

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.46 April 1972

照明特集

4

新鹿児島空港のエプロン照明



未来を開発する



最近の三菱照明施設例 (1)



① 唐津市文化会館 大会議室 (佐賀)

昭和46年度の照明普及賞を受賞した施設である。幾何学模様天井パターンが、けい光灯の間接照明により独特な光の効果を生みだしている。白熱灯はいずれも60Wで、筒形80台、ダウンライト16台。けい光灯は円形40W+20Wの下面カバー付埋込み形16台、間接照明に40Wおよび20Wのトラフ形48台を使用している。床面平均照度は150 lxである。



② 美香保屋内スケート競技場 構内照明 (札幌)

札幌オリンピックではフィギュア競技の舞台となった競技場の構内である。正面玄関前には、けい光水銀灯100Wカット模様入りガラスカバー付柱上形3基、L形をなす構内道路には、建設省形KSC-7形(けい光水銀灯400W)が11基使用されている。通路は器具直下路面の照度が40 lxである。



③ 滝山ゴルフコース (東京)

サラリーマン向けのミニタイプのゴルフコース。高さ10mのポール12本にけい光水銀灯400W36灯、透明水銀灯1,000W18灯を付け、400Wをティーグラウンドおよびグリーンに、1,000Wをフェアウェイの照明にそれぞれ使用している。初期平均水平面照度はティーグラウンドおよびグリーンが40 lx、フェアウェイが20-35 lxである。



④ 折尾ダイヤモンドボウル 駐車場 (北九州)

国道3号線に面したボウリング場であるだけに客も車の利用者が多い。駐車許容台数は150台。光源はけい光水銀灯250W、器具は透明ガラスグローブ付懸垂形、1灯用および2灯用各5基で、平均照度は50 lxである。



⑤ 高槻リゾートレーン (大阪)

ユニークですぐれた照明でボウルも投げやすいとプロボウラーからも好評を得ている。濃紺の特異な天井に水銀灯100Wおよび白熱灯150Wダウンライトをランダムに配し、星空のようなおもむきをだしている。レーンはメタルハライドランプ400Wを使用した投光器67台による追光線照明。ファールライン付近の補助照明として高出力けい光灯110W33灯を使用。レーンはほぼ均一に鉛直面500 lx(初期800 lx)である。



⑥ 岡田小学校 体育館 (香川)

雨天体操場として利用される体育館である。けい光灯40W×2灯反射がき・下面ガード付96台、けい光水銀灯400W下面カバー付埋込み形18台、および白熱灯100Wダウンライト17台を使用した混光照明で、初期平均照度は床面で700 lx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改良—三菱 BOC ランプの特性向上—……………竹田俊幸・土橋理博・渡部勁二… 407
 けい光ランプのけい光塗膜に対する考察……………朝長 朗・末安高幸・小峰義治… 416
 紫外線反射膜によるけい光ランプの特性向上……………竹田俊幸・安西良矩・野田昭吉… 422
 赤外可視変換けい光体 LaF₃; Er, Yb 中希土類元素イオン間のエネルギー伝達
 ……………岡本栄知・増井博光・武藤勝俊・粟津健三… 428
 3,000 m 深海用照明装置の開発……………小堀富次雄・田中民雄・三上龍夫・狩野雅夫… 435
 埋込み下面カバーつきけい光灯具の温度上昇についての考察……………石井重行… 442
 非常用照明装置とその経済性の検討……………森本俊一・狩野雅夫… 448
 最近の照明施設の傾向と実施例……………岩田 功・前山紘一郎… 457

《普通論文》

110 度偏向ソリッドステート カラーテレビジョン受信機の開発
 ……………植竹勝人・野口善男・石井宏和・中田克己・進藤三郎… 465
 超電導コイルを用いた磁気浮上式超高速列車……………山田忠利・岩本雅民… 472
 最近のコータ用電機品……………安斎廣成・真篠幸雄… 477
 パターン処理システム (I) —パターン処理用ミニコンとディスプレイシステム—
 ……………伊藤貴康・井上 驍・坂口敏明・福島正俊・伊東加枝… 486
 二、三のプラスチックの耐熱水性……………飯阪捷義… 494

《技術解説》

高圧ナトリウムランプ……………竹田俊幸・加茂辺透・田中紀彦… 498

《新製品紹介》

退色試験機用水銀ランプ・いかつり用水銀ランプ・永久磁石式同期電動機 (AQ モートル)・RD 形ミニチュアリレー, RDT 形ミニチュアタイム…………… 505

《ニュースフラッシュ》

空調照明実験室完成・ニュージーランド向け 220 kV 変圧器完成・国内最大級, 関東農政局納入 350 kW, 8P 浸水式水中モートル完成・移動機械室形工事用エレベータ実動…………… 509

《特許と新案》

電気冷蔵庫の密閉食品容器・音響機器のとびら開閉装置・色けい光ランプ・パルス発生装置…………… 463

《ハイライト》……………新鹿児島空港の照明施設が完成

《表紙》

表紙 1 新鹿児島空港のエプロン照明

新空港は鹿児島市の北西 約 34 km の雄大な台地 (始良郡・十三塚原) に建設され、本年 4 月に供用開始された。エプロンは駐機スポット 7 バース (B-727 機用 4 バース, YS-11 用 3 バース) が設けられた。72 m 間隔に配置された 5 基の照明柱により照明されるが、この 1 基当たりの投光器数は、メタルハライドランプ 1 kW (M-1000 BOC A・P) 5 台, ハロゲンランプ 1.5 kW (J 200 V/500 W) 2 台からなっている。照明柱の高さはターミナルビル上に設置された 4 基が約 25 m, 地上に設置された 1 基が約 15 m である。実測照度値は幅 60 m (ポールからスポット位置までの間) の範囲で平均 28 lx, 幅 100 m までの間は約 20 lx を得ている。新空港にふさわしい洗練された意匠で注目されている。

表紙 2 最近の三菱照明施設例 (1)

表紙 3 最近の三菱照明施設例 (2)

表紙 4 三菱けい光灯具ルミ フラワー





SPECIAL EDITION FOR ILLUMINATION

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Improvement of Metal Halide Lamps —Improved Characteristics of Mitsubishi BOC Lamps—T. Takeda • M. Tsuchihashi • K. Watanabe...	407
A Study on Phosphor Layers of Fluorescent Lamps.....A. Tomonaga • T. Sueyasu • Y. Komine...	416
Improvement of Characteristics of Fluorescent Lamps Reflective Film of Ultraviolet RadiationT. Takeda • Y. Anzai • T. Noda...	422
Energy Transfer Between Rare-Earth Ions in $La F_3$; Er, Yb.....E. Okamoto • H. Masui • K. Muto • K. Awazu...	428
Development of Lighting Equipment for 3,000 m Deep SeaF. Kobori • T. Tanaka • T. Mikami • M. Karino...	435
Study of Temperature Rise in Ceiling Recessed Fluorescent Luminaires with Shielding.....S. Ishii...	442
Emergency Lighting Systems and Economic Study on Them.....S. Morimoto • M. Karino...	448
The Latest Trend of Lighting Facilities and Practical Installations.....I. Iwata • K. Maeyama...	457

TECHNICAL PAPERS

110 degree Deflection Solid State Color Television.....K. Uetake • Y. Noguchi • H. Ishii • K. Nakata • S. Shindo...	465
Magnetically Suspended Very High Speed Trains Utilizing Superconducting Coils.....T. Yamada • M. Iwamoto...	472
Electric Equipment for the Latest Coating Machines.....H. Anzai • Y. Mashino...	477
Pattern Processing System (I) —Pattern Processing Mini-Computer and Display System—T. Ito • T. Inoue • T. Sakaguchi • M. Fukushima • K. Ito...	486
Hot Water Durability of a Few Plastics.....K. Iisaka...	494

TECHNICAL EXPLANATION

High-Pressure Sodium Lamps.....T. Takeda • T. Kamobe • N. Tanaka...	498
---	-----

NEW PRODUCTS.....	505
-------------------	-----

NEWS FLASH.....	509
-----------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL.....	463
-------------------------------	-----

HIGH LIGHT.....

COVER :

Apron Illumination of New Kagoshima Airport

A new airport has been constructed on a grand tableland 34 km to the north west of Kagoshima city. It was put to use in last April. In the apron are made 7 berthes of parking plane spot (4-berthes for the B-727 plane and 3-berthes for the YS-11). The place is lighted with 5 illuminating posts arranged 72 m apart each other. Every post is provided with projectors consisting of 5-metal halide lamps rated 1 kW (M-1000 BOC A. P) and 2-halogen lamps rated 1.5 kW (T 200 V/500 W). Four units installed on the roof of the terminal building are 25 m high and one unit erected on the ground is 15 m high. The intensity of illumination measured is average 28 lx in the range of 60 m wide (between the post and the spot) and 20 lx in the width of 100 m. The installations draw attention of the circles with a well polished design befitting to the new air port.

HIGH-LIGHT

新鹿児島空港の照明施設が完成

統計による旧鹿児島空港（鴨池）の乗降客数は、わが国で第5位（東京、大阪、板付、千歳につぐ）の実績を示している。そこでさらに急増する航空需要と航空機材の近代化、大形化に対処するため、南方諸地域に対する国の玄関口として大きな飛躍をはかることを目指して、ここに2,500 mの滑走路を有する新空港建設が進められ、47年4月に供用が開始されたものである。

新空港の保安施設（照明、無線、気象など）は、すべて国際空港に比肩するものとされ、とりわけ照明施設は進入灯、滑走路灯、誘導路灯、エプロン灯ならびに電源設備など、十分に完備した姿が見られる。当社はこの照明工事一式のとりまとめを担当、県建設本部および航空局のご指導の下に、社内の総力をあげて完成させたものである。ここではその中のエプロン照明について紹介する。

エプロンは航空機の旅客の乗降、貨物の積みおろし、給油その他のサービスを行なう地区で、この照明は上記サービスを行なうのに適当で、パイロットにグレアを与えることがなく、エプロンの最終停止位置に航空機を誘導するのに、十分な照明方式をとることが必要な条件となる。

本空港では、メタルハライドランプ1kW（M1000-BOC・A-P）と、ハロゲンランプ1.5kWを用いた新しい照明方式が採用された。照明柱1基の構成はメタルハライドランプ5灯、ハロゲンランプ2灯からなり、全体で5基設置された。実測水平面照度は、照明柱から幅60mの範囲（スポット位）で平均28lxまた幅100mまでの範囲では平均約20lxと得、最低値は5lx以上となっている。この投光器はいずれも広配光形で、照明効率の高い角形とし、十分にグレアを防ぐような配光特性をもっている。意匠的にもよく検討を加えとともに、風雨に耐える堅固な構造に設計したもので、航空局のきびしい認定試験を経て製作・納入された。この照明設備は全体の景観によくマッチした姿をあらわし、そのすぐれた照明効果とともに、新空港の花形的存在となっている。

写真は空港の全景と照明灯を示す。



UDC 621.327.534

メタルハライドランプの改良—三菱BOCランプの特性向上—

竹田俊幸・土橋理博・渡部勁二

三菱電機技報Vol.46・No.4・P407～415

DyI₃-TlI-InI₃-Hg 組成のメタルハライドランプにおいて、電極の電子放出能および金属ハロゲン化物との相互作用を考慮した新しい電極の採用によって、ランプの光束維持率は大幅に改良され、3,000時間点灯後約80%、6,000時間点灯後約70%が得られる。また金属ハロゲン化物の全封入量を多くすることによって、効率および演色性が改善され、かつランプ入力変化に伴う光色の変化が少なくなる。さらに発光管の最冷部を端部から中央部の方向へ移すことにより、ランプ電圧の上昇が押えられ、寿命中安定したランプ特性が維持される。このランプの効率は80lm/W、色温度6,000°K、平均演色評価数Raは88である。



UDC 628.91:628.978

3,000m 深海用照明装置の開発

小堀富次雄・田中民雄・三上龍夫・狩野雅夫

三菱電機技報Vol.46・No.4・P435～441

これからの海洋開発ないし海洋開発産業を推進するためには、海洋照明が必要であることはいうまでもないが、とくに深海のような暗黒の海中での海洋照明として、これにふさわしい光源と照明器具は欠かすことのできないものである。このたび当社では水深3,000mに使用できる深海用照明装置の開発に成功した。この照明装置は、2,000～3,000mの深海に豊富にあるといわれるマンガン団塊などの鉱物資源の調査、あるいは3,000m以内の各種の海洋開発に対する開発品としてわが国で初めてのものであり、大きな意義があると思われる。



UDC 621.327.534

けい光ランプのけい光塗膜に対する考察

朝長 朗・末安高幸・小峰義治

三菱電機技報Vol.46・No.4・P416～421

けい光ランプの光束向上についての研究は今まで数多く行われてきた。その分野の一つにけい光塗膜の研究がある。これはけい光物質自体の研究とともに重要な分野である。これについての報告は、今まで数件あり有意義な情報をもたらしている。

これらの報告では、塗膜は連続なものとして考えられているものが多いが、この報告では、これを不連続なものとするP. D. Johnsonの考え方を導入した。この結果実測のデータとかなりよく一致する式が得られた。この式を基にして光束を向上させるためのけい光体の条件、ガラスの条件を考察した。



UDC 628.85:628.94:628.972

埋込み下面カバーつき

けい光器具の温度上昇についての考察

石井重行

三菱電機技報Vol.46・No.4・P442～447

従来とかく過熱事故の多い埋込み下面カバー付きけい光器具について、計算により器具内・ランプ管壁最低点温度を予測する方法を提唱し、とくに器具表面からの伝達、換気による排熱について便宜的な公式を案出した。

モデルと一般機種についての計算例をあげ、モデルについては実験も行ない、計算値と実験値とを照らし計算の前提について今後さらに検討を要する各点を指摘した。



UDC 621.327.534

紫外線反射膜によるけい光ランプの特性向上

竹田俊幸・安西良矩・野田昭吉

三菱電機技報Vol.46・No.4・P422～427

近年けい光ランプは、ますます高出力・高管壁負荷の方向へ進んできている。この方向は、必然的に効率と劣化を低下させるので何らかの防止方法が要求される。本報は、高出力形ランプにおいて問題となるガラスに着目して劣化と効率の両面から検討した。まず、ガラスの点灯中の劣化機構と関連させて、ガラス内表面に被着させた保護膜の劣化防止作用を検討した。つぎに、この保護膜を効率の面から考えて、紫外線反射物質とすることによってけい光体の紫外線利用効率を向上させる方法について、計算と実測とを比較検討し、今後の高出力形ランプの劣化・効率向上の一方法を示した。



UDC 628.978.6

非常用照明装置とその経済性の検討

森本俊一・狩野雅夫

三菱電機技報Vol.46・No.4・P448～456

建築基準法の大改正にともない、非常時における避難の安全性という点から、非常用照明装置をはじめとする一連の非常用設備の設置が義務づけられた。これらの諸設備は火災等の非常事態が発生し、一般電源が断たれた場合でも、居合せた人々が安全かつ迅速に避難できるよう意図されたものである。

ここでは、これらの設備のうち非常用照明装置について、一般に使用されている照明装置の種類と回路構成、特長および建築物を想定しての経済性について検討を加えることとする。



UDC 535.37

赤外可視変換けい光体

LaF₃;Er, Yb中希土類元素イオン間のエネルギー伝達

岡本栄知・増井博光・武藤勝俊・栗津健三

三菱電機技報Vol.46・No.4・P428～434

LaF₃;Er, YbとLaF₃;Erの中の希土類元素イオン間のenergy transferを、Er³⁺のlife timeと励起スペクトルの測定により調べた。その結果、Er³⁺(⁴S_{3/2}→⁴I_{3/2})→Yb³⁺(²F_{7/2}→²F_{5/2})なるenergy transferにはおよそ350cm⁻¹のphonon 3個の放出が伴われていることが明らかにされた。

また、phonon吸収を伴ったenergy transfer Er³⁺(²H_{7/2}→⁴F_{7/2})→Yb³⁺およびEr³⁺(⁴F_{7/2}→⁴I_{3/2})→Yb³⁺の存在が確認され、さらに、100°K以下の温度においてはEr³⁺(⁴F_{7/2}→⁴F_{7/2})→Er³⁺(⁴I_{3/2}→⁴I_{3/2})なるcross relaxationが観測された。



UDC 628.971/972

最近の照明施設の傾向と実施例

岩田 功・前山紘一郎

三菱電機技報Vol.46・No.4・P457～462

1969年のJISの照度基準改定から2年経た今日では、高照度化に伴ういろいろな問題点も、各種の光源・器具の改良、開発、およびそれらを使用した新しい照明手法により解決され、わが国の照明は量、質とも高い水準に達しつつある。

このような光源、器具、照明技術を駆使して最近完成した当社の照明施設例を用途別に紹介する。



UDC 621.397.62: 621.397.132: 621.382.33

110度偏向ソリッドステートカラーテレビジョン受信機の開発

植竹勝人・野口善男・石井宏和・中田克己・進藤三郎

三菱電機技報Vol.46・No.4・P465～471

カラーテレビジョン受信機の広角偏向(110度)を実現するにあたっては、偏向電力の増大、ブラウン管におけるランディングの劣化やミスコンバーゼンスの増大、および糸巻ひずみの増加といった問題を解決しなくてはならない。当社では、これらの諸問題を克服して、20形および18形110度偏向カラーテレビを量産しているが、ここでは、20CKS-956形をとりあげ、ブラウン管と偏向ヨークの開発過程をはじめ、偏向回路・ひずみ補正回路・コンバーゼンス回路等、110度偏向に関連する事項について報告する。



UDC 678.713: 530.827

三、三のプラスチックの耐熱水性

飯阪捷義

三菱電機技報Vol.46・No.4・P494～497

ポリプロピレン2種、ポリカーボネートおよびFRPについて耐熱水性の研究を行なった。ポリプロピレンの機械強度は熱水処理により短期間では増加し、極大を経て長期間では減少傾向を示す。これは最初結晶構造が変化し、次いで酸化による分子鎖の切断が優勢になるためと考えられる。また熱水環境はポリプロピレン中の安定剤を溶出させる働きをする。

ポリカーボネートおよびFRPの機械強度は、熱水処理により大きく変化する。これらの場合の省化機構はエステル結合の加水分解による分子鎖の切断がおもなものと考えられる。



UDC 625.39

超電導コイルを用いた磁気浮上式超高速列車

山田忠利・岩本雅民

三菱電機技報Vol.46・No.4・P472～476

うず電流による反発力を利用した超電導磁気浮上システムの磁気浮上力および制動力を解析した。この解析法を、実用的に興味のある磁気浮上列車モデルの浮上特性の検討に適用した。その結果、軌道コイルの時定数 τ が大きいほど揚抗比が大きくなること、低速域に現われる磁気制動力の極大値は、軌道コイルの時定数 τ に依存しないこと、車上コイル1ピッチに対応する軌道コイルのピッチ数 $N\tau$ を適当な値に選ぶことにより、浮上力の脈動を著しく小さくし得ることなどが判明した。これらの検討の結果、揚抗比を改善し、軌道コイルの製作を容易にするはしご形軌道 τ を提案し、その浮上特性を理論的に解析した。



UDC 621.327.534

高圧ナトリウムランプ

竹田俊幸・加茂部 透・田中紀彦

三菱電機技報Vol.46・No.4・P498～504

高圧ナトリウムランプは高温高圧のアルカリ蒸気に耐え得る透光性多結晶アルミナ管を使用した発光管に、過剰のナトリウムアマルガムおよびキセノンガスを封入し、飽和蒸気圧形の放電を利用した光源である。ここで水銀はナトリウム蒸気圧を高めるためのbuffer gasとして作用し、動作中のナトリウム蒸気圧は約200mmHg程度となり、ナトリウムD線が自己吸収を起こすためスペクトル分布は全波長域にわたってブロードニングし、効率がよく、演色性も従来のナトリウムランプに比べはるかに良好な光源である。この論文ではランプの動作機構、ランプ諸特性に影響を与える諸条件について解説する。



UDC 621.316 7: 676.205

最近のコータ用電機品

安齋廣成・真篠幸雄

三菱電機技報Vol.46・No.4・P477～485

最近紙の需要の伸びに対応し、コート紙の生産設備があいついで設置されている。当社ではその電機品を納入し、現在好調に実動中である。紙幅5,000mm、ライン運転最高速度は915m/min、と言った、大形かつ高速機が出現しており、これに対する高速応性・高精度が要求されてくる。最近の納入電機品のほとんどはサイリスタレオナード方式で、これらの条件を満足し、かつ省力化に努めている。本文では機械系の説明とともに、制御用電機品・測定用電機品等についても紹介する。



UDC 681.3.02

パターン処理システム (I)

—パターン処理用ミニコンとディスプレイシステム—

伊藤貴康・井上 駿・坂口敏明・福島正俊・伊藤加枝

三菱電機技報Vol.46・No.4・P486～493

近年の電子計算機の普及はめざましく、その応用として特にパターン情報処理に注目されている。われわれも、その1分野である二次元図形を電子計算機で処理させようとするパターン処理システムの研究を進めているが、現在、ミニコンを中央処理装置とした図形処理専用システム——特に図形入出力装置として、ランドタブレット、ストレージ形ディスプレイ装置、ELディスプレイ装置を備えている。——が実動状態にある。本論文は、このシステムのため、特に開発したパターン処理用ミニコンおよびELディスプレイ装置を中心としたハードウェアシステムの概要を紹介し、併せて、本システムの二つの応用例について記す。



メタルハライドランプの改良 —三菱 BOC ランプの特性向上—

竹田 俊幸*・土橋 理博**・渡部 勁二***

Improvement of Metal Halide Lamps —Improved Characteristics of Mitsubishi BOC Lamps—

Ofuna Works Toshiyuki TAKEDA・Michihiro TSUCHIHASHI
Central Research Laboratory Keiji WATANABE

In the case of metal halide lamps composed of $DyI_3-TlI-InI_3-Hg$, the lumen maintenance of the lamp is improved greatly through the employment of new electrodes in consideration of electron emission power and mutual action of between electrodes and metal halide and about 80% is maintained after 3,000 hours burning and about 70% after 6,000 hours. In addition, the efficiency and the color rendition are improved by increasing a total sealed-in quantity of metal halide. This also reduces the change of the light color accompanying the change of the lamp input. Furthermore the shift of the coolest part of the arc tube toward the center from the end suppresses the lamp voltage increase and maintains the stable characteristics during the life. The lamp efficiency is 80 lm/W, the color temperature is 6,000 K and the general color rendering index is 88.

1. ま え が き

メタルハライドランプは、高圧水銀アーク内に選択された金属ハロゲン化物 (Metal Halide) を導入し、それら導入元素の発光を利用して、高圧水銀ランプの発光効率および演色性を、発光管の内部から改善した新しいタイプの放電灯である。

メタルハライドランプに関するアイデアの芽生えは、すでに20世紀のはじめにあったが、技術的困難性を克服するのに、十分な技術的蓄積がなく、実用化するまでには至らなかった。1962年になって、実用に耐えるメタルハライドランプの第1号が発表され⁽¹⁾、以後10年間は、メタルハライドランプの研究開発の時代となり、次々に、新しいメタルハライドランプに関する研究成果が発表された^{(2)~(19)}。メタルハライドランプでは、発光管内に添加する金属ハロゲン化物の種類により、それら封入元素の特性に応じた発光特性が得られる。現在では、添加元素の種類は、ランプの用途によりほぼ定まってきた。表1.1に、ランプのおもな用途と添加元素が対比して示されている。光化学反応用メタルハライドランプでは、400 nm 付近の紫から近紫外の領域に、おもな発光スペクトルを有するガリウム (Ga) および鉛 (Pb) のハロゲン化物が添加され、単色用メタルハライドランプでは、青・緑・だいだい・赤など、必要に応じて、青ではインジウム (In) が、緑ではタリウム (Tl) が、だいだいではナトリウム (Na) が、赤ではリチウム (Li) が、それぞれハロゲン化物の形で添加され、植物育成用メタルハライドランプでは、植物の育成に有効な波長領域 400~500 nm と 600~700 nm に、おもな発光スペクトルを有するインジウム (In)、リチウム (Li) およびカリウム (K) のハロゲン化物が添加される。また一般照明用メタルハライドランプでは、すず (Sn)、ナトリウム、タリウム、インジウム、スカンジウム (Sc)、ジスプロシウム (Dy)、ホルミウム (Ho) および ツリウム (Tm) のハロゲン化物が、1種または数種組み合わせて添加され、可視部に調和のとれた分光エネルギー分布を得ている。表1.2に、一般照明用メタルハライドランプの添加元素の種類によるランプ特性が、高圧水銀ランプと比較して示されている。SnI₂(SnBr₂)-Hgランプの効率は50 lm/Wで、高圧水銀ランプと同程度であるが、平均演色評価数 R_a は92で、演色性がすぐれて

いる⁽¹¹⁾。NaI-TlI-InI₃-HgランプおよびNaI-ScI₃-ThI₄-Hgランプの効率は80 lm/Wで、高圧水銀ランプの約1.5倍、R_aは62~78で、演色性も比較的良好⁽¹⁴⁾。そして最近、特に注目が寄せられている

表 1.1 メタルハライドランプのおもな用途と添加元素
Main uses and additive elements of metal halide lamps.

ランプのおもな用途	添 加 元 素
光 化 学 反 応	GaI ₃ GaI ₃ -PbI ₂
単 色	InI ₃ TlI NaI LiI
植 物 育 成	InI ₃ -LiI InI ₃ -LiI-KI
一 般 照 明	SnI ₂ (SnBr ₂) NaI-TlI-InI ₃ NaI-ScI ₃ -ThI ₄ DyI ₃ -TlI DyI ₃ -TlI-InI ₃ DyI ₃ -HoI ₃ -TmI ₃ -TlI

表 1.2 水銀ランプと各種メタルハライドランプの光学的特性比較
Comparison between optical characteristics of high pressure mercury lamps and various types of metal halide lamps.

添 加 元 素	効 率 lm/W	色 温 度 °K	平均演色評価数 R _a
高 圧 水 銀 ラ ン プ (H 400)	52.5	6,000	23
けい光高圧水銀ランプ (HF 400-E)	60	3,900	47
SnI ₂ (SnBr ₂) (D 400)	50	5,000	92
NaI-TlI-InI ₃ (M 400)	80	5,500	62
NaI-ScI ₃ -ThI ₄ (M 400)	80	5,000~5,500	78
DyI ₃ -TlI (HQI 400 W)	80	6,000	85
DyI ₃ -TlI-InI ₃ (M 400 BOC)	80	6,000	88

DyI₃-TlI-Hg ランプおよび DyI₃-TlI-InI₃-Hg ランプ(三菱 BOC ランプ)の効率は 80 lm/W で、高圧水銀ランプの約 1.5 倍であるうえに、R_a は 85~90 であり、効率・演色性ともみずぐれ、高圧水銀ランプに比較して、大幅に改善された特性が得られる⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。

メタルハライドランプは、そのすぐれた特性のゆえに、しだいに普及しつつあるが、水銀(Hg)とアルゴン(Ar)のみを、発光管内に封入した高圧水銀ランプと異なり、数種の金属ハロゲン化物が、発光管内に、水銀とアルゴンに加えて添加封入されており、さらに管壁負荷も約 40% 増加しているために、技術的困難性も多い。

著者は添加金属ハロゲン化物として、DyI₃-TlI-InI₃を用いて、一般照明用としてのランプの効率と演色性を、著しく改善したメタルハライドランプ“三菱 BOC ランプ”の特性向上に関する研究成果のうち、発光管の外部要素、つまりアークの安定化用マグネットおよび点灯回路について検討し、寿命中安定した特性を得る方法・原理などについて、前報で述べたが⁽¹⁰⁾、ここでは、発光管の内部要素、つまり電極、金属ハロゲン化物封入量および発光管形状などについて検討し、ランプの光束維持率、光色の変化および寿命中のランプ電圧の上昇などを改良できたので、それらの方法、原理およびランプの特性などについて述べる。

2. 電極の検討

メタルハライドランプは水銀のみが封入されている高圧水銀ランプと異なり、その発光管内に金属ハロゲン化物が添加封入されているので、発光管内に設けられる電極の設計は、それら封入物の影響も考慮して、より綿密に検討して行なう必要がある。すなわちメタルハライドランプ用の電極は、放電を維持するに十分な電子放出能があるとともに、さらに重要なことは、管内に封入されている金属ハロゲン化物組成のバランスをくずさない特性を持つことである。それゆえメタルハライドランプでは、電極と封入金属ハロゲン化物との相互作用の少ないことを重視して、純タングステンのみが電極に使われたこともあった。また高圧水銀ランプの電極に一般に使われている酸化バリウム等のアルカリ土類金属酸化物を主体とした電子放射性物質、電子放出能はすぐれているが、メタルハライドランプに適用すると、酸化バリウムと金属ハロゲン化物との反応により早期にその特性が失われるために、これらのアルカリ土類金属酸化物をメタルハライドランプ用電子放射性物質として用いることができない。

メタルハライドランプにおいては、使用電極の適、不適はランプ寿命中の発光管内壁の黒化状態およびランプ電圧の上昇特性とから判定できる。ランプ電圧の上昇は、後述のごとく、発光管の黒化によって二次的に引き起こされるもので、管内壁が黒化するとその黒化膜の保温効果により発光管の温度が上昇する結果、管内の金属ハロゲン化物の蒸気圧が上昇し、ランプ電圧が上昇する。同時に発光管材質である石英からのガス放出が増大し、ますます黒化を促進し、急速な光束維持率の低下をきたすことになる。したがってランプのすぐれた寿命中の特性を得るためには、発光管の黒化はきびしく押える必要がある。

ランプの寿命中の諸特性に多くの影響を及ぼす発光管黒化は、ほとんど管壁への電極材料(タングステン)の付着によるものである。このタングステン付着の原因の一つは、電極の電子放出不足がもたらすタングステンの熱蒸発の増大である。すなわちこの種のアーク放電では、ランプ点灯中アークは電極先端にスポットを形成し、そこからアークを維持するのに必要な電子が放出されている。しかし電極の電子放出が不足すると、必然的に電極先端温度は上昇し、その結果タングステ

ンの蒸発が増大する。電子放射性物質は電極先端の仕事関数を低くして電子放出を容易にし、先端温度を低下させるために付加され、ランプ動作中はその温度に見合った速度で活性原子を電極先端に供給する。しかし、電極先端が高温度であるため、供給された活性原子の一部は熱的に脱離してしまう。したがって電極先端に存在する活性原子の数は供給と脱離の平衡状態で決まる。また被覆率が 1、すなわちタングステン表面に存在する活性原子が単原子層に近ければ近いほど電極の電子放出能は良くなる。したがって管壁黒化を減少させるためには、電子放射性物質の種類、温度および電極構造が重要なファクタである。

発光管内壁へのタングステン付着の他の原因は、管内に不純ガス、特に酸素が存在すると、電極のタングステンと管壁との間のハロゲンサイクルを活性化することによるものである。メタルハライドランプには添加物として金属ハロゲン化物が封入されているので、タングステンはハロゲン化物と反応し、いわゆる“ハロゲンサイクル”を行なう。すなわち、電極より飛散して管壁に付着したタングステンは封入ハロゲン化物と反応して、ハロゲン化タングステンとなって管壁から蒸発する。蒸発したハロゲン化タングステンはアーク中に入って解離し、または電極の高温部と接触分解して、タングステンは再び電極上に沈積する。このようにメタルハライドランプでは、管壁に金属成分が付着しても、ハロゲンによって浄化され、管壁は清浄に保たれることに特長がある。しかし、このハロゲンサイクルが活発になると、電極先端は突起等の変形を生じ、そのためアークが集中してタングステンの蒸発が激しくなり、黒化に発展する。微量酸素がハロゲンサイクルを活性化するのは、酸素が存在すると、タングステンとハロゲンとの反応が促進されるからである⁽⁹⁾。この微量酸素はランプ製作工程における不十分な脱ガスがもとで管内に持ちこまれたり、2.4 節で述べるごとく、電子放射性物質とハロゲン化物との反応によっても発生する。また管内に不純ガスが存在すると、不純ガスとタングステンとの反応によりタングステンは電極から脱離し管壁に付着する。

タングステン付着による管壁黒化の原因としては、その他に電極のイオン衝撃によるスパッタリングがあるが、この種のアーク放電の動作中の陰極降下電圧は約 10 V にすぎないことから、スパッタ率は非常に小さいので無視してよいだろう。ただしランプの点滅をしばしば行なうときはこの要因が重要となる。

以上のようにメタルハライドランプ用の電極には電子放出能がすぐれていることのほかに、さらに電極材料および電極構造が発光管内の系の物理的・化学的平衡状態を乱さないことが要求される。著者らはこの方向に沿って種々検討を重ねた結果、DyI₃-TlI-InI₃-Hg 組成のメタルハライドランプに適合した新しい電極を開発し、光束維持率のすぐれたランプを提供することができた。

2.1 電極構造

従来使われていたメタルハライドランプ用電極の一例としては、図 2.1 に示したように、心線の周囲に巻かれた内コイルのすき間にトリウム等の電子放射性物質を塗布し、その周囲に外コイルが巻かれている構造のものであった。このような形の電極は、電子放射性物質の付着量が一定せず、また動作中電子放射性物質が脱落しやすいので、電極先端への活性原子の供給が一定しないため、ランプ特性にばらつきを生ずる。また消灯時には添加物として封入してある金属ハロゲン化物が電極に付着しやすく、そのため電子放射性物質とハロゲン化物との反応が起こり、電子放射性物質の消耗が激しい。

以上のような理由で、この形の電極を DyI₃-TlI-InI₃-Hg 組成の

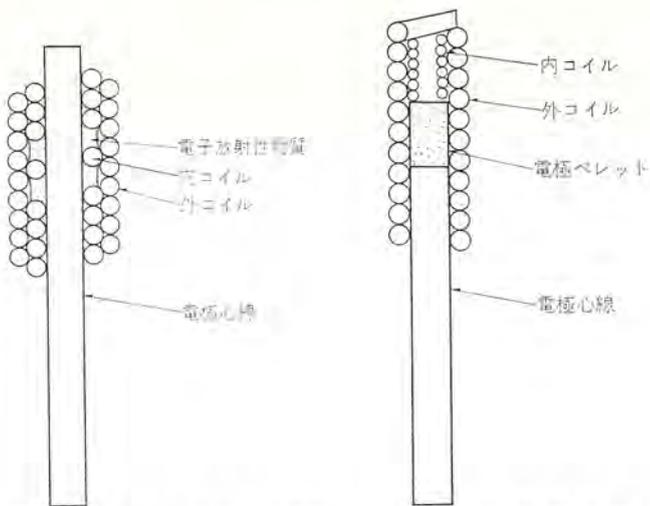


図 2.1 メタルハライドランプ用電極
Main electrode for metal halide lamp.

図 2.2 新形電極
New type electrode.

メタルハライドランプに用いると、比較的早期に電極先端が変形し、管壁黒化により光束維持率が低下する。したがってこの構造の電極は上記組成のメタルハライドランプにはふさわしくないと考えられる。図 2.2 に、黒化要因および電極製作方法を種々検討考慮した電極を示す。この電極は心線、外コイル、内コイルおよび電子放射性情質を含む電極ベレットからなる。この電極ベレットは、先端に架橋部を設けた外コイルと、先端側内部空間に備えた内コイルにより心線先端部に固定されている。この電極は心線、コイルおよび電極ベレットをそれぞれ別個に製作し、処理を施した後、集めて組み立てるだけでよいので電極製作が容易である。また各部品はそれぞれ別々に脱ガスを行なえるので、不純ガスの管内への持ち込みは非常に少ない。電極ベレットからの活性原子の電極先端アークスポット形成部への供給は、蒸発および拡散により行なわれる。上記新電極では構造的に電極ベレットの温度を動作中一定に保つことができ、かつベレットからの活性原子の供給は効果的に長時間安定して行なわれるように配慮がなされている。さらに電極ベレットは外コイルに囲まれており、直接イオン衝撃を受けることなく、また消灯時にハロゲン化物がベレットに付着しにくい構造になっている。したがってこの新しい電極は従来の電極の欠点をほぼ克服したものと見える。

2.2 電子放射性情質

DyI₃-TlI-InI₃-Hg ランプ用電極に、電子放射性情質として従来から使われているトリウムあるいはトリウムを試みたが、十分な特性が得られなかった。そこで種々の物質を探索した結果、酸化ジスプロシウム(Dy₂O₃)が良好な特性を備えることがわかった。図 2.2 の電極構造で電極ベレットとして、W と ThO₂、Th および Dy₂O₃ との焼結体を使用した場合の上記組成の 400 W メタルハライドランプの光束維持率を図 2.3 に示した。なおランプは鉛直点灯である。

図から Dy₂O₃ を電子放射性情質として使用したランプの光束維持率は ThO₂ あるいは Th のものに比べてすぐれていることがわかる。また図には電子放射性情質を含まないタングステンのみの電極を用いたランプの特性も示してあり、他の電子放射性情質を用いたものに比べて電極先端の変形が大きく、黒化が激しい。このことは電子放射性情質が黒化減少に大きく寄与することを示すものであり、次のように説明される。すなわちタングステンのみの電極では、電子放出不足によりアークスポットの温度が上昇し、そのためタングステンの熱蒸発がさかんになり、管壁への付着が増大する。その結果管壁から蒸

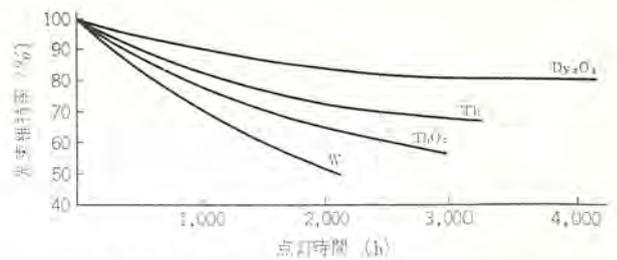


図 2.3 電子放射性情質の種類と光束維持率
Lumen maintenance characteristics for various electron emission materials.

発するヨウ化タングステンもふえ、電極先端への解離沈積が大となって先端に突起を形成し、そこにアークが集中していっそうタングステンの蒸発が激しくなる。このような悪循環をくり返して管壁は急激に黒化するのである。

ここで ThO₂ および Th の電子放射性情質を用いたときの電極先端の電子放出能について考察する。前述のごとく、電極先端に存在する活性原子の数は、電極ベレットからの供給速度と先端からの脱離速度との平衡によって決まる。ところで ThO₂ および Th を含む電極ベレットから出てくる活性原子はいずれも Th であるので、両者の電極先端からの脱離速度は温度が同じであれば等しいとみてよい。したがって電極ベレットからの活性原子の供給速度が先端の電子放出能を決めることになる。著者らはこれら電子放射性情質からの活性原子の供給速度の目安として、W と ThO₂ および W と Th の混合粉末を加圧成形し焼結した円板状のベレットを真空中で加熱し、活性原子 Th の蒸発速度を測定した。蒸発速度の測定は Becker 法⁽²¹⁾により、真空排気し、ゲッタを飛ばしたガラス製のグローブの中で、上記円板状のベレットをカソードにして加熱し、ベレットからの蒸発物はアノードの小孔を通り、そのすぐ側に張ったタングステンリボンに付着させ、蒸発物が付着するとタングステンリボンの電子放出量がふえ、付着量が単原子層に近くなると電子放出量が最大になることを利用して行なった。図 2.4 に測定結果を示す。ここで横軸はベレットの温度の逆数を、縦軸は蒸発速度をあらわしている。図から W-Th は W-ThO₂ に比べて約 1 けた多く活性原子 Th を蒸発させることがわかる。このような蒸発特性を持つ電子放射性情質を 図 2.2 の電極に適用した場合、ランプ点灯中これらの電子放射性情質は、上記蒸発速度に比例した速度で活性原子を電極先端に供給すると考えられる。したがって Th を用いた電極のほうが ThO₂ に比べて活性原子の供給速度が大きいので、電極先端の電子放出能がよいと推定される。このことが、図 2.3 の特性において、ThO₂ に比べ Th を用いた電極のランプの特性がよい理由の一因となっているだろう。

なお Dy₂O₃ を電子放射性情質に用いたランプの特性がすぐれているのは、Dy₂O₃ の電子放出能が比較的よく、かつ金属ハロゲン化物との相互作用が少なく、発光管内の系の物理的・化学的平衡状態を乱さないことが理由となっていると考える。

2.3 電極の適正動作温度

ランプ動作中の電子放射物質の温度および量は、それらによって活性原子の供給状態が決まるので、ランプ特性を左右する重要な因子である。温度が低くて活性原子の供給が不十分であれば、電極先端温度は上昇し、黒化に発展する。その反対に温度が高ければ、活性原子の供給は十分となって、電極の電子放出はよくなるが、電子放射性情質の早期消耗をきたし、やがては黒化を生ずる。また電子放射性情質の量が少なくと同様に早期に消耗し、黒化を生ずる。したが



図 2.4 W-ThO₂ および W-Th ペレットからの蒸発速度
Evaporation rate of W-ThO₂ and W-Th pellet.

って電子放射性物質の温度およびその量は、点灯中の光束維持率やランプの寿命を勘案して決める必要がある。

電子放射性物質の適正動作温度を求めるために、新電極において一定量の Dy₂O₃ を含む電極ペレットの電極内での位置を変えることにより、ペレットの温度を変えた電極を作り、ライフトテストを行ない、その結果を図 2.5 に示した。縦軸は 1,000 時間点灯後の各ランプの光束維持率を、横軸は電極ペレットの温度を示す。これより電極ペレットの温度が t₂°C より低くてもまた高くても光束維持率は低く、t₂°C が適正であることがわかる。これらのランプをさらに長時間点灯すると、上記の傾向がますます明確になる。t₂°C より低い t₁°C で特性が悪いのは、電極ペレットからの活性原子の供給が不足していることによるものであり、また t₂°C より高い t₃°C で特性が悪いのは電子放射性物質の早期消耗を物語る。

電極先端への活性原子の供給量が不足すると、ランプの働程に影響することが次の実験でも明らかである。図 2.6 は図 2.4 の場合と同じ方法で、W-Dy₂O₃ 系で Dy₂O₃ の量を変えたペレットからの真空中での活性原子 Dy の蒸発速度を測った結果を示す。図において B のペレットの Dy₂O₃ 含有量は A のペレットの 1/3 である。これより A のペレットは B のペレットより多く活性原子を放出することがわかる。このような特性を持つペレット A および B を新電極の電極ペレットとして用い、上記の最適動作温度 t₂°C の位置にそ入すると、ランプの光束維持率は図 2.7 に示すごとく、活性原子 Dy の多いペレット A を用いたランプの特性のほうが、ペレット B を用いたランプに比べてすぐれている。

以上のことからアーク中へ電子を放出する電極先端部の電子放出能は、活性原子の先端における供給・脱離平衡によって決まり、供給が不足すると管壁黒化を生ずることが明らかである。

2.4 電極と金属ハロゲン化物との相互作用

メタルハライドランプでは、電極に使用する材料、特に電子放射性物質と金属ハロゲン化物との相互作用を考慮して、発光管内の系の平衡を光束維持率あるいは光色に好ましい状態におくようにする必要がある。

電子放射物質の種類による光束維持率への影響を調べた図 2.3 におけるランプの光束低下は、主として発光管の黒化によるものである。電子放射物質としてトリウムを用いたランプを点灯後、発光管内壁に付着した黒化物を分析すると、トリウムとタングステンが検出され、トリウムはタングステンより約 1 けた多く存在していた。このこと

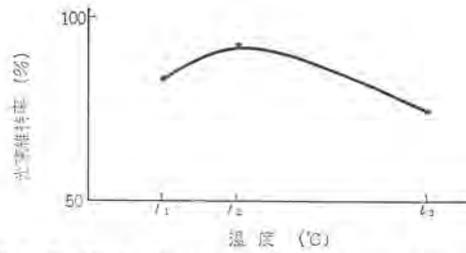


図 2.5 W-Dy₂O₃ ペレットの温度と光束維持率 ランプ
1,000 時間点灯
Effect of the temperature of W-Dy₂O₃ pellet on
lumen maintenance after 1,000 hours burning.

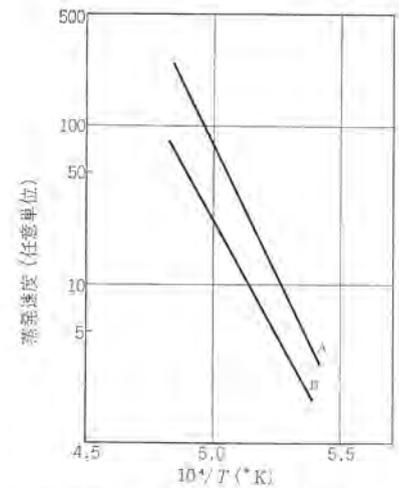


図 2.6 W-Dy₂O₃ ペレットの蒸発速度
Evaporation rate of W-Dy₂O₃ pellet.

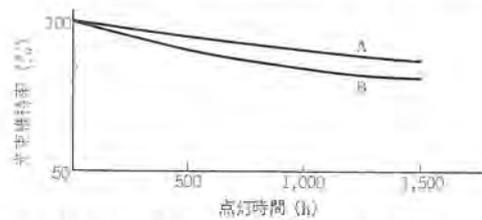
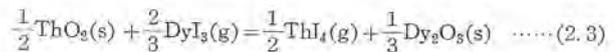
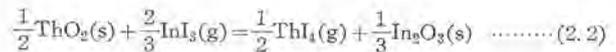
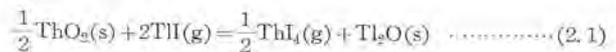


図 2.7 Dy₂O₃ 量と光束維持率
Effect of Dy₂O₃ content in the W-Dy₂O₃ pellet
on lumen maintenance characteristics.

は電極ペレット内の ThO₂ がなんらかの作用で急激に管壁に移送されたことを示す。また電極ペレットには W-Dy₂O₃ を用い、発光管内に少量の ThO₂ を投入したところ、ランプの働程は悪く、黒化が大となった。

上記のように ThO₂ は電極に存在してもまた管壁付近に存在しても黒化を引き起こす。これは ThO₂ と封入金属ハロゲン化物との反応に原因があると考えられる。ThO₂ と ThI, InI₃, DyI₃ との反応式は次のようになる。



これらの反応の標準自由エネルギー変化をそれぞれ $\Delta F^0(2.1)$, $\Delta F^0(2.2)$, $\Delta F^0(2.3)$ とする。熱力学データ^{(22)~(26)}を用いて、2,000°K における自由エネルギー変化を概算すると、

$$\Delta F_{2,000}^0(2.1) = 115 \text{ kcal/mole} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\Delta F_{2,000}^0(2.2) = 10 \text{ kcal/mole} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\Delta F_{2,000}^0(2.3) = -10 \text{ kcal/mole} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

となり、反応 (2.1) はその $\Delta F_{2,000}^0$ が正で大きいので起きる可能性は小さい。 ΔF^0 と反応の平衡定数 K との間には次の関係がある。

$$\Delta F^0 = -RT \ln K \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

反応 (2.2) および反応 (2.3) の平衡定数をそれぞれ $K(2.2)$, $K(2.3)$ とすると、

$$K(2.2) = \frac{(P_{\text{ThI}_4})^{\frac{1}{2}}}{(P_{\text{InI}_3})^{\frac{2}{3}}} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

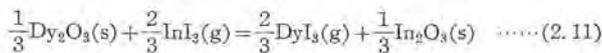
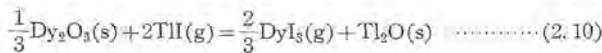
$$K(2.3) = \frac{(P_{\text{ThI}_4})^{\frac{1}{2}}}{(P_{\text{DyI}_3})^{\frac{2}{3}}} \dots \dots \dots (2.9)$$

である。ここで P は各ヨウ化物の分圧をあらわす。 P_{InI_3} および P_{DyI_3} は、ランプの最冷点で決まる蒸気圧を示すとし、最冷点温度を 1,100 °K として InI_3 および DyI_3 の蒸気圧曲線より求める。式 (2.5), (2.7), (2.8) および式 (2.6), (2.7), (2.9) より、反応 (2.3) および (2.4) の平衡状態における ThI_4 の分圧を求めると、いずれも約 3×10^{-2} atm となる。したがって反応 (2.3) および (2.4) は、生成系の ThI_4 の分圧が上記平衡圧に達するまで右方向に進行する。その結果反応 (2.2) によって In_2O_3 が、また反応 (2.3) によって Dy_2O_3 が生成する。これらの酸化物のうち、 Dy_2O_3 は熱的に安定であるのでランプ特性に影響することはないだろう。しかし In_2O_3 は次の反応のごとく⁽⁹⁷⁾、熱分解しやすいので問題となる。



すなわち放出された酸素が、前述のようにハロゲンサイクルを活発にし、またタングステンの酸化を促進して、管壁黒化の原因をつくるからである。

Dy_2O_3 を電子放射放射性物質として用いる場合を考察する。この場合も上記と同様な反応を考える。



これらの反応の 2,000°K における自由エネルギー変化は

$$\Delta F_{2,000}^0(2.10) = 120 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta F_{2,000}^0(2.11) = 21 \text{ kcal/mole}$$

と算出される。反応 (2.10) の ΔF^0 は正で大きいので反応が起こる可能性は小さい。上述と同じようにして、反応 (2.11) が平衡状態にあるときの DyI_3 の分圧を求めると、 $P_{\text{DyI}_3} = 1.3 \times 10^{-3}$ atm となり、この圧力は DyI_3 の 1,100°K における蒸気圧にほぼ等しい。したがって反応 (2.11) においては、添加物として封入してある DyI_3 の効果で、見かけ上、生成系の DyI_3 の分圧は平衡圧に達しているため、反応は右方向に進むことはない。すなわち DyI_3 - TII - InI_3 系のヨウ化物のふん囲気の中では Dy_2O_3 は安定であり、封入物組成およびハロゲンサイクルを乱すことはないで、ランプ特性が安定する。しかし ThO_2 は DyI_3 や InI_3 と反応して封入物組成をくずすうえに、さらに InI_3 との反応によって黒化の要因である酸素放出源をつくるので、上記組成のランプには適さないと考えらる。

Th は金属ヨウ化物と反応しやすく、容易に ThI_4 になってしまう。したがって封入物組成が変化し、光色が変わる等ランプ特性に影響を与えるので、電子放射放射性物質として使用するのは好ましくない。

したがってメタルハライドランプにおいては、使用する電子放射物質には、電子放出能がすぐれているとともに、ランプ動作中に、発光管内の物理的・化学的平衡状態を乱さないことが要求される。 DyI_3 - TII - InI_3 - Hg 組成のランプでは、 Dy_2O_3 がそれらの条件をよく満たして光束維持率に著しい好結果をもたらす。

3. 金属ハロゲン化物封入量の影響

メタルハライドランプの光学的および電気的特性は、高圧水銀アーク内に導入される元素の種類と密度によって、おもに決定される。

5,000°~6,000°K の高温高圧水銀アーク内で、それら導入元素は、一般に水銀および電子と熱的に平衡状態にあり、アークの発光特性は、Boltzmann の法則によって決定される。つまり、 V_k の励起レベルに励起される元素の濃度 n_k は、

$$n_k = n_0(g_k/g_0) \exp(-eV_k/kT) \dots \dots \dots (3.1)$$

n_0 : 基底状態にある元素の濃度

g_0, g_k : 統計的重み

k : Boltzmann の定数

T : アークの温度

で示される。 V_k の励起レベルから V_i のレベルに移移したときに、

$$V_k - V_i = h\nu_{V_k - V_i}$$

h : Planck の定数

ν : 振動数

のエネルギーを有する光子の数 N は、Einstein の遷移確率 $A_{V_k \rightarrow V_i}$ を用いて、

$$N = A_{V_k \rightarrow V_i} n_k$$

で表わされる。したがって、上記の遷移に伴う放射スペクトル強度 I は、

$$I = h\nu_{V_k \rightarrow V_i} N \\ = h\nu_{V_k \rightarrow V_i} A_{V_k \rightarrow V_i} n_0 g_k / g_0 \exp(-eV_k/kT) \dots \dots \dots (3.2)$$

となる。つまり、アークから放射されるスペクトルの強度は、元素の種類とアークの温度が定まると、アーク内に導入される基底状態にある元素の濃度により決定される。アーク内に導入される元素の濃度は、発光管内に浮遊する各元素の蒸気圧によって定まり、さらに、蒸気圧は、発光管内の最冷部の温度、添加封入元素の種類と封入量によって定まる。そのために、メタルハライドランプにおいては、発光管内に添加封入される金属ハロゲン化物の種類および量と最冷部の温度が、実質的にランプの特性を決定する。

一般にメタルハライドランプにおいては、蒸気圧が高く、しかも不飽和蒸気圧中で動作している高圧水銀ランプと異なり、必要な発光スペクトルを得るために、不飽和蒸気圧で動作する元素と飽和蒸気圧で動作する元素が混合して用いられている。図 3.1 に示されている蒸気圧曲線からわかるように、金属ハロゲン化物は、水銀に比べて蒸気圧が低く、かつ、発光管用材料として使われている石英の実用的動作温度には限度があり、この限度は発光管内のすべての金属ハロゲン化物を、不飽和状態で動作させるには低過ぎる。発光管内の一部の金属ハロゲン化物を、飽和状態で動作させる他の理由は、 NaI などのようなアルカリ金属ハロゲン化物を用いた場合は、ランプ動作中に Na などが、発光管内から消失する現象がしばしば発生し⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾、 Na が消失すると、発光のバランスがくずれ、光色変化の原因になるが、この光色変化を緩和するために、飽和状態にして、消失した量を飽和部分からアークに供給することにある。

上述の理由により、添加金属ハロゲン化物の一部が、飽和状態で動作しているメタルハライドランプでは、発光管内最冷部の温度変化が、飽和蒸気圧で動作している金属ハロゲン化物の動作蒸気圧に、直接影響を及ぼすために、添加元素の発光のバランスを、各ランプとも一様に保つことは、ランプ製造上きわめてむずかしい課題である。さらに、発光管内最冷部の温度は、ランプ入力の変化に対しても大きく影響を受ける。ランプ入力が増加すると、発光管内で発生する熱エネルギーが増加し、その結果、発光管全体の温度が増加して、最冷部の温度もまた同時に増加するためである。

メタルハライドランプの発光のバランスを支配する発光管内最冷部の温

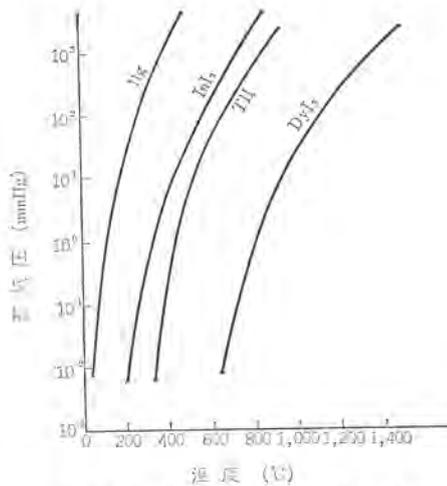


図 3.1 封入物の蒸気圧曲線
Vapor pressure curves of elements.

度について、さらに詳細に考えてみる。発光管のデザインと添加元素の種類が決定された後は、適正封入量を定めなければならない。添加元素の中でも、それ自身の蒸気圧が十分に高く、ランプ動作中には、その全部が蒸発して不飽和状態で動作する元素は、発光管最冷部の温度変化が、実用的動作温度変化範囲内では直接それらの元素の動作蒸気圧に影響を与えないが、飽和状態で動作している元素の動作蒸気圧には、発光管最冷部の温度変化が、直接それらの元素の動作蒸気圧に影響を与える。飽和状態で動作している金属ハロゲン化物の液状の部分は、発光管内壁上の最冷部に凝集し、内壁上の最冷部をおおっている。一般に金属ハロゲン化物は、液体の状態では着色している。そのために、内壁上の最冷部をおおっている液状金属ハロゲン化物は、アークからの熱エネルギーを吸収し、その液状金属ハロゲン化物の表面温度は、それがおおっている部分の内壁温度よりも高いと考えられる。つまり、発光管内で飽和状態で動作している金属ハロゲン化物の蒸気圧は、実質的には、発光管内最冷部内壁に凝集している液状金属ハロゲン化物の表面温度によって決定されると考えてよい。金属ハロゲン化物封入量が少ないと、液状金属ハロゲン化物の表面温度は、発光管最冷部内壁温度に近く、封入量が増加するにしたがい、これらの着色した液状金属ハロゲン化物は、アークからの熱エネルギーを吸収し、その表面温度が上昇して、金属ハロゲン化物の動作蒸気圧を上昇させる。したがって、好ましい光源を得るためには、添加する金属ハロゲン化物の種類とともに、全封入量も重要なファクタとなる。

また、メタルハライドランプでは、一般に、ランプの比赤光束 $R_{\%}$ と演色性の間には深い関係があり、 $R_{\%}$ が増加するにしたがい、演色性が向上し、同時にランプの色温度が低くなる。逆に $R_{\%}$ が減少するにしたがい、演色性が低下し、同時に色温度が高くなる⁽¹⁰⁾。

図 3.2 に、 $DyI_3-TlI-InI_3-Hg$ ランプにおいて、封入金属ハロゲン化物の組成をほぼ一定にして、全封入量を変えた場合の、ランプ入力と比赤光束 $R_{\%}$ (相対値) の関係を示す。図中曲線 B は、全封入量が曲線 A の約 3 倍である場合の特性を示す。図 3.2 から見られるように、全封入量が多いほうが、動作中発光管最冷部に凝集している液状金属ハロゲン化物の表面温度が高く、そのために $R_{\%}$ が高い。また、ランプ入力変化による $R_{\%}$ の変化は、発光管内の金属ハロゲン化物の全封入量が多いほうが小さい。これは全封入量が多いほうが、ランプ入力の変化の影響が少ないためであると思われる。

BOC ランプでは、おもに DyI_3 による可視部全域にわたる豊富な

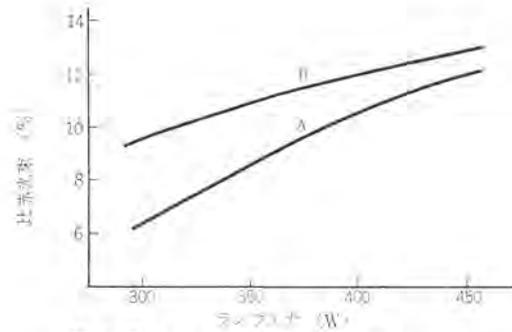


図 3.2 ランプ入力と比赤光束
Power input and red ratio of $Dy_3-TlI-InI_3-Hg$ lamps.

連続スペクトルにより演色性を向上し、視感度のピーク近くに放射される TlI による緑色の強力なラインスペクトル (535 nm) により効率の向上を計り、少量添加された InI_3 による青色スペクトル (451 nm) により、光色をより好ましいものに修正しているために、各元素の発光のバランスは、ランプの特性を左右する重要なファクタである。

4. 発光管形状の影響

高圧水銀ランプにおいては、ランプ電圧は、発光管内に封入される水銀量によって、一義的に定まる。つまり、水銀量により、自由に任意のランプ電圧を決めることができるが、 $DyI_3-TlI-InI_3-Hg$ ランプにおいては、水銀が単独でランプ電圧に寄与する割合は約 70% で、残りの約 30% は水銀以外の金属ハロゲン化物により与えられる。金属ハロゲン化物の蒸気圧が低いと、必要なランプ電圧が得られず、また高過ぎると、ランプ電圧が必要以上に高くなる。

図 4.1 に、高圧水銀ランプと $DyI_3-TlI-InI_3-Hg$ ランプのランプ入力とランプ電圧の関係を示す。高圧水銀ランプは、水銀の不飽和蒸気中でのアーク放電を利用しているために、ランプ入力が増しても、アーク中での水銀蒸気密度の変化はほとんどなく、そのために、ランプ電圧は変化せず、ほぼ一定の値が保たれる。しかし、メタルハライドランプでは、水銀の不飽和蒸気に加えて、一部金属ハロゲン化物の飽和蒸気中でのアーク放電を利用して、かつ、金属ハロゲン化物が、ランプ動作中のランプ電圧の一部を受け持っているために、ランプ入力が増えると、発光管内最冷部の温度が変化して、金属ハロゲン化物の蒸気圧が変化する結果、ランプ電圧が変化する。

$DyI_3-TlI-InI_3-Hg$ ランプのランプ電圧とその他のランプ特性の間には密接な関係があり、ランプ電圧の変化は、ランプの演色性、色温度 (光色) および効率に影響を与える。ランプ電圧が上昇すると、比赤光束 $R_{\%}$ がふえて演色性がよくなり、効率も向上し、ランプの光学的特性としては好ましい現象であるが、ランプ電圧が安定器の放電維持能力を越えて上昇すると、ランプの放電維持は不可能になり、ランプの立消え現象が発生する。

ランプ電圧に影響を与える要因は数多くあるが、発光管の形状は特に重要な要因の一つである。

点灯初期における発光管内の金属ハロゲン化物の凝集場所は、図 4.2 (a) に示すように、電極後方および電極先端近傍の管壁上であるが、点灯時間が進むにつれて、電極材料のスパッタなどにより、発光管の端部に黒化が発生し、その黒化状態が著しくなると、その黒化膜の保温効果により、端部電極近傍の温度が上昇する。その結果、そのときまでは端部に凝集していた金属ハロゲン化物が、図 4.2 (a') に示すように、発光管中央部に移動し、そこに凝集膜を作るようになる。この金属ハロゲン化物凝集膜は、アークからの熱エネルギー

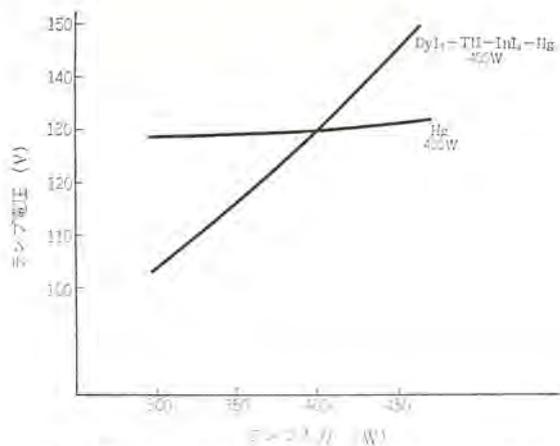


図 4.1 入力電力によるランプ電圧の変化
Lamp voltage change due to power input variation.

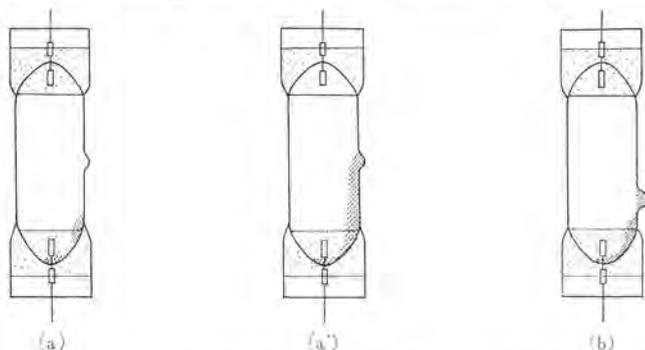


図 4.2 発光管形状による金属ハロゲン化物の凝集状態
Appearances of deposited films of metal halides on the inner surfaces of arc tubes in two arc tube designs.

を吸収して、管内の金属ハロゲン化物の蒸気圧を高めて、ランプ電圧を上昇させるのみならず、アークからの光を吸収して光束維持率にも悪い影響を及ぼす。したがって、ランプ寿命中の変化も考慮して、発光管内の金属ハロゲン化物の凝集状態を、いかに制御するかということとは、寿命中安定な特性を得るために重要なことである。

著者らはランプ寿命中の金属ハロゲン化物の凝集状態の詳細な観察により、発光管の形状が重要な役割を果たし、特に発光管内の最冷部の温度と位置が、ランプ寿命中の金属ハロゲン化物の凝集状態に影響を及ぼし、寿命中のランプ特性変化に大きく作用することがわかった。

従来は、発光管内最冷部を発光管端部に置いていた。そのために、おもに端部に集中する管壁黒化が直接最冷部の温度に影響を与え、黒化により端部温度が上昇すると上述のような現象が発生し、ランプ特性に変化をもたらした。この現象を避けるためには、最冷部を発光管端部から他に移す必要がある。発光管の管壁上に最冷部となるべきとつ(凸)部を設けて種々試験した結果、400 W メタルハライドランプの場合は、とつ部を発光管の中央と端部の間に設置すればよいことが確かめられた。また適切な温度制御効果を持たせるために、このとつ部は置設場所のみならず大きさもまた重要である。大き過ぎると所定の特性が得られず、小さ過ぎると寿命中のランプ特性変化を改良できない。

通常の発光管の管壁には、発光管製作時に排気管を封じきった部分(チップオフ部)が残されている。このチップオフ部に最冷部となるべきとつ部を兼ねさせることができる。つまりチップオフ部の位置と大きさを適切に選んで設置することにより、ランプ寿命中の金属ハロゲン化物の凝集状態を制御できる。

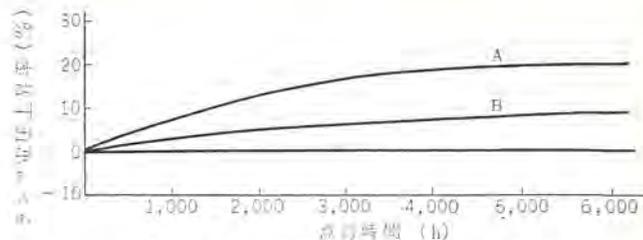


図 4.3 点灯時間とランプ電圧上昇率
Lamp voltage increase with burning hours.

従来のチップオフした部分の位置は、図 4.2 (a) に示すように、発光管の中央部にあり、その大きさは発光管内の金属ハロゲン化物の凝集をできるだけ避けるために小さくしていた。それゆえ、チップオフ部の温度制御効果がなく、ランプ寿命中に、図 4.2 (a) に示すように、発光管中央部に金属ハロゲン化物の凝集膜が形成された。

図 4.2 (b) に、チップオフ部による温度制御効果が十分に発揮されるように考慮して得られた $DyI_3-TII-InI_3-Hg$ ランプの発光管を示す。チップオフ部の位置は発光管中央より端部に寄った所にあり、大きさは従来に比べ少し大きくなっている。発光管をこの構造にすることにより、ランプ寿命中にたとえ黒化膜の効果により、初期状態では、発光管端部に凝集していた金属ハロゲン化物が、中央部への移動を余儀なくされても、それらは、図 4.2 (b) に示すように、適当な位置と大きさのチップオフ部の内側に移動凝集し、寿命中のランプ特性の変化が小さく制御される。

図 4.3 は、チップオフ部の温度制御効果を積極的に利用したランプ(曲線 B)と、従来の形のランプ(曲線 A)の点灯時間とランプ電圧の上昇率の関係を示す。チップオフ部の温度制御効果により、寿命中にランプ中央部内壁上に、金属ハロゲン化物が大きな凝集膜を形成することがなくなり、ランプ電圧の上昇率が大幅に改良され、同時に凝集膜によるアークからの光の吸収が軽減され、ランプ光束維持率にも好結果をもたらすことが理解される。

5. 特 性

以上、種々の検討の結果得られた三菱 BOC ランプの外観を、図 5.1 に、また定格値を表 5.1 に示す。

5.1 光学的特性

発光管内封入物組成として $DyI_3-TII-InI_3-Hg$ を採用した BOC ランプの初特性は、表 5.1 からわかるように、効率は 80 lm/W で高圧水銀ランプの約 1.5 倍、平均演色評価数 R_a 88 が得られ、数多くのメタルハライドランプの中で、効率と演色性の両方とも特にすぐれたランプであるといえる。このすぐれた特性は、図 5.2 に示した分



図 5.1 三菱 BOC ランプ M 400 C-BOC-U
Mitsubishi BOC lamp M 400 C-BOC-U for vertical base-up operation.

表 5.1 三菱 BOC ランプの定格値
Ratings of Mitsubishi BOC lamps.

外形	形名	大きさ 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	平均寿命 h	点灯方向
透明形	M 250 C-BOC-H	250	17,000	68	2.3	130	8	15	300	6,000	水平
	M 250 C-BOC-U		18,000	72							鉛直 (口金上側)
	M 250 C-BOC-D										鉛直 (口金下側)
	M 400 C-BOC-H	400	30,000	75	3.45						水平
	M 400 C-BOC-U		32,000	80							鉛直 (口金上側)
	M 400 C-BOC-D										鉛直 (口金下側)
	M 700 C-BOC-H	700	54,500	78	6.1						水平
M 1000 C-BOC-H	1,000	80,000	80	8.7	水平						
拡散形	M 250 F-BOC-H	250	17,000	68	2.3	130	8	15	300	6,000	水平
	M 250 F-BOC-U		18,000	72							鉛直 (口金上側)
	M 250 F-BOC-D										鉛直 (口金下側)
	M 400 F-BOC-H	400	30,000	75	3.45						水平
	M 400 F-BOC-U		32,000	80							鉛直 (口金上側)
	M 400 F-BOC-D										鉛直 (口金下側)
	M 700 F-BOC-H	700	54,500	78	6.1						水平
M 1000 F-BOC-H	1,000	80,000	80	8.7	水平						

光エネルギー分布からも理解されるように、 DyI_3 による可視部全域にわたる豊富な連続スペクトルと、 $TlII$ による効率の向上と、 InI_3 による光源色修正効果が、互いに重なり合って得られるものである。表 5.2 に BOC ランプの演色評価数を、高圧水銀ランプおよび NaI-TII-InI₃-Hg 組成のメタルハライドランプと比較して示す。図 5.3 は表 5.3 の値をグラフにしたものである。BOC ランプの演色評価数は平均して高く、そのために各色に対して平均してすぐれた演色性を示す。特殊演色評価数の中で、特に R_{13} (外人の肌色) および R_{15} (日本人の肌色) に対しては、それぞれ 93, 98 という高い値が得られるために、色温度が 6,000°K で真昼の太陽光に近い色温度を備えていることと合せて、肌色が生き生きと自然に近い感じに見える。

表 5.2 演色評価数比較
Comparison of color renditions.

特性	ランプ	メタルハライドランプ			
	高圧水銀ランプ H 400	銀けい光高圧水銀ランプ HF 400-E	NaI-TII-InI ₃ -Hg H 400	DyI ₃ -TII-InI ₃ -Hg M 400 BOC	
色温度 (°K)	6,000	3,900	5,500	6,000	
平均演色評価数 R_a	23	47	62	88	
演色評価数	R_1 うす赤	-10	32	61	92
	R_2 うす黄	37	58	74	92
	R_3 黄緑	72	70	72	79
	R_4 うす緑	10	36	70	89
	R_5 うす青	6	33	61	93
	R_6 青紫	13	34	65	90
	R_7 紫	61	71	73	91
	R_8 ピンク	-4	34	20	94
	R_9 赤	-313	-99	-174	86
	R_{10} 黄	-47	-8	20	76
	R_{11} 緑	-17	10	70	88
	R_{12} 青	-25	-10	23	85
	R_{13} 外人の肌色	2	36	70	93
	R_{14} 木の葉	84	82	81	87
	R_{15} 日本人の肌色	-3	32	30	98

光束維持率は先に述べた新しい電極の採用により、従来に比べて大幅に改良され、図 2.3 で示すように、3,000 時間点灯後約 80%、6,000 時間点灯後約 70% が得られる。

5.2 電気的特性

前報で述べたように⁽¹⁰⁾、メタルハライドランプの始動電圧は、発光管内に添加封入された金属ハロゲン化物の影響で本質的に高く、高圧水銀ランプ用の安定器では点灯できない。それゆえメタルハライドランプ専用の安定器を使用しなければならない。またメタルハライドランプは、使用安定器の特性によって、ランプの諸特性が敏感に影響を受けるために、ランプの特性に適合した安定器で点灯しなければならない。BOC ランプ用安定器は、ランプの特性と組み合わせて検討した結果、寿命中にランプの諸特性の変化を助長することなく、小さく押える特性を備えたパルス始動形を採用している。したがって、BOC ランプの電気的特性は安定器の特性と適合していて、寿命中のランプ電圧の変化によるランプ電力の変化が小さく、そのためにランプ電圧の変化が、発光管に備えたチップオフ部の温度制御効果も加わり、図 4.3

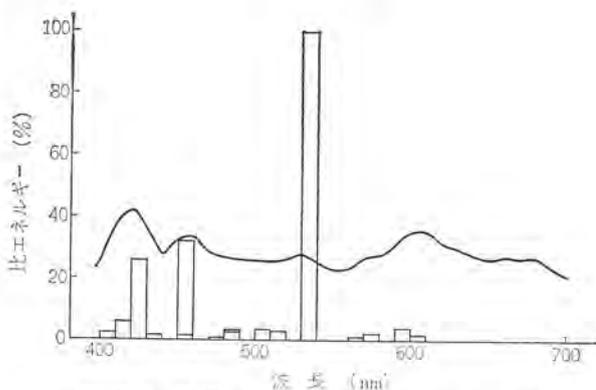


図 5.2 BOC ランプの分光エネルギー分布
Spectral energy distribution of BOC lamps.

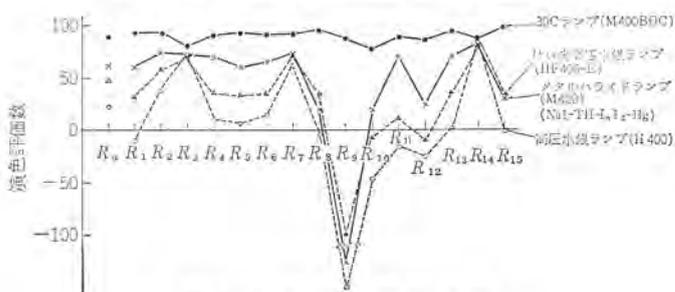


図 5.3 演色評価数比較
Comparison of color renditions.

からわかるように、比較的小さく、かつランプ寿命中安定した特性が得られる。

6. む す び

DyI₃-TlI-InI₃ 組成のメタルハライドランプにおいて、電極の電子放出能および金属ハロゲン化物との相互作用を考慮し、Dy₂O₃を電子放射物質として使用し、かつ新しいデザインの電極の採用によって、ランプの光束維持率が従来のものに比べて大幅に改良され、3,000時間点灯後約80%、6,000時間点灯後約70%が得られる。また発光管内に封入する金属ハロゲン化物の全封入量を多くすることによって、効率および演色性が改善され、かつランプ入力変化に伴う光色の変化が少なくなる。さらに発光管に設けたチップオフ部の温度制御効果を有効に利用することにより、ランプ電圧の上昇が押えられ、寿命中安定したランプ特性が維持される。このような改良により、BOCランプの特性は大幅に向上した。

最後に、長時間にわたるこの研究に、惜しみなきご協力、ご指導をいただいた関係諸氏に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) D. A. Larson, H. D. Fraser, W. V. Cushing, M. C. Unglert : Higher Efficiency Light Source through Use of Additives to Mercury Discharge, Illum. Eng. Soc. Conf. Paper, Sept. (1962)
- (2) 大盛, 大田, 近藤, 土橋 : 新形水銀ランプ, 三菱電機技報, 37, 10, 1,211 (昭38)
- (3) E. C. Mart, L. J. Smialek, A. C. Green : Iodides in Mercury Arcs for Improved Color and Efficiency, Illum. Eng 59, 34 (1964)
- (4) G. H. Reiling : Characteristics of Mercury Vapor-Metallic Iodide Arc Lamps, J. Opt. Soc. Am. 54, 4,532 (1964)
- (5) A. Bauer : Hochdruckentladungslampen mit Metallhalogenidzusätzen, Lichttechnik, 16, 3,118 (1964)
- (6) B. Küll : Quecksilber-Hochdrucklampen mit Jodidzusätzen, Lichttechnik, 16, 2, 68 (1964)
- (7) 土橋, 三上, 若林 : ヨウ化物入り高圧水銀灯, 三菱電機技報, 39, 7, 877 (昭40)
- (8) A. Dobrusskin : Metalljodid-Lampen von 100 W bis 2,000 W, Lichttechnik, 17, 4, 49 A (1965)
- (9) J. F. Waymouth, W. C. Gungle, J. M. Harris, F. Koury : A New Metal Halide Arc Lamp, Illum. Eng., 60, 2, 85 (1965)
- (10) 久保, 竹田, 土橋, 三上, 若林 : 金属添加物入り水銀灯の特性と問題点, 三菱電機技報, 40, 9, 1,402 (昭41)
- (11) 野村, 加納, 大沢, 森, 東, 長野 : 東芝陽光ランプ, 東芝レビュー, 22, 10, 1,207 (昭42)
- (12) J. F. Waymouth, F. Koury, W. C. Gungle, C. Peterson : Sodium Loss Process in Metal Iodide Arc Lamps, Illum. Eng., 62, 4, 214 (1967)
- (13) 久保, 竹田, 土橋, 若林 : 三菱 BOC ランプ—新しいメタルハライドランプ—, 三菱電機技報, 42, 8, 1,072 (昭43)
- (14) 加納, 小原, 大沢 : 東芝高効率ハライドランプ, 東芝レビュー, 23, 9, 1,126 (昭43)
- (15) 祇園, 奥村, 中村 : 金属ハライドランプ“マルチハロゲン灯”の最近の開発, Nat. Tech. Rep., 15, 5, 559 (昭44)
- (16) 竹田, 土橋, 若林, 風間 : メタルハライドランプ“三菱BOCランプ”の特性改善, 三菱電機技報, 44, 11, 1,447 (昭45)
- (17) A. Dobrusskin : Metal halide Lamps with Rare Earth Additives : Lighting Research and Technology, 3, 2, (1971)
- (18) A. Dobrusskin : Halogen-Metalllampen mit Seltenen Erden, Lichttechnik, 23, 3, 135 (1971)
- (19) 竹田, 土橋 : ジスプロシウムを用いたメタルハライドランプの特性, 電気学会, 光源・関連装置研究会資料, LS-71-3 (昭46)
- (20) J. J. McHale : Tungsten Transport in Quartz-Iodine Lamps, Illum. Eng. Soc., Conf. Paper No. 8-4 (1970)
- (21) W. H. Brattain, J. A. Becker : Thermionic and Adsorption Characteristics of Thorium on Tungsten, Phys. Rev., 43, 428 (1933)
- (22) F. D. Rossini, D. D. Wagman, W. H. Evans, S. Levine, I. Jaffe : Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties, Circular of the NBS 500 (1952)
- (23) D. Brown : Halides of the Lanthanides and Actinides (1968)
- (24) O・クバシェウスキー, E・LL・エヴァンス, C・B・アルコック : 金属熱化学 (昭43)
- (25) R. F. Rolsten : Iodide Metals and Metal Iodides (1961)
- (26) 化学工学協会編 : 物性定数 第5集 (昭42)
- (27) R. P. Burns : Systematics of the Evaporation Coefficient Al₂O₃, Ga₂O₃, In₂O₃, J. Chem. Phys., 44, 3,307 (1966)

けい光ランプのけい光塗膜に対する考察

朝長 朗*・末安 高幸*・小峰 義治*

A Study on Phosphor Layers of Fluorescent Lamps

Ofuna Works Akira TOMONAGA・Takayuki SUEYASU・Yoshiharu KOMINE

A good many studies have been made on the improvement of fluorescent lamps. A research about the phosphor layer is among them, and this is as important as the study of phosphor itself. Several reports have been made on the efforts and much significant information has been obtained. Mostly in these reports, it has been assumed that the phosphor layer is continuous, whereas in this report is introduced P. D. Johnson's idea that the phosphor layer is discontinuous. As a result, a formula which brings about fairly identical information with actual data from the measurement has been made available. Based on this formula, some concepts are worked out to improve the phosphor and glass of fluorescent lamps.

1. ま え が き

けい光ランプの初光束は、その消費電力が一定の場合、管径、内部ガスの種類、圧力、けい光体等に依存する。けい光体以外の条件が一定の場合には初光束はけい光体の種類、粒径、粒度分布、紫外線、可視光線に対する吸収係数、散乱係数、塗布膜厚等に影響される。

K. H. Butler⁽¹⁾等は吸収係数、散乱係数、粒度分布等を用いて最大初光束を与える透過率を求め、この最大初光束自体を大きくするには散乱係数を小さくすればよいと述べている(ただし紫外線に対する吸収係数が一定の場合)。また坊、竹山⁽²⁾は塗布面の詳細な解析を行ない、紫外線のけい光膜に対する吸収係数や反射率等が非常に重要な因子をなしていると述べている。M. A. Weinstein⁽³⁾も塗布表面の解析をして、面の可視吸収係数が大きい場合は、塗布面に hole を作ると光束は大きくなると述べている。

粉体層の光学的解析は、層を連続したものとする P. Kubelka⁽⁴⁾等の考え方と、層を不連続なものとする P. D. Johnson⁽⁵⁾、N. T. Melamed⁽⁶⁾等の考え方がある。今までけい光ランプの塗布面についての考察で用いられたものは、主に連続法であり不連続法はあまり用いられていない。しかし P. D. Johnson 等の不連続法は式の中の各因子の意味が具体的であり考えやすいと言われている⁽⁷⁾。そこでこの報告では、けい光塗布面に対して不連続法を導入して得られた結果を実測値と比較した。また得られた式の中の各パラメータが光束に与える効果についても考察した。

2. 一つの層での反射、吸収、透過

けい光体塗布面を層として考え、一つの層の厚さをその物体の比表面積平均径 d に等しいものとする。これは散乱が比表面積に依存することから適当と考える。この一つの層により入射光が反射される割合を m とし、けい光体のその光に対する吸収係数を γ (cm^{-1})、とする。その時の反射、吸収、透過の様子を図 2. 1 に示す。

図 2. 1 から反射全光束は

$$\begin{aligned} & I_0 m + I_0 m (1-m)^2 e^{-2\gamma d} + I_0 m^3 (1-m)^2 e^{-4\gamma d} + \dots \\ &= I_0 m \left(1 + \frac{(1-m)^2 e^{-2\gamma d}}{1-m^2 e^{-2\gamma d}} \right) \\ &= I_0 m \left(1 + \frac{(1-m)^2 x^2}{1-m^2 x^2} \right) = I_0 \cdot t \quad \dots \dots \dots (2.1) \end{aligned}$$

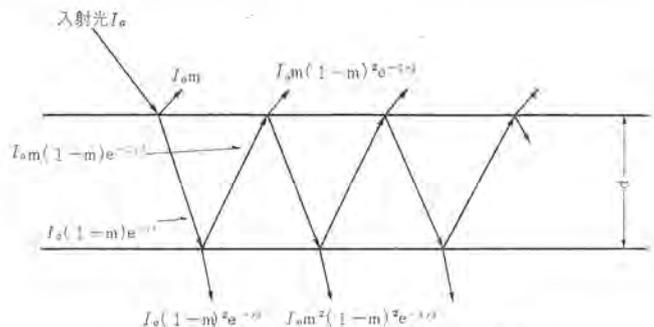


図 2. 1 一つの層での反射、吸収、透過
Reflection, absorption and transmission of one layer.

透過全光束は

$$\begin{aligned} & I_0 (1-m)^2 e^{-\gamma d} + I_0 m^2 (1-m)^2 e^{-3\gamma d} + \dots \\ &= I_0 \cdot \frac{(1-m)^2 e^{-\gamma d}}{1-m^2 e^{-2\gamma d}} \\ &= I_0 \cdot \frac{(1-m)^2 x}{1-m^2 x^2} = I_0 \cdot s \quad \dots \dots \dots (2.2) \end{aligned}$$

ただし $x = e^{-\gamma d}$ とし

$$t = m \cdot \left(1 + \frac{(1-m)^2 x^2}{1-m^2 x^2} \right), \quad s = \frac{(1-m)^2 x}{1-m^2 x^2} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

当然のことながら吸収全光束は $I_0 \cdot (1-s-t)$ である。

3. 多層内での一つの層の反射、吸収、透過、発光

層の構成を図 3. 1 に示し、図 3. 2 に第 i 層での反射、吸収、透過を示す。図 3. 2 で第 i 層から下方へ向う光を I_i 、上方へ向う光を J_i とする。図 3. 2 より次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} I_i &= s \cdot I_{i-1} + t \cdot J_{i+1} \\ J_i &= s \cdot J_{i+1} + t \cdot I_{i-1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.1)$$

図 3. 1 で第 $(n+1)$ 層をガラスとして、ガラスの s 、 t をそれぞれ s_0 、 t_0 とすると境界条件として $I_{n+1} = s_0 I_n$ 、 $J_{n+1} = t_0 J_n$ が成立する。式 (3.2) と境界条件より次式を得る。

$$\begin{aligned} & I_{n-i} = A_i I_n, \quad J_{n-i+1} = B_i J_{n+1} \quad \dots \dots \dots (3.2) \\ & \left. \begin{aligned} A_i &= \frac{1}{s} \cdot A_{i-1} - \frac{t \cdot t_0}{s} \cdot B_{i-1} \\ B_i &= \frac{t}{s \cdot t_0} \cdot A_{i-1} + \frac{s^2 - t^2}{s} \cdot B_{i-1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.3) \\ & (A_0 = B_0 = 1) \end{aligned}$$

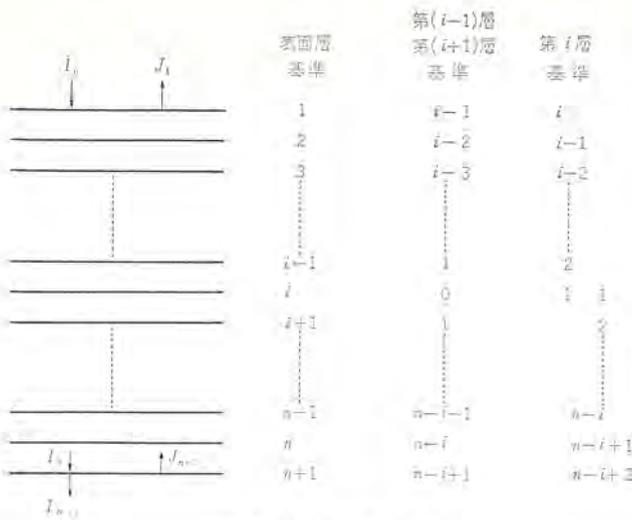


図 3.1 層構造
Construction of layer.

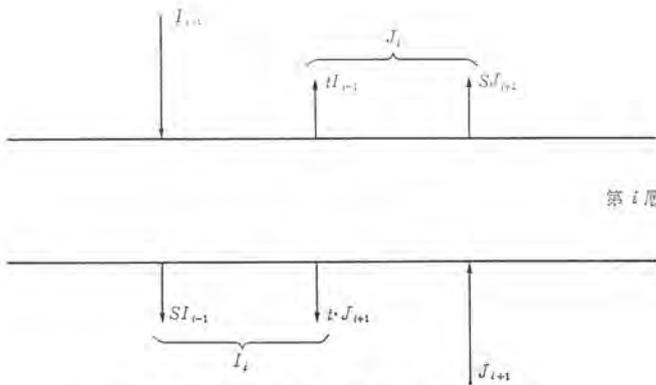


図 3.2 第*i*層での反射, 吸収, 透過
Reflection, absorption and transmission of *i*-th layer.

$$1/s = \alpha, \quad -t \cdot t_0/s = \beta, \quad t/s \cdot t_0 = \eta(s^2 - t^2)/s = \delta$$

とすると A_i, B_i は次のようなマトリクスで表わすことができる。

$$\begin{pmatrix} A_i \\ B_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \eta & \delta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_{i-1} \\ B_{i-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \eta & \delta \end{pmatrix}^i \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} \alpha_i & \beta_i \\ \eta_i & \delta_i \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (3.4)$$

すなわち $\alpha_i, \beta_i, \eta_i, \delta_i$ が $\alpha, \beta, \eta, \delta$ で表わせれば, A_i, B_i は次のようにして求められる。

$$A_i = \alpha_i + \beta_i, \quad B_i = \eta_i + \delta_i \dots \dots \dots (3.5)$$

式(3.4)は $\alpha\delta - \beta\eta = 1$ で線形4端子網のシリーズ接続の時に用いられるものであり, その解法は, 川上⁽⁸⁾によれば次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i &= T_i(\theta) + \xi \cdot U_i'(\theta), & \beta_i &= \beta \cdot U_i'(\theta) \\ \eta_i &= \eta \cdot U_i'(\theta), & \delta_i &= T_i(\theta) - \xi \cdot U_i'(\theta) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.6)$$

ここで $\theta = (\alpha + \delta)/2, \xi = (\alpha - \delta)/2$ であり, さらに $T_i(\theta), U_i'(\theta)$ はそれぞれ第1種, 第2種の Tschebyscheff の多項式で次のようなものである。

$$\left. \begin{aligned} T_i(\theta) &= \frac{1}{2} \cdot \{(\theta + \sqrt{\theta^2 - 1})^i + (\theta - \sqrt{\theta^2 - 1})^i\} \\ U_i'(\theta) &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(\theta + \sqrt{\theta^2 - 1})^i - (\theta - \sqrt{\theta^2 - 1})^i}{\sqrt{\theta^2 - 1}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.7)$$

式(3.5), (3.6), (3.7) から

$$\left. \begin{aligned} A_i &= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{\beta + \xi}{\sqrt{\theta^2 - 1}}\right) \cdot (\theta + \sqrt{\theta^2 - 1})^i \right. \\ &\quad \left. + \left(1 - \frac{\beta + \xi}{\sqrt{\theta^2 - 1}}\right) \cdot (\theta - \sqrt{\theta^2 - 1})^i \right\} \\ B_i &= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{\eta - \xi}{\sqrt{\theta^2 - 1}}\right) \cdot (\theta + \sqrt{\theta^2 - 1})^i \right. \\ &\quad \left. + \left(1 - \frac{\eta - \xi}{\sqrt{\theta^2 - 1}}\right) \cdot (\theta - \sqrt{\theta^2 - 1})^i \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.8)$$

を得る。

次に入射光が I_0 の時 (図 3.1), 第*i*層で吸収される量 Ab_i は図 3.2 および式(3.1), (3.2) 境界条件から

$$\begin{aligned} Ab_i &= I_{i-1} + J_{i+1} - I_i - J_i \\ &= \frac{1-s-t}{s+t} \cdot (I_i + J_i) \\ &= \left(\frac{A_{n-i}}{A_n} + t_0 \cdot \frac{B_{n-i+1}}{A_n} \right) \cdot \frac{1-s-t}{s+t} \cdot I_0 \dots \dots \dots (3.9) \end{aligned}$$

となる。以下, 紫外部, 可視部について考えるので, 文字の右肩に uv, v の記号を使い区別する。

すなわち第*i*層で吸収される紫外線は Ab_i^{uv} であり, 可視変換効率を μ とすれば, 第*i*層で発生する可視光は $2p = \mu \cdot Ab_i^{uv}$ となる。この可視光は, ランプの内側 (陽光柱側) と外側へ, $p = 1/2 \cdot \mu \cdot Ab_i^{uv}$ づつにわかれる。ここで考えやすくするために, 図 3.1 のように, 第*i, i-1, i+1*層を基準としてみる。この時の可視光の層内重反射は次のようになる。

*i*層から外へ向う光…… p

*i*層から外へ向った光が, (*i*+1)層から (*n*+1)層 (ガラス) により反射され *i*層にもどる光…… $(B_{n-i}^v/A_{n-i}^v) \cdot t_0^v \cdot p$

この光は *i*層により外側へ $(B_{n-i}^v/A_{n-i}^v) \cdot t_0^v \cdot t^v \cdot p$, 内側へ $(B_{n-i}^v/A_{n-i}^v) \cdot t_0^v \cdot s^v \cdot p$ にわかれる。

*i*層から内へ向う光…… p

*i*層から内へ向った光が, 第1層から (*i*-1)層により反射され, *i*層にもどる光…… $(B_{f,i-2}^v/A_{f,i-2}^v) \cdot t^v \cdot p$

この光は *i*層により外側へ $(B_{f,i-2}^v/A_{f,i-2}^v) \cdot t^v \cdot s^v \cdot p$, 内側へ $(B_{f,i-2}^v/A_{f,i-2}^v) \cdot t^{v2} \cdot p$ にわかれる。

このように第*i*層から直接外へ向う光は p , 1回の層内重反射により外へ向う光は $(B_{n-i}^v/A_{n-i}^v) \cdot t_0^v \cdot t^v \cdot p + (B_{f,i-2}^v/A_{f,i-2}^v) \cdot t^v \cdot s^v \cdot p$ となる。また第*i*層から直接内側へ向う光は p , 1回の層内重反射により内側へ向う光は $(B_{n-i}^v/A_{n-i}^v) \cdot t_0^v \cdot s^v \cdot p + (B_{f,i-2}^v/A_{f,i-2}^v) \cdot t^{v2} \cdot p$ となる。ここで, $A_{f,i}, B_{f,i}$ は境界がガラスではなくけい光体の場合である。

このようにして k 回目の層内重反射後, 第*i*層から外へ向う光 L_k 内へ向う光を M_k とすれば次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} L_{k+1} &= u_i \cdot t_0^v \cdot t^v \cdot L_k + v_i \cdot t^v \cdot s^v \cdot M_k \\ M_{k+1} &= u_i \cdot t_0^v \cdot s^v \cdot L_k + v_i \cdot t^{v3} \cdot M_k \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$(L_0 = M_0 = p)$$

$$u_i = B_{n-i}^v/A_{n-i}^v, \quad v_i = B_{f,i-2}^v/A_{f,i-2}^v$$

$$a = u_i \cdot t_0^v \cdot t^v, \quad b = v_i \cdot t^v \cdot s^v, \quad c = u_i \cdot t_0^v \cdot s^v, \quad d = v_i \cdot t^{v2}$$

$\Delta = ad - bc$ とおけば, 前と同様に Tschebyscheff の多項式を用いて,

$$\left. \begin{aligned} a_k &= \Delta^{\frac{k}{2}} \cdot T_k(x) + \Delta^{\frac{k-1}{2}} \cdot f \cdot U_k'(x) \\ b_k &= \Delta^{\frac{k-1}{2}} \cdot b \cdot U_k'(x) \\ c_k &= \Delta^{\frac{k-1}{2}} \cdot c \cdot U_k'(x) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.11)$$

$$d_k = \frac{k}{\Delta^2} \cdot T_k(z) - \frac{k-1}{\Delta^2} \cdot f \cdot U_k'(z)$$

ただし、 $f = (a-d)/2$, $z = (a+d)/2\sqrt{\Delta}$

となり $L_k = (a_k + b_k) \cdot p$, $M_k = (c_k + d_k) \cdot p$ が得られる。このようにして第 i 層で可視に変換された光はランプの外へ

$$E_i = \frac{s_g^v}{A_{n-i}^v} (L_0 + L_1 + \dots) = \frac{s_g^v}{A_{n-i}^v} \sum_{k=0}^{\infty} L_k \quad (3.12)$$

だけ向かい、内側（陽光柱側）へは

$$F_i = \frac{s^v}{A_{f,i-2}^v} (M_0 + M_1 + \dots) = \frac{s^v}{A_{f,i-2}^v} \sum_{k=0}^{\infty} M_k \quad (3.13)$$

だけ向う。以上は $n, i \geq 2$ の場合であるが、 $n \geq 2, i=1$ では

$$E_i = \frac{s_g^v}{A_{n-1}^v} \cdot \frac{p}{1 - u_1 \cdot t_g^v \cdot t^v}, F_i = \left(1 + \frac{u_1 \cdot t_g^v \cdot s^v}{1 - u_1 \cdot t_g^v \cdot t^v} \right) \cdot p \quad (3.14)$$

$n=i=1$ では

$$E_1 = s_g \cdot \frac{p}{1 - t_g^v \cdot t^v}, F_1 = \left(1 + \frac{t_g^v \cdot s^v}{1 - t_g^v \cdot t^v} \right) \cdot p \quad (3.15)$$

以上のように第 i 層で紫外線が Ab_i^{uv} だけ吸収されると可視光 $\mu \cdot Ab_i = 2p$ に変換され、この光はガラスを通して外側へ E_i , ランプの内側へ F_i だけ出る。これは坊、竹山⁽²⁾の考え方と同じである。

4. ランプ光束

前述のように第 i 層から出る光はランプの外側へ E_i , ランプの内側へ F_i 出るわけであるが、このうち F_i はランプの内表面へ達し、一部は反射し、一部は塗布面層を通り外側へ出る。すなわち F_i はランプ内で反射を繰り返し最終的に、

$$G_i = \frac{s_g^v \cdot \rho^v \cdot F_i}{A_n^{uv} - B_n^{uv} \cdot t_g^{uv} \cdot \rho^{uv}} \quad (4.1)$$

だけ外に出る。ただし ρ^v は、反射した可視光が陽光柱に吸収されずに他の面に到達する割合である。このことは紫外部でも言えることであり、陽光柱から出る紫外線 I_0 は、実質的には

$$\frac{I_0}{1 - \frac{B_n^{uv}}{A_n^{uv}} \cdot t_g^{uv} \cdot \rho^{uv}} \quad (4.2)$$

となる。ただし ρ^{uv} は一つの面で反射した紫外線が陽光柱で吸収されずに他の面へ到達する割合である。

このようにして第 i 層で吸収された紫外線は、ここで可視光に変換され、最終的にランプの外へ

$$S_i = \frac{E_i + G_i}{1 - \frac{B_n^{uv}}{A_n^{uv}} \cdot t_g^{uv} \cdot \rho^{uv}} \quad (4.3)$$

だけ出る。それゆえいけい光体塗布層から出る全光束は、

$$\sum_{i=1}^n S_i$$

となる。また水銀線の可視部から出るものは

$$L_{Hn} = \frac{s_g^v \cdot k \cdot I_0}{A_n^v - B_n^v \cdot t_g^v \cdot \rho^v} \quad (4.4)$$

なのでランプ光束 L_n は

$$L_n = \sum_{i=1}^n S_i + L_{Hn} \quad (4.5)$$

となる。

5. けい光体輝度

図 5. 1 に輝度測定方法を示す。(紫外カットフィルタ使用)

この場合は層の数が無限に多い場合の紫外線がはいつてきた方向への発光であるから、輝度 B は

$$B = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n F_i \quad (5.1)$$

となる。

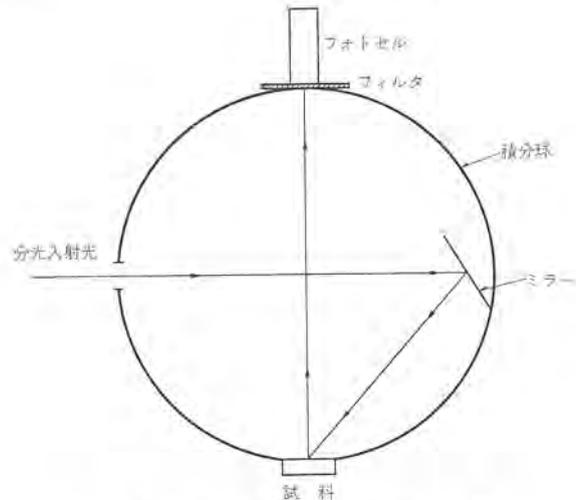


図 5. 1 輝度、反射率測定装置
Apparatus for measuring brightness and reflection.

6. 反 射 率

反射率測定は図 5. 1 の装置を用い、紫外外部反射率測定には可射カットフィルタを用い、可視部反射率測定にはフィルタを取りはずした。

図 3. 1, 式 (3. 2), (3. 8) 境界条件から、反射率 R は次のようになる。

$$R = \lim_{I_0} \frac{J_1}{I_0} = t_g \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{B_n}{A_n} = t_g \cdot \frac{1 + \frac{\eta - \xi}{\sqrt{\theta^2 - 1}}}{1 + \frac{\beta + \xi}{\sqrt{\theta^2 - 1}}} \quad (6.1)$$

β, η, θ, ξ を s, t, s_g, t_g におきかえ、代入すると

$$\left(R + \frac{1}{R} \right) = \frac{1 - s^2 + t^2}{t} \quad (6.2)$$

s, t は、 $m, x (=e^{-\gamma d})$ の関数なので m がわかれば、 R を測定することにより x が求められ、けい光体の粒径がわかれば吸収係数がわかる。また x が定まれば s, t が定まり、最終的には、光束 L_n と層数の関係、光束 L_n と輝度の関係等が得られる。

7. ハロリン酸カルシウム白色けい光体の場合

7. 1 $m^v, m^{uv}, m_g^v, m_g^{uv}, s, t, s_g, t_g$ 等の決定

一つの層で入射光が反射される割合 m は、P. D. Johnson⁽⁵⁾ によれば

$$m = 1.5 \cdot \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (7.1)$$

として与えられる。係数の 1.5 は粉体の散乱を加味したものと思われる。 n はその物質の屈折率であり活性体の有無とは無関係である。 n は一般にはナトリウムの D 線 (589.3 nm) についての値が与えられ

表 7.1 各物質の紫外, 可視屈折率
Refractive index of each material in u. v.
and visible region.

	石英ガラス	ソーダガラス	ハロリン酸カルシウム
Na, D 線 254 nm	1.458	約 1.5	1.648
	1.513	約 1.55	1.71

表 7.2 試料の定数
Parameters of sample.

	R	x	$\gamma(\text{cm}^{-1})$	s	t	s_0	t_0
紫外	0.18	0.608	750	0.483	0.1333	0	0.05
可視	0.86	0.9976	3.6	0.818	0.1635	0.92	0.08

ているだけであり, 紫外部の屈折率についてのデータは少ない。石英ガラスについての n の波長依存性は早坂⁽⁹⁾に与えられている。石英ガラスでも, けい光ランプに使われているソーダガラスでも, またハロリン酸カルシウムでも, 屈折率に最も大きな影響を与えるのはイオン分極率の最も大きい酸素である。そこでソーダガラス, ハロリン酸カルシウムとも屈折率の波長依存性は石英ガラスのそれと同様であるとした。ナトリウム D 線に対する屈折率は, ハロリン酸カルシウムについては A. S. T. M. から, ソーダガラスについては化学便覧⁽¹⁰⁾から求めた。結果を表 7.1 に示す。

可視, 紫外での屈折率は上の値を用いる。けい光体には式 (7.1) を用い, ガラスには式 (7.1) の係数を 1 にした式 (ガラスでは散乱はないものとして) を用いて各 m の値を求めた。結果を次に示す。

$$m^v=0.090, m^{uv}=0.103, m_g^v=0.04, m_g^{uv}=0.05$$

これをみてわかるように各 m は 1 に比べて小さいので m^2 を無視すると式 (2.3) は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} s &\approx (1-m)^2 x \approx (1-2m)x \\ t &\approx m \cdot [1+(1-2m)x^2] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.2)$$

ガラスについては実測値 $s_g^v=0.92 \sim 0.94$, $s_g^{uv}=0$ であり $0 \leq x \leq 1$ なので $x_g^v=1$, $x_g^{uv}=0$ となり

$$s_g^v=0.92, t_g^v=0.08, s_g^{uv}=0, t_g^{uv}=0.05$$

となる。

けい光体については, 式 (6.2) で $t^2 \ll 1$ なのでこれを省略して, それに式 (7.2) を代入すると

$$x^2 = \frac{1-m\left(R+\frac{1}{R}\right)}{(1-2m)\left\{(1-2m)+m\left(R+\frac{1}{R}\right)\right\}} \dots\dots\dots (7.3)$$

この式に $m^v=0.090$, $m^{uv}=0.103$, それに実測値 $R^{uv}=0.18$ (254 nm), $R^v=0.86$ (525nm) を入れると $x^{uv}=0.608$, $x^v=0.9976$ となる。 $x=e^{-\gamma d}$ であり, このけい光体は $d=6.7 \times 10^{-4}$ cm なので, 吸収係数は $\gamma^{uv}=750 \text{ cm}^{-1}$, $\gamma^v=3.6 \text{ cm}^{-1}$ となる。このようにしてガラス, けい光体の紫外部, 可視部の m , x , γ , s , t の値が得られた。結果をまとめて表 7.2 に示す。

7.2 層数と初光束との関係

表 7.2 の各値から α , β , η , δ が得られ, これから θ , ξ が得られ式 (3.8) により A_i , B_i が得られる。途中の計算は省略して結果を表 7.3 にまとめておく。

表 7.3 で A_i , B_i は一般に

$$y_1 = (h+1)q^i - hq^{-i} \quad (h>0, q>1) \dots\dots\dots (7.4)$$

となるが $h \ll 1$, または $q \approx 1$ では, i がそれほど大きくない範囲で

$$y_2 = q^i \dots\dots\dots (7.5)$$

で近似できる。なぜなら

表 7.3 試料の各パラメータ
Value of each parameter of sample.

	α	$-\beta$	η	δ	θ	ξ	A_i	B_i	$A_{f,i}$
紫外	2.070	0.0138	5.50	0.446	1.258	0.812	$1.0245 \cdot 2.019^i - 0.0245 \cdot 0.497^i$	$3.58 \cdot 2.019^i - 2.58 \cdot 0.497^i$	
可視	1.233	0.0160	2.50	0.785	1.004	0.219	$1.635 \cdot 1.0935^i - 0.635 \cdot 0.9145^i$	$13.25 \cdot 1.0935^i - 12.25 \cdot 0.9145^i$	$1.539 \cdot 1.0935^i - 0.539 \cdot 0.9145^i$

$$\frac{y_1 - y_2}{y_2} = h(1 - q^{-2i}) \approx 0$$

となるからである。そこで

$$A_i^{uv} \approx 2.019^i$$

$$A_i^v = A_{f,i}^v \approx 1.0935^i$$

となる。このような近似を用いないと, この後の計算が手計算では非常に困難になる。この時式 (3.9) および表 7.2 から

$$\begin{aligned} Ab_i^{uv} &= \left(0.847 \cdot 0.495^i - 0.0385 \cdot \frac{0.495^i}{2.019^{n-i}}\right) \cdot I_0 \\ &\approx 0.847 \cdot 0.495^i \cdot I_0 \quad (1 \leq i \leq n) \dots\dots\dots (7.6) \end{aligned}$$

また式 (3.12), (3.13) で可視光の層内重反射は, 可視部の吸収係数が小さく全体への影響も小さいと考え省略する。手計算が困難なことも一つの理由である。そのとき式 (3.12), (3.13), (3.14), (3.15) は,

$$\begin{aligned} E_i &= \frac{s_g^v}{A_{n-i}^v} \cdot L_0 = s_g^v \cdot p \cdot 1.0935^i \cdot 0.9145^n \\ &= 0.390 \cdot 0.9145^n \cdot 0.543^i \cdot \mu I_0(n, i \geq 1) \dots\dots\dots (7.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_i &= \frac{s^v}{A_{f,i-2}^v} \cdot M_0 = s^v \cdot p \cdot 1.196 \cdot 0.9145^i \\ &= 0.414 \cdot 0.454^i \cdot \mu I_0(n, i \geq 2) \dots\dots\dots (7.8) \end{aligned}$$

$$F_1 = p = 0.210 \mu I_0(n \geq 1) \dots\dots\dots (7.9)$$

次に式 (4.1) の ρ^v であるが, 坊, 竹山⁽¹¹⁾によれば可視光が陽光柱に吸収されることはほとんどない。そこで $\rho^v=1$ とする。その時式 (4.1) は, 表 7.3 の A_n^v , B_n^v を用いて

$$G_i = \frac{0.92 F_i}{0.575 \cdot 1.0935^n + 0.345 \cdot 0.9145^n} \dots\dots\dots (7.10)$$

また式 (4.2) の ρ^{uv} については J. L. Ouweltjes⁽¹¹⁾ によれば 0.65 なのでこれを用いると

$$\begin{aligned} \frac{I_0}{1 - \frac{B_n^{uv}}{A_n^{uv}} \cdot t_g^{uv} \cdot \rho^{uv}} &= \frac{I_0}{0.884 + 0.084 \cdot 0.246^n} \\ &\approx 1.132 I_0 \text{ (一定)} \dots\dots\dots (7.11) \end{aligned}$$

そこで式 (4.3) は

$$S_i = 1.132 (E_i + G_i) \dots\dots\dots (7.12)$$

となりランプ初光束 L_n は

$$\begin{aligned} L_n &= \sum_{i=1}^n S_i + L_{Hn} \\ &= 1.132 \left(\sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=1}^n G_i \right) + L_{Hn} \dots\dots\dots (7.13) \end{aligned}$$

となる。ここで式 (7.7), (7.8), (7.9), (7.10) から

$$\sum_{i=1}^n E_i = 0.463 (0.9145^n - 0.497^n) \cdot \mu I_0 \dots\dots\dots (7.14)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n G_i &= \frac{0.92 \left(F_1 + \sum_{i=2}^n F_i \right)}{0.575 \cdot 1.0935^n + 0.345 \cdot 0.9145^n} \\ &= \frac{0.337 - 0.317 \cdot 0.454^n}{0.575 \cdot 1.0935^n + 0.345 \cdot 0.9145^n} \cdot \mu I_0 \dots\dots\dots (7.15) \end{aligned}$$

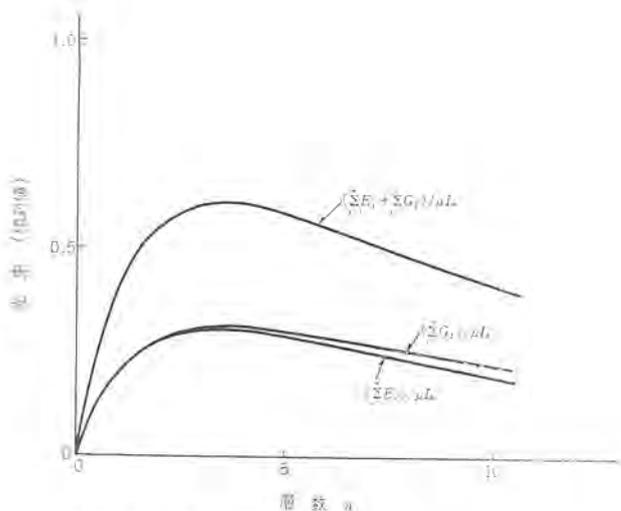


図 7.1 $\sum E_i$, $\sum G_i$, $(\sum E_i + \sum G_i)$ と n の関係
Relation between n and $\sum E_i$, $\sum G_i$, $(\sum E_i + \sum G_i)$.

表 7.4 塗布重量と光束
Relation between light output and coating weight.

実 測 値		層 数 n	
塗布重量 W (mg/cm ²)	初光束 (相対値)	$\epsilon=0$	$\epsilon=0.28$
0	0.091	0	0
0.66	0.305	0.25	0.43
1.32	0.495	0.61	0.86
1.98	0.817	0.93	1.29
3.43	0.958	1.60	2.23
5.85	0.998	2.77	3.80
10.3	0.916	4.88	6.70
16.7	0.776	7.90	10.90

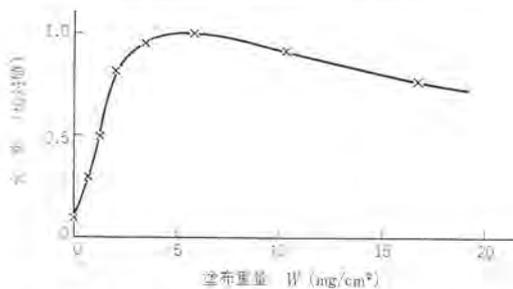


図 7.2 塗布重量と光束との関係
Dependence of light output on coating weight.

である。 $\sum_{i=1}^n E_i$, $\sum_{i=1}^n G_i$, $(\sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=1}^n G_i)$ の n に対する変化を図 7.1 に示す。

次に実測した塗布重量と初光束 (相対値) との関係を表 7.4, 図 7.2 に示す。図 7.2 の $n=0$ の光束は水銀によるもので全体への寄与は少ない。

塗布重量 W (mg/cm²) と平均粒径 $d(\mu)$ と層数 n の間には次式が成り立つと考えられる。(けい光体の密度は 3.2 gr/cm³)。

$$n = \frac{10W}{3.2d(1-\epsilon)} \quad \dots\dots\dots (7.16)$$

ただし、 ϵ は層の空孔度である。

すなわち ϵ の取り方で n は変わるわけである。これまでの式の導入では ϵ を考えていないので $\epsilon=0$ とすると、 L_n を最大にする n の値は約 2.5 となり、計算による $n \approx 3.5$ (図 7.1) とは一致しない。また $\epsilon \approx 0.28$ とすると、実測と計算は L_n を最大にする層数では一致するが、 n が大きいところで一致なくなる。この不一致は A_i^v , A_{i+1}^v に対し、式 (7.4), (7.5) で近似式を導入したこと、および可視の層内重反射を無視したためだろう。図 7.3 にこれらのことを

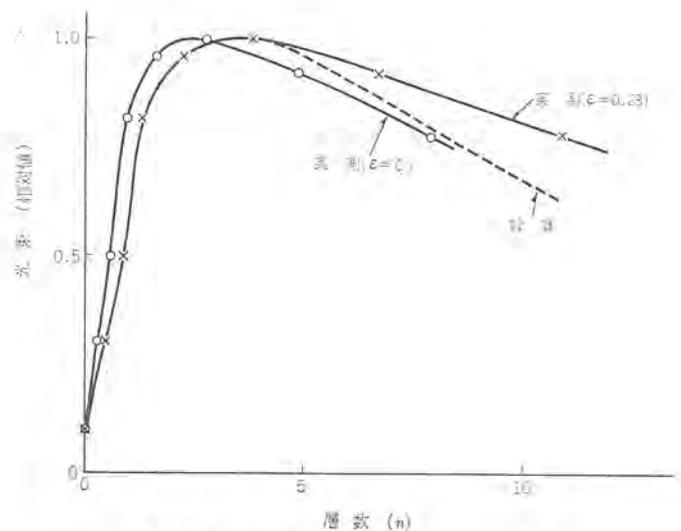


図 7.3 計算と実測との比較
Comparison of result of calculation with measurement.

示す。計算による曲線については、 $kI_0=0.091$, $\mu I_0=1.34$ として実測値と対応させた。

7.3 輝度について

式 (5.1), (7.15) から、このけい光体の輝度 B は

$$B = \lim_{n \rightarrow \infty} (F_1 + \sum_{i=2}^n F_i) \\ = 0.366 \mu I_0'$$

ここで I_0' は励起光源の強さである。このけい光体の輝度を 1 とすると $\mu I_0' = 2.73$ となり、 $I_0/I_0' = 0.491$ となる。

このとき $\mu I_0 = 0.491 \mu I_0' = 1.34 B$

すなわち $\sum_{i=1}^n E_i$, $\sum_{i=1}^n G_i$ は B に比例する。

7.4 考察

7.2 節で述べたように、適当な近似計算を行なって実際とかなりよく一致する結果を得た。この計算過程を吸収係数 (紫外, 可視), 平均粒径, 輝度の異なるけい光体についても導入すれば、それぞれの光束に対する効果がわかる。細かい計算は別にして、一般に次のようなことがいえる。

光束を大きくするには x^{uv} が小さく x^0 が大きいものが良く、また μ すなわち B が大きいものほど良い。 x^{uv} が小さいということは、平均粒径が大きいか、または紫外線吸収係数が高いか、またはともに大きいかである。ラップの塗布重量、塗膜の肌を考えれば平均粒径は小さいほうが良いので、紫外線吸収係数を大きくしたほうがよい。 x^0 が大きいということは、平均粒径が小さいか、可視吸収係数が小さいか、またはともに小さいかということである。この場合はともに小さくすべきである。可視変換効率は当然大きいほうがよい。このことは輝度についてもいえることである。

けい光体以外のことについては、図 3.1 でガラスに達する紫外線 I_n^{uv} は式 (3.2) で $i=n$ として $I_n^{uv} = I_0/A_n^{uv}$ であり、 L_n が最大になる $n=3.5$ では $I_{3.5}^{uv} = 0.085 I_0$ で入射紫外線が 8.5% ガラスにはいり、そのうち 5% がけい光体層にもどり ($t_0^{uv}=0.05$)、残りはガラスに吸収されてしまう。この損失は t_0^{uv} を大きくすることにより減少できる。TiO₂ 膜の内面コーティングも、この意味で効果がある。

8. む す び

けい光ラップの初光束について、主にけい光体塗布面について考

察した。この場合、今までは主に P. Kubelka の式が用いられていたが、ここでは P. D. Johnson の式を導入した。途中の計算においては手計算が困難な部分でかなりの近似をしたが、実験結果とかなりよく一致した。

その結果 ランプ 光束を上げるために必要なけい光体としては、粒径は塗布膜肌が悪くならない程度に大きく、紫外吸収係数は大きく、可視吸収係数は小さく、また可視変換効率は大きいものが望ましい。紫外吸収係数が十分大きければ、粒径を小さくして塗布重量を減少させても十分大きな光束が期待できる。またガラスの紫外線反射率を大きくするのも一法であろう。以上の結論のうちの一部は今までもいわれてきたし、また実験的にも確かめられているが、この報告によりその機構がより明確になった。

参 考 文 献

- (1) K. H. Butler, H. H. Homer : Ill. Eng., 55, 396 (1960)
- (2) 坊, 竹山 : 照明学会誌, 44, 227 (昭35)
- (3) M. A. Weinstein : J. O. S. A., 51, 723 (1961)
- (4) P. Kubelka : J. O. S. A., 38, 448 (1948)
- (5) P. D. Johnson : J. O. S. A., 42, 978 (1952)
- (6) N. T. Melamed : J. of Appl. Phys., 34, 560 (1963)
- (7) 久保ほか : 粉体 (昭39) P. 251, 丸善
- (8) 川上ほか : 基礎電気回路 (昭35), コロナ社
- (9) 早坂 : 分析化学, 16, (昭42)
- (10) 化学便覧, 基礎編II (昭41), P. 1,112, 丸善
- (11) J. L. Ouweltjes : Elektrizitas Verwertung, 11, 12, (1958)

紫外線反射膜によるけい光ランプの特性向上

竹田 俊幸*・安西 良矩**・野田 昭吉**

Improvement of Characteristics of Fluorescent Lamps Utilizing Reflective Film of Ultraviolet Radiation

Ofuna Works Toshiyuki TAKEDA・Yoshinori ANZAI・Teruyoshi NODA

Fluorescent lamps are recently on the road to higher output and higher tube wall load. This trend, however, works on the lowering of efficiency and the quickening of the deterioration as a matter of consequence. This must be prevented by all possible means. This article describes a study made on the glass bulb of high output lamps from the viewpoint of measures taken to prevent the above drawback. First examination is made on a function of preventing the deterioration of a protective film adhered on the inner surface of the glass tube in reference to the deteriorating mechanism during the light is on. Next, the efficiency of the protective film is taken into account and comparative studies are made with calculation and measurement on a method to improve the efficiency of ultraviolet ray utilization with phosphor by using UV reflective substance for the film. This shows a mean to prevent the deterioration and to improve the efficiency of future high output lamps.

1. ま え が き

けい光ランプは、近年一般照明用として高照度化が進んでいるが、そのほかに光化学反应用光源として産業面への応用にも広く用いられるようになり、ますます高出力、高管壁負荷の要求が高まってきた。しかし、高管壁負荷の方向は効率を低下させるうえに劣化率を増大させるので、管壁負荷を増大させ高出力形ランプへ向かわせるためには、効率向上と劣化と防止の何らかの手段を施さなくてはならない。著者らは、この劣化効率に着目し、まず高出力形ランプにおいて、問題となるガラスに起因した劣化機構について究明した結果、ガラスに起因する劣化を防止させるためには、

(1) アルカリ金属に富むガラス表面と放電面あるいはけい光膜との接触を防止すること

(2) 紫外線のガラス面への到達率を低下させること
の二面の作用を有する保護膜を設けることが必要であること、さらに、この保護膜を効率の面から考えた場合、(2)のガラス面へ到達する紫外線を吸収物質で低下させるのではなく、反射物質とすることによりけい光体の紫外線利用効率を向上させ、同時に利用波長域での透過率の低下を起こさない紫外線反射膜の選択反射特性を利用する方法を見いだした。この方法は、ガラスに起因する劣化を大幅に防止するとともに、効率向上もあわせ達成できるので、超高出力形ランプセパレータ形けい光ランプに対して特に有効である。以下、劣化機構と効率向上の考え方をまとめ、紫外線反射膜の効果として報告する。

2. 劣化機構とその防止法

2.1 ガラスに起因する劣化要因

けい光ランプの劣化因子はけい光体・電極・ガラスなど数多くあげることができる。この中で、けい光体と電極に関連した検討は過去に数多く行なわれているが、ガラスに関連した研究は少ない⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。このガラスに起因して起こる劣化要因を大別すると、表2.1⁽⁴⁾のようになる。ただし、表2.1のCはガラスが直接起因するものではないが、ガラスが透過度を落とすのでここにあげた。

表2.1 ガラスに起因する劣化要因
Main factors of poor maintenance characteristics of fluorescent lamp owing to glass.

a. 紫外線照射による着色 (Solarization)	(1) 有色イオンによるもの 例： $Fe^{3+} + Mn^{2+} \xrightarrow{h\nu} Fe^{2+} + Mn^{3+}$ 有色イオン生成 (2) 構造欠陥によるもの 電子や正孔がイオン空孔に捕獲されカラーセンター生成
b. ガラスからの溶出アルカリ金属の作用	(1) ガラス表面上でのアルカリ・アマルガム吸収被膜生成 (2) けい光体発光効率低下 けい光膜中へ入り発光効率低下 (3) ガラス表面層での着色層生成 $Na^+ \rightleftharpoons Hg^+$ の置換
c. 外部付着物質の吸収	(1) ガラス表面への飛散物質の吸収 電極物質, Hg, HgO 等の付着

2.2 実験ランプと劣化比率

表2.1の各要因は、ランプ動作時間とともにそれぞれ劣化に占める比率が異なっていると考えられる。この劣化占有率を明らかにするため、管径38mm、管長660mm、管電流1.5A、管電力60W、封入ガスNe 80・A 20からなるけい光体を塗布しない素通し形の超高出力形ランプを実験ランプとし、動作時間とそのガラスの透過度の変化より劣化を測定した(図2.1~2.4)。測定試料はランプ中央部の最も黒化した部分を使用し、開封後すみやかに測定した。図2.1は、点灯劣化後のガラスの透過率を示し、基体ガラスの固有吸収(含反射)と劣化諸因子による全吸収量の影響を受けている。

図2.2は図2.1の各吸収曲線よりガラスの固有吸収を差し引いた全吸収量を示し、劣化は点灯時間に比例し、吸収は短波長側に大きい。この全吸収量の劣化内訳は、全劣化測定後に表面吸収層を化学的に除去(混酸(HCl:HNO₃:H₂O=1:1:2 Vol. ratio)洗浄)した後、同様な測定を行ない得た。図2.3はガラス表面上の吸収層に基づく吸収量を示すもので、表2.1のb-(1)に示したアルカリ、アマルガム吸収物とc-(1)の飛散吸収物質に起因するもので、波長依存性の少ない吸収を示す。また、図2.4の吸収は、表2.1のa-(1),(2)に示したガラスのソーラライゼーションと、b-(3)のガラス表面層でのイオン半径の類似性より起こるイオン交換反応($Na^+ \rightleftharpoons Hg^+$)

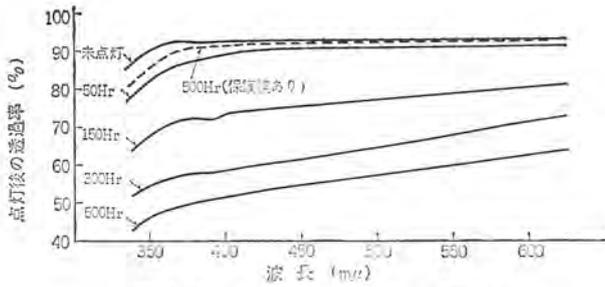


図 2.1 点灯時間の透過率への影響
Effect of lamp burning hours on transmission.

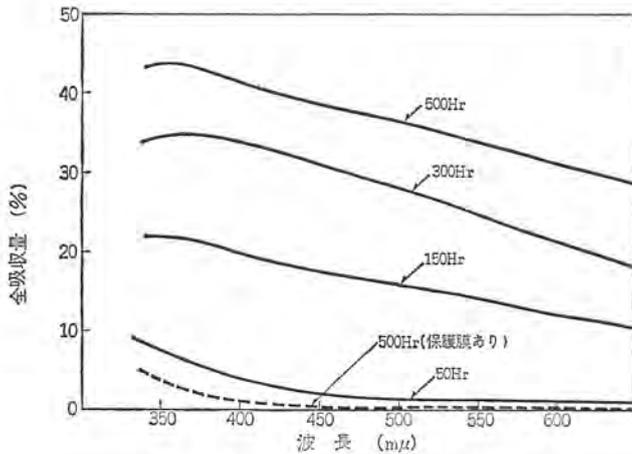


図 2.2 点灯時間の全吸収量への影響
Effect of lamp burning hours on total absorption.

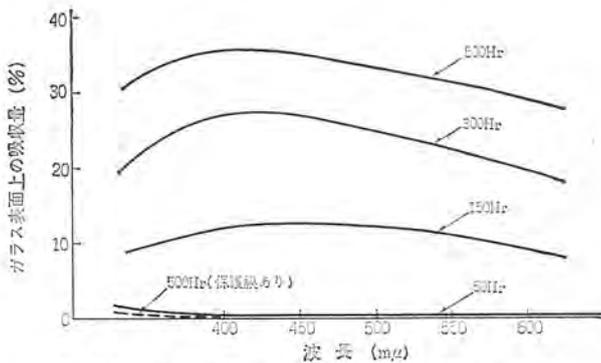


図 2.3 点灯時間のガラス表面上の吸収量への影響
Effect of lamp burning hours on absorption on glass surface.

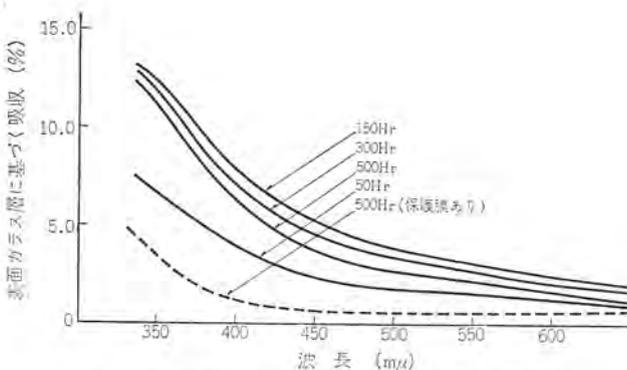


図 2.4 点灯時間のガラス表面層の吸収への影響
Effect of lamp burning hours on absorption of outward layer of glass.

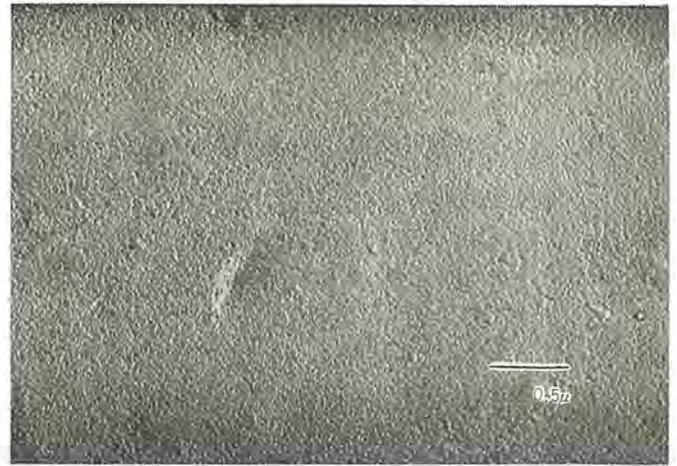


図 2.5 保護膜の電子顕微鏡写真
An electron micrograph of the protective film.

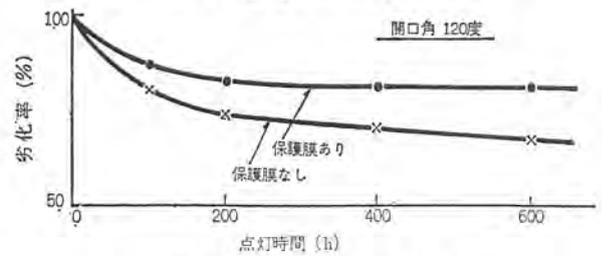


図 2.6 保護膜と光束維持率
Effect of protective film on lumen maintenance characteristics.

に基づく吸収⁽³⁾を含んだものと考えられ、ソーラレクション特有の短波長側に大きな吸収を示す。この吸収は他の要因と異なり点灯時間に比例せず、ある時間で最大値を示す傾向がある。また、高温加熱処理でほぼ吸収は消失する。むしろ、管壁負荷、ガラス材質、ランプ製作条件などにより吸収率は若干異なるが、傾向として点灯が短時間の間は、吸収はソーラレクションなどガラス基体に起因するものが主要因であり、点灯が長時間になるとアルカリ・アマルガムなどのガラス表面上の吸収層に基づくものが主要因となり、ソーラレクションはむしろ熱分解 (Thermal Bleaching) 作用により、ある時間より低下方向へ徐々に向かい、平衡に達するものと考察される。けい光膜がある場合には、透過紫外線量は数分の一になるから、上記の条件は加速試験に相当する。

2.3 劣化防止法

2.2 節より、ガラスに起因する劣化の防止方法は、第一にアルカリ金属に富むガラス表面と放電面あるいはけい光膜との接触を防止すること、第二に、紫外線のガラス面への到達率を低下させソーラレクションを防止させることの二作用を持つことが必要である。著者らは、この要求を満足するものをいろいろ検討した結果、酸化チタンを主体とする透明な複合金属酸化物の連続被膜を、ガラス管内面に薄く被着させる方法により劣化を防止することができた。図 2.1 から図 2.4 の点線に、この劣化防止用の保護膜を管球内面に被着したランプの劣化特性を示す。

また、図 2.5 に保護膜の被着状態を表わす電子顕微鏡写真を示す。ガラスに密着した連続被膜であるためガラス表面を完全に被覆し、しかも、透過率は可視域に高く紫外域に低い特性をもっている (図 3.5) ので、ガラス表面を放電面から保護するばかりでなく、ソーラレクションの防止にも効果を示す。特に、管壁負荷の高いランプやパーチャ形ランプのように、ガラス管壁の一部が放電面に直接触れるラン

づには有効であり、劣化率を500時間点灯で約10%（前出の実験ランプと同一な寸法、入力の開口角120度のアパーチャ形ランプ）向上させることができた（図2.6）。

3. 紫外線反射膜による効率向上効果

3.1 効率向上に対する考え方

ガラスの劣化を保護膜で防止する方法を効率の面から考えて、ガラス面へ到達する紫外線を吸収させるのではなく、反射させることによってガラス面に到達する紫外線を可能なかぎり有効利用することを検討した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。方法として保護膜を、ガラスより屈折率の大きい物質からなる紫外線反射膜とし、けい光体の紫外線利用効率を向上させ、同時に利用波長域での透過率低下を起こさない被膜の選択反射特性を利用するものである。

3.2 紫外線反射膜の特性

屈折率 n_2 のガラス管の内面に、屈折率 n_1 、厚さ d の被膜を被着した場合を考える。管内部の屈折率 n_0 から入射角 φ_0 で紫外線 I_0 ($I_0=1$) が入射したとき、光学系を透明と考え、分散はないものとすれば、紫外線の被着ガラス内での反射・透過の状態は、図3.1のように表わされる。この被膜内を多重反射した紫外線の反射合成振幅 r 、透過合成振幅 t は、

$$\begin{aligned} \text{ここに } r_{01} + t_{01} &= 1 \\ r_{01} + t_{01}' &= 1 \end{aligned} \quad \therefore 1 - r_{01}^2 = t_{01} \cdot t_{01}' \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\begin{aligned} r &= r_{01} + t_{01} t_{01}' r_{12} e^{-2i\delta} + t_{01} t_{01}' r_{01}' r_{12}^2 e^{-4i\delta} + \dots \dots \dots \\ &= r_{01} + \frac{t_{01} t_{01}' r_{12} e^{-2i\delta} (1 - r_{01}' r_{12} e^{-2i\delta})}{1 - r_{01}' r_{12} e^{-2i\delta}} \\ &\approx r_{01} + \frac{t_{01} t_{01}' r_{12} e^{-2i\delta}}{1 - r_{01}' r_{12} e^{-2i\delta}} \dots \dots \dots (3.2) \end{aligned}$$

同様に

$$\begin{aligned} t &= t_{01} t_{12} e^{-i\delta} + t_{01} t_{12} r_{01}' r_{12} e^{-3i\delta} + t_{01} t_{12} r_{01}'^2 r_{12}^2 e^{-5i\delta} + \dots \dots \dots \\ &\approx \frac{t_{01} t_{12} e^{-i\delta}}{1 - r_{01}' r_{12} e^{-2i\delta}} \dots \dots \dots (3.3) \end{aligned}$$

したがって、式(3.1)、(3.2)、(3.3)と位相差 $\delta = (2\pi/\lambda) n_1 d \cos \varphi_1$ (λ : 波長), および $n_0 \sin \varphi_0 = n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$ より、エネルギー反射率 R 、透過率 T は

$$R = |r|^2 = \frac{r_{01}^2 + 2r_{01}r_{12} \cos 2\delta + r_{12}^2}{1 + 2r_{01}r_{12} \cos 2\delta + r_{01}^2 r_{12}^2} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$T = |t|^2 = \frac{n_2^2 t_{01}^2 t_{12}^2}{n_0^2 (1 + 2r_{01}r_{12} \cos 2\delta + r_{01}^2 r_{12}^2)} \dots \dots \dots (3.5)$$

ここで、単純化して垂直入射の場合だけを考えて、 $\varphi_0=0$ 、 $\delta = 2\pi/\lambda n_1 d$ と式(3.4)、(3.5)より次のように表わされる。

$$R = \frac{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) - 4n_0 n_1 n_2 + (n_1^2 - n_2^2) \cos 2\delta}{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) + 4n_0 n_1 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)(n_1^2 - n_2^2) \cos 2\delta} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$T = \frac{8n_0 n_1 n_2}{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) + 4n_0 n_1 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)(n_1^2 - n_2^2) \cos 2\delta} \dots \dots \dots (3.7)$$

ここで、ガラス基体（ソーダ石灰ガラス $n=1.52$ ）⁽⁷⁾上に酸化被膜を被着した条件を考えると、反射率 R との関係は $n_0=1$ より、図3.2のようになる。 $n_1=1.52$ のとき、基体ガラスと同一の反射率となり、 $n_1 > 1.52$ の条件で被着ガラスは非常に大きな能率をもつ選択反射特性を示すようになる。この反射率 R と光学的厚さ $n_1 d$ のあいだには、

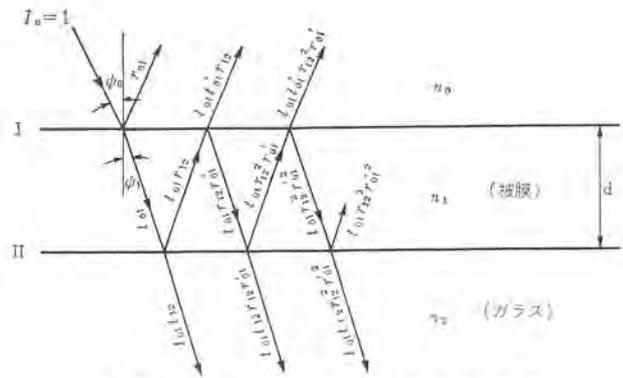


図3.1 ガラス上の薄膜での反射透過 Reflection and transmission scheme for a thin film deposited on a glass substrate.

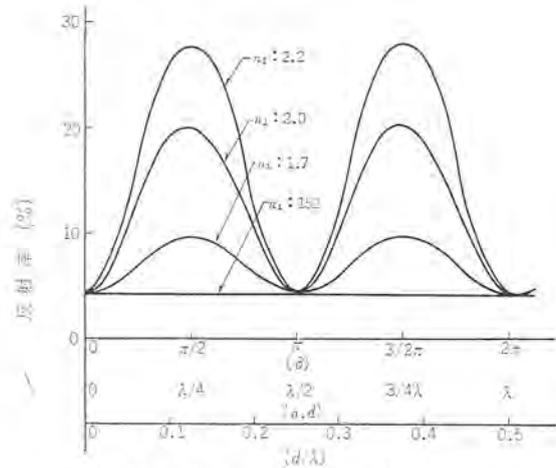


図3.2 反射率と δ , $n_1 d$, λ の関係 Relations between reflectance and δ , $n_1 d$, λ .

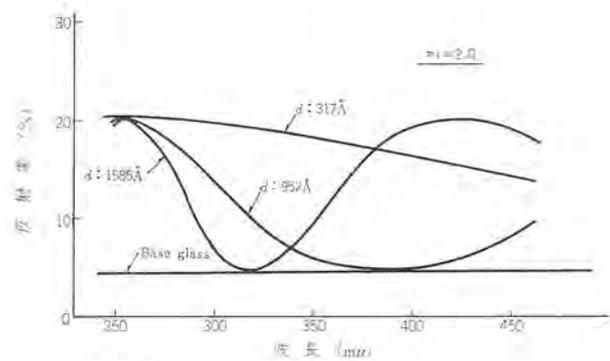


図3.3 反射率と波長の関係（膜厚： λ ラメータ） Relations between reflectance and wavelength with film thickness as a parameter.

$$\left. \begin{aligned} R_{\max} &\text{は } n_1 d = \frac{2m+1}{4} \lambda \\ R_{\min} &\text{は } n_1 d = \frac{2m}{4} \lambda \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.8)$$

ここに、 $m=0, 1, 2, \dots$

で起こるという関係があり、これは光学的厚さが $\lambda/4$ の整数倍か奇数倍かにより、反射率 R は最大か最小を示すと言う、よく知られた関係である。

そこで、ガラス基体上に屈折率 n_1 の被膜を被着し、けい光体の励起に必要な $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ の入射光を最大に反射させるに必要な被膜

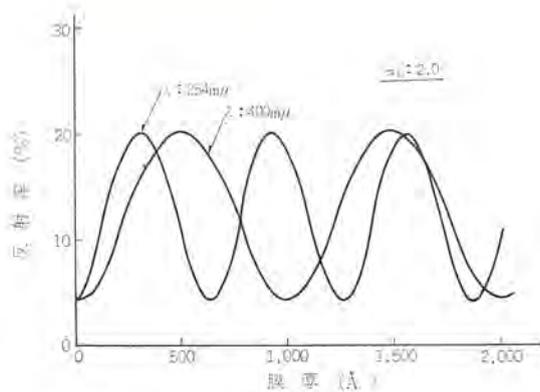


図 3.4 反射率と膜厚の関係(波長:パラメータ)
Relations between reflectance and film thickness
with wavelength as a parameter.

を求める。膜厚をパラメータとして、反射率 R と波長 λ の関係 (図 3.3), および波長をパラメータとした反射率 R と膜厚 d の関係 (図 3.4) からけい光体の励起紫外光をよく反射し、しかもけい光体の発光スペクトルに対して高透過性を示す紫外線反射膜の設計膜厚が決定できる。たとえば、 $\lambda = 2,537 \text{ \AA}$ の紫外線により励起され、 $380 \sim 440 \text{ m}\mu$ に発光スペクトルをもつけい光体 (例: オルソリン酸ストロンチウム) に対しては、被膜の膜厚を 950 \AA 付近に選べば大幅な向上が見込まれる。他のけい光体に対しても同様に膜厚を選ぶことができる。

3.3 紫外線反射膜の実測値

これまでに述べた被膜特性は、理論式より算出したものをもとにしてきたので幾つかの仮定があり、また無視した要因もある。そこで実際に被着したガラスについて測定を行ない、理論式との比較を行なった。測定試料は、基体ガラスは光学的特性を測定するため石英研磨ガラスを用い、紫外線反射膜としては屈折率の大きい酸化チタン⁽⁸⁾を主体とした複合金属酸化物を用いた。反射率と透過率の測定は、日立製分光光度計 (EPS-032 形の改良形) を使用した。測定結果を図 3.5 に示す。基体ガラスは、反射率・透過率とも平たんな特性を示している。

これに対して、被着ガラスは、反射率は紫外域に高く近紫外域で低い選択反射特性を示し、透過率は反射特性に対応して近紫外域では高くなる選択透過特性となるが、紫外域では反射膜の吸収が作用して大幅に低下する。これらは理論式より導いた特性と同じ傾向を示す。したがって、この被膜を利用し、けい光体として $405 \text{ m}\mu$ 付

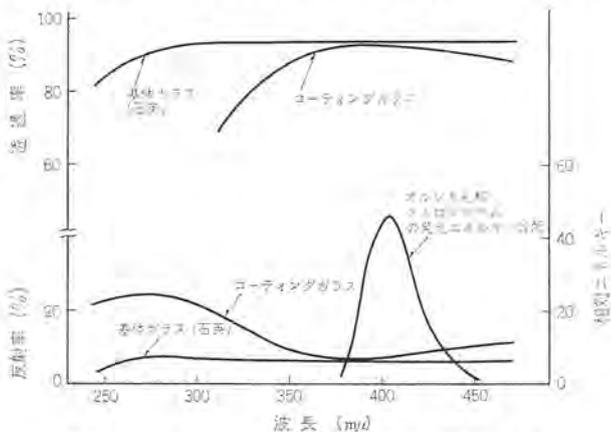


図 3.5 基体ガラスと被着ガラスの光学的特性、およびけい光体の発光エネルギー分布
Optical properties of base glass and coated glass,
and radiant energy distribution of phosphor.

近に最大発光エネルギーをもつ、ユロビウム付加オルソリン酸ストロンチウム (発光エネルギー分布は図 3.5) を使用した例を考える。けい光膜を透過した紫外線は、基体ガラスの約 3.7 倍反射率が增大し、励起放射光束は増大する。この励起放射光束の発光波長域 ($380 \sim 440 \text{ m}\mu$) における透過度の低下は小さいので、放射光束の増大分が透過度の低下分より大きくなり、ランプ光出力は増大可能となる。さらに、この酸化物を主体とした被膜は、紫外線を反射するとともに十分吸収する作用も示すため、ソーラレシジョン防止にも大きな効果を示す。

3.4 紫外線のけい光膜透過量

前記 3.3 節までは、紫外線反射膜に直接紫外線が入射したときの光学的特性についてだけ述べてきたが、実際のランプでは紫外線反射膜上にけい光膜が塗着されているので、反射膜への入射紫外線はかなり影響される。そこで本節では、けい光膜を透過しガラス面に到達する紫外線量とけい光膜の関係について考える。

粉体系では多重散乱が起るので充てん(填)状態が大きな問題となる。そこで粉体系の透過率、反射率を粉体自体の光学的特性から求めるには、普通は微分層別法と不連続層別法の 2 方法が用いられる。前者の方法は、微小厚さの粉体層を考え反射および吸収が、その厚さに比例するとして微分方程式を立てる方法で、Kubelka⁽⁹⁾ の方法がこれにあたり、坊⁽¹⁰⁾ はこの式を利用しけい光ランプの光束の理論式を導いている。

ここでは、粉体の物理的特性と関連づけやすい後者の不連続層別法の Johnson の式⁽¹¹⁾を用いる。この方法は、粉体系を単一粒子の層に分けて、各層について反射と吸収を考え、その積み重ねとして全体の反射率と透過率を求める方法である。けい光体単粒子層の厚さは粒径 d に等しいと考え、入射紫外線 I_0 が各粒子表面で反射する割合を m 、いっそう透過した後の吸収による減衰を $e^{-\gamma d}$ (γ : 吸収係数) で表わすと、各層を反射、透過していく紫外線の強さは、図 3.6 のようになる。ただし、図 3.6 は二度以上透過、反射するものを無視するとし、そのかわり補正項を加えて使用する。Johnson によれば⁽¹¹⁾、けい光膜層数 P を無限大としたときの紫外線反射強度は、

$$R_{P \rightarrow \infty} = m \left[\frac{(1-m)^2 e^{-2\gamma d}}{\gamma d - \ln(1-m)} + 1 \right] \dots \dots \dots (3.9)$$

と表わされるから、 R と γd の関係を求めることにより、 γ あるいは d どちらか未知数の場合、その値を求めることが可能となる。

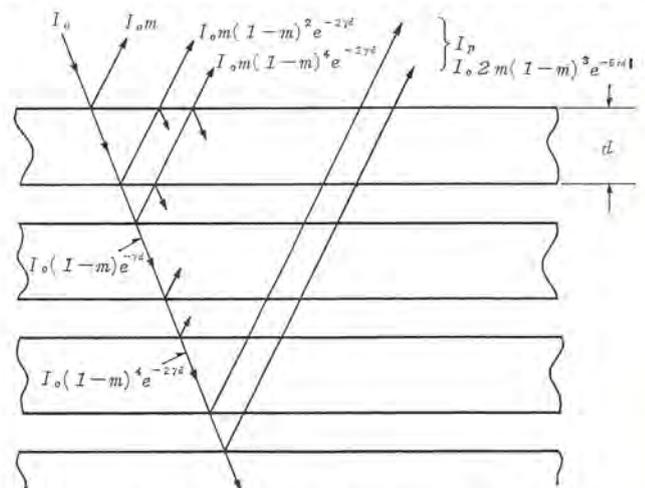


図 3.6 けい光膜中での紫外線の反射・透過
Schematic diagram showing reflection and transmission
of ultraviolet radiation in phosphor layers.

表 3.1 けい光膜の紫外線反射率, 透過率, 吸収率
Reflectance, transmittance and absorption of phosphor coating layers in ultraviolet region.

ハロリン酸カルシウム ($m_{uv}=0.103, d=1.00 \times 10^{-3} \text{cm}$ $\gamma_{uv}=690 \text{cm}^{-1}$)				オルソリン酸ストロンチウム ($m_{uv}=0.101, d=1.02 \times 10^{-3} \text{cm}$ $\gamma_{uv}=310 \text{cm}^{-1}$)			
層数	反射率 R_P	透過率 T_P	吸収率 A_P	層数	反射率 R_P	透過率 T_P	吸収率 A_P
P	%	%	%	P	%	%	%
1	12.4	40.1	47.5	1	14.5	59.2	26.3
2	14.9	16.1	68.5	2	20.8	35.2	44.0
3	15.4	6.7	77.9	3	23.6	20.8	55.6
4	15.5	2.7	81.8	4	24.8	12.3	62.9
5	—	—	—	5	25.0	7.3	67.7

また, P 層までの反射強度は $P+1$ 層の上面での反射強度を含まないとすれば, けい光膜の膜厚を変化させるときの紫外線反射率 R_P , 透過率 T_P は,

$$R_P = m + m \sum_{P=1}^P (1-m)^{2P} e^{-2P\gamma d} \dots\dots\dots (3.10)$$

$$T_P = (1-m)^{2P} e^{-P\gamma d} \dots\dots\dots (3.11)$$

となる。ここに, 表面反射率 m は, 粒子が比較的大きいときには Fresnel の式の 1.5 倍と考えることができるので,

$$m = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \times 1.5$$

と置くことができる。したがって, R_P, T_P および吸収率 (A_P) も求められる。

つぎに実際に使用するけい光体の中からハロリン酸カルシウムとオルソリン酸ストロンチウムを例にとり R_P, T_P, A_P を計算してみる。両けい光体の物理係数の中で紫外部の吸収係数 γ_{uv} は, ベックマン分光光度計によって紫外線 (2,537 Å) の反射率を実測し, Johnson の式(3.9)から求めた $R-\gamma d$ の関係曲線より γd を求め, したがって d を実測することにより求めた。紫外部における屈折率 n_{uv} は, ハロリン酸カルシウムを 1.71, オルソリン酸ストロンチウムを 1.70 とし, 紫外部の反射率 m_{uv} を求めた。これらの係数を式(3.10)と式(3.11)に代入し, $\lambda=2,537 \text{Å}$ における R_P, T_P, A_P を求め, 表 3.1 に示す。

けい光ランプが最大光束値を示すけい光膜の層数は, けい光体の輝度により左右されるが, 実用けい光ランプでは空孔度を零とすれば 2~3 層に相当する塗布膜が用いられる。いま, この最適層数を 2 層として紫外線透過量を考えると, 表 3.1 に見られるようにオルソリン酸ストロンチウムけい光体は, ハロリン酸カルシウムけい光体より紫外線透過量が多いので後者よりかなり高い効果が見込まれる。次に光束増大率に触れる。

3.5 紫外線反射膜による光出力増大率

紫外線反射膜を被着したときに得られる光出力増大率を, けい光膜膜厚と関連させて求めてみる。

一般に, けい光ランプの光出力は水銀可視線の出力を除外するとすれば, 近似的な明るさ L は, 次のように表わすことができる。

(a) 紫外線反射膜のない場合

$$L_{PG} = k\alpha I_0 (A_P + T_P R_G A_P) T(PH, G) \dots\dots\dots (3.12)$$

(b) 紫外線反射膜のある場合

$$L_{PG} = k\alpha I_0 (A_P + T_P R_G A_P) T(PH, C) \dots\dots\dots (3.13)$$

ここに, I_0 : けい光体層への紫外線入射量

R_P : けい光体 P 層までの紫外線反射率

ただし, ここでは $I_0 R_P$ は λ - λ 中で完全に吸収

されるものとする。

A_P : けい光体 P 層までの紫外線吸収率

T_P : けい光体 P 層までの紫外線透過率

R_G : ガラスの紫外線反射率

R_C : 紫外線反射膜被着ガラスの紫外線反射率

$T(PH, G)$: けい光体とガラスを含めた総合放射光束透過率

$T(PH, C)$: けい光体と紫外線反射被着ガラスを含めた総合放射光束透過率

また, $T(PH, G) = T_{PH} \times T_G$

$T(PH, C) = T_{PH} \times T_C$

T_{PH}, T_G, T_C は, それぞれけい光体, ガラス反射膜被着ガラスの発光域の透過率

α : けい光体の紫外から可視への変換効率

k : 定数

したがって, 光出力増大率 ΔL は, 式(3.12)と式(3.13)より

$$\Delta L_P = \frac{L_{PC} - L_{PG}}{L_{PG}} = \frac{(A_P + T_P R_C A_P) T(PH, C) - (A_P + T_P R_G A_P) T(PH, G)}{(A_P + T_P R_G A_P)} \dots\dots\dots (3.14)$$

として求めることができる。

ここで, 紫外線反射膜をガラス面に理想に近い状態で被着した場合, 換言すれば, けい光体の発光波長域における反射膜の透過率を基体ガラスの透過率と等しいとしたとき,

$$T_C \approx T_G \text{ ゆえに } T(PH, C) \approx T(PH, G)$$

となるので式(3.14)は

$$\Delta L_P = \frac{T_P (R_C - R_G)}{1 + T_P R_G} \times 100(\%) \dots\dots\dots (3.15)$$

と簡略化できる。

ここで, 基体ガラスおよび反射膜被着ガラスの紫外線反射率を, それぞれ $R_G=0.05, R_C=0.30$ とすれば, 表 3.1 よりハロリン酸カルシウムとオルソリン酸ストロンチウムけい光体の紫外線反射膜による光出力増大率を, けい光膜の膜厚ごとに求めて比較することができる。表 3.2 に結果を示す。

表 3.2 は, オルソリン酸ストロンチウムのほうがハロリン酸カルシウムより高い増分が見込まれること, およびけい光膜の膜厚が薄いほうが増分が大きいことを示している。しかし, この表では最大光出力がどの程度増大するかは示していない。次にそれに触れる。

一般にけい光体が同じ輝度を示すとき, 最適層数はけい光体の γd (吸収係数 \times 粒径) に依存し, γd が大きいほど最適層数は小さくなり, 光出力は高くなる。図 3.7 にそれを示す。したがって, 表面反射率 m がけい光体の種類によらず等しいならば, γd の大小関係から異種けい光体についても, 表 3.2 と図 3.7 を利用して光

表 3.2 紫外線反射膜による光出力増大率
Increasing rate of light output of lamp utilizing reflective film of ultraviolet radiation.

けい光膜層数 P	ハロリン酸カルシウム %	オルソリン酸ストロンチウム %
1	9.8	14.3
2	4.1	8.6
3	1.7	5.2
4	0.7	3.0
5	—	1.8

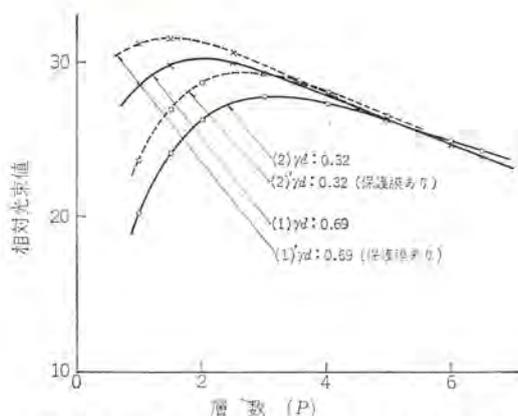


図 3.7 けい光膜層数と相対光束値
Relation between relative light output and phosphor coating layers.

出力増大率を論じることができる。その結果を図 3.7 の点線に示す。この図は、異なった γd をもつけい光体を使用したランプの光束特性(曲線 1 と 2)を、紫外線反射膜を用いることにより、光出力を増大させた曲線 1' と 2' へ光束特性を変化させ得ることを示している。

したがって、紫外線反射膜の効果は、けい光体の γd を増大させるのと同じ作用を持つので、最高光出力を上げ、しかも最適層数を 0.5~1.0 層程度薄くすることを可能とさせるので、これによるけい光膜塗布付着量の低減は約 20% に達する。さらに、同じ粒径で γ が小さいために暗いけい光体も、逆に使用条件のため粉砕して粒径を小さくしたけい光体を明るくすることが可能となり、粉体特性の補償に利用できる。

図 3.7 の曲線 1 と 1' は $\gamma d = 0.69$ 、曲線 2 と 2' は $\gamma d = 0.32$ であるから、それぞれハロリン酸カルシウムおよびオルソリン酸ストロンチウムに相当するが、これらの計算結果と実測値の一致性は、オルソリン酸ストロンチウムけい光体では、実測値が 6~7% の光出力増分となりほぼよい一致を示したが、ハロリン酸カルシウムけい光体では実測値の増分は約 1% とやや低くよい一致を示さなかった。この原因は、ハロリン酸カルシウムけい光体の場合には放射スペクトル幅が広いため、反射膜による透過率低下が紫外線の利用率向上を相殺してしまうためと考えられ、計算に使用した $T_a \approx T_c$ の仮定が成立しない結果と考えられる。この傾向は他のけい光体にも適用され、放射スペクトル幅の狭いけい光体に対しては、計算上の光束増大率とほぼ合致する。しかし、この問題は、反射膜を多層膜にすることによって放射スペクトル幅に関係なく、けい光体の適用範囲を拡大することが期待される。

4. む す び

超高出力形ランプの劣化を改良するために、ガラスに起因した劣化機構とその劣化防止法としての保護膜の検討を行なった。そして、この保護膜をさらに効率の面から考え、紫外線利用率の向上方法に利用することを、計算と実測の両面より検討した。これらの検討か

ら次の結果を得た。

(1) けい光灯の管壁ガラスの劣化吸収は、点灯が短時間の間はソーラレイションなどのガラス基体に起因するものが主要因であり、点灯が長時間になるとアルカリ・アマルガムなどのガラス表面上の吸収層に基づく吸収が主要因となり、ソーラレイションはむしろ熱解離作用により低い方向へ向かい、ある値で平衡に達する。

(2) したがって、ガラスに起因する劣化を防止するためには、第一にアルカリ金属に富むガラス表面と放電面あるいはけい光膜との接触を防止すること、第二に紫外線のガラス面への到達率を低下させることが必要である。

(3) ガラスの劣化防止法として、ガラス表面に酸化チタンを主体とした複合金属酸化物の被膜を被着させることで、ほぼ完全に劣化を防止することができた。特に、アパーチャ形ランプや管壁負荷の高いランプに適用すると有効である。

(4) ガラスの劣化防止に用いる保護膜を紫外線反射膜とし、けい光体の紫外線利用率を向上させ、同時に利用波長域での透過率低下を起こさない紫外線反射膜の選択反射特性を利用することにより、効率向上が達成できることを計算と実測の両面より示した。

(5) 計算と実測の結果は、けい光体の放射スペクトル幅の狭いものはよい一致を示したが、それが広いものは一致しなかった。この結果は、スペクトル幅が狭いものは $T_a \approx T_c$ の仮定がよく成立するためである。

(6) 紫外線反射膜の効率向上効果は、けい光体の γd (吸収係数 \times 粒径) を増大させる作用を示す。

(7) したがって、同じ粒径で吸収係数が小さいために暗いけい光体も明るくできるし、逆に粉砕などにより粒径を小さくしたのも明るくできるなど、けい光体の粉体特性の補償に利用できる。

(8) 紫外線反射膜の利用により、最高光出力を 6~7% 増分させ(ただし、スペクトル幅の狭いけい光体)、けい光膜の最適層数を 0.5~1.0 層薄くできる。これによってけい光体付着量を約 20% 低減できた。

参 考 文 献

- (1) 中川, 国友: 応物, 32, (1), 23, (昭 38)
- (2) R. M. Tichane: Illum. Eng., 58, (8), 561 (1963)
- (3) K. Peter: Glasstech. Ber., 40, (5), 181 (1967)
- (4) 竹田, 安西, 野田: 昭和 45 年度照学会全国大会, 1
- (5) 山下, 竹田: 三菱電機, 31, (9), 1 (昭 32)
- (6) 竹田, 安西, 野田: 昭和 46 年度照学会全国大会, 4
- (7) E. B. Shand, et al: Glass Engineering Handbook, 2nd (1958) McGraw-Hill Book Co.
- (8) H. Schroeder: Opt. Acta., 9, (3), 249 (1962)
- (9) P. Kubelka: J. Opt. Soc. Amer., 38, 448 (1948)
- (10) 坊, 竹山: 照学誌, 44, (5), 227 (昭 35)
- (11) P. D. Johnson: J. Opt. Soc. Amer., 42, 978 (1952)

赤外可視変換けい光体 LaF_3 ; Er, Yb 中希土類元素イオン間のエネルギー伝達

岡本 栄知*・増井 博光**・武藤 勝俊*・粟津 健三*

Energy Transfer Between Rare-Earth Ions in LaF_3 ; Er, Yb

Central Research Laboratory Eichi OKAMOTO・Hiromitsu MASUI・Katsutoshi MUTO・Kenzo AWAZU

Energy transfer between rare-earth ions in LaF_3 ; Er, Yb and LaF_3 ; Er has been studied by observing the lifetimes of excited states of Er^{3+} and the excitation spectra of Er^{3+} emission at a room temperature and at 77°K. It has been found that a phonon plays an important role in this phenomenon. In particular, the energy transfer from Er^{3+} ($^4\text{S}_3/2 \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$) to Yb^{3+} ($^2\text{F}_7/2 \rightarrow ^2\text{F}_5/2$) is associated with emission of three phonons of about 350 cm^{-1} . The energy transfers accompanied by phonon absorption from Er^{3+} ($^3\text{H}_9/2 \rightarrow ^4\text{F}_9/2$) to Yb^{3+} , and from Er^{3+} ($^4\text{F}_9/2 \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$) to Yb^{3+} have been observed. There is a good evidence of the cross relaxation from Er^{3+} ($^4\text{F}_5/2 \rightarrow ^4\text{F}_9/2$) to Er^{3+} ($^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$) at a temperature lower than about 100°K.

1. ま え が き

赤外可視変換けい光体とは波長 1μ 付近の近赤外光を可視光、あるいは紫外光に変換するけい光体のことであるが、赤外光の検出や、効率のよい GaAs; Si 発光ダイオードから出る赤外光を可視光に変換することなどに応用することができ、近來さかんに研究されてきた。この研究は 1959 年に Bloembergen⁽¹⁾ によって初めて提案された Infrared Quantum Counter (IRQC) の概念にその端緒を築いている。1960 年に Auzel⁽²⁾ によって固体中の Er^{3+} または Tm^{3+} を利用する IRQC が Yb^{3+} によって著しく増感されることが発見されたことにより、赤外可視変換は新たな発展をとげ、その主流は活性イオンとして Er^{3+} , Tm^{3+} 等の希土類元素イオン、増感イオンとして同じく希土類元素イオンの Yb^{3+} が添加されたけい光体に占められるようになった。Auzel は Yb^{3+} によって吸収された赤外光のエネルギーが、 Er^{3+} の場合には 2 回、 Tm^{3+} の場合には 3 回活性イオンに継続的に伝達された後、活性イオンが可視光を発するという変換機構を提案した。これが successive energy transfer model である。Auzel とは独立に、Ovsyankin と Feofilov⁽³⁾ は Tm^{3+} 発光が Yb^{3+} によって増感されることを発見し、彼等は赤外光を吸収したふたつの Yb^{3+} とひとつの Tm^{3+} が同時に相互作用することにより Tm^{3+} が可視光発光準位に励起されるという変換機構を提案した。これが cooperative energy transfer model である。Hews と Sarver⁽⁴⁾ は Tm-Yb 系で可視光の発光強度が赤外励起光強度の 3 乗に比例する事実を観測して、Feofilov たちの 2 乗依存性は飽和効果によるもので、赤外可視変換の機構は Auzel 形の successive energy transfer が支配的であると結論している。また、宮川と Dexter⁽⁵⁾ の計算によれば、cooperative energy transfer process は successive energy transfer process に比べて確率が数けた小さくなっている。Ostermayer⁽⁶⁾ たちは Tb-Yb 系で cooperative energy transfer process による発光を観測したが、その確率は successive energy transfer の 100 分の 1 程度と見積もっている。

このように赤外可視変換は主として増感イオンから活性イオンへの successive energy transfer によるものと考えられているが、その機構の詳しい点についてはそれほど明らかにされていなかった。それを支配する因子の主なもの、ふたつのイオンのエネルギー準位の

下関係、準位の幅、準位の life time、同一イオン内の緩和機構、母体の格子振動 (phonon) とイオンとの相互作用等であるが、本研究は特に phonon が energy transfer に及ぼす影響と、活性イオン内の緩和機構を明らかにした。

現在よく知られている赤外可視変換けい光体のひとつに LaF_3 ; Er, Yb がある。これは $540 \text{ m}\mu$ 付近 (G-発光とよぶ) と $660 \text{ m}\mu$ 付近 (R-発光とよぶ) とに発光帯をもち、それぞれ Er^{3+} ($^4\text{S}_3/2 \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$) と Er^{3+} ($^4\text{F}_9/2 \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$) の遷移に対応している。特に R-発光は紫外から可視領域の光で励起すると、その強度が Yb 濃度に顕著に依存している。これは Er^{3+} から Yb^{3+} への energy transfer に起因しているものと考えられる。われわれは紫外可視光領域における R-発光に対する励起スペクトルと、 Er^{3+} の励起準位の life time の測定結果より、 Er^{3+} から Yb^{3+} へどのような energy transfer が存在しているか、そしてまた、それが phonon といかに関与しているかを調べた。さらに Er^{3+} の励起準位間の緩和についてもかなりの知見を得ることができた。

2. 理論的背景

2.1 energy transfer の評価の仕方

固体中に分散された希土類イオンは、一般にイオンと固体に特有な励起準位をもつ。イオンがエネルギー的に高い準位に励起された場合、励起準位間を順次緩和して最終的には基底状態に戻る。緩和の機構には、radiative relaxation と nonradiative relaxation が考えられているが、後者の中には、ひとつのイオンと phonon との相互作用の結果生じる multiphonon relaxation (MPR), イオン間の electric な相互作用に起因する cross relaxation (CR), イオン間の electric な相互作用に加えて phonon も同時に作用し合う結果生じる phonon-assisted energy transfer (PAT) が含まれる。 i -state から j -state への緩和の確率を W^{ij} と記せば、 i -state の life time τ_i は

$$\begin{aligned} \tau_i^{-1} &= \sum_j (W_{R}^{ij} + W_{NR}^{ij}) \\ &= \sum_j (W_{R}^{ij} + W_{MPR}^{ij} + W_{CR}^{ij} + W_{PAT}^{ij}) \dots\dots\dots (2.1) \end{aligned}$$

で表わされる。ここで W_{R}^{ij} , W_{NR}^{ij} , W_{MPR}^{ij} , W_{CR}^{ij} , W_{PAT}^{ij} はそれぞれ radiative relaxation, nonradiative relaxation, multiphonon relaxation, cross relaxation, phonon-assisted energy transfer に

る緩和の確率を表わす。

固体に1種類のイオンAのみが分散されているときのAイオンのlife timeを τ_A とし、さらにBイオンもあわせて分散されているときのAイオンのlife timeを τ_{AB} と記せば、AイオンからBイオンへのenergy transferの確率 W_{AB} は

$$W_{AB} = \tau_{AB}^{-1} - \tau_A^{-1} \dots \dots \dots (2.2)$$

で与えられる。したがって、 τ_A と τ_{AB} を測定すれば式(2.2)により W_{AB} が求められる。

2.2 宮川-Dexterの理論

固体中の希土類イオンに関するmultiphonon relaxationと、phonon-assisted energy transferについての理論が最近宮川とDexter⁽⁷⁾によって提唱された。彼等によれば、考えているエネルギー準位から次の低い準位までのエネルギーギャップを ΔE とすれば極低温では N 個のphononが関与するprocessに対して

$$W_{MPR}(\Delta E) = W_{MPR}(0) \cdot \exp(-\alpha \cdot \Delta E) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$W_{PAT}(\Delta E) = W_{PAT}(0) \cdot \exp(-\beta \cdot \Delta E) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\alpha = (\hbar\omega)^{-1} \ln [N/g(1+n) - 1] \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\beta = \alpha - \gamma \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\gamma = (\hbar\omega)^{-1} \ln (1 + g_A/g_D) \dots \dots \dots (2.7)$$

$$n = [\exp(\hbar\omega/kT) - 1]^{-1} \dots \dots \dots (2.8)$$

で与えられる。ここで、 $W_{MPR}(0)$ 、 $W_{PAT}(0)$ はそれぞれ $W_{MPR}(\Delta E)$ 、 $W_{PAT}(\Delta E)$ より外そうして得られる $\Delta E=0$ のときの確率である。 $\hbar\omega$ はこれらのprocessに関与するphononのエネルギーであるが、近似的にはphonon spectrumのcutoff-frequencyで与えられる。 N は自然数で $N=\Delta E/\hbar\omega$ なるエネルギー保存が成り立つ。 g はelectron-lattice coupling constant (zero phonon lineの強度とone phonon lineの強度との比)で、 g_A 、 g_D はそれぞれacceptorイオン、donorイオンの g である。

以上のことからわかるように、MPR、PATの確率はエネルギーギャップ ΔE 、electron-lattice couplingの強度 g 、cutoff-frequency $\hbar\omega$ に支配されている。ここで重要なことは、本来個々のエネルギー準位の個性を反映すべき W_{MPR} 、 W_{PAT} が多数のphononとの相互作用により平均化されていること、 γ が正の値であるため式(2.6)により一般に $\alpha > \beta$ で W_{MPR} より W_{PAT} のほうが ΔE 依在性はゆるやかであることである。なお、式(2.3)については実験的に確かめられていて、多くの報告⁽⁸⁾がある。

また、 $W_{MPR}(\Delta E)$ 、 $W_{PAT}(\Delta E)$ はphononのpopulationをそのまま反映していることが期待される。MPRに対しては

$$W_{MPR}(\Delta E) = W_{MPR}(0) \cdot \exp(-\alpha \cdot \Delta E) \cdot (1+n)^N \dots \dots \dots (2.9)$$

で与えられるが、これは実験事実をよく説明している⁽⁹⁾。PATに対しては、 N 個のphonon放出を伴うprocess、あるいは吸収を伴うprocessについてそれぞれ

$$W_{PAT}(\Delta E) = W_{PAT}(0) \cdot \exp(-\beta \cdot \Delta E) \cdot (1+n)^N \dots \dots \dots (2.10)$$

$$W_{PAT}(\Delta E) = W_{PAT}(0) \cdot \exp(-\beta \cdot \Delta E) \cdot (n)^N \dots \dots \dots (2.11)$$

で与えられる。MPR、PATの確率の温度変化を測定して式(2.9)、(2.10)、(2.11)に合わせることで、それぞれのprocessに関与しているphononのエネルギー $\hbar\omega$ が求まり、さらに α 、 β についての重要な知見が得られる。

2.3 発光の過渡現象

図2.1に示してあるようなエネルギー準位をもった系について、発光幅が狭いパルス光である励起準位を励起したときのけい光の過渡現象を考える。エネルギーが低いほうから順に1、2、3、4の準位と

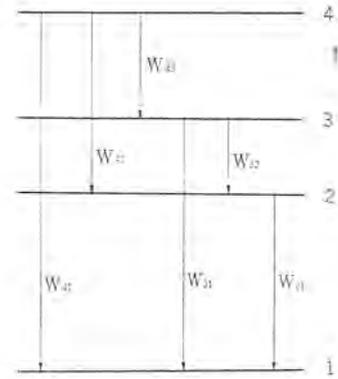


図 2.1 四つのエネルギー準位をもった系における緩和
Relaxations of excited rare-earth ions for a simple four level system.

し、 n_i ($i=1, \dots, 4$)を i 番目の準位に励起されたイオンの数とする。図中に示してあるような緩和を考えれば、rate equationは

$$\begin{pmatrix} \dot{n}_1 \\ \dot{n}_2 \\ \dot{n}_3 \\ \dot{n}_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & W_2 & w_{31} & w_{41} \\ 0 & -W_2 & w_{32} & w_{42} \\ 0 & 0 & -W_3 & w_{43} \\ 0 & 0 & 0 & -W_4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (2.12)$$

で与えられる。ここで $W_i = \sum_{j>i} w_{ij}$ である。初期条件として $t=0$ で $n_1=n_1(0)$ 、 $n_3=n_3(0)$ とすれば、これらの解は次のように与えられる。

$$n_1(t) = n_1(0) \cdot \exp(-W_4 t) \dots \dots \dots (2.13)$$

$$n_3(t) = \frac{w_{43}n_4(0)}{W_4 - W_3} [\exp(-W_3 t) - \exp(-W_4 t)] \dots \dots (2.14)$$

$$n_2(t) = A_2^2 \exp(-W_2 t) + A_3^2 \exp(-W_3 t) + A_4^2 \exp(-W_4 t) \dots \dots \dots (2.15)$$

$$A_4^2 = \left[\frac{w_{43}w_{32}}{W_4 - W_3} - w_{42} \right] \frac{n_1(0)}{W_4 - W_2} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$A_3^2 = -\frac{w_{43}w_{32}n_4(0)}{(W_1 - W_3)(W_3 - W_2)} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$A_2^2 = -A_3^2 - A_4^2 \dots \dots \dots (2.18)$$

もし、緩和が主としてcascade的なMPRであるとするならば(すなわち $w_{41} \approx w_{42} \approx 0$)、かつまた、 $W_1 \gg W_3$ 、 W_2 ならば、上式は $t \gg 1/W_4$ の範囲で

$$n_3(t) = \frac{w_{43}n_4(0)}{W_4 - W_3} \exp(-W_3 t) \dots \dots \dots (2.19)$$

$$n_2(t) = \frac{w_{43}w_{32}n_4(0)}{W_4 - W_3} \left(\frac{1}{W_3 - W_2} - \frac{1}{W_4 - W_2} \right) \exp(-W_2 t) - \frac{w_{43}w_{32}n_4(0)}{(W_4 - W_3)(W_3 - W_2)} \exp(-W_3 t) \dots \dots \dots (2.20)$$

となる。 W_2 と W_3 が同程度の大きさとするれば、準位2からの発光の立上がりは減衰と同程度の速さとなり、 $W_3 > W_2$ ならば立上がりは W_3 、減衰は W_2 であらわされ、 $W_3 < W_2$ ならば逆に立上がりは W_2 、減衰は W_3 を与える。

次にもし、準位4から準位2への緩和が主に準位3をley-passしたものであるならば(すなわち $w_{42} \gg w_{43} \approx 0$)、 $W_1 \gg W_3$ 、 W_2 の仮定のもとで

$$n_2(t) = \frac{w_{42}n_4(0)}{W_4 - W_2} [\exp(-W_2 t) - \exp(-W_4 t)] \dots \dots \dots (2.21)$$

となる。この場合の発光の立上がりは $1/W_4$ で表わされ急し峻(峻)である。

3 実験方法

3.1 試料の合成

赤外可視変換けい光体の中で、希土類ふっ化物を母体とするけい光体はいくつかの方法で合成することができる。そのひとつは、 BeF_2 、 ZnF_2 等のフラックスを用いる方法であり、他のひとつは高温で HF ガスと反応させる方法である。Hews たち⁽⁴⁾は、希土類酸化物を高温で HF と反応させけい光体を合成したのであるが、筆者らは下記に詳述するように、ふっ化物の沈殿を作成し、これを高温で HF と反応させる方法によりけい光体を合成した。

すなわち、出発原料として 99.9999% の La_2O_3 、99.999% の Yb_2O_3 および Er_2O_3 を用い、これを硝酸に溶解した後、ふっ化アンモニウム水溶液を加え生じた沈殿をろ過する。この沈殿は結晶水を含むふっ化物であるが、これをよく乾燥し、HF ふん囲気中で 1,050°C 前後の高温で数時間反応させてけい光体を合成した。900°C 以下の温度で焼成すると、あるいはまた、粉末が焼結するほどの高温で焼成した場合、発光強度が小さくなり、前述の温度が最適であった。Hews たちの方法でもけい光体の合成を試みたが、筆者らの用いた方法が明確にけい光体を合成することができた。

3.2 life time の測定

life time の測定方法はふたつある。ひとつはけい光体を正弦波的に光励起して励起光の波形とけい光の波形の位相差を測定することにより life time を求める方法で、他のひとつはパルスのけい光体を励起して、けい光の減衰を測定することにより life time を求める方法である。前者は life time が短い(数十 ns よりも短い)場合に適し、後者は比較的長い場合に適している。われわれは後者の方法を用いた。パルス光源には発光幅 2 μs のキセノンフラッシュランプ (EG&G 製, FX-12-25) を用いた。

life time の測定の場合、適当な励起単位を選んでパルス励起したほうがより正確な life time が得られるが、適当な波長の励起光をとり出すのに光学フィルタ(東芝色ガラスフィルタ, 日本真空光学製, B 形干渉フィルタ)を組合わせて用いた。試料が発したけい光は分光器 (Farand 製, 逆分散 30 $\text{\AA}/\text{mm}$) によって分光して光電子増倍管 (EMI 製, 9502 B, 9558 B) で測定した。正確な発光の減衰を求めるために Boxcar Integrator (PAR 製, Model 160) を用いた。イオン間の energy transfer が存在する場合一般に発光の減衰は単純な指数関数で表わせない⁽¹⁰⁾ので、発光強度が初期値の $1/e$ におちる時間を life time とした。

3.3 励起スペクトル

励起スペクトルは波長 0.30 μ から 0.56 μ の範囲で、77°K から室温の温度領域で測定された。光源にはキセノンランプ(ウシオ電機製, UX L-2003 D) と分光器 (spex 製, 逆分散 11 $\text{\AA}/\text{mm}$) を組合わせて用いた。けい光体が発するけい光は分光器 (Farand 製, 逆分散 30 $\text{\AA}/\text{mm}$) で分光して光電子増倍管 (EMI 製, 9558 B) で検出した。測定中は、光学系、測定系および試料の形状は一定の条件下におかれた。キセノンランプの発光と分光器の明るさが波長依存性をもっているために、試料に照射される励起光強度は波長によって異なり、正しい励起スペクトルを得るにはその補正をしなければならない。

4. 実験結果

図 4. 1 には 77°K と 300°K とにおける Er^{3+} の励起単位 ${}^2\text{H}_{9/2}$ と ${}^4\text{S}_{3/2}$ の life time の逆数 (relaxation rate) の Yb 濃度依存性が示

されている。いずれの温度においても relaxation rate は Yb 濃度とともに増大しているが、77°K におけるよりも 300°K におけるほうが増大の傾向は著しい。

図 4. 2 には $\text{La}_{0.915}\text{Er}_{0.01}\text{Yb}_{0.075}\text{F}_3$ と $\text{La}_{0.99}\text{Er}_{0.01}\text{F}_3$ のふたつの試料について ${}^4\text{S}_{3/2}$ の relaxation rate の温度依存性が示されている。図中 A が前者、B が後者についての relaxation rate であり、C の実線はその差を与える。

図 4. 3 には ${}^4\text{F}_{7/2}$ の relaxation rate の Yb 濃度依存性が示されている。relaxation rate は 77°K では Yb 濃度に関係なく一定であ

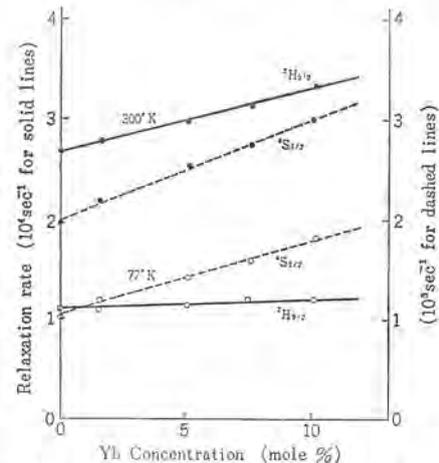


図 4. 1 室温 (黒丸) と 77°K (白丸) における LaF_3 ; Er, Yb 中 Er^{3+} の ${}^4\text{S}_{3/2}$ (破線) と ${}^2\text{H}_{9/2}$ (実線) の relaxation rates.

The relaxation rates of ${}^4\text{S}_{3/2}$ (dashed lines) and ${}^2\text{H}_{9/2}$ (solid lines) of Er^{3+} in LaF_3 ; Er, Yb versus Yb concentration at room temperature and at 77°K.

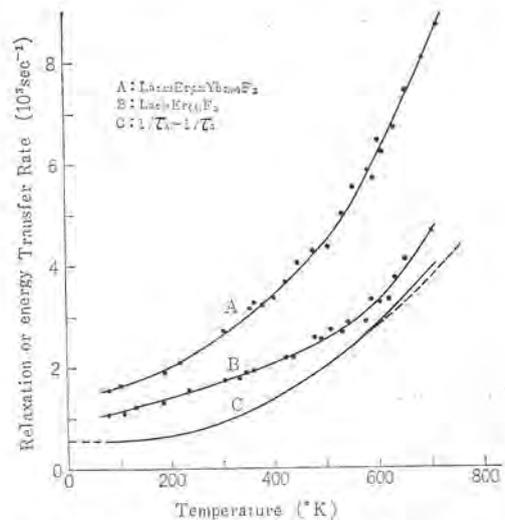


図 4. 2 LaF_3 ; Er, Yb 中 Er^{3+} の ${}^4\text{S}_{3/2}$ の relaxation rates の温度依存性. (A) は Er (1 mole %) と Yb (7.5 mole %). (B) は Er (1 mole %) のみが添加された試料の relaxation rates の温度変化. 破線は 350 cm^{-1} の phonon 3 個が放出されると仮定して求めた理論曲線を示している

Temperature dependence of the relaxation rates of ${}^4\text{S}_{3/2}$ of Er^{3+} in LaF_3 ; Er, Yb. (A) and (B) represent the relaxation rates of the samples doped with both Er (1 mole %) and Yb (7.5 mole %) and with Er (1 mole %) only, respectively. (C) refers to the energy transfer rate from Er^{3+} (${}^4\text{S}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$) to Yb^{3+} (${}^2\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{5/2}$); the solid line is the difference of (A) between (B) at the same temperature and the theoretical curve is shown in a dashed line when assumed the emission of three phonons of 350 cm^{-1} , whose sum is approximately equal to the energy gap of about 1,050 cm^{-1} .

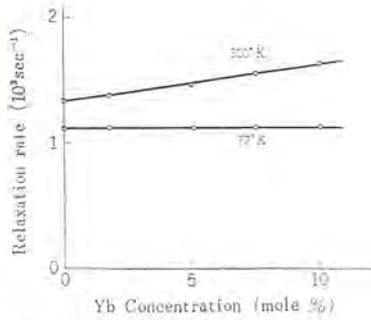


図 4.3 LaF₃; Er, Yb 中 Er³⁺ の ⁴F_{9/2} の relaxation rates の Yb 濃度依存性
The relaxation rates of ⁴F_{9/2} of Er³⁺ in LaF₃; Er, Yb versus Yb concentration.

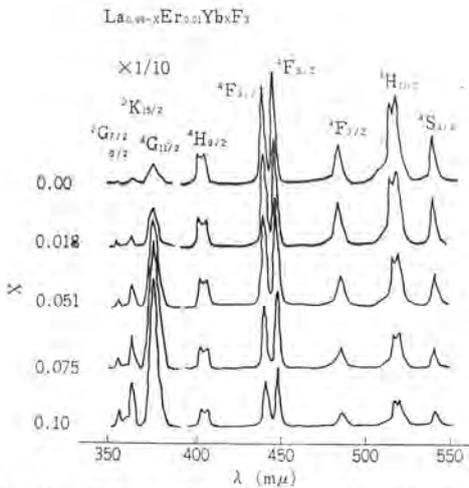


図 4.4 77°K における R-発光 (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) の励起スペクトルの Yb 濃度依存性
Yb concentration dependence of the excitation spectra of the red emission (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) at 77°K in LaF₃; Er, Yb.

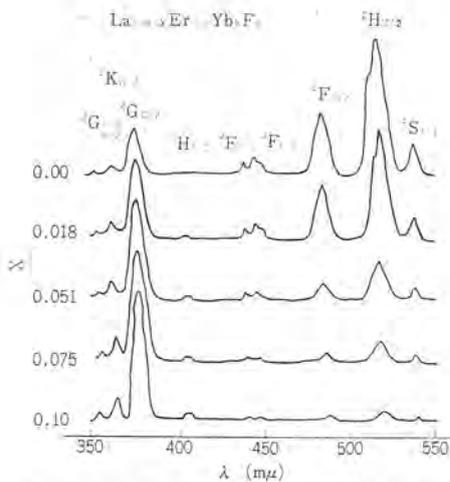


図 4.5 室温における LaF₃; Er, Yb の R-発光 (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) の励起スペクトルの Yb 濃度依存性
Yb concentration dependence of the excitation spectra of the red emission (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) at room temperature in LaF₃; Er, Yb.

るが、300°K では Yb 濃度とともに増大している。

図 4.4, 4.5 にはそれぞれ 77°K, 300°K における R-発光 (⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) の励起スペクトルが示されている。77°K においては、⁴S_{3/2} から ²H_{9/2} までの準位を励起した場合、R-発光の強度は Yb 濃度とともに減少しているのに対し、⁴G_{11/2} から ²G_{7/2} までの準位を励起

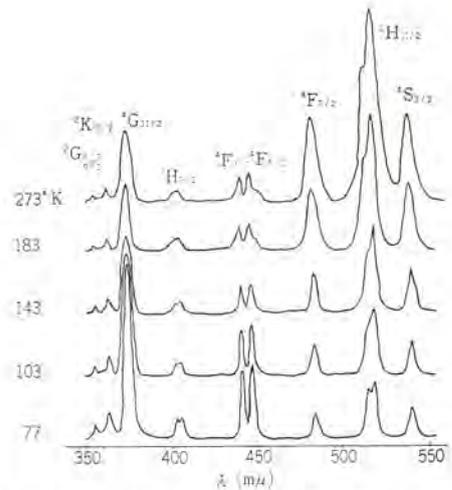


図 4.6 LaF₃; Er の R-発光 (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) の励起スペクトルの温度依存性
Temperature dependence of the red emission (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) in LaF₃; Er.

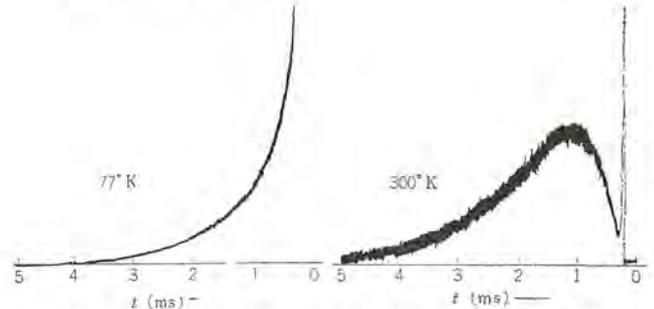


図 4.7 ⁴F_{5/2} をパルス励起したときの LaF₃; Er の R-発光 (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) の時間変化
Time dependence of the red emission (Er³⁺; ⁴F_{9/2}→⁴I_{15/2}) following pulsed excitation into ⁴F_{5/2}.

した場合は逆に増大している。一方 300°K では、²H_{9/2} 励起の場合 77°K とは逆に Yb 濃度とともに増大しているのが著しく異なっている点で、他の傾向はほぼ 77°K の場合と同じである。

図 4.6 には、La_{0.99}Er_{0.01}F₃ の試料について R-発光の励起スペクトルの温度依存性が示されている。⁴S_{3/2}, ²H_{11/2}, および ⁴F_{7/2} 励起の場合は、77°K から温度が上昇するにつれて増大しているのに対し、⁴F_{5/2} より高エネルギー側の準位を励起した場合は、77°K から 100°K までの範囲で急激に減少し、100°K を越えるとほぼ一定になっている。

図 4.7 には La_{0.99}Er_{0.01}F₃ について ⁴F_{5/2} をパルス励起したときの R-発光の時間変化が示されている。t=0 で鋭いスパイクが見られるが、これは励起光が迷光となって観測されたものである。けい光は 77°K においては急しゅんな立上がりを示しているのに対し、300°K では比較的ゆるやかに立ち上がっている。

5. 考 察

固体中の希土類イオン間の PAT の確率は、式 (2.4) によりエネルギーギャップ ΔE が大きくなるにつれて指数関数的に小さくなる。ΔE は PAT の確率を支配する因子であるが、その値を求めるのに際して、われわれは Krupke と Graber⁽¹¹⁾ が報告している LaF₃ 中 Er³⁺ のエネルギー準位と、LaF₃ 中 Yb³⁺ の吸収スペクトル⁽¹²⁾ の両方を考慮した。

図 4.1 の結果は、²H_{9/2} あるいは ⁴S_{3/2} に励起された Er³⁺ から

Yb³⁺ への energy transfer が生じていることを示している。図 5. 1 に示されている Er³⁺ と Yb³⁺ のエネルギーダイアグラムと式(2. 4)により

$$(a-1), \text{Er}^{3+}({}^2\text{H}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{9/2}) \rightarrow \text{Yb}^{3+}({}^2\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{3/2})$$

$$(a-2), \text{Er}^{3+}({}^2\text{H}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{F}_{9/2}) \rightarrow \text{Yb}^{3+}({}^2\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{5/2})$$

$$(b), \text{Er}^{3+}({}^4\text{S}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}) \rightarrow \text{Yb}^{3+}({}^2\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{5/2}) \quad (13)$$

の PAT が考えられる。(a-1) の場合は ΔE はおよそ 1,700 cm⁻¹ で phonon の放出を伴い、(a-2) の場合は ΔE はおよそ 950 cm⁻¹ で phonon の吸収を伴う。PAT に関与する phonon は、宮川-Dexter の理論によれば母体の phonon spectrum の cutoff-frequency に近い phonon である。このことと、LaF₃ の cutoff-frequency がおよそ 350 cm⁻¹(14)であることを考慮すると、PAT に関与する phonon は 77°K ではほとんど熱的に励起されていないと思われる。

したがって、77°K における Er³⁺ ({}²H_{9/2}) から Yb³⁺ への小さな PAT は、式(2. 8), (2. 10), (2. 11)により主として phonon 放出を伴った (a-1) の process であると考えられる。一方 300°K ではかなり熱励起されているであろうから、phonon 放出の外に phonon 吸収を伴う (a-2) の process も生じているものと思われる。これについては後でふたたびふれる。

(b) の process には phonon 放出が伴われる。われわれは、実際に生じている energy transfer が (b) の process であることを、そして phonon 放出を伴っていることを確かめるのと、この process にはいくらのエネルギーの phonon がいくつ関与しているかを調べるために、PAT の確率の温度変化を測定した。その結果は図 4. 2 中実線 C で示されている。これは式(2. 8), (2. 10)によって説明されるものと期待される。式(2. 10)においてパラメータは $W_{\text{PAT}}(0) \exp(-\beta \Delta E)$, N , $\hbar\omega$ の三つであるが、 $W_{\text{PAT}}(0) \exp(-\beta \Delta E)$ は、 n が十分低温でほとんど 0 であることから、低温における実験値より求められる。その値は 77°K での PAT の確率 $5.0 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ と見積られた。さらに N と $\hbar\omega$ との間には $\Delta E = N \cdot \hbar\omega$ なる関係が成立しているため、 N と $\hbar\omega$ は独立ではない。 ΔE が正しく見積られれば、一方を仮定すれば他方は自動的に決まる。しかしわれわれの場合は、LaF₃ 中 Yb³⁺ の吸収スペクトルの幅が 500 cm⁻¹(15)にも及ぶので、 ΔE は 1,000~1,500 cm⁻¹ の範囲にあるということしか言えず、 N あるいは $\hbar\omega$ のいずれかを仮定しても他のものは一義的に定まらない。図中の破線は $N=3$, $\hbar\omega=350 \text{ cm}^{-1}$ と仮定したときの理論曲線であるが、これは実験結果と非常によい一致を示している。ただ、高温側では実験値のほうが理論値よりも大きくなる傾向にある。また、 $N \cdot \hbar\omega = 3 \times 350 \text{ cm}^{-1}$ の値は上記 ΔE の範囲に入っている。以上のことより、phonon 放出を伴った PAT $\text{Er}^{3+}({}^4\text{S}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}) \rightarrow \text{Yb}^{3+}$ が生じていることが確認され、かつ ΔE が上記範囲の小さな値をとることから、Yb³⁺ は PAT によって ${}^2\text{F}_{5/2}$ の高エネルギー側の stark level に励起されるということがわかった。さらに式(2. 7)において g_A と g_D がほとんど等しいと仮定すれば、 $\gamma \approx 2 \times 10^{-3} / \text{cm}^{-1}$ となり、これと α の実験値 $5 \times 10^3 / \text{cm}^{-1}$ (15) とを用いれば、式(2. 6)により $\beta \approx 3 \times 10^{-3} / \text{cm}^{-1}$ (15) と見積ることができる。

図 4. 3 の結果は、Er³⁺ から Yb³⁺ への energy transfer が 300°K では生じているのに対し、77°K ではほとんど存在していないことを示している。図 5. 1 のエネルギーダイアグラムと式(2. 4)により

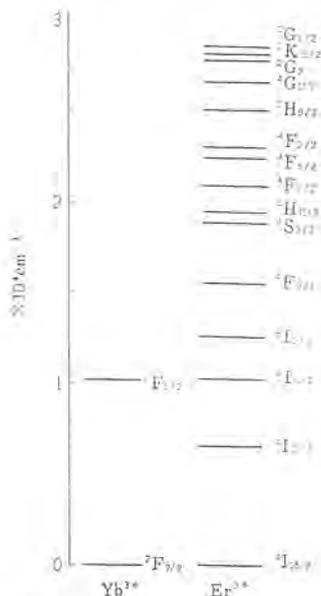
$$(c), \text{Er}^{3+}({}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}) \rightarrow \text{Yb}^{3+}({}^2\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{5/2})$$

の PAT が考えられるが、この場合 ΔE はほぼ 1,500 cm⁻¹ で phonon の吸収を伴う。PAT が (c) の process であるとするれば、これは図 4. 3 の実験結果 (PAT は、77°K ではほとんど存在してなくて、300°K で生じているという事実) と矛盾しない。われわれはこの PAT の温度依存性を測定して、式(2. 8), (2. 11)により解析を試みたが、計算で見積られる値よりは実験値のほうが一けた以上小さい。このことは、単純に (c) の process のみが存在していると考えるのが正しくないということを暗示しており、(c) の process が示す温度変化のふるまいを相殺するような PAT (たとえば、 $\text{Yb}^{3+}({}^2\text{F}_{5/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{7/2}) \rightarrow \text{Er}^{3+}({}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{F}_{9/2})$) も同時に生じていることを示しているように思われる。

図 4. 4, 4. 5 は R-発光の励起スペクトルが Yb 濃度に依存していることを示しているが、これらも Er³⁺ から Yb³⁺ への PAT の存在を示すものである。⁴S_{3/2} 励起の場合、R-発光が Yb 濃度とともに弱くなっていることは上記 (b) の PAT によって理解される。すなわち、Yb が増すにつれて ⁴S_{3/2} の緩和は ⁴F_{9/2} を by-pass する部分がふえるので、MPR による ⁴S_{3/2} → ⁴F_{9/2} の遷移がそれだけ相対的に減ってしまうからである。

²H_{11/2}, ⁴F_{7/2}, ⁴F_{5/2} および ⁴F_{3/2} 励起の場合、77°K, 300°K とともに R-発光は Yb 濃度とともに弱くなっているが、これはそれらの準位に励起された Er³⁺ は主として MPR によって cascade 的に ⁴S_{3/2} まで緩和するものと考えれば理解される。ただし、詳しくみると、⁴F_{3/2} および ⁴F_{5/2} 励起の場合は ⁴F_{7/2}, ²H_{11/2} および ⁴S_{3/2} の場合に比べて多少傾向を異にしているが、これは後ほど述べる Er³⁺ イオン間の cross relaxation の効果によるのではないかと思われる。

²H_{9/2} 励起の場合、77°K, 300°K とでその傾向は逆である。図 4. 1 の考察で述べたように、²H_{9/2} に励起された Er³⁺ から Yb³⁺ への PAT にはふたつの process が考えられる。ひとつは (a-1) で phonon 放出を伴い、他のひとつは (a-2) で phonon 吸収を伴う process であった。77°K では (a-2) の process は無視し得るので、²H_{9/2} から ⁴F_{9/2} への緩和は cascade 的な MPR によるものであろう。したがって、⁴S_{3/2} 励起の場合と同様、R-発光は Yb 濃度とともに減少する。300°K では逆に R-発光が Yb 濃度とともに増大している事実は、cascade 的な MPR の外に、²H_{9/2} から ⁴F_{9/2} への直接的な緩和の存在を示唆するものである。これは phonon 吸収を伴う (a-2) の PAT が 300°K で生じていることを示している。



(16) L. G. Van Uitert, S. Singh, H. G. Levinstein, L. F. Johnson, W. H. Grodkiewicz and L. G. Geusic : Appl. Phys. Letters, 15, 53 (1969)

(17) たとえば, L. G. Van Uitert and L. F. Johnson : J. Chem. Phys., 44, 3,514 (1966)

(18) M. J. Weber : Phys. Rev., 156, 231 (1967)



3,000m 深海用照明装置の開発

小堀富次雄*・田中 民雄**・三上 龍夫**・狩野 雅夫**

Development of Lighting Equipment for 3,000m Deep Sea

Ofuna Works Fujio KOBORI・Tamio TANAKA・Tatsuo MIKAMI・Masao KARINO

It is no question that ocean lighting is needed to promote the ocean development and related industry. Especially in ark environment as in the deep sea, appropriate light sources and proper luminaires are indispensable for the ocean illumination. Now Mitsubishi is successful in the development of the lighting equipment for deep sea which can be used in the depth of 3,000 m. This lighting device is the first in this line in this country employable for the exploration of resources such as the manganese nodule, which is said to be abundant in the depth from 2,000 to 3,000 m. Or employable for various investigation within the depth of 3,000 m.

1. ま え が き

これからの海洋開発ないし海洋開発産業を推進するためには、海洋照明⁽¹⁾が必要であることはいうまでもないが、とくに深海のような暗黒の海中での海洋照明として、これにふさわしい光源と照明器具は欠かすことのできないものである。このたび当社では、財団法人日本船用機器開発協会と共同研究を行ない、水深3,000 mを目標とした深海照明用装置の開発に成功した⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。この共同研究は昭和45年4月から行なっていたもので300 kg/cm²の高水圧に耐え、深海で高効率かつ高演色性を発揮する照明装置である。この照明装置は2,000~3,000 mの深海に豊富にあるといわれるマンガン団塊などの鉱物資源の調査、あるいは3,000 m水深以内の各種の海洋開発に対する開発品として意義があると思われる。この研究には委員会が構成され、開発の計画をはじめ実施方針について審議され、種々のアドバイスを得ることができた。委員会は下記の方々(敬称は略す)によって構成された。

- 委員長 伊賀 秀雄(玉川大学)
 委員 室井 徳雄(日本大学 工博)
 遠藤 倫正(三菱重工業(株))
 田辺 隆治(千葉大学)
 志岐 武司(大成建設(株) 工博)
 川上 元郎(日本色彩研究所 工博)
 高野 秀一((株)高工社)
 寺村 修(東京都電気研究所 工博)
 鈴木達太郎(運輸省船舶局)
 吉江 清(電子技術総合研究所 工博)
 細井 茂((財)日本船用機器開発協会)
 岡村 健二(三菱重工業(株) 工博)
 市村 宗明(三菱電機(株))
 小堀富次雄(三菱電機(株) 工博)

(討議参加者は省略する)

試作開発した深海用照明装置の仕様は次のとおりである。

- 光源の種類: メタルハライドランプ(よう化ジスプロシウム= DyI₃添加などの三菱BOCランプ)
 使用深度: 3,000 m(使用圧力300 kg/cm²)
 耐圧深度: 4,500 m(試験圧力450 kg/cm²)
 ランプ形状: 水平円筒形(62φ×250 mm)

- ランプ入力: 400 W
 照明距離(目標): 海中20 m
 標識効果(目標): 海中40 m
 付風機器: 灯体、反射鏡、取付台、水中コネクタ、安定器
 安全装置: 海中での万一の感電防止のため、ランプの発光管内に検知極を設け、ランプ破壊の場合は検知極との間に微小電流が流れ、検出回路が作動して電源をシャ断する。

この照明装置は透過度のよい海中で10~20 mの距離まで照明ができ、海中で光源から離れた場合は40 m前後まで、光源の所在を識別することができる。この装置の完成によりさらにくわしい海中における照明特性、光学特性などが解明できるものと期待される。以下にその概要と今後の問題点についてのべる。

2. 深海用照明装置の構成

深海照明装置の設計段階では、とくに次の事項を検討した。

- (a) 海中照明に最適な光源の決定
 (b) 深度に対応する耐圧強度
 (c) 耐食性材料の検討
 (d) 反射鏡による配光特性
 (e) 海中操作に対する簡易性
 (f) 電撃に対する安全性

ただし(e)、(f)は海面に近い位置で海中操作が考えられるので加えたものである。以上の事項を集約して設計した照明器具と安定器の構造を図2.1および図2.2に示す。ランプは直接海中につける方式をとっているが、これは防水性能の確実性を高め、ランプとラ

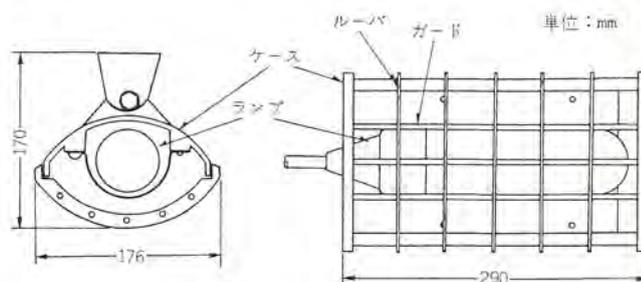


図 2.1 深海用照明器具構造
 Structure of deep sea projector.

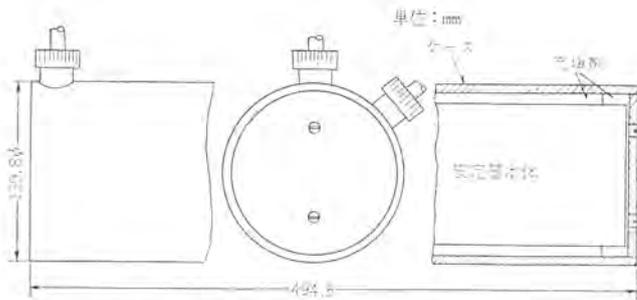


図 2.2 安定器構造
Structure of ballast.

ランプに付属する部分のケーブルを一括して器具よりはずせるため保守しやすくて有利である。またランプが万一破損した場合には、電撃から作業員を守るためにリレー回路を通じて電源を即時シャ断できるように3心ケーブルを用い、その1心を検出用利用することとしている。さらに海中でそのままランプを交換することができるように、海水中で着脱自在な特殊水中コネクタを付属している。

3. 光源の選定

照明用光源としては、白熱電球、ハロゲンランプおよび水銀ランプなどが考えられるが、深海用ランプの条件としては高効率かつ肉眼観測、写真撮影ならびにテレビ撮影などのために高演色性が要求される。そこでその選定のための実験を行なった。この実験では海水の分光透過率、視認性および見え方を測定した。任意の光を与えたときに、その光が海中でどこまで届くか、またそれにより照明された物体の色がどのように見えるかは、透過率や分光分布などによって決まってくる。そこで基本となる分光透過率を測定し、その後各種光源による視認性、色見え方の試験を行なったものである。

3.1 実験の概要と結果

(a) 分光透過率の測定

この実験は図 3.1 に示す内径 300 mm、長さ 15,000 mm の塩化ビニルパイプによる試験水そう(槽)で、その中に被測定水を満たして行なった。その結果の一部として図 3.2 に水道水の分光透過率を、また図 3.3 に海水(江の島付近より採取)の分光透過率を示す。

3.2 色見え方の評価

ここでは光源別に海中において物体の色がどう見えるかを試験したものである。この試験には5種のランプを用いた。すなわち水銀ランプ、タリウム水銀ランプ、インジウム水銀ランプ、メタルハライドランプ、リフレ

クターランプ(白熱電球)。

JIS Z 8726 光源の演色性評価方法⁽⁵⁾により定められている試験色の中から 3PB3/11, 4.5G5/8, 1YR6/4, 5Y8/10, 4.5R4/13 の5色を選び試験色標とした。図 3.4 に示すごとく海中 5 m の距離

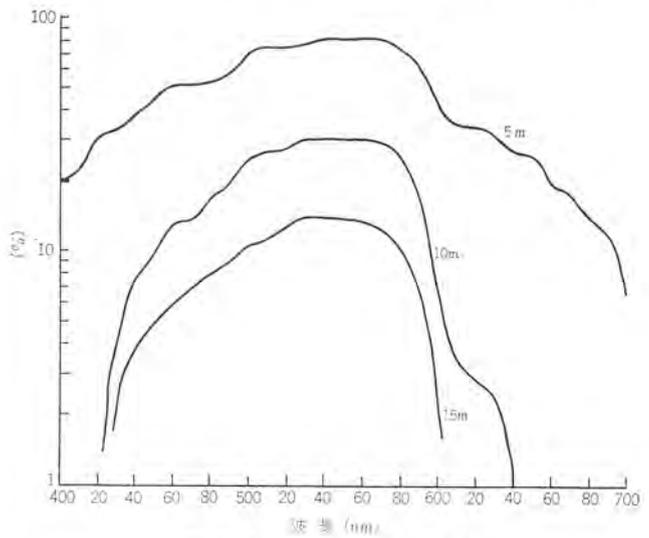
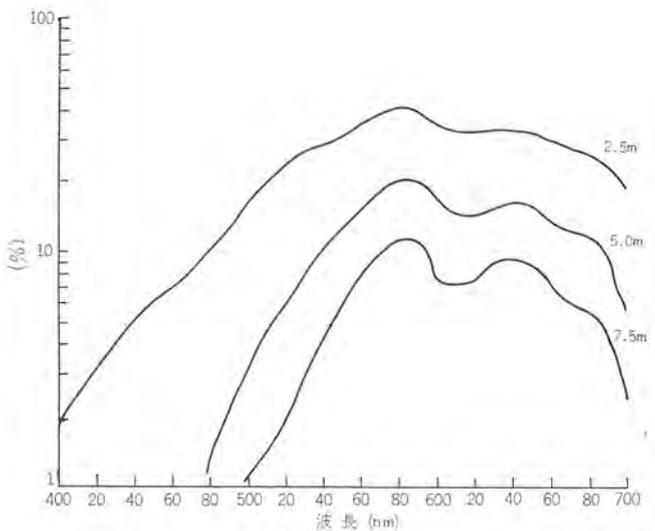


図 3.2 水道水の分光透過率
Spectral transmittance of clean water.



※1971年3月 江の島付近で採水

図 3.3 海水の分光透過率
Spectral transmittance of sea water.



図 3.1 照明試験用水そう
Test tank of optical characteristics of water.

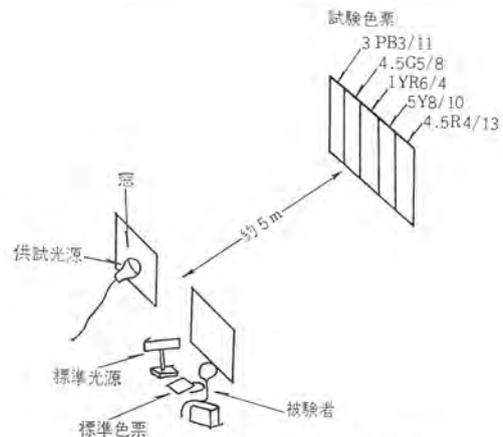


図 3.4 色見え方評価試験装置
Colour rendering test system.

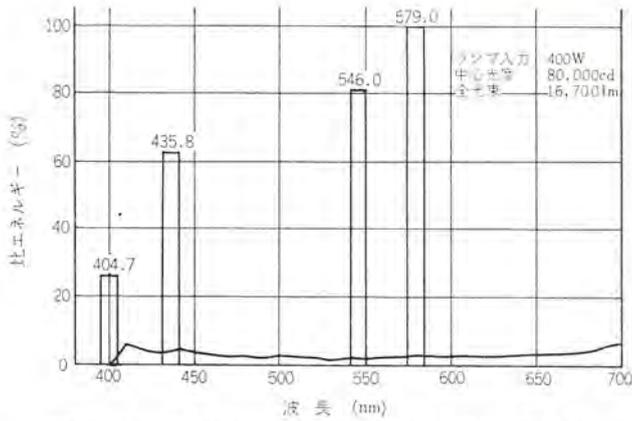


図 3.5 HR 400-N 反射形水銀ランプ分光分布 (空气中)
Spectral distribution of the HR 400-N lamps (air).

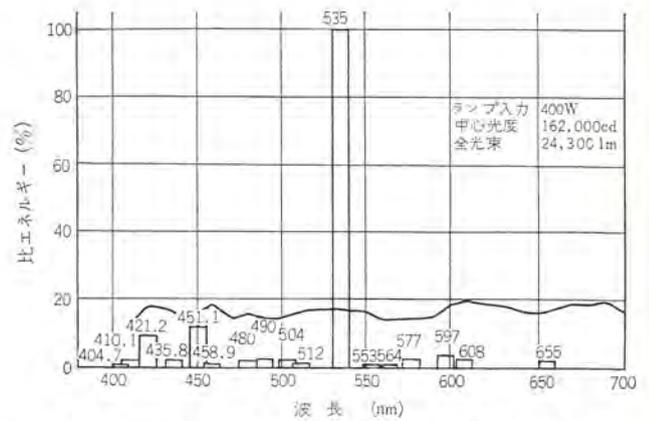


図 3.8 MR 400-BOC 反射形メタルハライドランプ分光分布 (空气中)
Spectral distribution of the MR 400-BOC lamps (air).

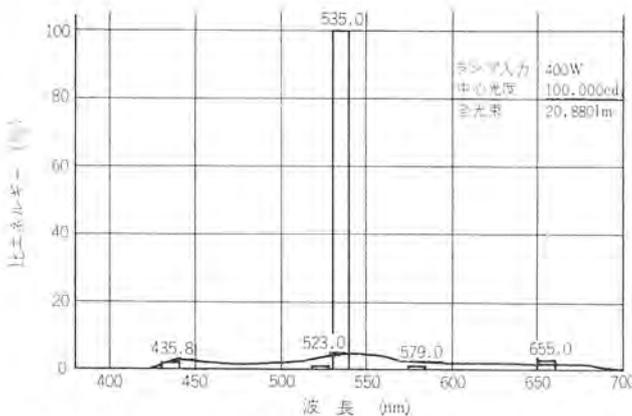


図 3.6 MR 400 L 反射形タリウム水銀ランプ分光分布 (空气中)
Spectral distribution of the MR 400 L lamps (air).

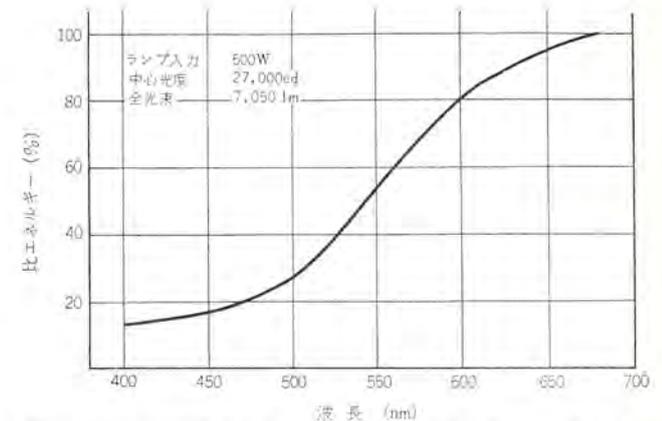


図 3.9 RS 100 V 500 W 反射形白熱電球分光分布 (空气中)
Spectral distribution of the RS 100 V 500 W lamps (air).

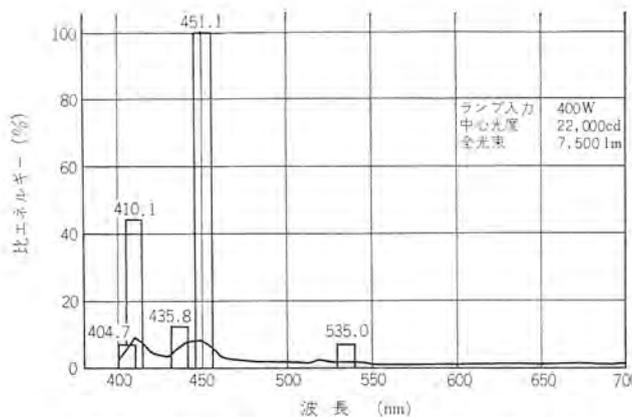


図 3.7 MR 400 IN 反射形インジウム水銀ランプ分光分布 (空气中)
Spectral distribution of the MR 400 IN (air).

表 3.1 色の見え方評価測定結果
Colour rendering (underwater).

被験者	試験光源	MR 400 L	HR 400-N	MR 400 IN	MR 400-BOC	RS 100 V 500 WH
		700 lx	400 lx	150 lx	400 lx	150 lx
A	3 PB 3/11	2.5 G 5/8	2.5 PB 5/5	5 PB 3/10	2.5 PB 4/8	2.5 PB 3/7
	4.5 G 5/8	10 GY 6/9	10 GY 6/9	5 G 6/8	10 GY 7/10	10 GY 6/6
	1 YR 6/4	10 GY 6/8	2.5 GY 7/7	10 Y 6/2	7.5 GY 6.5/4	5 Y 7/4
	5 Y 8/10	7.5 GY 9/7	2.5 GY 8/9	5 GY 9/10	5 GY 9/8	7.5 Y 9/10
	4.5 R 4/13	5 R 2/2	5 R 2/3	5 R 2/4	5 R 2.5/4	5 R 4/13
B	3 PB 3/11	2.5 G 5/6	2.5 PB 4/5	7.5 PB 3/8	2.5 PB 5/8	2.5 PB 3/6
	4.5 G 5/8	10 GY 7/6	10 GY 6/8	2.5 G 4/4	10 GY 6/10	10 GY 5/8
	1 YR 6/4	2.5 G 8/4	2.5 GY 8/7	10 Y 5/2	7.5 GY 8/6	5 Y 7/5
	5 Y 8/10	7.5 GY 9/2	5 GY 8/8	5 GY 8/8	5 GY 9/8	10 Y 9/10
	4.5 R 4/13	2.5 R 2/2	5 R 2/2	2.5 R 4/4	5 R 4/5	5 R 4/13

におかれた色標を水そう(槽)の窓より試験光源で照明し、試験者がハイデラックス昼光色けい光ランプ(色温度6,500°K, Ra 98)により照明された標準産業色標(日本色彩社製)との間で瞬時比較により行なった。供試光源の分光分布を図3.5~3.9に示す。この試験の結果、試験者A, Bが測定した色を表3.1にそれをNickersonの色差式で計算したものを表3.2に示す。

3.3 視認性試験

海中における物の見え方は光の減衰と散乱により非常に悪くなっている。この程度を知るために明度約9の白色板の上にランドルト環を置いて測定した。測定条件は図3.4と同様で、試験距離を3m

から9mとした。この結果は試験者3名の測定結果として図3.10に示す。

3.4 まとめ

(a) 光源は耐圧、充電部の絶縁が満足されるものであれば海中での使用はどのようなものでも可能であるが、効率、色の見え方を考慮するとメタルハライドランプ、特にBOCランプが望ましい。

(b) カラー写真を撮る場合はメタルハライドランプか白熱電球が望ま

表 3.2 Nickerson[※] の色差式による色の見え方評価
Colour rendering according to Nickerson's equation.

被験者	試料光源	MR 400 L	HR 400-N	MR 400 IN	MR 400 -BOC	RS 100 V 500 WH
A	3 PB 3/11	118.6	31.6	11.4	16.9	13.8
	4.5 G 5/8	24.3	24.3	7.6	34.2	24.6
	1 YR 6/4	81.6	62.3	28.8	45.4	22.8
	5 Y 8/10	57.5	31.5	46.0	48.0	16.0
	4.5 R 4/13	46.5	43.6	40.7	38.7	2.6
B	3 PB 3/11	130.7	25.6	37.1	22.9	16.7
	4.5 G 5/8	30.6	20.4	22.8	28.2	14.4
	1 YR 6/4	62.4	68.3	34.8	71.0	34.2
	5 Y 8/10	60.0	42.0	42.0	48.0	26.0
	4.5 R 4/13	51.0	46.5	33.8	25.8	2.6

※ Nickerson の色差式

$$I = \frac{C}{5} (2\Delta H) + 6(\Delta V) + 3(\Delta C)$$

I: 退色指数

C: 2色のクロマの平均値

ΔH : マンセルヒューの差

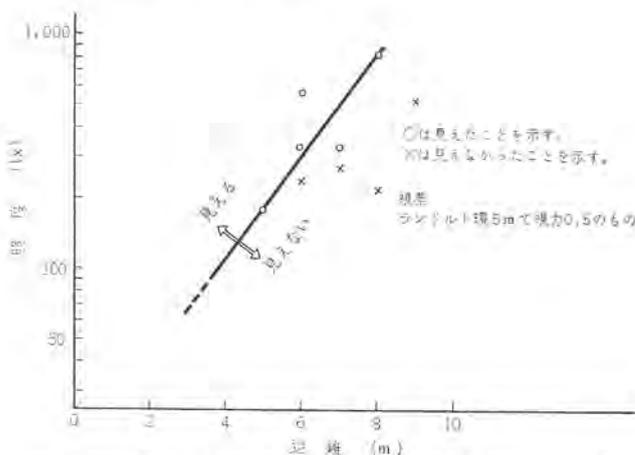


図 3.10 水中における距離と照度の関係による視認性
Visibility of underwater by the relation between distance and illumination.

しい。

(c) 標識として使用する場合には、吸収が最も少ない緑色光を出すよう化タリウムを添加したメタルハライドランプが望ましい。

(d) 光の散乱により、対象物のコントラストが低下し視認性が極端に悪くなるので、コントラストを増すように対象物の近くから照明して対象物以外は照明しないような使用方法が望ましい。

4. 光源の構造と特性

各種光源について検討した結果、メタルハライドランプ、特にディスプロシウム、タリウムおよびインジウムの金属化合物の組合せによるメタルハライドランプが最適であることを見出した。このランプは電極間距離 51 mm、内径 18 mm、の石英製発光管の中に上記の組合せによる金属化合物を封入したもので、陽光柱の中で解離励起した金属原子から発するスペクトルが可視部に集中するため、効率と色の見え方についてあわせ考えた場合、メタルハライドランプの中でも特にすぐれた効果を示す。その特性の一例として空気中の 400 W 入力時の分光エネルギー分布と演色性評価数を図 4.1 に示す。(分光エネルギー分布は図 3.8 参照)。

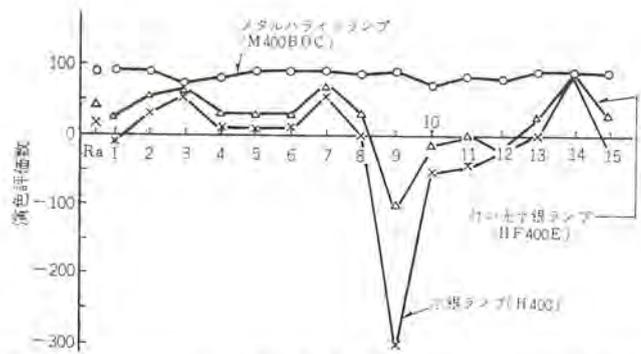


図 4.1 メタルハライドランプ (Dy-Tl-In-Hg) の演色性評価数(空気中)
Comparison of colour rendition of metal halide lamps (Dy-Tl-In-Hg) (air).

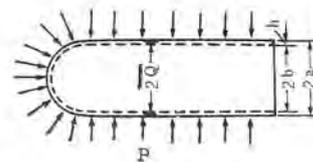


図 4.2 円筒形バルブにかかる外力
External forces acting upon a cylindrical bulb.

4.1 ランプの形状と強度

深海用ランプの外管には 300 kg/cm² の水圧が直接かかるので強度の大きいものでなくてはならない。形状は比較的容易に製作できるもので、強度が大きいと考えられる片端半球状の円筒形バルブを使用することにし、大きさは外管の内側に発光管がはいる関係で自ら限度があり、長さを 200~300 mm、外径を 57~72 mm にした。また、外管に使用するガラスは種々検討した結果、一般の硬質ガラスを採用することに落ち着いた。外管ガラスの肉厚は 300 kg/cm² の圧力に耐えるための大きな要素となるが、それについての簡単な考察を以下に示す。

一般に図 4.2 のような形のバルブに一樣な外圧がかかった場合、バルブをいちおう肉薄バルブと仮定すると、バルブの内面および外面に軸方向、円周方向に沿って次式のような応力が働く。(ただし、径方向の応力は軸方向、円周方向の応力に比べて非常に小さいので無視する。)

$$\text{軸方向 } \sigma_z = \frac{aP}{2h} \pm 0.293 \frac{aP}{2h} \mp \beta_2 \frac{E\alpha(T_1 - T_2)}{2(1-\nu)}$$

$$\text{円周方向 } \sigma_t = \frac{aP}{h} \pm 0.032 \frac{aP}{h} \mp \beta_1 \frac{E\alpha(T_1 - T_2)}{2(1-\nu)}$$

ν : ポアソン比 h : 肉厚 a : 平均半径

P : 外圧 E : 弾性係数 α : 線膨張係数

T_1 : バルブの外表面温度 T_2 : バルブの内表面温度

上式の第 1 項は円筒部分に働く、たがはり応力を示し、第 2 項は半球部と円筒部の接合部分に働く最大曲げ応力を示す。また、深海用ランプの場合、バルブの内側にある発光管が熱源となるため、当然、熱応力も働くのでそれを第 3 項に加えた。

熱応力と機械応力にあわせ考えると最大応力は円周方向の内面で生じるので、その値を基準にして 300 kg/cm² の外圧に耐える肉厚を算出すればよい。ただし肉厚が大きくない場合は(挫)屈圧かい(潰)も考えられるので、次式に示す圧力と上記応力による臨界応力とを比較し、小さいほうを危険圧力とすべきであろう。

$$P_k = \frac{E}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{h^3}{a^3}$$

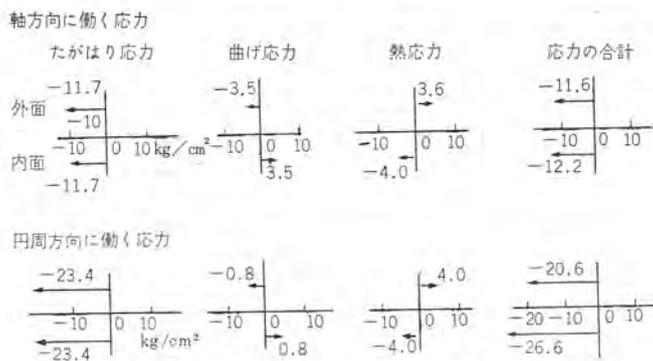


図 4.3 円筒形バルブに働く応力の大きさと方向 (外径 57 mm, 肉厚 5 mm)

Direction and magnitude of the stress on the cylindrical bulb. (57 mm in outside diameter, 5 mm in thickness).

表 4.1 ガラス管の危険圧力
Critical pressure of a cylindrical glass.

外 径 mm	肉 厚 mm	応力による危険圧力 kg/cm ²	び 屈 力 kg/cm ²
57	3	306.5~1,317	229
	5*	526~2,895	1,188
	7	763~3,325	3,666
	10	1,150~5,020	12,850
62	5	482~2,370	608
	7	696~3,010	1,832
	10	1,044~4,540	4,060

図 4.3 に図 4.2 のようなバルブに働く応力分布の計算例として外径 57 mm, 肉厚 5 mm の場合を示す。また、表 4.1 に外管の大きさと推定危険圧力値の関係を示す。ただし α , ν , E , およびガラスの引張り強さをそれぞれ $38.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, 0.2, $6.4 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ および $400 \sim 1,500 \text{ kg/cm}^2$ とした。また、外壁と内壁の温度差は 400°C としたが、この値は実際より若干大きいと考えられる。

以上の考察から 300 kg/cm^2 の水圧に耐えるためには外径が 57 mm, 62 mm とともに肉厚が 5 mm 以上あればよいことになるが、実際には以下に書く理由によってさらにひかえめに考える必要がある。

(1) 強度のばらつきが大きいというのがぜい(脆)性破壊の一つの特長であり、ガラスの場合も例にもれず表面状態や製造状態によって強度のばらつきが大きい。すなわち安全係数を決めるのがむづかしいので、計算値のみに頼るのは危険であり、最終的には実験的に最適値を求めるべきである。

(2) 周囲のふん囲気の影響が大きい。たとえば表面が水でぬれている場合、強度は 20% 減少するといわれる。

(3) 長時間荷重の場合には強度は低下してくる。

(4) 肉厚が大きくなると、形状と危険圧力の関係は上記した計算式とは一致しなくなってくる。

結局、考察で示した値を基準として実験的に安全な肉厚を見出した。

4.2 ランプ外管の封止方法

外管はバルブの肉厚を大きくして耐圧性をもたせるばかりでなく、電力導入線とバルブの封着部分を水圧および浸水に対して安全なものにおかねばならない。一般のメタルハイドランプの封止部は水銀

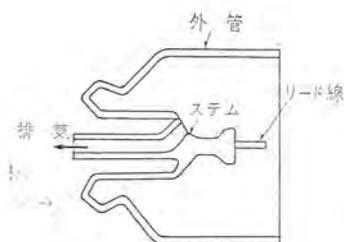


図 4.4 水銀ランプの封止部
Sealing part of conventional mercury lamps.

ランプと同様、図 4.4 に示すように細い排気管のついたステムと外管ガラスを溶着し、排気終了後に排気管を溶着封止するようになっている。ただし深海用ランプでは上記のように機械的に弱い方法とはとれないため、ステムを使用せずに、直接外管バルブの切断面と外管保持用金型ベースを封着し、電力導入線の絶縁は金型ベースの中に絶縁剤を充てんすることによって解決した。接着剤は、接着強度が大きく、かつはっ(撥)水性でなくてはならないので、慎重な選択を要する。

4.3 耐圧試験およびランプ特性

耐圧試験は図 4.5 に示すような試験用タンク内にランプを入れて実験した。 300 kg/cm^2 まで水圧が上昇するのに約 3 分要する。まず、バルブのみの耐圧試験を行なったが、その結果は表 4.2 のようになった。○印のあるものは 530 kg/cm^2 で 530 kg/cm^2 で 15~20 分間の圧力に耐え、×印はそれ以下で破壊した。なお、62φ で、肉厚 5 mm のバルブについては 360 kg/cm^2 の水圧下で 200 時間以上の試験に耐えた。上記実験値と考察で示した推論値を考えあわせて、肉厚は 5 mm あれば 300 kg/cm^2 の水圧に耐えらるゝと考えられるが、より安全を求めて仕様では肉厚を 6~8 mm にすることにした。

次に完全なランプの形にして耐圧試験を行なったが、 450 kg/cm^2 で 200 時間以上の圧力に耐えた。なお、前記したごとく、接着剤の選定および接着法には十分注意する必要がある、それを誤ると数時間でガラスにひずみが入って破壊することがある。実際には万一の浸水、あるいは破壊に備えて検出極を設けるべきである。

ランプ特性として主として問題になるのは 3,000 m の深海では水温

表 4.2 耐圧試験結果
Results of pressure test.

外 径 mm	57			62	72
肉 厚 mm	3	5	7	5	3.5
300 kg/cm ² 以上の耐圧	×	○	○	○	×

○: 耐えたことを示す
×: 破壊したことを示す

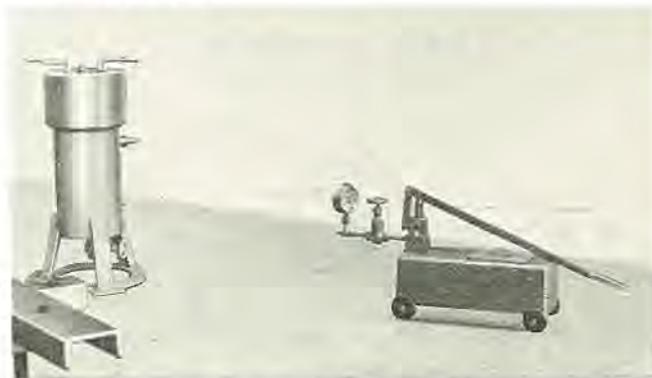


図 4.5 高圧試験タンク
A tank for high pressure test.



図 4.6 深海用ランプ
A deep-sea lamp.

が 10°C 以下と推定されるので、それによってランプが冷やされ、ランプ電圧が正規の値に達しなくなるということである。メタルハライドランプの場合、ランプ電圧が低すぎるとその効果を十分に発揮できない。図 4.5 に空気中で点灯した場合と水中(7.5°C)で点灯した場合のランプ電圧の変化の 1 例を示す。水中ではだいたい 10~15V ぐらい低下すると考えられる。したがって深海用ランプの発光管は空気中で、定格ランプ電圧より 10~15V ぐらい高くなるようにあらかじめ設計しておく必要がある。なお、ランプの完成を図 4.6 に示す。

5. 安全装置の設計

海中においてランプの破損などにより充電部が露出されると、アクアノートが電撃の危険にさらされるばかりでなく、そのまま放置されるとリード線、安定器などが電気分解により損傷されることになる。これを防止するためには、なんらかの安全装置が必要であり、その設計のための実験をした。放電灯の場合ランプの電極が塩水に浸った状態、つまり短絡のさいにおいても安定器があるため電流は始動時と同程度しか流れず、正常時と異状時との電流変化による異状検出は不可能である。そこでランプ電極のほかに、もう 1 本の電極を取付けることにより異状事態を検知することとした(以下この電極を検出極とよぶ)。図 5.1 に示す回路により次に記す事項を調べたものである。

(a) ランプの検出極のみに電圧を印加した状態で空気中および塩水での検出極、共通極間の電圧、電流を調べる。

(b) 安定器のみに定格入力電圧を印加し電極間の電圧、電流を

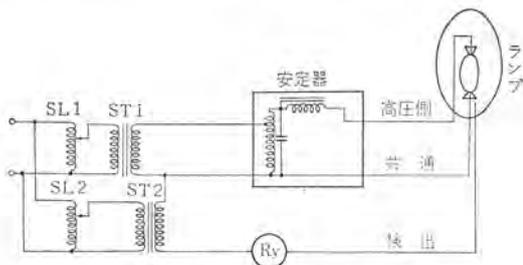


図 5.1 安全装置試験回路
Test circuit of protective device.

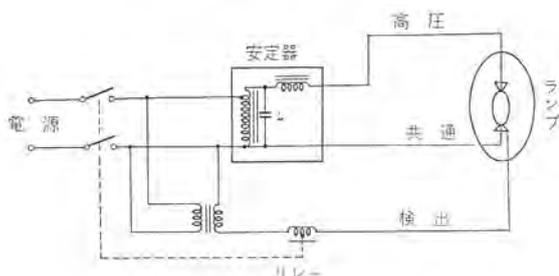


図 5.2 照明装置結線
Light system circuit diagram.

調べる。

(c) 安定器、検出極双方に定格電圧を印加した状態の電極相互間の電圧、電流を調べる。この結果を表 5.1, 5.2, 5.3 に示し、その考察についてのべる。

(a) 24V リレー

検出極と共通極間のみ電圧を印加した場合は、極間での電圧降下は海水中で最大 3V に満たずリレー定格電圧の約 12% であった。しかし同時にランプ主極間にも定格電圧を印加した場合は、6.5V とリレー電圧の約 27% の電圧降下を生ずる。

また塩水濃度が高くなれば極間電圧は低下することが確認されているが、海水濃度の変化は極小であると思われるので、やはり電圧降下は 6V 程度と考えられる。リレー動作特性は最小動作電圧が定格値に対して 80% 以下となっているが、後述するように ST2 の極性により 60% 程度の電圧しかリレーに印加されない場合もあり、安定

表 5.1 検出極—共通極間の電圧、電流
Relation between voltage and current of detector and common electrode.

塩水濃度 %	100V リレー		24V リレー	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
3	1.9	0.036	/	/
海水	1.9	0.036	2.9	0.082
4	1.8	0.037	/	/
5	1.6	0.036	2.2	0.085
空気中短絡	0	0.037	0	0.090

表 5.2 高圧側—共通極間の電圧、電流
Relation between voltage and current of high voltage and common electrode.

塩水濃度 %	100V リレー		24V リレー	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
3	16.0	5.80	/	/
海水	13.0	5.95	14.0	5.90
4	13.0	6.00	/	/
5	9.6	6.00	9.6	5.90
空気中短絡	0	6.00	/	/

表 5.3 安定器、検出極双方に定格電圧を印加した場合
Impressed rated voltage to both ballast and detector electrode.

塩水濃度 %	100V リレー		24V リレー	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
3	9.0	0.030	/	/
海水	7.0	0.040	6.5	0.118
4	6.5	0.043	/	/
5	4.7	0.042	4.4	0.114
空気中短絡	0	0.037	/	/
ST2 を接続純海水	7.5	0.029	11.0	0.045

した動作を保証するのは困難と思われる。

(b) 100 V リレー

検出極と共通極間のみ電圧を印加した場合は最大2 V程度で、リレー定格電圧の2%であり、3極同時に印加した場合でも定格電圧の7%しか電圧降下はない。ST2の極性をかえてもリレー電圧は定格の7%しか降下せず安定動作が得られると思われる。

(c) 極性効果

ST2の接続を順と逆にした場合、共通極側の線が安定器回路、検出回路とも共通となっているため極性効果があらわれてくる。すなわち安定器回路と検出回路が同特性の場合にはST2の逆接続に相当し、100 V リレー、24 V リレー おのおのでは93 V、15 Vの電圧となる。この結果から見て、現在のランプでは極出力と共通極の間の電圧降下はかなりあり、かつ検出極に接続されたリレー動作電圧を低くすると極性効果が顕著にあらわれてくる。これより極性をあまり考慮する必要のない100 V回路とすることが望ましい。照明装置



図 6.1 深海用照明装置 (光源, 照明器具および安定器)
Undersea projector system (light source, luminaire, ballast).

結線を図 5.2 に示す。

6. 照明装置の試作

前述の各種の検討と試験の結果、図 6.1 に示す照明装置を完成した。

7. む す び

海洋における照明の研究は他の分野の照明に比較して、初歩的段階にあるので、従来この種の基礎的資料はほとんどなかったといえる。今回開発の深海用照明装置は、この分野の解明に資することになると同時に海洋開発の推進に大きな役割を果すことと思われる。最後にこの開発において終始ご指導を賜った伊賀委員長をはじめとする委員会委員各位ならびに財団法人日本舶用機器開発協会の諸氏に対して深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 小堀：海洋照明に関する諸問題，照明学会雑誌 54, No. 9, P. 4 (昭45)
- (2) (財)日本舶用機器開発協会：深海用照明装置の開発事業報告書 (昭和46年3月)
- (3) 三菱電機技報 45, No. 8, 1971 ハイライト および表紙4 カラー写真
- (4) 小堀：深海へ挑む海洋照明装置, Ocean age 2, No. 11, 1970, P. 78
- (5) 日本工業規格：光源の演色性評価方法 JIS Z 8726-1967

埋込み下面カバーつきけい光灯器具の温度上昇についての考察

石井 重行*

Study of Temperature Rise in Ceiling Recessed Fluorescent Luminaires with Shielding

Ofuna Works Shigeyuki ISHII

There have been numbers of failure due to overheating with fluorescent luminaires set up in the recess of ceiling with a Shielding. A method to estimate the temperature of the inner atmosphere and the lowest point of the lamp tube wall by calculation is suggested and a convenient equation is worked out regarding discharging heat particularly from the surface of the lighting fixture through convection and ventilation.

In the article are shown calculation examples on a model and general apparatus. As for the model an experiment was conducted to compare the calculated value and the experiment value. Also various points which need further study in connection with the calculation are indicated.

1. ま え が き

けい光灯器具の過熱事故の原因をみると、大半は温度上昇についての検討を無視した不用意な使用条件によるものである。たとえばランプ、安定器等を個別買いて、これを無計画に組み込んだ照明器具や、過熱の心配から換気穴は設けたがその設け方が不適当なものなどを使用したために、ランプその他の電気部品が過熱事故を起こした例など、枚挙のいとまもない。

けい光ランプはルミネセンスを利用したものだけに、光源自体の温度が低いことが使用者に熱をあまり発生しないものであるかのような錯覚をもたせるが、すべてのエネルギーは最終的に熱に変わることで、またけい光ランプのような低温発熱体はエネルギー変換の形がその周囲空気を熱する要素の大きいものであり、一方けい光ランプ自体は周囲温度に敏感に影響されることを知っていれば、温度上昇についての検討が他の光源より重要であることが理解されよう。

けい光灯器具の温度上昇のメカニズムはかなり複雑であるが、これらができるだけ象徴化して手近に得られる資料による検討を可能にしたいと考えていたところ、今回、この点について改めて検討する機会を得たので、その経過を報告する。

2. 理 論 式

熱は伝導、対流、ふく射の三つの形で移動する。これを図2.1に断面を示すような使用状態の天井埋込けい光灯器具について器具からの熱発散の形として考えたときは、天井内へはいる分として照明器具外表面から天井内空気への伝達と換気穴からの対流による排出、室内へはいる分としてカバー外表面から室内空気への伝達と光としてカバーを透過したふく射とになる。

まず、伝達により天井内、室内にはいる全熱量を(q_D)とすると

$$q_D = \sum \alpha_s \cdot A (t_s - t_0) \quad (\text{kcal/h}) \quad (2.1)$$

α_s : 各外表面の熱伝達率 ($\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg}$) (表2.1参照)⁽¹⁾

A : 各外表面積 (m^2)

t_s : 各外表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)

t_0 : 各外表面が対する周囲の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

つぎに、換気穴からの対流による排出量(q_r)は

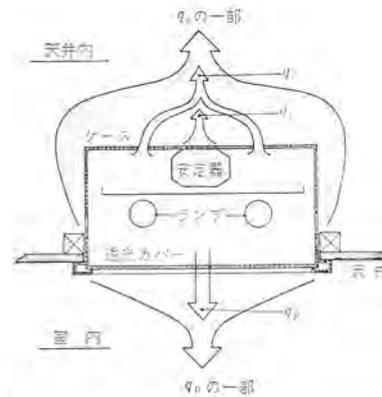


図2.1 天井埋込形けい光灯器具の熱発散
Heat-diffusion of ceiling recessed fluorescent luminaire.

$$q_r = C_P \cdot Q (t_2 - t_0) \quad (\text{kcal/h}) \quad (2.2)$$

C_P : 空気の定圧比熱 ($0.24 \text{ kcal/kg} \cdot \text{deg}$)

Q : 換気穴からの排気量 (kg/h)

t_2 : 排出された空気温度 (=器具内温度とする)

$$Q = 3600 \sum \gamma_i \cdot \bar{v}_r \cdot A_r \quad (2.3)$$

γ_i : 排気される空気の比重量 (kg/m^3)

\bar{v}_r : 個々の排気用換気穴の平均風速 (m/s)

A_r : 個々の排気用換気穴の開口面積 (m^2)

無風時の自然換気の式として

$$P_r = P_m + (\gamma_0 - \gamma_i) h \quad (2.4)^{(2)}$$

P_r : 排気用換気穴部の圧力損失 (kg/m^2)

P_m : 給気用換気穴部の圧力損失 (kg/m^2)

γ_0 : 外気(この場合器具外)空気の比重量 (kg/m^3)

h : 給気用換気穴と排気用換気穴との高低差 (m)

一般に圧力損失は

$$\Delta P = \zeta \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (2.5)^{(2)}$$

ζ : 局部抵抗係数

g : 重力の加速度 (9.8 m/s^2)

個々の換気穴を通過する空気の平均速度および比重は給気用、排気用のそれぞれについては同一とすると式(2.3)から

表 2.1 静止空気に対する平面の熱伝達率 α および熱抵抗 R
Heat transfer coefficient α and heat resistance of plane
to still air.

α : kcal/h·m²·deg R : h·m² deg/kcal

A 静止空気に対する表面の熱伝達率							
表面の位置	熱流の方向	表面のふく射率					
		無反射 $\varepsilon=0.90$		反射 $\varepsilon=0.20$		反射 $\varepsilon=0.05$	
		α	R	α	R	α	R
静止空気							
水平	上 向	7.95	0.126	4.44	0.226	3.71	0.270
傾斜 45°	上 向	7.81	0.128	4.30	0.234	3.56	0.281
垂直	水 平	7.12	0.140	3.61	0.278	2.88	0.343
傾斜 45°	下 向	6.44	0.155	7.92	0.342	2.20	0.456
水平	下 向	5.27	0.190	1.81	0.555	1.07	0.965
流動空気							
6.7 m/s (冬季)	任意	29.3	0.034				
3.35 m/s (夏季)	任意	19.5	0.051				
B 各種表面の反射率およびふく射率ならびに空けきの有効ふく射率							
表 面	反 射 率 %	平 均 ふく射率 ε	空けきの有効ふく射率 E				
			ふく射率 ε の面と ふく射率 0.9 の面 との間の空けき	両面ともふく射率 ε の空けき			
光輝あるアルミはく	92~97	0.05	0.05	0.03			
アルミ板	80~95	0.12	0.12	0.06			
みがかれたアルミ被覆紙	73~85	0.20	0.20	0.11			
光輝あるメッキ鋼	70~80	0.25	0.24	0.15			
アルミペイント	30~70	0.50	0.47	0.35			
建築材料							
木, 紙, ガラス, 石 非金属ペイント	5~15	0.90	0.82	0.82			

$$\gamma_i \cdot \bar{v}_r \cdot \sum A_r = \gamma_0 \cdot \bar{v}_m \cdot \sum A_m \quad (2.6)$$

\bar{v}_m : 個々の給気用換気穴の平均風速 (m/s)

A_m : 個々の給気用換気穴の開口面積 (m²)

個々の換気穴はすべて局部抵抗係数が同一 (形状が同一等) として式 (2.5) と式 (2.6) とから

$$P_m = \frac{\gamma_i (\sum A_r)^2}{\gamma_0 \sum A_m} P_r$$

給気穴部では器具内圧力のほうが低いわけで、 P_m はマイナスである。式 (2.4) に代入して

$$P_r \left\{ 1 + \frac{\gamma_i (\sum A_r)^2}{\gamma_0 \sum A_m} \right\} = (\gamma_0 - \gamma_i) h$$

$$P_r = \frac{\gamma_0 (\gamma_0 - \gamma_i) h}{\gamma_0 + \gamma_i (\sum A_r / \sum A_m)^2}$$

または

$$\xi \frac{\bar{v}_r^2}{2g} \gamma_i = \frac{\gamma_0 (\gamma_0 - \gamma_i) h}{\gamma_0 + \gamma_i (\sum A_r / \sum A_m)^2}$$

$$\bar{v}_r = \sqrt{\xi \cdot \gamma_i \left\{ \frac{\gamma_0 (\gamma_0 - \gamma_i) h}{\gamma_0 + \gamma_i (\sum A_r / \sum A_m)^2} \right\}} \quad (2.7)$$

式 (2.3) に代入して

$$Q = 3600 \sum A_r \sqrt{\frac{2g \cdot h \cdot \gamma_0 \cdot \gamma_i (\gamma_0 - \gamma_i)}{\xi \{ \gamma_0 + \gamma_i (\sum A_r / \sum A_m)^2 \}}} \quad (2.8)$$

式 (2.2) に代入して

$$q_v = 864 \sum A_r (t_i - t_0) \sqrt{\frac{2g \cdot h \cdot \gamma_0 \cdot \gamma_i (\gamma_0 - \gamma_i)}{\xi \{ \gamma_0 + \gamma_i (\sum A_r / \sum A_m)^2 \}}} \quad (2.9)$$

最後に、光としてカバーを透過して室内に入る熱量 (q_F) は、

$$q_F = q_L \cdot \eta_L \cdot f_L \quad (\text{kcal/h}) \quad (2.10)$$

q_L : 全ランプ入力 (kcal/h)

η_L : ランプにおいて光に変換される率

f_L : 器具効率

$$q_L + q_B = q_D + q_V + q_F \quad (2.11)$$

q_B : 安定器の発生熱量 (kcal/h)

q_D について、器具外表面に至る経路を分析してみると、ランプから光としてふく射されたもののうち、各外表面の裏側にあたる内表面で吸収されたもの (これを q_{Li} とする) 安定器に接した面から直接熱を受取るもの (q_{Ba} とする) およびその他器具内空間を経て内表面に至るもの (q_{Di} とする) に分けられる。すなわち

$$q_D = \sum q_{Li} + q_{Ba} + \sum q_{Di} \quad (2.12)$$

q_{Di} は器具内空気から各内表面に伝達され、伝導により外表面に至り、さらに周囲空気に伝達されるという3段階を踏むが、 q_{Li}, q_{Ba} はこの最初の伝達がなく直接伝導からはじまる。これらを式にまとめると、

$$q_{Di} = \frac{A \cdot \Delta t_D}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (2.13)$$

α_i : 各内表面への熱伝達率 (kcal/m²·h·deg) (表 2.1)

λ : 各隔壁の熱伝導率 (kcal/m·h·deg)

d : 各隔壁の厚さ (m)

Δt_0 : ($t_i - t_0$) のうち q_{Di} による分 (deg)

$$q_{Li} = \frac{A \cdot \Delta t_L}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (2.14)$$

Δt_L : t_0 に対する各内表面の温度上昇のうち q_{Li} による分 (deg)

$$q_{Ba} = \frac{A_{Ba} (t_B - t_0)}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (2.15)$$

A_{Ba} : 安定器表面のうち、器具内表面に接する部分の面積 (m²)

t_B : 安定器表面温度 (°C)

($t_B - t_0$) は簡略計算の値として 50 deg⁽¹⁾ を採用してもよい。

器具内表面のうち、光を受取る部分については単位面積あたりが吸収する q_{Li} は等しいとすると

$$q_{Li} = \frac{A_P \cdot q_L \cdot \eta_L (1 - f_L)}{\sum A} \quad (2.16)$$

A_P : 各内表面のうち、光を受取る部分の面積 [m²]

$$\Delta t_D + \Delta t_L = t_i - t_0 \quad (2.17)$$

式 (2.13), (2.14), (2.16), (2.17) から

$$q_{Di} + q_{Li} = K \left\{ A (t_i - t_0) + \frac{A_P \cdot q_L \cdot \eta_L (1 - f_L)}{\alpha_s \cdot \sum A} \right\} \quad (2.18)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}}$$

器具内温度 (t_i) はこの式 (2.18) で ($q_{Di} + q_{Li}$) を求め、式 (2.12) にこれを用いて q_D を求め、一方同じ t_i を用いて式 (2.9) より q_V を求め、これら q_D, q_V を用いて式 (2.11) が成立するような t_i として定められる。

各外表面温度 (t_s) はこのときの ($q_{Di} + q_{Li}$) から

$$t_s = \frac{q_{Di} + q_{Li}}{\alpha_s \cdot A} + t_0 \quad (2.19)$$

各内表面温度 (t_0 とする) は同様に

$$t_0 = \frac{d (q_{Di} + q_{Li})}{\lambda \cdot A} + t_s = \left(\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s} \right) \left(\frac{q_{Di} + q_{Li}}{A} \right) + t_0 \quad (2.20)$$

ランプの管壁最低点温度 (t_L) はランプ入力, ランプにおいて光に変換される率, および陰極部分で消費される率 (η_N とする) が判明すれば, その他の熱は ランプフィラメント間で平均して発生するとして, t_i を周囲温度と見なすとき

$$t_L = \frac{q_L(1-\eta_L-\eta_N)}{\alpha_L \cdot A_L} + t_i \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

α_L : ランプ管壁からの平均熱伝達率 (kcal/m²·deg·h)

A_L : 相当部分の管壁面積 (m²)

α_L は管径, 周囲温度との差により異なる値となるが, FL 40 S で常温 (周囲温度との差約 20 deg) のとき約 11 kcal/m²·deg·h⁽⁵⁾ をとる。 A_L は同じランプで約 0.112 m² である。

3. 理論式を用いた計算例

ランプ自体の周囲温度に対する入力の変化は 図 3. 1⁽⁶⁾ に示す傾向であり, かつエネルギー変換率は周囲温度にかかわらず 図 3. 2⁽⁷⁾ に示す値という条件下に, 器具内温度およびランプ管壁温度を計算した例を以下に示す。

3.1 モデルの計算

図 3. 3 に断面を示す 40 W 3 灯けい光灯具 (安定器別置のもの)。ケース部分の全長 1,248 m, カバーわく部の全長 1,286 m, 器具効率 56.6%, 周囲温度一律 27°C とする。

3.1.1 換気穴なしの場合

式(2.11)はこの場合

$$q_L = q_D + q_F \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

q_L は当初 103.2 kcal/h (3×40 W×0.86 kcal/W·h) として計算する。

$$\eta_L = 0.22$$

$$f_L = 0.566$$

から

$$q_F = 12.9 \text{ kcal/h} \quad \text{式 (2.10)}$$

$$q_D = 90.3 \text{ kcal/h} \quad \text{式 (3.1)}$$

以下, 上面・側面・下面に分けて計算する。個々の値と計算結果を表 3. 1 に示す。

この計算で前記 q_D の値を満たすように抽出された t_i によりランプ入力 (q_L) を 図 3. 1 により修正してふたたび計算をくり返す。 q_L の変化は 図 3. 1 に示すように, t_i の 40~50°C 範囲で 1 deg あたり 0.3% 程度であるから, t_i について希望する精度に基づいて適当な所で計算を打切る。この結果を表 3. 2 に示す。

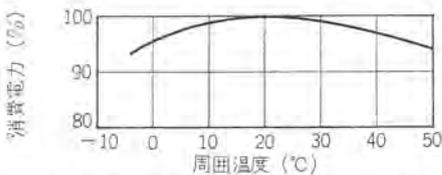


図 3.1 周囲温度とけい光ランプ電力 (FL 40 S の場合)

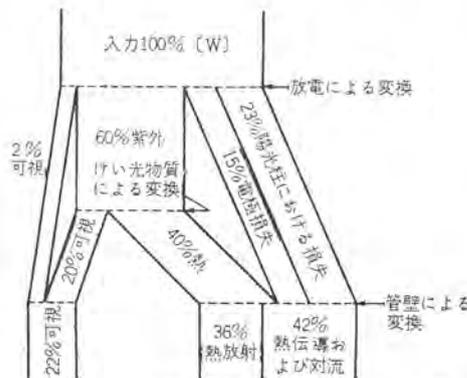


図 3.2 けい光ランプにおけるエネルギー変換の一例

ランプ管壁最低点温度は

$$\alpha_L = 11 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{deg} \cdot \text{h}$$

$$A_L = 0.112 \text{ m}^2 \times 3$$

$$q_L = 100.3 \text{ kcal/h}$$

$$\eta_N = 0.15$$

$$t_i = 40.4^\circ\text{C}$$

式 (2.21) にこれらの値を代入して

表 3.1 モデルの最初の計算
First calculation of model.

記号	単位	説明	提供値または計算値		
			上面	側面	下面
t_a	°C	外表面に対する周囲温度	27	27	27
$1/\alpha_s$	m ² ·h·deg/kcal	外表面の熱伝導抵抗 (注)1	0.126	0.140	0.190
d/λ	m ² ·h·deg/kcal	隔壁の熱伝導抵抗	0.217×10 ⁻⁴ (注)2	0.217×10 ⁻⁴	0.015 (注)3
$1/\alpha_i$	m ² ·h·deg/kcal	内表面の熱伝導抵抗 (注)1	0.126	0.140	0.190
$1/K$	m ² ·h·deg/kcal	$1/\alpha_s + d/\lambda + 1/\alpha_i$	0.252	0.280	0.395
A	m ²	表面積	0.467	0.843	0.530
ΣA	m ²	表面積合計		1.840	
A_p	m ²	光を受取る内表面積	0.467	0.843	0.530
t_i	°C	器具内温度		40.8	
q_{D+q_L}	kcal/h	各外表面から伝達される熱量	26.8	43.8	19.9
Σ	kcal/h	外表面から伝達される熱量合計		90.5	

- 注) 1. ふく射率 0.9 の数値を用いた。
2. 炭素含有比 0.5% 以下の銅の λ : 46 kcal/m·h·deg 両面の塗装の d/λ は無視した。
3. λ : 0.2 kcal/m·h·deg とした。

表 3.2 モデル (換気穴なし) の計算結果
Calculation result of model (ventless).

記号	単位	説明	提供値または計算値		
			上面	側面	下面
q_L	kcal/h	全ランプ入力			100.3
q_F	kcal/h	光として室内にはいる熱量			12.5
q_D	kcal/h	伝達により天井内, 室内にはいる全熱量			87.8
t_i	°C	表 3.1 参照			40.4
q_{D+q_L}	kcal/h	表 3.1 参照	26.0	42.6	19.3
Σ	kcal/h	表 3.1 参照			87.9
t_s	°C	各外表面温度	34.0	34.1	33.9
$t_s - t_a$	°C		7.0	7.1	6.9
t_c	°C	各内表面温度	34.0	34.1	34.4

注) 記入なき値は表 3.1 による

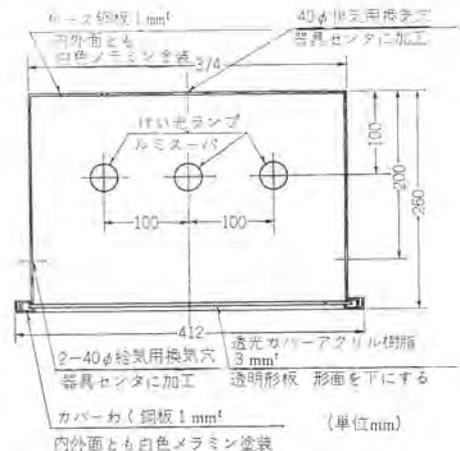


図 3.3 比較実験のためのけい光灯具
Fluorescent luminaire for comparative experiment.

Environmental temperature and fluorescent lamp input.

Example of energy conversion in fluorescent lamp.

$$t_L = \frac{100.3(1-0.22-0.15)}{11 \times 0.112 \times 3} + 40.4 = 57.5^\circ\text{C}$$

3. 1. 2 換気穴つきの場合

式 (2.11) はこの場合

$$q_L = q_D + q_V + q_F \dots \dots \dots (3.2)$$

当初表 3.2 で得た t_i を使用して式 (2.9) により仮の q_V を求める。

排気用換気穴は 0.04 mφ 1 個であるから

$$\begin{aligned} \sum A_r &= 12.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ t_i &= 40.4^\circ\text{C} \text{ より } \gamma_i = 1.107 \text{ kg/m}^3 \\ t_0 &= 27^\circ\text{C} \text{ より } \gamma_0 = 1.157 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ただし室内、器具内とも絶対温度 0.0105 kg/kg とする。

局部抵抗係数は、管入口と管出口との合計値として、 $\zeta = 1.5^{(8)}$

給気用換気穴は 0.04 mφ 2 個であるから

$$\begin{aligned} \sum A_r / \sum A_m &= 1/2 \\ g &= 9.8 \text{ m/s}^2 \\ h &= 0.2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore q_V &= \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 0.2 \times 1.157 \times 1.107 \times (1.157 - 1.107)}{1.5 \{1.157 + 1.107 \times (1/2)^2\}}} \times 864 \\ &\quad \times 12.6 \times 10^{-4} \times (40.4 - 27) \\ &= 5.0 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

式 (3.2) より $q_D = 82.8 \text{ kcal/h}$

この q_D を用いて、3. 1. 1 項で行なった計算をくり返すと、 q_V の分だけ低い t_i が求められる。この t_i を用いてふたたび q_V を求めると、 t_i が低くなり γ_i がその分大きくなっただけ小さい値となり、この q_V をもとに q_D を求めてふたたび t_i を求めると、最初に得た t_i よりも若干高い値が得られる。厳密にはさらにこれによるランプ入力の補正も含めて、この一連のくり返し計算を行なうことにより最終的にすべての関係を満足する t_i が求められるが、この結果を表 3.3 に示す。すなわち換気穴を設けたことにより器具内温度は 0.7 deg 下がっている。

このときの排気用換気穴の平均風速は式 (2.7) から

$$\begin{aligned} \bar{v}_r &= \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 0.2 \times 1.157 \times (1.157 - 1.110)}{1.5 \times 1.110 \times \{1.157 + 1.110 \times (1/2)^2\}}} \\ &= 0.299 \text{ m/s} \end{aligned}$$

排気量は式 (2.3) から

$$\begin{aligned} Q &= 3600 \times 1.110 \times 0.299 \times 12.6 \times 10^{-4} \\ &= 1.53 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

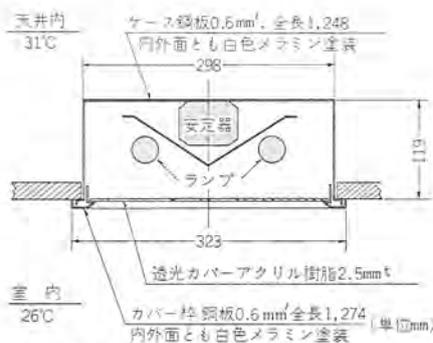


図 3.4 計算例のためのけい光器具
Fluorescent luminaire for calculating example.

ランプ管壁最低点温度は

$$t_L = \frac{100.6(1-0.22-0.15)}{11 \times 0.112 \times 3} + 39.7 = 56.8^\circ\text{C}$$

3. 2 一般器種への適用例

図 3.4 に断面を示す 40 W 2 灯けい光器具は 当社の FB-4702 D で、埋込み下面カバーつきのうちでは、ランプハウスの熱環境はむしろ良いほうに属するものである。換気穴はなく、器具効率は 60.4 % である。以下の計算に用いる安定器の電力損 20 W という値もごく一般的な値、図示の天井内、室内温度も標準的な良環境の値といえよう。

式 (2.11) はこの場合

$$q_L + q_B = q_D + q_F$$

q_L は当初 68.8 kcal/h として計算する。

表 3.3 モデル (換気穴つき) の計算結果
Calculation result of model (with vent).

記号	単位	説明	提供値または計算値		
			上面	側面	下面
q_L	kcal/h	表 3.2 参照	100.6		
q_F	kcal/h	表 3.2 参照	12.5		
q_V	kcal/h	換気穴より排出される熱量	4.5		
q_D	kcal/h	表 3.2 参照	83.6		
t_i	°C	表 3.1 参照	39.7		
γ_i	kg/m ³	器具内空気 <small>の比重</small>	1.110		
$q_{Di} + q_{Li}$	kcal/h	表 3.1 参照	24.7	40.4	18.4
Σ	kcal/h	表 3.1 参照	83.5		
t_s	°C	表 3.2 参照	33.7	33.7	33.6
$t_s - t_0$	°C		6.7	6.7	6.6
t_c	°C	表 3.2 参照	33.7	33.7	34.0

注) 記入なき値は表 3.1 による

表 3.4 一般器種の計算例
Calculation example of common luminaire.

記号	単位	説明	提供値または計算値		
			上面	側面	下面
q_L	kcal/h	全ランプ入力	65.5		
q_B	kcal/h	安定器電力損	17.2		
η_L		ランプにおいて光に変換される率	0.22		
f_L		器具効率	0.604		
q_{Fi}	kcal/h	光として室内にはいる熱量	8.7		
t_0	°C	外表面に対する周囲温度	31	31	26
q_D	kcal/h	伝達により天井内、室内にはいる全熱量	74.0		
q_{Fa}	kcal/h	安定器から直接表面が受取る熱量	5.6		
$1/\alpha_s$	m ² ·h·deg/kcal	表 3.1 参照	0.126	0.140	0.190
d/λ	m ² ·h·deg/kcal	表 3.1 参照	0.174×10^{-4}	0.174×10^{-4}	0.0125
$1/\alpha_i$	m ² ·h·deg/kcal	表 3.1 参照	0.126	0.140	0.190
$1/K$	m ² ·h·deg/kcal	表 3.1 参照	0.252	0.280	0.3925
A	m ²	表 3.1 参照	0.372	0.368	0.412
ΣA	m ²	表 3.1 参照	1.152		
A_p	m ²	表 3.1 参照	0	0.368	0.412
$q_{Di} + q_{Li}$	kcal/h	表 3.1 参照	23.6	21.9	23.0
Σ	kcal/h	表 3.1 参照	68.5		
t_s	°C	表 3.2 参照	39.0	39.3	36.6
t_c	°C	表 3.2 参照	39.0	39.3	37.3
t_L	°C	ランプ管壁最低点温度	63.7		

q_B は安定器電力損 20 W が、周囲温度・ランプ電流・電圧変化によって変化しないとして 17.2 kcal/h 一定。

$$q_F = 9.1 \text{ kcal/h}$$

q_D から式 (2.12) により $\sum q_{Li}$ と $\sum q_{Di}$ だけを取り出す。すなわち q_{Ba} は式 (2.15) から

$$A_{Ba} = 1.40 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$t_B - t_0 = 50 \text{ deg}$$

として

$$q_{Ba} = \frac{1.40 \times 10^{-2} \times 50}{0.000 + 0.126} = 5.6 \text{ kcal/h}$$

$$\begin{aligned} \sum q_{Li} + \sum q_{Di} &= q_L + q_B - q_F - q_{Ba} \\ &= 68.8 + 17.2 - 9.1 - 5.6 \\ &= 71.3 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

以下、この値を 3.1 節の当初の q_D と同様に扱って上面、側面、下面についてそれぞれ計算する。これにより抽出された t_i によりランプ入力 (q_L) を図 3.1 により修正して計算をくり返す。要領は 3.1 節と同じ。最終の諸値を表 3.4 に示す。この結果から下記諸点が注目される。

(1) 器具内温度 t_i は 47°C、ランプ管壁最低点温度 t_b は 64°C にもなっている。

(2) 器具の内外面温度差は鋼板部分では無視できる程度で、下面カバーでも 1 deg 以下である。

(3) この器具の天井内、室内への熱分配は、天井内へは q_{Ba} および上面・側面の $q_{Di} + q_{Li}$ の合計、室内へは q_F および下面の $q_{Di} + q_{Li}$ の合計をとって天井内 62%、室内 38% の比となる。

4. 比較のための実験

3.1 節で引用した 40 W 3 灯けい光灯具について、図 4.1 に示す各点温度および排気風速を測定した。測定場所は大船製作所内に新設された空調照明実験室で、供試器具はへやの中央に床からその下面まで 1.2 m の高さにつり下げられた。室温は、一方の壁面全体より吹出される室内空調用空気によりコントロールされ、測定期間中 27°C ± 1°C に保たれた。

測定器機

t_0, \bar{v}_r : 熱線式 6 点風速計 (日本科学工業(株)製)

t_e はレンジ 0 ~ 50°C, 最少刻み 1°C の等間隔目盛での読み

\bar{v}_r はレンジ 0 ~ 1 m/s, 最少刻み 0.01 m/s, 最少感知風速 0.05 m/s の固有間隔目盛での読み

その他の各点温度: 熱電対式 12 点記録温度計 ((株)横河電機製)

レンジ 0 ~ 150°C, 最少刻み 2°C 等間隔目盛

各測定点の内容

t_0 : 床上 1.2 m の室温 (°C, 以下同じ)

t_{Lc} : 中央ランプ中央下表面温度

t_{Ls} : 側部ランプ中央下表面温度

t_{iu} : ランプより 5 cm 上, 器具内側より 3 cm 離れた空間点の温度

t_{id} : ランプより 5 cm 下, 器具内側より 3 cm 離れた空間点の温度

t_e : 排気用換気穴出口の空間点温度

v_r : 排気用換気穴出口の空間点風速 (m/s)

t_{ia}, v_r は排気用換気穴外側中央に測定器の受感部を固定した。また t_{Lc}, t_{Ls} は熱電対受感部をランプ表面に水ガラスで固定した。

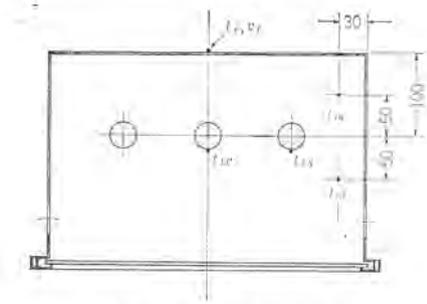


図 4.1 比較のための測定点
Measuring point for comparison

表 4.1 モデルの測定値
Measured data of model.

記号	換気穴	
	なし	あり
t_0	27.0	27.0
t_{Lc}	51.3	50.8
t_{Ls}	51.0	50.5
t_{iu}	41.2	40.4
t_{id}	37.8	37.6
t_e	—	41.3
v_r	—	0.24

結果を表 4.1 に示す。これを見ると t_{iu}, t_{id} は平均すると計算による t_i より 1 deg 程度低い程度であるが、 t_{Lc}, t_{Ls} は計算値よりだいぶ低い。 t_{id} を周囲温度と見なしても 13 deg 程度しか上っていない。また t_{iu} と t_{id} との間に約 3 deg も差が出ている。 t_e は t_{iu} よりも高温になっている。

v_r はこれを \bar{v}_r と見なしても計算値よりだいぶ低かった。 v_r を平均風速、 t_e を排気温度と見なして排気量 (Q) を式 (2.3)、排熱量 (q_r) を式 (2.2) から求めてみると

$$Q = 3600 \times 1.104 \times 0.24 \times 12.6 \times 10^{-4}$$

$$= 1.20 \text{ kg/h}$$

$$q_r = 0.24 \times 1.20 \times (41.3 - 27)$$

$$= 4.1 \text{ kcal/h}$$

5. 考 察

ランプ管壁温度が計算値より低い原因については、ランプ入力の減少についての精度ということが考えられる。他の文献⁽⁹⁾によればランプ入力に対する周囲温度の影響は図 3.1 に示すよりもはるかに大きく、管壁温度 50°C で 84% 程度 (図 3.1 では 97~98%) を示している。 t_{iu}, t_{id} が計算値より低い理由もこれによれば納得できる。

光出力は周囲温度に対し入力の減少以上に急激な落込みをする。埋込み下面カバー付きけい光灯具の効率の悪さもこの点に起因しているが、モデルの器具効率 56.6% の中にはすでにいくぶんかこの温度上昇による光出力の低下分を含んでいる。これを勘案すれば光として室内にはいる量は現在の計算値より増し、その分器具内・管壁温度とも下がることになる。

t_{iu} と t_{id} との間にかかなりの温度差があることは、当然かもしれないが注目される事実である。これでは器具表面温度は計算値のように上面のほうが低いということは起こり得まい。

t_e は、排気されてくる空気がランプ付近を通過したものであることを示し、それだけ換気の効果は大きいことになるが、一方 v_r が計算値より低いことで帳消しになってしまった。 \bar{v}_r の計算に引用し

たぐの値は再検討の要がある。銅板に丸穴を抜いた換気穴はいわゆるオリフィスであり、また一般のこの値は乱流域の値であろうが、この場合には層流域であろうから、なおモデルに用いた換気穴は、測定の便宜上40φとしたが、実用的な大きさは20φ以下である。40φ 1個は20φ 4個として運用してよいだろう。

以上中間報告の形になってしまったが、検討を進めるにつれて確認したいことが増してくる。今後も引続きこれらを明確にして行きたいと思う。

6. む す び

埋込みカバー付きけい光灯器具はこのような一般器種でこのように理想的な熱環境下にあっても、ランプ・安定器にとって悪環境といえる状態になるという事実を、あえて提示して、熱に関する検討を無視した器具設計がいかに無茶なものであるかについて一端の証明を試みたわけである。これにより埋込みカバー付きけい光灯器具の器具内温度の決定要素——入力、周囲温度、器具表面積、換気穴、器具効率——それぞれの器具内温度との関連が多少とも理解され

ば幸である。また、本来けい光灯のような低温発熱体を対象にする場合、換気自体は有効な除熱手段といえるが、それが単なる自然換気ではそれほど効果が期待できない印象を筆者のみならず大方の読者も受けられたことと思う。この点で、近來ようやくわが国にも普及しつつある空調形けい光灯器具は、きわめて大きな効果をもつものであることを付記しておきたい。

参 考 文 献

- (1), (2), (3), (8) 空気調和・衛生工学便覧, 253, 226, 404, 412, 413 (昭43), 空気調和・衛生工学会
- (4) 通商産業省公益事業局監修: 電気用品取締法関係法令集, 523 (昭45), 日本電気協会
- (5) 池沢: 熱交換器の計算と設計, 17 (昭45), 産業図書
- (6), (7) 照明学会編・照明のデータブック, 114, 109 (昭43), オーム社
- (9) IES Lighting Handbook 4th, 8-21 (1966)

非常用照明装置とその経済性の検討

森本 俊一*・狩野 雅夫*

Emergency Lighting Systems and Economic Study on Them

Ofuna Works Shunichi MORIMOTO・Masao KARINO

With drastic revision of standard architectural regulations, the installation of a series of emergency equipment including emergency lighting systems has become legal obligation from the viewpoint of safety in escaping in disaster. The arrangements are intended to let the inhabitants get out of danger in such contingency as a fire even when electric power supplies are cut off.

Herein is discussed economy of the installations of emergency lighting systems among the equipment based on the assumption of the kind, circuit, composition and features of them in general use.

1. ま え が き

建築基準法の大幅な改正にともない、非常時における避難の安全性という面から、非常用照明装置、排煙設備、非常用エレベータ等の設備の設置が義務づけられた⁽¹⁾。これらの設備のうち非常用照明装置については、各方面で検討が加えられ、すでに刊行物として紹介されている。

ここでは、この非常用照明装置の実際とその経済性について検討を加えることとする。経済性を論ずる場合、建築物の構造、規模、用途、程度、費用のきめ方等により大幅な差異が生ずる。この点、独自に想定したため実際と異なるかと思われるが、ご容赦願いたい。

2. 非常用照明装置

非常用照明装置は、一般電源が断れた場合に建築基準法で決められた規定の明るさを得るための装置で、非常用電源、電気配線、非常用照明器具の三つの部分から構成されている。これらの各部分については種々規定されているが、非常用電源の設置場所によって、電気配線、非常用照明器具が大きく変わり、価格面でもかなりの差がでてくる。

非常用電源を別置したときのブロック図を図 2.1 に、また非常用

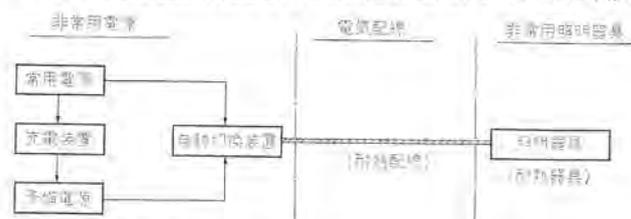


図 2.1 非常用電源別置形のブロック図
Block diagram of emergency light external power supply type.

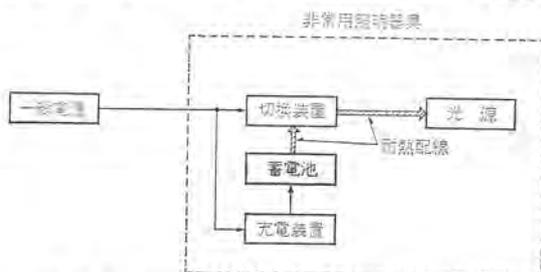


図 2.2 非常用電源（電池）内蔵形のブロック図
Block diagram of emergency light built-in battery type.

電源を照明器具に内蔵したときのブロック図を図 2.2 に示す。

これよりわかるように、非常用電源より非常用照明器具にいたる電気配線で耐熱配線の特別工事を必要とするのは、電源別置方式であり、電源内蔵方式にあっては、器具内部の非常用回路のみ耐熱配線をすればよく、途中の電気配線は一般の照明器具とほとんど同じである。

別置形非常用電源として、起動性能のよい発電機が開発、販売されているが、ここでは蓄電池を予備電源とした方式について述べることにする。

3. 非常用電源装置の種類と回路構成

非常用電源の設置場所によって、仕様が大幅に変わることについてはすでに述べたが、非常時点灯する光源の種類によっても若干異なってくる。光源としては、けい光ランプ、白熱電球が考えられるが、けい光ランプは特殊ランプ（直流用ランプ）を除いて、交流で点灯させる必要があるのに対し、白熱電球は交流・直流いづれでも点灯可能である。このため非常灯としてけい光ランプを使用する場合には直流を交流に変換する装置（インバータ）が必要となる。

非常用電源別置方式のインバータは、直流を商用周波数（50 Hz または 60 Hz）に変換するのに対し、非常用電源内蔵方式のインバータでは、直流を約 20 kHz の高周波に変換し、けい光ランプを点灯させるための安定器も内蔵している。一方、白熱電球の場合には、このような変換装置を必要としないため、非常時には切換装置を介して直接蓄電池に接続される。非常用電源装置の種類を表 3.1 に示す。

表 3.1 非常用電源装置の種類
Power source of emergency lighting system.

非常用電源設置場所	光源の種類	電源装置の構成	電源装置出力	備 考
電源別置方式	けい光ランプ	蓄電池、インバータ、整流器、切換装置	交 流 50/60 Hz	非常灯多数を一括して点灯（一括式）
	白 熱 電 球	蓄電池、整流器、切換装置	直 流	非常灯多数を一括して点灯（一括式）
電源内蔵方式	けい光ランプ	蓄電池、インバータ、充電装置、切換装置	交 流 約 20 kHz	非常灯1台につき1個の電源装置で点灯（個別式）
	白 熱 電 球	蓄電池、充電装置、切換装置	直 流	非常灯1台につき1個の電源装置で点灯（個別式）

3.1 別置形けい光灯用電源装置

けい光灯用の非常用電源装置は、蓄電池とインバータの組合せとなる。この種の電源装置としては、従来より交流式無停電装置があるが、非常灯用としては、切換え時間が実際上問題とならないため切換え式が採用される。この方式の切換え時間は0.05~0.3秒程度で実用上支障ない。

別置形けい光灯用電源装置の系統の一例を図3.1に、またインバータ本体の回路例を図3.2に示す。

インバータの出力電圧波形はフィルタを介しているため、ひずみ率の少ない正弦波となる。一般にけい光ランプは電源の波形の影響を受けやすく、ひずみ率の大きい場合には、けい光ランプの点灯方式が

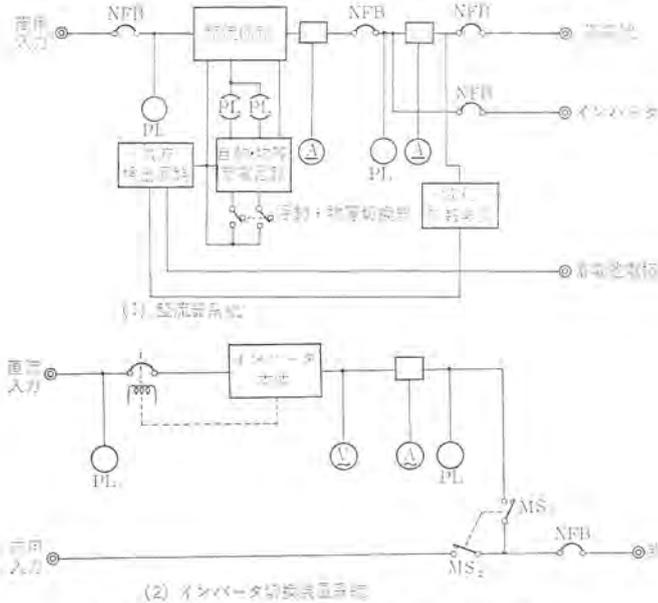


図 3.1 別置形けい光灯用非常用電源装置系統
Wiring system of fluorescent emergency light external power supply type.

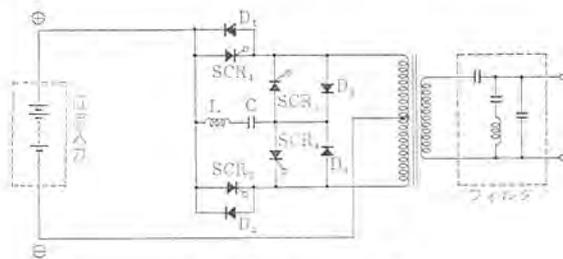


図 3.2 インバータ回路
Inverter circuit.

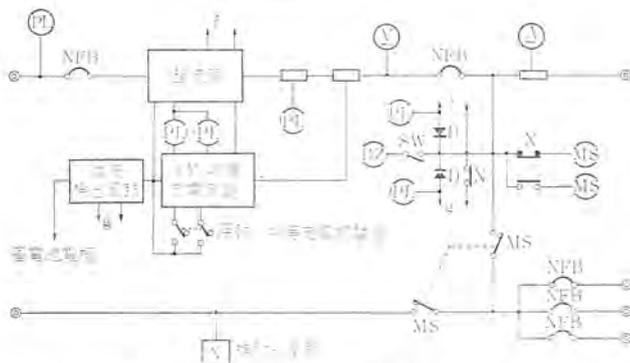


図 3.3 別置形白熱灯用電源装置系統
Wiring system of incandescent emergency light external power supply type.

制限される。建築基準法で規定されている低力率形の安定器を使用すると、波形ひずみの影響を受けにくく、ある程度のひずみがあっても明るさはほとんど変わらない。この装置には自動電圧調整回路 (AVR) が組込まれているため、出力電圧はほとんど一定に保たれる。このため非常灯の照度計算としては、配線による電圧降下のみを考慮すればよい。

3.2 別置形白熱灯用電源装置

白熱電球は、交流・直流いずれでも点灯可能なため、通常は商用周波数の一般電源で点灯し、非常時は切換え装置を介して直接蓄電池を接続する方式が採用される。このためけい光ランプの場合のようなインバータが必要なくなり、回路構成も簡単となる。系統の一例を図3.3に示す。

別置形白熱灯用電源装置では、出力電圧を一定に保つ回路 (AVR) をつけないため、非常点灯直後と30分後の電圧ではかなり差があり、30分後の電圧を何Vに設定するかが経済検討する上で大きな要素となってくる。白熱電球の電圧特性を図3.4に示すが、電圧の変化に対する光束の変化の割合が大きい。建築基準法で必要照度が決められているため、この電圧を低くするほど白熱電球の数が多くなる。経済検討するに際してはこの電圧を95Vとした。

3.3 内蔵形けい光灯用電源装置

内蔵形としては、電源装置を照明器具に収納するためスペースに制限があり、電池としては、一般に密閉形ニッケル、カドミウム蓄電池が、

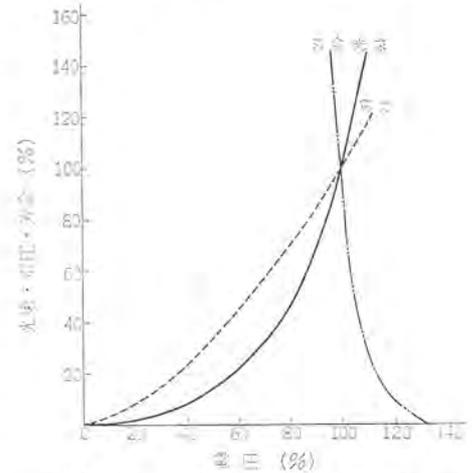


図 3.4 白熱電球の電圧特性
Voltage characteristics of incandescent lamp.

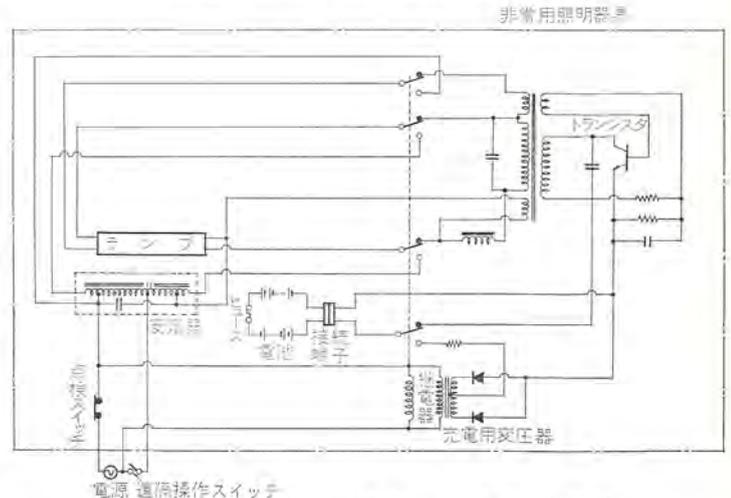


図 3.5 内蔵形けい光灯用電源装置回路
Circuit of fluorescent emergency light battery built-in type.

またインバータとしてはトランジスタインバータが使用されている。内蔵形けい光灯用電源装置の1例を図3.5に示す。

通常は、充電装置を介して蓄電池を充電しているが、一般電源が断たれると継電器が停電を検出し、蓄電池—インバータ—けい光ランプの順路で電力を供給する。停電から非常点灯に切換わるまでの時間は約3秒以内である。非常点灯時の周波数は約20kHzである。けい光ランプを20kHz程度の高周波で点灯すれば、ランプ効率が増加し、かつ安定器が小形となるうえに可聴域からはずれるため、騒音も聞こえなくなる。

現在一般に市販されている内蔵形けい光灯用電源装置は、けい光ランプの明るさを通常点灯の40~60%に減光している。照明器具のスペース、電池の種類、直列接続個数の制限、価格等に起因するものであり、今後この減光率が変わる可能性もある。

3.4 内蔵形白熱灯用電源装置

内蔵形白熱灯用電源装置に使用される電池も、けい光灯用と同じく密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池が普通である。一般に内蔵形の白熱灯非常用照明器具には通常時は消灯しており、非常時のみ点灯させる方法が用いられる。通常時点灯すると、白熱電球の熱で蓄電池の周囲温度が高くなり、電池の充電容量が減るため、高温になるほど充電効率が悪くなる。密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池の温度特性を図3.6に、また内蔵形白熱灯用電源装置の一例を図3.7に示す。通常時、非常時とも点灯するような内蔵形白熱灯非常用照明器具をつくる場合には、蓄電池の周囲温度に十分注意する必要がある。

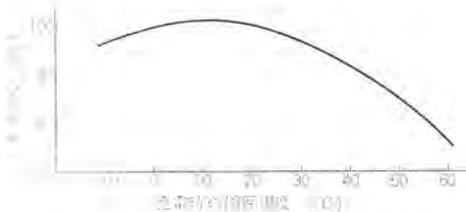


図 3.6 密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池の温度特性
Temperature characteristics of Ni-Cd battery.

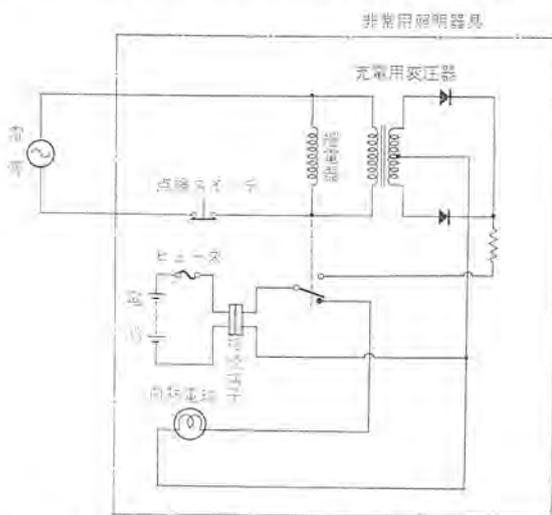


図 3.7 内蔵形白熱灯用電源装置回路
Circuit of incandescent emergency light battery built-in type

4. 別置形電源装置と内蔵形電源装置の比較

別置形非常用電源装置と内蔵形非常用電源装置を電気配線、照明器具も含めて比較すると表4.1のようになる。別置形、内蔵形い

表 4.1 別置形電源装置と内蔵形電源装置の比較
Comparison table of emergency light external power supply type and built-in battery type.

	電源装置	電気配線、電気工事	照明器具
別置形	<ul style="list-style-type: none"> ○電源室等の部屋を設ける必要がある(建築物の規模によっては2個所以上の場合も生じてくる) ○保守点検のひん度が多い ○比較的寿命が長い ○信頼性が高い ○他装置電源との共用が可能である(建築基準法による非常用照明装置の性能を満足している) ○建築物の構造、機能によっては総容量を低減することができる 	<ul style="list-style-type: none"> ○建築物の構造、材料等によっては配線方法がめんどうである ○配線材料が一般のものと異なり、特別の電線を必要とする 	<ul style="list-style-type: none"> ○低力率形の安定器しか使用できない ○器具の温度上昇は、一般の照明器具と同じであるため、意匠的にかなり広い範囲で避べる
内蔵形	<ul style="list-style-type: none"> ○安全性が高い ○故障した場合の交換が簡単である ○停電した場合でも非常点灯してしまう 	<ul style="list-style-type: none"> ○配線の規制を受けず、配線材料、配線方法は一般の照明器具とほとんど同じである ○途中の配線がしゃ断されても点灯可能である 	<ul style="list-style-type: none"> ○通常点灯回路に使用する安定器は、高力率形、低力率形いずれでもよい ○非常灯電池の周囲温度を極力低くするよう設計、設置注意する必要がある

れにも一長一短があり、実際に設置する場合には、建築物の規模、構造、材料等にとりまう経済性、他設備(排煙設備・非常用エレベータ等)の関連等を考慮し、決定するのが望ましい。

5. 非常用照明装置の経済比較における諸条件

非常用照明装置の経済比較をするのに際し、建築物、電源装置、照明器具、電気配線等の諸条件を次のようにした。

5.1 建築物

- (1) 建築物の用途 事務所ビル
- (2) 建築物敷地面積 500 m², 1,000 m², 2,000 m²
- (3) 電源別置形の電源室 地下1階
- (4) 建築物は不燃材料で構成されている

5.2 非常用照明器具

- (1) 電池内蔵形 KV-A₃-4002 R
けい光灯 40 W 2灯用, じか付け逆富士形
非常照明用 40 W 1灯
- (2) 電源別置形けい光灯用 KV-C₃-4102 R
けい光灯 40 W 2灯用, じか付け逆富士形
非常照明用 40 W 1灯
- (3) 電源別置形白熱灯用 KV-C₂-4202 R
けい光灯 40 W 2灯用, じか付け逆富士形
非常照明用 60 W 白熱灯組込

5.3 電源装置

- (1) 別置形けい光灯電源装置の出力電圧 100 V
- (2) 別置形白熱灯電源装置の出力電圧(30分後の蓄電池端子電圧) 95 V

表 5.1 建築物の規模
Scale of building.

建築延面積	2,000 m ²	4,000 m ²	8,000 m ²
階数	4	4	4
階高	3 m	3 m	3 m
天井高	1 m	1 m	1 m

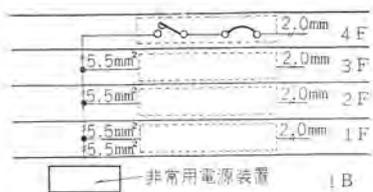


図 5.1 電源別置形配線系統
(延面積 2,000 m² けい光灯用)

Wiring system of fluorescent emergency light external power supply type (total floor space 2,000 m²).

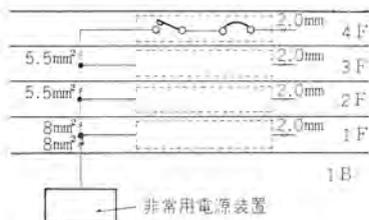


図 5.2 電源別置形配線系統
(延面積 2,000 m² 白熱灯用)

Wiring system of incandescent emergency light external power supply type (total floor space 2,000 m²).

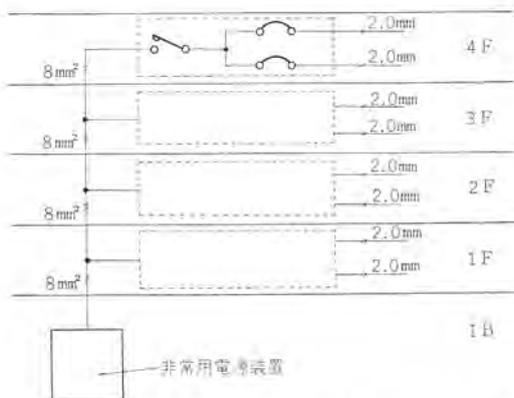


図 5.4 電源別置形配線系統 (延面積 8,000 m² けい光灯用)
Wiring system of fluorescent emergency light external power supply type (total floor space 8,000 m²).

(3) 電池内蔵形の電池は1回交換する。(5.5節(3)参照)

5.4 電気配線および配線工事

- (1) 幹線と分岐配線による電圧降下 5V以下
- (2) 配線工事は金属管工事

5.5 その他

- (1) 通常時の平均照度 500 lx
- (2) 一般照明器具 KV-4632 R
けい光灯 40 W 2灯用, じか付逆富士形
- (3) 計算期間は8年間とする

5.6 配線系統

延面積 2,000 m², 4,000 m², 8,000 m² における電源別置形の配線

表 5.2 電源内蔵形における資材一覧

Principal material list of emergency light built-in battery type.

照明器具 建物延面積	一般照明器具		非常用照明器具	
	形名	数量	形名	数量
2,000 m ²	KV-4632 R	344	KV-A ₃ -4002 R	36
4,000 m ²	KV-4632 R	648	KV-A ₃ -4002 R	72
8,000 m ²	KV-4632 R	1,480	KV-A ₃ -4002 R	120

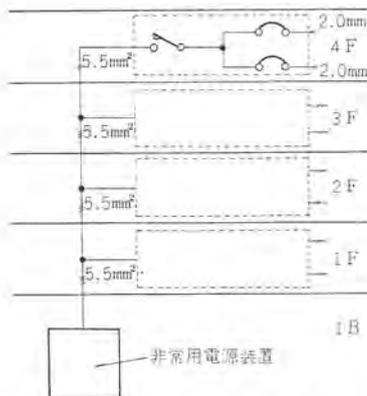


図 5.3 (a) 電源別置形配線系統
(延面積 4,000 m² けい光灯用)

Wiring system of fluorescent emergency light external power supply type (total floor space 4,000 m²).

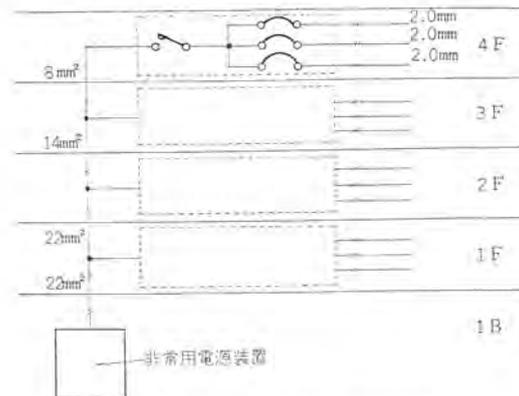


図 5.3 (b) 電源別置形配線系統
(延面積 4,000 m² 白熱灯用)

Wiring system of incandescent emergency light external power supply type (total floor space 4,000 m²).

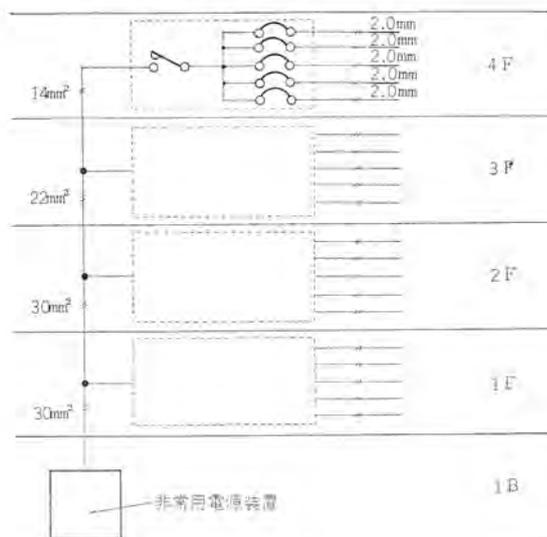


図 5.5 電源別置形配線系統 (延面積 8,000 m² 白熱灯用)
Wiring system of incandescent emergency light external power supply type (total floor space 8,000 m²).

表 5.3 電源別置形における資材一覧
(延面積 2,000 m²)

Principal material list of emergency light external power supply type (total floor space 2,000 m²).

項目 内容	けい光灯用		白熱灯用	
	種類	数量	種類	数量
一般照明器具	KV-4632 R	356	KV-4632 R	280
非常用照明器具	KV-C ₃ -4102 R	24	KV-C ₃ -4202 R	100
幹線配線	HIV 5.5 mm	78 m	HIV 8 mm ²	37
	電線管 (25) 同上付属品	27 m 1式	5.5 mm ² 電線管 (25) 同上付属品	18 27 m 1式
分岐配線	HIV 2.0 mm	570 m	HIV 2.0 mm	1,080 m
	電線管 (19) 同上付属品	270 m 1式	電線管 (19) 同上付属品	500 m 1式
	アウトレットボックス	24		100
分電盤	MgS 2P 20A×1 NFB 2P 50AF 20AT×1	4面	MgS 2P 20A×1 NFB 2P 50AF 20AT×1	4面
	電源装置	交流電源装置 (鉛蓄電池)	1式	直流電源装置 (鉛蓄電池)
雜材料		1式		1式
工事費		1式		1式

表 5.4 電源別置形における資材一覧 (延面積 4,000 m²)
Principal material list of emergency light external power supply type (total floor space 4,000 m²).

項目	けい光灯用		白熱灯用	
	種類	数量	種類	数量
一般照明器具	KV-4632 R	672	KV-4632 R	520
非常用照明器具	KV-C3-4102 R	48	KV-C3-4202 R	200
幹線配線	HIV 5.5 mm ²	78	HIV 22 mm ²	37
	電線管 (25)	27	電線管 (31)	9
	同上付属品	1 式	電線管 (25)	9
分岐配線	HIV 2.0 mm	1,230	HIV 2.0 mm	2,200
	電線管 (25)	40 m	電線管 (25)	155 m
	(19)	540 m	(19)	670 m
	同上付属品	1 式	同上付属品	1 式
分電盤	MgS 2P 35 A×1	4 面	MgS 2P 48 A×1	4 面
	NFB 2P 50 AF 20 AT×2		NFB 2P 50 AF 20 AT×3	
電源装置	交流電源装置 (鉛蓄電池)	1 式	直流電源装置 (鉛蓄電池)	1 式
雑材料		1 式		1 式
工事費		1 式		1 式

表 5.5 電源別置形における資材一覧 (延面積 8,000 m²)
Principal material list of emergency light external power supply type (total floor space 8,000 m²).

項目	けい光灯用		白熱灯用	
	種類	数量	種類	数量
一般照明器具	KV-4632 R	1,520	KV-4632 R	1,200
非常用照明器具	KV-C3-4102 R	80	KV-C3-4202 R	400
幹線配線	HIV 8 mm ²	78 m	HIV 30 mm ²	37
	電線管 (25)	27 m	22 mm ²	9
			14 mm ²	9
分岐配線	HIV 2.0 mm	2,200 m	HIV 2.0	5,200 m
	電線管 (25)	87 m	(31)	85 m
	(19)	870 m	(25)	67 m
	同上付属品	1 式	(19)	1,970 m
分電盤	MgS 2P 48 A×1	4 面	MgS 2P 100 A×1	4 面
	NFB 50 AF 20 AT×2		NFB 50 AF 20 AT×5	
電源装置	交流電源装置 (鉛蓄電池)	1 式	直流電源装置 (鉛蓄電池)	1 式
雑材料		1 式		1 式
工事費		1 式		1 式

系統を図 5.1~5.5 に示す。

5.7 所要資材一覧

電池内蔵形の場合の所要資材一覧を表 5.2 に、また電源別置の場合の一覧を表 5.3~5.5 に示す。

6. 経済性の検討

照明設備に要する費用は大きくわけると初設備費、固定費および運転費となる。このうち初設備費に入るものは、照明器具費用、電源装置、配線、取付工事費であり、運転費は保守費と電力費がある⁽²⁾。ここでは初設備費と運転費について検討を加えた。

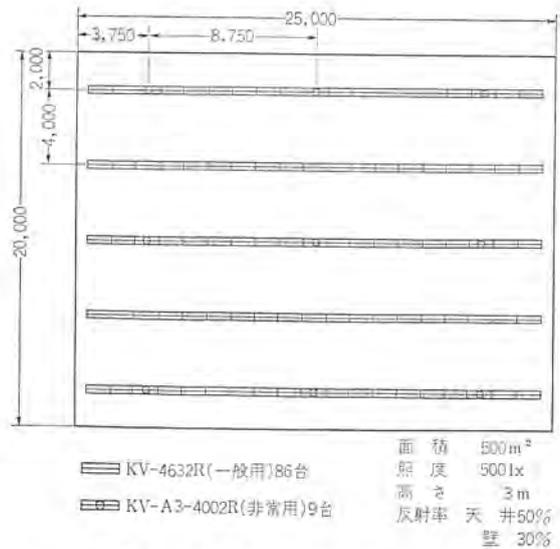


図 6.1 電池内蔵形けい光灯
Fluorescent emergency light built-in battery type.

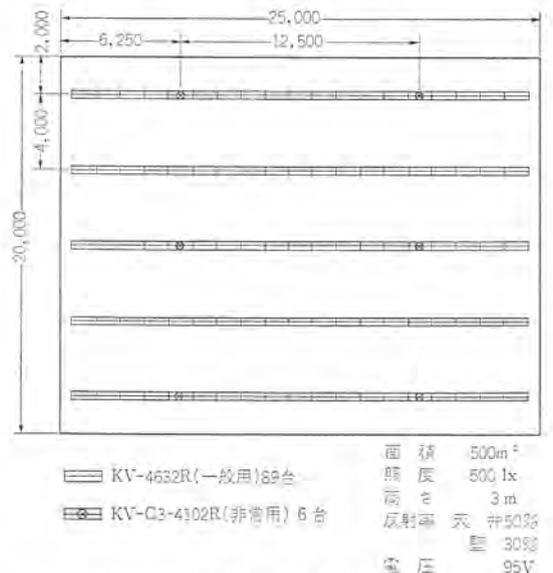


図 6.2 電源別置けい光灯
Fluorescent emergency light external power supply type.

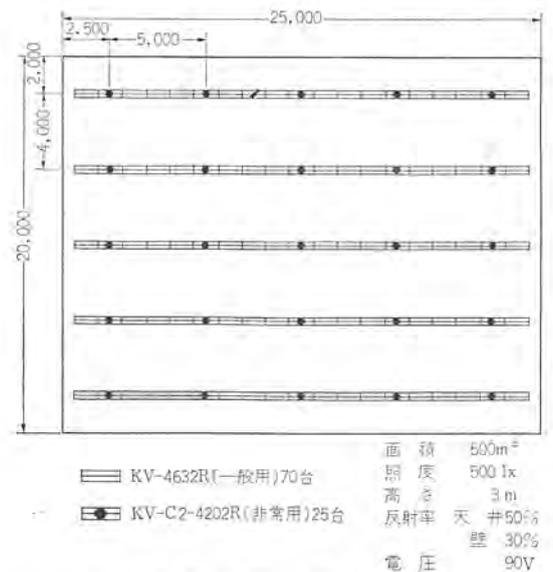
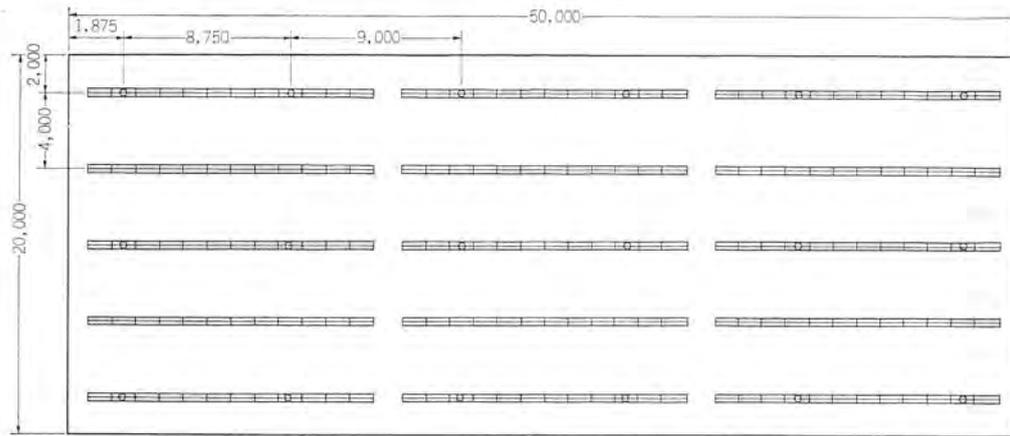


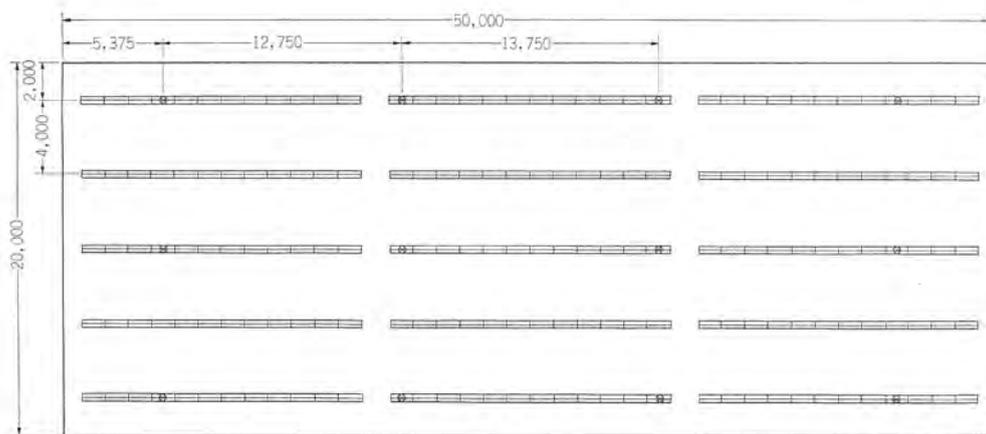
図 6.3 電源別置白熱灯
Incandescent emergency light external power supply type.



面積 1,000m²
 照度 500 lx
 高さ 3 m
 反射率 天井 50%
 壁 30%

□ KV-4632R(一般用)162台
 □ KV-A3-4002R(非常用)18台

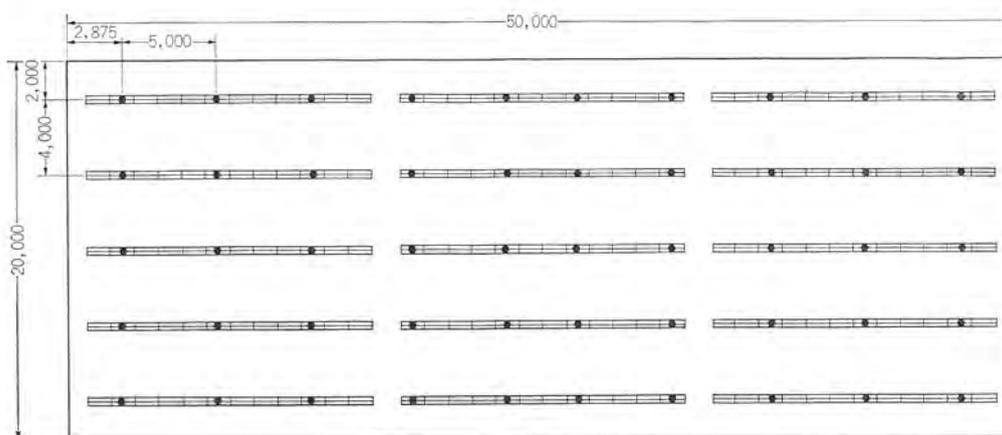
図 6.4 電池内蔵けい光灯 Fluorescent emergency light built-in battery type.



面積 1,000m²
 照度 500 lx
 高さ 3 m
 反射率 天井 50%
 壁 30%
 電圧 95V

□ KV-4632R(一般用)168台
 □ KV-C3-4102R(非常用)12台

図 6.5 電源別置けい光灯 Fluorescent emergency light external power supply type.



面積 1,000m²
 照度 500 lx
 高さ 3 m
 反射率 天井 50%
 壁 30%
 電圧 90V

□ KV-4632R(一般用)130台
 □ KV-C2-4202R(非常用)50台

図 6.6 電源別置白熱灯 Incandescent emergency light external power supply type.

6.1 初設備費

(1) 照明器具費

非常用照明器具は、それ専用の器具の場合は器具価格をそのまま用いることができるが、一般照明と兼用で使われる場合には、非常用照明器具とそれと類似の一般照明器具の価格の差が非常灯としての価格になるわけである。しかし1台の器具の価格構成を非常灯部分と一般照明部分とに分けることは実際的ではないため、以下ではおのおのの器具の正価をそのまま使用している。

2,000 m ² (500 m ² ×4)	電池内蔵けい光灯	59,000 円×36 台
	一般照明器具	5,830 円×344 台
	電源別置けい光灯	7,490 円×24 台
	一般照明器具	5,830 円×356 台
	電源別置白熱灯	6,830 円×100 台

4,000 m²(1,000 m²×4)

8,000 m²(2,000 m²×4)

一般照明器具	5,830 円×280 台
電池内蔵けい光灯	59,000 円×72 台
一般照明器具	5,830 円×648 台
電源別置けい光灯	7,490 円×48 台
一般照明器具	5,830 円×672 台
電源別置白熱灯	6,830 円×200 台
一般照明器具	5,830 円×520 台
電池内蔵けい光灯	59,000 円×120 台
一般照明器具	5,830 円×1,480 台
電源別置けい光灯	7,490 円×80 台
一般照明器具	5,830 円×1,520 台
電源別置白熱灯	6,830 円×400 台
一般照明器具	5,830 円×1,200 台

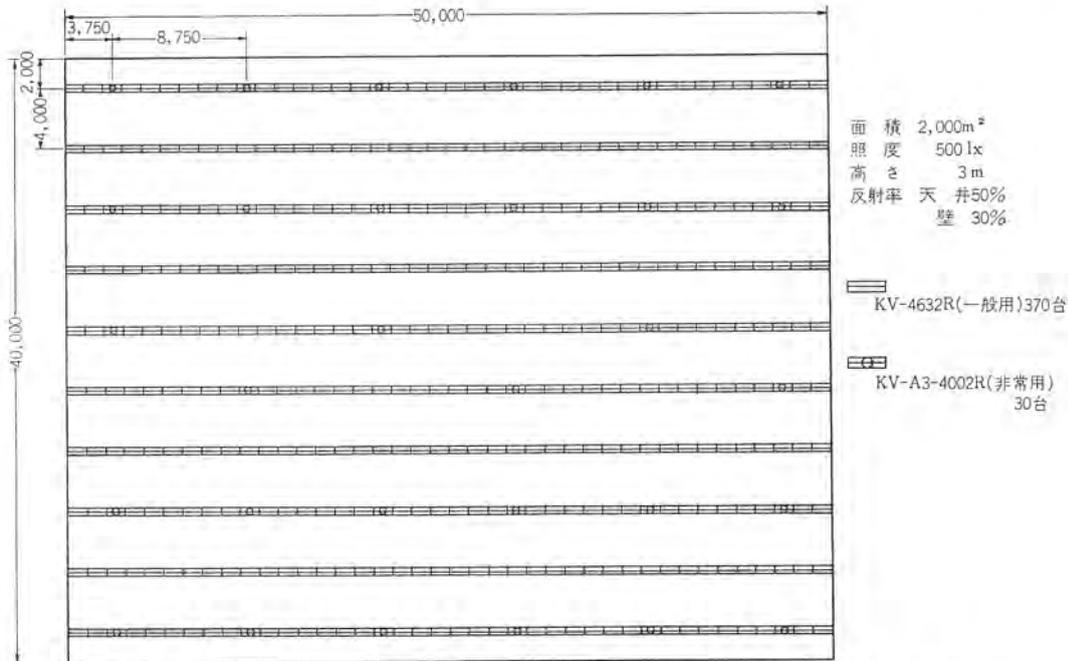


図 6.7 電池内蔵けい光灯 Fluorescent emergency light built-in battery type.

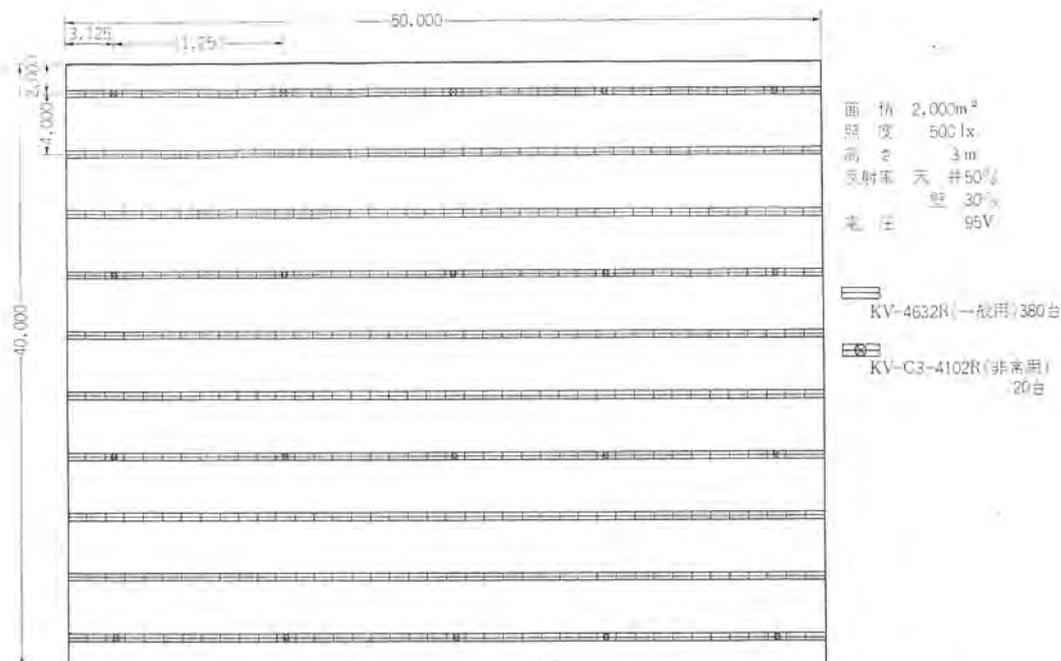


図 6.8 電源別置けい光灯 Fluorescent emergency light external power supply type.

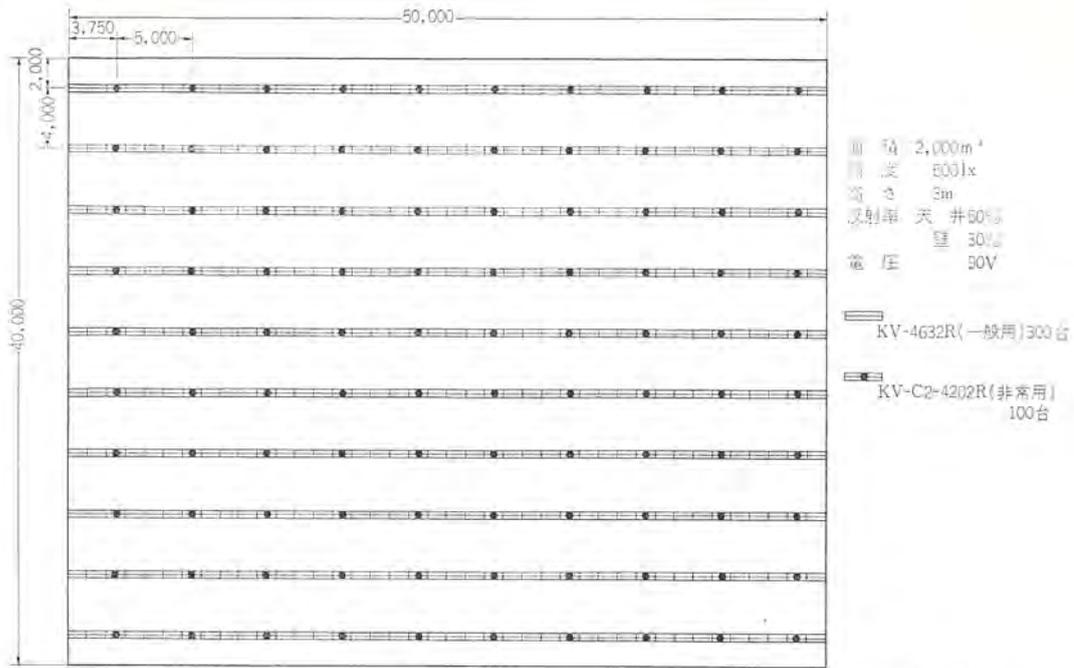


図 6.9 電源別置白熱灯 Incandescent emergency light external power supply type.

(2) 工事費, 電源費

工事費は取付費, 配線費をあわせたもので, 電源別置形では耐熱配線を行なったものとしている。

電源では, 電池内蔵形では器具ごとに含まれているのでりとし, 別置形について鉛蓄電池を用いたものとしている。

6.2 運転費

運転費はランプ交換回数, バッテリ交換回数等が計算期間によって変化するので, ここでは計算期間を8年間と仮定した。

(1) ランプ交換費

けい光ランプは, 一般照明として使用されるため劣化があり交換する必要があるが, 白熱電球は非常時にのみ点灯のため交換の必要はない。

FLR 40 SW ランプ寿命	10,000 時間
8年間の点灯時間	3,000 時間×8年
ランプ交換回数	2回/8年(全数行なう)
けい光ランプ 価格	530 円/本
交換人件費 ⁽³⁾⁽⁴⁾	50 円/本

$(530 \text{ 円} + 50 \text{ 円}) \times 2 \text{ 本} \times 2 \text{ 回} = 2,320 \text{ 円/台/8年}$

(2) バッテリ 保守費

内蔵形 Ni-Cd 電池寿命	4年
別置形 鉛蓄電池寿命	8年
交換回数 Ni-Cd 電池	1回/8年

鉛蓄電池	0
保守回数 Ni-Cd 電池	0
鉛蓄電池	4回×8年=32回/8年
Ni-Cd 電池価格	30,000 円/台

表 6.1 初設備費 Initial equipment cost.

面 積	2,000 m ² (500×4)			4,000 m ² (1,000×4)			8,000 m ² (2,000×4)			
	非常灯方式	電池内蔵けい光灯	電源別置けい光灯	電源別置白熱灯	電池内蔵けい光灯	電源別置けい光灯	電源別置白熱灯	電池内蔵けい光灯	電源別置けい光灯	電源別置白熱灯
非常灯 価格	2,124,000 円	179,760 円	683,000 円	4,248,000 円	359,520 円	1,366,000 円	7,080,000 円	599,200 円	2,732,000 円	
一般照明器 価格	2,005,520	2,075,480	1,632,400	3,777,840	3,917,760	3,131,600	8,628,400	8,861,600	6,996,000	
非常灯 工事費	179,000	302,000	623,650	359,000	504,625	1,270,000	491,000	875,500	2,249,390	
一般照明器 工事費	1,341,600	1,388,400	1,092,000	2,527,200	2,620,800	2,028,000	5,732,000	5,928,000	4,680,000	
電源 (電池 鉛)	0	3,890,000	1,935,000	0	4,100,000	2,620,000	0	4,100,000	3,740,000	
小 計	非常灯部分	2,303,000	4,371,760	3,241,650	4,607,000	4,964,145	5,256,000	7,571,000	5,574,000	8,721,390
	一般照明部分	3,347,120	3,463,880	2,724,400	6,305,040	6,538,560	5,159,600	14,360,400	14,789,600	11,676,000
計	5,650,120	7,835,640	5,966,050	10,912,040	11,502,705	10,415,600	21,931,400	20,364,300	20,397,390	

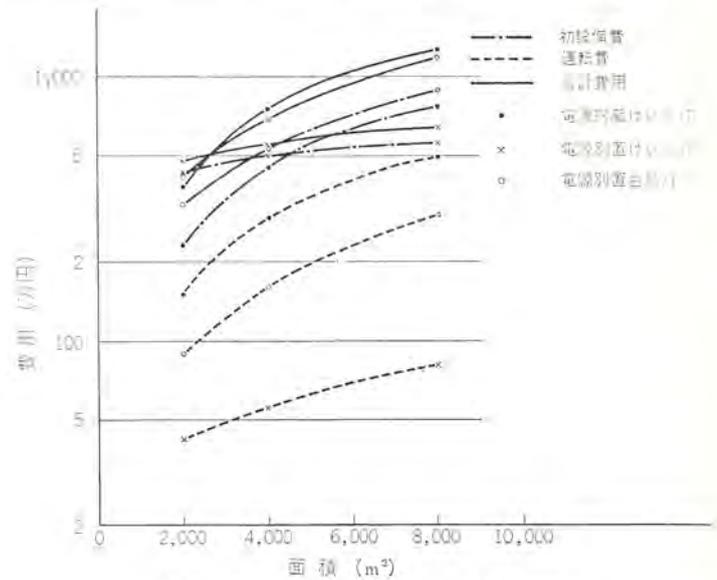


図 6.10 非常灯の方式による費用の相違 Comparison of cost difference of emergency light system.

表 6.2 運転費 Running cost.

面 積		2,000 m ² (500 m ² ×4)			4,000 m ² (1,000 m ² ×4)			8,000 m ² (2,000 m ² ×4)		
非 常 灯 方 式		電池内蔵けい光灯	電源別置けい光灯	電源別置白熱灯	電池内蔵けい光灯	電源別置けい光灯	電源別置白熱灯	電池内蔵けい光灯	電源別置けい光灯	電源別置白熱灯
ランプ	交換費非常灯	83,520 円	55,680 円	232,000 円	167,040 円	111,360 円	464,000 円	278,400 円	185,600 円	928,000 円
	一般照明器	798,080	825,920	649,600	1,503,360	1,569,040	1,206,400	3,433,600	3,526,400	2,784,000
バッテリー保守費		1,098,000	160,000	160,000	2,196,000	160,000	160,000	3,660,000	160,000	160,000
点 検 費		115,200	15,360	64,000	230,400	30,720	128,000	384,000	51,200	256,000
清掃費	非 常 灯	129,600	86,400	360,000	259,200	172,800	720,000	432,000	288,000	1,440,000
	一般照明器	1,238,400	1,281,600	1,008,000	2,332,800	2,419,200	1,872,000	5,328,000	5,472,000	4,320,000
修理費	非 常 灯	55,272	104,922	77,800	110,568	119,139	126,144	181,704	131,393	209,313
	一般照明器	80,331	83,133	65,386	151,321	156,925	123,830	344,650	354,950	280,224
電力費	非 常 灯	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	一般照明器	7,365,120	7,342,080	7,488,000	13,962,240	13,916,160	14,208,000	30,950,400	30,873,600	31,488,000
小 計	非 常 灯	1,481,592	422,362	893,800	2,966,808	563,299	1,598,144	4,936,104	816,193	2,993,313
	一般照明器	9,481,931	9,532,733	9,210,986	17,949,721	18,051,325	17,410,230	40,056,650	40,226,950	38,872,224
計		10,963,523	9,955,095	10,104,786	19,916,529	18,645,344	19,008,374	44,992,754	41,043,143	41,865,537

Ni-Cd 交換人件費 500 円/台

Ni-Cd 保守費 0

30,000 円+500 円=30,500 円/台/8 年

鉛 電池価格 0 (交換せず)

鉛 交換人件費 0 (交換せず)

保守費 5,000 円/回

5,000 円×32 回=160,000 円/8 年

(3) 点検費 3ヵ月ごとに行なう(非常灯のみ)

電池内蔵形器具 100 円/台/回

100 円×4 回×8 年=3,200 円/台/8 年

電源別置形器具 20 円/台/回

20 円×4 回×8 年=640 円/台/8 年

(4) 清掃費 全照明器具について4ヵ月ごとに行なう

150 円/台/回

150 円×3 回×8 年=3,600 円/台/8 年

(5) 修理費 初設備費の2.4%/8 年

(6) 電力費

非常点灯の(点検のための点灯も含む)電力費は0とみなす

消費電力 非常灯(一般照明器として使われる時) 0.11 kWh

一般照明器 0.1 kWh

電力費 8 円/kWh

非常灯 8 円×0.11 kWh×3,000 時間×8 年=21,120 円/台/8 年

一般照明器 8 円×0.1 kWh×3,000 時間×8 年=19,200 円/台/8 年

6.3 結 果

以上の初設備費、運転費の計算結果より非常灯のみについての費

用を取り出してグラフにしたのが図 6.10 である。

この図からわかることは、面積 2,700 m² を境にしてそれ以下のときには電池内蔵形が、それ以上の時には電源別置形が適しているということになる。

7. む す び

以上、非常用照明装置の実際とその経済性について述べたが、今度の経済検討は仮定要素が多く、実状とかなり相違していることが予想される。このため実際に設置する場合には、建築物の規模、用途、程度、他設備との関連、照明器具の選定、電源装置の仕様、配線方式等について検討を加えられたうえで施設されることを切望する。これらは、仕様によってかなり価格的に変動する要素を持っているからである。最後に電気工事に関してご協力いただいた(株)弘電社 渡辺氏および東海大学 工学部教授 小堀博士(元当社照明技術部長)に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 非常用の照明装置に関する指針(建設省住宅局建築指導課監修), 電設工業協会(昭和 47 年)
- (2) 小堀: 照明経済の比較計算に関する諸構成要素とその応用, 三菱電機技報 40, No. 9, (1966) P 1,423
- (3) (社)日本電球工業会「蛍光ランプ適正使用ガイドブック」昭和 42 年 11 月 P 21
- (4) 小堀: けい光ランプの適正使用方法, 照明学会誌 51, No. 12 P 729

最近の照明施設の傾向と実施例

岩田 功*・前山 紘一郎*

The Latest Trend of Lighting Facilities and Practical Installations

Ofuna Works Isao IWATA・Kōichirō MAEYAMA

It is two years since the revision of lighting by JIS in 1969. A number of problems have been posed in company with the changes taken place for higher degree of illumination. They have been, however, settled through the improvement and development of a variety of light sources and lighting fixtures as well as by new illuminating practices with up-to-date devices. This manifests that the lighting technique in Japan reach a high level both in quantity and quality.

Herein are introduced practical installations completed recently by the Company according to the classification of their use through the application of newly developed light sources, fixtures and technique.

1. ま え が き

世界の注目をあつめた東京オリンピック、万国博覧会について、本年は2月3日から13日まで札幌で雪と氷の祭典、冬季オリンピックがはなやかに開かれ、各国の選手により熱戦がくりひろげられ無事幕を閉じた。この熱戦がくりひろげられた各競技場はもとより、関連施設である地下鉄、地下街なども新設され、それぞれ新しい照明がなされている。

一般の照明では、近年の経済の高度成長、文化水準のレベルアップに伴い各施設に照明技術の向上のあとが見られるが、一方、レジャー施設および量販店などの新設が目立ちボリング場をはじめ、ゴルフ場の夜間照明も各所で計画され実施されるようになってきた。

工場照明も労働安全衛生規則の作業面照度が従来 3 倍に改定されるなど、照明の重要性がさらに認識され高照度の施設がふえてきている。

使用光源では、けい光ランプ、高圧水銀ランプ、白熱ランプが主であるが、ここ数年来注目をあびていた高効率、高演色性のメタルハライドランプおよび高効率の高圧ナトリウムランプが各用途により使用されそれ

ぞれ大きな威力を発揮している。

照明器具では高層ビルの増加に伴い、天井面に取付けられる設備類(照明器具、空調設備、自動火災報知機、スプリンクラ、スピーカーなど)と天井とを一体化したルミモジュールが開発され、室内環境の向上、工期の短縮、取付け工事の省力化などが図られ、空調器具とともに使用されるようになってきた。道路照明では今までのセミカットオフ形器具より、まぶしさをより制限したカットオフ形の器具の採用が見られ、道路交通の安全性向上に貢献している。

また、住宅用器具では特に白熱灯器具の各種デザインのものが多くそろい豪華なふんい気を作り出すことが容易になった。

以下に、この新しい機種や照明手法を使用した最近の実施例を紹介する。

2. 札幌オリンピック関連施設の照明

札幌には多くの関連施設が建設され、オリンピックの成功に大きな役割を果たしたが、照明の面でも十分に検討した効力のあとが随所に見られる(図2.1~2.6を参照)。



図 2.1 札幌市地下街 オーロラタウン
FLR 40×1 反射がさつき器具
(FH-4601 R) 19.15 台
取付高さ 3.4 m 下面白色塗装
ルーバ 0.1 m 間隔初期平均照度
1,000 lx



図 2.2 札幌市地下鉄北 24 条駅 プラットホーム
FLR 110 H×2 下面プラスチックカバー
つき埋込形器具 49 台
平均照度 300 lx



図 2.3 真駒内屋内 スケート競技場観客席
FLR 40×1 コーナーブラケット 80 台



図 2.4 美香保屋内 スケート 競技場構内
400 W 水銀灯 (HF 400) HP-721
セミカットオフ A 形 ハイウェイ 用器具 (建
設省 KSC-7 形) 11 基, 100 W 水
銀灯 (HF 100) カット 模様入り ガラス
カバーつき 柱上形器具 3 基 ハイウェイ
用器具直下路面照度 40 lx (実測)



図 2.5 北海道開拓記念館展示室
FLR 40×1 トラフ 形器具 (KL 4601 R)
90 台, ショーケース 内壁面鉛直面照度
300 lx



図 2.6 北海道厚生年金会館大ホール
FLR 20×1 トラフ 形器具 296 台
60 W 白熱灯 下面開放形 ダウンライト
150 台 テーブル 面照度 500 lx (実測)

3. ビル (事務所, 会議室, ロビー) の照明

事務所関係では高照度化に伴い, 埋込み下面開放形のけい光灯具

が多く使用され, 会議室およびホールでは下面乳白 アクリライトカバ
り付き埋込形けい光灯具と白熱灯の混光照明が多く使用されている
(図 3. 1~3. 8 を参照)。



図 3. 1 商工組合中央金庫 広島支店
FLR 40×2 下面開放連続埋込形
器具 (FB-442 S・R) 2~4 連 20 台
天井高さ 2.8 m 机上面照度 930 lx
(実測)



図 3. 2 姫路市農業協同組合大ホール 400 W
メタルハライドランプ (M 400 BOC-U)
下面乳白 アクリライトカバーつき埋込形
器具 9 台, 75 W 白熱灯 ダウンライト 144
台, 天井高さ 4.6 m 平均照度 800 lx



図 3. 3 宮城県民の森中央記念館 2 階食堂休
憩室 100 W 白熱灯和紙張りセード
つきコードペンダント器具 15 台, 取付け
高さ 3.4 m 60 W 反射形電球 ダウンラ
イト 18 台, 平均照度 220 lx



図 3. 4 東洋工業 (株) 労働会館大ホール (広
島県) 1,000 W 白熱灯下面乳白ア
クリライトカバーつき ダウンライト 72 台,
250 W 水銀灯 (HF 250-E) 下面乳白
アクリライトカバーつき埋込形 器具 12
台, 天井高さ 5.4 m, テーブル 面照度
95~120 lx (実測)



図 3. 5 唐津市文化会館 4 階 大会議室 (佐賀
県) 60 W 白熱灯筒形つき器具 80 台
60 W 白熱灯下面 ガラスカバーつき
ダウンライト 16 台
FCL 40+FCL 20 下面乳白 アクリライト
カバーつき埋込形器具 16 台
FLR 40×1 トラフ 形器具
(KL-4601 R) 32 台 } 間接照明
FLR 20×1 トラフ 形器具
(KL-2141 R) 16 台 }
床面積 322 m², 床面平均照度 150 lx



図 3. 6 唐津市文化会館大ホール (佐賀県)
200 W 白熱灯下面 ルーパつき ダウン
ライト 140 台
1 階中央通路床面照度 100 lx
(実測)



図 3.7 東洋工業(株)労働会館6階ロビー(広島県)
FL20 トラフ形器具
49台 間接照明
60W 白熱灯 下面開放形
ダウンライト 28台
天井高さ 2.4m
床面照度 60lx

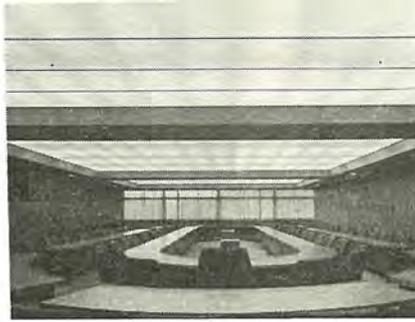


図 3.8 広島県庁 県議会
全員委員会室
FLR 40×1 トラフ形
器具 140台 下面プ
ラスチックカバーつき60
W 白熱灯 下面 プ
라스틱カバーつき、ダ
ウンライト 8台 天井
高さ 2.6m テーブル
面照度1,050~2,000
lx (実測)

4. 商店、百貨店関係の照明

商店関係の照明は他の部門と比較し高照度化の傾向が著しく、ス

パーマーケットにおいては、1,000~2,000 lx が普通となっており照明器具も 110 W 高出力けい光ランプを使用した器具を連続に取付けたものが多く使用されている(図 4.1~4.6 を参照)。



図 4.1 岩田屋 3階売場(福岡県)
FLR 40 S-SDL/M(高演色性ランプ)
×2+FL20-SDL(高演色性ランプ)
×2 下面開放連続埋込形器具、天
井高さ 2.8m
ショーケース 面照度 1,050~1,200 lx
(実測)
床面照度 900~1,050 lx (実測)



図 4.2 ショoppersプラザ 南海2階売場
(愛媛県)
FLR 110 H×2 逆富士形連続器具
単独形にして 560台
平均照度 2,000 lx



図 4.3 川徳デパート 正面入口(岩手県)
200 W 水銀灯(HF 200) 埋込形
器具 26台
300 W 白熱灯 埋込形器具 26台
100 W ボールランプ 52台
取付け高さ 7m
平均照度 1,000 lx



図 4.4 天満屋 倉敷店 1階売場
FLR 40×11 下面乳白アクリライトカ
バーつき埋込器具 33台、天井高さ
5m、器具直下ショーケース 面照度
1,500 lx (実測)
床面照度 1,050~1,200 lx (実測)



図 4.5 いよてつそごう 1階売場(松山)
FLR 40×9 下面乳白アクリライトカ
バーつき埋込器具 114台
1,000 W 白熱灯下面開放形
ダウンライト 350台
床面照度 1,000~1,500 lx (実測)



図 4.6 いよてつそごう 3階 ショールーム
(松山)
100 W 下面カット模様入りガラスカ
バーつきダウンライト 80台
床面照度 300 lx



図 5.1 高槻 リゾートレーン (大阪府)

レーン: 400 W メタルハライドランプ (M 400 BOC 外管 クリア) 角形投光器 23 台
 400 W メタルハライドランプ (M 400 BOC 外管 フロスト) 角形投光器 44 台
 FLR 110 H×1 片反射がさつき じか付け形器具 33 台
 レーン上: 100 W 水銀灯 (H 100) 下面クリスタルガラスアクセサリつきダウンライト 10 台 150 W 白熱灯 下面クリスタルガラスアクセサリつきダウンライト 44 台
 アプローチ・控室: 100 W 水銀灯 (H 100) 下面クリスタルガラスアクセサリつきダウンライト 19 台 150 W 白熱灯 下面クリスタルガラスアクセサリつきダウンライト 129 台
 レーン床: 鉛直面照度 500 lx (初期 800 lx)



図 5.4 折尾 ダイヤホール (福岡県)

レーン上: FLR 40×2 トラフ形器具 (KL-4642 R) 220 台
 アプローチ・控室・ロビー: FLR 110 H×1+FLR 40×1 連続じか付け形器具 18 台 (FLR 110 H 54 灯, FLR 40 36 灯)
 レーン床: 鉛直面照度 810 lx, 控席付近床面照度 650 lx



図 5.7 岡田小学校 体育館 (香川県)

FLR 40×2 反射がさ 下面ガードつき器具 96 台, 400 W 水銀灯 (HF 400-E), 下面カバーつきダウンライト 18 台, 100 W 白熱灯, 下面カバーつきダウンライト 17 台
 初期平均水平面照度 700 lx



図 5.2 空港ホール (福岡県)

レーン上: FLR 110 H×1 トラフ形器具 (KL-11621 R) 205 台
 アプローチ・控室: FLR 110 H×1 下面開放連続埋込器具 4 連 17 台, 5 連 22 台 100 W 白熱灯 下面乳白ガラスカバーつきダウンライト 88 台
 観客席・ロビー: 150 W 白熱灯 下面乳白ガラスカバーつきダウンライト 61 台 150 W 白熱灯 じか付け形器具 950 台
 レーン床: 鉛直面照度 500 lx, 控席付近床面照度 210 lx



図 5.5 ライオン油脂(株)東京工場体育館

400 W メタルハライドランプ (M 400 BOC-U) ガードつき反射がさ形器具 (HH-320) 60 台 取付け高さ 9~10 m
 初期平均照度 1,300 lx



図 5.8 滝山ゴルフコース (東京都)

ティーフラット・グリーン 400 W 水銀灯 (HF 400-E) 投光器 (HS-307 N) 36 台
 フェアウェイ 1,000 W 水銀灯 (H 1000 A) 投光器 (HS-1005) 18 台
 ボール高さ 12 m ホール数 9 全長 700 ヤード, パー 27, 総面積 26,400 m²
 初期平均水平面照度 ティーフラット・グリーン 40 lx, フェアウェイ 20~35 lx



図 5.3 セブンスターホール (岡山県)

レーン上: FLR 40×2 トラフ形器具 (KL-4602 R) 539 台
 アプローチ・控室・ロビー: FLR 40×5 下面乳白アクリライトカバーつき三角形埋込形器具 18 台 100 W シールドビーム形投光電球ダウンライト 350 台
 レーン床: 鉛直面照度 500 lx, 控室付近床面照度 220 lx

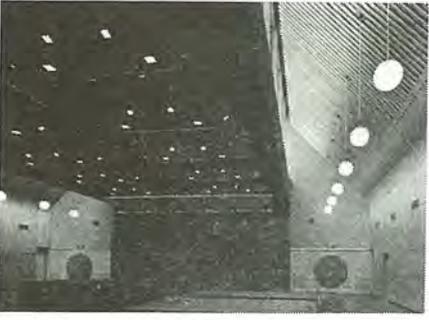


図 5.6 宮城県整枝拓桃園ホール

250 W 水銀灯 (HF 250-E) 乳白ガラスグローブパイプペンダント 16 台
 100 W 水銀灯 (HF 100-E) ダウンライト 28 台
 100 W 白熱灯 ダウンライト 28 台
 150 W 白熱灯 スポットライト 6 台
 初期平均照度 410 lx (床面)



図 5.9 大王製紙(株)川之江工場総合グランド (愛媛県)

1,000 W 水銀灯 (HF 1000-A-E, H 1000 A) 投光器 (HS-1005) 80 台
 ボール高さ 12 m



図 6.1 三菱重工業(株)広島精
機製作所機械工場
FLR 110×2 反射がさつ
器具 (FH 11622 R)
191 台
1,000 W 水銀灯 (HF-
1000 A) 反射がさ形器具
(HH-1003) 50 台
床面積 22 m×200 m=
4,400 m² 天井高さ 15 m
作業面照度 900~1,000
lx (実測)



図 6.2 東京瓦斯(株)新宿副都
心地域冷暖房センター
300 W 水銀灯 (HF 300
-E) 昇降装置つき反
射がさ形器具 31 台
天井高さ 7~9 m
平均照度 110 lx (床
面)



図 6.3 日本鑄鍛鋼(株)戸畑製鋼所 鍛鋼工
場 (福岡県)
1,000 W 水銀灯 下面ガードつき反
射がさ形器具 (HH-1003) 27 台
床面積 31.3m×106 m=3,317.8 m²
取付け高さ 43~45 m
床面照度 100~140 lx (実測)



図 6.4 東京都下水道局 森ヶ崎処理場 沈砂
池
400 W 水銀灯投光器
{ HS-310 (HF 400) 16 台
{ HL-309 (HR 400-N) 12 台
300 W 水銀灯投光器
HL-309 (HRF 300) 18 台
取付け高さ 4.5 m
床面平均照度(初期) 185 lx



図 6.5 三菱重工業(株)広島造船所 仮眠所
食堂
FCL 30×2 ラスタチックセードつき コ
ードペンダント器具(ルミフワーチョリー LF-
61 CP) 44 台
天井高さ 2.8 m
初期平均水平面照度 机上面 200 lx



図 7.1 首都高速道路7号線
400 W 水銀灯 (HF 400)
HP-323 カットオフ形 ハイウェイ用器具
(建設省 KC-4 形)
{ 2 灯用 46 基
{ 1 灯用 12 基
ポール高さ 10 m
傾斜角 5 度 間隔 30 m
初期平均照度 50 lx



図 7.2 国道 11 号線 観音寺地区 (香川県)
400 W 水銀灯 (HF 400-E) HP-321 セ
ミカットオフ A 形 ハイウェイ用器具
(建設省 KSC-4 形) 58 基
ポール高さ 8 m
傾斜角 5 度
初期平均水平面照度 20 lx



図 7.3 筑後小郡町商店街 (福岡県)
200 W 水銀灯 街路灯器具 (HP-
348) 75 基



図 8.1 伊予鉄道(株)松山市駅 コンコース
200 W 水銀灯 (HF 200-E) 下面ルーバつきじか付け器具 80 台
初期平均水平面照度 900 lx



図 8.2 岡山県立博物館
ショーケース 上部 FL 40×2 下面プラスチックルーバつき埋込形器具
ショーケース 下部 FL 40×1 アクリカバーつき埋込形器具
ショーケース 内壁面鉛直面照度 330 lx



図 8.3 唐津市文化会館 曳山展示場 (佐賀県)
100 W シールドビーム 形投光電球 ダウンライト 95 台
天井高さ 5 m 床面照度 300 lx



図 8.4 三菱石油(株)東北大学病院前給油所
400 W 水銀灯 (HF 400-E) 乳白アクリライトルーバつき
埋込形器具 8 台
キャノピ高さ 5 m 照度 600 lx (キャノピ中央直下)

5. レジャー、スポーツ施設の照明

レジャー施設関係は、デザインを考慮したアクセントライト的白熱灯器具が多く使用され、ボウリング場では今までのけい光灯器具による追光線式照明と異なり、メタルハライドランプを使用し新しいふんい気を作り出している所もある。

スポーツ施設では高演色性のメタルハライドランプによる照明がふえてきた(図 5.1~5.9を参照)。

6. 工場の照明

高圧水銀灯器具と高出力けい光灯器具によるものが主であるが、BOCランプおよび高圧ナトリウムランプ用器具による照明も増加の傾向にある(図 6.1~6.5を参照)。

7. 道路の照明

道路関係では、交通の安全性を高めるために、きびしくまぶしさを制限したカットオフ形の道路灯の例が見られ、照明の整備が着々と進んでいる(図 7.1~7.3を参照)。

8. その他(鉄道、博物館、展示館、ガソリンスタンド)

(図 8.1~8.4を参照)。

9. むすび

最近の照明の傾向についてのべるとともに、各種照明施設の紹介をしたが、今後の照明計画の上で参考になれば幸わいである。照明の重要性は今後ますます高まるものであり、照明技術の向上に対して大いに努力していきたいと考える。



特許と新案

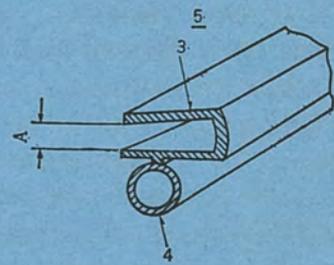
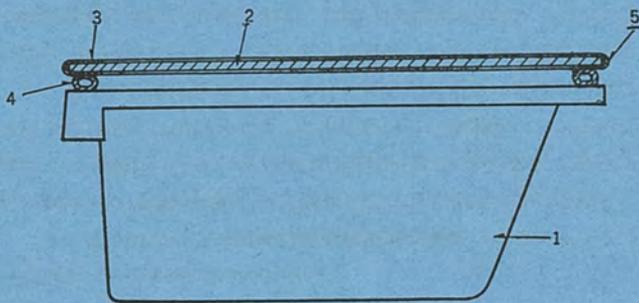
電気冷蔵庫の密閉食品容器

考案者 林 八郎

この考案は、電気冷蔵庫の密閉食品容器に関するもので、その目的とするところは、上ぶた四方縁部に塩化ビニール製のシールを装着して密閉度を増加し、貯蔵した生野菜や果物の鮮度を長時間保つようにしたものである。

食品容器(1)の上ぶた(2)の四方縁部にシール5を取付けるもので、このシール5は上ぶた(2)の四方縁部をそり入する断面コ字形の取付部(3)とガスケット(4)とを塩化ビニールで押出成形する。

(実用新案 第929300号) (萩原記)



音響機器のとびら開閉装置

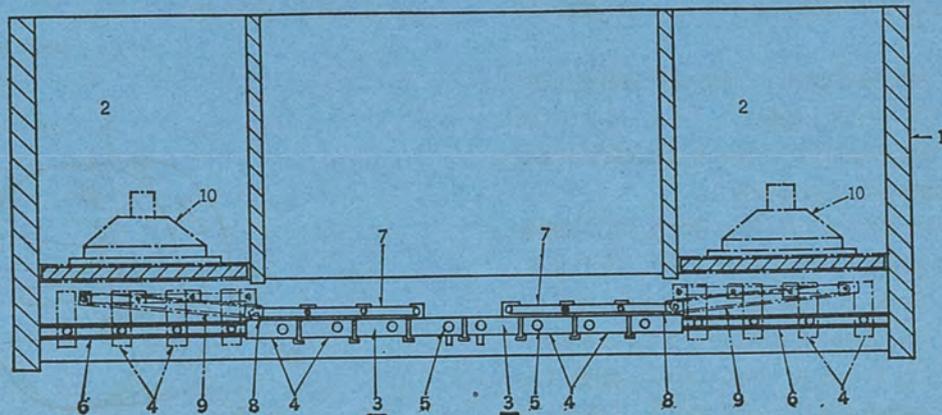
考案者 川名良一

ステレオキャビネットなどでは、とびらを開放したとき、これがスピーカの前部をさえぎることがあるが、この考案は、スピーカの前部に収納したとびらに音響空間を形成させるようにしたもので、図に示すように、複数個のとびら素子(4)の上端部をこれらに回転偶力を同時に付与するように、リンク(7)で一連にすう(枢)着し、リンク(7)の一端のみにピン(8)を上向きに突設し、このピン(8)を案内部材(6)でしゅう(摺)動可能に案内させる。とびら(3)を左右に開く

ときは、リンク(7)がピン(8)を介してリンク案内部材(9)に案内されるので、このリンクの移行につれて各とびら素子が同時に偶力をうけ、徐々に回転して、ほぼ90°回転したときに、スピーカボックスの前面に格納される。

この状態で各とびら素子間に音響空間を形成するから、音響効果を防げることがない。

(実用新案 第935851号) (萩原記)



色 け い 光 ラ ン プ

考 案 者 土 井 貞 春・山 崎 均

この考案は、特定波長の光だけを発光させる色けい光ランプに関し、発光色の純度が高く、かつその製造に際して容易に任意の明るさに設定し得る色けい光ランプを提供することを目的とする。

すなわち、この考案による色けい光ランプは、バルブ(1)の内壁面にけい光体の発光色と同系色の顔料層(2)を形成し、この層の上に、けい光体と上記顔料層に用いた顔料と同系色の顔料とを混合してなる発光層(3)を形成したことを特長とする。

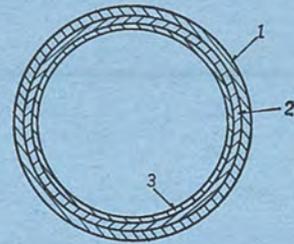
一般にけい光ランプの発光は、周知のように、水銀励起光が管壁のけい光体層を通過する際に、けい光体粒子により可視光に変換され、これがガラスを通して管外へ放射されるものである。この考案の色けい光ランプは、このようないけい光作用と並行して発光層(3)に混在する顔料粒子によって、この顔料に固有な特定波長の光の吸収が行なわれ、さらに、この発光体層中の顔料と同系色の顔料層(2)によって不純波長光の吸収がより完全に行なわれる。そして、上記発光層(3)中でほとんどの不純光を吸収するから、顔料層(2)の厚さを0.5 mg/cm² くらいの値に薄くすることができ、その層の上への発光層の塗布が容易に行なえ、しかも上記発光層(3)のけい光体と顔料との混合比率を変えることによって、任意の明るさのものが容易に得られるものである。

これに対し、従来色けい光ランプとしては、ある特定範囲の波長光を発するけい光体をバルブ内壁面に塗布したものが知られている。しかしけい光ランプからはけい光膜を通してかなり強い可視の水銀

輝線が放射されるので、けい光体の発光色にこの水銀輝線の一部が混入し、放射光の純度を悪くしていた。またけい光体の発光スペクトルは、かなり広範囲にわたるのが普通であり、したがって狭い範囲の特定波長光のみを放射させることはほとんど不可能であった。

この欠点を改良したものととして、バルブ内壁面に顔料層を介してけい光体層を形成した、いわゆる顔料層付けけい光ランプも知られている。しかしこのランプにおいては、このランプから発する水銀輝線を完全に吸収させるには、顔料層を少なくとも1~2 mg/cm²の厚さで均一に塗布しなければならず、このように顔料層を厚くすると、その上にけい光体を均一に塗布することが技術的に非常にむずかしくなり、またたとえば写真暗室用ランプのように、用途によって明るさがきびしく制限されるような場合に、顔料層の厚さを加減することによる光力の調整では満足な特性が得にくい欠点があった。

(実用新案 第929262号) (伊藤記)



パ ル ス 発 生 装 置

発 明 者 山 根 満 徳・林 正 之

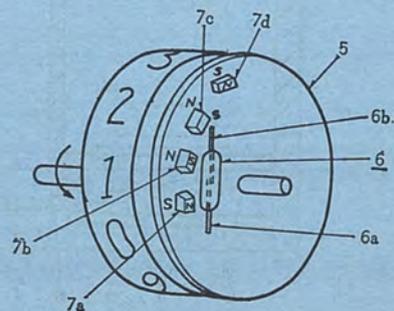
この発明は、リードスイッチと永久磁石を用いたパルス発生装置に関するものである。

従来のリードスイッチ式パルス発生装置は、1個の永久磁石をリードスイッチのリード片に近づけてリード片を接触させ、また、遠ざけて開くようにしているが、磁石を遠ざけてもリード片に残留磁気があるので、リード片が確実に開かないおそれがある。

この発明はこの欠点をなくしたもので、図に示すように、磁性板(5)の同一半径上に複数の磁石(7a), (7b), (7c), (7d)をS, N, N, S, または、N, S, S, Nの順に配置し、異極性の磁石(7a), (7b)がリード片(6a), (6b)と対向したときにこれを閉じ、同極性の磁石(7b), (7c)がリード片(6a), (6b)と対向したときに、磁気回路を断って強制的に開くようにしている。したがって、

リード片が確実に開放される。

(特許 第581088号) (幸島記)



110度偏向ソリッドステートカラーテレビジョン受信機の開発

植竹 勝人*・野口 善男*・石井 宏和*
中田 克己*・進藤 三郎*

110 Degree Deflection Solid State Color Television

Kyoto Works Katsuhito UETAKE・Yoshio NOGUCHI・Hirokazu ISHII
Katsumi NAKATA・Saburo SHINDÔ

In realizing the wide deflection (110 degree) of color TV receivers, it is essential to solve the problems such as the increase of deflection power, deterioration of the beam landing of picture tube and increase of miss convergence and increase of pincushion distortion. Settling these problems, Mitsubishi produces in quantities 20 inch and 18 inch 110 deg. Deflection color TV sets. Herein is taken up 20CKS 956 and reports are made in reference to the 110 deg. Deflection, on the matters such as deflection circuits distortion correcting circuits and convergence circuits including the process in the development of deflection yoke.

1. ま え が き

現在のところカラーテレビのブラウン管の偏向角は、90度が主力であるが、白黒テレビの歴史をみても、セットの奥行きを浅くする、すなわち広角偏向化(110度)されるのは、当然のすう勢といえる。しかしながら、110度化にともなう偏向パワーの増大をはじめ、ブラウン管のランディングの劣化や、ミスコンバーゼンスの増大といったむずかしい問題がある。

最近になり米国RCA社が発売したのを皮切りに、欧州各社、国内でも数社が、110度偏向カラーテレビ発売の動きを示しているが、当社では、いち早く20形と18形の量産化に成功し発売している。ここでは、昭和46年8月から量産している、20形110度偏向高IC化カラーテレビ三菱20CKS-956形について、主として、ブラウン管周辺回路・偏向回路の開発・設計の概要を述べる。

2. セットの特長および回路構成

特長の第一は、20形110度偏向細ネックカラーブラウン管を使用していることである。さらにモリミックICを7個、ハイブリッドICを8個、計15個のICを採用し、高IC化していること、UHF選局は、プッシュボタン式(8ボタン)としていることである。図2.1にセットの外観を、表2.1にその仕様を示す。図2.2に、使用した110度偏向ブラウン管と従来の90度偏向ブラウン管との比較を示す。図2.3は、キャビネットに入れた場合の比較であるが、ブラウン管の長さが短くな

表 2.1 20形110度偏向カラーテレビ20CKS-956形仕様
Specification of the set.

項 目	定 格
電 源	AC 100 V 50/60 Hz
電 力	165 W
音 出 力	2.5 W
ト ラ ン ジ ス タ	16 個
I C	15 個
半 導 体	59 個
ブ ラ ウ ン 管	20形 110度偏向 細ネック (29.1φ)
外 形 寸 法	高 圧 26 kV (0ビーム)
	幅 95 cm
	高 さ 91 cm
	奥 行 き 37 cm (コーン部含まず)
重 量	46 kg

るにともない、キャビネットの奥行きも10cm短くなっている。

図2.4に、このセットのブロックダイアグラムを示す。図2.5には、110度偏向用に新しく開発したシャシ(呼称Jシャシ)の概要を示すが、昭和45年9月から量産して好評を得ている20形オールドランジスタシャシ(呼称Fシャシ)と同じ基本構成をしており、ほとんどの主要部品



図 2.1 20形110度偏向ソリッドステートカラーテレビ
20CKS-956形
Front view (20CKS-956)



20形110° 偏向ブラウン管 20形90° 偏向ブラウン管

偏 向 角	110度
パ ル プ 透 過 率	63%
全 長	357.2 mm
有 効 け い 光 面	高 さ 303.3 mm 幅 404.4 mm
ネ ッ ク 径	29.1 φmm
重 量	約 10.2 kg
補 強 方 式	リム補強形
ヒ ー タ 電 圧	6.3 V
ヒ ー タ 電 流	800 mA
陽 極 電 圧	27.5 kV (最大定格)

図 2.2 20形110度偏向ブラウン管 510 CJB 22
110 degree color picture tube.

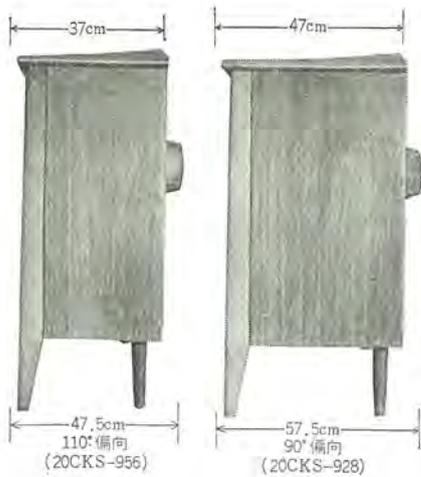


図 2.3 キャビネット
側面
Side view.

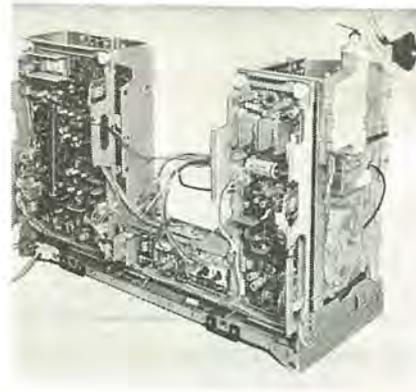


図 2.5 20形110度偏向
シヤシ
(Jシヤシ)
Chassis.

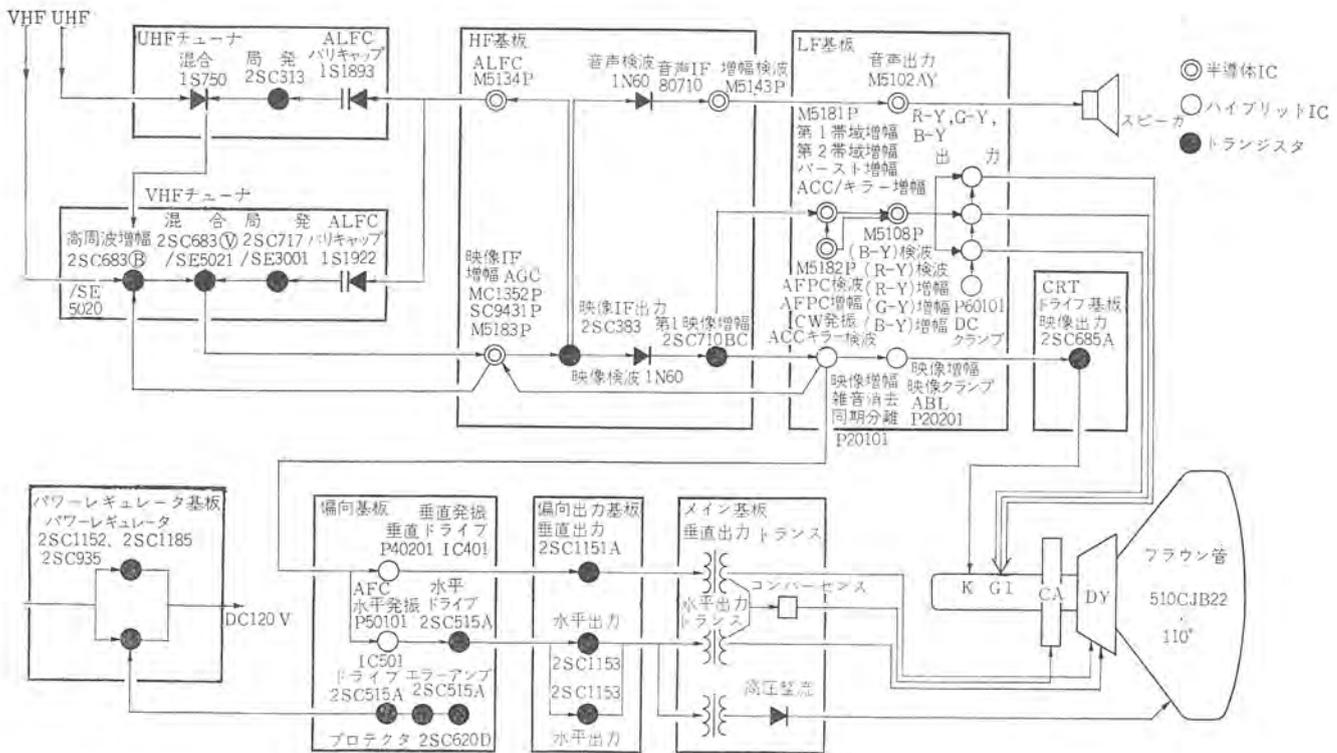


図 2.4 ブロックダイアグラム (20 CKS-956)
Block diagram of 110 degree color TV.

が流用できるように設計してある。

3. ブラウン管と偏向ヨーク

110度偏向カラーテレビを実現するにあたって、最も重要な役割を演じているのは、ブラウン管と偏向ヨークである。特に互いに影響しあうラジエーション特性と、コンバーゼンス特性を両立させるところに困難があり、多くの新しい解決方法が考えられている。われわれも種々検討を行なったが、いずれの方法も従来の90度偏向に比べ、回路部品がふえ、調整も複雑となるため、ここでは90度偏向と同じ方式の延長でまとめた。なおブラウン管自体については、別稿にゆずり、ここでは省略する。

3.1 ブラウン管と偏向ヨークの開発

開発は次の順序で行なわれた。

(1) まず、ガンアライメント標準ブラウン管を作成する。これは、画面中央においてピュリティ補正量が零、スタティックコンバーゼンス補正量も零、ガンにねじれないブラウン管のことであるが、実際にはこの

条件に最も近いものを選出する。

(2) ブラウン管と偏向ヨークのYPB(ピュリティ調整における偏向ヨークのフルバック量)に対するばらつききの最大値と、ブラウン管のピュリティ補正量の最大値に対してネックシャドウが出ないような偏向ヨーク(コア)長を決定する。YPB標準を3mm、ばらつききの最大を6mm、ピュリティ補正量を8mmとすると、コア長は37mmとなった(内径は50mm)。

(3) ガンアライメント標準ブラウン管に対し、(2)によって決まっ

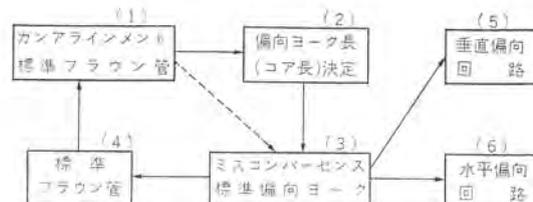


図 3.1 ブラウン管と偏向ヨークの開発
Picture tube and deflection yoke development process.



図 3.2 偏向ヨーク
Deflection yoke.

た偏向ヨーク長でコンパネンスが最良、すなわち垂直・水平軸上でコンパネンスを合わせたとき、四すみでミスコンパネンスが最少となる、いわゆるミスコンパネンス標準偏向ヨークを作成する。この時点で垂直・水平の偏向感度がきまる。

(4) ミスコンパネンス標準偏向ヨークの偏向中心に合わせて、YPBが3mmとなるように露光点を設定し、また偏向中心前進量およびコンパネンス三角性等を考慮して、周辺でのランディング状態が最良となるけい光面を作成する。

ランディングが最良でガンアライメント標準のブラウン管を選出し、(1)→(2)→(3)→(4)→(1)の順序をくりかえすことによってブラウン管と偏向ヨークの精度を上げる。

(5) (3)でできた偏向ヨークに対し、磁界分布をかえないように、垂直回路条件に合わせて垂直コイルのインピーダンスを決める。垂直出力回路はトランス結合方式としたので、特に制約条件はなく90度偏向とほぼ同じコイル定数とした。

(6) (3)でできた偏向ヨークに対し、水平回路条件に合わせて水平コイルのインピーダンスを決める。水平偏向出力回路の電源電圧を120Vとすると、偏向感度からコイルのインダクタンスは0.865mHとなる。

この過程を図式化したものが図3.1である。図3.2に偏向ヨークを示す。

3.2 90度と110度偏向の諸特性比較

前節により決定された偏向ヨーク(330 P03101)と、ブラウン管(510 CJB22)の組合せによる諸特性を、90度偏向の場合と比較すると次のようになる。

3.2.1 水平偏向コイル定数と偏向電力

表3.1に示すとおりである。水平偏向電力は90度にくらべ約2倍となっている。ただし、この数値は10%のオーバースキャンを含み、電源電圧は120V、ブラウン管の高圧は24kVにした場合である。

3.2.2 垂直偏向コイル定数と偏向電力

表3.2に示すとおりである。垂直偏向電力は90度にくらべ約1.8倍となっている。なお、この数値は10%のオーバースキャンを含み、電源電圧は170V、ブラウン管の高圧は24kVの場合である。

3.2.3 糸巻ひずみ量

表3.3に糸巻ひずみ量を示す。上下糸巻ひずみは約2倍、左右糸巻ひずみは約1.8倍になっている。ひずみ量の算出式は表中に示してある。

3.2.4 コンパネンス

コンパネンス補正量は、90度偏向にくらべ1.1~1.2倍程度で、偏向角が大きくなった割には小さい値である。これは、110度ブラウン管のネック径が、90度管にくらべ小さくなっており、3電子銃が構成する三角形が小さくなっているからである(細ネック29.1φ)。

コンパネンスを調整した後に残るミスコンパネンス量は90度と同程度である。

表 3.1 水平偏向コイル定数
Horizontal deflection coil data.

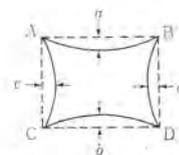
項目	偏向コイル定数		水平偏向電流 (A _{p-p})	偏向電力 (mH · A _{p-p} ²)
	L(mH)	R(Ω)		
110度	0.865	0.75	6.8	39.8
90度	1.38	1.2	3.8	20.0
110度/90度			178%	198%

表 3.2 垂直偏向コイル定数
Vertical deflection coil data.

項目	偏向コイル定数		垂直偏向電流 (A _{p-p})	偏向電力 (Ω · A _{p-p} ²)
	L(mH)	R(Ω)		
110度	25.0	14.0	1.2	20.2
90度	25.0	14.5	0.87	11.0
110度/90度			138%	184%

表 3.3 糸巻ひずみ量
Pincushion distortion.

項目	上下糸巻ひずみ mm (%)		左右糸巻ひずみ mm (%)	
	a	b	c	d
110度	13.5	11	6	8
90度	6.5	6	4.5	4.5
110度/90度			198%	180%



$$AC=BD \approx 250 \text{ mm}$$

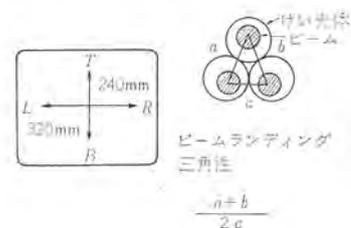
$$\text{上下} \dots \frac{2(a+b)}{AC+BD} \times 100 (\%)$$

$$AB=CD \approx 355 \text{ mm}$$

$$\text{左右} \dots \frac{2(c+d)}{AB+CD} \times 100 (\%)$$

表 3.4 ランディング特性
Beam Landing state.

項目	R	L	T	B
	110度	1.16	1.17	0.91
90度	1.12	1.09	0.92	0.92
110度/90度	104%	108%	99%	98%



3.2.5 ランディング

ビームランディング三角性を表3.4に示す。90度偏向に比べ、若干三角性は悪くなっているが、ホワイトユニフォーミティは、90度とほぼ同じ程度である。

4. 電源回路

主電源は120Vで安定化している。音声出力用の18Vとブラウン管ヒータ用の6.3Vは、電源トランスで(通)降して得ているが、その他の電源は、前述120Vで動作する水平偏向回路から得ており、間接的ではあるが安定化されている。これらの電源は、小信号回路用の18V、クロマ・ビデオ出力用250V、垂直出力用170V、ブラウン管第2グリッド用800V等である。

なお、セット全体の消費電力は、110度偏向となって各回路の電力

がふえているにもかかわらず、90度なみの165Wでおさまっている。これは、110度では水平偏向と高圧発生を共通に行なわせ、能率が上がったためである。

5. 垂直偏向回路

5.1 垂直発振、励振回路

発振回路は90度偏向の場合と同じで、安定性の良いブロッキング発振とし、エミッタに時定数を持たせた回路を採用している。

励振回路も基本的には90度偏向と同じ形式であるが、PNPトランジスタを使い、直線性の調整が容易にできるようにした。これらの回路は、IC化(ハイブリッド)されている。

5.2 垂直出力回路

90度偏向と同じ構成で、出力トランジスタはA級動作とし、偏向コイルとは、トランスを介して結合する方式である。偏向コイルには、90度偏向の場合の1.4倍に相当する1.2A_{PEP}の電流を流さなくてはならない。出力トランジスタの耐圧からして動作電圧を上げるのは限度があり、また、2石の並列動作には種々な困難が予想される。ここでは新しく開発した高性能トランジスタZSC1151Aを1石使い、90度偏向並みの動作電圧(170V)で所要の偏向電流を得ている。なお、出力トランスには、カットコアを使用して十分なインダクタンスをとり、電源効率を高めている。帰線パルスの制限は、垂直ブランキングの効きを考え、ダイオードクリップを使用している。帰線パルスの大きさは、約480V_{PEP}である。

110度化されて偏向電力がふえたため、偏向ヨークのクロストークも増大し、また、上下糸巻ひずみ補正電圧も大幅にふえている。したがって水平周波数成分の垂直回路への混入も大きくなり、インターレース等に悪影響を与えるので注意をはらった。

垂直位置調整は、偏向コイルに接続される出力トランスの二次コイル

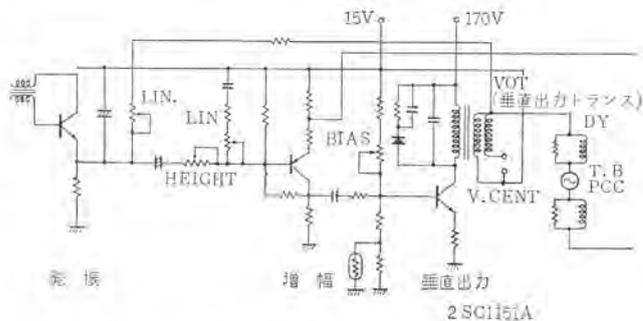


図 5.1 垂直偏向回路
Vertical deflection circuit.

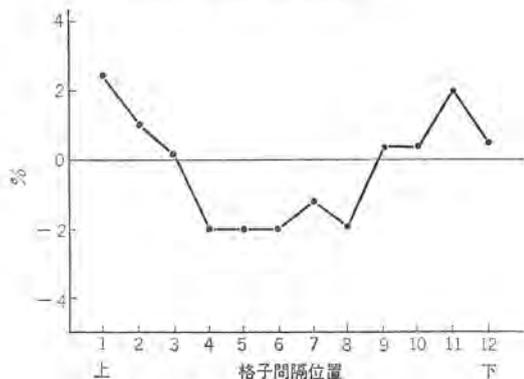


図 5.2 垂直直線性
Vertical linearity.

をバイファイラ巻きとし、この間に電圧を加えることにより行なっている。

垂直出力トランスからは、偏向コイルに電流を供給するほかに、コンパネンス用のパルスを、また一次コイルに直列に接続された抵抗からは、コンパネンスおよび、ひずみ補正用のパラボラ電圧をとりだしているが、これらを含めてこの段の消費電力は16Wである。図5.1に垂直偏向回路の概略を、図5.2に垂直直線性を示す。

6. 水平偏向回路

水平偏向回路の方式としては、偏向と高圧発生を別々に行なう分離方式と、偏向コイルの両端に発生するフライバックパルスをトランスで昇圧し、高圧を得る共通方式があるが、ここでは共通方式を採用した。これによりダイナミックスタレギュレーションを良くすることができるとともに、消費電力・コストの面でも有利となっている。図6.1に回路を示す。

6.1 水平励振回路

基本的には従来の90度と同じであるが、若干のパワーアップをはかり、出力トランジスタに0.8Aの順方向ベース電流を供給できるようにした。出力トランジスタのベース回路にそう入されたLは出力トランジスタのコレクタ電流降下時間を短くし、損失を減らすためのものである。

6.2 水平偏向出力回路

水平偏向コイルには、約6.8A_{PEP}ののこぎり波電流を流す必要がある。このほかに高圧をはじめ中・低圧の電源をとりだすため、出力トランジスタのコレクタ電流は約4.8Aになる。また、動作電源電圧を120Vとしているので、帰線期間に発生するパルスは、900Vに達する。このため、コレクタ定格電流2.5A、コレクタ耐圧1,200Vの超高耐圧トランジスタ2SC1153を2石並列動作させている。2石のトランジスタのコレクタ電流を平衡させるために、バランストランス(BT)を使っている。

水平直線性補正回路としては、90度偏向と同様、可飽和コアを用いたリニアリティコイルと、S字補正用のコンデンサCsを使っているが、さらに四、五次共振回路を追加している。これは、Csによる画面上での補正効果の不均等性と、偏向コイルと直列に入っている左右糸巻ひずみ補正トランスのコアの飽和特性により、画面の両端と中央が縮むことに対処するためである。図6.2に水平直線性のデータを示す。

高圧発生と偏向を共通方式としているため、高圧負荷の変動が偏向側に悪影響を及ぼすことがあるが、これを防ぐためフライバックト

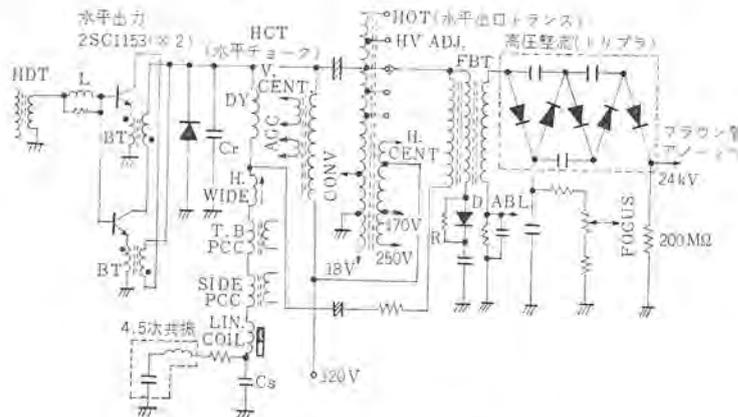


図 6.1 水平偏向出力回路
Horizontal output circuit.

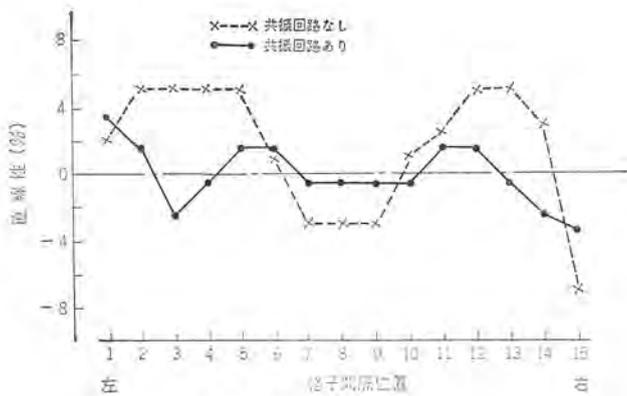


図 6.2 水平直線性
Horizontal linearity.

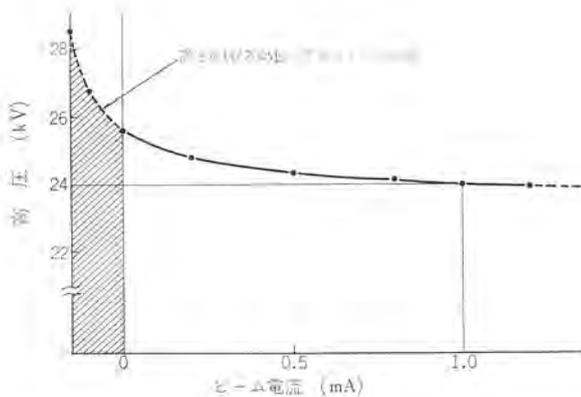


図 6.3 高圧特性
High voltage regulation.

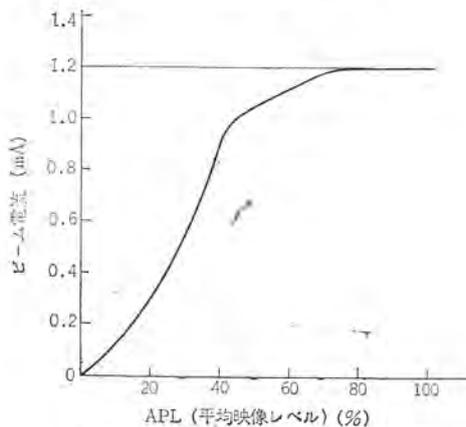


図 6.4 ABL (自動輝度制限) 特性
Characteristics of Automatic Brightness control.

ンスコアの別脚に巻いたコイルを適当なインピーダンスで偏向コイルに結合させている。

また、広角偏向のため、左右糸巻ひずみ補正量も大幅に増大し、したがってフライバックパルスもそれに応じた大きな変調を受けているので、高圧整流電流が垂直走査期間の中央部に集中して流れるようになる。このため、ビーム電流を流すと結果的に左右糸巻ひずみ補正効果が減殺される。これには、フライバックトランスの一次側を小容量のコンデンサでカットし、垂直成分の伝達を押えることで改善をはかっている。

6.3 高圧出力回路

高圧出力回路の方式としては、フライバックトランスを三次共振とし、何らかの制御回路を用いて高圧レギュレーションを改善するものがほとんどであるが、ここでは、内部抵抗の低い五次共振を採用し、特別

な高圧制御回路は使わずにまとめた。

整流は、シリコンダイオードによる3倍圧整流(トリプラ)である。シリコンダイオードは、セレンダイオードにくらべ、浮遊容量が小さく、五次共振がとりやすいこと、また順方向電圧降下が小さいこと等から、高圧レギュレーションが良くなっている。図 6.3 に高圧特性を示す。

なお、3倍圧整流で五次共振とした場合、ビーム電流零の付近で高圧レギュレーションが極端に悪くなる傾向がある。このため、200 MΩの高圧抵抗をプリロードとして用い、この領域をカットしている。高圧回路をこのような構成にすることにより、高圧および高圧レギュレーションのばらつきはきわめて小さくなり、量産に適していることが実証された。

フォーカス電圧は、ブラウン管の特性とのトラッキングを考慮して、高圧整流器の第1ダイオードからとり出している。

フライバックトランスと並列に、水平チョークトランス(HCT)を接続し、偏向回路へ供給される直流はすべてHCTを流れるようにした。このようにすることにより、出力トランジスタのコレクタ電流を減少させることができるとともに、高圧レギュレーションも改善された。さらに、フライバックトランス自体の発熱も少なくなり、安全性を高めることができた。

ブラウン管の管内放電や、高圧回路の放電に対する出力トランジスタの保護は、フライバックトランス一次側に、ダイオードDと抵抗Rをそう入することにより行なっている。

フライバックトランスの高圧コイルのコード側から、ABL(自動輝度制限)用の電圧をとりだし、ビーム電流を1.2 mAに押えている。ABL特性を図 6.4 に示す。

水平偏向回路からは、前述のブラウン管陽極用の高圧以外に中・低圧の電源、コンパゼンス用パルスを取り出しているが、この段の消費電力は100 W(ビーム電流1.2 mA)である。

7. 糸巻ひずみ補正回路

7.1 上下糸巻ひずみ補正回路

3.2.3項で述べたように、90度偏向にくらべ約2倍の糸巻ひずみが発生するので、強力な補正が必要である。まず、補正量を大きくとるため、補正電圧の注入方式をバランスタイプとした。また従来使われている閉磁路形のひずみ補正トランスでは、十分な出力をとり出すことがむずかしく、またコスト高となるため、開磁路形ひずみ補正トランスを採用した。

偏向コイルに流れる補正電流は、正弦波状なので単に出力を大きくしただけでは、画面上下端の横線のW字形ひずみが目立つようになる。これを防ぐには、さらに二次共振波形を注入すればよいが、回路が複雑で調整もむずかしくなるため、ここでは90度偏向と同じ一次共振系のみでまとめた。図 7.1 に回路と開磁路形トランス

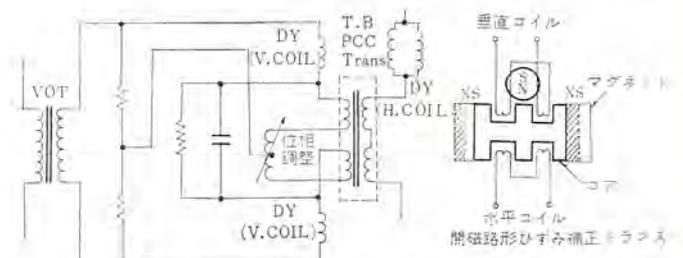


図 7.1 上下糸巻ひずみ補正回路と補正トランス
Top and bottom pincushion correction circuit.

の構造を、図 7.2 に補正電圧波形を示す。補正電圧として約180 V_{P-P} が得られている。

7.2 左右糸巻ひずみ補正回路

糸巻ひずみ量は、90度偏向に比べ約1.8倍になっているが、ア

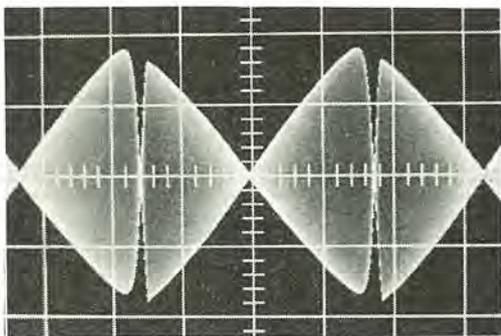


図 7.2 上下糸巻ひずみ補正電圧波形
V : 50 v/div H : 5 ms/div
Pincushion correction voltage.

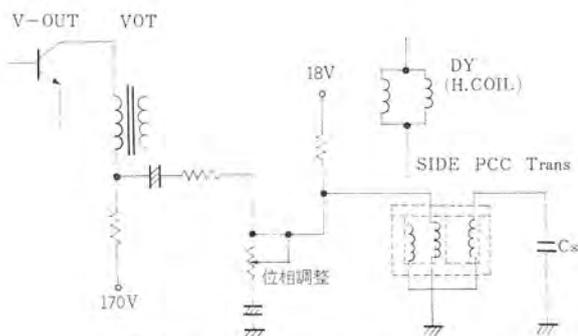


図 7.3 左右糸巻ひずみ補正回路
Side pincushion correction circuit.

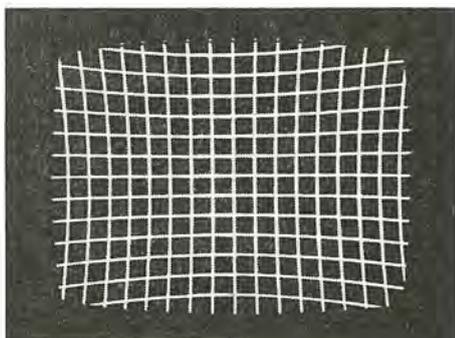


図 7.4 糸巻ひずみ補正なし
Pattern without pincushion correction.

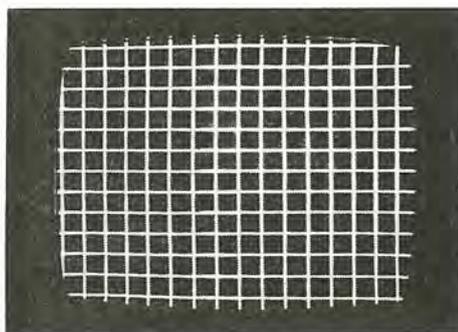


図 7.5 糸巻ひずみ補正あり
Pattern with pincushion correction.

クティブ方式は使わずに、水平偏向コイルに直列に入れたインダクタンスを変調する普通のリアクタ方式とした。リアクタの制御電圧は、垂直出力トランスの一次側にそう入された抵抗の両端に発生する電圧を整形して得ている。図 7.3 に左右糸巻ひずみ補正回路を示す。

図 7.4 に糸巻ひずみ補正をしない場合のクロスハッチパターン受像画面を示す。図 7.5 は上下・左右の糸巻ひずみを補正した場合である。

8. コンバーゼンス回路

コンバーゼンス補正電流は、90度偏向の1.1~1.2倍程度なので、90度と同じ回路形式とした。もちろんコンバーゼンスコイルは110度用として新しく設計した。表 8.1 にコイルの定数を、図 8.1 にコンバーゼンスヨークを示す。

垂直コンバーゼンス回路は、諸元を90度と全く同じにして、共用化をはかっている。

水平コンバーゼンスは、水平出力トランジスタの負荷を軽くするため、パルス電圧を250 V_{P-P}に下げた回路とした。90度偏向と異なる点は、コンバーゼンスのばらつきおよび18、20形ブラウン管に対する偏向ヨークの共用性を考慮して、ダイナミックブルーラテラルコイルを追加した点である。図 8.2 に示すように、2個のE形コアを赤・緑ビームを結ぶ線から等距離のところに配置する。図からわかるように、赤・緑ビーム位置では両コイルからの磁界は相殺し、青ビームだけに作用する。コイルに流すのこぎり波電流は、T801の二次側に発生しているパルスを利用する。のこぎり波の大きさは、2段階の切換えで調整し、

表 8.1 コンバーゼンスコイル定数
Convergence coil data.

種 類	項 目	コ イ ル 定 数	
		L(mH)	R(Ω)
水	平	2.8	7.6
	直	412	96.5
ダイナミックブルーラテラルコイル		1.5	8.0



図 8.1 コンバーゼンスヨーク
Convergence yoke.

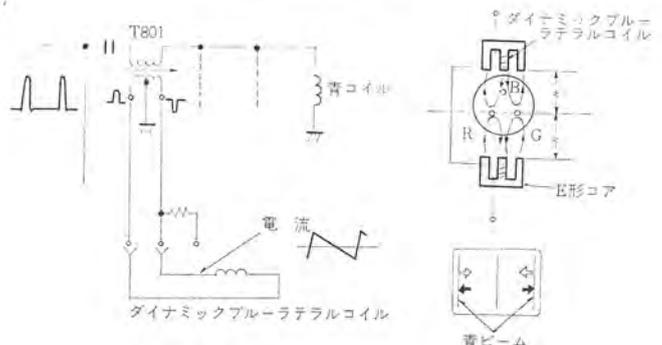


図 8.2 ダイナミックブルーラテラル回路
Dynamic blue lateral circuit.

極性反転はプラグの差し換えにより行ない、青ビームの左右での内・外ずれを補正する。補正の必要がないときは、プラグを中立にしておけばよい。

9. 今後の問題、その他

以上、110度偏向に関連する回路について概略を説明した。あらゆる点で90度偏向よりもきびしい動作条件にさらされる、110度偏向カラーテレビを市場に出してから約8カ月を経たが、信頼性の面では全く問題は認められていない。

今後改善すべき点としては、主としてブラウン管まわりに関するものがあげられよう。たとえば、ランディング裕度の増大、シャドウマスクの局部的熱変形によるホワイトエッジの劣化防止、および偏向ヨークのばらつきを少なくして、ピュリティ、コンパース調整を容易にするとともにその品位を上げること等である。

その他、さらに能率の良い水平・垂直偏向回路の開発や、ひずみ補正回路の改良、コストダウンをはかること、および110度機種

が今後の課題である。

10. むすび

普及率も60%を越え、場所をとらないカラーテレビの要望が強まりつつあるとき、従来、困難とされていた諸問題を解決して発売した本機は、市場で好評であり、これを先駆として、業界も110度化に急速に移行する気運にある。なお、同系列品として発売中の18形110度偏向カラーテレビ18CTS-531形についても、偏向系は、回路形式をはじめほとんどの主要部品を20形と共用しており、その高性能とあいまってスペース尊重タイプが、好評を博していることを付記したい。

終わりにあたり、本開発にご協力いただいた関係各位、トランジスタ・ICを開発された当社北伊丹製作所の各位、特にブラウン管の開発に並々ならぬご尽力をいただいた当所管球製造部の各位に深謝する。

(昭和47-1-17受付)

超電導コイルを用いた磁気浮上式超高速列車

山田 忠利*・岩本 雅民**

Magnetically Suspended Very High Speed Trains Utilizing Superconducting Coils

Central Research Laboratory Tadatashi YAMADA・Masatami IWAMOTO

Analysis has been made on magnetic lift force and drag force of a superconducting magnetic suspension system, these forces resulting from the current induced in the track loops. This analytical method has been applied to the study of the levitation performance of magnetically suspended train models that arouse interest in practice. As a result, it has been made clear that the lift to drag ratio increases with the increase of the time constant τ of a track loop, the peak value of magnetic drag force appearing in the range of low speed does not depend on the time constant τ of the track loop; and proper selection of the pitch number n_T of the track loop against one pitch of the train loop on the car reduces greatly the pulsation of the lift force. This study has resulted in a suggestion of a ladder type track conductor that improves the lift to drag ratio and facilitates the manufacture of the track loop. This new system is investigated theoretically.

1. ま え が き

時速200~600 km/hの超高速鉄道の研究開発が世界各国で進められている。300 km/h以上の速度では、従来のように車輪によって車体を支持することは、走行安定性や車輪の疲労強度などの点で困難であり、車体を浮上させなければならないと言われている⁽¹⁾⁽²⁾。車体を浮上させる方法の一つとして、うず電流による反発力を利用した超電導磁気浮上方式が提案されている^{(3)~(6)}。この方式は、車体に超電導電磁石(車上コイル)を積載し、軌道に常電導コイル(軌道コイル)※を連続して配置しておき、車上コイルが軌道コイルの上を通過すると軌道コイルに、その鎖交磁束の変化によるうず電流が誘起され、その際の電磁反発力を浮上力として利用したものである。当磁気浮上は空気浮上に比べて浮上間げき(隙)が大きいこと、騒音がないこと、空気汚染の心配がないことなどの点ですぐれている。

磁気浮上の理論的取り扱いはずでに二、三発表されているが⁽³⁾⁽⁷⁾、これらの方法はいずれも、軌道コイルの鎖交磁束を実際とかけはなれた方形波に仮定していること、軌道コイル間の磁気相互干渉を無視していることのために浮上力の概略計算にしか適用できず、特に低速域の浮上特性の検討には適用できない。

本文では、軌道コイルの鎖交磁束を解析的に求め、軌道コイル間の磁気相互干渉を考慮して、浮上力、その脈動、磁気制動力および低速における浮上特性を解析した。この解析法を使用して、実用的に興味のある磁気浮上列車モデルの浮上力・磁気制動力を計算して、それらに対する磁気浮上装置の設計諸元の影響を検討した。その結果として、離散的なコイルを配置した軌道方式よりもすぐれた浮上特性を持つはしご形軌道方式を提唱して、その浮上特性を解析した。

2. 解 析 方 法

磁気浮上装置のコイル配置、各部の寸法記号および座標系を示したものが図2.1である。同図中の軌道コイル(0)に誘起される電流 i_0 は次式で与えられる。

注) 軌道面に常電導板を布設する方式もあるが、ここでは常電導コイルを面設した方式に限定して考察する。

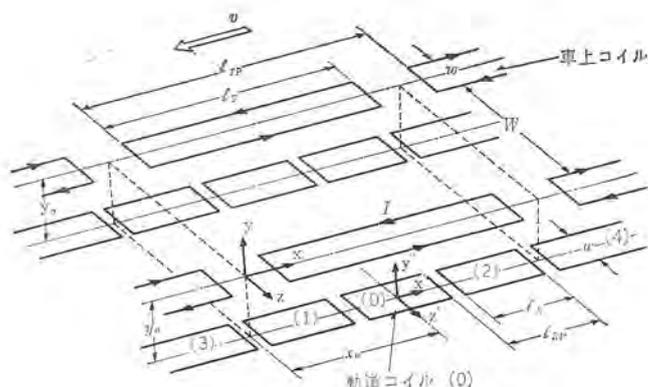


図 2.1 磁気浮上装置のコイル構成
Coil configuration of magnetic suspension system for very high speed train.

$$\frac{di_0}{dt} + Ri_0 - \sum_j M_j \frac{di_j}{dt} = \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (2.1)$$

ここで、 L , R および ϕ は軌道コイル(0)のそれぞれ自己インダクタンス、抵抗および鎖交磁束である。軌道コイル(j)に誘起されている電流 i_j による磁気相互干渉は、相互インダクタンス M_j によって考慮されている。

実際の列車では、鎖交磁束 ϕ は列車進行方向に並行にとった x 座標に関して周期的であると仮定できる。したがって、 ϕ は次のようにフーリエ級数で表現できる。

$$\phi(l, x_0) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \sin n(\omega t + kx_0) \dots \dots \dots (2.2)$$

ただし、 $\omega = \pi v / l_{TF}$

$$k = \pi / l_{TF}$$

l_{TF} = 車上コイルの1ピッチ長

v = 列車速度

鎖交磁束 ϕ の波形はノイマンの公式により計算し、フーリエ係数 α_n はこの波形から数値計算により求めた。実際の列車では、 M_j ($j=3, 4, 5, \dots$) は軌道コイル(0)に隣接する2個の軌道コイルによる相互インダクタンス M_1, M_2 に比べて十分小さい。したがって M_j は次のよ

うに書ける。

$$\left. \begin{aligned} M_j &\approx 0 & j=3, 4, 5, \dots \\ &= M & j=1, 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3)$$

式(2.2)と同様にして、軌道コイル(0)に誘起される電流 i_0 は次式で表わされる。

$$i(t, x_0) = \sum_{n=1}^{\infty} i(n) \cos \{n(\omega t + kx_0) + p_n\} \dots\dots\dots(2.4)$$

軌道コイル(1), (2)に誘起される電流 i_1, i_2 は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= i(t, x_0 - l_{RP}) \\ i_2 &= i(t, x_0 + l_{RP}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.5)$$

ただし、 l_{RP} は軌道コイルの1ピッチ長である。

式(2.1)に式(2.2), (2.3), (2.4), (2.5)を代入して i_0 について解くと、解 i_0 は次のようになる。

$$i_0(t, x_0) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{-\alpha_n n \omega \cos \{n(\omega t + kx_0) + p_n\}}{\sqrt{R^2 + (n\omega)^2(L - 2M \cos n\psi)^2}} \dots\dots\dots(2.6)$$

ただし、 $p_n = -\tan^{-1}\{n\omega(L - 2M \cos n\psi)/R\}$

$$\psi = \pi l_{RP}/l_{TP}$$

式(2.6)から明らかなように、 i_0 の基本波($n=1$)に対する軌道コイルの実効インダクタンスは、軌道コイル間の磁気相互干渉のために、 L から $L - 2M \cos \psi$ に減少していることは注意すべきである。

軌道コイル(0)に働く電磁力 $f_L(t, x_0)$ は i_0 を使って次のように表わされる。

$$f_L(t, x_0) = \int_{-l_{L/2}}^{l_{L/2}} i_0 \{B_z(x, -y_0, w/2) - B_z(x, -y_0, -w/2)\} dx' \dots\dots\dots(2.7)$$

ただし、 B_z は車上コイルが作る磁束密度の z 成分である。 B_z もまた x 座標に関して周期的であると仮定できて、次式のようにフーリエ級数で表現される。

$$B_z(x, y, z) = \sum_{j=1}^{\infty} \beta_j(y, z) \cdot \sin jkx \dots\dots\dots(2.8)$$

磁束密度 B_z は Biot-Savast の公式により計算され、フーリエ係数 β_j は数値計算により決定された。式(2.8)を式(2.7)に代入して、積分を実施すると

$$f_L(t, x_0) = i_0 \sum_{j=1}^{\infty} \{ \beta_j(-y_0, w/2) - \beta_j(-y_0, -w/2) \} \frac{2}{jk} \times \sin jk l_{RP}/2 \cdot \sin jk(x_0 + vt) \dots\dots\dots(2.9)$$

ここで、座標系 (x, y, z) と (x', y', z') の間に次の関係があることを利用した。

$$\left. \begin{aligned} x &= x' + vt + x_0 \\ y &= y' - y_0 \\ z &= z' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.10)$$

磁気制動力は軌道コイル中の抵抗損によって生じ、軌道コイル(0)に働く電磁制動力 f_D は次式で与えられる。

$$f_D(t, x_0) = i_0^2(t, x_0) R/v \dots\dots\dots(2.11)$$

車上コイル1個当たりの磁気浮上力 F_L 、電磁制動力 F_D はそれぞれ次式で計算される。

$$F_L(t) = \sum_{m=1}^{n_R} f_L(t, x_m) \dots\dots\dots(2.12)$$

$$F_D(t) = \sum_{m=1}^{n_R} f_D(t, x_m) \dots\dots\dots(2.13)$$

ただし、 x_m は各軌道コイルの中心座標 [$x_m = (m-1)l_{RP}$] であり、 n_R は車上コイルの1ピッチ長と軌道コイルの1ピッチ長の比($n_R =$

l_{TP}/l_{RP}) である。ここでは、 n_R を整数にした。

3. 浮上力と制動力

3.1 列車モデル

2章で述べた計算法を、実用的に興味がある磁気浮上列車モデルの浮上特性の検討に適用する。想定した列車は、車両重量が40トン、車両長が20m、車両幅が4mのものである。1車両当たりの車上コイルの数は4個であって、最高速度は500km/hとした。

上述の列車モデルにおいて、その設計諸元の磁気浮上力・磁気制動力に対する影響を検討する。列車モデルの代表的な設計諸元を表3.1に示した。同表中で、相互インダクタンス M はノイマンの公式によって求めたものであって、軌道コイルの時定数 τ は誘起電流の基本波に対して定義されたものである。

$$\tau = (L - 2M \cos \psi)/R \dots\dots\dots(3.1)$$

3.2 磁気浮上力

列車モデルにおける浮上力 F_L とその反力 f_L を式(2.9)と式(2.12)から計算して、その結果を図3.1に示した。同図から明らかなように、浮上力 F_L 、すなわち列車に働く浮上力は比較的大きな脈動分を有する。この脈動は主として軌道コイルが離散的であることに基いて生じるものであって、列車の機械振動の原因になる。一方、軌道コイルについて考えると、それに働く反力 f_L は、図3.1に示

表 3.1 列車モデルの諸定数
List of design parameters of the typical train model.

列車	
車両長	20 m
車両幅	4 m
車両重量	40 トン
車上コイル	
コイル長	$l_R = 9$ m
コイル幅	$w = 0.5$ m
1車両当たりのコイル数	2個/列 \times 2列 = 4個
コイルピッチ	$l_{RP} = 10$ m
コイル電流	$I = 200$ kA
軌道コイル	
コイル長	$l_R = 3.25$ m
コイル幅	$w = 0.5$ m
コイルピッチ	$l_{RP} = 3.33$ m
車上コイル1ピッチ当たりの軌道コイル数	$n_R = 3$
コイルの導体半径	$r = 0.04$ m
コイル抵抗	$R = 25.4 \times 10^{-6} \Omega$
コイルの自己インダクタンス	$L = 3.93 \times 10^{-6}$ H
コイル間の相互インダクタンス	$M = 0.098 \times 10^{-6}$ H
時定数	$\tau = 0.151$ S
浮上高さ(コイル中心間)	$y_0 = 0.25$ m

* R の計算に使用した比抵抗の値は $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$ であり、周波数特性は考慮していない。

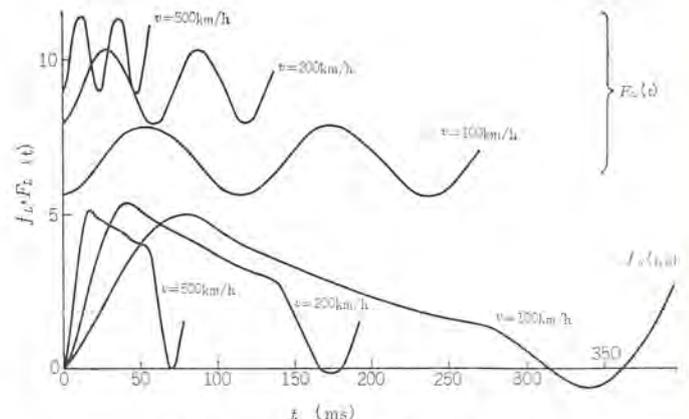


図 3.1 磁気浮上力およびその反力の波形
Wave forms of magnetic lift force and its reaction force.

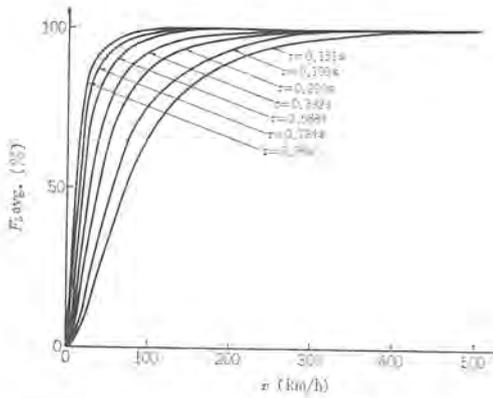


図 3.2 磁気浮上力の速度依存性

$v=500$ km/h のときの浮上力を 100% にした
Magnetic lift force versus train velocity.

The lift force at $v=500$ km/h is presented as 100%

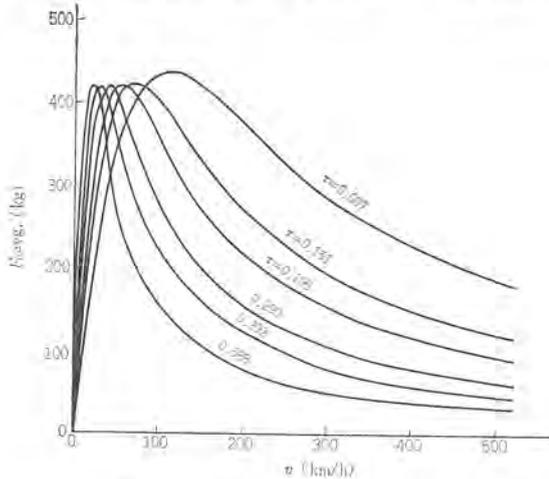


図 3.3 磁気制動力の速度依存性

$v=500$ km/h のときの浮上力が 10 トンになるように各
ケースとも車上コイルのアンペア回数を調整した
Magnetic drag force versus train velocity.

The lift force F_L avg. at $v=500$ km/h is 10 tons for all cases.

されているように、台形状であり、その値が負になる瞬間が存在する。この負の反力は f_{L2} (式 (2.6)) と B_z (式 (2.8)) の間の位相差に起因して現われ、列車に負の浮上力を生じさせる。この現象は列車速度が低いほど顕著である。

図 3.2 は浮上力の速度依存性を示したものであって、パラメータは軌道コイルの時定数 τ である。軌道コイルの時定数 τ は軌道コイルの抵抗、自己インダクタンスおよびそう入リアクトルによって決まり、その選定は軌道システムの設計上最も重要な因子の一つである。図 3.2 から明らかなように、浮上力は低速域では時定数 τ と列車速度 v に大きく依存するが、高速域ではそれらに依存しない。

3.3 磁気制動力

列車モデルの磁気制動力を式 (2.11) と式 (2.13) から計算し、その結果を列車速度 v の関数として図 3.3 に示した。同図から、磁気制動力は低速域で極大値をとり、その極大値は軌道コイルの時定数 τ にほとんど依存しないということが見出された。また、この極大値に対応する速度は、 τ の増加とともに減少することもわかった。一方、高速域の磁気制動力は τ に逆比例する。

以上の検討の結果、次のような結論を得た。すなわち、低速域の磁気制動力の極大値は、軌道コイルの抵抗を小さくするとか、軌道コイルにリアクトルをそう入するとかしても減少しない。磁気制動力の極大値を減少させ、列車の加速を容易にするためには、軌道コイル

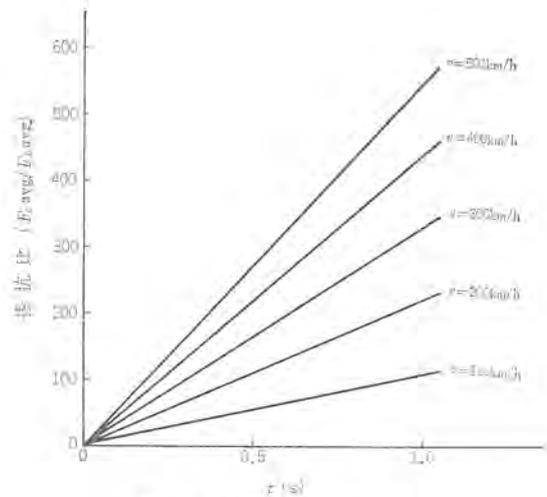


図 3.4 揚抗比の τ 依存性

Lift to drag ratio versus τ .

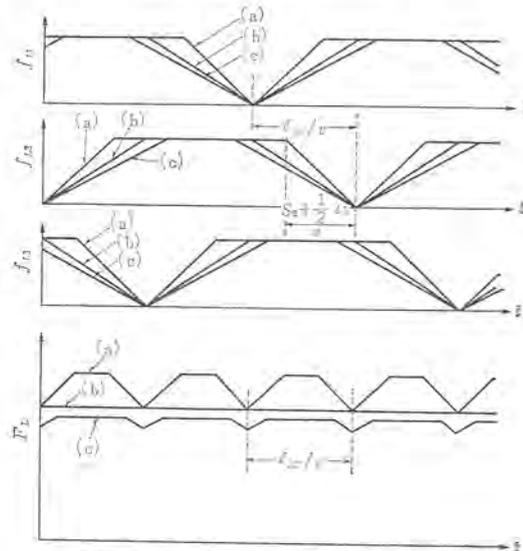


図 3.5 磁気浮上力の図式的な表現

Schematic diagram of magnetic lift force.

に誘起される電流を一時的に減少させなければならない。そのためには、低速域で次の操作をすることを推薦できる。

- (1) 車上コイルのアンペア回数を一時的に下げる
- (2) 補助車輪によって一時的に浮上高さを高くする

3.4 揚抗比

揚抗比は磁気浮上力と磁気制動力の比 (F_L/F_D) であって、浮上システムの良い判定基準の一つとして用いられる。列車モデルの揚抗比を、列車速度の関数として示したものが図 3.4 である。同図から、揚抗比は列車速度と軌道コイルの時定数 τ の両方に比例することがわかる。なお、揚抗比は速度 v あるいは時定数 τ を大きくすることによって大きな値になる。

3.5 磁気浮上力の脈動

磁気浮上力の脈動は、軌道コイルが離散的であることおよび軌道コイルの誘起電流が減衰することによって生じる。高速域における浮上力の脈動は、後者の影響をほとんど受けないから⁽⁸⁾、ここでは前者の影響について検討する。

図 3.5 は、浮上力が脈動成分を含む機構を図式的に示したものである。同図中で、 F_L は車上コイルに働く浮上力、 f_{L1} , f_{L2} , f_{L3} は F_L の反力であって、隣接する 3 個の軌道コイルに作用している。 F_L は f_{L1} , f_{L2} , f_{L3} の和である。同図からわかるように、浮上力

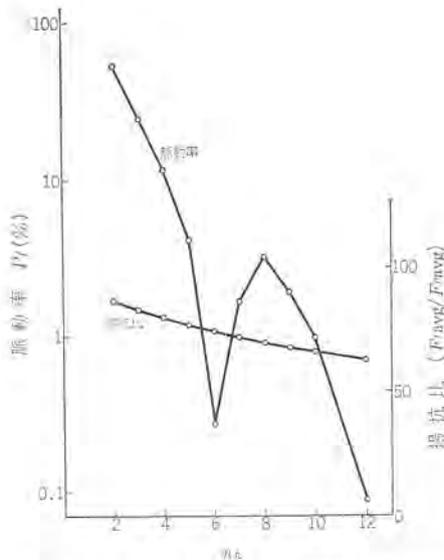


図 3.6 磁気浮上力の脈動率および揚抗比の n_R 依存性
 $v=500 \text{ km/h}$
 Pulsation factor of magnetic lift force and lift to drag ratio versus n_R .

F_L は脈動成分を含んでおり、その周期は l_{RP}/v である。さらに同図から浮上力の脈動をなくする条件が見出された。すなわち、脈動の周期 l_{RP}/v を反力の立ち上がり時間 $(S_1 + \frac{1}{2}l_R)/v$ に等しくすることでである (図 3.5 参照)。ここで、 S_1 は車上ルーフ間のすき間 $l_{TD}(=l_{TF}-l_R)$ に対応する値であって、今考えている列車モデルのように $l_{TF} \gg l_{TD}$, w, y_0 であれば、 S_1 は l_{TD} と同オーダーの値を持つ。この条件は次式のように書き直される。

$$l_{TF}/n_R = 2S_1 - l_{RD} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし、 l_{RD} は軌道コイル間のすき間である ($l_{RD} = l_{RP} - l_R$)。上記の条件式は、車コイルの 1 ピッチ長と軌道コイルの 1 ピッチ長の比 n_R や車上コイル間のすき間 l_{TD} を適当な値に選べば満足される。

一般的には浮上力の脈動を減少させる条件は、次式で与えられる⁽⁸⁾。

$$l_{TF}/n_R \leq 2S_1 - l_{RD} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

列車モデルの浮上力の脈動率に対する n_R の影響を検討してみよう。ここで、脈動率 P_f は次式で定義されるものである。

$$P_f = 100(F_{L \max} - F_{L \min})/F_{L \text{ avg}}(\%) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

図 3.6 は列車モデルにおいて、浮上力の脈動率 P_f と揚抗比が、 n_R を変化させた場合にどのように変化するかを調べたものである。ただし、 L, R および M は各 n_R に対応して計算し直した。同図に示されているように、 $n_R=6$ のときに脈動率は著しく減少している。これは $n_R=6$ のときに条件式 (3.2) がほぼ満足されるからである。

図 3.6 に示したように、揚抗比は n_R の増加とともに減少する。この理由は、 n_R の増加に従って軌道コイルのコイルエンド部分 (この部分は浮上力をほとんど発生せず、磁気制動力を発生する) の数が増加するからである。

ついでながら、車上コイル間のすき間 l_{TD} を適当な値に選べば、式 (3.2) がほぼ満足され、浮上力の脈動が著しく小さくなることも確認された。当列車モデルでは、 $l_{TD} \approx 2m$ のときに脈動率は著しく小さくなる。

4. はしご形軌道

離散的なコイル軌道よりすぐれた浮上特性を持つはしご形軌道を

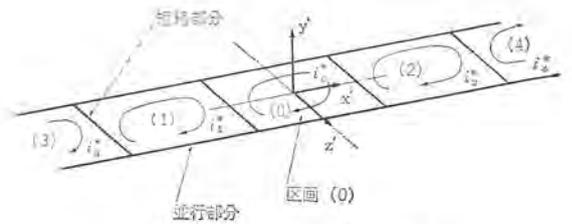


図 4.1 はしご形軌道導体
 Ladder type track conductor.

提案する。はしご形軌道とは図 4.1 に示した形状の導体を持つ軌道である。当はしご形軌道では、車上コイル 1 ピッチ長に対応する軌道コイルのピッチ数 n_R の増加に従って、はしご形導体の短絡部に流れる電流が零に近づくから短絡部に生じる抵抗損は零に近づき、その結果磁気制動力が減少する。なお、軌道コイルをはしご形にすれば軌道コイルの製作が容易になることも利点の一つである。

4.1 解析方法

はしご形軌道を備えた列車モデルを考えよう。この列車モデルにおいて、おもなコイル構成、設計諸元は図 2.1, 表 3.1 に示したものとほとんど同じであって、軌道コイルは図 4.1 に示したはしご形軌道で置きかえてある。はしご形軌道の区画 (0) (図 4.1 参照) に誘起される電流 i_0^* は次式の解で与えられる。

$$L \frac{di_0^*}{dt} + 2R_{\parallel} i_0^* + (i_0^* - i_1^*) R_{\perp} + (i_0^* - i_2^*) R_{\perp} - \sum_{j=1}^{\infty} M_j^* \frac{di_j^*}{dt} = -\frac{d\phi^*}{dt} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、 R_{\parallel} および R_{\perp} は、はしご形軌道の並行部および短絡部の抵抗であって、 $i_0^*, i_1^*, i_2^*, i_j^*, M_j^*, \phi^*$ は 2 章で述べた $i_0, i_1, i_2, i_j, M_j, \phi$ に対応するものである。2 章と同様にして、 i_0^* を求めると i_0^* は次式で表わされる。

$$i_0^*(t, x_0) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{-\alpha_n n \omega \cos \{n(\omega t + kx_0) + p_n^*\}}{\sqrt{\{2R_{\parallel} + 2R_{\perp}(1 - \cos n\psi)\}^2 + (n\omega)^2(L - 2M^* \cos n\psi)^2}} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{ただし、} \quad p_n^* = \tan^{-1} \frac{-n\omega(L - 2M^* \cos n\psi)}{2R_{\parallel} + 2R_{\perp}(1 - \cos n\psi)}$$

$$\psi = \pi l_{RP}/l_{TF}$$

式 (4.2) からわかるように、誘起電流の基本波 ($n=1$) に対して定義された軌道導体の実効抵抗は、 $2R_{\parallel} + 2R_{\perp}$ から $2R_{\parallel} + 2R_{\perp}(1 - \cos \psi)$ に減少する (ただし $n_R \geq 3$)。

はしご形軌道を持つ列車モデルの浮上力は、式 (2.9) で i_0 のかわりに式 (4.2) で表わされる i^* を使えば求められる。一方、磁気制動力は次式で表わされる。

$$F_D(t) = \sum_{m=1}^{n_R} [2R_{\parallel} i_0^{*2} + \frac{1}{2} R_{\perp} \{(i_0^* - i_1^*)^2 + (i_0^* - i_2^*)^2\}] / v \quad \dots\dots (4.3)$$

$$\text{ただし、} \quad i_1^* = i_0^*(t, x_m - l_{RP}),$$

$$i_2^* = i_0^*(t, x_m + l_{RP}),$$

$$x_m = (m-1)l_{RP}$$

4.2 浮上特性

前節で述べた計算方法を、はしご形軌道を備えた磁気浮上列車モデルの浮上特性の計算に適用する。当磁気浮上列車モデルのコイル構成および諸定数は図 2.1, 表 3.1 に示したものと同様であって、軌道は図 4.1 に示したはしご形軌道で構成されている。列車モデルの揚抗比、浮上力の脈動率の計算結果を示したものが図 4.2 である。図 4.2 と図 3.6 を比較すればわかるように、 n_R が大のとき

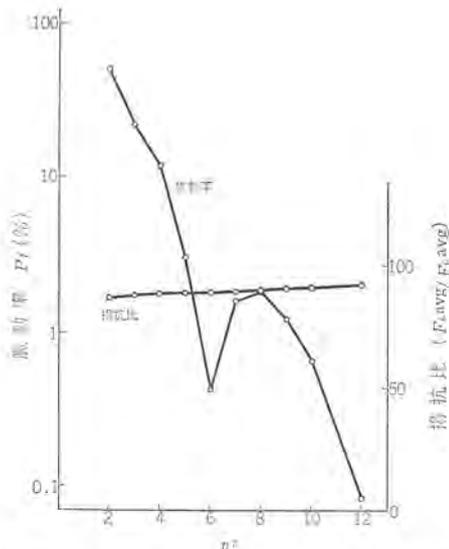


図 4.2 磁気浮上力の脈動率および揚抗比の n_R 依存性 (はしご形軌道) $v=500$ km/h
Pulsation factor of magnetic lift force and lift to drag ratio versus n_R (ladder type track system).

は、はしご形軌道のほうが離散的なコイル形軌道より揚抗比の点ですぐれている。この理由は、はしご形軌道では n_R の増加とともに短絡部における抵抗損失が減少するためである。一方、脈動率は、図 3.6 に示されている場合と同様に、 n_R を適当な値に選定 (当モデルでは $n_R=6$) すれば、著しく減少することも図 4.2 からわかる。

5. む す び

実用的に興味のある規模の磁気浮上列車モデルに働く、磁気浮上力および磁気制動力を理論的に検討した。おもな検討結果は以下のとおりである。

- (1) 列車に働く浮上力は脈動分を含んだ直流であり、この脈動は、車上コイルの 1 ピッチに対応する軌道コイルのピッチ数 n_R を適当な値に選定すれば、著しく減少する。
- (2) 低速域の浮上力は、軌道コイルの時定数 $\tau (\approx L/R)$ の増加とともに増加する。

- (3) 低速域に存在する磁気制動力の極大値は、軌道コイルの時定数 τ にほとんど依存しない。
- (4) 高速域の磁気制動力は τ に逆比例して減少する。
- (5) 揚抗比は列車速度 v および軌道コイルの時定数 τ に比例する。
- (6) 本文で提案したはしご形軌道は、離散的なコイル形軌道に比べて、揚抗比の点ですぐれた特性を持っている。

参 考 文 献

- (1) Powell J. R. : Dynamically Stable Cryogenic Magnetic Suspension for Vehicles in Very High Velocity Transport Systems, Recent Advances in Engineering Science 5, A. C. Eringen, ed. Gordon and Breach (1970)
- (2) 宇佐美 : 超高速鉄道と磁気的应用, 応用磁気第 137 委員会, シンポジウム資料 (昭 46-1-27)
- (3) J. R. Powell and G. T. Danby : High Speed Transport by Magnetically Suspended Trains, ASME Winter Meeting New York, N. Y. (Nov. 27-Dec. 1, 1966)
- (4) J. R. Powell and G. T. Danby : Magnetically Suspended Trains ; The Application of Superconductors to High Speed Transport, Cryogenics and Industrial Gases, pp 19-24 (Oct. 1969)
- (5) R. H. Borcherts and J. R. Reity : High Speed Ground Transportation via Magnetically-Supported Vehicles ; A Study of the Magnetic Forces, Transportation Research Journal 5, pp 197-209, Pergamon Press (1971)
- (6) J. R. Reity : Force on Moving Magnets Due to Eddy Currents, JAP 41, 2,067 (1970)
- (7) J. R. Powell and G. T. Danby : Magnetically Suspended Trains for Very High Speed Transport, Transactions of the 4th Annual IECEC conf., Washington, D. C. (Sept. 1969)
- (8) 山田, 岩本 : 磁気浮上式超高速列車における浮上特性の理論検討, 電気学会誌 (昭 47-1)

最近のコータ用電機品

安齋 廣成*・真篠 幸雄**

Electric Equipment for the Latest Coating Machines

Head Office Hironari ANZAI
Kobe Works Yukio MASHINO

Recently productive facilities of coated paper have been set up one after another to meet the increase of the demands. Mitsubishi Electric has delivered the electric equipments for them, which have been working with success now. Large sized and high speed machines, such as maximum paper trim of 5,000 mm and the top speed of 915 m/min have been in practice. They call for quick response and high accuracy. The latest electric equipment delivered by the Company is of a Thyristor-Leonard system and fully meets the above requirement. It also works for labor saving. The article describes the mechanical system, and also introduces electric equipment for control and instrumentation.

1. ま え が き

昔から紙の需要は、文化の発展に比例すると言われてるように、経済力が豊かになるにつれ、年々消費量がふえている。パルプから作られるいわゆる“紙”をはじめ、特殊紙として、プラスチックをベースとした合成紙、事務用の感圧紙・複写用紙・印画紙、防湿を考慮した建築材料なども、紙業界における重要な位置をしめ、幅広く、より高級な製品が要求されている。これらはいずれも原紙にいろいろな方法で、何らかの材料を塗工して得られており、印刷性・発色性・表面の体裁・防水性・防湿性・耐油性などが目的である。この要求に応じた製品を生み出すためには、紙の加工工程における技術のレベルアップが必要であり、今後とも、紙業界における重要な課題となるであろう。

そこで、本文では加工工程において、近年特に注目されているコートにつき、その機械的説明を含め、電機品を紹介する。

2. コータの種類

一般にコートと言えば、原紙に塗料をコートする部分をさすのであるが、大きく分けると次のように2種類となる。

- (1) オンマシンコート
- (2) オフマシンコート

これらは、塗工部分が、抄紙機の中に組み込まれているか、独立しているかによる違いで、目的が少々異なる(表2.1参照)。

2.1 オンマシンコート

抄紙機の中の1セクションとして設置されるもので、塗工部のみがコートと呼ばれる。オンマシンコートにもいろいろな種類があるが、心臓部である塗工部に関しては、オフマシンコートと大差ないため、ここで詳細に説明することは省略したい。

2.2 オフマシンコート

抄紙機とは全く独立したコートで、塗工のみを目的とする専用機である。種々な方式に分けられ、概略は次のようになる。

(1) 払い出し部

ファンインダは、ターレット方式のものとトランスファ方式のもの、また中心軸駆動のものと表面駆動のものに分類される。

前者は、ニューロールとオールドロールが装着される機械部が異なるも

ので、ターレット方式とは、支柱のまわりに回転するアームにロールを装着しておき、1本のロールが払い出し完了すると、ターレットを回転し、続いて次のロールから払い出す方式である。この方式においては、ある程度以上の重量ロールになると機械的に困難となるので、その場合には、トランスファ方式を採用する。トランスファ方式とは、固定された台の上に最初のロールをのせ、ある程度、払い出しがすすんだ時点でトランスファアームがロールを持ちあげ、続いて、次のニューロール装着を可能にする方式である。動作に関する詳細は、3.5節に述べてある。

後者は、電動機により、駆動する動力伝達方式の違いからくるもので、電動機のトルクを、ロールの中心軸からロールに伝えるか、ロールの表面に加えるかの違いである。払い出し部に電動機を設置する目的は二つあり、一つは、ニューロールをライン速度まで加速するため、他の一つは、運転中の紙張力を制御するためである。中心駆動方式では、これらの2目的を満足させるときに用いられ、表面駆動方式では、加速を目的とし、運転中の張力制御は、機械ブレーキ・エアブレーキ等で行なうのが普通である。表面駆動は、ロールの表面にスピードベルトを押し付けて、ロールを加速するので、スピードベルトの表面速度をライン速度にマッチさせておく必要がある。紙継ぎが完了するとベルトを離し、電動機は停止する。一方、中心軸駆動方式の場合は、ロールの径により、電動機の運転スピードが異なるので、これをあらかじめ設定しておき、スタートする。紙継ぎが完了すると、電動機を速度制御から張力制御に切換え、続いて張力制御を行なうことができる。

(2) 塗工部

オフマシンコートの心臓部であるコートにも、多くの種類がある。

- (a) ブレードコート
- (b) コントラコート
- (c) エクストルージョンコート
- (d) エアナイフコート
- (e) メーティングバーコート等々

(a)は、原紙が、パッキングロールを通過する際に塗料を塗られ、余分な塗料は、ブレードでかき落とされる。(a)にもいろいろな方法があり、フレキシブルコート、ファウンテンコート、フラッドドリップコート等がある。

表 2.1 コータの種類および特長
Kind and features of coaters.

コータ種類	構造図	特長
ロールコータ		<ol style="list-style-type: none"> 1. 両面同時塗工をする。 2. 平滑で塗工精度の良い塗工を行なうことができる。 3. 各ロール、独立した電動機で駆動する。
ブレードコータ		<ol style="list-style-type: none"> 1. 濃度の高い塗料の塗工ができる。 2. 粘度の高い塗料の塗工ができる。 3. 濃度の高い塗料を少量塗工するので乾燥負荷は少なくすみ、シリンドライヤを使用して乾燥させることができる。 4. 高速の塗工ができる。 5. ブレードにより塗料の表面が均一化され、紙のおうとつ(凹凸)がなくなり、仕上がりが平滑となる。 6. フレキシブルブレードコータは、オンマシンにも使用される。
コントラコータ		<ol style="list-style-type: none"> 1. 紙、金属、はく(箔)、フィルム、織物などの塗工に用いられる。 2. あらゆる種類の塗料を塗工することができる。 3. 塗布量の精度が高く、平滑で塗工精度のよい塗工を行なうことができる。
エクストルージョンコータ		<ol style="list-style-type: none"> 1. 紙(板紙、薄紙)、はく、フィルム、織物などにポリエチレン、ポリプロピレン、プラスチック重合体の塗料をダイから押し出して塗工する。 2. 低質な原紙でも仕上がりに与える影響が少ない。
エアナイフコータ		<ol style="list-style-type: none"> 1. 塗料の厚みが一定となり、紙のおうとつ(凹凸)があれば、コート紙の表面も同じようにおうとつが現われる。 2. 多量に塗布した塗料を、エアナイフにより計量するため、濃度は高くできない。 3. 低濃度の塗料を多量に塗工するので、長いアーチドライヤを必要とする。 4. 塗料の腐化の問題、乾燥能力などの原因により、運転速度はあまり高くできない。
メータリングバーコータ		<ol style="list-style-type: none"> 1. 運転・清掃・保守が簡単である。 2. 据付面積が少なく設備費が安い。 3. 塗布量が少ない。 4. メータリングバーが細いので、ロールメータリングが小さい。

(b)は、塗工用のロールが3本ある。ピックアップロールが、カラーパンから塗料をピックアップし、メータリングロールで計量し、アプリケーションロールに移す。アプリケーションロールが原紙にタッチしコートする。

(c)は、合成樹脂を原紙にコートするもので、エクストルuderから押し出された材料を、チルロールと原紙の間に流し込み、コートするものである。

(d)は、(b)と同様な方法で塗工し、余分な塗料は、バックアップロールでささえられた部分でエアを吹き付け、計量と平滑化を行なう。

(e)は、カラーパンの中で回転するアプリケーションロールに直接原紙が接触し、コートされ、その後に配置されたメータリングバーで余分の塗料が落とされる。

3. コータ電機品

3.1 コータ電機品の特長

3.1.1 サイリスタレオナード方式の採用

最近納入したほとんどの電機品は、サイリスタレオナード方式で、おもしろなるセクションには、インバータ付きを使用している。これにともない、電動機界磁電源もシリコン整流器形とし、静止化されている。

3.1.2 静止形速度基準回路方式

速度基準回路は、従来のパイロットモータによる電動可変抵抗器をやめて、演算増幅器を用いた静止形基準回路とした。

3.1.3 通紙テープ制御

従来、数セクションごとにループを作り、そのセクションで、まわされてきたものから、全ラインを1本のテープでループを作り、これを1台の電動機でドライブする新方式となっている。また、運転速度は0~40 m/min前後とし、ライン運転中も40 m/min前後で運転を継続する。

3.1.4 ロール径検出器を使用

払い出し部のロールの交換、電動機の起動停止、紙継ぎ等を、自動で行なうため、IC採用の本装置を用いている。

3.1.5 プリセットカウンタ(はり合わせ位置設定器)を使用

払い出し部で紙継ぎを行なったとき、そのはり合わせ位置を監視し、あらかじめ決められたセクションを通過するときに信号を出す。IC採用。

3.1.6 スピードドロー測定装置を導入

コータにおいても、各セクション間のドローが、製品に及ぼす影響が大きい。当社では、アナログ式・デジタル式の両方式とも納入している。トランジスタ・IC採用。

以下、順を追って、上記事項につき詳しく記したい。

3.2 サイリスタレオナード方式の採用

最近製作されたオフマシンコータに、運転最高速度915 m/minと言った高速機がある。紙の需要の伸びに比例し、高速化されつつあるわけであるが、これに従いドライブサイドでは、電機品の高精度・高速応性が要求されてくる。

従来のM-G方式は、発電機または昇圧器の界磁を、磁気増幅器形サイリスタ増幅器で制御するため、サイリスタ増幅器、発電機、昇圧器のコイル、界磁等の一次遅れが影響し、速応性では限界があった。また、昇圧器を使った場合には、ループゲインを高くしがたいと言う難点がある。

これに対し、サイリスタレオナード方式を用いれば、サイリスタ側の遅れ要素がなく、制御増幅器は、高性能演算増幅器を用いているため、ループゲインも十分にとれ、精度・速応性ともに向上できる。

また、最近の大形オフマシンコータは、ほとんどセクショナルドライブ方式で駆動され、電源電圧変動・周波数変動・負荷変動等に対して、各セクション間におけるドローの変動をおさえねばならない。すなわち、ラインシャフトドライブ方式のように、各セクション間が、機械的に結合されているのと異なり、セクションごとに電動機を持ち、おのおの電氣的に制御されねばならないからである。

一般にコータの制御は、定速運転中よりも加減速中のほうがむずかしいと言われている。それは、抄紙機と比べて、オフマシンコータの

場合の運転方法が全く異なる点にある。つまり、抄紙機の場合には、ワイヤパートに“種のせ”をする以前に、各セクション個々にスタートし、運転速度まであげて、全セクションをせん(揃)速させる。その後、ワイヤに“種のせ”をし、キャリアロープで通紙をし、そのままの速度で運転に入る。運転中の速度を上げ下げする必要がある場合でも、ごくわずかつつ、つまり、加減速率が非常に小さくなっており、大幅に変えることはない。

一方、コータの場合は、通紙速度(普通20~40 m/min くらい)で、ライン全体を運転しておき、通紙テープに紙の先端をロープで結んで、引っ張りながら通してゆく。通紙が完了し、リールに紙を巻き付けした後、ライン全体をいっせいに増速し、一気に運転速度まであげる。この間に、 GD^2 の違い等によるセクション間の張力変動を抑え、せん速制御をしないと紙切れを起こす。また、加減速中の紙は損紙となり製品にならないので、これを極力少なくするために急加減速が要求され、高精度・高速応性のある制御が必要となるわけである。

各セクション電動機は、速度制御され、マイナーストップとして、電流制御ループ・電圧制御ループを持っている。すなわち、速度という主制御対象の好制御を要求されるだけでなく、

- (1) 電機子電流または電圧のような制御対象の最高値の制限(電流リミット・電圧リミット)
- (2) 外乱による制御対象の急激な変動をおさえる閉ループ制御
- (3) 一つの制御モードから他の制御モードへ、簡単にかつスムーズに変更できる。
- (4) 簡単な構成で調整が容易な最適制御ループ

等が重要であり、主制御対象の制御(電動機速度、端子電圧)や二次制御量の制御(電流リミット、電圧リミット)に、マルチループ制御方式を採用している。このマルチループ制御方式であれば、前記(1)~(4)の要求を満たしている。

たとえば、アンワインダ用電動機・トランスファ電動機・リール電動機等のセクションで、速度制御と張力制御(電流制御)を切替えて使用するような場合が、前記の制御モード切替に相当する。すなわち、速度制御で運転していたものを、速度制御アンプを飽和させるだけで、電流制御に移行できる。この際、飽和させただけでは電流ループの基準信号が、最大値一定であるから、電流制御信号で制限値を変化させて制御する方式をとる。つまり、回路上、基準信号と帰還信号をその都度接続がえせずに、スムーズに移行できる。この制御方式のブロック図を図3.1に示す。

前述のごとく、コータでは急加減速運転が要求されるので、不用意にインバータなしのサイリスタレオナードを採用すると、加速のときは問題ないが、減速のとき次のような現象があらわれることがあり得る。ラインのあるセクションに、 GD^2 の非常に大きいところがあったとすれば、当然減速時遅れを生ずる。このセクションについて見れば、減速はメカロスのみで行なわれており、サイリスタレオナードとしては、制御していないことになる。したがって、 GD^2 の小さなセクションは先に減速し、遅いセクションとの間に速度差を生じ、紙切れを起こす原因となる。これを避けるには、減速時間を十分伸ばせば、一応まぬがれるが、急加減速を要求されるコータとしては望ましいことではない。そこで、サイリスタレオナード装置を、インバータ付きとし、急減速

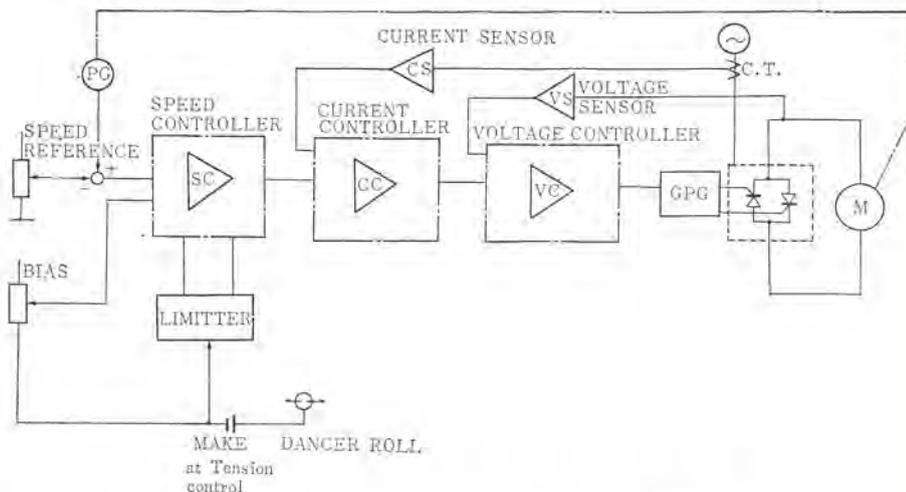


図 3.1 速度制御・張力制御ブロック図
Block diagram of speed control and tension control.

時にもせん速制御できるようにする。

次に、メンテナンス・揺付・騒音等の問題であるが、従来の昇圧器制御方式と比較して、サイリスタレオナード方式は大いにすぐれている。また、他の制御器も静止化する方向にある。この点を重視し、省力化に努力しており、例として、界磁直流電源は、従来回転形定電圧直流発電機を用いていたが、これをシリコン整流器による静止形電源にかえた。速度・電流基準信号は、従来パイロットモータで可変抵抗器を動作させ、その回転速度により加減速時間を調整、回転角によって速度等の基準信号を調節していたが、これを、高精度演算増幅器から構成されるランプファンクションジェネレータ方式とした。後者の場合は、手動の主設定器以外には、可動部分はなく、メンテナンス部分がほとんどない。

続いて、ダンサロールによる張力制御方式について述べる。各セクションごとに GD^2 が異なるラインを、いっせいに加減速するには、セクション間の加減速時間差によって生ずる紙のたるみや張りを吸収し、それがなくなるよう制御しなければならない。張力検出器にもいろいろあるが、紙の逃げを考えようとしては、ダンサロール制御が最も適している。ダンサロール部分の紙の張力は、これに供給されるエア圧力によって決定されるため、ニードルバルブによる微細な設定ができるように考慮されている。ダンサロールの軸にシンクロ発信器を取り付け、軸の回転角すなわちロールの移動量に比例した電圧をとり出し、これを速度制御信号に加えている。ダンサロールからの信号は、2セクションの速度に差が生じた場合に発生するので、ダンサロールを定位置に戻すような信号が出て、設定された速度基準信号が増減され、速度変化となってあらわれてくる。この信号に対するループゲインをあまり高くすると、不安定となるので最適値に設定する。

ダンサロールと並んでたびたび使われるものに、差動変圧器式張力検出器がある。これは、張力検出用のセンシングロールの軸受部分に取り付けるもので、ロールに加わる張力の大小により、差動変圧器の位置が変化することを利用する。機械的に紙の逃げをもうけることはあまりできないが、紙のパスは常に一定であるので、パスの変化により製品に影響を及ぼす心配はない。

ダンサロール・差動変圧器式張力検出器のおおのこの信号を、サイリスタレオナードに入力するには、次のようにする。

(a) ダンサロールの場合

前述のように、ダンサロールには、シンクロ発信器を取り付けてあり、

単相交流（商用周波）を加えて動作させる。シンクロ 発信機の出力信号は、回転角にして 120° ずつずれており、サイン波である。この信号をそのまま加えることはできないので、この信号を回転角に比例した直線特性に修正し、サイスタレオードに加える。このようにすれば、水平方向に動く ダンソール の位置変化が、いったん回転角に変換され、これが、極性を備えた直流変化電圧となってあらわれてくるので、この電圧値変化により、電動機 の速度制御をすれば、ダンソール が定位置にくるように制御され、張力も一定値に保たれる。

(b) 差動変圧器式張力検出器

この検出器は、片持ち板ばねと、差動変圧器の組み合わせから成っており、これに中空の非鉄金属でできた軽い ロール をのせ、ロールの自重による影響が出ないように調節する。また、ロール自体は十分にバランスのとれたものを使用し、動不平衡率も極力小さな値におさえる必要がある。差動変圧器は、張力のフィードバック信号を検出するためのものであるから、制御系から見れば、これに対する基準信号が必要である。そこで、機側の操作盤には張力設定器を設け、制御系は、この基準信号にみあった張力フィードバック信号となるようにコントロールする。

3.3 静止形速度基準回路方式

演算増幅器を、積分形とした部分が主体となった、ランプ ファンクションジェネレータである。全体は、フィードバックループができており、積分器の出力信号と設定器の信号とを突き合わせている。突き合わせ部分にも演算増幅器を設け、次段の積分器に与える電圧を制御して、加速時間・減速時間を設定する。初段の演算増幅器には、運転速度設定器の信号と通紙速度設定器の信号が、その運転状態に応じ、切換えられて入力されてくる。一般に、通紙速度は運転最高速度の 1/30~1/50 に相当するため、基準信号が非常に小さくなる。そこで、突き合わせ用の演算増幅器入力インピーダンスを大きくし、通紙速度設定器に加える電圧も大きくして、調整を容易にするように考慮している。

3.4 通紙テープの運転

通紙テープは通紙時のみ使用するものであるが、通常運転時でも低速で運転を継続し、ドライヤ部の熱で変形したりせぬようにしている。この目的からいって、平常時はラインの速度ほど高速運転する必要がない。したがって、通紙テープの速度基準信号の前に、一段のリミッタ回路を設け、ライン速度基準信号が通紙速度以上に上った場合、リミッタが働き、通紙速度以上の基準信号とならないようにしてある。

通紙時には、各セクションロールの周速と通紙テープ速度は、ほぼ一致していなければならないが、極端にずれていたとすれば、紙切れを起こしたり、スリップしたりすることになる。また、紙の実際に通るパスと通紙テープの長さ関係も、機械的構造から言って、全く同一にすることは不可能であり、この場合も同様、極端に異なると紙切れを起こすので、これに対する逃げが考慮されている。コータでは、いったん紙切れが起こると、通紙のやりなおしに時間を要するので、通紙時の効率をあげるよう努力している。

3.5 ロール径検出器

コータの操作で一番複雑な部分は、紙の払い出し部である。アンワインダトランスファ方式の場合を例にとれば、最低次のような操作がある。まず、新しいロールをアンワインダにのせ、通紙をしてから運転に入る。アンワインダは張力運転に切換えられる。運転に入ってからしばらくして後、トランスファアームをアンワインダのシャフト部まで降ろす。払い出しが続

いて、約半分までロールが細ったところで、トランスファ電動機を速度制御で起動し、トランスファ軸速度が、アンワインダ軸速度に一致するように制御する。速度が一致した後、トランスファのクラッチを入れ、アンワインダのクラッチを切り離し、アンワインダ電動機をとめる。それと同時にトランスファ電動機を、速度制御から張力制御状態に切換え、トランスファアームを上げる。残った紙がトランスファから払い出されている間に、停止しているアンワインダに新しいロールをのせ、電動機とのクラッチを入れてから待機する。このとき、新しいロールは、のり付けの用意のため、紙の端を矢形に切り、のりを付けておく。トランスファのロールが、細くなったところで、アンワインダ電動機を速度制御で加速し、トランスファ軸速度と一致させる。スプライスロールとナイフが装置されているスプライスアームを、アンワインダ側に寄せ、速度一致で、紙継用意完了、“紙継”の押しボタンを押すことにより、スプライスロール、続いてナイフが出て、紙継ぎ完了、アンワインダ電動機を張力制御に切換え、トランスファを停止させる。

以上が1サイクルである。この操作をすべて手動でやると、大分人手を要するため、ロール径検出器を開発した。単なるオートスプライサではなく、ロール径を常にカウントし、ロール径の必要箇所まで信号を出すことができる。一例として、表 3.1 に信号の種類を表にしてあらわしてある。この図でわかるように、ロール径検出器を用いれば、人間がするべき仕事がアンワインダに、新しいロールをのせ、のりを付ける作業と、トランスファから、空スプールを取り除く仕事程度ですむことになる。

ロール径検出器本体は、ICを使用した NAND 回路から成っており、検出器として PLG・近接スイッチ等がある。

アンワインダトランスファ方式の場合で、PLG 3 台を用いる場合について説明する。

PLG の 1 台は、アンワインダ電動機に、1 台はトランスファ電動機に、残り 1 台は、ラインの基準となるセクションの電動機に、それぞれ取り付ける。

ラインの基準となるセクションの電動機に取り付けられたものを、PLG1、アンワインダを PLG2、トランスファを PLG3 とすると、まず、PLG1 は、ライン速度が一定である以上、一定数のパルスを出している。次にアンワインダが運転されているとき、PLG2 から出るパルス数は、アンワインダの回転数に比例する。したがって、ライン速度が一定の場合には、ロールの径が小さくなるほど、回転が早く、出るパルス数が増加する。そこで、一定パルスの PLG1 が、あるパルス数だけ出す間に、PLG2 が何パルス出すかを計測することによって、現在、

表 3.1 ロール径検出器出力信号
Output signal of roll diameter detector.

ロール径検出器信号	計測ロール	備 考
① トランスファ起動信号	アンワインダ	トランスファ電動機起動信号
② アンワインダ→トランスファ切換信号		DIGI-SWITCH により設定した径で信号を出し、アンワインダからトランスファに張力制御を切換える
③ 予備		
① アンワインダ起動信号	トランスファ	アンワインダ電動機起動信号 DIGI-SWITCH により径を測定
② 紙継ぎ信号		トランスファロールが細くなったときの任意の径を DIGI-SWITCH で設定し、信号を出す
③ 予備		



図 3.2 PLG アンプ 外観
PLG amplifier.



図 3.3 ロール径検出器外観
Exterior view of roll diameter
detector.

PLG 2 は、何回転でまわっているか、すなわち、ロール径がいくらであるかがわかることになる。同様に PLG 3 の場合も考えられる。

PLG を用いて連続的に、いつでも計測しているため、設定値さえ変えてやれば、任意の点で信号を出すことができる。設定は、ディジスイッチにより、いつでも設定値をかえることができる。

PLG から出される信号は、非常に弱い信号であるため、遠方へ送る場合には、いったん PLG アンプで増幅、波形整形してからとする。出力は、波形整形後、く形波となり遠方へ送られる(図 3.2)。

以下に、ロール径検出器の概略仕様を記す。

ロール径検出器仕様

- | | |
|---------------------|----------------------|
| (1) 検出器 (電磁式 PLG) | 600 Pulse/Rev. |
| (2) PLG 用増幅器 | |
| 最小入力電圧 | 0.5 V 以上 |
| 出力電圧 | 0~20 V く形波 (1 kΩ 負荷) |
| 周波数範囲 | 20~50 kHz |
| (3) 近接スイッチ | |
| (4) 近接スイッチ用プリアンプ出力 | 0~48 V く形波 |
| (5) ロール径検出器 | |
| デジタル 3 けたで、ロール半径を設定 | |
| 設定数 | 5 |
| 設定範囲 | 0~999 mm |
| 入力 (PLG 用増幅器からの信号) | 0~20 V く形波 |

PLG のみ 3 台用いた例を述べたが、ロール用 (アンワインドトランスファ用) には、近接スイッチを用いることもできる、すなわち被測定ロールの N 回転当たりの、基準電動機 PLG のパルス数をカウントし、それが設定値以下になれば信号を発する方式である。PLG にするか、近接センサにするかは、そのときの状態でどのようにでもなるが、近接センサの取付位置は機械側、PLG の取付位置は電動機側といったケースが普通である。

3.6 プリセットカウンタ

コータで紙継ぎを行ない、連続運転を行なう以上、必ず紙の継ぎ目が生ずる。この継ぎ目は、コータ部・カレンダー部を通るとき、ブレード、ロール等に傷を付けたり紙切れを起こす心配があるので、継ぎ目通過時、ブレードを離したり、ロールニップ圧を下げたりする操作が必要である。この信号を得るのに、ライン基準電動機に PLG を取り付けておき、紙継ぎ完了信号でカウント開始とする。払い出し部の紙継ぎ位置からコータ、またはカレンダーまでの紙のパスレングスは決まっているので、そこまで紙の継ぎ目が到達するには、PLG が何パルス出すかをチェ



図 3.4 アナログスピードドロー測定装置
Analog speed-draw indicator.

ックしておき、その値を設定することとする。カウント完了したところで、電磁弁へ信号を送る。いったん信号を出し終われば、オートリセットし、次の紙継ぎまでカウンタのゲートを閉じ、待機する。

以下に、本装置の概略仕様を記す。

プリセットカウンタ仕様

- | | | |
|-------------|----------------------|-----|
| (1) 設定数 | 4 組 | |
| (2) 設定範囲 | 0~99 m (1 m ごと可変) | 2 組 |
| | 100~199 m (1 m ごと可変) | 2 組 |
| (3) 紙長/1パルス | 1.25 mm | |

3.7 スピードドロー測定装置

コータに原紙が装着されてから、リールで巻き取られるまでに、何セクションの間を通過するが、このときコータでは、塗料が塗られ紙が濡れるため、原紙はいったん伸びる。これがドライヤに入ると乾燥されて縮む。両面コータの場合には、これを 2 度繰り返す。このように各セクション間の紙の伸び縮みがあるため、セクション間ドローは、十分に測定され、製品に与える影響をチェックする必要がある。濡れた紙がたるんだり、張り過ぎたりすれば、“しわ”がよって製品にならない。そこで、ここにスピードドロー測定装置を紹介する。スピードドロー測定装置には、アナログ式とデジタル式の 2 種類がある。

3.7.1 アナログスピードドロー測定装置

装置は、検出器の PLG、PLG 増幅器、本体の三つから成っている。アナログ式であっても、検出回路および演算回路は、デジタルであるため精度は非常に高い。

一般に、ドローを測定する場合、デジタル演算回路を設けて、あるサンプリング時間中の二つの回転体のパルス差を測る方法と、サンプリング時間をもうけず、瞬時瞬時のパルス差を検出する方法とがあるが、この装置は、後者の方式を採用している。

二つの検出器からのパルス信号を、スイッチング回路で差の周波数のパルス信号に変換し、さらにアナログ電圧に変換して、自動平衡形記録計で記録表示する。

アナログスピードドロー測定装置概略仕様

- | | | |
|--------------|-------------------------------|---------|
| (1) 検出器 | 電磁式 PLG | 600 P/R |
| (2) PLG 用増幅器 | 3.5 ロール径検出器用と同一仕様 | |
| (3) 本体 | | |
| ドロー測定範囲 | 電動機定格回転数の $\pm 2\%$ 以下 | |
| ドロー測定可能速度範囲 | 100~1,400 rpm
(電動機回転数において) | |
| ドロー測定精度 | $\pm 0.01\%$ | |
| ゼロポイント | ドロー測定範囲の ± 2.75 倍 | |



図 3.5 デジタルスピードドロー測定装置
Digital speed-draw indicator.

3.7.2 デジタルスピードドロー測定装置

IC採用によるデジタルスピードドロー測定装置が開発された。従来のもものと比較した場合の特長をあげると次のようになる。

(1) スイッチの切換えで、SPEED A, SPEED B, SPEED-DIFFERENCE A-B, DRAW $\frac{A-B}{B} \times 100\%$, RATIO $\frac{A}{B} \times 100\%$ の測定方式が得られ、多用途に使用できる。

- (2) ICの採用により信頼性が向上した。
- (3) 消費電力が小さくなり経済的である。
- (4) 各部がユニット化され保守・点検が容易。
- (5) チェック回路により本装置を簡単に校正できる。
- (6) スピードドローの計測単位 (m/min, rpm) を簡単に変更できる。
- (7) 小形である。

以上があげられ、さらに使いやすいものとなってきた。

4. 納入実績

表 4.1 は、今までに納入されたコータ電機品の一覧である。これより明らかのように、最近では両面形オフマシンコータがほとんどを占め

ており、運転速度も速くなっている。

ここで、最近納入のオフマシン両面ブレードコータに付き、一例をあげて、問題点等を考えてみたい。図 4.2 は、オフマシン両面ブレードコータの簡略結線である。

払い出し部は、アンワインダトランスファ方式で、速度制御・張力制御をそれぞれ切換えて制御する。張力制御は、回生制動を行なうためにインバータ付きのサイリスタレオナード装置を用い、紙が引っ張られて払い出されているときは、インバータ運転によるバックテンションが紙に加わることになる。アンワインダ、トランスファ共に、センタドライブ方式であるため、一般に、コイルの径に追従するダイヤサーボを用い、サイリスタレオナードで電流制御を、界磁サイリスタアンプで逆起電圧制御をする

表 4.1 コータ電機品製作経歴
History of manufacturing coater electric equipment.

納入年度	納入先	機械メーカー	運転速度 m/min	その他
昭和34年	五 条 製 紙	ヤーゲンベルグ	125	オフマシンコータ
35	三菱製紙(高砂)	旭 鉄 工 業 近 鉄 興 産	37.5~300	オフマシンコータ
37	三菱製紙(高砂)	旭 鉄 興 産	30~180	オフマシンコータ
37	三菱製紙(京都)	三菱重工業	45~300	オフマシンコータ
38	某 社	某 社	20~100	オフマシンコータ
39	ソ連(シクティフカル)	三菱重工業	200~600	オンマシンコータ
39	石川島播磨重工	石川島播磨重工	100~250	オフマシンコータ
39	海 渡 化 学	三菱重工業	400	オフマシンコータ
40	石川島播磨重工	石川島播磨重工	50~250	オフマシンコータ
41	石川島播磨重工	石川島播磨重工	150~300	オフマシンコータ
41	三菱重工業	三菱重工業	40~400	エクストルー ジョンコータ
41	三菱重工業	三菱重工業	200~600	オフマシンコータ
41	王子製紙(春日井)	三菱重工業	250~750	高速ノリ離装置巻戻機
42	日本加工製紙	三菱重工業	750	オフマシンコータ
43	本州製紙(富士)	三菱重工業	300	オンマシン両面コータ
43	富 士 加 工	石川島播磨重工	300	オフマシンコータ
43	某 社	三菱重工業	50	オフマシンコータ
45	山 陽 パ ル プ	三菱重工業	400	オンマシンコータ
45	三菱製紙(高砂)	石川島播磨重工	400	オフマシンコータ
45	山 陽 パ ル プ	三菱重工業	40~800	オフマシンコータ
46	三菱製紙(八戸)	三菱重工業	900	オフマシンコータ
46	三菱製紙(八戸)	三菱重工業	700	オンマシンコータ
46	中 外 炉 工 業	中外炉工業	450	オフマシンコータ
46	王子製紙(春日井)	三菱重工業	915	オフマシンコータ

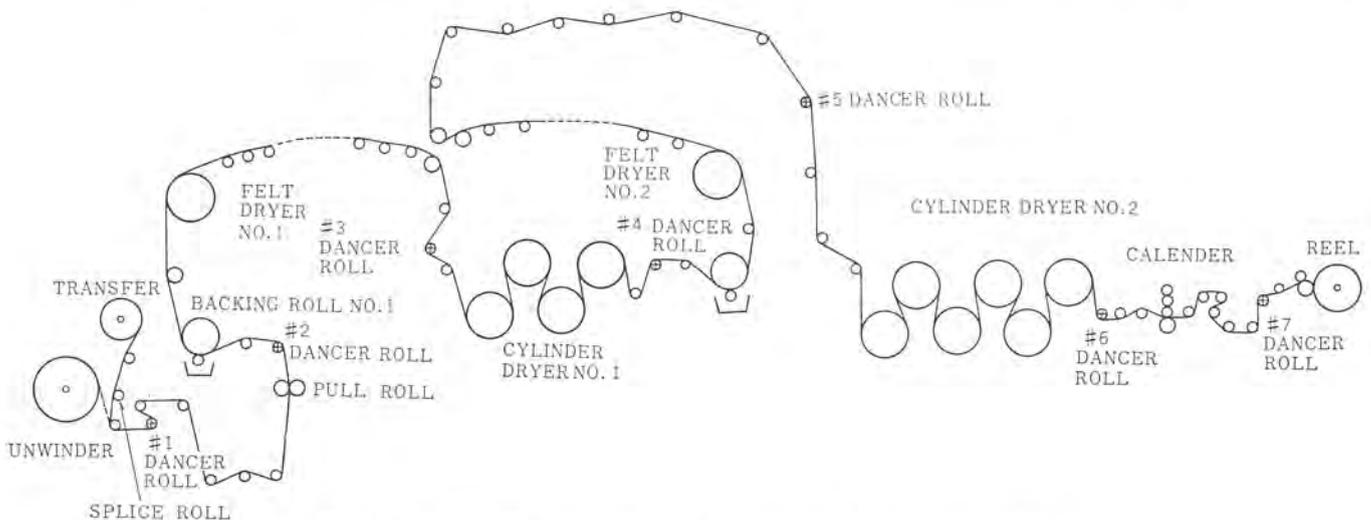
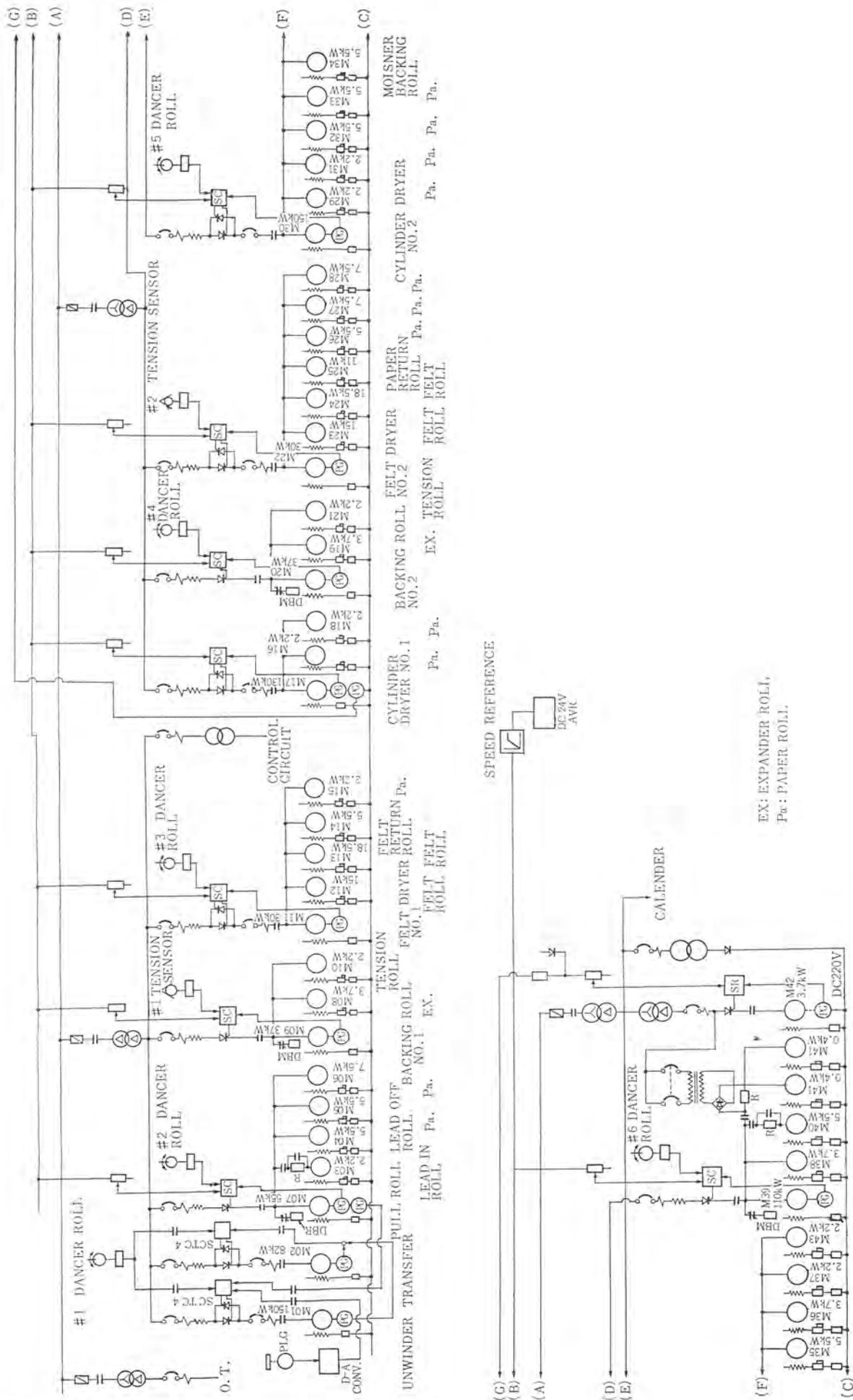


図 4.1 オフマシン両面ブレードコータ
Off-machine inverted blade coater.



MOISNER EX. Pa. REEL. EX. SPOOL SLITTER. THREADING TAPE. BACKING ROLL.

図 4.2 オフマシンの両面フレードコータ 簡略結線

Schematic diagram of off-machine inverted blade coater.

方法が考えられる。しかし、当社ではサイリスタレオードを、ダンサロールで制御する方式で、払い出し部の張力制御に成功している。この制御ブロック図は、前記の図 3. 1 に表わされているとおりである。すなわち紙が No. 1 ダンサロールの設定エア圧に対して張力を持つように、電動機の電流を制御する。つまり、紙の張力とダンサロールの設定圧力とが釣り合っていれば、ダンサロールの位置は中央にあり、このとき、シクロ発信機の出力電圧を合成した信号がほぼ零ボルトとなるように設置しておく。もしもつり合いが破れて、ダンサロールの位置が左右のいずれかにずれば、信号がサイリスタアンプに入力され、電動機の電流を加減するように動作する。ここで、この制御ループゲインが要求より低かったとすれば、積分動作をしているダンサロールの位置がだいぶんずれて、信号としては、かなり大きくなってから修正動作を開始することになる。それでは制御上、速応性に対する問題がでてくるのでまずい。そこで、ゲインの高い演算増幅器に微分特性をもたせて、応答をはやくしている。もし、この応答が遅く、ダンサロールがストップに当てることになると、紙に異常張力が加わって、破断するおそれがある。ダンサロールは、一般にストローク長さ ±10 cm のものが多いので、運転速度が 900 m/min、速度制御精度 0.1% としたとき、0.1% の速度変動は、1.5 cm/s の速度差に相当するわけで、0.6 秒以内に修正しない限り、ストップに当てることになる。

ダンサロール信号をサイリスタレオードに入力する方法を述べる。サイリスタレオードは、速度制御アンプ・電流制御アンプ・電圧制御アンプから成っている増幅部をもっており、ダンサロールの位置信号は、初段の速度制御アンプに加えることになる。ただし、張力制御を行なうので、速度制御アンプは使用せず、飽和させておき、そのリミッタを制御することにより、電流制御アンプの基準入力信号を変化させる方式とする。また、ダンサロールは、正負両方向に動作するので、リミット値も両方向動作のものを用いる。

次に、ロールの払い出しがかなり進行した時点を考えてみる。ロールの径が小さくなれば、当然回転数が増加するので、機械損失がふえてくる。機械損失がふえれば、電動機の電流は、メカロス零の場合に比較して少なくてよいことになり、これが極度に増加するものとするれば、紙をささえる張力は、機械損失によるバックテンションでまかなえ、電動機はバックテンションをかけるための電流を流さなくてよいことになる。ただし、この場合でも張力制御は可能である。インバータ付きサイリスタレオードを用いているので、仮に、モータリングを要求されても正方向電流を流せるわけである。ダンサロールは、エアにより圧力を加えるので、エア圧は、可能な限り変動のない安定したものとすることが望ましい。エア圧は、紙の張力の基準信号であるから、直接外乱として、作用してしまうからである。ダンサロールの動きに対する圧力変動がないこともたいせつなことで、ダンサロールがストロークのうち、どの位置にあっても一定となるように考慮されている。この圧力変動があるとすれば、紙に与える張力に影響を及ぼすことになる。

各セクション間に配置されているダンサロールは、張力制御専用のためではなく、速度制御されているセクション間の速度に変動があったような場合に、紙のスパンの変動を吸収し、同時に速度修正をするためにおかれている。機械側からの外乱や、紙の伸び縮みを即座に吸収し、紙に張力変動が起こらないうちに、電動機速度基準信号を変化させ修正する。ダンサロールからの信号は、電流制御ループでなく、速度制御ループの基準信号に加えられることになる。ダンサロール信号は、入・切が可能で、任意の時点で“入”にできる。“切”にし

ておけば、各セクションは速度制御のみで運転することになり、セクション間の速度差、外乱等が起こった場合は、ダンサロールの位置変動として表われてくる。したがって、急加減速を行なうコマにおいては、特に加減速する際に“切”にできない。ダンサロール出力信号は、2セクションの速度差であるから、このまま速度基準信号に加えることができる。ただし、速度基準信号に対する割合をあまり高くすると、ダンサロールが少し変動しただけで、速度が大きく変動し不安定となるため、ループゲインをあまり高くすることはさける。

GD^2 の大きいセクションには、インバータ付きサイリスタレオード装置を用いている。減速時のせん速制御が目的である。

非常停止時は、インバータ付きサイリスタレオードは、回生制御で減速し、一方方向サイリスタレオードの部分ではダイクミックブレーキで停止させる。このときは、各セクション、 GD^2 が異なるため、まちまちに停止するが、許容最大電流を流し、最短時間で停止させる。

このラインのリールは、その前部にダンサロールが配置されているため、他セクションと同様な制御方式としている。もし、このダンサロールがなければ、電流制御方式とし、アンワインダとはまた異なった方式



図 4.3 直流制御盤
DC control panel.

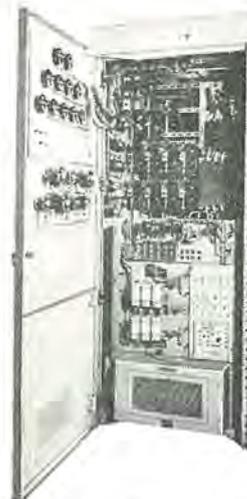


図 4.4 直流制御盤
DC control panel.

をとることになる。

リールは、表面駆動方式のものと中心駆動方式のものがあり、機械構造上全く異なっている。感圧紙などのように、表面に圧力を加えることができないものに対しては、センタ駆動方式を使用する。制御方式も全く異なり、表面駆動の場合は、運転速度が一定なため、他のセクションとせん速させておけばよく、界磁制御は不要である。これに対し中心駆動の場合は、サイリスタレオナードで電流制御を行ない、界磁サイリスタ増幅器で逆起電圧制御を行なう必要がある。後者の場合、電動機の電流を制御する方法として、張力検出器（タンサロール、フォーストランスジューサ等）を用いる場合と、用いない場合とがある。張力検出器なしに電流制御を行なう方式とすると、機械損失の影響を十分考慮する必要がある。払い出し部とは逆に、巻取機の場合は、巻きはじめが高速で機械損失が大きく、巻き太るに従って減少して

いくことになる。ここで、機械損失の大きい機械があったとすれば、定電流制御をしている限り、巻きはじめ張力が適当でも、巻き太りにより、張力が増大することになる。したがって、適当な機械損失補償を行なう必要がある。

図 4. 1 に機械系簡略図、図 4. 3、4. 4 に直流制御盤の外観を示す。

5. む す び

最近納入したコータ電機品について紹介したが、ここに述べたように、今後ますます自動化がすすみ、安定した生産運転が要求されてくることは必至である。電機メカとしては、この要求に答えるべく努力し、省力化、電機的技術の向上に努めていかなければならない。(昭和 47-1-19 受付)

パターン処理システム (I)

—パターン処理用ミニコンとディスプレイシステム—

伊藤 貴康*・井上 駿**・坂口 敏明**・福島 正俊**・伊東 加枝**

Pattern Processing System (I)

—Pattern Processing Mini-Computer and Display System—

Central Research Laboratory Takayasu ITO・Takeshi INOUE・Toshiaki SAKAGUCHI
Masatoshi FUKUSHIMA・Kae ITO

Electronic computers have found their way into every field to an appreciable extent recently. Especially the application to information processing is conspicuous. Mitsubishi has been making a study on pattern processing system of two dimensional figures with the computer. At present an exclusive system for processing, that uses a mini-computer for a central processing device, is now in operation; especially for graphic in/out control device, are provided Raud tablet, storage display and EL display in it.

This article introduces the outline of a hardware system with the pattern processing minicomputer and EL display specially developed for this system as a central topic, and further two examples of application of this system are described herein.

1. ま え が き

近年の電子計算機の普及はめざましく、種々の情報処理や、装置の自動化などの中枢部として使用されている。最近、特に注目をあびているのが、パターン処理分野への応用である。単なる数値計算や、一次元的に並べられた文字系列の処理の領域を越え、二次元・三次元的な広がりを持つ対象、たとえば、文字パターン・図形・写真・物体などを扱い、計算機への入力、計算機内での記憶・処理、そして各種表示装置への表示等を行なおうとするものである。

われわれは、このようなことの実行できるはん(汎)用的なパターン処理システムの開発を行なっているが、このほど、二次元図形に対する処理システムが実動できるようになった。このシステムの機能的な目標としては、手書文字読取りにしているが、実際的には、パターン処理のための種々の研究、たとえば、図形記述や図形表示などの研究を行なっている。

本報告においては、このシステムのために特に開発したパターン処理用ミニコンピュータ、および各種ディスプレイ装置を中心に記述し、後半部には、このシステムの二つの応用について記している。

2. システムの構成

本システムの構成を図 2.1 に、また装置全体の外観を図 2.2 に示す。

図からもわかるとおり、本システムは中央処理装置としては、ミニコン 1 台だけであるが、このミニコンはパターン処理用として特に開発されたものであり(次章に詳述)、また図形入・出力装置を備え、比較的小規模であるが、図形処理専用システムとして有用性は大きい。

図形入力装置としては、次の 2 種に分れる。

(1) 帳票やはがきのように、すでに書かれている文字や図形を読取るもの。例：TVカメラ・フライングスポット走査装置など。

(2) グラフィックタブレット(Graphic Tablet)と呼ばれるもので、ペンで文字や図形を書いてゆくと、実時間に読みとるもの。例：ラウンドタブレット、グラフィックパターン処理には、この両者とも必要であるが、現

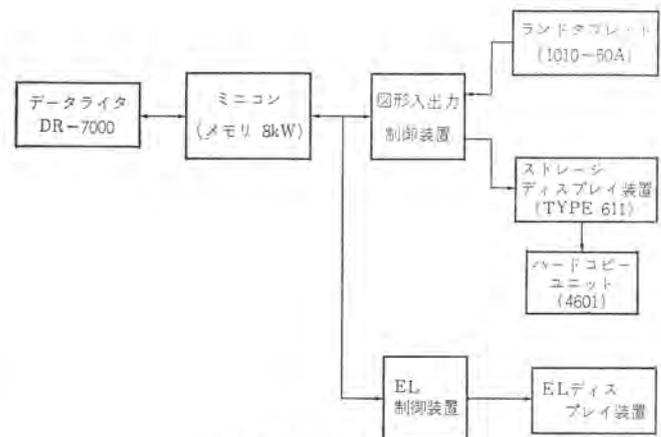


図 2.1 システム構成
System diagram.



図 2.2 パターン処理システムの外観
Exterior view of pattern processing system.

在は後者のラウンドタブレットだけがミニコンに接続されている。

一方、図形出力装置については、非常に多種のものが存在するが、本システムには次の 2 種を接続した。

(1) ストレージ形ディスプレイ装置

蓄積形ブラウン管を用いた表示装置で、管面で情報が記憶され、専用のハードコピー装置を接続することにより、ハードコピーが可能である。

(2) ELパネルディスプレイ装置

これは固体発光素子を用いた平面形表示装置であり、多くの長所を持ち、注目をあびている。

なお、これらは、いずれもミニコンからのデータ出力は一度だけでよく、ミニコンの負担を軽くしてある。

3. パターン処理用ミニコンピュータ

パターン処理システムの中核をなす中央処理装置は、当社の制御用計算機であるMELCOM-350-5⁽⁴⁾を小形・高速化したもので、基本的なハードウェア構成および命令体系は大略同じであるが、開発に当たり次の諸点に留意した。

- (1) 装置の小形化
- (2) 高速化
- (3) 命令の追加および機能変更

特に、(3)については、シフト演算を中心に命令を充実し、高速シフト演算を可能にした。パターン処理におけるシフト演算は、使用頻度も高く、二次元パターンの局所的な処理においては、シフト所要時間は、全体の性能に大きな影響を与える。高速化への一応の目安としては、手書数字の読取を考えたとき、パターンマッチング法での重み

付演算で、読取速度100文字/秒以上とするためには、数μ秒/1ビット以下に押える必要がある。

本ミニコンの外観を図3.1に、おもな性能を表3.1に示す。また、命令一覧を表3.2に主要な命令の動作を図3.2に示す。この記述方法は、Iverson^{(6),(7)}によるもので、計算機の構成を記号的に厳密に表現しうるものである。この記述法に従って、本ミニコンの命令記述を試みた。これ以外の命令については付録に記してある。

次に、このミニコンの中央処理装置部をブロック表示すれば、図3.3のとおりである。先に記したように、基本的な構成は、M-350-5とほぼ同じであるが、高速シフト演算用として、専用のシフトレジスタ(Hレジスタ)およびシフトカウンタ(Jカウンタ)が設置されているのは、大きな変化で、このほかいくつかのレジスタも新しく設置されている。



図3.1 パターン処理用ミニコンの外観
Exterior view of pattern processing mini-computer.

Symbol	Dimension	Name
M	$2^{13} \times 16$	Memory (Matrix)
Z	16	Data Register (Vector)
Y	16	Data Buffer Register (Vector)
P	16	Address Register (Vector)
D	16	Modified Address Register (Vector)
F	8	Instruction Register (Vector)
A	16	Accumulator (Vector)
S	8	Status Register (Vector)
J	4	Shift Counter (Vector)
H	16	Shift Register (Vector)
x	1	Index Register Select Flag
g	1	Memory Guard Flag

(a) Computer Operands

Symbol	Operation
M^i	Word i
Z_j	j -th element of Z
ω^n/Z	n -dimensional suffix vector of Z
a^n/Z	n -dimensional prefix vector of Z
$\perp Z$	Value of Binary Representation Z
$\rho(z)$	Binary Representation of Value Z
$2^{15}((\perp Z + 1))$	Module 2^{15}
$a^j(n)$	n -dimensional Vector with n -prefix all-1
$\omega^j(n)$	n -dimensional Vector with n -suffix all-1
$\epsilon^j(n)$	n -dimensional j -th unit Vector ($0 \dots 0 \overset{j}{1} 0 \dots 0$)
$A \oplus B$	Concatenation of Vectors
$a : \downarrow$	Compare
$\uparrow A$	Logical Left Shift
$\downarrow A$	Logical Right Shift

(b) Symbol Operation

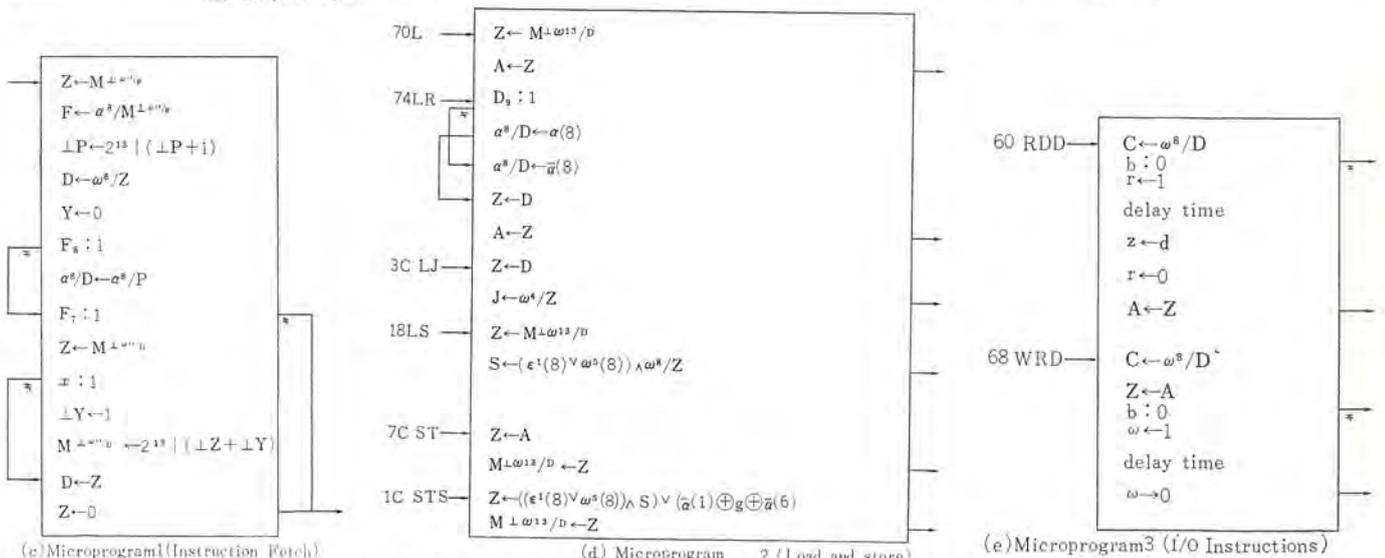


図3.2 パターン処理用ミニコンの動作
Formal description of pattern processing mini-computer.

4. 図形入出力装置

この章においては、本システムに接続されている各図形入出力装置について、装置単体としての説明を中心にし、性能・特長、また必要に応じ動作原理などについて記す。

4.1 ランドタブレット

本タブレットは、2章に記したように手書図形の実時間入力装置である。機能的には座標検出装置であって、タブレット板上の、ある決められた範囲内に特殊ペンで図形を描いてゆくと、その図形を点座標系列として、時々刻々デジタルな形で出力するものである。本装

表 3.1 ミニコンの性能
Performance of mini-computer.

メモリ	1. 種類	フェライトコア (22ミル)
	2. 語長	16ビット+1ビット (パリティ) / 語
	3. サイクルタイム	1μ秒
	4. 容量	4k語~32k語
	5. メモリ保護	ページブロック単位保護
プロセッサ	1. 回路素子	TTL 集積回路
	2. 演算	2進並列
	3. 加算時間	4μ秒
	4. 全けた送り時間	8μ秒 (16ビットシフト)
	5. 命令数	32 (うち、掛算・割算はオプション)
	6. アドレス方式	相対・間接・インデックス
	7. 割込	72レベル72点 (うち、内部割込24点)

表 3.2 パターン処理用ミニコンの命令一覧
Instruction list of pattern processing mini-computer.

記号	内容	演算時間 (μs)
L	Load	3.0
LR	Load Immediate	3.0
LJ	Load J-Counter	2.0
LS	Load Status	2.0
ST	Store	3.0
STS	Store Status	3.0
A	Add	4.0
S	Subtract	4.0
DCR	Decrement	3.0
DCE	Decrement with Echo	3.0
N	And	4.0
EO	Exclusive Or	4.0
SLL	Shift Left Logical	5.0~8.0
SRA	Shift Right Arithmetic	5.0~8.0
RB	Reset Bit	3.0
SB	Set Bit	3.0
BR	Branch	2.0
BE	Branch on Even	2.0
BZ	Branch on Zero	2.0
BP	Branch on Positive	2.0
BO	Branch on Overflow	2.0
BC	Branch on Carry	2.0
BSL	Branch and Set Lock	2.0
BRL	Branch and Reset Lock	2.0
BAL	Branch and Link	3.0
RDD	Read Direct	14.0
WRD	Write Direct	14.0
CG	Control Memory Guard	2.0
EWT	Enter Wait	2.0
NOP	No Operation	2.0

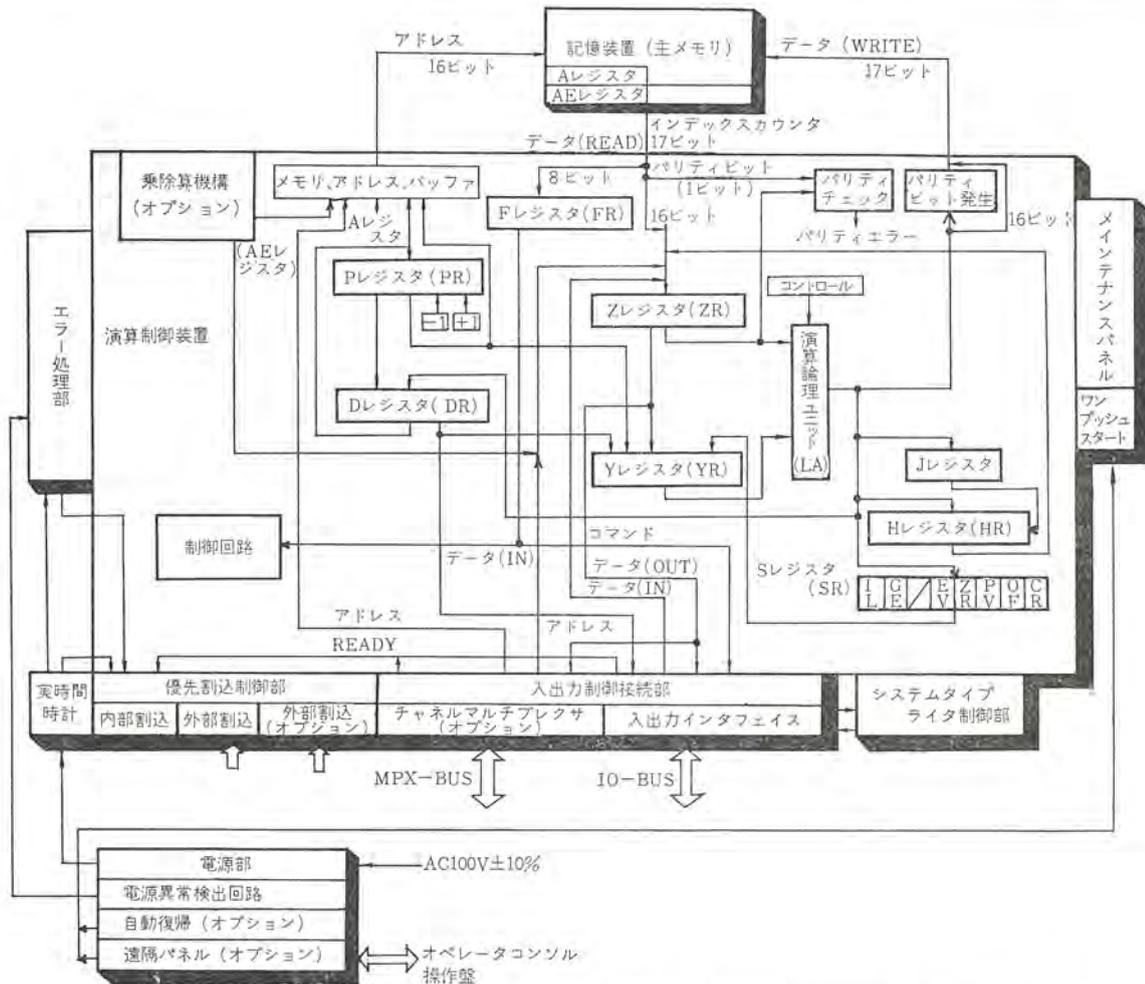


図 3.3 パターン処理用ミニコンの構造 Block diagram of pattern processing mini-computer

置の外観を図 4.1 に示す。

次に座標検出の方法について簡単に記しておく。タブレット上の座標検出可能領域には縦・横に多数の細線が張られていて、この細線の数がそのまま縦・横の分解能を決めている。本装置では縦・横共に 512 本である。以下簡単のため、図 4.2 に示す原理(横線 8 本のみとした)に従って Y 座標検出の方法を記す。これらの細線には固有のビットパターンを持つパルス信号が与えられている。図においては、時刻 t_1 では Y0~Y3 は "0", Y4~Y7 は "1" であり、他の時刻 t_2, t_3 においても、それぞれの結合によって信号が与えられている。したがってこのパルス信号を検知することによってその点の Y 座標が識別できる。このパルス信号の検知は特殊ペン(スタイラスと呼ばれている)で行なう。このスタイラスの内部にパルス増幅器が組み込まれていて、ペン先をタブレットに近づけることにより、ペン先に最も近い位置にある細線の発するパルス信号を容量結合的に受信する。この例では 3 ビットのパルスを受信することにより Y 座標の検出ができるが、当装置のものでは、1 点の検出に 18 ビットのパルスを要する。

このタブレットのおもな性能は表 4.1 にまとめて示す。

この種の図形入力装置としては、超音波を用いたもの、定在波の位相を検出するもの、圧力式のものなど、他にも幾種類か存在するが、このタブレットの特長としては、

- (1) 使用方法が容易である。
- (2) 座標検出方式がデジタル式であるから、高速かつ安定に検出できる。
- (3) ペン先がボールペンになっているので写しがとれる。

があげられる。

4.2 ストレージ形ディスプレイ装置

この装置は蓄積形ブラウン管を使用した図形表示装置であるが、特に高品質図形の表示ができるようにブラウン管内面に特別の考慮がな



図 4.1 ランドタブレット外観
Exterior view of RAND tablet.

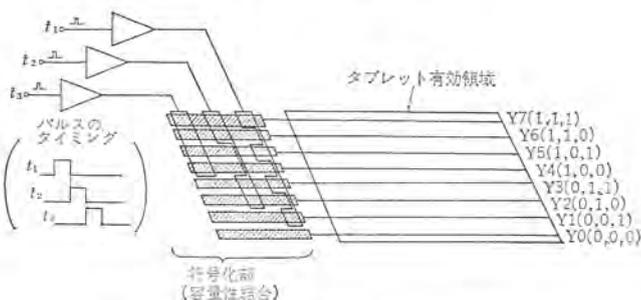


図 4.2 ランドタブレットの座標検出原理
Position detecting method of RAND tablet.

されている。本装置の特長としては、

- (1) 高分解能である
- (2) 時間経過後にも蓄積図形に“にじみ”を生じない
- (3) 二値蓄積形(バイステープル形)である

これらの性質により、計算機出力としての文字や図形などの精密なものを表示したときにも、鮮明に表示でき、また鮮明さを保持できるといって望ましいものである。

本装置の性能は表 4.2 に示す。

なお、本装置は外部からの制御信号の下ですべての動作ができるようになっている。

4.3 EL ディスプレイ装置⁽⁵⁾

本装置は平面形発光素子として脚光をあげている EL (Electro-Luminescence: 電界発光) 素子を用いて、新しく開発した計算機出力図形表示装置である。EL は固体結晶の電界印加による発光現象をいうが、これを表示パネルとして構成するには図 4.3 のようにする。すなわち、ガラス基板上に、EL けい光体層をはさんで、縦・横の各電極、および非直線抵抗体層を蒸着、塗布する。EL けい光体は、普通、粉末状にし高誘電率をもつ充てん材に混合、塗布する。非直線抵抗体は、縦・横の電極に電界を印加したとき、半選択のときにも発光するのを防止するために入れられている。表示された図形はガラス基板を通して見るようになっていて、手前にある電極は透明のものを用いる必要がある。

このような EL パネルを使用した表示装置は、従来の CRT を用いたものとは異なった種々の特長を持っている。以下に記すと、

表 4.1 ランドタブレットの性能
Characteristics of RAND tablet.

1. 品名	グラフィコン 1010A-50 (米田 BBN 社製)
2. タブレットの大きさ	10.24"×10.24"
3. 分解能	512本×512本 (5本/インチ)
4. 出力信号	X: 9ビット } 計 18ビット/点 Y: 9ビット }
5. 出力レート	4,545点/秒 (211μ秒/点)
6. 座標検出方式	デジタルメッシュ方式
7. スタイラスペンの機能	(1) 圧力検出→ペンオン/オフ (2) 信号検知→座標検出

表 4.2 ストレージ形ディスプレイ装置の性能
Characteristics of storage display.

1. 品名	611形ディスプレイユニット (ソニーテクトロニクス社製)
2. CRT	1. 種類 11" バイステープル・ストレージ形 CRT 2. 大きさ 16.2×21.0cm 3. 分解能 300×400 linepairs 4. 明るさ 6fL 以上 (一極性 2:1 以下) 5. コントラスト 6:1 以上
3. 入力	1. X, Y 信号 0~1V/全振幅 2. Z 信号 { +1.0V 以上……ON +0.5V 以下……OFF
4. 表示モード	1. Storage 5μ秒/点 2. Erase 0.5秒以下 3. Write Through 可能 (cf. 5. 1. 2) 4. View↔Hold 表示後約1分で輝度が下がる (Hold モード) 再表示可能
5. 外部制御	可能

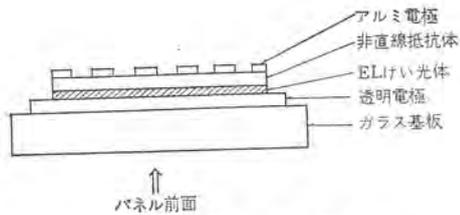


図 4.3 EL パネルの構成
EL panel.

表 4.3 EL ディスプレイ 装置の性能
Performance of EL display.

1. EL 材料	ZnS : Cu, Br
2. パネルの大きさ	200×250 mm
3. 表示点数	200×240=48,000 点
4. 分解能	10 本/cm
5. 画像階調	各点 1 ビット (2 レベル), 3 ビット (8 レベル)
6. 内蔵メモリ	(1) リフレッシュ用 48,000 ビット (2) 画像編集用 16,000 ビット

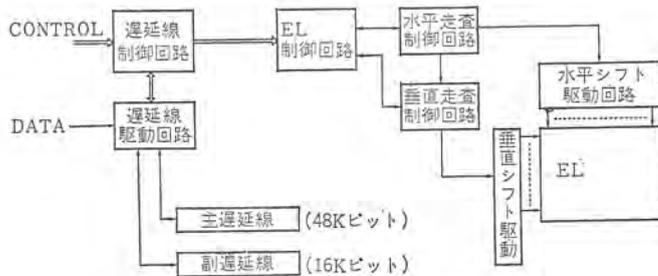


図 4.4 EL ディスプレイ 装置の構成
Block diagram of EL display.



図 4.5 EL ディスプレイ 装置の外観
Exterior view of EL display.



図 4.6 EL ディスプレイ 装置の表示例
Example of graph display.

- (1) 全面にわたってひずみやぼけがなくきわめて直線性が良い。
- (2) うす形である。
- (3) パネルがマトリックス形に構成されているので、X-Y 座標指定により各点が正確にアドレスでき、また各点 8 レベルの濃淡表示ができる。
- (4) 発光は電極そのものの形と対応しているので、本質的に面発光である。

また一方、短所としては、

- (1) 現在のところ、発光強度が十分とは言えない。
 - (2) 使用時間とともに、発光強度が減少してゆく。
- など、今後解決すべき問題を持っている。

本装置のおもな性能を表 4.3 に、装置のブロック図を図 4.4 に示す。この表よりわかるとおり、本装置には 2 種の遅延線メモリを内蔵し、一部をリフレッシュ用に、一部は簡単な図形編集用に使用している。このため、次のような端末操作が可能である。

- (1) 1 枚の画像表示に際し、ミニコンからのデータ送出しは、リフレッシュメモリへの書き込み時に 1 回だけでよい。(ミニコンの負担が軽くなる)。
 - (2) 2 枚の図形の重ね合わせが可能
 - (3) 表示図形の部分的書換えが可能
 - (4) 表示図形の平行移動が可能
- この装置の外観を図 4.5 に、表示例を図 4.6 に示す。

5. システムの動作

本システムの図形処理動作としては、次に示すようなものがある。

- (1) ランドタブレットによるデータ・処理命令の入力
- (2) ミニコンによる入力データの処理
- (3) ストレージディスプレイ装置への図形表示
- (4) EL ディスプレイ装置への図形表示
- (5) ストレージディスプレイ装置上の表示図形のハードコピー

これらは、独自に設計した制御装置を介して実行されるが、ランドタブレットとストレージディスプレイ装置とは、ミニコンを通さず、オフラインでもデータ転送の必要があるため、同一の制御装置を通してミニコンに接続されている。したがって以下の説明では、この制御装置と、EL ディスプレイ制御装置との二つについて行なう。なお、(5)のハードコピーは、ストレージディスプレイ装置専用のハードコピーユニットによって実行されるので説明は省略する。

5.1 図形入出力制御装置

本装置は上記のように、ランドタブレットおよびストレージディスプレイ装置をミニコンに接続している装置であり、その動作としては

- (1) オンライン
 - (a) タブレットからミニコンへのデータ転送
 - (b) ミニコンからストレージディスプレイ装置へのデータ転送
 - (c) 上記に伴う状態制御
- (2) オフライン

タブレット上の図形のストレージディスプレイ装置でのモニタ
本装置のブロック図を図 5.1 に、また、その動作の記述を図 5.2 に示す。

5.1.1 ランドタブレットからのデータ読取り

ランドタブレットは、4.1 節に記したように基本的に座標変換装置であり、1 点当たりのデータは、X、Y それぞれ 1 語で表わされるため、2 語を要する。新しいデータはタブレットへのスタイラスオンによっ

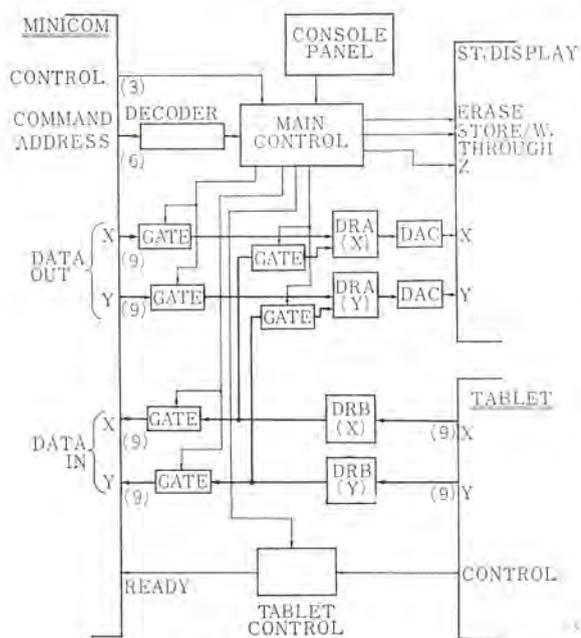


図 5.1 図形入出力制御装置のブロック図
Block diagram of graphic in/out-control device.

て準備され、同時に NEW VALUE なるフラグによってミニコンに知らせる。タブレットよりのデータ出力レートは表 4.1 に記してあるように、最大 220 μ 秒であるが、実際にはこれほどは不要で、出力レートを小さくできるようになっている。(これは手動設定による)ミニコンがデータを読みとると、フラグは OLD VALUE (=NEW VALUE) となり、次のデータが準備されるまで待つ。

5.1.2 ストレージディスプレイ装置へのデータ表示

ミニコンからの図形データは、1点ずつの点系列に分解され、出力されるので、制御装置内では、これを D-A 変換し表示してゆく。1点当たりの表示に要する時間は 5 μ 秒以下と非常に高速である。

この表示装置は表 4.2 で示したように種々のモードを持っているが、そのうち WRITE THROUGH モードは特異なので略記しておく。これは、すでに蓄積された図形に追加表示するとき使用するもので、蓄積情報には影響を与えず、タブレット上のペン位置を非蓄積状態で表示できるモードで、すでに書かれている線分を延長したいときや、所要位置に図形を表示したい時などに有用である。

5.2 EL ディスプレイ制御装置

本装置は、前記 EL ディスプレイ装置にミニコンよりの出力図形を表示するための制御装置で、ミニコンよりの指示に従って、次の動作を実行できるように設計してある。

- (1) 主遅延線へのデータ転送
- (2) 副遅延線へのデータ転送
- (3) 二つの遅延線内データ間の演算結果の表示
- (4) 上記(3)の結果を主遅延線へストア
- (5) 副遅延線内のデータの移動

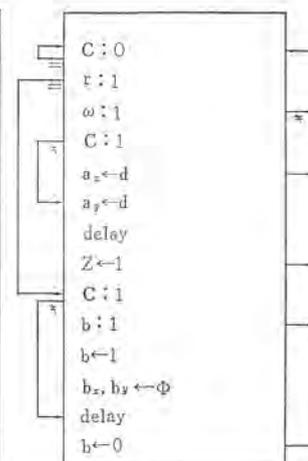
次にこれらを詳細に説明する。

5.2.1 主遅延線へのデータ転送

主遅延線はリフレッシュメモリとして動作するので、ちょうど画面1枚分のメモリ容量(48kビット)を持つ。ミニコンよりのデータ出力は表示画面上の任意の長方形領域への転送が可能である。長方形の指定は図 5.3 に示すように、2点 P, Q の座標を送出して決める。実際の長方形としては、任意の1点→全画面までの大きさが可能である。

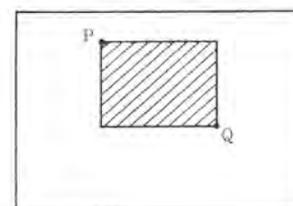
Symbol	Dimension	Name
d	16	Data Register (Vector)
b	1	Busy Flag
ω	1	Write Execute
r	1	Read Execute
c	8	I/O Command
		C = $\begin{cases} 0: \text{No Operation} \\ 1: X \\ 2: Y \end{cases}$
z	1	Display Execute
a_x	16	X In-Data Register
a_y	16	Y In-Data Register
b_x	16	X Out-Data Register
b_y	16	Y Out-Data Register
ϕ	18	Tablet Output Register

(a) Operands



(b) Microprogram

図 5.2 図形入出力制御装置の動作
Operation of graphic in/out-control device.



(ELディスプレイ面)

図 5.3 データ転送の時の領域指定の方法
Area direction method in data transfer.

5.2.2 副遅延線へのデータ転送

副遅延線は主遅延線の 1/3 容量しか持たないので、メモリストアのタイミングを両者で一致させると、画面の上方 1/3 の部分しかカバーできない。したがってすべての図形演算はこの部分にしか適用できなくなるので、ミニコンよりのデータ出力に対し、副遅延線のメモリストアタイミングを主遅延線のものとはずらせるようにしてある。こうすれば、画面の全領域をカバーできる。このときのデータ出力領域は、主遅延線の場合と同様、長方形領域指定による。

5.2.3 二つの遅延線内データ間の演算結果の表示

二つの遅延線に異なるデータが記憶されているとき、これらの間で図形演算をさせると非常に有用な場合がある。たとえば、図形の重ね合せ、図形間の差の検出、図形のマスクなど種々に利用できる。これらを可能にするのが、この命令で、具体的には次の 5 種の論理演算を実行させている。(ただし、主・副遅延線内容をそれぞれ M, S で示す)

- (1) M のみ
- (2) S のみ
- (3) M+S (OR)
- (4) M×S (AND)
- (5) M⊕S (EXCLUSIVE OR)

5.2.4 前記演算結果の主遅延線へのストア

前記の 5 種の演算の結果を主遅延線に書き込むことができるようになっている。こうすることにより、表示図形の追加・削除が可能になる。

5.2.5 副遅延線内のデータの移動

これは、副遅延線内のデータの画面上での位置は、ミニコンよりのデータ出力時に決められているので、これを、指定のビット数だけずらせてゆく機能である。これを画面上でみると、図形が左右に平行

移動してゆくように見える。

6. システムの応用例

本システムの応用として、当所で実験をした二つの例について記す。これらは、まだ実験的なものであるが、このようなシステムを考える上で役立つと思われる基本的なものを含んでいるのでここに記述する。

6.1 ソフトライタ*

これは、従来のタイプライタに多く柔軟性を持たせた、いわばはん用タイプライタとも言うべきもので、最良のものを想定してみれば、英数字はもとより、かな文字や漢字など何でもござれといったものが考えられ、しかも、追加・訂正もでき、印刷物の枚数には制限なしの、万能タイプライタである。

6.1.1 特長

このソフトライタの特長を列挙してみると

- (1) 活字種と数については、プログラムを追加または変更すればよく、英数字・かな・漢字・その他自由なパターンでもよい。
- (2) 打った文字を見ながら、追加・変更・削除など、各種の編集が可能。
- (3) キーを打つかわりに、ペンで押えればよい。
- (4) 出力としての印刷用紙は、必要な枚数だけ可能。
- (5) 手書文字を含む場合でも、そう入可能で、もちろんハードコピーもできる。
- (6) ひん度の大きい2字以上の文字系列用のキーも設置できる。

6.1.2 構成

ソフトライタだけのためのシステム構成であれば、図2.1において、ELディスプレイ関係は必要はない。また、タブレットも、その用途に応じた精度・速度を持つものであればよいので、他のものも考えられ、はん用的な現在のシステムより、もう少しまとまったものにできる。

6.1.3 タブレットの使用法

使用に際しては、必要な活字のパターンはすべてプログラムで表わしておき、適宜、ミニコンのメモリにロードする必要がある。このメモリ容量は、当然一度に使う文字種が多いほど、大きくなるので文字種ごとにプログラムを入れ換えるようにすることを考えることも必要だろう。

次に文字の選択であるが、基盤目状に区切った各ます目に、1個の活字を書いたものを、あらかじめシートとして準備しておき、これをタブレット上へ置き、各ます目をペンで押えることにより、対応した文字パターンを描くプログラムを呼び出すようにしておく。こうして、タイプキーを打つように、順に希望の文字の上をペンで押えてゆけば、ディスプレイ装置に所要の文字列が表示される。このようなシートを何枚か用意しておき、それに対応した文字プログラムを備えておけば、活字種の非常に多いタイプライタとして使える。

また、このシートの一部のます目を、ファンクションキーエリアとして使い、編集に必要な機能のためのキーを並べておくことにより、タイプライタとしての機能や、キャラクタディスプレイとしての機能、その他特に必要な操作機能も持たせることができる。

6.2 自由作画システム

これは、パターン処理システム的设计・作図システムへの応用である。すなわち、人間の頭の中に浮んだアイデアや設計図などを図形表現

するための道具としてのシステムである。視覚的フィードバックを通し、対話形式でアイデアを発展させてゆく一つの道を開くのがこのようなシステムであろう。

必要とする操作形式によって中央処理装置に要求される性能は異なってくるので、このようなシステムを一般的に論ずるのは困難である。今、ここに記す一例は、当所で実験した作画システムであり、ミニコンでも十分制御できるものである。

本システムに使用する基本命令としては、表6.1に示すようなものである。これらは大きく3種に分類でき、作図命令(実際に、図形を描く命令)、修正命令(描かれた図形の移動・変更のための命令)、制御命令(操作の開始・終了、図形の区切などのための命令)から成っている。これらは、多ければ多いほど使いやすくなるが、記憶容量などの制限により、現在のものは最小限のものとなっている。

これらの命令は、タブレット上に設けられたファンクションキーエリア内に適当に配置され、必要の都度、指示することにより実行される(図6.1)。原則として、命令とデータ(点)は交互に指示され、データばかり2個以上、または命令ばかり2個以上は与えないものとする。こうすることにより、各命令は、その命令の前後に指示した2点の関係を示すものとして、作図や修正などが実行される。

表 6.1 基本命令
Basic instruction list.

A 作 図 命 令	1. LINE	P, Qを結ぶ直線を描く
	2. V. LINE	Pより、Q _y までの垂直線を描く
	3. H. LINE	Pより、Q _x までの水平線を描く
	4. CIRCLE	Pを中心、PQを半径とする円を描く
	5. RECT	P, Qを対角頂点とする長方形を描く
	6. CHARACTER	文字表示モードへ
B 修 正 命 令	1. FIGURE COLLECT	図形ユニットの訂正
	2. POINT TRANSLATION	点の移動
	3. FIGURE TRANSLATION	図形ユニットの移動
C 制 御 命 令	1. START	操作開始
	2. PAUSE	図形ユニット内の部分図形の区切を示す
	3. A	命令間の区切を示す特殊キー
	4. FIGURE UNIT	図形ユニットの区切を示す
	5. FIGURE END	図形表示終了
	6. END	全操作終了

(注) これらの命令は、(点P, 命令, 点Q)の組として使用する。

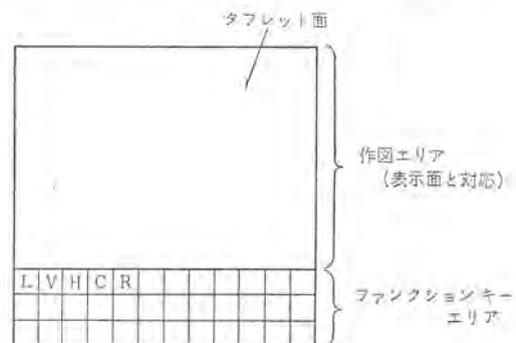


図 6.1 タブレットの使用法
Using method of RAND tablet.

* この名前は筆者(伊藤)が名付けたものである。

7. む す び

二次元的な図形を扱う一つのシステムについて紹介した。パターン処理システムといえは、かなり規模の大きなものを思い浮かべることになるが、ミニコンベースでも種々の研究には十分活用できることを示した。6章に記した二つの応用のほかに、現在、手書文字認識テストを進めているので、この結果は、パターン処理システム(II)として本誌に発表の予定である。

本テーマの研究推進に対し、有益なご提言、ご討論をいただいている京都大学 坂井利之教授・長尾真助教授・金出武雄氏に対し、感謝の意を表す。

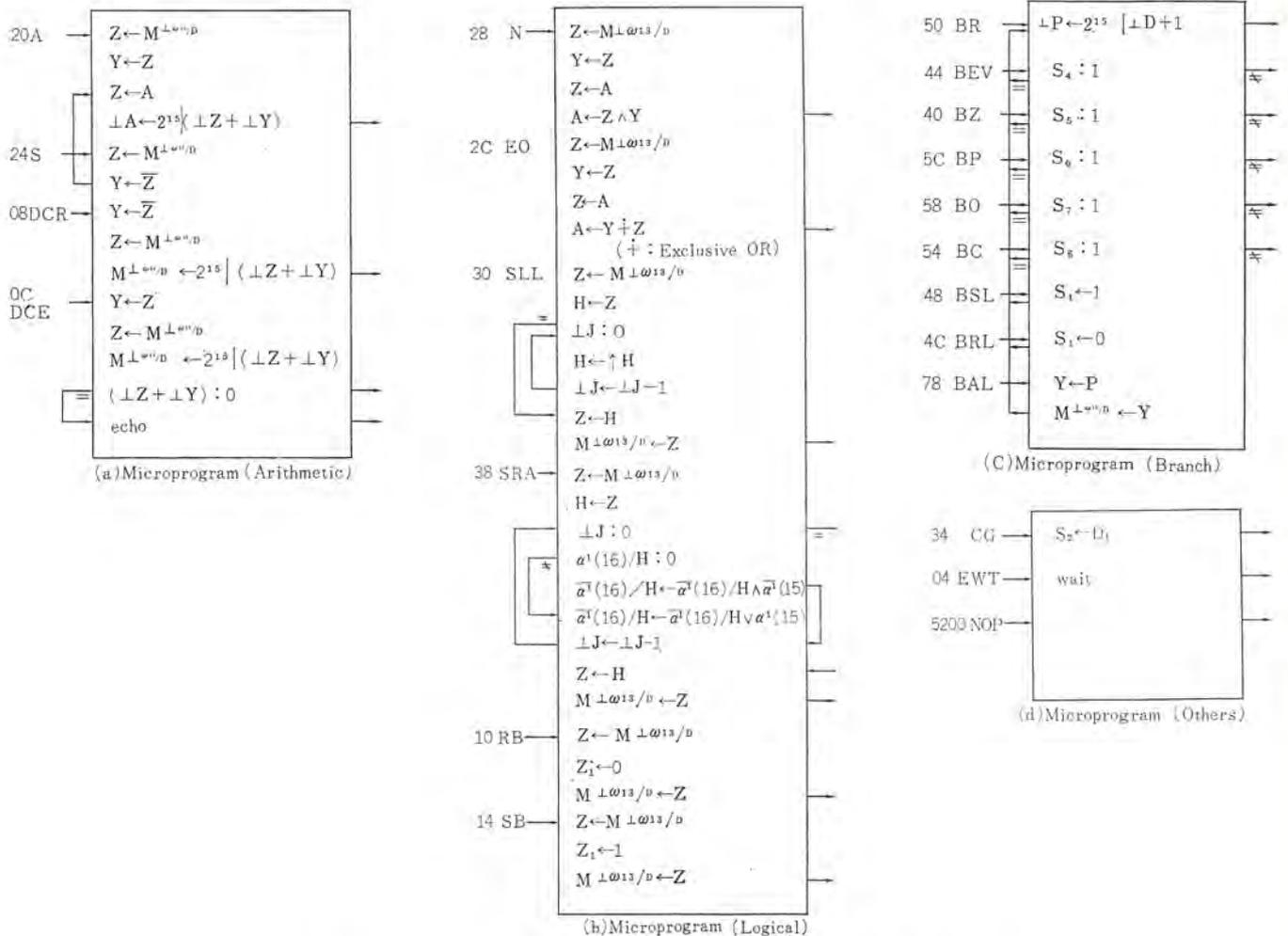
また本システムの開発に対し、当所の馬場準一博士に終始ご激励をいただいた。ミニコン開発に対し仁田氏・長沢氏・中根氏、ELディスプレイ装置の開発については伊吹博士・倉橋氏・新居氏・池端氏、そして全般について竹田氏(現、大阪大学)・磯田氏の各氏に、ご援助

ご協力をいただいた。ここに紙面を借りてお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 坂井：パターン認識の理論，共立出版（昭42）
- (2) 坂井：文字・図形の認識機械，共立出版（昭42）
- (3) 池田ほか：図形入出力端末の構成と制御について，情報処理学会プログラミング言語研究会資料（昭45-12）
- (4) 中尾ほか：M 350-5 制御用電子計算機システム，三菱電機技報，43, No. 11（昭44）
- (5) 伊吹ほか：ELパネルテレビ，三菱電機技報，44, No. 11（昭45）
- (6) Iverson：A Programming Language, (1962), John Wiley and Sons Inc.
- (7) Falkoff, et al.：A Formal Description of System 360, IBM Systems Journal, 3, No. 3 (1964)

付 録



パターン処理用ミニコンの動作(続き)
 Formal description of pattern processing mini-computer (Continued).

二、三のプラスチックの耐熱水性

飯 阪 捷 義*

Hot Water Durability of a Few Plastics

Central Research Laboratory Katsuyoshi IISAKA

A study of hot water durability has been made on two kinds of polypropylenes, polycarbonate and FRP. Through thermal treatment in water, the mechanical strength of polypropylenes increases at first, then reaches a maximum value, and finally continues to decrease. The study of physicochemical properties reveals that, first the crystalline structures of polypropylene change, and next scissions of molecular chains occur. It is also shown that the environment of hot water accelerates the flow out of various stabilizers from plastic.

Mechanical strength of polycarbonate and FRP decreases by thermal treatment in water. The results are considered due to the chain scission by hydrolysis.

1. ま え が き

現在住宅関連機器としての各種給湯器のプラスチック化は新しい課題の一つとなっている。プラスチック構造設計を行なう場合には、プラスチック材料は一般に熱・光・化学薬品など各種ふんい気下において材質の経時変化をおこすので、長期にわたっての物性データが必要となる。給湯器のプラスチック化においてもプラスチックがうける熱水環境は新しい過酷な条件の一つとなり、これら環境下でのプラスチックは複雑な挙動を示すものと考えられる。

この研究の目的は給湯器のプラスチック化候補材料としてあげた数種のプラスチックについて、長期熱水環境下におかれた時の機械強度（引張り強さと衝撃強さ）の変化を調べることであり、および物理化学的性質の測定から材質劣化の機構を理解することである。

選定したプラスチックはポリプロピレン、ポリカーボネートおよびFRPである。これらはいずれも熱変形温度が100°C以上あり、その他の特性も平均的にすぐれていること、およびこれまでに温水タンクやパイプとして使用実績のあるものである。またポリプロピレンに関しては添加剤の種類や量（酸化防止剤、結晶粒子調整剤など）によって物性の異なる各種グレードが存在するため、ここでははん用性のものと特殊グレードの2種類を選んだ。

2. 実 験

各種プラスチックの内容およびメーカを表2.1に示す。ポリプロピレンおよびポリカーボネートは射出成形板（偏光顕微鏡により樹脂の流れ方向が観察されなかったので等方性の成形板と見なした）から、FRPはハンドレイアップ法により作られた成形板からそれぞれ各種測定用試片を作成した。

衝撃試験はアイゾット形衝撃試験機によりノッチ付き試片について室温で行ない、衝撃エネルギーを試片の原断面積で除した値を衝撃強

表 2.1 試 料 Sample.

プラスチック	内 容	メーカ
ポリプロピレン-A	はん用グレード	三菱油化
ポリプロピレン-B	特殊グレード	三菱油化
ポリカーボネート	中粘度、高衝撃用	三菱ガス化学
FRP	高イソフタル酸系樹脂	三菱樹脂

さ ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$) とした。この場合試片の厚みが各種プラスチック間で異なるので、プラスチック種間での衝撃強さの比較はできないものと見なされる。引張り試験はインストロン形万能引張り試験機により1cm/分の速度でダブル形試片について室温で行ない引張り強さ (kg/cm^2) を求めた。

ポリプロピレンに関して、この研究で行なった熱水処理日数範囲での機械強度変化から耐熱水性を評価することが困難であるため、各種期間熱水処理した試片を180°Cのギヤオーブンで加熱し、試片に熱劣化の開始を示すと考えられる黒点が現われる時間（この研究では熱酸化時間と呼ぶ）を測定することにより耐熱水性の評価を行なった。

また材質の劣化機構を解明するため微小変形の粘弾性測定、赤外分析、走査形電顕観察および密度の測定を行なった。粘弾性測定は粘弾性スペクトロメータ（岩本製作所製）により温度範囲-50°C~160°C、周波数1Hzで、赤外測定はKBr錠剤法によりまた走査形電顕観察は倍率1,000で行なった。

熱水試験は、市販の恒温水そう（槽）を改良し還流冷却器を備えた熱水処理装置により95±2°Cで各種期間にわたって行なった。また比較のため95°Cおよび125°Cのギヤオーブン試験も行なった。

3. 結果と考案

3.1 長期熱水処理による実用性質の変化

図3.1~3.4に各種プラスチックの長期熱水および比較のために行なった熱処理による引張り、および衝撃強さの変化を示す。大きな傾向として処理日数とともに引張り強さ(T・S)および衝撃強さ(I・S)が、

(1) 最初増加し、最高値に達した後減少するもの (T・S—ポリプロピレン-A, ポリプロピレン-B, ポリカーボネート; I・S—ポリプロピレン-A, ポリカーボネート)

(2) 最初から減少するもの (T・S—FRP; I・S—ポリプロピレン-B, FRP)

の2種類に分類される。また熱水中と空気中とのふんい気がT・SおよびI・Sを低下させる度合として

(a) 熱水中>空気中 (T・S—ポリカーボネート, FRP; I・S—ポリプロピレン-A, ポリカーボネート, FRP)

(b) 熱水中=空気中 (T・S—ポリプロピレン-A, ポリプロピレン-B; I・S—ポリプロピレン-B)

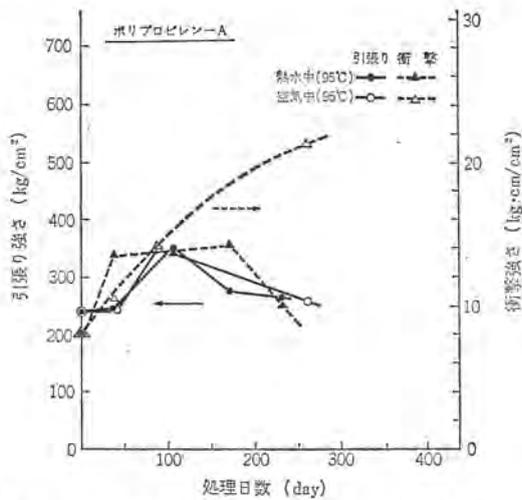


図 3.1 長期熱および熱水処理による引張り, および衝撃強さの変化 試料: ポリプロピレン-A
Variation of tensile and impact strength by thermal treatment in air and water over prolonged periods. Sample: polypropylene-A.

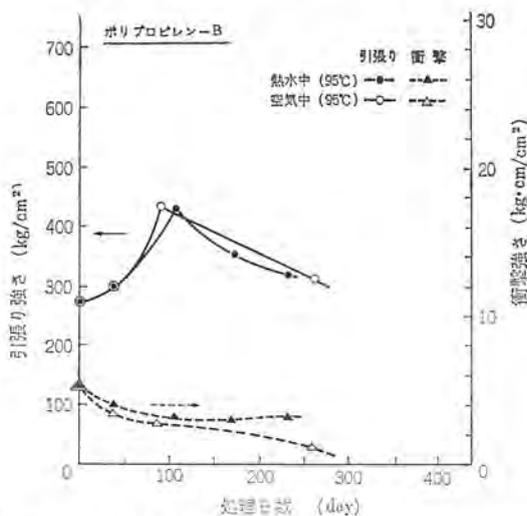


図 3.2 長期熱および熱水処理による引張り, および衝撃強さの変化 試料: ポリプロピレン-B
Variation of tensile and impact strength by thermal treatment in air and water over prolonged periods. Sample: polypropylene-B.

の2種類に分類される。ポリプロピレン-B以外のプラスチックについては、いずれも熱水環境は同じ温度の空気中と比べて過酷なふんい気であると考えられる。

プラスチックの外観に関しては、長期熱水処理によりポリプロピレンは、いずれも白色から黄色に変化する。これに対してポリカーボネートおよびFRPは、それぞれ黄味を帯びた透明およびかっ色から退色して白色に近づく傾向を示す。一方、長期熱処理による色の変化はいずれの試料においてもほとんど観察されない。

熱および熱水環境は、物質の構造を変化させ、これが実用性質としての引張りや衝撃強さに影響を与える。構造の変化として高分子鎖中の不安定な個所の酸化による極性基の生成、ラジカルの生成につぐ橋かけまたは崩壊反応、熱水による加水分解などのように分子鎖の性質や分子量の変化する一次構造に関する場合と、熱エネルギーによる分子鎖の再配置から生ずる結晶化度や微結晶粒子の大きさの変化、あるいは球晶構造の出現または崩壊などの二次構造に関する場合がある。

さらに巨視的構造の変化としてひび割れ、切欠き、ポイドや埋蔵粒

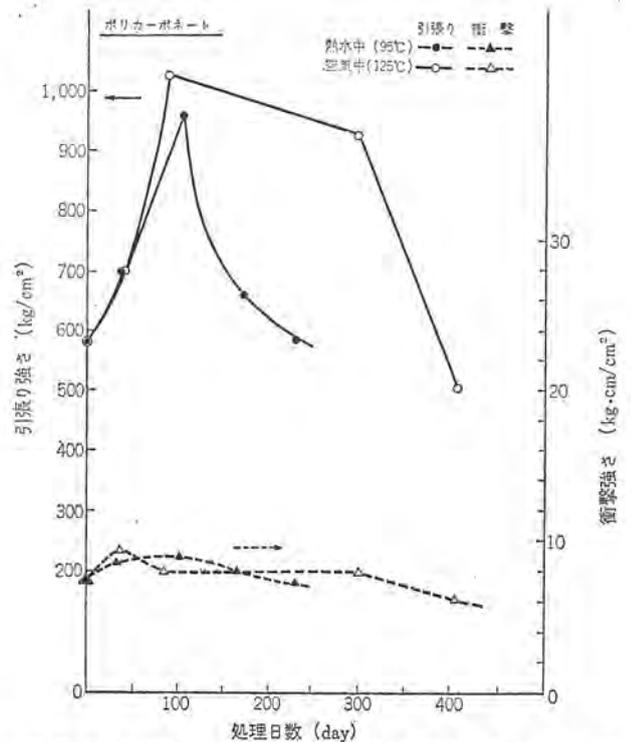


図 3.3 長期熱および熱水処理による引張り, および衝撃強さの変化 試料: ポリカーボネート
Variation of tensile and impact strength by thermal treatment in air and water over prolonged periods. Sample: polycarbonate.

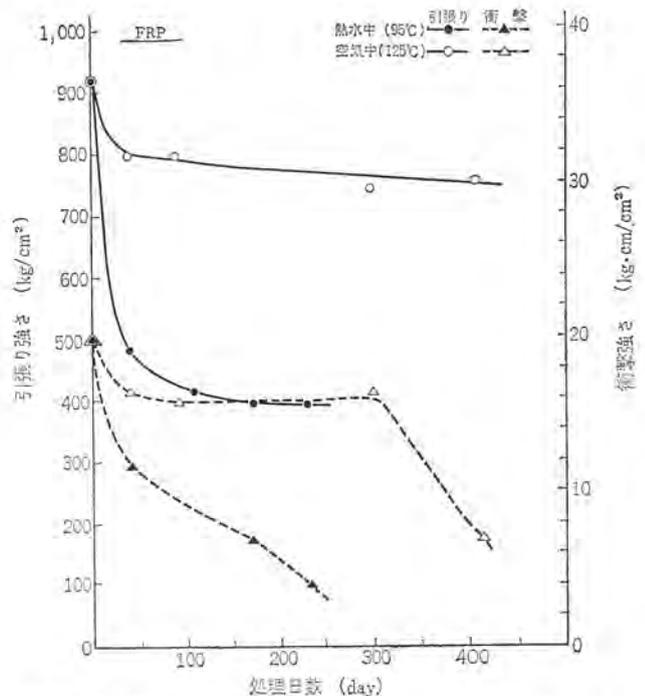


図 3.4 長期熱および熱水処理による引張り, および衝撃強さの変化 試料: FRP
Variation of tensile and impact strength by thermal treatment in air and water over prolonged periods. Sample: FRP.

子の生成、消滅があり、これらの因子は応力集中体となるため引張りや衝撃強さに大きく影響を与える。現在の引張りや衝撃強さの変化が、これらいずれの構造の変化によって生じたかを知るためには材質についての物理化学的測定が必要と思われる。

実用性質に影響を与えるふんい気として、酸素の少ない熱水環境のほうが空気中よりも大きい効果を示すが、これは熱水が分子鎖の

加水分解、溶剤クリーニングあるいは酸化防止剤などの安定剤の流出をうながすためであると思われる。

3.2 物理化学的性質の変化

図 3.5 にポリプロピレン-A の未処理および約 100 日処理により引張りおよび衝撃強さが増加を示している試料についての粘弾性—温度特性を示す。ガラス転移点に相当する γ 分散 (約 8°C) と融点に相当する α 分散 (約 145°C) との間の貯蔵弾性率が処理によって増加しているが、これは微結晶粒子の大きさや結晶化度が増加したことを示している⁽¹⁾。また図 3.6 に示すように密度の増加も結晶化度の増加を裏付けており、これらの事実により引張り強さの増加が説明できる。

図 3.5 において処理により γ 分散と β 分散 (スチチカ構造をもった試料で観察される⁽²⁾) の分離がよくなり、それぞれの分散が明りようとなる傾向を示している。これは熱処理によりスチチカ構造がより高次の整列度をもった構造へと転移したことにより、 β 分散が高温側へ移行したためと考えられる。この鋭くなった γ 分散が外部からの衝撃エネルギーをより有効に吸収し、緩和させる働きをもち、室温での衝撃強さ増加の一つの原因となっていると考えられる⁽³⁾。ポリプロピレン-B の場合は、A と類似した粘弾性挙動を示すが、後者ほど明りように処理効果が現われない。またポリカーボネートの場合には粘弾性に反映される処理効果は小さいが密度の変化は大きい。125°C 空気中と比べて温度の低い熱水中のほうが大きい低下を示して

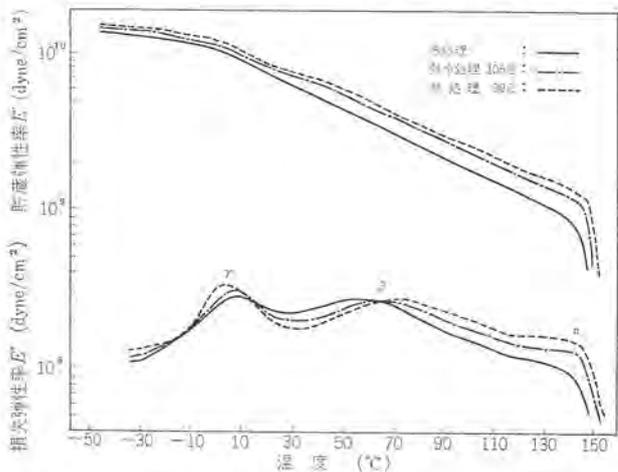


図 3.5 長期熱および熱水処理したポリプロピレン-A の粘弾性—温度特性

Temperature variation of viscoelasticity for polypropylene-A by thermaltreatment in air and water over prolonged periods.

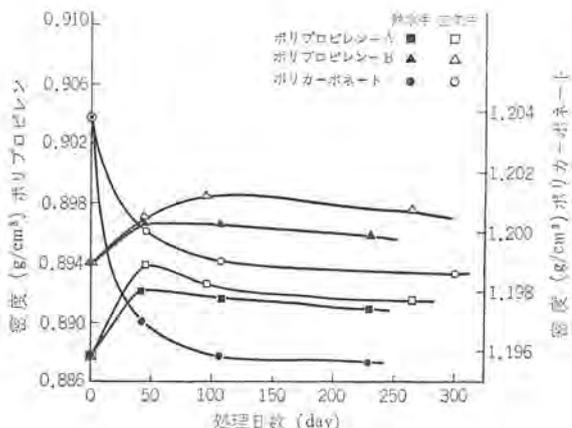


図 3.6 密度の変化
Variation of density.

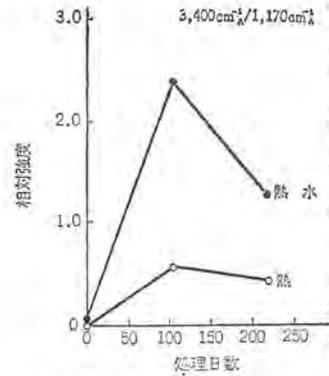


図 3.7 赤外吸収帯の相対強度の処理日数依存性
試料: ポリプロピレン-B

Variation of relative intensity in IR absorption band.
Sample: polypropylene-B.

表 3.1 長期熱および熱水処理による赤外吸収帯の相対強度の変化 試料: ポリプロピレン

Variation of relative intensity in IR absorption band by thermaltreatment in air and water over prolonged periods.
Sample: polypropylene.

	3,400 cm ⁻¹ /1,170 cm ⁻¹	1,650 cm ⁻¹ /1,170 cm ⁻¹
ポリプロピレン-A		
未処理	0.2	0
熱水 230 日	1.9	0.6
熱 95°C, 260 日	1.1	0.14
ポリプロピレン-B		
未処理	0.085	0
熱水 230 日	1.3	0.44
熱 95°C, 260 日	0.56	0.31

表 3.2 長期熱および熱水処理による赤外吸収帯の相対強度の変化 試料: ポリカーボネートおよび FRP

Variation of relative intensity in IR absorption band by thermaltreatment in air and water over prolonged periods.
Sample: polycarbonate and FRP.

	3,400 cm ⁻¹ /1,500 cm ⁻¹
ポリカーボネート	
未処理	0.31
熱水 230 日	0.61
熱 125°C, 300 日	0.33
FRP	
未処理	0.82
熱水 230 日	1.68
熱 125°C, 300 日	0.93

おり、これは主鎖の加水分解による分子量の低下を示唆している。

ポリプロピレンの赤外研究において、熱酸化により OH 基による 3,400 cm⁻¹ の吸収帯と CO 基による 1,850 cm⁻¹ から 1,650 cm⁻¹ までの吸収帯の強度が増加すると報告されている⁽⁴⁾。表 3.1 にベンゼン環による 1,170 cm⁻¹ の吸収帯を基準にして各吸収帯の長期熱、および熱水処理による相対強度の変化を示した。どの吸収帯の場合にも処理により強度は増加しており、熱水処理のほうが増加は大きくなっている。図 3.7 は OH 基による相対吸収強度の処理日数、依存性をポリプロピレン-B について示したものである。熱水処理の場合は吸収強度の増加が熱処理の場合と比べて大きくまた極大を示す。この極大挙動は説明の一つとして最初酸化により OH 基が生成し、次いで酸化の進行とともに OOH 基となり、主鎖の分解へと進むと考えられる。

表 3.2 はポリカーボネートおよび FRP についての赤外分析の結果を示す。これらの場合も熱水処理による場合のほうが OH 基の増加が大きくなっている。両試料の場合には分子鎖中に加水分解をうけや

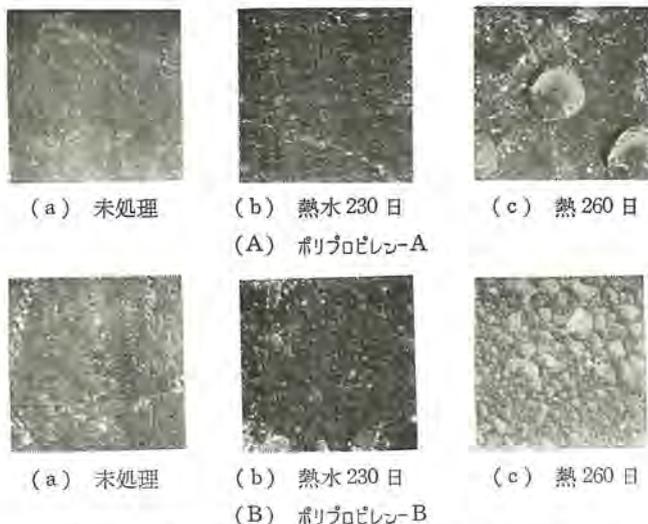


図 3.8 SEM による試験片表面の観察 倍率1,000 倍
Observation of specimen surfaces by SEM.

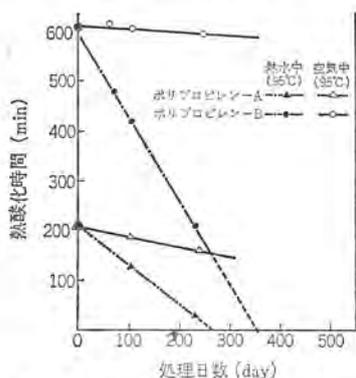


図 3.9 ポリプロピレンの耐熱水性の評価
Evaluation of hot water durability of polypropylene.

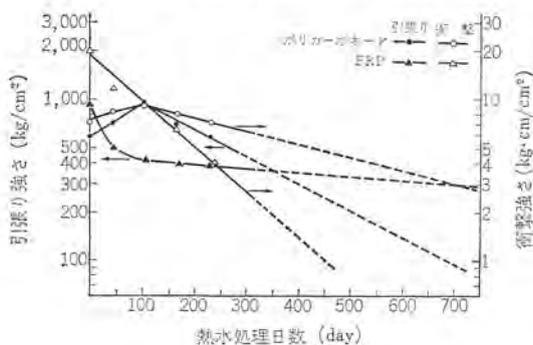


図 3.10 ポリカーボネートおよびFRPの耐熱水性の評価
Evaluation of hot water durability of polycarbonate and FRP.

表 3.3 ポリカーボネートおよびFRPの耐熱水性
Hot water durability for polycarbonate and FRP.

プラスチック	引張り強さ kg/cm ²		衝撃強さ kg·cm/cm ²	
	1/2	1/10	1/2	1/10
ポリカーボネート	400 日	750 日	600 日	1000 日以上
F R P	75 日	1000 日以上	100 日	350 日

すいエステル結合をもっており、熱水により分解生成したアルコール性OH基の増加が考えられる。赤外分析の結果から主鎖の切断による分子量の低下が予測され、このため引張りや衝撃強さを低下させるものと考えられる。しかしながら一方でOH基が生成しており、こ

れは分子鎖間の相互作用を強め引張り強さを増加させる働きをもつので、両者の競合によって実用性質が決まるものと考えられる。

図 3.8 はポリプロピレンについて走査形電子顕微鏡により試験片の表面を観察した結果を示したものである。熱処理の場合表面に発泡が観察されるが、これは各種添加剤などの低分子物が大気中へ出る時に生じたものと思われる。これに対して熱水中では試片の表面を荒さないで低分子物が溶出されるものと考えられ、この場合のほうが応力集中体が少なくなるため、実用性質を低下させる度合いが小さいと思われる。

3.3 耐熱水性の評価

図 3.9 はポリプロピレンについて各種期間熱および熱水処理した試料の熱酸化時間を示したものである。現在のところ熱酸化時間が材質のどのような状態を示すかを厳密に説明できないが、一応プラスチックから安定剤が逃散し、急速に劣化が開始する時間と考えられる⁽⁵⁾。図から熱水環境は加熱空気中の場合と比べて熱酸化時間を短くし、安定剤の溶出が occurring していることを示している。またポリプロピレン-BのほうがAよりも耐熱および耐熱水性ともにすぐれていると結論できる。

図 3.10 はポリカーボネート、FRP について引張りおよび衝撃強さの対数を処理日数に対してプロットしたものである。ある一定処理期間後は物性 P が次式に従って減少すると近似される。

$$P = A \exp(-kt)$$

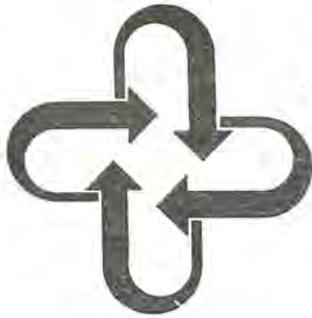
この式で A および k は定数であり、 t は時間である。図から直線を外そう(挿)し、物性が初期値の 1/2 および 1/10 になる日数を表 3.3 に示す。FRP は図 3.10 および表 3.3 から示されるように、強度が最初急激に減少するが一定期間後はあまり減少しない。これは樹脂が劣化してもガラス繊維があるていど強度を保持するためであると考えられる。

4. む す び

ポリプロピレン 2 種、ポリカーボネートおよび FRP について耐熱水性の研究を行なった。ポリプロピレンの機械強度は熱水処理により短期間では増加し、長期間では減少傾向を示す。これは最初結晶構造の変化が大きく反映し、次いで分子鎖の切断による一次構造の変化が優勢になってくるためと考えられる。ポリプロピレン-A とポリプロピレン-B とでは後者のほうが耐熱および耐熱水性ともにすぐれており、また熱水はポリプロピレン中の安定剤を溶出させる働きをする。ポリカーボネートおよび FRP の機械強度は、熱水処理により大きく変化する。これらの場合の劣化の機構はエステル結合の加水分解による分子鎖の切断がおもなものであると考えられる。熱水処理により機械強度が大きく変化するこれらのプラスチックを給湯器関係に利用する場合には、十分な注意が必要であることが示される。

参 考 文 献

- (1) L. E. Nielsen : Mechanical Properties of Polymers, Reinhold Publishing (1962)
- (2) 南, 田上, 高柳 : 工化誌, 68, No. 5, 90 (1965)
- (3) Matsuoka, Ishida : J. Polym. Sci. Part C No. 14, 247 (1966)
- (4) J. P. Luongo : J. Appl. Polym. Sci. 3, No. 9, 302 (1960)
- (5) 栗原 : プラスチックの劣化, 日刊工業 (1970)



高圧ナトリウムランプ

竹田 俊幸*・加茂部 透**・田中 紀彦**

1. まえがき

高圧ナトリウムランプは特に効率がきわめて高いところから、数年来大きな関心が寄せられている。このランプは高温高圧アルカリ蒸気に耐え得る透光性多結晶アルミナを使用した発光管に、過剰の水銀とナトリウムおよび起動用キセノンガスを封入し、飽和蒸気圧の器壁安定形放電を利用した光源である。ここで水銀はナトリウム蒸気圧を高めるための buffer gas としての作用をし、ランプ動作中のナトリウム蒸気圧は約 200 mmHg 程度になる⁽¹⁵⁾。この程度のナトリウム蒸気圧になるとナトリウムの D 線は自己吸収を起こし、可視部の長波長側および短波長側にブロードニングを起こし、光色は暖かみのある golden white となり、色温度は 2,100°K 程度となる。

一方、発光スペクトルが視感度曲線のピーク値付近に集中しているため、発光効率は 110~130 lm/w と高く一般水銀ランプの 2 倍以上である。したがって最近では屋外照明ばかりでなく屋内照明用光源としても使用されている。ここではランプの動作原理、ランプ特性に影響を与える諸条件についてまとめたものである。

2 ランプ構造

高圧ナトリウムランプに使用される発光管は、高温高圧のナトリウム蒸気に耐え、かつ光透過率の大きいものでなければならない。そこで透光性多結晶アルミナ管が使用されている。開発当初のアルミナ管にはいろいろ問題があったが、原材料および製造プロセスが研究された結果、機械的強度の高いしかも光透過率の大きいアルミナ管が開発された。これらの機械的強度および光透過率は結晶粒径に関係し、現在発光管に使用されているアルミナ管は、平均粒径が 10~30 μ のアルミナ粒子が互いに焼結されたものであり、光透過率は 92~97% 程度である。

図 2. 1 は最近の多結晶アルミナ管の透過率と波長との関係を示したものである⁽¹⁹⁾。このアルミナ管は一般水銀ランプに使用されている石英管のように加熱による軟化という現象を示さない。したがって発光管の封止には特殊な技術が必要である。

現在行なわれている方法には、発光管の両端にメタルキャップまたはセラミックキャップをアルミナ、カルシアを主成分とするガラスハンダで封着する方法を採用している。これらの代表的例が図 2. 2 に示されている。これらの発光管内には過剰のナトリウムと水銀および起動用のキセノンガスが封入され、ランプ点灯中には過剰のナトリウムアマルガムは発光管端部の最冷点に凝集し、ナトリウムおよび水銀の蒸気圧はこの温度によって規制される。この最冷点の温度は発光管端部の材料、構造および電極との位置関係、または封入されるナトリウムアマルガム組成によって大きく変わる。

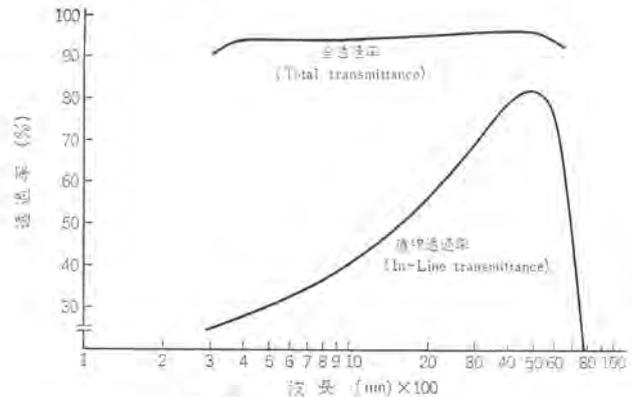


図 2. 1 波長と透過率

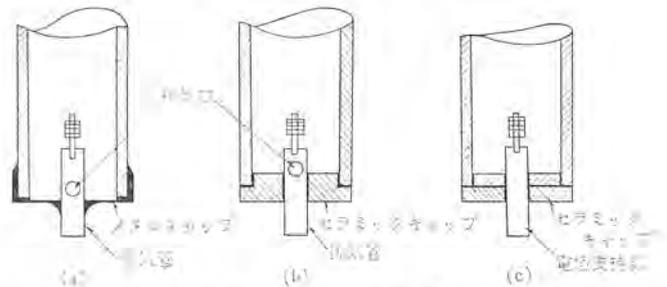


図 2. 2 各種ランプ端部構造

図 2. 2(a), (b) の場合最冷点は排気管内にあるのに対し、(c) は発光管内部に存在する。このように飽和蒸気圧形放電灯である高圧ナトリウムランプでは、ランプの最冷点に関しては設計上十分な配慮が必要である。

3. ランプ動作機構

高圧ナトリウムランプの放電のモードは器壁安定形に属し、アークが発光管管壁によってしぼられた形になり、一般水銀ランプの放電モードに似ている。管径が水銀ランプに比べて小さいため、アーク内での対流による影響は無視でき、管壁への熱伝導によってのみ安定に動作するため、一般水銀ランプより安定性は良い。このランプには前述のとおり水銀とナトリウムとが封入されているが、陽光柱での放電は本質的にナトリウム放電である。これは水銀の電離電圧が 10.4 V と高いのに対し、ナトリウムは 5.1 V と低く、最終的にポアソンの空間電荷の式で決まる電位傾度もこのナトリウムイオン密度で決定される。つまり水銀は単なる buffer gas として作用し、アークの入力を高めナトリウム蒸気圧を上昇させる働きをしている。

しかし電極近傍とくに陰極輝点の中心部では、陰極降下のため水銀イオンも輝点内に存在し陰極降下電圧を高める結果になっているが、一般水銀ランプよりは小さい。これは陰極輝点周辺部に電離電

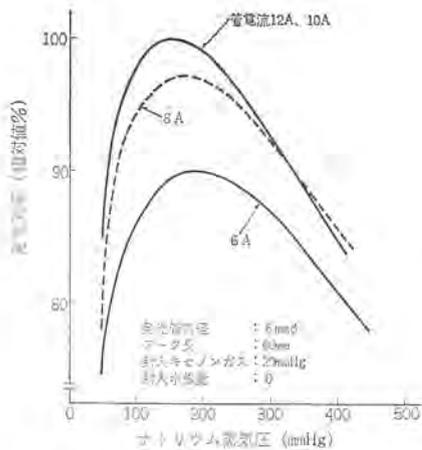


図 4.1 ナトリウム蒸気圧と発光効率

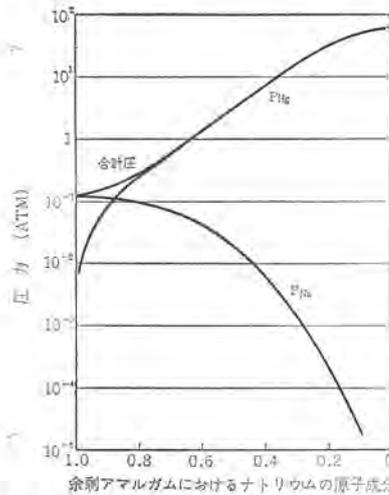


図 4.2 700°Cにおけるナトリウムアマルガム組成に対する水銀およびナトリウム分圧

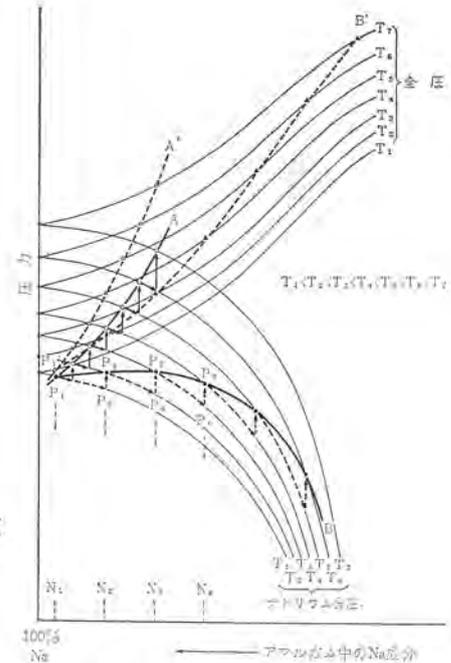


図 4.3 アマルガム組成とナトリウムアマルガム蒸気圧

これに従ってナトリウムD線の自己吸収が増加し、D線を中心として長波長および短波長側にブロードニングが起こり、特に赤外部へのブロードニングが多く起こるので、放射されるエネルギーの総量は増加するにもかかわらず、可視域での放射量は減少し、その結果演色性は向上するが発光効率は低下してゆく。

このようにナトリウム蒸気圧の変化に対し、発光効率は最大値を持ち、この最大値はナトリウム蒸気圧の50~300 mmHgの範囲にある。一般照明用の場合ナトリウム蒸気圧は、効率のみではなく、光色・演色性などを加味して100~300 mmHg程度が使用されている。

4.2 封入アマルガム組成と最冷点温度

図4.2に700°Cにおける液体状アマルガム上方にあるナトリウム蒸気と水銀蒸気分圧および全圧の変化をアマルガム組成(アマルガム中のナトリウムのモル比)の関係として表わしたものを示す⁽¹⁷⁾アマルガムの温度(最冷点温度)を一定に保った場合は、アマルガム中の水銀の比率を増大させるに従い、ナトリウム蒸気圧は減少し、水銀の蒸気圧および全圧は増加する。

この結果管電圧は上昇し、ナトリウム蒸気圧の減少のため、ナトリウムD線の自己吸収、ブロードニングが減少するため光色、演色性は低下していくと思われるが、実際のランプにおいては水銀蒸気圧の上昇のため、アークの電位傾度が高まり管壁負荷が大きくなるため、最冷点温度も上昇し、発光管内ナトリウム蒸気圧は、アマルガム中のナトリウム成分減少のために引き起こされるナトリウム蒸気圧の減少分と最冷点温度上昇(アマルガム温度上昇)のために起こるナトリウム蒸気圧の増加分の大きさによって決定される。

水銀蒸気圧上昇のために生ずる最冷点温度上昇の程度は、発光管の構造、寸法によって異なるため一般的には論じがたいが、封入アマルガム組成比変化に対して最冷点温度変化の大きい構造の発光管では、水銀量増加に従ってナトリウム蒸気圧は上昇し(アマルガム中のナ

トリウム成分減少によるナトリウム蒸気圧減少分に比べ、最冷点温度の上昇のために起こるナトリウム蒸気圧の増加分が大きい)、封入アマルガム組成比変化に対して最冷点温度変化の小さい構造の発光管では、水銀量増加に従ってナトリウム蒸気圧は減少するものと考えられる。

図4.3に模型的に上記アマルガム組成に対するナトリウム蒸気圧の変化の例を示す。図4.3においてアマルガム組成が N_1 である場合、最冷点温度が T_1 であるとすれば、このときのナトリウム蒸気圧は P_1 、全圧は P_1' の点で示される。アマルガム組成を N_2 とした場合、最冷点温度が変化しなければ、ナトリウム蒸気圧は P_2 の点となり減少するが、実際是最冷点温度は上昇し、 T_2 まで上昇するとすれば、ナトリウム蒸気圧は P_3 の点まで上昇する。同様にアマルガム組成が N_3 の場合は、ナトリウム蒸気圧は P_3 で示され、このようにしてナトリウム蒸気圧曲線Bが得られ、また同様に全圧曲線B'が得られる。

ナトリウム蒸気圧曲線A、全圧曲線A'は、Bの場合よりアマルガム組成変化に対して最冷点温度上昇が大きい場合(組成が $N_1 \rightarrow N_2$ と変化させると最冷点温度が $T_1 \rightarrow T_4$ ($T_4 > T_2$)と変化する場合)について示した。図4.3のAとA'、BとB'曲線を比較してわかるように、封入アマルガム組成が一定であっても、発光管構造、特に最冷点付近の端部構造により、管内ナトリウム蒸気圧および全圧(ナトリウム蒸気圧+水銀蒸気圧)は変化し、さらに一定の電気的特性たとえば管電圧などを得るため全圧を一定にしても、封入アマルガム組成、発光管構造によりナトリウム蒸気圧は変化する。したがって発光効率、光色、演色性も変化するため、最適ナトリウム蒸気圧でランプを動作させること、および適正な電気的特性を持たせるためには、封入アマルガム組成と発光管構造(最冷点温度)の適当な選択が必要である。

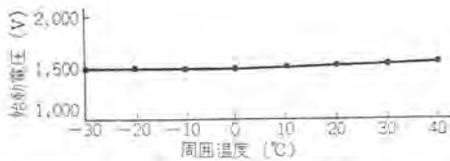


図 5.3 周囲温度と始動電圧

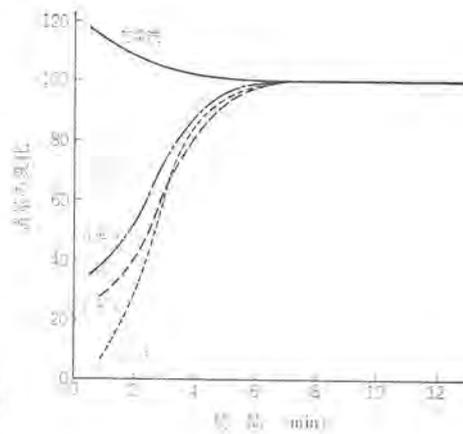


図 5.4 始動特性

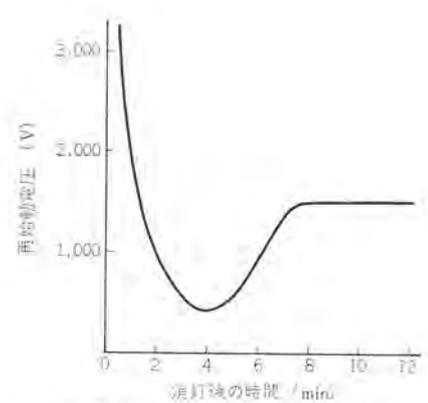


図 5.5 消灯時間と再始動電圧

負荷電圧によって大きく影響される。つまり二次無負荷電圧を高くすると、安定器は定電流的特性を示してくるため電源電圧変動に対してランプ特性の変化は小さくなるが、このランプは一般に働程中ランプ電圧が上昇する傾向を持っているため、定電流特性を有する安定器を使用するとランプ電圧がどんどん上昇して過電力点灯となり、短寿命を起す。

このように安定器の二次無負荷電圧を設定する場合は、電源電圧変動特性、立消え電圧、および働程中のランプ電圧上昇などの面より検討しなければならない。

5.3 始動電圧

高圧ナトリウムランプは起動用ガスとしてキセノンが使用されている。これはすでに述べたようにキセノンは他の希ガスよりも熱伝導損失が小さいため発光効率は高くなる。しかしキセノンは水銀が存在しても、一般水銀ランプにおけるアルゴン・水銀系のようなベニング効果が起こらぬため、始動電圧が高くなりパルス回路が必要である。しかしキセノンは一度イオン化されると他の希ガスより life time が長い。このことはグロー放電からアーク放電への移行が他の希ガスより起こりやすいことを示している。

つまり気体の絶縁破壊のための高電圧パルスを必要とするが、パルスエネルギーはあまり必要としない。一般に使用されているパルスは高さが2,500~3,000 V、幅が約0.5 msである。図5.3は周囲温度と始動電圧との関係を示したものである⁽¹⁰⁾。図からも明らかなように周囲温度の影響を全く受けないことがわかる。

5.4 始動 再始動特性

始動用パルスで点灯されたランプは図5.4に示されるような始動特性を示す。点灯はキセノンの放電で開始されるが、発光管の温度上昇とともに最冷点の温度も上昇し高圧ナトリウム放電に移行する。一度始動してランプ特性が安定時の90%特性を示す時間は約5分であり、一般水銀ランプよりも短い。これはキセノンの熱損失が小さいことによる。また再始動は一般の水銀ランプと違って図5.5のような特性を示す。これは放電開始電圧を正弦波で測定したものであ



図 5.6 周囲温度とランプ電圧

る。したがって始動用パルスが3,000 V ぐらいあれば1分以内で再点灯することになる。

5.5 ランプ電圧上昇

ランプの電位傾度は、最冷点の温度とナトリウムアマルガム組成によって決まる。さらに最冷点の温度は端部構造、電極の位置関係によるランプディメンジョンによっても影響されるが、周囲温度、点灯方向、電源電圧によっても大きく変わる。図5.6は周囲温度とランプ電圧との関係を示したものである。ランプ外管内はゲッタを使用し、高真空にして発光管への影響を防止する構造になっているが、周囲温度が100°C ぐらいになると数Vの電圧上昇を示す。しかし外部からのふく射熱が発光管の最冷部に集中するような条件、たとえば設計の悪い投光器内での点灯という場合には、ランプ電圧が異常に上昇し立消えを起したり寿命を短くする。したがって投光器の設計にあたっては、光ビームが発光管最冷部に集中しないようにすることが必要であり、また発光管最冷部にふく射熱が集中しても反射させてしまうような処置が必要である。

つぎに点灯方向によるランプ電圧への影響は、発光管端部構造寸法ばかりでなく、最冷部の熱容量、熱伝導、アークおよび電極からのふく射熱が関与し、したがって端部の材料によってもランプ特性は大いに変わる。そこで点灯方向を base UP, base Down と指定して使用している例もある。

つぎに最も問題になるのは、働程中におけるランプ電圧上昇である。開発当初は発光管端部の封止部よりナトリウム消失が起り、アマルガム組成比が変化(アマルガム中における水銀の割合が増加)し、ランプ電圧が上昇した。また発光管の設計時に、管壁負荷が大き

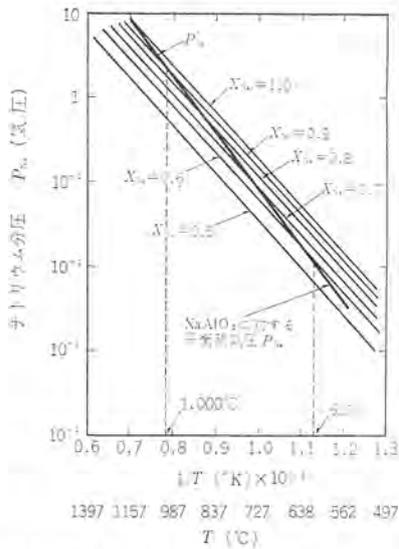


図 5.7 温度とナトリウム分圧との関係(アマルガム組成比:パラメータ)

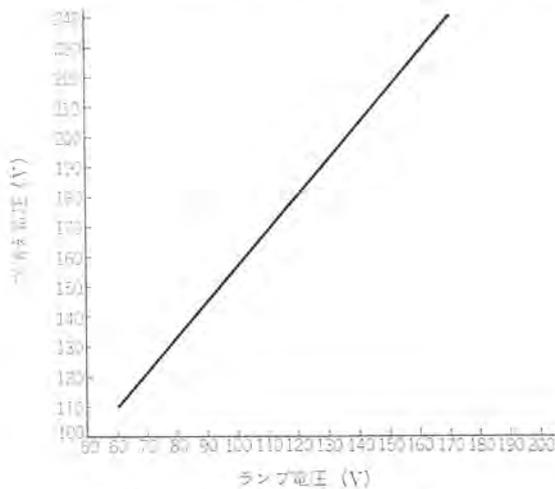


図 5.8 ランプ電圧と立消え電圧

ぎて発光管の温度が1,200°Cを越え、発光管表面よりアルミナが昇華し、外管表面で分解して金属アルミ膜を形成し、発光管からのふく射熱を最冷点に戻すためランプ電圧が上昇するという事もあった。

しかし最近ではこのような機構によるランプ電圧の上昇はなくなったが、発光管内におけるナトリウムの化学反応による消失、つまりナトリウムクリンアップが問題視されるようになった。その一例として発光管に使用されているアルミナがナトリウムと直接反応してアルミン酸

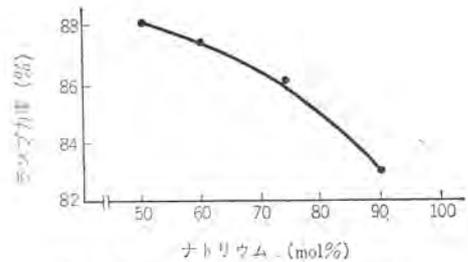
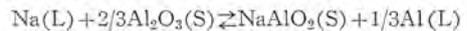


図 5.9 ナトリウム組成比とランプ効率

ナトリウムとアルミニウムが生成されるという例を説明する⁽¹⁰⁾。



この式において文字(L), (S)はそれぞれ液体および固体状を意味する。この反応は可逆反応であり、ナトリウムがクリンアップされるのは反応系が右に移行する条件、つまりナトリウムアマルガムのナトリウム蒸気圧 P_{Na} が NaAlO_2 に対する平衡蒸気圧 P'_{Na} より大きい場合には、反応は右に移行してナトリウムを消失させる。したがってナトリウムクリンアップが起こらない条件は、ナトリウムアマルガムのナトリウム蒸気圧 P_{Na} を NaAlO_2 に対する平衡蒸気圧 P'_{Na} 以下にすることである。

図 5.7 はナトリウムアマルガムの P_{Na} と NaAlO_2 に対する平衡蒸気圧 P'_{Na} との関係を示したものである。図からも明らかなように、 P_{Na} と P'_{Na} との交差点の下側になるようなナトリウムアマルガムの組成にすれば、ナトリウム消失は起こらない。この他発光管部材としてナトリウムと反応する物質を用いないことが肝要である。

5.6 立消え電圧(立消えを起こす二次無負荷電圧)

ランプ電圧が上昇し、再点弧電圧が二次無負荷電圧よりも高くなるとランプは立消えを起こす。この関係を図 5.8 に示す。図からも明らかなように立消え電圧とランプ電圧とは直線関係になる。一般に高圧ナトリウムランプは水銀ランプに比べて再点弧電圧が高い。これは発光管径が小さく器壁安定形の放電であるため、電子の管壁方向への拡散、つまり両極性拡散による損失が大きいためである。

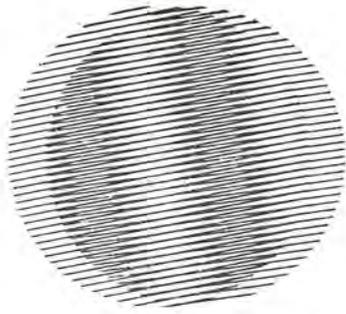
図 5.9 はナトリウム封入量とランプ効率との関係を示したものである⁽¹¹⁾。ナトリウム封入量の増加に従い効率が低下しているのは、再点弧電圧が上昇したためである。したがって封入ナトリウム量が増加するとランプの立消え電圧が高くなると予想される。

6. 演色性と用途

表 6.1 は水銀ランプと高圧ナトリウムランプとの平均演色評価指数、

表 6.1 演色評価指数

項目	ランプ電力	色温度	R_a	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}
高圧ナトリウムランプ	400 W	2,100	27.0	-186.0	45.8	-30.0	31.6	22.4	70.7	6.2
水銀ランプ(透明形)	400 W	5,700	22.4	-329.3	-44.8	-16.5	-28.0	-0.6	85.5	-35.3



新製品紹介

退色試験機用水銀ランプ

塗料工業は毎年10%以上伸びており、品質的には合成樹脂工業の発展にともない、新しい塗料が製品化されている。塗料の特性の一つとして、近紫外線にさらされたときの退色の問題があり、JIS K 5400(1970)にその試験方法が規定されている。退色試験用水銀ランプは、この規定に基づいて作られたものであり、普通の照明用水銀ランプとは異なり、近紫外部を多く放射するようになっている。この退色試験用水銀ランプを用いた退色試験機も当社から販売されているが、この試験機は、小形、軽量、車輪付きで設置も簡単、価格も安いなど特長をもっている。ここでは、今回開発した退色試験機用水銀ランプの特長・仕様について紹介する。

■ 特 長

従来のカーボンアーク方式のものに比較して、次の特長がある。

(a) 寿命が長い

点灯時間とともに生じる光出力の減少が小さい。

(b) 取扱いが簡単

光の放射はスイッチを入れて数分間、ランプが安定するのを待つだけでよい。またランプの交換も容易にできるので保守・点検が簡単。

(c) 電源が得やすい

電源は交流100V約550VAですみ、容易にとれる。また定出力形安定器を使用しているので、電源電圧の変動に対して、ランプ出力の変動が少ない。

■ 仕 様

退色試験機用水銀ランプの仕様

形 名	大 き き W	放電開始電圧 V	ランプ電圧 V	ランプ電流 A	外 形 mm	
					全 長	径
H400-F	400	180以下	130±10	3.3±0.4	280±5	50±2

光の中心距離 mm	口 金
180±5	E39

[大船製作所]



退色試験機用水銀ランプ

いかつり用水銀ランプ

従来いかつり用ランプには、一般に白熱電球が用いられていたが、これに代わるべき光源として実際にいかつり漁に携わる人々の貴重な意見を基にして、新しく水銀ランプを用いて、その実用化を推し進めてきた。このたび完成したいかつり用水銀ランプは、いかなどの魚類に対し感光度の良い波長を持った光を効率良く放射できるように設計し、かつ直接雨やしぶきのかかる漁船上での過酷な使用条件においても、十分耐えることができるように配慮したものである。以下にいかつり用水銀ランプの特長およびその定格について紹

新製品紹介

介する。

■ 特 長

- (1) ランプの光色は、いかの習性に合わせた波長を出すように設計した。
- (2) ランプの光は、特殊設計により空間への照射を少なくし、海上への照射をより多くしてあるので照明効率が良い。
- (3) 白熱電球に比べて数倍明るい（定格値で比べて約5倍）。
- (4) ランプ効率が高いため小容量の電源で済み、大出力の発電機の必要もなく、したがって機関の燃料費などが節約できる。
- (5) ランプは白熱球に比べ寿命がはるかに長い。このため保守や交換の費用が節約できる。



いかつり用水銀ランプ

■ 定 格

形 名	大きさ W	全光束 lm	効 率 lm/W	光 度 45°方向 cd	ランプ外形寸法 mm		口 金	定格電圧 V	安定時 ランプ 電 圧 V	安定時 ランプ 電 流 A
					全 長	最大径				
HF 1000-AF	1,000	62,000	62	9,000	445	210	E 39	200	130	8.3

[大船製作所]

永久磁石式同期電動機 (AQ モートル)

高精度の速度制御を必要とする一般産業機械駆動用電動機として同期電動機の周波数制御は、効率・速度制御精度・制御の簡便さなどにおいて非常にすぐれており、静止形可変周波数電源の普及とあいまって、需要拡大の一途にある。

比較的小容量で多数の速度制御をしたり、電動機相互間に一定の関連速度を精密に保持させる必要がある用途には、従来からリラクタンスモートル（リアクションモートル）のインバータ駆動が行われてきた。しかし、リラクタンスモートルは突極性に基づくリアクショントルクによる同期運転を行なっているものであり、固定子巻線の遅れの無効電流で磁束を作るので、力率・効率が悪く、電源容量が大きくなる欠点があった。そこで、これにかわるものとして、回転子鉄心内に永久磁石を内蔵した小形高性能の永久磁石式同期電動機（商品名 AQ モートル）を開発し、量産化に成功したのでここに紹介する。

標準出力は100～1,500 W、極数は2P、4Pで、全閉自冷形を標準保護構造としている。運転動作としては、誘導電動機として始動し、自動的に同期引入れした後は同期電動機として運転する。

■ 構 造

回転子内に高性能永久磁石を内蔵している。始動および制動巻線を構成するかご形導体は、アルミニウムダイカストで行なっている。固定子は通常の回転界磁形同期電動機と同一である。



AQ モートルシリーズ

■ 特長

(1) 経済性がすぐれている

回転子に内蔵した永久磁石から所要磁束のほとんどを供給するため、励磁電流がいちじるしく少なく、したがって運転特性としては力率、効率が良好となり、従来のリラクタンスモータに比べ、定格電流が半以下となるため、これに使用する電源容量が半減し、設備費、運転費ともに大幅な低減が可能である。

(2) 制御性が良い

AQモータの回転数は電源周波数によってのみ定まり、可変周波数による速度制御はオープンループ制御だけで電源周波数精度と同一の回転数精度を容易に得ることができる。

(3) 安定性が良い

内蔵永久磁石は、高性能、高保磁力磁石を使用するとともに安定化減磁を十分施しているため、運転中の外部磁界による減磁を皆無にし、半永久的に安定した特性を得ることができる。

(4) 保守が容易

全閉構造を採用しているため悪環境にも強く、スリップリングブラシなどが無いので保守が容易である。

[名古屋製作所]

RD形 ミニチュアリレー、RDT形 ミニチュアタイマ

各種産業装置の自動化省力化の進展とともに、それに使用される制御用リレーも小形、高信頼性、長寿命および取り扱いの容易性が要求されている。当社ではこの要望に応えるため小形リレー RD形および RD形を内蔵したソリッドステート式の RDT形タイマを発売した。

■ 特長

(1) 小形で、そのうえ AC 110V 3A (抵抗) の電流開閉ができる。

(2) AC, DC 操作が可能である。

(3) 機械的寿命は 5,000 万回以上、電気的寿命は AC 110V 3A 抵抗負荷で 10 万回以上と長寿命である。

(4) プラグイン形で保守点検が簡単である。

(5) プリント基板への取付けも可能である。

この他 RDT 形は、つぎの特長がある。

(6) 外来サージに強く、動作が安定している。

(7) くり返し誤差は ±1% と高精度である。

■ 定格仕様

表 1 および表 2 に示す。



RD形 ミニチュア リレー、RDT形 ミニチュア タイマ

表 1 RD形の定格と仕様

形名		RD-2 P RD-2 B	RD-4 P RD-4 B	RD-2 SP RD-2 SB (低レベル用)	RD-4 SP RD-4 SB (低レベル用)					
接点構成		2 T		4 T						
定格通電電流 (A)		5		3						
交流 定格	級別	A ₁ (コイル負荷)	A ₂ (抵抗負荷)	A ₁	A ₂					
	定格電流 (A)	AC 110 V AC 220 V	1.5 1.0	5.0 3.0	1.0 —	3.0 —	1.0 0.6	3.0 2.0	0.6 —	2.0 —
	閉路しゃ断電流 (A)	AC 110 V AC 220 V	15 10	— —	10 —	— —	10 6.0	— —	6.0 —	— —
	級別	D ₂ (小コイル形)	D ₃ (抵抗)	D ₂	D ₃	D ₂	D ₃	D ₂	D ₃	
直流 定格	定格電流 (A)	DC 24 V DC 110 V	1.0 0.2	5.0 1.0	0.6 0.1	3.0 1.0	0.6 0.1	3.0 1.0	0.6 0.1	2.0 1.0
	閉路しゃ断電流 (A)	DC 24 V DC 110 V	1.5 0.3	— —	1.0 0.15	— —	1.0 0.15	— —	1.0 0.15	— —
	最低使用電圧・電流	12 V 10 mA		12 V 10 mA		6 V 5 mA		6 V 5 mA		
寿命	電氣的 (AC 110 V)	5 A (A ₂) 20 万回		3 A (A ₂) 10 万回		3 A (A ₂) 10 万回		2 A (A ₂) 10 万回		
	機械的	5,000 万回								
開閉ひん繁度		1,800 回/時								
絶縁耐力		AC 1,500 V 1 分間 (同極接点間は AC 1,000 V 1 分間)								
絶縁抵抗		100 MΩ 以上								
使用温度範囲		-10~50°C								
耐振動		振動数 10~55 Hz 複振幅 1 mm								
耐衝撃		10 G								
許容電圧変動範囲		定格電圧の 85~110% (周囲温度 40°C)								

表 2 RDT形の定格と仕様

形名	操作電圧	時間限 (秒)	*出力		
			接点構成	接点容量	
RDT-2 N 10	AC 100 V	100 V 50 Hz 100~110 V 60 Hz	0.1~10	2 T	AC 110 V コイル負荷 (A ₁ 級) 1 A 抵抗負荷 (A ₂ 級) 3 A
	DC 24 V	DC 24 V			
	DC 100 V	DC 100~110 V			
RDT-2 N 30	AC 100 V	100 V 50 Hz 100~110 V 60 Hz	0.5~30		
	DC 24 V	DC 24 V			
	DC 100 V	DC 100~110 V			

*時間特性以外の電気特性は RD-4 P 形リレーと同一です。

[名古屋製作所]



空調照明実験室完成

光・空気・温度などは、ビル内居住域の人工環境の基本要素であるが、光は照明によって空気・温度は一般に空調用吹出口から供給されている。この照明と空調を結合させて、総合的にプラスの方向へ発展させようとするのが空調照明の考え方である。けい光灯器具と空調用吹出口・吸込口を組み合わせたユニットを、空調形けい光灯器具と呼んでいるが、その関連する技術・製品開発について実際に即した条件下で、実験・検討が行なえる実験室を今度当社大船製作所内照明技術センターに完成させた。

実験室の構成は本室、本室の諸条件を演出する機械室、本室天井にある準備室からなり、本室内と試験用供給空気の温湿度は、自動制御によって夏期に冬期、冬期に夏期の状態のほか、各種過渡状態を演出できる。

本室内の調温・調湿のための給気は、本室南側壁の内側をサブライチャンパとし、壁面を通気吸音板として、この全体から吹出している。このため、吹出風速は、ほとんど無視できる値となっている。また、これの吸込みは北側壁に設けたダンパ付きの四つのキャリで行なっている。中央天井には、1.8m×2.5mの四つの移動および取りはずし可能な天井ユニットが組み込まれてあり、準備室には、この天井ユニットを操作する走行レールとチェーンブロック、天井ユニットに取付けた供試器具に給気あるいは排気するためのダクト・風量を正確に検出するための、AMCAテストコードに基づいた測定用チャンパ、あるいは風向確認のための煙入装置などが備え付けられている。

本室は、照明工学的実験を行なう便のためには暗室となり得ることが必要であるが、一方では実験者が比較的長時間にわたってこもることが多いので、環境衛生という面で黒一色に仕上げることを避け、床面・壁面は地色のままとし、代わりにへやの全周に目のあらい黒色カーテンを巡らして暗室としての測定も可能なようにし、同時に室内空気吸込側の風速分布の偏向を防ぐ働きをもたせた。

■実験内容

- (1) 空調照明器具の吹出しパターン、圧損、光出力変化、熱抽出など全特性試験
- (2) 空調照明器具の実用試験
- (3) 照明熱に関する実験
- (4) 照度、グレアその他見え方に関する生理的、心理的テスト

■設備概要

総延面積 293 m²

構成

本室：容積 382 m³

1年をとおして希望の季節の室内温湿度条件が得られる。主実験はここで行なう。

準備室：本室天井にあり、器具の取付作業や風量測定などを行なう。

機械室：本室内に諸条件を提供する機械類、操作盤を設置

おもな付帯設備

- (1) 自動制御により本室内および吹出用供試器具に希望する温湿度の空気を送る2組のエアコンディショナと、冷温水そう、チリングユニット、クーリングタワー等関連機器
- (2) 各種空調実験のための切換可能なダクト回路
- (3) 精密な風量測定装置および熱量測定装置
- (4) 本室内の天井仕様変更のためのはめこみ天井機構

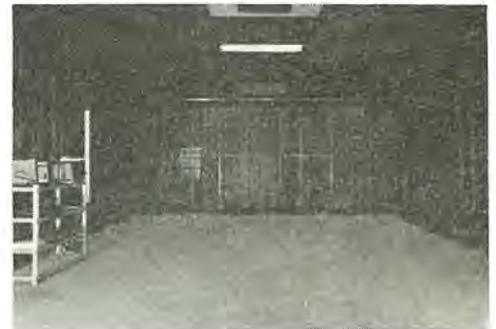


図1 空調照明実験室 本室内



図2 天井ユニットの取りはずし



図3 機械室内

[大船製作所]

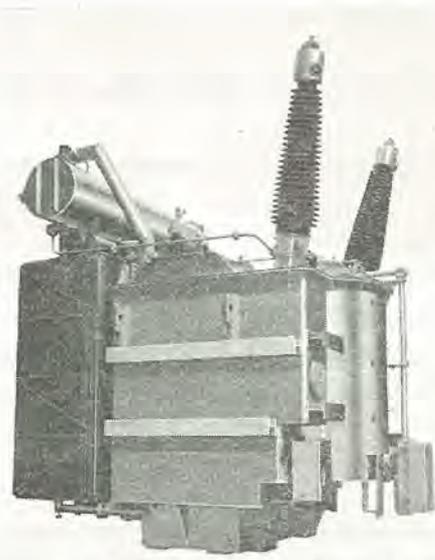
ニュージーランド向け 220 kV 変圧器完成

ニュージーランドは、歴史的に欧州の変圧器メカが強く、なかなかはいり込み難い市場であるが、このたび、激しい国際競争の結果、当社の内鉄形変圧器が高く評価され、ニュージーランド電力庁から 220 kV 変圧器を 11 台も大量受注し、あいついで完成している。仕様その他は、次のとおりである。

形式	単相 負荷時 タップ 切換変圧器 油入風冷式内鉄形	
容量	100/3 MVA	
電圧	一次	231~R 220~187 kV
	二次	$33/\sqrt{3}$ kV
周波数	50 Hz	
概略重量	油なし重量	46,400 kg
	油 量	27,000 l
	総重量	70,700 kg

ニュージーランドの 220 kV の系統は有効接地系であるが、この変圧器は△結線として使用されるため、超高圧にもかかわらず、高圧巻線は段絶縁とはしないで 900 kV BIL の均等絶縁としている。また、負荷時タップ切換器は、大地絶縁 1,050 kV BIL のものを採用した。

[伊丹製作所]



ニュージーランド向け 220 kV 100/3 MVA 変圧器

国内最大級、関東農政局納入 350 kW, 8 P 浸水式水中モートル完成

当社では、46 年末に (株) 電業社機械製作所経由 関東農政局向けとして、国内最大級の 350 kW, 8 P, 400 V, 浸水式水中モートル 2 台を完成し納入した。

従来、わが国で製作されたこの種の水中モートルは、高低圧を問わず、340 kW 級 (6 P) が最大であって、今回の同局納入水中モートルは、文字どおり容量・寸法・重量的にもこれらを上回る記録品である。

また、この水中モートルは、既製の 3,000 V, 6,000 V 級大形水中モートルで立証された構造、絶縁仕様と工作技術を駆使して製作されているほか、特に大容量ポンプ用モートルとして、最も合理的な水路付きフレーム構造と水潤滑軸受ではこれまで最高の高荷重スラスト軸受機構を採用する等、構造的長足を有している。

なお、この水中モートルは、ポンプとの組み合わせ試験を完了し、47 年 3 月中には、同局鬼怒川川岸揚水機場へ設置され、4 月早々には、この地区の農業かんがい(灌漑)取水用として実動運転にはいる予定となっている。

同水中モートルおよびポンプの主要仕様は下記のとおりである。

(1) 水中モートル

形式	全閉立形(軸下)水封式
出力・極数	350 kW, 8 P
電圧・周波数	400 V, 50 Hz
全負荷効率	91.1 %



WS E-W 形 350 kW 8 P 400 V
50 Hz 浸水式水中モートル

スラスト 荷重	6,500 kg
概略寸法	1,300 φ×3,500 mm
重量	約 7,000 kg
台数	2 台
(2) ポンプ	
形式	斜流形
口径	700 mm
流量	60 m ³ /min
揚程	24.9 m
回転数	740 rpm

[名古屋製作所]

移動機械室形 工事用エレベータ実動

わが国で初めての本格的な移動機械室形工事用エレベータを(株)竹中工務店のご協力を得て現在建設中の大阪国際ビル(32階建)に設置し、本年2月15日より実動にはいった。

このエレベータは、建設工事中の作業員および器材の運搬に使用するもので、将来本設エレベータを設置する昇降路内に地上数階に建て方が進んだ時点でエレベータを据付け、その後建て方の進展につれて、数階ごとに機械室を吊り上げて簡単に昇降行程を延長し、最終的には30階までのサービスに供し、本設エレベータ据付け時に撤去するものである。

本工事用エレベータを使用することによって、

- (1) 建物外壁にダメージを残さない。
- (2) 建物建て方の初期より使用できる。
- (3) 機械室移動時のエレベータ休止期間がきわめて短い。

などの大きなメリットがあり、高層ビルの増加に伴ない、多くの需要が見込まれる。

■仕様

制御方式	直流可変電圧歯車式
操作方式	カースイッチ
積載荷重	1,300 kg
定員	20名
速度	90 m/min

■特記事項

- (1) 機械室一体のわく組構造

移動に便のため昇降路内に納まる一体のわく組に、巻上機、電動発電機、制御盤、調速機、制御ケーブル、塔内立ち下りケーブルを内蔵している。

- (2) 巻上ロープ繰出し装置……かごわくに設置
ガバナー装置 ……かごわくに設置
コンペンチェン装置 ……おもり下に設置
- (3) 昇降路およびかご上機器……防滴構造

[本社 昇降機業務部]



最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
電気冷蔵庫	45-8-8	908198	荒野 詰也・吉田 匡一	静岡製作所
集中制御箱装置	45-8-8	908199	町野 康男・高橋 勝	名古屋製作所
やぐら形こたつ	45-8-8	908200	長沢 重雄	郡山製作所
電気機器のコード接続装置	45-8-10	908201	星野 安正	群馬製作所
小形整流子電動機のブラシ取付け装置	45-8-10	908202	小川 昇・増田 三郎	群馬製作所
サーミスタ継電器	45-8-10	908206	山田 英樹・鈴木 清治	郡山製作所
温水器の給水装置	45-8-10	908208	{赤羽根正夫・宮崎 昭信 鶴谷 嘉正	群馬製作所
電圧検出回路	45-8-10	908209	渡辺 史郎・高橋 勝	稲沢製作所
石油燃焼機器の消化装置	45-8-10	908210	加藤 栄一	静岡製作所
石油燃焼機器の消化装置	45-8-10	908212	加藤 栄一・佐藤 正雄	静岡製作所
空気調和機の電熱装置	45-8-10	908213	玉山 敬	静岡製作所
冷蔵庫用温度調節器の感温体保持装置	45-8-10	908215	永野 幸信	静岡製作所
冷蔵庫の野菜容器	45-8-10	908217	高沢 正二・杉山 頼子	商品研究所
冷蔵庫	45-8-10	908218	荒野 詰也・辻 幹夫	静岡製作所
加温装置付熱交換器	45-8-10	908219	野田 富士男	静岡製作所
加温器	45-8-10	908220	竹下 二郎	静岡製作所
冷蔵庫用蒸発器	45-8-10	908895	中島 勇・高田 弘明	静岡製作所
冷凍機の霜取装置	45-8-10	908897	中島 勇・高田 弘明	静岡製作所
冷凍機の霜取装置	45-8-10	908898	中島 勇	静岡製作所
ワイレスマイクロホン	45-8-10	908899	鶴沢 昌和	商品研究所
足温器	45-8-22	909198	内田 武士・長沢 重雄	郡山製作所
内燃機開始動電動機の制御装置	45-9-7	910732	平田 毅・石橋 光雄	姫路製作所
機関着火用自動進角装置	45-9-7	910733	荒川 利弘	姫路製作所
ころがり軸受の外輪空転防止装置	45-9-7	910734	服部 信道・相河 富雄	群馬製作所
表示装置	45-9-7	910735	松尾 潔	神戸製作所
エレベータ用解錠装置	45-9-7	910736	{高村 明・渡辺 英紀 小沢 靖彦	稲沢製作所
扇風機	45-9-7	910737	長瀬 卯三郎	中津川製作所
扇風機羽根の折り畳み装置	45-9-7	910738	長瀬 卯三郎	中津川製作所
扇風機支持脚の折り畳み装置	45-9-7	910739	長瀬 卯三郎	中津川製作所
電機掃除機	45-9-7	910740	加藤 悟・相河 富雄	群馬製作所
電気掃除機	45-9-7	910741	武井 久夫・加藤 悟	群馬製作所
故障監視装置	45-9-7	910742	松尾 潔	神戸製作所
距離継電装置	45-9-7	910743	北浦 孝一	神戸製作所
掛金式鎖錠装置	45-9-7	910744	立石 俊夫	神戸製作所
回転伝送装置	45-9-7	910745	岡野 新也	神戸製作所
電気掃除機の集塵装置	45-9-7	910746	鶴田 剛耳・相河 富雄	群馬製作所
磁性物濃縮回収用磁石装置	45-9-7	910747	{諏訪 寛・柳下 儀兵衛 閑蔵 弘道	大船製作所
ヘアカール器	45-9-7	910748	{町原 義太郎・森本 敏夫 鳥山 建夫	群馬製作所
ヘアカール器	45-9-7	910749	{町原 義太郎・森本 敏夫 鳥山 建夫	群馬製作所
可撓歯車継手	45-9-7	910750	久山 研一	伊丹製作所
電気あんか	45-9-7	910751	大竹 操・高梨 靖士	群馬製作所
やぐらこたつ	45-9-7	910757	内田 武士・長沢 重雄	郡山製作所
やぐらこたつ	45-5-7	910753	長沢 重雄	郡山製作所
やぐらこたつ	45-9-7	910754	長沢 重雄	郡山製作所
やぐら形電気こたつ	45-9-7	910755	内田 武士・長沢 重雄	郡山製作所
やぐらこたつ	45-9-7	910756	木村 和朗	郡山製作所
交流電磁石	45-9-7	910757	長尾 良章	名古屋製作所
差込みプラグ	45-9-7	910758	鶴谷 嘉正	群馬製作所
ガスしゃ断器	45-9-7	910759	田辺 俊雄・堤 透	伊丹製作所
差込みプラグ	45-9-7	910760	鶴谷 嘉正	群馬製作所
差込みプラグ	45-9-7	910761	鶴谷 嘉正・山本 成一郎	群馬製作所
点火時期調整装置	45-9-7	910762	浅山 嘉明	姫路製作所
超音波流量計	45-9-7	910763	榎田 征也	神戸製作所

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) 565局3111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	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111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) 61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
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル) (電) 950	(電) 新潟 (0252) 45局2151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
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
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
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) 565局3111番
機器静岡営業所	静岡市小島2丁目1番22号 (電) 420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
機器浜松営業所	浜松市上西町42の5 (電) 430	(電) 浜松 (0534) 63局6121番
福岡商品営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル) (電) 810	(電) 福岡 (092) 72局2111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1丁目1番30号(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
東京機器営業所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル) (電) 107	(電) 東京 (03) 404局0336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) 4371番
赤穂工場	兵庫県赤穂市天和651番地 (電) 678-02	(電) 赤穂 (07914) 3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 850-91	(電) 長崎 (0958) 61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) 44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
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地 (電) 862	(電) 熊本 (0963) 62局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997 (電) 861-11	(電) 熊本 (09624) 2局0151番
名古屋製作所	名古屋市中区東区矢田町18丁目1番地 (電) 461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井 (電) 488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 819-01	(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
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
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
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) 6局2111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 (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
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. 46 No. 5

環境の質制御特集

《特集論文》

- 豊かな生活環境を造る三菱電機 (巻頭言)
- 豊かな生活環境
- 水の浄化と処理システム
- 総合公害監視制御システム
- 自動車用公害対策機器
- オゾンによる排水処理
- 排煙監視レーザレーダ
- 自動車排気ガス用窒素酸化物連続測定の研究

- プレートフィン形空気清浄機

《普通論文》

- 車軸用自動超音波探傷装置
- ヒートパイプの設計法
- 4相-MOS LSI パターンレイアウト設計システム
- MELCOM-350-30/30 F システムにおける入出力プログラミングの標準化 “I/O ライタ”

三菱電機技報編集委員会

委員長	正木茂雄	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	〃	吉松誠一
〃	上田重夫	委員	北垣成一
〃	宇佐見重夫	〃	武田忠夫
〃	北川和人	〃	田附和夫
〃	古賀亨	〃	中尾致一
〃	塚本信雄	〃	南日達郎
〃	福家章	〃	林昇寿
〃	堀謙二郎	〃	待鳥正
〃	牧野六彦		(以上50音順)

昭和47年4月22日印刷 昭和47年4月25日発行「禁無断転載」定価1部金200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

正木茂雄

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 101)

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 いよてつ そごう 1階売場 (松山)

けい光灯40W×9灯、下面乳白アクリライトカバー付埋込み形114台、白熱灯100Wダウンライト350台による照明である。床面で1,000~1,500lxの高照度となっているが、下面カバーによりグレアは和らげられ、明るく、快適なショッピングムードをつくっている。



⑧ 東京都下水道局 森ヶ崎処理場 (東京)

東京都の区部では最も大きな処理場で、これは水銀灯400W角形および丸形投光器28台、同300W丸形投光器18台による沈砂池の照明である。投光器は床面から4.5mの位置に取付けられ、全般的にむらのない配光にするよう考慮が払われている。初期平均照度は床面で185lxである。



⑨ 北海道開拓記念館 展示室 (札幌)

北海道開拓100年の歴史を展示品などによりつづさに知ることができる記念館である。ショーケース上部にけい光灯40Wトラフ形90台を取付け、その下にプラスチックカバーを使用している。ショーケース内壁面の鉛直面照度は300lxである。

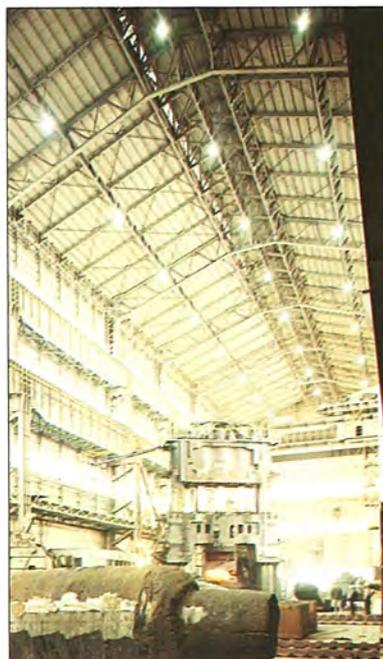


⑩ 札幌市地下街オローラタウン (札幌)

雪まつりで知られている大通り公園の地下にできた商店街で、きびしい寒さ、自動車、騒音などから解放されて市民が安心して歩ける公共歩道でもある。けい光灯40W反射がさ付器具を片側2列にした連結照明、その下に0.1m間隔でルーバを設けてグレアを防いでいる。初期平均照度は1,000lxである。

⑪ 日本鑄鍛鋼株戸畑製鋼所 鍛鋼工場 (北九州)

東洋一といわれる1万トンプレスが無人運転されている工場である。床面積は31.3m×106m=3,317.8m²、軒高さ32.6mで、器具は43~45mの高さに水銀灯1,000W下面ガード付反射がさ形27台が設置されている。床面照度は100~140lxである。



⑫ 広島県庁 県議会全員委員会室 (広島)

本会議とは異なる県会議員全員の会議が開かれる室である。けい光灯40Wトラフ形140台の下にプラスチックルーバが使用されて、明るく、落ちついたふんい気をつくっている。壁側は白熱灯60W下面カバー付ダウンライト8台により照明されている。テーブル面の照度は1,050~2,000lxである。