical use.

1. ま え が き

最近電子装置の製造および検査の段階における自動化の問題は、省力化と合理化の観点より非常にやかましく取り上げられている。この分野は、従来のエレクトロニクスメーカーをはじめ、計測機械メーカーなどが、半自動または計算機による全自動化を目標に市場開拓に努めている。

布線検査の自動化も、設計・製造・検査の自動化システムの一部を構成するものであるが、基本方式として大別するとつぎのようになる。

(1) 従来の布線検査の作業工程の一部を、専用の半自動専用テストに置換し、作業時間・コスト・人員の削減をはかる。

(2) はん用の比較的小形の電子計算機を専用テストとして利用し、検査の自動化をはかる。

(3) 中・大形電子計算機を中心として、設計・製造・検査の製造合理化のトータルシステムによる完全自動化をはかる。

上記(1)、(2)は製造および検査の過程で部分的に省力化と合理化をはかることを主体として考えられる。たとえば布線の作業や布線検査の作業を従来のような人手で行なった場合と、専用の自動化または半自動の布線機や専用の布線検査機で行なった場合とを比較して、どちらが経済的であるかに依存している。この場合最近、布線検査を合わせて省力合理化をはかる方向に実用化されている傾向にある。

図 1. 1 に示す配線指示器は、ワイヤリストにより作成された配線(ラッピング)を指示する紙テープによって配線の始点と終点が表示器に表示される。作業者は、この指示によって配線作業をするわけであるが、誤配線をした場合は、警告を発するとともに紙テープが進行せず、次の指示を表示しないようになっている。正しい配線がされた場合は、確認ブザー音を発するとともに、製造・検査の生産部門全体の合理化システムに基づいて行なわれる検査部門の自動省力化に主体が置かれている。したがってシステム設計的に全体の流れや訂正の容易さなども留意されているのが普通である。

従来の一般的傾向としては、製造および検査の自動化は、単純作業または同一作業の繰返し性のある作業の過程を自動化することにより、コストダウンの有力な手段と考えられてきたが、最近の省力化の

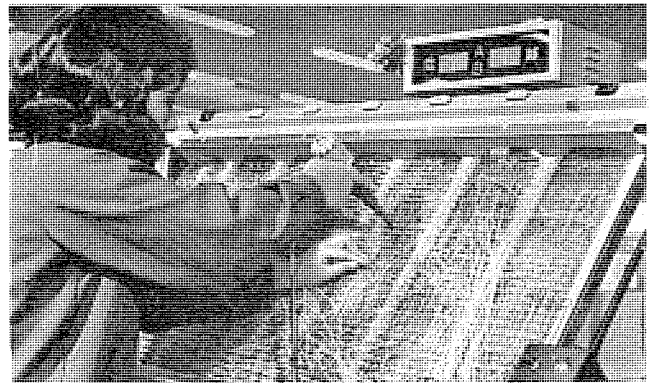


図 1. 1 配線指示器による布線作業
Semi-automatic wiring with location indicator

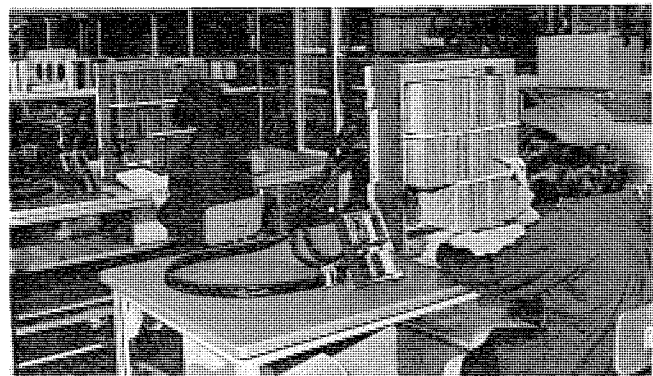


図 1. 2 ランプカードによる布線検査
Manual wiring check with lamp card

ねらいは単なる人工節約によるコストダウンでなく、むしろ品質の向上に期待せざるを得なくなってきた。

すなわち、最近の集積回路化による論理素子 IC の出現により、今日まで実現できなかった論理回路の高速化・高密度化が可能となり、このためには従来の人手による設計・検査作業では possible の限界を越えてきた。一例としてすべての布線について布線長を計算し、その結果によって布線経路や線材の決定を行なっているが、数千本から 1 万本を越える装置については従来のように人手のみでは不可能なことである。しかしこれを遂行しないかぎり品質が保持され

ない今日の状態では、極言すればコストはいくら高価になっても、自動化を推進せざるを得ないとも言える。

本文においては現在実用化されている計算機による完全自動化布線検査装置について、そのハードウェアとソフトウェアの紹介をする。

2. 自動化布線検査装置

2.1 概要

ここに紹介する自動布線検査装置 (AWV : Automatic Wiring Verifier 図 2.1) は計算機を使用し、17,000ピン程度の被検査装置の布線検査を、8分程度で検査できる性能をもっている。布線情報は計算機により、磁気テープから読み込まれ、結果はラインプリンタに出す。

この装置は入力情報として磁気テープを使用し、磁気テープには、被検査装置の布線情報 (信号名とピン番地) が記録されていて、同一信号名のピンがブロック別に分類される。この磁気テープを読み、同一信号ブロックの最初にできたピンを基準ピンとして選択し、電位 (-12V) を与え指定されたピンまで走査することにより、基準ピンと配線されているピンを検出し、検出した結果を計算機に読み込み、布線情報テープの同一信号名のピン群と比較し合否を判別しメッセージアウトする。

スキャナ装置は、スキャナ制御部にスキャナを最大8台まで接続することができ、各スキャナは2,160ピンの容量をもつため、最大17,280ピンの配線検査を同時に行なうことができる。

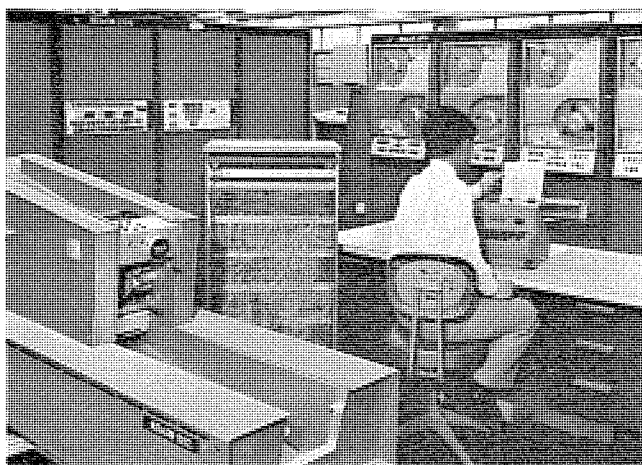


図 2.1 自動布線検査装置
Automatic wiring verifier.

表 2.1 布線検査用計算機性能 (MELCOM-1530)
Computer specification of AWV.

項	目	性	能
演算制御			
語の構成		18ビット+パリティビット	
命令形式		多番地方式	
命令語長		可変長	
命令種類		基本 300	
命令方式		ロガンド	
インデックスレジスタ		有 (メモリー部使用)	
演算速度			
加減算		6 μ s (固定)	
メモリー			
容量		8~32 k 語	
サイクルタイム		6 μ s	
周辺機器			
磁気テープ		41.7 kc (556 BPI)	
タイプライタ		15.5 字/秒	

2.2 スキャナ装置

2.2.1 スキャナ制御部

図 2.2 にスキャナ装置の構成をブロック図に示す。大別してスキャナ制御部、スキャナ部、スキャナ部と被検査装置を接続する接続器に分けられる。

スキャナ制御部は計算機からの命令 (Set-L, Set-P, Set-S) と、指定ピン情報・基準ピン・起動ピン情報を受け取り、それぞれ L レジスタ・P レジスタ・S レジスタにたくわえられ、つぎのように使用される。

L レジスタの内容は、接続ピン検出カウンタ (S レジスタ) のカウントアップ動作の終点を X 部 (ピン番号)・Y 部 (列番号)・Z 部 (段番号) に分けて示す。このため S レジスタのインCREMENT 動作に使用される情報が保持される。

P レジスタは基準ピン情報がはいる、リセット命令がくるまでそのデータを保持する。データを受け取ると、X, Y, Z の3ブロックに分けて、スキャナ部に実装されている基準ピン選択リレーを駆動し、最大17,280ピンのうちの1ピンを選択し電位 (-12V) を与える。

S レジスタは接続ピン検出カウンタであり、P レジスタで示された基準ピンと接続されているピンを検出する際に使用される。接続ピンの検出動作を始める際、通常はクリアされているが、もし最初のほうのピンを検出する必要がない場合は、S レジスタに起動ピン情報をセットすれば、そのピンにより L レジスタで示されたピンまで検査が実行される。

P レジスタで示された基準ピンの選択がなされると、接続ピン検出動作が開始される。接続ピン検出動作は、基準ピン選択と同様に S レジスタを X, Y, Z の3ブロックに分け、Y, Z をスキャナ部に送出している。Z によりスキャナ8台のうち1台を選択し、Y により選択さ

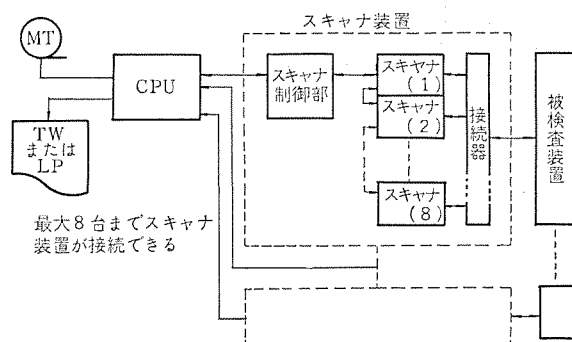


図 2.2 布線検査装置ブロック図
Block diagram of AWV.

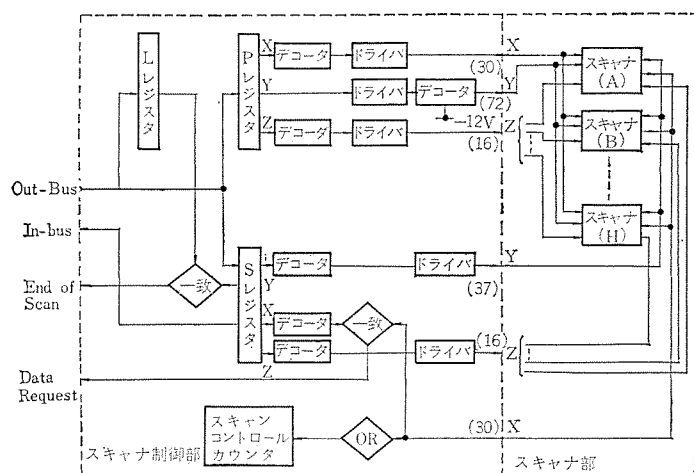


図 2.3 スキャナ装置ブロック図
Block diagram of scanner equipment.

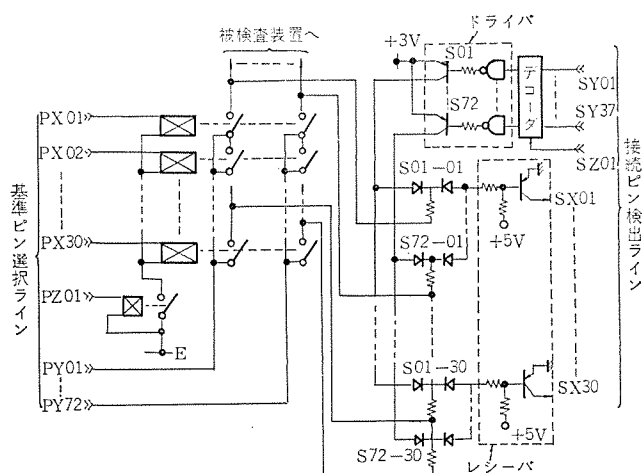


図 2.4 スキャナ部ブロック図
Block diagram of scanner.

表 2.2 自動布線検査装置性能
Specification of AWV.

項	目	性	能
検 査 ピ ン 数		最 大	17280
検 査 速 度			10,000 ピン/8 min
スキャナ	基準ピン検出時間		100 ms/ピン
	接続ピン検出時間	X スキャン	1 μ s/ピン
		Y, Z 選択	5 μ s

れたスキャナの2,160ピンのうちカードコネクタの1列のピン数が選択され、選択された一列のピンの情報がスキャナ制御部に送られてくる。スキャナ制御部では送られてきたピンの情報の“OR”をとり、もし基準ピンと接続されているピンがあれば、スキャンコントロールカウンタにより、SレジスタのX部のインクリメントを行ない、一列のピンのうち基準ピンと接続されているピンを検出する。検出されると計算機に対し、データリクエストを発生しSレジスタの内容を送る。X部のカウントアップはLレジスタのX部で示された数値情報まで続けられる。もし、“OR”をとった結果基準ピンと接続されているピンがなければ、X部のカウントアップは行なわれずにY部のカウントアップを行なう。このようにして、SレジスタのY部がレジスタのY部と一致したとき、SレジスタのZ部のカウントアップがなされる。Y部同様にSレジスタのZ部とLレジスタのZ部、およびY部が一致する一つの基準ピンに対する接続ピン検出動作が終了し、計算機に対して、スキャン終了信号を送り、つぎの基準ピン選択タイミングにすむ。

2.2.2 スキャナ部

スキャナ部は基準ピン選択リレーと、接続ピン検出のためのダイオードゲート、およびそれらを制御するドライバ/レシーバ回路から構成されている(図2.4はスキャナの1ブロックを示す)。スキャナは、X側30、Y側72に分かれている。このためスキャナ1ブロックでは、2,160ピンまで検査することができ、このブロックは最大8ブロックまで(17,280ピン)接続できる。

(a) 基準ピン選択方法

スキャナ制御部よりのブロック選択線、X選択線、Y選択線により選択が行なわれるが、スキャナに実装されているリレーはX選択とZ選択線により、30個のリレーのうち1個が選択される。Y選択線は選択されたラインが-12Vの電位となり、選択されないラインはオープンとなっている。このため、X、Zにより選択された72ピンのうちの1ピンが-12V電位に保たれ、選択されないピンはオープンと

なっている。

基準ピンが選択されると、そのピンと配線されているピンは、基準ピンと同一電位に保たれる。リレーの接点容量は基準ピンに配線されているピンが750ピンまで可能な容量となっている。もし、750ピン以上接続されているとY側の-12V電源の過負荷検出回路により、-12Vがoffとなる。リレーは接触抵抗の小さいものを用いている。また、リレーの各接点からは被検査装置への接続線がでている。

(b) 接続ピン検出方法

基準ピン選択リレーにより-12V電位に保たれた基準ピンと、被検査装置上で布線により接続されているピンは、基準ピンと同様に-12V電位に保たれ、基準ピンと布線されていないピンはオープンとなる。

接続ピンの検出は基準ピン選択方法と同じようにX、Y、Zに分けられ、スキャナはY選択線、Z選択線により選択されたX(30ピン)情報をスキャナ制御部に送る。各スキャナ(最大8台)のX情報は、“Wired OR”されてスキャナ制御部に送られる。Z選択線によりスキャナが選択され、Y選択線により選択された2,160ピンのうちの30ピンが選択される。図2.4でSZ01とSY01とにより選択されたトランジスタS01は、カットオフとなり、選択されないトランジスタS02~S72はオンとなり、出力として+3Vをダイオードゲートに与える。選択されたS01はカットオフとなるため、S01-01~S01-30を流れる電流はS01-01~S01-30に対応するピン電位によりきまる。もし、基準ピンまたは基準ピンと接続されているピンであれば、電流が流れるためレシーバ回路のトランジスタのベースはマイナス電位となり、トランジスタはオンとなる。一方オープン電位の場合は、レシーバ回路のトランジスタのベースはプラス電位となり、トランジスタはカットオフとなる。また、S02~S72により選択されないダイオードアンドゲートはプラス電位となる。

2.2.3 接続器

この配線検査装置は接続器を変えることにより、どのような構造の被検査装置でも接続し検査することができる。ただし、接続した後の検査時間は非常に速いので、接続時間を多くするような接続器では非効率となるため、極力接続時間が短くできるよう考慮しなければならない。

3. 自動布線検査装置のプログラム

自動布線検査装置に用いるプログラムは、布線自動設計によって作成された磁気テープの情報をそのまま使用して、電子計算機および布線検査機を制御し、被検査装置の布線を検査することを目的としている。そのためにプログラムは標準アセンブラシステム(SIAS)で組まれ、布線検査機用の特殊命令に関してのみ機械語で構成されている。

プログラムに要するメモリ容量は約5,000語である。布線検査装置の使用にあたって、検査員はタイプライタのアウトプット、インプット機能によって検査中のマシンと情報交換を行ない、エラー、誤配線リストの処理などに応急の処置がとれるようになっている。アウトプットはライブラリで行なわれる。

3.1 プログラムの構成

プログラムの全体のフローチャートを図3.1に示す。

まず入力磁気テープを読み取りながら、ピン情報のSIGNAL NAMEをチェックして、そのSIGNAL NAMEが変わるまで、テープフォーマットを検査機フォーマットに変換して“AW LIST”と名づけるLISTを作成する。

自動布線設計において作成される磁気テープは機種、コネクタの差異によって数種のフォーマットがあるが、はじめに検査員はタイプライタのキーによって任意のフォーマットが選択できる。

布線検査機用のフォーマットは、入力磁気テープ情報を1ピン情報あたり1語に変換したものである(図3.2)。

SIGNAL NAMEが変わったら、いままで変換してリストアップしたピン情報の数を記憶して、FIRE & READ ルーチンにジャンプする。

FIRE & READ ルーチンでは“AW LIST”の最初のピン情報を

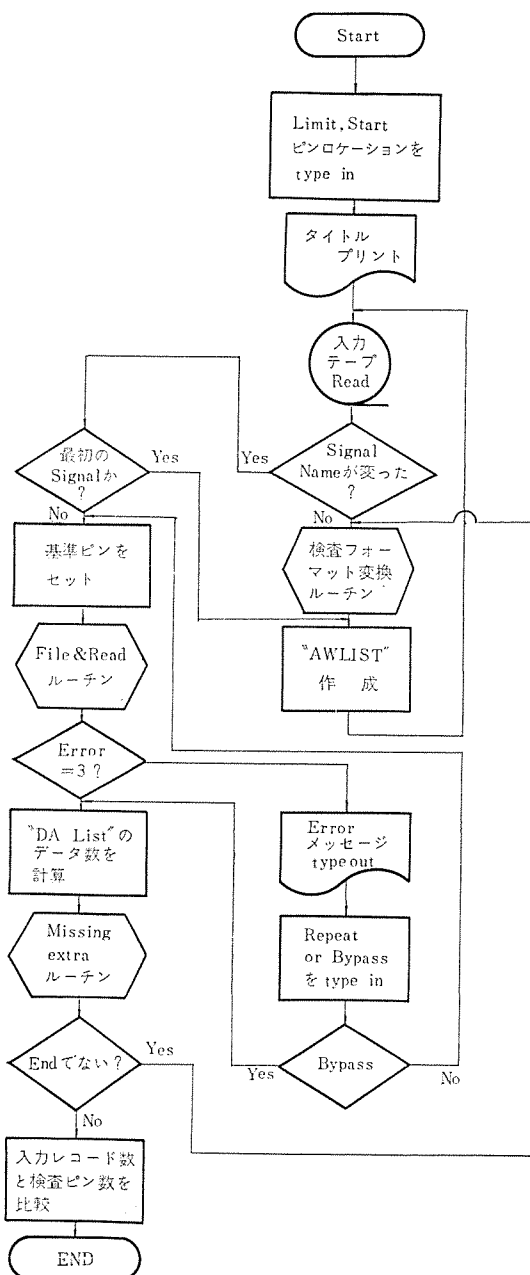


図 3.1 プログラムフローチャート
Program flow chart.

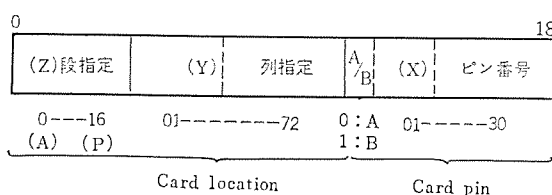


図 3.2 検査フォーマット (1レコード=18ビット)
Test format (one record are 18 bits).

基準ピンとして、布線検査機に送り基準ピン選択のリレーを動作させる。

リレーのセット後スキャン動作を行なわせる命令をだして布線検査機からのピンデータを待つ。スキャン終了後布線検査機からのピンデータのリスト“DA LIST”と“AW LIST”を MISSING ルーチン, EXTRA ルーチンで比較して抜け配線, 過剰配線を検出し, 結果をプリンタで印字してから“AW LIST”作成のルーチンにもどる。入力磁気テープのすべての情報が終了するまでこの動作を繰り返す。

3.2 FIRE & READ ルーチン

FIRE & READ ルーチンで計算機と布線検査機の情報交換を行なう。計算機からスキャンの最終ピンを指示する LIMIT ピンと, スキャンの最初の START ピンのロケーションをあたえ, “AW LIST”の最初のピン情報を基準ピンとして基準ピン選択リレーを動作させた後, SCAN-START の命令を与える。

配線されたピンが発見されたとき, 検査機はデータ割込みを発生してプログラムは“DA LIST”作成ルーチンにジャンプする。配線されたピンが検出されるたび, 検査機のスキャンレジスタから送られてくるピン情報は順番に検査機フォーマットで“DA LIST”に貯えられる。この操作は布線検査機が MISC-INTERRUPT (データ割込みより優先度は低い) を発生するまで繰り返される。“DA LIST”のためにメモリに1,000語がリザーブされているので, 最大1,000ピン(基準ピン選択用リレーの接点の電流容量で定まる)に配線された信号線の検査が可能である。

MISC-INTERRUPT を発生すると, これが LIMIT ピンを検出したものか, 布線検査機のデータトランスファエラーによるものか, その他の計算機側に起因するものが判別する。布線検査機のデータトランスファエラーの場合スキャン動作を3回だけ繰り返す。計算機の割込みの場合は, CAP (標準アセンブラのコントロールプログラム) で一般的な処理動作を行なう。このルーチンの終了後, MISSING ルーチンにジャンプする(図3.3)。

3.3 MISSING, EXTRA ルーチン

MISSING, EXTRA ルーチンは布線検査機からのデータ“DA LIST”と“AW LIST”を比較するルーチンである。フローチャートを図3.4に示す。“DA LIST”にあり“AW LIST”に存在しないピン情報を過剰配線 (EXTRA-WIRE), “AW LIST”にあって“DA LIST”に存在しないものを抜け配線 (MISSING-WIRE) とする。

図3.5のごとく, 両方のリストの全数比較を実行しているので,

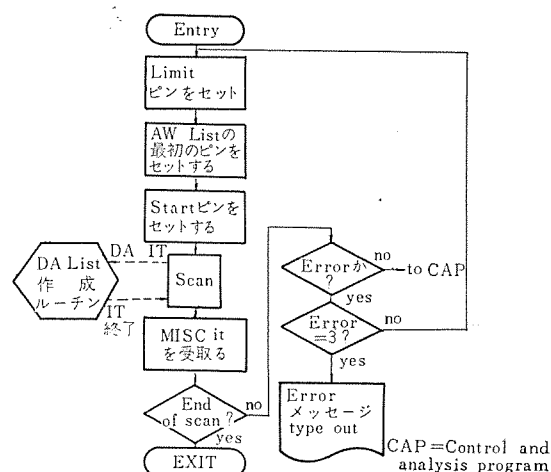


図 3.3 FIRE & READ ルーチンフローチャート
FIRE & READ routine flow chart.

I を i , N と n を入れ換えた場合である。

3.4 その他

このプログラムは自動布線設計のマスター磁気テープおよび、それに類するテープをそのまま入力情報にすること、検査結果の使いやすさという点から、入力磁気テープのラベル、被検査装置の自動確認機能をもち、誤配線情報のプリント形式は配線作業に使用するワイヤリストと同じにしてある。また布線検査機の保守として、被検査装置を接続しない状態で、SIGNAL NAME を 1 ピンずつに与えた磁気テープを入力として使用すれば、検査機の完全性は常にチェックできる。

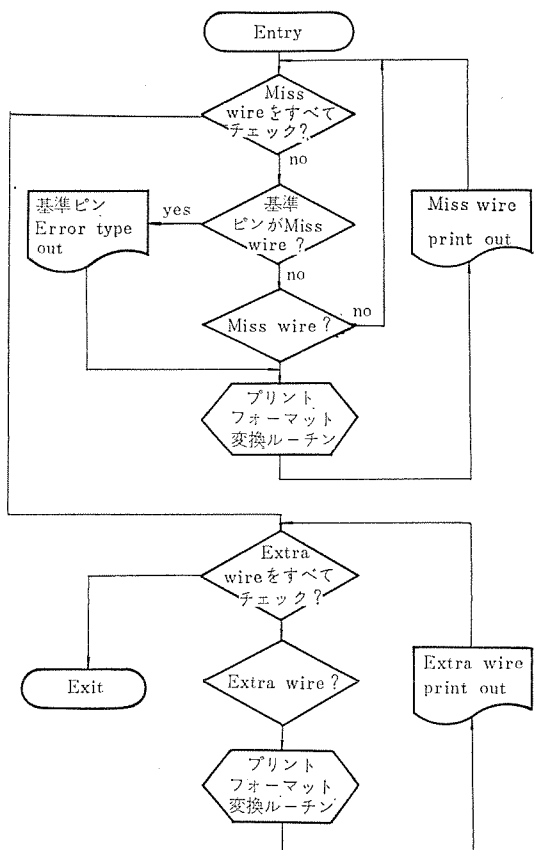
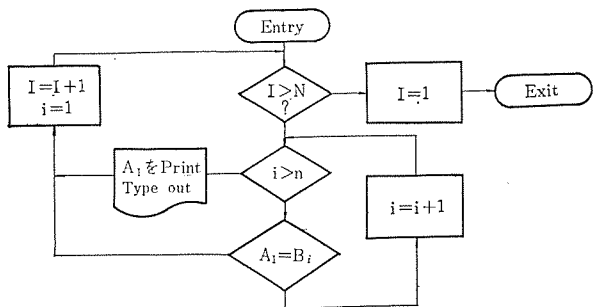


図 3.4 MISSING, EXTRA ルーチン
MISSING EXTRA routine.


$$^{\ast}\text{AW List}^{\ast} = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_N)$$

"DA List" (B₁-----B_i-----B_n)

図 3.5 MISSING ルーチンの比較方法
Comparing method of MISSING routine.

布線検査後、配線手直しのため当然実行される人手によるチェックを二度手間と思われる機能として省略したが、使用条件によっては抜け配線が発生した場合、その信号線に関して基準ピンを全ピン数とすること、および過剰配線の場合、そのデータを保持しておいて以後の全信号線のピン情報と比較する機能が必要であろう。

4. む す び

本文ではラッピングにより布線装置の検査の自動化について記述したが、多層プリント配線板についても全く同様なことが言える。今後の傾向として従来の布線によっていた配線構造が多層板 (MLB) に置きかえられることは間違いない。図 4.1 に多層プリント板の布線検査用接続器を示す。

アメリカの計算機メーカーでは布線作業には数値制御による自動配線機(AWW: Automatic Wire Wrap Machine)によっているところが多い。Gardner Denver 社のものは配線速度は600本/時間で、誤配線率は1/200万本と言われている。ジャシ間の配線は手動作業によって補っている。生産規模もわが国の現状とは相当な差があり、半自動化の配線指示器によるか否かは総合的な経済比較によって決まるが、現時点では前者によっても周囲条件が整わないために十分な効率が發揮されずむしろ後者によるべきであろう。

機器構成の規模も大きくなり、省力自動化とともに布線作業の誤配線率も手動に比較すればはるかによくなっているが、それでも検査を省くことはできない（一例：人手の場合 0.4%，配線指示器の

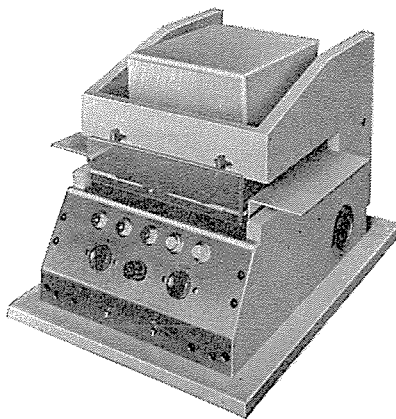


図 4.1 MLB 用接続器
Connector for MLB.

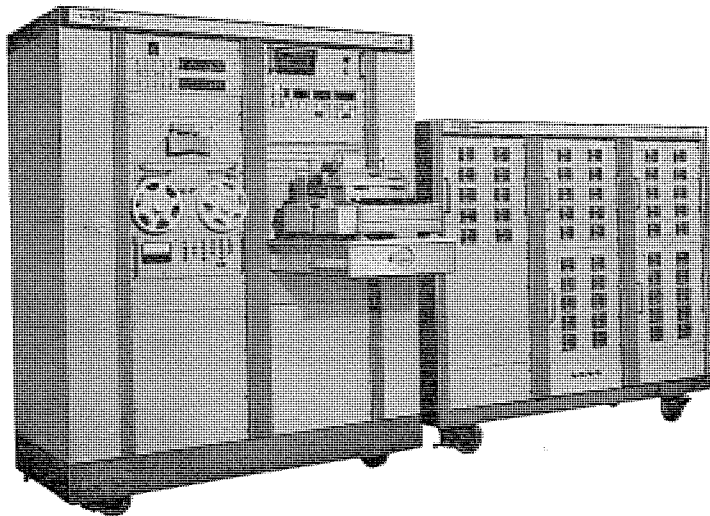


図 4.2 はん用布線 アナライザ (1,000~25,000 用)
General-purpose wire analyzer

場合 0.06 %)。最近 ミコンコンピュータがこの方面に活用されているがこの傾向はますます強くなるだろう。

省力自動化の一端を構成する自動布線検査装置について述べたが、この装置のキーポイントは接続部にある。いかに速く、正確に多数のピンを検査装置と接続するか。もちろん半自動化によるべきである。

最後に、生産合理化のトータルシステムにふれたい。検査段階のみならず、設計・製造・検査を一貫した省力自動化システムを考えるべきであり、人手不足および作業の複雑化にも関連して、いかによいトータルシステムを開発し、品質の向上とコストダウンを実現するかに今後の企業間競争に打ち勝つかどうかがかかっているといっても過言ではなからう。

(昭和 45-6-17 受付)

参 考 文 献

- (1) H. H. Kakita : Automatic Wiring Verifier, Computer Design, 1~5, June (1968)
- (2) 今村 : 小形電子計算機を使ったラッピング表示システム, 電子科学, 19, 12 (昭 44)
- (3) 今村 : ミコンを使った布線検査システム(上)(下), 電子科学, 19, 8 & 9 (昭 44)
- (4) P. D. Wickersham : Rapid Validation of Multilayer Printed Circuit Boards, Fall 1967 Technical Seminar.
- (5) 小島 : 自動布線検査装置, 電子科学, 20, 6 (昭 45)

熱間圧延ミルにおける自動クロップ装置

小藪 俊昭*・山崎 英蔵**・淡野 光章***

Automatic Crop System for Hot Strip Mill

Nippon Steel Corp., Tobata Works Toshiaki KOYABU

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Eizo YAMAZAKI

Mitsubishi Elec. Corp., Central Research Laboratory Mitsuaki DANNO

In the process of hot strip mill in steel manufacturing industry, it is necessary to make even the shape of the edge of rolled steel by cropping after the roughing roll for the purpose of making the pass of the plates good through the finish roll and improving the quality, yield and working efficiency.

This article describes, as the central topic, a detector finding out the position of the minimum cropping length by photoelectrically treating the images of the deformed portion at the tip and the tail of the steel materials, and also explains an automatic crop system built for the purpose.

1. ま え が き

近年、鉄鋼プラントにコンピュータコントロールが導入され、プラントの自動化は急速に進展している。しかしプラントの状態を正確には握する検出器の実現が困難なため、オペレータの経験に依存するところも多い。本稿に述べるせん（剪）断機（クロップシャー）も実はその一つであった。

ストリップの熱間圧延工程において、仕上スタンドに鋼材はいる場合（かみ込み時）通板性を良好にするため、鋼材の先端を仕上スタンドの前でクロップシャーによって形状良くせん断することが必要とされている。また鋼材の尾端についても熱間圧延以後の工程における作業能率、品質、歩留り等を向上させる目的でクロップシャーにより、形状をそろえることが必要である。本稿は鋼材の先端、および尾端のクロップ位置を検知する検出器を中心として、自動クロップ方式の概要を述べるものである。

2. 自動クロップ方式の概要

本システムはいろいろな形状の鋼材を走行中に有効、かつ最少長にせん断することを目標としている。せん断される鋼材は、いずれもある温度範囲内にある赤熱状態の材料であって、鋼材の走行速度は、テーブルの速度または圧延スケジュールおよび加速圧延の状態によってたえず変化している。本方式は、このようないろいろな走行速度においても定められた目標点を正確にせん断することができる。自動クロップ装置は二つの主要な部分

- (1) せん断点を決定する形状検出部
- (2) クロップシャー、およびクロップシャー 駆動制御部

で構成されている。

図 2. 1 はクロップシャーを自動化する場合に必要な装置の概略配置を示すものである。メジャリングロールの位置は粗圧延機からの鋼材の流れ速度によって決定されるもので、鋼材がクロップ点検出器に至るまでに十分減速でき、メジャリングロールが完全に鋼材に接触し、スリップなく鋼材速度を検出できる所に設置される。

クロップ点検出器は仕様に定められた鋼材最大速度に対しても、シャードラムの加速時間が十分にとれる位置に取り付けられる。

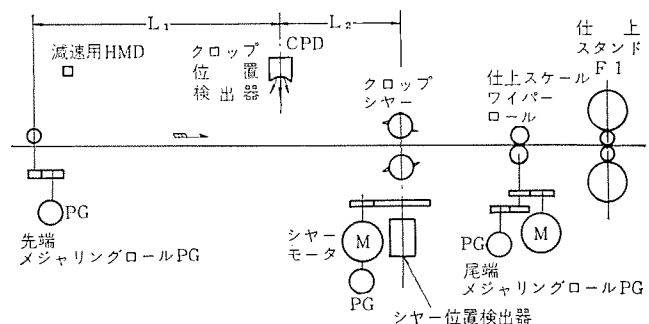


図 2. 1 装置の配置図
Arrangement of the automatic crop system.

鋼材の尾端せん断の場合は、一番目スタンドの前にある仕上スケールブレーカ (FSB) のワイパーロールの回転数で鋼材の速度を検出する。以上のような構成で、走行中の鋼材の端部のクロップ位置を検知し、走行速度に応じて、シャーの起動、加速をおこない、検知されたクロップ位置を最適な刃の回転速度でせん断するのである。

3. クロップ位置検出部

仕上入口の鋼材の先端部または尾端部は材質、温度、粗圧延スケジュールおよびスラブ形状によっていろいろ変化する。図 3. 1 は端部の代表的な形状である。

本検出装置は図 3. 1 の点線で示した。位置を光学的に検出するのである。鋼材が赤熱状態にあることから、鋼材から発する近赤外線像をとらえるのである。

撮像装置としては、ITV が広く一般的に用いられているが、保守、安定性の面より本装置では、半導体光検知素子を用いている。

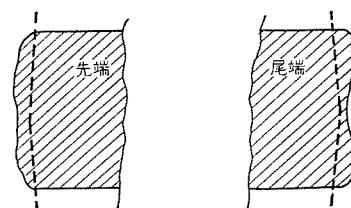


図 3. 1 スラブ端部の形状
Top and tail shape.

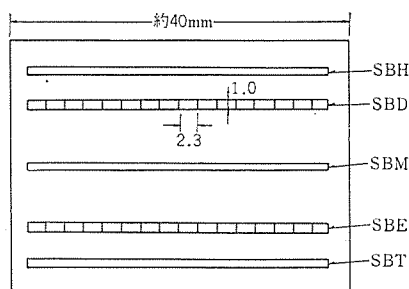


図 3.2 アナログ形検知器の撮像面
Arrangement of analogue type
photo detector.

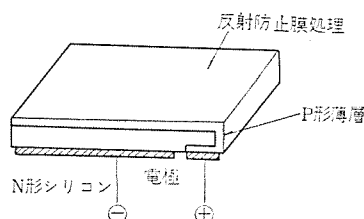


図 3.3 シリコン太陽電池の断面図
Sectional diagram of Si solar
battery.

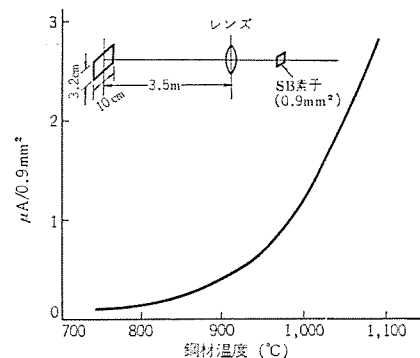


図 3.5 検知器出力特性
Output characteristic of the sensor (output
signal vs. slab temperature).

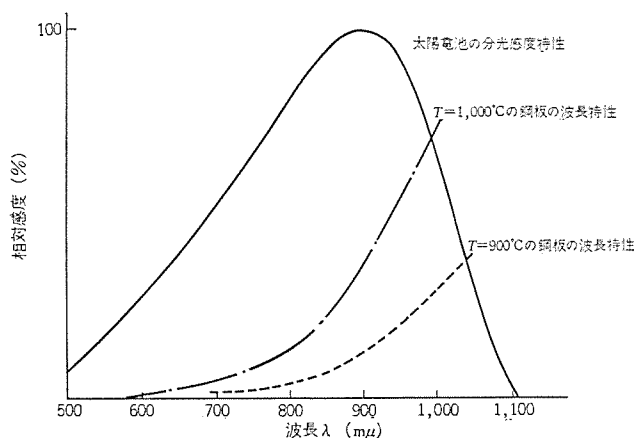


図 3.4 赤熱鋼材の発光波長特性と検知器の分光感度特性
Relative spectral radiant intensity vs. wavelength and
spectral response characteristics of the sensor.

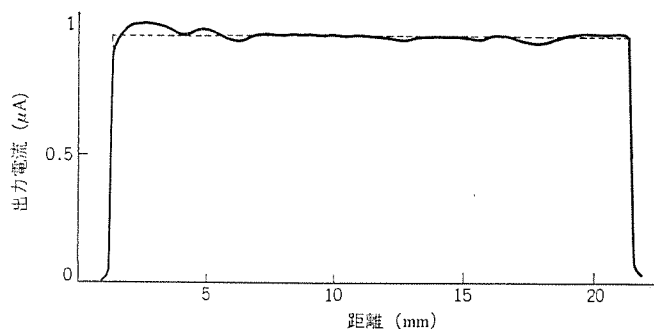


図 3.6 検知器感度の一様性
Homogeneity of the sensor.

鋼材の端部の像を得るためには1個の光電素子を設け、光電素子の視野を機械的な回転スリットを用いて移動させる方式、複数個の光電素子を半導体走査器で走査する方式、さらに光検知器として、たとえば太陽電池(SB素子)を用いてSB素子の短絡電流が鋼材の像の輝度と面積に比例することを利用する検知方式がある。

最初の方式は機械部品をたえず回転させるという欠点があるので、本装置では第2、第3の方式を実用化している。

3.1 アナログ形クロップ位置検出装置

3.1.1 検出器

この検知器はSB素子の短絡電流が入射光エネルギーすなわち検知器上に結ぶ鋼材の像の輝度と面積に比例することを利用している。

検知器は赤熱鋼板の幅を測定する3本の細長いSB素子SBH, SBM, SBTとSBMを中心としてSBHおよびSBTとの間に一列に16個のSB素子を並べたSBD, SBEからなる図3.2のような撮像面を持っている。

SBT, SBMは一定幅のスリットでマスクされており長さは約40mmである。SBD, SBEは幅が1.0mm, 1個の長さは約2.3mmで、各素子は平行に配置されている。このSB素子面に光学レンズ系で鋼材の像を結ぶように36mmカメラのレンズを使用している。よって、このSB素子面は36mmフィルムと同一の面積の中に設けられている。この検出器はテーブル面上より約3.5mの上方に取り付けられる。この状態では、SBMとSBH(あるいはSBT)との間隔は鋼材上で約600mmに相当する。またSBD(あるいはSBE)とSBMとの間隔は約400mmに相当する。幅方向は最大2,400mmである。

検出器として用いるシリコン太陽電池はN形シリコンにP形を拡散

し、P-N接合面を受光面に平行に作ったものである。図3.3はシリコン太陽電池の断面図を示している。太陽電池のP-N接合面付近に限界波長より短い波長の光が照射されると光エネルギーによって作られた電子と正孔の対が遷移領域に存在する電界によって分離され起電力が生じるのである。

鋼材の温度とSB素子の出力の関係は赤熱鋼材の発光波長の特性とSB素子の分光感度特性から得られる。図3.4は鋼材が900°C, 1,000°Cの時の波長特性と、SB素子の分光感度特性を示すものである。図3.5は、以上のような特性を有するSB素子0.9mm²の受光面上に赤熱鋼材像を結ばせたときの特性である。

この検出器の性能を決める他の重要な特性は、SB素子の部分的な感度特性のばらつきである。これによって鋼材の幅の検出精度が決定されるのである。

図3.6は光源スポットをSB素子上で移動させて部分的な感度特性を測定したものである。破線は平均感度特性で、これと実線とによって囲まれる各部の面積を $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$ とすれば

幅測定時の偏差値の最大値 δ_{\max} は

$$\delta_n = \left| \sum_{n=1}^n (-1)^{n+1} \cdot \Delta S_n \right| \dots \dots \dots (3.1)$$

の最大値である。

したがって、幅測定時の精度 $\varepsilon(\%)$ は

$$\varepsilon = \frac{\delta_{\max}}{S} \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

で与えられる。図3.6の特性のSB素子は0.5%以上の精度を有している。

3.1.2 動作原理

鋼材の先端部を測定する場合には、SBHで基準幅を測定し、SBMで先端の変形部の幅を測定する。

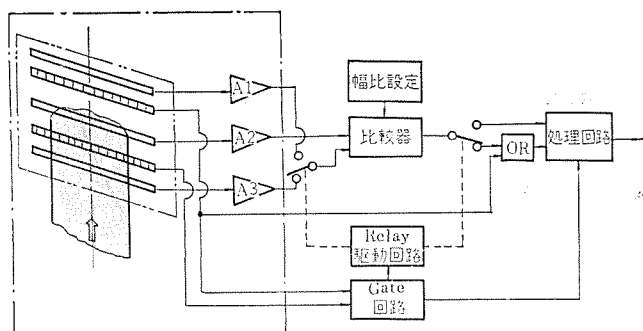


図 3.7 アナログ形検出装置のブロック図

Block diagram of the analogue type cropping point detector.

幅の測定に際して SBH と SBM からの信号の利得を適当に設定し、おのおのの信号を互いに比較することによりせん断位置を検出するのである。尾端の場合は基準幅の測定を SBT で行ない、SBM と比較することによってせん断位置を判定している。

図 3.7 は形状検出動作を説明するための概略ブロック図である。SBD, SBE はゲート用のシーケンス回路に使用する。SBD, SBE は、それぞれ 16 個のホットメタル検出器 (HMD) を並べたのと同等の効果を持っている。この 16 個のそれぞれをスキャナで常に走査し、16 個の内の 1 個がオンか、全部がオフかの状態をつかまえて、ゲート信号 $[SBD \cdot SBE + SBD \cdot \overline{SBE}]$ を作る。このゲート信号により、せん断信号発生回路の動作期間を鋼材の端部が SBM を中心に ± 400 mm の間にあるときのみ限定して、鋼材の中央部で誤ってせん断信号が発生するのを防止している。この 400 mm は先端、尾端のばらつきが十分カバーできる大きさをみて決定されたものである。

図 3.7 の A_1, A_2, A_3 は電流検出回路を構成する高入力インピーダンス、高利得の増幅器である。赤熱鋼材の像が矢印の方向に移動すると、まず光電素子 SBH が光を受ける。鋼材像がさらに上方へ移動し、続いて SBE の上に結ぶ、SBE が光を受け、かつ SED が光を受けていない場合、ゲート回路の動きによって、リレー接点が A_3 の出力につながる。これにより比較器入力として A_2 の出力と A_3 の出力を導くのである。鋼材像がさらに上方に移動し、光電素子 SBM の上にも像を結ぶと、SBH の上には、すでに鋼材の定常幅の像が結ばれている。鋼材の温度が各部で一定であるとなれば、像の温度は一定であるので、 A_2, A_3 の出力は鋼材の幅の大きさに比例するのである。

このとき、増幅器 A_1, A_2 の利得を適当に、たとえば A_3 の利得を A_2 の利得の 90% に設定しておけば、光電素子 SBM に結ぶ鋼材像の幅が光電素子 SBH に結ぶ像の幅の 90% に達すれば比較器が両者の出力が一致したことを検出して、せん断点信号を発生するのである。鋼材像が上方へ移動して、やがて尾端が SBE の光検知器からはずれると、SBD と SBE によって尾端が検知される。そうすればリレー接点は A_1 の出力につながり、比較器に A_1 の出力と A_2 の出力をつなぐ、したがってこの場合の測定ラインは SBM と SBT となる。先端の場合と同様に A_1 の利得をたとえば A_2 の利得の 90% に設定しておけば、赤熱鋼材像が SBM を通過する時に、SBM の上の像の幅が SBT の上の像の幅が 90% になった瞬間を比較器が検知し、せん断位置を検出するのである。

鋼材の先端部の測定において設定幅比に対して、何らかの原因でせん断信号が出ない場合 (たとえば先端の形状が 400 mm 以上に渡って設定幅比以下の形状をしているような場合、または極端なスケールの発生によって信号が発生しない場合)、先端変形部分がそのま

ま仕上スタンドにはいることは望ましくないので SBE を用いて先端から 400 mm のところで強制的にせん断信号を発生し、これにより先端をせん断する方式を取っている。

3.2 デジタル形クロップ位置検出装置

3.2.1 検知器

光検出素子はアナログ形検知器と同様に、SB 素子を使用している。受光面の素子の配置は図 3.8 で示すとおりである。測定ラインは 2 ラインのみで素子分割を 1 列に対して 72 個としており、1 個の素子の幅は鋼材 30 mm に相当している。

この SB 素子のおのおのは図 3.9 に示されるような特性を有している。

SB 素子の出力は逐次走査器にて走査され、パルス列信号として取り出される。この走査器は n チャンネル接合形電界効果トランジスタにて図 3.10 のように構成される。本装置では SB 素子モジュールの 72 個のおのおの出力を 9 グループ各 8 個に分けて走査器の入力に接続している。この走査器は各組の 8 個の素子の出力の 1 番から 8 番までを各組同時に逐次走査するものである。

走査器の電界効果トランジスタを駆動する回路は、図 3.11 に示すようにリングカウンタとレベル変換器にて構成される。駆動信号の順序関係は図 3.12 のとおりである。表 3.1 はリングカウンタを構成する当社 IC, J-K フリップ、フロップ M 5373 の真理値表である。このような駆動信号にて電界効果トランジスタ FT-1~FT-72 を駆動し、おのおの光電素子の出力を 9 台の増幅器につなぐのである。さらに FT

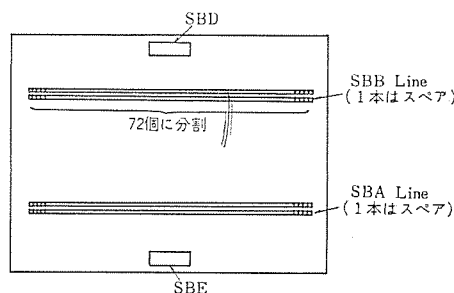


図 3.8 デジタル形検出器の撮像面
Arrangement of digital type sensor

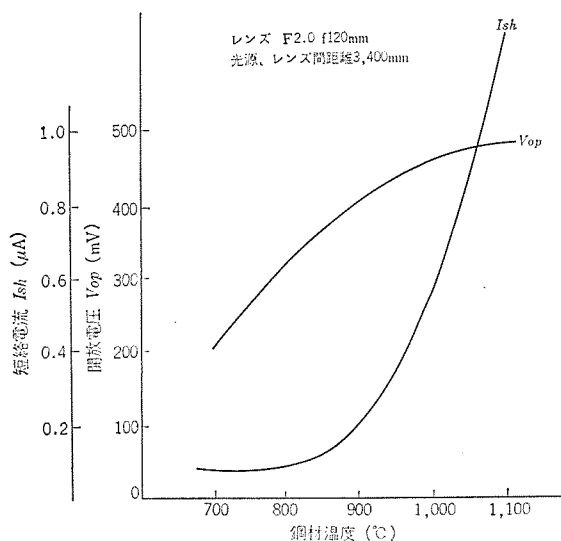


図 3.9 デジタル形検出器の特性
Output characteristics of the digital type sensor
(output signals vs. slab temperature)

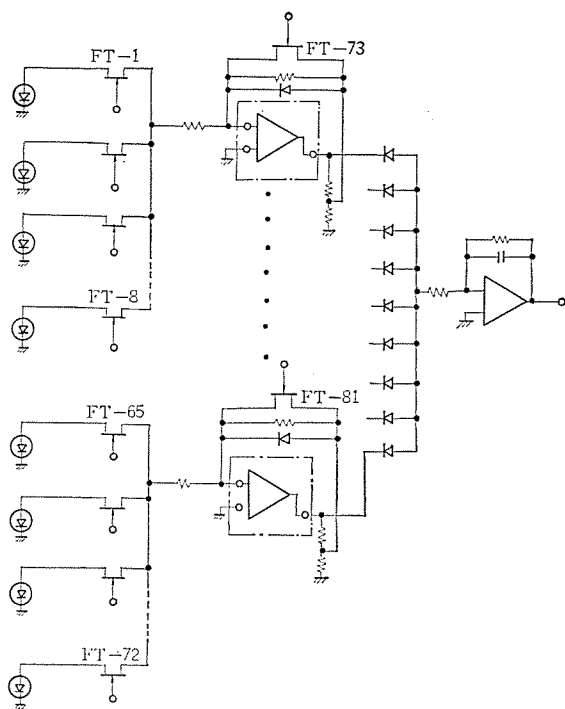


図 3.10 光検出素子走査回路
Scanning circuit for the photosensors.

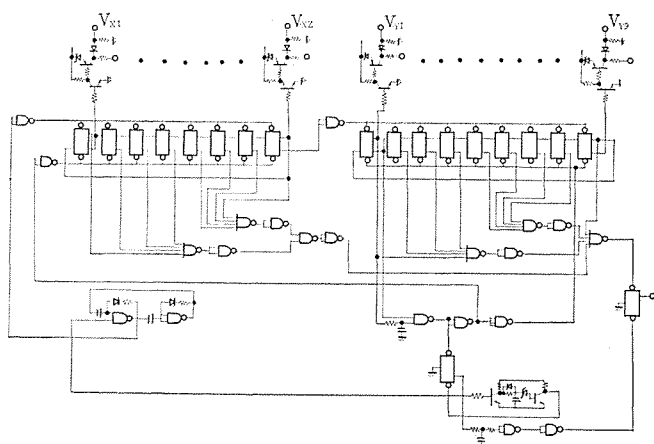


図 3.11 走査器駆動回路
Driving circuit of the scanner.

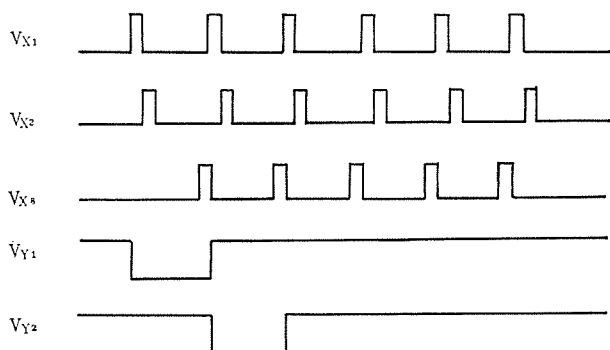


図 3.12 駆動信号波形
Waveforms of the driving signals for the scanner.

表 3.1 M5373 の真理値表
Truth table of M5373

t_n		t_{n+1}
J	K	Q^{n+1}
L	L	Q^n
L	H	L
H	L	H
H	H	\bar{Q}^n

-73~FT 81 のスイッチングによって最終的におのおのの光電素子の出力を一つの端子に時系列信号として取り出すのである。図 3.13 は走査器の動作を説明するための図である。

SB 素子と並列にはいっているコンデンサは SB 素子の出力電流を蓄積しておくためのもので、その端子電圧は SB 素子の開放電圧まで充電されている。今 SB 素子の出力を読み出すと、コンデンサに蓄積された電荷が負帰還増幅器の入力抵抗を流れて放電する。したがって SB 素子の出力を増幅器の出力端に取り出すことができるのである。図 3.13 の回路の等価回路を図 3.14 に示す。コンデンサ C_3 , C_4 , C_5 , C_6 は電界効果トランジスタのゲートドレン、ゲートソース間の電極

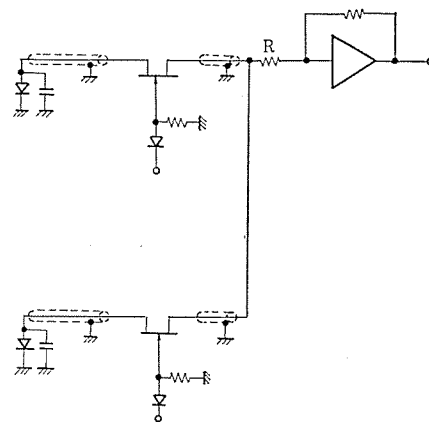


図 3.13 走査器の原理図
Fundamental configuration of the scanner

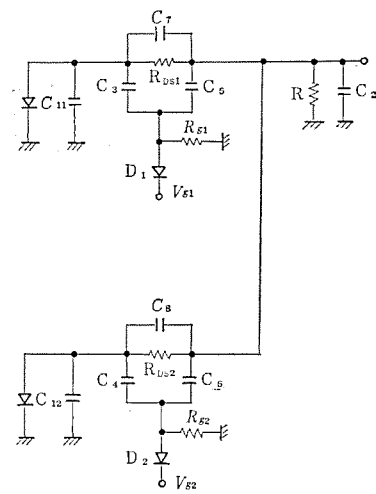


図 3.14 走査器等価回路
Equivalent circuit of the fundamental configuration of the scanner.

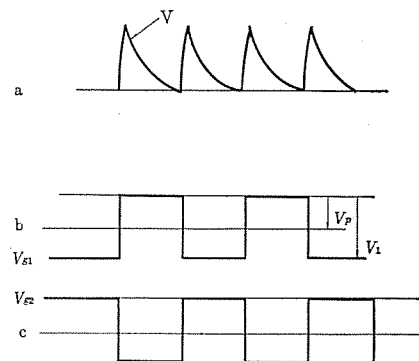


図 3.15 走査器の出力波形 (a), と駆動信号波形 (b), (c)
Wave forms of the scanning circuit : (a) is output signal, (b) and (c) are driving signals.

間容量で、ソース、ドレイン対称の素子では電極間の電圧が等しい場合、同一の値を示す。この回路ではゲート駆動電圧がSB素子の発生電圧よりも十分大きいので、ゲートソース、ゲートドレイン間の電圧は、ほぼ等しい。この電極間容量を C_g として表わす。 C_7, C_8 はドレインソース間の電極間容量であるが小さいので無視する。 C_{11}, C_{12} はSB素子に並列に付加したコンデンサであり、その容量は C_1 である。抵抗 R_{DS} はドレインソース間の等価抵抗である。図 3. 15 は図 3. 14 の回路の動作を説明するための波形図である。電圧波形 b, c は端子 1, 2 を経て電界効果トランジスタのゲートに加えられる。

以下の説明を簡単化するため、ソースドレイン間の抵抗は長方形ゲート電圧がピンチオフ電圧 V_P を越えると R_{on} から R_{off} へ瞬間的に変化するものとする。

3. 2. 2 走査器オフセット電圧

光がはいっていない場合、理想的には走査器の出力には電圧が発生してはならない。ここでは図 3. 14 の回路を動作させた場合のオフセット電圧について述べる。今、ゲート電圧 V_{g1} が負、 V_{g2} が正であるとすると、抵抗 R_{DS1} は R_{off} であり、抵抗 R_{DS2} は R_{on} である。

この時はコンデンサ C_{11}, C_3, C_5 のみが負に充電されており他のコンデンサは充電されていないものとする。ここでコンデンサ C_1, C_2 と C_g の間に大小関係、 $C_g \ll C_2, C_1$ が成り立つように容量を決めるものとし、さらに V_{g1} のほうが V_{g2} よりも若干早く変化するものとする。 V_{g1} が負電位から零電位に変化した場合、コンデンサ C_{11}, C_3, C_5 のチャージは約 $2C_g \cdot R_g$ の時定数で C_1, C_2, C_g に移動する。次の瞬間 V_{g2} が負電位になったとするとコンデンサ C_4, C_6 に C_{11}, C_3, C_g のチャージが吸収される。 V_{g1}, V_{g2} の振幅を V_1 とし、 Q_1 を off→

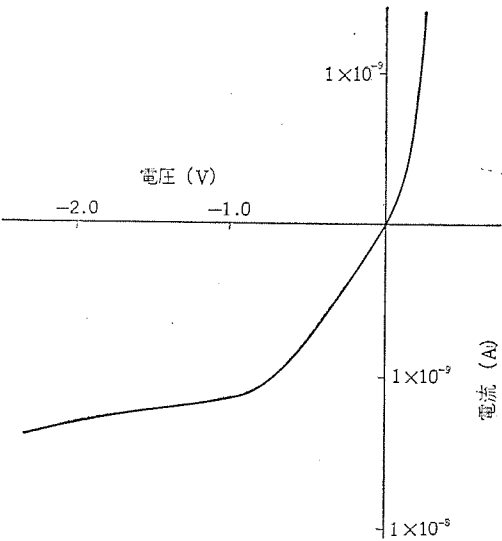


図 3. 16 光検知器の暗電流特性
Dark current characteristic of the sensor.

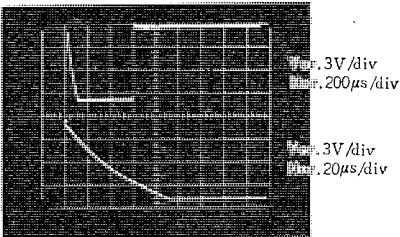


図 3. 17 走査器出力波形 ($R=1\text{ M}\Omega$)
Output wave forms of the scanner ($R=1\text{ M}\Omega$).

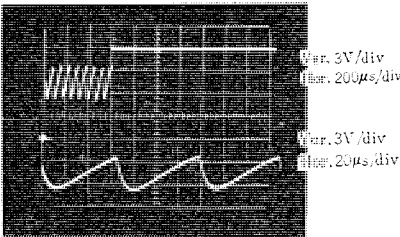


図 3. 18 走査器出力波形 ($R=100\text{ k}\Omega$)
Output wave forms of the scanner ($R=100\text{ k}\Omega$).

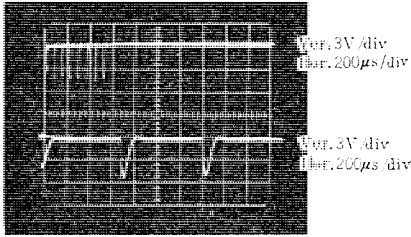


図 3. 19 走査器出力波形 ($R=10\text{ k}\Omega$)
Output wave forms of the scanner ($R=10\text{ k}\Omega$).

on の素子の C_{11} にたくわえられているチャージとする。このチャージは光起電力素子の逆方向インピーダンスが図 3. 16 に示されるように非常に大きいことから一度たくわえられると次の走査まで放電しないのである。

Q_2 を on→off の素子の C_1 に移るチャージとすれば、

$$Q_2 = C_g(V_1 - V_P) \frac{-(2C_g + C_2)}{2C_1 + 4C_g + C_2} + Q_1 \frac{C_1 + C_g}{2C_1 + 4C_g + C_2} \dots\dots\dots (3. 3)$$

となる。したがってスイッチングの回数 n が大きくなると、 C_1 にたくわえられるチャージは

$$Q_\infty = \frac{-C_g(V_1 - V_P)(2C_g + C_2)}{C_1 + C_2 + 3C_g} \dots\dots\dots (3. 4)$$

となる。したがって、定常状態では Q_∞ がおのおのの C_1 の間を移動するのである。この場合、走査によって C_2 にはチャージが残らないのでオフセット電圧は零である。

3. 2. 3 走査器出力

光起電力素子に光がはいっている場合の読み取り出力は、走査器の相接する電界効果トランジスタが on と off から、on と on の状態を経て off と on に移るので、光起電力素子の開放電圧を V とすれば、出力のピーク電圧は、

$$V_{op-p} = \frac{C_1}{2C_1 + C_2 + 4C_g} V \dots\dots\dots (3. 5)$$

となり、この後、 $(C_1 + C_2 + 3C_g) \cdot R$ の時定数で放電する。

この波形を図 3. 17, 図 3. 18, 図 3. 19 に示す。これは、それぞれ R が $1\text{ M}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$ の場合の出力波形で、 $1\text{ M}\Omega$ では放電する前に次の FET が導通するので走査器の機能を満足していない。

逆に、このような読み出し方式では、 $10\text{ k}\Omega$ 程度のインピーダンスでも十分に微少面積の光起電力素子の出力を読み出すことが可能であることがわかるのである。

3. 2. 4 動作原理

図 3. 20 はディジタル形クロップ位置検出装置の動作を説明するためのもので、鋼材の先端部、終端部の検知はアナログ形検知器と同様に SBH と SBT でおこなっている。この装置では測定線は SBA, SBB の 2 本であるが、これを 3 本とすることも可能である。ディジタル形では測定ライン上の 72 個の素子のおおのに結ぶ像を走査器で読み出すことにより鋼材の幅を検出するのである。

鋼材の幅の信号は、それぞれ計数器 A, B に読みこまれ、一走査終了ごとに差検出回路にて差を取り出す。この差は SBA, SBB における鋼材像の差幅である。

ディジタル形では、このようにして取り出した差幅と、あらかじめ設定された差幅とを比較することによりせん断信号を得るものである。すなわち先端部の場合は、差幅信号が差幅設定値よりも小さく

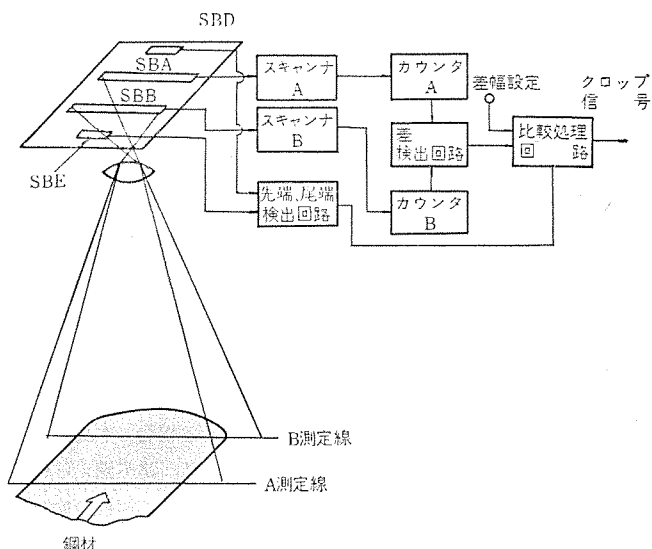


図 3.20 デジタル形検出装置ブロック図
Block diagram of the digital type cropping point detector.

なったときにせん断信号を発生し、終端部の場合は差幅信号が差幅設定値よりも大きくなったときにせん断信号を発生するのである。

4. クロップシヤーの制御回路

図 2.1 において減速用 HMD が鋼材を検出すると、鋼材速度をせん断に適切な速度まで減速開始するとともに、先端メジャリングローを鋼材に接触するように動作させる。せん断位置検出器 CPD が鋼材を検出してせん断すべき点で信号を出すと、一定時間後にシヤーモータを起動させるようにタイマーが動作する。

今 V_B : 鋼材速度

V_S : シヤー速度

t_D : 鋼材が CPD の信号を得てから シヤーモータを起動するまでの時間

t_1 : シヤーの加速時間

t_2 : 加速完了後せん断までの時間

S : シヤーの起動位置からせん断完了までの位置

L : CPD と シヤーせん断点までの距離

とすると

$$L = V_B(t_D + t_1 + t_2) \quad (4.1)$$

となる。また シヤー速度を直線的に加速するものとすれば

$$S = 1/2 V_S t_1 + V_S t_2 \\ = 1/2 V_S t_1 + V_S(L/V_B - t_D - t_1) \quad (4.2)$$

これよりタイマーの設定時間 t_D を求めると

$$t_D = L/V_B - S/V_S - t_1/2 \quad (4.3)$$

シヤー速度を鋼材速度より $\gamma\%$ だけ変化をつけるとすると、

$$V_S = V_B(1 \pm \gamma) \quad (4.4)$$

$$t_D = \frac{1}{V_B} \cdot \left(L - \frac{S}{1 \pm \gamma} \right) - \frac{t_1}{2} \quad (4.5)$$

となる。ここで L, S, γ, t_1 を一定とすれば、 t_D は V_B のみの関数となる。

図 4.1 はこれを満足する回路を示している。

パイロット発電機 PGM は鋼材速度を検出しているので、その出力電圧 E_1 は

$$E_1 = K \cdot V_B \quad (4.6)$$

である。今、せん断位置が検知されると接点 CPD が閉じる。これ

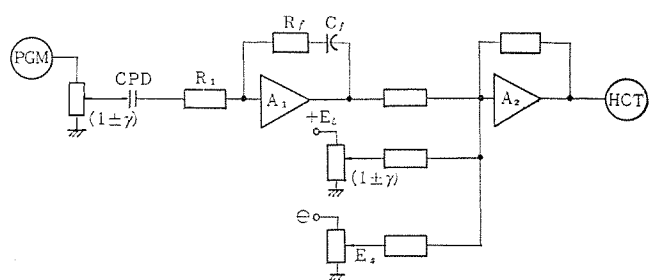


図 4.1 シヤーモータ起動制御回路
Start control circuit of the crop shear motor.

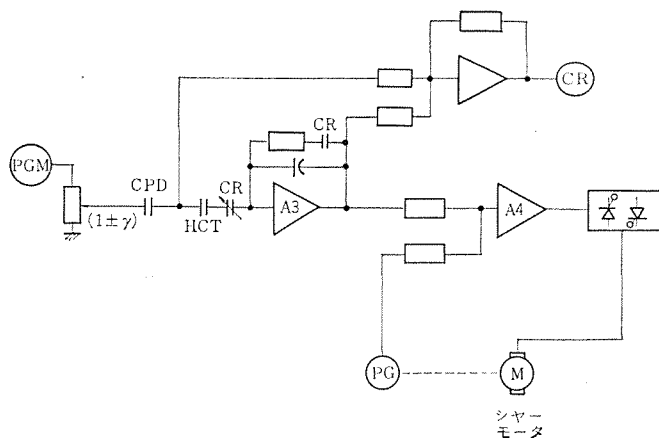


図 4.2 シヤーモータ加速制御回路
Acceleration control circuit of the crop shear motor.

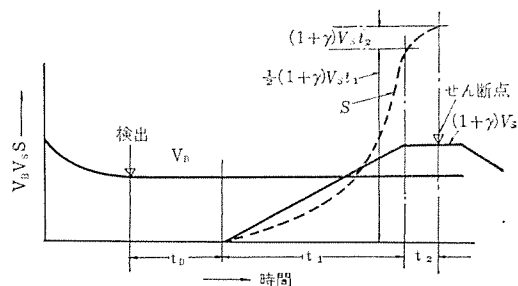


図 4.3 せん断動作オシログラム
Oscillograms of the shear motor.

以後、 A_1 の出力は

$$E_0(t) = -\left(\frac{R_f}{R_1} + \frac{t}{R_1 C_f} \right) (1 \pm \gamma) K \cdot V_B \quad (4.7)$$

となる。 $-E_0(t)$ が A_2 の比較入力 $E_1(1 \pm \gamma) - E_S$ と等しくなる時間を t_D とすると、

$$t_D = \frac{R_1 C_f [E_L(1 \pm \gamma) - E_S]}{(1 \pm \gamma) K \cdot V_B} - R_f \cdot C_f \quad (4.8)$$

となる。式 (4.5), (4.8) を比較してみると、

$$L - \frac{S}{1 \pm \gamma} = \frac{C_f \cdot R_1}{K} \left[E_L - \frac{E_S}{1 \pm \gamma} \right] \quad (4.9)$$

$$\frac{t_1}{2} = R_f \cdot C_f \quad (4.10)$$

となり、式 (4.9), (4.10) にしたがって R_1, R_f, C_f を定めるのである。

L, S の設定は E_L, E_S でおこなう、したがって E_S を変えることによってせん断長を変えることができるのである。

シヤーの加速時間 t_1 を一定にするために図 4.2 に示すような回路を設ける。この回路では PGM の出力を A_3 にて積分し、 A_3 の出

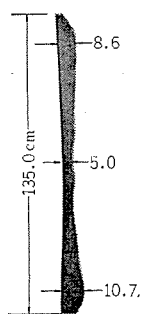


図 6.1 せん断片の波形
Typical trash of the slab by cropping

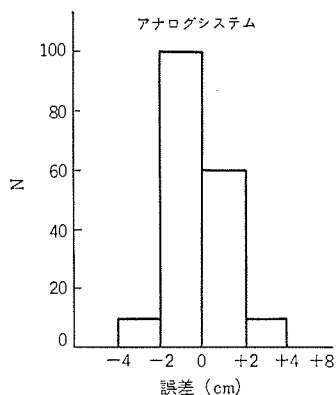


図 6.2 せん断誤差の度数分布(アナログ形)
Histogram of the cropping point error (analogue type)

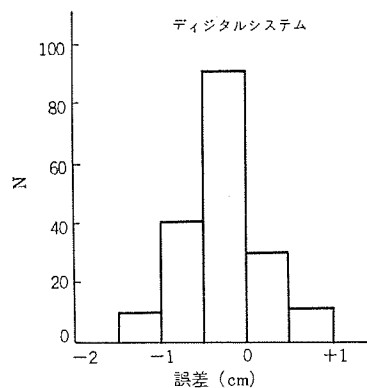


図 6.3 せん断誤差の度数分布(デジタル形)
Histogram of the cropping point error (digital type)

力が PGM の出力よりも大きくなったときに CR にて積分を停止している。こうして A_3 の出力に ランプステップ 状の加速時間一定の速度基準信号を得ているのである。

シャ-モ-タの最終速度を クロップシャ-の刃の切れ味によって調整するため、PGM の出力に係数 $(1 \pm \gamma)$ をかけて積分器の入力としている。したがって シャ-モ-タの速度は $(1 \pm \gamma) V_B$ を目標として直線的に加速され、 γ によって調整された最適なせん断速度鋼板を切り取るのである。

図 4.3 は以上のようなせん断動作を示すオシログラムである。

5. 保護回路

たとえば、鋼材に大きなスケールが付着している場合、本装置にはこれを検知し、せん断信号の発生を防止する保護回路が備えられている。また HMD を外部に設置し、SBE, SBD とで鋼材の検知を二重系にして信頼性の向上を計っている。

さらに、ゲート回路の動作、処理回路の動作のおのおのが万一故障しても、おのおのの保護回路が働いて安全側に装置が動作し、同時に原因が表示されるようになっている。

6. 自動せん断の精度

図 6.1 は代表的なせん断片の写真である。

次に示すせん断位置誤差の度数分布は実際にせん断して得られた結果でせん断点検知部、および シャ-制御部を含んだ装置全体の性能を示すものである。図 6.2 は検知器としてアナログ形を用いたものであり、図 6.3 はデジタル形を用いたものである。

7. む す び

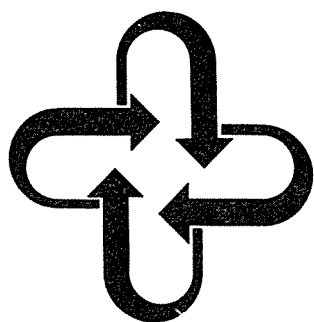
以上、検知器を中心に自動せん断装置の概要について述べた。特に太陽電池を用いることにより安定な赤熱鋼材の検知器を得た。

また全面的に IC を使用し、工業用途のきびしい環境条件のもとでも十分な信頼性のある装置を実現することができた。

本装置の設置によって鋼材の歩どまりの向上、後工程の省力化が一段と計られることが明らかになった。(昭和 45-6-25 受付)

参 考 文 献

- (1) 小藪ほか：昭 44 連大，2027



技術解説

UDC 621. 391. 63 : 621. 391. 33

水中におけるレーザの応用

稲 荷 隆 彦*

1. ま え が き

70年代の巨大科学の一つとして海洋開発がとり上げられ、それによって水中でのレーザの応用が注目されている。レーザは地上よりむしろ水中で威力を発揮する公算が強い。水中でレーザが注目される理由は何か、それは水中ではラジオ波やマイクロ波が伝わらないため、現在地上で使用されている通信機やレーダーは、水中ではほとんど使用できないためである。水中において無線で情報を伝達できるのは超音波を含む音波と、あとは光波以外にはなく、音波と光波はそれぞれ相異なる長所と欠点を備えており、互いに補い合わなければ地上におけるラジオ波やマイクロ波の役割は果たすことができない。

レーザ、あるいは光波は超音波に比べ指向性が鋭く、情報を伝送する媒体としては搬送の周波数が高く、物体に反射させる場合には分解能が高いことが特長である。水中においてレーザが用いられる対象は、アライメント(基準線を出したり位置を合わせたりする)・通信・撮像装置等が考えられるが、この報告では最も応用の可能性の高いと思われる撮像装置を中心に、現在報告されている技術と問題点を紹介する。報告の最初の部分では、レーザの特長を超音波・電波と対比して検討し、応用の着眼点について述べる。最後の部分では当所における実験の一部を紹介する。

2 レーザの水中での特長と応用

2.1 レーザの特長

レーザはよく知られているように、2枚の鏡により構成される光波の共振器により特定の波長の光波を発振させる量子増幅器(発振器)であって、これより出た光波は電波と全く同じ、位相のそろった波動の性質をもっている。レーザ光線は特定の波長をもち、空間的な指向性が高く(市販のガスレーザで広がり角 10^{-3} ラジアン程度)、単位面積あたりのエネルギーが他の光源に比べて高くとれることが特長である。

レーザの種類も多く、発振器・電源共に小さくまとめて全重量1 kgに満たない小形の赤い光を出すHe-Neガスレーザ、やや大形になるが強力な青い光を発するArレーザ(アルゴンレーザ)、大形の電源を必要とし、単発ないしは数サイクル程度のパルス発振ではあるが、ピークパワーが数十メガワットに達する固体レーザ、また固体レーザでも数ワットの出力で連続発振するものや、水中での応用に最も適した緑色の光波を非線形光学効果を用いて発生させる固体レーザ等も開発されている。

2.2 超音波および電波との比較

従来より水中における無線機器としては超音波が最もよく研究されており、水中ソナーや魚群探知機、あるいは簡易水中電話等、開

発され実績のあるものが多い。最もよく使用される周波数は20～数百kHzのもので、超音波は水を媒体として伝ば(播)し、伝ば距離は非常に大きいことが長所であるが、鋭い指向性を得たい場合でも、半値幅で数度以下の広がり角をとることはむずかしく、また多数のサイドローブが発生する。

また超音波は伝ば速度が小さく(約 1.5×10^3 m/s)、水の温度や物理化学的性質の影響を受けやすい⁽¹⁾(たとえば5°Cで 1.42×10^3 m/s、40°Cで 1.53×10^3 m/s)。

超音波の周波数が低いことは、通信の場合の搬送波としては帯域を満足にとることがむずかしいことを意味し、また波長が長く、広がり角の大きいことは、撮像装置としては分解能が高くとれないことを意味している。また伝ば速度が小さいことは応答速度がおおいことになり、これらの諸点ではいずれもレーザのほうがすぐれている。しかし一方では到達距離が長いことや、レーザと違って逆に大きい広がり角がとれることから大きい物体の探索や、どこにいるかわからない対話者を対象とした無線電話には適している。

電波を水中に用いる場合の定量的な評価については、R. K. Mooreにより1967年に詳しく報告されている⁽²⁾。水は電気的には良導体であって電気伝導度の典型的な値4 mohs/mを採ると10kHzの場合のskin depthは2.5 m程度であり、水中の直接伝ばは低周波であってもほとんど不可能である。電波は水の表面に沿って伝ばするため、潜水艇からの通信は水面近くに長いアンテナをおき、一度電波を水面に上げた後に水面を伝ばさせ、水上にいる受信者、あるいは水面近くに受信アンテナをはった潜水艇に送信される。それもMooreによれば最もよい周波数は20 kHz程度で搬送波としても周波数は低く、また減衰のため大きい深度の水中では、通信やレーダーにはほとんど使用できないと考えられる。

2.3 レーザの応用の対象

以上の結果、主として超音波との特長の対比から、レーザの応用の有効なものとして次のように整理できるであろう。

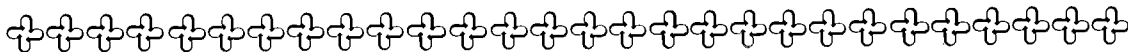
(1) アライナー、位置決め装置、精密な誘導装置：すなわち水中での機械の組立ての際の位置決めや水面上の作業船の位置決め、移動する機械の正確な誘導など。

(2) 通信機器：前述のように簡単な水中電話では超音波がすぐれているが、基地や作業船間の多重通信や、ますます必要となると考えられる海中作業の自動化のための情報伝送には、レーザ通信が不可欠になると考えられる。

(3) 撮像装置：現在の中カメラより遠くのを、ソナーより詳細に観測するためにはレーザのカメラが有効であろう。海洋開発では何にもまして先行するのは海底の探索・調査であって、さしあたって必要になると予想される。

(4) その他

* 生産技術研究所



3. 水中伝播の一般的問題

3.1 波長特性

水の中では青や緑の光がよく通ることは経験的にもよく知られている。水は近赤外線より長い領域では、水の分子の運動による吸収が起こるが、可視光線では水の原子や分子による固有の吸収はほとんどなく、水中での光の減衰はほとんど水の分子や内部の浮遊物等の散乱によっている。

J. P. Mutschlecner らが 1963 年にまとめた、彼等以前に測定された水の透過の波長特性の実験結果を図 3.1 にしめす⁽³⁾。減衰定数 K はデータによりひどくばらついているが、これは実験誤差のほかに、減衰定数の値は測定された水の物理化学的性質により大きく異なっていることによっている。図のように、5,000 Å 付近に幅の広い透過帯があることはすべてのデータの一致するところである。

3.2 光の到達距離に関する考察

水中を光がどれだけの距離まで到達できるかという点について、前述の J. P. Mutschlecner らが減衰係数を用いて見積った結果を図 3.2 にしめす。彼等は次のような range equation を用いて計算した。

$$R(m) = -(2.3/K) \log_{10} (3NEP/P) \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで R は到達距離、 K 減衰係数、 P はレーザ発振器出力で、この式は、受信用の検出器の等価雑音入力 (NEP) の 3 倍にまで光のエネルギーが減衰する距離を与える式になっている。図 3.2 はレーザのパワーをパラメータにし、NEP を光電子増倍管の場合の 10^{-16} W として計算されたものである。

図 3.2 からわかるとおり、光の到達距離を決めるのは主として減衰係数であって、到達距離に大きな差があるのは海水による減衰係数の差に依存している。またレーザの発振パワーを大きくしても、到達距離を著しく伸ばすことはむずかしい。これは式 (3.1) にしめすとおり、発振パワー、および受信器の NEP は対数の中にはいっているためである。これらは他の文献にも共通して指摘されている事実である。式 (3.1) はよく知られる減衰の方程式

$$P' = P \exp (-R/K) \dots \dots \dots (3.2)$$

から求められたものであるが、一般に光が水中を進む距離を論ずる場合には $1/K$ を単位とし、これを attenuation lengths と呼ぶことが多い (ここでは att. lengths と略記する)。この値は光が初期値の $1/e$ (37 %) に減衰する長さに相当し、水質により異なっている。普通、きれいな海水で 2~10 m といわれている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

3.3 散乱の効果

水の中を光が進む場合、大気中と違って最も問題になるのは水の分子や、水中の浮遊物による散乱である。散乱の分布の一つの例を図 3.3 にしめす⁽⁴⁾。光の進行方向への散乱を一般に前方散乱、反対方向への散乱を後方散乱と呼ぶ。前方散乱は普通、後方散乱より大きいといわれている。実際に水中での光の減衰は散乱によるもの

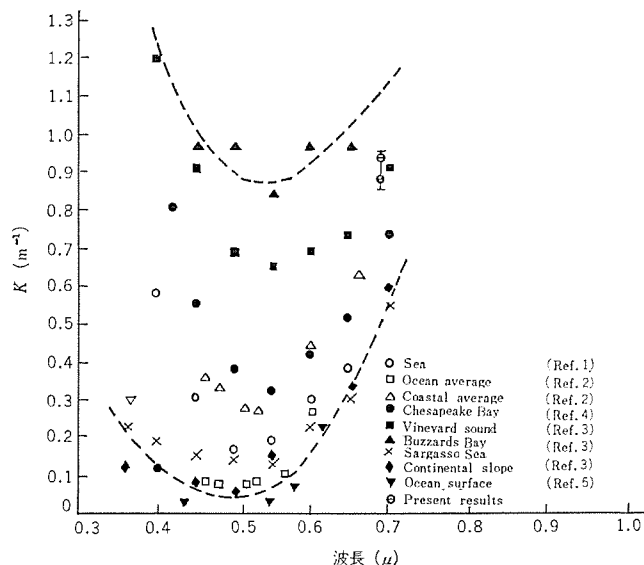


図 3.1 海水の透過波長特性⁽³⁾

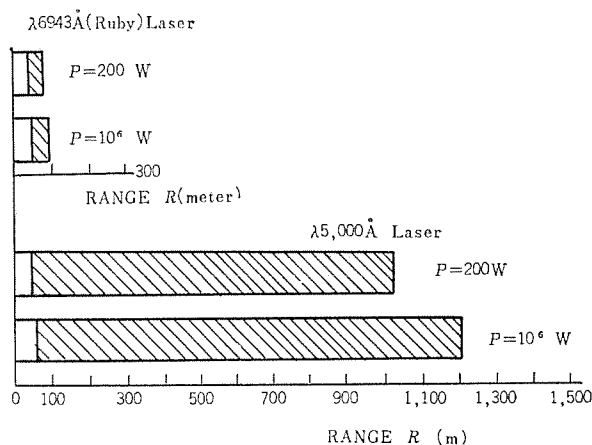


図 3.2 6,943 Å (Ruby) と 5,000 Å Laser の場合の到達距離の計算値⁽³⁾

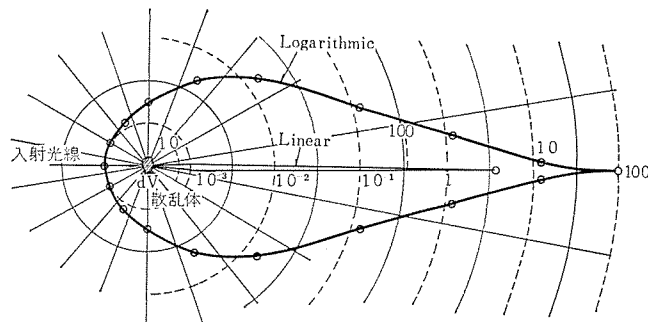


図 3.3 散乱体積要素による散乱の分布例⁽⁴⁾

が 50% 以上をしめる。減衰係数 K は水による吸収による部分 a と散乱による部分 S の和になっている。

実際には光は、式 (3.2) で計算されたパワーより大きいパワーが比

較的遠くまで到達しているといわれている。これは前方散乱によるもので、散乱により一度は光軸からはずれた光波が別の散乱体に再散乱され、あるものはこの過程を何回か繰返ししながら、再び光軸の付近に入って受信器に入る成分がかなりあるといわれている。この過程を *multipath* と呼び、最初の光が直進してそのまま到達するのを *monopath* と呼んでいる。

この効果に対する定量的な評価は、1966年に H. J. Okoomian⁽⁵⁾によりおこなわれた。彼によると、いま受信器面における照度を H_r 、monopath による照度を H_r^0 、multipath による照度を H_r^* とすると

$$H_T = H_T^0 + H_T^* \dots\dots\dots (3.3)$$

が成立する。 H_r^0 は通常的光の減衰の式 (3.2) にしたがうから,

$$H_r^0 = (J/R^2)e^{-aR} \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで a は monopath による減衰係数, J は光源から単位立体角あたりに放出される放射強度, R は距離である。

multipathの照度については散乱過程の複雑さから簡単に取り扱うことはできないが、現象の類似性から等方物体における中性子の透過を扱う拡散理論をそのまま適用する。そうすると

$$H_r^* = (J_s/4\pi R)e^{-sR} \dots\dots\dots (3.5)$$

ここで s は multipath での減衰係数である。よって距離 R における全照射は

$$H_r = (J/R^2)e^{-aR} + (J_s/4\pi R)e^{-sR} \dots\dots\dots (3.6)$$

と書かれる。この式から距離が大きくなった場合、 `multipath` の寄与が `monopath` に比べて大きくなっていくことが予想される。

図 3.4 は 1960 年に S. Q. Duntley⁽⁶⁾ によって湖水で測定された結果であって、光源に点光源を用いている。図で丸い黒点が式(3.6)を用いて計算したものである。

H. J. Okoomian が最大ピーク出力 200 kW の非線形光学効果による緑の固体パルスレーザにより、ろ過された Potomac River の水で 30 att. lengths 以上の距離にわたって実験した結果、図 3. 5 にしめすような multipath の効果を確認している。到達距離の大きい領域はほぼ $H_r \approx H_r^*$ となっている。彼の報告では、受信系の視野を 2° と 26° の場合について H_r^0 と H_r^* の比率を調べたが、 2° の場合で $H_r^0/H_r^* \approx 10^{-3} \sim 10^{-5}$ 、 26° の場合で $10^{-6} \sim 10^{-8}$ で multipath の影響がいかに大きいかをしめしている。この Okoomian の実験条件では、検出器の NEP は $5 \times 10^{-10} \text{ W}$ 、したがって光エネルギーが 3 NEP になる距離は att. lengths を 7 m とすると、検出可能な到達距離は約 450 m となる。

以上のように前方散乱は光を前方へ送る作用をおこなう。一方後方散乱は水中カメラの雑音のおもな原因になる。このことについては後述する。

3.4 ゆらぎの効果

今までの検討は静水における場合であったが、水の動きや温度こう配の影響は実際の場合には無視できない。

水中におけるレーザの応用・稲荷

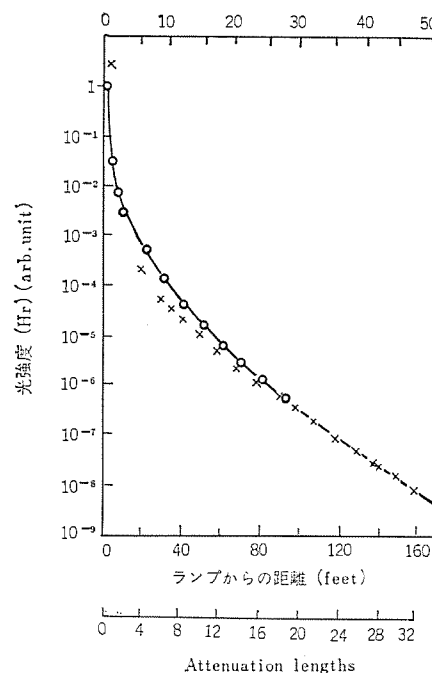


図 3.4 点光源からの光の距離による減衰⁽⁶⁾

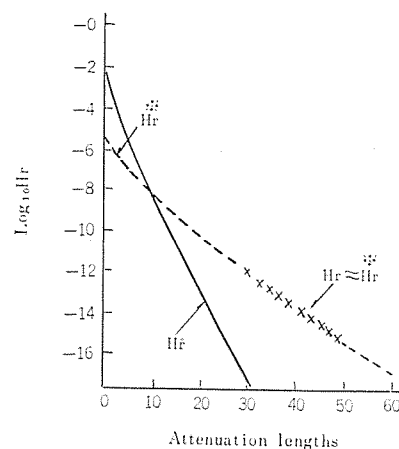


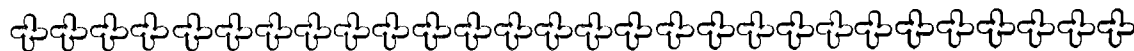
図 3.5 距離に対する光の減衰 (視野 26°)

温度こう配によって波長や光波の速度のうける影響は超音波と異なりほとんど無視できるが、屈折率の変化による光束の変位や乱れは、ことにアライメントに応用する場合には著しく影響をうける。水の動きの効果も実際に濃度こう配ができるほどになれば無視できない。

4. 応用と応用上の問題点

4.1 アライメント、位置合わせ

レーザをアライメントや一般の位置合わせ等に用いることは知られているが、水中において機械の組立てや作業船の位置制御、誘導等に有効に応用できることは予想される。この場合の問題点は前の3.4節でのべたゆらぎの問題が最も大きい。ゆらぎのまったくない静水



中の場合でも、光線の到達距離が 10 att. lengths を越えるような場合には、前にのべたように前方散乱が支配的になるためビームのスポット径や強度分布に問題がおこることが予想される。

4.2 通信装置への応用

前にのべたように、超音波や電波は周波数が低いために搬送波としては帯域幅が大きくとれず、多重通信や、海中作業には不可欠の自動化作業のための複雑な情報伝送の目的には不適當である。このような通信を無線でおこなうには、レーザよりほかに手段はないであろうと考えられる。

水中での通信は FM または PCM 通信が最も効果的である。その場合 3.3 節でのべた前方散乱が問題になる。すなわち H. J. Okoomian の実験で明らかとなり、10 att. lengths 以上の距離では multipath の寄与が大きくなり、30 att. lengths ではほとんど支配的になる。multipath をへた光波は種々の経路を通るため、受信器に到達する光波は種々の位相の波の重畳となり、パルス幅は全般的に広がってしまうことが予想される。いま伝送距離を 300 m とし、水中での光波の速度を 2.25×10^8 m/s とする⁽⁴⁾。multipath のため、直進する場合の 2 倍の path を仮りに通った光波があったとすると、その光波の直進する場合に対する時間遅れはほぼ 1×10^{-8} s となる。実際には path による減衰の程度を考慮に入れなければならないが、いずれにしても数 ns のパルスによる通信や、1 MHz 以上の変調などに対しては、受信器側でかなりの影響が出ることは予想しておかねばならない。遠距離通信の場合には、受信側の視野を十分大きくする必要があるが、その場合には multipath の効果も大きくなるため、変調とのかね合いから制限ははいることになる。

4.3 水中カメラの方式

海中においては、障害物の探知や形状の判別等の探索装置が必要になると予想されるが、超音波は大きい物体の判別や、遠距離にある障害物に対しては水中ソナーとして多くの実績があるが、より分解能の高い判別には適していない。

従来から水中テレビは用いられているが、この問題点は光の到達距離に対する制限も大きい、それ以上に前にのべた後方散乱の効果が大きい。対象物体からの反射が後方散乱と同程度になれば、対象物体の見分けはまったくつかないことになる。光源の出力を大きくしても、それに応じて後方散乱も大きくなるため、信号対雑音比としてはまったく改良されない。後方散乱の影響をできるだけ少なくするのは、

(a) 光学フィルタ・偏光板等をうまく使うこと、ことに偏光板の使用はランダムな偏光面をもつ後方散乱と、対象物体とを見分ける有効な方法である⁽⁷⁾。

(b) range gate 方式を用いる。

(c) 検出器視野の走査方式を用いる。

(d) 光源と検出器をできるだけ分離する。

等の対策が考えられる。

水中カメラは水中のレーザ応用の中では最も注目され、いくつかの方式が提案され実験されている⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。ここではその代表的なものを分類してのべる。

4.3.1 Range gate 方式

よく用いられる雑音対策であって、光源よりパルスとして発射された光が物体から反射され受信器にはいる場合、光源より発射した時点から反射光が受信器に到達すると予想される時間まで待って、検出回路を開いて反射光パルスのみを検出する方式である。この場合、混入する雑音は、ゲートパルスの幅に光の速度を乗じた範囲からくる後方散乱によるものである。したがってゲートパルスの幅は小さいほどよい。

4.3.2 レーザテレビジョン方式

光源からの光線の path と受光側の path は分離できれば離すほどよい。この方式の模型図を図 4.1⁽⁸⁾ にしめす。ミラーによってレーザ光線を二次元に走査し、ビームはできるだけ細くして対象物体にあてる。受信器は光電子増倍管で対象物体全体を視野におき、走査系からの同期信号により電子ビームを走査される CRT の上に、光電子増倍管からの出力を映像信号とした像が描かれる。これは典型的な方式であるが、照射されるレーザビームからの散乱が受信器にはいつて雑音となる。

4.3.3 受信系走査方式

上にのべた入射ビーム等からの散乱を避けるために、ビデオなどを用いて検出側をレーザビームの走査と同期して走査する。これはビデオの光電面が物体の像を結ぶ結像面になっている場合、ビデオの 1 点は必ず物体の 1 点に対応しており、ビデオの電子ビームによる読出し点が必ずレーザの照射点に対応するように同期系を調整しておく。こうすればレーザビームの不要な散乱による雑音は避けられる(図 4.2)⁽⁸⁾。ただしこの方式は各同期の調整などが非常にむずかしいと考えられる。

4.3.4 Range gate 光線走査方式

これは 4.3.1 項の range gate 方式と、4.3.2 項のレーザテレビ

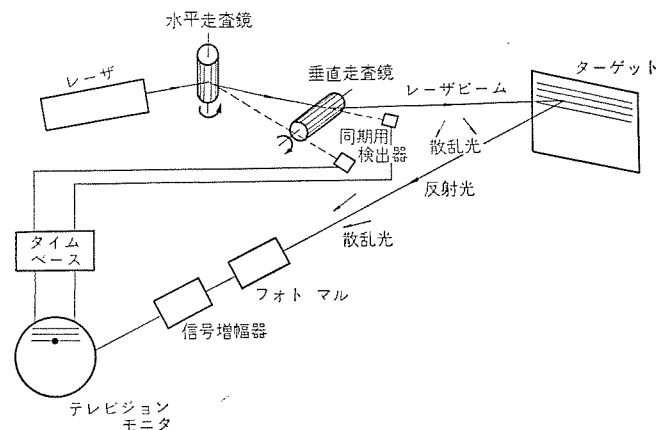


図 4.1 レーザテレビジョン方式

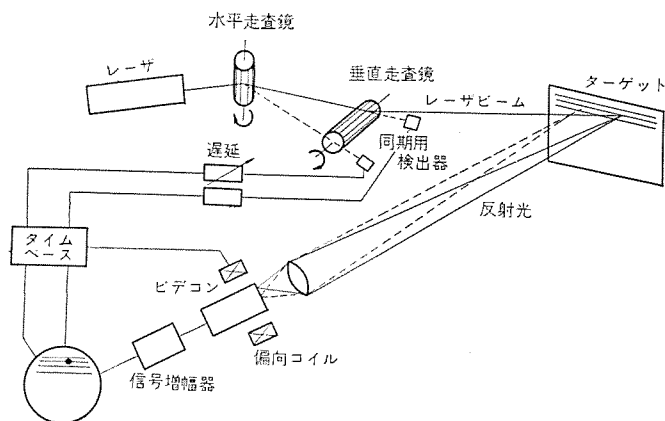
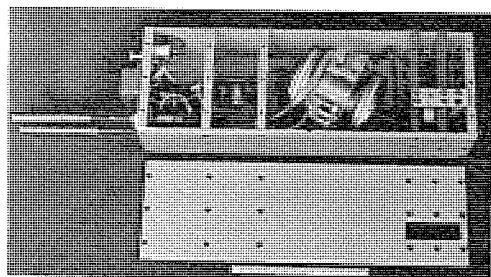


図 4.2 受信系走査型レーザテレビ方式



当社中央研究所にて開発されたもの 出力 1 MW
単一ジャイアントパルス パルス幅 20 ns

図 4.3 第2高調波レーザヘッド

式を組合わせたもので、光電子増倍管で検出する場合には一度出力を memory した後、CRT で表示するようにする。この方式が最も妥当なところと考えられる。

4.3.5 画像処理

後方散乱による入力は図形の上ではランダムな白色雑音に相当するから、画像の上でフィルタにより処理をする。ホログラムを含む光学的な画像処理も有効であるが、問題点としては、反射光の強度は非常に小さいのが普通であり、そのままでは画像処理ができないということである。

いずれにしてもレーザによる水中カメラによって、きれいな海水で 100~200 m の範囲は見えるようになると予測されている⁽⁴⁾。

4.4 レーザ光源

3 章でのべたとおり、光の到達距離を決めるのは減衰係数であり、このため光の波長は $5,000 \text{ \AA}$ 付近のものを用いることが不可欠の条件である。この付近の波長の光を出すレーザ光源としては、幸いにも従来からよく知られたものがあり、第1にはアルゴンガスを用いたアルゴンガスレーザ、第2にはガラス、または YAG 結晶からパルスで発振する光線を、非線形光学効果によって2倍の周波数にして倍した第2高調波レーザである。前者は連続発振であるが出力は小さく 10 W 以下程度であるが、後者の場合はジャイアントパルス発振で、数百 kW から 1 MW の瞬間最大出力のパルスを得ることができる。前項での

べた range gate のレーザテレビ方式の場合には、後者を用いるほうが有利であるが、このような大出力では高い繰返しのパルスは得られがたいのが問題である。ただし数 W 以下であればこのレーザも連続で発振させることができる。図 4.3 は当社中央研究所において製作された第2高調波レーザである。このレーザは電気入力に 120 ジュールで 1 MW の第2高調波の出力を得ることができ、パルス幅は約 20 ns である。

海中において用いる場合には、出力の大きさよりもむしろ安定性ならびに寿命が問題である。ITV カメラのビデオが現在約 2,000 時間の寿命といわれており、レーザもその程度の寿命が望まれる。

5. 実験状況

当所における水中での実験は、まだ開始したばかりの段階であって特記するほどのものはないが、実験の一例を紹介する。

実験は本来水そう(槽)でおこなうほうが望ましいが、大がかりになるので、とにかく基本的な様子を調べる目的であるから水道用パイプを利用し、レーザ光源も入手しやすい小形の He-Ne ガスレーザを用いている。水路の長さは一応 4 m であるが、パイプは自由に結合ができるので、より長くすることは容易である。図 5.1 に実験装置をしめす。He-Ne ガスレーザ光は KDP 結晶を用いた変調器で、任意の周波数に変調できるようになっている。これにより 70 MHz 程度の変調までは可能である。変調は雑音を除く目的のほかに 4.2 節でのべたように multipath の効果が波形に及ぼす影響などを調べる目的をもっている。検出器は RCA 7102 の光電子増倍管、増幅器としては RCA の CA 3000 リニヤ IC を用いたビデオ増幅器を使用している。

5.1 透過の実験

He-Ne ガスレーザの光(レーザ出力 1 mW であるが、変調用偏光板で出力は半分以下になっている)を水道水(上水)を入れた 4 m の水路を通したときの様子を次のべる。

水路の出口に検出器を設定し、シックスコップで波形を観測する。

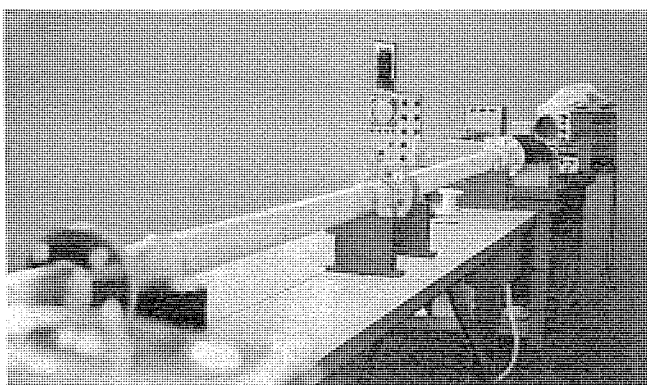
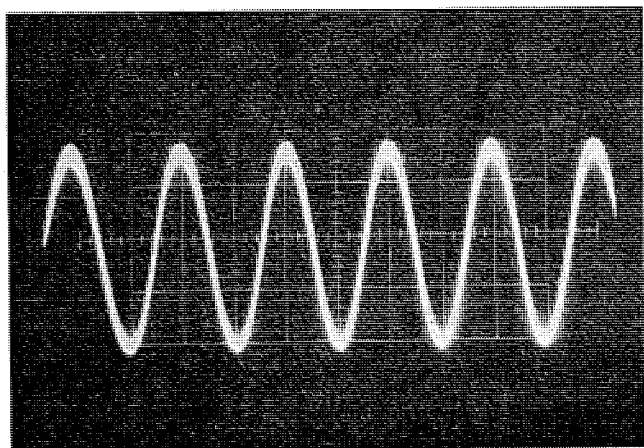
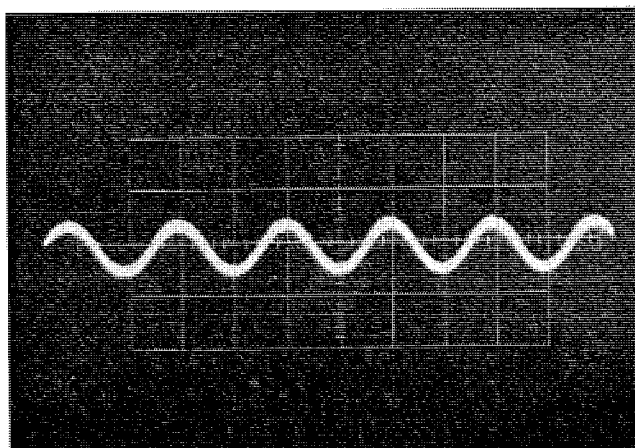


図 5.1 水中伝ば実験装置
(写真 右端にレーザ、変調器および検出装置がある)



たて軸 0.2 V/div よこ軸 500 μ s/div

図 5.2 水のない場合の透過光出力波形



たて軸 50 mV/div よこ軸 500 μ s/div

図 5.3 水のある場合の透過光出力波形

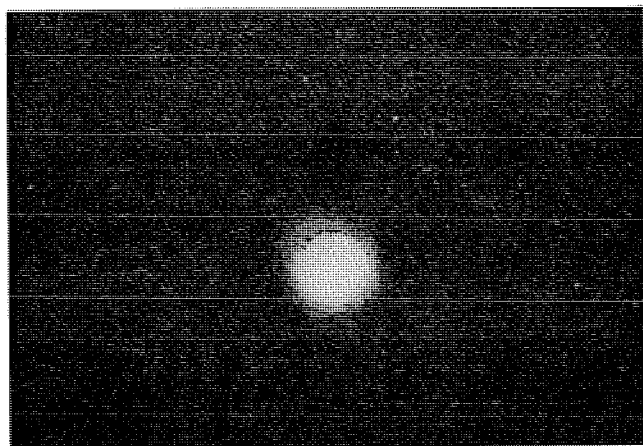


図 5.4 水のない場合のレーザスポット

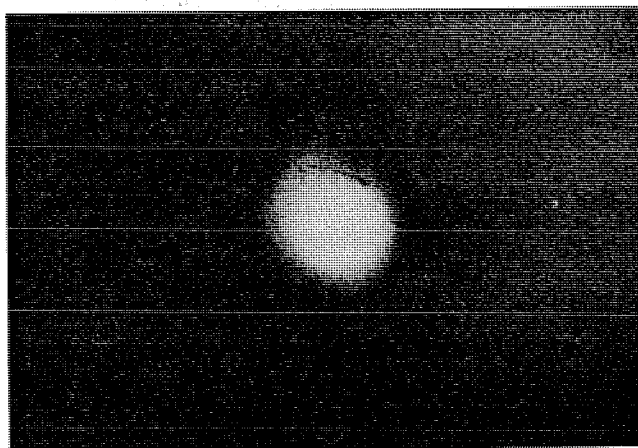


図 5.5 水のある場合の透過光のスポット

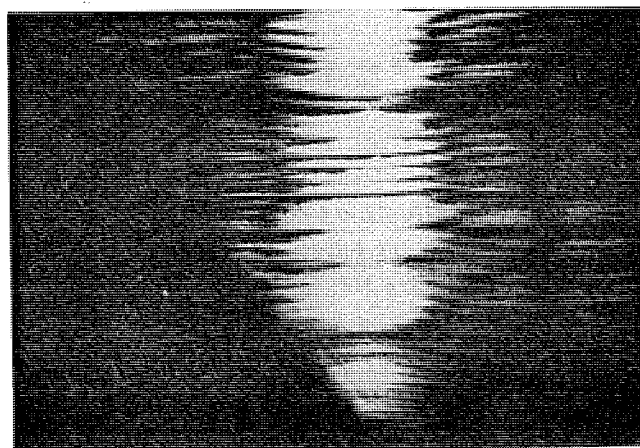
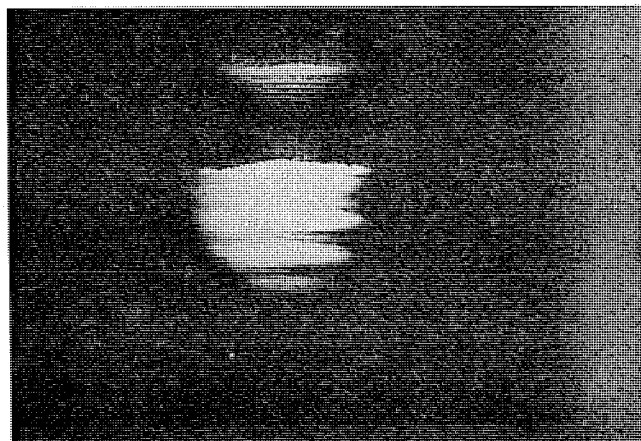


図 5.6 レーザビームが水面に交差するときのスポットパターン

水のない場合の波形を図 5. 2 にしめす。変調周波数は 1 kHz である。水路に注水し、水面とレーザビームが交差するようになると、ビームスポットは後でのべるように著しく乱れ、波形は乱れてほとんど観測できなくなる。レーザ光線が完全に水中に没したとき、波形は元どおりに落ち着く。この場合の波形を図 5. 3 にしめす。

光線が水中にある場合は、このような低周波ではほとんど波形に影響がない。水を静かに波立たない程度に流している場合も同じである。ただし波形の振幅は減衰により著しく小さくなる。この観測では約 1/20 となる。光電子増倍管の出力と光エネルギーの関係は正しく校正されねばならないが、いま比例していると仮定すると、この水の減衰係数は、He-Ne の 6,328 Å の光に対して約 0.65 m^{-1} となり、ほぼ妥当な値をしめしている。

光線が水中にある場合にはビームスポットもあまり変化がない。図 5. 4 は水のない場合、図 5. 5 は水中にある場合のスポットである。ただし前方散乱による広がりについてはこのような観測ではよくわからない。うえのべたように水が注水されて、水面がレーザ光線と交差するようになると、光線が水面に反射され、ビームスポットは乱れて著しいしま(縞)模様ができる。図 5. 6 はその例である。スポット径の大きさは写真ではよくわからないが約 7 mm 程度である。

5. 2 反射の実験

レーザ光線を水路の出口で鏡により反射させ、投光器側で検出する実験をおこなったが、水がはいっている場合については観測できなかった。これは光のエネルギーが著しく減衰するのみならず、装置がまだ不備であること、水を入れるとビーム方向が変化する効果等が原因である。

今後は装置の改良による反射光、散乱光の観測、高周波変調による波形の乱れの観測等の実験を予定している。

6. む す び

レーザの特長を超音波・電波と比較してのべた。レーザの特長は鋭い指向性と高い搬送周波数がとれることであり、応用としては、アラライナー・位置決め装置・短距離多重通信・水中探査装置等が有効で

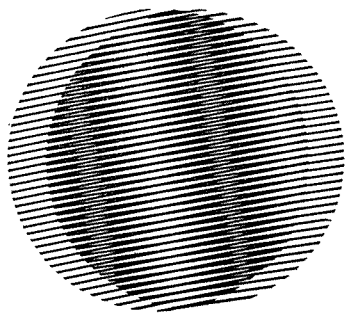
ある。次に光波の水中伝ばの様子をのべ、到達距離は減衰係数で決まること、およびうえのべた応用のための問題点は前方、および後方への散乱と、場合によってはゆらぎであることがはっきりしている。現在水中探査装置が最も応用の可能性が高く、文献も多く、3~4 方式が提案され、実際につくられつつある。今後の海洋開発の進展にともなう、レーザの応用は超音波とともにますます重要になってくると考えられる。

なお水中探査の場合の後方散乱や、それにともなうコントラストの問題に関して、modulation transfer function⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などを用いた理論的取扱いがなされているが、詳細になるのでここでは省略した。

最後に第 2 高調波レーザの写真ならびにデータを提供していただいた当社中央研究所、第 1 研究部の関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 実吉ほか：超音波技術便覧 1,200 (昭 41)
- (2) R. K. Moore : IEEE, Spectrum, 42, Nov. (1967)
- (3) J. P. Mutschlecner, D. K. Burge, and E. Regelson : Appl Optics, 2, [11], 1,202 (1963)
- (4) E. Kornstein, and H. Wetzstein : Electronics, 140, Oct., 14 (1968)
- (5) H. J. Okoomian : Appl. Optics, 5, [9], 1,441 (1966)
- (6) S. Q. Duntley : US Navy Bureau of Ships, Contract NObsr-73039 Task 5 Rept, 5-11, Oct. (1960)
- (7) G. D. Gilbert and J. C. Pernicka : Appl. Optics, 6, [4], 741 (1967)
- (8) M. R. Wall : SPIE Seminar Proc., 12, 21 (1968)
- (9) M. R. Wall : Opt. Technol., 1, [3], 130 (1969)
- (10) F. W. Replogle Jr : Seminar on Underwater Photo-Optics, Oct. 10-11, 1966, Society of Photo-graphic and Instrumentation Engineers, Santa Barbara, Calif
- (11) J. Ronald, V. Zaneveld and George F. Beardsley Jr : J Opt. Soc. Am., 59, [4], 378 (1969)



新製品紹介

新形電磁クラッチ 2 機種完成

省力化のにない手として、電磁クラッチへの期待は大きくその需要はますます増加の傾向にあるが、これらにこたえるべく、今回新たにコンパクト化を計った湿式電磁クラッチと、小形・高トルクをモットーとした歯形電磁クラッチを開発し、発売を始めたので、その特長・仕様について紹介する。

(1) NKA 形湿式電磁クラッチ

工作用機器工業会の規格に基づいた新シリーズで、当面従来より好評を博している HK 形電磁クラッチと併行販売される。

■ 特 長

(a) きわめてコンパクト

外形寸法は同種製品のものでは最も小さく、また軸径は最大になっている。

(b) 信頼性が高い

油循環方式・摩擦板形状・磁気回路など多くの点でユニークな設計がなされているので、過酷な使用でも十分耐える。

(c) 経済設計が可能

空転トルクとか GD^2 が小さく、また応答性がよいので、高能率な機械設計ができる。

(d) 組込みが簡単

組込時の調整が不要で、またギヤとの取付、給電方式などに新しいアイデアが折りこまれているので、機械への装着が容易である。

■ 仕 様

形 名	動 摩 擦 ト ル ク (kgm)	静 摩 擦 ト ル ク (kgm)	電 圧 (V)	電 力 (W)	重 量 (kg)
NKA-2.5	2.5	5	24	19	2.2
NKA-5	5	10	24	30	3.4
NKA-10	10	20	24	40	5.4
NKA-20	20	40	24	47	8.6
NKA-40	40	80	24	52	15.5

(2) NYA 形歯形電磁クラッチ

歯形電磁クラッチは歯と歯のかみ合いによってトルクを伝達するもので、工作機械をはじめ、各種産業機械用として最近特に注目されているものである。

■ 特 長

(a) 大きな伝達トルク

トルクの伝達は歯のかみ合わせによって行なうので、小形で大きなトルクを伝えることができる。

(b) 発熱がほとんどない

一般の摩擦クラッチにみられる空転トルクあるいは連結時の摩擦熱がないので、つれまわりとか温度上昇の問題がない。

(c) 動作は確実

応答性が早く、またいかなる状態でもクラッチは開放できる。

(d) 取付容易

コイル静止形で、かつベアリング付きなので機械への装着が簡単にできる。

(e) 使用範囲が広い

湿式・乾式いずれにも使用でき、また使用条件によっては回転中でも連結できる。

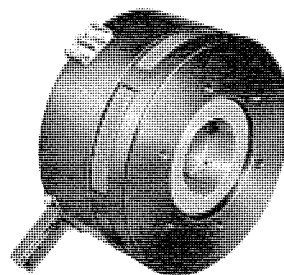


図 1 NKA 形湿式電磁クラッチ

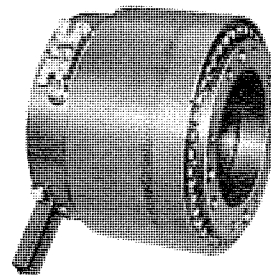


図 2 NYA 形歯形電磁クラッチ

■ 仕 様

形 名	伝達トルク (kgm)	電 圧 (V)	電 力 (W)	重 量 (kg)
NYA-5	5	24	19	1.6
NYA-10	10	24	23	2.1
NYA-20	20	24	35	4.7
NYA-40	40	24	42	8.0
NYA-80	80	24	51	12.4

[姫路製作所]

乗車券等自動発売機用テープさん孔装置

近年各方面で販売業務の省力化・近代化が盛んに行なわれており、鉄道においても乗車券自動発売機（券売機）の設置台数が急激に増加しつつある。券売機の設置によって出札業務の省力化は大きく進められるが、出改札業務全体の近代化という点からは発売データを自動的に収集し、これをもとに発売金額の集計などのデータ処理を計算機で行なう必要がある。乗車券自動発売機用テープさん孔装置は、出改札業務近代化の一環として券売機の発売データを自動的に収集することを目的とした装置であるが、乗車券に限らず一般の自動発売機にも利用可能である。

この乗車券自動発売機用テープさん孔装置は、1台で最大10台までの券売機の発売データを収集することができ、1～10台の券売機を一群として一本の紙テープに、発売のつど乗車券種別（単価に相当）を逐一さん孔していくようになっている。1日に1回操作盤より手動操作でヘッダー（日付・駅名・機械番号・取扱者番号）およびエンドマーク（1日の区切り）をさん孔するだけで、あとは自動的に発売データがさん孔される。

この装置のおもな特長をあげると次のとおりである。

（1）IC化

制御回路には全面的に半導体集積回路を使用して小形化可能とし、部品点数減少による信頼度向上をはかっている。

（2）券売機とのインターフェースのはん(汎)用性

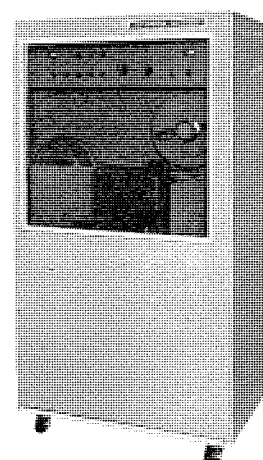
券売機との信号のやりとりはすべて接点渡しとし、規格化された出力様式の簡単なインターフェース回路を券売機に設けることにより、各種の券売機に接続できる。

（3）フェールセーフ機能

電源断・テープなしなどの不具合に対して警報および券売機へ発売中止信号を出すようになっている。

（4）耐環境性

特別な環境対策（空調等）の設備のない駅現場に設置できる。また、電気的な雑音対策も考慮してある。



乗車券自動発売機用テープさん孔装置

(5) 保守容易

制御部はプラグインユニット(カード)とし、さん孔機とともに前面より容易に交換できるようにしてある。また、試験盤を設け券売機を動かさずに点検できるようにしてある。

[鎌倉製作所]

定期券印刷発行機を開発

乗車券類の印刷発行機の一環として、定期券印刷発行機を日本国
有鉄道 鉄道技術研究所のご指導のもとに開発した。

この定期券発行機は、発駅・着駅・券種・期間などの指定によっ
て、運賃・通用終了日を自動計算し券面を印刷、さらに自動改札用
のコードを磁気的方法により印加するものである。したがって、係
員は最少のボタン操作によって指定の券面を印刷し、かつ自動改札
用コードを自動的に印加した定期券が発行できる。

特にこの装置は、定期券に付随する氏名を申込用紙から転写印刷
ができる構成としており、これによって係員の氏名記載の手間が省
けるばかりでなく、券面印刷・保護シール・磁気コード印加の一連の
動作が自動的に行なわれ、この間に人手の介入が不要となり、連続
的な印刷発行工程を可能とした。

今回開発の発行機は、将来の自動改札システムの一環としての定期
券印刷発行機であるが、券表面印刷は、項目ならびにその配置・大きさなどできるかぎり
現行制度どおりとしている。

またこの定期券印刷発行機は、将来、集約発売用としても使用できるように、発駅は一
駅に限らず多数の発着駅組合せの口座が扱え、かつ収容口座外については補充券として発
行するほか、継続定期券・社線連絡定期券をはじめ現行の各種定期券が発行でき、また、
後方業務用に OCR リンタ、紙テープさん孔装置などによって発行記録がとれるよう考慮し
ている。

なお、券面印刷は電子写真によっており、定期券の特質である多項目の合成印刷は、光
学的手法による位置ぎめを用いて、15項目にわたる項目合成を実現している。この合成項
目数は、必要に応じ、増加させたり減少させたりすることもできる。このほか、氏名・性
別・年齢などの転写合成印刷の光学系があり、氏名が漢字によって券面に印刷できる。

一方、運賃計算・通用期限などの論理演算を行なう論理回路部は、これら計算のため、
運賃計算にあつては国鉄で計画の自動改札用駅コードをインデックスとして用いることにより、
乗車経路の判定ならびに距離計算を行なっており、これによって基本運賃の算出がなされ、
さらに割引計算が行なわれる。また、論理回路部は、操作部、印刷部、磁気コード印加部
との信号授受を行ない、これらの動作を制御している。

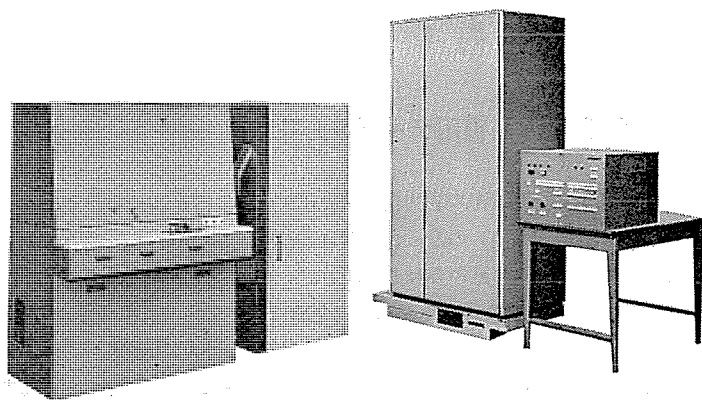


図1 定期券印刷発行機(右から操作部、論理回路部、
磁気コード印加部、印刷部)

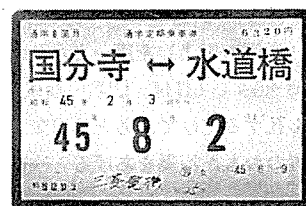
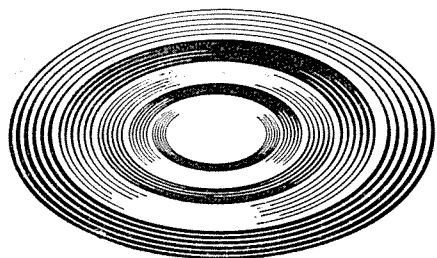


図2 発行定期券例

[鎌倉製作所]



NEWS FLASH

列車ダイヤ自動記録装置の新機種完成

列車ダイヤ自動記録装置は、予定ダイヤが印刷された記録紙に列車の走行軌跡を実時間記録する装置であり、全国各地(主としてCTC化線区)に逐次設置されて運転指令業務に貢献しているが、今回新たに間接方式の列車ダイヤ自動記録装置が、日本国有鉄道のご指導のもとに開発され、水戸線CTC用として完成した。

従来の直接方式においては、記録すべき駅構内および駅間の列車位置情報は、すべてCTC装置で現場より収集されたものが供給されていた。

しかし区間によっては、駅構内の情報のみ収集すればCTCとして十分な場合もあり、有用性をみとめながらもダイヤ記録を見送ることがあった。今回開発した間接方式はこのような線区を対象としたもので、直接方式の装置に入力制御機を付加し、駅構内の実時間情報をもとに模擬駅間記録点情報(1~2分/1点)を発生し、直接方式と同様に駅間記録でできるようにしたものである。

なおこの間接方式によれば、駅間の記録点数を閉塞区間とは無関係に選ぶことができ、記録点数を多く、しかも定時間間隔にとれるので、記録状態の直線性がよくなり、点近似へと近づき直線に近い記録が得られる。このため3~5分ヘッドの高密度ダイヤ区間に使用しても見やすく、この面でも有効な方式である。

現在さらに、この方式を応用して3分以下ヘッドの電車区間にも適用できる装置を開発中である。



水戸線CTCセンタ納め列車ダイヤ記録装置

[鎌倉製作所]

原子力第一船「むつ」向け原子炉出力自動制御装置核計装装置の完成

国産原子力船第一船「むつ」向けに開発製作していた、原子炉出力自動制御装置および核計装装置が完成。神戸製作所において、日本原子力船開発事業団・三菱原子力工業・NK・J. G. 各検査官立会いのもとに工場試験を実施し、所要の性能を確認し、昭和45年10月「むつ」に搬入した。

(1) 原子炉出力自動制御装置

本装置は「むつ」に使用されている動力用加圧水形原子炉の出力の自動制御を主として行なうもので、No. 1 盤とNo. 2 盤とに分れており、No. 2 盤は、原子炉冷却機の入口・出口温度を測定し、その温度差および平均温度を計算し、さらに核計装装置から得られる

中性子束信号と蒸気流量信号に位相補償や演算を行ない、制御棒のそう入、引抜信号を作る炉出力制御部と、加圧圧力が低過ぎたときにスクラムする低圧スクラム部、および冷却水温度が高温になったときにスクラムする高温スクラム部とからなっている。

No. 1 盤には、制御棒の位置を表示する制御棒位置指示、警報回路、制御の自動—手動選択回路および制御棒プログラム回路が含まれている。

(2) 核計装装置

原子炉の出力は、原子炉内で核分裂により発生する中性子束に比例する。本装置はこの中性子束を測定することにより原子炉出力を測定し、原子炉制御信号として利用する。また原子炉制御信号として利用する。また原子炉の起動時および停止時にも、中性子束の監視を行ない安全に操作を行なうため信号を送る。

起動時から定格出力の150%までの中性子束の変化は、11けたに及び、この広範囲の中性子束を、次の3系統の測定系に分けて測定している。

系 統 名 称	系 統 数	中性子束測定範囲	検 出 器
線 源 領 域	2	$10^{-1} \sim 10^5 \text{ n/cm}^2/\text{sec}$	^{10}B 比例計数管 2個（予備1個）
中 間 領 域	2	$10^2 \sim 10^{10}$	ガンマ線補償形電離箱 2個（予備1個）
出 力 領 域	4	$10^7 \sim 2.5 \times 10^9$	ガンマ線非補償形電離箱2本および中間領域の検出器2本を共用

線源領域ではパルス信号を、中間・出力の領域では微小直流電流を取り扱うため、シールド対策やアースの適正化など十分なノイズ対策を行なっている。

[神戸製作所]

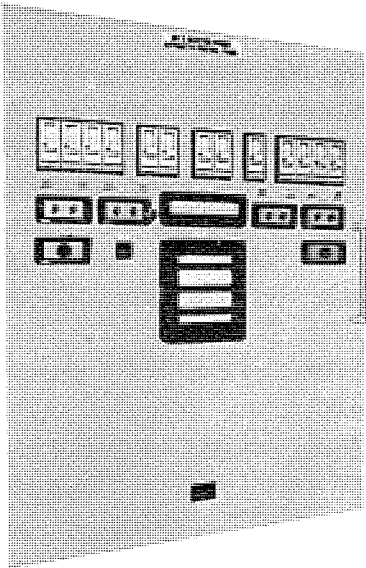


図 1 原子炉出力自動制御装置 No. 2 盤

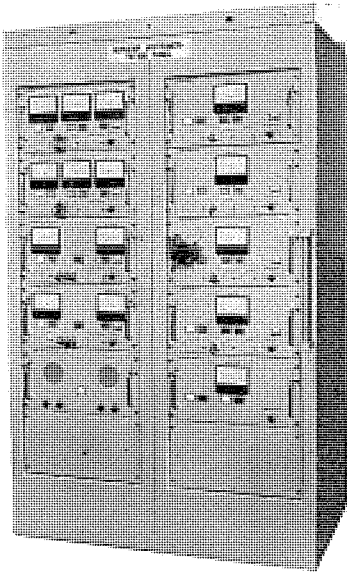


図 2 原子力船「むつ」向け核計装盤

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2番3号(三菱電機ビル) (電 100) (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)	(電 530)	(電) 大阪 (06) 343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)	(電 450)	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社)	(電 420)	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	(電 810)	(電) 福岡 (092) 75局6231番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館)	(電 852)	(電) 長崎 (0958) 23局6101番
札幌営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)	(電 060-91)	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)	(電 980)	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号	(電 930)	(電) 富山 (0764) 31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)	(電 730)	(電) 広島 (0822) 47局5111番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館)	(電 700)	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号	(電 760)	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)	(電 100)	(電) 東京 (03) 218局2111番
城北家電営業所	東京都文京区大塚3丁目3番1号(新茗溪ビル)	(電 112)	(電) 東京 (03) 944局6311番
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻3丁目10番3号(三菱電機世田谷ビル)	(電 154)	(電) 東京 (03) 411局8181番
城西家電営業所	国分寺市南町2丁目16番14号(秀美ビル)	(電 185)	(電) 国分寺 (0423) 22局1881番
横浜家電営業所	横浜市中区富士見町3番地4	(電 232)	(電) 横浜 (045) 251局2226番
千葉家電営業所	千葉市新宿町2丁目49番地(三菱電機千葉ビル)	(電 280)	(電) 千葉 (0472) 42局5486番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(電 530)	(電) 大阪 (06) 344局1231番
洲本出張所	洲本市上物部2丁目6番33号	(電 656)	(電) 洲本 (07992) 2局0631番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)	(電 450)	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
静岡出張所	静岡市小島2丁目1番22号	(電 420)	(電) 静岡 (0542) 85局6141番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	(電 810)	(電) 福岡 (092) 75局6231番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)	(電 060-91)	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル)	(電 980)	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地	(電 920)	(電) 金沢 (0762) 52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)	(電 730)	(電) 広島 (0822) 47局5111番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号	(電 760)	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目12番地(北陸ビル)	(電 950)	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
関東商品営業所	与野市上落合後原842番地	(電 338)	(電) 与野 (0488) 33局3181番
東京機器営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)	(電 100)	(電) 東京 (03) 218局2111番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(電 530)	(電) 大阪 (06) 344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地	(電 661)	(電) 大阪 (06) 491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地	(電 661)	(電) 大阪 (06) 491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号	(電 247)	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1	(電 652)	(電) 神戸 (078) 67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地	(電 661)	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地	(電 669-13)	(電) 三田 (07956) 局 4371番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号	(電 852)	(電) 長崎 (0958) 23局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地	(電 492)	(電) 稲沢 (0587) 32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地	(電 640-91)	(電) 和歌山 (0734) 23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地	(電 247)	(電) 鎌倉 (0467) 46局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地	(電 661)	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地	(電 664)	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本工場	熊本市竜田町弓削720番地	(電 862)	(電) 熊本 (0963) 62局7211番
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地	(電 461)	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地	(電 81-01)	(電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号	(電 720)	(電) 福山 (0849) 21局3211番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地	(電 670)	(電) 姫路 (0792) 23局1251番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号	(電 229)	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
世田谷工場	東京都世田谷区池尻3丁目1番15号	(電 154)	(電) 東京 (03) 414局8111番
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号	(電 420)	(電) 静岡 (0542) 85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号	(電 508)	(電) 中津川 (05736) 5局7151番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号	(電 247)	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号	(電 963)	(電) 郡山 (0249) 32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地	(電 370-04)	(電) 尾島 (02765) 2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地	(電 375)	(電) 藤岡 (02742) 2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地	(電 617)	(電) 京都西山 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前	(電 380)	(電) 長野 (0262) 27局1101番
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80番地	(電 661)	(電) 大阪 (06) 491局8021番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目98番地	(電 060)	(電) 札幌 (011) 231局5544番

次号予定

三菱電機技報 Vol. 44 No. 12

マイクロ波特集

《特集論文》

- 衛星通信におけるマイクロ波技術
- レーダにおけるマイクロ波技術
- マイクロ波アンテナの動向
- 集束伝送路
- ハイブリッドマイクロ波集積回路
- マイクロ波直接発振素子
- 20 GHz 帯 FM 方式画像伝送装置
- 公衆通信用カセグレンアンテナ
- ガン発振器を用いた YAC レーダスピードメータ

- Xバンドマイクロストリップラッチング移相器
- 電子レンジにおけるマイクロ波の諸問題

《普通論文》

- VC 形低圧真空電磁接触器の性能とその適用
- 分散形列車総合運転制御システム
- 放電加工における適応制御
- 限流避雷器
- 静電吸引板の開発

《技術解説》

- ポログラフイーの情報産業への応用

三菱電機技報編集委員会

委員長	仙 石 廉	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 邇	"	武 藤 正
常任委員	石 川 理 一	"	依 田 功
"	上 田 重 夫	委 員	北 垣 成 一
"	宇 佐 見 重 夫	"	南 日 達 郎
"	北 川 和 人	"	秦 卓 也
"	古 賀 享	"	林 昇 寿
"	小 堀 富 次 雄	"	松 元 雄 蔵
"	鈴 木 正 材	"	吉 武 正 彦
"	牧 野 六 彦	"	和 田 義 勝

(以上 50 音順)

昭和 45 年 11 月 22 日印刷 昭和 45 年 11 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 2 番 3 号

仙 石 廉

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

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 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号(郵便番号 100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

(電) (03) 218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151) 株式会社 オーム社書店
(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018

最近の三菱照明施設例 (2)



⑦ 八十二銀行本店電算機室 (長野)

空調形けい光灯器具による照明施設で $110\text{W} \times 2$ 灯用器具の長手中央部の両側に吹出口を設け、風量調節用ダンパを併設し、器具の風量のばらつきを無くすようにしたもので、さらにランプ発熱部の両端上面の反射板に排気口を設け、ランプ周辺の熱を排気する複合形である。初期照度 $1,000 \sim 1,400 \text{ lx}$ である。



⑧ 大阪三菱ビル一般事務室 (大阪)

空調形けい光灯 $40\text{W} \times 3$ 灯器具による照明施設で埋込み下面開放形で吹出し口を固定した簡素形である。初期照度は約 800 lx である。



⑨ 東洋電機株式会社工場設計室 (神奈川)

設計室の照明では高照度でしかもまぶしさをともなわないことが照明条件となっている。高出力けい光灯 110W 連続取付けで設計・製図機に対して作業者の視線の方向に合わせて光源がとりつけられているので $1,000 \text{ lx}$ 高照度でしかもまぶしさを感ぜさせない施設である。



⑩ 三菱重工業株式会社岡崎試験場 (岡崎)

同自動車試験場に設置された衝撃試験装置には各種計器とともに高速度撮影カメラが取り付けられている。照明は主としてこの撮影のために被照面、つまり人形が乗っている試験車のレールに沿って、片側の高さ 2 m 、長さ 10 m の範囲を両側からそれぞれ鉛直面照度 $55,000 \text{ lx}$ (実測値) の高照度と高均斉度の照明をしている。光源はハロゲン電球 1.5 kW 138 灯を特殊投光器を使用した 2 基の照明フレームに取り付けている。



⑪ 三菱重工業株式会社相模原工場

第1工場の農業用トラクターラインの照明で高出力けい光灯 $110\text{W} \times 2$ 灯用連続列 $3,200$ 台によるものである。光源の高さは 6 m で平均照度は 500 lx となっている。



⑫ 麒麟麦酒株式会社千歳工場 (千歳)

ビールの仕込室の照明で高効率けい光水銀ランプによる下面ルーバ付特殊水銀灯器具 24 台を柱の上部周辺に取り付けている。平均照度 300 lx となっている。

最近の三菱照明施設例 (3)



13 国道43号線 (大阪)

大阪市此花区四貫島笹原町付近の2車線の照明でナトリウム灯 200W×2灯用器具、ボールの高さ10m Y形傾斜角5度 23台、同1灯用ボールの高さ12mのもの2台のほか、けい光水銀灯などが使用されている。初期平均照度40.6 lxである。



14 大阪市道築港校岡線 (大阪)

東区法円町坂町付近の高速道路で 光源はけい光水銀灯 250W×58灯および 400W×90灯によるものである。400Wけい光水銀灯は深夜調光により照度を半減するようになっている。初期照度は40 lxとなっている。



15 首都高速道路 (東京)

1号線の照明で建設省形KSC-4形 (けい光水銀ランプ 400W) 64台、本線標準部分の器具取付間隔30m、均斉度 (最小/平均) 1/2.44、平均照度45.3 lxとなっている。



16 国鉄大阪駅 (大阪)

駅通路の照明で高出力けい光灯 110W 58台その他が使用されている。平均照度は 400 lxである。



17 近畿日本鉄道上六駅 (大阪)

コンコースの照明でけい光灯40W×4灯用×2組がL形に構成され、角にけい光水銀灯 300W×1灯が配置され柱をとり囲んで、4セット1組の照明となっている。照明器具の下面は透明アクリル板である。



18 千葉工業大学千種寮 (千葉)

寮の構内照明でけい光水銀灯 400W×22灯、250W×28灯使用のもの。光源はいずれも高効率形のものを使用しているので光色も白色となっている。