

MITSUBISHI DENKI

三菱電機



三菱日本重工業・東京自動車製作所の照明

10

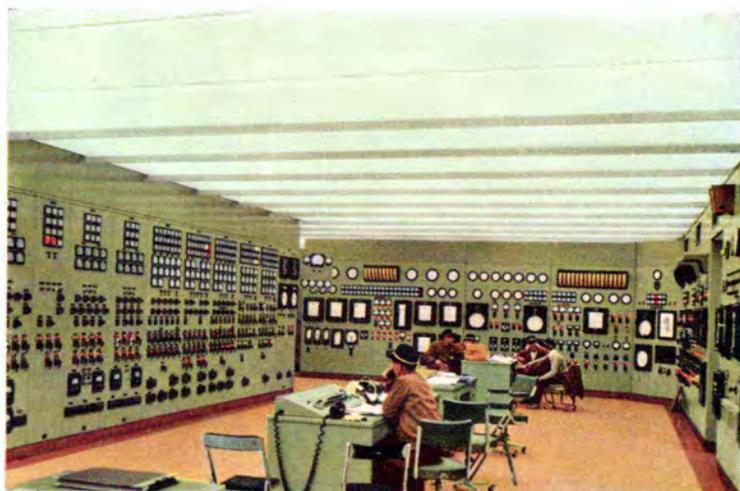
VOL34 1960

● 最近の照明施設(1)



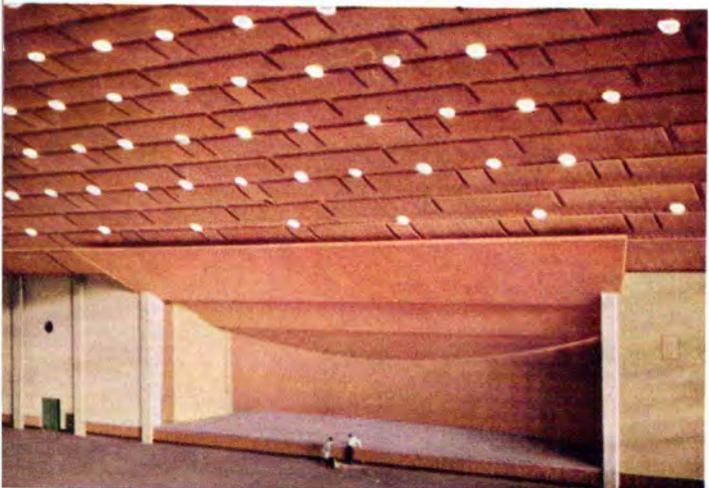
1 朝日新聞社東京本社 (東京)

新聞社の業務局の多忙でしかも複雑な執務に対応する照明として高照度でむらのない、かげの出ないことが必要である。同社の改修工事に当たっては 高出力ケイ光灯 FLR-110 H-W-DL×1 灯連続器具(計 55 灯)による ラインライティング方式が採用され、取付方式も天井からつり下げられた鉄丸棒によりささえられた ワイヤリングダクトの new 方式による。床面積 340 m² で机上面平均照度は 650 lx の高照度で整然と配列された単純な形の内に外観のむだのない美しさとなっている。



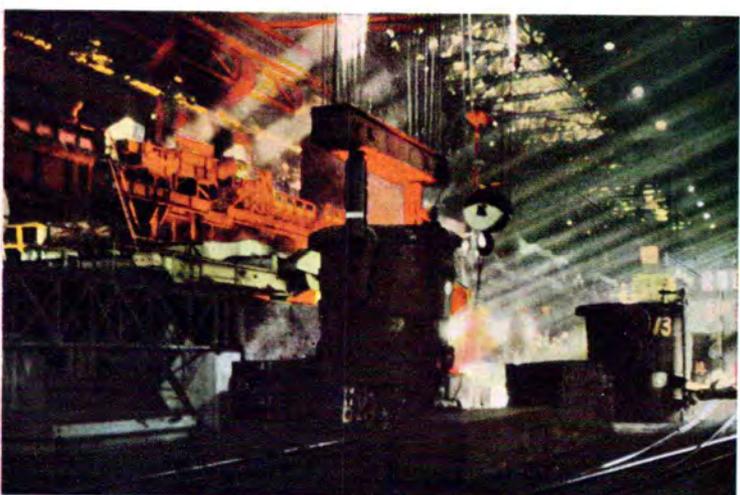
4 関西電力株式会社大阪発電所 (大阪)

発電所の配電盤室の照明としては光り天井による施設が理想のものとされ、天井面の輝きが拡散光として二次的光源を形成している。この施設では波形アクリライト板上に FLR-40 W×298 灯、FLR-20 W×48 灯取付けられ、監視机上の照度は 1,000 lx、配電盤面の鉛直面照度は 500 lx で勤務員の作業を容易なものとしている。



2 慶応大学日吉体育館 (東京)

高天井の室内体育館の照明としては ケイ光水銀灯が適している。同体育館には天井埋込形灯具でケイ光水銀灯 HF-700×42 灯のほか、白熱電球 1000 W×51 灯使用し、床面の平均照度は 400~800 lx となっている。



5 富士製鉄釜石製鉄所 (釜石)

高天井における工場での溶解炉作業は規模が大きいくだけに全般照明がおろそかになる恐れがある。この製鉄所では高天井に反射カサ付ケイ光水銀灯 HF-400×7 灯その他を設置しその作業を安全なものとしている。



3 東北薬科大学大講堂 (仙台)

高天井で講演のほか、音楽、演劇などの舞台装置のある完備したものである。照明は天井中央に 2 列に乳白色 アクリライトカバー FL-40 W×1 灯用 18 連灯具の ラインライティング と左右に 直付形イルミネイト反射カサ付 FL-40 W×2 灯×3 連灯具×18 セット平均照度 200 lx となっている。



6 株式会社資生堂大船工場 (鎌倉)

体育館のような ドーム 形高天井・広面積の化粧品充填仕上げ作業工場で照明施設としては天井埋込形ケイ光灯 FLR-40 W-DL×3 灯器具、平均照度は 350~400 lx、明るい衛生的な環境の作業照明である。



表紙説明

三菱日本重工業株式会社東京自動車製作所の発動機組立工場の照明——本年5月の完成で床面積4,698m²に高出力ケイ光灯FLR-110H-W(110W冷白色)×2灯用反射カサ付灯具216セット(432本)を灯具間隔9m,床5.8mに天井よりパイプつり下取付とし,点灯150h後で作業面(床上0.85m)の平均照度380lxの高照度で明るさのむらのない快的な生産照明となった。電源は100V 50 c/sである。



三菱電機

昭和35年 第34巻 第10号(照明特筆)

目次

現代建築の考え方と照明	平山 嵩・乾 正雄	2
東宮御所の照明	杉山 守・吾郷侃二	9
アメリカの照明雑感	河合 登・山本壮司	12
ケイ光灯の高出力化と照明経済の考察	竹田俊幸	15
道路照明における各種光源の経済比較	小堀富次雄	28
屋内照明の経済性の検討	佐々木武敏	36
建築化照明意匠	小笠原善丸	41
中天井工場の照明と光源の選定	小堀富次雄	49
高圧水銀灯照明と保守から見た灯具の構造	田中民雄	55
旅館伊豆「八景園」の照明施設	小川 淳	60
~~~~~		
シリコン式交直電車	小原太郎・横島洋志	65
関門ずい道用 EF301 形交直両用電気機関車	浅越泰男・小原太郎・相田茂夫・菅 寿郎・横島洋志	69
新キャビネット形クリネト(CC-B形クリネト)	斎藤 寛・篠内一郎	83
20MVA 77kV 分路リアクトル	山内 敦・清水英範・青木俊之	90
直列インバータ総論(2)	河合 正	96
気中アークシヤ断現象	伊藤利朗	109
デジタル演算高速化装置(2)	穂坂 衛・嶋村和也・中島正志・吉江高明・首藤 勝	123
《技術解説》		
火力発電シリーズ:タービン発電機の基礎		134
建家(2) outdoor と indoor の決め方 Crane Capacity の決め方		136
《文献抄訳》		
水銀ランプの最近10年間の進歩・金属工業の駆動装置に応用された新しい電気方式・アルミ電解設備に接続されたシリコン整流器の過渡電流		143
《ニュースフラッシュ》		
インド向け輸出超高压変圧器完成・東京電力東千葉変電所向け120,000kVA低騒音変圧器完成・中性子スペクトロメータ完成・国鉄ビジネス特急用環状スロットアンテナ完成・ホーベル用40kW耐圧防爆形誘導電動機・坑内用接地継電器		145
《特許と新案》		
(新)ピストン装置・(新)内燃機関点火装置		148
《最近における当社の社外寄稿一覧》		149
《最近における当社の社外講演一覧》		48, 89, 108, 122
《表紙》		
2. 最近の照明施設(1)		
3. 最近の照明施設(2)		
4. 大船製作所紹介		

# 現代建築の考え方と照明

照明学会会長 平 山 嵩*  
 東京大学 乾 正 雄**

## Contemporary Buildings and Their Illumination

President of the Illuminating Engineering Institute of Japan Takashi HIRAYAMA  
 Tokyo University Masao INUI

Buildings of novel design, considered queer at first, are now accepted by public. They are rather regarded as a symbol of ever advancing civilization. A big difference of present day edifices from those of old ones lies in a functionalism in architecture taken as a main aim and design following it. Illumination of buildings, then, must be considered in accord with all the surroundings. After all numerous pictures illustrating examples of illumination are referred to by the writers that they will eloquently tell the status and trend of presentday technic in this field.

### 1. ま え が き

建築の照明についてはいうべき問題点が少なくないが、本稿では照明専門家の方々に新しい建築の一つの側面（とくに機能主義のことなど）を知っていただきたいと思って書いた。短い文章ゆえ意は尽しがたいが、同時に最近の建築とその照明の写真を多く掲載することも意図したので、足りないところを写真の語るところで補いたい。

### 2. 建築における諸問題

いわゆる新しい建築は最近になってようやく人々の眼にも見慣れたものとなってきたようである。街路には、かつての古めかしい様式の建物と混じって、少なからぬ新しい装いの建物がたちならびはじめている。ついこのあいだまでは、打放しコンクリートの荒れすさんだ肌をみて、この建物はいつ仕上がるのですかと聞いた素人もあったし、全面ガラスばりの建物は是か非かというような

ことが、専門家と素人との間でことさらに大げさに論じられたこともあった。しかし、今では多くの人々は新しい建築とはこういうものだと知っている。今では、打放しコンクリートはたくましいコンクリート材の美しさをあらわしたものだとか、全面ガラスは開放的な明るい空間をつくるものだとかいう説明は不要である。多くの人々は、たちならぶ新しい建築のなかでの生活をすでに始めている。もちろん、なかには人々に納得できない奇異なデザインのものなされた建物もあるかも知れない。またなかには使ってみてあきらかにどうにも使いにくいような建物もあるかも知れない。だが、それでも新しい建築は序々にこの国にも根をおろしはじめた。そしてこれらばかりかえし生産され、そのつど欠点は是正され利点は拡張されて数を増し、今日の建築たりえている。

一方、新しい建築が従来の建物とみかけの上で大きな違いをもっていることにはまたそれ相当の理由がある。それは一口にいえば主として新しい建築が機能主義をとおりぬけたその上にデザインされたものであるからであ

図2 大阪新歌舞伎座

Fig. 2 Osaka New Kabuki Theater.



図1 香川県庁舎

Fig. 1 Kagawa Prefectural Office.

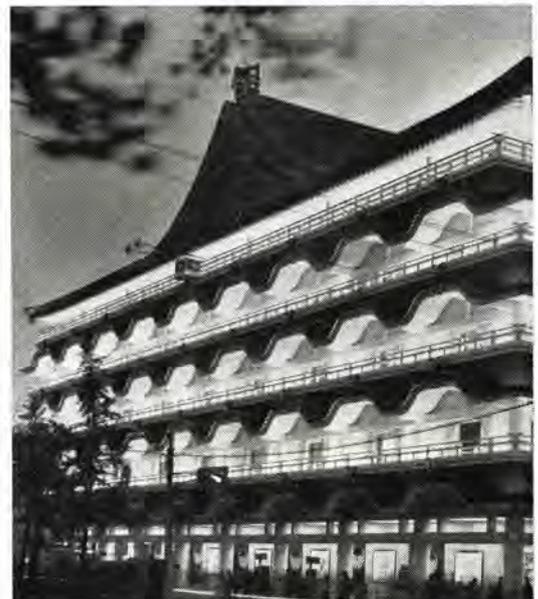




図3 日本住宅公団晴海高層アパート  
Fig. 3 Harumi Apartment House.



図4 関西大学図書館  
Fig. 4 Library of Kansai University.



図5 シルクセンタ 国際貿易観光会館  
Fig. 5 International Trade Sightseeing Hall.



図6 神奈川県立川崎図書館3階閲覧室 トップライトによる採光  
Fig. 6 Kanagawa Prefectural Library.

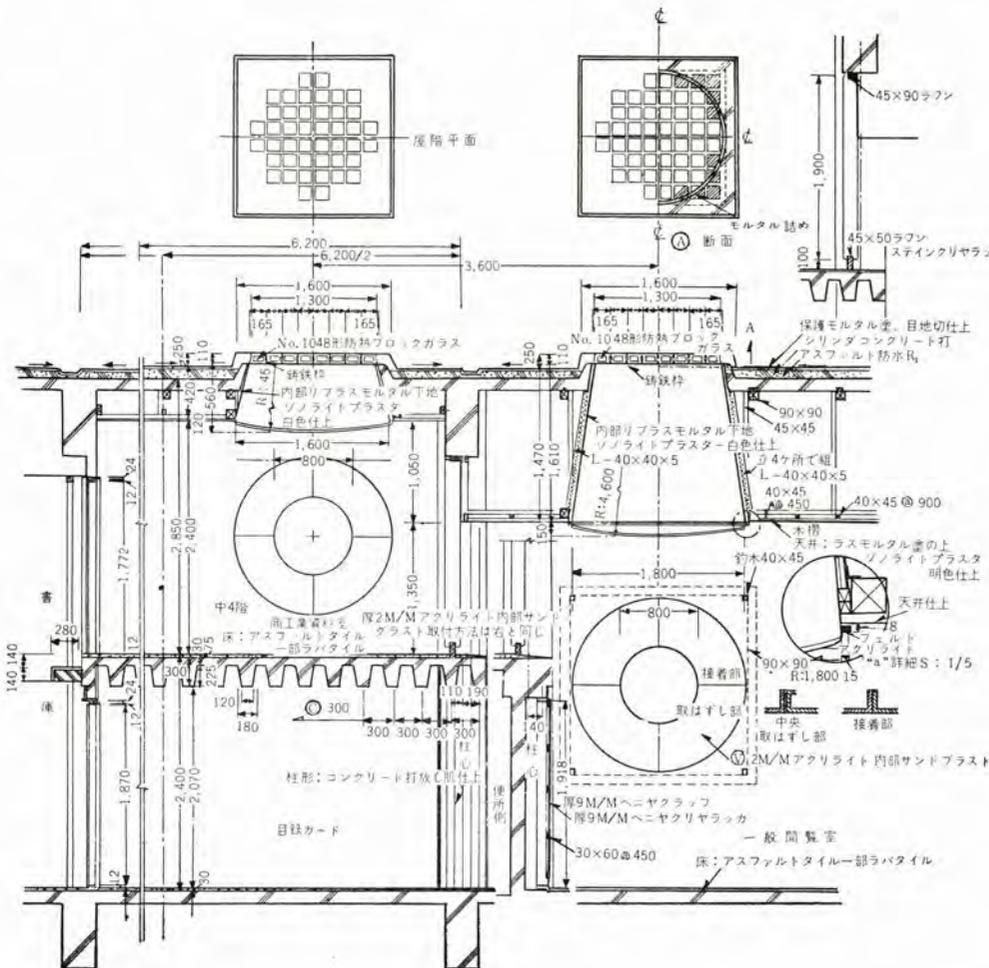


図7 神奈川県立川崎図書館3階閲覧室 トップライトによる採光  
Fig. 7 Kanagawa Prefectural Library.

るが、同時にそれはいちじるしく発達した今日の平面、設備、構造、材料などの諸計画の上になりたっているからである。今日の、ガラス張り壁面が打放しコンクリートでふちどられた建築は、決して奇をてらって現われたものではない。それは今世紀のはじめ、これまでのあまり様式的で型にはまった建築を近代化するために真剣に考えぬかれた思想のたまものである。建物はその建物のもつ機能に忠実でなくてはならない。またそれに必要十分な簡潔な構造をもっていないとてならない。そこに使われる材料はそこにもっとも適した材料でなくてはならないというのが当時の近代建築の思想であった。それは新しい時代にはいるために他のあらゆる生産分野に行なわれた近代化の脱皮と同じ性質のものといえる。こうして何よりも合理的であり機能第一の建築が目標とされることによって当然平面、設備、構造、材料などの諸計画が学問的に大いに発展することになった。合理性を追求するには客観的な学問の裏付けなしでは得られないからである。しかしながら、これらの学問が建築技術として体系化されるには長い期間を要したし、また新しいデザインが大衆に浸透するのも長い期間がかかった。近代建築が今日の発達した建築技術の上に本当に開花したのはごく最近のことといってよいのである。



図8 国立西洋美術館2階展示室 高窓による採光  
Fig. 8 In National Museum of Western Arts.

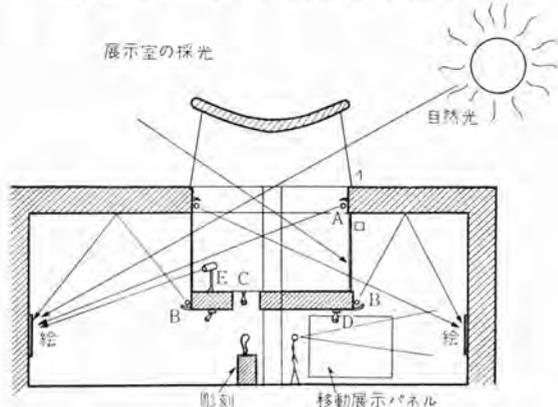


図9 国立西洋美術館2階展示室 高窓による採光  
Fig. 9 In National Museum of Western Arts.

しかし近代建築にも矛盾と相剋がある。それは合理主義、機能主義を口で唱えても、それがなかなか学問的に分析できない、学問が建築生産に追いつかない面が少なくないからである。工学技術の学問というものはつねに生産を追いかけてはいるが、決して追いつくことができない。こういう場合には建築家は、その不十分な技術の完成するのを待ってはいられないので、次善の技術を駆使して建築を設計する。また場合によってはあえて冒険をおかしてその安全性が十分に確かめられていないか、またはその効果が十分に予測されていないような計画を断行する。たとえば、これらの諸分野のうち比較的発達のいちじるしい平面計画においては、今ではほとんどの建築家が勝手な計画をすることはできない。そのなかの平面で常日頃生活する人々からの要求が直接的で厳しいからこれは当然のことである。日照などにおいても、西日がさんさんとあたって夏生活ができないようなはつきりと誤った計画をすることはできない。これも至極当然である。しかしながら、全面ガラス張りの計画でもって開放的で心理的な心地よさを狙うほうがよいか、壁面をコンクリートで厚く固め冬の暖房の効率を上げ経費を安くするほうがよいかというような問題になると十分な説明ができにくい。また別の例でいえば、平面計画においても広場の効果などは予測しにくいものの一つである。市庁舎や区民会館などの人々のあつまる場所にピロティでかこまれた憩いの広場をつくることは人々の機能的な要求ではないかも知れない。しかしつくってみるとそれが意外に大衆に人気のあるものになることがある。しかしまた大きな広場が案外に利用されなくて費用のかかっただけかけ損だということもある。これなどは同種の建物がくりかえしつくられていく間に成功や失敗をくりかえされていく例であって、学問的なとらえ方はまだ十分にはなされていない。

また、こういうこともある。それは合理性や機能性の



図10 宮前小学校低学年教室 擬似天窓による採光  
Fig. 10 Class room of a grammar school.

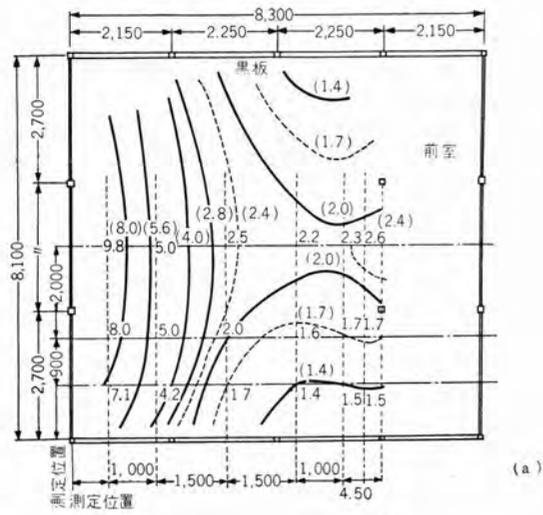


図 11 宮前小学校低学年教室 擬似天窓による採光  
Fig. 11 Class room of a grammar school.



図 14 法政大学 58 年館 学生 ホール  
Fig. 14 Student hall of Hosei University



図 16 青梅 ゴルフクラブハウス 食堂  
Fig. 16 Club House of a Ōme Golf Link.



図 12 東京国際貿易 センタ 3 号館 玄関 ホール  
Fig. 12 Entrance hall on the ground-floor of hall No. 3 of International Trade Center.

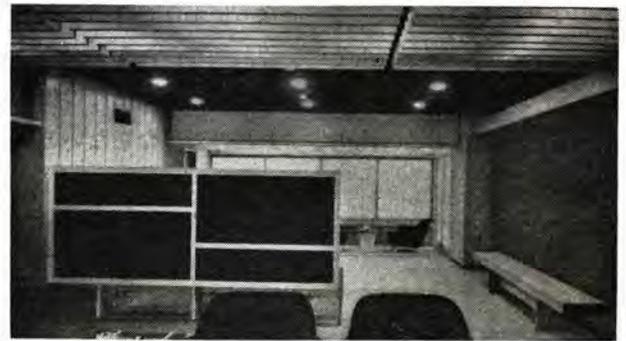


図 13 法政大学 58 年館 総長室  
Fig. 13 President room of Hosei University.



図 15 東京都庁舎 特別応接室  
Fig. 15 Special drawing room of Tokyo Metropolitan Government.

図 17 今治市庁舎 議場  
Fig. 17 Assembly hall of Imaharu City.



十分な追求がなされているのかかわらず、でき上がった建築が人に十分な満足を与えない場合である。たとえば平面計画的に人の動線から考えて、これ以外にないといえるほど厳密な平面をもった建物のなかで生活してみてもなにか欠けている、なにか味けないという場合がある。ここにはいわゆる間がない。なるほど平面は厳格にできているが全然余裕がなくて息苦しい。こういうことはなぜおこるかという、これはその根底になる学問技術の平面計画とくにその動線計画偏重のなした災いであると思う。今の技術では、確かに平面の余裕というような点などには十分な学問的よりどころはないが、それならそれで建築家はその不足はやはりその技量で補うよりないであろう。真の合理主義、機能主義というものは、このようなところまでにも十分な考慮がなされることをいう。だから平面計画もその動線計画のみならず人の心理的着き、気分、長いあいだに人に与える諸種の生理的・心理的影響などまでも考慮されなければならないといえる。

ひところ、建築界では機能主義が反省されて、わが国

の気候風土に適した建築が望まれてみたり、わが国の建築の伝統が大々的に論議されたりしたことがあった。そのころ世界的な機能主義の近代建築は、いかにも味けなく、つめたく、中性的にみえた。そのような近代建築はたしかに片寄ったものであった。それは合理主義機能主義をモットーとするあまり、その邪魔だてをするような大切な項目までも捨て去っていた。たとえば、建築にとってつねにうるおいと暖かみを与えていた中間色が簡潔な構造の強調のために捨て去られて、白と黒か、または赤、青、黄などの原色でいろどられた建築が多くなったのなどもその例である。これなども、色彩学的になんら解明されたものではなかったにもかかわらず、デザイン偏重の結果片寄ってしまった機能主義の一例であろう。だから、今日近代建築がひとおちつきしてみると、また中間色のよさが考えなおされてきているのもまた当然である。同時に、今度こそこれには学問的・技術的な十分な裏付けが伴っている。つまりところこれも機能主義の反省というよりは、従来の機能主義そのものが十分に機能的でなかったための反省であるといつてよいのではない



図 18 ホテル 小涌園食堂

Fig. 18 Dining room of a Japanese Hotel



図 19 大多喜町牧場 小会議室

Fig. 19 Small conference room.

図 20 公立学校共済組合関東中央病院会議室

Fig. 20 Conference room of a hospital.



図 21 関西大学図書館内部

Fig. 21 Library of Kansai University

だろうか。

### 3. 照明計画

さて、照明計画においても、このような解明不十分な点が少なくない。この辺で話を照明計画という点にしぼってみよう。近來の照明工学では、照明の量のみならず、質や演色性までも問題にするようになってきている。もちろん量とは照明をさし、質とはその照度分布、視野の輝度分布などをさすものであるが、これらに対する生理学的な裏付けも今日では決して少なくはない。その結果、光源がひろくてまぶしさがなく、照明が均一になされ、しかも演色性のよいケイ光灯によったルーパロールだとか、光天井とかが、すぐれた照明方式としてぜいたくな建築に普及してきた。注文をいえばきりが無いが、これは今日の照明工学の成果が建築のなかにあらわれている一つのすぐれた解決例だといえる。しかしながら、問題はそれだけではすまないのであって、一方ではルーパロールや光天井などの全般照明のなされる室内で、スポットライトやアクセントライトの工夫も決してなくなり

しない。否むしろそういう局部照明が多くの人々にはかえって好まれる。また、演色性の問題にしても、昼光に近いスペクトル分布をもつ光源が必ずしも理想的光源でなく、時には白熱電球の赤味の多い光源のほうがよるこぼれることもある。この辺も照明に関する機能主義にまだ分析しきれないものが多く残っていることを示しているものといえよう。それゆえ、照明専門家にあってはこれなら必ずよい照明だというほどの照明であっても、建築と一体になって成功するとは限らないのである。

もう一つ、照明器具は元來1室に1灯をとともす電球の笠から発達して次第に建築化されてきたものであるが、その建築化には技術的な限界があるということがある。新しい建築では、フレキシビリティやプリ・ファブリケーションなどと呼ばれる問題があって、フレキシビリティとは建築室内を固定的に使わないで、各種の用途に兼ね使えるような工夫であり、プリ・ファブリケーションは建築部品の工場生産による生産の能率化のことであるが、これらは照明の建築化をある程度さまたげているものになっている。すぐれた建築化照明を行なうのには工場生産部品をあとから



図22 大阪新歌舞伎座 ホワイエ  
Fig. 22 Osaka New Kabuki Theater.



図23 大阪新歌舞伎座舞台より客席を見る  
Fig. 23 Osaka New Kabuki Theater.



図24 世田谷区民会館第一 デイトリアムシアター  
Fig. 24 Stage of auditorium.

図25 草月会館地下ロビー  
Fig. 25 Underground lobby of Sogetsu-Kaikan.



取付けるだけでは満足なものではないし逆に照明設備の現場施工では能率も悪いし建物をつレキビリティのない窮屈なものにしてしまう。これもどちらがよいか価値判断がさだかにはなしにくい点の一つである。そしてこれは照明を建築のなかでどうあつかったらよいかというむずかしい問題につながっている。

結局のところ、よい照明は今日ある程度までは自明であるが、そのさいごのところへくると、まだ解明されていない問題点が少なくはないのである。それは デザイン まで含めて考えればなおさらむずかしい問題をもつことになる。照明専門家にとっては、よき照明の条件はもちろんよく熟知しているところであるし、また照明器具の デザイン の優劣についても多くの識見があろう。しかし、建築におけるいわゆる デザイン までも含めた高次の合理性機能性を考えると、また照明設備も今日の技術の教えるところだけでは十分な合理性機能性をもった解決が与えられない。したがって、これらについては今日まだ具体的な指示を満足に語るができないので、以下に掲載した建築とその照明の写真について簡単な説明を加えるにとどめる。ここにあげた建築照明の写真は、比較的適正に照明されていて、しかも建築家の要望がかなりとおっているであろうと思われる例を多く集めてあって、ここに建築 デザイン と照明 デザイン の触れあうところをみとっていただきたいと思う。

#### 4. 施 設 例

図1～図5は最近新しくできあがった建築を手もとにした写真からひろいあげた。いずれも特色の強い設計

で図1は丹下健三氏、図2と図4は村野藤吾氏、図3は前川国男氏、図5は坂倉順三氏の設計になる。

採光の工夫も、照明計画の上で デザイン 的にも有効なものである。図8、図9の国立西洋美術館の採光は、絵をみるのにまぶしいということが問題になったものであるが、その美しさはあらそえない。図10、図11は小学校にまでこの種の採光の工夫が普及してきている例としてあげた。

図12～図22には照明のみえる建築の写真を掲げた。これらでは各種の建築に各種の照明が工夫されている。学校、事務所、病院、ホテル等において、光天井、ルーバール、うめこみ照明、スポットライト、ダウンライト等が各様にとりあつかわれている。そして、ここには図16のような デザイン の勝った設計から、図20のような機能的に考えられた設計もみられるであろう。また図23と図24は派手な オーディトリウム 内の照明の例であり、最後の図25は草月会館の凝った シャンデリア である。

#### 5. む す び

本稿では、おもに現代建築とそれに調和する照明について書いたが、紙数の都合もあって詳しい具体的な計画の方法や照明設計の仕方については触れず、照明計画のされ方の根底についての考え方およびそれらのいくつかの例示のみにとどめた。

# 東宮御所の照明

東宮御所電気設備共同企業体

杉山守*

三菱電機株式会社本社

吾郷侃二**

## Illumination of H. I. H. the Crown Prince's Palace

Cooperated enterprise for electric equipment of the crown prince's palace

Mamoru SUGIYAMA

Head Office

Kanji AGOH

H. I. H. the crown prince's palace was completed in last May. The site is next to that of the National Diet Library which was a palace to the late emperor before the enthronement. Marked is the difference in architectural styles of two palaces. The new edifice is of a skilful blending of European and Japanese styles. The illumination is mostly made by fluorescent lamps except for a particular place. Much effort has been taken to match the lights with graceful surroundings without losing the advantages of modern equipment. In a word, simplicity and impressiveness are the principal aim in the design.

### 1. ま え が き

皇太子殿下には昨年4月10日、全国民待望のうちにめでたく華燭の大典をあげさせられ、都民の歓呼の聲に送られて渋谷の仮御殿におはいらになった。これより先、すでに新御殿造営の議は着々と取り進められていた。ご成婚に遅れること1カ年余り、去る5月に竣工し、両殿下ならびに浩宮様おそろいで去る6月18日新御殿に移られた。

当社においては新御殿の備品として、扇風機・電気冷蔵庫など各種の電気器具のご用命を伺っている。ここでは新御殿の照明施設について1,2記述を試みたいと思う。

### 2. 東宮御所の沿革

そもそも現在の東宮御所は紀州徳川侯の中屋敷であったものを明治の初年宮内省に献納されたものである。従来大宮御所の名によって国民に親しまれたところであって、遠くは英照皇太后様、昭憲皇太后様、さらには貞明皇太后様もしばし、ここに閑日月を送られたところであり、また、今上陛下ならびに弟宮様方も、この御所でご成育遊ばされたところであって、近代皇室の歴史の上から見て、誠に因縁浅からぬところである。

大正天皇が皇太子であらせられたとき、東宮御所として造営されたのが赤坂離宮、すなわち今日の国会図書館である。このたびの新御殿と相隣する域内にあって、両御所の対照は時代の転移とは申しながら、誠に興味深いものがある。

赤坂東宮御所(旧御殿)は当時の東宮御所御造営局の



図 2.1 東宮御所の車寄せ付近

Fig. 2.1 Open porch of crown prince's palace.

技監、片山東熊工博の設計によるもので、総延坪4,653坪あって完成までに満10カ年余りを費している。過分に欧風の様式が取入れられており、一方ご日常の住居としてはいろいろとご不便な点があって、常用の御殿としてご使用になられたのは誠に短期間であるように伺っている。その後はまれに国賓の迎賓館として使用されるようになり、たとえば大正11年4月英国エドワード八世が皇太子のときプリンス、オブ・ウェルスとしてご来朝のときなどに、この御殿をご使用になったことがあるくらいのことである。

赤坂御所の最初の建築予算は200万円程度と伺っているが、いかなる事情によるものか、模様がえやら追加工事やらで、竣工したときには、510万余円(明治41年)の巨額に達したのである。寛容な明治大帝もこのご出費にはいささかご機嫌を損ぜられたかに伺っている。

それに反してこのたびの新御殿は多分に日本古来の建築様式を採り入れ、鉄筋コンクリート造りを主体として、木の香も高い松材を十分に活用して、いかにも東宮新御

* 工事主任 ** 商品技術部 (現在日本電機工業会技術部長)

所としての様式を発揮したものであって、建築工学の発達はもとよりのことながら誠に国風にふさわしい建築といえることができると思う。赤坂離宮ほどの広大な構想ではないが、東宮御所としての品位と尊厳を備えている一方、まことに質実剛健、また簡素を旨とした名建築である。御殿正面のお庭には、大池を隔てて白樺の若樹林が植えられている。この庭園は往時は貞明皇太后様が日夜親しまれたところの由にてご遺愛の松の大樹が枝を交え

て、緑を誇ったものであるが、東宮殿下には、この松は貞明皇太后の昔を偲ばれて、悲しい想出となるとの仰せによって、お庭のはるか西のほうにご移植になったと伺っている。

### 3. 照明設備の概要

新御所の照明はごく一部のものを除いて大部分に ケイ光灯を採用している。そのケイ光灯もこのたびの新築の主旨に基づき、国民の1人でも多くご奉仕をということから、1社品のみを採用することができないため、ラピッドスタート方式を取りやめ、互換性のあるグロースタート方式により点灯している。

三菱電機株式会社よりは、表玄関車寄せ、玄関ホール、広間、および渡り廊下、奥私室関係の廊下その他の器具を納入している。その中でとくにホール広間の器具(図3.1、図3.2)は百分の十五という勾配の日本風の棹縁天井によく釣合の取れるように苦心をばらい、棹縁間に1灯ずつ6灯を1組としてボックスに納め、ハリとハリ



図 3.1 (a) 玄関ホール 天井の照明

Fig. 3.1 (a) Illumination of the entrance hall ceiling.

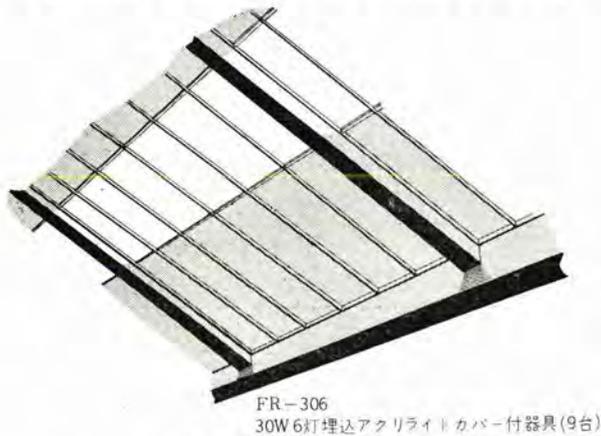


図 3.1 (b) ホールの照明器具

Fig. 3.1 (b) Illuminating equipment of the hall.



図 3.1 (c) 玄関ホールの照明

Fig. 3.1 (c) Illumination of the entrance hall.



図 3.2 (a) 玄関ホールより広間を望む

Fig. 3.2 (a) Looking toward the main hall from the entrance hall.

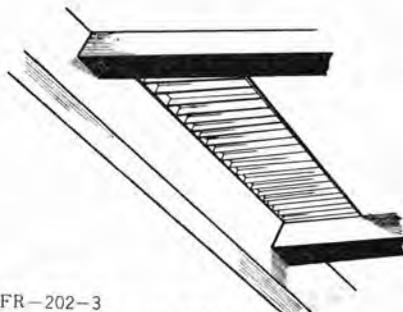


図 3.2 (b) 広間の照明器具

Fig. 3.2 (b) Illuminating equipment of the hall.



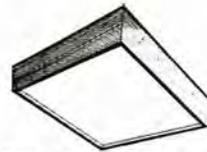
図 3.3 (a) 玄関車寄せ  
Fig. 3.3 (a) Open porch.



FR-202-3  
20W2灯埋込ルーバ付器具(8台)

図 3.3 (b) 車寄せの照明器具  
Fig. 3.3 (b) Illumination equipment of open porch

間に1組ずつ納めてある。また天井板と器具の見切は設計者谷口博士の障子の棧より細くという希望により10mmを建築の天井板と照明器具の亚克力板ワクの止め金物で分けあっている。これを一言にしていえばはなはだ簡単のようであるが、外見より実際の製作は苦心が払われている。その上天井板が穴あきボードという悪い条件なので光線漏れに対してはとくに細心の注意を払っている。梃縁間の亚克力板は1灯ずつ取りはずしできるように設計し地震などの振動には脱落防止ピンによって行なっている。平均照度は以上のような建築意匠のため大いに削減せられ、ホールは30ワット6灯用9台(図3.1)で天井高4.5m、面積65m²、広間は20ワット6灯用24台(図3.2)で天井高6.5m、面積144m²、ともに補助光源を含めて180lxとなっている。車寄せは20ワット2灯用埋込み形(図3.3)および40ワット1灯コーナーブラケット形直付器具(図3.4)で埋込み部分の取合せに特別の考慮を払いてきる最小限に真中ワクをおさえてある。渡り廊下、奥私室関係の廊下は20ワット6灯用を650mm、15ワット6灯用を390mmとそれぞれ正方形にし、杉の正



FCL-206  
20W6灯半埋込亚克力ライトカバー付器具(15台)



FCL-401-1  
40W1灯コーナーブラケット(2台)



FCL-154-1  
15W4灯半埋込亚克力カバー器具(4台)  
FCL-156-1  
15W6灯 " (22台)  
FCL-156-2  
15W6灯直付 " (3台)



FCL-201-1  
20W1灯コーナーブラケット(2台)

図 3.4 車寄せの補助照明器具

Fig. 3.4 Auxiliary lighting fixtures at the open porch



図 3.5 奥向渡り廊下の照明

Fig. 3.5 Illumination of a roofed passage.

目のワクに乳白ガラスを組合せ、あくまで日本的建築の美しさを出すよう心掛けてある。

#### 4. む す び

以上のように全般にわたり、見え掛け部分の金属面を少なくすることに重点をおき、なおかつ堅牢であり、建築との釣合を考慮したもので照明器具として最悪の要求を克服して、それに十分に応じ、新御殿の表通りを照明するという重責を完全にはたしている。幸いにしてつづがなく工事を完了した。御殿のご日常にご奉仕できることは当社として、誠に光栄かつ感激に堪えないところである。

# アメリカの照明雑感

大船製作所 河合 登*・山本 壮司**

## Miscellaneous Thoughts on Illumination in America

Ōfuna Works Noboru KAWAI・Sōji YAMAMOTO

Sent to America for an inspection trip, the writers have made a study on the latest trend of illuminating engineering. Their report reveals that the production of fluorescent lamps is about eleven million pieces there with an annual rate of increase of 2~3%. High output fluorescent lamps account for only 2% now, but are on the increase. Even super-high output lamps are now in production there. On the other hand, high pressure mercury lamps are extensively employed for street lighting, though incandescent lamps are still in use here and there. The writers conclude after all that the combination of diversified light sources are most rightly applied to right places there as the fruit of ingenious effect.

### 1. ま え が き

5月6日羽田発で約1ヵ月半にわたり社命により米国に出張して、Seattle, Chicago, New York, Washington, Buffalo, New Wark, Pittsburgh, Trenton, Philadelphia, New Orleans, Houston, Elpaso, Los Aangels, San Francisco その他の都市を視察した。短時日であったので系統的には最近の動向を十分な調査はできなかった。ちょうど2年前筆者⁽¹⁾のひとりが同時期に米国を視察しているのでその時に感じたことと比較して考察した点について述べたい。

### 2. ケイ光ランプ

わが国におけるケイ光ランプの生産状況は近年いちじるしく伸長し、年間約3,000万本を越える状況になっているが米国においては年間約11,000万本程度で年間増加率は2~3%程度ではないかと思われる。ケイ光ランプの生産品種の割合は40Wがもっとも多く40~50%をしめ、20W、15W等の38mmφのものの割合は10~20%でわが国の20Wと40Wがほとんど同率であるのと非常に異なる。事実20W以下のランプは使用されているところはあまり見られない。ただ洗面所などに鏡の両側に縦にとりつけて使用されている例は非常に多い。

高出力ケイ光ランプは1959年の全米生産は約200万本であり、全体の2%に満たないがわが国のこの種ランプの生産割合に比すればはるかに高率であり、今後も高出力ケイ光ランプとともに発展する傾向にある。超高出力ランプは昨年度の生産量は20万本前後でありまだ本

格的な生産とはいえないようであるが、開発されて間もないものであり当然と思われるが、ケイ光照明の新しい分野を開拓したことになり将来の発展が期待される。米国においても技術的に完成されたものでなく盛んに改良開発されている現状である。

40Wランプは予熱起動形のものほとんど生産されていない。ラピッドスタートランプをグロー・ラピッド両用として作っている所が多い。予熱ラピッドスタートランプ(preheat rapid startlamp)と標示し使用者の便をはかっている。

8W、6W、4Wなどの小形ケイ光ランプは一般照明には使用されている例はほとんど見られなかったが、生産の割合は意外に多くその適用範囲が広いことを物語っている。

### 3. 照明施設

ケイ光灯は百貨店、商店、事務所、工場などにはほとんど全面的に使用され、水銀灯、白熱電球なども混用されている。使用されているケイ光ランプのうち72", 96"等の長尺のものが比較的多いように感じられた。長尺のスリムラインケイ光ランプもいまだに多い。

#### 3.1 道路照明

高圧水銀灯の街路灯がいちじるしく増加していることが感じられた。高速道路においても都市の近郊、交叉点等はほとんどすべて水銀灯照明であり、都市の街路灯も水銀灯照明が多い。しかしまだ白熱電球の街路灯も各所に見られた。米国における自動車の高速度と交通量の多いこと、すばらしい道路は周知のことであるが、これらの夜間における利用率の増加と、これら巨大な投資に対

して、その価値を極度に大きくするため絶えず研究、改良がなされているものと思われる。安全と快適を目標として進歩がなされているようである。街路灯は水銀灯が主体と思われるが都市の中心部またはとくに安全を必要とする場所には、72" 高出力ケイ光ランプ 4本または6本使用したケイ光灯の灯具が各所に使用されている。(図 3.1 3.2)

Chicago の中心街の State Street のケイ光灯照明は 72" 高出力ケイ光ランプ 6灯用器具が一つの柱に4灯ついていて、うち1灯は歩道、他の3灯は高さと角度をかえて街路を照明するようになっており非常に明るい。(図 3.3 3.4)

トンネルの照明はケイ光灯のライン照明がほとんどのようであるが、とくに高速度の道路においては運転者にとって、急激な照度の変化は順応が困難なので最近ではトンネルの入口を明るく、中央部は照度をおとしたものができているようである。また昼間と夜間とで照度の分布をかえる目的で切換装置を有するものもある。



図 3.1 ニューヨーク  
Fig. 3.1 New York.



図 3.3 シカゴ  
Fig. 3.3 Chicago State Street.



図 3.4 シカゴ  
Fig. 3.4 Chicago

とくに目立って感じられたのは商店街の街路照明に水銀灯を多数使用していることである。

前回視察の折は商店街はネオンサインの効果を減少するという点からネオンサインの広告灯の多い地点は水銀灯照明は少なかったが、今回の視察では考え方がまったく改変され、ネオン広告はさらにりっぱな、大きな広告灯になり、水銀灯を点灯しても影響を及ぼさないような規模になりつつあり、水銀灯により町も明るくかつネオン広告もりっぱなものとなったと痛感した。

### 3.2 自動車駐車場照明

駐車場は非常に多い。この照明は圧倒的に水銀灯である。20 lx 程度が推奨されている。

### 3.3 商店照明

ケイ光灯を主光源として白熱電球を併用しているショーウィンドウが多い。また、ファンパライツ(一種の白熱電球の投光器)を巧につかって効果をあげているところが多い。⁽²⁾(図3.5 3.6)

### 3.4 家庭照明



図 3.2 ニューヨーク 郊外  
Fig. 3.2 Suburb of New York.



図 3.5 シカゴ  
Fig. 3.5 Chicago.



図 3.6 シカゴ  
Fig. 3.6 Chicago.



図 3.8 New Orleans 空港  
Fig. 3.8 New Orleans air port.



図 3.7 Seattle 空港  
Fig. 3.7 Seattle air port.

家庭照明はホテルの客室を含めてケイ光灯を使用していないことは前にも述べた。(1)ゆっくりした落ち着いたふんい気を出すことを主眼としているが機能的な面も考慮して白熱電球によるダウンライト、ケイ光灯などを混用している例も見られた。

### 3.5 空港照明

空港のロビーの照明はケイ光灯が圧倒的に多い。器具はとくにめずらしいと感じたものは少なかった。(図3.7)ただ New Orleans 空港のロビーのケイ光灯照明は高さ約17mの天井に高出力ケイ光ランプ96"9本並列の器具が連続に1本通してある半間接の照明で、気持ちのよいふんい気を作っている。(図3.8)

### 3.6 ケイ光ランプの高周波点灯

以前から数千サイクルまでのランプの特性については十分知られているが、最近周波数の変換がトランジスタを使用して小形で能率のよいものができるようになったので車両あるいは航空機などに使用される気運が熟してき

た。これらの研究も盛んで一部すでに実用されているようである。

## 4. む す び

全般的に見るならば2年前とくらべてくに大きな変化はないが、白熱電球、ケイ光灯、水銀灯、電気ルミネセンス等その特質を生かして合理的に照明の本質に近づけるための努力が感じられる。

以上はアメリカの照明の一小断面にすぎないし、またかたよったものになっていることも、Illum. Eng. その他の文献などの知識により修正されご判読を願う次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 河合：アメリカにおける照明の現況雑感、「三菱電機」, 32, No. 9, 照明特集, p. 6~7 (昭33).
- (2) 小堀：最近の米国照明施設の展望、「三菱電機」, 31, No. 9, 照明特集, p. 78 (昭32).

# ケイ光灯の高出力化と照明経済の考察

研究所 竹田 俊幸*

## Design Problems and Economic Considerations of High Output Fluorescent Lamps

Research Laboratory Toshiyuki TAKEDA

General descriptions are made on basic problems involved in the design of high output fluorescent lamps. Their salient points are: control of mercury vapor, optimum diameter of bulbs and effects of argon-neon mixture gases. Economic considerations are also given to the high output lamps to reveal that, though the increase in the lamp input will bring about economical advantage, there is a certain limit, in this concept. On the other hand, the high output lamp is not omnipotent as a general purpose lighting source, having rather a confined range of applications in the field.

### 1. 高出力ケイ光灯設計上の問題点

#### 1. まえがき

一般照明用光源として、ケイ光灯の主流をなしているものは、家庭用としては 20W ランプ、ビル、工場用などとしては 40W ランプである。これらは管長 30.5cm あたり約 10W の管入力で、標準品たるにふさわしい手ごろな光出力を有している。低輝度であることは、ケイ光灯の一つの特長ではあるが、白熱電球のような光出力のバラエティに欠けることは実際の照明にあたって不便を生ずることもあり、また広い場所の照明に際して、所要ランプ数の減少によって保守上あるいは経済上の利益がえられるなどの考えから、従来の約 1.5 倍、すなわち約 15 W/30.5cm の管入力を有する高出力ランプが開発された。さらに最近欧米においていっそう管入力の大きい (25 W/30.5cm 前後) の超高出力ケイ光灯 (VHO ランプ、SHO ランプ、Power Groove ランプ、Double Flux ランプなど) が製作され、街路、工場、ビルなどの照明に使用されている。この種ケイ光灯は、わが国においてははまだ試作の段階にあるが、早晚市場に現われるであろう。このようなケイ光灯の高出力化に対しては従来の低入力の場合と異なった種々の配慮がランプ製作上必要となるのであって、ここに高出力化にともなうケイ光灯設計上の問題点をを概説する*。

### 2. 水銀蒸気圧制御の問題

ケイ光灯の管電流を増加すると次の二つの原因で発光効率は低下する。(1)電子密度の増加のために、 $6^3P_1^{*2}$  の励起状態にある水銀原子が、 $2,537\text{\AA}$  の放射線を放出しないうちに、つぎの電子の衝突を受けて電離されたり他の準位に励起される(第 2 種の衝突) 確率が増す。(2)管壁温度の上昇によって水銀蒸気圧が増加し、そのために、管の中心部で発生した  $2,537\text{\AA}$  の放射線が管壁ケイ光体に到達するまでに他の水銀原子と衝突して、これを

*1 この論文に示す諸特性は、すべて封入ガス圧力 2.2mm Hg に対するものである。

*2 電子との衝突によって  $6^3P_1$  の準安定状態に励起された水銀原子が基底状態にもどるときに  $2,537\text{\AA}$  の紫外線を放射し、これが、ケイ光体に投射して可視光に変換される。

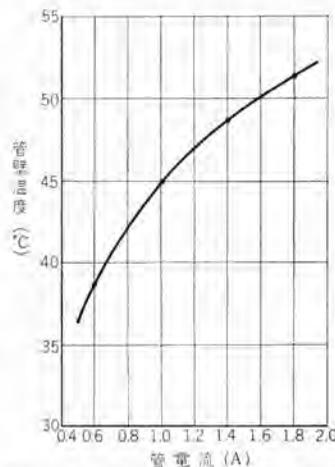


図 1.2.1 管電流と管壁温度の関係 (室温 20°C)  
Fig. 1.2.1 Bulb wall temperature as a function of lamp current (RT. 20°C)

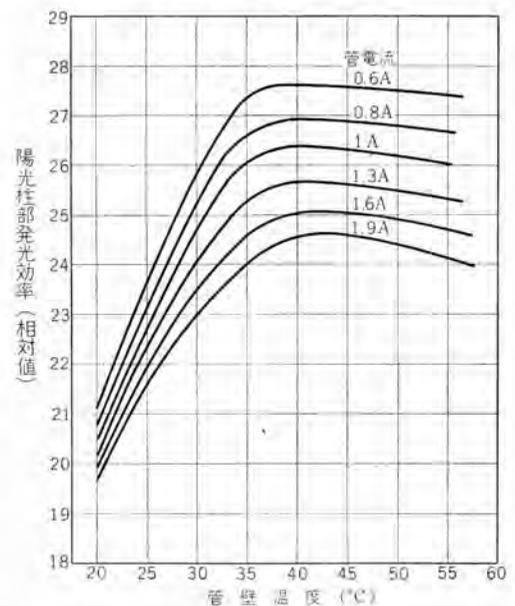


図 1.2.2 管壁温度と陽光柱部発光効率の関係 (管電流: パラメータ)  
Fig. 1.2.2 Luminous efficiency of the positive column as a function of bulb wall temperature, (lamp current: parameter)

励起（ふたたび  $6^3P_1$  に励起すれば問題ないが他の単位の励起も起こる）する確率が増す。いま一例として図 1.2.1 に室温  $20^{\circ}\text{C}$  における管電流と管壁温度の関係を示す。さて管壁温度と陽光柱部の発光効率との関係を管電流をパラメータとして示すと、図 1.2.2 のようになる。図に見られるように、管電流の増加によって発光効率は、かなり大きく低下するが、管壁温度との関係を見ると、約  $40^{\circ}\text{C}$  前後の管壁温度で発光効率は

最高となり、これより管壁温度が上昇しても、それほど大きい発光効率の低下はきたさない。この図だけを見れば管電流の増加による発光効率の低下は、主として電流密度の増加によるもので管壁温度の上昇に基因するものは、はるかに少ないように見えるが、いま、発生光束をパラメータとした図 1.2.3（管壁温度  $35^{\circ}\text{C}$ 、管電流  $0.4\text{A}$  のときの光束を 100 とする）を見ると、管壁温度の上昇が発光効率をいちじるしく低下させることがわかる。同一管電流に対する発生光束は管壁温度約  $35^{\circ}\text{C}$  で最高となり、これ以上に管壁温度が上昇すると発生光束は急速に低下する（図 1.2.4）とともに一方陽光柱入力も約  $30^{\circ}\text{C}$  以上では管壁温度とともに減少する（図 1.2.5）ので図 1.2.2 のように管電流をパラメータとして示すと、管壁温度が、かなり上昇して

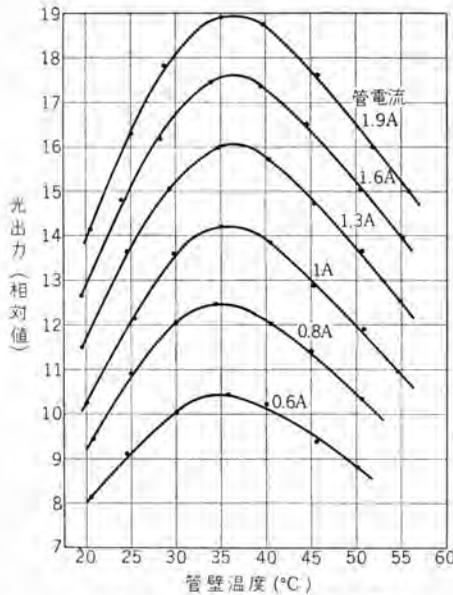


図 1.2.4 管壁温度と光出力の関係  
Fig. 1.2.4 Light output as a function of bulb wall temperature.

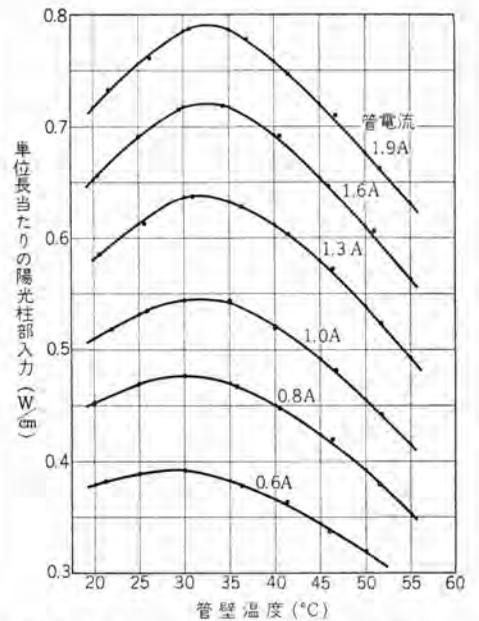


図 1.2.5 管壁温度と陽光柱部入力の関係  
Fig. 1.2.5 Positive column input as a function of bulb wall temperature.

も発光効率はそれほど減少しないのである。しかし、ある一定光束を得ようとする場合、管壁温度が高くなると大きな管電流を流さなければならなくなり、前述のような電子密度の増加に基因する陽光柱部発光効率の低下をきたし図 1.2.3 のようになるのである。さらにラップ全体としての発光効率について考えると所要管電流の増加は電極降下部で消費される損失電力の増加をもたらす。この効率も低下する。

いま、管電流の増加によって管壁温度が、図 1.2.1 のように上昇するケイ光灯を人為的に  $35^{\circ}\text{C}$  一定の管壁温度に保持することによって、どれくらい発光効率の上昇がえられるかを示すと図 1.2.6 のようになり、高出力化の程度の大きくなるにつれて、なんらかの方法で水銀

蒸気圧を制御することによる利得の大きいことがわかる。

さいわいにして、管内水銀蒸気圧は管内のもっとも温度の低い部分に対応した値となるので管全体の温度を制御する必要はなく一部だけの温度を最適値に制御すればよいので、水銀蒸気圧の制御は実用的にもそれほど困難なことではない。

さてつぎに実用的冷却方法についてのべる。

## 2.1 電極長を長くする方法

従来の  $40\text{W T12}$  ラップにおける管壁温度分布は図 1.2.7 のよう

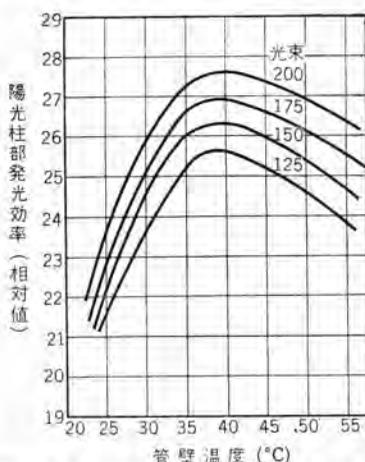


図 1.2.3 管壁温度と陽光柱部発光効率の関係（光束：パラメータ）  
Fig. 1.2.3 Luminous efficiency in the positive column as a function of bulb wall temperature. (luminous flux : parameter)

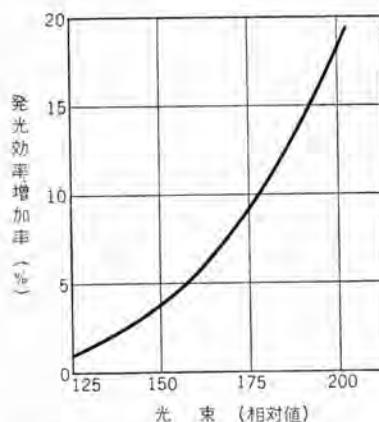


図 1.2.6 水銀蒸気圧の制御による発光効率の上昇  
Fig. 1.2.6 The increase of luminous efficiency by the control of mercury vapor pressure.

に、管端部は管中央部より管壁温度が高いので水銀蒸気圧は中央部の管壁温度に対応した値をとるが、いま電極長  $L$  (図 1.2.8) を長くして、電極位置を管中央部へ移動すると管端部は中央部より管壁温度が低くなり管端部温度が水銀蒸気圧を決定することになるので、管入力に応じ適当な電極長を採用することにより水銀蒸気圧を制御できる。VHO ランプ⁽¹⁾⁽²⁾ (Sylvania 社)、SHO⁽³⁾ (Westinghouse 社) ではこの方法を採用し、さらに冷却効果をよくするために熱 シヤヘイ 板 (図 1.2.8) を設けて陽光柱および電極からの放射熱を シヤヘイ している。この方法では有効発光長が減少し、管端部の暗い部分が増加するが、管長がある程度以上長くなると、このことによる発光効率への影響はきわめて少なくなる⁽⁴⁾。

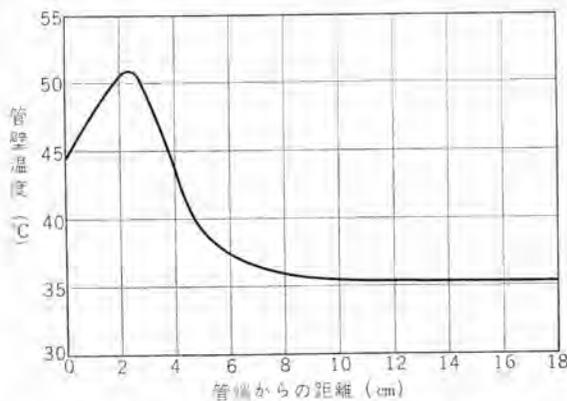


図 1.2.7 管壁温度分布の一例 (40 T 12 管電流 0.4 A  
R. T 20°C)  
Fig. 1.2.7 An example of temperature distribution on the bulb wall.

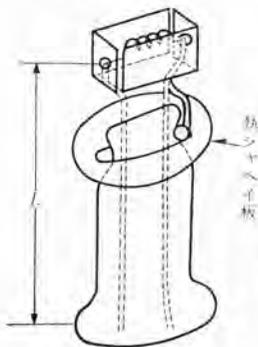


図 1.2.8 SHO ランプの電極構造  
Fig. 1.2.8 Electrode structure of SHO lamp.

## 2.2 側管を設ける方法

図 1.2.9 のように管中央部に適当な寸法の側管を設けて冷却部を形成し水銀蒸気圧を制御するもので、有効発光長の減少を伴わないという利点を有するが、製作上の関係からガラス管の肉厚を増さなければならないし、また側管部を下方にして取付けなければならないという使用上の制限と外観上の見苦しさを伴う。またこの側管部に付着した水銀粒は、ころがり出て水銀蒸気圧の不安定をきたすおそれが少ないので振動、動揺のはげしい場所での使用には適しているであろう。



図 1.2.9 側管による水銀蒸気圧の制御  
Fig. 1.2.9 Mercury vapor pressure control by "Protrusion".

Double Flux ランプ⁽⁵⁾ (Philips 社) ではこの方法を採用している。(側管直径 10mm 長さ 10mm)

## 2.3 非円形管による方法

図 1.2.10 (a) のような断面を有するようにガラス管の一部をくぼませると放電電流は主として同図斜線の部分を流れ、他の部分の電流密度はきわめて小さくなるので、A 部の管壁温度は低く、水銀蒸気圧はこの部分の温度で制御される。Power Groove⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ ランプ (GE 社) はこの方法を採用しており、実際の外観は図 1.2.10 (b)、(c) のようになっている。(b) は初期のもので (c) に示す最近のものでは両側に交互にくぼみをもたせている。こ

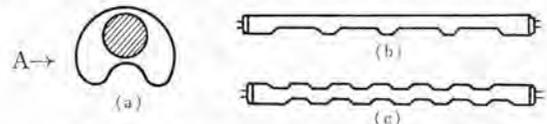


図 1.2.10 非円形管による水銀蒸気圧の制御  
Fig. 1.2.10 Mercury vapor pressure control by the bulbs with non-circular cross section.

の方法によるものは、陽光柱内の方々に分散した広い冷却部を有するので、水銀蒸気イオンの拡散による過剰水銀の移動が早く冷却部温度に対応した値に水銀蒸気圧はすみやかに到達する。(前二者の方法では数 10 分~数時間を要する) このランプではガラス管の肉厚は、かなり厚くしなければならないし、製作上の問題点も多い。ただし、このような管形は水銀蒸気圧を制御するだけでなく後述するように発光効率そのものの増加も、もたらすもので前二者とは異なった意味を有する。

## 2.4 器具の構造による冷却

上記のほか、半導体熱電冷却素子を管内に封じこむことによる冷却法も考えられているようであるが以上はいずれもランプ構造自体によって水銀蒸気圧の制御を行なおうとするものであって、これらは、ある想定した標準使用状態 (25°C still air) に対して水銀蒸気圧が、最適になるように設計される。したがって、実際の周囲温度、通風状態、器具の構造などによっては冷却効果は十分に発揮されないものであって、使用条件に応じた器具の設計が必要である。このことは低出力ランプについてもいいうることであるが、高出力になるにつれて器具の熱放散、通風などについてとくに考慮が必要となる。たとえば屋外照明用などの密閉器具に超高出力ランプを取付ける場合などとくに問題で、blower によって冷却する方

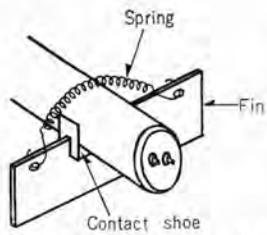


図 1.2.11 切触金属片による水銀蒸気圧の制御  
Fig. 1.2.11 Mercury vapor pressure control by the contact metal.

構造自体によって冷却効果を得ようとする試みもなされている。たとえば図 1.2.11⁽¹⁰⁾のように銅またはアルミニウム製の切触片 (contact shoe) と放熱板 (fin) からなる冷却装置を用いて、かなりの効果が得られることが報告されている。

### 3. 管径の問題

管径が小さいと管壁への電子、イオンの拡散消失が多くなって発光効率は低下し、また管径が大きいと管中心部で発生した 2,537Å の放射線が管壁へ到達するまでに他の水銀原子を励起する確率が増加するために、やはり発光効率は低下し、その中間に最適な管径があると概念的にはいわれるが実際上管径と発光効率との関連はもっと複雑である。

電流が増加し電子密度が非常に大きくなると電子と水銀原子との第 2 種の衝突が頻繁となり、 $6^3P_1$  なる準安定状態の life time とあいつぐ電子との衝突の時間的間隔が同じくらいになると、もはや管電流の増加によって 2,537Å 放射線の発生量、したがって発生光束は増加せず飽和に達する。これを熱的平衡状態にあるというが、この状態においては電子温度  $T_e$  も管電流によらず一定で、

$$\theta = \frac{0.88\mu_i(1)}{P_{H_0}P_g(\Delta_s)^2} \dots\dots\dots (I.3.1)$$

ここで  $\mu_i(1)$ : 1 mm  $H_0$  の封入ガス中における水銀イオンの移動度 ( $m^2/V.sec$ )

$P_{H_0}$ : 水銀蒸気圧 ( $\mu$ )

$P_g$ : 封入ガス圧力 (mm)

$\Delta_s$ : 1/8 in 単位で表わした管径

なる  $\theta$  の関数として表わされ、 $\theta$  が大きいほど  $T_e$  は大きく、また  $T_e$  の大きいほど飽和光束値は大きくなるということが理論的に説明される⁽¹¹⁾。式 (I.3.1) によれば、管径が小さくなるほど  $T_e$  は大きく、したがって飽和光束は大きくなるが飽和光束が大きいということと発光効率が良いということとは別で超高力ランプ程度の管入力では、いまだ全面的にこの飽和現象は現われておらず、また図 1.3.1 に示すように、同一入力に対する電流密度

法あるいは熱電素子を管壁に密着させて冷却する方法⁽⁹⁾などが考えられている。このようにランプ構造自体による冷却効果を、器具の構造に対する配慮によって十分発揮させるという以外にランプではならぬ冷却方法を講じないで、器具の構造

(管内電流密度は中心部がもっとも大きく半径方向に向かって次第に小さくなるので、単に管電流を放電路の断面積で割った同図の電流密度は平均的なものである) は管径の小さいほど大きくなっていることから管径の細

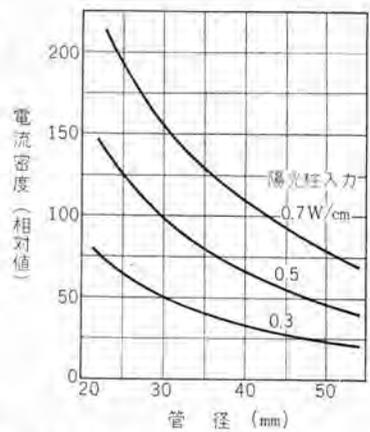


図 1.3.1 管径と電流密度の関係  
Fig. 1.3.1 Current density as a function of bulb diameter.

いほど小さな管入力で飽和現象を示し始めることも想像されしたがって管径の細いほうが、高入力状態における発光効率が必ずしも有利とはならない。いま管壁温度が、発生光束最大となる 35°C に保たれた場合の、管径と陽光柱部発光効率の関係を求めると図 1.3.2 のように、かなり広い入力範囲にわたって、管径約 41mm が最高発光効率を示す。ランプ全体としての発光効率については、同一管入力に対する管電流は管径の小さいほど少ないために電極降下部の消費電力が管径の小さいほど小さくなるので陽光柱部について比較した場合よりも管径の細いほうに有利になり、とくに管長が短いほど電極部損失電力の占める割合が大きいのでこの傾向は顕著になる。(図 1.3.3, 1.3.4 実線) これらは点灯初期の効率についての比較であるが、ケイ光灯の発生光束は点灯時間とともに低下し、その低下の割合は管壁負荷 (陽光柱入力/ケイ光面積) にほぼ比例する。同一点灯時間 (5,000h) に対する平均発光効率について比較すると同

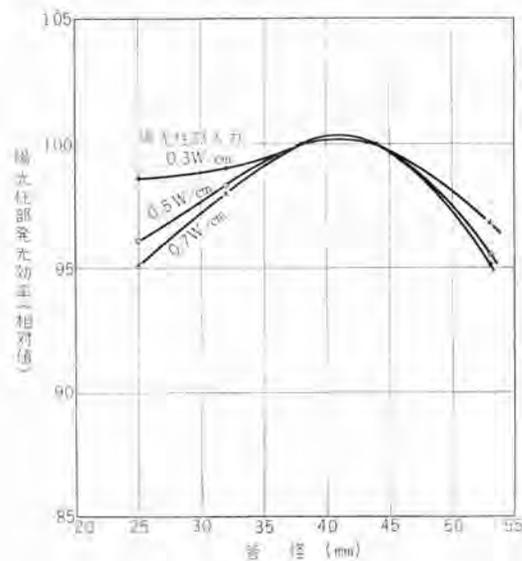


図 1.3.2 管径と陽光柱部発光効率の関係  
Fig. 1.3.2 Luminous efficiency in the positive column as a function of bulb diameter.

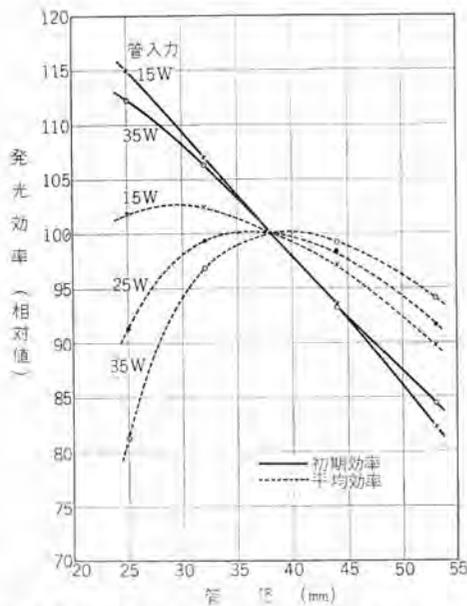


図 1.3.3 管径と発光効率の関係 (管長: 30 cm)  
Fig. 1.3.3 Lamp efficiency as a function of bulb diameter, (lamp length: 30 cm)

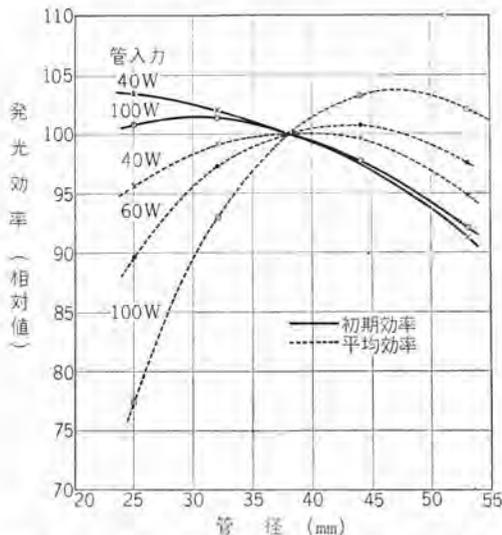


図 1.3.4 管径と発光効率の関係 (管長: 120 cm)  
Fig. 1.3.4 Lamp efficiency as a function of bulb diameter, (lamp length: 120 cm)

一管入力に対し、管径の小さいほど管壁負荷が大きいので初期効率について比較した場合よりも管径の太いほうに有利になる。(図 1.3.3, 1.3.4 点線)そして管長が長く、管入力大きい場合は T12 (管径 38mm) よりむしろ太いほうが有利である。(図 1.3.3, 1.3.4 点線)

SHO ランプ、VHO ランプでは管径 38mm を採用し、*3 Double Flux ランプでは管径 35mm を採用している。また Power Groove ランプでは管径 54mm のガラス管を、くぼませて使用している。この Power Groove ランプは非円形断面なので上記実験結果をそのままあてはめて考えることはできないが実質的には管径を縮小して、初期効率を増加し、かつ、ケイ 光面積の増加によって平均発光効率の低下を防いでいるとともに、放電路長が見掛け

の管長よりも、かなり増加していることが発光効率の増加に大いに役だっているものと考えられる。(とくに 図 1.2.10 (c) のもの)。放電路長の増加は管入力に対する電極部損失電力の比率を減少させるとともに、ある管入力に対して管電流は少なくてよいことになり陽光柱部発光効率の上昇ならびに電極部損失電力の減少をきたしラップ 効率上好結果をもたらす。

#### 4. 封入ガスの問題

式 (I.3.1) は水銀 イオン の移動度の増加によっても電子温度を増加させうることを示している。種々の希有ガス中における水銀 イオン の移動度は 表 1.4.1 (12) に示すとおりで、従来用いられている A (アルゴン) を Ne に代えることによって電子温度の上昇、したがって飽和光束の増加をもたらされる。発光効率は、発生光束と、消費エネルギーとの関連において決まるものであって、電子温度の上昇による発生光束の増加が必ずしも発光効率の増加を意味しないが、管径の減少によって電子温度の上昇をはかる前述の場合とことなり、封入ガスを Ne に代えた場合には同一入力に対する電流密度は Ne の場合のほうが A の場合より、はるかに小さく、したがって前述のような光束の飽和も A の場合のほうが小さい管入力で見られる。このようにして高出力化とともに Ne の有利性が次第に増してくることが考えられる。

表 1.4.1 各種封入ガス中の水銀イオンの移動度  
(封入ガス圧力: 1mm Hg)

封入ガス	He	Ne	A	Kr	Xe
移動度 (m ² /V·sec)	1.4	0.55	0.31	0.20	0.16

いま A, Ne の種々の混合比のガスについて陽光柱部発光効率、電極部消費電力、ならびに管長 120cm の場合の発光効率を、A の場合を 100 とし示すと 図 1.4.1 ~ 図 1.4.3 のようになり、管入力がある程度以上大きくなると陽光柱部効率の点からも、また電極消費電力の点からも Ne が A より有利となり、このように Ne を封入ガスとして用いることにより高出力時の発光特性を改善できるが、ここに一つ問題がある。それは陰極降下が A の場合よりもはるかに大きくなる (図 1.4.4) ために、電極のスパッタが促進されるうえに、点灯時間とともに陰極の電子放射性が低下するにつれて、陰極降下がさらに大きく増加してますます陰極破壊が加速される傾向を有することである (13)。このような Ne 封入ガスにおける欠

*3 上記諸データはアルゴン封入の場合に対するもので、後述のように SHO, VHO ランプではネオン、アルゴンの混合ガスを封入しており、この封入ガスに対しては上述の結果をそのままあてはめることはできない。文献 (11) によればこの封入ガスに対し T12 がもっとも効率のよいことが示されている。

点はラピッド形点灯方式におけるように常時、陰極フィラメントを適当に加熱することにより、かなり改善される⁽¹³⁾が、それでもA封入の場合よりも陰極寿命に対する問題が大きい。

図1.4.4に見られるようにNeにAを混入することにより陰極降下は小さくなるが一方高出力時の発光効率

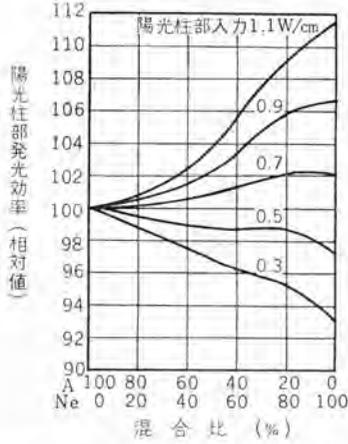


図1.4.1 混合比と陽光柱部発光効率  
Fig. 1.4.1 Luminous efficiency in the positive column as a function of argon-neon mixing ratio.

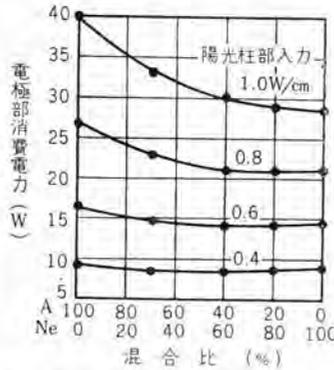


図1.4.2 混合比と電極部消費電力の関係  
Fig. 1.4.2 Electrode loss as a function of argon-neon mixing ratio.

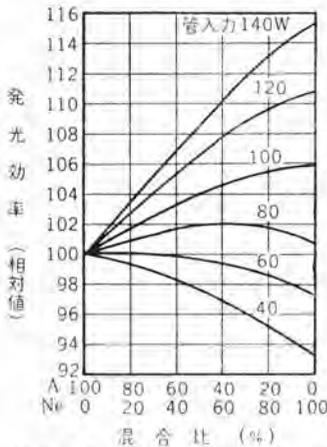


図1.4.3 混合比と発光効率の関係(管長:120cm)  
Fig. 1.4.3 Lamp efficiency as a function of argon-neon mixing ratio. (lamp length: 120cm)

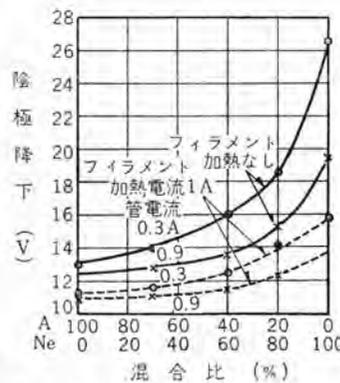


図1.4.4 混合比と陰極降下の関係(直流)  
Fig. 1.4.4 Cathode drop voltage as a function of argon-neon mixing ratio.

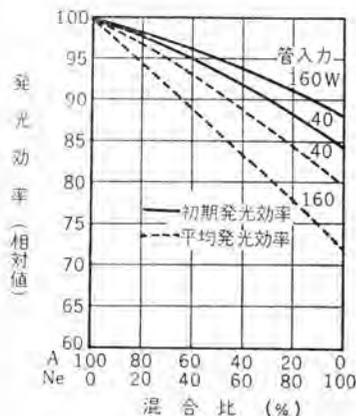


図1.4.5 混合比と発光効率の関係(管電圧:112V一定)  
Fig. 1.4.5 Lamp efficiency as a function of argon-neon mixing ratio. (lamp voltage: 112V)

は悪くなるので、実用的には、この両者のかねあいによってAの混入量が決まる。VHOランプ、SHOランプではNe 80%A 20%の混合ガスを用いている。またVHOランプでは電極構造上からも電極のスパッタを押さえる工夫がなされ、補助陽極をイオン密度の少ないFaraday暗部までのぼし、他の電極リード部分はセラミックなどでおおって絶縁し、これら補助陽極、リード線がイオン衝撃によってスパッタすることを防止している⁽¹⁴⁾。SHO

ランプでは電極材料そのものにスパッタしにくいblack plated ironを用いている。Aだけを封入しているPower Grooveランプ、Double Fluxランプでは電極特性に関してとくに大きな問題はないようである。

封入ガスとしてのAとNeの比較において留意すべきことがある。すなわち図1.4.3は同一管長で比較した場合であって同一管電圧という条件で比較すると図1.4.5にその一例を示すように相当大きな管入力においてもAのほうが発光効率がよい。これはAのほうが、陽光柱電位傾度が小さいので管長を長くとることができるからである。これから考えてPower GrooveランプがAを封入しているにもかかわらずNeに匹敵する高出力特性を示すのは前にも述べたようにその断面形状からくるものもあろうが、放電路長が長くなったことによるものが、主たる原因であると考えられる。

## 5. むすび

以上いわゆる超高出力ランプと呼ばれる程度までの管入力範囲にわたって、高出力化に伴う設計上の問題点を概説したが、表1.4.1に示した水銀イオンの移動度から考えてHeも高出力用封入ガスとして用いうる可能性をもっていることが予想される。事実約50W/30.5cm以上の管入力ではHeのほうがNeよりさらに発光効率のよくなることが報告されているが⁽¹¹⁾、この程度の管入力になると、lumen maintenanceが非常に問題になるであろうし、またHe封入による陰極降下の上昇など、実用化に当たって、問題が相当残っているようで、ここでは省略する。



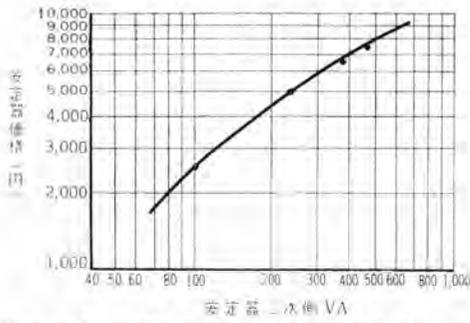


図 II. 2.1 安定器の VA と価格の関係 (高力率ラピッド形)  
Fig. II. 2.1 Ballast cost as a function of VA. (high power factor rapid start type ballast)

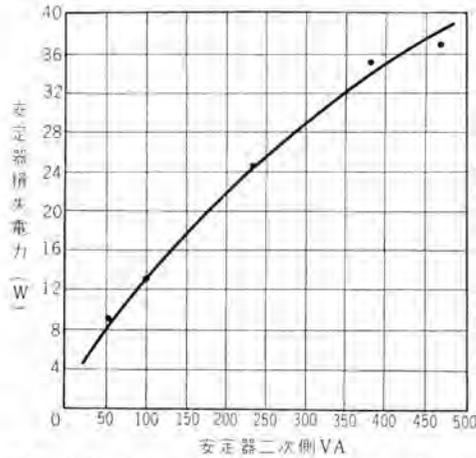


図 II. 2.2 安定器の VA と損失電力の関係 (高力率ラピッド形)  
Fig. II. 2.2 Loss wattage of ballast as a function of VA.

$$V \geq \frac{V_i}{0.56} \dots\dots\dots (II. 2.2)$$

$$V \geq V_s \dots\dots\dots (II. 2.3)$$

ただし  $V_i$ : 管電圧

$V_s$ : 起動電圧

式 (II. 2.2) は、二次電圧があまり管電圧に接近し過ぎると、交流の各半サイクルにおける再点弧が不安定となり、管電流波形がひずみ、ランプ寿命に悪影響を及ぼすとともに電源電圧の変動に伴う管電流の変化が大きくなるので、この点を考慮して決められた条件である。⁽¹⁹⁾ 式 (II. 2.3) は ランプ を点灯させるためには当然の条件であるが、ここでは電源電圧が 20% 低下しても起動するように式 (II. 2.3) の代わりに

$$V \geq \frac{V_s}{0.8} \dots\dots\dots (II. 2.3')$$

を採用する。種々の管径、管電流に対する  $V_i$  は実験結果から求められ、また  $V_s$  は表 II. 2.1 に示すとおりで²⁵⁾、これら  $V_i$ 、 $V_s$  の値から式 (II. 2.2)、(II. 2.3') を満足する  $V$  の最小値として二次無負荷電圧を求め、それと管電流との積から、図 II. 2.1、II. 2.2 を用いて  $C_b$ 、 $W_b$  がえられる。

(5) 工事費 ( $C_f$ )

$C_f$  も個々の事情により異なり定めにくい量であるが、2, 3 の実例から、ここでは一律に  $C_f = \frac{1}{3} (C_F + C_B)$  円と考える⁽¹⁷⁾。これは工事費にも人件費のような

表 II. 2.1 起動電圧(電極間隔: 110cm 内面導電膜塗布)

ランプの種類	起動電圧 (V)
A T-12	150
A T-8	170
A T-14	140
Ne T-12	215
A20-Ne80 T-12	190

固定部分と、配線費のような管電流に依存する部分があるとの考えに基づいている。

(6) 年間維持費 ( $C_m$ )

$C_m$  は掃除費、補修費、ランプ交換費などの年当たりの平均値で、一律に 200 円とする。

(7) 電力料金 ( $P$ )

$P$  は地域により、需要家の種別によって相当異なる。ここでは 3 円/kWh、11 円/kWh の二つに対して考察する。

(8) 管電力 ( $W_L$ )

種々の管径、管電流に対する  $W_L$  は実験結果から求められる。

(9) ランプ価格 ( $C_L$ )

正しくは、管電流の増加によって電極の寸法、構造などが異なるので、 $C_L$  も管電流によっていくぶん変化するが、ここではとくに断らない限り 500 円とする。T8、T14 に対しては 500 円の場合のほかに、400 円、600 円の場合についても検討する。T8、T14 に対してランプ価格を変えて考察した理由は三つある。すなわち

a. T8、T14 に対しては、T12 の場合よりランプ価格が上下することが予想されるが、この価格変動による影響の目安を得る。

b. T12 の場合でも、上述のように高出力化にともなってランプ価格が上昇するが、その影響に対する目安を得る。

c. 式 (II. 2.1) 中に含まれる年間維持費  $C_m$  は一律に 200 円としているが、これはランプ交換費が安いものと仮定しているのであって、もし 1 本当たりの交換費が相当高い場合は、これを  $C_m$  から離して  $C_L$  の中に含ませ、実質上ランプ価格が上昇したと考えたほうが妥当である。このようなランプ交換費の高いことによる影響に対して目安を得る。

(10) 平均光束 ( $F_m$ )

初光束  $F_0$  は実験結果から種々の場合に対して求められるが、点灯中における平均光束  $F_m$  は

²⁵⁾ 表 II. 2.1 に示す  $V_s$  は管内面に導電膜を塗布したランプに対するもので、電極間隔 110cm の場合は、管外面にシリコンを塗布したものとあまり変わらない。

$$F_m = \beta F_0 \dots \dots \dots (II. 2. 4)$$

によって表わされ、 $\beta$  はランプの点灯時間および管電流（正しくは管壁負荷）によって異なる。文献⁽²⁰⁾によればケイ 光灯の働程特性として次式が示されている。

$$L_0 - L_T = A(1 - e^{-aT}) + B(1 - e^{-bT}) + C(1 - e^{-cT}) \dots \dots \dots (II. 2. 5)$$

ここで  $L_0$ : 初期発光効率 (lm/W)  
 $L_T$ : T 時間点灯後の発光効率  
 $T$ : 100 時間単位で表わした点灯時間  
 また 40W 冷白色 ケイ 光灯に対しては

$$\left. \begin{array}{lll} A=0.6 & B=2.5 & C=15 \\ a=4.0 & b=0.2 & c=0.02 \end{array} \right\} \dots (II. 2. 6)$$

いま点灯時間によって管入力の変化はないとすると、T 時間点灯後の光束  $F_T$  と初光束  $F_0$  との比  $\alpha$  は次式で表わされる。

$$\alpha = \frac{F_T}{F_0} = \frac{L_T}{L_0} = 1 - \frac{1}{L_0} \left\{ A(1 - e^{-aT}) + B(1 - e^{-bT}) + C(1 - e^{-cT}) \right\} \dots \dots \dots (II. 2. 7)$$

この  $\alpha$  の値は管壁負荷によって異なるが、いま光束低下率  $(1 - \alpha)$  は管壁負荷に比例すると仮定する。この仮定は実験結果にかなりよく一致し、また文献^{(20)*6}にも記されているところで、無理な仮定ではない。いま 40 W ケイ 光放電管に対する  $\alpha$  を  $\alpha_0$ 、管壁負荷を  $W_0$  (mW/cm²) とすると任意の管壁負荷  $W$  に対する  $\alpha$  は

$$\alpha = 1 - (1 - \alpha_0) \frac{W}{W_0} \dots \dots \dots (II. 2. 8)$$

また T 時間点灯した場合の平均光束  $F_m$  と初光束  $F_0$

との比  $\beta$  は 
$$\beta = \frac{F_m}{F_0} = \frac{1}{T} \int_0^T \alpha dt \dots \dots \dots (II. 2. 9)$$

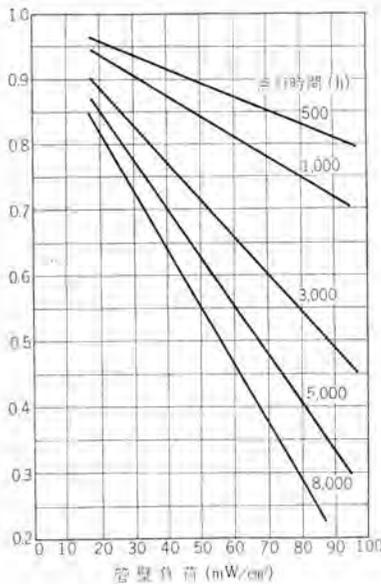


図 II. 2.3 管壁負荷と  $\alpha$  の関係  
 Fig. II. 2.3 The value of  $\alpha$  as a function of bulb loading.

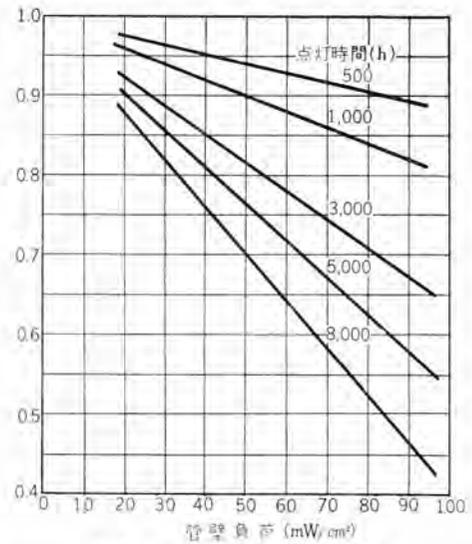


図 II. 2.4 管壁負荷と  $\beta$  の関係  
 Fig. II. 2.4 The value of  $\beta$  as a function of bulb loading.

いま冷白色 ケイ 光灯に限定して、40W ランプに対する  $L_0$ 、 $W_0$  として、それぞれ 65 lm/W、27mW/cm² なる値を採用し、これと式(II. 2. 6)の数値とを用いると、式(II. 2. 7)～式(II. 2. 9)によって任意の管壁負荷、任意の点灯時間に対する平均光束  $F_m$  を求めることができる。このようにして求めた  $\alpha$ 、 $\beta$  と管壁負荷の関係を点灯時間  $T$  をパラメータとして示すと図 II. 2. 3、II. 2. 4 のようになる。

以上の諸数値を用い、式(II. 2. 1)によって種々のランプに対して照明費  $x$  が、管電流または管入力によりどのように変化するかを考察する。

### 3. 経済寿命

前述のように、ケイ 光灯は点灯時間とともに光束が低下するので、ある程度以上点灯時間が長くなると、かえって照明費が高くなり新しいランプと取換えたほうが経済的になる。すなわち lm-h 当たりの経費から見てもっとも経済的な点灯時間があるわけで、これを経済寿命と名づけて、ここに検討する。

経済寿命、 $T_e$  は式(II. 2. 1)の  $x$  を最小にさせるような  $T$  の値であり、 $\frac{dx}{dT} = 0$  から求められる。このようにして  $T_e$  を求めると

$$T = \frac{C_L}{A} \times \frac{\alpha}{(\beta - \alpha)} \dots \dots \dots (II. 3. 1)$$

ただし 
$$A = \frac{1}{\tau} \left\{ K(C_P + C_B + C_I) + C_m \right\} + P(W_L + W_B) \times 10^{-3}$$

*6 文献⁽²⁰⁾においては100時間点灯後の光束低下率が、管壁負荷に比例することを示し100時間までの光束低下についてはふれていないが、ここでは100時間までの光束低下も管壁負荷に比例するとする。

表 II. 3.1 管電流と経済寿命の関係

(a)  $\tau=2,500\text{h}$   $P=3\text{円/kWh}$

管電流 (A)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
ランプの種類								
1	7,300	4,800	3,800	3,200	2,750	2,500	2,300	
1'	7,300	4,900	4,000	3,500	3,100	2,800	2,600	
2		6,000	4,700	3,800	3,300	3,000	2,800	2,550
2'		7,100	5,200	4,300	3,800	3,400	3,100	2,850
3	4,000	2,750	2,200	1,800	1,600	1,450		
3'	3,350	2,400	1,850	1,500	1,300	1,150		
4	5,300	3,600	2,850	2,350	2,050	1,850	1,700	
5	4,700	3,300	2,600	2,100	1,850	1,700	1,600	

(注) ランプの種類 (以下各図、表ともつぎの数字でランプ種類を示す)  
 1: A, T12                      1': A, T12, 水銀蒸気圧制御なし  
 2: A, T14                      2': A, T14,  $C_L=¥600$   
 3: A, T8                        3': A, T8,  $C_L=¥400$   
 4: A20Ne80, T12    5: NeT12

(b)  $\tau=2,500\text{h}$   $P=11\text{円/kWh}$

管電流 (A)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
ランプの種類								
1	5,200	3,600	2,800	2,400	2,100	1,900	1,750	
1'	5,200	3,700	3,000	2,600	2,300	2,100	2,000	
2		4,400	3,500	2,850	2,500	2,200	2,100	2,000
2'		5,100	4,000	3,200	2,800	2,500	2,300	2,150
3	3,100	2,150	1,000	1,400	1,150	1,000		
3'	2,650	1,950	1,450	1,150	1,000	900		
4	4,100	2,800	2,200	1,800	1,500	1,300	1,150	
5	3,600	2,500	2,000	1,600	1,300	1,100	950	

(c)  $\tau=4,500\text{h}$   $P=3\text{円/kWh}$

管電流 (A)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
ランプの種類								
1	13,500	6,500	4,850	4,000	3,500	3,050	2,700	
1'	13,500	6,700	5,200	4,450	3,950	3,550	3,200	
2		8,500	6,100	4,800	4,200	3,750	3,400	3,200
2'		11,300	7,100	5,500	4,750	4,200	3,800	3,500
3	4,900	3,400	2,650	2,200	1,900	1,750		
3'	4,200	2,900	2,250	1,900	1,650	1,500		
4	7,500	4,550	3,450	2,800	2,400	2,150		
5	6,400	4,100	3,100	2,550	2,200	1,950		

(d)  $\tau=4,500\text{h}$   $P=11\text{円/kWh}$

管電流 (A)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
ランプの種類								
1	6,400	4,200	3,250	2,600	2,350	2,100	1,900	
1'	6,400	4,300	3,500	3,000	2,700	2,450	2,200	
2		5,300	4,100	3,300	2,850	2,500	2,300	2,150
2'		6,200	4,600	3,700	3,150	2,750	2,550	2,400
3	3,500	2,400	1,850	1,500	1,300	1,100		
3'	3,050	2,100	1,600	1,300	1,100	1,000		
4	4,700	3,150	2,450	2,000	1,700	1,450	1,300	
5	4,100	2,850	2,200	1,700	1,400	1,200	1,100	

表 II. 3.2 管入力と経済寿命の関係

管入力 (W)	60	85	110
ランプの種類			
1	5,000	3,250	2,400
1'	5,000	3,250	2,400
2	5,700	3,750	2,900
2'	6,550	4,200	3,150
3	3,350	2,200	1,700
3'	2,900	1,900	1,450
4	5,000	3,250	2,500
5	5,000	3,250	2,500

$\tau=4,500\text{h}$   
 $P=3\text{円/kWh}$

を満足するような  $T$  が  $T_0$  となる。このようにして得られた経済寿命を表にまとめると表 II. 3.1 (a)~(d) のようになる。同表に見られるように管電流の増加とともに始めは急速に後は比較的徐々に経済寿命は減少し、年間点灯時間の長いほど、また電力料金の安いほど、ランプ価格が高くなるほど経済寿命は長い。また管電流の代わりに管入力をとると表 II. 3.2 に見られるように、同じ管径 T12 においては、A, Ne, A20-Ne 80 の別なくほとんど同じ経済寿命を有し、また管径が細いほど経済寿命は短くなる。

#### 4. 経済電流, 経済入力

前にも述べたように管電流、管入力を増加すると同じ光束を得るに必要なランプの本数が減り、器具その他の設備費は減少するが、一方ランプの発光効率の低下のために電力費は増加し、照明費としては、ある管電流、管

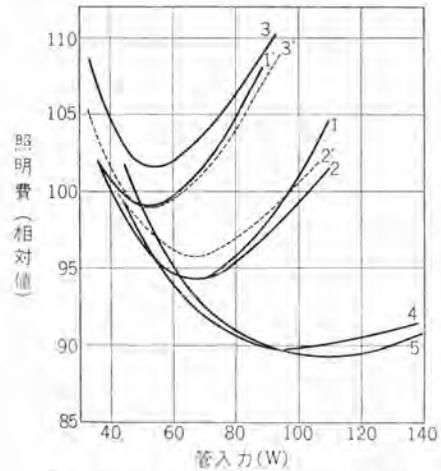


図 II. 3.1 管入力と照明費の関係  
 $(\tau=2,500\text{h}$   $P=3\text{円/kWh})$   
 Fig. II. 3.1 Lighting cost as a function of lamp input.  
 $(\tau=2,500\text{h}$   $P=3\text{yen/kWh})$

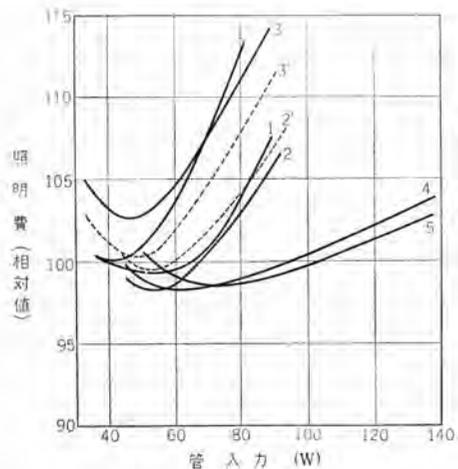


図 II. 3.2 管入力と照明費の関係  
 $(\tau=2,500\text{h}$   $P=11\text{円/kWh})$   
 Fig. II. 3.2 Lighting cost as a function of lamp input.  
 $(\tau=2,500\text{h}$   $P=11\text{yen/kWh})$

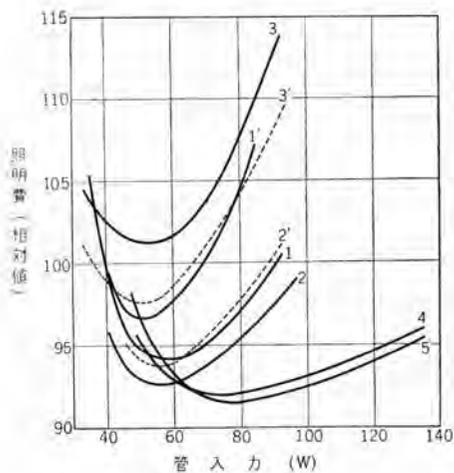


図 II. 3.3 管入力と照明費の関係  
( $\tau=4,500\text{h}$   $P=3\text{円/kWh}$ )

Fig. II. 3.3 Lighting cost as a function of lamp input. ( $\tau=4,500\text{h}$   $P=3\text{yen/kWh}$ )

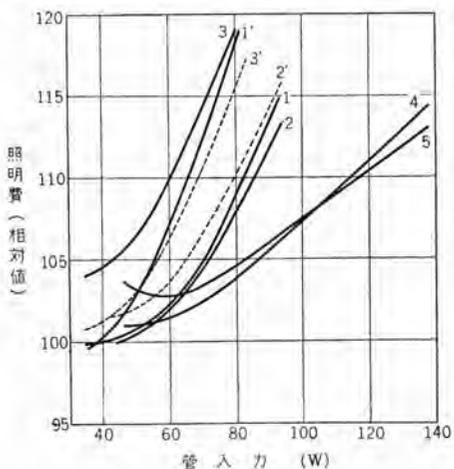


図 II. 3.4 管入力と照明費の関係  
( $\tau=4,500\text{h}$   $P=11\text{円/kWh}$ )

Fig. II. 3.4 Lighting cost as a function of lamp input. ( $\tau=4,500\text{h}$   $P=11\text{yen/kWh}$ )

入力で最小となる。これらを経済電流、経済入力と称し、それぞれ  $I_e$ ,  $W_e$  なる記号で表わす。  $I_e$ ,  $W_e$  は点灯時間によって異なるので、ここでは点灯時間として上記経済寿命をとり、この経済寿命における管入力と照明費の関係を示すと図 II. 3.1 ~ 図 II. 3.4 のようになる。これらの図において最小照明費を示す管入力、およびこれに対応する管電流が、  $W_e$ ,  $I_e$  である。各図とも照明費は A, T12, 管入力 40W に対する照明費を 100 とした相対値で示してある。これらの図から次のことがわかる。

(1) 経済入力は電力料金が安いほど、また年間点灯時間が少ないほど大きい。

(2)  $P=11\text{円/kWh}$  の場合は高出力化による利益は小さく、とくに年間点灯時間の長い場合は、高出力化によって、かえって照明費は高くなる。一方  $P=3\text{円/kWh}$  の場合には高出力化によって相当照明費が安くなる。すなわち照明経済上から考えると高出力 ランプ は電力料

表 II. 3.3 各種 ランプ の経済電流、経済入力

ランプ種類	$\tau=2,500\text{h}$ , $P=3\text{円/kWh}$		$\tau=4,600\text{h}$ , $P=3\text{円/kWh}$	
	$I_e(\text{A})$	$W_e(\text{W})$	$I_e(\text{W})$	$W_e(\text{W})$
1	0.9	66	0.75	58
1'	0.7	53	0.65	51
2	1.0	67	0.8	57
3	0.55	55	0.5	51
4	1.0	96	0.75	76
5	1.05	110	0.65	75

金の安い場合にとくに意義がある。そこで以下電力料金が 3 円/kWh の場合について検討する。この場合の経済電流、経済入力を表示すると表 II. 3.3 のようになる。

(3) A, T12 について水銀蒸気圧を制御した場合と制御しない場合とを比較してわかるように水銀蒸気圧を制御することによって経済入力は大きくなり、また照明費もかなり小さくなる。

(4) A 封入の場合 T12, T14 で経済入力はほとんど変化なく 60 W 前後であり、T8 は 50 W 程度である。

(5) 封入 ガスが Ne, A 20 Ne 80 の場合は、A の場合より経済入力が大きく、 $\tau=2,500\text{h}$  で 100 W 前後、 $\tau=4,500\text{h}$  で 75 W 程度であるが、それより管入力が大きくなっても、A の場合ほど大きな照明費の増加はない。約 60 W 以上の管入力では A の場合より照明費が安く、さらに大きな入力時におけるこの種封入 ガス の有利性がよく示されている。また Ne, A 20 Ne 80 の両封入 ガス 間の差はあまりない。

## 5. 点灯時間による照明費の変化—限界経済寿命

以上の記述においては、経済寿命  $T_e$  時間点灯すると、ランプ を新しく取り換えるものとして照明費を検討した。3 に記したように高入力時における経済寿命はかなり短く、実際上経済寿命で ランプ を交換することはまれで、よほど暗くなるか不点灯になるまで交換しないのが実情であろう。そこでここに点灯時間が経済寿命より長くなることによって照明費がどのように上昇するかを検討する。いま年間点灯時間が 2,500h, 電力料金が 3 円/kWh の場合について、点灯時間と照明費との関係を管入力 60 W, 85 W, 110 W の場合について求めると図 II. 5.1 ~

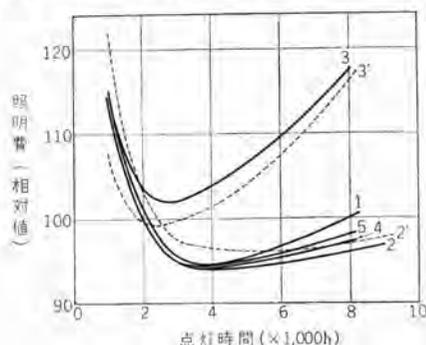


図 II. 5.1 点灯時間と照明費の関係 (管入力: 60W)  
Fig. II. 5.1 Lighting cost as a function of burning hours. (lamp input: 60W)

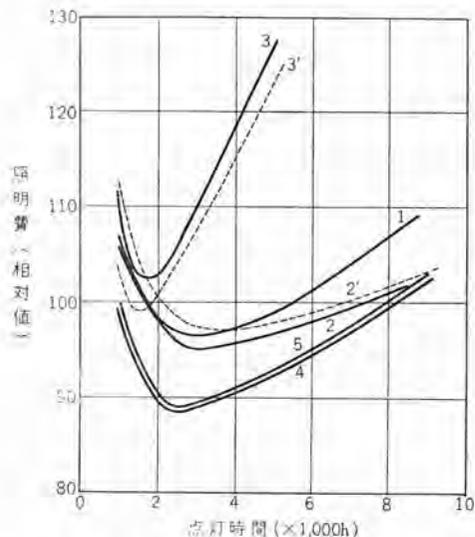


図 II. 5.2 点灯時間と照明費の関係 (管入力 : 85 W)  
Fig. II. 5.2 Lighting cost as a function of burning hours. (lamp input : 85 W)

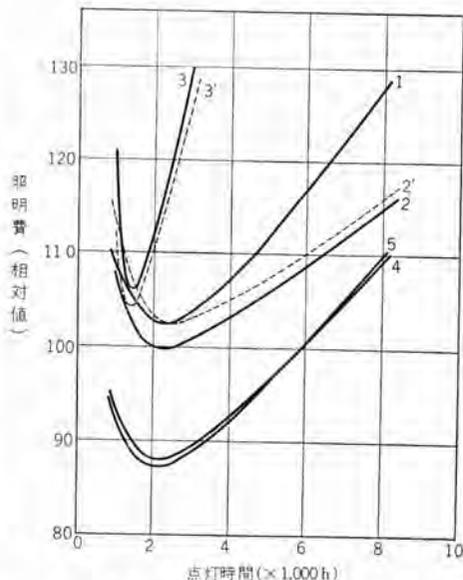


図 II. 5.3 点灯時間と照明費の関係 (管入力 : 110 W)  
Fig. II. 5.3 Lighting cost as a function of burning hours. (lamp input : 110 W)

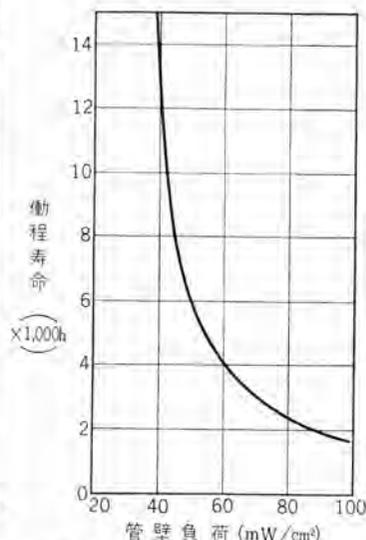


図 II. 6.1 管壁負荷と勤程寿命の関係  
Fig. II. 6.1 Maintenance life as a function of bulb loading.

図 II. 5.3 が得られる (これらの曲線の谷の部分に対応する点灯時間が経済寿命である)。図に見られるように管入力が大きくなるほど、また管径が細くなるほど点灯時間を経済寿命より延長することによる照明費の上昇は急激になり、経済寿命で点灯している場合は照明経済上有利であっても、点灯時間がある値以上になると、かえって不利になる。この限界の点灯時間を限界経済寿命と名づける。この限界経済寿命はその性質上比較の基準によって異なる相対的なものである。図 II. 5.1~図 II. 5.3 の照明費は A, T12, 40 W, 7,500 時間点灯の場合を 100 とした相対的な照明費で示してあるので、たとえば図 II. 5.3 からわかるように、A, T12, 60 W の場合は、経済寿命 3,300 h の点灯時間では A, T12, 40 W, 7,500 時間点灯の場合より約 6% 照明費が安い、8,000 h 以上の点灯時間では、かえって照明費は高くなる。すなわち、この場合、限界経済寿命は 8,000 時間である。同様にし A 20 Ne 80, 110 W の場合は、A, T12, 40 W, 7,500 時間点灯を基準とした限界寿命は 5,900 時間、また A, T12, 60 W, 7,500 時間点灯の場合を基準とした限界寿命は 5,500 時間であることが、図からわかる。(表 II. 6.1 参照)

## 6. 勤程特性を考慮した点灯時間の限界——勤程寿命

以上は、照明経済上の考慮からランプの点灯時間を考察したが、たとえ経済的に成り立つ点灯時間であっても、ランプ交換時の光束があまり小さくては、被照面の照度の変動が大きく、照明技術的に好ましくない。光束

表 II. 6.1 ランプ種類と各種寿命

ランプ種類	使用条件 $r=2,500h, P=3円/kWh$		勤程寿命 (h)	$r=4,500h, P=3円/kWh$	
	経済寿命 (h)	限界経済寿命 (h)		経済寿命 (h)	限界経済寿命 (h)
A, T12, 40 W	6,100	—	>15,000	10,500	—
A, T12, 60 W	3,300	8,000	9,800	5,000	10,000
A, T14, 60 W	4,200	>10,000	>15,000	5,700	>10,000
# $CL=¥600$	5,500	>10,000	>15,000	6,600	>10,000
A20Ne80, T12, 85W	2,700	8,200(7,800)	4,300	3,300	7,800(6,300)
# 110W	2,100	5,900(5,500)	2,700	2,500	5,000(3,900)

(注) 限界経済寿命: ( ) 内は A, T12, 60 W, 7,500 時間点灯を基準としたもので、他は A, T12, 40 W, 7,500 時間点灯を基準としたものである

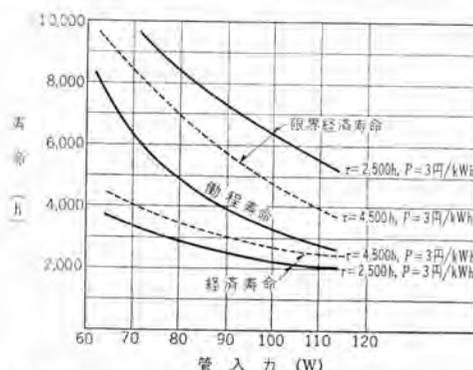


図 II. 6.2 管入力と各種寿命の関係 (A 20 Ne 80, T12)  
Fig. II. 6.2 Various kinds of lamp lives as a function of lamp input.

(filling gas : A 20 Ne 80 bulb diameter : T 12)  
(注) 限界寿命は A, T12, 60 W, 7,500 h 点灯を基準としたもの

低下の限度をどう選ぶかは個々の場合によって異なるし、また JIS 規格としても、ケイ光灯に対してはこのような光束の低下限度を考慮した寿命上の規定はないので、ここでは光束が初期値の 60% に低下する点灯時間を寿命の一つの目安として勤程寿命と呼びここに考察する。すなわち 1 で取扱った  $\alpha$  が 0.6 となる点灯時間が勤程寿命で、管壁負荷だけによって決まる。管壁負荷と

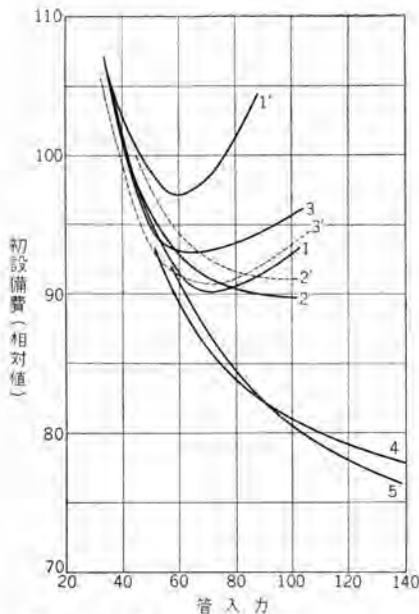


図 II. 7.1 管入力と初設備費の関係  
(点灯時間：経済寿命)  
Fig. II. 7.1 Initial installation cost as a function of lamp input.  
(burning hours : economical life)

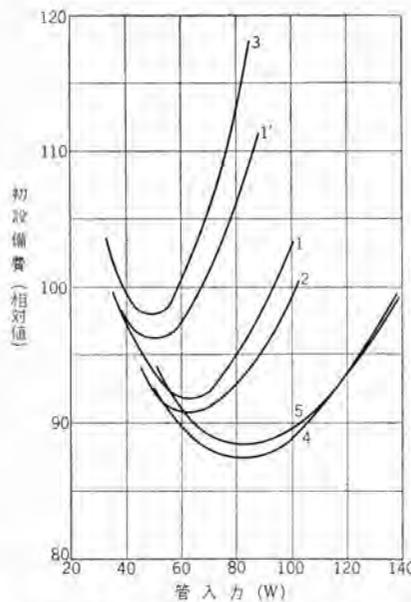


図 II. 7.2 管入力と初設備費の関係  
(点灯時間：5,000 h)  
Fig. II. 7.2 Initial installation cost as a function of lamp input.  
(burning hours : 5,000 h)

図とも初設備費はA, T12, 40 W, 7, 500時間点灯の場合を100とした相対値で示してある。これらの図に見られるように、高出力化によってかなり初設備費は減少し、とくに経済寿命を点灯時間に選んだ場合に著しい。

## 8. む す び

ケイ 光灯を高出力化するに当たって、その製作上問題となる事項を、実験結果に基づいて概説するとともに、照明経済の立場から、高出力化の意義ならびにその限界などについて検討を加えた。経済的考察の基礎となる諸量、たとえば照明器具の価格、安定器の価格ならびに電力損失、工事費などは極力実際に基づい

て設定したが、実情はもっと変化に富むであろうし、したがって考察の結果もその場合々々に応じて多少異なるが、基本的傾向としてはこの論文の結果が適用されるであろう。そして経済的見地から考えた場合、ケイ 光灯の高出力化には限度があり、また高出力 ランプ は一般照明用光源として万能ではなく、限定された使用分野を有することに留意しなければならない。

## 参 考 文 献

## 7. 初 設 備 費

上記照明費は、初設備費、およびその償却、年間点灯費などあらゆる要素を加味した総合的な経費であるが、実際の場合、初設備費が照明方式選択上の重要な要素となることがある。ここに初設備費だけについて検討する。

平均光束の1 lm 当たりの初設備費は  $\frac{1}{F_m} (C_F + C_B + C_I + C_L)$  で表わされ、平均光束  $F_m$  は ランプ の灯点時間によって異なるので、初設備費も点灯時間をいくらにするかによって異なり、点灯時間が長くなるほど高くなる。いま管入力に応じた経済寿命を点灯時間に選んだ場合について管入力と初設備費との関係を求めると図 II. 7.1 が得られ、また、管入力にかかわらず点灯時間を5,000時間とした場合について示すと図 II. 7.2 のようになる。両

て設定したが、実情はもっと変化に富むであろうし、したがって考察の結果もその場合々々に応じて多少異なるが、基本的傾向としてはこの論文の結果が適用されるであろう。そして経済的見地から考えた場合、ケイ 光灯の高出力化には限度があり、また高出力 ランプ は一般照明用光源として万能ではなく、限定された使用分野を有することに留意しなければならない。

- (1) J. F. Waymouth, W. C. Gungle, C. W. Jerome: Sylvania Technologist 9, 102 (1956).
- (2) C. J. Bernier, W. C. Gungle: Illum. Eng. 53, 32 (1958).
- (3) Westinghouse Engineer 18, 24 (1958).
- (4) 竹田: 照学誌 43, 463 (昭 34).
- (5) H. J. J. van Boort, D. Kolkman: Philips Tech. Rev. 19, 333 (1957/58).
- (6) J. O. Aicher, E. Lemmers: Illum. Eng. 52, 579 (1957).
- (7) G. R. Baumgartner, R. T. Dorsey, E. A. Lindsay: Illum. Eng. 52, 587 (1957).
- (8) J. O. Aicher, E. Lemmers: Illum. Eng. 55, 39 (1960).
- (9) M. E. Keck: Illum. Eng. 55, 102 (1960).
- (10) P. J. Underwood, C. E. Beck: Illum. Eng. 55, 47 (1960).
- (11) Sylvania Electric Products: Engineering Bulletin 0-192 (1958).
- (12) J. F. Waymouth, F. Bitter: Journ. of App. Phys. 27, 122 (1956).
- (13) 竹田: 照学誌 44, 219 (昭 35).
- (14) 木崎: 電学誌 79, 55 (昭 34).
- (15) 竹田: 照学誌 44, 131 (昭 35).
- (16) 竹田: 照学誌 44, 171 (昭 35).
- (17) 久保・村井:「三菱電機」, 30, No. 7, p. 14 (昭 31).
- (18) 照明学会編: 照明のデータブック, 529 (昭 28).
- (19) 山下: 照学誌 37, 208 (昭 28).
- (20) E. F. Lowery: Illum. Eng. 47, 639 (1952).

# 道路照明における各種光源の経済比較

本 社 小 堀 富 次 雄*

## Economic Comparison of Various Light Sources in Street Lighting

Head Office Fujio KOBORI

With the recent diffusion of motor cars in this country, highways to be exclusively used for them have been planned elsewhere. Then street lighting to assure the safety of high speed traffic has come in demand. Of various light sources available nowadays, what is generally called highway type has been concluded the most advantageous as a result of economic comparison made by the writer. This is a high output fluorescent lamp, a recent development as the outgrowth of mercury highway street lighting that has had many years successful experience.

### 1. ま え が き

近時、自動車の発達、普及につれてわが国でも本格的な自動車専用の高速道路の建設が計画され、着々完成に近づいていることはまことに喜ばしい。これらの高速道路の建設とともに夜間における道路照明についての研究も種々行なわれ、着々成果を上げているが、実施面においてはまだ実績もほとんどなく、欧米の現状からははるかに遅れた現状であることはいうまでもない。

道路交通のもっとも大きな目的は自動車の激増にともなう安全の問題で、その使命も自動車を高速に運行し、しかも安全を期することにある。したがって、高速道路の建設において考慮される技術的問題も単に道路建設に関する土木工学上の技術だけではなく、車の物理学的運動、運転上の心理学などあらゆる科学的知識を活用しなければならぬ。

ここでは道路照明に使用される光源中、今後、数多く使用されると思われるケイ光水銀灯、高出力ケイ光灯および標準形ケイ光灯とそれぞれに適した各形式の灯具について経済比較を行なった。白熱電球による道路照明は今後の照明のあり方から判断して計算には入れなかった。

### 2. 高速道路の諸施設と照明

世をあげて航空機の時代であるが地上においては鉄道から漸次、自動車に移行し、米国では現代は自動車交通時代とされ、とくに道路の整備は米国の繁栄をもたらすものとし、自動車交通の迅速性、便宜性、積載の伸縮性、快適性などが広く認識され、舗装道路の完備、道路照明

の研究も盛んである。これらの米国の道路照明については先般、数多くの施設例で技術解説⁽¹⁾したがこのように自動車による高速度運行とそれにとまなう、高速道路の整備は世界的な傾向である。

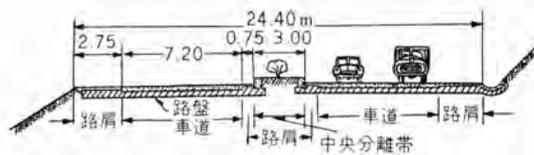
高速道路の定義⁽²⁾は「上り下り各2車線以上、中央に分離帯（グリーベルト地帯）を設けて高速で走る車専用の道路であり、一定の場所以外での人の出入は制限され、交差は全部、完全に立体交差で平面的な交差はない」としている。このことは車の正面衝突を避け、車および人に対する安全対策としての考慮が払われているものと考えられる。

さらに高速道路は平面道路・高架・橋梁およびトンネルのほか インターチェンジ（立体接続部）・バスストップ（停留所）および サービスエリア（休憩施設—パーキングスペース、ガソリンスタンド、食堂）などからなり立ち、その他各種の道路標識も必要とする。

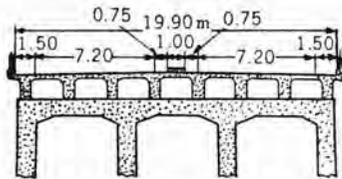
これらの諸施設と照明との関連であるが高速道路は一般の交通道路と若干性質を異にしている。すなわち、前記の平面道路、高架および橋梁は同上道路上の連続した構築物であり、同様に連続した部分中のトンネルは別としてほぼ同様の照明計画でよい。交通道路にある橋梁では特殊な照明方法を講じているのに対して高速道路では自動車を中心として考えた場合バスストップ間の道路でしかも連続した細長い建造物であるからである。

さらに道路標識はもちろん、バスストップ、サービスエリア等の区別ができるように照明も考慮され、支線へはいる個所のナトリウム灯とか純黄色カラーケイ光灯など特殊な光色を有する光源も必要となる。

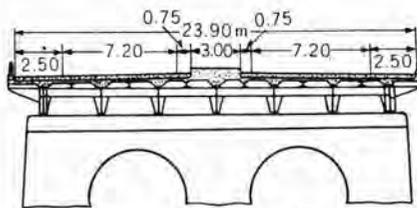
図2.1は名神高速道路に使用される道路の横断面図⁽³⁾



(a) 道路標準横断面



(b) 高架標準横断面



(c) 橋梁標準横断面 (橋長 30 m 未満)

図 2.1 名神高速道路横断面図

Fig. 2.1 Cross section of Nagoya-Kobe highway.

表 2.1 道路、公園その他の広場の照度基準 (JIS-Z 9110-1960 付表 8)

照度段階	標準照度 (lx)	照度範囲 (lx)	場 所 名
b	100	150~70	*高速道路のトンネル
c	50	70~30	*トンネル *一般地下道
d	20	30~15	
e	10	15~7	交通量多く繁華な道路
f	5	7~3	商店街 交差点
g	2	3~1.5	交通量多く繁華でない道路
h	1	1.5~0.7	交通量の少ない道路, 住宅地区の道路
i	0.5	0.7~0.3	公園その他の広場

備考 *出入口の昼間の照度は、この値よりさらに高くする必要がある。

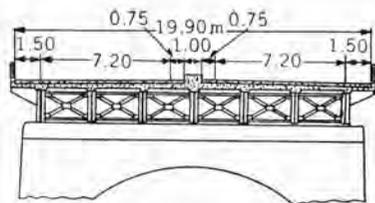
で (a) 平面道路 (b) 高架の標準横断面, (c)(d)(e) 橋梁 (橋長 30 m 未満, 30~100 m および 100 m 以上) の標準横断面 (f) トンネル 標準横断面を示している。

表 2.1 は日本工業規格 JIS-Z-9110-1960 照度基準中の付表 8 道路公園その他で各場所名別に照度段階が定められている。標準照度、照度範囲は便宜のため併記したものである。

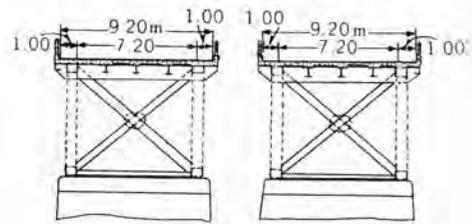
### 3. 道路照明用光源の特性と灯具の選定

過去においては米国の道路照明の光源もその大半は白熱電球であった。白熱電球の技術的進歩も全光束および効率などに限度があり、今後の光源としては高圧水銀灯またはケイ光灯などの放電現象を利用したものが道路照明として広く使用されると予想されている。⁽⁴⁾ これらは特性として全光束の大きさ、高効率、電圧、周波数特性、低温特性の優秀さが評価され、さらに光源だけでなく、光源を取付けた灯具と柱、アームを含めて街路灯として道路に配置した場合、光源と灯具を組合せての配光・ま

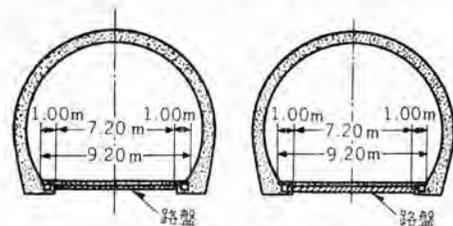
道路照明における各種光源の経済比較・小堀



(d) 橋梁標準横断面 (橋長 30 ~100 m)



(e) 橋梁標準横断面 (橋長 100 m 以上)



(f) トンネル 標準横断面

ぶしさ・安定性および風速・風圧に対する十分な強度を有する構造、光源の交換、清掃しやすい保守の問題などを考慮しなければならない。

さて欧米の現状では米国では高圧水銀灯およびケイ光灯水銀灯が主でケイ光灯(主として高出力形)はまだ実験段階または試験中⁽¹⁾⁽⁶⁾である。しかし高出力ケイ光灯 72" T-12 100W×4 灯用は道路照明用灯具の標準形となっている。⁽⁶⁾これは経済的見地からいえることで過去において Research Subcommittee, Committee on Street and High Way Lighting (IES) においてケイ光灯(標準形のもの)による道路照明は白熱電球および高圧水銀灯に比較して本質的に経済上の不利益を生ずるとの結論を出した。⁽⁷⁾

その後 1954 年高出力ケイ光灯が米国で完成するとともに 100 W のような大形のもので大光束、高効率および低温特性のすぐれた点などによる利益が認められ、加えるにケイ光灯のすぐれた一般特性、とくに道路照明用として低輝度のためぬれた舗道が光らず高速運転中夜間でも視力が高められること、配光からは細長い形状の光源のため幅の広い配光が得られる。このことは道路照明に有利である。さらに比較的寿命が長く光源交換のため保守が容易である点などから従来の標準形ケイ光灯より一歩前進した高出力ケイ光灯が再検討されつつあるように思われる。これらを裏づけるように、米国内の高速道路、交通道路、橋梁の照明用としてすでに施設された実例は上述のように報告したとおりである。

ただ高出力ケイ光灯を使用した灯具では光源、したが

って灯具・安定器が大きく、構造も複雑になりやすく強度の点から柱・アームなども大きくじょうぶなものにする必要上、街路灯として一体とした場合、価格が高くなる不利益が残された問題とされている。

以上に対してわが国の道路とくに商店街に見受けるケイ光灯 20 W 1～3 灯程度のものでは道路用の灯具としてはまったく無意味な存在でしかない。道路上の照度はきわめて低いばかりでなく、かりに数多く施設して所要の照度を出したとして灯具の効率が悪く、灯具は非常に

多く、ランプ交換・保守など考慮するとき、後述の光源を使用した灯具に比較してその照明費は非常に高価なものとなることは論をまたない。

また、上記の水銀灯では道路幅の大小、交通量に応じて所要照度を満足されるように 250～400 W が多くさらに 700～1,000 W などの大形のものも使用される気運にある。欧州道路照明では米国とは少し実情が違い水銀灯とケイ光灯が相半ばし、むしろケイ光灯のほうが多く使用されているとの報告⁽⁵⁾⁽⁸⁾もある。

表 3.1 道路照明用各種光源の特性と灯具の比較 (100 V 50/60 c/s)

光源の種類	ケイ光水銀灯				高出力ケイ光灯			標準形ケイ光灯		
	HF-250		HF-400		FLR-60H-W	FLR-80H-W	FLR-110H-W	FLR-40W		
光	大きさ (W)	250	400	60	80	110	40			
	長さ (mm)	245	290	1,198	1,500	2,368	1,198			
	管径 (mm)	100	120	38	38	38	38			
	口金 (形状)	E-39 (モーガル形)				P-35-17 (二重凹形)			P-35-2752 (2本ピン)	
源	起動方式	漏洩変圧器形				直列逐次ラビッドスタート形			ラビッドスタート形	
	管電流 (A)	2.1	3.3	0.8	0.9	0.8	0.435			
	全光束 (Lm)	10,500	21,000	4,150	5,500	8,200	2,800			
	ランプ効率 (Lm/W)	42.0	52.5	69.2	68.8	74.5	70.0			
	6,000				7,500			7,500		
照明器具	形式	グローブ形	ハイウェイ形	グローブ形	ハイウェイ形	反射ガラス付防水形			透明プラスチックカバー形	
	ランプ数/灯具	1		1		2	2	2	2	
	安定器損失 (W)	25		39		25	35	37	23	
	力率 (%)	90		90		90	90	90	95	
価格 (円)	減光補償率	1.4		1.4		1.6	1.6	1.6	1.6	
	ランプ (1個)	5,950		6,900		700	900	1,300	500	
	灯具 (安定器含む)	17,100	22,100	18,900	23,900	14,000	17,000	26,000	17,500	
	付属品 (アーム、柱)	12,800		12,800		10,000			10,000	
配線設備費	42,000		49,400		36,000	38,400	43,500	34,000	43,500	

注：1. 付属品 (アーム、柱) の価格は道路幅 16 m の場合  
2. 配線設備費は配管、柱取り付けおよび配線工事を含む

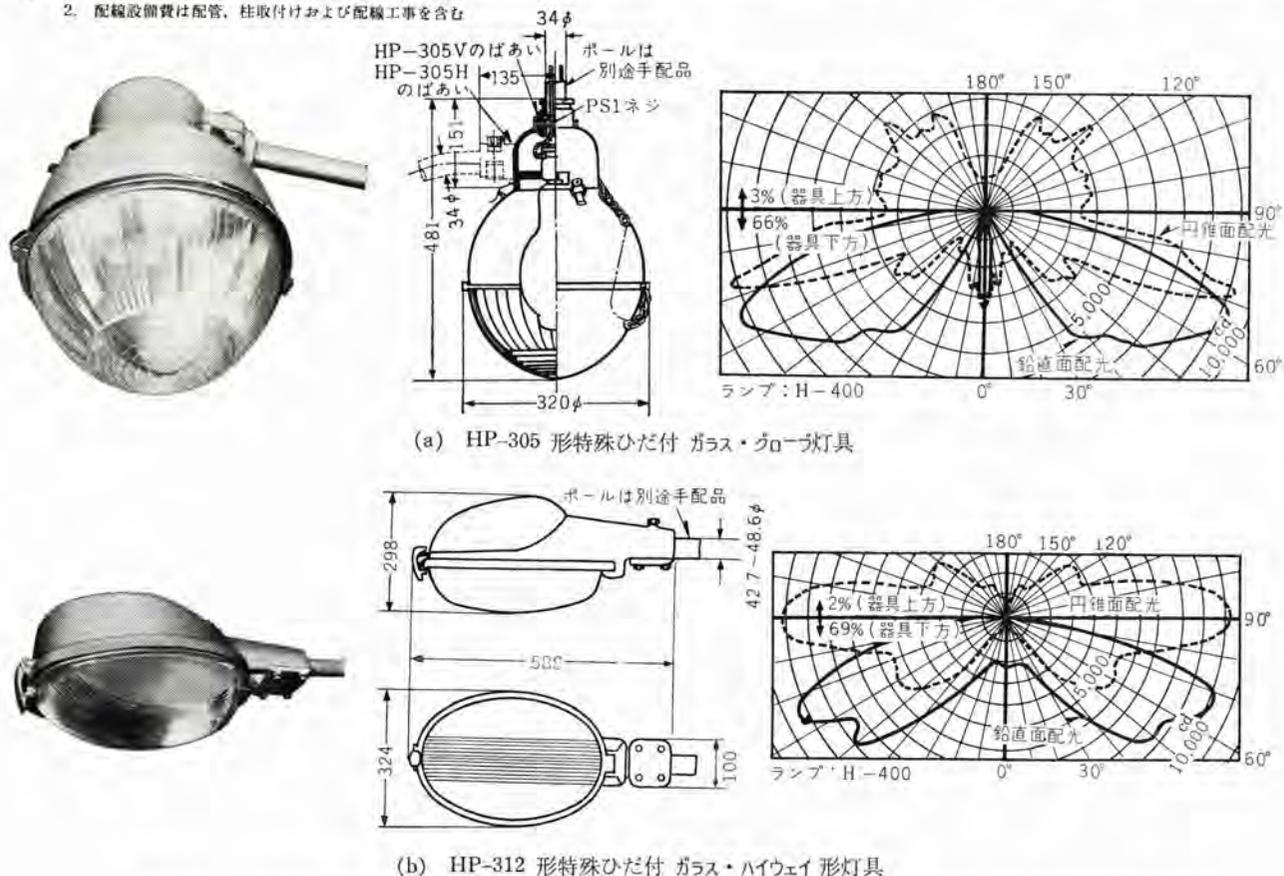


図 3.1 ケイ光水銀灯用照明器具

Fig. 3.1 Luminaires of fluorescent mercury lamp.

(c) 付表 道路照明用水銀灯の水平面照度表 (lx)

光源直下からの距離 (m)	0	5	10	15	20	25
HP-305 形	20	30	10	5	2	1
HP-312 形	40	30	20	10	5	3

注 光源は H-400T ランプ、光源の高さは地上 7 m のとき

以上のような状況から判断してこの論文の主題である「経済比較」の対象としての光源および灯具は表3.1のようにケイ光水銀灯 HF-250 および 400 W の 2 種と灯具は特殊ひだ付 ガラスグローブ形および特殊ひだ付 ガラスカバーの本格的ハイウェイ形の2種の組合せ、高出力ケイ光灯は FLR-60 H, 80 H および 110 H-W × 2 灯用道路照明用灯具として本年3月東京上野公園の「新しい屋外灯」展示会⁽⁹⁾に出品した FLR-110 H-W × 2 灯用を基本として考慮した。この形は反射ガリ付の防水形のものでランナは露出形のものである。さらに比較のため標準形ケイ



図 3.2 (a) 高出力ケイ光灯 FLR-110 H × 2 灯  
Fig 3.2 (a) High output fluorescent luminaire.

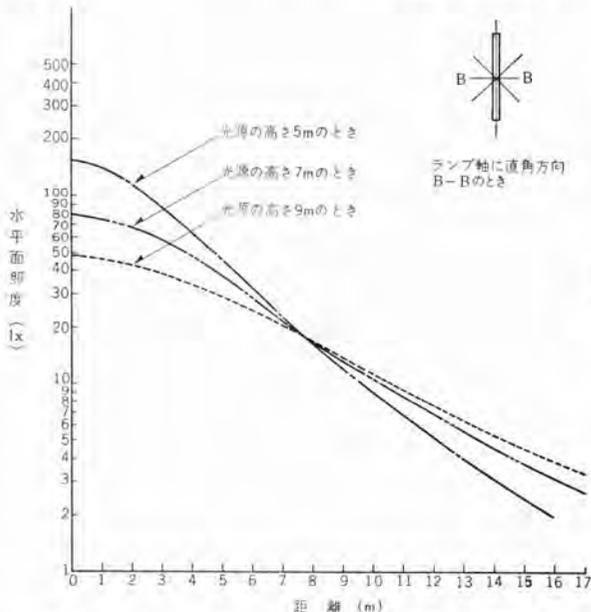


図 3.2 (b) 高出力ケイ光灯反射ガリ付防水形街路灯 FHR-1102 ケイ光灯器具照度曲線 (使用ランナ FLR-110 H-W × 2 (8,200 lm × 2))

Fig. 3.2 (b) High output fluorescent street light with waterproof reflector light distribution curves.

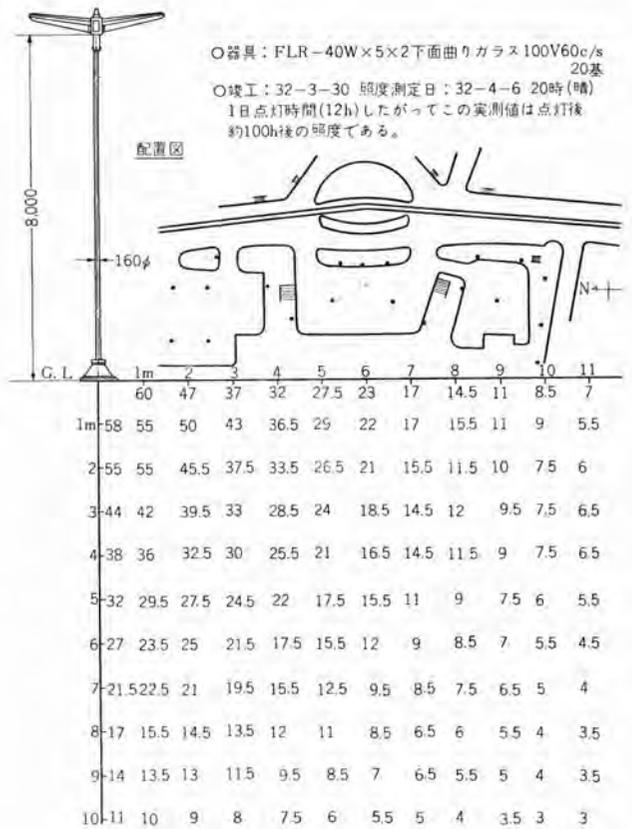
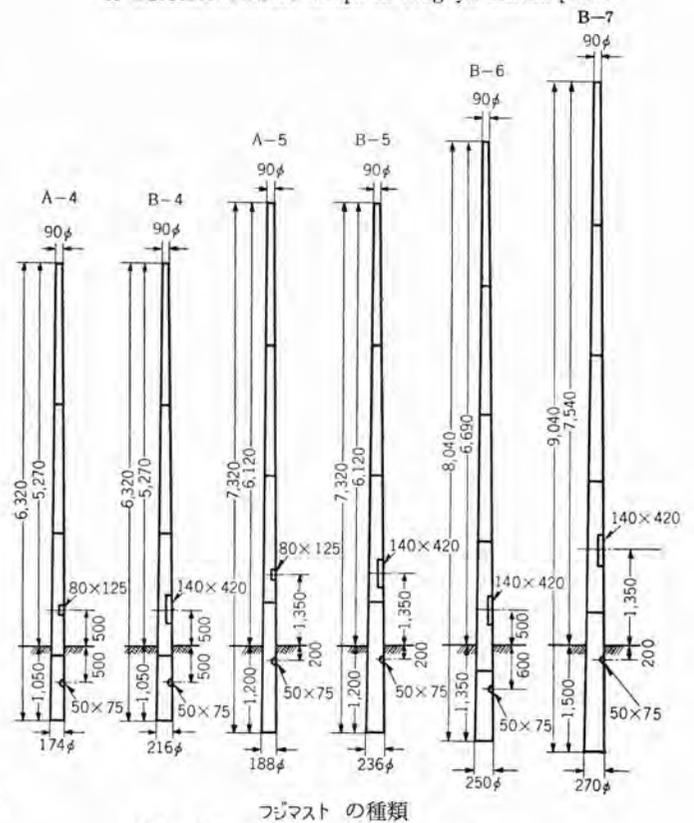


図 3.3 名古屋駅前広場ケイ光灯街路灯照度実測および配置

Fig. 3.3 Illumination measurement and arrangement of fluorescent street lamps of Nagoya station plaza.



フジマストの種類

- A形 1/75 テーパ
- ・ A形は、ケイ光灯、普通電球の照明柱用である
- ・ 柱体内にスイッチを内蔵できる。
- B形 1/60 テーパ
- ・ B形は水銀灯の照明柱用である。
- ・ 2形以上は安定器と大形スイッチを内蔵できる

図 3.4 フジマスト寸法明細図

Fig. 3.4 Dimensions of Fuji masts.



図 3.5 (a) 東京高速道路 (東京有楽町)  
HF-300 DT 交通道路用 ハイウ  
エイ形照明器具  
108 灯 約 12 km 千鳥形配列

Fig. 3.5 (a) Tokyo highway street lighting.

光灯 FLR-40 W × 5 灯用および 2 灯用 プラスチックカバー付のものも計算した。同形のは透明ガラスカバー付であって本来、広場照明用として使用され、昭和 32 年 3 月国鉄名古屋駅前広場の照明用として施設された FLR-40 W × 5 灯用 × 2 セット付 灯具を参考にした。それらの灯具の外形図配光曲線および施設された場合の等照度曲線など示すと図 3.1 ~ 図 3.3 のとおりである。

なお、表 3.1 の中に価格に関しては ランプ、灯具について カタログ 記載のものはそのまま使用し、高出力ケイ光灯、標準形ケイ光灯の灯具については見積照会の上、当方で大体、妥当と思われる価格を採用した。柱は コンクリート製、大理石製など最近では街路灯専用のものがあるが、ここでは フジマスト⁽¹⁰⁾を使用した。(図 3.4) 付属品として アーム と柱の価格は道路幅 16m の場合とし路上から光源までの高さ 8m とし、配線設備費には配管 コンクリート 穴あけ、柱取り付けおよび変電所までの配線工事を含んでいて、東京高速道路 (東京都千代田区有楽町西土橋区他 7 区 約 12 km ケイ光水銀灯 HF-300 DT × 108 灯 … 昭和 33 年施設) の屋上街路灯設備費、配管工事費 (施工担当は東神電気工業株式会社) の資料により計算の基礎を決定した。

なお、本格的高速道路照明の一例として前記の東京高速道路の照明を紹介すると図 3.5 (a) (b) (c) (d) のようである。

#### 4. 経済比較とその結果⁽¹²⁾

経済比較の方法は種々あるが、ここでは Westinghouse Cost of Lighting Analysis for Typical Business Street CA-5607 S (Sept. 1956) の項目によることとした。この方法によれば

- (1) 光源の種類と灯具の形式を決める。

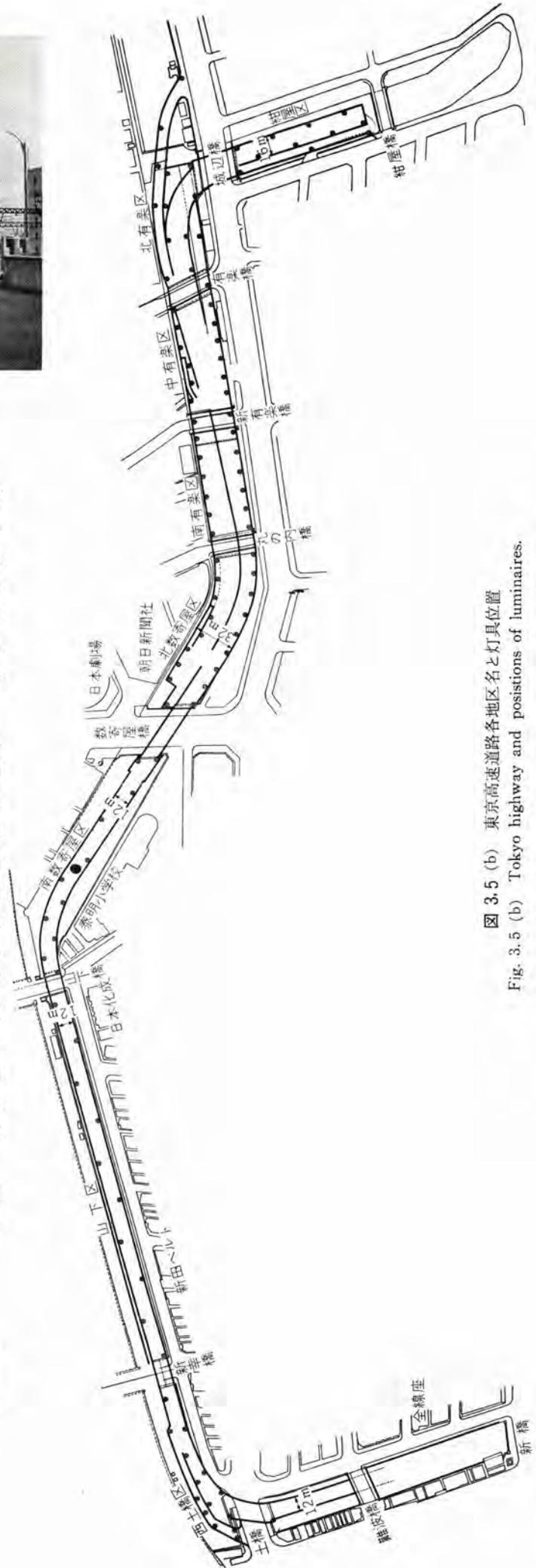


図 3.5 (b) 東京高速道路各地区名と灯具位置  
Fig. 3.5 (b) Tokyo highway and positions of luminaires.

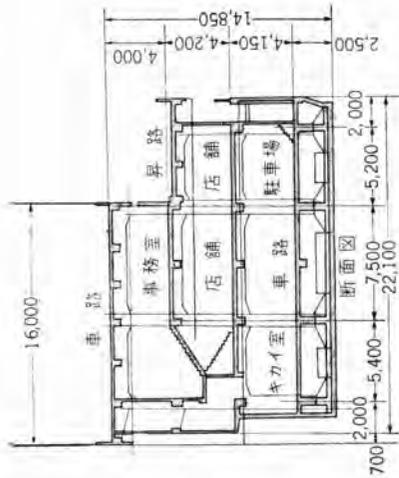


図 3.5 (c) 東京高速道路緑屋区の立面図および断面図  
Fig. 3.5 (c) Elevation and cross-section of Tokyo highway.

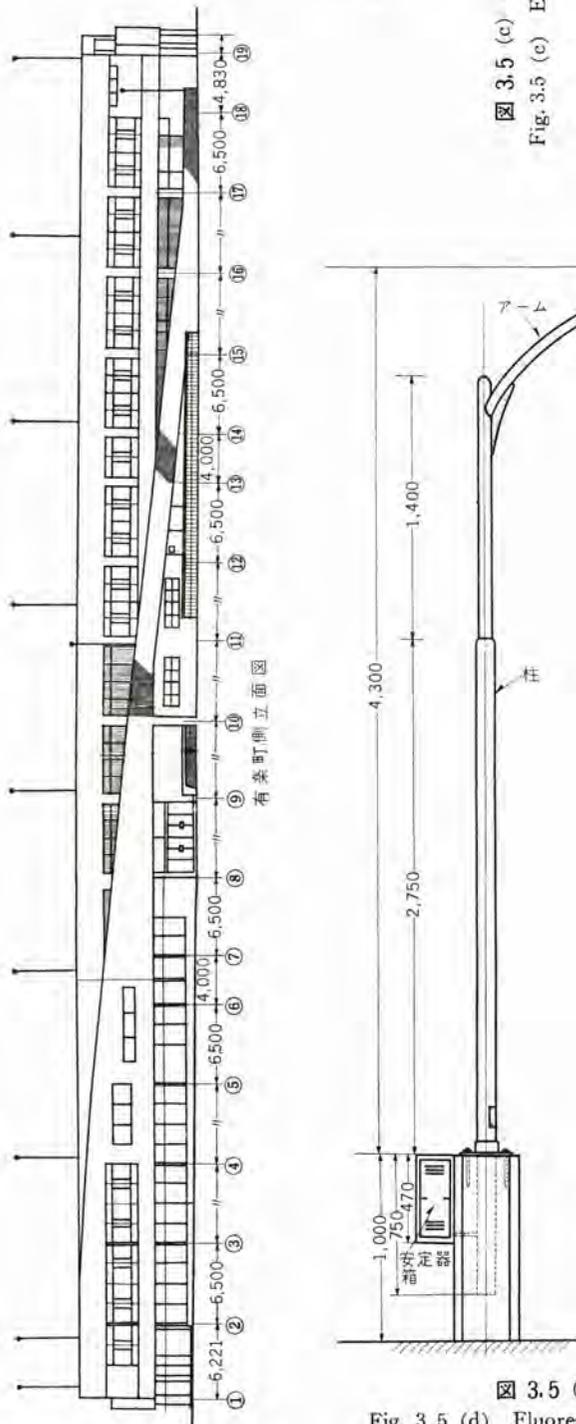


図 3.5 (d) 東京高速道路のケイ光水銀灯による灯具と等照度曲線

Fig. 3.5 (d) Fluorescent luminaires and light distribution curves of Tokyo highway

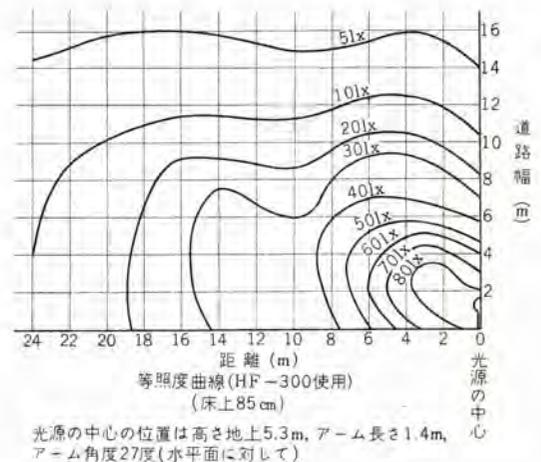
- (2) 所定の道路幅と所要水平面照度に対して照明設計の計算をし灯具数、間隔配置などを決定する。
  - (3) つぎに初設備、年間固定費および年間運転費を算出する。年間運転費は年間点灯時間に対するものでランプ および部品交換費、灯具の清掃のための保守費、年間電力費および全運転費を含んでいる。
  - (4) 年間全照明費を算出し、照明費比率を出し、各種光源による灯具の照明費の比較を行なう。
- 以上の経済比較の資料としては交通道路として

- (1) 道路幅 8—16—24 m の範囲とし
- (2) 平均水平面照度 10lx
- (3) 年間点灯時間 4,500 h (約 12 h/day)
- (4) 電源 100 V 50/60 c/s
- (5) 道路長 1 km あたりの諸経費で照明費を算出する。

なお、街路灯の柱の高さは実用上限度があり、光源の種類によっては照度のむら、まぶしさを防ぐ点から高い

ほうがよいが一方、照度の低下、道路幅、道路として必要な高さ、経済面もあって極端に高くても低くても工合の悪い場合が多く、5~10 m の範囲が普通である。柱の高さについては光源の高さとまぶしさとの比の関係がある。光源の高さ 9 m で、まぶしさを 1.0 とすると 7.6 m の高さで 1.4, 6 m では 2.1, 5.3 m で 2.7 の如くまぶしさは増し、3 m では 13.1 の如く増大する。⁽¹³⁾ まぶしさを防ぐには光源は高い方がよいが高すぎると路面の照度の均一を欠くおそれがある。

したがって道路幅(B)と柱の高さ(光源の高さ)(H)との関係を表 4.1 のように定め、各光源に対する灯具の照明率を計算した。(表 4.2)



以上のようにして道路幅 8, 16 および 24m の 3 通りを計算したのが表 4.3 (a), (b), (c) である。経済比較の結論として

(1) 道路幅 16m の場合、光源および灯具として

表 4.1 道路幅と光源の高さの関係

道路幅 B (m)	8	12	16	20	24
光源の高さ H (m)	5.3	6	8	8	10
B/H	1.5	2.0	2.0	2.5	2.4

表 4.2 道路照明用灯具の照明率

B/H	ケイ光水銀灯		高出力ケイ光灯			標準形ケイ光灯	
	グループ形	ハイウェイ形	反射ガサ付防水形			プラスチックカバー形	
	HF-250	HF-400	FLR-60H×2	FLR-80H×2	FLR-110H×2	FLR-40×2	FLR-40×5
1.5	0.24	0.26	0.22	0.23	0.24	0.19	0.20
2.0	0.28	0.30	0.24	0.26	0.28	0.21	0.22
2.5	0.31	0.32	0.26	0.28	0.30	0.23	0.24

表 4.3 交通道路照明の各種光源による経済比較 (100 V 50/60 c/s)

(a) 道路幅 16m, 平均照度 16lx 10lx 道路長 1km 当たりの費用についての算出

光源	1. 光源の種類	ケイ光水銀灯				高出力ケイ光灯			標準形ケイ光灯	
	2. 光源の形式	HF-250		HF-400		FLR-60H-W	FLR-80H-W	FLR-110H-W	FLR-40W	
	3. 灯具の形式	グループ形	ハイウェイ形	グループ形	ハイウェイ形	反射ガサ付防水形			透明プラスチックカバー形	
	4. ランプ数/灯具 (lm)	1	1	1	1	2	2	2	2	5
基礎資料	5. 全光束/灯具 (lm)	10,500		21,000		4,150×2	5,500×2	8,200×2	2,800×2	2,800×5
	6. ランプ寿命 (h)	6,000		6,000		7,500	7,500	7,500	7,500	
	7. 消費電力 (W)/灯具	375		431		145	195	257	103	260
	8. 照明率 U	0.28	0.30	0.23	0.30	0.24	0.26	0.28	0.21	0.22
	9. 減光補償率 D	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	10. 灯具数 (間隔 m-配置)	76	72	38	36	130	98	66	216	82
	11. 平均水平面照度 (lx)	(26.3-対照形)	(28.0-対照形)	(52.5-千鳥形)	(56.2-千鳥形)	(15.5-対照形)	(20.6-対照形)	(30.5-千鳥形)	(9.2-対照形)	(24.0-対照形)
	12. 電力費 (円/kWh)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	13. 年間点灯時間 (h)	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
	14. 灯具価格 (ランプ別)	17,100	22,100	18,900	23,900	14,000	17,000	26,000	17,500	36,000
	15. 灯具あたりの付属品(アーム, 柱)	12,800	12,800	12,800	12,800	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
	16. 配線設備費	42,000	42,000	49,400	49,400	36,000	38,400	43,500	34,000	43,500
	17. ランプ価格 (1個)	5,950	5,950	6,900	6,900	700	900	1,300	500	500
18. 灯具あたりのランプ価格(4×17)	5,950	5,950	6,900	6,900	1,400	1,800	2,600	1,000	2,500	
19. 灯具あたりの価格 (14+15+16+18)	77,850	82,850	88,000	93,000	61,400	72,000	82,100	62,500	92,000	
20. 全設備費 (10×19)	5,900,000	5,970,000	3,430,000	3,350,000	7,980,000	6,580,000	5,420,000	13,600,000	7,700	
年間固定費(円)	21. 灯具あたりの価格 (14+15+16)	71,900	76,900	81,100	86,100	60,000	65,400	79,500	61,500	100,200
	22. 全備費 (10×21)	5,460,000	5,550,000	3,080,000	3,100,000	7,800,000	65,400,000	5,250,000	13,400,000	8,400,000
	23. 年間固定費 (22 の 15%)	820,000	833,000	462,000	465,000	1,170,000	975,000	788,000	2,010,000	1,260,000
年間運転費(円)	24. 年間ランプ交換数(4+10×13+6)	57	54	29	27	156	117	80	263	245
	25. 年間ランプ交換費 (17×24)	340,000	320,000	196,000	186,000	110,000	105,000	104,000	131,000	126,000
	26. 年間交換部品費 (22 の 1%)	54,600	55,500	30,800	31,000	78,000	65,000	52,500	134,000	84,000
	27. 年間保守費 (25+26)	394,600	375,500	226,800	217,000	191,500	173,000	159,200	281,500	213,800
	28. ランプあたりの交換費	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	29. ランプ交換の全入件費 (24×28)	5,700	5,400	2,900	2,700	15,600	11,700	8,000	26,300	24,500
	30. 灯具あたりの清掃費	200	200	200	200	200	200	200	200	300
	31. 年間清掃回数	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	32. 年間清掃費 (10×30×31)	30,400	28,800	15,200	14,400	52,000	39,200	26,400	87,300	50,300
	33. 年間全保守入件費 (29+32)	36,100	34,200	18,100	17,100	67,600	50,900	34,400	113,600	74,800
	24. 年間全保守費 (27+33)	316,700	303,700	179,900	172,100	221,100	185,900	155,900	335,100	242,800
35. 年間電力費(7×10×12÷13(1,000))	725,000	690,000	570,000	540,000	657,000	663,000	590,000	780,000	760,000	
36. 年間全運転費 (34+35)	1,041,700	993,700	749,900	712,100	878,100	848,900	745,900	1,115,100	1,002,800	
照明費(円)	37. 年間全照明費 (23+36)	1,861,700	1,826,700	1,211,900	1,177,100	2,048,100	1,823,900	1,533,900	3,125,500	2,262,800
	38. 向上比率 (%)	159	156	103	100	174	157	131	266	192
	39. 照度あたりの照明費 (37÷11)	186,170	182,670	121,190	117,710	209,810	186,890	153,390	312,550	226,280
	40. 向上比率 (%)	159	156	103	100	174	157	131	266	192

(b) 道路幅 8m の場合 (条件 (a) に同じ)

光源	1. 光源の種類	ケイ光水銀灯				高出力ケイ光灯			標準形ケイ光灯	
	2. 光源の形式	HF-250		HF-400		FLR-60H-W	FLR-80H-W	FLR-110H-W	FLR-40W	
	3. 灯具の形式	グループ形	ハイウェイ形	グループ形	ハイウェイ形	反射ガサ付防水形			透明プラスチックカバー形	
	4. ランプ数/灯具	1	1	1	1	2	2	2	2	5
経済比較(千円)	10. 灯具数 (間隔 m-配置)	44 (45-千鳥形)	40 (49-千鳥形)	20 (90-千鳥形)	20 (98-千鳥形)	70 (28.5-千鳥形)	50 (39.6-千鳥形)	32 (61.5-千鳥形)	120 (16.6-対照形)	46 (43.8-千鳥形)
	20. 全初設備費	3,430	3,310	1,935	1,860	4,480	3,560	2,760	8,400	4,920
	23. 年間固定費	474	460	268	258	658	520	403	1,245	720
	34. 年間全保守費	248.5	228.7	142.3	129.7	139.2	114.7	94.3	217.4	158.4
	35. 年間電力費	420	380	328	297	328	337	285	430	412
	36. 年間全運転費	668.5	608.7	470.3	426.7	489.2	451.7	379.3	647.4	570.4
	37. 年間全照明費	1,142.5	1,068.7	—	—	1,147.2	971.7	782.4	1,892.4	1,290.4
	40. 向上比率 (%)	106.5	100	—	—	107	90.5	73	177	121

(c) 道路幅 24m の場合 (条件 (a) に同じ)

経済比較(千円)	10. 灯具数 (間隔 m-配置)	104 (19.3-対照形)	100 (20.0-対照形)	52 (38.7-千鳥形)	50 (40.0-千鳥形)	178 (11.2-対照形)	126 (16.0-対照形)	78 (25.8-対照形)	298 (6.7-対照形)	114 (17.5-対照形)
	20. 全初設備費	8,100	8,285	4,570	4,640	10,900	9,100	6,400	18,700	10,500
23. 年間固定費	1,120	1,150	634	645	1,600	1,240	930	—	—	
34. 年間全保守費	589.1	572.4	334.9	324.8	348.5	284.0	223.5	—	—	
35. 年間電力費	990	950	775	745	890	850	695	1,060	1,020	
36. 年間全運転費	1,579.1	1,522.4	1,109.9	1,069.8	1,238.5	1,134	918.5	—	—	
37. 年間全照明費	2,699.1	2,672.4	1,743.9	1,714.8	2,838.5	2,374	1,848.5	—	—	
40. 向上比率 (%)	157	155	102	100	166	138	108	—	—	

ケイ光水銀灯 HF-400 (ハイウェイ形) がもっとも有利で次が HF-400 (グループ形), 高出力ケイ光灯 FLR-110H×2, の順である。HF-250 と FLR-80H×2, がほぼ同じで次に続いている。

(2) 道路幅が狭く 8m の場合では照度の均整度を考慮すると, その有利さは高出力ケイ光灯 FLR-110H×2, FLR-80H×2, HF-250, FLR-60×2, FLR-40×5 の順である。この道路幅は交通道路としては狭いので, この場合は交通道路というよりもむしろ商店街などの高天井アーケードの照明に相当すると思われる。

(3) 道路幅が 24m のように広い場合は

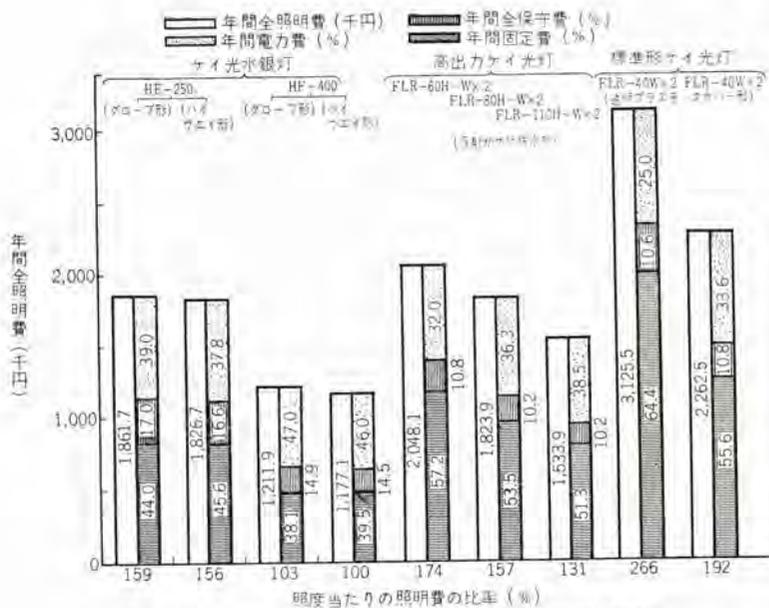


図 4.1 道路照明における各種光源の経済比較(道路幅 16 m, 平均照度 10 lx 道路長 1 km 当たりの経費の場合)  
Fig. 4.1 Economical comparison of various light sources in street lighting.

ケイ光水銀灯 HF-400(ハイウェイ形) および HF-400(グロー形) について 高出力ケイ光灯 FLR-110H×2, HF-250, FLR-80H×2 の順となる。

- (4) 以上いずれの場合でも、標準形ケイ光灯 FLR-40×2 および 5 は交通道路ではケイ光水銀灯および高出力ケイ光灯に比較して不利との結果となった。

以上の経済比較を、道路幅 16m について年間全照明費に対し年間電力費、年間全保守費および年間固定費を比率で表わすと図 4.1 のようになる。年間全保守費に対して年間電力費および年間固定費の占める割合の多いことがわかる。

また、灯具価格が全初設備費および照明費におよぼす影響を計算して見ると、高出力ケイ光灯の灯具価格は表 4.3 の予備計算では平均+18%であったが、全初設備費で+5%、照明費で+5%、標準形ケイ光灯で平均+30%であったが、それぞれ+5%、+10%程度で比較的影響は少なかった。

なお、高速道路の建設費としては自動車の運行速度と関係があり、速度 120 km/h のとき、約 600,000 千円/km, 80 km/h のとき、約 300,000 千円/km (NHK 科学談話室 34 年春、日本道路公団、名神高速道路部長 片平信貴氏談) とのことである。また首都高速道路の本年度計画によれば、1 号路線の建設は工費約 5,930,000 千円で、全長約 7.8 km を着工するとのことで、この場合の建設費は単位長 1 km あたり 750,000 千円となり、上記の建設費をはるかに上回ったものとなる。その理由としては東京都内を通るため、立体交差の高架とか、河川を掘り割り式にするとかの種々の制約によるものと思われるが、いずれにしても巨額の建設費といえよう。これに対して

照明施設では最初に要する全設備費はわずか 1%程度(今回の計算では 3,400~6,000 千円程度の値である。したがって道路照明に対する施設は十分考慮研究しなければならない。

## 5. むすび

以上、各種光源による道路照明の経済比較の結果は、一般にハイウェイ形と呼ばれるケイ光水銀灯による灯具が有利であるとの結論となった。このことは海外の実施例、とくに米国における照明施設で高速道路の照明として古くから水銀灯が多く使用されていることから予想していたわけであるが、一方高出力ケイ光灯の発達とともに高速道路の照明として、この高出力ケイ光灯が従来の標準形ケイ光灯にとって代わって使用され始めた現状から検討を加えたわけである。ケイ光水銀灯による街路灯はすでに標準品として各社とも生

産しているのに対して高出力ケイ光灯による街路灯は、まだ試作の域を出ず、したがって、それらの価格についても必ずしも他の灯具と比較して当を得ていない値であったかも知れない。しかし大体の傾向はつかみ得たと思う。

最後にこの論文をまとめるにあたり、種々資料の提出をいただいた名古屋鉄道管理局久留宮氏、国鉄名古屋電灯分区栗本氏、東神電気工業株式会社平岡課長、日本街路照明株式会社池上常務、当社の照明関係者の方々に感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- (1) 小堀：最近の米国照明施設の展望(2), 「三菱電機」, 32, No. 9 (照明特集), p.101 および p.103 (昭33).
- (2) 日本道路公団：名古屋—神戸高速道路の構想 p. 9
- (3) 日本道路公団：名古屋—神戸高速道路の構想—口絵図面
- (4) Street Lighting—Then and Now  
Illum Eng 51, 1 p. 87 および p. 96 (1956)
- (5) 池上：道路照明を主とする欧米の照明について、照明学会誌 42, p. 515 (昭33).
- (6) 小堀：照明施設と普及の状況、照明学会誌 41, p. 45 (昭32).
- (7) Westinghouse Street Lighting Eng. Guide (1952).
- (8) 小野塚：欧米の屋外照明：照明学会誌 43, p. 549 (昭34).
- (9) 屋外灯展示会実行委員会、新しい街路灯 p.9 (昭35-6).
- (10) フジマスト：富士製鉄 カタログ。
- (11) 昭和35年電気四学会連合大会 シンポジウム S-6 「道路照明について」。
- (12) 同上 小堀：1021. 道路照明における各種光源の経済比較
- (13) I. E. S. Lighting Hand Book 3rd Ed. 20-2. (1959).

# 屋内照明の経済性の検討

本社 佐々木 武敏*

## Economic Considerations of Interior Lighting of Buildings

Head Office Taketoshi SASAKI

It has become a common practice in the interior lighting of the latest building to use fluorescent or mercury lamps except a few special cases. This is due to economical advantages of these new lights as well as the excellent characteristics. The writer discusses in this article how to make an economic consideration on the interior lighting which has been made light of in the past. This is a new age in which the lighting is an indispensable element to the living and business. This necessitates thorough study on the subject with reference to the efficiency of light sources and fixtures in an architectural plan.

### 1. ま え が き

最近の建物の照明では光源として特殊な場合をのぞけばほとんどケイ光灯または水銀灯が使用されることが常識となった感がある。これはケイ光灯や水銀灯のすぐれた特性と経済的な有利性がしからしめるものである。

従来照明施設は建物の付属設備の一部としてあまり重要視されなかったが、最近では照明の重要性が認識されるとともに照度も年々と向上の一途をたどっているので経済性も一考に値する問題となった。

照明の方法は多種多様であり、質を上げるためには費用が高くなり経済性と相反することになるが、質と経済性は別問題であり同一方式の場合では効率が問題になる。室の天井、壁、床等の反射率のように建築自体により照明効率に関係のあるものもある。建築の計画に当たり照明の効率も考慮に入れた総合的な設計が必要である。

### 2. 経済に影響する要素

屋内照明の経済問題を検討するに当たり、影響のある項目は次のとおりである。

- a. 室の形状とその反射率
- b. 光源の種類
- c. 器具の種類
- d. 照明方式
- e. 施設費と経費
- f. 保守その他

以下各項目について説明する。

### 3. 室の形状

光源と距離の関係で照度に変化することは一般によく知られていることであるが、室の形状、広さおよび天井

・壁・床の反射率によっても照度に変化する。一般に照明の計画の場合に用いられる照度とは平均照度のことで、つぎの式で表わされる。

$$E = \frac{\Phi U}{AD} \dots \dots \dots (3.1)$$

$\Phi$  ……光源の全光束  
 $U$  ……照明率  
 $A$  ……床面積  
 $D$  ……減光補償率

室指数は室の長さをX、幅をY、作業面と光源の距離をHとすると、次式が一般に使用される。(1)

$$\text{室指数} = \frac{XY}{H(X+Y)} \dots \dots \dots (3.2)$$

(直接、半直接、全般拡散照明の場合)

$$\text{室指数} = \frac{3XY}{2H(X+Y)} \dots \dots \dots (3.3)$$

(半間接、間接照明の場合)

図3.1に当社の標準器具の室指数と照明率の関係を示す。図は横軸に室指数、縦軸に照明率を示す。反射率を天井および壁を75%、50%の場合と30%、10%の二種でその中間に各種の反射率の場合が存在するがこれは省略したので類推願いたい。この曲線を見ると照明率の高低および室指数と照明率の関係が一見してわかるので便利である。経済的には照明率の高いものほど同一電力で高い照度が得られるので有利であるが、室の使用目的により照明方式、その他意匠的なことなど異なるので一律に高い効率の器具を使用するわけにはいかない。ここで注意すべきことは曲線が室指数の高い所では照明率の変化が少なく、低い所では極端に変化していることである。

したがって室指数2位より下は照明率が相当悪くなるので経済的に感心しない。また高天井の場合灯具の高さ

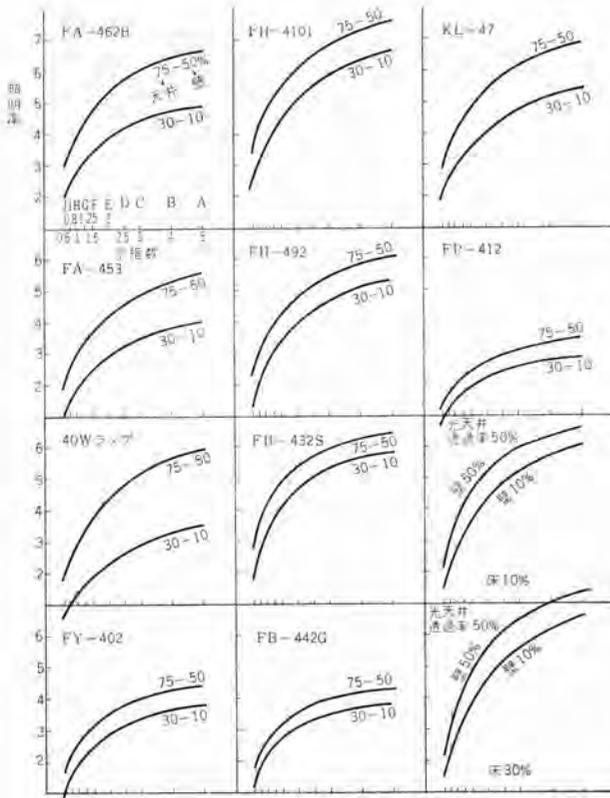


図 3.1 室指数と照明率

Fig. 3.1 Room index and illumination factor.

が心配される場合があるが、広い室の場合は室指数が高いので効率はやがた下がらない。室指数が3以上あれば一応さしつかえない。

表 3.1 は事務所の場合の一例として幅 6 m 長さ 6~20 m の場合、室指数を 2 として光源の高さを逆算して求めた表である。これによると 6 m × 12 m の室では光源の高さが 2.8 m となるから近代的のビルでは大体天井の高さであり、これ以上広い室では埋込形を採用してもよいことがわかる。室指数が高いことは照明率がよく高反射率とともに経済的な照明ができる。小室では光源の高さを下げる以外に室指数を上げる方法がないのでとくに反射率を高くとり効率を上げるべきである。つり下器具を使用することがいちばん経済的である。

#### 4. 室の反射率の影響

前節で引用した図 3.1 の照明率の曲線でわかるように反射率による効率の影響は相当大きいものである。もし完全に無反射の材料で作られた室の場合を仮定すると、作業面に達する光は照明器具より照射された直接光だけであるため普通の室の場合に比すると非常に低い照度となる。普通の室では天井、壁、床がそれぞれ光線を反射するので、照明器具より出た光は直接作業面に達する直接光と、天井壁に反射してくるものと、さらにそれらが

表 3.1 室指数を 2 とした場合の室の大きさと光源の高さの関係

幅 (m)	長さ (m)	光源より床までの高さ $H = \frac{X \cdot Y}{2(X+Y)}$	机上面を 0.8 m とした時 $H + 0.8 \text{ m}$
6	6	1.50 m	2.30 m
"	7	1.62	2.42
"	8	1.72	2.52
"	9	1.80	2.60
"	10	1.87	2.67
"	11	1.94	2.74
"	12	2.0	2.80
"	13	2.05	2.85
"	14	2.10	2.90
"	15	2.14	2.94
"	16	2.18	2.98
"	17	2.22	3.02
"	18	2.25	3.05
"	19	2.28	3.08
"	20	2.31	3.11

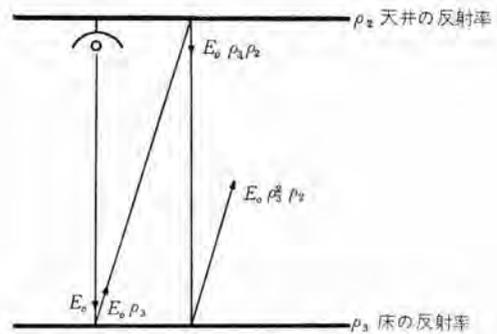


図 4.1 無限室の反射光

Fig. 4.1 Reflected light of an infinite room.

天井や壁に反射を繰り返した分の合計となるため、前の無反射の場合に比べると相当に照度が増加する。反射による照度増加を無限室（無限に広い室で天井の高さが問題にならない）に例をとって考えて見る。天井、床の反射率を  $\rho_2\rho_3$  とし、光源より直射された作業面の照度を  $E_0$  とすると第 1 回目の床よりの反射光は  $E_0\rho_3$ 、その光が天井に当たって反射されたものは  $E_0\rho_3\rho_2$  となりこの状態を次々に繰り返すと最終の照度は

$$E_1 = E_0 + \rho_2\rho_3 E_0 + (\rho_2\rho_3)^2 E_0 + (\rho_2\rho_3)^3 E_0 + \dots = \frac{E_0}{1 - \rho_2\rho_3} \dots \dots \dots (4.1)$$

天井面では

$$E_2 = \frac{\rho_2 E_0}{1 - \rho_2\rho_3} \dots \dots \dots (4.2)$$

(図 4.1 参照)

式 (4.1) (4.2) で  $\rho_2\rho_3$  が 1 に近づけば最終照度は無限大に近づくことになるが実際の建築材料では反射率の高いものでも 70~80% であるから無限大になることはない。

一般に天井の反射率は高くとることが強調されているが、床面では相当低い値がとられているが反射効果を上げるためには床の反射率も天井と同様な条件である点は

忘れてならない。

実際の室では壁があるため上式の無限室の場合とは少し異なるが反射の効果が相当大きいことは図3.1を見れば明らかである。反射効果をよくするためには天井、壁、床とも反射率のよい材料を使用すればよいわけであるが、室としてのふんい気や意匠的な問題もあり、鏡の間のようにするわけにはいかない。実際に採用されている反射率は天井70～80%、壁50～70%、床10～15%くらいである。床の反射率が低いことは照明効率を悪くしているわけであるが、これは床面のよごれの問題と従来の習慣性によるものと思われる。

床面の低い反射率は照明効率を悪くするだけでなく明視の条件より見ても光束発散度の分布が悪くなるのでおもしろくない。30%くらいまでは引上げるべきであると思う。また床だけでなく什器類の反射率もまったく同様である。図3.1の照明率の曲線では床面の反射率を記入していないがこれは14%の場合である。10%と30%の場合を式(4.1)で比較して見る。

この場合天井の反射率を75%とすると

床面の反射率30%のとき

$$E_{30} = \frac{E_0}{1 - 0.75 \times 0.3} = 1.29 E_0$$

14%のとき

$$E_{14} = \frac{E_0}{1 - 0.75 \times 0.14} = 1.12 E_0$$

10%のとき

$$E_{10} = \frac{E_0}{1 - 0.75 \times 0.1} = 1.08 E_0$$

30%と10%の場合では約2割の照度増加となる。

埋込形や反射ガサ付の器具を使用する場合は天井面が暗くなるので、この場合はとくに天井、床の反射率を高くして天井面の光束発散度を上げる必要がある。

最近の建築では窓の面積を大きくする傾向がある。明るく近代的な感じがする。しかし窓は照明上はガラスの反射率が低い(約10%)ため、反射効果が悪くなる欠点がある。

昔の建築では窓は採光、換気上不可欠のものであったが現在では必ずしも必要としない。昼間の採光の点でも外部の太陽光が利用できる範囲は床面より窓の上部までの高さの約2倍くらいでそれ以上では水平照度がとれないので机上の作業等では実用にならず幅の広い建物では昼間でもほとんど人工照明が使用されている。建築の外観、室内よりの展望等の問題を解決できれば窓はむしろ不用の物であろう。

## 5. 光源の種類

光源の効率は経済性に直接影響がある。一般に照明用として実用されているものは次の三種である。

- a. ケイ光灯
- b. 水銀灯
- c. 白熱電球

効率は同種類のものでは出力の大きいものが一般に高く、演色性や色温度で少々異なっている。代表的な光源の定格を表5.1に示す。経済的には同種のものでは光出力の大きいものが効率も高く、光束当たりの価格も安いので有利であるが、他の種類との比較は効率のほかにも寿命、電力料金、使用時間、器具類の価格等で変わるので後述する計算の結果によらなければわからない。最近出現した高出力形のケイ光灯は経済的見地より開発されたも

表 5.1 (その1) ケイ光灯の定格

形式記号	色の種別	色温度 (°K)	大きさ (W)	全光束 (lm)	平均寿命 (h)	
FL-10D	昼光色	6,500	10	430	5,000	
FL-10D-DL	デフラックス昼光色	"	"	350	"	
FL-10W	冷白色	4,500	"	480	"	
FL-10W-DL	デフラックス冷白色	"	"	385	"	
FL-15SD	昼光色	6,500	15	690	5,000	
FL-15SD-DL	デフラックス昼光色	"	"	560	"	
FL-15SW	冷白色	4,500	"	790	"	
FL-15SW-DL	デフラックス冷白色	"	"	600	"	
FL-20D	昼光色	6,500	20	980	7,500	
FL-20D-DL	デフラックス昼光色	"	"	820	"	
FL-20W	冷白色	4,500	"	1,080	"	
FL-20W-DL	デフラックス冷白色	"	"	870	"	
FL-20WW-35	白色	3,500	"	1,100	"	
FL-20WW-35DL	デフラックス白色	"	"	880	"	
FL-20WW-30	温白色	3,000	"	1,100	"	
FL-20WW-30DL	デフラックス温白色	"	"	880	"	
FL-30D	昼光色	6,500	30	1,550	5,000	
FL-30D-DL	デフラックス昼光色	"	"	1,250	"	
FL-30W	冷白色	4,500	"	1,700	"	
FL-30W-DL	デフラックス冷白色	"	"	1,280	"	
FL-40D	昼光色	6,500	40	2,500	7,500	
FL-40D-DL	デフラックス昼光色	"	"	2,100	"	
FL-40W	冷白色	4,500	"	2,800	"	
FL-40W-DL	デフラックス冷白色	"	"	2,200	"	
FL-40WW-35	白色	3,500	"	2,900	"	
FL-40WW-35DL	デフラックス白色	"	"	2,220	"	
FL-40WW-30	温白色	3,000	"	2,900	"	
FL-40WW-30DL	デフラックス温白色	"	"	2,220	"	
円形ランプ	FCL-30D	昼光色	6,500	30	1,340	5,000
	FCL-30W	冷白色	4,500	"	1,500	"
	FCL-30W-DL	デフラックス冷白色	"	"	1,100	"

表 5.1 (その2) 高出力ケイ光灯の定格

形式記号	色の種別	色温度 (°K)	大きさ (W)	全光束 (lm)
FLR-60H-D	昼光色	6,500	60	3,700
FLR-60H-D-DL	デフラックス昼光色	"	"	3,120
FLR-60H-W	冷白色	4,500	"	4,150
FLR-60H-W-DL	デフラックス冷白色	"	"	3,260
FLR-80H-D	昼光色	6,500	80	4,920
FLR-80H-D-DL	デフラックス昼光色	"	"	4,130
FLR-80H-W	冷白色	4,500	"	5,500
FLR-80H-W-DL	デフラックス冷白色	"	"	4,320
FLR-110H-D	昼光色	6,500	110	7,330
FLR-110H-D-DL	デフラックス昼光色	"	"	6,150
FLR-110H-W	冷白色	4,500	"	8,200
FLR-110H-W-DL	デフラックス冷白色	"	"	6,450

表 5.1 (その3) 水銀灯の定格

ランプ形式記号	ランプ入力 (W)	全光束 (lm)	管効率 (lm/W)	光 色	ランプ形式記号	ランプ入力 (W)	全光束 (lm)	管効率 (lm/W)	光 色
HF-1000-AT	1,000	55,000	55	冷白	HF-300-T	300	13,500	45	冷白
HF-1000-ASDT	"	44,000	44	デフラック	HF-300-DT	"	12,000	40	温白
HF-1000-AXT	"	60,500	60.5	デフラック	HF-300-SDT	"	11,000	37	デフラック
HF-1000-BT	"	55,000	55	銀白	HF-300-XT	"	15,000	50	銀白
HF-1000-BSDT	"	44,000	44	デフラック	HF-250-T	250	10,500	42	冷白
HF-1000-BXT	"	60,500	60.5	銀白	HF-250-DT	"	9,500	38	温白
HF-700-AT	700	37,000	53	冷白	HF-250-SDT	"	8,400	34	デフラック
HF-700-ADT	"	33,500	48	温白	HF-250-XT	"	11,500	46	銀白
HF-700-ASDT	"	30,000	43	デフラック	HF-200-T	200	8,000	40	冷白
HF-700-AXT	"	41,000	58.5	銀白	HF-200-DT	"	7,200	36	温白
HF-400-T	400	21,000	52.5	冷白	HF-200-SDT	"	6,400	32	デフラック
HF-400-DT	"	19,000	47.5	温白	HF-200-XT	"	8,800	44	デフラック
HF-400-SDT	"	16,000	40.0	デフラック	HF-100-T	100	3,300	33	冷白
HF-400-XT	"	23,000	57.5	銀白	HF-100-DT	"	3,000	30	温白
					HF-100-SDT	"	2,600	26	デフラック
					HF-100-XT	"	3,600	36	銀白

表 5.1 (その4) 一般照明用白熱電球の定格

形 式	種 類	ランプ入力 (W)	全光束 (lm)	効率	寿命 (h)
L100V 10W	真空単コイル	10	76	7.6	1500
L100V 20W	"	20	175	8.7	"
L100V 30W	ガス入単コイル	30	280	9.3	1200
L100V 40W	"	40	428	10.7	1000
L100V 50W	"	50	580	11.6	"
L100V 60W	"	60	745	12.4	"
L100V 75W	"	75	1,010	13.4	"
L100V 100W	"	100	1,460	14.6	"
L100V 150W	"	150	2,420	16.1	"
L100V 200W	"	200	3,400	17.0	"
L100V 300W	"	300	5,460	18.2	"
L100V 500W	"	500	9,800	19.6	"
L100V1,000W	"	1,000	2,100	21.0	"
Ld100V 30W	ガス入二重コイル	30	320	10.7	"
Ld100V 40W	"	40	480	12.0	"
Ld100V 50W	"	50	635	12.7	"
Ld100V 60W	"	60	810	13.5	"
Ld100V 75W	"	75	1,070	14.2	"

ので効率も高いが、それよりも光出力が大きいため使用する器具の数が少なく済むことがさらに有利となる。今後はますます大形化に進むものと思われる。

白熱電球は効率の点では放電灯にははるかに劣るが点灯時間の極端に短い使用に対しては経済的となる場合がある。

## 6. 照明方式と器具

照明方式による効率は直接照明が最高で全般拡散、間接照明となるにしたがって低くなる。器具では光源の露出した形が最高で包囲形がもっとも悪い。しかし照明の方式や器具は効率だけによって決定されるべきものではないので経済的な検討の価値がないようであるが、器具自体は透過材料や器具の設計次第で効率に差があるから効率のよいものを使用すべきである。

高い天井で使用される水銀灯や白熱灯の場合は反射ガサの配光や効率で相当の差が生ずる。安価な効率の悪いものは経済的にはかえって高価になる場合が多い。

照明方式は室の使用目的により決定され経済的問題とは切離して考えるべきであろうが、器具に対しては配光や性能のよいものが一般的に有利となる場合が多い。詳細は後述の経済計算によって検討すべきである。

## 7. 経済計算

照明方式が決定し器具や光源の選定をなす場合は経済的な計算をやって検討すべきである。この計算は一般に複雑でやっかいであるが次に示す方法によればきわめて簡単に算出することができるので便利である。

照明費の内容を固定費と運転費に分類すると

固定費	}	器具費、安定器、反射ガサ、グロー等の費用	
		年間原価償却費(耐用10年として)	10%
		利子、税金、保険料	10%

屋内照明の経済性の検討・佐々木

〔利子8%、保険料1~0.7%、税金1.4%〕

運転費 光源、電力料金

以上のほかに配線費、灯具の保守費があるが複雑なるのでこの式ではこれを省略した。

照明器具の耐用年限は10年とするのが普通であり、照明費として考える場合は10年間の総照明費で比較する。

10年の総照明費は器具費とその10年間の利子、税金、保険料および原価償却費に運転費および年8%の複利の10ヵ年分を加えたものである。

これを計算して整理すると、

$$10 \text{ 年間の総照明費} = 6.2A + 15.7T \left( KB + \frac{C}{L} \right)^{(12)} \quad (7.1)$$

A... 器具価格

T... 年間の点灯時間 (h)

K... 電力 (安定器損失を含む) (kW)

B... 1kW 当たりの電力料金

C... 光源の価格

L... 光源の寿命 (h)

式(7.1)を見るに固定費と運転費の割合は年間の点灯時間が長い場合には、運転費の占める割合が一般的に大きくなる。したがって高価な器具でも効率がよければ案外経済的になり、白熱電球のように低効率のものは点灯時間が非常に短い場合には有利となる。

式(7.1)は10ヵ年の総照明費であるが単に光源および器具の経済的の比較をするためには次の式(7.2)を用いるときわめて簡単である。この式は同一照度の場合の費用の比較の式で灯数には無関係である。

10ヵ年の総照明費の比較値

$$= k \frac{A + 2.53T \left( KB + \frac{C}{L} \right)}{\phi UM} \quad (7.2)$$

k... 常数

A... 器具価格

T... 年間点灯時間 (h)

- B... 1kW 当たりの電力料金
- K... 電力 (安定器損失を含む) (kW)
- C... 光源の価格
- L... 光源の寿命 (h)
- $\Phi$ ... 光源の全光束 (lm)
- U... 照明率 (照明器具の)
- M... 減光補償率 (一般に使用されている D の逆数)

この式は単位有効光束当たりの照明費の比較値である。

## 8. 保守

一般に室の掃除はなされるが照明器具の手入はほとんどなされない場合が多い。外観が悪いただけでなく効率も低下し不経済である。もし減光した光源で掃除もせずに満足している使用者に対しては計画の当初より低い照度を採用してもさしつかえないわけである。

a. 掃除, 光源および器具の反射面に付着する尘埃は効率を低下する。その程度は器具の形式や室の状態換気装置の有無等で異なるので明確なデータはほとんど発表されていない。経済的な掃除間隔は次の式で掃除後の照度の回復率を実験で求めて決めるのがもっとも手取り早い方法である。

$$\text{掃除間隔 (日)} = \frac{\text{掃除費}}{\text{電力料金} \times \text{1日平均点灯時間} \times \text{電力} \times \text{回復率}} \quad (8.1)$$

### b. 光源の交換

光源の光束は使用中にだんだんと減衰する。点灯不能寸前では相当減衰している。減衰がなければ消灯するま

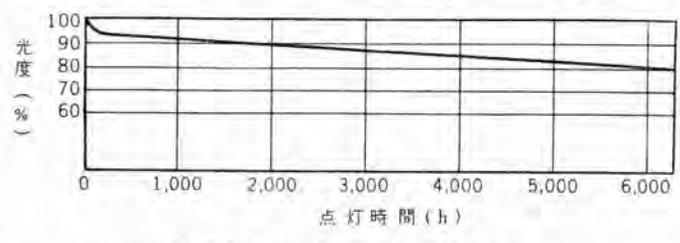


図 8.1 (a) 水銀灯の光度減衰曲線

Fig. 8.1 (a) Attenuation curves of luminosity of mercury lamp.

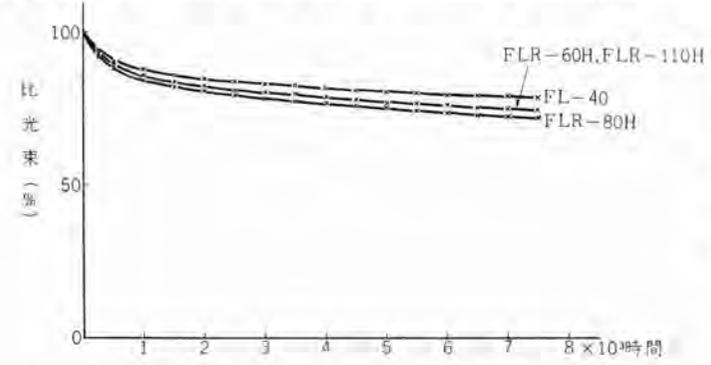


図 8.1 (b) ケイ光灯の光度減衰曲線

Fig. 8.1 (b) Attenuation curve of luminosity of fluorescent lamp.

で使用したほうがいちばん経済的であるが、減衰が多ければ多いほどその中間にもっとも経済的な交換する時期があるわけである。

図 8.1 に代表的なケイ光灯と水銀灯の減光曲線を示す。

光源の進歩はだんだん減光の少ないものができているのでこの問題は今後あまり重要でなくなる傾向にあり現在でも減少より交換の費用のほうが主に検討されるべきである。交換の方法に次の三つの方法があるがわが国の現状では個別交換がほとんどであるが、今後は大建築では集団交換がだんだん必要になると思う。

1年1灯当たりの交換費は次式のとおりでいずれが経済的か比較検討する必要がある。(3)

- (a) 個別交換  $T(P+C_i)/L$
- (b) 集団交換で短寿命のものを取換える  $T(P+C_g+PKK'+KC_i)/H$
- (c) 集団交換  $T(P+C_g)/H$

- T... 年間の点灯時間 (h)
- L... 光源の定格平均寿命 (h)
- H... 交換するまでの点灯時間 (h)
- P... 正味の光源代
- $C_i$ ... 個別交換の1灯当たりの交換費
- $C_g$ ... 集団交換の1灯当たりの交換費
- K... 集団交換以前に消灯する灯数の割合 (寿命分布より)
- K'... 短寿命による追加費用の割合

光源の交換の困難な場所や既設のもので現在低照度である照度増加に対して改装の困難な場合等では光源の減衰の少ないうちに集団交換をやったほうがよい。

## 9. むすび

照明の経済は光源、器具の効率によいことのほかに建築自体の構造反射率とあわせて検討せねばならない。とくに高天井照明の場合では器具の配光、効率がよいことが大切で安価な器具はかえって経済的に高くなる結果が多い。保守では他の機器と異なりきわめて徐々に光度が減光する点がい切った処置ができない原因となっている。経済的に検討して処置すべきである。今後ますます各方面とも要求される照度は高くなる状況であり、照明経済も大いに研究する必要がある。

### 参考文献

- (1) IES Lighting Hand Book p. 9-2 (1959).
- (2) 佐々木：工場照明の経済的計画の一方方法、「三菱電機」32, No. 9, p. 45 (昭33).
- (3) 本城 巖：ケイ光灯, p. 265.

# 建築化照明意匠

大船製作所 小笠原善丸*

## Artistic Design of Architectural Lighting

Ofuna Works Yoshimaru OGASAWARA

The building was a container to house people's life in the past for the isolation from the outside. It is now turning to an implement to promote production. This is the writer's concept, and on this basis he discusses the illumination as one element of architecture with which life is made more effective and enjoyable. In this article are introduced a good number of artistic designs of illumination worked out by Mitsubishi recently, all contributing to the modernization of buildings and being in harmony with architecture as its valid element. All the techniques of lighting such as down light, recessed troffer, luminous ceiling, indirect lighting and their combination are commented upon.

### 1. ま え が き

建築物の性格は過去においては社会生活のための単なる「容器」であったが、現在では社会活動や生活活動の「道具」となりつつある。「容器」は外界との遮断力、適当な収容力があれば一応目的が達せられていた。今日の「道具」としての建築物は生産性を高め事務を能率化し、あるいは限られた時間内に十分な休養や娯楽を与えることを能動的に行なうものでなければならない。このため照明、空気調和、日照、音響、家具などの諸設備は建築構造体の計画と同時に考慮されるようになった。以

前からよく用いられている作り付け家具を始め、最近考えられている コンクリート 柱を中空にしてエアダクトにする計画、ビル 各階の窓にサッシの角度を適当にとり、道路からの騒音を天窓に向かって反射させる方法などその一例である。建築化照明は古くから使われている言葉であるが、それが真にその必要性が認められて普及したのはごく最近で、「道具」としての建築物がその機能を十分に発揮するための一要素となっている。一方外形の大きなケイ光灯という光源が出現したのが建築化照明を側面的に促進させたことも事実である。この傾向は今後もますます強くなると思われるが、逆に室内の様式換えなどの

表 2.1 建築化照明手法の分類

光位 源 置	発光面積	直射光によるもの		透過拡散光によるもの		間接光によるもの							
		ルーバなし	ルーバ付	ルーバなし	ルーバ付	ルーバなし	ルーバ付						
上 方 (天井、ハリ など)	小面積				ルーバを要することがほとんどない		ルーバを要することがほとんどない						
	中面積				(2.1) 化粧的なルーバが多い	(2.2) 	化粧的なルーバが多い						
	広面積	建築化照明とならない			(2.3) 化粧的なルーバが多い		(2.4) 化粧的なルーバが多い						
側 方 (壁、柱 など)	小面積	実用性が少ない	(2.5) 		ルーバを要することがほとんどない	実用性が少ない	実用性が少ない						
	中面積	実用性が少ない	実用性少なく意匠劣る		(2.6) 化粧的なルーバが多い		実用性が少ない						
	広面積	建築化照明とならない	実用性少なく意匠劣る	(2.7) 		(2.8) 	実用性が少ない						
下 方 (床、基台 など)	小面積	(2.9) 											
	中面積							略(舞台、飾りだな、ショーウィンドなどで特殊な効果をねらう)					
	広面積												

注 (数字)をつけたものはその数字の図で実例を掲げた。

建築物のフレキシビリティが次第になくなる欠陥を生じており、これは将来解決しなければならない大きな問題である。本稿では建築化照明を意匠的見地から多くの最近の手法を紹介して照明計画の一助を試みたものである。

## 2. 建築化照明の実際

建築化照明を行なうばあい、原則的には照明器具が建

築物になじみやすい構造でなければならない。また両者は使用材料、外形意匠、色彩など建築物によく調和する必要がある。これらを勘案して種々の方法が考案されているが、現在行なわれているものを列挙分類すると表2.1のとおりとなる。このうち特殊な手法に属するものを実施例で紹介すると図2.1～図2.9である。



図 2.1 プラスチックの透光拡散板と木製化粧ルーパを用いた居室の照明  
Fig. 2.1 Illumination of a living room using a plastic diffuser and a wooden ornamental louver.



図 2.2 反射の間接光による図書館の照明  
Fig. 2.2 Illumination of a library by indirect light of reflection.



図 2.3 すりガラスと木製ルーパで作られた光天井による食堂の照明  
Fig. 2.3 Illumination of a dining room with a luminous ceiling made up of frosted glass and wooden louvers.



図 2.4 ハリ上にケイ光ランプを置きハチの巣状の金属ルーパを張った玄関ホールの照明  
Fig. 2.4 Illumination of an entrance hallway provided with fluorescent lamps on a beam and fitted with metallic honeycombed louvers.



図 2.5 ヨロイ戸式のルーパをつけた病院の足元灯  
Fig. 2.5 Foot light of a hospital with baffles.



図 2.6 縦格子を通して光を出す和室の照明  
Fig. 2.6 Illumination of a Japanese room with light coming through a vertical lattice work.



図 2.7 プラスチック板の光り壁のある銀行入口  
Fig. 2.7 Entrance of a bank with a luminous wall of plastic board.



図 2.8 タイルの壁にニッチを設け間接照明をした劇場  
Fig. 2.8 Theater with indirect lighting by making niches on a tiled wall.



図 2.9 床周辺にフットライトをつけたステージの照明  
Fig. 2.9 Stage lighting with footlights around a floor.

### 3. ダウンライト 照明

新しい室内照明の光源がほとんどケイ光灯となっている現在なおさかんに電球が使われているのは、主としてダウンライトを始めとするアクセントライトの一群である。ダウンライトは被照面にアクセントをつけるのが本来の目的であるが、天井面におもしろい意匠を構成させるためアクセントをとくに要しないばあいでも全般照明に使われる。またケイ光灯照明と併用するときは、1. ケイ光灯よりはるかに小さな光源面となる。2. 電球の光源面が明確に

ケイ光灯 光源面と隔離されるので両光色の混色による光源面の不快な外観を呈しない。3. ケイ光灯で得られない高輝度が得られる。などの理由で今後もダウンライトは重要な存在として扱われるであろう。図3.1はダウンライトの配置に変化を与えて室内意匠の要素となっている例である。個々のダウンライト器具の外観についても丸形角形、あるいは適宜アクセサリをつけて工夫がこらされている。これを例示すれば図3.2のようなものがある。発光面の大きさは円形器具のばあい無雑作に選んだ50種を調べた結果、これらの直径は最大230mmφ 最小60mmφ 平均133mmφであった。



(a) 3個ずつ集めて取付けた廊下



(b) 大小のダウンライトを不規則に並べた廊下



(c) 線光源と点光源とをあしらったエレベータホール



(d) 図案的な天井構成に合わせてダウンライトを配列した食堂

図 3.1 ダウンライトの扱いの数例  
Fig. 3.1 Examples of down lights.

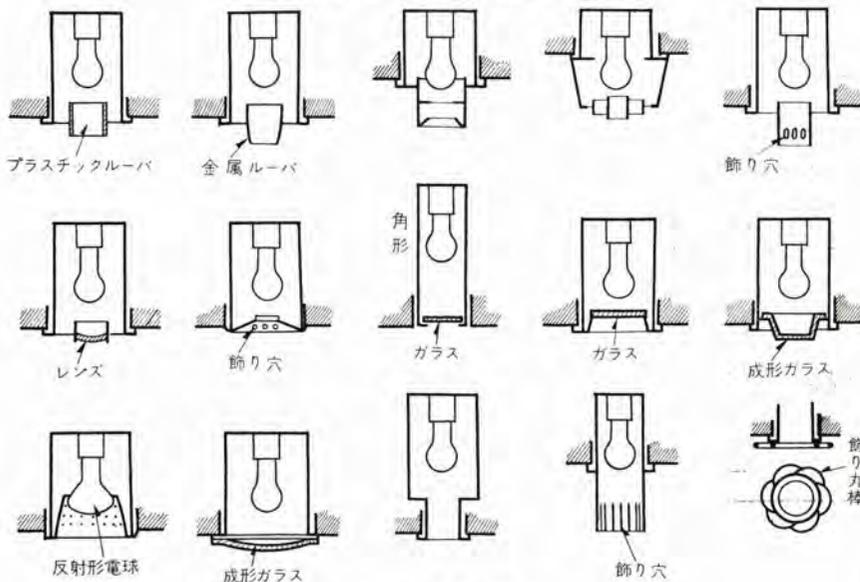


図 3.2 各種ダウンライト器具の例  
Fig. 3.2 Examples of various down light fixtures.

### 4. 天井埋込式照明

これは表2.1の中面積に属するもので電球時代にはほとんど見られなかったが、ケイ光灯の出現以来その大きな外形を納めるために急速に普遍した方式である。戦前多く行なわれていた塗天井は戦後新建材の進歩とともに、合板、繊維板、金属板などによる乾式構造となり、天井埋込の施工が非常に容易になったことも天井埋込式ケイ光灯では下面が開放、ルーバ、ガラス、プラスチックのいずれかであるが、この4種のうちでも年代とと

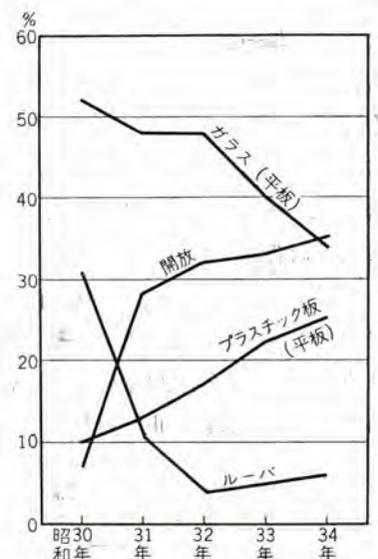


図 4.1 天井埋込器具下面の扱い方の変遷 (天井半埋込式のものを除く)  
Fig. 4.1 Changes of the bottoms of recessed troffers.

304	1291	40W1灯	274	672	20W1灯
319	1271	40W2灯	305	665	20W2灯
360	1281	40W3灯	362	680	20W3灯
544	1286	40W4灯	582	683	20W4灯

図 4.2 天井埋込器具の幅と長さの平均値  
Fig. 4.2 Mean value of widths and lengths of recessed troffers.

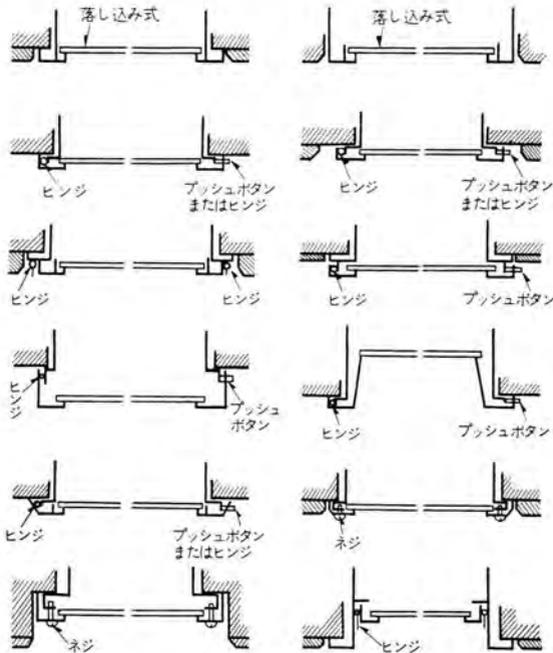


図 4.3 天井埋込器具の納め方の数例  
Fig. 4.3 Examples of the arrangement of recessed troffers' bottoms.

もに図 4.1 のような変遷が見られる。これは同形の照明器具はすべて 1 としそれぞれ異形の器具を集計した結果である。単一器具の下面の寸法(額縁を含む)の平均は図 4.2 のとおりである。現在の建築のモジュールが 30.3 cm (1 尺) 単位であるところから 2~3 灯用器具では圧倒的に尺幅のものが多し。また器具のラップ本数の比率は表 4.1 のようになる。天井と器具との取り合い部分は図 4.3 のような各種の納め方が考えられている。

器具の配列は散点状、列状、面状、マス状などに分けられる。散点状はもっとも一般的で室内意匠構成の要素となりにくい。列状は室の方向性を強調し流動感を与え、面状は整頓された静止感を与える。マス状は面状よりや

表 4.1 天井埋込式器具の灯数別比率

	40 W 用	20 W 用
1 灯用器具	27%	24%
2 灯用器具	50%	53%
3 灯用器具	19%	14%
4 灯用器具	3%	4%
5 灯以上用器具	1%	5%
計	100%	100%

図 4.4 角形 アネモスタットを取囲んだ天井埋込器具



Fig. 4.4 Recessed troffers surrounding a square anemostat.

図 4.5 廊下の左側にケイ光灯を埋め込み右側にはツヤ消しの黒色鉄板をはめ込んだもの



Fig. 4.5 Fluorescent lights recessed on the left side of a corridor and dull finished black steel on the right side of it.

図 4.6 市松状に天井埋込ケイ光灯とダウンライトを配列した例



Fig. 4.6 Example of fluorescent lights and down lights in a checkered arrangement on a ceiling.

図 4.7 ハリに埋め込んだケイ光灯



Fig. 4.7 Fluorescent lights recessed on a beam.

や流動感がありけんらんさがあるが上品さを失いやすい。そのほかに特殊な配列も試みられるが、意匠的に奇を求めるに終わりがちで成功した例が少ない。

## 5. 光天井式照明

完全な面光源は理想的照明に近く古くから欲せられていたが、技術的にまだ完成されていない。光天井は現在の人工光源をもって面光源のように作り上げたもので照明効果や心理的效果は一応達せられている。従来透光拡散板としてガラス以外に適当なものがなかったが、戦後各種プラスチック板が発達して光天井の施工が非常に楽になったことが急速に光天井照明を普及させた。天井面全体が光源となることは天空光下にいるばあいに類した明朗な感覚を与える。欠点としては落ち着きを失いやす

### 3. ダウンライト 照明

新しい室内照明の光源がほとんどケイ光灯 となっている現在なおさかんに電球が使われているのは、主としてダウンライト を始めとする アクセントライト の一群である。ダウンライト は被照面に アクセント をつけるのが本来の目的であるが、天井面におもしろい意匠を構成させるため アクセント をとくに要しないばあいでも全般照明に使われる。またケイ光灯照明と併用するときは、1. ケイ光灯よりはるかに小さな光源面となる。2. 電球の光源面が明確に

ケイ光灯 光源面と隔離されるので両光色の混色による光源面の不快な外観を呈しない。3. ケイ光灯 で得られない高輝度が得られる。などの理由で今後も ダウンライト は重要な存在として扱われるであろう。図 3.1 は ダウンライト の配置に変化を与えて室内意匠の要素となっている例である。個々の ダウンライト 器具の外観についても丸形角形、あるいは適宜 アクセサリーをつけて工夫がこらされている。これを例示すれば図 3.2 のようなものがある。発光面の大きさは 円形器具のばあい 無雑作に選んだ 50 種を調べた結果、これらの直径は 最大 230 mmφ 最小 60 mmφ 平均 133 mmφ であった。



(a) 3 個ずつ集めて取付けた廊下



(b) 大小の ダウンライト を不規則に並べた廊下



(c) 線光源と点光源とをあしらったエレベータホール



(d) 図案的な天井構成に合わせてダウンライトを配列した食堂

図 3.1 ダウンライト の扱いの数例  
Fig. 3.1 Examples of down lights.

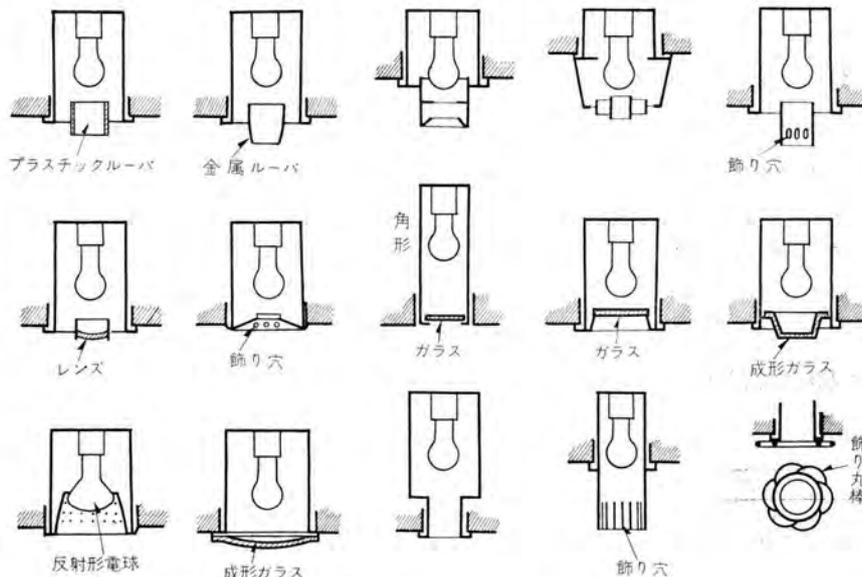


図 3.2 各種 ダウンライト 器具の例  
Fig. 3.2 Examples of various down light fixtures.

### 4. 天井埋込式照明

これは表 2.1 の中面積に属するもので電球時代にはほとんど見られなかったが、ケイ光灯 の出現以来その大きな外形を納めるために急速に普遍した方式である。戦前多く行なわれていた塗天井は戦後新建材の進歩とともに、合板、繊維板、金属板などによる乾式構造となり、天井埋込の施工が非常に容易になったことも天井埋込式照明の普及を援けた。天井埋込式ケイ光灯では下面が開放、ルーパ、ガラス、プラスチックのいずれかであるが、この 4 種のうちでも年代とと

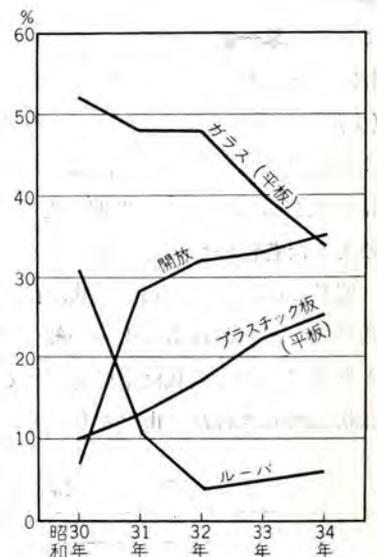


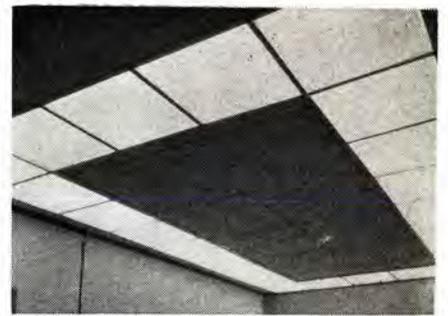
図 4.1 天井埋込器具下面の扱い方の変遷 (天井半埋込式のものを除く)  
Fig. 4.1 Changes of the bottoms of recessed troffers.



(a) 不規則な棧の配置をした食堂の光天井。プラスチックの色板が使われている



(b) 階段にそって段形に作った光天井



(c) 室の周辺にマス形に作った光天井



(d) 光天井の棧を吸音パツルとしたもの



(e) 天井、ハリ、壁による入隅にケイ光灯を納めたもの

図 5.1 各種の光天井

Fig. 5.1 Various luminous ceilings.

いこと、光源面に輝度ムラをなくすため必要以上の灯数となりやすいこと、ゾライによる汚染が目だつことなどである。光天井の2、3の施工例を図5.1に示す。

## 6. 間接照明

天井間接照明は光天井よりも以前から多く実施されていた。過去においては光天井用材料が重く破れやすいガラス以外に適当なものが生産されていなかったことが最大の理由である。今日では効率の低い間接照明が一部で光天井に代わりつつある。しかし光の柔らかさでは間接照明に優るものはなく、いまだに広く愛されている。天井、壁の一部を間接照明としたり間接照明と直接照明との併用など図6.1～図6.4のように、意匠的な種々の趣向がこらされている。



図 6.1 リブ付の天井を照らしそのテクスチャを強調した間接照明  
Fig. 6.1 Indirect lighting with which the ribbed ceiling is lighted to give effect on its texture.



図 6.2 環状間接照明を行なったエレベータホール  
Fig. 6.2 Elevator hall given ring shaped indirect lighting.

## 7. 最近の建築化照明施設

つぎに最近当社の納入した建築化照明施設で興味あるものを紹介する。



図 6.3 波状天井に間接照明をした階段  
Fig. 6.3 Staircase with indirectly lighted corrugated ceiling

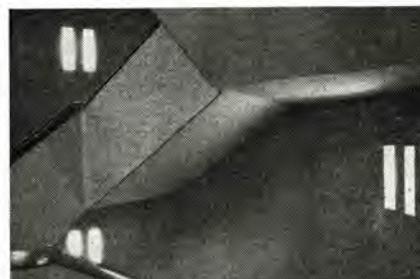


図 6.4 壁面に間接照明を施した階段  
Fig. 6.4 Staircase with indirectly lighted wall.



図 7.1 ハチ巻状に 40 W 16 灯で柱を囲んだプラスチックカバー器具で、プラスチック板の継ぎ目には、オレンジ色のプラスチックをはさんである。常識的なマス形の天井埋込式とせず天井面から約 50 cm 下げた所に特長がある。ダウンライトは丸棒の螺旋形円筒状のものをルーパにしている。そごう東京店売場。

Fig. 7.1 Sales counter of Sogo department store.



図 7.2 一般に見られる 40 W 2 灯埋込下面絞り成形プラスチックのケイ光器具と電球のルーパ付ダウンライトによる照明。食堂で赤味のある光が欲しいためケイ光灯と同数のダウンライトがつけられている。いずれも尺角の天井テックス目地に合わせて納まっており整然とした配列である。箱根登山デパート(小田原市)

Fig. 7.2 Hakone Tozan Department store.



図 7.3 目すかし張りの和室天井の中央に円形 40 W と円形 30 W ケイ光ランプ入りの正方形器具を半埋込にしたもの。プラスチックカバーはアクリライトに合繊織布ヒメロンを張り鳥の子紙のようなテクスチャを持たせてある。アクリライトを箱状にはり合わせ木つ類を使わず全面が光源面となっている。ホテルニュージャパン結婚式場化粧室。(東京)

Fig. 7.3 Dressing room annexed to wedding ceremony hall.



図 7.4 スフ板を目すかし張りした12畳の和室船底天井に 40 W を1灯ずつ4灯埋め込んでいる。下面は当社で新しく開発した和室向けのツヤ消しプラスチック板 2mmt で雲電紙をラミネートしたもの。周辺には見切縁をつけずプラスチック板を天井板にのせてある。I 氏邸(東京)

Fig. 7.4 Mr. I's house.



図 7.5 高天井の既設銀行営業室を光天井式に改修した例。当社の光天井材料デラックスパネル 34B 形(909 mm × 1212 mm)を使用。パネル1枚につき 40 W ランプ 4~6 本が埋め込まれている。照度は机上面 500~600 lx で旧態が一新された。三菱銀行新宿支店(東京)

Fig. 7.5 Mitsubishi bank Shinjuku branch.

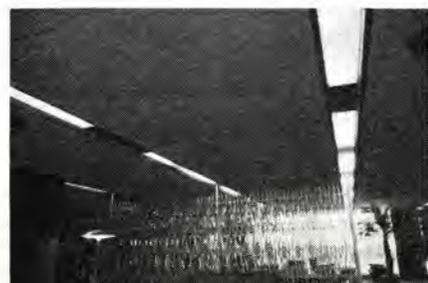


図 7.6 天井に溝を作りプラスチックをはめ込んで 40 W を2列に取付けてある。光源面が天井面よりは入り込んでいるため天井面は暗くなるが、適度の暗さによる落ちつきを求めた談話ロビーである。溝の立ち上がり面は堅木ねり付け。山王国際会館(東京)

Fig. 7.6 Sanno International Hall.



図 7.7 前図とどうの列状埋込照明で 40 W 1 灯 5 連が 5 列あり、細じも状に美しい光のシマを天井に描いている。下面はプラスチック板。ホテルニュージャパン(東京)

Fig. 7.7 Hotel New Japan.



図 7.8 木目の美しさを強調した白木厚板の天井にケイ光灯がはめ込まれている。いかにも無理のない自然な納め方が酒場の野趣を盛り上げている。ケイ光灯の下面はプラスチック板。ホテルニュージャパン(東京)

Fig. 7.8 Hotel New Japan.



図 7.9 最近多いシエル構造屋根の工場でシエルのライズは床上 10 m。このような室内照明は十分な照度がなかなか得にくい。この図は 40 W 3 灯埋込下面開放器具をシエルの緯線に沿って配列し 350~400 lx を得て体裁よく解決している。資生堂大船工場包装作業場(鎌倉市)

Fig. 7.9 Shiseido Ofuna plant.



図 7.10 鉄筋 コンクリートの建物内にある和室大広間で畳面が床面より上がっているため天井を高くとれば ハリ が露出する。太いハリを化粧合板で包みこれに合わせて広幅の埋込照明を行なって素朴で大胆な室内意匠を作っている。ホテルニュー・ジャパン 特別食堂（東京）

Fig. 7.10 Special dining room of Hotel New Japan.



図 7.11 当社の デラックスパネル 33 B 形を利用して埋込照明を行なった小店舗。909 mm 角の天井すかし目地に合わせて納めてある。壁面には パランスライト を用いて陳列品が クローズアップ されている。藤沢 ミシン 商会（藤沢市）

Fig. 7.11 Fujisawa Sawing Machine company.



図 7.12 和室で天井埋込器具の下面をプラスチック 板で カバー しさらに木製の化粧格子がつけてある。照明効率は非常に落ちるがふんい気を重んずる室の照明としておもしろい試みである。ランプの交換は天井裏から行なわれる。ホテルニュー・ジャパン 和風個室。（東京）

Fig. 7.12 Hotel New Japan Japanese style guest room.



図 7.13 ビル 入口の代表的な光天井照明例。プラスチック 平板を使用してあり つきは パネル 面より突出し格天井のように強調されている。照度は 450 lx。新小倉ビル 1階 エレベータホール（小倉市）

Fig. 7.13 Elevator hall of New Kokura Building.



図 7.14 病院の手術室は高照度、低輝度、無影などが望まれるため光天井が適しているが、財源の豊かなことの少ないわが国の病院ではやむなく不満足な照明が多かった。最近光天井材の進歩とともに比較的容易に設備することができこのような例が各所に見られる。これは デラックスパネル 34 B 形を 14 枚使用その中に 40 W を 42 本納めて平均 900 lx を出している。新三菱重工名古屋病院（名古屋市）

Fig. 7.14 Mitsubishi Heavy Industry Reorganized Nagoya Hospital.



図 7.15 光天井と ルーパ 天井とを使った船底形天井で鉄筋 コンクリート 造の日本風建築である。化粧 タルキ の間から出るケイ 光灯の光が美しい白木の味を生かしている。一見外光がさし込んでいるような錯覚を与える建築化照明である。東宮御所 玄関広間（東京）

Fig. 7.15 Crown Princes Palace entrance hall.



図 7.16 和風趣味を折り込んだ室で間接照明としては一般的な扱い方であるが、織布壁紙張りの天井を照らしその深みのある持味を十二分に生かし落ちついた気分をただよわせている。周囲のダウンライトの黄味がかかった光がよく調和している。ホテルニュー・ジャパン（東京）

Fig. 7.16 Hotel New Japan.



図 7.17 ホールは建物の中心にあり各室へ通ずる共通の広場で、照明もホールの性格を表わすにふさわしいものが望まれる。写真のような円形の間接照明もホールには好ましい。これは円形 40 W と円形 30 W ケイ 光灯 ランプを組合せた小形の間接照明で、小面積のエレベータホールのばあいである。七十七銀行（仙台市）

Fig. 7.17 Seventy Seven Bank in Sendai.



図 7.18 ハリ に コーラ をとった間接照明と天井埋込器具による直接照明の併用。間接照明で仕事ができる程度の照度を得ることは困難なためこのように直接照明を併用することがよく行なわれる。この例では間接照明にも 60 W 高出力ケイ 光灯を使ってある。中央の直接照明は 40 W 4 灯 プラスチックカバー の天井半埋込器具。農林中央金庫札幌支所会議室

Fig. 7.18 Conference room of the Agriculture & Forestry Central Cash Office Sapporo.



図 7.19 間接照明の天井に木製の化粧ルーバを作り、光源の存在を極度に意識されないよう考慮されている。どこからともなく光がくる感じである。このばあい窓際のダウンライトは純然たる室内意匠のアクセサリである。ホテルニュージャパン中華食堂（東京）

Fig. 7.19 Hotel New Japan Chinese dining room.



図 7.20 座敷のナゲシにユーブを作り間接照明としたもの。新しい和風建築には間接照明がよく取り入れられる。木、土、紙類の素地の美しさを尊ぶ和室にそれらを照射してクローズアップする間接照明は当を得たものといえる。ホテルニュージャパン和風個室（東京）

Fig. 7.20 Hotel New Japan Japanese style guest room.



図 7.21 居室の壁につけられたバランス照明。バランスライトは正面から見たときがもっとも効果的な美しさがあり写真のように平行方向に見るばあいはその効果が薄い。40 W 1 灯 3 連で下面はプラスチックカバー。ホテルニュージャパン個室（東京）

Fig. 7.21 Hotel New Japan guest room.



図 7.22 映画館の壁面間接照明である。天井灯としてはダウンライトだけで壁と天井とに対象的な照明手法がとられている。単調に流れやすい広い壁面を立体的なものに作り上げている。大和劇場(富山市)

Fig. 7.22 Yamato Theater, Toyama.



図 7.23 酒場のカウンタ下面にケイ光灯を埋め込みまっ暗らになりがちな床付近を明るくしてドラマチックなふんい気を出している。天井は自由曲線で作った間接照明。ホテルニュージャパン（東京）

Fig. 7.23 Hotel New Japan.



図 7.24 事務所建築などで近頃多く見られる照明手法。ケイ光ランプだけを宙づりして安定器は別の個所に置き、いわば光る棒を室内にかけ渡した照明である。広義に見ればこれも建築化照明の一種といえよう。写真は高天井の業務室に 110 W 高出力ケイ光ランプを長くつり下げ連続としたもの。朝日新聞東京本社

Fig. 7.24 The Asahi, Head office

最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
35- 6-20	大阪 マツダ	マツダカーペ 用電装品ならびに燃料ポンプについて	市村 武	姫 路
〃-6-21~23	東京本田技術研究所	トランジスタ、イグナイタについて	平田 毅・三木隆雄	姫 路
〃- 6-23	東京日産自動車	配電器について	宮崎 秀夫・大森俊郎	姫 路
〃- 6-27	福岡県工業試験所	放電加工機について	開発 久次	無線機
〃- 6-29	兵庫県商工会館	三菱テレビの特殊回路	岡村 宗和	無線機
〃- 6-29	粉末冶金技術協会	フェライトの焼結について	中村 弘	大 船
35- 7- 2	大阪新朝日ビル	包装設計について	堀 直昌	本 社
〃	神戸 マツダ	電装品の原理	市村 武	姫 路
〃- 7- 6	自動車技術会	電装品の半導体応用	平田 毅	姫 路

# 中天井工場の照明と光源の選定

本 社 小 堀 富 次 雄*

## Factory Lighting for Medium Height Ceiling and Light Sources

Head Office Fujio KOBORI

Illumination level of 200 lx in a general lighting is no hard problem to realize under present circumstances. In the factory lighting, however, Illumination level is not the only requisite, and depending on the products manufactured there color of light counts in the selection of light sources and other technical problems. The high output fluorescent lamps have come to dominate over mercury lamps. Further, the height of ceilings has a great bearing and it needs consideration in the design of illumination. In this article the writer specifically deals with factory lighting for medium height ceilings, discussing from various view-points on this matter.

### 1. ま え が き

各照明施設における全般照明の照度として標準照度 200 lx という数値は現在の進歩したケイ光灯および水銀灯によって比較的容易に出し得る数字である。

十分考慮された照明施設における照度の向上は一般に懸念されるように眼衛生に対して悪影響はなく、いわゆる質のよい照明としてむらのない照度、まぶしさを感じないそしてかげのできない作業能率向上に役だつ快的な照明となるものである。

工場の照明では各作業別に照度基準⁽¹⁾(表 1.1)によって標準照度、したがって照度の範囲が与えられるが、これらの作業に応じて粗作業、中作業、精密作業および超精密作業に分けられ、さらに機械の大小、配置、作業の順序、または工場の種類によって自からその計画が確立し、工場建家の形状も決定する。これらの工場に対する照明施設としては全般照明、局部的全般照明および局部照明、または補助照明の各方式に分類されるが一方、施設する光源および灯具としてはケイ光灯 40 W、高出力ケイ光灯 60, 80 および 110 W、水銀灯として 100, 200, 250, 300, 400, 700 および 1,000 W の各種の大きさのものが考えられ、工場照明用として設計された灯具と組合されて施設されるのである。

ここでは工場建家の内で低天井と高天井の中間に存在する中天井(天井の高さ約 5~9 m の範囲)の場合の工場照明について光源および灯具の選定方法、施設上の注意、経済比較などを述べることにする。

### 2. 照度向上の傾向と光源

工場などの生産照明のほか、明視照明、商業照明などの各施設における全般照明の最近の照度の向上の傾向を

見ると次のように興味のあることがわかる。

一般の傾向として、わが国の各施設の全般照明における中程度の作業では平均水平面照度は標準照度 200 lx (照度範囲 300~150 lx) が眼衛生のためにも、経済的にも、満足できる数字である。これらは従来、全般照明として 100~50 lx 以下における作業であった。さらに精密作業としては標準照度 500 lx (照度範囲 700~300 lx) がこれに相当し、局部照明を併用してこの照度を得てもよいとされている。

照明設計の順として作業の形態、工場の構造に応じて所要照度を決定し、全般照明として光源と灯具の配光などより灯数とそれらの配置を考慮するが光源の進歩により標準照度 200 lx はもちろん 500 lx の高照度でも最近では全般照明として施設される場合が多くなった。これらはごく最近まで 500 lx 以上の高照度では局部照明、300 lx 程度の相当範囲の作業場、たとえば、検査場、組立工場、塗装場などは経済的に高照度を保つ局部的全般照明などの照明技法が採用されたが現在ではこれらも、全般照明が施行されつつあることは作業としてその必要性が認められてきたものとして注目に値する。

米国においても数年前までは一般の事務所、工場では 300~800 lx⁽²⁾ が一般に見受ける照度で平均照度 1,000 lx 以上に達する工場も最近ではよく文献⁽³⁾ で見られるようになった。一般には、1,500~5,000 lx⁽⁴⁾ などの平均照度もまだ一般化してはいないが近い将来は平均照度として増加することを物語っている。

さて、これらの高照度の工場ではとくに高出力ケイ光灯および水銀灯の施設が多く、米国の例を最近の文献⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾⁽⁷⁾で調査したところ、高出力ケイ光灯の使用例として上記の工場のほかに施設の種類として百貨店、倉庫、事務所などに使用する光源も高出力ケイ光灯とくに長尺 8 ft

* 商品技術部照明技術課長

表 1.1 工場照明における照度基準 (JIS Z 9110-1960 より)

照度段階	標準照度 lx	照度範囲 lx	機械工業	洋菓子工業	カン詰工業	ベーカリー	繊維工業 (綿)	繊維工業 (絹、レーヨン)	衣料品製造業	木工業	製紙工業
aaa	1,000	1,500-700	○超精密工業	—	—	—	—	—	○裁縫 (暗材料) ○ししゅう	—	—
aa	500	700-300	○精密作業 (精密機械精密仕上げ)	—	○選別 ○カン詰作業 ○検査	○デコレーションおよび仕上げ (手作業)	○検査 (暗色) ○経過し ○自動織機	○経過し	○裁縫 (中材料) ○プレス (暗材料)	○精密作業	巻かえ
a	200	300-150	中作業	デコレーティング 切断選別 包装	準備作業 (切断、種取り)	デコレーションおよび仕上げ 計量 仕込み	のり付 (暗色) 検査 (明色) 織機 (暗色)	整理 (クリール仕上げ、ワーク上、ビーム上)	裁縫 (明材料) プレス (中材料)	型取り 粗みがき ニカワ付、機械 かんな張り合せ	抜取検査 試験室 員数検査 湿紙機のウェットエンド 作業
b	100	150-70	粗作業	タッキング ミキシング モールドイング	原料受入れおよび倍付	原料混合、成形 窯デコレーションおよび仕上げ (機械作業) 包装、荷造	前紡、精紡、管巻、整経 リュウ縮のり付 (明色)	ヨリ糸、巻返 コーン巻 のり付、織機	プレス、仕上 (明材料)	荒引および粗作業	仕上 (特別光沢を出す) 切断作業 ギロチンカット 作業
c	50	70-30	—	—	—	ねかし 発酵	開輪、混綿、打綿	染色	—	—	コウ解 つや出し
照度段階	標準照度 lx	照度範囲 lx	印刷工業 (印刷)	印刷工業 (製版)	化学工業	皮革工業	ガラス工業	製鉄工業	鋳物工業	板金工業	
aaa	1,000	1,500-700	—	—	—	—	—	—	—	—	
aa	500	700-300	○活字組付台 ○校正	○網伏せ	—	—	○検査 ○仕上げ ○磨き ○エッチング ○デコレーティング ○面取り	—	研磨削り 検査 (細粒)	○けがき	
a	200	300-150	植字 文選 さしかえ	台付、ルーチング (丸入れ) 仕上げ、校正	—	中材料作業	銀付け	鋳込み 押湯場 (インゴット) 選取車およびトビツ修理 場 混流炉建家	検査 (中粒) 製造 (大物) 心型 (細粒) 選別	板検査	
b	100	150-70	印刷	エッチング	蒸気タンク 抽出機	明材料作業 革仕上	—	装束床 (平織) 鋳型板場 スクラップ置場 機組炉建家	心型 (中粒) 洗浄場 出荷受荷	機械作業 プレス・シャー パンチング スタンプ スピニング その他の作業台の作業	
c	50	70-30	—	—	手動が沸騰ソウ 静置乾燥器、 濾過 精溜ソウ 蒸留器、電解ソウ	なめし作業	調合炉室 プレス吹き場	平炉 (材料置場) 鋳型置場 インゴット置場 格子インゴット倉庫 チベ突き場 (スケール破砕) シンダー捨場	注入操作 溶鉄がゆすり 出し 焼鈍炉	—	
d	20	30-15	—	—	—	—	—	—	貯蔵	—	
照度段階	標準照度 lx	照度範囲 lx	電機工業 (機械工業も参照)	自動車工業 (機械工業も参照)	組立工業	動力関係	塗装工業	洗タケ工業			
aaa	1,000	1,500-700	—	—	○超精密作業	—	—	—			
aa	500	700-300	○コイル巻きおよび絶縁 処理	○ボデーの塗装 検査 組立ライン	○精密作業	—	○超精密塗りおよび検査 (自動車、ピアノなど)	○補修 ○しみぬき、漂白 ○アイロン仕上げ			
a	200	300-150	試験、検査 コイルと鉄心の組立	フレームの組立、ボデー 製造 (組立および部品製造)	中作業	配電盤	精密な手鏡り仕上	記載とマーキング 機械プレス仕上および 分類作業			
b	100	150-70	絶縁材料含浸	—	粗作業	原動機、発電機、変圧器 油シャ断器 送風機 圧縮機 ポンプ	浸漬、簡単な吹付 粗みがき 手ぬり 型抜吹付 乾燥炉室	平物アイロン作業 水洗とドワイクリー ンク作業			
c	50	70-30	—	—	—	汽田室 石炭および灰処理 蓄電池室	—	—			

注 1. この照度は主として作業面 (一般には床上 85 cm, 座業のときは床上 40 cm) 廊下、屋外などは (床面そのもの) における水平面照度を示すが作業内容によつては鉛直面あるいは傾斜面の照度を示すものである。  
 2. 付表中○印は局部照明を併用することによつてこの照度を得てもよい。  
 3. この場合の全般照明の照度は局部照明による照度の 1/10 以上であることが望ましい。

のものが多く 4ft の使用例も若干ある。8ft ランプはわが国では FLR-110 H (110 W) のものである。また天井取付の高さも 18~50 ft (5.5~15 m) の範囲にあり、これらの平均照度も全般照明として約 500~5,000 lx の高照度の場合が多いのである。

これらの施設に高出力 ケイ光灯を使用するのは高照度でしかも灯数少なく施設することができるため、工場照明でとかく、おこたりがちな ランプ 交換清掃などの保守の問題にも関係があるからである。

### 3. 中天井工場の照明

全般照明用光源として低天井用としては標準形 ケイ光灯 FL-40W が大半で、高天井では水銀灯が多く使用される。

わが国では低天井と高天井の区別または定義は確立していないが米国では高天井照明としてその定義を床上 30 ft (約 9 m) またはそれ以上の高さに灯具を取付けることを規定している。(8) 一般に 9 m 以上の高天井では高照度と経済性の両方から水銀灯が有利とされている。また、5 m 程度の低天井の場合は ケイ光灯が使用され、さらに上記のような高天井でも建物の幅が光源の高さの 5 倍以上で光源を含めた灯具の保守がよければ ケイ光灯でもよいとされている。

さて、以上の中間の高さ約 5~9 m の範囲を中天井と名づけた。この範囲では ケイ光灯と水銀灯のいずれかを選ぶわけであるが、これらは以上述べた低天井と高天井のいずれの場合も含めてただ照度だけの問題ではなく、演色性の問題、まぶしさの減少、照度のむらなどを考慮

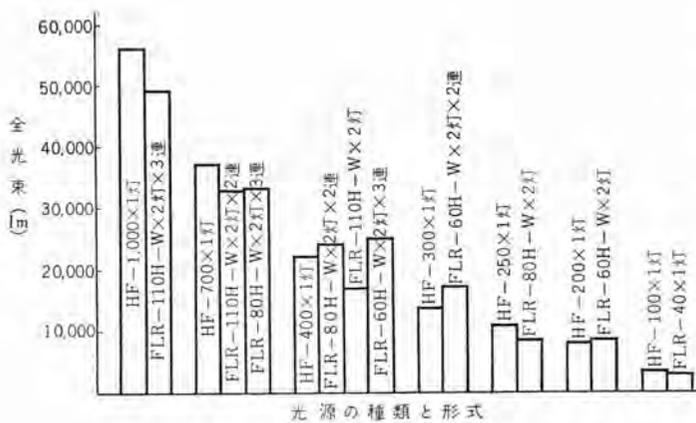


図 3.1 ケイ光水銀灯とケイ光灯の全光束の比較図

Fig. 3.1 Comparison of total flux between fluorescent mercury lamps and fluorescent lamps.

して選ぶべきである。低天井と高天井との中間の高さで反射を起こしやすい光沢のある材料を扱う場所とか、いずれの角度から見ても、まぶしさを感じるのは困る場所には高出力ケイ光灯が適している。

一般に標準形ケイ光灯 FL-40×2 灯または 3 灯の単独形灯具が工場、事務所でもっとも多く使用される基準形とすると高出力ケイ光灯 FLR-60H×2 灯用灯具が FLR-40×3 灯に相当する。FL-40×2 灯または 3 灯用の連続形の灯具の使用される床面積の大きい場合は FLR-110

H が適していて FLR-80H 灯具は上記の FLR-60 H と FLR-110 H の中間に適している。これらの比較を図で表わすと図 3.1 のようである。ケイ光水銀灯 1 灯の全光束に対してケイ光灯の灯数×連続数の相当する割合を示したものである。

#### 4. 中天井における照明経済の比較⁽¹⁰⁾

中天井における照明施設の経済比較をして見ると次のようになる。この場合、中位の床面積の工場で 36m×60m=2,160m² (約 655 坪)、平均水平面照度 200 lx、電源電圧 200V、周波数 50/60 c/s の条件の全般照明として光源取付の高さを 5.5~20 m の範囲で変化した。この範囲は室指数として B~H

の範囲である。これらを表で示すと表 4.1 のようになる。以上の条件に応じて照明設計計算をし、各光源および灯具に対して灯数を定めたが表では全初設備費と 1 年間全照明費を算出し、高出力ケイ光灯 FLR-110H×2 灯用反射付灯具を 100% としてそれぞれの比率を算出した。

また、これらを図で示すと図 4.1 (a) (b) のようになる。一般に工場の照明施設を計画するとき、灯具価格、ランプ価格、付属品および配線取付費を計上した初期の全設備費だけを考慮するケースが多いが、工場の照明施設を運転

表 4.1 工場照明における室指数変化による経済比較の例  
反射付工場照明用灯具使用平均水平面照度 200 lx、床面積 36 m×60 m=2,160 m²  
電源電圧 200 V、周波数 50/60 c/s、年間点灯時間 4,500 h.

室指数 (m)	光源の種類	高出力ケイ光灯 (配照形)			ケイ光水銀灯				標準形ケイ光灯 (配照形)			
		光源の形式	FLR-60 H-W ×2	FLR-80 H-W ×2	FLR-110 H-W ×2	HF-250		HF-400		FLR-40W ×2	FL-40W ×2	FL-40W ×3
						強照形	集照形	強照形	集照形			
B (5.5)	全初設備費 (千円)	1,990	1,730	1,490	1,820	1,925	1,220	1,270	2,460	2,220	1,970	
	同上比率 (%)	133.5	116	100	122	129	82	85.3	165	149	132	
	年間全照明費 (千円)	974.4	904.6	765.8	1,273	1,320	909.3	943.5	1,121.2	1,090.5	1,080.5	
E (11.5)	全初設備費 (千円)	2,350	2,060	1,810	2,110	2,075	1,460	1,375	2,990	2,690	2,350	
	同上比率 (%)	130	114	100	117	114.5	80.7	76.0	165	148.5	130	
	年間全照明費 (千円)	11,402.8	10,700	919.3	1,470.5	1,420.6	1,056.7	1,026.4	1,331.8	1,283.6	1,208.7	
H (20)	全初設備費 (千円)	2,860	2,580	2,300	2,650	2,390	1,740	1,560	3,670	3,200	2,700	
	同上比率 (%)	124.5	112.5	100	115	104	75.8	68.0	159.5	139	117.5	
	年間全照明費 (千円)	1,492.2	1,389.6	1,210.3	1,940	1,628	1,338.7	1,184	1,732.8	1,671.8	1,507.0	
		123	115	100	160	134.5	110	98	143	138	127	

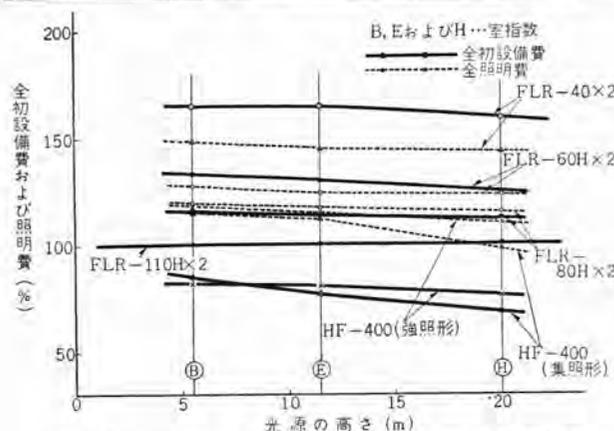


図 4.1 (a) 工場照明における室指数変化による経済比較  
Fig. 4.1 (a) Economic comparison with the change of room index in factory lighting.

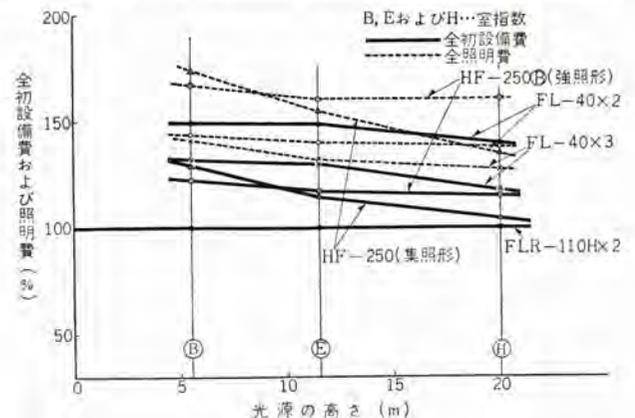


図 4.1 (b) 工場照明における室指数変化による経済比較  
Fig. 4.1 (b) Economic comparison with the change of room index in factory lighting.

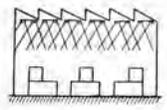
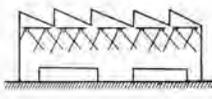
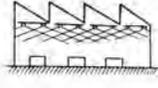
項目	a. 高天井の狭い工場	b. 高天井の広い工場	c. 中天井の工場	d. 低天井の工場
工場の形状				
種工場類	1. 製鉄、製鋼工場 2. 大形機械工場	1. 大形板金工場 2. 大形機械工場 3. 鋳造工場	1. 中形組立工場 2. 金属精錬工場 3. 板金工場	1. 化学工場 2. 鋳造、鍛造、精錬工場 3. 工作機械組立工場 4. 紡績、織物、製紙工場
明光源器具と照	1. 集照形 (狭い配光、水銀灯 700, 1,000W) 2. 反射形水銀灯 3. 角照形 (ケイ光灯)	1. 強照形 (中位の配光、水銀灯) 2. 配照形器具 (高出力ケイ光灯)	1. 配照形高出力ケイ光灯 (110W) 2. 強照形水銀灯 (400W)	1. 配照形 (広い配光) の器具 (反射ガサ付標準形ケイ光灯器具 40W)
施設上の注意	1. 作業面を有効に照明するため狭い配光の器具がよい。 2. 広い配光の器具では光が壁、窓に吸収され照明効率が悪くなる。 3. 鉛直面照度の不足と天井面の暗さの対比が大きくなり斜方向の配光を与える。その取付の高さは5m以上がよい。 4. 天井高さ10m以上の場合で光のビームの開きが狭いから灯の間隔は取付高さの0.5~0.7倍以下。 5. 集照形器具の上部に5~10%位光を出すとなお効果がある。 6. 約15m以上では投光反射形水銀灯では保守が容易となる。	1. 天井が高くても配光が広いので鉛直面照度が十分とれる。 2. 反射を起こしやすい材料を扱う工場では輝きの低いケイ光灯が最適である。 3. 天井高さ10m以上でもクレーンなどの保守がよければケイ光灯もよい。 4. 工場の幅が灯具の取付高さの5倍以上ならば、高出力ケイ光灯のほうがよい。 5. 強照形灯具の取付間隔は高さの0.7~1.0くらいがよい。	1. 天井の高さが約5~9mの場合 2. 中位の天井のため高照度ではケイ光灯水銀灯の大きな形のものが多い。 3. 低照度の施設では大きなランプ入力のものを使用すると照度のむらが大きくなるから注意を要する。 4. 光沢のある金属材メッキ面など扱う場合は水銀灯では光って見えにくいからケイ光灯のほうがよい。	1. 低天井のため輝きが低く、熱の発生が少ないケイ光灯が最適である。 2. 天井が5m以下の低い天井に等間隔に取付ける。(光源の高さの1.0~1.5倍以下に取付ける) 3. 器具の反射ガサの保護角はランプの長手方向は0度、横方向は約15度くらい。 4. 反射ガサの上方へ10~20%の光を出す天井面の暗さの対比が少なくしてよい。 5. 光源の位置が低いときはルーバでシャ光のこと。

図 5.1 天井の高さによる全般照明方式の分類

Fig. 5.1 Classification of general lighting systems according to ceiling height

するには年間固定費 (一般に全施設費の15%とする)、年間ランプ交換費、年間保守費、ランプ交換および清掃のための人件費、ならびに年間点灯した電力費を含む年間全照明費を考慮するべきである。

つまり、全初設備費と年間全照明費のそれぞれの光源における比率は必ずしも比例せず、全初設備費が低くても年間照明費が思いのほか高く出る場合とその逆の場合が起こるのは注意を要する。したがって、全初設備費が最低値でも (この場合は一般に経済的と思われがちであるが) 年間全照明費の比較では必ずしも有利でない場合がある。このことは天井の高さが5.5~9mないし11.2m付近で灯具および光源が高価でも水銀灯 HF-400 では全初設備費が低い、全照明費では高出力ケイ光灯 FLR-110 H×2灯灯具より高くなっている例がある。さらに以上は照明施設と照度に対する経済比較であったが実際にはさらに工場では照度の分布、まぶしさ、演色性など考慮しなければならないからいわゆるよい工場照明を計画するには以上のように照度だけを比較対照して決定はならない。照度は十分あっても色彩、光沢などをしていないと、思いがけず光って見えにくいとか色が変わって具合が悪いとの問題がおこるおそれがある。

## 5. 天井の高さによる全般照明方式の分類

以上の経済比較および照明の質を考慮して作業に対する照明方式を天井の高さで分類すると図5.1のように

なる。同図中、高天井と低天井に対する照明方式の分類の一部はすでに発表⁽¹¹⁾したがここでは中天井の場合と比較の意味で併記したものである。

中天井工場の種類としては中形機械工場、組立工場、板金工場であり、光源と照明器具としては高出力ケイ光灯および水銀灯が作業に応じて選定する。光沢のある金属材、メッキ面を扱う場合は水銀灯では光って見えにくいからケイ光灯のような柔らかい拡散光がよい。

低照度でよい作業では高出力ケイ光灯でも水銀灯の場合でも大光束の光源では光源数が少なくてもよいがその反面、照度のむらが大きく手暗がりのため作業に支障をきたすおそれがある。このときは小さい光源を数多く施設するのがよい。

また低天井の高さが5m以下の場合、全初設備費が安価であるとの理由で水銀灯を採用することがあるが反射ガサを深くして保護角を十分とって、集中光となり光源の真下がとくに明るく、光源と光源の間の照度が低くむらが多くて作業のしにくい例がある。この場合はケイ光灯がよい。

## 6. 中天井工場の照明計画および設計の一例

中天井工場の照明計画、設計ならびにその効果の例として日軽アルミニウム工業株式会社東京工場内のアルミ押出工場の照明施設⁽¹²⁾を説明する。なおこの工場は照明施設の優秀のため昭和35年度の照明学会照明普及賞を



図 6.1 日軽 アルミ 株式会社東京工場高出力ケイ光灯 FLR-110H-W (110 W) × 2, 平均水平面照度 350 lx

Fig. 6.1 High output fluorescent lamps in aluminium factory.

受賞の工場である。

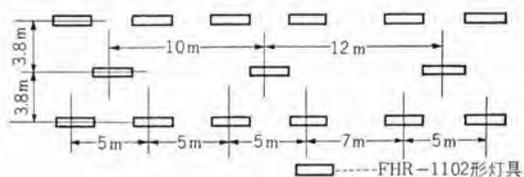
(1) 照明の要旨

アルミニウム 押出工場ではアルミ塊より押出機によって線材や形材を製作する作業をするが天井の高さが梁下で 7.7 m のため、従来の施設で照明改善のため水銀灯および反射形投光電球を使用したところ、光源の輝きが大きいため、押出機の切断時における「ケガキ」が明瞭に判別できず作業に支障を生じていた。

今般、工場を増築するに当たり旧施設とともに全部、高出力ケイ光灯 FLR-110 H-W (110 W 冷白色) による施設にした結果、押出機の切断時における「ケガキ」が柔らかい光のため見やすく作業が円滑に行なえるようになった。(図 6.1)

(2) 計画と設計の方針

a. この押出工場は床面積 3,300 m² (間口 120m, 奥行 34.5m および 21.5m), 天井の高さは梁下で 7.7 m である。



b. とくに銀白色のアルミ材の「ケガキ」は光沢の関係で素材と判別しにくいのでケイ光灯による拡散光が適している。

c. 平均水平面照度として照度基準は

照度段階 a 200 lx (範囲 300~150 lx)

……中作業 プレス (中材料) 板検査など

照度段階 aa 500 lx (範囲 700~300 lx)

……精密作業 プレス (暗材料) など

となっている。押出工場での作業でアルミ材の「ケガキ」は線材、形材の粗材のときのものであるので全般照明とし

中天井工場の照明と光源の選定・小堀

て、照度段階 a と aa の中間の 300 lx を目標とした。

d. ケイ光灯は高出力形 FLR-110 H-W (110 W 冷白色 4,500° K) を使用し、工場照明用反射 ガサ 付 2 灯用 FHR-1102 形灯具 116 セット (ランプ数 232 本) を採用し天井ハリよりチェーンつりとした。

e. 高照度であると同時に照度のむらを極力少なくするため、照明器具の配置にはとくに留意し、灯具の間隔は



図 6.2 東急くろがね小形自動車製作所上尾工場 FLR-110 H-W-2 灯用灯具

Fig. 6.2 Type FLR-110 H-W two lamp luminaries used for small motor car plant.



図 6.3 (a) 三菱日本重工業東京自動車製作所丸子工場 FLR-110 H-W × 2 灯用灯具平均照度 350 lx

Fig. 6.3 (a) Type FLR-110 H-W two lamp luminaries with average illumination level 350 lx for motor car plant.

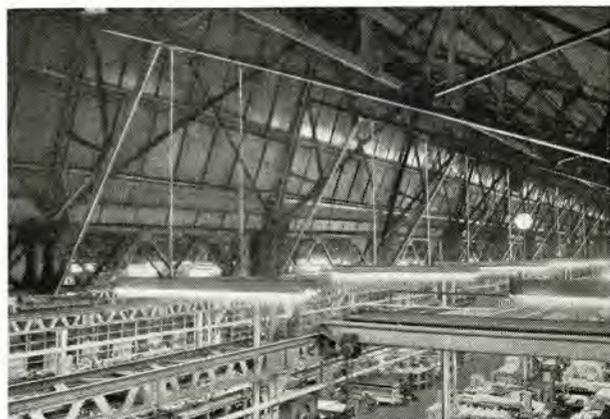


図 6.3 (b) 同上照明器具取付状況

Fig. 6.3 (b) Mounting of luminaries.

3.8 m, 長手方向には 5 m, 7 m および 10 m, 12 m の間隔とし, 灯数を 6 セットと 3 セットの配列の交互くり返しの配置とした。

### (3) 照明改善による効果

a. 既設の旧施設と増築部分では光源の種類と床面積が違うが比較すると

	床面積 (m ² )	光源の種類	灯数	総電力 (W)	電力/面積 (W/m ² )	平均水平面 照度 (lx)
改善前	1,428	水銀灯投光形電球	75	22,500	15.7	90
改善後	3,300	高出力ケイ光灯	116×2	25,520	7.7	350

b. 上述のように, アルミ材の「ケガキ」は銀白色面の跡であるから ケイ光灯のような柔らかい拡散光でしかも高照度の下で判別しやすく作業はきわめて能率的となった。

c. 当工場は従来とも灯具の清掃は定期的に行なわれ 6 ヶ月 1 回実施しているが, 仮に FLR-40 用灯具を使用した場合に比較して約 1/3 の灯数のため保守が容易となった。

以上のように工場照明は作業に合わせて計画されるが, 一般に全般照明としての照度はきわめて低い場合が多い。当工場ではさきに水銀灯および投光形電球を使用して一応の照度を得られたが, 作業上の不具合を早く察知増築の際, 作業に合わせて高照度でしかも作業の判別しやすい照明方式を採用したのは賢明であった。とくに高照度の灯具配置を巧みに行なったことは, 今後ますます高照度となる傾向にある工場照明のあり方を示すものと思われる。

以上のほか, 中天井工場の照明として最近の施設例を **図 6.2** 東急くろがね小形自動車製作所上尾工場, **図 6.3** (a) 三菱日本重工業 東京自動車製作所 丸子工場として説明する。

**図 6.2** では,

東急くろがね小形自動車製作所上尾工場の自動車製造工程中, 部品下組場, フレーム 作業場, シャーシーサブ組立, ボディー 艀装ラインなどの全般照明として, 床面積 10,400 m² に高出力ケイ光灯 FLR-110 H-W × 1 灯用反射 ガサ 付灯 356 セットを間隔 4.5 m 光源の高さ 4.5 m にとり付け, 平均水平面照度は約 350 lx となっている。

なお, 塗装作業の前処理, 塗装, 焼付赤外線灯などの

照明にはケイ光水銀灯 HF-300 × 1 灯用反射 ガサ 付灯具 38 セット (うち 14 セットは下面強化ガラス使用の密閉形) 光源の高さ 6.5 m に使用し 平均水平面照度 280 lx を出している。

**図 6.3** では,

三菱日本重工業東京自動車製作所発動機組立工場で高出力ケイ光灯 FLR-110H-W × 2 灯用反射 ガサ 付灯具 216 セット (ランプ 本数 432 本) を間隔 9 m, 光源の高さ 5.8 m の全般照明で作業面 85 cm の平均水平面照度は約 380 lx である。

なお, 同 (b) は照明器具の取付状況を示している。

## 7. む す び

以上のように低天井と高天井の中間の天井高さの工場照明について全般照明のあり方, 光源の選定など技術問題をとり上げた。照度を基準とした経済比較では水銀灯が有利であるが, 光沢, 色彩などの関係ある作業では必ずしも水銀灯が適しているわけではなく, むしろ高出力ケイ光灯のほうが照明の質を考慮して施設して効果的であるということになる。なお, 高天井, 中天井, および低天井の天井高さについては単位長 (m) で文中示したがそれぞれの高さの境についてはそれほど厳密な限界があるわけではないことを付記する。

### 参 考 文 献

- (1) 照度基準 JIS Z 9110-1960.
- (2) 照明学会誌 41, No. 8, p. 379 (昭和 32 年).
- (3) Illum. Eng. 54. 6 p. 360 (1959).
- (4) " 52. 1 p. 12 (1957).
- (5) Illum. Eng. 53. 2 p. 91. p. 103 (1958).
- (6) " 53. 8 p. 438 (1958).
- (7) " 54. 6 p. 395 (1959).
- (8) Illum. Eng. 50. 80 p. 395 (1955).
- (9) 小堀: 高出力ケイ光灯による照明施設例: 昭和 34 年照明学会東京支部大会講演論文 (19).
- (10) 小堀: 高出力 ロビッドスタートケイ光灯の経済問題, 「三菱電機」, 照明特集号 32 No. 9, p. 43 (昭和 33 年).
- (11) 小堀: 新しい工場照明: 電気公論第 32 巻第 6 号 (昭和 31 年).
- (12) 小堀: 照明のデータシート No. 59 照明学会誌 44 No. 1 (昭和 35 年).

# 高圧水銀灯照明と保守から見た灯具の構造

大船製作所 田 中 民 雄*

## Examples of Practically Applied High Pressure Mercury Vapor Lighting & Construction of Fixtures from Maintenance

Ofuna Works Tamio TANAKA

Installations of high pressure mercury vapor lighting are on the rapid increase. From the characteristic features of the lamp, they are mostly installed at high places whether indoor or outdoor, posing a problem in maintenance. A key to solve the question is a considerate design in construction and mounting to assure ease and dependability. The writer herein gives a number of practical examples covering a wide range of applications such as in power stations, manufacturing plants, assembly-halls and sign boards. Relatively unusual is the floodlighting of a statue of Kannon buddha on top of a hill. A few novel examples are also quoted from foreign applications.

### 1. ま え が き

高圧水銀灯の普及度は、この数年来の施設例から見ると急速に増加しつつあることが如実に示されている。

この高圧水銀灯は光源としての特質上、屋内外を問わず比較的高所に設置された灯具に利用されることが多いので、その保守についてはおのずから困難さが伴うことは当然予想される。そうした面からも、灯具の構造および取付方法はできるだけ容易で、かつ確実に操作できることがとくに要求されるのである。そこで最近の実施例を紹介するに当たり、あわせて保守の面でとくに目についたものを採り上げて見ようと思う。なお海外の2, 3の例も付け加えて参考に供することとした。

### 2. 実 施 例

図2.1(a)は灯具が火力発電所の鉄塔に取付けられた例で、灯具はガラスグローブのプリズムによって配光を制御したものである。その取付構造を図2.1(b)により説明すると柱の側面に直付けされた鉄箱の中に安定器が収納され、そのフタ板に取り付けられたパイプの先端に灯具があるが、このパイプはフタ板とともに矢印で示すように、チョウツガイによって水平方向に回転させることが可能となっている。このことから取付工事の

ときは鉄箱をまず単独で取付け、つぎにパイプとフタ板はチョウツガイを介して鉄箱に連結することができる。またランプ交換や灯具の清掃点検に際しては前述のようにパイプを回転させて柱の近くに移動させて行なえるので、使用時の灯具直下が、脚立を置くことのできないような場所では有利である。また建家の壁面に灯具を取付ける場合も、この構造を利用して近くの窓から容易に操作することができると思う。

図2.2(a)は自動車工場の塗装前処理室の天井鉄骨よりつり下げられた灯具で、そこに発生する酸性ガスか



図 2.1(a) 中部電力新名古屋火力発電所の照明 (ランプは HF-300 T)

Fig. 2.1(a) Lighting at a thermal power station of Chubu Electric Power.

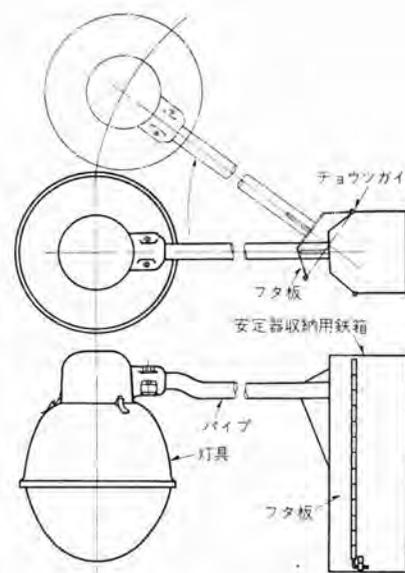


図 2.1(b) 中部電力新名古屋火力発電所の灯具外形図

Fig. 2.1(b) Outline of light used at a power station Chubu Electric Power.

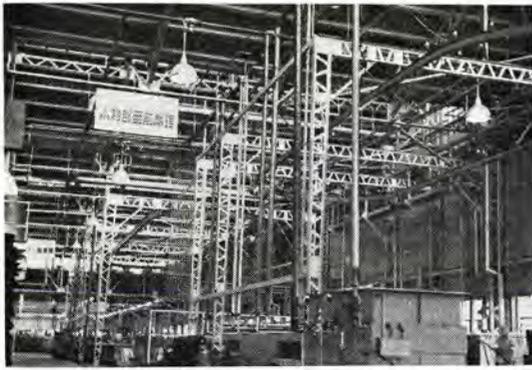


図 2.2(a) 東急くろがね小形自動車(埼玉) ランプは HF-400 T

Fig. 2.2(a) Lighting of a manufacturing plant.

らランプを保護するため、密閉構造をとっている。このハングは上部にS環を取付けたもので、そのハングパイプとの取合は図 2.2 (b) に示されるようになっている。このようなハングではかりに灯具に横方向の力が加わってもS環部分を基点として回転するので灯具の受ける力は減少され、

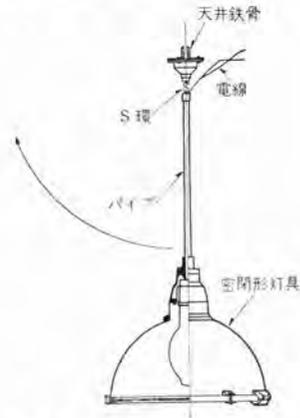


図 2.2(b) 東急くろがね工業の塗装前処理室用灯具

Fig. 2.2(b) Light used at the manufacturing plant.

かつランプ交換のときは矢印のように灯具を上方に回転させて天井鉄骨面まで引上げるし、配線もS環部より引出すことにより容易になると思われる。

図 2.3(a) は発電所の特高開閉所における灯具の取付状況を示す。天井には高圧線が張り巡らされており設置不可能であるばかりでなく、壁面も3m以上の位置は危険である。しかしながら約10mの個所のディスコン部を照明する必要に迫られるため図 2.3 (b) に示す灯具

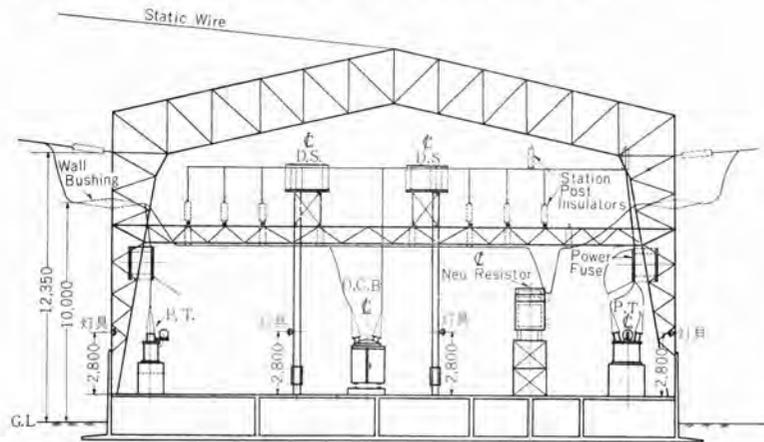


図 2.3(a) 屋内特高開閉所の灯具取付図(関西電力 大阪発電所)

Fig. 2.3(a) Fitting of luminaries at an indoor switching station.



図 2.3(b) 灯具外形(屋内特高開閉所) 関西電力 大阪発電所)

Fig. 2.3(b) Appearance of light.

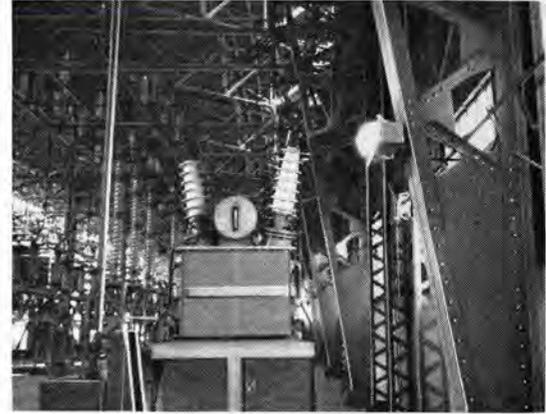


図 2.3(c) 灯具取付状況(屋内特高開閉所)(関西電力 大阪発電所)

Fig. 2.3(c) Fitting of luminaries at indoor switching station.

を図 2.3(c)のように取付けた。この灯具は上方へ65%、下方に35%の光束を配分するように反射面と前面 プリズムガラスが設計されている。こうした使用方法としては屋外変電所の比較的低い場所にも応用することができると思う。

図 2.4 は発電所の補機室で上、下部とも プリズムグローによる灯具が天井を含めて室全体を適当に照明するために中づりされて横たわる電線管より ホックス を介して直接接続された例である。

図 2.5(a) は仏像照明の例である。危険を防ぐため当初はポール上に投光器を置く予定であったが、地形上

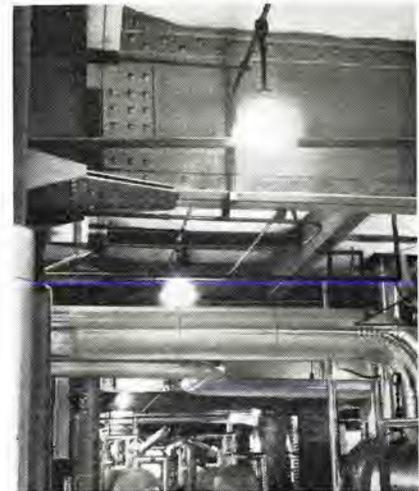


図 2.4 発電所補機室の照明(関西電力 大阪発電所)

Fig. 2.4 Lighting of power station auxiliary machine room.



図 2.5(a) 大船観音の夜間照明  
ランプ HF-1000-SDT, HF-400-SDT, HF-300 SDT  
Fig. 2.5(a) Lighting of a statue of Kannon buddha.



図 2.5(b) 大船観音の夜間照明用投光器 (ランプは HF-300-SDT)  
Fig. 2.5(b) Floodlight used for Kannon buddha.



図 2.7 茅ヶ崎ゴルフ場の外灯 (ランプは HF-300 T×2)  
Fig. 2.7 Outdoor lighting of a club house.



図 2.8 福岡県庁の県会議事堂照明  
ランプは、HF-400-SDT×1, HF-100-SDT×4  
Fig. 2.8 Lighting of a prefectural assembly hall.



図 2.6(a) 東京都体育館の外灯照明 (ランプは HF-300 DT)  
Fig. 2.6(a) Outdoor lighting of Tokyo gymnasium.

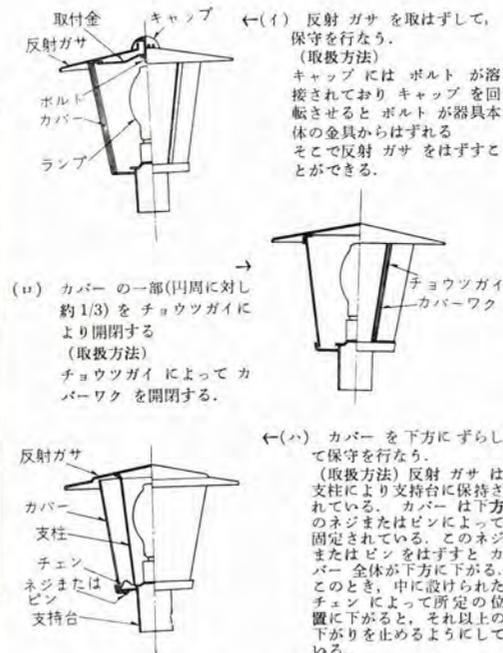


図 2.6(b) 柱上灯の構造例  
Fig. 2.6(b) Example of pole heads.

許されないの、地上高 30 cm の鉄箱 (安定器収納) の上に設置することになった。仏像に向かった位置で投光器が直接視野にはいらないように樹木を植えてシヤ光したが、万一の事故を防ぐ意味で図 2.5 (b) のようにがんじょうな保護網をかぶせている。この例のような観光的な施設の中にあっては少なくとも、この程度の保安対策は考えに入れるべきと思う。図 2.6 (a) は公園、広場などに多く使われる柱上灯の例である。この種の灯具は灯具間距離が比較的大きいため、その保守には割合に手間がかかるものと思われる。ではランプ交換のときどのような構造になっていれば容易に作業ができるだろう

開閉しうるもの。(ハ) はカバーをポールに沿って下方に下げうるものである。灯具の原価面からすれば(イ) が有利であり、保守の面では(ロ)(ハ) がすぐれていると思われる。図 2.7 はゴルフ場のクラブハウスに設けられた外灯で 2 灯用である。二つのランプの間には円錐体の安定器収納部を設けているので、ポール基部に安定器を置くことができない場合は有利である。

最近では安定器収納場所として屋内ではたとえば前記の図 2.1 (b) のように、屋外でも安定器を収納した灯具の例は 2, 3 に止まらないようであるが工事は容易となり、安定器の故障はほとんど皆無と考えられるので、

保守の面でも必ずしも不利ではないと思う。

図2.8は県会議事堂に付けられた灯具の例である。この灯具はもと白熱電球を使用していたものであるが、演色性のすぐれた デラックス HF-SD 形 ランプ の出現に及んで、そのままの形で白熱灯との混光照明灯具に切換えられたものである。そのランプ配置は中央部が HF-400 SD

周囲の8灯のうち4灯は HF-100 SD にし、残りは従来どおり 150 W の白熱電球を利用したものとなっている。旧施設をそのまま水銀灯に流用した例は少ないだけに、おもしろい一例と考えられる。

図 2.10～図 2.13 は屋内照明の例で、天井の高さにより反射 ガサ の配光を適当に選んでいる。図 2.14～図 2.16



図 2.9 資生堂大船工場のボイラ室  
ランプは HF-300 T  
Fig. 2.9 Lighting of a boiler room.



図 2.10 日本建鉄 ランプは HF-400  
Fig. 2.10 Lighting of a factory.



図 2.11 プレス工業 (川崎)  
ランプは HF-300 D  
Fig. 2.11 Lighting of a factory.



図 2.12 旭硝子千葉工場の照明  
ランプは HF-400  
Fig. 2.12 Lighting of a factory.



図 2.13 本田技研  
ランプは HF-400 DT  
Fig. 2.13 Lighting of a factory.

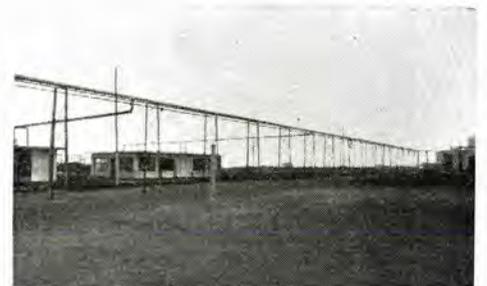


図 2.14 旭硝子千葉工場の屋外照明  
ランプは HF-400  
Fig. 2.14 Outdoor lighting of a factory.



図 2.15 生駒山頂の夜間照明  
Fig. 2.15 Lighting of the top of Mt. Ikoma.



図 2.16 中部電力新名古屋火力発電所重油  
ストレージタンク 付近の照明 (ランプは  
H-400 T)  
Fig. 2.16 Lighting of a power plant near  
an oil tank.



図 2.17 スキヤ橋 ショッピングセンター入口の大理石  
盤面の照明 (HRF-400 T ランプ 20 灯)  
Fig. 2.17 Lighting of a marble panel sign  
board.

は屋外照明例でいずれも反射鏡およびカバーのプリズムガラスによって配光制御を考えた灯具を使用したものである。

図 2.17 は高速道路の架橋下に灯具を取付けて、ショッピングセンターの入口標示盤を照明したもので、灯具は簡単なランプホルダとしている。標示盤面の鉛直面照度は平均 1,500 lx である。

### 3. 海外の灯具構造例

図 3.1 は直接灯具に関係はないが、天井鉄骨などに



図 3.1 天井鉄骨等への簡単な取付金具の例 (Illum. Eng. March 1959 P-58 A より)  
Fig. 3.1 Example of simple metal fixture hanger.

簡単に灯具を取付ける金具例としてあげたものである。工具を必要とせず、鉄骨への穴明も不要であること、取扱いが容易で確実であると思われる利点がある。また鉄骨に沿ってスライドすることができることは便利と思われる。

このような取付金具を灯具自体に組み込めばさらに有利ではなかろうかと思う。図 3.2 は投光器の、図 3.3 は外灯の例として、ポール上に直接取付けられるものである。灯具が 1 個でなく、ポール上に複数個付けられるときでも簡単な取付金具を製作すれば用が足りる。その例として図 3.4 を参照していただきたい。この灯具は道路の交差点部や広場などに使用されているものであるが、最近の



図 3.2 柱上取付用の投光器の例 (Light & Lighting July 1959 より)  
Fig. 3.2 Example of flood light of pole mounting.

図 3.3 柱上灯用外灯の例 (Light & Lighting April 1960 P-92 より)  
Fig. 3.3 Example of a pole mounted light.



高圧水銀灯照明と保守から見た灯具の構造・田中

図 3.4 柱上取付の外灯例 (Light & Lighting April 1960 P-92 より)  
Fig. 3.4 Example of a pole mounted light.



図 3.5 駐車場の夜間照明 (Light & Lighting April 1960 p-99 より)  
Fig. 3.5 Lighting of car parking place.



図 3.6 安定器内蔵の外灯例 (Illum. Eng. Jan. 1959 P-27 より)  
Fig. 3.6 Example of fixture with self contained ballast.

傾向としては、このように数灯を 1 個所にまとめた外灯が目だっているようである。なおこの場合のポールはまぶしさを防ぐために比較的高いものが多いが、ランプをまとめているので保守、工事の経済性からも有利であり、今後このような傾向が増すように考えられる。図 3.5 は 1 本のポールに数灯の水銀灯が付けられた駐車場の一例を示すものである。図 3.6 は安定器を内蔵した外灯の例で、ポール基部に安定器を置けない場所には大いに利用されるものと思う。

### 4. むすび

実施例とあわせて、簡単に灯具の構造例を紹介したが、水銀灯が今後、ますます使用分野を広げる可能性が多だけに保守の点を十分に考慮した灯具の設計の必要性を痛感させられる次第である。

#### 参考文献

- (1) 上川：照明関係 (1), 「三菱電機」, 33, No. 10, p.136 (昭 34).
- (2) Light & Lighting. (引用は図参照).
- (3) Illum. Eng. (引用は図参照).

# 旅館伊豆「八景園」の照明施設

名古屋営業所 小川 淳*

## Illuminating Equipment of Hotel Hakkeien

Nagoya Sales Office Jun OGAWA

From the viewpoint of their character, hotels need many facilities for the comfort and relaxation of guests. These points must be taken into account in the design of their illumination, which has made a great progress recently. Illumination and pleasing atmosphere must go together in it. For the forthcoming great event of Olympiad, all the hotels in this country are trying hard to improve their accomodation. Illumination is a vital requisite to this end. The writer gives an example of the most up-to-date design of illumination made by Mitsubishi to Hotel Hakkeien of Nagaoka hot spring in Izu peninsula, hoping it will serve for information to those interested in.

### 1. ま え が き

旅館の照明については、最近非常に良くなって来ているが、他の一般の照明とは違った特殊の問題が数多くある。

旅館はその性質上、建築構造も落ち着いた居心地の良いものになることはもちろん、客の仕事上、必要な施設を考慮し、それらにふさわしい落ち着いた照明とし、読書、執筆などのために電気スタンドを用意し、家庭の延長とも考えられるくつろいだふんい気が必要である。

したがってとくに大切なことは、ものを見るために必要な照明と、環境を気持ちよくするための照明とを、どう組合せるかについて十分考慮しなくてはならない。

つきに当社で照明設計ならびに納入した、伊豆長岡温泉かつらぎ館別館「八景園」の照明について、以下順を追って述べてみる。

### 2. 照度基準と光源の色

#### (1) 照度基準

旅館・料飲店の照度基準⁽¹⁾として、日本工業規格 JISZ 9110-1960 としては、表 2.1 のように基準を制定している。

#### (2) 光源の色

光の演色性については、旅館照明の場合もとても重要なことであるにもかかわらず、これが考慮されている旅館が数えるほどしかないのは残念である。「八景園」の場合はこの点を考慮し、演色性の良い三菱 デラックス 冷白色 ケイ光ランプを使用した。

表 2.1 旅館・料飲店の照度基準(JISZ 9110-1960 附表の抜萃)

照度段階	標準照度 $L_x$	照度範囲 $L_x$	旅館	食堂、レストラン 駐 飲 食 堂	遊興飲食店
aaa	1,000	1,500~100	—	—	—
aa	500	700~300	会計事務室	○サンプルケース	—
a	200	300~150	フロント、事務室、 板場、玄関、携荷 品預り所、車寄せ、 食堂、広間、調理 室 ○客室机、○洗 面所鏡	○レジスタ ○板 場、入口、玄関、 携荷品預り所、調 理室 ○食卓	○レジスタ ○板 場、携荷品預り所、 調理室
b	100	150~70	客室、浴室、製菓 室、喫茶室、バー、 ロビー、廊下、階 段、脱衣室、洗面 所、便所	客室、待合所、 洗面所、便所	入口、玄関、料亭 客室 ○客室内の 小規模の調理台
c	50	70~30	庭、非常階段	通路	廊下、通路、 洗面所、便所
d	20	30~15	—	—	ふんい気などを中 心とする喫茶店の 客室、バーの客室
e	10	15~7	—	—	カフェー、キャバ レーの客室と廊下

注 ○印は局部照明を併用してこの照度を得てもよい  
舞台照明については規定しない。

表 2.2 各色 ケイ光ランプの特長と用途

色 別	色 温 度	特 長	用 途
昼 光 色	6,500°K	涼しいふんい気を作る。赤系の色のない所によい。	工場(検査用) 夏の庭園など青味の多い場所で青を美しく照らす。 染色、紡織、多色刷印刷、タバコ検査、塗装などの工場。
デラックス 昼 光 色	北窓からは いる曇天光 に相当	演色性が良好。昼光に近い感じで 白色が真の白に 青系の色がきれいに出来る。涼しい ふんい気を作る。	色彩調節を施した室。 美術館、博物館、アトリエ、写眞、 陶器店、白生地店、氷店、夏のリゾート、 住宅(夏の書斎、居間など)。
冷 白 色	4,500°K	効率がよく落ち着いたふんい気を作る。色が問題にならない場所です。	事務所、工場の一般照明。 フラットホーム、街路灯、体育館。
デラックス 冷 白 色	日の出から 約2時間後 の日光直射 光に相当	演色性がもっとも良い。自然に近い。さわやかで 快いふんい気を作る。	事務所、銀行、工場(染色、紡織、塗装、色彩調節実施場所)。 発電所、駅待合室、学校、公会堂、映画館、写眞、病院、車庫、船舶の客室、ホテル、 一般商店(デパート、衣料品、装飾品、化粧品、 花、本、文房具、電器、靴、鞆、金物、タバコ、 薬)、レストラン、喫茶店、遊藝場、 住宅(書斎、玄関、台所、その他一般)。
白 色	3,500°K	効率がよく暖か味のほしい所によい。	冬の外灯。
デラックス 白 色	日の入りの 約1時間前 の日光直射 光に相当	演色性がよく赤味のほしい場所によい。やや暖か味のある などやかなふんい気を作る。	応接室、銀行、社教会。 一般商店(菓子、果物、野菜、靴、鞆、貴金属、 家具、玩具)、 レストラン、酒場、劇場、浴場、旅館。 住宅(居間、食堂、座敷)。
温 白 色	3,000°K	効率がよく 非常に暖か味のほしい場所に向く。	暖かいふんい気を出したい所。
デラックス 温 白 色	100ワットの 白熱電球 の光に相当	演色性が良好で 白熱電球に近いふんい気を作る。デラックス白色より さらに暖か味のほしい所によい。	肉屋、魚屋など赤い色の物を美しく出したい所。 旅館、酒場、 住宅(冬の寝室、座敷)。

各色 ケイ光ランプの特長と用途については、表 2.2 による

### 3. 各部の照明

#### (1) 玄関ポーチ・玄関・玄関ホールの照明

わが国の自動車の数も、これからますます多くなる。

玄関ポーチは、運転者にまぶしくなく、進入路がはっきりわかるように、十分な明るさが必要である。

「八景園」玄関回りの灯具配置については、図 3.1 によるが、同館の場合は、山の中腹に建てられた旅館であるため周囲が比較的暗いので、入口ひさしの周囲にケイ光灯 FL-40 W 4 灯を使用し、大体平均照度 120 lx 程度とした。

玄関はもっとも客に親しみと、清浄な感じを与え、客の送り迎えに対し、便利よくすることが必要であり、また天井からの圧迫感を避けるため、ケイ光灯 FL-40 W 2 灯をコーナーライト式に取付けた。(図 3.2)

このほか玄関入口に夜間、遠方より屋号のよく見える

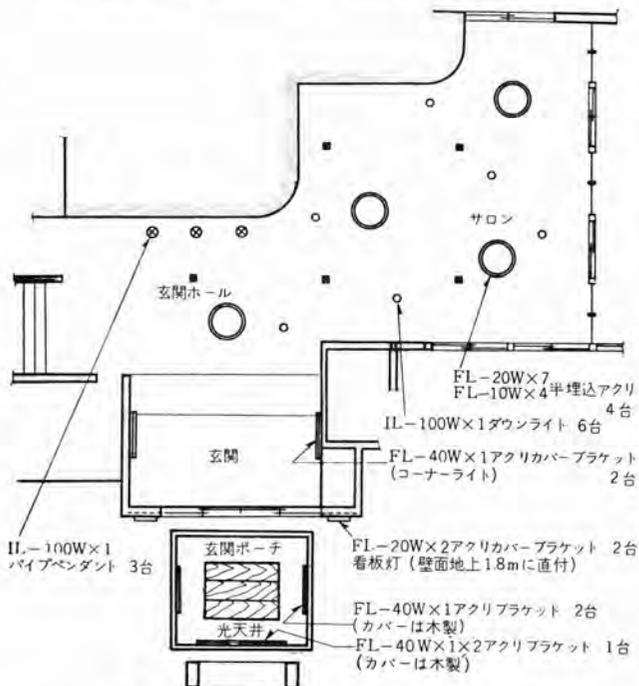


図 3.1 八景園玄関回り照明器具配置図  
Fig. 3.1 Layout of lighting fixtures at the entrance of Hakkeien.

ように、ケイ光灯 FL-20 W 2 灯用照明看板を 2 台取付け、旅館名を表示した。(図 3.3)

玄関ホールは、客のはいりやすい感じがして、どこか親しめるようにするため、中庸の明るさとし、平面的な照明を避ける趣味的な感覚をつくるために、明暗をたくみに配分した落ち着いた照明方式とした。

灯具は、ケイ光灯 FL-20 W 7 灯 (FL-10 W 4 灯入) 器具 4 台と、白熱電球 IL-100 W ダウンライト 6 台を使用し、平均 150 lx とした。(図 3.4)

このほか帳場のカウンター上には、白熱電球 IL-100 W パイプ つり器具 3 台を使用し、客と従業員との応接に便利ようにした。

#### (2) サロン・サンルーム・応接室の照明

客が談話をしたり、テレビやラジオを楽しんだりするいい場所であるため、周囲の照明としては柔らかい落ち着いたふんい気にするのがよい。

このため玄関ホールに続くサロンは、同一照明とし、ガラス越しに仕切られたサンルームはケイ光灯 FL-40 W 20 灯を使用した間接照明方式とし、平均 100 lx とした。

#### (3) 応接室の照明

応接室には、ケイ光灯 FL-40 W 2 灯用直付器具を 2 台使用し、しゃれたデザインとともに部屋にマッチした照明方式とし、平均 100 lx とした。(図 3.6)

このように客のいい場所を、三つの照明方式として、それぞれ異なった持味をいかしている。

#### (3) 娯楽室の照明

ピンポン・撞球などの運動をする場所であるため、比較的明るくする必要がある。



図 3.2 玄関  
Fig. 3.2 Entrance.



図 3.3 照明看板  
Fig. 3.3 Illuminating sign board.



図 3.4 玄関ホール  
Fig. 3.4 Hallway



図 3.5 サンルーム  
Fig. 3.5 Sun-room.

このためとくに高出力ケイ光灯 FLR-110W 4灯を直付けとし、部屋中央を明るくする方式とした。(図 3.7)

この種の和風建物に高出力ケイ光灯を使用した例は比較的少なく珍しい。

このため平均 150 lx を得ているが、中央遊戯台面ではかなり高照度となっている。

#### (4) 廊下・階段の照明

旅館の廊下や階段が、あまり薄暗い感じになっていては不快である。このため廊下は、ケイ光灯 FL-20 W 1 灯用和風セード器具を、ブラケット式に使用し割合明るい照明とした。

器具の取付間隔としては、大体天井の高さの 1.5 倍程度とした。

「八景園」の場合は、先に述べたように、山の斜面に幾棟にも分れた部屋があるため、非常に階段が多い、この

ため階段灯としては、ケイ光灯 FL-20 W 1 灯用和風セード器具を天井に直付けした場合(図 3.8)と、白熱電球 IL-100 W 1 灯用 アクリカパー 付器具をブラケット式に取付けたもの(図 3.9)との 2 種とし、階段照明に変化をつけることとした。

#### (5) 客室の照明

客室は商談や招待にも使われるし、ちょっとした仕事にも使われ、寝室にも使われるのであるから、それらの場合の機能を満足させることができ、さらに気分をよくするために、十分な照明方法を考えなくてはならない。

図 3.10 は客室の例であるが、客間の全般照明として、ケイ光灯 FL-40 W 3 灯用和風セード器具をつり下げ、落ち着いた照明としている。(図 3.11)

ベランダには、ケイ光灯 FL-20 W 1 灯用和風セード器具を、かもしの上にコーナライト式に使用した。(図 3.12)

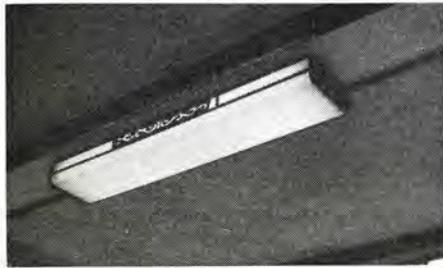


図 3.6 応接室の照明器具  
Fig. 3.6 Luminaire in the drawing room

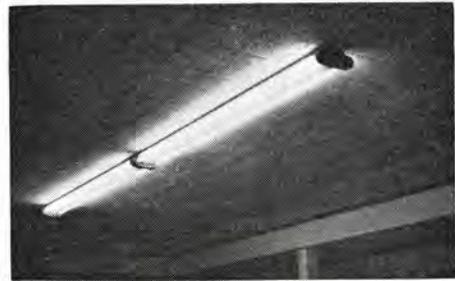


図 3.7 娯楽室の照明器具  
Fig. 3.7 Luminaire in the recreation hall.



図 3.8 階段  
Fig. 3.8 Stair case.

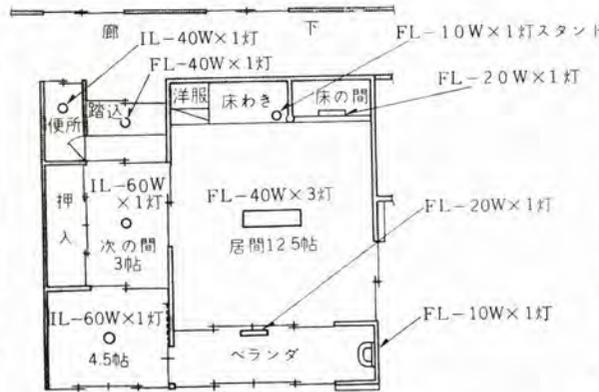


図 3.10 客室の例  
Fig. 3.10 Example of guest room.



図 3.9 階段  
Fig. 3.9 Stair case.



図 3.11 客室の例  
Fig. 3.11 Example of guest room.



図 3.12 ベランダ  
Fig. 3.12 Veranda.



図 3.13 洗面所  
Fig. 3.13 Wash stand.

部屋付の洗面所には、ひげそり、化粧、洗面などに便利なるようにするため、ミラーブラケットとしてケイ光灯 FL-10 W 1 灯用 アクリカパー 付器具を、鏡の上方に ブラケット式に取付けた。(図 3.13)

また床の間の生花、掛軸、置物をよく鑑賞できるようにするため、かまいの内側に ケイ光灯 FL-20 W 1 灯用器具を使用するとともに、まくらもとのあかりとして、ケイ光灯 FL-10 W 1 灯用 アンドン 形 スタンド (FR-10 形) を使用している。

このほか踏込、次の間、便所などに関しては、施主のご意向もあり、また同一光源による平面的な感じをさけるため、白熱電球による照明とした。

なお、客室の部屋の広さとワット数の基準としては、表 3.1 を参照願いたい。これは文献 (2) を若干修正して作成したものである。

#### (6) 大広間の照明

大広間は主として宴会に用いられ、その使い方からいって、和風旅館独特のものである。

建築も、従来は桃山時代の殿館形式の格天井とか、近來は軽快な近代感覚の構造から、舟底天井も多く行なわれるようになって来ている。

照明施設についても、この建築意匠に マッチ した照明を行なうことが主眼点であるが、豪華な感じと、明朗な気分とすることが望まれる。

この照明設備としては、広々とした感じを十分に出す

表 3.1 客室の部屋の広さとワット数

室の広さ (帖)	ケ イ 光 灯			電 球	
	簡易形	包囲形	天井埋込形	カサ付	グローブ入り
3	20 W×1	20 W×2 30 W×1	—	40 W	60 W
4.5	20 W×2 30 W×1	20 W×3 30 W×2	20 W×4 30 W×3 40 W×2	60 W	75 W
		20 W×2	20 W×3 30 W×2		
6	20 W×2	20 W×3 30 W×2	40 W×2 30 W×3	75 W	100 W
8	20 W×3 30 W×2	20 W×4 30 W×3	40 W×2	100 W	150 W
		30 W×3	30 W×4 40 W×2		
10	30 W×3	30 W×4 40 W×2	40 W×3	100 W	150 W
12	40 W×2	40 W×3	40 W×4	150 W	150 W

- 注 1. 以上のほか床の間の照明にケイ光灯 FL-10 または 20 W を使う。  
2. 机上にケイ光灯スタンドを用意する。  
3. ベッドランプを用意する。



3.15 大広間両側の鞆の間  
Fig. 3.15 Corridor of the banquet room.



図 3.17 大浴湯  
Fig. 3.17 Bath.



図 3.18 浴室内鏡灯  
Fig. 3.18 Looking mirror in the bath.

ために、ケイ光ランプを天井に直付けするか、埋込むことになる。

「八景園」の大広間には、建築に マッチ し、また旅館名にもちなみ、円形ケイ光灯 FCL-30 W 8 灯用器具 6 台を天井に直付けしたシャンデリア形式を採用した。(図 3.14)

舞台には、ケイ光灯 FL-40 W 1 灯用器具 14 台を天井に直付けし、これを 3 回路に分け明暗のコントロールができるようにした。

大広間両側の鞆の間には、ケイ光灯 FL-40 W 1 灯用和風セード器具 7 台を天井に直付けした。(図 3.15)

このほか、中広間には大広間の照明と同一手法を採用し、円形ケイ光灯 FCL-30 W 3 灯用器具 6 台を、シャンデリア式に天井直付けとした。(図 3.16)

#### (7) 大浴場の照明

浴室には防湿器具を使用する必要がある。温泉では泉質により器具材質にも注意しなくてはならない。

ここでは実用面より考え、浴そうの上よりも流し場の照明を主体として考えたため、浴室周囲の壁にケイ光灯 FL-20 W 2 灯用和風セード付防湿器具 8 台を直付けし、



図 3.14 大広間  
Fig. 3.14 Banquet room.



図 3.16 中広間  
Fig. 3.16 Medium banquet room.

前面には色付 ガイヤガラス を使用し、はなやかなふんい気をつくっている。(図 3.17)

また浴室内鏡の上に ブラケット として、ケイ 光灯 FL-20 W 1 灯用 プラスチックカバー 付器具 (FV-W 20 形) 2 台を使用した。(図 3.18)

(8) 屋外の照明

図 3.19 は「八景園」の屋外平面図である。

すでに前述したように、この旅館は山の中腹に幾棟にも分れた部屋を有しているため、客が玄関へ到着するまでに、かなり斜面を上らなくてはならない。したがって山の上り口に、夜間でも屋号が読みやすく、はっきり見える サイン が必要である。

このため屋号を表示した ネオン 看板を取付けた。

斜面道路には、ケイ光水銀灯 HF-400 T (400 W) 1 灯用



図 3.19 長岡温泉かつらぎ館別館八景園平面図  
Fig. 3.19 Plan of Hakkeien.

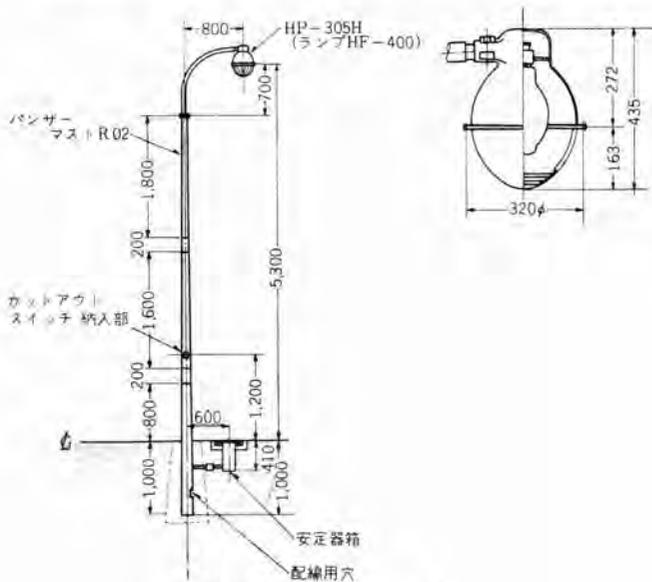


図 3.20 水銀灯灯具  
Fig. 3.20 Mercury light fixture

ポールライト 3 台を使用し、車の通行や、歩行に不都合のないように設置した。(図 3.20)

また玄関前広場には、ケイ光水銀灯 HF-400 T (400 W) 1 灯用 ポールライト 2 台を使用し、客の夕涼みなどいこいの場所としての照明を行なった。(図 3.21)

(9) その他

当社では、照明器具のほか旅館設備として、扇風機を始め テレビ・ラジオ・暖房器具等多数の電気品を納入したが、とくに従来 エスカレータ を宿泊施設に設備した例としては、わが国では、帝国ホテル旧館の宴会場への昇降用に設備したもの 1 個所だけであったが、これに次いで、「三菱エスカレータ」800 L 形 1 台を、上部の部屋からの客を大広間へ運ぶために設置した。

4. む す び

4 年後の東京 オリンピック をひかえ、わが国観光事業の最近の発展はめざましいものがある。中でも観光施設のもっとも大きな要素をなす宿泊施設にあっては、ホテル・

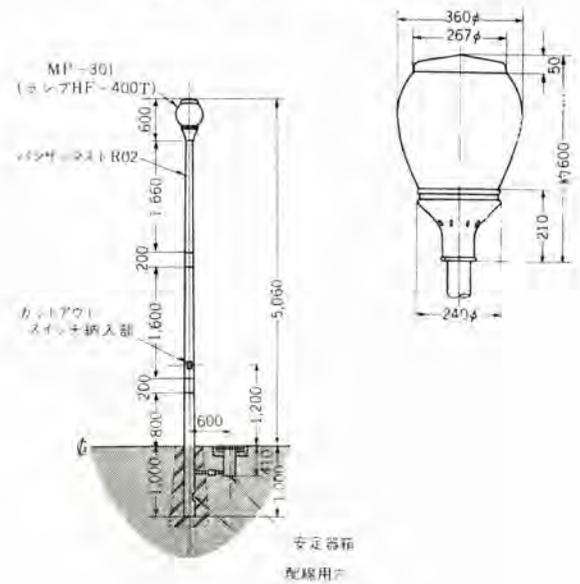


図 3.21 水銀灯灯具  
Fig. 3.21 Mercury light fixture.

旅館の増設が全国的に活況を呈している。

しかしながら、今日の ホテル・旅館には、意匠・設備・機能の点で陳腐化したものが多く見受けられ、種々の問題・懸案が残されていて、これを解決するには、なお相当の年月と努力を要するものと思われる。

そこで以上当社で、照明設計ならび納入した実施例として、伊豆長岡温泉かつらぎ館別館「八景園」の照明について、各部屋の照明施設を述べた訳であるが、いささかなりともご参考になれば幸甚である。

なお、伊豆「八景園」の照明設計・製作および納入に当たり山一士建株式会社、関東電気工事株式会社、菱電商事株式会社および当社大船製作所などの関係担当者のご協力をまた、本稿執筆にあたっては本社小堀照明技術課長のご校閲を得たことを付記し、感謝の言葉に代える次第である。

参 考 文 献

- (1) 照度基準 JISZ 9110-1960 日本工業規格 (昭和35年)。
- (2) 住宅の照明—照明教室—1 照明普及会 (昭和33年 4月)。

# シリコン式交直電車

伊丹製作所 小原 太郎*・横 島 洋 志*

## Silicon Type AC-DC Electric Cars

Itami Works Tarō OHARA・Hiroyuki YOKOHATA

Remarkable is the recent progress of AC electric vehicles. Particularly electric cars in the latest design are relieved from the conventional DC operation and some are built for exclusive AC use while some for both AC and DC. Another one is of a simplified AC type that is applied to a relatively light traffic line. Under the circumstances, the Japanese National Railways employs diversified type of electric cars on its trunk lines, which are mostly AC electrified except the Sanyo section. Of the varieties, the so called the silicon electric car making use of the silicon rectifier is considered very promising with its dependability and easy handling. The article deals with cars of this type now under construction.

### 1. ま え が き

最近の交流電気車の発展はじつにめざましいものがあるが、とくに電車は用途に応じて交流専用式、交直両用式、および簡易交流式など各形式のものが試作あるいは量産され、今後ますます進展する交流電化に万全の態勢がととのえられた。

これらの電車は、いずれも AC 20 kV の架線からパンタグラフにより交流電力を集電し、主変圧器あるいは主変圧器→整流器を介して装備した主電動機に供給し駆動するもので根本的な相違点は主電動機形式とそれともなう整流器の有無にあるということができる。

すなわち、交流専用式は、交流整流子電動機を用いるため別名、直接式といい整流器を必要とせず、しかも電力回生ブレーキを容易に行ないうる妙味を有しているがその本質的な整流上の問題から量産実用化にはなお検討すべき余地があり、したがって、整流器を介して実績のある直流電動機を用いる方式が今後も活用されると考えられる。一方、交直両用式は交直全出力はもちろん、たとえ直流部分出力・交流全出力であるとしても回路、機具の面から前者以上に整流器→直流電動機のいわゆる間接式が実用的である。

簡易交流式は、比較的閑散線区を対象とする方式であるから一応論外とすれば、当面の交流電車は整流器式が主力であるといっても過言ではない。

一方、電気化学用をはじめ各方面にすばらしい進出ぶりを見せたシリコン整流器は、信頼度の増大および構造が簡単で保守も容易であるという電車用としては理想的な整流器として在来の水銀整流器に代わってクローズアップされてきた。

当社においては、表 1.1 に示すような交流電気車の製作実績を有するが、これらのうちシリコン整流器はいずれも三菱製整流素子を使用したもので好調な運転をつけている。以下、仙山線交直電車用シリコン整流器を主体に記しご参考に供しようと思う。なお、図 1.1 に交直電車の外観を、図 1.2 にシリコン整流器外観を示してある。

表 1.1 交流電気車製作実績一覧表

項番	品名	両数	方式	納入先
1	ED 451 形交流機関車	1 両	水銀整流器式	日本国有鉄道
2	ED 70 形 "	19 両	同 上	"
3	交直電車	1 両	シリコン整流器式	"
4	簡易交流電車	1 両	誘導電動機式	"
5	ED 71 形交流機関車	7 両	水銀整流器式	"
6	EF 301 形交直機関車	1 両	シリコン整流器式	"
7	交流機関車	10 両	水銀整流器式	インド国鉄(製作中)
8	交直電車	1 両	シリコン整流器式	日本国有鉄道( )



図 1.1 交直両用電車 AC 25 kV—DC 1,500 V 両用  
Fig. 1.1 AC-DC electric car.



図 1.2 シリコン整流器箱  
Fig. 1.2 Silicon rectifier box.

* 技術部



200 V 50 c/s 4 P)

送風機 横形軸流送風機 2台  
(風量 40 m³/min, 風圧 200 mm Aq)

### 4.3 構造

シリコン整流素子は4個ずつ1枚の絶縁板に固定した冷却フィンにネジ込むようになっていて、絶縁板はツクに固定され風洞をも構成している。このほか分圧用並列抵抗およびコンデンサがとりつけられ空気シャ断器、断流器などの開閉サージおよび雷サージによる異常電圧を低減するよう考慮されている。図4.1は整流素子の外観を図4.2は整流器箱のカバーをはずしたところを示してありじつにコンパクトであることがわかる。

冷却系統として電動送風機により吸いこまれた風は、防じんフィルタにより清浄にされたのち上記風洞にはいる。

通風路には整流素子の冷却フィンだけがあり万一の場合でも素子の絶縁に支障がない工夫がされている。

### 4.4 試験結果

シリコン整流器が電車に搭載されることが初めてであり、その工場試験も詳細にわたって行なった。結果の要点はつぎのとおりである。

#### (1) 風速分布

冷却風の通風断面について、サーミスタ風速計を用いおのおの風速分布を詳細に測定し



図 4.1 シリコン整流素子  
Fig. 4.1 Silicon rectifier element.



図 4.2 シリコン整流器箱 (外形カバーを取はずしたところ)  
Fig. 4.2 Silicon rectifier box with a cover removed.

たが平均風速は約 5m/sec で平衡状態もきわめて良好であった。また、電車が進行した場合を仮定して逆風をあたたえたときもほとんど悪影響はなかった。

#### (2) 電流平衡と温度分布

各並列整流素子群の電流負担は均一で、不平衡率は約 ±4%であった。これは直列枚数が4の場合であり途中

シリコン式交直電車・小原・横島

で均圧線をとることなく20枚直列にしたときはさらに不平衡率は少なくなると思われる。

これに対してそれぞれの整流素子の温度のバラツキは ±8%であるが理由としては正方向の電圧降下が異なる素子を直列に接続していたためである。

#### (3) 負荷試験

定格負荷試験としては、定格電圧の110%電圧で定格電流を連続通電し各部の温度上昇を測定し図4.3による結果を得た。実負荷想定試験としては300 A 30秒、600 A 10秒、400 A 5分を5分間休止後繰り返し通電したがその結果は図4.4に示してある。

#### (4) 短絡試験

図3.1のような試験回路を用い実際の使用状態の電圧変動率をあてて電動機が内絡したときを仮定して負荷を短絡した。そのときのオシログラムを図4.5に示してある。

#### (5) 振動・衝撃試験

振動加速度 1g, 片振幅 2.5mm 振動周波数 10c/s の条件による振動試験と無負荷および負荷の状態で行なった4gの繰り返し衝撃試験はいずれも完全に耐え車両用としての耐振機能は十分であることが実証された。

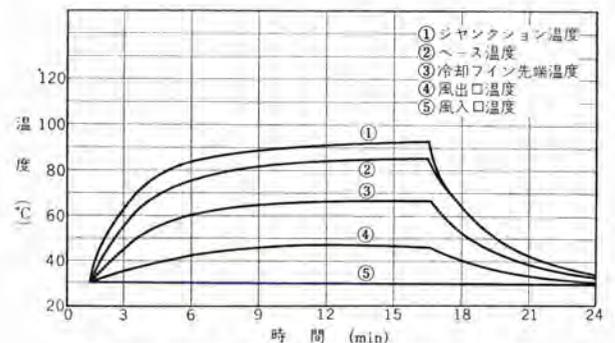


図 4.3 定格負荷における各部の温度上昇曲線  
Fig. 4.3 Temperature rise curve of various points at rated load

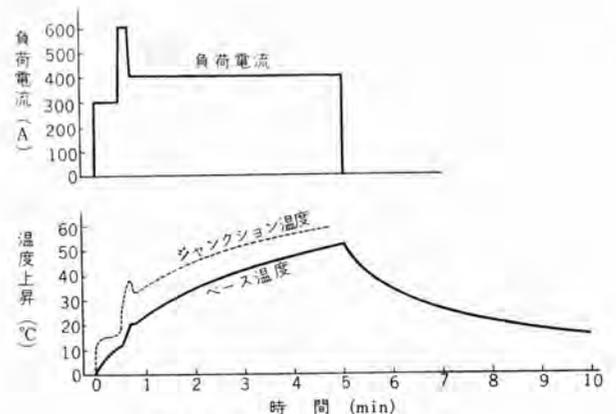


図 4.4 実負荷想定試験 (M種)  
Fig. 4.4 Estimated load test.

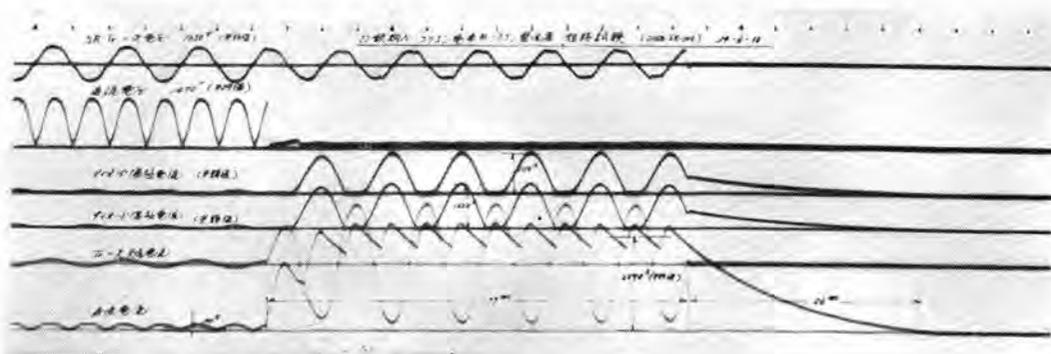


図 4.5 短絡試験 オシログラム  
Fig. 4.5 Short circuit test oscillogram.

## 5. 車両用としてのシリコン整流器

わが国における車両用 シリコン 整流器の実績は少なく、現在なお多くの研究課題が残されているがそれらのおもな点はずぎのとおりである。

### (1) 電圧耐量

逆耐電圧は商用周波数とインパルス電圧とにわけて考える必要がある。これらはいずれも架線条件により決めるべきで一例として仙山線における異常電圧試験からつぎのように仮定する必要がある。すなわち、商用周波数に対しては架線電圧が 22 kV になったとき回路に発生する逆電圧の尖頭値の 2 倍を試験電圧と考える。したがって変圧器の二次側電圧を 1,800 V とすると  $1,800 \text{ V} \times \sqrt{2} \times 1.12 \times 2 = 5,660 \text{ V}$  で 3 秒間耐えなければならない。また、インパルス に対しては  $1 \times 40 \mu\text{s}$ , 7,000 V となっている。

これらの電圧耐量は整流素子が若干個破損したときでも満足し安全運転を図る必要がある。

### (2) 電流耐量

電車の特性から起動時の尖頭負荷およびその繰り返し責務に十分耐えなければならない。とくに高性能電車では加速度が大きいため負荷に見合った容量を設定する必要がある。

### (3) 過負荷保護方式

負荷側で発生する短絡事故としては主電動機の内絡事故がもっとも大きい。このため短絡電流が増大しない前に回路を遮断を行なうよう遮断速度および過負荷検出速度の早い装置を完備することが望ましい。

### (4) シリコン 整流素子

電気化学用などのように連続一定の電流で使用する場

合はあまり問題にされなかったが車両用としてはさきに述べたように負荷の変化率が大きいため熱的にみて heat cycle を繰り返すから構造材料としての ロウ がシリコン整流素子の寿命を支配することになる。

すなわち、P-N 接合をベース金属ケースに接着するロウが長期間の熱的繰り返し周期のうち疲労するためこれを解決したのがハードソルダ法である。この方式に用いるロウは融点が高く、しかもロウ付工程が P-N 接合の製作と同時であるため高い動作温度においても構成材料に疲労がないためである。しかしながら、この方法が最良かどうかは今後の使用実績に左右される。このほか、合金形と拡散形の経済性を含めた良否も同様に今後の問題である。

### (5) 冷却方式

床下に設ける電車の場合、冷却空気には鉄粉やシリカが多量に混入するのでいわゆる防じんが重要である。また、雨雪に対してもシリコン整流素子に異常がないよう考慮すべきである。

## 6. む す び

交流電車用としてのシリコン整流器は出現以来、日は浅いが信頼度が大き取扱も容易であることから今後ますます広範囲に使用されるであろう。現実に当社では国鉄ご指導のもとに北九州用交直電車を製作中でこれにも 810 kW のシリコン整流器が装備されている。このようにシリコン整流器の優位性は交流電化の発展にいつその拍車をかけまさに前途洋々といえる。

稿を終るにあたり、ご指導下された国鉄関係当局の各位ならびに社内各関係者に深く感謝の意を表する次第である。

# 関門ずい道用 EF 301 形交直両用電気機関車

伊丹製作所  
浅越 泰男*・小原 太郎*・相田 茂夫*  
菅 寿郎*・横 畠 洋志*

## Type EF301 Multi Current Electric Locomotive

Itami Works  
Yasuo ASAGOE・Tarō OHARA・Shigeo AIDA  
Hisao KAN・Hiroshi YOKOHATA

To connect the Japan proper and Kyushu island, there is a Kanmon underwater railway tunnel. On the side of the mainland direct current power is used, whereas on the Kyushu side locomotives are operating on alternating current. A locomotive running through the tunnel, then, must be operated on both DC and AC power. Mitsubishi completed the locomotive in question in last March according to a trial order of the Japanese National Railways. The vehicle involves many novel features such as one motor for one truck, silicon rectifiers for AC running, and DC full output and AC partial output-logical answer based on operating conditions. Tests at the factory and in the field have been proved very successful.

### 1. ま え が き

日本国有鉄道の幹線電化計画によると山陽線は直流1,500 V、鹿児島線は交流20 kVによる電化が決定されており、その間の接続用として車上切換装置を有する交直両用機関車の製作が計画された。この機関車が関門ず

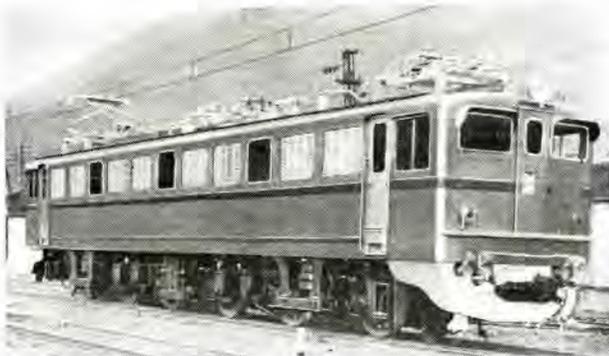


図 1. 1 EF 301 形交直両用電気機関車  
Fig. 1. 1 Type EF 301 multi-current electric locomotive.

い道区間の運転を主体とする EF 30 形であって、昭和 33 年日本国有鉄道から当社が試作依頼を受けて以来鋭意製作に努力し、昭和 35 年 3 月その第 1 号機たる EF 301 号機が完成した。従来の機関車とくらべていろいろと特殊性があるので、それらを中心に、以下この機関車の概要を述べ関係各位のご参考に供したいと思う。

### 2. 設 計

#### 2.1 設計条件

* 技術部

この機関車の設計にあたって提示された条件はつぎのようなものであった。

#### (1) 運転区間

主として下関門司間の折り返し運転であるが、旅客列車は小倉まで運転することがあり、貨物列車は幡生操車場と門司操車場間を運転すること、操車場で15分程度の着機入換を行なうことがある。

交直セクションは門司駅構内の下関寄りに設けられる。

#### (2) 運転性能

##### a. 起動性能

関門ずい道底部の 22% コウ配で、重連、貨車 1,200 t けん引で起動可能なこと。

##### b. 速度性能

(a) 22% コウ配で重連、貨車 1,200 t けん引で平衡速度 40 km/h 程度のこと。

(b) 平たん線の場合平衡速度は直流区間で 70 km/h 程度、交流区間で 35 km/h 程度のこと。

(c) 最高速度は 85 km/h 程度のこと。

#### (3) 電気方式

単相交流 20 kV、60 c/s および直流 1,500 V、交直車上切換方式。

#### (4) 軸配置

B-B-B 1 台車 1 電動機方式

#### (5) 軸重 16 t 以下

#### (6) 方式 整流器式

### 2.2 設計上とくに留意した点

(1) 初めての 1 台車 1 電動機方式なので、台車、駆

動装置、主電動機および引張力伝達方式などの設計には細心の注意を払った。

(2) 22% コウ配がずい道内に存在するという悪条件のため、B-B-B でありながら空転防止については十分検討する必要があった。

(3) この機関車は交流区間では軽負荷、直流区間では重負荷で運転されるので、交流部分出力、直流全出力という形となるのであるが、機器の経済性とにらみ合わせていかなる方法をとればもっとも合理的となるかについて十分な検討を加えた。

(4) 関門ずい道は海底なので屋根上機器や車体に対し、十分な塩害対策を立てる必要があった。

(5) 制御装置器具は、交流部分についてはできるだけ ED 71 形交流機関車と共通品を、直流部分についてはできるだけ ED 60 形直流機関車と共通品を使うよう努力した。

### 3. 特 長

前述の諸事項を十分考慮して完成した機関車にはいろいろな特長が生まれたが、そのおもなものを記せばつぎのとおりである。

(1) 新構想の1台車1電動機2軸駆動方式や引張力伝達方式を採用して台車構造の簡単化をはかるとともに、1軸空転を完全に防止し、かつパーニア制御の採用と相まって粘着特性を向上したため、ずい道内22%のコウ配を重連で貨車1,200tけん引して起動することが可能である。

これによって砂まきの必要性を軽減し、ずい道内部を清浄に保つことができる。

(2) 整流器にはわが国で初めて機関車用としてシリコン整流器を使用したため、水銀整流器の場合のような複雑な温度調整機構が不要となり、器具としてきわめて簡単化された。

(3) 交流区間では3個直列から渡りを経て2個直列という主電動機接続方式を採用することにより、交流部分出力方式は合理的に行なわれている。このため、シリコン整流器も主変圧器も小容量のものとなり、とくに冷却装置は主変圧器の場合まったく不要であり、シリコン整流器の場合小形の軸流送風機2台を内蔵するだけであるので、電源用機器の保守にはまったく手を要しないといえることができる。

(4) 主電動機は1個あたり1送風機、主抵抗器も1群あたり1送風機によって冷却する、いわゆる独立通風方式を採用したため、風道損失がなくなり、冷却効果がよくなっている。

(5) ずい道内の塩害防止対策として、車体外板にス

テレスチールを使用したことはもちろん、ガイシ類にも絶縁距離を大きくとったり、耐食金具を用いるなどの考慮を払っている。

### 4. 性 能

(1) 主電動機容量は、ずい道の底の22%コウ配における起動条件によって決定された。すなわち重連で貨車1,200tをけん引し、0.1km/h/sの加速度で起動すれば、コウ配の終点でつりあい速度40km/hに達し、所要時間は約7分間であるということと、主電動機の過負荷時における温度上昇とを勘案して、この場合の主電動機の過負荷率を130%とするような容量を選定し、1個あたり600kWと決定した。

(2) 22%コウ配起動における期待粘着係数は、重連で貨車1,200tけん引して加速度を0.1km/h/sとした場合24%となり、十分起動可能である。また起動後の加速に

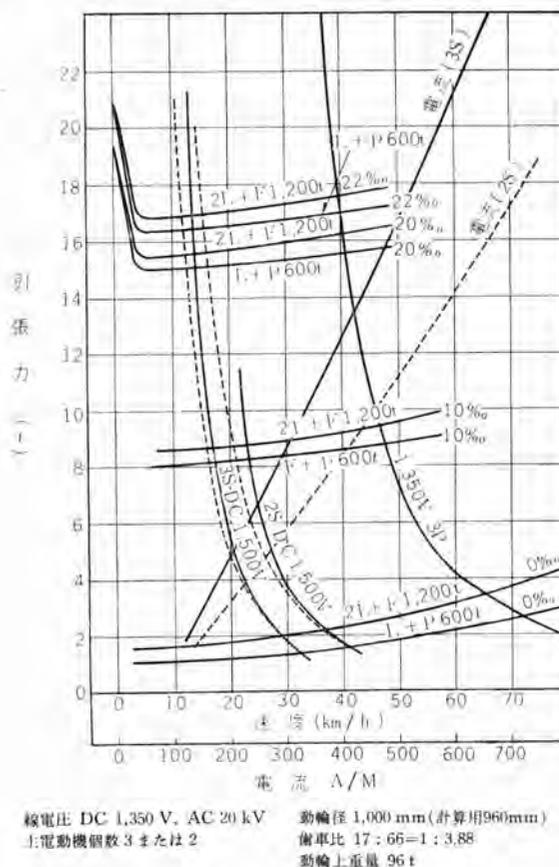


図 4.1 速度-引張力曲線  
Fig. 4.1 Speed-tractive effort curves.

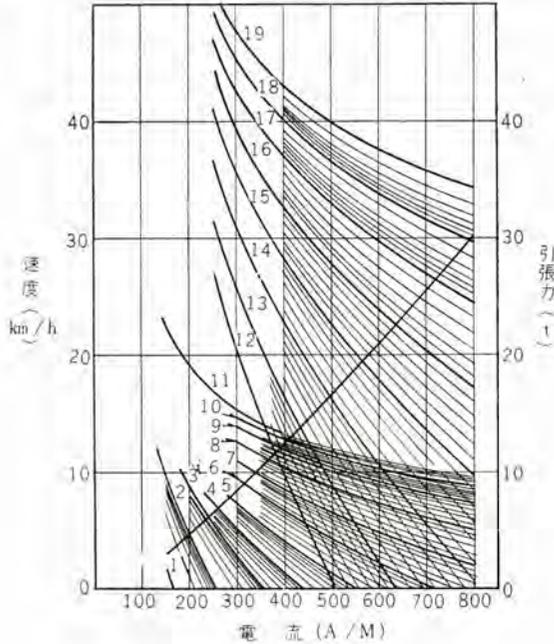
表 4.1 つりあい速度一覧

荷 重	条 件			平 衡 速 度 (km/h)
重 荷 重 貨 車 1,200 t	平たん	直 流 区 間	1,350 V	65
		交 流 区 間	20 V	37
	10%/oo	直 流 区 間	1,350 V	46
		交 流 区 間	20 kV	21
車 荷 重 客 車 600 t	平たん	直 流 区 間	1,350 V	40
		交 流 区 間	1,350 V	72
	10%/oo	直 流 区 間	20 kV	42
		交 流 区 間	1,350 V	47
22%/oo	直 流 区 間	20 kV	22	
	直 流 区 間	1,350 V	40	

おいてはパーニアの使用により、ピーク時においても約20%程度となる。

(3) 速度引張力特性曲線を図4.1に示す。いろいろな場合のつりあい速度を示せば表4.1のとおりとなり、提示された条件を満足している。

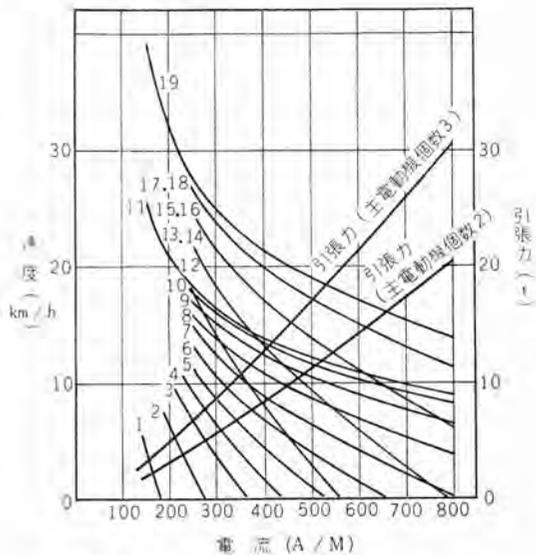
(4) この機関車は交流区間では部分出力であり、高粘着性を要求されることがないので、交流区間において



線電圧 1,350 V (DC) 歯車比 3.88  
動輪径 (計算用 960 mm) 主電動機個数 3 (パーニアを使用した場合を示す)

図 4.2 直流区間 ノッチ 曲線

Fig. 4.2 Notching curves with vernier steps. (DC section)



線電圧 20 kV (60 c/s) 主電動機個数  
動輪径 (計算用 960 mm) 1-11 ノッチ 3個直列  
12-19 ノッチ 2個直列  
(パーニアを使用しない場合を示す)

図 4.3 交流区間 ノッチ 曲線

Fig. 4.3 Notching curves without vernier steps. (AC section)

表 4.2 性能要目一覧

項目	性能	記事	
1 2 3 4	電機方式 軸用配 置	単相60c/s 20kV, 直流 1,500V 乾式整流器式 B-B-B 客貨両用	無加圧区間車上切換 風冷シリコン整流器
5	重量	96 t	運転整備重量
6	寸法 車体長さ 車体高さ 車体幅 車軸間 車軸距	17,000 mm 3,530 mm 2,800 mm 2,490 mm 1,000 mm	連結面間  計算用 960 mm
7	機関性能 1時間定格出力 引張力 速度 最大運転速度	1,800 kW 13,800 kg 46.7 km/h 85 km/h	
8	主変圧器 式 容量	内鉄形油入自冷式 320 kVA	連続定格
9	整流器 式 容量 接続	風冷式シリコン整流器 1,500 V 300 A 連続 単相ブリッジ 12S×2P×4A	1,500 V 560 A 30秒定格 左記2組を出力側で直列接続
10	主電動機 1時間定格 台数	直流直巻 600 kW 1,500 V 430 A 1,000 rpm 3	1台車1電動機
11	動力伝達 方式 車軸比	可操歯車継手方式 17:66=1:3.88	
12	制御装置 式 ノッチ 制御電圧 交流切換	直流調抵抗制御 直流区間3個直列→ 交流区間3個直列→ 2個直列 パーニア制御付 重連可能 直流区間 19 交流区間 16 100 V いっせい惰行、順次力行 方式	単位スイッチ式  自動進段電動カムスイッチ 式 パーニアを除く 無加圧区間車上切換
13	補助回転機 電動発電機	1,500 V 直流直巻 200 V 単相交流 60 c/s 100 V 三相交流 60 c/s 1,500 V 直流-100V 三相 60 c/s	空気圧給機、主電動機送風機、 シリコン整流器送風機 主抵抗器送風機 自動電圧調整器付
14	ブレーキ装置	EL 14 AS 空気ブレーキ と手ブレーキ	

も直流区間と同様抵抗制御を行なうこととした。直流区間におけるノッチ曲線を図4.2に、交流区間におけるノッチ曲線を図4.3に示す。

(5) 整流器の直流出力電圧は、主電動機の1時間定格電流において1,350 Vとなるよう設計し、かつ直流補機に過電圧を与えないよう、線電圧が最高22kVに達しても直流無負荷電圧が1,800 V以下となるようにした。その結果電圧変動率は工場組合せ試験のときの実測値で、主電動機の1時間定格電流430 Aをベースとして14%であった。

(6) この機関車の主要性能要目は表4.2に示すとおりである。

## 5. 回路

交直両用機関車の回路は、その特性上どうしても複雑化することはまぬかれないが、この機関車では与えられた運転条件そのほかを加味し、妙味ある交流部分出力、直流全出力方式としてあることは前述のとおりである。

### 5.1 主回路

ツナギは図5.1に示すとおりで、パンタグラフからの交直各主回路は、交直切換器により区分し、主電動機は両者

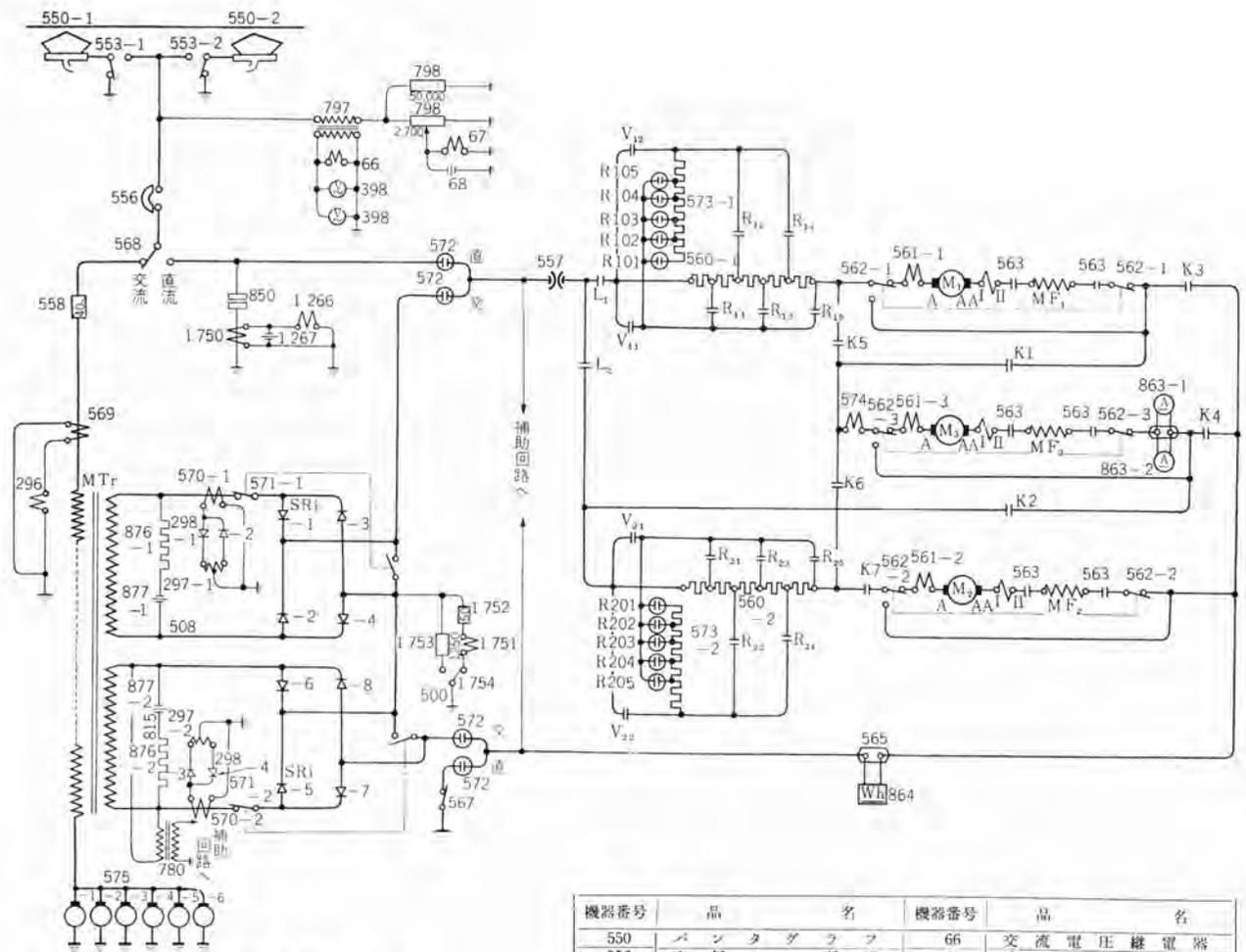


図 5.1 主回路ツギ  
Fig. 5.1 Main circuit diagram,

機器番号	品名	機器番号	品名
550	パンタグラフ	66	交流電圧継電器
556	空気の遮断器	67	直流電圧継電器
557	高速度遮断器	296	一次側過電流継電器
558	主ヒューズ	297	整流器過電流継電器
560	主抵抗器		
561	主電動機回路過電流継電器	1751	接地継電器
562	主電動機開放器		
563	逆転器	MTr	主変圧器
568	交直切換器	SRi	シリコン整流器
571	整流器開放器	L ₁₋₃	断流器
572	交直切換器	K ₁₋₃	組合せスイッチ
573	パーニア抵抗器	R ₁₁₋₂₅	抵抗スイッチ
574	限流継電器	V ₁₁₁₂₂₁₂₃	パーニアスイッチ
850	直流感電器		
797	計器用変圧器		

共通の回路となっている。

交流主回路は、二次巻線を2群にわけた主変圧器と、それぞれの巻線にブリッジ結線した2組のシリコン整流器からなり、これらは出力側で直列に接続し、その接続点を接地している。このような回路によって主変圧器の二次側移行電圧の均等化をはかるとともに、直流機器の対大地耐電圧限度を軽くしている。

また1組のシリコン整流器回路を開放し半電圧運転も可能なように開放スイッチを設けてある。

速度制御は、パーニアノッチを併用した抵抗制御のほか、つぎのような特色ある主電動機の組合せ制御を行なっている。すなわち、

交流区間では主電動機3台と2台の直列接続を、直流区間では主電動機3台直列と3台並列接続方式を採用し、弱界磁制御を行なうことなく全界磁だけで運転特性を満足している。これによって弱界磁装置が不要となっているほか、交流区間の主電動機最高電圧が定格の1/2であることから直流リアクトルも省略することができ、交流部分出力直流部分出力方式の合理化の一助となっている。

さらにこの機関車では前述のとおり粘着特性がよいので、従来車にみられた空転防止装置や軸重補償装置をやめ、回路、器具の簡素化をはかってある

### 5.2 交直切換回路

交直切換は、主幹制御器が正規位置にあることを条件に手動スイッチを操作して行なうが、つねに図5.2に示すように無加圧区間を介して切換えるようになっている。すなわち交直接続無加圧区間の手前で機関車は



図 5.2 交直セクション構成図  
Fig. 5.2 AC-DC connected point,

せいに惰行となり、無加圧区間を経て異電圧区間にはいりその電圧をうけたのち力行する、いわゆるいっせい惰行順次力行方式で、交-交セクションでは主回路オフだけで通過しうようになっている。

このため、交直セクションにおける走行が自由・安全で不必要な減速を防止できるほか、空気シヤ断器の動作ひん度を少なくしている。

線電圧の検知回路は、さきに当社が試作した交直両用電車用と同一方式のものであって、計器用変圧器の二次側に交流電圧継電器を、その一次側に直列抵抗を介して直流電圧継電器を接続したもので、交流または直流区間においてそれぞれの電圧継電器だけが動作するものである。

このような電圧検知回路と交直切換スイッチの操作により、交流区間では空気シヤ断器が、直流区間では主および補助回路のシヤ断器（単位スイッチ）によって回路を開閉する方式とし、どのような場合でも空気シヤ断器が直流電流をシヤ断あるいは投入する不具合はさけてある。

### 5.3 制御回路

主幹制御器によりそれぞれの電磁空気式単位スイッチを操作して、機関車の前後進および抵抗制御を行なうほか、限流継電器による自動パーニア制御も可能であることはED60形直流機関車と同様であるが、主幹制御器には主・逆転ハンドルのほか補助ハンドルがあり、これによって「パンタグラフの上げ、下げ」「空気シヤ断器の切・入」「補機の起動」を行なうようにし、重連運転の場合でも誤操による不具合が生じないようにしてある。

なお直流区間では主電動機は1台単位まで開放運転できるようになっている。

### 5.4 補助回路

シリコン整流器用電動送風機には主変圧器の二次側に接続した補助変圧器によって単相200Vを給電し、空気圧縮機、主電動機用電動送風機や電動発電機は、耐脈流性を考慮して補助直流リアクトルを介して直流1,500V回路に接続されている。

電動発電機は静止器を用いた定電圧、定回転数回路により、電動機入力電圧1,000~1,800Vの範囲で交流出力電圧ならびに周波数を定格の±10%におさえている。また交流出力は、セレン整流器によって直流に変換し、蓄電池を浮動充電するほか、つぎの負荷電源となっている。

交流100V……主抵抗器用送風電動機

直流100V……制御回路、灯回路 など

なお電動機の電源側には逆流阻止用シリコン整流器を設け無加圧時における電圧継電器の動作遅延を防止して

ある。

### 5.5 保護回路

保護回路としては一般的なものと、異電圧に対するものとに分けることができる。すなわち一般的保護としては直流避雷器を設けたほか、変圧器や整流器の過負荷や接地に対してはすみやかに空気シヤ断器を動作し、主電動機回路の過負荷には高速度シヤ断器を動作するほか表示灯により、運転手に事故内容を報告するようになっている。

異電圧、すなわち冒進事故に対しては、つぎの保護がなされている。

交流運転回路に直流1,500Vが加圧されたとき……主変圧器の一次コイルに直列に挿入されたヒューズが熔断する。

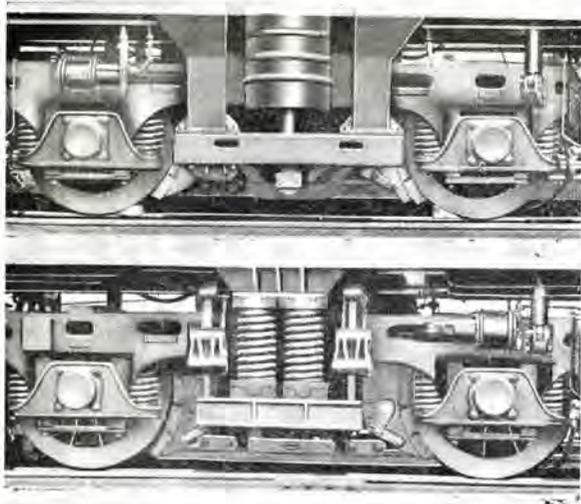
直流運転回路に交流20kVが加圧されたとき……直流避雷器が放電を開始するとともにその接地側に挿入してある変流器を介して補助継電器が動作し、その連動により空気シヤ断器を開いて事故電流をシヤ断する。

## 6. 台車、主電動機、駆動装置

EF301電気機関車の台車、主電動機、駆動装置いわゆる足回りは、主電動機個数の半減と粘着改善という一石二鳥の効果をねらった1台車、1電動機方式を採用している。従来的一般形式のものとは相当異なった構造外観を呈している。1台車、1電動機方式はフランス国鉄の交流機関車において実用化が進められているが、今回のEF301はB-B-Bという中間台車の曲線時偏倚の大きい特殊軸配置であって、とくに構造の簡易化、保守の容易という点を目標に幾多の新機軸をおりこんで設計、製作を行なったものである。

### 6.1 台車構造の概要

台車は2軸ポニー式であるが、B-B-B軸配置であるので中間台車は揺れ装置において両端台車と異なった構造をとっている。台車ワクは鋳鋼製で横ハリを設けず端部に十分な剛性をもたせてある。主電動機は台車ワク中央部に装架されて横ハリとしての機能をかねており、引張棒取付座、キヤケースつり座などはすべて主電動機ワクに設けられている。軸箱は円筒コロ軸受を使用しウィングパネ支持構造である。主電動機が台車中央に位置するため心皿は設けず車体重量は完全側受支持としている。揺れ装置は側受と台車ワクの間に設けられ、両端台車においては球面ゴムとつり棒を使用したものであり、中間台車は復元力を0とするための特殊のリンク機構を採用している。



(上) 両端台車 (下) 中間台車

図 6.1 台車

Fig. 6.1 Trucks.

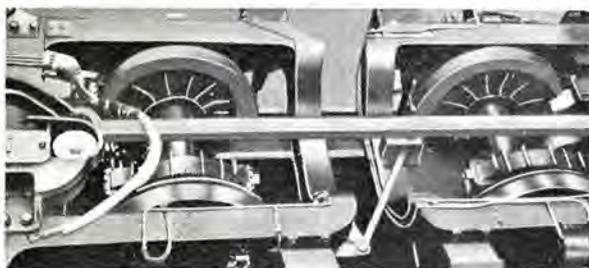


図 6.2 引張棒配置

Fig. 6.2 Draw bar.

台車構造の一つの特異点として引張力伝達方式があげられる。前記のように台車には一般の概念の心皿は設けることができず、また中間台車の曲線時偏倚が大となるので引張棒を使用する方式を採用した。すなわち車体両端の連結器と各台車ワッ に固定した3台の主電動機ワッ を引張棒で直列に連結し、各台車の引張力を車体台ワッ を通さずに直接後部連結器に伝達する。引張棒はつねに引張だけ受けて圧縮を受けないよう、また2両重連のさい前位機関車の引張力は後位機の車体台ワッ を通って引張棒に過重な負担を与えないよう連結器緩衝パネの支持法に特殊な考慮がはらわれている。なおこの引張棒方式では台車から車体への引張力伝達高さは連結器高さと同じであるから理論的には引張時モメントによる台車相互間の重量の移動はなくなり粘着性能向上に寄与しうる。

(この場合一つの台車の2軸の間の軸重移動は大きくなるがこの2軸は歯車で連結されているので粘着性能の悪化にはならない。)

## 6.2 主電動機

主電動機は1台車1電動機方式なるため一般の場合の2台分の出力が要求される。今回の機関車は急コウ配ずい道区間の短時間反復使用という特殊条件より主電動機出力は1台600kW(1時間定格)と決定した。定格電圧

が1,500Vであるので大容量機にもかかわらず四極で設計せざるを得ず、このため極当たり磁束は大きくなり、寸法的、重量的に経済的な設計とはならないが機関車の床面の高くなるのを極力さけるため、外形は在来の直流機関車用標準形主電動機MT42形(325kW)と同程度にきりつめた。また大出力四極機なるために極当たり電機子ATの値も大きくなるが、運転区間が大半急コウ配ずい道区間で弱界磁運転を必要としないため、補巻線を設けず内部構造を簡単にして工作保守の容易をはかった。交流区間においてはシリコン整流器の容量の関係から常時3台あるいは2台直列で脈流運転される。したがって運転電圧が定格電圧の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ であるので直流リアクトルを設けないことにした。また主電動機としても補極積層などの特別な耐脈流対策は施さなかった。工場試験の結果直流リアクトルを使用せずに定格電流において900V(定格の60%)までの脈流運転に無火花整流を記録した。

この主電動機の定格諸元は下記のとおりである。

- (a) 方式 直流直巻補極付 箱形ワッ 台車装架
- (b) 極数 4
- (c) 形式 閉鎖他力通風式
- (d) 動力伝達方式 2段減速可撓式2軸駆動
- (e) 絶縁 電機子 特B種  
界磁 F種
- (f) 1時間定格 出力 600kW  
電圧 1,500V  
電流 430A  
回転数 1,000rpm  
風量 130m³/min
- (g) 試験高速回転数 2,150rpm
- (h) 特性曲線 図6.4参照
- (i) 重量 3,900kg

主電動機は四極であるため外形を小さくするために八角形の鋳鋼製磁気ワッ を使用した。ワッ の両側軸方向に各2本の腕を有し、 $\pi$ -および $\rho$ ルトで台車側ハリにとりつけるようになっている。主電動機は台車に組立てられた状態において台車構造および引張力伝達装置の重要メンバをなすもので、ワッ には引張棒取付座、および引張力を伝達する場合ヒズミを最小にするための補強、また車軸に装備した減速歯車装置のつり座等が設けられている。これらの部分は機械的に重要な強度メンバであるので肉厚、補強など十分に考慮をはらっており、このために主電動機重量も3,900kgと増えているが、上記のメンバを除いた主電動機だけとしての重量は約3,400kgであって、四極600kW機として十分軽量化をはかったもの

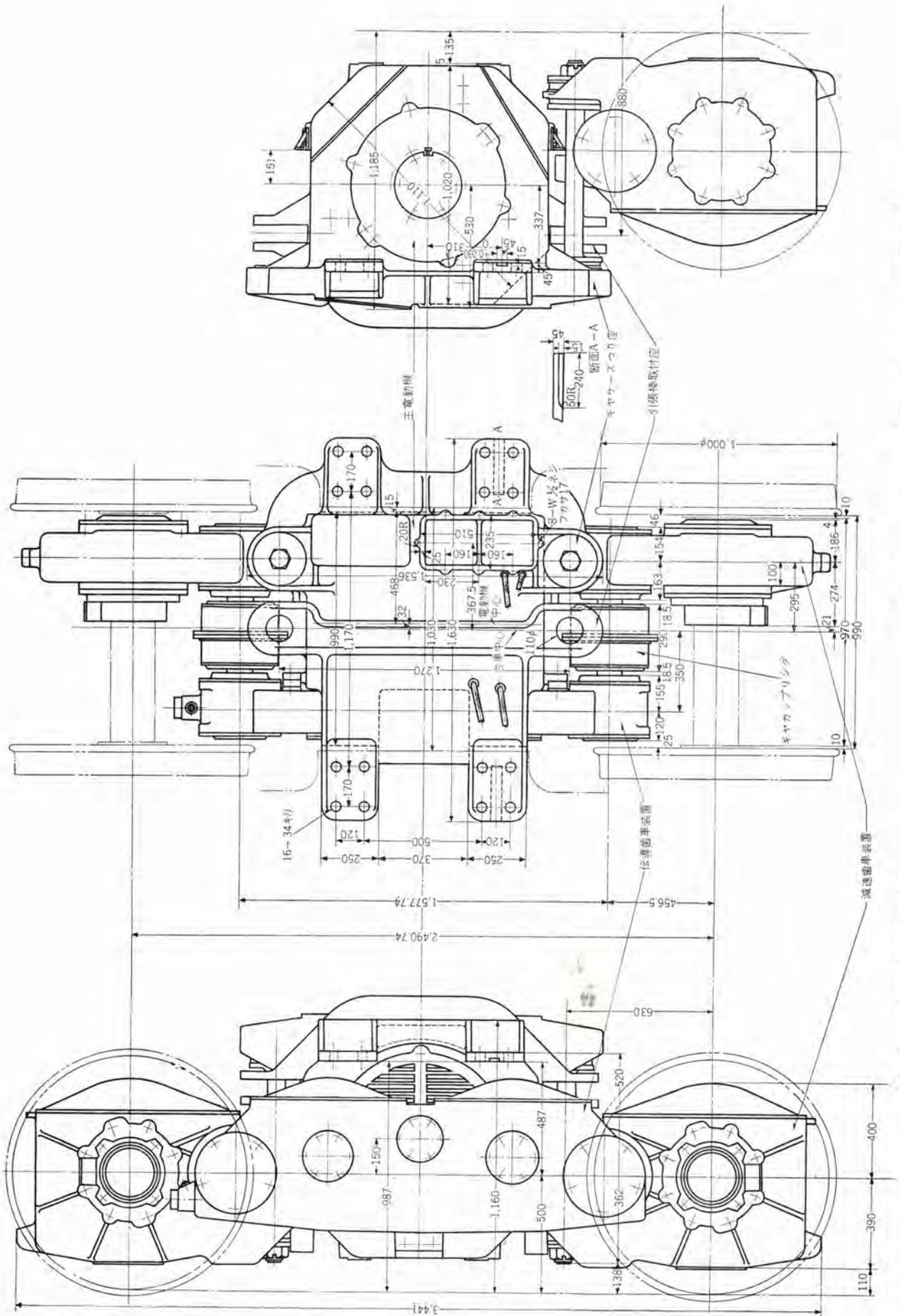


Fig. 6.3 Arrangement of traction motor and drive mechanism.

図 6.3 主電動機 駆動装置配置図

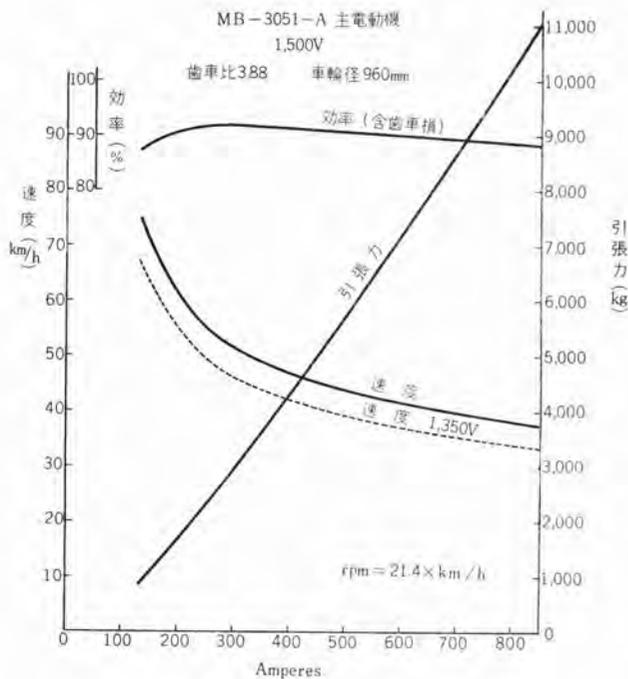


図 6.4 主電動機特性曲線  
Fig. 6.4 Traction motor characteristic curve.

図 6.5 600kW 主電動機  
Fig. 6.5 600kW Traction motor.



図 6.6 伝導歯車装置をとりつけた主電動機  
Fig. 6.6 Traction motor equipped with a transmission gear unit.



図 6.7 伝導歯車装置  
Fig. 6.7 Transmission gear unit.



図 6.8 減速歯車装置  
Fig. 6.8 Reduction gear unit.



図 6.9 ギヤカップリング  
Fig. 6.9 Gear coupling.

である。そのほか主電動機トルクを2方向に伝達するために伝導歯車装置を軸端側にとりつけるようになっており、この歯車装置をとりつけた状態で台車ワックに装脱するようになっている。

### 6.3 駆動装置

この機関車に採用した1電動機2軸駆動の方式は当社が電車用の駆動装置として多年の実績を有するWNドライブ(ギヤカップリングを使用した平行可撓駆動方式)を応用したもので、まったく新しい構想によるものである。

すなわち主電動機の動力を2方向にわたるために伝導歯車装置を軸端にとりつけ、(主電動機に固定されているからバネ上となる。)また車軸には減速歯車装置をとりつけ(バネ下)、両者のピニオン軸を互に対向する位置に配置して可撓ギヤカップリングで連結したものである。形態としては2段減速方式となっているが、この機関車では大きな歯車比は不要であるので伝導歯車装置は1:1として減速を行わず、減速歯車装置だけで17:66=1:3.88の歯車比をとっている。

ギヤカップリングはその構造上中心フランジの結合をはずすだけで簡単に分離できる特長があるので、前記歯車装置を組立てたままの状態でもギヤカップリングの分離によりバネ上、バネ下を簡単に切放せるので、他方式に比し主電動機、車軸の装脱が容易に行なえるという保守上の利点を有している。なお使用歯車の数は多いがすべて密閉鋳鋼製ギヤケース内にコロ軸受支持されており、ギヤオイルによって潤滑してつねに円滑な噛み合いを確保している。

## 7. 主要機器

### 7.1 シリコン整流器

前述したとおり、機関車用整流器としてシリコンを用

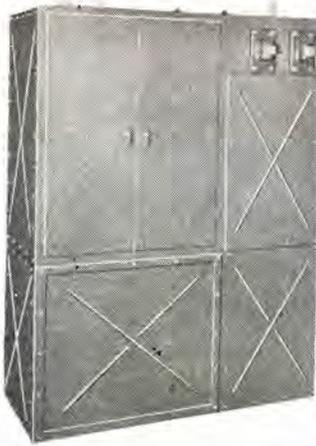


図 7.1 シリコン整流器箱外観  
Fig. 7.1. Outside view of silicon rectifier box.



図 7.2 シリコン整流素子 (SR-107)  
Fig. 7.2 Silicon diode.

いるのはわが国で初めてのことなので、ここにその概略と、工場試験結果、さらには問題点についての考察を述べることにする。

図 7.1 にシリコン整流器の外観を示す。

### (1) 仕様

a. 定格出力 450 kW 1,500 V 300 A 連続

過負荷定格 560 A 30 秒

単一のシリコン整流素子は電力変換容量が小さいので大容量の整流装置に対しては、それを多数使用し、直並列に組合せて所要の容量を得る。

シリコン整流素子は三菱電機製 SR-107 形で合計 192 個を使用している。図 7.2 は素子の外観である。

b. 整流回路は単相全波ブリッジ結線方式で前述のとおり 192 個のシリコン整流素子を 2 組に分けて各組 12S × 2P × 4A として用いている。

c. 冷却方式は押込形風冷方式で機関車内の空気を車内廊下側より吸い込み、機関車屋根に設けた排気口より排出している。

### (2) 付属機器および装置

#### a. 冷却装置

整流器用電動送風機は、縦形軸流送風機で、整流器箱下方に取付けられている。電動機および送風機の仕様は表 7.4 に示されるとおりである。

#### b. 温度保護装置

水銀整流器と異なりシリコンの使用温度限界は実用上、上限だけあるものである。

風量の減少などによるシリコン整流素子の異常温度上昇を検出して警報するバイメタル形温度リレーを備えている。このリレーは取付位置が高電位になることがあるので、絶縁変圧器を介して制御回路へ接続されている。

#### c. 過電流保護装置

シリコン整流器体は P-N 接合で電流密度をひじょうに高くとっているので熱時定数がきわめて小さく、限界値以上の過電流は整流体を永久破壊へと導びくおそれがあるので、できるだけ迅速に回路をシャ断しなければならない。このための過電流保護装置として変圧器二次側に計器用変流器と組合せて高速度過電流継電器を用いている。

#### d. 過電圧保護装置

シリコン整流素子の過電圧による絶縁破壊はほとんどの場合永久破壊となるため、運転中に回路に過電圧がかからないようにしなければならない。

交流側から移行するサージ電圧がもっとも心配されるものであるが、これに対しては変圧器の一次二次間にシールド板を入れて接地を行ない静電的に移行するものを防止するとともに二次電圧を分割して移行電圧を均分化している。また変圧器二次巻線間に挿入された誘導障害防止用フィルタをサージ吸収用として兼用することにより危険電圧がかからないようになっている。

印加された電圧が直列に接続された整流素子に均等に

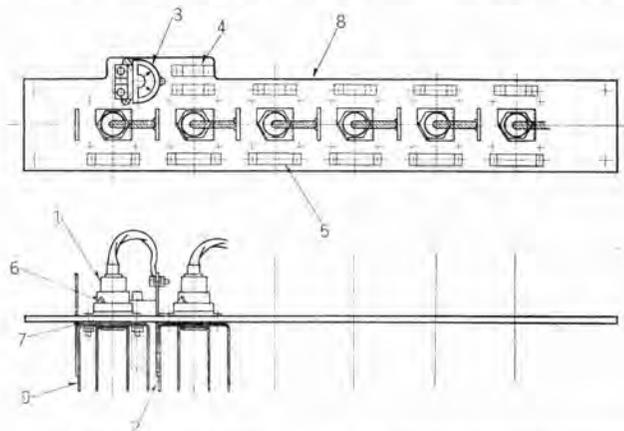


図 7.3 シリコン整流器ユニット  
Fig. 7.3 Unit construction of silicon diodes.

かかるように各素子には並列抵抗およびコンデンサ

を入れている。コンデンサはシリコン整流素子のホールストレイ効果による異常電圧も吸収する役目を果している。

### (3) 整流器箱の構造

整流体は銅の冷却フィンにとりつけられ、6 個を単位として 1 枚のペークライト板に固定してユニットを構成している。このユニットを 2 組に向かい合わせて取付け全体を構成する。図 7.3 は整流器ユニットを示す。

整流器箱にはシリコン整流器ユニットのほかに、送風機用補助変圧器、高速度過電流継電器などの付属機器 1 式が収納されている。図 7.4 は整流器箱の正面とびらを開

照合	名称	1 台分所要数
1	シリコン整流体	192
2	冷却フィン	190
3	温度継電器	2
4	紙コンデンサ	192
5	抵抗器	192
6	座金	192
7	スベーク	768
8	フィン取付板	32
9	冷却フィン	2



図 7.4 シリコン整流器内部構造  
Fig. 7.4 Interior construction of silicon rectifier.

いたところを示す。

(4) シリコン整流器の特長

水銀整流器と比較した場合一般的には構造が簡単、小形軽量で配置構成に大きい自由度をもち、温度調整の必要もないので、保護回路がひじょうに簡単であるから起動、保守、点検などが容易であるといった特長をもちているが、さらにこの機関車用としては、図 7.3 に示すようなユニット式構造としたので取扱いがひじょうに簡単であるという特長をもちている。

(5) 工場試験とその結果

電気機関車としての総合組合せ試験に先だって、シリコン整流器としての各種の工場試験を行なった。

a. 風速分布の測定

整流器上部の風洞出口における冷却風速の分布をサーミスタ風速計で測定した。平均風速は 5.8 m/s であり、±10% 程度のバラツキが認められたが、これはぎ装完了の場合には風洞の風圧降下が増加するため軽減されるものである。

b. 電流平衡の測定

全並列回路にわたって定格電流における分担電流を測定したところ最大不平衡率は±6%程度であり、実用上

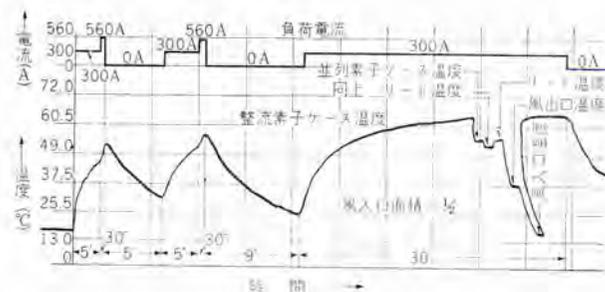


図 7.5 負荷試験、実負荷模擬電流における温度上昇  
Fig. 7.5 Temperature rise procedure of silicon diode at load test.

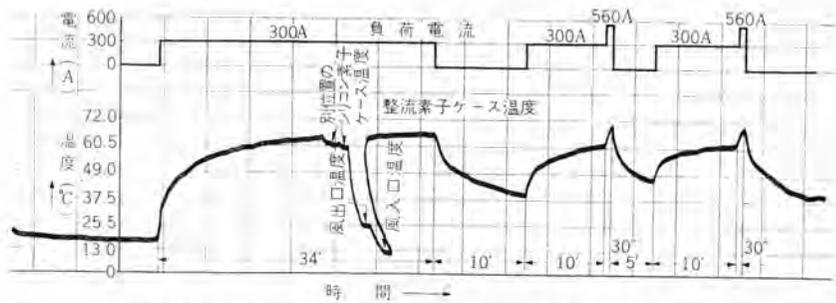


図 7.6 定格負荷試験におけるシリコン整流素子温度上昇  
Fig. 7.6 Temperature rise procedure of silicon diode at rated voltage load test.

なんら不つこうをきたさない。

c. シリコン整流素子温度上昇試験

定格電流におけるシリコン整流素子の温度上昇を全数にわたって測定した。測定はシリコン整流素子のケースの温度を最高温度計を用いて行なったが、最高温度上昇は風洞入口の風温を基準として 59°C であった。

d. 負荷試験および実負荷模擬試験

定格連続負荷および実負荷模擬電流によるシリコン整流素子の温度上昇の時間的変化を熱電対により測定し

表 7.1 耐圧試験結果

	試験電圧	結果
主回路-大地	AC 60 c/s 5,400 V/min	良
補助回路-大地	AC 60 c/s 2,000 V/min	良
電動機-大地	AC 60 c/s 1,500 V/min	良

た。風洞入口の通風面積を $1/4$ にした場合についても測定している。図 7.5 および図 7.6 に定格負荷および実負荷模擬電流による温度上昇曲線の代表例を示す。

e. 耐圧試験

表 7.1 に示すとおり耐圧試験に合格した。

表 7.2 振動試験条件

振動条件	振動加速度	1 g (各方向)
	片振幅	10 mm
	振動周波数	5 c/s
負荷条件	無負荷	24 h
	300 A	2 h
	実負荷模擬電流	15 min
	300 A	1 h

表 7.3 振動試験によるシリコン整流素子の特性変化

素子番号	順方向特性 (V)				逆方向特性 (mA)			
	0 A		300 A		100 V		350 V	
	前	後	前	後	前	後	前	後
2385	0.74	0.74	1.12	1.10	0.3	0.3	2.7	2.8
2530	"	"	1.14	1.12	1.6	1.5	25.0	24.0
2540	"	"	1.06	1.06	1.3	1.2	2.8	2.6
2666	"	"	1.16	1.13	0.7	1.8	5.8	6.0
2835	"	"	1.08	1.10	0.5	0.5	2.7	2.7
2903	"	"	1.08	1.05	0.8	0.8	14.6	14.5
3091	"	"	1.10	1.08	0.4	0.3	9.4	9.2
3119	"	"	1.18	1.15	0.1	0.1	8.6	8.9
3148	"	"	1.06	1.12	2.0	1.9	20.7	20.0
3164	"	"	1.08	1.08	0.1	0.1	0.8	0.4

注 1. 温度は外気温 10.2°C である  
2. 逆電流測定は直流法である。  
3. 順方向特性電流は单相半波高値である。

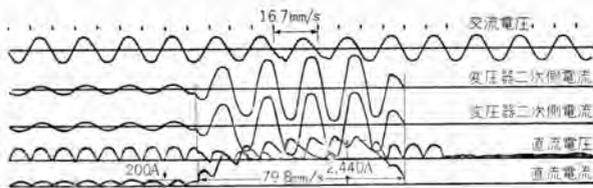


図 7.7 人工内絡試験 オシログラム  
Fig. 7.7 Oscillogram of short-circuit test.

f. 振動試験

車両用として振動に耐えなければならないので、2個の整流器箱をべつべつに振動試験機に積み、おのおのについて表 7.2 に示すような条件で試験を行なった。

振動試験終了後 シリコン 整流素子を全数の 5% について アットラム に抜きだし、その静特性を測定した。振動試験前後における比較は表 7.3 に示されており、十分な耐振性がみとめられる。

g. 短絡試験

主電動機が閃絡事故を起こした場合を想定して主電動機界磁だけを介して直流回路を短絡し、短絡試験を行なったが、最高直流電流 2,500 A 以下で過電流継電器と高速度 ショット 断器によって回路は ショット 断され、その時間は 80 ms 以下であって シリコン 整流器の十分に耐えうる値である。

図 7.7 はその オシログラム を示す。

(6) 問題点と考察

a. 直流回路定数と電圧変動率

単相整流回路は 3 相以上の多相整流回路と比較すると脈動率が大きいための特異性をもっている。

その代表的な一例は直流回路定数による電圧変動率の大きい変化である。すなわち誘導負荷の場合に比較して抵抗負荷の場合は回路に生ずる転流リアクタンス降下がいちじるしく小さくなり電圧変動率が小さくなっていく。

図 7.8 の単相全波ブリッジ回路において転流の起こるときの回路電流はつぎの式を満足している。

$$-X \frac{di_2}{d\theta} = \sqrt{2} E \sin \theta \dots \dots \dots (7.1)$$

電圧制御を行っていない場合を考えて  $\theta=0$  のとき  $i_2=i_1$ 、 $\theta=u$  のとき  $i_2=-i_1$  の条件で式 (7.1) を解けばつぎのようになる。

$$1 - \cos u = \frac{X (i_1 + i_2)}{\sqrt{2} E} \dots \dots \dots (7.2)$$

$1 - \cos u$  は転流リアクタンス降下  $e_x$  に比例するので、

$$e_x = K \frac{X (i_1 + i_2)}{\sqrt{2} E} \dots \dots \dots (7.3)$$

となり転流リアクタンス降下は転流の開始、終了時の直

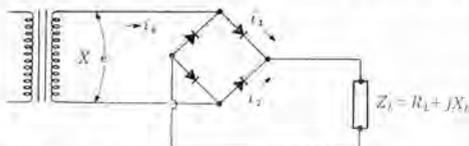


図 7.8 単相全波ブリッジ回路の転流リアクタンス降下  
Fig. 7.8 Single phase bridge rectifying circuit.

流電流の瞬時値の和に比例することになる。すなわち直流電流の脈動の大きい場合には転流開始および終了時の直流電流値が平均電流値よりも小さいので、転流リアクタンス降下も小さくなり、回路の電圧変動率もよくなる。

負荷常数が  $Z = R_l + jX_l$  である場合の負荷電流の瞬時値は転流期間中の電圧変化を無視する

$$R_l i_d + X_l \frac{di_d}{d\theta} = \sqrt{2} E \sin \theta \dots \dots \dots (7.4)$$

と与えられ、負荷が連続している場合には  $i_d(\theta=0) = i_d(\theta=\pi)$  でなければならないのでこの条件で式 (7.4) を解くと

$$i_d = \frac{\sqrt{2} E}{\sqrt{R_l^2 + X_l^2}} \left\{ \sin(\theta - \gamma) + \frac{2 \sin \gamma}{1 - e^{-\frac{R_l \theta}{X_l}}} \cdot e^{-\frac{R_l \theta}{X_l}} \right\} \dots \dots (7.5)$$

$$\text{ただし } \cos \gamma = \frac{R_l}{\sqrt{R_l^2 + X_l^2}}$$

となり、これに  $\theta=0$ 、 $\theta=u$  を代入したものが式 (7.3) の  $i_1$  および  $i_2$  となる。  $i_d$  を 2 項に分けて示すと図 7.9 のようになる。

このように単相整流器回路においては直流側回路定数のおよぼす影響が相当大きいので、電圧変動率測定、短絡試験はいうまでもなく、負荷試験の場合もできるだけ実際の回路で行なう必要があり、模擬試験に際しては十分の注意を必要とする。

b. ヒートサイクルのシリコン素子への影響

車両用として使うシリコン整流器は負荷の変化が大きく、いわゆるヒートサイクルの繰り返しであるが、このような場合には構造材料としてロウにシリコン整流素子の寿命を支配する問題のあることがわかってきた。

すなわち P-N 接合をベース金属ケースに接着するロウが長時間の熱的な繰り返し周期のうちに疲労を生ずる可能性があるのである。

この問題を解決するため考えられたのがいわゆるハートツルダ法であって、これに使用するロウは従来のソフトツルダ法のものとは融点が高く、しかもロウ付工程が P-N 接合の製作と同時であるために高い動作温度においても構成材料に疲れがないのである。

しかしながらこの方法が最良のものであるかどうかは今後の使用実績を検討する必要がある重要な問題である。

7.2 主変圧器

この変圧器は、交流側架線電圧 20kV を、整流器用電

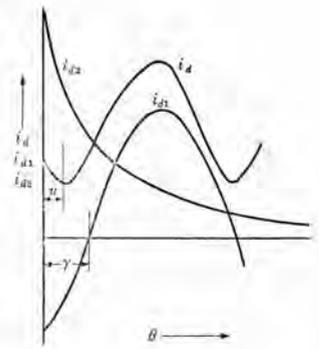


図 7.9 単相全波回路の直流出力電流波形  
Fig. 7.9 DC current wave form of single phase rectifying circuit.



図 7.10 主変圧器  
Fig. 7.10 Main transformer.

圧へてい降する整流器用変圧器で、その定格事項はつぎのとおりである。

単相 60 c/s, 320kVA 連続定格, 油入自冷式, 内鉄形  
交流側 電圧 20 kV, 直流側電圧 920 V×2, 油なし重量  
1,950 kg, 油量 830 l (鉱油), 総重量 2,700 kg.

外観を図 7.10 に示す。

中身の構造は、単相二脚形内鉄形で、交流側巻線はパンタグラフ側は車両用 20 号絶縁を施しているが、反対側端子は接地して使用されるので 1 号に絶縁を低減した。

交流側定格電圧は 20 kV であるが、22 kV まで電圧が上昇しても連続使用できるように設計してある。パンタグラフ寄り端子側に保護回路用変流器を内蔵している。直流側巻線は、2 分割交差巻線となっている。

つぎにこの変圧器の構造、特性上の特長について述べることにする。

### (1) 塩害対策

図 7.10 にみられるようにこの変圧器の上部カバーは機関車屋根の一部を形成するので、車体のほかの部分と同様に塩害についてはとくに注意して製作した。すなわち構造材料としてはステンレス鋼または亜鉛メッキを施したものを使用し、端子用套管のガイシには、

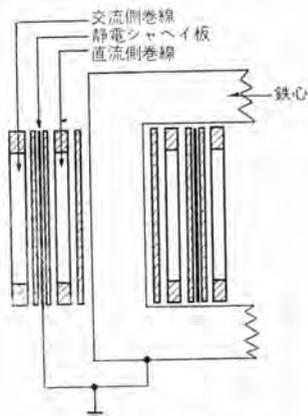


図 7.11 コイル構造  
Fig. 7.11 Construction of transformer coil.

漏洩距離の長いものを用いている。

### (2) 外箱構造

外箱構造は密封形とし、鉱油入り自冷方式の採用とあいまって、保守の簡単化を図った。すなわち運転中においても変圧器は吸収作用を全然行なわないので、油の劣化を防止し、またラージ保守の要もない、絶縁油の膨

張収縮による変圧器外箱内圧の変化には、外箱自身が十分耐える設計となっている。

### (3) 静電シナハイ

架線から侵入する雷などの衝撃電圧が、変圧器を通して整流器側へ移行するのを防止するために、図 7.11 に示すように、交流側巻線と直流側巻線との間に、大地電

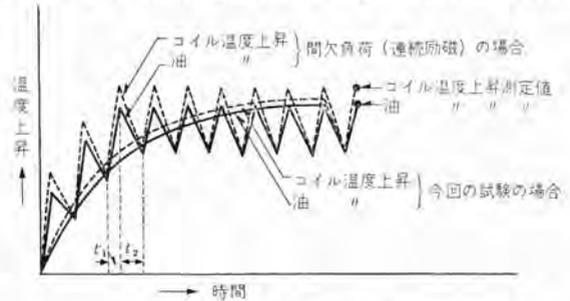


図 7.12 温度上昇曲線  
Fig 7.12 Temperature rise of transformer.

位の静電シナハイ板を設け、静電移行電圧の減少を図った。完成後の測定結果では、直流側各端子間に現われる移行電圧の波高値は、交流側へ侵入する衝撃電圧の 3.5~4% におさえられ、また各端子と大地間には 2.5% 以下となり、線路に接地されている避雷器の制限電圧から考えて十分な絶縁協調が得られた。

### (4) 温度上昇試験結果

この変圧器は、320 kVA 連続定格であるが、実際の使用条件から考えて、 $\frac{1}{3}$  使用率 (10 分間運転, 20 分間停止) 550kVA の使用条件に耐えることが要求されたので、温度上昇試験として、これに近似した条件で試験を行なった。

一般にある kVA で間欠負荷運転をしたときの変圧器油の温度上昇は、つぎの式で表わされる。(図 7.12 参照)

$$T_{t=\infty} = T(1 - e^{-\frac{t_1}{T}}) / (1 - e^{-\frac{t_1+t_2}{T}})$$

$T_{t=\infty}$  : 変圧器油最終温度上昇 (最高値)

$T$  : その負荷で連続運転した場合の油最終温度上昇

$t$  : 変圧器温度上昇時定数

$t_1$  : 負荷時間

$t_2$  : 休止時間

今回の条件では  $t$  は  $t_1, t_2$  に比べ相当に大きいので、

$$T_{t=\infty} \approx T \frac{t_1}{t_1+t_2} = \frac{T}{3}$$

となる。したがって温度上昇がほぼ損失の 0.8 乗に比例するとすれば、550 kVA のときの損失の  $\frac{1}{3.9}$  の損失になるような負荷で連続運転したのち、20 分間負荷を切り、そのち 10 分間 550 kVA を負荷して温度上昇を測定すればほぼ間欠負荷と同じ結果が得られるはずである。

今回の試験では、最初の負荷を 320 kVA としたので、これは連続励磁  $\frac{1}{3}$  使用率 550 kVA と同等の条件となり、実際の使用条件よりは相当苛酷になっている。試験結果は交流巻線温度上昇 54°C, 直流側巻線温度上昇 49.8°C,

表 7.4 補助回転機一覧

用途	電動機			送風機		台数	記 事
	出力 (kW)	入力電圧 (V)	回転数 (rpm)	風量 (m ³ /min)	風圧 (mm Aq)		
主電動機用送風機	9	DC 1,500	1,000	130	180	3	
空気圧縮機	15	DC 1,500	1,600	吐出力	3,000 l	1	1 段減速起動
主抵抗器用送風機	0.2	60c/s3φ		21	4	6	
シリコン整流器用送風機	0.75	60c/s1φ	1,720	40	25	2	コンデンサ付
電動発電機	9	DC 1,500	3,600	発電機 60c/s 3φ	100 V 5 kVA	1	AVR 装置付

油温度上昇 30°C で、周囲温度 25°C の条件のもとでは、十分の余裕もっている。

### 7.3 補助回転機

この機関車は交直両用機であるため、両区間で使用される補機には直流 1,500 V の機械を使用した。ただし主抵抗器用送風機だけは小容量のため、電動発電機による



図 7.13 パンタグラフ  
Fig. 7.13 Pantagraph.



図 7.14 主幹制御器  
Fig. 7.14 Master controller.

三相交流 100 V で運転する誘導電動機を用いている。交流区間でだけ運転する補機はシリコン整流器用送風機だけであり、これも小容量なので、単相低圧誘導電動機駆動とした。

表 7.4 に補機の概略仕様を示す。

耐脈流用リアクトルは主電動機送風機 3 台と空気圧縮機 1 台に共通に 550 mH のものを 1 個、電動発電機に 4.5 H のものを直列に 2 個使用したが、試験の結果、脈流運転時の電流の脈流率は電動発電機の場合 3 ~ 4 %、そのほかは 7 ~ 14 % であって、整流は前者で 1 ~ 4 号、後者で 6 ~ 7 号程度であった。後者の場合界磁をわずかに抵抗分路する方法などによって、さらに整流をよくすることを研究中である。

また起動時のピーク電流は定格値の 4 ~ 7 倍であって、実際上の支障は全然認められない。

### 7.4 パンタグラフ

交直セクションやそのほかの関係で、つねに 1 個のパンタグラフしか使用しないため、補助集電舟を設けて全部で 3 舟とし、集電容量を 1,200 A と増大した空気上昇、自重下降式で、各構成部は十分な塩害対策を施し 20kV 絶縁ガ

イシを介して屋上に取付けてある。図 7.13 に外観を示す。

## 8. 絶縁協調

交流耐圧に対しては塩害を考慮し屋上は注水で、屋内は乾燥で 70 kV とした。変圧器は従来どおり誘導で 50kV とした。またシリコ

ン整流器は大地に対して 5,400 V、主電動機は直流側中性点接地のため一般直流 1,500 V 用の場合と同様 4,500 V とした。低圧回路は従来どおり 1,200 V となっている。

サージに対しては標準サージに対し高圧機器は従来どおり 120 kV、サイ断波で 130 kV とした。またこの機関車は交流区間ではごく短い限られた範囲しか走らないので交流用避雷器は車には設けず、地上に多数設置して、機関車に侵入してくるサージは 80 kV に制限されると考えてある。

主変圧器の二次側への移行率の測定結果では、前述のように二次側巻線端子間が最高で、その値はわずか 4 % 程度以下であったので、一次側に 80 kV のサージが侵入した場合 1 組のシリコン整流器のブリッジアームには 3.2 kV 程度しかかからないことになり、この値はシリコン素子が 2 個短絡の状態でもなお残りの素子の十分耐えうるものである。また対大地の移行電圧はさらに低く、機器の交流耐圧以下の値となっており、十分の絶縁協調が得られている。

## 9. 車体・ぎ装

車体外板には前述のとおりステンレス鋼板を使用して塩害を防止している。

連結器は柴田式上作用自動連結器を用い、復心装置により支持されている。緩衝にはゴム緩衝器を納めており端部には引張棒をとりつける座が設けられている。

機械室機器はほとんどブロック式機器ウクにおさめ、機器ウク台は溝形鋼（電線トイ兼用）に取付けるようになっている。また制御用小部品類は 2 個の制御箱に納め両運転台に 1 個ずつ取付けられている。このようにこの機関車ではいわゆるブロック方式がとられている。

また前述のようにこの機関車では各機器が独立通風方式を採用しているため風道がきわめて少なく、ぎ装を単純化している。図 9.1 に機器配置、図 9.2 に外形寸法図を示す。

なおこの機関車は試作車のため車体長に少し余裕をみすぎた感があるので、つぎの機関車からはさらにきりつめたぎ装を行なって車体長を短くすることを考慮中である。

## 10. む す び

かくして EF 301 号交直両用機関車は完成し、35 年 3 月には公式試運転が、さらに 5 月から 6 月にかけては東

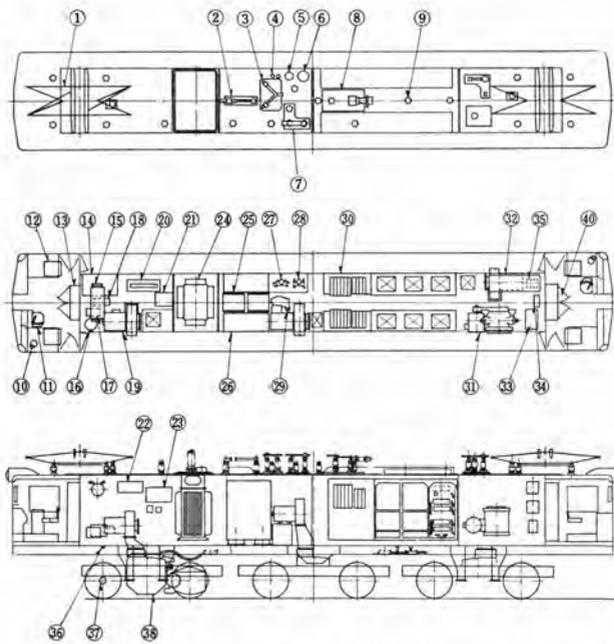


図 9.1 機器配置 Fig. 9.1 Interior arrangement of the locomotive.

- ① フズ器
- ② タンク
- ③ タンク
- ④ タンク
- ⑤ タンク
- ⑥ タンク
- ⑦ タンク
- ⑧ タンク
- ⑨ タンク
- ⑩ 変流器
- ⑪ 変流器
- ⑫ 変流器
- ⑬ 変流器
- ⑭ 変流器
- ⑮ 変流器
- ⑯ 変流器
- ⑰ 変流器
- ⑱ 変流器
- ⑲ 変流器
- ⑳ 変流器
- ㉑ 変流器
- ㉒ 変流器
- ㉓ 変流器
- ㉔ 変流器
- ㉕ 変流器
- ㉖ 変流器
- ㉗ 変流器
- ㉘ 変流器
- ㉙ 変流器
- ㉚ 変流器
- ㉛ 変流器
- ㉜ 変流器
- ㉝ 変流器
- ㉞ 変流器
- ㉟ 変流器
- ㊱ 変流器
- ㊲ 変流器
- ㊳ 変流器
- ㊴ 変流器
- ㊵ 変流器
- ㊶ 変流器
- ㊷ 変流器
- ㊸ 変流器
- ㊹ 変流器
- ㊺ 変流器
- ㊻ 変流器
- ㊼ 変流器
- ㊽ 変流器
- ㊾ 変流器
- ㊿ 変流器

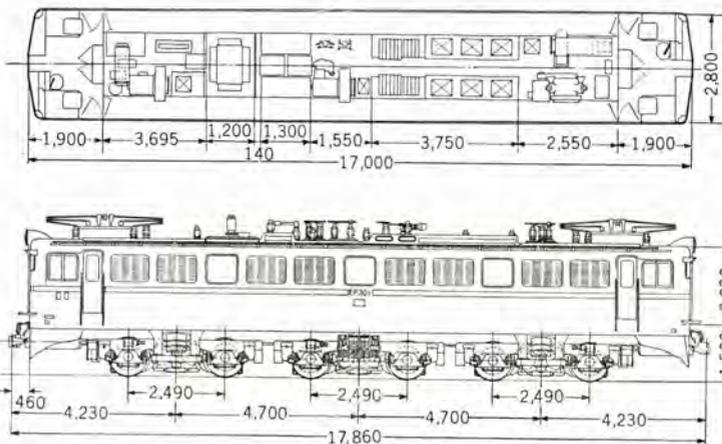
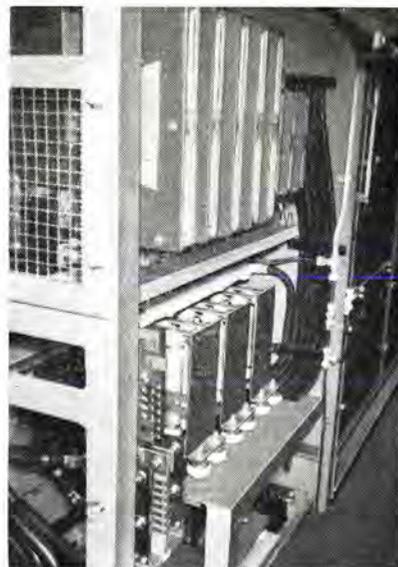


図 9. 外形寸法図 Fig. 9.2 Outline dimensions of type EF301 locomotive.

図 9.3 運転室 Fig. 9.3 Drivers cab.



図 9.4 機器ツク Fig. 9.4 Machine rack of machine room.



海道本線と北陸本線において日本国有鉄道により詳細な現車試験が行なわれ、ほぼ満足すべき結果が得られた。

きたる7月からは北陸線において交流区間の長期走行試験が行なわれる予定である。これらの試験結果や、使用中の状況に基づいて、量産車に対しては改良すべき点は改良し、EF301号の試作車としての意義をいっそう生かすべきであると思っている。

国鉄各位のご指導ならびにご援助と、新三菱重工関係各位のご協力に対し感謝をささげてむすびとする。

# 新キャビネット形クリネヤ (CC-B 形クリネヤ)

神戸製作所 齋藤 寛*・藪内 一郎**

## New Cabinet Type Cleanaires (Type CC-B Cleanaires)

Kobe Works Hiroshi SAITŌ・Ichirō YABUUCHI

Cleanaires are electrostatic air cleaners most diffused at present because of their high air cleaning efficiency. Type CC-B cleaners are particularly well adapted to the air cleaning of rooms to the extent of 600~3,600 m³ in size. Depending on the handling air volume there are five models ranging from types CC-B 11~CC-B 32. They are all newly developed ones provided with a dust collecting cells specially designed for high velocity and high efficiency. It is no question that a number of improvements over the old models are added to them so as to have better performance.

### 1. ま え が き

当社の電気式空気清浄装置 クリネヤ には、従来から保証集じん効率 90%のときの最大処理風量が 28.3m³/min から 113m³/min までの比較的小容量のキャビネット形 (CC-B 形) 4 種類があり、各方面に納入されてそれぞれ air cleaning の責を果している。ところが最近の本誌上で CH-B 形 クリネヤ⁽¹⁾ を紹介した際に、集じん性能の向上と原価低減に大きな貢献をした B 形集じんユニットについて発表した⁽²⁾が、同様な機能をもった集じんユニットをキャビネット形にも適用することが計画され、とくにキャビネット形に適するような構造をもった専用の C 形集じんユニットが製作された。それと同時に従来のキャビ



図 1.1 CC-B11 形 クリネヤ  
Fig. 1.1 Type CC-B11 cleanaire.



図 1.2 CC-B21 形 クリネヤ  
Fig. 1.2 Type CC-B21 cleanaire.



図 1.3 CC-B31 形 クリネヤ  
Fig. 1.3 Type CC-B31 cleanaire.

表 1.1 キャビネット形クリネヤ仕様一覧表

形名	CC-B11		CC-B21		CC-B31		CC-B22		CC-B32	
保証集じん効率(%) ⁽¹⁾	90	85	90	85	90	85	90	85	90	85
最大処理風量	m ³ /min		66		99		132		198	
	ft ³ /min		2330		3495		4660		6990	
空気抵抗	mmAq		5		5		5		5	
	m ^a		1,200		1,800		2,400		3,600	
最大室内容積	ft ³		42,400		63,600		84,800		127,200	
	坪		100		150		200		300	
電源	50/60 c/s		50/60 c/s		50/60 c/s		50/60 c/s		50/60 c/s	
	200±30 V		200±30 V		200±30 V		200±30 V		200±30 V	
消費電力	58 VA		66 VA		76 VA		88 VA		115 VA	
すえ付方法	床置		床置		床置		床置		床置	
気流方向	水平		水平		水平		水平		水平	
洗浄水所要量(l)	60		120		180		240		360	
ポンプ容量(l/min)	20		40		60		80		120	
給水圧力(kg/cm ² )	2		2		2		2		2	
洗浄水供給口	3/4 ユニオン		1 ユニオン		1 ユニオン		1 1/2 ユニオン		1 1/2 ユニオン	
粘着剤所要量(個) (280 cc 入り エヤゾール缶)	1/2		1		3/2		2		3	
排水口	1 ユニオン		1 1/2 ユニオン		1 1/2 ユニオン		2 ユニオン		2 ユニオン	
電線引出口	3/4薄銅 電線管ネジ		3/4薄銅 電線管ネジ		3/4薄銅 電線管ネジ		3/4薄銅 電線管ネジ		3/4薄銅 電線管ネジ	
重量	115		175		210		270		325	
電源部	30		30		30		30		30	

注 (1) 集じん効率の決定は Blackness Tester または Dust Spot Tester による。

(2) これは保証集じん効率 85%の最大処理風量で、換気回数を 4 回/時とした場合の値である。

図 1.4 CC-B22 形 クリネサ  
Fig. 1.4 Type CC-B22  
cleanaire.



図 1.5 CC-B32 形 クリネサ  
Fig. 1.5 Type CC-B32  
cleanaire.

ネット形の多数の使用実績から得られた資料にもとづいて、据付と保守の簡便さを主眼にしてキャビネットにも大幅の設計変更が施された。このようにして今回5種類の新キャビネット形クリネサ(CC-B形)が誕生したのである。以下にその構造・機能の紹介を試みることにする。なお表1.1には新キャビネット形の仕様一覧表を、図1.1~図1.5にはCC-B11~CC-B32のそれぞれの外観写真を示す。

## 2. 構造・機能

### 2.1 特長

新キャビネット形クリネサが従来のキャビネット形と異なるおもな点は次のとおりである。

(1) 電離部・集じん部は一体構造の集じんユニットになり、これを処理風量に応じてキャビネット内に積重ねる。各ユニットの両側面には電離部・集じん部の高圧パネ端子がユニット中心から左右に振分けの位置に設けられているので、キャビネット内に正逆いずれの向きにそう入しても集じんユニットの電気的接続が自動的に行なわれる。

(2) キャビネットの側面トビラは片面だけとし、反対面には電源部からの高圧電線を接続する端子箱が取り付けられ、さらに縦方向の集じんユニット同士を電気的に接続す

るために、電離部・集じん部用の2本の高圧母線が上下方向に固定してある。したがってキャビネットの据付位置によりトビラ面に対する気流の方向が標準(右から左)と逆方向になるときは、集じんユニットを逆向きにそう入し、シャ風板とフィルタの位置を換え、かつ電源部の電離部・集じん部用の各高圧端子を継ぎかえるだけでよい。

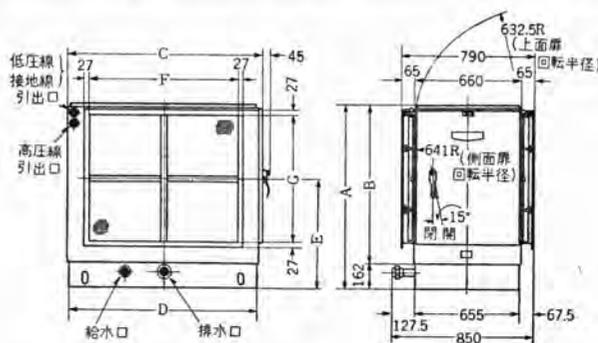
(3) キャビネットの天井面も開きトビラになっている。これは狭い場所に据付けて側面にスペースがない場合でも、上方からいっさいの保守点検ができるようにしたものである。したがって常時側面トビラを開閉する場合にはこの天井面トビラは閉鎖されており、側面トビラの利用できない場合だけ側面トビラは閉鎖されて天井面トビラを使用するのである。この場合安全スイッチは天井面トビラに簡単に付け換えることができる。

(4) キャビネットの空気流入口に取付けるシャ風板と空気流出口に取付けるフィルタの保守点検の場合、従来はキャビネットの側面トビラを開けなければ、すなわち集じん作用を一時中断させなければそう入取はずしができなかったが、CC-B形では空気流出入口のフランジ部に別にツウ入口を設けたので、キャビネットの側面トビラを開けることなくそう入引出しができるようになった。しかもこのツウ入口はフランジ部の側面および上面に設けてある。さらにシャ風板およびフィルタはいずれも同一寸法の小形のツウに分割してあるから、気流方向に応じて空気流出入口が逆になっても容易に入れ換えることができ、かつ狭いスペースでの保守点検も容易である。

(5) キャビネットのトビラの鎖錠機構は安全スイッチと機械的に連動するようになっているが、これはトビラを開く時にだけ集じんユニットの高電圧が完全に消勢するに十分な時限をもたせ、トビラをしめるときは単にネジ棒を押込むだけで瞬時に鎖錠ができるようにした。

表 2.1 キャビネット形クリネサ外形寸法一覧表

形番	CC-B11	CC-B21	CC-B31	CC-B22	CC-B32
A	750	1,145	1,540	1,145	1,540
B	588	983	1,378	983	1,378
C	702	702	702	1,202	1,202
D	675	675	675	1,175	1,175
E	481	681	881	681	881
F	472.2	472.2	472.2	927.2	927.2
G	407.2	797.2	1,187.2	797.2	1,187.2



(6) 洗浄水のノズル配管は集ユニットの空気流出入側に設け、さらに従来の固定ノズル使用の経験にかんがみノズルの数を倍以上に増し、その取付角度も考慮したので、集ユニットの向きに関係なく同一の洗浄効果が得られ、集ユニットの全面にわたり均一な洗浄ができ、しかも洗浄時間が短縮される。

(7) 粘着剤としては冷水洗浄用(松村石油製 Air Flow SS-90)を使用するから、常温の清水で洗浄することができる。この粘着剤はエヤール・カン入(カン容積 450 cc, net 280 cc)で、吹付操作に便利のように保持具を付属させてある。

表 2.1 に CC-B11~CC-B32 のそれぞれの外形寸法一覧表を示す。

## 2.2 キャビネット

図 2.1 に一例として CC-B22 の内部構造を、また 図 2.2 には集ユニットを取はずした CC-B22 のキャビネット内部をそれぞれ示す。

キャビネットはすべて床置、水平気流として設計され骨組に薄鋼板をはって形成されている。そしてキャビネットは本体部分と排水受け部分とからなり、本体部分の外表面は落ち着いた感じの灰色に、排水受け部分は濃紺色に色分けされ、また内面は明るい薄水色に塗装されている。

キャビネットの一对の対向側面には同一寸法の空気流入口と流出口が設けてあり、それぞれフランジが出ていて



図 2.1 CC-B22 形  
クリーネ内部構造  
Fig. 2.1 Type CC-B  
22 cleanair interior  
construction.



図 2.2 CC-B22 形  
クリーネキャビネット内部構造  
Fig. 2.2 Type CC-B22  
cleanair, interior of the  
cabinet.

ダクトの連結を容易にしてある。そして普通キャビネットは側面トドラに向かって右側に空気流入口 左側に流出口があるように組立てられ、この空気流入口には多数の小穴のあいたシヤ風板がはめ込んである。これは気流にわざと抵抗を与えてキャビネット内を通る気流の速度を均一にするためのものである。また空気流出口にはフィルタがはめ込んである。これは集ユニット部に付着堆積したチリが万一気流によって剥離した場合にこれを捕捉するためと、洗浄ノズルからのスプレによって集ユニットを洗浄する場合に、水滴が空気流出口ダクト内に飛散しないようにするためのものである。なおこのフィルタは気流に抵抗を与えるから、シヤ風板と同様に気流速度を均一にする作用もする。これらシヤ風板やフィルタは同一外形寸法を有する小形のワクに分割されているから、フランジ部の側面および上面にあるツウ入口から簡単に取出して洗浄することができ、その上集ユニットの入れ換えおよびシヤ風板とフィルタの入れ換えによって、キャビネットの設置場所を移動することなく気流方向の変更に応ずることができる。図 2.3 にシヤ風板およびフィルタを示す。なお空気流出入側フランジの内面にはあってある目のあらい金網は、高圧荷電中にダクト内部より集ユニットに触れることを防ぐための保護金網である。

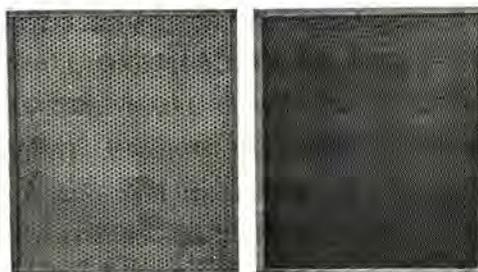


図 2.3 (a) シヤ風板 (b) フィルタ  
Fig. 2.3 (a) Baffle board. (b) Filter.

キャビネットの側面および天井面はいずれも開きトドラになっているが、普通天井面トドラはキャビネット内部から固定して外部から開くことができないようにしてあり、据付場所が狭くてキャビネットの側面トドラが利用できない場合にだけ使用するものである。この場合トドラの開閉ハンドルと鎖錠機構は側面から天井面に簡単に付け換えることができる。側面トドラは開閉ハンドルのツマミすなわち安全スイッチ用ネジ棒を抜き、さらにハンドルを反時計方向に約 15 度回せば簡単に開くことができる。キャビネット内部には直流高電圧が印加される集ユニットがあり、これはコンデンサの作用をするので完全に放電した後でないトドラを開けるのは危険である。このためにトドラは安全スイッチ用ネジ棒の操作によって開くこ

とができるようにしてあり、このネジ棒の取はずしには内部の高電圧が完全に放電するだけの時限をもたせてある。すなわちハンドル の ツマミ を数回左に回すとキャビネット に取付けられている安全 スイッチ が開かれ、電源部 高圧変圧器の入力回路がシャ断される。さらに回すことによってネジ棒が抜け、ハンドルの操作によってトドラが開けられる。ただしトドラをしめるときはネジ棒を押し込むだけで瞬時に鎖錠される構造になっている。

図2.2に示すようにキャビネットの奥には電源部へ接続される高電圧線の一端を接続した端子箱と、集じんユニットに高電圧を供給するために側面に沿って上下に渡された2本の母線があり、ユニットの中央部には集じんユニットの出し入れを容易にし、かつそれらを所定の位置に保持するための案内ワックが設けてある。したがって集じんユニットを案内ワックに沿って押し込むだけで簡単に電氣的接続が得られる。

一方キャビネット底部は洗浄排水受を形成し、排水口が設けてある。そしてこの排水口には排水管が接続され、外部下水溝に導かれる排水管と容易に接続できるように、側面トドラに向かって左下部にユニオン接続口が設けてある。この同一面にはもう1個のユニオン接続口が設けてあるが、これは集じんユニット洗浄用の洗浄水供給口である。また集じんユニット案内ワックの前後には、集じんユニット1個に対して水平に1段ずつの洗浄水管が固定配管され、ユニット1個に対して合計12個のノズルが取り付けられている。そしてこれらのノズルからは洗浄水が円錐状に噴射され、集じんユニットの前後から付着したチリを効果的に洗浄する。またユニオン接続口のあるキャビネット面上部には高圧および低圧電線の接続口が設けてあり、そのおのおのには長さ10mの電線が取り付けられて外部接続を容易にしてある。

### 2.3 集 じんユニット

CC-B形クリネフに使用される集じんユニットはC形集じんユニットと称せられ、高風速高集じん効率用としてB形集じんユニットに準じてとくに設計されたもので、電離部と集じん部が同一ワック内に組込まれており非常にコンパクトになっている。またこの集じんユニットはアルミニウムを主体にしているから耐食性が強く、しかも軽量で1個の重量は10.8kgであり、外形寸法は高さ400mm幅500mm気流方向長さ300mmである。そしてその処理風量は保証集じん効率90%において33m³/minである。したがってCC-B形クリネフはこの集じんユニットを処理風量に応じてキャビネット内に組込んだものである。図2.4にC形集じんユニットを示す。

この集じんユニットの電離部は、気流と直角方向に1列

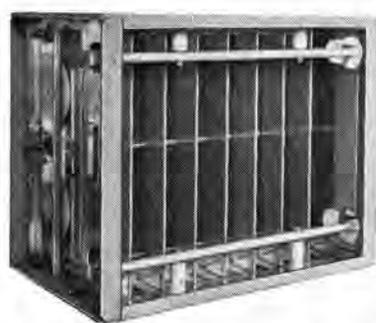


図 2.4 C形集じんユニット  
Fig. 2.4 Type C dust collecting cell.

等間隔に並んだ平行平板の接地極と、これら接地極の中央に1本ずつ平行に張られたきわめて細い放電極線とからなる。そして放電極線は、集じんユニットワックからガイシで絶縁支持された上下2本の水平支持棒から等間隔に接地極板間の中央にクリップを出し、その先端に取り付けてある。電離部は放電線からの放電によって通過空気をイオン化し、その中に浮遊するチリに集じんに必要な正電荷を与える部分である。したがって集じんユニットワック上下のイオン化作用の不活発な放電極線支持部分には、空気抵抗を増すことなく十分な電荷をチリに与えられるよう巧妙なシャ風ワックが設けてある。

集じん部は電離部の直後にあり、多数のアルミニウム薄板を狭小間隔に平行に並べ、両端を集じんユニットの側ワックで押さえたものである。このアルミニウムの薄板は高電位極板と接地極板にわかれ、それらが交互に配列されている。各極板は間隔片により所定の等間隔を維持し、高電位極板は6本の通しボルトで絶縁ガイシを介して集じんユニットの両側ワックに、また接地極板は6本の通しボルトで直接両側ワックに固定されている。したがって高電位極板に電圧を加えれば、隣接地極板との間に強力な平等電界を形成し、電離部で正電荷を帯びたチリはクーロン力により接地極板に吸引付着させられるのである。図2.5にクリネフの集じん原理を、図2.6に集じん効率と風速の関係曲線図を示す。

なおこの集じんユニットワックはすべてネジ止め構造で、ユニットワックの両側面には電離部および集じん部用のパネ端

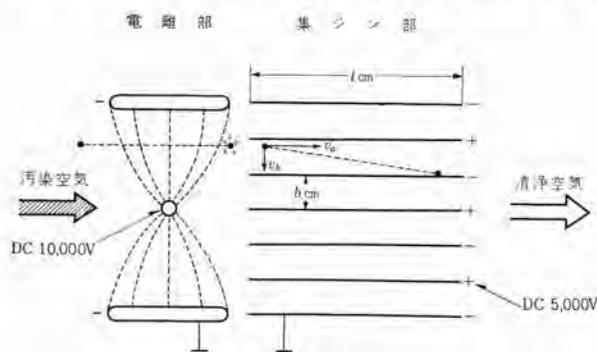


図 2.5 集じん原理説明図  
Fig. 2.5 Principle of dust collection.

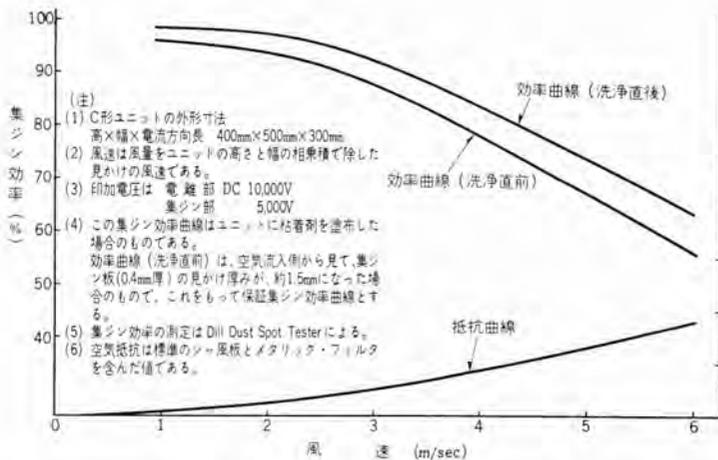


図 2.6 クリネア C 形集 じんユニット  
 風速—集 じん 効率—空気抵抗関係曲線図  
 Fig. 2.6 Air velocity-air cleaning efficiency-air resistance curves of type C dust collecting cells.

子が設けてある。しかもこの両端子は集 じんユニット側面の縦中心線に対して左右に振分けの位置に取付けてあるから、集 じんユニット を キャビネット の支持ワク内にそう入するだけで集 じんユニット 同士は電氣的に接続され、かつ集 じんユニット を反対向きにそう入しても キャビネット 奥の高圧母線と電氣的接触が保たれるようになっている。

## 2.4 電源部

電源部は CC-B11~CC-B32 の各形番に応じて5種類があるが、一部の部品を除いてすべて同一部品を使用しており、外形寸法および構造はまったく同一である。図 2.7 に外観を、図 2.8 に外形寸法を、また図 2.9 にその内部構造をそれぞれ示す。電源部は壁掛式でケースは仕上鋼板で形成され、外面は キャビネット 同様灰色に塗装されている。内部には高圧変圧器、コンデンサ、高圧整流管 (VK-481 B)、安全 スイッチ などが納められ、正面 トビラ には断路器、ファンスイッチ、集 じん—洗浄切換 スイッチ および クリネア の運転状態を表示する電流計が取付けられ、ケース の左側面には洗浄水 ポンプモータ 用 コンセント が設け



図 2.7 電源部  
 Fig. 2.7 Power pack.

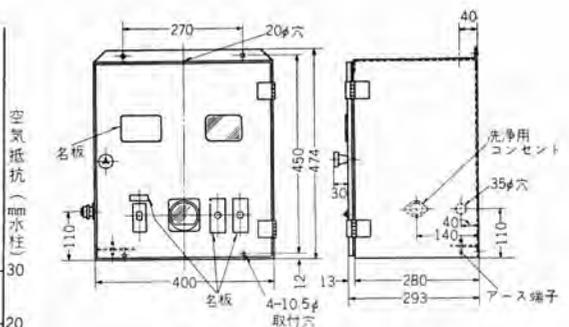


図 2.8 電源部外形図  
 トビラは 180 度まで開くことができる  
 Fig. 2.8 Outline of power pack.

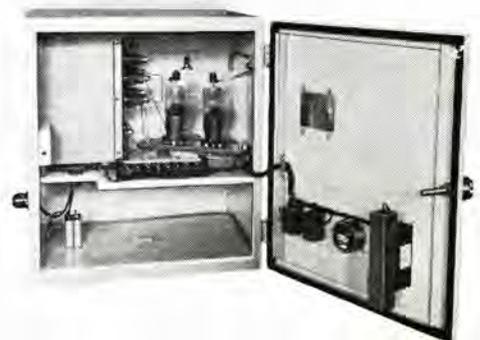
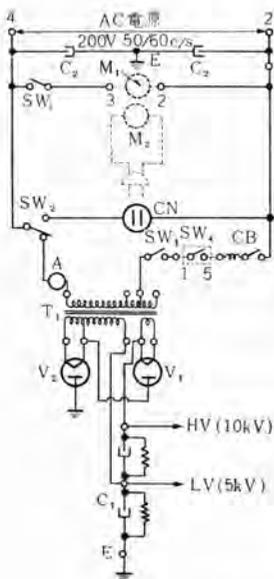


図 2.9 電源部内部構造  
 Fig. 2.9 Construction of power pack.

てある。また正面 トビラ には内部点検用ののぞき窓がついている。そして トビラ を開いて点検する場合は、内部に高電圧を蓄積するコンデンサがあるためそれが完全に放電した後でない危険である。したがって トビラ の開閉ハンドルと安全スイッチを連動させ、コンデンサが完全に放電するまでは トビラ が開かないように機械的に時限をもたせてある。なお ケース 内部には必要に応じて警報装置用補助リレーを取付けることができる。図 2.10 に電源部の接続図を、また図 2.11 に外部接続要領図をそれぞれ示す。

電源部の入力単相交流 200±30V 50/60 c/s 用として設計されており、変圧器によって高圧交流に変換し、これを2個の整流管とコンデンサを使用してブリッジ形倍電圧整流方式によって高圧直流とし、10,000±500 V を電離部にまた 5,000±500 V を集 じん部にそれぞれ供給する。その正常運転時における電力消費量は 100W 以下である。変圧器の一次および二次高圧回路の短絡に対しては、一次側に接続された断路器がシヤ断する。

この場合必要に応じて警報を鳴らすこともできる。また変圧器はリーケイジ・トランスを使用しているため、高圧回路の短絡に対しては変圧器自身によっても高圧回路に属する各 부품の保護ができる構造になっている。変圧器の一次側は供給電圧の高低に応ずるために 180-200-220 V



記号説明	
記号	名称
V ₁ V ₂	高圧整流管
C ₁	コンデンサ 0.05μF+0.05μF
T ₁	変圧器
C ₂	コンデンサ 0.5μF
SW ₁	安全スイッチ
SW ₂	切換スイッチ
SW ₃	ファン開閉スイッチ
A	交流電流計
CB	断路器
CN	コンネント
M ₁	ファンモータ
M ₂	洗浄水モータ
SW ₄	本体安全スイッチ
E	アース端子

図 2.10 電源部接続図  
Fig. 2.10 Connection diagram of power pack.

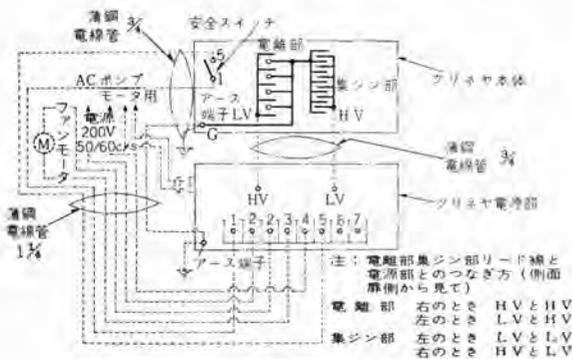


図 2.11 外部接続要領図  
Fig. 2.11 External connection diagram.

のタップが設けてあり、200Vタップで出荷されるが必要に応じてタップの位置を変更することができる。

なお電流計の目盛は緑・白・赤の3色に色分けされており、電流計の指針は集じん状況により次のような位置を指示する。

開路状態	緑色目盛
正常集じん状態	白色 "
短絡状態	赤色 "

### 3. 洗 浄

#### 3.1 洗浄計画

クリネは高い集じん効率によって空気中のチリを大量に捕集し、これを周期的に洗浄して外部下水溝に排出するようになっているが、その洗浄周期は設置場所の環境、季節あるいは粘着剤を使用するかどうかなどにより様ではない。キャビネット形クリネでは粘着剤を常用することを原則にしているが、この場合の洗浄周期はおおむね1～3週間である。洗浄周期が長過ぎると捕集されたチリの堆積がはなはだしくなり、気流によるチリの剥離のために集じん効率が低下したり、洗浄しにくく

なって洗浄時間が長くなったり、あるいは保守に煩わされることが多くなったりする。これはとくに粘着剤を使用しない場合に起こりやすい。

粘着剤を使用しない場合はたとえ洗浄周期を短くしても、長い間には集じん極板などに不溶性のチリのカマリや薄膜が生じやすい。このようなカマリや薄膜は次第に成長して、ついには極板間に連続的な閃絡を生じ集じん作用を不可能にする原因となる。この予防法としてはたとえ粘着剤を常用しないまでも、時々粘着剤を吹付けてから洗浄するか、あるいは清水に少量の粘着剤を混合した洗浄水で洗浄することが必要である。キャビネット形クリネ用粘着剤としては松村石油株式会社製 Air Flow SS-90 のエアゾール缶入(缶容積 450 cc, net 280 cc)を推奨する。

適当な洗浄周期を決めるためには、クリネの運転初期において電離部や集じん部のチリの付着状況を隔日ぐらいに点検することが必要である。そして粘着剤を常用する場合は、付着したチリのために集じん部接地極板が空気流入側から見て見かけ厚み約 1.5mm になったら洗浄を行なうべきである。このようにして適当な洗浄周期が決定したら、以後はこの洗浄周期によって洗浄してゆくようにする。

#### 3.2 洗浄操作

定期的な洗浄操作は次のような順序で行なう。

- 洗浄水をタンクから供給する場合は、表 1.1 に示す所要量の清水をタンクに注入する。
- 電源部のファンスイッチを OFF にしてファンの運転を停止する。
- 電源部の断路器を OFF にし、1分ないし1.5分後に集じん-洗浄切換スイッチを洗浄側に入れば、洗浄水ポンプが起動しあるいは電磁弁が開いて、キャビネット内の固定洗浄ノズルから洗浄水が噴射され、電離部や集じん部の洗浄が開始される。
- 洗浄が開始されてから約3分後に集じん-洗浄切換スイッチを集じん側に入れる。そうすると洗浄水ポンプが停止しあるいは電磁弁が閉じて洗浄水の噴射はとまる。この場合集じん-洗浄切換スイッチを集じん側に入れても、断路器は OFF のままであるから集じんは行なわれない。
- つぎにファンスイッチを ON にすると、ファンモータが起動してキャビネット内部の通風乾燥が行なわれる。これは約1時間継続する。
- 約1時間の乾燥時間が経過したら、一応断路器を ON にして電流計の指針の動きを点検する。指針が白色目盛範囲を指すならば、断路器を OFF にして

次項の粘着剤吹付を行なうが、もしも指針が赤色目盛範囲を指すようならば、乾燥不十分であるから断路器を OFF にしてさらに通風乾燥を続行する。

- g. キャビネット内部が完全に乾燥したことを電流計の指示目盛によって確認したら、ファンスイッチを OFF にしてキャビネットの側面トビラを開き、付属の粘着剤吹付器を空気流入側からそう入して、電離部・集じん部に一様にかつ十分に粘着剤を吹付ける。
- h. 粘着剤の吹付けが終わればキャビネットの側面トビラをしめる。そして安全スイッチ用ネジ棒をさし込んでから、断路器およびファンスイッチを ON にする。このようにしてふたび能率のよい集じん作用を継続させることができる。

#### 4. む す び

以上 CC-B 形クリネトについてそのあらましを説明した。この機種は従来のキャビネット形クリネトに代わって本

年頭初より市場に出た新製品であるが、旧形におとらず各方面に納入されて好評を博している。最近 ventilation や air conditioning の計画に当たって、従来の機械式 air filter ではあきたらず進んでクリネトを採用する向きが増しつつある。これは空気清浄装置によって換気空気中のチリの量が抑制されればされるほど、不経済な出費が節約されることになり、その節約額は換気空気中のチリの量に反比例するから、結局クリネトのような高い集じん効率をもった空気清浄装置のほうが有利であることが認識されてきたものとも考えられる。従来から換気空気の清浄化の必要なことは一般によく認識されていたが、クリネトの追随しにくいかつ明白な利点が機械式 air filter に比較して高価過ぎるという印象だけによってぼかされてしまう場合が多かったようである。

#### 参 考 文 献

- (1) 斎藤 寛：CH-B 形クリネト、「三菱電機」33, No. 8, p. 24 (昭 35)。

#### 最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
35-7-7	神戸 マツダ	ダイモリレー について	市 村 武	姫 路
〃-7-8	中部電力中部照明改善委員会	店舗と商店街の照明	小堀富次雄	本 社
〃-7-9, 21, 22	規格協会関西支部	QC セミナ	小島井 繁	本 社
〃-7-11	原子力産業会義	原子炉制御の実際	八島英之	研 究 所
〃-7-12	電気通信学会	高周波 トランス の性能	水上益良	大 船
〃-7-12	電々公社・電気通信研究所	高周波 トランス の性能	水上益良	大 船
〃-7-13	関西電力	ケイ 光灯について	山下源一郎	大 船
〃-7-14	神戸 マツダ	スタータ および点火系統の電装品について	市 村 武	姫 路
〃-7-19~21	小松製作所栗津工場	建設機械用 マグネト について	市 川 和	姫 路
〃-7-21	日刊工業新聞社	図面管理の実際	松尾準一	本 社
〃-7-21	神戸 マツダ	マツダ 用電装品について	市 村 武・星川光清	姫 路
〃-7-25	電気四学会	熱陰極放電管の陰極振動について	土井貞春	大 船
〃-7-25~27	北海道大学	ガス入り水銀整流器の低温特性	阿部久康	研 究 所
〃	北海道大学	速応性高利得磁気増幅器	浜岡文夫	研 究 所
〃	北海道大学	発電機絶縁の耐コロナ性	原 仁 吾	研 究 所
〃	北海道大学	絶縁物の耐コロナ性におよぼす温度の影響	原 仁 吾	研 究 所
〃	北海道大学	抵抗シヤ断器の再起電圧苛酷度	潮 恒 郎	研 究 所
〃	北海道大学	空気シヤ断器 ノズル の シュリーレン 実験における3次元2次元変換について	潮 恒 郎	研 究 所

# 20 MVA 77 kV 分路リアクトル

伊丹製作所 山内 敦*・清水英範**・青木俊之**

## 20 MVA 77 kV Shunt Reactor

Itami Works Atsushi YAMAUCHI・Hidenori SHIMIZU・Toshiyuki AOKI

A 20 MVA 77 kV shunt reactor has been installed at Itami substation of Kansai Electric Power for reactive power flow control and voltage regulation. Increase in leading reactive power of transmission systems has brought about the necessity of lagging reactive power. In the conventional practice, a synchronous condenser has been used for a phase modifier. But combination of a static condenser and a shunt reactor has come to attract attention as a phase modifier apparatus because of its technical and economical advantage. The large capacity reactor, built by Mitsubishi as mentioned above, has special design features such as employment of epoxy resin to the single phase three leg core and gaps for the countermeasure of noise and vibration, and also making use of mutual inductance in the measurement of the losses.

### 1. ま え が き

最近長距離超高压送電線の新設、都市における高電圧ケーブルの多量設置にともない、送電系統の対地充電容量が急激に増大した。このために夜間、休日などの軽負荷時の進相容量による系統電圧上昇が問題になり、遅相容量の供給設備が必要となってきた。

従来調相機としては、同期調相機または電力用コンデンサが採用されてきた。同期調相機は進相容量、遅相容量ともに供給可能で、電圧調整が連続的にできて有利でありまた系統運転上種々の機能を発揮する。しかし回転機であるため多くの資材を必要とする。これに対して分路リアクトルは静止機器であるため経済的に安価であり、既設電力用コンデンサのある所はもちろん、調相機を新設する場合も電力用コンデンサと分路リアクトルを採用したほうが経済的であり、保守、点検が容易で、運転損失が少な

くてすむ。また技術的には一長一短あって、両者優劣がつけかねる状態である。

以上のことから、近年国内各電力会社で注目され、実際に多く計画されつつある。

外国においては、米国では豊富な資材から同期調相機がもっぱら採用されているようであるが、欧州では比較的早くから分路リアクトルに着目し採用されている。

当社では、昨年、三相 60 c/s 77 kV 20 MVA 分路リアクトル 3 台 関西電力伊丹変電所向けとして受注し、本年 5 月完成した。

分路リアクトルは、鉄心脚に空隙を有しているため、騒音、振動が大きく、損失測定は損失が低力率であることから従来の測定法では誤差が大きい。

前者については空隙にエポキシ樹脂を採用し、後者には相互インダクタンスを使用する方法を用いて良好な結果を得たので、構造、特性合わせてその概要を紹介する。

### 2. 定格および保証値

#### 2.1 定 格

屋外用 油入自冷式 窒素封入式 RV 形

二重防音壁付 形名 CSL

三相 三角形結線 60 c/s 連続定格

電圧 77,000 V 絶縁階級 70 号

容量 20,000 kVA

インピーダンス 888 Ω/phase

#### 2.2 保 証 値

損失 106 kW

インピーダンス 888 Ω/phase 裕度 —10~0%



図 1.1 20 MVA 77 kV 分路リアクトル 外観  
Fig. 1.1 Appearance of 20 MVA 77 kV shunt reactor.

温度上昇値	巻線（抵抗法）	55°C
	油（温度計法）	50°C
騒音	74ホン	以下

### 3. 問題点

分路リアクトルは、大容量でしかも連続定格であるので、一般の小容量または短時間定格のリアクトルに比較し次のような点が問題となる。

- (1) リアクタンスの調整が必要となった場合、鉄心巻線ともに大重量となるため、調整に手数がかかる。
- (2) 鉄心脚部に多数の空隙部分を有するために
  - a. 空隙上下鉄心ブロック間に磁気力に基づく振動を発生し、このために振動を抑制するなんらかの機械的力を必要とする。
  - b. a. により一般変圧器に比し騒音が大きい。
  - c. 漏洩磁束が大きいため、タンク、巻線、その他の構造物に発生する漂遊損が大きくなる恐れがある。
- (3) 損失の力率が非常に低いため、精度のよい損失測定がむずかしい。

### 4. 構造

外観は図1.1に示すように従来の油入自冷式三相変圧器の低圧ブッシングを除いたものとほとんど等しい。中身は単相三脚鉄心の中央脚に空隙をもうけ巻線を施したものを3組同一タンクに収めたものである。

#### 4.1 巻線

分路リアクトルは消弧リアクトルなどことなり、リアクタンスを変化する必要がないのでタップがなく、巻線としては簡単な構造で、当社内鉄形変圧器で60kV以上の電圧の場合に一般に採用している高直列容量巻線(Hisercap)を採用した。

#### 4.2 鉄心

一般に三相変圧器の鉄心構造は周知のように三相三脚鉄心を使用しているが、分路リアクトルでは下記理由から図4.1に示すように単相三脚鉄心一脚巻を採用した。また空隙は中央脚にできるだけ細分割して挿入した。

- (1) 機械的に強固な構造になる
- (2) 空隙部の工作が簡単になる
- (3) 各相リアクタンスが合わせやすい
- (4) タンク壁に対する漏洩磁束を両側脚によって磁気シャハイすることになるので、漂遊損を減じうる

図4.2からわかるように、鉄心は中央脚真中から完全に半分に分割できる構造になっている。これは後述する空隙部の工作の容易さと鉄心冷却の作用をしている。

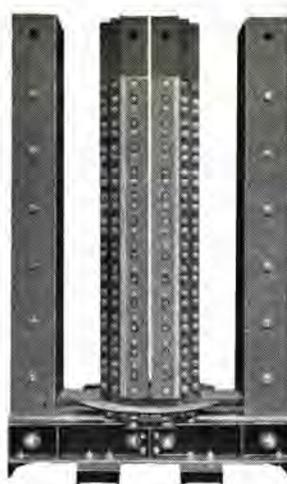


図 4.1 鉄心1相分  
Fig. 4.1 One phase of core structure.



図 4.2 中身1相分  
Fig. 4.2 One phase of core and coil assembly.

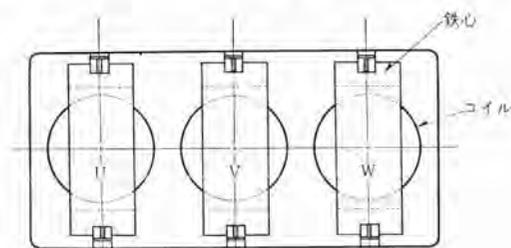


図 4.3 リアクトル 中身配置  
Fig. 4.3 Arrangement of core and coil assembly.

上部端ワッは左右鉄心を共通に締付けるが、下部端ワッは左右鉄心を別々に締付け、中央においてボルトにより強固に接合されている。

以上のような単相三脚鉄心図4.2を3組図4.3のように同一タンクに収めて三相とした。

#### 4.3 空隙

一般の変圧器における騒音の原因およびその低減策については多くの実績、文献が発表されてきたが、大容量、連続定格のリアクトルについては騒音発生機構がやや異なり、変圧器の騒音低減策をそのまま適用するだけでは十分でない。

変圧器における騒音の音源はケイ素鋼板の磁歪内力による振動と鋼板継目の磁氣的吸引力による振動が主たるもので、これらの振動による変圧器各部の二次的振動が加えられる。

空隙付鉄心リアクトルにおける騒音の音源は上述変圧器騒音の音源に加えて、リアクトル鉄心脚部に多数の空隙を有することから、空隙上下鉄心ブロック間の磁氣的吸引力により、鉄心積層断面と空隙充填物面の間に磁束密度の2乗に比例した強さの吸引力による振動を発生する。その他、これらの振動により締付力の及ばない切板端部が多いため切板端部が相互に振動し合って騒音を発生する。

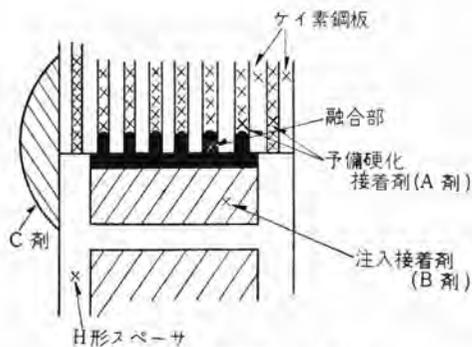


図 4.4 空隙部断面拡大図  
Fig. 4.4 Cross section gap.

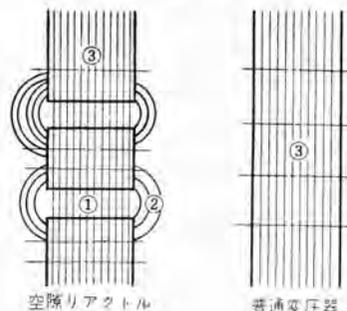


図 4.5 鉄心脚部騒音発生源  
Fig. 4.5 Noise source of core legs.

以上のことから、空隙付鉄心リアクトル独特の騒音源を抑圧すれば振動機構を一般変圧器と同様にすることができ、これまで変圧器に用いられてきた騒音低減策を用いることによって十分な成果を期待しうる。

そこで、まず空隙充填物を従来のようにベークライト板とせず図 4.4 のように接着剤注入により空隙部分を生成し鉄心と空隙を一体とし、ついで空隙部分を周囲からパテ状接着剤で固定し、振動発生源を完全に包囲することとした。

この方法は製品に先だちモデルリアクトルで試験を行なったので製作方法、試験結果について 5 項にその詳細を述べる。

#### 4.4 二重防音壁構造

4.2, 4.3 に述べたように振動、騒音を低減するために



図 4.6 二重防音壁構造  
Fig. 4.6 Structure of double sound proof enclosure.

鉄心構造に細心の注意を払っているが、さらに完全を期するために、すでに変圧器騒音低減に使用され非常に良好な成績をおさめている二重防音壁構造を採用した。図 4.6 参照。この構造に関してはすでに種々の文献⁽³⁾に述べられている。

### 5. 空隙部の製作

#### 5.1 空隙部の工作法

空隙鉄心部は図 4.4 に示すように、4 部分より構成される。すなわち (1) 固着鉄心部 (2) H 形 スペーサ部 (3) 接着剤注入部 (4) パテ状接着剤固定部である。もっとも重要な部分は H 形 スペーサ部で、従来は鉄心脚部が空隙部で分離されていたが、H 形 スペーサの空間部が接着剤充填により鉄心面と融着し、一体となることにより鉄心面と空隙部充填物面との振動をなくした。

##### (1) 固着鉄心部

リアクトル脚部の鉄心ブロックを構成する各鋼板は表 5.1 に示す A 形接着剤を塗布し、予備乾燥して組立てられる。この接着剤フィルムは作業にさしつかえない程度に予備固化乾燥し、リアクトルとして組立締付後加熱して硬化する。この接着剤は H 形 スペーサ部に注入する接着剤と同系のものであるので組立後の加熱により、ちょうど H 形 スペーサ部に注入された接着剤の足が鋼板間に伸びた形となり空隙と鉄心とは完全に一体となる。

##### (2) H 形 スペーサ部

H 形 スペーサは空隙部周辺だけをベークライトワックによって保持するもので、この内部に図 4.4 のように底部より表 5.2 の B 形接着剤を注入する。すなわちベークライトワックはたんに止めを行なうだけで、空隙充填物は注入される接着剤によって形成される。したがって注入接着

表 5.1 ケイ素鋼板用接着剤の一例 (A 形)

接着剤の種類	配合剤	使用法
ビニール系	Polysingl Acetate Polybinyll Butyral Thermosett Resin (Phenol Resin など) 溶剤	ケイ素鋼板に常温で塗布またはケイ素鋼板間隙に含浸させる。つぎに溶剤を蒸発させると接着剤は薄膜状となる。つぎに加熱によって硬化反応を起こし接着する。
エポキシ系	Epoxy Resin (分子量 900 以上) Hardner (Amine 化合物など) 溶剤	

表 5.2 H 形 スペーサ部接着剤の一例 (B 形)

	配合剤	使用法
エポキシ系	Epoxy Resin (分子量 400 以下) 反応剤 充填剤 硬化剤(アミン化合物など)	反応剤は粘度を下げる場合に使用する。たとえば Phenylglycidyl ether などで Epoxy Resin と反応するもの。充填剤は粘度を増加させる場合に使用する。

表 5.3 パテ状接着剤の一例 (C 形)

接着剤の種類	配合剤	使用法
エポキシ系	Epoxy Resin (分子量 450 以下) 充填剤 チクソトロピック剤 硬化剤(ポリアミンなど)	配合剤を適当量配合してパテ状にする。

剤は、低粘度、無溶剤で、硬化時の収縮なく、しかも硬化後ある程度の柔軟性を持つ必要がある。このため接着剤としてはエトキシシリ系樹脂を使用し、特殊の Filler を混入して耐衝撃性と熱伝導性を良好にさせた。

(3) パテ 状接着剤固定部

パテ 状接着剤は、注入接着剤のもれ止めと、切板端部の振動を抑制するもので、表 5.3 の C 形接着剤を塗布した。これによって空隙部に面する鉄心切板端部を完全に包囲し、変圧器鉄心で鋼板の遊離またはゆるみが生じたときに経験する局所的な異常騒音と同様な鉄心切板端部におこる騒音を解決した。

5.2 使用接着剤の諸特性

(1) 各部に適用した接着剤の一例

鉄心 フロック 表面に塗布した接着剤を表 5.1 に H 形スペーサ 部に注入した接着剤を表 5.2 に パテ 状接着剤を表 5.3 に示した。

表 5.4 接着剤の変圧器油に対する影響

	A 形 接着 剤	油 の み
酸 価	0.009	0.084
界 面 張 力	41.68	45.33
$\rho$	$12.4 \times 10^{12}$	$15.9 \times 10^{12}$
$\tan \delta$	0.38	0.34

表 5.5 接着剤の変圧器油に対する影響

	油 の み	B 形 接着 剤	C 形 接着 剤
酸 価	0.008	0.014	0.027
界 面 張 力	40.32	39.17	39.17
破 壊 電 圧 (kV)	34.3	33.3	36.0
$\rho$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) (50°C)	$4.73 \times 10^{12}$	$1.93 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{14}$
$\tan \delta$ % (50°C)	0.28	0.06	0.02
$\varepsilon$	2.23	2.24	2.25

注 耐油試験方法：密封容器中に油 500 cc を入れ  $6 \times 10 \text{ cm}^2$  の試験片 10 枚の両面に接着剤を塗布焼付け 100°C 45 時間加熱後測定

(2) 各接着剤の耐油性

各部に用いた接着剤が変圧器油に対してどのような影響を与えるかを表 5.4, 5.5 に示した。これによると 100°C 45 時間加熱後も油に対してほとんど影響を与えていない。

5.3 リアクトル・モデルによる騒音測定

20 MVA リアクトル 製作に先だって 530 kVA リアクトル・モデル を製作し、空隙部分の工作方法、騒音低減効果を測定した。

(1) リアクトル・モデル の仕様

屋内用 乾式自冷式

単相 60 c/s 連続定格

電圧 3,300 V 定格電流 164 A

容量 530 kVA

巻線 第 1 種 カプラー線 60 mm² 130 T

鉄心部 断面積 1,083 cm²

磁束密度 10,000 ガウス

空隙 全空隙長 52 mm

4 分割 (13 mm × 4)

20 MVA 77 kV 分路 リアクトル・山内・清水・青木

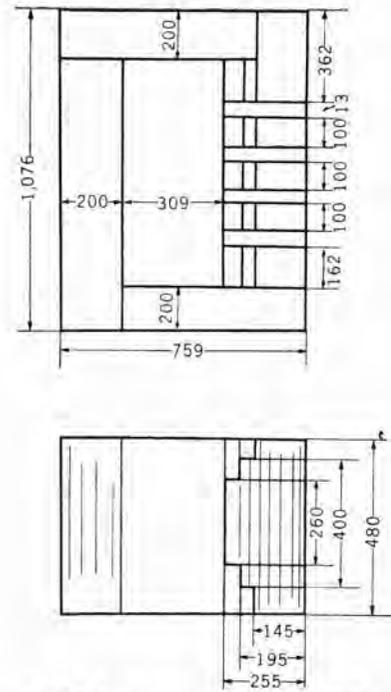
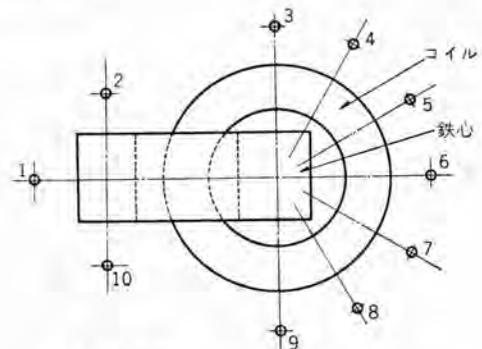


図 5.1 リアクトル・モデル 鉄心構造  
Fig. 5.1 Reactor model core structure.

表 5.6 リアクトル・モデル による騒音試験結果

測定点	3,300 V		4,500 V	
	1	2	1	2
1	77.5	61.5	83.3	72.5
2	77.2	62.5	82.0	74.2
3	77.3	62.5	83.0	75.5
4	80.0	62.5	85.3	75.2
5	81.8	64.0	86.0	75.8
6	83.0	70.0	87.5	77.5
7	84.0	66.0	89.5	76.3
8	84.8	66.0	89.0	75.5
9	83.0	66.5	88.5	75.5
10	81.0	60.5	87.4	73.5
平均	80.9	64.2	86.1	75.2
周囲騒音	64.5	46.5	64.5	46.5

1: 従来の方法によるもの  
2: 樹脂処理したもの  
測定点は図 5.2 参照



⊙: 測定点  
高さ 約 50, コイルまたは鉄心から 30cm  
図 5.2 リアクトル・モデル 騒音試験測定点  
Fig. 5.2 Measuring points of reactor model noise tests.

鉄心構造を図 5.1 に示す。

(2) 騒音測定結果

空隙に単に ベークライト 板を挿入した従来の方法と 20 MVA リアクトル に適用する H 形 スペーサ, 接着剤注入構造にした場合について騒音を測定し比較した。

これによると表 5.6 のように樹脂処理することにより平均 16.7 ホン 騒音低減することに成功した。

また騒音周波数は従来の方法では 60 c/s の倍数調波で、120 c/s を頂点として 5,400 c/s 程度までの広範囲にわたる騒音周波数を発したが、樹脂処理によって 900 c/s までの騒音周波数になった。これによってほとんど一般変圧器並の騒音に達したことがわかる。

## 6. 試験および特性

分路リアクトルの試験に関しては一般の電力用変圧器の場合と同様に JEC-120 によるものであるが、その特性上前述のように損失の測定に対してはその精度を向上するために次に述べる特殊な方法を用いた。

各規定試験項目に対して、工場試験および現地試験を行なったが、1, 2, 3 号器とも良好な成績を収めた。

### 6.1 リアクタンス

今回は、リアクタンス仕様値 888 Ω/phase で裕度 -10~0 % であるが、1 号器では図 6.1 に示すような結果を得た。10% 過電圧に対しても、鉄心飽和によるリアクタンスの変化はまったく表われない。

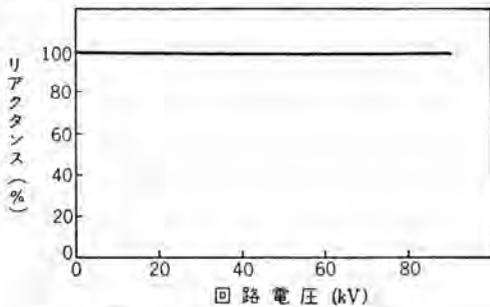


図 6.1 電圧リアクタンス特性  
Fig. 6.1 Voltage reactance characteristic.

### 6.2 損失

大容量リアクトルの損失測定法としては損失が低力率であることから必然的にその測定精度が問題になるため、各製造者において種々な測定法が考えられ、また実施されている。しかし一般に規定されている方法はなく、いかなる測定法をとるかは、顧客と製造者間の話合で決められている現状である。

これらの方法としては

- (1) 従来一般変圧器に適用されている電力計法によって測定し、計算によって誤差を校正する方法
- (2) コンデンサをリアクトルに並列に挿入して、力率を改善し、電力計法によって全損失を測定し、この値からコンデンサの損失を差引く方法
- (3) 相互インダクタンスを用いて測定回路の位相角誤差を補償する方法
- (4) 低力率計、低力率電力計をとくに製作する方法

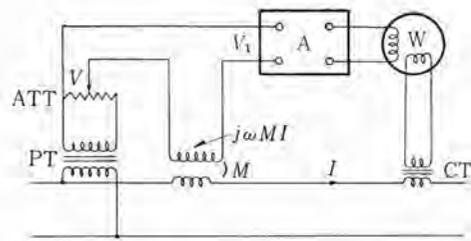


図 6.2 損失測定回路  
Fig. 6.2 Loss measurement circuit.

- (5) 精度の良い PT, CT を製作する方法  
等が考えられる。

一般には (2) 法がいちばん実用的であると考えられ、実施も可能ではあるが、結線をふくめたコンデンサ、バンク全体の損失を精度よく算出するのに 2, 3 の検討事項があるので今回は (3) 法で損失を測定した。

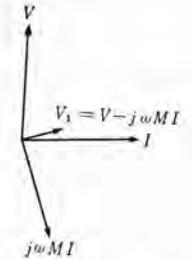


図 6.3 ベクトル図  
Fig. 6.3 Vector diagram.

(3) 法は、図 6.2、図 6.3 にその回路、および原理を示すように、CT の位相角誤差を補償するものであって、PT の二次側出力を衰減器 (ATT) でしぼり、相互インダクタンスの二次出力  $j\omega MI$  によって、その無効分を打ち消すものである。この有効分  $V_1$  は演算増幅器 (A) を通して、電力計の電圧端子に直接入れるものである。

この方法を用いると、従来の方法に比べかなり高い精度が得られるが、単相測定であるため、三相星形結線の場合には中性点を取り出せば良いが、三角形結線の場合には二端子を短絡して 2 相並列に測定しなければならない

損失 kW	1 号器	2 号器	3 号器
	95.1	97.3	94.9

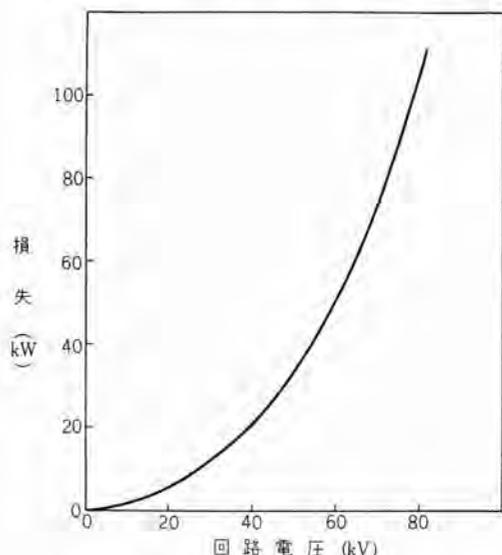


図 6.4 電圧損失特性  
Fig. 6.4 Voltage loss characteristic.

い。

今回の測定結果を電圧に対する損失特性として、図 6.4 に示した。リアクトル の場合損失を一般の変圧器損失のように、鉄損、銅損に分離することは困難であるが、変圧器の損失内容に比し、漂遊損をふくめた銅損が鉄損に比し多くなる。

### 6.3 騒音

空隙の樹脂処理、二重防音壁の採用によっていずれも

表 6.1 騒音測定結果

騒音 (ホン)	1号器	3号器
	59.9 (60.4)	(62.1)

( )内は現地測定値

表 6.2 都市の暗騒音

都市の暗騒音(ホン)			
		昼間	深夜間
住宅	地帯	40~60	20~40
商業	地帯	50~70	30~50
工場	地帯	55~90	40~60

表 6.3 油入自冷変圧器の騒音レベル基準値

等価容量		騒音レベル
絶縁階級		
70号以下		100号
4,000		66
6,000	1,500	68
10,000	3,000	70
15,000	6,000	72
20,000	12,500	74
30,000	20,000	76

平均 60 ホン 前後の低騒音であった。図 6.5 参照

現地においては他機器による周囲騒音が高いために、リアクトル の 4~5m 付近に近寄らなければリアクトルの運転が確かめられないほどである。参考までに都市の暗騒音表 6.2 および油入自冷式変圧器の騒音レベル基準値表 6.3 を付加した。

### 6.4 温度上昇

分路リアクトル では運転時はつねに全容量であるので温度上昇に対してはいくぶん余裕のあることが望ましい。工場試験では 1号器により、また現地試験では全台に対して温度上昇試験を行なったが、いずれも仕様値に対して十分な結果であった。

### 6.5 その他

絶縁耐力試験は 70号変圧器と同様で、下記のような各種耐圧試験に対して合格した。

表 6.4 各種耐圧試験

加圧試験	160kV	1分間
誘導試験	154kV	40秒間
衝撃電圧試験	全波 400kV	サイ断波 460kV

また、過渡特性としてのシャ断器投入による突入電流は鉄心の磁束密度を低くとしているので励磁電流が少なく、またリアクトル電流は鉄心脚空隙の起磁力でほとんど決まるので小さく問題にならない。

### 7. むすび

以上、当社最初の分路リアクトルの構造、工作、特性について述べた。

今後、送電系統の拡大、超高圧送電の増加にともなって調相設備、とくに遅相電力供給源として、経済的に有利である分路リアクトルの設置の傾向はますます増加していくものと考えられる。

このリアクトルは大容量、連続定格リアクトルとして初めてのものであったため、諸々余裕のある設計、工作をしたもので、重量的、寸法的に大きなものとなったが、この結果から、今後の課題として、鉄心構造、空隙構造に改良を加え、防音壁構造も簡略化して、現在より小形、軽量化し、特性の向上を計ると共に、損失測定法にも決定的な方法を確立していくよう努力したい。

最後に当社に製作の機会を与えていただいた関西電力株式会社、樹脂関係について種々ご指導賜わった当社研究所伊藤研究員およびこの製作にたずさわった当所関係各位に紙上より御礼申上げる。

### 参考文献

- (1) D. Edmundson: PIEE 428 Part B (Sept., 1954).
- (2) Discussion on (1): PIEE 69~71 Part B (Jan., 1957).
- (3)* 村上・坂田・藤木: OHM 76, p. 201 (昭 31).
- (4) 福島: 電学誌 76, p. 837 (昭 31).

## 直列インバータ総論(2)

—基本形の抵抗負荷定常特性— 研究所 河合 正*

## General Aspects of Series Inverters (Part 2)

—Steady-State Characteristics of Prototype with Resistive Load—

Research Laboratory Tadashi KAWAI

Herein are discussed steady-state characteristics of the prototype of series inverters with resistive load. Modes of their operation are theoretically in a non-dimensional form, and mechanism of their operation is numerically explained by the help of many precise waveforms obtained by calculation or experiment. Introduction of a facile equivalent circuit of the inverter is then made together with representation of examples in its application. Further are shown non-dimensional operating characteristics by diagrams to manifest the merits and defects of the inverter. Lastly, other problems for practical application such as requirements for filters on a d-c bus are briefly discussed.

## 3. 抵抗負荷時の定常特性

前号⁽¹⁰⁾で各種の変形回路の特性が基本形のそれからたやすく導き出せることが明らかとなったから、以後はすべて基本形の特性について話を進めることとしよう。

## 3.1 動作様式の区分

2.1 節で概説したとおり、直列インバータでは、負荷によって放電管の通流時間が変わって来るから、一方の放電管が自然消弧してから他方の放電管が点弧するとはかぎらない。解析の上から動作様式を次の三つに分類するのが便利である。

## a. 自然転流域

一方の放電管の自然消弧後しばらく時間をおいて他方の放電管が点弧する領域。負荷電流はとぎれとぎれに流れる。

## b. 臨界域

一方の放電管の自然消弧の時点で他方の放電管が点弧する領域。a. と c. との境界にあたる。

## c. 強制転流域

一方の放電管の自然消弧に先だてて他方の放電管が点弧する領域。先に述べたように、前者の放電管は転流リアクトルの作用によって強制的に消弧させられ、負荷電流の波形はこの瞬間に極性が突然反転する chopped wave となる。

上の三領域の境界はつぎのようにして説明できる。

第1回路状態(放電管  $T_1$  放電中の回路図 2.1 (b) でコンデンサの電荷を  $q_{1,n} = Cv_{1,n}$  とすると、回路方程式は図の電流  $i_{1,n}$  が  $dq_{1,n}/dt$  であることから

$$\left( L \frac{d^2}{dt^2} + R \frac{d}{dt} + \frac{1}{C} \right) q_{1,n} = E \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

となる。ただし時間  $t$  の原点は  $T_1$  の点弧時刻にとってある。

また第2回路状態 ( $T_2$  放電中の回路、図 2.1 (c) では、時間原点を  $T_2$  の点弧時刻にとり、コンデンサの電荷を  $q_{2,n} = Cv_{2,n}$  とすると、電流  $i_{2,n}$  は  $-dq_{2,n}/dt$  であることから、回路方程式は

$$\left( L \frac{d^2}{dt^2} + R \frac{d}{dt} + \frac{1}{C} \right) q_{2,n} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

となる。これらの解が振動的であるためには

$$1 > R/2\sqrt{L/C} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

が成立しなければならない。実際の運転状態はほとんどこの式 (3.3) の条件を満たしている。このとき、上記方程式の解  $q_{1,n}$ ,  $q_{2,n}$  を一般的に  $q_{r,n}$  で示すと

$$(dq_{r,n}/dt)_{t=0} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

であるかぎり、解はきわめて簡単な次の形

$$dq_{r,n}/dt = B e^{-\alpha t} \sin \beta t \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここで } \alpha &\equiv R/2L \\ \beta &\equiv 2\pi f \equiv \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - (R/2\sqrt{L/C})^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.6)$$

$B$  はコンデンサ電圧の初期値に関する積分常数である。

で表わされる。式 (3.4) は、放電管電流すなわちまた転流リアクトル電流の初期値が零であることを示すもので、臨界域、自然転流域では成立するが、強制転流域では他方の放電管の電流がこの放電管の点弧時刻  $t=0$  まで流れつづけているから成立しない。

式 (3.5) からわかるように、自然転流域と臨界域では放電管の通流時間  $\tau_0$  はこの式が零となる時刻、すなわち

$$\tau_0 = \pi/\beta \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

であたえられる。 $\beta$  は回路の固有振動の角周波数である

から、通流時間は起動後の サイクル 数  $n$  に無関係に一定である。

いま、放電管の制御周波数すなわちインバータの出力周波数を  $f_0$ 、またはその角周波数を  $\omega_0$ 、あるいはその半周期を  $\tau_0$  として表わすと、 $\tau_0$  は

$$\tau_0 = \frac{1}{2f_0} = \frac{\pi}{\omega_0} \dots\dots\dots (3.8)$$

で与えられ、自然転流域では放電管の通流時間  $\tau_c$  はこの  $\tau_0$  より小さくなければならないから

$$\tau_c < \tau_0, \text{ または } f > f_0, \text{ あるいは } \beta > \omega_0 \dots\dots\dots (3.9)$$

となる。臨界域では

$$\tau_c = \tau_0, \text{ または } f = f_0, \text{ あるいは } \beta = \omega_0 \dots\dots\dots (3.10)$$

となり、強制転流域では

$$f < f_0, \text{ または } \beta < \omega_0 \dots\dots\dots (3.11)$$

となる。ただし強制転流域だけは  $\tau_c$  が転流リアクトルの強制転流作用により電気角にして 180 度の値に保たれるから式 (3.7) の代わりに

$$\tau_c = \tau_0 \dots\dots\dots (3.11')$$

を用いなければならない。

今までの文献では、上記のような関係から三つの動作領域をそれぞれ  $f > f_0$ ,  $f = f_0$ ,  $f < f_0$  の領域と呼んでいる。しかし、ここでは後に特性を無次元化するための便宜上、別の見地からこの関係を考え直して見よう。

まず、二つの無次元量

$$\lambda \equiv R / 2\sqrt{L/C} \dots\dots\dots (3.12)$$

$$\mu \equiv \omega_0 \sqrt{LC} \equiv 2\pi f_0 \sqrt{LC} \dots\dots\dots (3.13)$$

を定義する。ここでは負荷抵抗  $R$ 、出力周波数  $f_0$  が  $2\sqrt{L/C}$ ,  $1/(2\pi\sqrt{LC})$  に関して無次元化されている。実際のインバータでは運転中  $L$  と  $C$  とは一定に保たれるのが普通であるから、 $R$  や  $f_0$  の変化はそれぞれ  $\lambda$ ,  $\mu$  の変化として考えればよく、その意味でこの無次元化はなほだ実用的な意義を持っている。 $\mu$ ,  $\lambda$  にはこれ以外にも大きな実用的意義があるが、それは後でくわしく述べることにする。

さて、この二量を用いると

$$\frac{f}{f_0} = \frac{\beta}{\omega_0} = \frac{\sqrt{1-\lambda^2}}{\mu} \dots\dots\dots (3.14)$$

となるから、さきの条件式は

$$\left. \begin{array}{l} \text{自然転流域: } \sqrt{1-\lambda^2} > \mu \\ \text{臨 界 域: } \sqrt{1-\lambda^2} = \mu \\ \text{強制転流域: } \sqrt{1-\lambda^2} < \mu \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.15)$$

と書き直すことができる。また通流時間  $\tau_c$  は出力周波数の 1 周期  $2\tau_0$  に対して

$$\left. \begin{array}{l} \text{自然転流域: } \tau_c / 2\tau_0 = \mu / 2\sqrt{1-\lambda^2} \\ \text{臨 界 域: } \tau_c / 2\tau_0 = \mu / 2\sqrt{1-\lambda^2} = 1/2 \\ \text{強制転流域: } \tau_c / 2\tau_0 = 1/2 \neq \mu / 2\sqrt{1-\lambda^2} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.16)$$

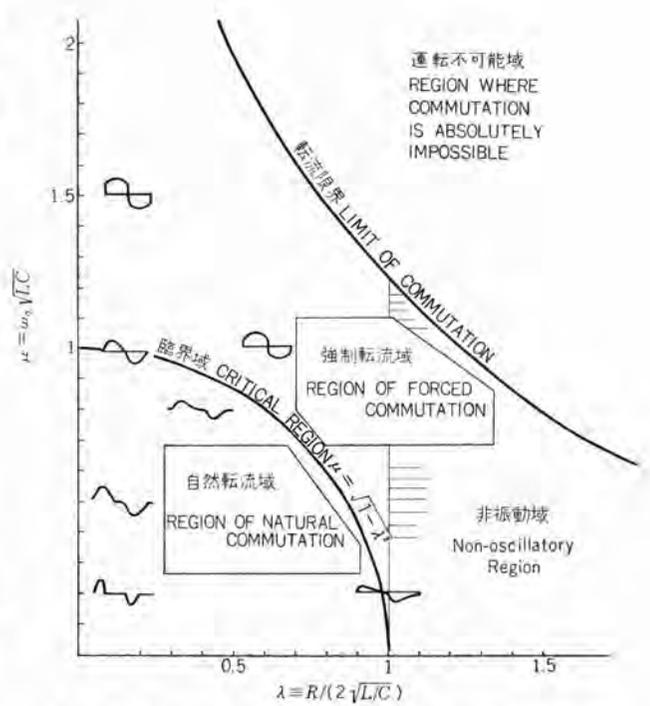


図 3.1 抵抗負荷時直列 インバータ (図 2.1, 2.2, 2.4~2.9) の動作様式区分図 (各点の概略の出力電圧波形もあわせて示す)

Fig. 3.1 Diagram showing the mode of operation of series inverters (Fig. 2.1, 2.2, 2.4~2.9) with resistive loads (Schematic waveforms of output voltage is also shown at each point).

として示される。

式(3.15)は 図 3.1 に示すような  $(\mu, \lambda)$  平面で考えるといっそう明らかになる。まず  $\mu$  および  $\lambda$  を同じ目盛で表わして  $(\mu, \lambda)$  平面を作り、原点を中心として半径が 1 であるような円を描くと、これは実は  $\mu = \sqrt{1-\lambda^2}$  を満足する曲線であるから臨界域を示していることになる。したがって、この円内は自然転流域で、円外は強制転流域である。後の現象波形の説明の際に詳しく述べるように、 $f_0, L, C$  が一定のときの負荷変化は横軸に平行な直線上の移動、また、 $L, C, R$  が一定で  $f_0$  が変化する過程は縦軸に平行な直線上の移動に相当する。

余裕角は、強制転流域では非常に小さく図の右上に斜めに引かれた転流限界で完全に零となる。したがって、この限界線より右側ではインバータは絶対に動作できない。

この限界線は、定常状態の余裕角が零となる条件から求めたものであるが、強制転流域においては起動直後の過渡状態での余裕角は定常状態のそれより一般に少なくなりがちであるから、過渡状態まで考えに入れた限界線はこの図の限界より左寄りになる。さらに、放電管の消イオン時間は現実には零であるわけにはゆかないから、実際のインバータの運転可能限界は、はるかに左寄りとならざるを得ない。

また式 (3.3) は、書き直せば、

$$1 > \lambda \dots\dots\dots (3.3')$$

であるから、 $\lambda \leq 1$  の領域は回路方程式が非振動となる領域である。Hauffe 氏⁽³⁾は、 $\lambda=1$  を転流限界と考えたが、この考えの正しくないことは執行氏⁽⁴⁾も指摘している。しかし、転流限界について氏の与えた二三の数値は $(\mu, \lambda)$  平面上でいえば、上記限界線より左寄りに出過ぎてている。

### 3.2 現象波形

定常状態の回路現象が、負荷や出力周波数の広い範囲でどのような変化を示すかを、ここで解説する。

このような変化の定性的な傾向についての知識は、今までの文献からでも十分に得られるけれども、ここでは放電管やコンデンサなどの各回路素子の電圧電流の尖頭値や初期値、その他余裕角などについて正確な定量的知識を動作領域の全般にわたって得ようとするを主眼にしている。そのため、筆者たちが計算や実験で得た数多くの波形を列挙しながら系統的に説明を与えてゆくこととする。広い適用性を持たせるため、波形はすべて無次元化して示される。この無次元化の基準量としては、

時間基準量： $2\tau_0=1/f_0=2\pi/\omega_0$

インピーダンス基準量： $2\sqrt{L/C}$

電圧基準量： $E$

を採用する。したがって、

電流基準量： $E/(2\sqrt{L/C})$

電力基準量： $E^2/(2\sqrt{L/C})$

となる。回路常数は前記の二つの無次元パラメータ  $\mu, \lambda$  ですべて、おきかえることにする。回路現象をこのように3基準量、2パラメータだけで取扱うことについては、その数学的基礎から説きおすのが本筋ではあるが、紙面の関係上ここではこれは省略する。このような取扱い方の実用上の大きな意義は、実際のインバータでは運転中  $L, C, f_0$  が一定にたもたれるのが通常であることを考えれば、おのずと理解できよう。

なお、ここでかかげる波形の多くは、計数形計算機により回路方程式を Runge-Kutta 法で直接解いて求めたものであるが、この解法についてもここでは説明を省く。

今まで、非振動解の領域については解析結果が与えられていなかったが、この計算によりこの領域での動作もあわせて明らかにされたのである。以下、前号の図3.2(a)に示した現象記号を用いて順次説明を与えることにする。

#### (1) 臨界域の波形 (図3.2)

後の説明でわかるように、自然転流域の現象は臨界域のそれから簡単に導き出せるので、まず臨界域について

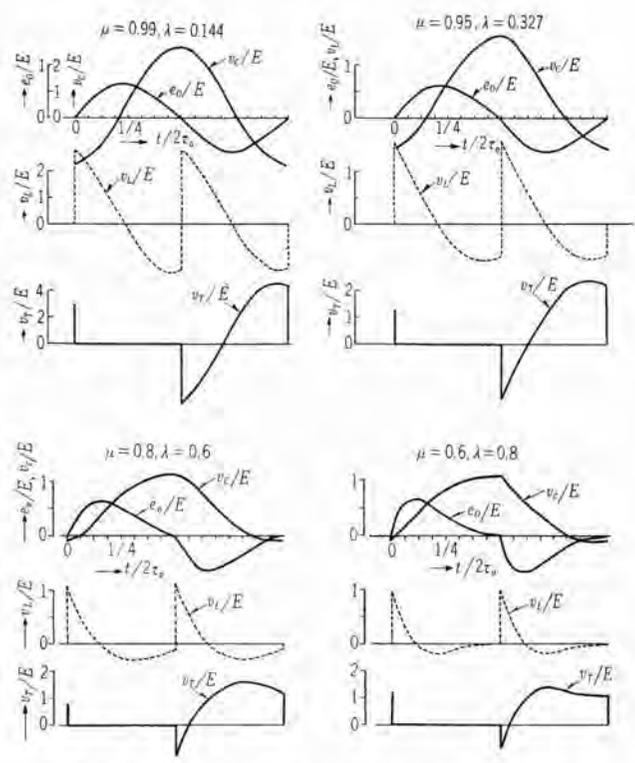


図 3.2 臨界域におけるインバータ回路の  $e_0, v_c, v_r, v_T$  の計算波形  
Fig. 3.2 Calculated waveforms  $e_0, v_c, v_r, v_T$  in the inverter circuit of which the mode of operation corresponds to the critical region.

波形を示そう。これは今までの文献でも比較的良好に取扱われている領域であるので、正確な目盛を与えた無次元波形を示しておくだけで十分だと思われるが、つぎのことだけは指摘しておきたい。

- a. コンデンサ電圧  $v_c$  は直流分  $E/2$  を有している。これは臨界域だけでなく、自然転流域や強制転流域でも成立することが数学的に証明できるが、この報告では3.3節で臨界域だけについて証明を与えることにする。
- b.  $\lambda$  が小さいほど、すなわち  $\mu=\sqrt{1-\lambda^2}$  が1に近いほど、 $v_c$  の交流分や出力電圧  $e_0$  は純正弦波に近くなり、また余裕角は90度に近づく。これにつれてまた、 $v_a$  やリアクトル電圧  $v_L$ 、放電管  $v_T$ 、出力電流  $i_o$  はいちじるしく増大する。この極限 ( $\mu=1, \lambda=0$ ) では、 $e_0$  は  $(2/\pi)E$  の波高値をもつ純正弦波となるが、その他の電圧や電流はすべて無限大となり回路は完全な共振状態にはいる。

#### (2) $\lambda$ 一定、 $\mu$ が変化するばあい

これは、 $L, C, R$  が一定で、 $f_0$  が変化するばあいと考えればわかりやすい。いま、 $\lambda=0.2$  のばあいを例にとって説明しよう。図3.1の $(\mu, \lambda)$  平面から、わかるようにこのときの臨界域は  $\mu=0.979$  の所にある。

#### a. 臨界域から強制転流域へ (図3.3)

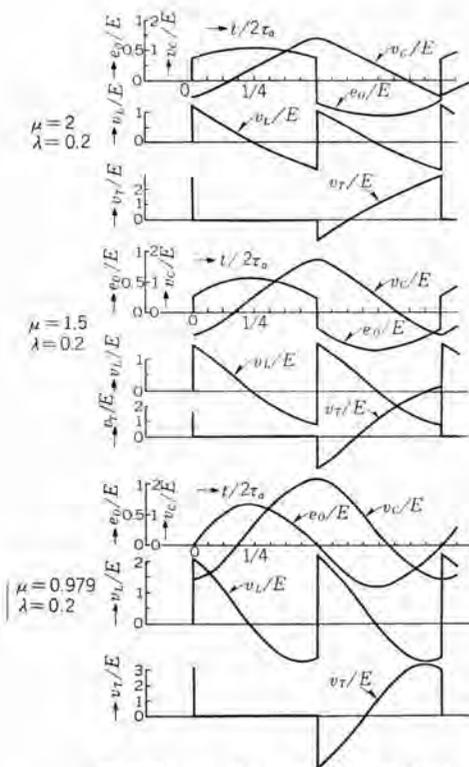


図 3.3  $\lambda = 0.2, \mu \geq 0.979$  の時の計算波形  
 Fig. 3.3 Calculated waveforms obtained in the inverter circuit of which the circuit constants are such as given below  $\lambda = 0.2, \mu \geq 0.979$ .

$\mu$  が 0.979 より大きくなると、当然強制転流域にはいる。図で  $\mu$  が 1.5, 2.0 とふえてゆくと、 $e_0$  は矩形波に、 $v_c$  は三角波に、 $v_L$  はのこぎり歯状波に近づき、また余裕角はますます少なくなる。出力電流  $i_0$  の無次元化された値は、一般的に

$$\frac{i_0}{E/(2\sqrt{L/C})} = \left(\frac{e_0}{E}\right) \frac{1}{\lambda} \dots \dots \dots (3.17)$$

であって、 $\lambda$  は今のばあい一定値 0.2 であるから、図の  $e_0/E$  の波形は、目盛を 5 倍にすれば式 (3.17) の波形を与えることになる。

$e_0$  や  $i_0$  が矩形波に近づくということは、一方の放電管の電流が、他の放電管の点弧によって、尖頭値にはほぼ等しい終末値で突然たちきられるということである。放電管の消イオン時間は消弧時の電流変化が激しいほど長くなるから、 $\mu$  の大きい領域では、余裕角の小さいことももちろん手伝って転流の安定度がいちじるしく少なくなることになる。

b. 臨界域から自然転流域へ (図 3.4)

先のばあいと逆に、 $\mu$  が 0.979 より小さくなってゆくと、式 (3.16) に示すように放電管の通流角は  $\mu$  に比例して減少し、回路の休止角がその分だけ増してくる。いま、 $L, C, R$  が一定で  $f_0$  が変化したばあいを考えると、放電管の通流中の自然転流域の現象は、 $f_0$  に関係なくつねに臨界域のそれと一致し、ただ  $f_0$  が小さくなるにつ

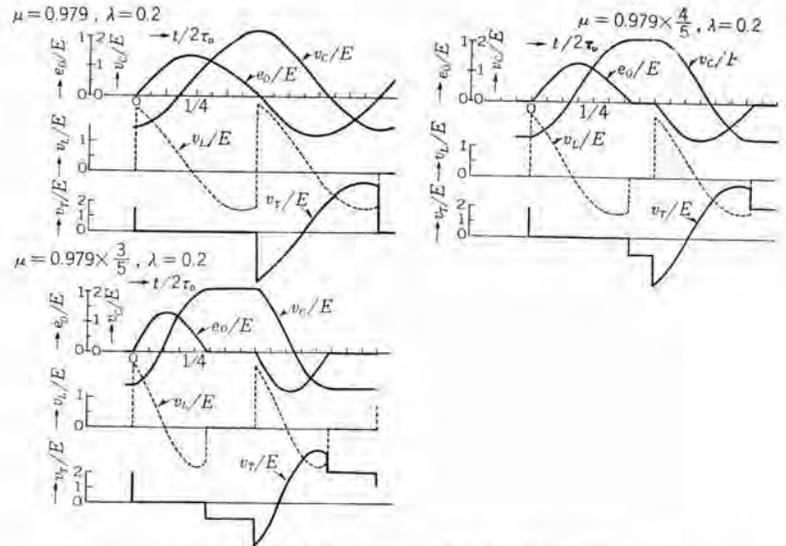


図 3.4  $\lambda = 0.2, \mu \leq 0.979$  のときの計算波形  
 Fig. 3.4 Calculated waveforms of the inverter circuit of which the circuit constants are such as given below :  $\lambda = 0.2, \mu \leq 0.979$ .

れ回路の休止期間がふえてくるだけである。図では、横軸が無次元化されている関係上、 $\mu$  が減るにつれ通流期間は縮めて示されてある。上記のような関係があるため、放電管などの回路素子の電圧電流の尖頭値や点弧位相における瞬時値は  $\mu$  の変化に無関係に一定である。また、自然転流域の余裕角は上記の関係を用いて、臨界域のそれから簡単に計算できるが、 $\mu$  が小さくなるほど、休止角が増すために余裕角も増す経過はこの図でも明らかに示されている。

なお、自然転流域の休止期間中の各部電圧現象は、コンデンサの残留電圧から簡単に導くことができる。

(3)  $\mu$  一定、 $\lambda$  が変化するばあい

これは負荷変化の普遍化されたばあいに相当する。図 3.5 から図 3.7 までは、 $\lambda$  に無関係につねに強制転流域に属している、すなわち  $\mu > 1$  のときの計算波形を示す。

$\mu = 2$  のとき (図 3.5) は、余裕角は一体に小さく  $\lambda$  の変化できる範囲はきわめて小さい。ことに  $\lambda$  が大きくなると、図の波形から十分わかるように転流は非常に困難

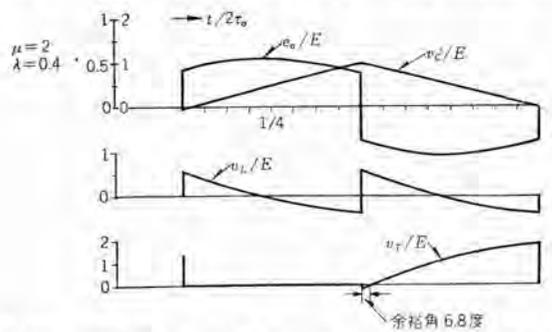


図 3.5  $\mu = 2$  のときの計算波形 ( $\lambda = 0.2$  のばあいは図 3.3 にすでに示されている)  
 Fig. 3.5 Calculated waveforms of the inverter circuit of which  $\mu$  is equal to 2 (waveforms of  $\lambda = 0.2$  have been shown in Fig. 3.3)

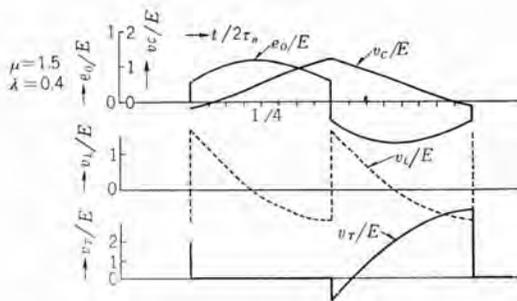


図 3.6  $\mu=1.5$  のときの計算波形 ( $\lambda=0.2$  のばあい  
は図 3.3 にすでに示されている)

Fig. 3.6 Calculated waveforms of the inverter circuit of which  $\mu$  is equal to 1.5 (waveforms at  $\lambda=0.2$  have been shown in Fig. 3.3).

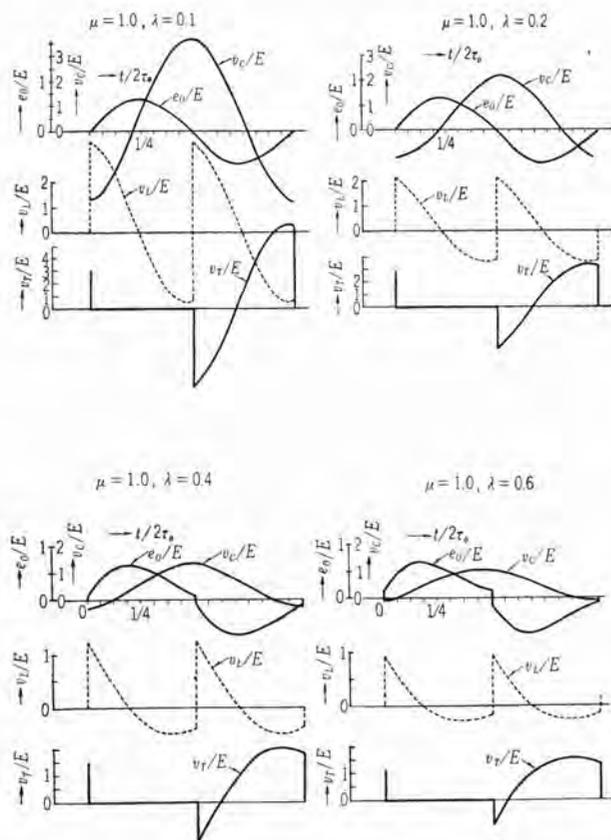


図 3.7  $\mu=1$  のときの計算波形

Fig. 3.7 Calculated waveforms of the inverter circuit of which  $\mu$  is equal to 1.

になってくる。たとえば、 $\lambda=0.4$  では、コンデンサ電圧が零の状態ではインバータを起動すると、第 1 サイクルで余裕角が零となって、ここにかかげたような定常波形に到達することはできない。これは通電末期の放電管電流がとくに大きく、一方これを強制遮断するためにはコンデンサ電圧はあまりにも貧弱だからである。

$\mu$  が減って  $\mu=1$  (3.7) とになれば、転流は一体に楽になってくる。このとき、 $\lambda=0$  入に近づくほど  $e_0$  は純正弦波に近くなる。また、今まで転流が不可能であるとされていた  $\lambda=1$  のときでも余裕角はわずかながら残っている。 $\lambda=1.5$  (図 3.6) は上記の二つのばあいの中間的な傾向を示していることはいうまでもない。

インバータの実際の回路は、主として  $\mu$  が 1 に近いところで運転が行なわれるが、図 3.8~図 3.13 はこのような領域における実測波形を示している。この波形は、サイトロン MQ 676 を使ったモデルセットの実験から得られたもので回路常数は表 3.1 に示してある。ただし、実験は C 分割形の回路について行なわれたが、前号でのべたような C 分割形と基本形の密接な関係によって、得られた結

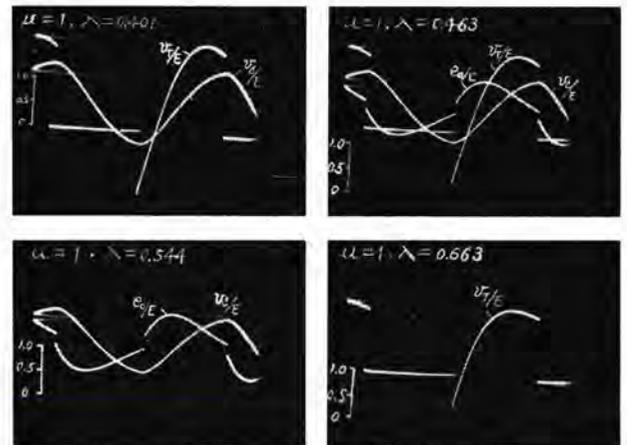


図 3.8  $\mu=1$  のときの実測波形

Fig. 3.8 Observed waveforms of the inverter circuit of which  $\mu$  is equal to 1.

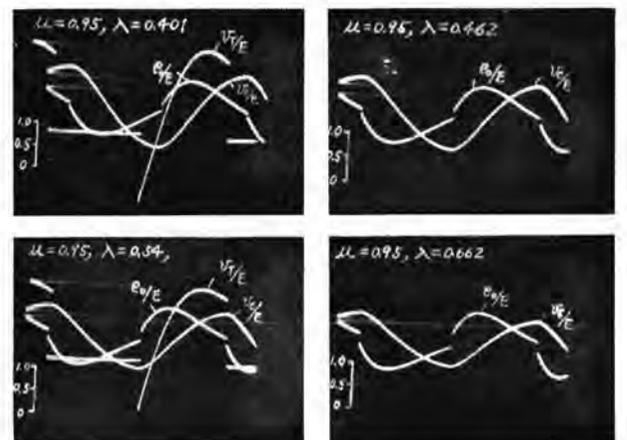


図 3.9  $\mu=0.95$  のときの実測波形

Fig. 3.9 Observed waveforms of the inverter  $\mu$  is equal to 0.95.

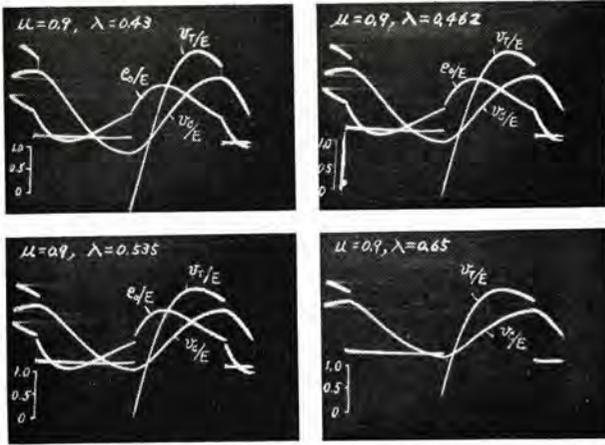


図 3.10  $\mu=0.9$  のときの実測波形

Fig. 3.10 Observed waveforms of the inverter circuit, of which  $\mu$  is equal to 0.9.

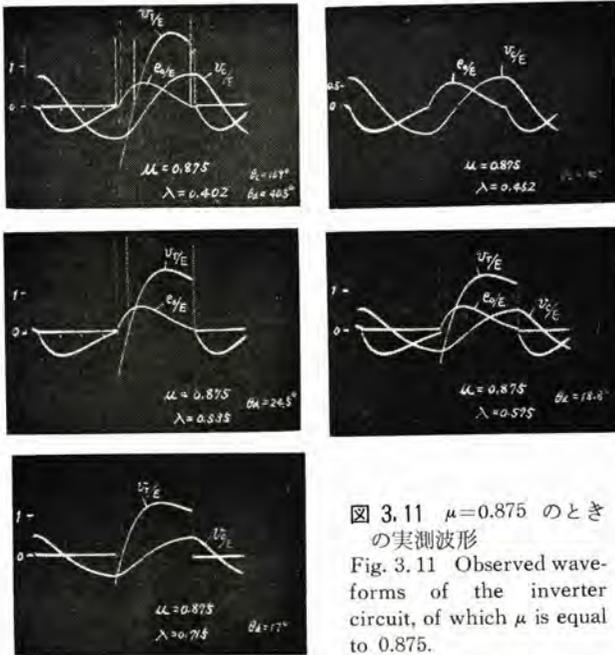


図 3.11  $\mu=0.875$  のときの実測波形  
Fig. 3.11 Observed waveforms of the inverter circuit, of which  $\mu$  is equal to 0.875.

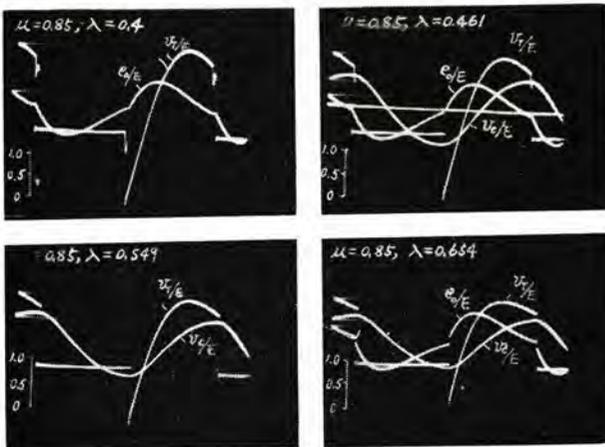


図 3.12  $\mu=0.85$  のときの実測波形

Fig. 3.12 Observed waveforms of the inverter circuit which  $\mu$  is equal to 0.85.

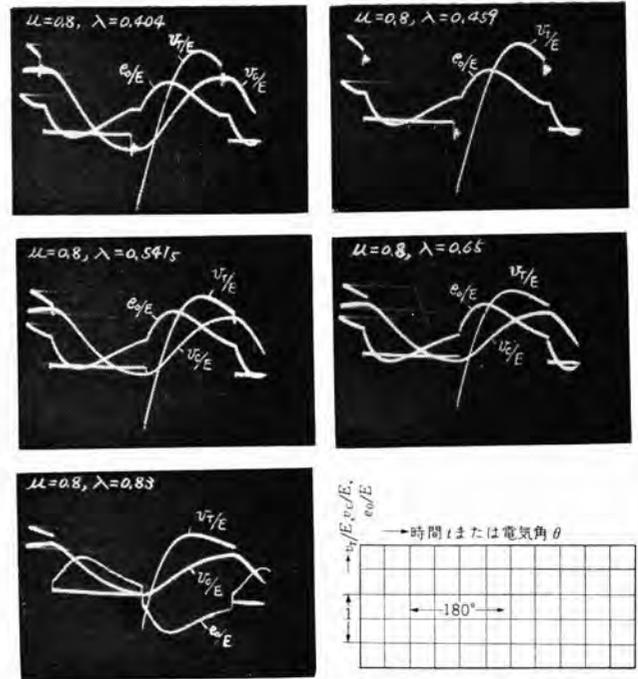


図 3.13  $\mu=0.8$  のときの実測波形  
Fig. 3.13 Observed waveforms of the inverter circuit which  $\mu$  is equal to 0.8.

図 3.8~図 3.13 までの波形の座標目盛、各波形の零線は適宜判定されたい。たとえば  $v_T/E$  の零線は交流分の中心線から 0.5 下がった所にある。

表 3.1 実験回路常数

	$\mu=0.875$	$\mu=0.875$ 以外するとき
$E$	200 V	200 V
$L$	80.9 mH	92.5 mH
$C$	56.7 $\mu$ F	64.63 $\mu$ F
$1/(2\pi\sqrt{LC})$	74.3 c/s	65.0 c/s
$1/(2\sqrt{LC})$	75.5 $\Omega$	75.6 $\Omega$

$\mu$	0.875	1.0	0.95	0.9	0.85	0.8
$f_0$ (c/s)	65.0	65.0	61.75	58.5	55.25	52.0

果はそのまま基本形のばあいに適用できる。なお、表 3.1 の電源電圧  $E$  は、放電管の電弧電圧の影響を補正した値が採用されている。この  $E$  の値や、その他の回路常数や、波形の撮影の際の目盛は、無次元化に便利であることを念頭において定められている。ただ何分にも古いデータであるのでやや不備な点もあるけれども、たとえば  $\mu=1.00$  の波形は先の計算波形とよい一致を示しており、またたとえば  $\mu=0.875, 0.8$  のときの波形は  $\lambda$  の増加につれて、自然転流域から臨界域、強制転流域へと順次移行するありさまを十分明らかに示している。転流リアクトルの 2 コイル間の漏洩インダクタンス、負荷抵抗の残留インダクタンスを減らすことにそれほど努力したわけではないが、強制転流域の  $e_0$  は理論で示されるような鮮やかな chopped wave になっている。自然転流域の休止期間中の  $v_T$  に見られる寄生振動は転流リアクトルのコイルの分布容量にもとづくものである。

最後の図 3.14 に  $\mu=0.6$  の臨界域、強制転流域の計算波形を示す。  $\lambda > 1$  の非振動域では、 $e_0$  は対数的減衰波

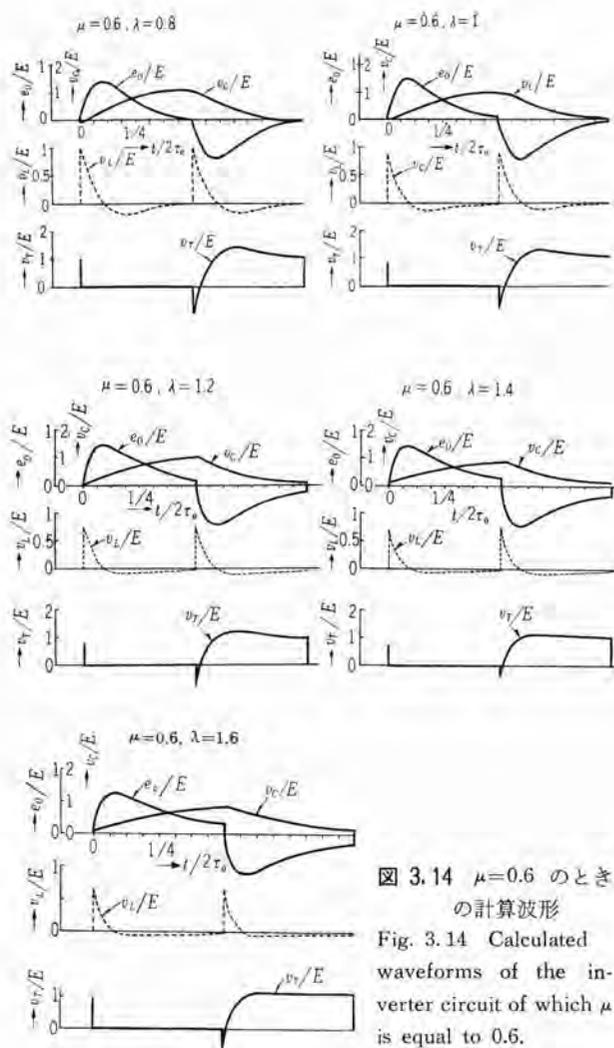


図 3.14  $\mu=0.6$  のときの計算波形  
Fig. 3.14 Calculated waveforms of the inverter circuit of which  $\mu$  is equal to 0.6.

であるが  $\lambda=1.6$  のような減衰の激しい非振動域でも、わずかながら余裕角が残っているのは、実用上の見地は別として理論的には興味のある事実である。

### 3.3 臨界域の理論的取扱いの一方法

インバータのような断続回路は、回路構成が今のように簡単な場合でも、解析はきわめてめんどうである。しかし、臨界域については、つぎのような簡明な理論を用いることができるので、ここでこれを紹介しよう。これは、フーリエ級数法と名づけて現象の直観的でしかも正確な理解や高調波の計算だけでなく、複雑な回路の設計にも使用したことのある方法である。

この方法では、負荷は純抵抗にかぎらず、臨界域に相当するものであればどのような負荷（一般的に  $Z$  として示す）であってもよい。

#### (1) 置換回路の導出

いま、実際のインバータ回路（図 2.1、ただし負荷は  $R$  の代わりに一般的な  $Z$  を用いる）の代わりに、放電管  $T_1, T_2$  をスイッチ  $S_1, S_2$  でおきかえた図 3.15 (a) のような置換回路を考える。ここで、 $S_1, S_2$  の開閉位相は  $T_1,$

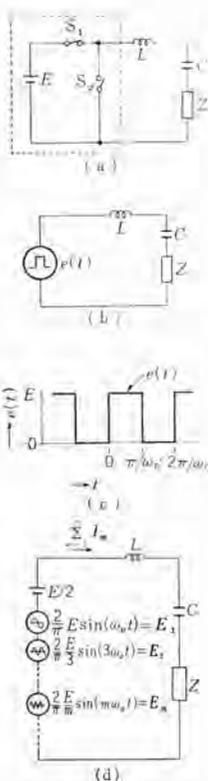


図 3.15 直列 インバータ 基本形 (図 2.1) の等価回路の導出 (ただし臨界域のばあいにかぎる)  
(a) 放電管をスイッチでおきかえた回路  
(b) 等価電源  $e(t)$  を持つ等価回路  
(c)  $e(t)$  の波形  
(d) 最終の等価回路

Fig. 3.15 Derivation of equivalent circuit with which the circuit of prototype inverter (Fig. 2.1) is to be replaced.

(This equivalent circuit is valid as far as the criterion of the critical region is satisfied)

- (a) Circuit where tubes are replaced with switches.
- (b) Equivalent circuit including rectangular supply voltage  $e(t)$ .
- (c) Waveform of  $e(t)$ .
- (d) Final form of equivalent circuit.

$T_2$  のそれと同じであるとする。したがって、 $T_1$  放電時の実回路は、 $S_1$  閉路時の置換回路と当然一致し、また  $T_2$  放電時の実回路は、 $C$  と  $Z$  の現象に関するかぎり、図の  $S_1$  を開き  $S_2$  を閉じたときの回路と同一となる。図 (a) のこのような等価性は、後で述べるように強制転流域では成立たないけれども、実際に図 (a) の回路の方を直列インバータの基本的な形と考えているような文献⁽¹¹⁾もある。しかし、この図の回路で現実に実現できるのは回路の休止期間がある自然転流域の動作だけで、臨界域の動作はスイッチが消弧後直ちにかかってくる順電圧に耐えるような理想的消イオン能を持たないかぎり現実に実現できない。しかし、ここでは臨界域のほうを理論の対象とし、図の点線で囲まれた電源およびスイッチの部分をもっと便利な形におきかえてみよう。このばあい、この回路部分は、 $L, C, Z$  に半サイクル間電圧  $E$  を与え、つぎの半サイクル間はこれらを短絡する役目をしているから、図 (a) は等価電源  $e(t)$  を持つ図 (b) のような回路におきかえられる。ここで  $e(t)$  は、図 (c) のような矩形波の電圧で、これをフーリエ級数に展開すれば

$$e(t) = \frac{E}{2} + \frac{2E}{\pi} \left\{ \frac{\sin(\omega_0 t)}{1} + \frac{\sin(3\omega_0 t)}{3} + \frac{\sin(5\omega_0 t)}{5} + \dots \right\} \quad (3.18)$$

となる。したがって、臨界域に関するかぎり置換回路の最終の形は図 (d) のような各調波に分解された電源電圧を持つわかりやすい回路となる。

#### (2) この方法の適用の限界

自然転流域では、回路に休止期間があるため、図 (a) を図 (b) のような簡単な形におきかえることはできない。また、強制転流域では、転流の瞬間に転流リアクトルには磁束が残っているため、直流励磁をうけるように巻かれたこのリアクトルの2巻線を、ただ1個のリアクトルで代用してしまった図 (a) の回路では残念ながらまちがった結果を与えることになる。転流の位相でこの代用リアクトルの端子を突然逆極性にきりかえれば、等価性は保存されるが、これでは問題がかえって複雑になるばかりである。自然転流域はともかくとして、理論的にとくに複雑な強制転流域に適用できるような直観的な等価回路が見つけれれば利益は大きい。しかしながら、抵抗負荷のばあい、定常状態で臨界域の動作を営むような回路常数では、過渡状態でも放電管電流自然消弧位相で転流が行なわれるので、図 (c) の回路は過渡状態にも適用できる。

また、純抵抗でない一般の負荷でも、放電管の自然消弧位相で転流が行なわれるかぎり図 (c) の回路が適用できるが、過渡状態での自然消弧位相は定常状態のそれとかならずしも一致しないので、過渡状態へ拡張して適用できるものとはかぎらない。

(3) 回路の直観的考察や調波分析への応用

このフーリエ級数法によれば、先に指摘したように、 $v_c$  の直流分が  $E/2$  であること、また負荷が純抵抗  $R$  であるとき、 $\mu \rightarrow 1$ ,  $\lambda \rightarrow 0$ , つまり  $R \rightarrow 0$  のとき、 $e_0$  は尖頭値が  $(2/\pi)E$  の純正弦波となるとともに、回路は共振状態にはいることなどが、直観的にわかる。

調波分析にこの方法を使用するためには、回路素子を与えられた  $\mu, \lambda$  に対して、一般的に

$$\omega_0 L = (\mu/2\lambda) R \dots\dots\dots (3.19)$$

$$1/(\omega_0 C) = \mu\lambda R \dots\dots\dots (3.20)$$

であたえられるから、これに臨界域の条件  $\lambda = \sqrt{1-\mu^2}$  を代入して求めた回路インピーダンスを使って計算すればよい。たとえば図 3.2 に示す  $\mu=0.95$  の臨界域の  $e_0$  を調波分析すれば、表 3.2 のようになる。第 5 高調波以降はきわめて小さく、第 3 高調波は基本波の 8.7%、基本波の実効値は

$$0.604 \times (1/\sqrt{2}) E = 0.426 E$$

である。一方、 $e_0$  の厳密な解析から算出した出力電圧実

表 3.2  $\mu=0.95, \lambda=0.3122$  のときの負荷電圧調波分析

調波次数 $m$	波高値 $V_m$	位相角 $\theta_m$ (度)
1	0.604 $E$	+ 9.5
3	0.0526 $E$	-76.5
5	0.0127 $E$	-82.0
7	0.0087 $E$	-84.5
9	0.0051 $E$	-86.0

(注) 一般に第  $m$  調電圧は、 $t$  の原点を  $T_1$  の点弧位相にとって、 $V_m \sin(m\omega_0 t + \theta_m)$

効値  $E_0$  は  $0.44 E$  であって、基本波の実効値との間には 4% 以内の開きしかない。なお、この例について  $t=0$  のときのベクトル関係は、図 3.16 のようになる。この時間には、電源電圧各調波（直流分を除く）のベクトルは同一方向にならんでおり、また出力電流の各調波の合成ベクトルは、電源電圧ベクトルの軸上に重なる。これは、 $t=0$ , すなわち  $T_1$  の点弧位相では、出力電流や等価電源電圧各調波（直流分を除く）はすべて零であるところから出てくる相関係係である。臨界域の特色となるこのようなベクトル関係は、つぎの応用設計の項で活用される。

(4) 複雑な負荷のときの設計への応用例

少しわき道にそれるが、ここで複雑な回路例としてベータトロンを負荷としたときの取扱いを試みよう。

ベータトロンは非常に大きな並列同調コンデンサを二次側に持つ変圧器と考えればよく、その等価回路は図 3.17 の鎖線枠内の回路で与えられる。この図では、インバータのほうも先の等価回路でおきかえて示してある。回路の諸元は表 3.3 に示したとおりで、同調コンデンサは一次コイルの励磁電流を相殺するようになっている。このような負荷に対して、良好な波形の電圧を与えしかもなるべく安価な直列インバータを設計して見よう。インバータの動作は、自然転流域にあると出力電圧の波形が悪く、強制転流域にあると転流がむずかしくなるから、ちょうど

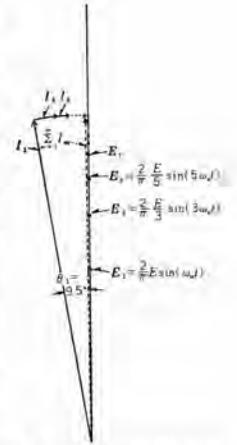


図 3.16  $\mu=0.95$  ( $\lambda = \sqrt{1-\mu^2}$ ) のときの等価回路図 3.15(d) における  $t=0$  の際のベクトル関係  
Fig. 3.16 Vector diagram at  $t=0$  in the equivalent circuit (Fig. 3.15 (d)) of which the non-dimensional circuit constants,  $\mu$  and  $\lambda$ , are 0.95,  $\sqrt{1-\mu^2}$  respectively.

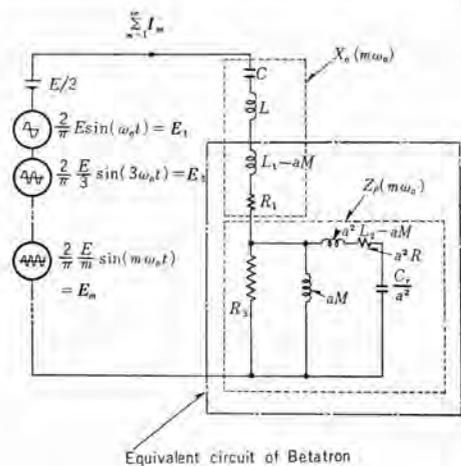


図 3.17 ベータトロンに給電する直列インバータの等価回路  
Fig. 3.17 Equivalent circuit of a series inverter supplying power to Betatron.

表 3.3 ベータトロン 回路常数

1. 出力周波数	$f_0=180 \text{ c/s}$
2. 一次コイル抵抗	$R_1 < 10^{-2} \Omega$
3. 二次コイル抵抗	$R_2 < 10^{-3} \Omega$
4. 損失抵抗	$R_3=24 \Omega$ (一次 600 V で 15 kW)
5. 二次コイル自己インダクタンス	$L_2=20 \text{ mH}$
6. 二次同調コンデンサ	$C_7=38.8 \mu\text{F}$
7. コイル相互インダクタンス	$M=4.04 \text{ mH}$
8. コイル巻数比	$a=10/48=0.24$

表 3.4 図 3.17 の回路の調波分析  
( $L+L_1-aM=28 \text{ mH}$ ,  $C=22.6 \mu\text{F}$ ,  $E=1,400 \text{ V}$ )

調波次数	出力電流 (A)	コンデンサ電圧 (V)	負荷電圧 (V)
0	0	0.5 E	0
1	0.018 E	0.707 E	0.427 E
3	0.002 E	0.023 E	$9 \times 10^{-6} E$
5	0.0005 E	0.004 E	$\approx 0$

臨界域に相当するような回路常数に設計することにする。

設計のためには、抵抗負荷時の  $\mu$  と同様なパラメータ  $K$ , すなわち

$$K = \omega_0 \sqrt{(L+L_1-aM)C} \dots\dots (3.21)$$

を用いる。抵抗負荷の臨界域では、回路は  $\mu, \lambda$  のうち一つだけで取扱われ、また  $\mu$  が 1 に近いほど出力電圧の波形がよくなる。したがってベータトロン負荷の  $K$  についても同じことが想像できる。ただし、臨界域の条件で縛られているので、回路素子常数は  $K$  と無関係に選ぶことはできないが、いまはこれをさておいて、直列素子インピーダンス (図の  $X_0$ ) を計算すると、

$$X_0(m\omega_0) = j \frac{m}{\omega_0 C} \left[ K^2 - \left( \frac{1}{m} \right)^2 \right] \dots\dots (3.22)$$

ここで  $m$ : 調波次数。

となる。  $X_0$  と負荷  $Z_e$  の合成インピーダンスは、 $m=1$  ではほぼ  $R_3$  に近くやや容量性、 $m \geq 3$  ではほぼ  $X_0$  に近く大体純誘導性となる。

つきに、抵抗負荷時の式(3.19)、(3.20)と同様に、回路素子を  $K$  で表わす式を求めなければならない。このためには、先に述べたような臨界域に特有のベクトル関係を用いる。図 3.18 はこの  $t=0$  のベクトル図を示すもので、インパータ出力電流各調波の合成ベクトルは、電源電圧各調波のならんでいる軸上に一致する。電流基本波  $I_1$  だけが容量性で、 $m \geq 3$  では各調波電流  $I_m$  はほとんど純誘導性であるから、これらは電圧ベクトルに直角な直線上に一直線にならび、これらの合成値と  $I_1$  の容量性成分  $I_{1c}$  は絶対値が同じとならなければならない。したがって

$$|I_{1c}| = |I_3| + \sum_{m=5}^{\infty} |I_m| \dots\dots (3.23)$$

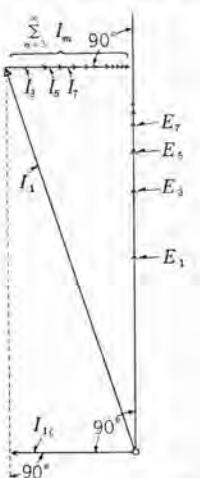


図 3.18 等価回路  
図 3.17 の  $t=0$  におけるベクトル図  
Fig. 3.18 Vector diagram at  $t=0$  of the equivalent circuit shown in Fig. 3.17.

が成立つ。  $|I_{1c}|$  は

$$|I_{1c}| = \frac{2E}{\pi} \frac{(K^2-1)\{1/(\omega_0 C)\}}{(K^2-1)^2\{1/(\omega_0 C)\}^2 + R_3^2}$$

で与えられ、また  $m \geq 3$  では

$$|I_m| = \frac{2E\omega_0 C}{\pi} \cdot \frac{1}{m^2[K^2 - (1/m)^2]}$$

で、ことに  $m \geq 5$  では近似的に

$$\sum_{m=5}^{\infty} |I_m| \approx \frac{2E\omega_0 C}{\pi K^2} \left\{ \frac{1}{5^2} + \frac{1}{7^2} + \frac{1}{9^2} + \dots \right\} = \frac{3}{\pi K^2} (\omega_0 C E)$$

となる。これらの値を、式(3.23)に入れたら

$$\frac{1}{\omega_0 C} = R_3 \sqrt{(1-K^2) \{K^2 - 1 + f(K)\}} \dots\dots (3.24)$$

となる。ここで  $f(K)$  は

$$\frac{1}{f(K)} = \frac{0.15}{K^2} + \frac{1}{9K^2 - 1}$$

また、式(3.24)を式(3.21)に入れることにより

$$\omega_0 L = \frac{R_3 K^2}{\sqrt{(1-K^2) \{K^2 - 1 + f(K)\}}} - \omega_0 (L-aM) \dots\dots (3.25)$$

となる。式(3.24)と式(3.25)が、抵抗負荷の式(3.19)(3.20)に相当する式で、これにより転流リアクトル、同コンデンサの常数を回路パラメータ  $K$  から算出することができる。

抵抗負荷では、 $\mu$  を 0.99 程度にしないと、出力電圧の高調波は少なくなならない。しかし反面、 $\mu$  が 1 に近くなればなるほど、転流リアクトル、同コンデンサ、放電管の電圧は増して来て非常に不経済な設計となる。  $K$  についても同じことが類推できるから、同調コンデンサの作用で出力電圧高調波があまり大きく出ないことを考えに入れて、比較的経済的な  $K$  の値として 0.9 を選んで見る。このとき、

$$C = 22.6 \mu\text{F}$$

$$L + L_1 - aM = 28 \text{ mH}$$

となり、この常数の下で各部の電圧電流の高調波は表 3.4 のようになる。この表から、出力電圧の高調波はきわめて少なく、しかもその割に  $C$  の電圧は低く、またこの表には示さなかったが  $L$  や放電管の電圧も低くてすむので、インパータの価格もそれほど高くないことがわかる。したがって、以後この常数の下に設計をすすめてゆけばよいが、設計の詳細はここでは関係がないゆえ省く。

このように、フーリエ級数法も用いようによっては設計にまで役だたせることができるのである。

(5) インパータ変形回路への適用

前号でのべたような、基本形以外の変形、たとえば E 分割形や C 分割形にもこの方法は適用できる。

E 分割形 (図 2.4) のときは、電源  $E$  が二つに分割されているだけで、通常の線形回路網と同様に電源に関して重ねの理がなりたつことは証明済みであるから、このフーリエ級数法でも、等価電源を二つに分割して図 3.

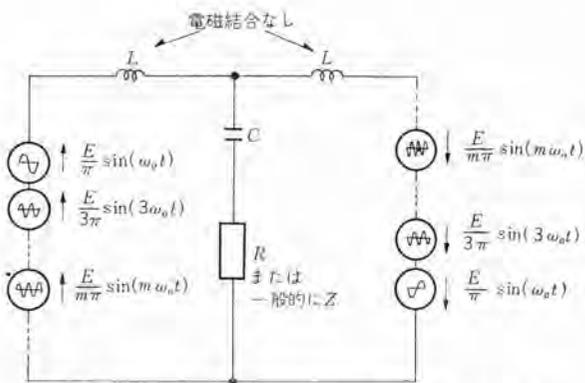


図 3.19 E 分割形 インバータ (図 2.4) の等価回路  
Fig. 3.19 Equivalent circuit of divided-E type inverter shown in Fig. 2.4.

19のように配置すれば、それがそのまま置換回路を与える。ただし、この置換回路では、実回路と違って転流リアクトルの電磁結合はないものとしなければならない。この置換回路は、もともと  $L$  の電圧については正しい解を望んでいないので、この処置は別に不都合な結果を生じるものではない。また、基本形のばあいとことなり、等価電源電圧中の直流分はとりさられている。この直流分があっても、二つの  $L$  を通して無限大の直流電流が流れるだけで、置換回路の対象となる  $C$  と  $R$  の現象には少

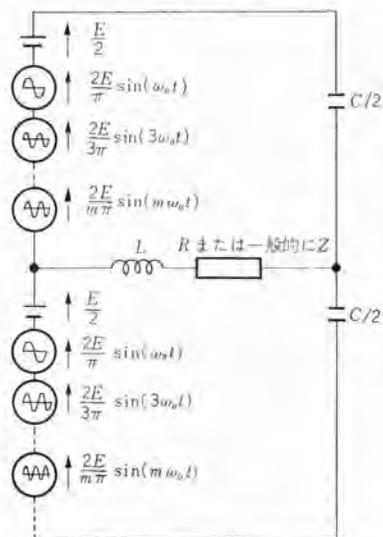


図 3.20 C 分割形 インバータ (図 2.2) の等価回路  
Fig. 3.20 Equivalent circuit of divided-C type inverter shown in Fig. 2.2.

しも影響がないが、よけいな誤解をさける意味で不要なものはとりさっておいたほうがよい。この図 3.19 は、 $C$  の電圧に直流分がないこと、それ以外は基本形の動作と全然ことならないことなど、E 分割形の特徴をよく説明できる。

また、C 分割形 (図 2.2) に対して、置換回路は図 3.20 のようになる。この置換回路は、各コンデンサの電圧の直流分は  $E/2$  で、またその電流は同じ大きさの互いに逆向きの電流であり、その他基本形との間に前号でく直列インバータ 総論(2) — 基本形の抵抗負荷定常特性 — 河合

わしくのべたような相関関係があることなどを忠実に示している。

これらの置換回路は、基本形のそれと同じように (2) 項でのべたような適用の制限をうけることはいうまでもない。

### 3.4 基本動作特性

$\mu$ ,  $\lambda$  の広い範囲にわたって詳細に基本特性を論じるのは別の報告にゆずるとして、ここでは 2.3 の設計例をとりあげてその運転特性を論じることを主眼とし、基本特性としてはその論議に必要なものだけをとり上げることにする。

この代表的な基本特性として  $\mu=1.0, 0.8, 0.6$  の三つのばあいのそれを示そう。図 3.21 ~ 図 3.24 は、無次元化負荷 アドミタンス ( $1/\lambda$ ) に対する出力電圧実効値  $E_0$ 、余裕角  $\theta_d$ 、放電管尖頭順電圧および逆電圧、入力直流電流平均値  $I_d$  のそれぞれ無次元化された値の変化を、上記の三つのばあいについて示している。ここで、強制転流域は

- $\mu=1$  のとき、  $1/\lambda > 0$  の全域
- $\mu=0.8$  のとき、  $1/\lambda < 1.66$  の領域
- $\mu=0.6$  のとき、  $1/\lambda < 1.25$  の領域

に相当することを念頭において図をみられたい。

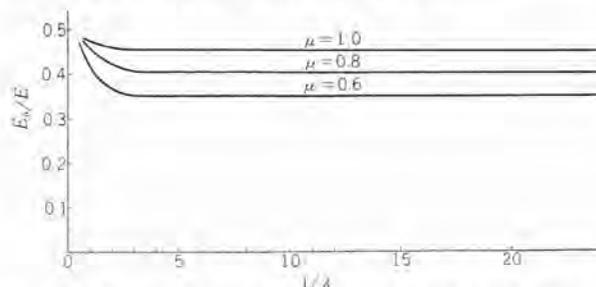


図 3.21 負荷に対する出力電圧の無次元化された関係 ( $E_0$  は出力電圧実効値)

Fig. 3.21 Normalized output voltage as a function of normalized load ( $E_0$  is RMS value output voltage).

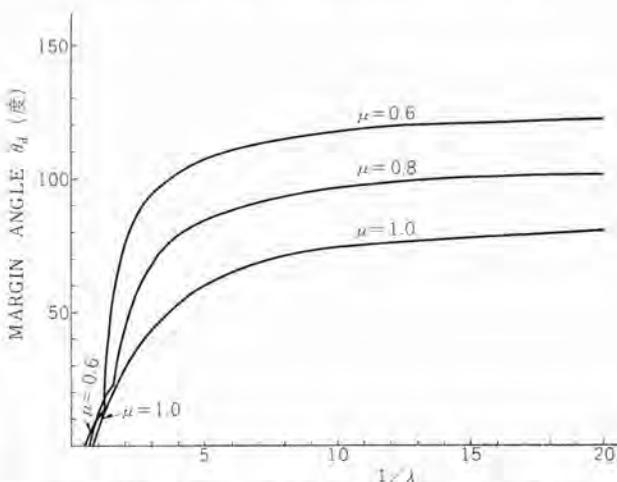


図 3.22 無次元化負荷に対する余裕角  $\theta_d$  の関係

Fig. 3.22 Margin angle  $\theta_d$  as a function of normalized load.

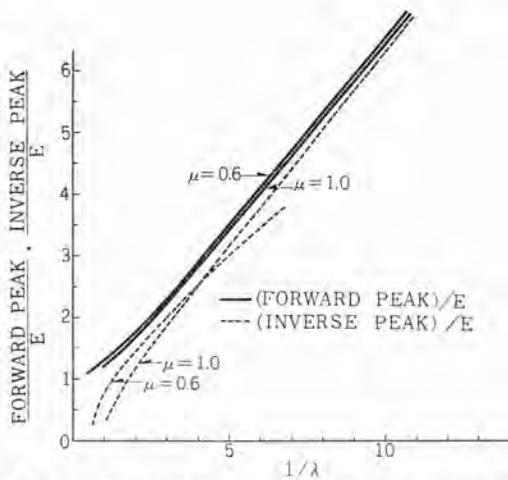


図 3.23 負荷に対する放電管電圧尖頭値の無次元化された関係  
Fig. 3.23 Normalized peak value of tube voltage as a function of normalized load.

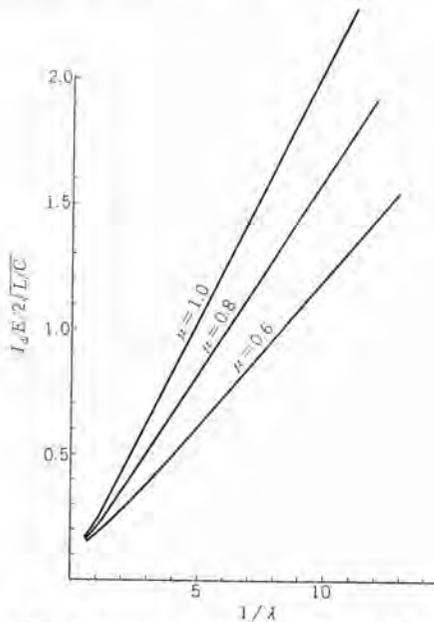


図 3.24 負荷に対する直流入力電流の無次元化された関係  
Fig. 3.24 Normalized d-c input current as a function of normalized load.

図 3.21 からわかるように  $1/\lambda$  の大きな領域つまり重負荷の領域では電圧変動はきわめて少なくほぼ理想的な特性を示している。三つのばあいとも ( $1/\lambda$ ) が、ほぼ 3 より小さくなったところで急に電圧が上がりはじめる。この上昇は  $\mu$  が小さいほど激しい。これらの曲線が左端で中絶しているところが、転流限界であって、この限界点における電圧は重負荷時の電圧に対し

$\mu=1.0$ のとき	1.05 倍
$\mu=0.8$ のとき	1.17 倍
$\mu=0.6$ のとき	1.24 倍

であり、 $\mu=1.0$  のときなどはとくにすぐれた出力電圧変動特性を示している。ただし、上記の論議は電源電圧  $E$  を一定とした上での話であって、実際のインバータのよ

うに  $E$  を適当に制御するばあいには、もっと特性はよくなる。しかし、この特性は転流リアクトルや同コンデンサの損失、電源の電圧変動率などをいっさい考えないで得られた理想的な特性であるから、現実のインバータではこれほどよい特性は得られないのはもちろんである。

図 3.22 は、重負荷時には余裕角も十分あることを示している。もちろん  $\mu$  が増すほど余裕角は少なくなるが、 $\mu=1$  のときでも重負荷になれば  $60\sim 70$  度もあって実用上にはこれで十分である。このように、負荷につれて余裕角が増すのは、前記の電圧変動率の良さとともに直列インバータのすぐれた長所となっている。しかし、 $1/\lambda$  が 5 より少なくなり始めたところから余裕角は急激に減って 1 の近傍でついに零となる。この点がいうまでもなく転流限界に相当する。軽負荷域における転流のこのような不安定さは直列インバータの最大の欠点である。

図 3.23 は、放電管の電圧が負荷とともに直線的にふえることを示している。これは他のインバータ——並列インバータ、他励式インバータ——には見られない現象で、つぎのべるように放電管電流も負荷とともに当然ふえるから、重負荷になるほど、放電管の責務は加速度的に増大する。実際にたとえば  $1/\lambda$  が 10 の所で放電管電圧は、順逆とも約  $6E$  程度の値となるが、これは実用上非常に問題となるような値であって、このような点もまた、直列インバータの設計上の大きな問題点の一つである。なお逆電圧は順電圧より少なく、ことに軽負荷領域ではその差は大きい。

図 3.24 は、インバータの直流入力電流すなわち電圧電流の平均値  $I_d$  を示す曲線である。 $I_d$  はまた放電管電流平均値  $I_t$  に等しいから、この曲線は、放電管の電流責務をも示している。 $1/\lambda$  の大きい所では、無次元化された  $I_d$  または  $I_t$  は、無次元化された負荷アドミタンス  $1/\lambda$  にほとんど完全に比例している。これは、いまのばあい直流電力  $E I_d$  は負荷で全部消費されてしまうと考えているので、電圧変動率が非常に良好な重負荷領域では当然成立つ比例関係である。軽負荷領域ではこの比例関係はややくずれるが、問題にするほどではない。並列インバータでは、この種の  $I_d$  曲線はひどくそりかえった凹字曲線となる。

上記の論議では、盛んに重負荷、軽負荷という言葉を使ったが、これはあくまで便宜上の用法であって、正しい意味で使うためには当然基準となる定格負荷を与えておかなければならない。実際の設計は、いいかえれば定格負荷における  $\lambda, \mu$  の値 ( $\lambda_m, \mu_m$  とする) をどのように選定するということにつけるのであって、 $\lambda_m, \mu_m$  が定まれば、上記の基本特性曲線からインバータの性能はほ

は完全に推定できる。ただし上記の図 3.21～図 3.24 は定常状態特性しか示していないので、実際の設計例はこの次の報告で過渡特性を論じた後に示すこととする

### 3.5 その他の問題

#### (1) $\mu, \lambda$ の意義

$\mu, \lambda$  は最初数学的な取扱いを便利にするパラメータとして紹介した。しかし、これには実用上の意義が含まれている。この意義を示すものは実は先の式(3.19), (3.20)である。これらを少しかきなおし

$$\frac{\omega_0 L}{R} = \left( \frac{\mu}{2\lambda} \right) \dots\dots\dots (3.19')$$

$$\left( \frac{1}{\omega_0 C} \right) / R = \mu \lambda \dots\dots\dots (3.20')$$

とする。これは、転流リアクトル、同コンデンサのインピーダンスと負荷抵抗の比が、 $\mu$  と  $\lambda$  の簡単な関数となることを示している。定格負荷のときのこれらの値には脚字  $n$  をつけて示すことにすると、たとえば  $\mu_n / (2\lambda_n)$  は転流リアクトルインピーダンスの定格負荷抵抗  $R_n$  に対する比を示す。いま定格負荷のときの出力電流実効値を  $I_{on}$  とすると、この電流は負荷と転流コンデンサを直列に通って流れるから、つぎのような量  $K_n$  が

$$K_n \equiv \frac{\text{転流コンデンサ定格容量}}{\text{定格負荷電力}} = \frac{I_{on}^2 / (\omega_0 C)}{R I_{on}^2} = \frac{1}{2\mu_n \lambda_n} \dots\dots\dots (3.26)$$

として与えられる。

また転流リアクトルには、この電流の半波がそれぞれのコイルに流れるから、リアクトル定格容量は  $(2\omega_0 L) \times (I_{on} / \sqrt{2})^2 = \omega_0 L I_{on}^2$  となる。したがって  $K_n$  と同様なリアクトルに関する量  $J_n$  は

$$J_n \equiv \frac{\text{転流リアクトル定格容量}}{\text{定格負荷電力}} = \frac{\omega_0 L I_{on}^2}{R I_{on}^2} = \frac{\mu_n}{2\lambda_n} \dots\dots\dots (3.27)$$

のように表わされる。

式(3.26), (3.27) から、 $\lambda_n$  を小にとると転流リアクトル、同コンデンサの容量が大きくなり、インバータの価格が高くなるのがわかる。ただし、この2式の導出では、コンデンサ電圧に  $E/2$  の直流分があること、またリアクトルの各巻線の巻数を  $N$  とするとリアクトル鉄心は  $2NI_a$  の直流アンペアターンで励磁されることを考えに入れてなかったことに注意しなければならない。この二つの因子は、これらの回路素子の容量を、 $J_n, K_n$  で与えられる値よりも大きくする。

#### (2) 回路損失

この報告の理論計算では、放電管、リアクトル、コンデンサ等の損失は無視してある。しかし、現実には、これらの損失は相当問題であることはいうまでもない。いま、放

電管の電弧電圧を  $E_a$  とすれば、1本当たりのアーク損失は  $E_a I_a$  であるから、この損失だけを考えに入れたインバータ変換率は

$$1 - (2E_a / E')$$

であたえられる。ここで  $E'$  はこのような損失があるときのインバータの電源電圧で、今までの理想的なばあいの電源電圧  $E$  とは区別しなければならない。いまアーク損失のある回路の実験で得られたコンデンサ電圧、放電管電圧の波形を  $v_c', v_r'$  とすれば、アーク損失がないときの波形  $v_c, v_r$  との間には、つぎのような関係がある。すなわち

$$E' - 2E_a = E \dots\dots\dots (3.28)$$

ならば

$$v_c' - E_a = v_c, \quad v_r' - E_a = v_r \dots\dots\dots (3.29)$$

が成立し、この関係を使ってアーク電圧の影響を補正できる。このとき  $v_c', v_r'$  以外の現象は  $E' - 2E_a$  を正味の電源電圧と考えさえすればその他には別に補正は必要でない。 $v_c'$  にこのような補正があることは見落されがちであるから注意を要する。上記式(3.28), (3.29)は前号付録1で用いたような方法で導き出せるのであるが、ここではこの導出方法は省略する。

実際に損失として問題になるのはアーク損失よりもむしろ dummy load や転流リアクトルの損失であろう。とくに後者は出力電圧変動率をも悪くする。これらについては次号でふれる関係上、ここではとくにふれないことにする。

#### (3) 直流母線の濾波器

3.4 節ではあげなかったが、直列インバータの残る欠点としては、その直流入力電流に高調波が多いことがある。この高調波は直流電源のほうに悪影響を与えまたその結果としてインバータ自身の動作も阻害される。この欠点はC分割形ではかなり矯正はされているが、決して満足できるほどではない。多相インバータのばあいにはこのような欠点はおおいかくされて表面には出ないが、単相インバータではこの欠点はむき出しになる。しかし、直流入力電流の脈動は、直列インバータの正常な動作にとっては欠くことのできないもので、むやみに平滑化しようとすれば動作はかえってそなわれる。またインバータに与えられる直流電圧はあくまで脈動の少ないものでなければならない。一方、電源となる整流器のほうにはインバータ電流の脈動が波及してはならない。このためには、整流器の直流電流はできるだけ平滑でなければならない。

図 3.25 は、このような問題を解決するために考えられた濾波器の例を示している。図で、 $L_r, C_r$  は  $2f_0$  にほぼ共振する回路であって、インバータ直流電流の脈動分

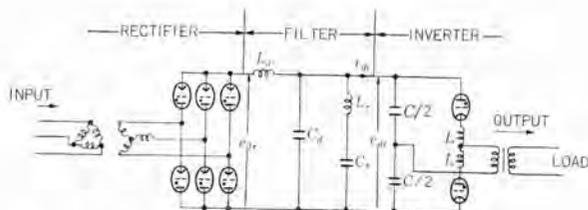


図 3.25 直流母線に濾波器を入れた直列インバータ  
Fig. 3.25 A series inverter with a filter in DC bus

の大半を占める  $2f_0$  の高調波に対して低インピーダンスの逃げ道を提供しており、したがってこの高調波は整流器側に流れることもなくまたインバータ側直流電圧をひずませる心配もない。

これよりも次数の高い高調波に対しては  $C_d$  が同様な逃げ道を提供する。  $L_d$  は、もちろん整流器電流を平滑にした整流器電圧の脈動がインバータ側に及ぶのを防ぐ。この濾波器はすでに、北海道放送納め 150 kVA 60 c/s インバータに使用され好い成績を収めている。

以上、数多くの現象波形の図によって現象の十分な知識が得られ、また簡便なフーリエ級数法によって動作の直観的な把握ができ、さらに動作特性の具体例をとおして直列インバータの特質を定量的に理解することができた。現象の数式的取扱いや、特性計算結果の詳細は、学会誌のほうに投稿する予定であるので、必要があればそのほうを参照されたい。

次号は、抵抗負荷時の過渡特性や設計例についてのべる予定である。

なお、本号で引用した種々な波形のうち、計算波形は電気第二研究室吉江技師、実測波形は電気第一研究室杉本技師のご尽力に負うところが多い。文末ながらここに付記して厚く謝意を表する次第である。

(35-6-3 受付)

参 考 文 献

- (1)~(9) 前号⁽¹⁰⁾記載の文献
- (10) 河合：「三菱電機」34, No. 8, p. 104 (昭35)
- (11) 渡辺・青山：「電学誌」56, 983 (昭11, 9月),

最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
35-7-25~27	北海道大学	イグナイトロンによる大電流 フラウンピング	河 合 正	研究所
"	北海道大学	制御極付整流器の直列接地	岡 久 雄	研究所
"	北海道大学	拡張された飽和関数法について	真 鍋 舜 治	研究所
"	北海道大学	自動最適化装置	福永圭之助	研究所
"	北海道大学	空気シト断器のアーチ時定数	伊 藤 利 朗	研究所
"	北海道大学	連成振動による異常電圧	林 重 雄	研究所
"	北海道大学	ケーブルをふくむ回路のサージ保護	森 本 英 男	研究所
"	北海道大学	計数形計算機による電力系統の過渡現象計算法	芝 流 寿 宏	研究所
"	北海道大学	6G _c 帯左右両旋円偏波分離回路	喜 連 川 隆	研究所
"	北海道大学	菱形格子金網の電波反射	有 田 不 二 男	研究所
"	北海道大学	ジェット機用ラドーム	有 田 不 二 男	研究所
"	北海道大学	電界変位形単向管の順逆比改善法	中 原 昭 二 郎	研究所
"	北海道大学	3000 IP 遷音速風洞用電機品精密速度検出装置の検出精度および設計条件について	古 江 高 明	研究所
"	北海道大学	11G _c 帯直交直線偏波分離回路	立 川 清 兵 衛	研究所
"	北海道大学	2 相サーボモータの過渡トルクの測定	前 川 善 六	研究所
"	北海道大学	航空機用 HF および VHF テールキャップアンテナ	武 市 吉 博	研究所
"	北海道大学	1.3G _c パラメータ増幅器	白 幡 潔	研究所
"	北海道大学	計数形電子計算機による微分解析機のシミュレーション	首 藤 勝	研究所

# 気中アークシャ断現象

研究所 伊藤利朗*

## Arc Interruption in the Air

Research Laboratory Toshio ITO

Arc extinction phenomena of AC circuit breakers is very complicated, but it can be made easier to study if it is divided into several states. Though various dividing methods are suggested, the writer takes up one in which the extinction phenomena are split into three periods depending on the arc current value: a high current period, an energy balance period, and a dielectric recovery period, proving their logicity in physics. He also verifies that, if a model of Cassie is used for the high current period and a model of Mayr for the energy balance period, it is feasible to represent approximate dynamic behavior to a certain extent. Further the article introduces experimental results on arcs of various kinds, clarifying the deviation of actual phenomena from those of the models as well as the degree of constants when the foregoing models are used. Particularly with air blast circuit breakers, he points out that quantities to determine arc dynamic behavior can be made known by calculation to a certain degree, also showing the energy balance period having a great bearing on the failure of interruption.

### 1. ま え が き

電力用シャ断器のシャ断能力を推定するためにも、あるいはまた電力系統の増大に伴うシャ断器の大容量化とともにますます必要性が増加しつつある合成等価試験方法の妥当性を判断するためにも、消弧現象を究明することはきわめて重要な事からであるので、従来より各種の観点から数多くの実験的ならびに理論的な研究が行なわれている。ところがアークという非常に複雑な現象を研究の対象としているために、理論的な取扱いがきわめて困難であるだけでなく、アーク現象に関する諸量を測定することが非常にむづかしいので、現在においてもなお十分には明らかにされていないことが数多く残されている。

当研究室においても最近各種の測定装置を完備し、これを用いて消弧現象に関する種々の実験を行ない、数多くの有効な資料を得ている。

研究はもちろん完成されたというわけではなく、その成果の期待されるのはなお今後の問題であるが、現在までに得られた実験結果から、とくに基礎的なものであると思われる気中消弧現象に重点を置いて、従来の理論を再検討し、複雑な消弧現象の一端を明らかにすることが本稿の目的である。

### 2. シャ断現象に関する理論的考察

#### 2.1 概 要

シャ断器の消弧現象というのは電流の自然零点近傍に

おいて、アークコンダクタンスがアーク期間中の非常に高い値から、シャ断零点以後の非常に低い値へと急激に変化した後、間隙が時間とともに絶縁耐力を回復して行く現象である。

この消弧現象を説明するのに、古くは電流零点直後のアークコンダクタンスによるアーク空間への入力を無視し「自然零点通過と同時にアークは絶縁耐力を獲得し、その後時間とともに逐次絶縁耐力を増加するのに対して、再起電圧が絶縁耐力より早く立ち上がれば再点弧に至り、逆に絶縁耐力の回復のほうが早ければシャ断に成功する」⁽¹⁾という簡単な模型的考察が行なわれていた。実際再起電圧の上昇率がアークコンダクタンスの変化に比較してかなりおそい場合には、再起電圧が十分に上昇するまでにアーク空間のイオンが消滅して導電性がなくなってしまうので、このような模型化がある程度可能である。

ところが高い上昇率を有する再起電圧を与えた場合には、電流零点直後に残留する電離ガスを通じて流れる電流によって、アーク空間が加熱されるとともに、再起電圧が歪変されるので、接続された回路と相互関係を有するアークというものを考えなければならない。

最近残留電流の測定が各所で行なわれ、その存在が各種のシャ断器で実証されるとともに、残留電流の存在を考慮にいれて消弧現象をエネルギー平衡の観点から論じようとする理論的考察が行なわれ、ある程度の成功をおさめるにいたっている。

残留導電性の変化する早さ、残留電流の波高値および

* 電気第一研究室

その持続時間、絶縁耐力回復の速度などは、シヤ断器の種類、シヤ断電流の大きさなどによっていちじるしく異なるので、これらシヤ断器の消弧現象の理論的な取扱いはきわめて困難であるが、ある形のシヤ断器に発生した限定された状態でのアークの説明にはある程度の成功をおさめているのでまずこれを簡単に説明する。

## 2.2 従来の研究

### (1) 古典的理論

#### a. 最初の理論

消弧現象に対する最初の理論が1928年および30年に Slepian によって提唱されている。⁽¹⁾⁽²⁾

Slepian は電流零点直後のなおいくぶん導電性のある気体中の絶縁耐力を空間の導電性を保つに必要な電圧であると定義し、シヤ断器のシヤ断性能を決定するのは、時間だけの関数として表現される零点後の絶縁耐力の回復と再起電圧との競争であるというモデル的考察を行なっている。しかしながら彼は図式的にアーク柱が消滅する場合と再点弧に至る場合とを取扱っただけで、実際のシヤ断器について精密な計算を行なったり、あるいは実際のシヤ断器中でアークが消滅したり、再点弧したりする機構を具体的に解明することは行なわなかった。

#### b. ディスプレイスメント理論

Slepian の研究は Kirchstein — Koppelman⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ によって引きつがれた。彼らは二重吹付空気シヤ断器に関するきわめて詳細な実験を行なった結果、この種のシヤ断器の絶縁耐力の回復が異常に早いのを発見した。この現象を説明するために彼らは電流零点あるいはその直後に残されたアーク通路が図2.1に示すようなものであると想像した。二重吹付ノズルの幾何学的中心では、アーク軸に直角な方向の速度成分  $v_r$  がもっとも大きく、(Kesselring らによれば  $v_r = 1.6 \times 10^3$  cm/sec)、この点におけるアーク直径は  $2v_r$  の速度で零値に達する。アーク半径が零値に達して後は図2.1 (b) に示すようにアーク

はこの部分から引きちぎられ、その二つの先端は軸に沿う冷気流の速度  $v$  に等しい速度でノズルに向かって移動し、中心部は高い絶縁耐力を有する冷気体で充満される。このようにアークが二つに分離されている状態では電気的に弱い部分すなわち二つの残留アーク柱は第1次近似として導体と考えることができる。換言すればこの状態の絶縁耐力はとがった先を有する金属柱の絶縁耐力に同じである。一重吹付の場合にはノズルの最小断面のところで切断が生じ、切断後の過程はほぼ同様である。

このような仮定のもとに彼らは二重吹付シヤ断器の絶縁耐力回復を計算している。

同じころ G. E. の Prince⁽⁶⁾⁽⁷⁾ もほぼ同様の理論を用いて油吹付シヤ断器の消弧現象を説明している。

これらの理論は ディスプレイスメント理論と名づけられている。

#### c. 拡散理論

その後 Slepian⁽⁸⁾ は流体力学的に考えてこのようなアークの極部的な切断がアークに直角な流速成分を有する気流によって生じるとするのは妥当ではないとして、ディスプレイスメント理論を否定し、ノズル中に生じる乱流によって実効的な拡散係数が増大する結果、半径方向への熱損失およびイオンの損失が生じ、シヤ断が行なわれるとする拡散理論を提唱している。すなわち彼はアーク柱とそれを取囲む冷気流との間には非常に大きな半径方向の速度勾配があることを指摘し、はるかに低い流速を有する少し異なった形のシヤ断器に関する実験結果を使用して、乱流にもとづく拡散係数が普通の分子拡散係数に比較して  $10^4$  倍程度であることを計算から証明することによって、自己の説をうらづけている。

### (2) エネルギー平衡論

#### a. Cassie の理論

上述の古典理論においては、残留導電性のために再起電圧が変歪されると同時に残留電流による入力のために絶縁耐力の回復速度が影響されることは考慮されていなかった。接続された回路と相互作用を有する導電性をもつアークという概念をはじめて導入したのは Cassie である。彼はアークを単位体積当たりの比抵抗、熱容量および電力損失の一定な柱であるとモデル化して、アークの動特性を表現する方程式を導き、これと回路の電流電圧に関する微分方程式とを組合せることによって回路の苛酷度を論じた論文を1939年の CIGRE に発表した。⁽⁹⁾

彼はその後も空気シヤ断器に関する詳細な理論的ならびに実験的な研究を行ない、⁽¹⁰⁾ 以前に提唱したアークモデルにおける諸量をノズル各点における圧力および圧力傾斜を用いて表現することに成功している。なお彼の模

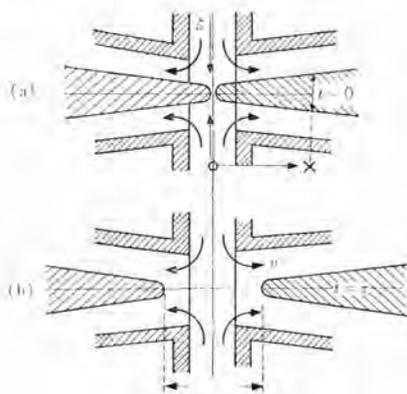


図 2.1 Kesselring らの描いたノズル中のアーク  
Fig. 2.1 Arcs in nozzles figured by Kesselring and others.

型だけでは電流零点寸前の消弧ピークが説明できないので零近傍だけは次に述べる Mayr の模型を併用して修正を行なっている。

### b. Mayr の理論

一方 O. Mayr⁽¹¹⁾ は静止アークの半径方向の温度分布が半径方向の温度傾斜にもとづく熱伝導だけを考慮してある程度正確に計算できることに注目し、アーク動特性も半径方向への熱損失によるアークの温度低下を仮定して表現できることを指摘した。すなわち彼は Saha 式による熱電離の式からアークの比抵抗が単位体積当たりに蓄積されている熱量の指数関数になることを誘導するとともに、半径方向への伝導による熱損失が近似的にほぼ一定であると仮定してアークの動特性を表現する方程式を得ている。

### c. Browne Jr. の理論

1948年 Browne Jr.⁽¹²⁾ は空気吹付シヤ断器、電力ヒューズ、アーク細隙などのアークの電流零点近傍における動特性を詳細に測定して、Cassie および Mayr の模型を検討した結果を A. I. E. E. に発表している。彼の思想は次のようなものである。

シヤ断器の動特性をいずれか一つの模型だけを用いてアーク期間から電流零点後までの広い時間的間隔にわたって説明するのは困難である。ところが電流の自然零点前のアークの動特性には Cassie の模型を用い、零点後の動特性には Mayr の模型を用いて表現すれば実験結果を非常によく表現できる。

### (3) A. Hochrainer の理論⁽¹³⁾

Cassie の模型、Mayr の模型はいずれもエネルギー平衡論を基礎として樹立されたものであった。これに対して A. E. G. の Hochrainer はアーク路の半径の変化および温度の変化を無視し、残留イオンは単に電極間に印加される電界によって移動吸収されて導電率が単純に減少する結果いわゆる残留電流が流れるものと考えた。そして残留電流となって吸収される荷電粒子が衝突電離による新発生よりも多ければ消弧が行なわれ、その逆であれば再点弧が生じるとして消弧現象を説明している。

最近 W. Spruth⁽¹⁴⁾ も固体ガスシヤ断器 (Hart Gas Schalter) の残留電流を再起電圧の周波数を変化して詳細に測定し、残留電流の半波高時間と波高値とを求めて、Hochrainer の理論が熱的慣性の大きいシヤ断器ではある程度の合理性を有している、と主張している。

### 2.3 一般的考察

一般にアーク現象はアーク電流値、アーク電圧、媒体となる物質の状態などによって複雑に影響される現象であるので、一つの簡単な模型の考察によって全ぼうを説

明しようとするのは無理な問題である。ところがたとえばアーク電流値に応じてアークの状態をいくつかに分割して考察すると、アークの特性に与える要因がある程度限定されてくるので、考察が比較的容易になる。分割方法としてはいろいろ考えられるが、一般には次の三つの状態に分割するのが妥当なようである。

#### (1) 大電流期間

アーク電流が大きい期間である。

一般にこの期間のアークの特長は中心部分に弧心が存在することである。図 2.2 はアークの断面図およびその温度分布を示したものである。⁽¹⁵⁾弧心⁽¹⁵⁾、⁽¹⁶⁾(⁽¹⁷⁾)⁽¹⁸⁾(⁽¹⁹⁾) はアークの中心部分に存在する高温の部分であって、熱電離は 90% 以上進行し、熱電離もかなり高度に進行している部分であり、これに比較して熱電離の進行がかなり低い外炎部分およびさらにその外側に存在する電離度が

ほとんど無視できる高温気体の二つによって囲まれている。図に示すように弧心から外炎へと外に向かってかなりの温度傾斜が存在するが、温度の指数関数として変化する電子密度の変化はさらに急激であり、電流はもっぱら弧心の部分を流れている。したがってアーク期間中の電流電圧特性はほとんどこの部分の特性によって決定されている。

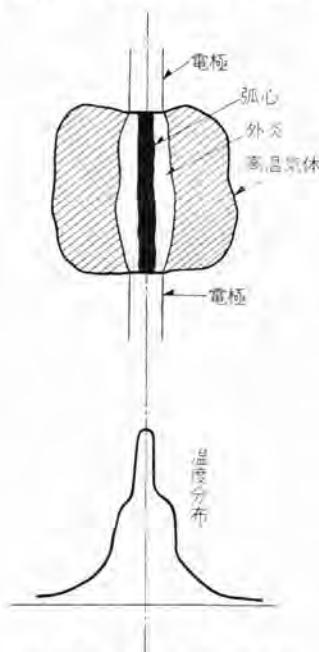


図 2.2 アークの断面および温度分布  
Fig. 2.2 Cross-sectional view of arc and its temperature distribution.

図 2.3 は窒素の一重電離による熱伝導度

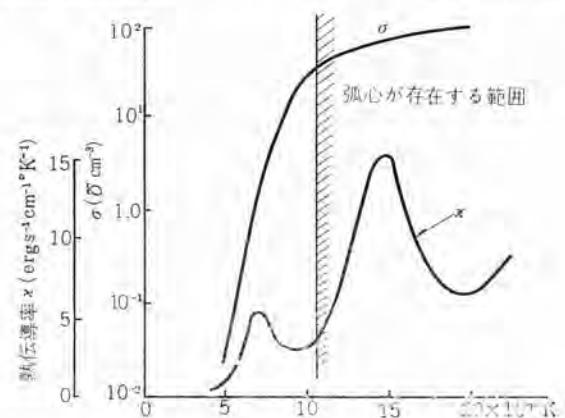


図 2.3 導電率  $\sigma$ 、熱伝導度  $\kappa$  と温度との関係  
Fig. 2.3 Electrical conductivity  $\sigma$  and heat conductivity  $\kappa$  vs temperature.

(定積比熱はほぼ熱伝導度⁽²⁵⁾に比例する) および導電率と温度との関係ならびに空中自然アークの場合の弧心温度の下限を図示したものである。⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾ 図に示すように少なくとも弧心が形成されている限りではその近傍における電離度はかなり高く、導電率の温度に関する微係数は小さい。また熱電離が進行しているために定圧比熱はかなり大きく⁽²⁵⁾ になっている。したがって弧心に冷却力が働いた場合、弧心の中心温度および導電率は比較的一定に保たれ、弧心の空間的な広がりだけが減少するような変化が生じる。

弧心がアーク電流の大きさに応じて変化する様相を詳細に論じるためにはアークの三次元的な取扱いを必要とするが、ここでは考察を簡単にするため、弧心が空間的に一様な円柱体を占めるものと仮定する。弧心の断面積を  $A$ 、弧心の比抵抗を  $\mu$ 、単位体積当たりの蓄積熱量を  $\theta$ 、弧心の単位長さ当たりの抵抗を  $R$ 、電位傾度を  $e$ 、外部からの冷却によって弧心が収縮する率を  $\alpha$  とすれば

$$e^2/R = dA \theta / dt + \alpha A \theta \dots\dots\dots (2.1)$$

$$R = \mu / A \dots\dots\dots (2.2)$$

上述のように弧心内では  $\theta$  および  $\mu$  は時間に無関係にほぼ一定とみなすことができるので結局アークの動特性として次式を得る。

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} = \alpha - \frac{e^2}{\theta \mu} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2 節で述べた Cassie の模型は式 (2.3) における  $\alpha$  を一定とみなしたものである。弧心の動特性の表現には Cassie の模型が比較的適当である⁽¹⁰⁾ という事実はこのようなアークの物理的性質によっているようである。

### (2) エネルギー平衡期間

電流の自然零点近傍においてアーク電流の減少とともに弧心が消滅した後の外炎部分および高温気体部分だけが残存する期間である。後に説明するようにアークへのエネルギー入力とアークからの損失とのエネルギー平衡によって、動特性を決定する外炎の温度が大きく変化するのので、一応エネルギー平衡期間と名づける。

この期間におけるアークの特性はシャ断器の消弧能不能に直接あるいは間接に大きな影響を与えるので消弧現象にはきわめて重要である。

このエネルギー平衡期間におけるアークの特長は、電流の減少とともに大きな負特性を示すことである。すなわち過度アークがこの状態に達すると必ずある時定数をもって抵抗が増大する非常に不安定な状態である。弧心の動特性が Cassie の模型によってある程度説明できるのに対して、この期間における動特性は、短期間を観察する場合には、Mayr の模型によって近似的に表現できる。

さて外炎部は図 2.2 に示すように弧心に比して温度が低いので電離度の温度に関する微係数は非常に大きい、すなわち温度にわずかの変化があってもその導電率は非常に大きく変化する。いまアーク柱を一次元で近似しその温度を  $T$ 、アーク柱の全エンタルピを  $H$ 、アーク柱からの損失を  $N$ 、アーク電圧、電流、コンタクトスをそれぞれ  $i$ 、 $e$ 、 $g$  とすれば、入力  $ei$  に対する温度の変化は次式で与えられる。

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dt} = \frac{ei - N}{T} \frac{dH}{dt} \dots\dots\dots (2.4)$$

一方 Saha の熱電離式から

$$g = F(T) A \cdot e^{-\frac{E_i}{2kT}}$$

$$\therefore \frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{F} \frac{dF}{dt} + \frac{E_i}{2kT} \frac{1}{T} \frac{dT}{dt} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

一般に外炎の  $\frac{1}{F} \frac{dF}{dt}$  および  $\frac{1}{A} \frac{dA}{dt}$  は  $E_i/2kT$  に比して無視できる程度に小さいのでこれを無視して、式 (2.4) および式 (2.5) から

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{E_i}{2kT} \frac{ei - N}{T} \frac{dH}{dT} \dots\dots\dots (2.6)$$

コンタクトスは温度に対して指数関数的に変化するのので、コンタクトスの変化の非常に大きい電流零点のごく近傍だけを考えれば、 $E_i/2kT$ 、 $T dH/dT$  は第 1 次近似として常数とみなすことができ結局式 (2.6) は次式のようにまとめられる。

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\theta} \left( \frac{ei}{N} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

ここに  $\theta$ : 常数  $\left( = \frac{2kT^2}{E_i} \frac{dH}{dT} \right)$

$N$ : 常数 (=アーク柱からの損失)

Mayr の模型は  $H = C_p \rho (T - T_1) \propto C_p \left( 1 - \frac{T_1}{T} \right)$  (ここに  $C_p$  は一定の定圧比熱であり、 $\rho$  は気体の密度、 $T_1$  は常数である) とみなした式 (2.6) あるいは式 (2.7) の特殊な場合にすぎない。

実際のシャ断器では現象は非常に複雑であって式 (2.7) の成立する時間的範囲はいろいろと異なり、常数についても個々まちまちであるが、少なくとも式 (2.7) がある程度の精度で成立する期間のあることは確かである。

### (3) 絶縁耐力回復期間

電流零点後アークの温度がさらに低下すると電離度がほとんど無視できる程度にまで減少し、空間はいわゆる絶縁耐力を獲得する。この状態ではアーク空間を通じて流れる電流とアーク電圧との積として供給されていた入力なくなるので、エネルギー平衡期間で生じるようなエネルギー不平衡による再点弧は見られず、いわゆるパッシェンの法則に従うスパークあるいはコロナ絶縁破壊が生じる⁽²⁰⁾。

すなわちこの期間における絶縁耐力を  $E$ 、気体の密度を  $\rho(T)$  とすれば

$$E \propto \int \rho(T) dx \dots\dots\dots (2.8)$$

$\rho$  は一般に温度とともに増加するので、空間は時間とともに絶縁耐力を獲得し、ついには冷却状態の耐力となりシャ断が完了する。

アークの状態を大電流期間、エネルギー平衡期間、および絶縁耐力の回復期間の三つの期間に分割すれば、考察が比較的容易になり、ある程度の模型的な解析も可能であることを指摘したが、これら三つの期間が存在する時間的長さ、模型による解析に必要な諸量の大きさなどはシャ断器の種類によって異なるので一概に論ずることはできない。また大電流期間からエネルギー平衡期間への転移あるいはエネルギー平衡期間から絶縁耐力回復期間への転移が行なわれる過程についても、一つの期間から後の期間へと不連続的に転移する場合、あるいは二つの状態の中間的な状態が出現しつつ徐々に後の状態へと転移する場合などやはりシャ断器の種類によっていろいろと異なるので総括的に説明することは困難である。

そこで次章では種々のアークの動特性に関する、主として電流零点近傍の電流電圧の測定結果について述べ、個々のアークについて消弧現象を具体的に説明する。

### 3. 各種のアークに関する実験結果

アークの動特性を究明するためには 0.1 A ないし 10 kA にいたる電流、100 V ないし数百 kV にいたる電圧を正確に測定しなければならないので、非常に特殊な測定器を必要とするだけでなく、これらの測定器を大電力試験場という磁氣的ならびに静電的な誘導あるいは接地電位の変動などの雑音を非常に受けやすいところで使用しなければならないので、これに対する十分な対策をたてなければならない。当研究室においても最近測定器を整備し、十分精密な測定を行なえるようになったのであるが、これについてはすでに 8 月号に詳細に報告したのでここでは実験に使用した測定器の性能およびとくに留意した雑音に対する対策を簡単に列挙するにとどめる。

#### (1) 測定装置

##### a. 電流の測定

(a) 分流器 同軸形 抵抗値 10 m $\Omega$   
時定数 10⁻⁸ 秒 2 台

(b) 増幅器 1 利得 80 db 差動形  
周波数特性 0~4.3 Mc  
入力段に信号を  $\pm 150$  mV に制限する振幅制限器を設置

2 台

増幅器—2 利得 30 db 差動形 1 台  
周波数特性 0~200 kc

##### b. 電圧の測定

(a) 分圧器—1 2,000 pF の結合コンデンサ, AC 耐  
圧 70 kV, 瞬時耐圧 300 kV 2 台

分圧器—2 CR 形 総容量 40 pF  
分圧比 1/1,250  
耐圧 50 kV 1 台

分圧器—3 CR 形 総容量 33 pF  
分圧比 1/1,500  
耐圧 300 kV 1 台

(b) 増幅器—1 利得 26 db 差動形 1 台  
周波数特性 0~5 Mc

増幅器—2 利得 45 db 差動形 1 台  
周波数特性 0~5 Mc

c. 掃引装置—1 全電子管式直流増幅器振幅形零点  
検出装置により電流零点近傍 10 $\mu$   
秒~100  $\mu$  秒の期間の掃引が可能  
2 台

掃引装置—2 パルス 起動単掃引方式  
20  $\mu$  秒~10 秒の期間の掃引が可能  
1 台

d. ブラウン管 2 要素後段加速 ブラウン管 3 台  
うち 1 台は視視用とするため残  
光性となっている。

#### (2) 雑音対策

a. 電磁ならびに静電誘導をさけるため、測定装置はすべて実験回路から 40 m 程度離れたシールドルーム内に収められている。さらに黄銅円筒の中に数本の同軸ケーブルを入れ、この同軸ケーブルによって測定量をシールドルームに伝達している。

b. 試験回路には 1 点接地を厳密に実行し、測定装置を入れたシールドルームはガイシによって大地から浮かせている。

c. 測定器の電源はシャハイ絶縁変圧器によって所内電源と高周波的に分離し、試験回路の接地点でコンデンサを用いて間接的に接地した後シールドルームに送られている。

以下に示す測定結果はすべてこれらの測定装置を用いて行なったものである。

#### 3.1 大気中自然アークに関する測定結果⁽²¹⁾

大気中に設置された電極間に交流アークを発生させた後電流を外部から強制的にシャ断すると間隙に発生したアークが消滅するが、このときに生じる現象はあらゆる

消弧現象にとって基礎的なものであると考えられるので、かなり詳細な実験を行なった。一口に大気中棒間隙といっても電極間距離、電極材料、電極構造等によってその特性がかなり相違するので、それらすべてを網羅することは不可能である。ここで述べる実験も次に示す非常に限定された条件のもとに行なったものである。

電極材料および構造

- a. 2 cm φ の銅棒
- b. 表面に厚さ 5 mm の W-Ag チップをはりつけた 2.5 cm φ の銅棒
- c. 2 cm φ の炭素棒

電極配置

電極間距離 2cm, 垂直配置

短絡発電機から イグナイトロン を通じて供試間隙に波高値 12,000~800A の半 サイクル 電流を供給し、イグナイトロンが回路をシャ断すると同時に間隙の エネルギー 平衡には無関係と思われる 10~40 mA の小電流を供給して電流がシャ断された後の アーク 抵抗をも測定できるようにした。

(1) 実験結果

a 発弧用 ヒューズ が溶断してアークが発生する瞬間にかなり高い電圧が発生するがほとんど瞬時に 90 V 程度の値となる。その後わずかに正特性を示し、電流波高値の点で 100 V 程度となるが、以後零点寸前の約 500 μ 秒の時間的位置までは、ほとんどヒステリシスは現われなない。この現象は 800~12,000 A の銅アーク、銀 タングステンアーク についてまったく同様である。

b. ところが零点前には明らかにヒステリシスが存在し、電流零点前 500 μ 秒から零点までの電流を  $i$ 、電圧を  $e$  とすれば  $e$  と  $i$  との間には次の関係が成立する。

$$e = ki^\alpha$$

ここに  $k$ : 電極材料および電流波高値の関数となる 常数

$\alpha$ : 電極材料だけに関係し、電流波高値には

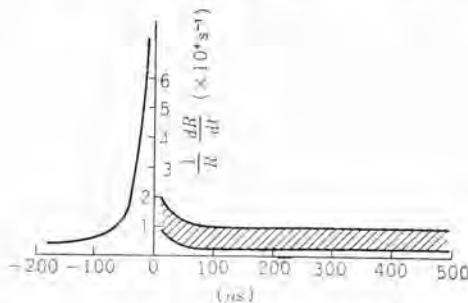


図 3.1 銀 タングステン 電極の場合の  $\frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$  と 時間との関係

Fig. 3.1  $R^{-1}dR/dt$  vs time in the case of W-Ag electrodes.

無関係な常数であって  $0 < \alpha < 1$

c. 電流零点近傍の抵抗変化の割合  $R^{-1}dR/dt$  と時間との関係を図示すれば図 3.1 のようになる。すなわち電流零点寸前で  $R^{-1}dR/dt$  は急激に増大するが、いったん電流零点を経過すると不連続的に小さくなり、零点後 100 μ 秒程度経過すれば一定の値に収れんする。図 3.2 はこの値の逆数 (アーク 時定数  $T$ ) と電流波高値  $I_m$  との関係を電極材料を パラメータ として示したものである。

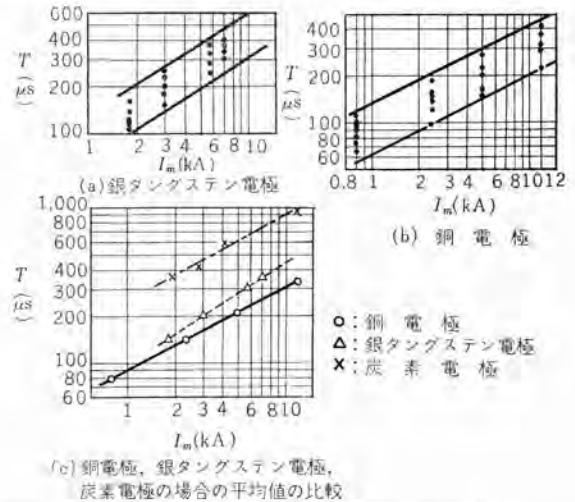


図 3.2 時定数  $T$  と電流波高値との関係

Fig. 3.2 Time const.  $T$  vs peak value of high current  $I_m$ .

d. 高速 カメラ によって撮影すれば大電流領域では強烈なアークジェットが認められるが、零点後はアークジェットは急速に消滅し、電極間にグロー だけが残存する。

(2) 実験結果の検討

以上の実験結果からわかるように、空中自然アークの動特性には、弧心が存在する電流零点前と、外炎だけとなる電流零点後とで非常に大きな相違がある。

空中自然アークの弧心は、たとえば Skeats および Schuck,⁽²²⁾ King,⁽²³⁾ Lee⁽²⁴⁾ あるいは Maecker⁽¹⁷⁾等の測定によれば、15,000°K 程度の高温を有する部分であって、大電流アークにおいても直径 5 mm 程度の比較的体積の小さい部分である。

しかし高速カメラによる撮影結果から明らかなように、陰極および陽極から比較的低温 (銅電極の場合は 3,000°K 程度だとされている。⁽²⁰⁾) のアークジェットが噴出しているが、これが外炎に吹付けられることによって弧心がアークジェット自身によって冷却されるだけではなく、それを取囲む弧心からの熱損失は非常に大きくなっている。したがって弧心への入力を  $W$  弧心からの損失を  $N$  とすれば  $\mu$  秒程度の時定数で入力の変化に対応して

$$W = N$$

なる一次的な平衡状態 (静特性に関する平衡とは異なる)

が出現し、これがアーク動特性を決定している。実験結果 b. に示したように零点寸前でアーク電圧が電流瞬時値だけの関数として観測されるのはこのためである。

さて電流零点 500  $\mu$  秒以前の大電流期間においてはアークはほとんど平坦特性を示しているので、この期間における動特性は近似的に  $\alpha =$  一定と仮定した Cassie の模型で表現できるようである。ところが電流零点寸前約 500  $\mu$  秒の時間的位置に達すると、その動特性は Cassie の模型では表現できなくなる。図 3.3 は自然アークの零点寸前数十  $\mu$  秒における  $R^{-1}dR/dt$  とアーク電圧との関係を示したものである。Cassie の模型を用いた場合には  $R^{-1}dR/dt$  と  $e^2$  との間に直線関係が成立しなければならないが、図から明らかなように直線関係が成立す

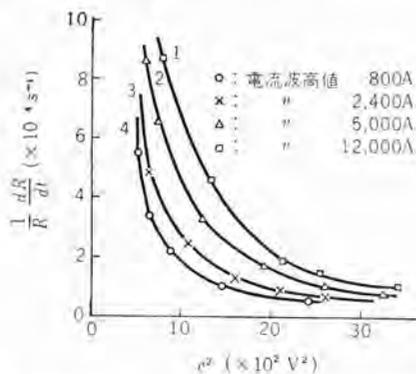


図 3.3 銅電極の  $\frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$  と  $e^2$  との関係  
Fig. 3.3  $R^{-1} dR/dt$  vs  $e^2$  in the case of copper electrodes.

る範囲はごくわずかであり、Cassie の模型からのずれがいちじるしく目だっている。

電流が減少してある一定値以下になり、アーク空間への入力もはや弧心を存続させるのに十分でなくなるやいなや、弧心はすみやかに消滅して外炎だけが残存するようになる。電流零点を境として  $R^{-1}dR/dt$  が零点前の大きな値から零点直後の比較的小さい値へと急激に変化するものは、電流零点のごく近傍でアーク抵抗を決定するものが、非常に時定数の小さい弧心から時定数のかなり大きい外炎に移行したことを意味している。

$R^{-1}dR/dt$  はその後も連続的に減少するが(図 3.1 参照)、零点後 100 ないし 200  $\mu$  秒には一定の値に取れんし、その後は比較的長い期間にわたってその値を維持する。これは大電流自然アークのようにアーク柱からの損失が主として熱伝導によっているようなアークでは、アークからの損失が温度分布に大きく影響されるが、この温度分布が零点直後の急峻な状態から、時間とともに比較的一様なものへと近づき、一定の広がりをもった空間に一樣に電離ガスが分布する結果、空間からの損失が一

定なアーク空間を仮定する Mayr の模型に近づいて行くことを示している。

前述のように、零点後 200~300  $\mu$  秒以後におけるアーク時定数  $T$  は、アーク電流波高値  $I_m$  とともに大きくなる。現在のところこの関係を定量的に説明する理論的な裏づけは得ていないが、電流の増大とともに外炎の半径が大きくなるのに対してアーク空間からの冷却はそれほど増加しないことが原因しているようである。さらに同一電流波高値における時定数が銅電極、銀、タングステン電極、炭素電極の順に大きくなっているのは、この程度の短い間隙のアークでは電極からの熱損失が重大な役割をなすので電極材料の沸点の相違、熱伝導率の相違などがかなりの影響を与えることが原因しているようである。

その他この程度の低電圧アークではアーク空間と陰極あるいは陽極とを結合するいわゆる陰極点、陽極点の機構がアークの特性にかなりの影響を与えるものとも思われるが、現在のところこれに対する検討は行なっていない。

もちろんアークコンダクタンスが低くなると絶縁耐力が問題となってくるが、これについてはすでにいろいろと報告されているので説明は省略する。

### 3.2 空気吹付シャ断器内のアークに関する実験

空気吹付シャ断器はノズルあるいはオリフィス中にアークを発生させ、これに空気を吹付けることによって消弧を行なう消弧原理の比較的簡単なシャ断器であるが、つぎに示すいろいろな点から消弧現象をある程度定量的に解析することが可能であり、その究明に基礎的な資料を与えるので、古くから各種の研究が行なわれている。

- ノズルの気流状態をある程度理論的な計算から推定できるだけでなく、シュリーレン法による観測装置やマッハ干渉計などを使用して光学的に測定することが可能なこと。
- アークの媒体として、各種の物理量が比較的詳細に求められている空気を使用していること。
- 他力形であるため、消弧条件をある程度人為的に設定できること。

このような観点から当研究室においても小形のモデル空気シャ断器を使用して各種の実験を行なっている。実験に使用したモデルはノズル部分の圧力勾配が通常の空気吹付シャ断器に比して大きい小形のモデルであるため、実際のシャ断器とは多少の相違はあるとしても、本質的には同一の消弧原理でシャ断を行なっているものと思われるので、実験の結果をやや詳細に報告し、これに対する理論的な考察を行なう。

(1) 実験方法

供試器としては図3.4に示すような小形のモデルを使用した。極間にヒューズが容易にはれるように外部円筒を二つ割れにして、その一方が取はずせるようにした。ノズルとしては形状および寸法が異なる種々の絶縁物および金属ノズルを使用した。さらにアクリル樹脂でできた透視ノズルを別に製作して、ノズルの最小断面近傍におけるアークの様相を測定した。

試験回路としては図3.5に示すような合成等価試験回路および図3.6に示すようなコンデンサだけを使用する回路の2種類の回路を使用した。電流零点近傍の電流傾斜が同一である限り、実験結果にはほとんど差が認められなかった。大部分の実験はノズルの汚損、電極の消耗などが少ないコンデンサだけを電源とする周波数450c/sの回路を用いて行なった。

(2) 実験結果

a. 大電流期間

大電流アークに関する測定は、流しカメラによる光学的測定および前述の測定装置による電流電圧の電気的測定の二つを併用した。図3.7(a)はノズルの最小断面におけるアーク半径の撮影結果である。450c/sの半波全体にわたる測定が行なわれているが、電流変化の大きい零点近傍の変化がとくに興味深いので、零点近傍360μ秒の期間だけを切り取ってここに図示してある。図3.7(b)は大電流期間におけるアーク軸に沿う輝度の変化を測定したものであり、同図(c)は比較のために空気吹付を行なわない場合のアーク半径の零点近傍における様相を撮

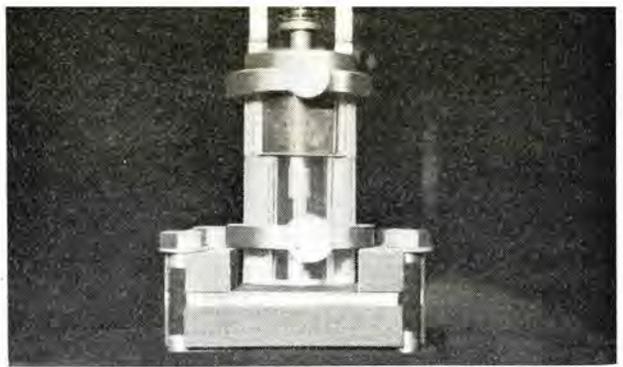
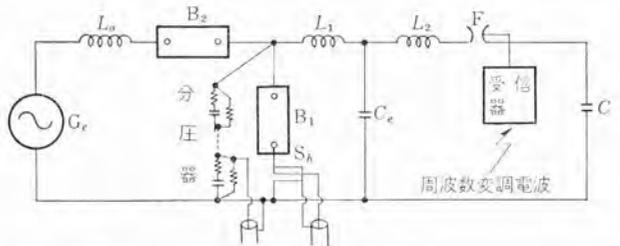


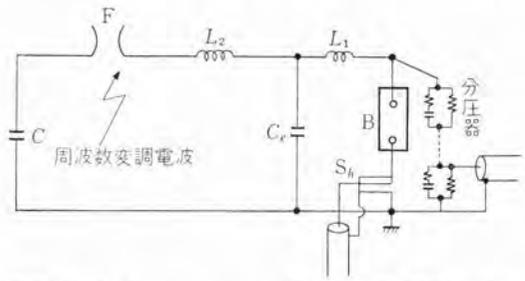
図 3.4 モデル 空気シヤ断器  
Fig. 3.4 Air blast breaker model.



Sh: 同軸分流器  
Ge: 短絡発電機  
C: 高圧振動回路の電源となるコンデンサ

F: 火花間隙  
B1: 供試器  
B2: 補助シヤ断器

図 3.5 発電機とコンデンサとを使用した実験回路  
Fig. 3.5 Test circuit in which a generator and a condenser are used.



C: 電流源コンデンサ  
F: 火花間隙

Ce: 再起電圧調整用コンデンサ  
B: 供試器

図 3.6 コンデンサだけを用いる実験回路  
Fig. 3.6 Test circuit in which a condenser only is used.



(a) 最小断面におけるアーク半径の変化



(b) 自然アークの半径の変化



(c) アーク軸に沿う輝度の変化

図 3.7 流しカメラで撮影されたノズル中のアーク

Fig. 3.7 Arcs in a nozzle photographed by means of a continuous camera.

影したものである。

撮影の結果から明らかなように、気流中のアークは空中自然アークに比較して半径が小さく収縮したいわゆる外炎部の非常に小さいアークである。またアーク輝度はノズルの入口から下流に向かって低下していく。輝度の低下は単調ではなく凹凸を有し、その位置が時間とともに移動する。それが(c)図で斜の線となってあらわれているがこれからプラズマ粒子の移動速度が推定できる。フィルムから測定するとそれは  $2.5 \sim 3.0 \times 10^5$  cm/sec である。

さらにアーク電圧は電流零点寸前までは電流に無関係に 400~500 V 程度の一定の値である。

これらの現象をあわせ考えると、空気シヤ断器の大電流期間におけるアークは電流零点寸前までは電流に無関係に 400 V ないし 500 V 程度の一定の値であり、いちじるしい平坦特性を示している。

これらの現象をあわせ考えると空気シヤ断器の大電流期間におけるアークの動特性はアークを空間時間的に一様な導電率を有する円筒柱と仮定した Cassie の模型によって近似的に表現できるようである。しかしながら Cassie が後に提唱⁽¹⁰⁾ しているように軸方向に沿う温度が一定であるという仮定は妥当ではない。

#### b. エネルギー平衡期間

図 3.7 (a) に示す流しカメラによる撮影結果からもわかるように電流零点寸前では全域にわたってラムスト랄ングが認められない程度に温度が低下し、その動特性は Cassie 形から Mayr 形へと移行する。

図 3.8 (a) は極間容量が  $0.02 \mu\text{F}$ 、限流リアクトル  $7\text{mH}$ 、電流零点前の平均電流傾斜が  $0.9 \text{ A}/\mu\text{sec}$  の場合の電流零点前の電流電圧の波形を示したものである。電流はアークの負特性によるいわゆるアーク振動を起こしている。

図 3.8 (b) は同一条件における零点近傍の様相を時間軸ならびに電流の増幅度をさらに増加して測定したものであり、比較的電圧の変化率の小さい消弧ピーク近傍では電流は指数関数的に減少する。アーク振動の周波数および零点近傍で減少する電流波形からアーク抵抗が  $R$  (自然対数の底) になる時間すなわちアークの時定数が求まる。時定数はノズルの形状によって異なるが実験に供した小形のモデルでは  $0.6 \mu$  秒ないし  $1 \mu$  秒であった。

上述のように再起電圧の周波数が低い場合には、電流は零点前に急激に小さくなり、ほとんど無視できる程度にまで取れんする。ところが周波数が非常に高く振幅率の低い再起電圧を与えた場合には、いわゆる残留電流が流れる。図 3.9 は回路の固有周波数が 300 kc 以上で振幅率が非常に小さい再起電圧を与えた場合に流れる残留

電流の波形、および同一条件でシヤ断に失敗した場合の波形を示したものである。

図 3.10 は電流零点直後における空気シヤ断器の回復特性を示したものであり、図 3.11 はこの場合のオシログラムの一例である。図に示すように回路の固有周波数が高い場合には電流零点直後にまで電流が持続し、これに

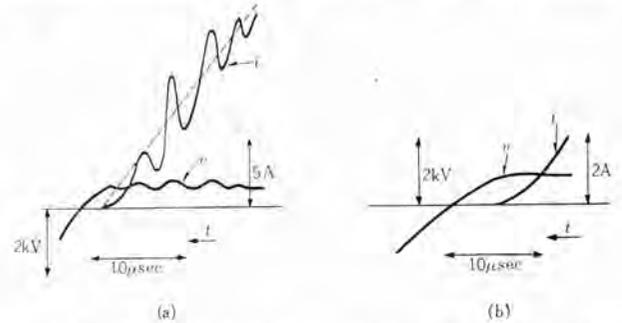


図 3.8 ノズル中のアークの電流電圧の電流零点近傍におけるオシログラム

Fig. 3.8 Oscillograms of arc voltage and current in a nozzle around current zero.

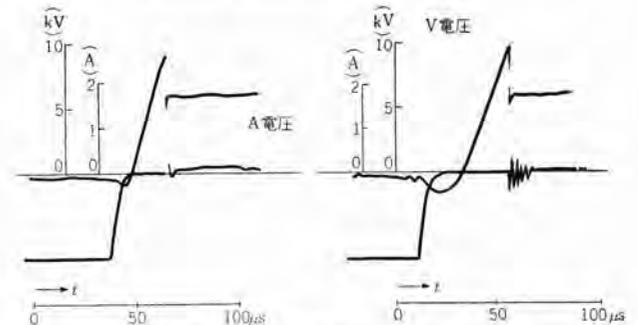


図 3.9 空気シヤ断器の再点弧のオシログラム

Fig. 3.9 Oscillograms of voltage breakdown in the case of an air blast breaker.

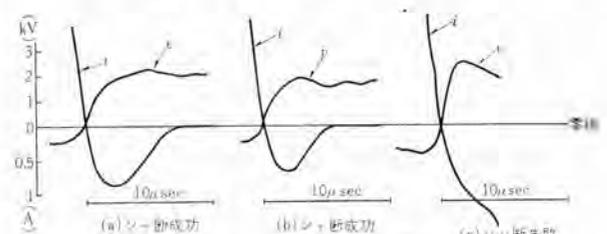


図 3.10 空気シヤ断器の残留電流のオシログラム

Fig. 3.10 Oscillograms of post-arc current in the case of air blast breaker.

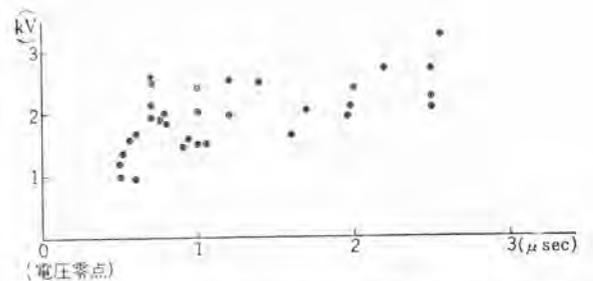


図 3.11 空気シヤ断器の電圧零点直後における熱的再点弧による再点弧電圧

Fig. 3.11 Thermal breakdown voltage just after voltage zero in the case of air blast breaker.

よって再起電圧がその固有の値から変歪されるとともに、非常に低い電圧でエネルギー不平衡による再点弧が生じている。

c. 絶縁耐力の回復期間

前述のように回路の  $r, r, r, v$  がある程度低くなると電圧の零点前にすでに電流が減少し、零点後に残留する電流はほとんど無視できる程度になり、その後に生じる再点弧は必ずいわゆる純粋の絶縁破壊形式を取る。図 3.12 は周波数 23 kc および 6 kc の回路をシタ断したときの電流電圧のオシログラムである。図から明らかなように、

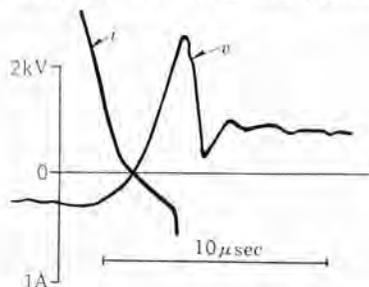


図 3.12 空気シタ断器の熱的再点弧のオシログラム  
Fig. 3.12 An oscillogram of thermal breakdown in the case of air blast breaker.

電圧零点前に電流は減少し、かなりの零休止をへて後再点弧している。

空気シタ断器の絶縁耐力回復特性については各種の実験結果が発表されているが、⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾ 一般に次式で表現するのが妥当なようである。

$$V = V_0(1 - a\varepsilon^{-\beta t}) \dots \dots \dots (3.1)$$

ここに  $V$ : 絶縁耐力

$V_0, \beta, a$ : 常数

$a, \beta$  の値についてはノズル内の圧力傾斜によっていろいろと異なるが実験に供した小形の空気シタ断器では

$$a \doteq 0.9$$

$$\beta \doteq 10^8 \text{ sec}^{-1}$$

であった。

(2) 理論的考察

a. 大電流期間

前述のようにこの期間におけるアークはいちじりしい平均特性を示し、Cassie の模型によって動特性を近似的に表現することが可能である。すなわちアーク電圧を  $e$ 、アーク抵抗を  $R$  とすればアーク動特性は次式で表わされる。

$$R^{-1} dR/dt = \alpha \left( 1 - \frac{e^2}{e_0^2} \right)$$

ここに、 $\alpha, e_0$  は常数である。

$\alpha$  についてはアーク軸に沿う温度が一定であると仮定して Cassie が計算している。⁽¹⁰⁾ 流しカメラによる測定結果からすればこの仮定は妥当ではなく、軸に沿う温度

変化が等エントロピ流内におけるそれと同一であるとも考えられないので、厳密な計算は非常に複雑であるが、ある程度の近似を与えるのでこれを示せば、

$$\alpha = - \left( \frac{2}{\gamma - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{p_0}{p} \right) \left[ \frac{1}{\gamma} \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - \frac{\gamma + 1}{2\gamma} \right] \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{u_0}{p_0} \frac{dp}{dl}$$

ここに  $\gamma$ : 比熱比  $p$ : ノズル中の圧力

$p_0$ : 貯気槽圧力  $u_0$ : アーク温度における音速  
 $dp/dl$ : 圧力傾斜

$e_0$  はほとんどアーク電圧に等しく、実験に供したシタ断器では  $e_0 \doteq 400 \text{ V}$  であった。

b. エネルギー平衡期間

自然零点近傍で電流がある一定値以下になると(実験に供したシタ断器では 15~20 A) 温度の低下がはじまり、大電流期間からエネルギー平衡期間への転移が行なわれる。前述のようにこの期間におけるアークの動特性は近似的に式(2.7)で表わされ、著者らの計算結果によれば式中の  $\theta$  および  $N$  は次式で与えられる。

$$\theta^{-1} = - \frac{E_i}{2kT} \frac{2}{5} \frac{q}{p} \frac{dp}{dl} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$N = -Aqdp/dl \dots \dots \dots (3.3)$$

ここに  $E_i$ : プラズマを形成する粒子の平均イオン化電圧

$p$ : 気流中の圧力

$k$ : ボルツマン 常数

$T$ : アーク温度

$A$ : アークの断面積

$q$ : プラズマ粒子の移動速度

各種のノズルに関して求められている  $p^{-1} dp/dl$  および実験の結果求められている  $q$  の値から上流電極の先端から最小断面後方の衝撃波が生じる点までの範囲における  $q \cdot p^{-1} dp/dl$  の平均値を求め、これと  $\theta$  との関係を図

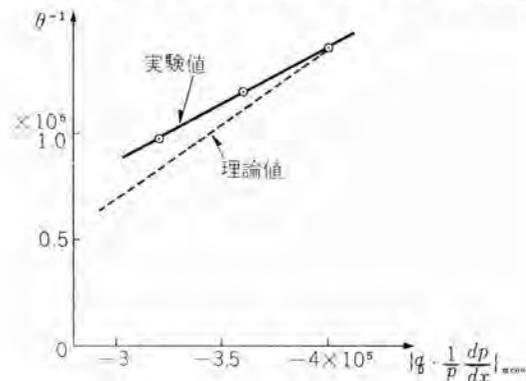


図 3.13 空気シタ断器の場合の  $\theta^{-1}$  と  $\left\{ q \frac{1}{p} \frac{dp}{dx} \right\}_{\text{mean}}$  との関係

Fig. 3.13  $\theta^{-1}$  vs  $\left\{ q \frac{1}{p} \frac{dp}{dx} \right\}_{\text{mean}}$  in the case of air blast breaker.

示すれば図 3.13 のようになる。実験結果と理論値とはよく一致している。

$N$  は式(3.2) に示すように アーク半径とともに減少するが、流しカメラによる測定結果から推定して電流零点のごく近傍でアーク半径を 1 mm 程度であると仮定すると 2.5~3.5 kW 程度となり、残留電流のオシログラムおよび熱的不平衡による再点弧のオシログラムなどから求めた値と大体一致している。また図 3.8 (a) に示されている電流電圧波形は零点近傍におけるアーク半径の減少にもとづくアークからの損失の減少を考慮して、はじめて説明できるアーク振動であり、著者らは式(2.7)、(3.2)、(3.3)の関係と半径の指数関数的な減少を仮定して計算によって波形を算出することに成功しているがこれの説明については紙面の関係上別の機会にゆずる。

### c. 絶縁耐力回復期間

アーク温度が減少して空間への入力が無視できる程度になると空間はいわゆる絶縁耐力を獲得する。そして絶縁耐力と時間との関係についてはかなりのバラツキはあるが大体式(3.1)に示す実験式で表現できるようである。

この回復特性は絶縁耐力と温度の関数としての気体密度  $\rho$  ( $T$ ) との間に式(2.8)の関係を仮定し、ノズル中の高温気体の温度低下を計算することによって近似的に計算できるが、これについてはさらに詳細な実験を行なうから詳しい報告を行なう予定である。

なお気流中のアーク現象には一般にかなりのバラツキがある。その原因については

(a) アーク現象に固有なバラツキ

(b) 気流中の渦にもとづくバラツキ⁽²⁹⁾⁽²⁸⁾などが考えられるが、これについても近い将来シュリーレン法による気流の観測装置などを利用して詳細な研究を行ないたいと思っている。

### 3.3 放出形ヒューズの消弧特性

放出形ヒューズとはファイバ円筒内に可溶片を収めたものであって、アークがファイバを加熱する結果生じる強力なガス放出を利用して消弧を行なう消弧装置である。したがって通常の気中消弧現象とは消弧過程がややことなるが、前述のエネルギー平衡期間が空気シヤ断器に比してかなり長時間にわたって出現するという興味ある特性を有している。

供試器としては定格電圧 6.6kV、定格シヤ断電流 2,500 A のものを選んだ。試験方法としては電流一定のまま種々の回復電圧および再起電圧を与えることが容易な合成等価試験方法(図 3.5 参照)を用いた。

#### (1) 実験結果

##### a. アーク期間

気中アークシヤ断現象・伊藤

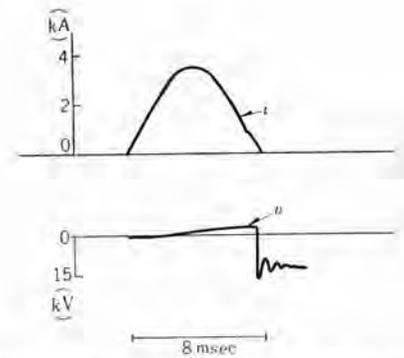


図 3.14 電力ヒューズ試験の長時間記録オシログラム  
Fig. 3.14 Rotating drum cathode ray oscillogram recorded at the test of a high power fuse.

図 3.14 は長時間記録オシログラムによる測定結果である。可溶片が溶断し、ファイバからの気体放出が強くなるにつれてアーク電圧が上昇して行くが、電流の波高値を経過するとともにアーク電圧の上昇率は減少し、最後の 1/8 サイクル (60 c/s ベース) 程度の時間的位置で上昇は停止する。この期間におけるアーク電圧は空中自然アークあるいは気流中アークに比してかなり高く、2~3 kV 程度である。

##### b. 零点近傍の現象

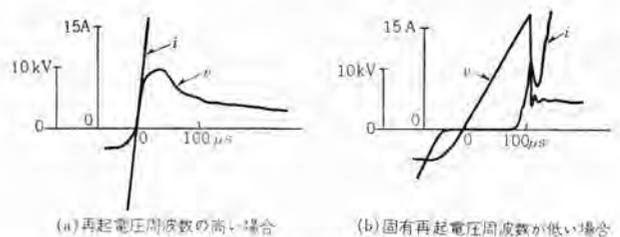
試験回路の回復電圧を供試器の定格電圧より高く取り、再起電圧の周波数をいろいろと変化してエネルギー不平衡による再点弧および純粹の絶縁破壊による再点弧を生じさせ、そのときに生じる零点近傍の現象を観測した。

図 3.15 (a) は再起電圧の周波数が早い場合に生じる熱的再点弧の場合の電流電圧のオシログラムである。零点近傍で電流はなめらかにつながり、電圧も再点弧点でなめらかに徐々に下降している。

図 3.15 (b) は再起電圧の周波数が比較的低い場合に生じる純粹の絶縁破壊による再点弧の典型的なオシログラムである。

空気シヤ断器の場合と同じく電圧零点前に電流が急激に減少し、電圧零点をはさんでしばらく電流の零休止が生じる。再点弧点での電流の上昇、電圧の下降は非常に急激である。

図 3.16 はこれらのオシログラムから得た絶縁耐力回復



(a) 再起電圧周波数の高い場合 (b) 固有再起電圧周波数が低い場合

図 3.15 電力ヒューズの再点弧のオシログラム  
Fig. 3.15 Oscillograms of breakdown of a power fuse.

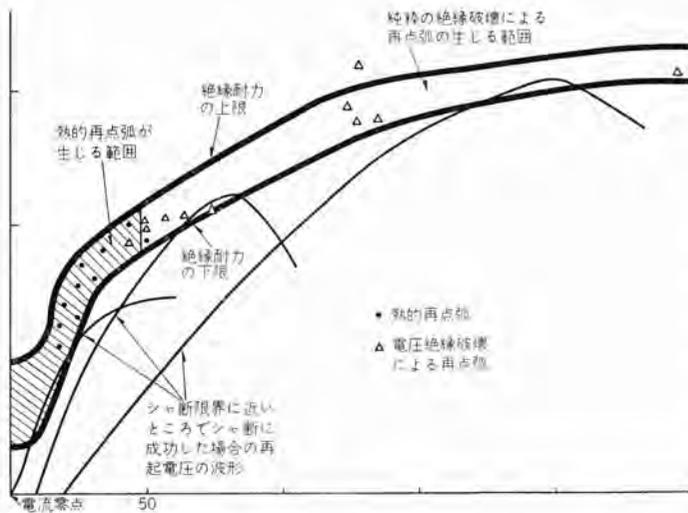


図 3.16 電力ヒューズの絶縁耐力の回復

Fig. 3.16 Recovery of dielectric strength in the case of a power fuse.

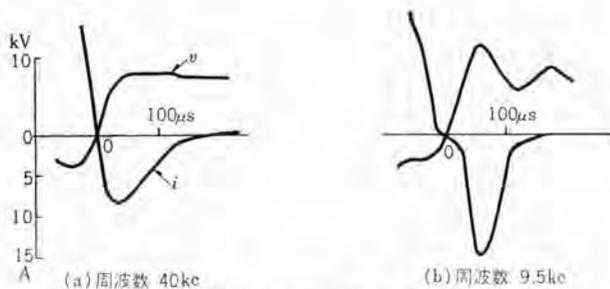


図 3.17 残留電流のオシログラム

Fig. 3.17 Oscillograms of post-arc current of a power fuse.

曲線である。実験結果にはかなりのバラツキがあったが 90% 以上の結果は図の二つの曲線の間におさまっている。なお図の斜線を施した部分はエネルギー不平衡による(熱的)再点弧が生じる範囲であり、斜線を施してないところは純粋の絶縁破壊が生じる範囲である。比較のためシャ断に成功した場合の再起電圧の波形も同図に示してある。図に示すように、零点後約 50 μ 秒以内の短時間に再点弧にまで電圧が上昇する場合にはエネルギー不平衡による再点弧が生じ、それ以後では絶縁破壊による再点弧が生じる。

図 3.17 はヒューズがシャ断に成功した場合に流れる残留電流を示したものである。同図 (a) は再起電圧の周波数が 40 kc の場合の残留電流のオシログラムであり、同図 (b) は固有周波数 9.5 kc の再起電圧、シャ断能力の限界に近い回復電圧を与えた場合の残留電流のオシログラムである。このように非常に大きな残留電流が流れなおかつシャ断に成功する場合はしばしばある。

#### (2) 実験結果の検討

一種の自力形であるため可溶片の溶断直後は電流の増加とともにアーク電圧は上昇する。しかしある程度以上

の電流になるとファイバからのガス放出が飽和するので電圧が電流に無関係な平坦な特性があらわれる。アーク電圧は高く 2~3 kV である。

電流が減少し零点に近づくと、大電流期間からエネルギー平衡期間への転移が行なわれるが、空中自然アークや空気シャ断器と異なり、100 A 程度のかかなり大きい電流値のところで転移が行なわれるようである。エネルギー平衡期間における動特性はやはり Mayr の模型で近似することができる。残留電流の波形、零点近傍で電流がなめらかに続くときの電圧波形⁽³¹⁾などから Mayr の模型で近似した場合の定数を概算すれば  $\theta = 20 \sim 30 \mu$  秒、 $N = 100 \sim 200$  kW である。

空気シャ断器に比して時定数が大きいのでエネルギー平衡期間は非常に長く、その結果電流零点約 50 μ 秒の時間的位置までは熱的再点弧が生じる。それ以後の再点弧は大体純粋の絶縁破壊による再点弧であり、この場合電流はいったん電圧零点前に減少し、再点弧までにはかなりの零休止があらわれる。

周波数が 10 kc 以上の再起電圧を与えた場合には残留電流のために再起電圧が固有の波形から大きく変歪する。その結果振幅率が小さくなるので固有周波数が高いほうが回路の苛酷度が低くなる可能性もあることは注目し値する事がらである。

### 3.4 磁気吹消シャ断器の消弧現象

電流による磁界でアークを消弧板間隙中に駆動して冷却消弧するシャ断器である。ほとんど純粋の伝導冷却機構にもとづいて消弧が行なわれるシャ断器として古くから注目され、その消弧現象については各種の報告⁽³²⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾があるのでここでは簡単な説明を行なうにとどめる。

#### (1) 実験結果の一例

一般にこの種のシャ断器では回復電圧に比してアーク電圧が非常に高い。とくにアークが消弧板間隙の奥へと駆動された場合にはアーク電圧は回路電圧と同程度あるいはそれ以上に上昇する。このアーク電圧のために回路の力率が大きく変化するので、シャ断時の端子間電圧および電流波形には図 3.18 に示すような三つの形式のものが存在する。

同図 (a) はアークが消弧板の奥へと駆動されないうちに通過した電流零点で消弧が行なわれた場合であってアーク電圧は比較的的低く、瞬時回復電圧はある程度の値を有している。そして電流零点後にはかなりの残留電流が流れ再起電圧は大きく変歪している。この残留導性に關しては Mayr の模型によってある程度表現できる。⁽³²⁾⁽³³⁾

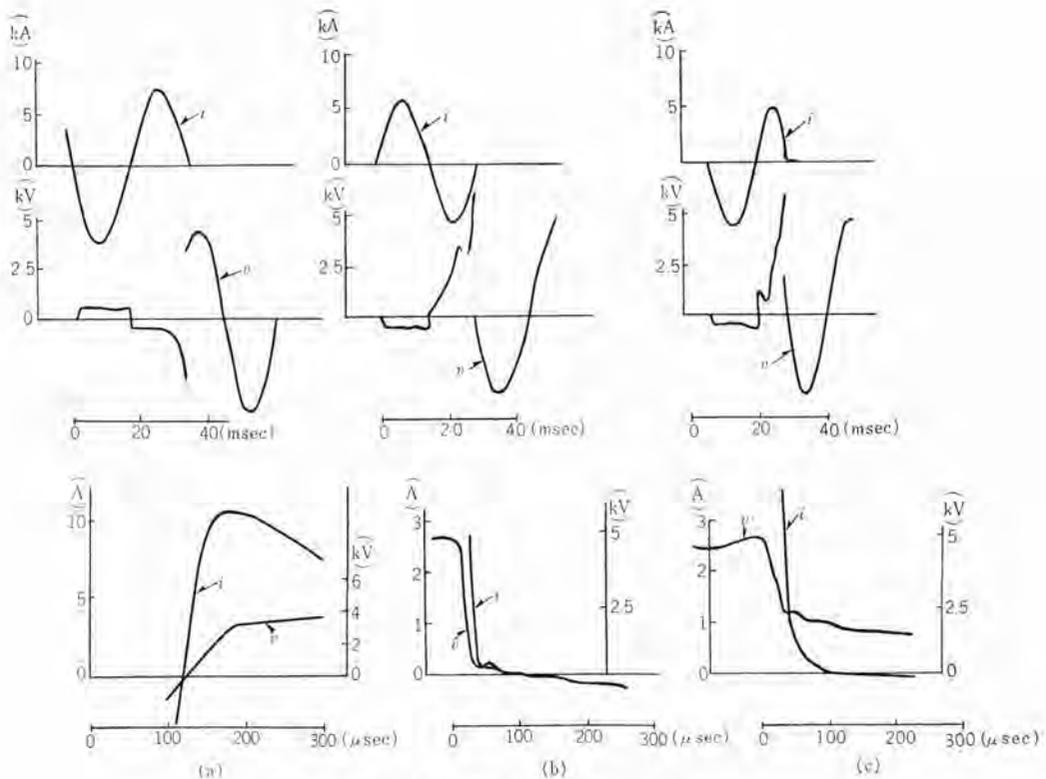


図 3.18 磁気吹消シヤ断器の場合の電流電圧のオシログラム

Fig. 3.18 Oscillograms of voltage and current of a magne-blast breaker.

3.3 kV の製品についての実測例ではアークからの損失が 38~45 kW, 時定数が 70~75  $\mu$  秒という値がえられている。(32)(33)

図 (b) および図 (c) は消弧板間隙の奥へとアークが駆動されないうちに通過した電流零点でシヤ断に失敗した結果、アークがさらに奥へと押し込まれてシヤ断が行なわれた場合のオシログラムである。アークが奥へ駆動されるにつれてますます冷却力が有効に作用するのでアークからの損失が非常に大きくなる。そのためアーク電圧が電源電圧と同程度あるいはそれ以上となり、回路の力率が改善されて瞬時回復電圧はほとんど零に近いところまで (図 b) あるいはアーク電圧と同極性になるまで (図 c) シフトされる。

#### (2) 実験結果から得られる結論

上述の実験結果およびこれまでに得られている各種の実験結果から推定するとこの種のシヤ断器内のアークは次に示すようにノズル中のアークとは非常に異なる動特性を有している。

a. とくに電流がシヤ断される最後の半サイクルでは Cassie の模型で表現できるいわゆる大電流期間はほとんど存在しない。すなわちアーク柱からの損失とアーク柱への入力との競争によってアーク柱のコンタクトが変化するエネルギー平衡期間が大部分を占める。

b. アークが消弧板の奥へ駆動されるにつれて、アーク  
気中アークシヤ断現象・伊藤

からの冷却が増加するだけでなくそれがアーク温度によっても大きく異なるので、アーク柱からの一定の損失、アーク柱の一定の時定数を仮定する Mayr の模型を用いてアーク期間全域にわたる動特性を表現することはできないが、たとえば電流零点近傍における短期間を取上げて考察すればある程度 Mayr の模型による近似的な表現が可能である。

c. アーク時定数が大きく (数十  $\mu$  秒)、アーク柱からの損失も大きい (40 kW 以上) アークである。とくに消弧板の奥へと駆動された場合にはアーク柱からの損失は数百 kW 以上にもなる。

d. アーク時定数が非常に大きいため、ほとんどの再点弧はエネルギー不平衡 (熱的) 再点弧であり、純粹の絶縁破壊による再点弧はほとんど見当たらない。

## 4. む す び

アークの過渡現象である消弧現象は非常に複雑なものであるが、アーク電流値あるいはアーク温度に応じてアーク現象をいくつかに分けて細分すれば、アーク特性に大きな影響を与える要因がある程度限定されてくるので考察が比較的容易になることを指摘し、コンタクトの変化が比較的少ない高温の弧心が存在する大電流期間、アーク柱からの入力とに応じてコンタクトが大きく変化するエネルギー平衡期間、コンタクトは無視できる程度に小さい

が温度とともに絶縁耐力が変化する絶縁耐力期間の三つの期間に分けることを提案しその妥当性を物理的に裏づけている。そして過去において行なわれた模型的考察のうちで Cassie の模型は大電流期間の動特性を、Mayr の模型は エネルギー 平衡期間の動特性を表現するのに比較的適切である理由を説明している。

しかして各期間における アーク の様相および各期間の持続時間などは各種の ショット 断器でいろいろと異なるので、実際の アーク すなわち 空中自然 アーク、空気 ショット 断器の ノズル 内の アーク、電力 ヒューズ の アーク、磁気 ショット 断器内の アーク についての実験結果を示し、具体的な説明を行なっている。

本稿では油中 アーク、真空中 アーク あるいは各種の気体中の アーク についてはふれなかったが、これらの アーク の特性についても稿をあらためて報告する予定である。

終わりにこの研究にあって終始ご指導いただいた当研究室の연구원潮恒郎博士およびいろいろとご援助いただいた八代稜穂技師、大倉敏幹技師に深甚の謝意を表します。  
(35-7-4 受付)

#### 参 考 文 献

(1) Slepian, J.: J. AIEE 47, 1398~1407 (1928).  
 (2) Slepian, J.: T. AIEE pp. 421~30 (1930).  
 (3) Kesselring, F. and Koppelman, F.: Arch. Elect. 29, 1~33 (1935).  
 (4) Kesselring, F. and Koppelman, F.: Arch. Elect. 30, 71~108 (1936).  
 (5) Kesselring, F. and Koppelman, F.: Arch. Elect. 34, 155~84 (1941).

(6) Prince, D.C. and Poitras, E.J.: El. World 97, 400~04 (1931).  
 (7) Prince, D.C., Henley, J.A. and Rankin, W.K.: T. AIEE 59, 510~17 (1940).  
 (8) Slepian, J.: T. AIEE, 60, 162~167 (1941).  
 (9) Cassie, A.M.: CIGRE 10, 102 (1939).  
 (10) Cassie, A.M.: E.R.A. Tech. Rep. G/XT 134.  
 (11) Mayr, O.: Arch. Electro. 37, 588~608 (1943).  
 (12) Browne, T.E., Jr.: T. AIEE 67, 141~152 (1948).  
 (13) Hochrainer, A.: ETZ-A 73, (1952).  
 (14) Spruth, W.: Arch. Elect. Bd. 43, 645~652 (1958).  
 (15) 潮 恒郎・伊藤利朗: 昭 34 電気学会関西連大 92.  
 (16) King, L.A.: Appl. Sci. Res. Section B 5, 189~195.  
 (17) Maecker: Z. für Physik Bd. 136, 119~136.  
 (18) Finkelnburg, W.: Hochstromkohlebogen. Heiderberg; Springer (1948).  
 (19) Burhorn, F., Maecker, H., and Peters, Th.: Z. für Phys, 131, p. 28 (1951).  
 (20) Trencham, H.: Circuit Breaking; London; Butterworths Scientific Publication (1953).  
 (21) 伊藤利朗: 電学誌 79, 571~577 (昭 34).  
 (22) Skeats, W.F. & Schuck, C.L.; AIEE Tech. Paper 54~140.  
 (23) King, L.A.: ERA (Stockholm) Tech. Report G/XT 155.  
 (24) Lee, T.H., Wilson, W.R. and Sofianek, J.C.: AIEE Tech. Paper 57~177.  
 (25) Wienecke, R.: Z. für Phys, 146 39~58 (1956)  
 (26) Cobine and Burger: J. appl. Phys. 26, 895 (1955).  
 (27) Browne, T.E. Jr.: T. AIEE 65, 169 (1946).  
 (28) Horst, D. Th. J. ter, Rutgers, G. A. W. and Bist V. K.: CIGRE 106 (1960).  
 (29) Bergström, L.R. and Pucher, G. A. W.: CIGRE 105 (1958).  
 (30) 伊藤利朗・八代稜穂・大倉敏幹・潮 恒郎: 昭 34 電気学会関西連大 94.  
 (31) Kopplin, H. and Schmidt, E.: ETZ-A Heft 23, 805~811 (1959).  
 (32) 潮 恒郎: 遮断器の残留電流, 「三菱電機」 30, No. 2, pp. 11~15 (昭 31).  
 (33) 潮 恒郎: 昭 29 電気関西連大 290.  
 (34) Brown, T.E. Jr.: T. AIEE 67, 141 (1948).

#### 最近における当社の社外講演一覽

講 演 年 月 日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所 属 場 所
35-7-25-27	北海道大学	トランジスタゲートを用いた同期形 フリップフロットの駆動回路	壺井芳昭	研究所
"	北海道大学	列車無線用環状 スロットアンテナ	水沢丕雄	研究所
"	北海道大学	P _n 接点の加熱による特性変化	清水潤治	研究所
"	北海道大学	多元連立 1 次方程式の数値解法 (電力潮流計算への応用)	下地貞夫	研究所
"	北海道大学	窒化硼素の電場発光	山下博典	研究所
"	北海道大学	進行波管最大小信号利得電圧の一計算法	戸田哲夫	研究所
"	北海道大学	Mgo を使用した冷陰極電子放射源の パルス 特性	岡田武夫	研究所

# デジタル演算高速化装置 (2)

東京大学航空研究所 穂坂 衛*  
 三菱電機株式会社無線機製作所 嶋村和也**・中島正志**  
 三菱電機株式会社研究所 吉江高明***・首藤 勝***

## Digital Computation Accelerating System (Part 2)

Tokyo University Aeronautical Institute  
 Electronics Works  
 Research Laboratory

Mamoru HOSAKA  
 Kazuya SHIMAMURA・Masashi NAKAJIMA  
 Takaaki YOSHIE・Masaru SHUDŌ

### 3. デジタル演算高速化装置 (DAS) の実際

#### 3.1 概要

この装置は次のような目的と機能をもっている。

(1) 科学技術計算においては浮動小数点演算を行なうことが非常に多く、G 15 D ではこれを サラーション によって実行しているため演算時間が相当長くなる。インタカム方式によって演算を行なわせる場合には、元来翻訳演算に要する時間が長くまた一番地方式であるために浮動小数点演算に要する時間はさほど問題とはならないが、他の方式によるときはこれが大きな弱点となる。このため浮動小数点演算を行なうハードウェアをもうけ演算時間を大幅に短縮することにした。除算については加減算、乗算に比して演算の濃度が非常に少ないので対策をたてないことにした。

(2) G 15 D では前節にのべたように加減算に比して乗算に非常に長い時間を要している。科学技術演算では乗算の出でくる濃度が非常に大なので、これを高速に処理すべく、乗算回路全体を特殊な直並列方式に改めハードウェアで構成させた。この回路では固定、浮動の両小数点方式とも取扱える。

(3) これらの回路を具体化した場合、ちよとした回路修正で G 15 D の特異性の一つである グループ操作に新しい分野を開くことが可能である。このような点に着目して次の演算回路を具体化した。

a. 二つの記憶ラインにはいつている順序づけられた数のそれぞれ対の時間位置にある数（同時に読み出せる数）をペアで取扱う加減算乗算。これはマトリックス演算のような場合に偉力を発揮する。演算時間が極端に短縮されたのでこのような乗算操作も可能になった。ただしこの種の加減算は固定小数点だけを扱っている。

b. ある1本のラインに記憶されている浮動小数点数の総和 ( $\Sigma$ ) を取る操作。

c. ある1本のラインに記憶されている倍長数値語を

グループで単長数値語に変換する操作。

d. ある1本のラインに記憶されている数をグループで1ビット右または左シフトする操作。

e. ある1本のラインに記憶されている数の中から最大値を選び出し、その位置をマークして元の記憶場所の内容を0にする操作。

f. ある1本のラインに記憶されている数の番地の若いほうから最初にある0でない数を取り出し、その位置をマークして元の記憶場所の内容を0にする操作。この操作は行列演算などにおいて、0の多い演算の場合に0に関する演算操作を省略して有効な演算だけ能率的に実行するような場合、あるいは分類演算などにあづかって力がある。

これらの回路を具体化した結果、演算速度だけに着目しても表3.1に示すような機能の増加が得られた。この表では乗算だけがはっきりとそれを表わしているかに見

表 3.1 演算速度比較表

演算の種類		G 15 D	G 15 D+DAS
固定小数点乗算	単長	16.7 ms	1.08 ms (ペア動作 0.54 (n+1) ms)
	倍長	33.1 ms	—
固定小数点加減算	単長	0.27 ms	0.54 ms (ペア動作 0.27 (n+1) ms)
	倍長	0.54 ms	1.08 ms (ペア動作 0.54 (n+1) ms)
固定小数点除算	単長	16.7 ms	—
	倍長	33.1 ms	—
左桁移動	単長	0.54 ms	0.27 ms (グループ動作 0.27 n ms)
	倍長	0.54 ms	0.54 ms (グループ動作 0.54 n ms)
右桁移動	単長	0.54 ms	0.54 ms (グループ動作 0.27 (n+1) ms)
	倍長	0.54 ms	1.08 ms (グループ動作 0.54 (n+1) ms)
浮動小数点加減算	—	—	1.08 ms (グループ動作 1.08 ms n ms)
浮動小数点乗算	—	—	1.08 ms (ペア動作 1.08 ms n ms)

られるが、グループ操作や定量的に比較できない浮動小数点法などを考え合わせるならば、その性能向上は非常にいちじるしいものがある。

さてこの装置は図3.1～図3.3に示す外観構造および表3.2に示す概略仕様をもつ小形計算装置で、G 15 Dとほとんど同じ大きさにまとめられている。論理回路は表3.2に示す6種のユニット化されたプリント配線パック



図 3.1 DAS 正面  
Fig. 3.1 Front view.



図 3.2 DAS 背面  
Fig. 3.2 Rear view.



図 3.3 内部結線  
Fig. 3.3 Interior view.



図 3.4 CR パッケージ ↑  
Fig. 3.4 Clock pulse repeater.

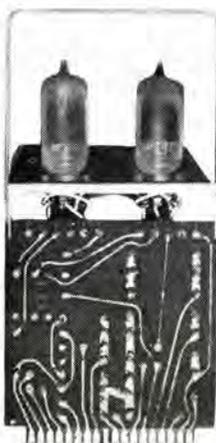


図 3.5 CF-1 パッケージ →  
Fig. 3.5 Cathode follower package.

で組立てられ、これらのパッケージは G 15 D と互換性を考えて設計されている。パッケージにはアクティブ素子として真空管をもつものと、ゲート関係のダイオード盤とがあり、その一例を図 3.4, 3.5 に示す。これらは図 3.1, 3.2 に見られるように前面および後面の左右両側に真空管パッケージが、中央部にダイオードパッケージがまとめて配置されており、温度上昇による障害が起らないように換気に考慮が払われている。

この装置は使用時のマージンをテストするために、電源の二次電圧が可変になっており、これをすべて+10%変化させながらテストルーチンを実行させて正常動作を確認する方法を採用している。このテストルーチンは DAS で実行されるすべての演算指令とデータを含んでおり、各種演算の例外条件を網羅するこれらの演算指令を実行した結果とあらかじめデータとして入れられている正しい演算結果とを比較して、それが合致しなかった場合にはどの演算が誤ったかをタイプライターのように作られている。素子の経年劣化などによってマージンの低下した回路があった場合には、正常な動作状態では誤動作を起

表 3.2 DAS の概略仕様

項目	仕様
演算方式	直列式 (一部直並列式)
数値	2進法 29 ケタ (うち符号 1 ケタ) 倍長数値では 58 ケタ (うち符号 1 ケタ) 浮動小数点法では 29 または 58 ケタ、うち指数部 8 ケタ、符号 1 ケタ
命令	27 種
主要部品	真空管 約 300 本 ゲルマニウム ダイオード 約 2,800 本
クロック周波数	108 kc
主要パッケージ	FF (フリップフロップ), BI (バッファインバータ) CF-1 (カソードフォロワー), CR (クロックパルスレピータ) ID (インディケータ) D1, D2 (ダイオードゲート)
寸法	高さ 1,600×幅 700×奥行 700
表示	ER, FR の内容それぞれ 29 ビット CH コード, S コード, 他 3 ビット, その他電源表示
消費電力	約 2.5 kVA

さなくても電源電圧を ± 10 % 変化させることによってその部分が誤動作し障害を知らせることになる。

このマージンテストのための電源電圧可変回路、およびレジスタの内容、動作状態などを示す全表示回路はすべてまとめて装置の前面最上部にもうけられている。

### 3.2 追加された命令と論理回路動作

前節でものべたように DAS の演算を指令する命令はすべて D=31 の特殊命令グループのあき番号の位置に加えられており、表 3.3 にその詳細が示されている。この命令表には PPR 用語での形が記載されているが、PPR 用語は 2 進 10 進の違いをもつほかは機械用語に非常に近い形をもっているため、前節の説明によって十分理解されるであろう。(PPR 用語によるプログラミングの例については Vol. 33, 7 月号の技術解説を参照。)

これらの命令はすべて特殊命令であるから D, S, をラインの番地として使用できないことはもちろんである。しかし演算には必ずデータのはいつている記憶装置またはレジスタが必要となるから、この命令群では S と CH ビットの組合せによって命令の性質が定ると同時に記憶

表 3.3 DAS のために追加された命令群

略称	L	PPR 用語形							浮動 (FL) 固定 (FX)	単長 (S.P.) 倍長 (D.P.)	機 能	
		P	T または LK	N	CH	S	D	BP			記 号 表 示	説 明
4U1	指定なし	W	T	N	1	16	31	(-)	FL/FX	S.P.	$L8(T) \times (-1) \rightarrow L8(T)$	ライン 8 の語の符号を反対にする
"	"	"	$L_{n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$L8 \times (-1) \rightarrow L8$	" の各語の "
4U5	奇数ワード	W	T	"	5	"	"	"	"	D.P.	$L8(T, T+1) \times (-1) \rightarrow L8(T, T+1)$	" の語の "
"	"	"	$L_{2n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$L8 \times (-1) \rightarrow L8$	" の各語の "
4U2	指定なし	W	T	"	2	"	"	"	"	S.P.	$L8(T) \rightarrow L8(T)$	ライン 8 の語の絶対値を取る
"	"	"	$L_{n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$L8 \rightarrow L8$	" の各語の "
4U6	奇数ワード	W	T	"	6	"	"	"	"	D.P.	$ L8(T, T+1)  \rightarrow L8(T, T+1)$	" の語の "
"	"	"	$L_{2n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$L8 \rightarrow L8$	" の各語の "
4U3	指定なし	W	T	"	3	"	"	"	"	S.P.	$\frac{L8(T)+L8(T+1)}{2} \rightarrow L8(T8)$	ライン 8 の語の負数を 0 にする
"	"	"	$L_{n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$\frac{(L8+L8)}{2} \rightarrow L8$	"
4U7	奇数ワード	W	T	"	7	"	"	"	"	D.P.	$\frac{L8(T, T+1)+L8(T, T+1)}{2} \rightarrow L8(T, T+1)$	"
"	"	"	$L_{2n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$\frac{(L8+L8)}{2} \rightarrow L8$	"
4W0	指定なし		$L2$	"	0	18	"	"	FL	S.P.	$AR \rightarrow ER_0^+$	ER の内容をご破算にして AR を加算形で入れる
4W1	3 mod. 4		$L5$	"	1	"	"	"	"	"	$AR \rightarrow ER^+$	AR の内容を ER の内容に加える
4W2	指定なし		$L2$	"	2	"	"	"	"	"	$ER \rightarrow ER_0^+$	AR の内容をご破算にして、ER の内容を記憶形にもどし替える
4W3	3 mod. 4		$L5$	"	3	"	"	"	"	"	$AR \rightarrow ER^-$	AR の内容を ER の内容から引く
4W6	3 mod. 4		$L_{4n+1}$	"	6	"	"	"	"	"	$\Sigma L8(0 \text{ mod. } 4) \rightarrow ER^+$	ER の内容に $L8(0 \text{ mod. } 4)$ の数をグループで加える
4W4	0 mod. 4		$L4$	"	4	"	"	"	"	"	$L22(01) \times AR \rightarrow L22(03)$	ライン 22 の (01) の数と AR の積をラインの (03) に作る
"	3 mod. 4		$L5$	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4W5	0 mod. 4		$L_{4n}$	"	5	"	"	"	"	"	$L6(1 \text{ mod. } 4) \times L7(1 \text{ mod. } 4) \rightarrow L8(3 \text{ mod. } 4)$	ライン 6 の (1 mod. 4) とライン 7 の (1 mod. 4) の数のペアの積をライン 8 の (3 mod. 4) に作る
"	3 mod. 4		$L_{4n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4X4	偶数ワード		$L_{2n+2}$	"	4	19	"	"	FX	S.P.	$L22(01) \times AR \rightarrow L22(02, 03)$ $L22(03) \times AR \rightarrow L22(00, 01)$	ライン 22 の (01) または (03) の数と AR との積がそれぞれライン 22 の (02, 03) または (00, 01) にダブルの語として作られる。また $n=1$ または 2
4X5	偶数ワード		$L_{2n+2}$	"	5	"	"	"	"	"	$\{L6(1 \text{ mod. } 4) \times L7(1 \text{ mod. } 4)\}$ $\{L6(2 \text{ mod. } 4, 3 \text{ mod. } 4)\}$ $\rightarrow L8(0 \text{ mod. } 4, 1 \text{ mod. } 4)$ $\Sigma \{L6(1 \text{ mod. } 4) \times L7(1 \text{ mod. } 4)\} \rightarrow PN^+$	ライン 6、ライン 7 の (1 mod. 4) または (3 mod. 4) の数がペアで掛けられ、積がダブルの語としてライン 8 の (2 mod. 4, 3 mod. 4) または (0 mod. 4, 1 mod. 4) に作られ、積の $\Sigma$ が PN に作られる
5W1	指定なし		$L_{n+2}$	"	1	22	"	"	FX	D.P.	$L8+L9 \rightarrow L8$	ライン 8 とライン 9 のペアの数の和がライン 8 に作られる
5W5	奇数ワード		$L_{2n+3}$	"	5	"	"	"	"	"	"	"
5X1	指定なし		$L_{n+2}$	"	1	23	"	"	"	"	$L8-L9 \rightarrow L8$	ライン 8 とライン 9 のペアの数の差がライン 8 に作られる
5X5	奇数ワード		$L_{2n+3}$	"	5	"	"	"	"	"	"	"
7W1	奇数ワード		$L_{2n+1}$	"	1	30	"	"	FX	D.P.	$L8(D.P.) \rightarrow L8(S.P.)$	ライン 8 のダブルの語をシングル語に変換
7W2	指定なし	W	T	"	2	"	"	"	"	S.P.	$L8(T) \times 2 \rightarrow L8(T)$	ライン 8 の数を 1 ビット左シフトする
"	"	"	$L_{n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$L8 \times 2 \rightarrow L8$	" の各数をグループで 1 ビット左シフトする
7W6	"	W	T	"	6	"	"	"	"	D.P.	$L8(T, T+1) \times 2 \rightarrow L8(T, T+1)$	ライン 8 の数を 1 ビット左シフトする
"	奇数ワード		$L_{2n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$L8 \times 2 \rightarrow L8$	" の各数をグループで 1 ビット左シフトする
7W3	指定なし		$L_{n+2}$	"	3	"	"	"	"	S.P.	$L8 \times 2^{-1} \rightarrow L8$	ライン 8 の各数をグループで 1 ビット右シフトする
7W7	奇数ワード		$L_{2n+3}$	"	7	"	"	"	"	D.P.	"	ライン 8 のダブルの各語を "
7W4	指定なし	W	T	"	4	"	"	"	"	"	$MQ \cdot L8(T) \rightarrow L8(T)$	ライン 8 の数と MQ との論理積を L8 に入れる
"	"	"	$L_{n+1}$	"	"	"	"	"	"	"	$MQ \cdot L8 \rightarrow L8$	"
7X2	"		$L_{n+1}$	"	2	31	"	"	"	S.P.	$\max\{L8,  ER \} \rightarrow ER$ (その数の WT+2) $\rightarrow AR$	ER にある数とライン 8 の数から最大のものを選び ER に入れ、(その数のワードタイム+2) を AR に取出す
7X3	"		$L_{n+1}$	"	3	"	"	"	"	"	First Non Zero $\{L8\} \rightarrow ER$ (その数の WT+2) $\rightarrow AR$	ライン 8 の最初の 0 でない数を ER に取出し、ライン 8 のその位置を 0 にし、(その数のワードタイム+2) を AR に取出す

注 1. L の n mod. 4 とは、論理的なドラム 1 回転時間に 27 サイクル繰り返す 4 ワードごとのサイクルで、ワードタイム 00 を 0 mod. 4 とし、順次 1 mod. 4, 2 mod. 4, 3 mod. 4 を繰り返す  
 2. PPR 用語をうち、L: 命令語をおく位置、W: 即時実行しないでもよい命令、T または LK: 即時実行しないでもよい命令では命令実行のワードタイム、即時実行するものでは LK として K は (演算時間+1) を記す。

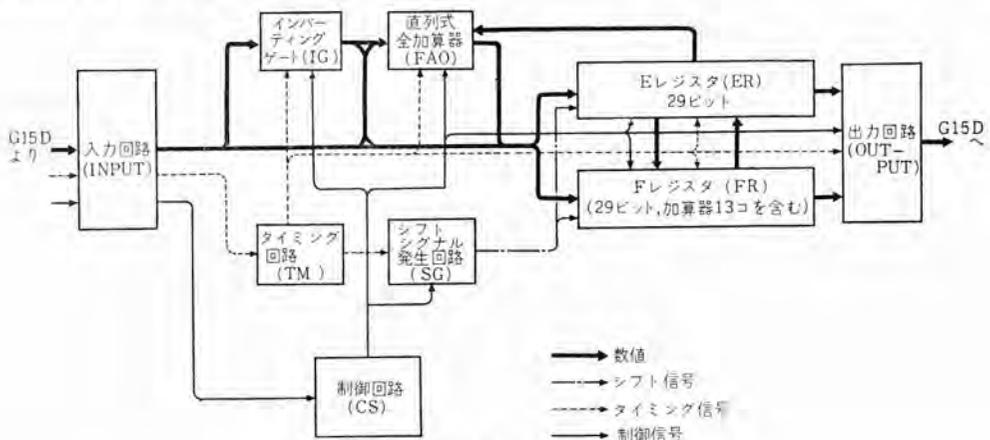


図 3.6 DAS 論理回路ブロック図  
 Fig. 3.6 Block diagram of logical network.

ライン、レジスタ等が一義的に定り、一般的な自由度は失われる。このことは表 3.3 を見れば明らかである。

この表に示されている命令形式は 38 種あるが、命令の数は 27 種である。4U1~4U7 および 7W2, 7W4, 7W6 で示される命令は或る時間待った後に演算を実行することのできる命令で (Pコードを W とする使用法)、この使用法も含め 2 種の形式がある。他はすべて即時実行しかできない命令群である。また 4W4 および 4W5 は命令を置く位置に制約をうけるが、それに二つの場合が可能なものである。

図 3.6 は DAS の論理回路のブロック図である。この図に示すように DAS の主要回路は ER, FR としてあらわされる 2 組の 1 語レジスタで、ER は左右両方向にデータをシフトできるシフトレジスタ、FR は常時右シフトが行なわれていて必要あるときだけクロックパルスをゲートしてデータをスタティックに蓄えることのできる右シフトレジスタである。さらに FR はその中に直列式全加算器 13 個をもち、乗算の場合に偉力を発揮する。このほかに G15D との結合のための入力、出力回路、実行する命令が何であるか——たとえば 4W5 であるとか 7X2 であるとか——を示す制御信号を発生する制御回路、各種時間基準信号を作るタイミング回路、ER, ER のシフトを制御するシフトシグナル発生回路、加減算の場合の補数形変換を行なうためのインバーティングゲートおよび主となる直列式全加算器がもうけられている。G15D の命令のスタティック部分のレジスタによって DAS の演算命令であることが確認されると、演算実行指令によってこれら全回路が動作状態にはいる。

以下命令の内容およびその場合の論理回路動作についてその概略をのべる。

### 3.2.1 4U のグループ

この演算グループはデータの変形だけを実行するものである。これらの命令群では情報源、行先ともにライン 8 が指定される。すなわち通常の記憶動作における読み出し増幅器から書き込み増幅器への循環をブロックして、その代わりに DAS の回路で処理されたデータを書き込み増幅器へ送って入れ換える操作が行なわれる。

#### (1) 4U1, 4U5

この命令はライン 8 に記憶されている語の符号を反対にするもので、通常ブロックネイトと呼んでいる。

4U1 は単長数値、4U5 は倍長数値の場合に使用される。図 3.7 はこの演算の動作説明図である。ライン 8 のデータはインバーティングゲートにあるバッファインバータ (BI) に印加され、符号ビットの通過する時間  $T_s$  (単長数値  $\dots \bar{C}_1 = "1"$  のときは  $T_1$ 、倍長数値のときは偶数

語  $\dots CE = "1"$  の  $T_1$  だけ) だけライン 8 のノットが、 $\bar{T}_s$  ではノーマルが通過してライン 8 の書き込み回路に送られる。

#### (2) 4U2, 4U6

この命令はライン 8 に記憶されている語の絶対値を取るもので、ブロック・アブソリュートバリュウと呼ばれる。4U2 は単長数値、4U6 は倍長数値の場合に使用される。図 3.8 はこの演算の動作説明図で、4U1, 4U5 のときとほとんど同様である。このときは  $T_s$  の時間だけ伝送路がブロックされ  $T_s$  で数値部だけがライン 8 の書き込み回路に送られる。

#### (3) 4U3, 4U7

この命令はライン 8 に記憶されている語のうち負の語を 0 にしてライン 8 に循環させるもので、ネガティブ・エリミネーションと呼ばれる。4U3 が単長数値、4U7 が倍長数値であることは前二者同様。図 3.9 はこの演算の説明図で、 $T_s$  の時間に EB の条件が "1" (負の数) であれば IS フリップ・フロップをセットし、"0" であればリセットする。ライン 8 へのデータの送り出しは IS フリップ・フロップがリセットされている間だけ行なわれ、したがって負の数が 0 になる。

### 3.2.2 4W のグループ

このグループは浮動小数点の加減算、乗算の命令群で、

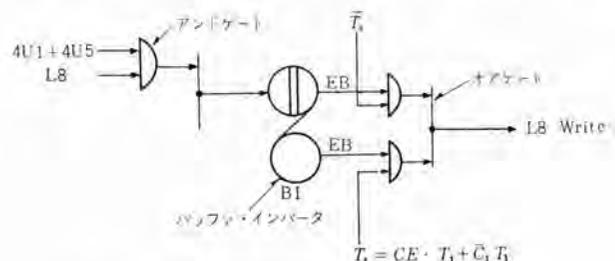


図 3.7 4U1, 4U5 の動作  
Fig. 3.7 Logical operation at 4U1 and 4U5.

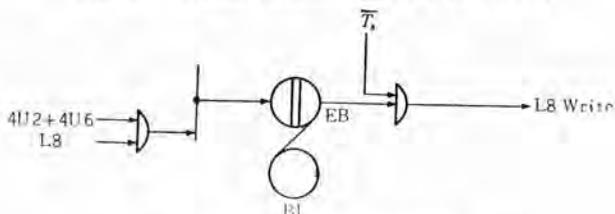


図 3.8 4U2, 4U6 の動作  
Fig. 3.8 Logical operation at 4U2 and 4U6.

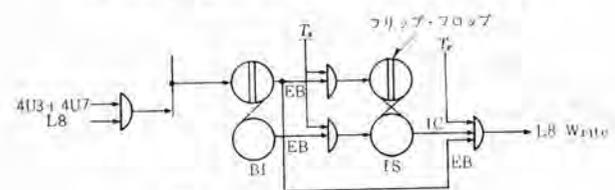


図 3.9 4U3, 4U7 の動作  
Fig. 3.9 Logical operation at 4U3 and 4U7.

取扱う数値はすべて単長数値である。

(1) 4W0

この命令は G15D 本体の累算レジスタ, AR に記憶されている浮動小数点数を加算形に改めて ER にロードするもので, 普通クリヤ・アンド・アッドと呼ばれる。

ER は一種の累算用レジスタで 29 ビットの容量をもち左右にシフト制御することのできるシフトレジスタである。この中には  $E_1$  (符号用) 1 個,  $E_2 \sim E_9$  (指数部用) 8 個,  $E_{10} \sim E_{29}$  (仮数部用) 20 個のフリップフロップがあり数値の導入はすべて MSD のはいるべき  $E_{29}$  から右シフトによって行なわれる。

図 3.6 において AR から導入された数値はまずインバーティングゲートに印加され, ここで負の数であれば 2 の補数形に変換して  $E_{29}$  から ER にロードされる。

補数形への変換動作は数値が浮動小数点であるから仮数部だけを対象に行なわれる。この場合図 3.9 の 4U3 の場合と同様に IS フリップによって正負の判別を行ない処理動作を区別する。

もし正の数が入力されたならば IS はリセットされており指数部も仮数部もなんらの変形をうけずにそのまま ER に導入され 1WT でロードが完了する。

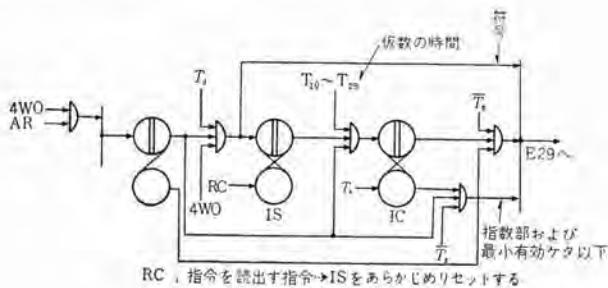


図 3.10 補数形変換回路  
Fig. 3.10 Inverting gate.

もし負の数が入力されたならば IS はセットされ補数形への変更を指令する。すなわち図 3.10 において符号と指数部はそのまま ER に導入されるが, 仮数部のいちばんケタの小さい有効ケタ ("1") が来たならば IC フリップ・フロップがセットされてそのケタ以降をすべて反転して ER に送り込む。このようにして負の数の場合の補数変換が行なわれる。この動作中, 負の数であるにもかかわらず仮数部がすべて 0 の場合は -0 を意味するから, 後で演算の例外条件となることをさけるために最後に IC の状態からこれを検出して  $E_1$  (符号用フリップフロップ) をリセットし, +0 に訂正する。

(2) 4W1

この命令は ER にある数 X (仮数  $x$ , 指数  $\xi$ ) に G15D の AR にある数 Y (仮数  $y$ , 指数  $\eta$ ) を加算する浮

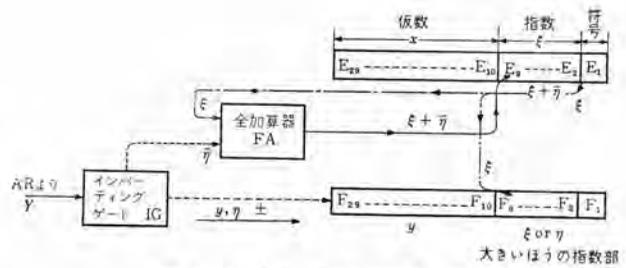


図 3.11 浮動小数点加減算,  $\Gamma_1$   
Fig. 3.11 Logical operation of floating addition and subtraction at phase  $\Gamma_1$ .

動小数点演算で, アッドと呼ばれる。浮動小数点数 X と Y との加算は次の順序で行なわれる。

- X と Y の指数部  $\xi, \eta$  を比較しその差を求める。
- 指数部の大きいほうの数を基準にして指数部が等しくなるように小さい数の仮数部を右シフトしケタを合わせる。
- 仮数部の加算を行なう。
- 加算結果をノルマライズする。

DAS においてはこの演算は 4WT の時間 (1.08 ms) しかかって実行されるが, この 4WT を順々に  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$  の時間位相と呼び上記 a~d の操作を行なわせる。

a.  $\Gamma_1$

この時間には加算に必要なケタ合せの準備を行なう。すなわち AR からの数 Y をインバーティングゲートを通して加算形にあらため FR にロードし, これと同時に指数部  $\xi, \eta$  の比較を行なって何ビットのケタ合せを行なえばよいかを求めておく。

FR は  $F_1$  (符号) 1 ビット,  $F_2 \sim F_9$  (指数部) 8 ビット,  $F_{10} \sim F_{29}$  (仮数部) 20 ビットからなる右シフトレジスタで, 4W0 におけると同様な手法で加算形になおされた Y が  $F_{29}$  から符号, 指数部, 仮数部の順で導入される。

一方  $E_2 \sim E_9$  にすでにロードされている  $\xi$  とインバーティングゲートから  $\bar{\eta}$  が全加算器 FA に印加されその和の  $\xi + \bar{\eta}$  が  $\xi$  の代わりに  $E_2 \sim E_9$  にロードされる。この  $\xi + \bar{\eta}$  は  $\xi$  と  $\eta$  の 1 の補数形を使った減算で, もし最後にケタ上げパルスがあるならば  $\xi > \eta$  であり, なければ  $\xi \leq \eta$  をあらわす。本当の X と Y の加算はケタの大きい数にそろえて行なわれるからケタの小さいほうの指数部は加算の最後まで残しておく必要はない。  $\xi$  と  $\bar{\eta}$  が FA に印加されその和が  $E_2 \sim E_9$  に導入される時にはまだ  $\xi$  と  $\eta$  の大小が判別されていないから  $\xi$  を一時どこかに蓄えておく必要がある。FR には Y が導入されるが  $F_{29}$  から順次シフトしてロードされて行くので最初の 8 ビットの時間には  $F_2 \sim F_9$  はあき状態となっている。このことを利用して  $\xi$  は  $E_2 \sim E_9$  から一時  $F_2 \sim$

$F_9$ に移しかえておく。この移動の時間以外は  $F_2 \sim F_9$  のシフトパルスは停止する。

$\xi + \eta$  の演算のケタ上げパルスの有無によって  $\xi$  と  $\eta$  の大小関係が判別すると、 $\xi > \eta$  ならばそのまま、 $\xi \leq \eta$  ならば  $F_{10}$  から  $F_9$  へ移るゲートをあけて  $F_2 \sim F_9$  の右シフトパルスを復活させる。するならば 1 WT 終わったときには  $F_2 \sim F_9$  に大きいほうの指数部が、 $F_{10} \sim F_{29}$  には  $y$  が、また  $E_2 \sim E_9$  には  $\xi$  と  $\eta$  の差の情報が、 $E_{10} \sim E_{29}$  には  $x$  がはいっていることになる。  $\Gamma_1$  の動作は簡単に図 3.11 に示されている。

b.  $\Gamma_2$

この時間にはケタ合せを行なう。  $\xi$  と  $\eta$  のどちらが大であったかは  $\Gamma_1$  の時間の FA のケタ上げパルスによって示されたが、これが FA のキャリフリップフロップ CFO に蓄えられておりこの条件によってケタ合せを行なう。  $E_2 \sim E_9$  にはいっている差の情報は次の形になっている。

$$\text{CFO} = 1 \quad \xi > \eta \text{ のとき, } |\xi - \eta| - 1$$

$$\text{CFO} = 0 \quad \xi \leq \eta \text{ のとき, } |\eta - \xi|$$

$E_2 \sim E_9$  は適当な制御信号を与えることによって可逆カウンタになるよう構成されており、  $\xi > \eta$  のときには逆カウンタとして、  $\xi \leq \eta$  のときには正カウンタとして動作させ  $E_2 \sim E_9$  がフルアップするまで続けるならば、そのときのカウントされた数が必要なケタ移動の数をあらわすことになる。

よって CFO=1 ならば  $E_2 \sim E_9$  がフルアップするまで  $y$  を (FR の仮数部) 右シフトさせ、 CFO=0 ならば逆に  $x$  を (ER の仮数部) 右シフトさせればケタ合せが完了する。

c.  $\Gamma_3$

$\Gamma_3$  の時間には仮数部の加算を行なう。このため  $E_{10} \sim E_{29}$ 、  $F_{10} \sim F_{29}$  の内容 ( $x$ 、  $y$ ) がケタの小さいほうから順次 FA に導入されその和が  $E_{29}$  から ER に導入される。すなわち加算結果が ER に蓄えられる。 ER の内容を正しい結果の形にするために、  $\Gamma_2$  において  $F_2 \sim F_{10}$  に一時蓄えられていた  $\xi$  または  $\eta$  の大きいほうの

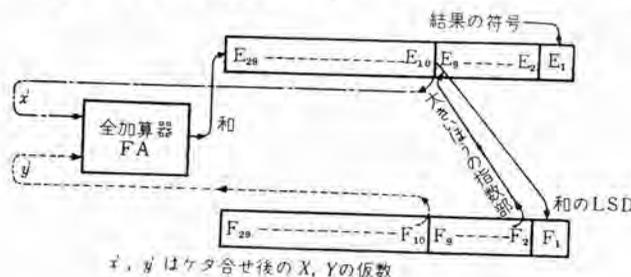


図 3.12 浮動小数点加減算  $\Gamma_3$   
Fig. 3.12 Logical operation of floating addition and subtraction at phase  $\Gamma_3$ .

数が同時に  $E_2 \sim E_9$  に移しかえられる。  $\Gamma_3$  の加算では最後の時間に FA の CFO の条件と符号フリップフロップ  $E_1$ 、  $F_1$  の条件によって結果の符号が定るのでこれを  $E_1$  に移しておく。

また加算の結果ケタ上げが出ることもありうるので 20 ビットの数の結果は 21 ビットと考え、最小ケタは一時  $F_1$  にたくわえる。

$\Gamma_3$  の動作は図 3.12 に簡単に示されている。

d.  $\Gamma_4$

$\Gamma_4$  の時間にはノルマライズを行なう。  $\Gamma_3$  で得られた加算結果の仮数部は 21 ビットシフトされているので、1 ビット余計に右シフトされたことになりもし結果がノルマライズされ終わった形をもっていたとしても指数部に 1 を加える補正が必要である。また普通の場合は最高ケタ  $E_{29}$  が有効数字……結果が正の数のときは“1”、負の数ならば“0”……をもっているとは限らないので、  $E_{29}$  に有効数字がくるまで左シフトを行なってノルマライズする。このとき指数部もシフトにともなう補正をすることはもちろんである。このため  $\Gamma_4$  ではふたたび  $E_2 \sim E_9$  はカウンタとして動作する。

以上の操作によって浮動小数点の加算が終了する。この演算は非常にたくさんの例外条件をもっており、有効ケタが 1 個しかない負の数、一方が非常に小さい数で 0 と見なしているもの、加算の結果オーバフローしたり 0 になったりする場合等々複雑なプロセクションが必要である。実際の回路および動作は上記説明のように簡単ではないが、詳細に説明をする紙面がないのでそれらの点については省略することにする。

(3) 4W2

この命令は 4W0 の逆の命令で、ER にある数 (普通の場合加算結果) を加算形へ記憶形の変換をして AR にもどす操作で、普通ストアと呼ばれる。4W0 と同じ操作をインバーティングゲートで実行するだけであるから説明は省略する。

(4) 4W3

この命令は浮動小数点の減算で 4W1 の AR からの数 (Y) の符号が逆になったと同様である。この場合はインバーティングゲートにおける補数形への変換を正の数に実施すればあとは 4W1 とまったく同一である。

(5) 4W6

この命令は ER にある浮動小数点数にライン 8 にある数をグループで加算する演算で、グループアディションと呼ばれる。この演算も 1 語について考えれば 4W1 とまったく同じで、1 語の加算の結果が ER にでき、それにさらに次のライン 8 の数が加えられ、順次総和を作って行

くものである。この演算で総和のとれる数はライン 8 の 4 語おきの数でしかも 3mod, 4 にある (表 3.3 の注参照) 数に限られる。

(6) 4W4

この命令はライン 22 (4 語ライン) の (01) にある数と AR にある数の積を作りライン 22 の (03) の位置に入れる浮動小数点乗算で、マルチプレケーションと呼ばれる。

浮動小数点数の積は次の順序で実行される。

- (a) 被乗数 X と乗数 Y の指数部分を加え合わせる。
- (b) 結果の符号をきめる。
- (c) 仮数部の積を作り前に演算した指数部、符号と一体とする。

DAS においてはこの演算は 3WT を要する。しかし G15D では 3WT という時間基準が使いにくいのであそびの 1WT をもうけて 4WT で実行するよう作られている。この 4WT を順々に  $M_1, M_2, M_3, (M_4)$  の時間位相と呼び上記の (a)~(c) の操作を行なわせる。

a.  $M_1$

被乗数 X は AR にありこれが導入されてインパティンゲートに印加される。乗算においては補数形の変換は不必要でインパティンゲートを使用する必要はないはずであるが、この場合は加減算のときに実施した -0 の検出操作を利用して 0 であるか否かの判定を行なうために使用する。すなわち IS フリップフロップを強制的にセットして使用し -0 検出を 0 検出と考える。X は  $M_1$  でふたたび AR にもどされる。ただし符号と指数部だけは循環するばかりでなく DAS の中にも導入されて、指数部の和、結果の符号を作る操作をうける。

一方乗数 Y はライン 22 の (01) の位置にあり  $M_1$  で X 同様 DAS に導入され別に 1 組もうけられたインパティンゲートで 0 検出が行なわれ、仮数部はそのまま  $E_{29}$  から ER にロードされる。

X と Y の指数部はともに全加算器 FA に印加されその和が  $E_{29}$  から ER にロードされる。前にもべた Y の仮数部は時間的に指数部とずれており指数部の和に続いて ER にはいることになる。

結果の符号はエクスクルーシブリ・オアの条件で得られるので両者の符号から判定されて  $E_1$  に導入される。

この結果  $M_1$  の終わりには  $E_1$  に結果の符号、 $E_2 \sim E_9$  に結果の指数部 (ただし後にのべる修正を要す) および  $E_{10} \sim E_{29}$  に乗数 Y の仮数部が蓄えられていることになる。

インパティンゲートによる 0 検出は  $M_1$  の  $T_{29}$  に行なわれるので、もしどちらかが 0 であったならば、あき状態となっている  $F_1$  フリップフロップをセットしておく。これは後に乗算結果を DAS から取出すときに符号、指数部および仮数部をすべて 0 にするのに役立つ。

b.  $M_2$

$M_2$  の時間には前には求めた指数部の修正と、実際の仮数の乗算を実行する。(乗算は  $M_3$  までかかる)

まず指数部の修正を行なう。 ( $M_2 \cdot T_1$ ) DAS の浮動小数点数数値の指数部は  $2^2$  を示すのに 10000000 をもっているいわゆる エクス 128 方式であるから、X と Y の指数部の和  $\xi + \eta$  においては 128 が余計に加えられた形となっている。これは  $\xi + \eta$  のときの最後の  $\eta$  上げパルス (CFO に蓄えられている) と実際の  $E_9$  の状態とから真の  $E_9$  の条件が求められる。  $E_9 \sim E_3$  は修正の必要はない。

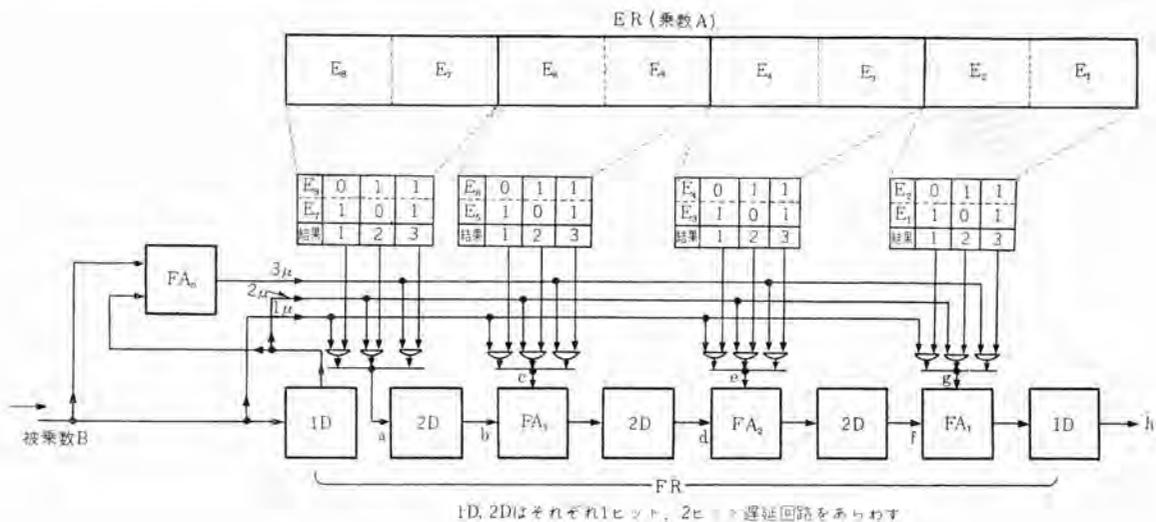


図 3.13 直並列高速乗算のブロック図  
Fig. 3.13 Block diagram of serial-parallel multiplication logic.

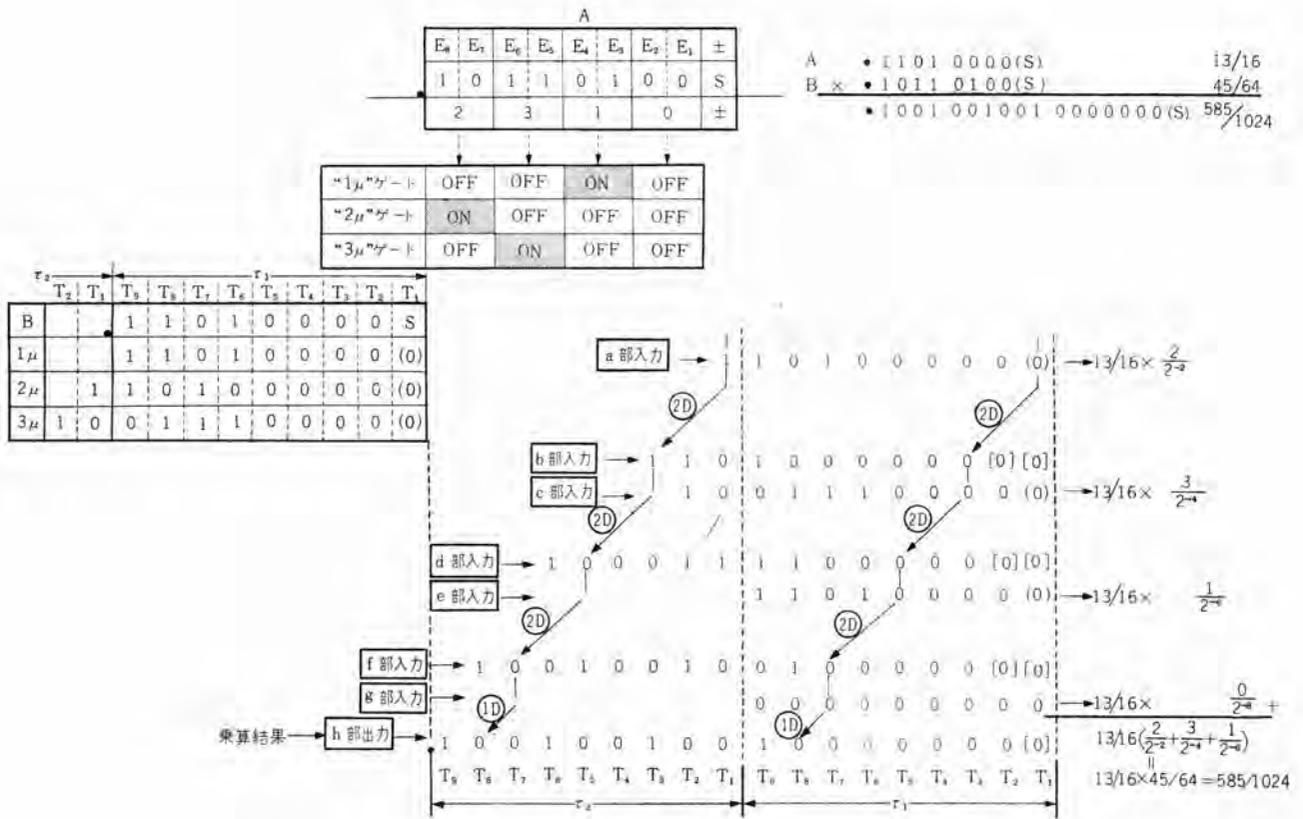


図 3.14 直並列高速乗算の動作説明図

Fig. 3.14 Logical operation of serial-parallel multiplication.

つぎに  $M_1$  で AR にもどされた X は  $M_2$  にふたたび DAS に導入された仮数部の乗算が行なわれる。

DAS の乗算は直並列乗算法として知られている高速演算で、この原理を図 3.13, 3.14 にしたがって説明する。この両図は理解を容易にするために、固定小数点の 8 ビットの 2 進数 (除符号) に例をとってあらわしたもので、仮数部だけの乗算においては固定小数点の積と考えてなんらさしつかえない。

図 3.13 において ER ( $E_1 \sim E_8$ ) には乗数 A がロードされている。FR は 2 ビットの遅延回路 (2 個のフリップフロップで構成される) を介して直列に全加算器が挿入されているシフトレジスタである。いま被乗数 B が導入され FR の最高ケタに当たる 1 ビット遅延 フリップフロップに加えられる。1 ビット遅延させた数は前の数の 2 倍である。また全加算器  $FA_0$  を使ってこの  $2B$  と  $B$  とが加算され  $3B$  を作り出す。これらをそれぞれ  $1\mu$ ,  $2\mu$ ,  $3\mu$  とあらわしている。

一方 ER にロードされた乗数 A は 2 ビットごとに区切って取扱われ、各区切られた 2 ケタごとからその状態が 00, 01, 10, 11 のいずれであるかが検出される。図 3.13 に示すようにもし A が 10110100 (13/16) であるならば  $E_8, E_7$  の組は 2 であり  $E_6, E_5$  は 3 で順次 2, 3, 1, 0 であることがわかる。この条件でそれぞれ  $1\mu$ ,

$2\mu$ ,  $3\mu$  のゲートが開閉される。A が 13/16 のときは  $E_8, E_7$  によって  $2\mu$  のゲートが開き B の 2 倍が FR の a 点から導入される。これは図 3.13 の a 部入力である。この信号は 2 ビット遅れて  $FA_3$  の入力 b になり、一方  $E_6, E_5$  の条件で選択された  $3\mu$  と  $FA_3$  で加算される。これが図 3.13 の b 部入力, c 部入力である。この場合 b 部入力は 2 ビット遅れているために c 部入力に比して 2 ケタ高い時間位置 ( $2^2$  をかけた形) になっていることに注意されたい。このことは  $E_8, E_7$  で示される  $2 \times 2^2 \times B$  と  $E_6, E_5$  で示される  $3 \times B$  とが加えられたことを意味し乗算操作が行なわれていることになる。 $E_4 \sim E_1$  で示される部分もこれとまったく同様な動作をする。この結果図 3.13 に示すような演算が行なわれて結果が FR に逐次現われて来る。

いま、被乗数 B と乗数 A の最低ケタとの積は  $FA_1$  から FR に加え込まれすぐに FR の h 部から外部に取出される。しかるに B の最高ケタはそれより約 1 WT 遅れて FR の a 部に加えられ、さらに 1 WT 遅れて (FR の中を約 1 WT かかって通過する) h 部から取出される。すなわち積は 2 WT になって取出されることを意味する。

$M_2$  の時間に AR からふたたび X が取入れられるとその仮数部は FR,  $FA_0$  を通って ER の内容 Y によ

って制御され順次 FR に加えこまれて行く、X の MSD が 1 ビット遅れて FA₀ にはいりもし ヶタ 上げがある場合にはさらに 1 ビット遅れて FR に導入される。このため ER の ゲート 制御は M₃ の T₉ まで実行する必要がある。

#### c. M₃

M₂ のところでのべたように積は M₂, M₃ で作られる。X と Y の積は浮動小数点演算では 1 語の長さに切取って ライン 22 に送られる。このため M₃ の T₁ には E₁ の内容を、つぎに E₂~E₉ の指数部を取出し M₃ の T₁₀~T₂₉ に FR の内容を取出す制御を行なう。この結果完全な積が取出されて ライン 22 に供給される。先に 0 検出の結果が F₁ に蓄えられていたが、もし F₁=1 ならば結果は 0 のはずであるから ライン 22 に送り出すゲートを閉じてすべてのビットを 0 にする。

以上で乗算が完了する。加減算の場合同様 オーバフローなどの例外条件、0 捨 1 入などの操作を行なっているが複雑なので説明を省略する。

#### (7) 4W5

この命令は ライン 6 と ライン 7 にそれぞれ被乗数、乗数がいっている場合の乗算で結果は ライン 8 に作られる。この演算では グループ の取扱いが可能なので、ライン 6 と ライン 7 の同じ時間位置にある数が ペア で掛けられて積が ライン 8 にはいり、4 語ごとに続けて実行できる。動作としては 4W4 とまったく同様に、ペアマルチプレケーションと呼ばれる。

#### 3.2.3 4X のグループ

このグループは固定小数点の乗算で浮動小数点の 4W4, 4W5 にそれぞれ 4X4, 4X5 が対応している。演算動作としては原理的に 4W4, 4W5 のときと同じであるが指数部がないので仮数部の積と同じ操作だけが行なわれる。

#### (1) 4X4

この命令は ライン 22 の (01) にある数と AR にある数との積を ライン 22 の (02, 03) に作るもので、ファーストマルチと呼ばれる。固定小数点であるので積は倍長の形をそのまま残すことにしている。

この演算は指数部の処理が不要なので浮動小数点の場合の M₁ と M₃ を同じものとして考えることも可能である。

まず M₁ で ライン 22 の数が ER にロードされ、AR の数はいったん AR にもとされる。つぎに M₂ に AR の数がふたたび DAS に導入され、4W4 のときとまったく同一の操作が行われ積が FR にはいりはじめる。M₂ の T₂₉ には AR の最高 ヶタ が F₂₉ に加えられ導

入が完了するが、3 $\mu$  を作るために最高 ヶタ は 2 ビット遅れ次の M₁ の時間の T₂ に E₂₉, E₂₈ で定められるゲートを通す。このようにして 3WT で完全に積が ライン 22 に書き込まれる。

#### (2) 4X5

この命令は 4X4 の ペア 動作に当たるもので、ライン 6 と ライン 7 の数が ペア でかけられて積が ライン 8 に作られる。これも積は倍長として記憶される。この場合 4X4 でのべたように、最高 ヶタ の FR への導入は 3WT 目 (次の M₁) の T₂ に行なわれるので ER の内容をそれまで停止させておくことが必要である。この演算では M₁ と M₂ の位相だけであるため、つぎのペアが導入される M₁ と積の最後が FR の中を通って行く M₁ とが同一になる。このために ER の内容の入れ換え時期が問題となる。ER にロードされる乗数は符号だけ特別なルートで E₁ に送られるので、実際には T₂ 以降しか ローディングには関係しない。前回のべた最高 ヶタ が FR にはいるのは M₁ T₂ であるから M₁ T₂ で ER のシフトを開始するようにすればちょうど過不足ない時間関係で連続した ペアマルチ が実行できることになる。

このようなわけで 4X5 においては N 個のペアの乗算を行なったときに (2 $\times$ N+1) WT の時間を要することになる。

またこの命令では積の総和が G15D の PN に同時に作られる。

#### 3.2.4 5W のグループ

このグループは固定小数点の ペア の加算である。

5W1 は単長数値に、5W5 は倍長数値に使用される。ともに ライン 8 と ライン 9 の各対応する時間位置にある数の ペア の和が ライン 8 に作られて行く。演算はインパティンゲートにある 2 組の補数変換回路と全加算器 FA₀ で行なわれ、普通の 2 の補数を使用した直列加算である。加減算の場合和の符号は全部の数値の加算を行なった後で決定されるので 1 語の遅延回路が必要になる。すなわち FA₀ による和の結果はいったん ER にロードされ、5W1 のときは E₁ から 5W5 のときは ER からさらに FR を通って F₁ から外部に取出される。この結果 ペア のグループ操作を行なったときは (N 個) (N+1) WT の演算時間を要し結果は ライン 8 の 1 語 (5W5 では 2 語) 遅れた位置に作られることになる。

#### 3.2.5 5X のグループ

このグループは 5W グループ に対応する減算で ライン 8 から ライン 9 が引かれる以外まったく同じである。動作としても ライン 9 の数の符号をまったく逆にして取扱

う以外すべて同一である。

### 3.2.6 7W のグループ

このグループはグループ操作に属する雑演算である。

#### (1) 7W1

この命令はライン8に記憶されている倍長数値語を単長数値語に変換するもので、結果は1語おきに蓄えられることになる。

この命令が指令されるとライン8の倍長数値は次々にDASに読み込まれFRにロードされる。1WT経過すると倍長数値のケタの低い部分(偶数WT)が全部FRにはいり、ライン8からはケタの高い部分が取出されはじめる。この2WT目の $T_1$ に $F_1$ の内容を取出せば、それはこの数値の符号を示すから、それを先頭に $T_9 \sim T_{29}$ までライン8からのケタの高い部分を続けて送り出せば倍長数値が単長数値に変換されたことになる。ケタの低い部分はFRの中で消滅する。

#### (2) 7W2, 7W6

この命令はライン8の数を1ビット左シフトする(2をかける)グループ操作で、7W2は単長数値に、7W6は倍長数値に使用される。普通グループ左シフトと呼ばれる。

この演算は1ビット遅延回路を挿入することによって簡単に実現できる。すなわちライン8の数はFRに導入され $F_{29}$ だけを通してすぐにライン8に循環させられる。この結果すべての数が1ビット左シフトされる。この場合各語(単長のときはすべての語、倍長のときは偶数語)の $T_2$ の時間はブロックされて0がはいる。

#### (3) 7W3, 7W7

この命令は7W2, 7W6に対して逆の1ビット右シフトで、グループ右シフトと呼ばれる。この操作では1ビット早く数を循環させなければならぬから、記憶場所を1語ずつずらして(1語-1ビット)の遅延回路を挿入する形をとる。

7W3では直接ライン8の数がFRに導入され $F_2$ から数値が $F_1$ から符号が取出される。 $T_{29}$ の時間はブロックされて0がはいる。

7W7ではライン8の数はいったんERを通してFRに導入され57ビットの遅延をうける。取出し方は7W3と同様で、奇数語の $T_{29}$ がブロックされて0がはいる。

#### (4) 7W4

この命令はG15DのMQレジスタの内容とライン8の数との論理積をグループで作るもので、グループ・エクストラクトと呼ばれる。回路は単にMQとライン8の一致を取るアンド回路1個があるだけである。この操作は分類操作の場合に役立つ。

### 3.2.7 7X のグループ

このグループは一種のテーブル・ルッキング操作である。

#### (1) 7X2

この命令はライン8の数の中から最大値を選びこれをERに取出し、(その数の記憶されていたWT+2)をARに取出す操作で、マキシムセレクションと呼ばれる。この演算ではすべて絶対値で比較され符号は関係しない。まずライン8からの数がDASに導入されFRと $FA_0$ に導かれる。 $FA_0$ に加えられたものはERまたはFRから別に $FA_0$ に加えられる数との大きさの比較を担当し、FRに加えられたものはもしこの数が大きかったときにその数を残す目的に利用される。 $FA_0$ では1の補数形を使用した減算が行なわれ、1WTの終わりにケタ上げパルスがあれば(2WT目の $T_1$ にCFOがセットされていれば)FRに導入した数が大なることを示し、そうでないならば前に残されていた数が大きかったことを示す。このケタ上げの条件はGFフリップフロップなる制御回路に1語の時間蓄えられる。GFの状態は前のWTに比較した数のどちらが大きかったかを示しており、もし前にライン8から導入した数が大きかったならばFRの数を $F_1$ から取出して $FA_0$ に印加して次に導入される数と比較させると同時にそれをERにロードする。もし新しくライン8から導入した数のほうが小であったならば前の数はERに移されているから、GFの条件によってERの数が $FA_0$ に印加されると同時にふたたびERに循環させられる。このようにしてつねに大きい数がERにロードされる。新しい大きな数がERにロードされるときに(FRからERへの数の移動が指令されるとき)GFはさらにG15DのナupartラックCNの内容をARに移す回路を開く。このようにしてつねにより大きな数がERにロードされ、その数がライン8から読出された次のナupartラックのワードナンバーがARに残されることになる。

この演算で最初にERに0をロードしておけばライン8の最大値が、もしERにある数をロードしておけばその数を含めて最大値が選出されることになる。

#### (2) 7X3

この命令はライン8の数をワードタイムの若いほうから見最初にある0でない数をERに取出し、7X2と同様に(その数の記憶されていたWT+2)をARに取出しさらに前の記憶場所を0にする操作で、ファーストゼロ・セレクションと呼ばれる。

この演算ではライン8の数は順次DASに読み込まれ、インバージョンゲートで0検出を行なわれると同時にERに導入される。もし0でないことが検出されたらERのラ

イットがとめられてその数が ER に残る。

また一方 0 でないことが検出されたならば GF がセットされ、フロッパトラック CN を AR に読み込むことを指令し、1 WT 経過した後に GF はリセットされて同時に演算の実行をターミネートする信号を G 15 D に送る。

このようにして最初の フロッパ が ER に取出され、ワードタイムが AR にマークされる。この動作中 ライン 8 の循環はつねにブロックされ フロッパ が取出されたと同時に循環が開始される。

#### 4. む す び

以上 DAS の目的、機能、論理動作等、その概略をのべたが、最後にその実用性について一言付云しておく。

デジタル 計算機の大きな特長の一つにフレキシビリティがあげられることは論をまたない。たとえば電子計算機が普通の計算業務だけでなく、プログラム いかんによっては翻訳などにも使用することができることはこの好例であろう。このフレキシビリティはその計算機が制約の少ない一般的な論理動作命令をもっているほど大きくなる。これは一つの操作を単純な論理演算の組合せによって具体化するほうが、その操作を指令するただ 1 個の特殊命令をもつものより多角的な取扱いが可能であることに起因している。

このような考え方に立つならば、あまり複雑なしかも特殊な命令群をもたせ、その命令を実行させる回路をハードウェアで構成させることは必ずしも好い方法とはいえない。たとえば本稿でも取上げたように、Bendix G 15 D が固定小数点演算だけの回路をもち、浮動小数点演算をサブルーチンで実施している事実はその一つのあらわれといってよい。

しかしそれならば浮動小数点演算回路やその他特殊回路をもつ DAS のような装置を製作することはナンセンスかといえば必ずしもそうではない。厳密ないい方をすればただ 1 個の命令以外はすべて余計なものであるとさえ

いわれているが、しかしそのようなものを用いたならばプログラムが極端に複雑になりまた大変な演算時間を必要とする。そのため能率と費用の両者を考え合わせて最近ではハードウェアを増加する方向になっている。これは初期の EDSAC や SEAC 等々のいわゆる Laboratory Computer と大いに異なった考え方で、この極端な例として IBM の STRECH などをおこなうことができる。要は計画される計算機の目的、使用方法などを主眼にして、大きな立場から考えていかなる規模、いかなる方式が適しているか、経済性をも考え合わせて結論が出されるべきである。

ここに取上げた演算高速化装置 DAS はそのような考え方からするならば、とくに科学技術計算、分類演算に適した多少専用計算機に近い性格のものと考えられ、この装置のもつ大きな機能を有効に発揮させることはいつにかかって DAS を一体とした新しいプログラム・ルーチンの開発にかかっているといえるであろう。

さらに DAS の製作に当って筆者らの痛感したことは、いかにすれば安定した、しかも経済的な回路を作り出すことができるかという点である。素子の数が増加したばあいの機器の信頼度はその素子の数の平方根に逆比例して低下するといわれるが、今日のように総合的な技術と機器が要求されるようになると、信頼性と経済性が非常に大きな問題となってくる。いかに有用な技術、優秀な回路であろうとも、これを実用化するには大きな意味での製造の技術の助けをかりなければならず、それが直接に安定性、経済性に影響して来るのである。

学問上の優秀性をうたわれながら、ともすれば製造の面での遅れをとらないがちなわが国において、この方面の着実な歩みが進められて信頼性のより高い素子、部品が製作されることを祈ってやまない。

最後に本機の具体化に当たり種々のご助力をいただいた鉄道技術研究所ならびに三菱電機の諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

(35-6-20 受付)

## タービン発電機の基礎

タービンおよび発電機は図1に示すようなしっかりした基礎架台の上に据付けて運転する。したがって架台はタービン、復水器、発電機等の静荷重をうけるが図1に見るように、開口部を持つ。これに配管、配線、界磁導線、励磁機導線等を付設するので架台の固有振動数をあらかじめ知ることはむずかしいがこの数値は機械の回転数より、±30%離すようにする。また架台は建家や他の基礎とは別個につくるが、大きながんじょうな構造にすれば静粛運転を期待できるがこれには経済的な限度がある。架台は各種機器を所期の位置に保持し、機器の満足すべき運転特性をあげさせるような性能を持たせるなど重要な役目を持つ。

基礎架台の設計は多分に過去の実例や経験的要素を基にして行ない適当な剛性を付与させる。基礎にかかる垂直静荷重としてはタービン、復水器、発電機などの機械自体の自重によるものでこの値は(Vとす)メカから指示される。(図3参照)



図1 タービン発電機基礎(模型)

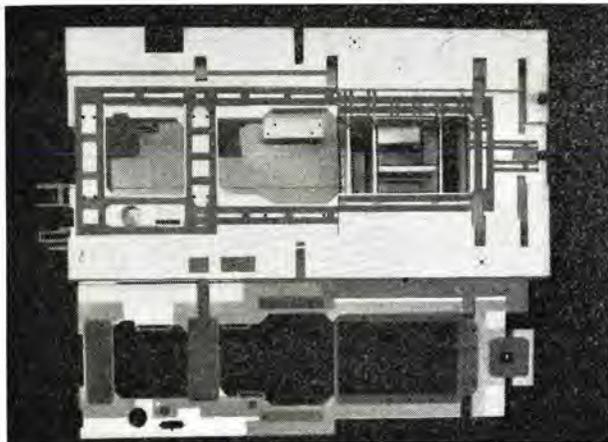


図2 タービン発電機基礎(上部から見る)

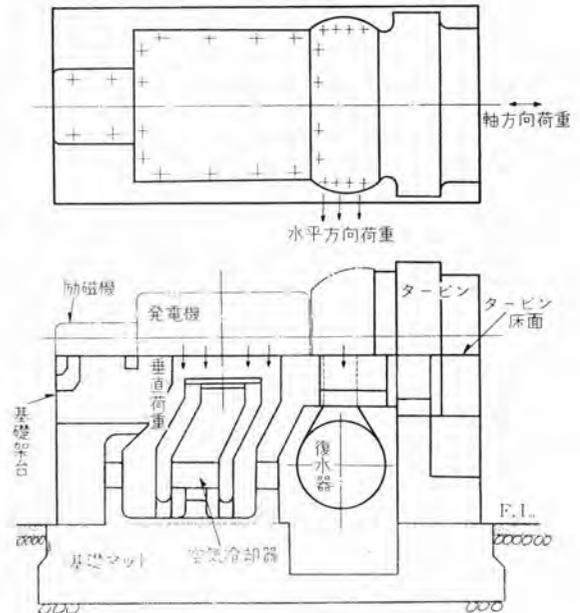


図3 発電機荷重分布図

基礎の上部構造を確保するため動荷重としてタービン発電機の軸方向荷重0.10V、水平荷重0.25V、上下方向荷重0.25Vを考慮に入れる。この上下方向動荷重として0.25Vをとる代わりにつぎのように計算することもある。まず機械の全負荷トルクを定格、速度から算出する。固定部分の弾性効果のために短絡トルクの大部分は基礎には伝達されないが基礎にたいしては衝撃として加わる。

実際、最大短絡トルクは全負荷トルクの10倍以上であるが基礎の荷重計算には全負荷トルクの5倍の値を採用するのである。

経験によればハリや支柱の垂直たわみや変形は0.5mm以内に押さえて基礎に剛性を与えるようにする。このように設計すると架台と共振を惹起することもなくタービン発電機のアライメント、および運転を満足に行なうことができる。共振を防ぐために、たわみはたとえば3,000rpmでは0.1mm、3,600rpmでは0.07mmなる共振値に近づけないようにする。

基礎架台(上部構造物)はこれをささえる十分な大きさの底面積を持たなければならない。この基礎のマットは厚さが厚く十分強固でがんじょうな支持物である。

基礎のマットの下の安全地耐力は地盤の種類によって異なるが10~250t/m²程度である。基礎が沈下しないために基礎底面にかかる荷重は安全地耐力以内になければならない。しかしコンクリートの許容圧縮強さを考慮に入れて150t/m²以上とってはならない。

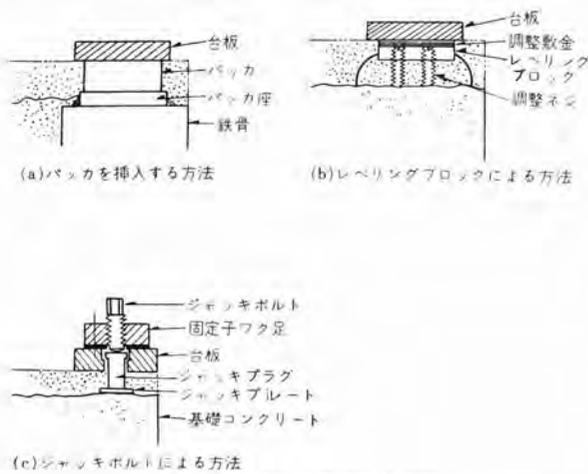


図4 台板と基礎の取付方法

必要な開口部を持つ固定壁は支柱よりも基礎に大きい剛性を与える。

基礎架台の長さはタービン発電機の容量によりもちろん異なるが新鋭ラント用では長さ20~35m、幅10~15m、高さ10~14m程度のものである。また高さは底面部の幅の2倍以上にしてはならない。

壁や支柱は水平方向の安定性を持たすためにタービン床張(コンクリート)に厚みを持たさなければならない。片持ハリのような構造は避けるのが望ましい。

タービンや発電機の下床張の開口部の大きさはタービンや発電機、空気冷却器、配線、配管類に対して必要な大きさでなければ

ならない。

基礎架台はふつう鉄骨ないし鉄筋コンクリートで作るが機械とマットの中間にあって十分耐圧性を持たす。ここで図4に台板基礎、固定子ワックの締付方法を示しておく。基礎架台の構造のいかんにかかわらず共振振動値を最小にするのが必要であるが、このためには次の諸項に考慮を払うべきである。

(1) アライメントを満足に施行できるように基礎架台はがんじょうな構造とする。

(2) 基礎架台の構造は据付時によくアライメントができること、経年変化によるアライメントの変化が少ないようにする。

このためには基礎のマットから機械を据付けるべき床面のグラウテングまでを包含して設計しなければならない。

(3) コンクリートを基礎材として用いるが、外部力を吸収する能力の大きいという性質がとくに要求される。

(4) どんな種類の構造物であっても持送り、片持ハリ、つき出しなどの構造は避ける。もしこれら構造を用いる要があればこれらを剛性にするよう工夫する。たとえ一定の共振でないにしてもふつうこれら構造は振動の大きさを拡大する性質をもつ。非対称ハリや部分負荷をうけるハリは許しうる限り大きな寸法とする。また床張(コンクリート)は共振性を調べ必要あれば厚くしたりリブを入れる。

(5) ダクトや類似の構造物はその振動周期を算出し、非常に振動するようであればこれらを基礎架台から隔離するなどの処置を講ずる。(重電技術部 加賀貞広)

好評発売中

## 変圧器の設計工作法

大出力発電所はつぎつぎに建設され超高压送電も400kV級が具体化しつつあり、電力機器もますます大容量化の傾向にある。中でも電力用変圧器は世界にも類をみないほど大容量のものが製作され、その設計・製作技術は世界的水準に達している。

本書は、大形の電力用変圧器から柱上変圧器に至るまで、設計製作に必要な一切の技術を記述したもので、変圧器の構造・規格・資材などの基礎事項から、電力用・配電用変圧器の設計製作法、設計例、輸送に対する考慮、変圧器の修理など豊富なデータをもとに詳しく解説し、さらに変圧器の工場試験、最近の傾向なども採り入れ、あますところなく網羅されている。

監修

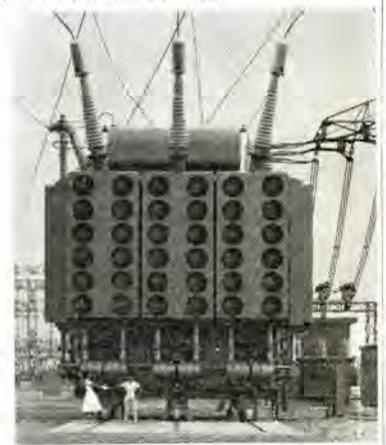
三菱電機株式会社  
電力技術部長 工学博士

木村久男

A5判 470頁 箱入上製本

定価 1000円 送料 50円

変圧器の設計製作技術者はもちろん、電力会社、変電所の現場技術者には、変圧器を理解するに好個の参考書である。従来、これほど設計について掘り下げ、新しい内容のものはない。



建 家 (2)

— outdoor と indoor の決め方 —

1. ま え が き

最近 Power plant が逐次高圧高温の蒸気ならびに再熱蒸気あるいはまた超臨界圧の蒸気を使用するようになり強制循環強制貫流式汽缶が採用され、タービンは串形3分流あるいはまた4分流排気式、発電機は内部冷却方式、電動駆動励磁方式など大容量用機構の機器がそれぞれ完成され 350 MW とか 450 MW 級のものが計画あるいは製作に着手され、機械配置の上でも Power plant 全部を out door にしたものあるいはまた ボイラ 側だけ out door にしたいいわゆる semi out door 式のものあるいはまた ボイラ 室の一部を outdoor にしたものなど運転様式、立地条件によって新様式のもの種々出現している。

ここで Power plant を outdoor と indoor にした場合についてすでに計画実施された 75 MW 火力で比較検討しご参考に供したい。

2. 両様式選択上の問題点

Power plant はその構成ならびに配置が立地条件運転様式その他によって選択計画されているが、plant の近代化、大容量化によってかなりその模様も変わってきている。

ボイラはその起動停止、運転制御操作もすべて中央で行なわれいわゆる運転中の現場操作をほとんど考える必要のないものではそれに適した構成であり、配置であってよい、パトロール 以外に現場に行く必要もなく炉内監視 ドラム の水位監視、煙の濃度監視など主要部分の監視が中央制御室で行なわれるのでは中央制御室だけ屋内であり、しかもその室が Air conditioning してあれば ボイラ 自体は屋外式でもいっこうにさしつかえない。

ボイラ の支持 ハリ と建家の柱とが共用される場合の両様式の比は外壁を付けるか付けないかの違いだけである。

タービンについてはその起動停止は現場で行ない運転中の操作監視は中央制御室で行なうのが普通であるがタービン 発電機は enclosure でおおい運転操作は其中で行なえるように計画されるので起動停止の操作はこの enclosure の中で行なうようにすればタービン室も屋外式が採用できる。

要するにタービン 発電機、汽缶の運転操作、監視、立地条件、その他を勘案して屋内式にするか屋外式にするか適宜選定さるべきこの両様式については幾多の利害得失がある。

とくにボイラ 室のごときは完全な保温ならびに、外板で囲まれたボイラ をしかも現今のように膨大な size のものを二重に建家でおおうのはとくに雨量が多いとか寒冷の地であるという特殊事情以外には不必要であるという見方もあるようである。しかるにこのような意見の反面 Power plant の総建設費中タービンならびにボイラ 室の建家だけの占める割合

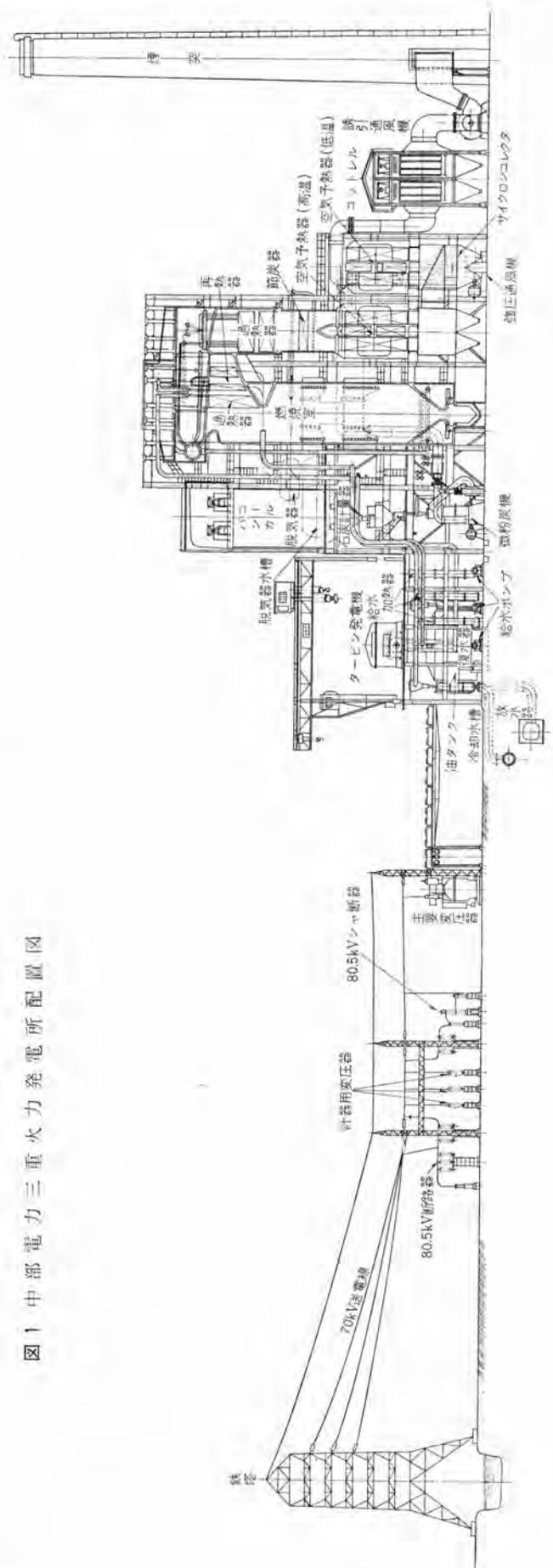


図 1 中部電力三重大火力発電所配置位置図



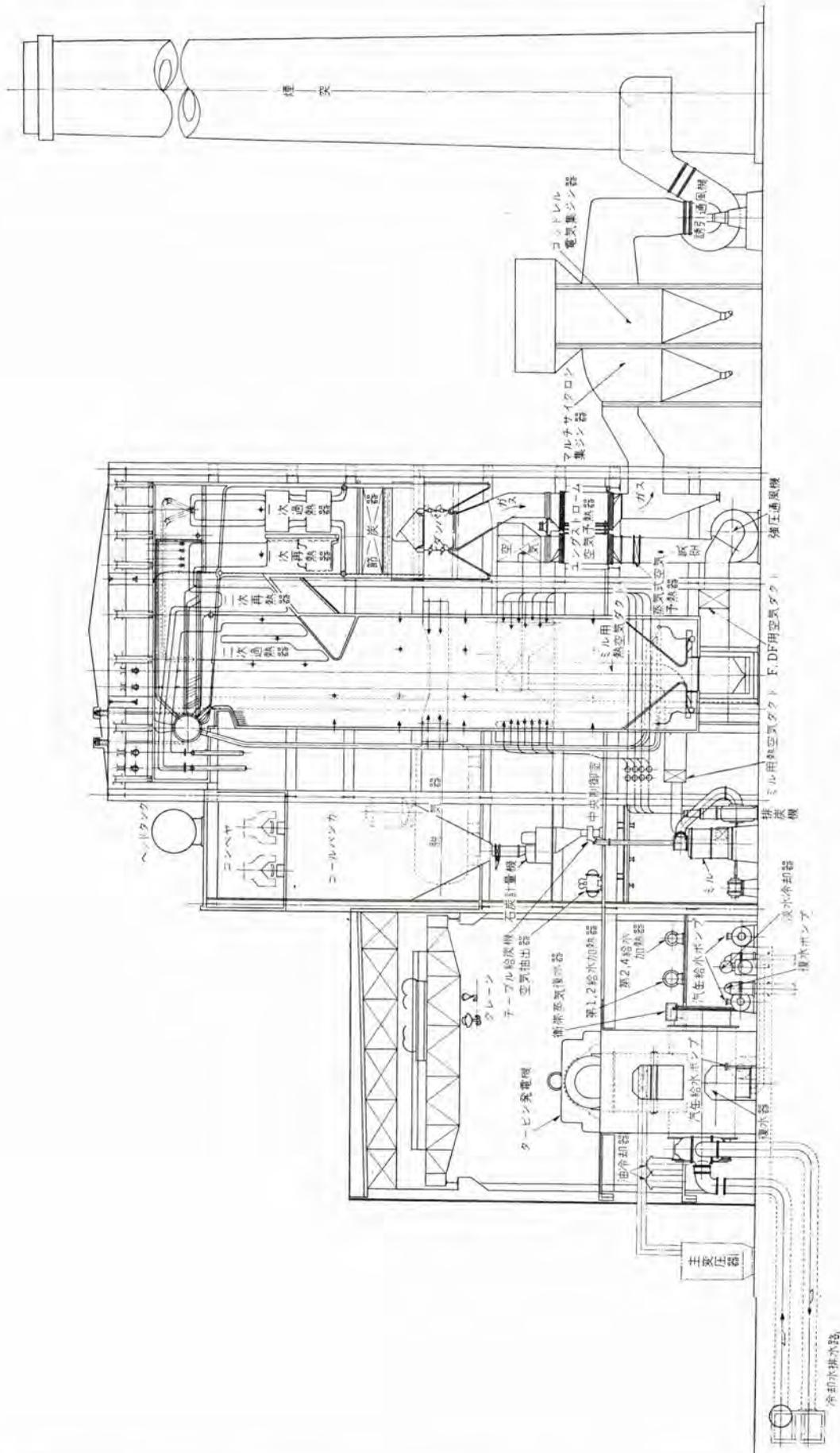


図 2 (b) 住友共同電力新居浜西火力発電所配置図

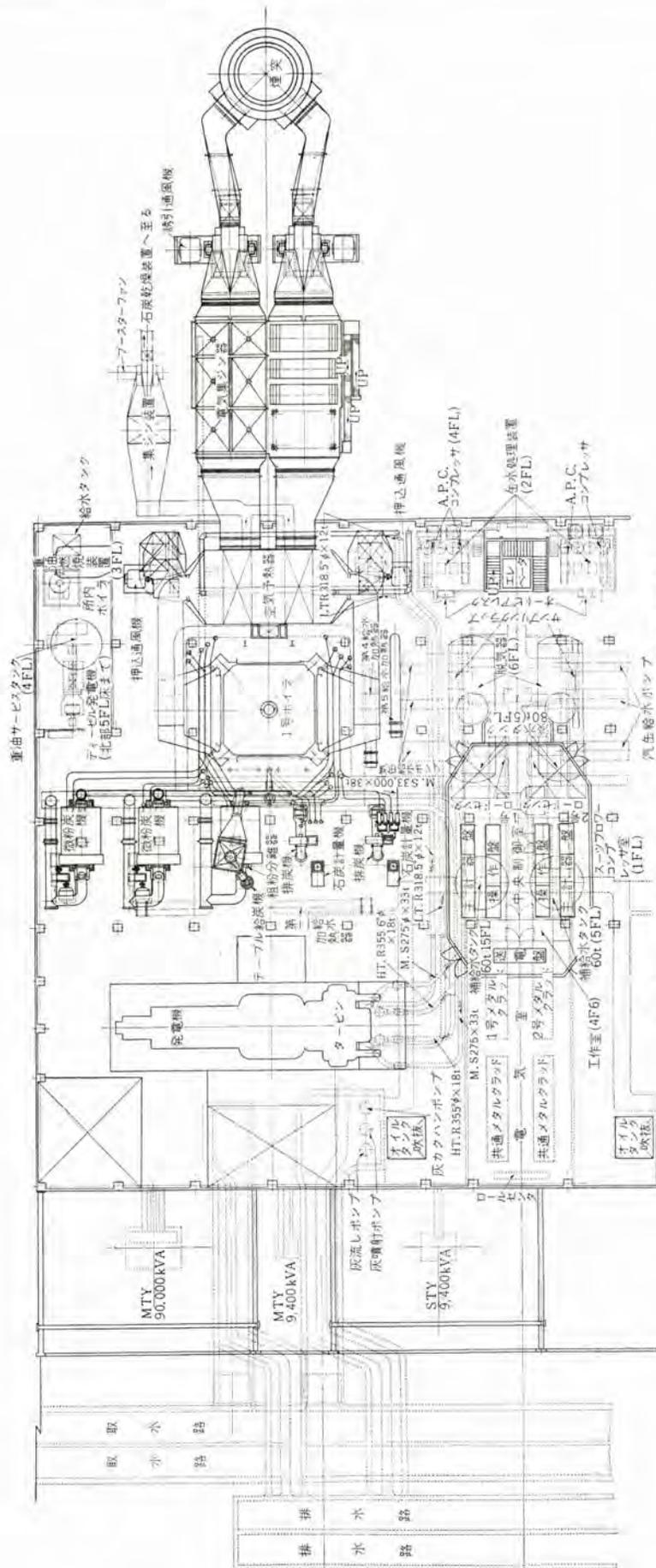


図3(a) 電源開発若松火力発電所配置図

coal bunker, mill, 中央制御室ならびに缶前の一部に当たる 14 m の span と タービン室が indoor になっている この配置では ボイラ関係の主要補機中、強圧通風機、誘引通風機、ユングストロームエアヒータを除いたものはほとんど indoor の部分に配置されている。

図3(a)(b)はタービン、ボイラ側とも indoor である場合の一例を示す電源開発若松火力配置図である。

上記の3火力はいずれも 75 MW plant であってこれら3火力の配置図は実によく3様式の模様を雄弁に物語っている。

#### 4. 両様式の利害得失

- (1) 屋外式が屋内式にすぐれている点
  - a. 建家中の dead space の部分が含まれないいわゆるむだがなくなる。
  - b. 機器の解放点検、据付用 space が割に自由に広さに取れる。
  - c. 換気、照明その他屋内式に比して簡単である。
  - d. 配管、配線工事について建家による制限がなく容易である。
- (2) 屋外式が屋内式に劣っている点
  - a. 屋内式に比して割に嚴重な保温および lagging が要求される。
  - b. Motor 類が屋外式になり少しく値上がりする。
  - c. 起動停止などの現場操作の際露天下で施行する部分が生ずる。
  - d. 配線工事で特殊な考慮を必要とするものが生ずる。
  - e. 雨おおいその他の保護施設を必要とするものが生ずる。
  - f. 支持ハリ、外衣など風雨にさらされる部分の防食塗料等とくに注意を要する。
  - g. Plant の外観がよく見えるので indoor に比して配管配線に注意を要する。

#### 5. 据付面積ならびに建家容積の比較

火力発電所を indoor にした場合と out door にした場合とを最近建設された定格 75 MW 以上のものの据付面積について比較検討しその平均値を取ると図4のようになる。したがってこの数値は概略この程度で計画すると既建設のものとの大きな差を生じないといった程度の数値である。

建家容積についても上記据付面積に対するものと同じような方法で図表が画けるがこれは据付面積がわかれば自然計画できるので省略する。

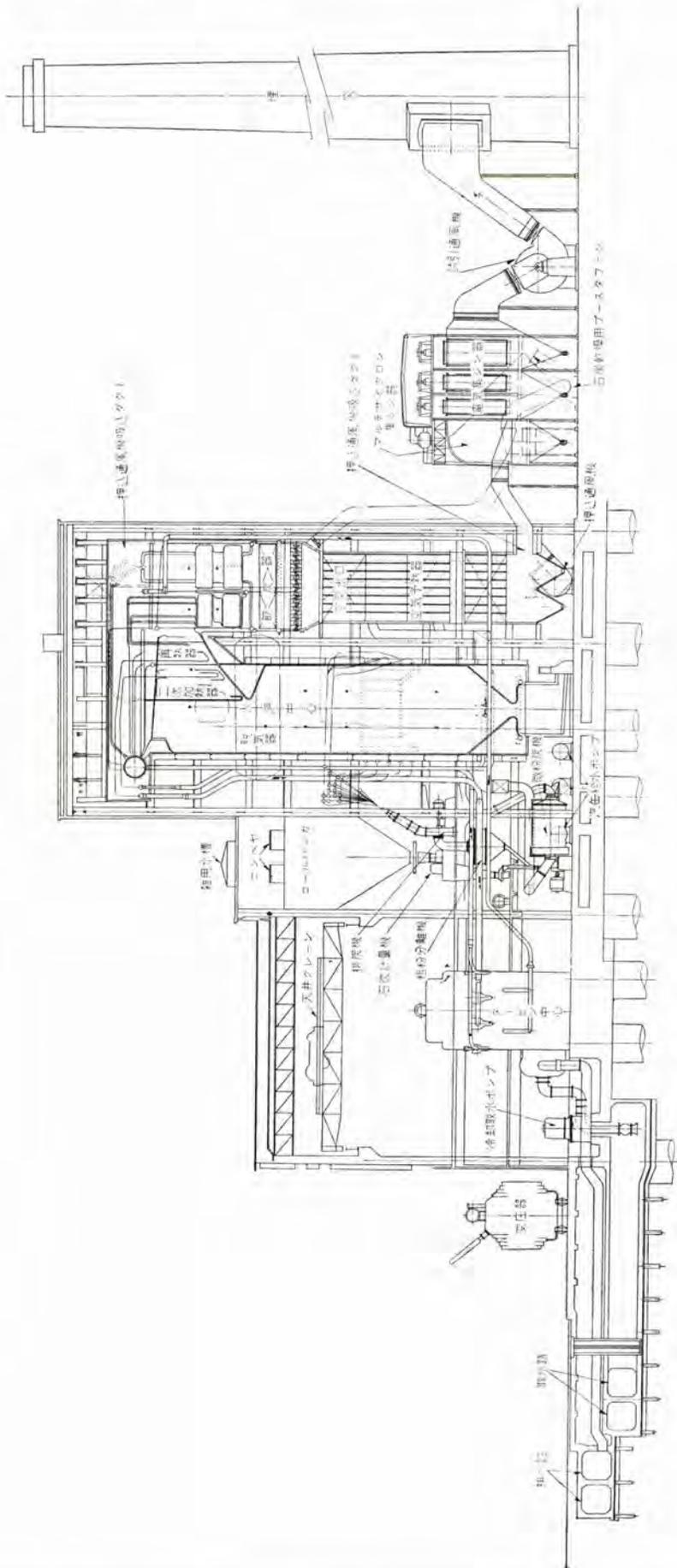


図 3 (b) 電源開発若松火力発電所配置図

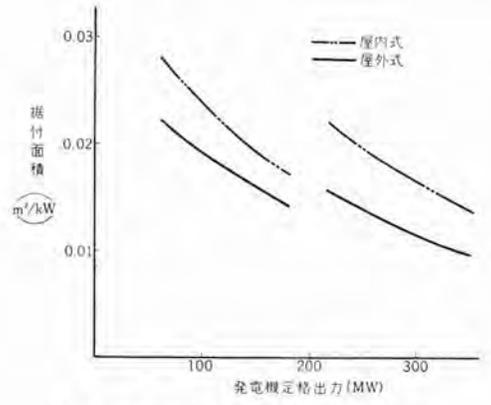


図 4 定格出力 kW 当たりの据付面積 (最近建設されたものから選択したもの)

— Crane Capacity の決め方 —

1. Crane の形式

タービン室の Crane はタービン室が屋内式の場合は、over head Crane が設置され、屋外式の場合は ガンドリ Crane が設置される。

敷基のタービン発電設備が一室に併置され、一方側に引込口を設けて全機器の荷揚げをここから行なうようにした Plant では1台または2台の Crane で各発電設備の各機器を所定の位置まで搬送できるような機構にする。

タービンの配置については横置、縦置の配置が適宜採用されるが、タービンに対して Crane はタービン軸に直角に配置し、タービン軸に沿って移動するように配置した方が Crane の span が小さくて、経済的である。したがってこのことはタービンのボイラに対する配置が横置のほうが Crane にとっては好都合であるということである。しかし全般的な機械配置上縦置に配置される場合もしばしばある。

Power Plant で使用される Crane は特殊な場合を除きつり揚げつり降し、横行、走行すべて電動式であって、操作箱で手動操作されるが小形のものではタービン室の operating floor から押しボタンで遠隔手動操作されるものもある。

なおとくに小容量の Crane の場合に限り遠隔手動操作のものが使用されることがある。

Crane は一般的には主巻1個、補巻1個のフックを設備しているがとくに大容量の場合で取扱い物品が多種類になるときは補巻を2種類各1個ずつ2個設備することもある。

フックの移動終端位置はタービン室内機器の配置に関連があり dead zone の最小であることが要望される。

2. つり揚げ高さおよびフックの高さ

Crane のつり揚げ高さは Floor からフックの最高の位置までの高さを示しているが一般の蒸気タービン発電設備の場合では蒸気タービンの Top-casing を開放する場合、この Top-casing を軸方向の一端をつつて他端は Floor 上に置いて Top-casing を裏返しにすることのできるフックの高さをフックの最高位置として Crane の位置を決定すれば十分である。

蒸気タービン発電設備の普通の配置では上記の場合がいちばん Crane のフックの最高位置であるが特別な場合、たとえば給水加熱器を立形に設置し、その引抜き方向がタービン Floor 上方向である場合などはこれらもちろん考慮に入れて決定されるべきである。

表1は小容量 Plant の場合の実施例である。

3. つり揚げ荷重

タービン plant では開放点検時の最大つり揚げ荷重は特殊な

場合を除き一般に発電機の回転子である。したがって crane の主巻はこの発電機回転子荷重を取って決定すれば十分だと思われる。

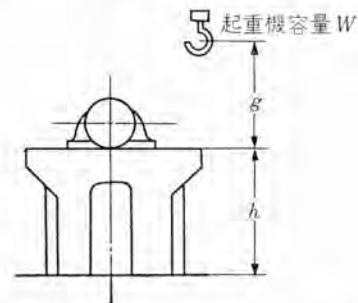
しかるにこの回転子以外の小荷重のものが数量的にはもっとも多く頻繁に使用されるので、これらの荷重のものを対象とした適当な荷重のものも準備する必要があるので主巻が15t以上のものでは適当の容量の補巻を準備する。

主巻が非常に大きな容量の場合は補巻を2種類に設置してなお開放点検に便にさせている場合もある。

Crane capacity が10tおよびそれ以下のものではとくに補巻を設けず1個のフックを使用するのが普通である。

発電機が大形化するに従い固定子重量が重量物となり輸送制限を受けるに至る。固定子としては内部冷却式の採用、分割形の採用等を行ないその寸法、重量を小にさせる。

従来は Crane capacity は最大重量物たる発電機固定子を基準にして決めた plant が多い、しかし発電機は据付後固定子を移動さすことはまずないとみてよく、固定子を移動するには Crane の助けをかりない適当な方法もあるので上述のような発電機回転子を基準として Crane capacity を決める plant がふ



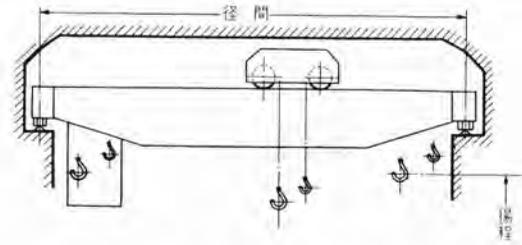
出力	rpm	タービン形式	g	h	W(t)
2,500	3,600	抽気、復水	6,000	4,000	10
3,000	3,600	抽気、復水	5,000	4,000	15
4,000	3,600	復水	4,700	4,500	20
4,500	3,600	復水	4,000	4,500	15
5,000	3,600	抽気、復水	4,700	4,500	20
6,000	3,600	復水	4,700	4,700	20
8,000	3,000	抽気、復水	5,500	5,500	35
10,000	3,600	背圧	4,450	5,000	40
15,000	3,600	抽気、復水	7,000	7,500	40
18,000	3,600	復水	5,500	7,500	45
20,000	3,600	復水	5,500	7,500	60
22,000	3,000	復水	7,500	7,530	60
25,000	3,000	復水	7,500	7,500	70
35,000	1,800	復水	6,770	8,230	70
50,000	1,800	復水	12,000	10,000	100
53,000	1,800	復水	12,000	10,000	100
75,000	1,800	復水	11,500	10,000	120

表1 タービン室クレーンフックの高さ(実施例)

# 技術解説

えてきている。将来はこの方式が増加するものと思われる。

また発電機の固定子重量、回転子重量の和を基準にして Crane capacity を決め、発電機を組立てたまま運搬据付け乾燥期間の短縮や据付期間の短縮を計った plant もあるがかかる例はまれである。



## 4. つり揚げ降し速度

解放点検時の部品のつり揚げ、つり降しの速度は仕事の手順と能率に影響があるので最適のものに選定する必要がある。

たとえばあまり高速であると casing の開放の場合などは guide bolt のしゅう動に不便であり、あまり低速過ぎると部品の取換えなどの場合むだな時間待ちを必要とするので好ましくない。

## 5. 走行ならびに横行速度

over head crane の他の仕様上の要素に歩行ならびに横行速度があげられるが、これも上記つり揚げ速度と同じように経験的に最適のものが選定されるべきで一般に Power plant で使用されているものを表2に示す。

(三菱造船長崎造船所 東洋行)

巻上荷重 (t)		径間 (m)	揚程 (m)	主 巻		補 巻		横 行		走 行		走行軌条 (kg または mm)
主	補			速度 (m/min)	電動機 (kW)							
3		10~16	12.5	6	5			10	1	20	1.5	15 kg
		17~26										
5		10~16	12.5	5	5			10	1	20	2	22 kg
		17~26										
7.5		10~16	12.5	4	7.5			10	1	20	3	22 kg
		17~26										
10		12~18	12.5	3	7.5			10	1	20	5	30 kg
		19~26										
15	0または3	6~20	10または15	1.8	7.5	6.5	5	10	2	20	5	30 kg
20	0または5	6~20	10または15	1.4	7.5	6	7.5	10	2	20	5	30 kg
25	5	7~22	10または15	1.5	10	6	7.5	10	2	20	7.5	30 kg
30	5	7~22	10または15	1.8	15	6	7.5	10	3	20	7.5	30 kg
40	10	7~22	10または15	1.4	15	4	10	10	3	20	10	30 kg
50	10	8~22	15または20	1.5	20	4	10	10	5	20	15	75 mm または 37 kg
60	10	8~22	15または20	1.2	20	4	10	10	5	20	15	75 mm または 37 kg
80	20	8~22	15または20	1.3	30	3	15	10	7.5	20	20	75 mm または 37 kg
100	20	10~24	15または20	1.1	30	3	15	10	7.5	20	30	75 mm または 37 kg
120	30	10~24	15または20	0.9	30	2.6	20	10	10	20	30	100 mm
150	30	12~24	15または20	0.9	40	2.6	20	10	15	20	40	100 mm
200	40	12~24	15または20	0.85	50	3	30	10	20	20	50	100 mm

備考 15 t 以上の仕様は JIS 規格による。  
10 t 以下の仕様は某メーカーの規格による。

表 2 フック 付電気天井起重機主要寸法表

## 水銀ランプの最近10年間の進歩

George A. Freeman: A decade of progress in mercury lighting (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 4, July, 1960, p. 116)

近年、水銀ランプは街路、高速道路は申すに及ばず、産業施設にも数多く用いられるようになり、世界的にめざましい普及を示している。水銀ランプのおもな特長は、寿命が長い、1灯当たりの光束量が多い、効率が良いなどである。その反面、灯具、安定器を含めた1灯当たりの施設費がかさむので、総合的には他の光源より不利であった。しかしながら、最近10年間に幾多の技術改善が成就された結果、定格寿命は1950年には、4,000時間であったものが1960年には12,000時間と長くなり、白熱電球と比較したとき、ランプの取換費が大いに軽減された。一方光束減衰率は400Wで例を示すと、6,000時間で、従来30%もあったが、新形ランプでは8,000時間後でも15%程度しか低下しない。すなわち、照明経済を比較すると、ついにケイ光ランプを追い越して、水銀ランプが最小の照明費を示すようになった。

ランプ性能のおもな改良点は四つある。

### 封止方式

石英発光管の両端部を、金属箔導体を挟んで管径そのままに圧潰する方式を採った。これは高速度の量産に向くと同時に、封止寸法が正確に、均一になり、気密保持の信頼度が高くなった。

### 石英管製造法

従来は作業者の熟練に依存する比率が大きかったので管径の公差が±8%もあったが、新方式に改良後は±2%にまで向上した。これは溶解炉の底からガラス管引きのように連続的に引出すもので、管体の耐高温性もそよい、ランプ寿命のバラツキが減少した。

### 新形電極

旧形ではタングステンの棒とコイルの間にトリウム薄片をさし込んだものであったが、新形ではコイルが二重となり、内側コイルの中間部はあらく巻いてすきまを設け、そこに電子放射物質(主として金属酸化物とタングステン粉末の混和物)を充填する。その外側に密着してコイルを巻き、放電アークによって活性物質が傷められないよう保護している。これはトリウム電極に比べ、電極物質の飛塵が少なくなり、管壁に付着しても白色のため光の吸収が少なく光束減衰が少なくなった。また起動電圧も低くなったので、冬期、寒冷地で周囲温度の低い場合とくに有利で、安定器の二次電圧も低くてよいので、価格も低廉となる。

### 外管関係の材料の改良

外管ガラスはホウケイ酸系の特殊硬質ガラスを使用したので一段と耐雨水性が増大した。口金接着剤は高温用シリコン・セメントを使用しているため、ランプ寿命前にルーズ・ベースになる心配はない。

演色性の改善のためには、ケイ光膜を外管の内面に塗装して紫外線によって発光させて色補正を行なう。一般には、弗化ゲルマニウム酸マグネシウムが用いられ、これは赤色を補い、効果的であるが光束は約5%減少する。最近完成のデラックス形は水銀ランプ特有の強い黄緑色光を吸収する桃紫色のフィルタ膜を併用して、可視光全域にわたる演色性を一段と改良した。光束は20~25%少なくなるが、図書館、銀行、体育館など一般屋内照明

にまで、水銀ランプの利用範囲を拡大した。

つぎにリン酸ストロンチウム・亜鉛のケイ光膜は、黄橙色に極大を持って広範囲の可視光を補うので、色補正とともに全光束が約16%も増加し、400Wでは25,000ルーメンに達した。

ショート・アーク・水銀ランプは250Wから1,000Wの入力のものがあり、アーク長は数mm程度の短さで、輝きは毎平方mm 200~400燭光もある。大形ランプは空気中での点灯に耐えられる構造となっている。このランプは写真焼付用、特殊投光用および探照灯などの高輝度用ランプとして用いられる。

現在研究開発中のケイ光体は演色性も発光量もともにいっそう改善されたものおよび、投光照明の演色性を良くするため、発光管の表面に塗布できるような600~700°Cの高温でも動作特性の十分なものを目指している。安定器では2灯以上のランプを並列に点灯でき、しかも別個に点滅自在なものを研究中等である。その他再起動時間を短縮する手段にも努力を払っている。

今後のすう勢として、工場照明では快適度を増すため、白色天井へ照射して間接照明する器具が望まれ、住宅地の街路照明には100W 175W および250Wの小電力のものが大いに進出するであろう。一方高照度照明が推奨されているので、大電力のランプの需要が次第に増加しつつある。(大船製作所 大盛真次訳)

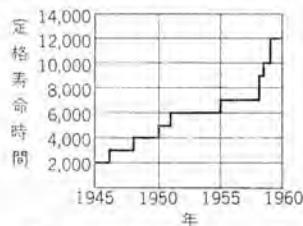


図1 400W水銀ランプ定格寿命の伸長度

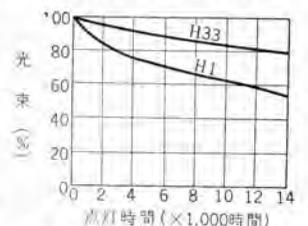


図2 新しい酸化物陰極のH33形ランプと従来のトリウム陰極のH1形ランプの光束減衰率比較(400W)

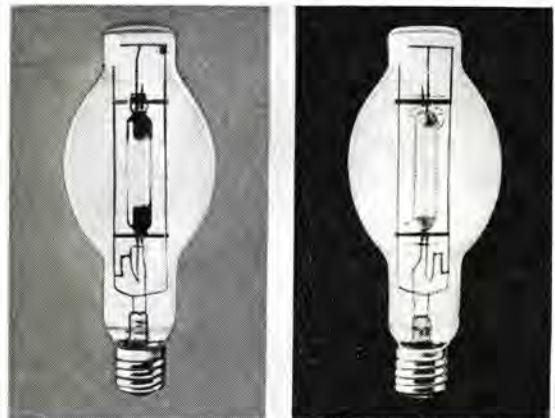


図3 7,000時間点灯後の発光管黒化度の比較(400W)  
左: H1形ランプ  
右: H33形ランプ(黒化が非常に減少した)

## 金属工業の駆動装置に応用された新しい電気方式

W. H. Dauberman: Advanced Electrical Systems for Application to Metal Industry Drives (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 3, May, 1960, p. 89)

高度の自動化の必要性と トランジスタ 使用の デジタル 制御技術

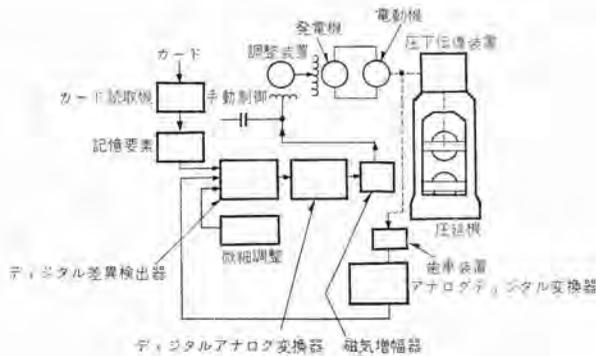


図1 プログラム自動圧下制御

の進歩ならびに最適値を計算して自動的にミル計画を構成する系内電気計算機の使用による金属圧延機の電気駆動方式に大変革が起こりつつある。

自動ミルのプログラムミングやデジタル制御技術は現に可逆圧延機や分塊ミルに応用されている。各種圧延計画の穿孔カードにはパスごとの水平ロール、垂直ロールの開度、ドラフト補償量、ミル速度などの数値情報がカードに穿孔してある。穿孔カード使用の圧延方式は図1に示す。穿孔カードの情報をカード読取機で読み、記憶装置に記憶させ、必要なときにここから何度も情報を読み出して圧延操作を行なわせることができる。アナログデジタル変換器はアナログ量であるロール圧下量を、デジタル量に変換するための高周波励磁回転子形発電機である。回転子にはロール圧下電動機の回転が伝達装置を経て伝えられる。高周波励磁のゆえにミルロールが静止していても出力が得られる。デジタル差異式検出器はデジタル化した圧下量と記憶装置からの情報との比較(引算)を行なう。

その差の信号は磁気増幅器を通して圧下電動機を駆動する発電機の励磁を加減する。引算結果が零に近づくに従い圧下速度が減少し、差が零になったとき、圧下動作は止む。このほかマイコンを備えた全自動圧延機も稼働しており、これもパンチカードで操作される。

ホットメタル検出器はロールの圧下やミルの逆転の指令を各操作機構に与えるのに用いられ、ミルの入口と出口に置かれる。分塊ミル用のトランジスタ回路とコア記憶制御回路は最近カプセル状にしてモジュールに取付け、それを順次ラックに差込むようにしたパッケージが用いられている。これは取扱いと保守の容易さから採用されたものである。系内計算機は最近開発したものでミルの状態とプロセスデータとから最適のプログラム情報を正しく計算するのである。計算機を制御系に入れた制御ダイアグラムは図2に示すとおりである。自動ミルをもつ製鋼所では2万種以

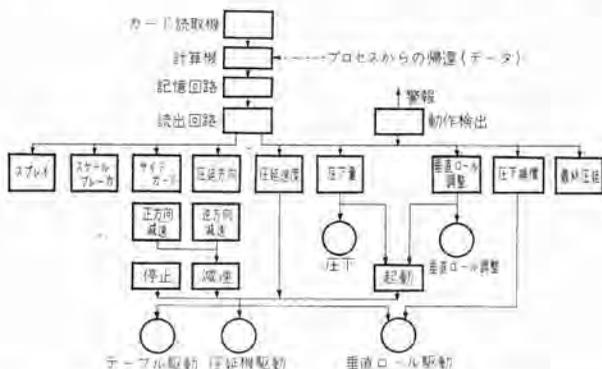


図2 計算機制御 鋼板圧延機のブロックダイアグラム

上の圧延計画を持っているが、系内計算機の使用によってその数を減らすことができる。

電氣的機械的な駆動制限、速度とトルクの関係などの情報は計算機に記憶させ、パス回数、ドラフト補償、各パスに対する速度などは磁気コアに記憶させる。さらに系内計算機の大きな特長は圧延中に、鋼塊の実重量、長さ、ロール開度などのプロセスデータから希望値にプログラムを調整する能力を有することであり、そして次のパスまでに最適プログラムを構成するのである。

ロードセルは圧下量の設定補正、鋼塊の検出に使用され、ミル駆動輪についているパルス発電機はパルス計数回路とともに圧延鋼板の長さを測り、つぎの圧延のロール圧下量を設定するのに用いられる。X線ゲージは圧延の厚みの精度を上げるために用いられるが、ロードセル、X線ゲージがなくても運転でき、手動操作も可能である。

現在稼働中のプログラム化自動ミルは金属圧延方式の大いなる前進であり、系内計算機は画期的なものである。将来完全協調のプログラムによれば分塊圧延機から冷間圧延機まで全工程に利用されよう。(神戸製作所 斎藤 豊訳)

## アルミ電解設備に接続されたシリコン整流器の過渡電流

W. R. Hodgson: Transient Decay of Current Through Paralleled Mercury Arc And Silicon Rectifiers (AIEE 60-36)

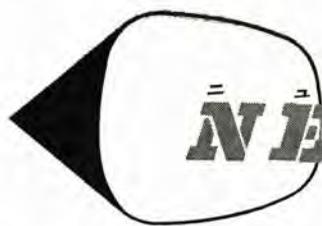
シリコン整流器の発達によって、以前はあまり考慮されなかった応用上の問題が重要になってきた。大きな電解設備の所有者達は新しい全設備を購入する前に、大容量のシリコン整流器を試験的に使用したいと考えている。

現在多くのアルミ電解設備は多数の水銀整流器を並列に使用して、300ないし800Vの電圧で3,000から120,000Aに至る容量を有している。そこへ1台のシリコン整流器を接続したばあい、過渡時に流れる電流に対してシリコン整流器の過負荷耐量が慎重に検討されなければならない。

大容量の整流設備を停止するもっとも良い方法は、主シャ断器を開いてすべての整流器を止めることであるが、電解槽を流れる電流はただちに零とはならず、数サイクルかかって減衰する。この過渡電流に対して、二重星形結線の水銀整流器では変圧器巻線が直列にはいるが、三相ブリッジ結線のシリコン整流器ではインピーダンスの低い整流器がつながるだけなので大きな電流が流れることが予想され、この過渡電流を解析し整流器の過負荷耐量との協調が検討されたのである。

過渡減衰電流に対する等価回路から得られた方程式は、微分解析機で扱うのに適した問題で、調査された電解槽の回路常数をパラメータとして解析された。

全容量100,000Aのアルミ電解設備に1台の5,000A(525V)シリコン整流器を接続した例についての結果では、定常状態では水銀整流器とシリコン整流器はおおの95,000A、5,000Aの電流を供給している。シャ断器がトリップして1サイクル後には電解槽電流は85,000Aに減少するが、逆にシリコン整流器の電流は33,000Aに増大し、水銀整流器の電流は52,000Aに落ちている。シリコン整流器に流れる過渡電流はトリップ後1サイクルくらいで最高値に達したのち零に減衰していくことが示されている。(伊丹製作所 小林 凱訳)



# ニ ュ ー ス フ ラ ッ シ ュ NEWS FLASH!

## ■ インド向け輸出超高压変圧器完成

海外へ輸出する変圧器として初めての超高压変圧器が伊丹製作所で完成し、立会試験を終了して神戸港より船積された。変圧器はインド・パンジ州政庁より発注された7台の超高压変圧器で、

### 1. Delhi 変電所 2台

3φ 100/90/35 MVA 220/66-33/11 kV 50 c/s

送油風冷式(100%負荷)  
油入風冷式(80%負荷) } 三重定格(ON/OB/OFB)  
油入自冷式(60%負荷)

総重量 218,000 kg 油量 55,000 l

輸送重量 128,000 kg

外形寸法 8,830×6,100×9,680 mm

### 2. Dhulkote 変電所 2台

3φ 60 MVA 220/66 kV 50 c/s

油入風冷式(100%負荷) } ON/OB  
油入自冷式(75%負荷)

総重量 152,000 kg 油量 38,000 l

輸送重量

91,000 kg

外形寸法

6,100×6,910

×9,575 mm

### 3. Panipat 変電所

1台

同上

### 4. Ganguwal 発電所

2台

3φ 90 MVA

220/132 kV 50 c/s

単巻変圧器

送油水冷式 OFW

総重量

109,000 kg



インド首都の Delhi 変電所に設置される超高压変圧器



インド向け変圧器の船積み

油量 27,500 l

輸送重量 73,000 kg

外形寸法 5,900×5,860×9,051 mm

これらは Ganguwal 発電所より首都 Delhi へ至る 220 kV 送電線につながる全変電所の全主要変圧器であって、このように送電端より、受電端までの超高压変圧器を海外輸出として全個受注製作したことは、珍しいことといわれる。

## ■ 東京電力東千葉変電所向け 120,000 kVA 低騒音変圧器完成

かねてより製作中であった東京電力注文の低騒音変圧器の1号器が完成した。本器は東千葉変電所に設置されるもので、下記の定格を有する。

三相 50 c/s 送油風冷式 窒素封入形 SUB 形

サージブルーフ 外鉄形 フォームフィット式 車両形

容量 一次 100,000 kVA

二次 110,000 kVA

三次 30,000 kVA

電圧 一次 147 kV 二次 66 kV 三次 21 kV

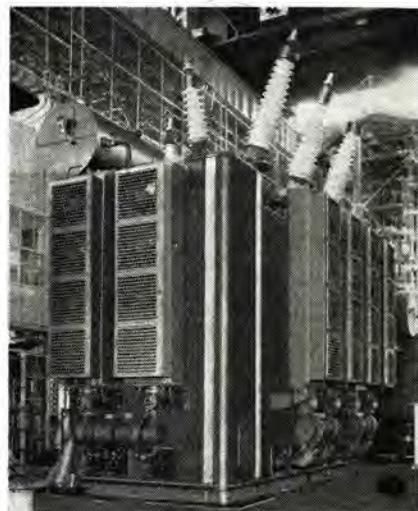
外形寸法 9,100×5,570 mm

高さ 7,670 mm

総重量 210,000 kg

本器は都市周辺に設置される変圧器として、とくに70ホン以下という低騒音を要求されたが、当社では

- (1) 磁ツイ特性の良好な冷間圧延の方向性ケイ素鋼板を使用し、また
- (2) 本体外箱は防音壁を有する二重構造として本体騒音の外側への漏洩を防ぎ
- (3) とくに問題となる送風機の騒音に関しては、当社独特の羽根構造を有する低騒音バードウィング扇を使用、さら



三相外鉄形送油風冷式低騒音変圧器  
100/110/30 MVA  
147/66/21 kV 50 c/s SUB 形

に回転数を低下させた。

など製作上種々留意した結果、送油風冷式であるにもかかわらず、65.9 ホン という好成績を得た。

本器は車両形構造を採用しているため、当社所有の超大形貨車 ヲキー 400-B₂ を用いて現地まで組立輸送される。

なお、本器と同形の変圧器 2 台も近日中工場完成の予定である。

## ■ 中性子スペクトロメータ完成

日本原子力研究所から受注した中性子スペクトロメータが完成、このほど JRR-2 原子炉に据付を完了した。この装置は原子炉から得られる強い中性子束を利用して波長 1 Å 程度の単色中性子束を作り、これを試料にあてて干渉散乱させ、この散乱の様子を測定する一種の回析装置である。高速中性子束の実験用原子炉が建設されて初めて実現可能となったもので、結晶学や磁性体の研究など、わが国の物性研究に新分野を開くことになる。装置の全長は約 5.5 m、総重量約 20 t の精密実験装置で、わが国最初のものであることはもちろん、現在では、欧米の同一装置に比して一段高い分解能を持っているのが特長である。装置全体は原子炉の実験孔正面に配置された機械本体と、これの精密な調整を遠隔操作し、さらに測定記録をすべて自動的に行なう制御盤とから構成される。そのおもな仕様は次のようである。

中性子束断面積 50×50 mm

中性子密度 (熱中性子)  $5 \times 10^8 n/cm^2/sec$  (モノクロ中心)



測定制御装置

コースコリメータ	開角 30', 全長 2 m
ファインコリメータ	開角 5', 15', 30', 全長 50 cm
ビームノア	50×50, 40×40, 30×30, 20×20 10×10 mm
スリット	50×50 m m, 0~50 mm 可変



中性子スペクトロメータ

モノクロメータ	-10°~90° 連続可変, 精度 0.1°
ゴニオメータ	+90°~90° 精度 ± 1' 自動送り ピッチ 3', 6', 12' 30
遠隔操作調整	第 1 コリメータ, 第 1 ビームノア, 第 1 スリット, モノクロ結晶台, 第 2 スリット, 第 3 スリット, ゴニオメータ結晶台
測定記録系	モニタ系, メインカウンタ系, BF ₃ カウンタ, 前置増幅器, 比例増幅器, 計数率計, 高圧電源, 計数装置, 角度指示系, 主サーボモータ, 磁気増幅器, セルシウスサーボ追従系

付 属 設 備 マグネット, ヘリウムクライオスタット

この装置は、今年 5 月中旬現地据付を完了後すでに 48 時間の連続無人運転をくり返し、のべ 500 時間以上の運転を行なったが異常なく動作している。JRR-2 原子炉が運転を開始すれば、その中性子束密度は実験用原子炉として世界でも最大級のものであり、中性子スペクトロメータとしても最高の分解能が得られ多くの研究に新しい分野を開くことが期待される。

## ■ 国鉄ビジネス特急用環状スロットアンテナ完成

8 月 20 日、国鉄ビジネス特急“こだま”および“つばめ”に公衆電話が開設された。これは 400 Mc 無線中継を利用している。車両のアンテナは国産最初の環状スロットアンテナで、アンテナ技術を誇る当社が開発し、製作納入したもので、良好な成績をあげている。

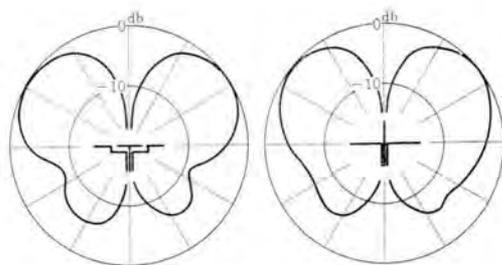
この環状スロットアンテナは、導電地板に環状の細隙すなわちスロットを設け、これに給電して、垂直偏波無指向性アンテナとして働かせるものである。このアンテナの最大の特長は、アンテナ素子が地板からすこしも突出していないにもかかわらず、ホイップアンテナなど、ふつうの 4 分の 1 波長スタブアンテナと実際上まったく同じ輻射指向特性をもっている点にある。

今回納入した製品の主要性能はつぎのとおり。

1. 周波数 送信用 412.0~412.5 Mc  
受信用 462.0~462.5 Mc
2. 輻射指向特性 垂直偏波水平面内無指向性。
3. 入力電圧定在波比 50 Ω 同軸給電線に対し約 1.2 以下 (仕様は 1.5 以下)。
4. 耐電圧 給電同軸 レセラタクル の内部導体, 外部導体間 AC 1,000 V 1 分間。  
給電同軸 レセラタクル の内部導体, 外部導体一括とアンテナ外部導体間 DC 4,000 V 1 分間。



列車に取付けた状態



環状スロットアンテナ（左）およびスタブアンテナ（右）の実測輻射指向特性の比較

5. 耐風速 列車に取付けた状態で、70 m/sec に耐える。

環状スロットアンテナは埋込み形アンテナであるという点でとくに興味深く、列車用として、いかなる大形車両にも、車両境界内で、流線形車体の美観をそこなうことなく、車体最上部に設置して、良好な性能を十分に発揮させることができるだけでなく、航空機用や自動車用としてもきわめて有用なものである。

なお、航空機用アンテナにおいては、当社はかねてから他社に比してすぐれた成果を上げている。すなわち、富士重工業株式会社の委託により国産ジェット練習機用としてわが国最初のテールキャップアンテナの実用化に成功し、またホイップアンテナ、刃形アンテナ、テールキャップアンテナなど、多数の製品を防衛庁、新三菱重工業株式会社その他へ納入している。ちなみに、この刃形アンテナは機体への取付けが簡単であるという点で、既製航空機に新しく設置する場合にきわめて適したアンテナである。また現在は国産中形輸送機用各種アンテナの研究を継続中である。

### ■ ホーベル用 40 kW 耐圧防爆形誘導電動機

炭坑切羽作業合理化の一環としてホーベル採炭方式がわが国に導入され、各炭坑競って採用の機運にある。このホーベルの機械部分は西独 ウェストファリア、電気関係は ジーメンス となっているが、今回某炭坑に電動機部分だけを納入した。この set は 40 kW 耐圧防爆 フランジ形電動機 3 台を設置し、採炭用 1 台、コンベヤ用 2 台として使用されるもので、スペースの関係上とくに小形化し、冷却フィン付フレームにより効果的に冷却されている。なおホーベル用 ジーメンス 製電動機との寸法的互換性を有している。

定格事項

出力	40 kW	周波数	50/60 c/s
電圧	400/440 V	極数	4 P



某炭坑向け 40 kW ホーベル用誘導電動機

形式	全閉外扇耐圧防爆 フランジ形
回転子	深溝 かご形
ワタ番	300 フレーム
絶縁クラス	B 種
防爆検定番号	九検第 3216 号 (圧)
重量	480 kg
電動機定成日	昭和 35 年 3 月

構造、特長

1. 従来この種電動機として HDS 形を多数製作しているが、40 kW 4 P は 400 フレームに入れていた。今回 300 フレームに入れるためとくに冷却効果をあげ冷却フィン付鉄板溶接フレームを採用した。温度試験結果は満足すべきものであった。
2. 炭坑用の苛酷な使用条件に耐えるためにとくに機械的強度に留意し、ブラケット、ターミナルボックス、ベルマウスは強度の高い特種鋳物を採用した。
3. 端子部分は HDS 形の経験を生かしスタッド方式とし 1 本ごと取換え可能である。
4. 回転子バー、エンドリングの熱容量を大とし、起動トルク、最大トルクなどの特性もすぐれている。

### ■ 坑内用接地継電器

坑内機械化の進歩とともに絶縁監視と保護が重要になり接地継電器も高感度で信頼性の高いものの要求が強くなってきた。今回従来のものに比べ感度を向上させるとともに機械的ショックに対しても誤動作を起こさない、磁気増幅器を使用した、EP-1 M 形、および EP-2 M 形の 2 種類の継電器の開発をした。EP-1 M 形は接地保護と漏洩抵抗測定器付、EP-2 M 形は警報および引はずしの 2 段保護ができる測定器付継電器である。

この継電器の特長は動作抵抗の設定はバイアス電流の変化により 2—100 kΩ までできる。また電源電圧変動による動作特性はいずれの設定点においても電源の +15%—20% の変動に対し、動作値の変動は ±5% におさまっている。

使用電源	500, 440, 400, 220, 200 V	50/60 c/s
警報抵抗	100, 50, 20, 10, 5 kΩ	(2 M 形だけ)
引はずし抵抗	50, 20, 10, 5, 2 kΩ	
抵抗測定	0-30 kΩ, 0-1,000 kΩ	(二重目盛)
信号電源	50 V AC	25 VA



EP-2 M 形坑内用接地継電器 耐圧防爆形九検 3148 号



## 特許と新案

### ピストン装置

考案者 北川和人・宮内圭次

この考案はピストンの移動速度を任意に調整するための装置で、電気車の弱め界磁制御器の切換えを行なうのに正常時と事故発生時とでは切換速度を変えるようになす場合などに使用される。

すなわち、シリンダ(1)に複数個の電磁弁(a)(b)(c)を連通し、これらの電磁弁の排気口(2a)(2b)(2c)を異なる口径にし、図の場合排気口(2b)は(2a)より大なる口径にしておくのである。

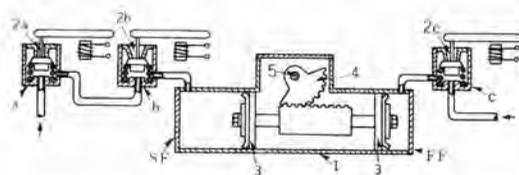
そして、シリンダ内のピストン(3)の移動に連動する扇形歯輪(4)の支軸(5)を、たとえば弱め界磁制御器の操作軸に連結する。またピストン(3)がシリンダの(F)側にあるときは電気車主電動機が全界磁となり、一方(S)側にあるときは弱め界磁となるように設定する。

このようにすれば、電気車の正常運転において主電動機を弱め界磁にする場合には、小なる排気口(2a)を有する電磁弁(a)の操作コイルを励磁し、また電気車の事故発生により主電動機を弱め界磁にしてその状態で電動機主回路を開放する場

合には、大なる排気口(2b)を有する電磁弁(b)の操作コイルを励磁することにより、事故発生時には正常運転時よりも大なる速度で主電動機を弱め界磁にすることができる。

この考案によると、異なる口径の排気口を有する電磁弁を選択的に作動させることによりピストンの移動速度を調整することができ、また電磁弁の排気口部品をあらかじめ数種類準備しておけば、容易に排気口の口径を変えてピストンの移動速度を変更させることができる。

(実用新案登録第497045号) (山田記)



### 内燃機関点火装置

考案者 三木隆雄

この考案は高周波二次高電圧を点火プラグに印加して常時電極間に初期放電を開始させておき、さらに点火用蓄電器の高圧放電による点火エネルギーを、上記プラグに供給してプラグに点火放電を起こさせる形の内燃機関点火装置の改良に関するものである。

図において(1)は高周波高圧電源、(2)は高周波変成器、(3)は閉磁路鉄心、(4)は上記電源(1)と接続される一次コイル、(5)、(6)は独立して巻回され上記一次コイルと誘導結合した同一巻数の二次コイル、(7)、(8)は二次コイル(5)、(6)に接続される点火プラグ、(9)は直流高圧電源で上記二次コイルの各一端に接続されこれを極性逆に励磁するようになされている。(10)、(11)は上記二次コイルと電源(9)間に設けられた抵抗、(12)、(13)は主点火エネルギーを蓄積する一対の点火用蓄電器でその正極は二次コイル(5)あるいは(6)と抵抗(10)あるいは(11)間に接続され、またその負極はともに接地されている。

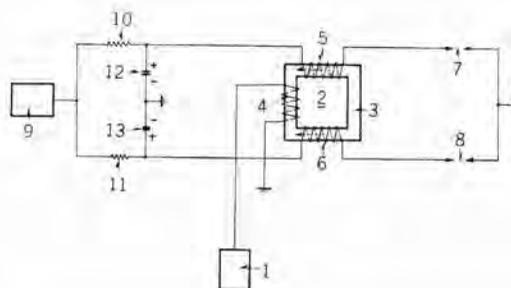
上記高周波電源(1)の電圧は変成器(2)により昇圧されこの二次高電圧により点火プラグにおいて容易に初期放電を開始し、それに伴って電極間はイオン化されるから蓄電器(12)、(13)に蓄積された電荷は点火プラグにおいて放電するのであるが、この考案では上記のように二次コイル(5)、(6)が極性逆に巻回されているので、放電電流による磁束は互に打ち消され、二次コイルの個々のインダクタンスはほとんど無視できる程度になるので、二次コイルの巻数を増やしプラグに印加する高周波電圧をさらに上昇させても、そのために上記放電電流を抑制することがなくなるから、蓄電器のエネルギーを有効に点火用火花に使用することができる。

従来、高周波回路と直流主放電回路とを高周波変成器を介して結合させた周知の点火装置では、点火プラグに印加され

る高周波二次電圧により初期放電を開始し、それに伴って電極間はイオン化されるから、点火用蓄電器に蓄積された電荷の放電時に点火放電が行なわれるようになされていた。しかしながら点火エネルギーの増大のため二次コイルの巻数を増大するとインダクタンスが増し、蓄電器の放電エネルギーを抑制する欠点があり、このため点火エネルギーの増大を二次コイルの巻数の増大によってだけ行なうことはできなかった。

この考案は上記のように一対の高周波二次コイルを極性が逆になるように巻回することにより各コイルのインダクタンスをきわめてわずかにすることができるから、二次コイルの巻数を単に増大するだけで点火エネルギーの増大を容易にしうるすぐれた効果がある。さらに製作上の誤差などにより両点火プラグにおける放電電流が不均一な場合には変成器鉄心中の主放電電流により生ずる磁束が電流の不均衡を是正する向きに働くから両プラグに生ずる点火エネルギーを均一にする効果も有している。

(実用新案登録第494542号) (小林記)



最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
35-4-18	エレクトロニクスダイジ ェスト	MELCOM 線返形アナログコンピュータ	大鳥羽幸太郎	無線機
〃-4-20	エレクトロニクスダイジ ェスト	レーダ用変調器回路	榎本俊彦・植田英雄	無線機
〃-4-22	電気協会研究会	積算電力計総合装置について	林 正之	福 山
35-5-2	電灯と鉄道	ノーヒューズシャ断器	篠崎善助	本 社
〃-5-5	電気三学会関西支部	主電動機ギヤ、動力伝達装置が車内騒音におよぼす 影響	松田新市	伊 丹
〃-5-9	電気四学会連合大会委員 会	道路照明における各種光源の経済比較	小堀富次雄	本 社
〃	オーム社	エレベータの電気制御	宮城 晃	名古屋
〃-5-10	World Trade	日本の工業用電動機	関野 博	名古屋
〃-5-11	工業化学雑誌	メチルシリコンイソシヤネートの赤外線吸収スペク トル	馬波 久	研究所
〃-5-13	電気学会	空気シャ断器の電流零点近傍における現象	潮 恒郎・伊藤利朗	研究所
〃-5-14	粉体と粉末	銀系接点の消耗移転現象	山森末男・森田義男 岩村武志・政木淑人	研究所
〃-5-19	電気学会	2進コードの変換	福永圭之介	研究所
〃-5-30	照明学会	工場の照明	小堀富次雄	本 社
〃	エレクトロニクスダイジ ェスト	FS-7D形固定用およびFM-7D形移動用400Mc/FM 狭帯域無線機	上野芳雄	無線機
〃	エレクトロニクスダイジ ェスト	航空電子機器環境試験	佐藤 晋	無線機
35-6-1	電気学会時報	シリコン整流器の過負荷保護	加藤又彦	伊 丹
〃	電気学会時報	タンダステンランプ負荷に制御電極付シリコン整流 器を適用したときの問題点	加藤又彦	伊 丹
〃-6-6	電気通信学会	Rocket を空間軌道に乗せる系の Analysis と Synthesis	渡部 優	無線機
〃	電気通信学会	Servo 系の記憶制御と Systematic Error 軽減に関 する研究およびその Tracking Rader への応用	渡部 優	無線機
〃-6-7	エンジニア	モレキュラーエレクトロニクスとは	小田達太郎	無線機
〃	工業化学雑誌	シリカ系統填剤配合導電性シリコンラバー	馬波 久・西崎俊一郎	研究所
〃-6-8	日本能率協会	個別生産工場の I E 活動	奈川敏雄	本 社
〃-6-10	電気学会時報	大容量ゲルマニウム変換装置の起動と初期の運転に ついて	加藤又彦	伊 丹
〃	鋳鉄造	アメリカにおける非鉄合金鑄造技術	島津大介	伊 丹
〃-6-14	電気学会時報	過渡的間歇的負荷時の半導体整流器定格シリコン整 流器の適用技術	加藤又彦	伊 丹
〃-6-18	無線と実験	モレクトロニクス	吉松誠一・大久保利美	研究所
〃-6-20	日本建築文献センター	建築における最新の光源の展望	小堀富次雄	本 社
〃-6-21	電気学会	数値計算の誤差(電力系統問題の解析を対象として)	馬場準一・林 重雄	研究所
〃	電気書院	ブラシなし発電機とは	甲斐 高	長 崎
〃-6-23	電気計算	モレキュラーエレクトロニクス	小田達太郎	無線機
〃-6-24	機械と工業	アメリカにおける放電加工の実態	斎藤長男	研究所
〃	電気書院	試験用変圧器	嶋 裕史	研究所
〃-6-28	電波時報	モレクトロニクス	吉松誠一・大久保利美	研究所
35-7-9	電気学会	モレキュラ, エレクトロニクスの概念と可能性	大久保利美	研究所
〃-7-10	日本商業新聞	商店街の水銀灯照明	小堀富次雄	本 社
〃	電気公論社	最近の水銀灯とその演色性	小堀富次雄	本 社
〃-7-11	アグネ出版社	モレクトロニクス	吉松誠一・大久保利美	研究所
〃-7-12	通信用磁性材料委員会	高周波変圧器の性能	水上益良	大 船
〃-7-13	工業調査会	電気用機器(強電)	石黒克己	研究所
〃-7-25	産業と電気	水害電機品の修理について(伊勢湾台風を省みて)	大森淳夫・臼田長一	名古屋
〃-7-26	日刊工業新聞社出版局	リレー要素による空気圧自動制御	吉山裕二	研究所

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3番地(東京ビル内) (電)和田倉(201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電)東京(211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電)東京(211) 代表 1261・1271・1281
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地 (三菱商事ビル3階)(電)東京(211) 代表 2511
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電)大阪(34) 代表 5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り(電)本局(23) 代表 6231
福岡営業所	福岡市天神町58番地(天神ビル内) (電)福岡(5) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通り西1丁目13番地 (電)札幌(3) 代表 9151
仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電)仙台(2) 代表 6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電)富山(2) 0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電)中(2) 2211
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル) (電)高松(2) 代表 4416 ビル直通 5021
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電)小倉(5) 8234
静岡駐在員	静岡市呉服町2丁目1番地(電)静岡(2) 2595(3) 2962
金沢駐在員	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3) 6213
岡山駐在員	岡山市内山下30番地(佐々木ビル)(電)岡山(3) 2948
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48) 8021
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目(電)兵庫(6) 代表 5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48) 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地(電)長崎(3) 代表 3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48) 8021
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73) 1531
静岡製作所	静岡市小鹿110番地(電)静岡(3) 0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場(電)中津川 10・54・226
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3) 代表 1275
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)福岡(4) 代表 1568
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)姫路 代表 6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船(電)大船(067) 代表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414) 代表 8111
郡山製作所	福島県郡山市境橋町1番地(電)郡山 1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地(電)伊丹 代表 4736
無線機製作場	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414) 代表 8111
東京工場	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414) 代表 8111
札幌修理工場	札幌市北二条東12丁目(電)札幌(2) 3976

次号予定

三菱電機 Vol. 34 No. 11

- JRR-2 研究用原子炉(1) 仕様、特性および構成
- 計数形電子計算機の特種演算高速化方式
- 航空機用HFおよびVHF テールキャップアンテナ
- GM部品について(1)
- 航空機用燃料 ラスタボロン
- 航空機用 リレーAN3370
- 艦船用埋込シャ断器 AQB形およびNQB形
- 導波管 ハイブリッド 回路の広帯域整合
- 新形式の エニットケプステーション
- 低圧速動ヒューズ
- 発電機絶縁の耐コロシ性
- 直列インバータ総論(3)
- 技術解説 火力発電 シリーズ  
火力発電所における通信設備  
： 火器管制装置

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村誠一郎	常任委員	船宗正	橋村正	信平
常任委員	浅井徳次郎	〃	山田	田高	一示
〃	荒井潔	委員	片岡	野村	博隆
〃	安藤安二	〃	津野	豊田	準俊
〃	市村宗明	〃	関津	米野	上八
〃	小川清一	〃	豊	井	
〃	小堀富次雄	〃	幹	事	
〃	高井得一郎	〃	馬	場	
〃	中野光雄	〃			
〃	馬場文夫				

(以上 50 名順)

昭和35年10月22日印刷 昭和35年10月25日発行  
「禁無断転載」 定価 1部 金100円(送料別)

編集兼発行人  
東京都千代田区丸の内2丁目3番地 吉村誠一郎  
印刷所  
東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社  
印刷者  
東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫  
発行所  
三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部  
電話 和田倉(201) 1611  
発売元  
東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店  
電話(291) 0915・0916 報費東京 20018

## ● 最近の照明施設(2)

### 7 帝国ホテル 新館ロビー (東京)

ホテルのロビーの照明としてケイ光灯 FL-40 W×1 灯用側面木製下面アクリライトカバー 灯具を10個を1セットの灯具として組合せている。各灯具ごとにその組合せが異なっているのでおもしろいパターンとなり、意匠的にも変化があつておもしろい。床上での平均照度は40 lxである。

### 8 東北放送のテレビスタジオ (仙台)

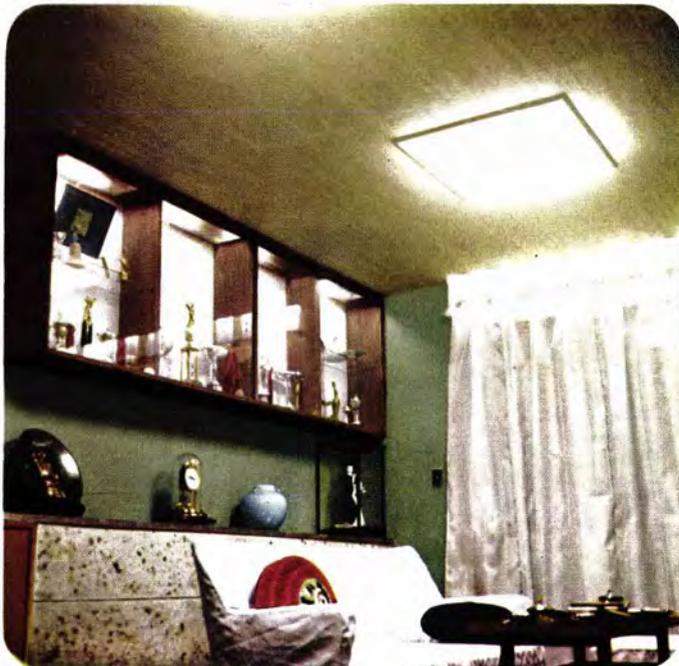
テレビスタジオの照明としてケイ光灯によるものは珍らしいがここでは高出力ケイ光灯 FLR-110 H-W×24 灯と反射形投光電球 150 W, 300 W 24 灯併用で平均照度は約 8,000 lx の高照度を得ている。



7



8



9



10



11



12

### 9 I 氏邸 応接間 (東京)

洋風のショーケース 応接間で天井灯は乳白色 プラスチックカバー 半埋込形ケイ光灯 FL-20 W-DL×4 灯具2セットのほか、カーテンきさえリクの内部に FL-40 W-DL×4 灯入れた。飾りだなの照明は埋込形 FL-10 W-DL×4 灯で室全体が明るくしかも落ち着いたふんい気となっている。

### 10 三菱電機札幌 ショールーム (札幌)

光り天井材料 デラックスパネル 各種形状のもの ケイ光灯 FLR-40 W×50 灯と壁面照明用 高出力ケイ光灯 FLR-110 H-W×2, FLR-80 H-W×2 灯のほか、白熱電球によるダウンライト、スポットライト (L 100 V, 100 W) 28 灯併用の照明で店内の平均照度 700 lx である。

### 11 三菱病院大手術室 (名古屋)

大手術室の光り天井として デラックスパネル 34 B×14 枚を使用し、天井裏には FL-40 W-DL×42 灯をセットし、室内の全般照明の平均照度は 900 lx、手術用无影灯での手術野での照度は 4,000 lx でもっとも近代的な病院の手術室の照明としてふさわしい。

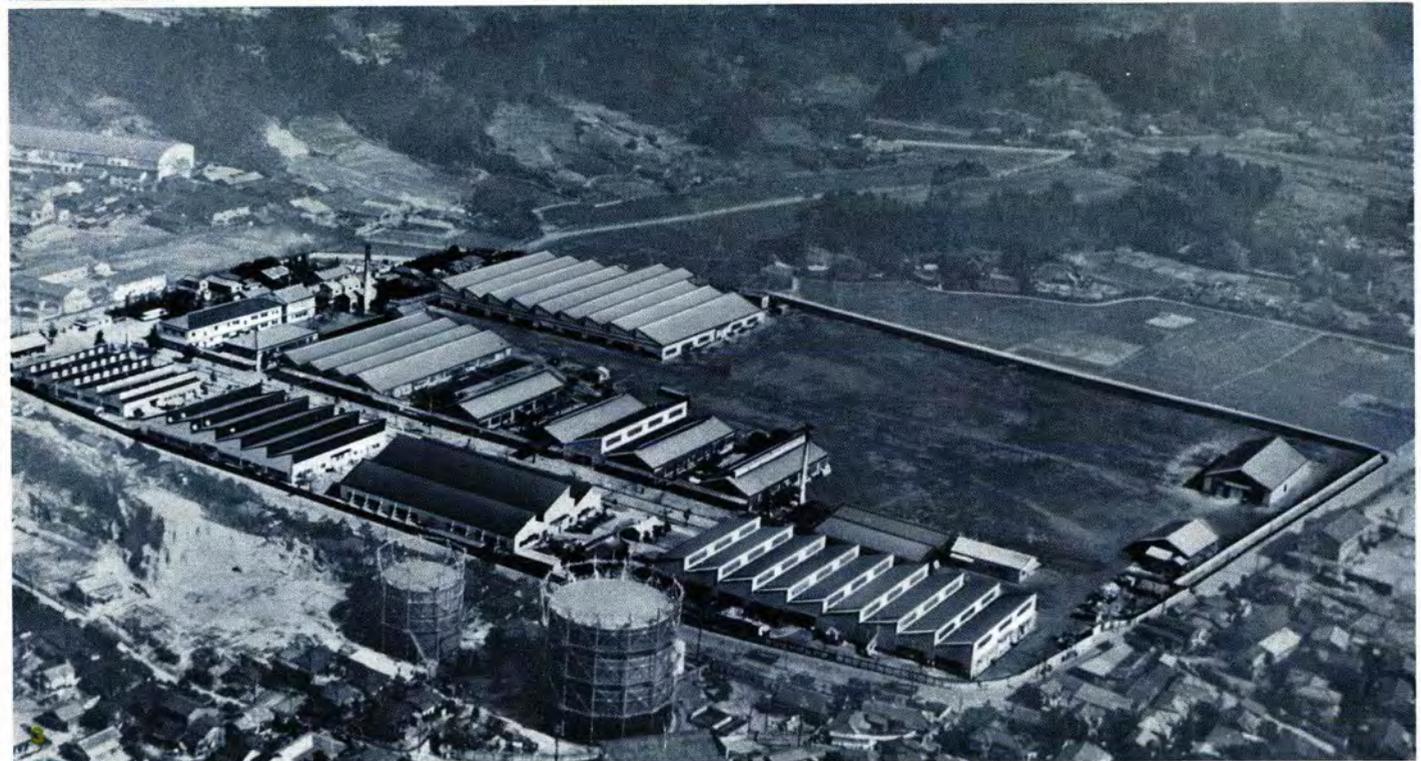
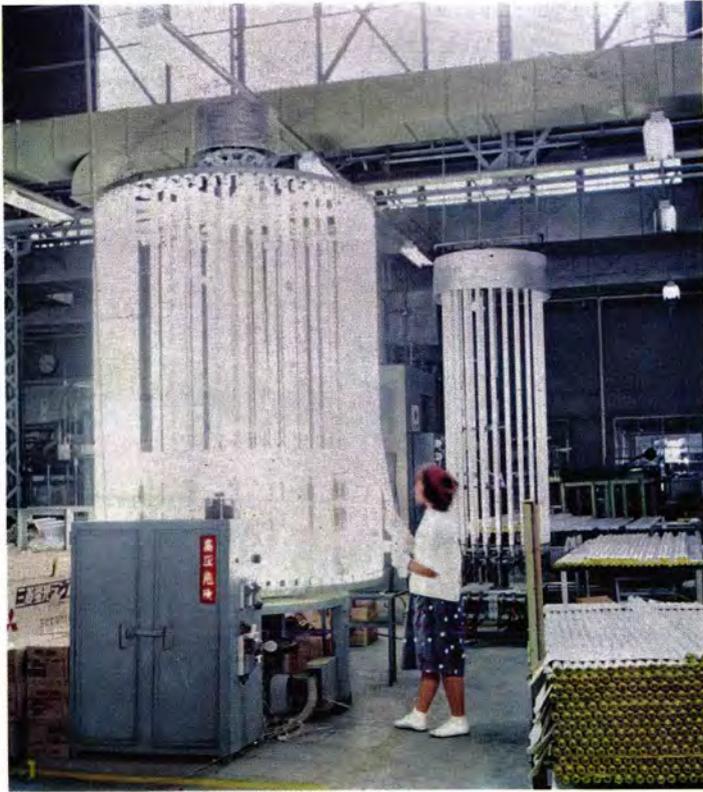
### 12 大船観音像 (鎌倉市)

大船駅西側の山上にあり、ケイ光水銀灯 HF-1000 D×1 台、HF-400 D×2 台、HF-300 D×1 台の投光器により遠方より夜空に美しく浮かび上がって見える。とくに立体感でしかも、柔かい感じを出し、しかも表面の色を正しく見せるため演色性のよい温白色ケイ光水銀灯を使用した。顔の部分の照度は約 50 lx である。



# 大船製作所紹介

この製作所は昭和10年東京都港区海岸通りに東京工場として発足、昭和15年現在地神奈川県鎌倉市大船800番地に移転、大船工場として操業を開始し、以来、数次にわたる設備の拡張を行ない、工場敷地99,174 m²(約30,000坪) 建坪30,580 m²(約10,000坪) 従業員1,300人、近代的最新鋭機の稼動と独自の研究により品質のすぐれた数多くの製品を生産している。その主要生産品のケイ光灯および高圧水銀灯は時代の花形の照明として広く販売され、とくに三菱 デラックスケイ光 ランプと三菱 デラックス 高圧水銀 ランプは演色性のよい明るい ランプとして業界の最高水準となっている。



1. 高出力 ケイ光灯 の エージング作業
2. ケイ光 水銀灯の外管排気作業
3. 大船製作所の鳥瞰図