

MITSUBISHI DENKI GIHO

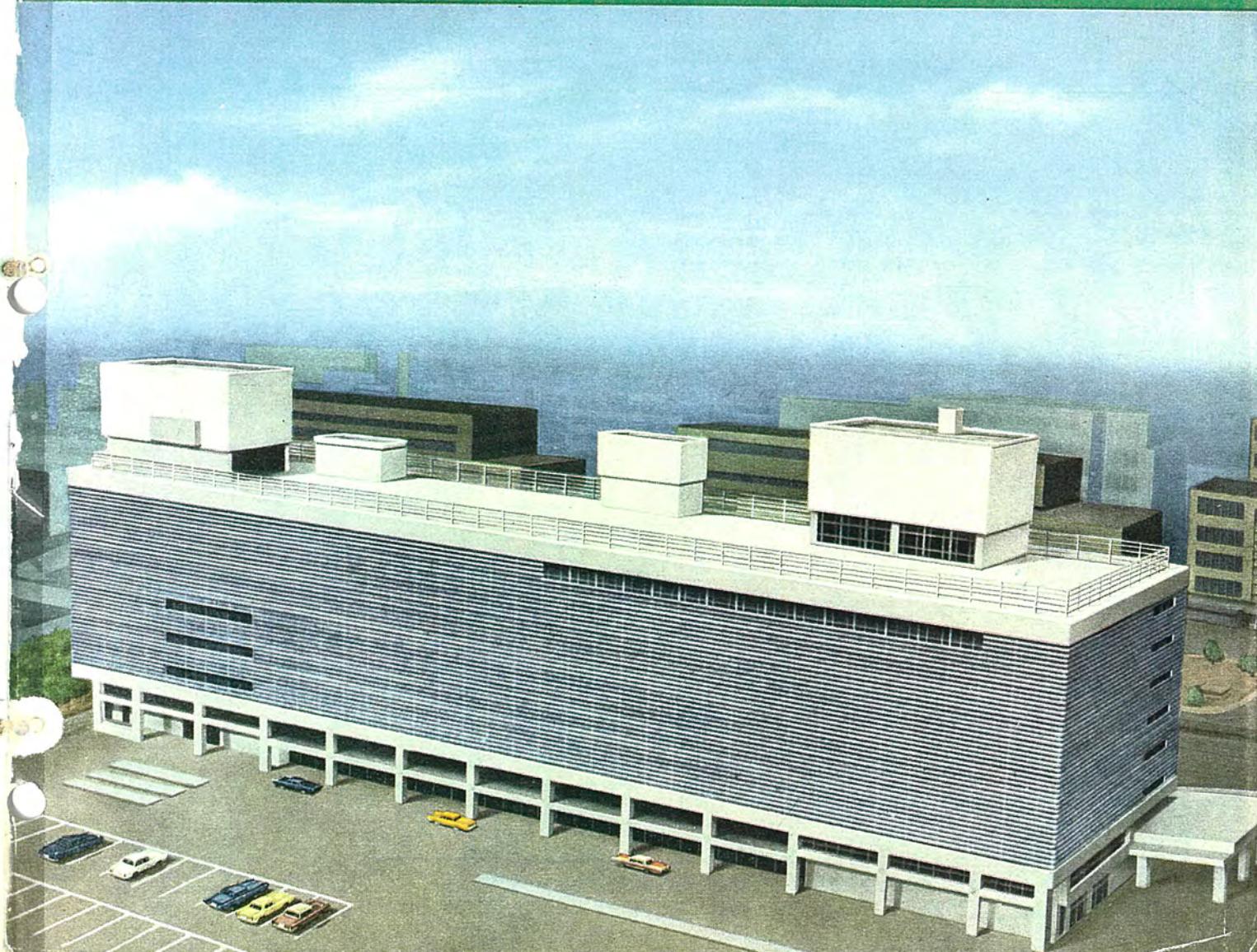
三菱電機技報

Vol. 38 April 1964

4

新宿ステーションビル（東京）完成予想図

ビル電気設備特集





表紙説明

新宿駅は、現在1日に優に百万人を超える乗降客（全国第2位）と、今後副都心の計画とあいまって、ますます発展を約束されており、新しく総合民衆駅として再建され、5月19日に竣工する予定である。ビルは、民衆駅（地下3階～地上8階、延面積42,938 m²）と駐車場（地下3階、延面積18,309 m²）からなっており、完成の暁には、食堂、商店、結婚式場、ホールなどを備えた近代的な総合駅となる。当社は、本ビルの設備の多くを受注納入した。おもな設備は、エスカレーター、空気調和、発電設備一式などである。

三菱電機技報

昭和39年第38巻第4号 (ビル電気設備特集)

目 次

H種絶縁乾式変圧器	荻野 優・鶴田敬二・福田信夫	2
C形空気シャーブ断器	潮 恒郎・米沢克昌・藤原八郎	10
ビル用特高(20,30 kV)キューピックル	矢野広男	15
ビル電源設備の制御	小滝喜久二	24
ビル用 6 kV, 3 kV 級 メタルクラッド開閉装置	横浜 博	30
DB形低圧気中シャーブ断器	勝田久登・竹内孝治	35
低圧バスダクト	兼松 豊・堀田滋矩	41
ビル用コントロールセンタ	高木洋一郎	48
非常用ディーゼル発電機と制御装置	高橋卓夫・谷瀬敏之	52
ビル冷房用誘導電動機の回転子形式と起動方式の選定に関する一考察	衛藤 譲・中野久夫	63
最近の事務所照明の傾向と技術的進歩	小堀富次雄	70
エレベータ・エスカレーターの配電計画	金野武司	75
ビル空調設備のプロセスオートメーション	佐野礼次郎・安部宗昌	79
<hr/>		
名古屋・御園座のどんちょう照明	小堀富次雄	85
開放形ターボ冷凍機用誘導電動機	衛藤 譲・酒向潔	89
レクチフォーマ	小林 凱・鶴田敬二	95
東海道新幹線架線電圧検知・構内無線共用アンテナ	黒田忠光・久保田肇・永岡栄・喜連川隆・武市吉博	102
《技術解説》		
電空併用ラレキ装置	小原太郎	106
《技術講座》		
プラズマ(その3)——プラズマ内の各種の巨視的現象	河合 正・伊藤利朗・近藤博通	118
《新製品紹介》		
CR形チーリングユニット・三菱電気魚焼器TF-10形新発売・三菱自動トースターAT-4形新発売		128
《ニュース・フラッシュ》		
関西電力姫路第二発電所納め 396 MVA 内部冷却タービン発電機完成・三菱化成納め 6,600 kW 三相誘導電動機完成・全固体化マイクロ波周波数源・いすゞ自動車納め デジタルタイマ(MELDAS-4769)好調稼動中・中米エルサルバドルから 30,000 kW 火力発電プラント一式受注・中華民国台湾電力谷関発電所向け増設機器一式受注		132
《特許と新案》		
交流電気車の制御装置・誘導電動機・誘導形整電器		134
最近における社外寄稿一覧		9
《最近登録された特許》		135
《表紙》 2. 三菱エレベット 3. 三菱エスカレーター 4. 名古屋・御園座のどんちょう照明		

H 種 絶 緣 乾 式 変 圧 器

荻野 脩*・鶴田 敬二*・福田 信夫*

Class H Insulated Dry Type Transformers

Itami Works Osamu OGINO・Keiji TSURUTA・Nobuo FUKUDA

Wonderful development of presentday civilization and economy has brought forth the construction of highly rationalized, tall and large scale buildings in the heart of cities. This in turn, has created big demands of class H insulated dry type transformers with excellent features of non-inflammability, non-explosiveness, small size, light weight, ease in inspection and maintenance and other points added to the dependability.

It is already ten years since the class H insulated dry type transformer was begun to be manufactured and its excellent quality is gradually being approved. The Company's ten year's productive experience has turned out a good many units ranging from 10 kVA several hundred volt units to 5,000 kVA ones as large capacities and 30,000 V ones as high voltage, total capacity aggregating 400,000 kVA.

1. まえがき

H種絶縁乾式変圧器の特色の第1にあげられる不燃性が、一般の油入変圧器に付随する火災、爆発からの恐怖を取り除いた点でとくに高く評価されていることは、わが国で製作開始されて以来十余年を経て、広く需要家に認識されるようになった。

油入変圧器の油は、周知のごとく、冷却と絶縁の目的に用いられ、この油を利用することによって、今日のような超高圧、大容量の変圧器の製作が可能となったわけであるが、変圧器に用いられている鉱油は引火点が 130°C 程度のきわめて可燃性の液体であるため、油入変圧器は事故の起こる機会はきわめて僅少であるとはいえる、火災、爆発の恐怖からまぬがれることができない。

このため不燃性合成絶縁油 (Askarel と総称されている) の研究が続けられ、国産されるようになり、これを用いた不燃性油入変圧器がかなり利用されるようになった。これで変圧器の不燃化の目的は一応達せられたわけであるが、この不燃性油の取り扱いには幾分難点があることと、不燃性とはいえる油入変圧器である以上、きわめてまれではあるが油漏れの恐れがあり、乾式変圧器に比べ保守点検が厄介であるなどの点で、製作可能な範囲のものは

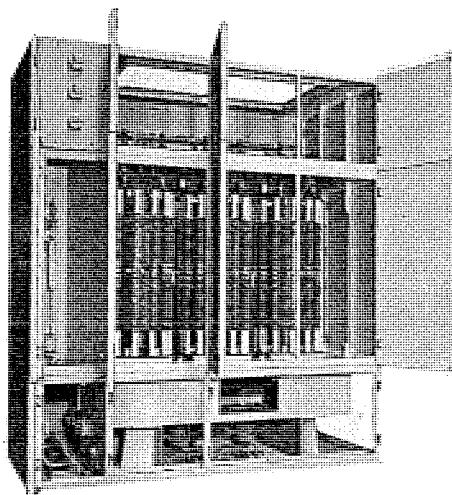


図 1.1 30 kV 級 H 種 乾式 変 圧 器
Fig. 1.1 Class H insulated dry type transformer
of 30 kV class.

ほとんどH種絶縁乾式変圧器のほうが使用されている。

一方、近年の文化、経済のめざましい発展とあいまって、百貨店、事務所、病院および劇場などの高層大規模のビルディングが続々と建設されている。とくに東京、大阪および名古屋においては人口集中の傾向が大きく、地下および空間利用が盛んに行なわれ、電力需要密度が非常に大きくなっている。

ビルディングはビジネスの中核としての性格上都心部の地価が著しく高い場所に建設されるから、建設単価の低減と占有面積利用率を向上させるために高層化してくると同時に付帯設備である受変電設備も経済性、安全性のために必然的に小形軽量、不燃、非爆発性のものが要求される。

H種絶縁乾式変圧器は、次に述べるように油入変圧器に比べ非常に小形であり、地価が著しく高い場所に建設されるビルディングにおいては、不燃、非爆発性であることは前記のとおりであるが、むしろ小形であることのほうが好まれる要素であることが多い。

2. 特 長

(1) 不燃性、非爆発性である

H種絶縁乾式変圧器の使用材料は銅材、ケイ素鋼帶および鋼材のほか、絶縁材料としてはマイカ、アスペスト、磁器製品、ガラスおよびガラス繊維などの無機質材料をシリコンワニスで処理したものであるから不燃性である。万一変圧器に事故を生じたときとか、系統に短絡事故や過負荷により長時間過電流が流れ過熱したときでも、単に巻線の破壊にとどまり、油入変圧器のように爆発、燃焼などの不慮の災害を引き起こし、事故を拡大するような心配もなく、また類焼の心配もまったくない。

(2) 重量、寸法が縮小できる

乾式変圧器は冷却ならびに絶縁の一部を効果の悪い空気にたよっているから、たとえH種絶縁物を用い温度上昇を高くとっても、変圧器の巻線および鉄心自体は油入変圧器より大きくなる。しかし油入変圧器においては、巻線および鉄心から油に伝達された熱を比較的低い温度で放熱器および外箱表面から大気中に放熱せなければならないので、かなり高い温度で直接大気中へ放熱する乾式の巻線および鉄心に比べ非常に大きな冷却面積をもった外箱および放熱器が必要となり、外箱、放熱器、油およびブッシングな

表 2.1 乾式、不燃性油入、鉱油入変圧器の比較

	鉱油入	不燃性油入	H種乾式
損失	100	100	110
床面積	100	100	75(合外箱)
高さ	100	100	90(%)
重量	100(含油)	125(含油)	70(%)

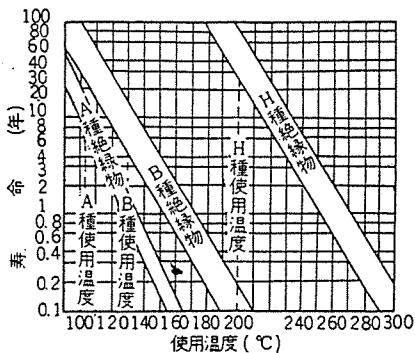


図 2.1 絶縁物の使用温度と寿命
Fig. 2.1 Working temperature and life of insulation.

どを考慮に入れると一般にH種絶縁乾式変圧器のはうが重量、寸法ともに小さくなる。

電圧 6 kV 級以下、容量 2,000 kVA 以下のものは自冷式、電圧 10 kV 級以上のものは 2,000 kVA 以上のは風冷式で製作することを標準としているが、油入に比べ重量、据付寸法ともに自冷式で 70~90 %、風冷式で 60~80 % 程度に小さくなる。表 2.1 は一例として、3 kV、三相、500 kVA の同一仕様の標準設計品について H種乾式変圧器、油入変圧器および不燃性油入変圧器の比較を行なったものである。

(3) 据付、保守、点検が容易である

油が使用されていないから油の点検、過負荷の必要がなく、油漏れ、油による汚損などの心配がない。したがって据付後の保守、点検はきわめて容易である。油を使用していないこと、油入より軽量、小形であることは、運搬、据付を容易にし、基礎も簡単となり、特別な防火設備の必要がなく、安全にどこにでも設置できる。

(4) 外観が美しい

乾式変圧器の外箱は異物の侵入を防止し、外傷から保護するの目的であるから構造は簡単でよく、自由な体裁、仕上げを選ぶことができる所以非常に優美な外観にすることができる。

また、高圧側 シャンク断路器、変圧器、低圧側断路器を同一キューピックルに並べて一体として、据付面積を縮小できるのも乾式変圧器なるがゆえである。

(5) 耐熱、耐湿性、過負荷耐量、寿命が大である

耐熱性、パッキン水性および耐湿性のすぐれたシリコンワニスで処理したマイカ、アスペスト、磁器、ガラス繊維などの無機質材料のみで絶縁が構成されているから、劣化の恐れが少なく長い寿命を有する。とくに過負荷耐量は油入に比べ非常に大きい。図2.1は H種絶縁物の使用温度と寿命の関係を B および A種絶縁物と比較したものである。

(6) その他

設置場所に制約を受けることが少ないので、負荷中心に近く設置することができる。したがって低圧母線を短くすることができます、配線材料の節減ならびに配線中の銅損、電圧降下を少なくできるなど 2 次的特長がある。

3. 最近の傾向

3.1 容量

ビルディングにおいては、1章で述べたごとく、地価の高騰、建築単価の低減のため占有面積利用率の向上をはかるためますます高層化してきたが、さらに従来の建築物装飾本位から照明、冷暖房、エレベータ、エスカレーターなどの付帯設備に重点をおく合理主義へと変化してきた。そのためビルディングの受電容量はますます増大し、H種絶縁乾式変圧器の信頼度の向上とあいまって、受電用のH種乾式変圧器は近年ますます大容量化してきた。ちなみに当社製作実績から最大単器容量(記録器)の推移をみると図3.1に示すとおりである。図中の 5,000 kVA は現在の国内記録品であり、参考までにその仕様を記すと次のとおりである。

形式	H種絶縁	乾式	風冷式	AV-B形
容量			5,000 kVA	
相数		三相		
周波数	50 c/s			
電圧	高圧側	22-21-19 kV	結線人	
	低圧側	3,300 V	結線	△
インピーダンス	8.57 %			
冷却風量	80 m³/min			
温度上昇限度	140°C			
規格	JEM-R 2005			
変圧器本体	床面積	2,450×1,138 mm		
	高さ	2,950 mm		
	重量	9,800 kg		

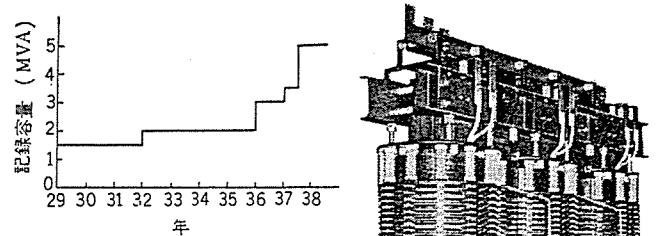
図 3.2 は上記 5,000 kVA の外観である。

3.2 電圧

乾式変圧器における 20 kV 級以上の試験電圧はコロナ、絶縁破壊などの点で油入変圧器の超高压に匹敵するものであり、数年前までは 20 kV 級までしか製作できなかったが、最近の技術の進歩とともにあって 30 kV 級のものも 20 kV 級と同様に製作できるようになった。

図 1.1 は 30 kV 級の変圧器外観で、その仕様は次のとおりである。

形式	H種絶縁	乾式	風冷式	AV-B形
容量			3,000 kVA	
相数	三相			



▲ 図 3.1 記録容量の推移
Fig. 3.1 Record of the largest capacity in class H insulated dry type transformer.

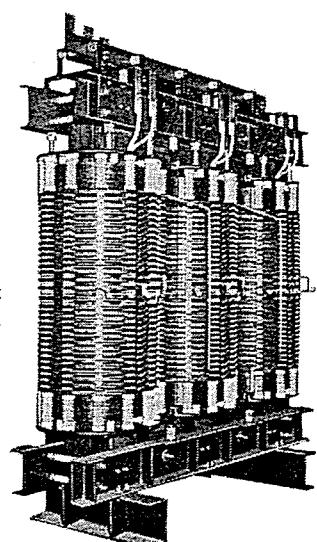


図 3.2 5,000 kVA H種乾式変圧器

Fig. 3.2 5,000 kVA class H insulated dry type transformer.

周波数	60 c/s		
電圧	高圧側 R F F 33-31.5-30-28.5 kV	結線 人	
	低圧側 3,300 V	結線 △	
インピーダンス	9.27 %		
冷却風量	80 m³/min		
温度上昇限度	140°C		
試験電圧 加圧試験	70,000 V		
衝撃電圧試験	130,000 V		
規格	JEM-R 2005		
変圧器本体 床面積	2,450 × 1,050 mm		
高さ	2,770 mm		
重量	7,000 kg		

また最近のビルディングでは 440/254 V あるいは 420/242 V 三相 4 線式の新配電方式が採用され始め、20 kV または 30 kV の特別高圧から 440/254 V あるいは 420/242 V の低圧へ直接降圧して、高圧から低圧へ降圧する変圧器を省略するいわゆる「ジカ落とし」方式が採用されるようになった。このため変圧器の根本的な構造は変わらないが、従来の 20 kV または 30 kV から 3 kV に降圧する変圧器に比べ、二次側の巻線電流が大電流となり、高度な技術が要求されるようになった。

またこの場合一次側からのサージ移行が問題になるが、二次側にサージアブソーバをそう入することによって解決する。

4. H 種絶縁材料

従来絶縁の種類に関する規定は JEC-86 (1954) 「電気機器一般」のなかに含まれていたが、この規定では不十分でありまた不明確であったので、これを改訂し充実したものとするために絶縁の種類に関する規定だけを JEC-86 から分離して、新たに JEC-147 (1960) 「電気機器絶縁の種類」が制定された。JEC-147 で規定されている絶縁の種類は次の 7 種類である。

絶縁の種類	許容最高温度(°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	180 超過

ただし C 種の許容最高温度は使用温度における材料の物理的、化学的または電気的特性によって制限される。

表 4.1 H および C 種絶縁材料

絶縁の種類	主副別	絶縁材料	右の絶縁材料製造の際に使用する場合の含浸、塗布材料	絶縁の処理材料
H 主	ガラス織維、石綿	なし		
	ワニスガラスクロス、ワニスアスペスト	シリコン樹脂		
	ゴムガラスクロス	シリコンゴム	シリコン樹脂	
	マイカ製品、ガラス積層品、石綿積層品	シリコン樹脂		
C 副	シリコンゴム	なし		
	マイカ、陶磁器、ガラス、石英、その他類似の性質をもつ無機物	なし	ガラスまたはセメントのような無機接合材料	
	ワニスガラスクロス、ワニスアスペスト、マイカ製品	耐熱性のとくによいシリコン樹脂 (225°C)	耐熱性のとくに良いシリコン樹脂	
	ポリ4フッ化エチレン樹脂 (250°C)	なし	(225°C)	

JEC-147 による

H 種乾式変圧器に使用されている絶縁材料は上記の内、H および C 種であり、表 4.1 に示す材料である。表 4.1 において各種別の材料は「主」と「副」との二つの欄に分けられているが、「主」の欄にはその種別に属することが広く認められている材料が、「副」の欄には一部経験的にわかっているものまだその種に入れることが一般に認められていない材料が記載されている。

A 種絶縁材料を用いた乾式変圧器は昔から製作されてきたが、そのほとんどは小容量、低電圧のものに限られていた。すなわち A 種絶縁材料を用いた乾式変圧器は、わが国のような湿度の高い場所においてはそれら絶縁物が漸次吸湿して絶縁耐力が低下するので、その絶縁特性に信頼がおけないことと、変圧器本体に発生する熱の放散がきわめて悪く、容量が少し大きくなると低い温度上昇限度内に押えることが困難のために、その利用が非常に狭い範囲に限られていたのである。

ところがマイカ、アスペスト、ガラス織維などの耐熱性の高い絶縁物に優秀なものができるようになり、さらに第 2 次世界戦争後急速に発達したシリコンニスが工業的に生産されるようになったのでこの耐熱性の高いしかも耐湿性、パッ水性および絶縁性の高いシリコンニスで前述の耐熱性の高無機質材料を吸湿しないように、また電気絶縁物としての形状を保ちうるように処理すれば、相当高い温度および湿度の下で使用してもさしつかえない絶縁物が得られるわけで、これがいわゆる H 種絶縁物である。

シリコンニスもさらに研究が続けられ、また需要の増加に伴い初期のものに比べ、相当良質、安価となったがまだ比較的高価といえる。そのため安価な他の H 種ニスが各社で開発研究されている。Westinghouse 電気会社では従来のシリコンニスよりも接着力、熱特性がすぐれ、しかも安価な「DORYL」を開発している。

5. 規 格

現在国内で使用されている変圧器の規格は電気規格調査会標準規格 JEC-120 「静止誘導機器」であるが、これには H 種乾式変圧器に対する温度上昇限度の規定がないこと、さらに同規格中の耐電圧試験値は油入変圧器の絶縁特性に基づいて制定されているので、空気絶縁が介在しそのため特有の絶縁特性をもつて乾式変圧器に同規格をそのまま適用することはきわめて不都合である。これらの問題に対して種々論議がなされ、日本電気工業会准標準規格として、JEM-R 2005 (1957) 「乾式変圧器の温度上昇限度および試験電圧」が制定された。したがって現在の H 種乾式変圧器の設計、製作、使用について準拠している規格は、温度上昇限度および試験電圧については JEM-R 2005、その他定格、短絡電流、損失、効率、電圧変動率、裕度などについては JEC-120 によっている。

5.1 温度上昇限度

連続定格または短時間定格の H 種乾式変圧器の温度上昇限度は油入変圧器と比較して示すと、表 5.1 のとおりである。

JEM-2005 では最高許容温度を 200°C と定め、抵抗法による温度上昇 (コイルの平均温度を示す) とコイルの最高温度部の温度上昇との差を 20°C、周囲温度を 40°C として、抵抗法による温度上昇を 140°C と決定しているのである。参考までに国外規格の H 種絶縁物の最高許容温度は、NEMA 規格で 220°C、JEC、BSS、VDE では 180°C となっている。

5.2 耐圧試験値 (表 5.2)

乾式変圧器には前述したとおり空気絶縁が介在するため、その

表 5.1 乾式変在器の温度上昇限度

項	機 器 の 部 分	温 度 上 升 度 (°C)	
		A 種 绝縁	H 種 绝縁
乾式	1 乾式自冷および風冷式巻線	55	140
	2 鉄心その他絶縁物に近接した部分	近接絶縁物に許された温度	
	3 2に含まれない金属部分	いかなる点でも損傷を起こさない温度	
油入式	1 油入自冷式、油入風冷式および油入水冷式巻線	55	—
	2 送油自冷式、送油風冷式および送油水冷式巻線	60	—

(注) 周囲温度 40°C 以下、標高 1,000 m 以下の場所において使用する変在器に適用する。

乾式は JEM-R 2005 (1957)、油入は JEC-120 (1952) によった。

表 5.2 乾式変在器の試験電圧値

絶縁階級	乾 式		油 入		
	商用周波電圧 [kV]	衝撃波全波電圧 [kV]	商用周波電圧 [kV]	衝撃波電圧 [kV]	全 波 サイ断波
0.2	2	—	2	—	—
1	4	—	4	—	—
3	10	25	10	45[30]	55[40]
6	15	35	15	60[45]	70[55]
10	25	55	25	90	105
(12)	(30)	(55)	—	—	—
(15)	(38)	(80)	—	—	—
20	50	95	50	150	170
30	70	130	70	200	230

(注) 乾式は JEM-R 2005 (1957)、油入は JEC-120 (1952) によった。

乾式 () 内のものは発電所内用にかぎり適用される
油入 () 内のものは柱上配電用変在器に対してのみ適用される。

表 5.3 開閉異常電圧と衝撃波試験電圧

絶縁階級 (号)	3	6	10	(12)	(15)	20	30
$3.5 \times \sqrt{2} U_n / 0.8$ (kV)	12.32	24.64	41.1	49.4	61.6	82.2	123.2
JEM 試験電圧 (kV)	25	35	55	(65)	(80)	95	130

構造上衝撃電圧と交流電圧による破壊電圧の比、すなわち衝撃比は、油および油含浸絶縁物との組み合わせで製作されている油入変在器の 1.8~2.4 に対し、1.1~1.5 程度である。したがって現行 JEC-120 の試験電圧値では、油入変在器の場合は商用周波の試験電圧を考慮して変在器の主絶縁を設計しておけば、大体衝撃試験電圧に対しても主絶縁は大丈夫であるが、乾式変在器に現行の JEC-120 の耐衝撃電圧強度を要求すると、勢い商用周波電圧に対しては、極度に余分に絶縁を施さなければならないことになる。製作も困難となりまた非常に不経済なものとなる。ところが一般に乾式変在器は市街地とか坑内とか、とくにビルディングの場合などケーブルによって配電される場所、または一般屋外配電線に直接接続されない場所など原則として衝撃電圧、または開閉異常電圧の大きさ、ひん度の少ない場所に使用されるのが普通である。したがってこのような場所に使用される乾式変在器に、油入変在器と同様の高い衝撃電圧強度をもたせる必要がないとの考え方から、JEM-2005 の試験電圧値が規定された。

5.3 ケーブル系統における異常電圧

ケーブル系統における異常電圧の調査によれば、持続異常電圧は一相対地電圧の 2 倍近くのものが発生する。また開閉異常電圧は一相対地電圧 U_n のほぼ 3.5 倍以下であり、中性点を抵抗接地した系統では、さらに低い値と考えられる。

いま $3.5 \times \sqrt{2} U_n / 0.8$ により衝撃電圧値に換算し、JEM-2005 の試験電圧値と比較すると表 5.3 のようになる。JEM 試験電圧の値より下回っているので、この試験電圧でさしつかえないものと考えられる。

H 種絶縁乾式変在器・荻野・鶴田・福田

乾式変在器は前述したことなく、元来衝撃電圧侵入の危険の少ない場所に使用するのをたてまえとした多少その危険のある場合は、サーフアブソーバなどにより保護して使用すべきものであり、とくにビルディングのようにケーブル系統において使用する場合には、急シエン波頭の異常電圧の侵入する機会は非常に少なく、したがってサイバーストの印加されるような場合はありえないと考えられる。このため JEM-2005 ではサイバースト試験は行なわないことになっている。

6. 構 造

6.1 形式および冷却方式

当社で製作している H 種乾式変在器には AV, AV-B, AS および AS-B 形の 4 種類があるが、ビルディングの受変電用として一般に使用されているのは AV および AV-B 形であるから、ここではこの二つについて述べる。

6.1.1 AV 形 (自冷式)

電圧 6 kV 以下で容量 10~2,000 kVA 程度までの H 種乾式変在器はほとんど自冷式すなわち AV 形で製作されている。AV 形には変在器単独の外箱を有し単独設置できるもの (図 6.1 または図 6.2) と、メタクラ内に収納して列盤とするものがある。

6.1.2 AV-B 形 (風冷式)

容量が 2,000 kVA 程度以上になると自冷で冷却することが困難となる。また電圧が 10 kV 以上のものは 6 kV 以下のものに比

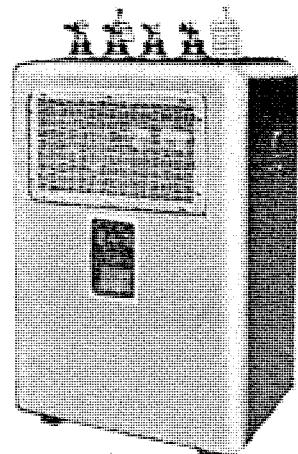


図 6.1 AV 形 H 種乾式
変在器 (1φ 50 c/s 50
kVA 3.3kV/210~105V)

Fig. 6.1 Type AV, class
H insulated dry type
transformer.

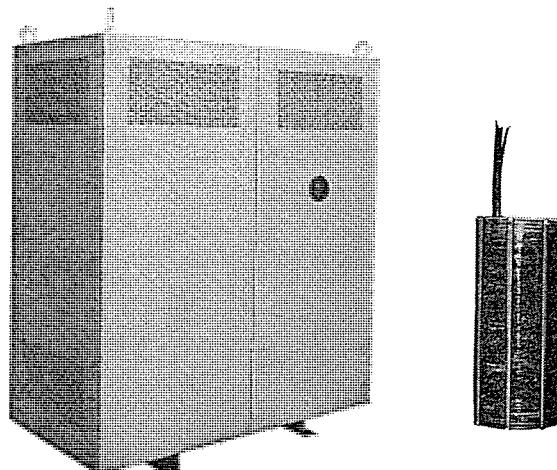


図 6.2 AV 形 H 種乾式変在器

Fig. 6.2 Class H insulated self-cooled
dry type transformer.

図 6.3 円筒巻コイル
Fig. 6.3 Cylindrical
winding.

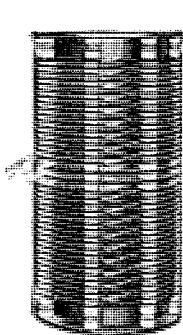


図 6.4 円板 コイル
Fig. 6.4 Disk winding.

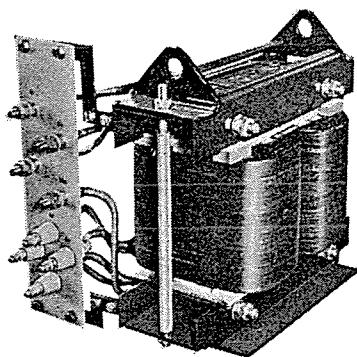


図 6.5 RA 形 H 種乾式変圧器
Fig. 6.5 Type RA class H insulated dry type transformer.

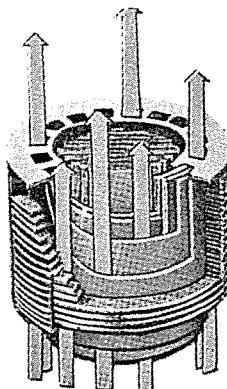


図 6.7 十分な冷却が行なわれる
広い空気道をもったコイル
Fig. 6.7 Cutaway view showing
large air ducts and path of
ventilating draft.

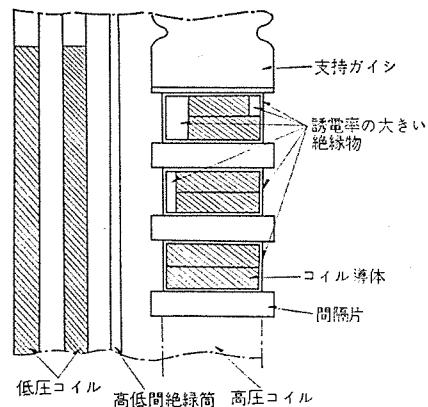


図 6.8 30 KV 級のコイル端部
Fig. 6.8 Coil end of 30 kV class
dry transformer.

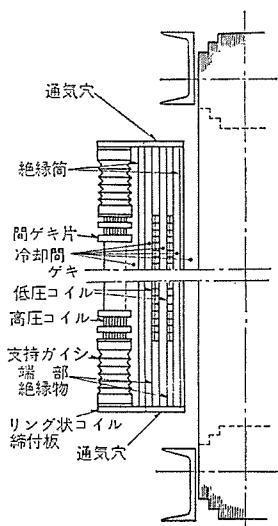


図 6.6 乾式変圧器
コイル構造図
Fig. 6.6 Construction
of coils.

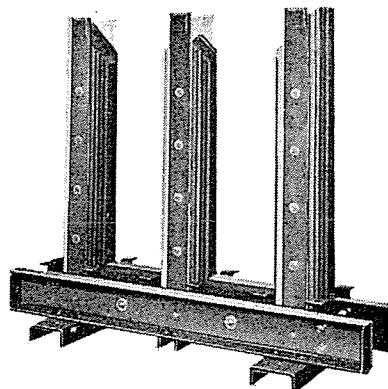


図 6.9 鉄心の構造
Fig. 6.9 Construction of core.

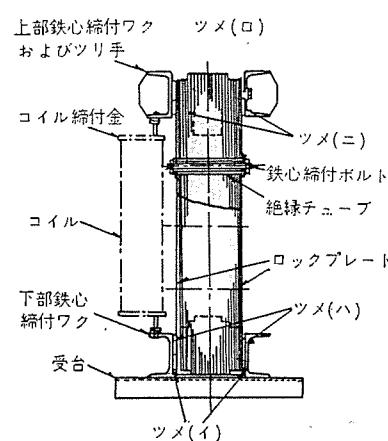


図 6.10 鉄心締付構造
Fig. 6.10 Sectional view of the
core construction showing the
method of lightening the core.

ベコイル 絶縁が強化されているので冷却効果が悪い。これらの変圧器は風冷式すなわち AV-B 形で製作されている。とくに電圧が 10 kV 以上のものは 6 kV 以下のものとコイル 絶縁構造が異なり、高価な絶縁材料をより多く使用しているから、風冷式を採用しコイルを縮小することによって経済性をはかるのが得策である。(図 1.1)

6.2 巻線

乾式変圧器に使用されているコイルには円筒巻(図 6.3)、円板巻(図 6.4)および方形コイルの3種類がある。6 kV, 200 kVA 以下の低電圧、小容量のものは、経済的に製作するために図 6.5 のごとく方形鉄心上に巻いた通風空隙の豊富な方形コイルを採用する。200 kVA 以上または 10 kV 以上になると冷却または絶縁が困難となるので、段付円形断面鉄心を用い、円筒巻または円板巻コイルを採用する。ここでは一般に用いられている円筒巻および円板巻コイルについて述べる。図 6.6 がその構造図で、一般に冷却および絶縁を合理的にするために図のごとく低圧コイルを円筒巻で内側に、高圧コイルを円板巻で外側に配置する。

導体絶縁としては電圧階級 6 号以下にはガラス繊維、10 号以上にはガラス繊維またはマイカテープを用い素線自体でもシリコンニス処理を行ない、さらにコイルに巻き上げてからワニスに浸し熱処理を行なう。このワニスは高度の絶縁、耐湿性を持たせるためのみではなく、表面をなめらかにしてじんあいが付着するのを防止し、また機械的強度を増大させるためのものである。10 号以上のコイルでは巻線直列方向の静電容量を大きくし、衝撃電圧の

電位分布を良好とするために、図 1.1 または図 3.2 のごとく双成円板巻線とする。

低圧コイルは絶縁筒を介して鉄心に外接して巻かれ、高圧コイルはその周囲に低圧コイルと同心に配置され絶縁筒で隔てられている。円筒コイルの層間はマイカで絶縁され、円板コイルの板間は磁器スペーサで通風間ゲキおよび絶縁距離が保たれている。円筒コイルは端部絶縁物の上下をそのまままたはガシで、円板コイルは上下をそのままガシで支持してそれぞれ 1 ターンを生じないように一部を欠いたリング状のコイル締付け板で強固に締め付け、短絡時の機械的衝撃に対しても十分安全なるよう考慮されている。枯化する材料が使用されていないのでユルミの生ずる恐れはない。またコイルは図 6.6 または図 6.7 のごとく冷却の目的で十分な通風空隙が設けられており、空気の流通が自由で局部的温度上昇の恐れはない。

絶縁階級が 30 号のコイルはコイル端の電界集中を緩和しコロナ開始電圧を高くするために、図 6.8 のごとくコイル端の形をまるくしてエッジ効果をできるだけ小さくすると同時に、誘電率の高い絶縁物で丸くなつたコイル端をおおい電界集中の緩和をはかるとともに機械力を増す構造となっている。

6.3 鉄心

鉄心には 6.2 節で述べたごとく、方形鉄心と段付円形鉄心の 2 種類があるがここでは一般に用いられている 3 段付円形鉄心について述べる。

鉄心材料としては特性のすぐれた冷間圧延一方向性ケイ素鋼帶

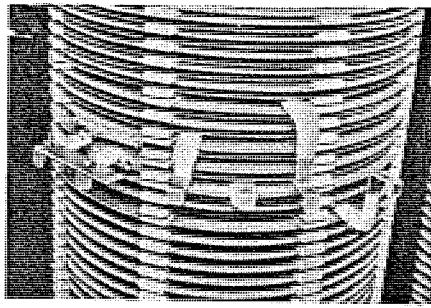


図 6.11 無負荷 タップ 切換器
Fig. 6.11 Tap changer.

を使用しているので数年前の変圧器に比べ、励磁電流および鉄損が小さく特性のすぐれた変圧器となっており、また磁束密度を高くとりうるのでそれだけ安価となっている。

一方向性ケイ素鋼帶はその名が示すとおり、圧延方向にはその特性が非常にすぐれているが、圧延方向と直角方向の特性は悪いという性質がある。したがって鉄心構造としては圧延方向のすぐれた特性をそのまま發揮させるために、図 6.9 のごとく、ヨークとレッグのジョイント部分は 45° に切断された鉄心をそれぞれラップジョイント構造としている。また鉄心貫通締付ボルトはできるだけ小数の小さいものを使用して、磁束が圧延方向に沿うのを妨げないようにし、鉄心の締め付けはロックプレート(図 6.10)、鉄心締付ワクおよびその両端の締付ボルトによりさらに強固に締め付ける構造となっている。

6.4 コイル、鉄心締付およびつりあげ構造

鉄心締付およびコイル鉄心つりあげ構造図を図 6.10 に示す。鉄心のレッグ部は非磁性鋼のロックプレートを介し絶縁されたボルトによって締め付けられている。このロックプレートの上下にツメ(イ)、(ロ)が溶接されており、鉄心締付ワクに溶接されたツメ(ハ)、(ニ)とかみ合うようになっている。コイルを締め付ける場合および短絡機械力を生じた場合、上下鉄心締め付ワクは押し開く方向に力を受けるが、この力はツメでかみ合ってロックプレートで受けようになっていて、鉄心に張力がかからぬようになっている。変圧器つりあげ時にも同様のことがいえる。すなわちコイル重量は下部鉄心締め付ワクで受け、ロックプレートを通して上部鉄心締め付ワクに溶接されたつり手でつり上げられるからレッグはなんらの力も受けない。レッグ重量は絶縁されたボルトおよび受台から下部鉄心締め付ワクを通してロックプレートに受けられ上部鉄心締め付ワクでつり上げられる。このロックプレートは同時に、鉄心レッグの自重によるタワミを防ぎ、製作途中、運搬時における鉄心特性の劣化を防止している。

鉄心およびロックプレート、鉄心締付ワクなどの構造材料はシリコンワニス処理を施し防ショウ(錆)に万全を期している。

6.5 無負荷 タップ 切換器

無負荷タップ切換器は図 6.11 に示すようにコイルから直接出されたタップを接続片で切り換える方式で簡単な構造で十分信頼度をもっているものである。

6.6 外 箱

外箱は感電の恐れをなくするほか変圧器運転に支障をきたすような異物の侵入を防ぐためのもので、外箱上下に冷却風の入口と出口があり、冷却風は自冷の場合、熱対流作用により、外箱下部の空気入口から入り鉄心、コイルを冷却したあと上部の空気出口より放出される。外箱は側面パネルが容易に取りはずせるか、ま

たは側面のトビラが開く構造になっておりタップ切換や内部点検を容易に行なえるようになっている。

7. 過負荷運転指針

負荷の増加に対し電源の増設が間にあわない場合とか、機器の一部に万一故障を生じ健全機器側で運転を継続したい場合はセン頭負荷を生ずる場合などには変圧器の過負荷運転の必要を生ずる。この場合過負荷運転に対する一定の基準があれば運転上非常に便利である。

油入変圧器の運転指針についてはすでに確立されているが、乾式変圧器についてはまだ明確なものがないので、当社においては乾式変圧器の熱特性を徹底的に調査し、その過負荷運転指針を作成した。

過負荷運転が許されるのは次の条件の場合である。

- (1) 周囲温度低下の場合
- (2) 短時間過負荷の場合
- (3) 冷却方式を変えた場合
- (4) 温度上昇試験記録が規定温度上昇値に達していない場合
- (5) 種々の条件が重なった場合

7.1 周囲温度低下の場合

冷却空気(周囲温度の1日の最高温度が 30°C から 1°C 下がること)に自冷式、風冷式ともに 0.4% だけ過負荷できる。

7.2 短時間過負荷の場合

変圧器の寿命を犠牲にしないことを条件で1日1回だけ過負荷するものとすれば表 7.1 のとおり過負荷できる。

また非常の場合で寿命損失を 1% 許すものとし、1年1回だけ過負荷する場合には表 7.2 のとおり過負荷できる。

7.3 冷却方式を変えた場合

風冷式の変圧器の送風機が故障した場合、トビラや下部空気取入口の集じん器などを開放すれば自冷式の変圧器として使用しうる。この場合、風冷時容量の約 70% の負荷で連続運転が可能である。

逆に自冷式の変圧器を風冷式に改造した場合には約 30% の容量増加ができる。

7.4 温度上昇試験記録が規定温度上昇値に達していない場合

JEM-R 2005 に準拠して製作されたH種乾式変圧器に対しては、

表 7.1 短時間過負荷

冷却方式	定格出力の倍数 (%)					
	自冷式			風冷式		
過負荷前の負荷	90%	70%	50%	90%	70%	50%
過負荷時間	$1/2$	150*	150*	150	135	145
	1	132	135	140	124	124
	2	115	117	119	114	115
	4	110	110	110	110	110

* 最高負荷を 150% におさえた。

表 7.2 非常短時間過負荷

冷却方式	定格出力の倍数 (%)			
	自冷式		風冷式	
過負荷前の負荷	50%	全負荷	50%	全負荷
過負荷時間	$1/2$	170**	157	162
	1	149	133	135
	2	127	122	124
	4	116	116	116
	8	113	113	113
	24	107	107	107

** 最高負荷を 170% におさえた。

自冷式、風冷式とも温度上昇試験記録の高圧巻線および低圧巻線のいずれか高いほうの温度上昇値が130°Cより低ければ、その高いほうの温度上昇値が130°Cより1°C低くなるごとに0.4%だけ過負荷できる。ここで130°Cとしたのは規格値より10°Cの余裕をみたものである。

7.5 種々の条件が重なった場合

以上の条件のいくつかが重なった場合には定格容量に対する過負荷率を単に加算した値で過負荷できる。ただし自冷式を風冷式に改造した変圧器については他の過負荷条件で運転することは好ましくない。

8. 変圧器インピーダンスと低圧シャンク

ビルディングの負荷はおもにエレベーター、エスカレーター、ポンプなどの動力負荷、冷暖房負荷、電灯、イルミネーションなどの照明負荷などであるが、これらの負荷をさらに細分しそれぞれの負荷単位でシャンクを有しておれば、負荷点で短絡故障を生じてもその負荷単位のシャンクのみを開くことによって、停電を最小限に止めることができる。この目的で当社が標準品として製作しているDB形低圧気中シャンクは、表8.1に示すような特性であるがその価格はシャンク容量にはほぼ比例している。したがってシャンク選定からいえば変圧器インピーダンスを大にして短絡電流を小さく押えたほうが得策であるが、変圧器選定からいえばインピーダンスを大きくすることは変圧器を高価にするとともに、電圧変動率を大きくなり得策とはいえない。したがってこういう面からもビルディング給電設備の最経済設計が必要となる。

表8.1 DB形低圧気中シャンク

形名	定格電圧(V)	定格電流(A)	定格シャンク電流(kV)	
			最大値	最大値
DB-25	600	600	22	
	500		30	
	250		42	
DB-50	600	1,600	42	
	500		50	
	250		65	
DB-75	600	3,000	65	
	500		65	
	250		85	
DB-100	600	4,000	85	
	500		85	
	250		130	

8.1 シャンク容量の決め方

負荷点で短絡を生じた場合の短絡電流は次式によって求めることができる。

$$I_s = \frac{P_T \times 1000}{\sqrt{3} E \left(\frac{P_T}{P_M} + \frac{Z_T}{100} \right)} K_1 K_2$$

ただし I_s =短絡電流(対称値)(A)

P_T =変圧器定格容量 (kVA)

P_M =変圧器一次側からみた電源の短絡容量 (kVA)

E =変圧器二次(低圧)側定格電圧 (V)

Z_T =変圧器のインピーダンス (%)

K_1 =非対称値に対する乗数 (125 %)

K_2 =同一母線に接続された電動機が発電機作用するための乗数 (110~120 %)

この短絡電流と負荷定格電流が表8.1の値を満足するシャンクを選定すればよいわけである。

8.2 変圧器インピーダンス

H種乾式変圧器は以上のこと考慮し、また現在までの実績、

表8.2 乾式変圧器標準インピーダンス

高圧側電圧(kV)		インピーダンス(%)
3	三相 200 kVA, 単相 150 kVA 以下	3.0~3.5
	三相 250 kVA, 単相 200 kVA 以上	5.0~6.0
6	三相 200 kVA, 単相 150 kVA 以下	3.5~4.0
	三相 250 kVA, 単相 200 kVA 以上	5.0~6.0
	10	6.0~7.0
	20	8.0~9.0
	30	9.0~10.0

経験から表8.2のようなインピーダンスを標準としている。

9. 据付

9.1 通風

変圧器を設置する場所は通風がよく、冷却空気温度がつねに規定の周囲温度(40°C)以下に保たれねばならない。変圧器損失による変圧器室の温度上昇は通常10°C以下に抑える必要があり、そのためには変圧器損失1kWあたり5m³/min以上の換気量が必要である。変圧器室内の換気を空気の自然対流によって行なう場合には、変圧器損失1kWあたり0.2m²程度の空気出口および入口面積が必要といわれているが、自然対流のみで換気が不十分な場合には排気扇の使用が必要である。

9.2 驚音

変圧器は鉄心の磁界現象のため本質的にある騒音レベルをもっており、通常騒音が問題になるのは周囲条件による音響の反射や共振現象または空気の共鳴現象などによって騒音が増幅される場合が多いので、変圧器を設置する場合には周囲のコンクリート壁やタイル壁などの音響をよく反射するものに十分注意し、また変圧器の発する100c/s(50c/s系の場合)または120c/s(60c/s系の場合)の騒音およびその高調波に対し共振、共鳴現象が起こらないよう考慮をはらう必要がある。

9.3 運搬、据付時の取り扱い

H種乾式変圧器は油入変圧器と異なり、コイルおよび鉄心を保護する頑強なタンクを有していないのでその取り扱いには細心の注意を払わねばならない。とくに大容量のもので中身とケースを別輸送するものでは、据付時にはコイルおよび鉄心を保護するものがまったくないのでコイル、鉄心およびガシなどを損傷しないように注意しなければならない。また搬入、据付はビルディング建築途中で行なわれるのが普通であるから、変圧器はセメント粉、高度の湿度のふんい気中に置かれることになる。このことは好ましくなく、運転開始までは変圧器をビニールその他でおおい外気とシャンクしておおく必要がある。

9.4 保守

H種乾式変圧器は絶縁油を使用していないので保守は非常に簡単である。定期点検の回数は通常1年に1回または2回程度が標準であるが、周囲条件によって異なるので点検回数は運転開始後2~3ヵ月の運転状況によって決定するのが望ましい。

H種乾式変圧器の保守は主として変圧器に付着したゴミの除去である。ゴミを除去するにはまず変圧器を回路から切り離してから外箱の側面パネルを取りはずしたりトボリを開き真空掃除器でゴミを吸い取る。真空掃除器で取れないゴミは圧縮空気を吹き付けて取るがあまり吹付圧力が高いと変圧器の絶縁物を傷つける恐れがあるから注意を要する。グリース状の付着物はかわいた布でふき取り、水その他の液体を用いることは好ましくない。とくにコイルおよび支持ガシに付着したゴミは変圧器の冷却を阻害し、

また絶縁破壊の原因となるから十分注意を要する。

10. む す び

当社のH種乾式変圧器は第1号器を製作してからはやくも10年を経過し、現在製作中のものも含めて延べ容量40万kVAにおよび、さらにその需要は年々増加の一途をたどっている。これもひとえに需要家のH種乾式変圧器に対する関心が高まったことと協力によるものと感謝している次第である。

H種乾式変圧器は本文で述べたごとく多くの特長を有し、とくにビルディングの電源設備用としては最適といえるが、最近の技術の進歩により性能もすぐれ相当安価となったとはいえ、油入変圧器に比べればまだまだ高価である。H種乾式変圧器の高価な理由はその絶縁材料に高価ものを使用していることにある。したがって変圧器そのものの研究開発はもちろんのことであるが、材料の今後の研究開発に負うところが大きい。また変圧器の需要の導加

は材料の生産量を増加させ、その単価を低減する大きな因子となる。筆者は今後のH種乾式変圧器の性能、信頼性の向上はもちろんのことコストダウンに対しても今後さらに研究を続け、需要家の満足を得るよう努力し、H種乾式変圧器の今後の発展を期待するものである。

参 考 文 献

- (1) 萩野、神谷：「三菱電機」32, 553 (昭 33)
- (2) 木村：「変圧器の設計工作法」255 (昭 35)
- (3) 菅：昭和36年電連大論文集 629
- (4) 井上：「OHM」47, 12, 50 (昭 35)
- (5) 工藤：「工業材料」11, 7, 69 (昭 38)
- (6) 池田：「OHM」50, 7, 41 (昭 38)
- (7) 南角、神谷：「三菱電機」30, 188 (昭 31)
- (8) 濑戸、矢野：「新しい建築設備」秋季号受電設備特集 50 (昭 37)

==== 最 近 に お け る 社 外 寄 稿 一 覧 =====

年月日	寄 稿 先	題 名	執 筆 者	所属場所
38-11-8	図書「建築技術者のための電気設備」	制御および保護装置	小滝喜久二	神 戸
38-11-8	ETJ	The System Desing by the Use of a Model Consisting of a saturation and Naninleger Integrals.	真鍋舜治	中央研究所
38-11-9	電気書院	東海道新幹線用開閉装置	森岡昭二	伊 丹
38-11-9	交通工学	交通流解析機	田村祥一・阿部寿夫 佐藤一成	鎌 倉
38-11-9	医学者のためのエレクトロニクス	電子検診装置三菱オートナス	谷貞和	鎌 倉
38-11-11	電気書院	最近の光源とその適用(上)	小堀富次雄	本 社
38-11-11	制御工学	コア・メモリを使用した万能論理回路	福永圭之介・伊藤貴康 荒木忠夫	中央研究所
38-11-12	図説電気	キャンドモータと水中モータ	甘粕忠男	長 崎
38-11-15	火力発電	大容量タービン発電機の現状と将来	加賀貞広	神 戸
38-11-15	エレクトロニクスダイジェスト	計算コンデンサ	鹿島孝	鎌 倉
38-11-19	電子工業	インジェクション形レーザ	須崎涉	中央研究所
38-11-25	エレクトロニクスダイジェスト	完全な汎用性をもつ三菱電子計算機 MELCOM-1530データプロセッシングシステム	高橋幸四郎	鎌 倉
38-11-25	エレクトロニクスダイジェスト	科学技術者のための三菱デジタル電子計算機 MELCOM-1101Dシステム	坂和磨	鎌 倉
38-11-26	電気通信学会	高出力タリウム水銀灯による道路照明の経済比較	小堀富次雄	本 社
38-11-29	制御工学	探索信号最適化制御系の多変化	福永圭之介・吉田修己	中央研究所
38-11-30	オートメーション	磁気增幅器式制御用演算器	大野栄一	中央研究所

C形空気シヤ断器

潮 恒郎*・米沢克昌**・藤原八郎**

Type C Air Blast Breakers

Itami Works Tsunero USHIO・Yoshimasa YONEZAWA・Hachirō FUJIWARA

Type C air blast circuit breakers, because of a cross blast type, have very good interruption characteristics which well come up to the standard prescribed in JEC-145, operating on very simple construction both electrically and mechanically which correspond to the nozzle type air blast breaker. Their contacts permit inspection without removing the interrupting chamber. Their construction is particularly suitable to use them housed in cubicles. These features have enabled them to continue their production for past ten years without remodelling them. Their working range covers 12~36 kV rated voltages, 800~7,000 A rated current and 1,000~2,500 MVA interrupting capacities. This report describes the latest improvements, testing results and working examples.

1. まえがき

C形空気シヤ断器は、アーチに直角方向に空気吹き付けを行なって消弧する横吹付形空気シヤ断器で、ノズル形空気シヤ断器の断路部に相当する簡単な機械部分だけで、JEC-145に規定された再起電圧規格II号に合格するすぐれたシヤ断特性を発揮する。接触子が消弧室をはずすことなく点検できるほか、その構造がとくにキューピカルに収納して使用するに適しているため過去10年間

にわたって、ほとんどその構造を変えずに製作、納入されてきた。その使用範囲も定格電圧、12~36 kV 定格電流、800 A~6,000 A、シヤ断容量、1,000~2,500 MVA に及んでいる。以下にその最近の改良状況や試験、使用例などについて報告する。

2. 定格

表2.1に標準形シヤ断器の主要な定格を示す。従来、横吹付形空気シヤ断器は低い気圧で良好なシヤ断特性を有するため、操作気圧として10 kg/cm²-gが採用されてきたが、近時、高電圧(60 kV以上)空気シヤ断器の普及とともに、操作気圧15 kg/cm²-gが標準気圧として便利なことが多いため、需要度の高い中容量シヤ断器の操作気圧はすべて15 kg/cm²-gに統一されている。図2.1は、その一例である24 kV、1,000 MVA、1,200 Aシヤ断器である。

表2.1 C形空気シヤ断器定格

形式記号	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	定格シヤ断容量 (MVA)	定格投入電流 (kV)	定格短時間電流 (kA)	定格開極時間 (S)	定格シヤ断時間 (~)	定格再起電圧 10 15	定格操作圧 (kg/cm ² -g)	絶縁階級
10-C-100	12	600 1,200 2,000 3,000	1,000	131.3	48.1	0.07	5	II号	10 15	10号A
10-C-150	12	1,200 2,000 3,000 4,000	1,500	196.8	72.2	0.07	5	II号	10 15	10号A
10-C-250	12	5,000 6,000 7,000	2,500	328	120	0.07	5	II号	10 15	10号A
20-C-100L	24	600 1,200 2,000 3,000	1,000	65.5	24.1	0.07	.5	II号	10 15	20号B
20-C-150L	24	1,200 2,000 3,000 4,000	1,500	98.5	36.1	0.07	5	II号	10 15	20号B
20-C-250L	24	5,000 6,000 7,000	2,500	164	60	0.07	5	II号	10 15	20号B
20-C-100	24	600 1,200 2,000 3,000	1,000	65.5	24.1	0.07	5	II号	10 15	20号A
20-C-150	24	1,200 2,000 4,000	1,500	98.5	36.1	0.07	5	II号	10 15	20号A
20-C-250	24	5,000	2,500	164	60	0.07	5	II号	10 15	20号A
30-C-100L	36	600 1,200 3,000	1,000	43.6	16	0.07	5	II号	10 15	30号B
30-C-150L	36	600 1,200 3,000	1,500	65.5	24.1	0.07	5	II号	10 15	30号B
30-C-100	36	600 1,200 3,000	1,000	43.6	16	0.07	5	II号	10 15	30号A
30-C-150	36	600 1,200 3,000	1,500	65.5	24.1	0.07	5	II号	10 15	30号A
30-C-250	36	3,000	2,500	109	40	0.07	5	II号	10 15	30号A

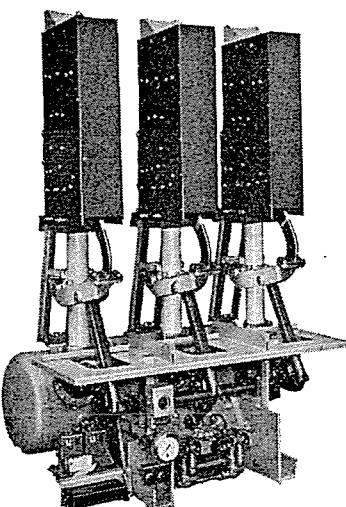


図2.1 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A
C形空気シヤ断器
Fig. 2.1 Type "C" Air Blast
Breaker rated at 24 kV 1,000
MVA 1,200 A.

3. 構造

図 3.1 に示すようなきわめて簡単な構造で、空気タンク内の圧縮空気が操作シリンダ上部に送られると、操作軸が、反時計方向に回転し、操作ロッドによって可動接触子が開かれると同時に操作軸に取り付けられたカムによって、吹付弁が開かれ、絶縁管を通して圧縮空気がアーカーに直角に吹き付けられて、シャ断が行なわれる。可動接触子はそのまま運動を続け、最終位置で断路作用を行なう。投入時には、操作シリンダ下部に、空気タンクから圧縮空気を送ることによって、操作軸が時計方向により回転して、可動接触子が投入する。消弧室はファイバー板で作られたスプリッタとシャ断後のアーカーの冷却と、消音作用を兼ねた冷却器より構成されている。大電流シャ断の際に圧縮空気によって押し上げられたアーカーがファイバー板から小量ではあるが放出される水素ガスの作用によって、電流ゼロ通過後、極間にあらわれる再起電圧の初期上昇部分に相当するきわめて短い期間内の絶縁回復が急速に行なわれるため、良好なシャ断特性を発揮し、抵抗シャ断などを行なわれる。

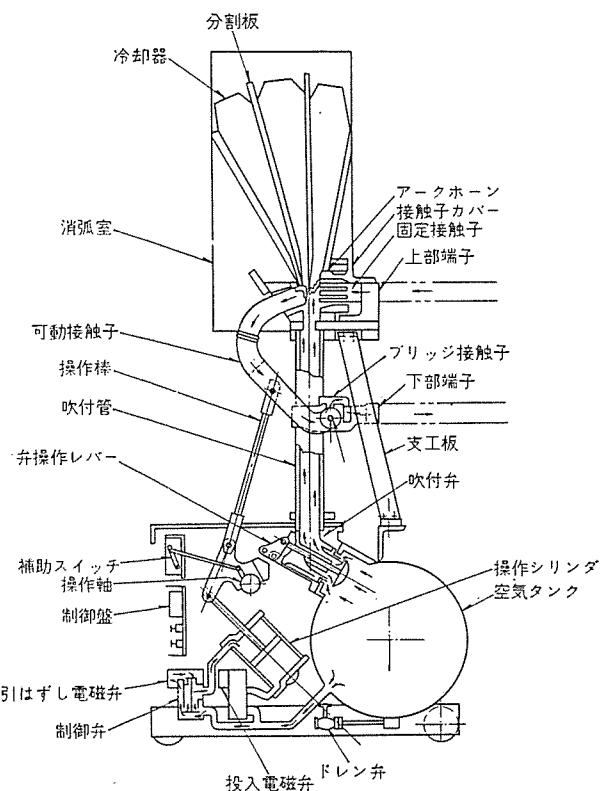


図 3.1 C形空気シャ断器側面図

Fig. 3.1 Side view of Type "C" air blast breakers.

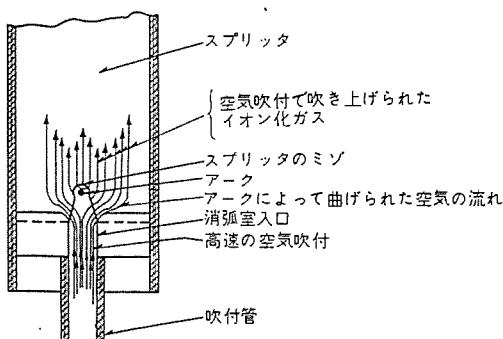


図 3.2 消弧室内における空気の流通状態

Fig. 3.2 Cross sectional view of an arc chute showing air flow under arcing conditions.

なわざして、JEC 145 の再起電圧Ⅱ号の特性を有する。なお、ファイバーの消耗は僅少で、通常接触子の消耗の方が消弧室の消耗に先行するため、とくに短絡シャ断を繰り返す電気炉用シャ断器を除いては、消弧室の寿命は半永久的である。また、上記のスプリッタには、図 3.2 のように半円形のミゾがあり、アーカーを包むように圧縮空気が流れ、アーカーを強制的にしづら込まれないよう配慮されているため、励磁電流シャ断時などに際して、著しい電流サイ断現象がなく、過電圧の発生も少ない。

4. 特長

横吹付空気シャ断器のために、下記のような特長を有している。

(1) 接触部がシャ断器を分解することなく点検できる。

シャ断器の最も点検を要する部分の一つである可動接触子、固定接触子がシャ断器開位置で点検できる。(図 4.1) このため著しく点検時間が短縮され、しかも信頼度の高い運転が確保される。

(2) 構造が簡単である。

電流の通路は、上部端子→固定接触子→可動接触子→ブリッジ接触子→下部端子ときわめて簡単で、再起電圧抑制用の並列抵抗、異常電圧抑制用の非直線抵抗、抵抗シャ断点などの複雑な付属物が皆無である。また操作機構部は、操作シリンダと操作軸、吹付弁、緩衝器、空気タンクが主要部で、きわめて簡単な構成である。これらの構造の簡単さのために、なんら特別な知識を必要とせず、容易に保守、点検を行なうことができる。

(3) シャ断器を引き出すことなく保守点検できる。

図 3.1 の構造図からも明らかのように、接触部、吸付弁、操作シリンダはすべてシャ断器前面から点検し、また取はずして保守できるため、シャ断器を主回路、制御回路、空気配管などから切りはなして保守する必要がなく保守の手間がはぶけるとともに作業が簡素化され、さらに、保守時のシャ断器引出しのための床面積を考慮する必要がない。

(4) 油を使用しない。

油を使用しないため、火災の危険がない。とくに、最近消防法などの整備に伴い、都心部の地下変電所などに多数使用される傾向にある。また、アーカー時間が短く、接触子の消耗が少なく、油の劣化の問題もないため、リアクトル、コンデンサバンクなどの開閉用に適している。

(5) 空気消費量が少ない。

横吹付形空気シャ断器のため、少ない空気消費量で良好なシャ

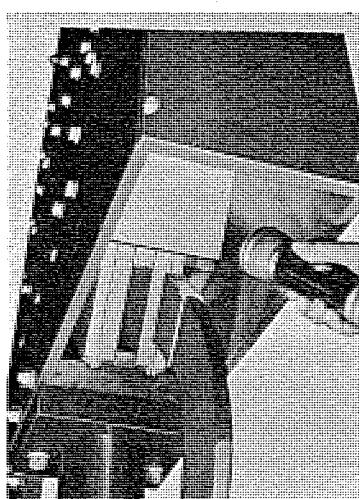
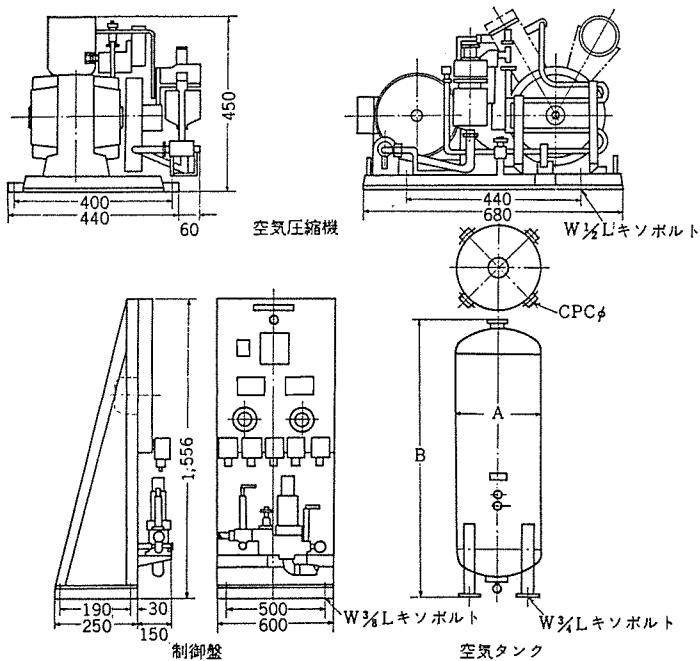


図 4.1 接触子は消弧室を分解することなく点検できる

Fig. 4.1 Contacts are easily inspected without removing the arc chute.



空気タンク標準寸法

タンク容量 (l)	最高使用圧力 (kg/cm ²)	A (mm)	B (mm)	C PCΦ (mm)	重量 (kg)
200	36	642	845	676	250
400	36	642	1815	676	600

空気圧縮機定格

形式	空気圧縮機			電動機				全重量 (kg)	
	最高吐出 圧 kg/(m ²)	回転数 rpm	吐出量 l/min	形式	出力 kW	電 圧 (V)	相数 (φ)		
YD 2A3XA	35	600	70	SB-A	0.75	AC 200	3	50/60	150

図 4.2 小形圧縮空気発生装置
Fig. 4.2 Economical air supply system.

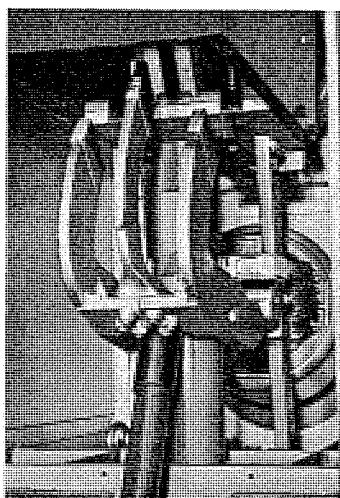


図 4.3 定格電流 6,000 A シャ断器の接触子
Fig. 4.3 Typical three member blade moving contact rated at 6,000 A.

断特性を発揮できるため、シヤ断器台数の少ない時は図 4.2 に示すような小形圧縮空気発生装置（ペビコン）が使用できる。

（6）大電流定格の設計が容易である。

図 4.3 に示すように接触子を並列に増加するだけで 4,000~7,000 A の大電流定格のシヤ断器が得られる。この場合、消弧室、操作機構、吹付弁などは標準形シヤ断器をなんら変更する必要がなく、きわめて簡素な構造でよい。

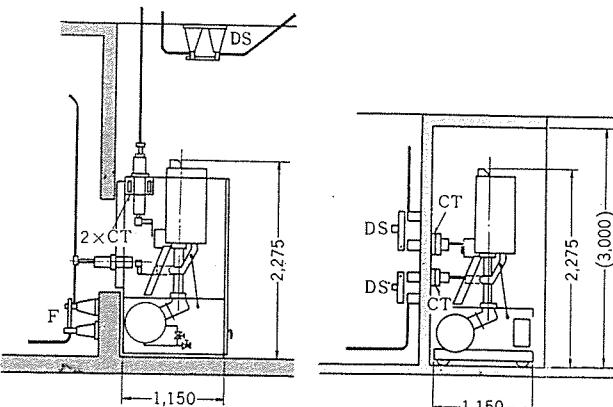


図 5.1 簡単な外箱に組み込まれた 24 kV, 1,000MVA, 1,200 A シヤ断器
Fig. 5.1 Typical installation of Type "C" air blast breaker in simple steel enclosures.

図 5.2 コンクリートコンパートメントに組み込まれた 24 kV, 1,000MVA, 1,200 A シヤ断器
Fig. 5.2 Typical installation of type "C" air blast breaker in concrete compartment.

5. 使用例

キューピクル組込の場合については、別に詳細に報告されているので、シヤ断器独特使用の場合の例について簡単に述べる。図 5.1 は簡単な外箱を付け、断路器およびブッシング CT を組み合わせたもので、保守の安全と開閉装置の合理的な配置が行なわれているのが特長である。図 5.2 は既設のコンクリートコンパートメントを利用した例で、外観もよく、全体的にまとまりもよくなっている。空気シヤ断器の使用にあたって、操作音が心配されることがあるが、C形空気シヤ断器の場合、消弧室の冷却器が消音作用を有するとともに、キューピクル、あるいは、建屋による吸音作用があるため、従来低騒音変圧器が使用されるような場所にもキューピクルに収納して、とくに問題を生ずることなく使用されている。圧縮空気発生装置に関しては、台数の少ない時には、図 4.2 のようなペビコンを使用することによって経済性の問題も解決される。

6. 試験

各電圧階級のシヤ断器に対して、JEC-145 相当の試験が実施され、これに合格することが検証されているのはもちろんであるが、以下には最近行なわれた試験の二、三について報告する。

6.1 温度試験

表 6.1 は一例として定格電流の最も大きな 6,000 A シヤ断器の温度試験結果を示す。

6.2 短絡試験

6.2.1 三相合成等価シヤ断試験

C形空気シヤ断器はキューピクル組み込み、また単独でも比較的せまい場所に据え付けられることが多いため、シヤ断時消弧室から吹き上げられる排気ガスによる相間短絡が問題になる。これを試験するため、図 6.1 のような三相合成等価試験回路によって定格シヤ断容量、シヤ断時の相間短絡、対地内絡が試験された。図 6.2 はこの試験回路によって 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A シヤ断器を試験した結果のオシログラムを示す。

6.2.2 異相地絡シヤ断試験

この種の定格電圧のシヤ断器は、使用状態も過酷なことが多く、実用に際して異相地絡をシヤ断する場合も考えられる。図 6.3

表 6.1 16.8 kV, 2,500 MVA, 6,000 A

C形空気 シャ断器温度上昇試験結果

試験条件	通電電流(A)	測定位置	温度上昇(°C)	注
10,000回操作試験後 シャ断器単独	5,000	可動接触子 固定接触子 上部端子 下部端子	33 33 33.5 40	
冷却ファン 付屋外用 キューピック ルに収納	6,000 ファン2台 運転	可動接触子 固定接触子	24 23.5	キューピック ル外部の周 囲温度を基 準とする
	6,000 ファン1台 運転	可動接触子 固定接触子	32.5 33.5	
ファン全部* 停止乾燥用 電熱器具	6,000	可動接触子 固定接触子	34.5 37.0	

(* この場合の温度上昇値は運転後1時間の値)

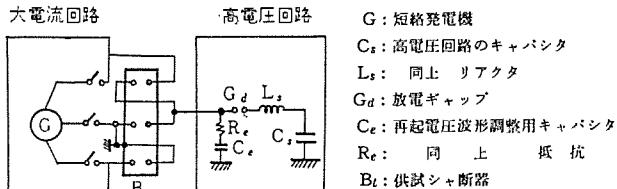


図 6.1 三相合成等価試験回路

Fig. 6.1 Circuit diagram of three-phase combind test.

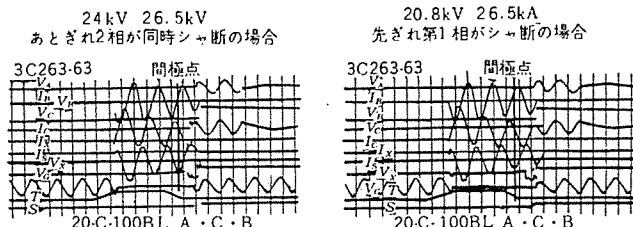


図 6.2 三相合成等価試験結果

Fig. 6.2 Oscillograms of three-phase combind tests.

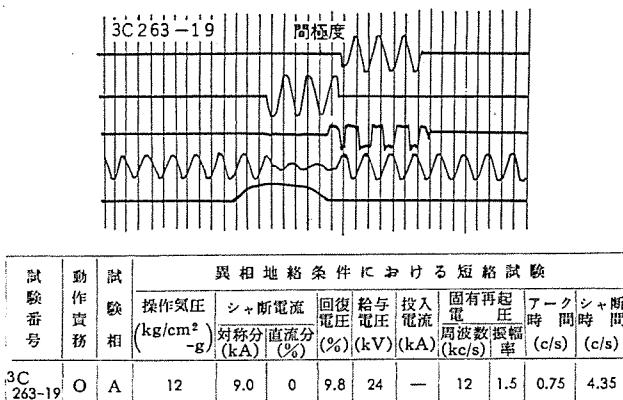


図 6.3 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A シャ断器による

異相地絡 シャ断試験結果

Fig. 6.3 Single phase interrupting test results under phase voltage.

は 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A シャ断器による異相地絡 シャ断の一例である。

6.2.3 充電電流 シャ断試験

図 6.4 は 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A シャ断器による充電電流 シャ断試験のオシログラム およびその結果である。試験は最低操作気圧 12 kg/cm²-g で行なわれている。

6.2.4 励磁電流 シャ断試験

図 6.5 は 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A シャ断器による無負荷変圧器の励磁電流 シャ断試験結果である。試験は最も電流サイクル現象を生じやすい最高操作気圧 16.5 kg/cm²-g で行なわれている。

6.2.5 リアクトル電流の シャ断

近時、コンデンサバンクに代わって、力率調整用の大容量 リアクトル

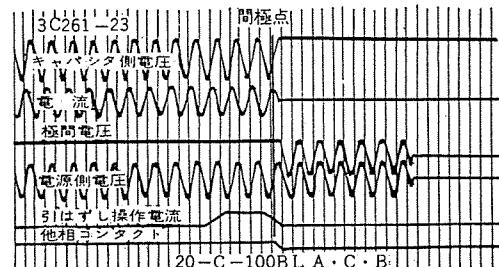


図 6.4 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A C形空気 シャ断器充電電流 シャ断試験結果

6.4 Test results of capacitive current interruption.

試験番号	試験責務	試験相	充電電流 シャ断試験						
			操作気圧(kg/cm ² -g)	給与電圧(kV)	シャ断電流(A)	再点弧回数	シャ断時の過渡電圧*	アーケ間時(c/s)	
3C 261-23	O	C	12	17.3	60	0	0	1.0	0.2

* 給与電圧波高値に対する倍数で表示。

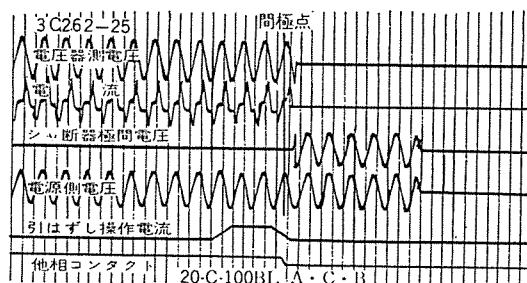


図 6.5 24 kV, 1,000 MVA, 1,200 A C形空気 シャ断器励磁電流 シャ断試験結果

Fig. 6.5 Test results of exciting current interruption.

試験番号	試験責務	試験相	励磁電流 シャ断試験						
			操作気圧(kg/cm ² -g)	給与電圧(kV)	シャ断電流(A)	シズ時過渡電圧*	アーケ間時(c/s)		
3C 262-5	O	C	16.5	20.7	12	1.7	0.4		

* 給与電圧波高値に対する倍数で表示。

が使用されることが多くなったが、リアクトル回路は固有周波数が高くなる可能性もあるので、16.8 kV, 2,500 MVA, 3,000 A シャ断器により 16.8 kV で再起電圧周波数 44 kc 振幅率 1.8 相当までの シャ断試験が行なわれた。図 6.6 はそのオシログラムを示す。また接触子の消耗状況を調べるために 16.8 kV, 1,000 MVA シャ断器で、570 A の電流を 1,000 回 シャ断する試験も行なわれたが、図 6.7 に示すごとくほとんど消耗のあとがなかった。

6.3 連続開閉試験

各定格の シャ断器については、必ずしも 10⁴ 回の連続開閉試験が実施されその機械的特性が検証されているが、表 6.2 は最も機械的に過酷な 16.8 kV, 2,500 MVA, 6,000 A シャ断器の連続開閉試験結果である。

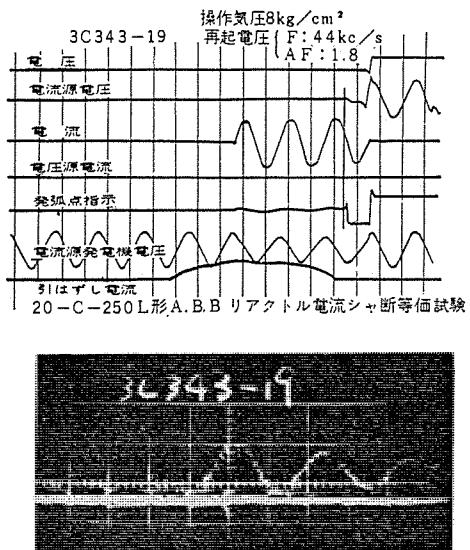


図 6.6 16.8 kV, 2,500 MVA, 3,000 A シャ断器によるリアクトル電流シャ断試験結果（再起電圧周波数 44 kc/s 振幅率 1.8）

Fig. 6.6 Interruption of reactor circuit by 16.8 kV 2,500 MVA 3,000 A breaker. (Frequency of transient recovery voltage 44 kc/s amplitude factor 1.8)

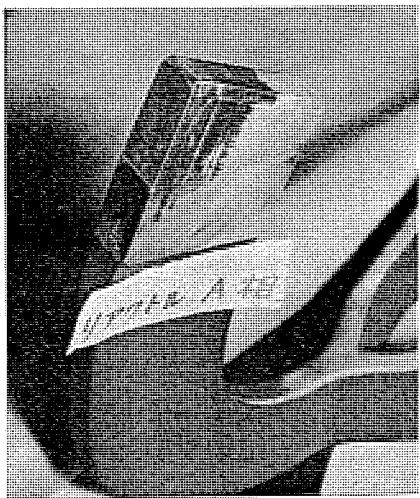


図 6.7 リアクトル連続開閉試験
(15.2 kV, 570 A, 1,000 回開閉) 後の主接触部
Fig. 6.7 Contact piece after 1,000 times of interruption of reactor. (Current 570 A at 15.2 kV)

表 6.2 20-C-250 L形 ABB 10⁴回操作試験結果

回 数	操 作	投 入 時 (～)	開 極 時 (～)
0	C	13.0	4.0
1,000	C	13.05	3.8
3,000	C	13.25	4.0
5,000	C CO	13.5 13.7	3.84 4.1
7,000	C CO	13.8 13.9	3.8 4.0
9,000	C CO	12.7 12.8	3.8 4.0
10,000	C CO	13.7 13.7	3.8 4.1

7. む す び

C形空気シャ断器は、きわめて簡単な構造で、すぐれたシャ断特性と安定した機械的特性を発揮できる横吹付形空気シャ断器で本文では、その最近の状況について報告した。そのおもな内容を要約すると

- (1) 最も用途の多い中容量シャ断器の操作気圧が 15 kg/cm²-g に統一された。
- (2) キューピクルと組み合わせて使用されるほか、簡単な外箱を付して、コンクリートコンパートメントなどと組み合わせて、保守上安全で、床面積の少ない経済的な開閉設備を実施できる。
- (3) ノズル形シャ断器の断路部に相当する簡単な機構で、JEC-145 再起電圧規格Ⅱ号に合格するきわめてすぐれたシャ断特性を発揮するほか、異相地絡シャ断、高い再起電圧周波数を有するリアクトル回路のシャ断など、最近の過酷な使用条件も十分満足する。
- (4) 大電流定格のものの製作が容易で、定格電流 7,000 A までが標準定格となっている。
- (5) シャ断器の使用台数が少ない場合には、パソコンの使用により、経済的な圧縮空気供給系統が得られる。

ビル用特高(20,30 kV)キュービクル

矢野 広男*

Extra-High Tension Cubicles for Building Use

Itami Works Hiroo YANO

In large buildings where the capacities of receiving power from the public utility are so large as to range from 1,500 to 10,000 kW, the receiving voltages are generally at 20 or 30 kV—the extra high tension. The power receiving apparatus used there shall be such that they need no special design in the building for their setup and that they occupy the least space as well as the high reliability and safety. To meet these requirements the cubicles have come in use lately. On the part of Mitsubishi, since they built 20 kV cubicles for use in buildings much improving has been made on their performance, shapes, composition, connection and the like, now the smallest size among those built by the Japanese manufacturers at the rating of 20 kV and 30 kV being the Company's standard products.

1. まえがき

電力設備容量が大きく契約電力がおおむね 1,500 kW をこえる大形ビルディングでは通常 20 kV, 30 kV 級の特別高圧受電となり、また契約電力が 10,000 kW をこえるような超大形ビルディングではさらに受電電圧は昇圧され、60 kV, 70 kV 級の特別高圧受電が必要となる。この場合の受変電設備機器の設置は閉鎖配電盤方式すなわち、特高キュービクルを採用することが常識化されるまでに普及した。これはすえつけ面積、容積の大幅な縮少、機器の耐久性向上と運転保守の簡便かつ安全に伴う保守要員を含めた設備維持費の節減など、ビルディングの設備として欠くことのできない要素をそなえているゆえんである。

当社としては昭和 29 年に東京新宿の伊勢丹百貨店にはじめてビル用 20 kV キュービクルを納入し、じらい東京を始めとして各方面の都心ビルディング関係に 30 kV, 60 kV キュービクルを含めて表 1.1 に示す納入実績をおさめた。この間顧客のご意向を参考にして創意と工夫が加えられ、とくに輸送、搬入、据え付けの簡便化と、すえつけ所要面積および容積の縮小化がなされてきたので以下業界で最も小形である三菱標準ビル用特高キュービクルの内、20 kV, 30 kV 級のものについてその概略を紹介する。

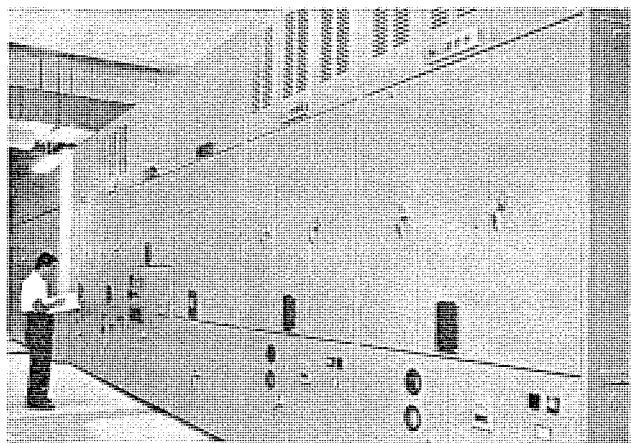


図 1.1 ビル用 20 kV キュービクル 外観
Fig. 1.1 Appearance of 20 kV cubicle for building use.

2. キュービクルの概要

ビルの自家用特高受変電設備における受電は地下ケーブル引き込みとなり受電回線は 2 回線が多く、まれには 1 回線受電の場合もあるが受電の不安定は免れない。2 回線受電の内訳は電力会社の送電方式により異なり、ループ方式、予備回線方式、平行回線方式がある。都心のビルディングは近距離に集中して建設されることが多い、この場合いくつかのビルディングを集め 1 単位約 10,000 kW とし、ループ回線を形成して給電する合理的な方法が多く採用されている。しかし電力設備容量の非常に大きなビルディングでは、ループ回線の形成が困難となるので、予備回線方式または平行回線方式となる。

受電点のシャンク容量はビルの電力設備容量に関係なく、受電系統により決まるので電力会社から指示されるが、20 kV 受電で 1,000 MVA, 30 kV 受電で 1,500 MVA をこえる系統は将来ともないと考えてよい。

20 kV および 30 kV 級の受電電圧における契約電力は、電力会社の給電事情その他によって多少異なるが、およそ 1,500 kW から 10,000 kW 程度までの範囲と考えてよい。またビルディングの負荷系体はおおむね一般電灯、動力と冷凍機その他の季節動力とに大別され、おのおのの負荷容量は大体同程度となるので、このような負荷系体からして主要変圧器は三相器を採用し 2 パンクを標準とし、搬入、据付条件を考慮に入れ单器最大容量を 6,000 kVA としている。しかし二次電圧 400 V 級の場合では、二次側シャンク

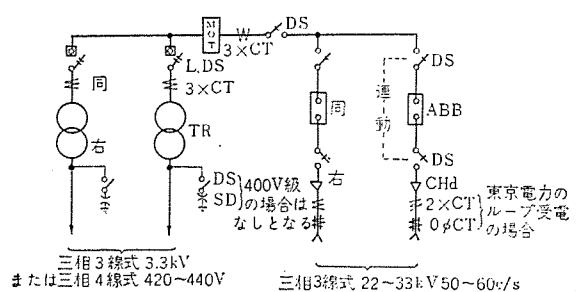


図 2.1 ビル用特高キュービクルの単線接続図
Fig. 2.1 Schematic diagram of extra-high tension cubicles for building use.

表 1.1 ビル用特高 キューピクル 納入実績表 (39-3-31 現在)

その仕様は下記のとおりである。

地域	納入場所	受電様式	変電容量	変電電圧	納入期日
東京電力	伊勢丹デパート	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 kVA×2 バンク	22/3.3 kV	昭和 29-6
	"	"	3,500 ×2(乾)	"	37-7(増)
	国際観光会館	"	600×3×1(乾)	"	29-8
	鉄道会館	"	2,250 ×2(乾)	"	29-9
	"	"	4,000 ×1(乾)	"	39-2(増)
	産経会館	"	1,000×3×1(乾)	"	29-10
	京ビル	"	750×3×1	"	29-11
	"	"	2,000×3×1(乾)	"	製作中(増)
	大和証券ビル	"	750 ×2(乾)	"	31-3
	松竹会館	"	1,000×3×1	"	31-4
新規	読売会館	"	2,000 ×2	"	31-12
	東京海上ビル	"	1,000×3×1	"	32-2
	三菱商事ビル	"	2,000×3×1	"	33-4
	新大手町ビル	"	2,000×3×1	"	33-5
	"	"	2,000 ×1	"	38-1(増)
	住銀大手町ビル	"	1,750 ×2	"	33-7
	N.H.K中央放送局	"	1,500×3×1	"	34-3
	"	"	2,000 ×1	"	38-3(増)
	東京銀行ビル	"	750 ×2(乾)	"	34-11
	日本交通公社ビル	"	1,200 ×2(乾)	"	35-8
力電	ホテルパレス	"	2,000 ×2	"	36-6
	富士製鉄ビル	"	2,400 ×2	"	36-10
	千代田ビル	"	2,000 ×2	"	36-12
	勵銀本店ビル	"	1,000 ×2(乾)	"	37-2
	日本通運ビル	"	1,500 ×2(乾)	"	37-3
	第三大手町ビル	60 kV 2,500 MVA×2 回線	5,000 ×1	66/3.3	37-4
	西川ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	1,200 ×2	22/3.3	37-6
	大蔵省印刷局本局庁舎	"	2,500 ×3(乾)	"	37-7
	三愛ドリームセンタ	"	750 ×2(乾)	22/0.42	37-8
	野沢屋デパート	"	1,500 ×2(乾)	22/3.3	37-9
西電	大日本企業千代田ビル	"	1,000 ×2	"	37-11
	新東京ビル	"	5,000 ×2(乾)	"	37-12
	第一生命ビル	"	1,500 ×1(乾)	"	38-10(増)
	新宿ステーションビル	"	3,500 ×2	"	39-2
	柳屋ビル	"	1,500 ×2	"	39-3
	そごう神戸デパート	30 kV 1,000 MVA×2 回線	750×3×1	33/3.3	31-11
	近鉄あべのデパート	20 kV 1,000 MVA×2 回線	1,800 ×2	22/3.3	32-4
	阪神ビル	20 kV 1,000 MVA×1 回線	3,500 ×1(乾)	"	製作中(増)
	"	"	2,000 ×2(乾)	"	32-5
	大丸神戸デパート	20 kV 1,000 MVA×1 回線	2,000 ×1(乾)	"	32-12(増)
西力電	南洋会館	30 kV 1,000 MVA×2 回線	750×3×1	33/3.3	32-7
	日本勧業銀行ビル	20 kV 1,000 MVA×1 回線	3,000 ×1(乾)	"	製作中(増)
	そごう大阪阪デパート	20 kV 1,000 MVA×2 回線	4,000 ×2(不)	22/3.3	32-8
	大丸大阪阪デパート	"	1,000 ×2(乾)	"	35-12
	大阪神ビル	"	2,000 ×2	"	36-5
	梅田地下街	"	3,000 ×2(乾)	"	37-3
	大丸京都デパート	20 kV 1,000 MVA×3 回線	1,600 ×3(乾)	22/0.44	37-12
	朝日新聞社ビル	20 kV 1,000 MVA×2 回線	2,500 ×2(乾)	22/3.3	38-7
	京都産業観光センタ	"	3,000 ×2(乾)	"	39-3
	竹中工務店御堂ビル	"	5,000 ×2(乾)	"	製作中
中部電力	神戸開西電力ビル	30 kV 1,000 MVA×2 回線	1,000 ×2(乾)	22/0.44	"
	丸栄デパート	"	1,300 ×2(乾)	22/0.44	"
	竹中セントラービル	30 kV 1,500 MVA×2 回線	2,000 ×2	33/0.44	"
	大名古屋ビル	"	1,200 ×2	"	31-3
	愛知県産業貿易会館	"	3,000 ×2	"	37-2
九州電力	栄町ビル	"	3,000 ×1(乾)	"	37-8
	愛知県ガンセンタ	"	2,000 ×2(不)	33/0.44	37-10
	井筒屋デパート	20 kV 1,000 MVA×2 回線	1,500 ×2	22/3.3	38-7
	"	"	1,000 ×2(不)	33/0.44	38-7
	"	"	1,000 ×2(不)	33/0.44	38-7

注 (乾) とあるのは乾式変圧器、(不) とあるのは不燃性油入変圧器を示す。

断器の定格電流から制約を受けるので現在のところ、単器最大容量が 2,500 kVA に制限されている。このような場合または負荷系体が 3 バンク以上のはうが好ましい場合などではバンク数を増すことは容易である。

以上の見地から三菱標準ビル用特高 キューピクル の主回路機器の構成と接続はおおむね図 2.1 の単線接続図に示すとおり、受電端の特高ケーブル引込部から主要変圧器二次引出部までがキューピクルとして製作される。準拠規格は閉鎖配電盤 JEM-1153 により、

形 式	TM 形	屋内用
定格電圧	23,000 V	34,500 V
定格周波数	50-60 c/s	60 c/s
定格電流	600 A	600 A
母線定格電流	600 A	600 A
定格時間電流	24,100 A	24,100 A
絶縁階級	20 B 号	30 B 号

3. キューピクル内蔵機器

キューピクルには主要変圧器、シャ断器、圧縮空気発生装置、断路器、負荷断路器、変流器、取引用計器用変圧変流器、電圧検知器、ケーブル終端箱、ケーブル分岐箱、主母線、接地母線などこれらを連絡する主回路接続導体、接地接続導体、空気配管、排水配管および低圧回路器具、低圧配線が内蔵されている。このうち取引用計器用変圧変流器、パイロットワイヤリレー用変流器、受電ケーブル終端箱およびケーブル分岐箱は、電力会社支給品となる場合が多い。

3.1 主要変圧器

油入式と乾式とに大別されるが、ビルの負荷系体から 2 バンクあるいは 3 バンク以上となるので、いずれの形式のものも三相変圧器を標準としている。

油入変圧器は CR 形窒素封入完全密閉式でトウ管をタンク側面に取り付け、キューピクルと背中合わせに結合できる構造となっていて、充電部以外のタンクまわりはキューピクル外取り付けとなる。完全密閉式であるので窒素封入タンクを別置することなく、コサベータもタンクと一緒にになってコンパクトになっている。全装可搬式を標準としているが、ビルの搬入条件が苦しい場合は放熱器など一部現地組立てとなる。

乾式変圧器は AV-B 形 H 種絶縁通風風冷式で、キューピクルに組み込まれる構造となっている。乾式の特長は不燃油、不爆発とすえつけ面積が少なくなることがあげられる。

図 3.1 は油入変圧器のキューピクルとの接続面を示し、図 3.2 は乾式変圧器をキューピクルに組み込んだ状態を示すものである。それぞれの変圧器の定格事項はビル用として下記のものを標準としている。

一次電圧 22-21-20-19 kV, 33-31.5-30-28.5 kV

一次電圧 3.3 kV, 440 V, 420 V

定格周波数 50-60 c/s

定格容量 三相 750~5,000 kVA

3.2 シャ断器

キューピクル内蔵用としてとくに設計された横吹付形空気シャ断器で、シャ断部と断路部が共通になった 1 点切り方式として、シャ断部の点検、保守はキューピクルのトビラを開くだけでシャ断器を移動することなく、キューピクル前面から容易に行なえる特長をもっている。電力会社の配電用変電所の + 電回路にも多くの使用

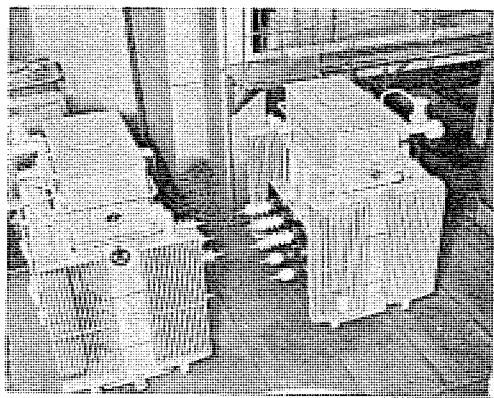


図 3.1 キューピクル 接続形三相油入変圧器
Fig. 3.1 Appearance of cubicle connection type three phase oil immersed transformer.

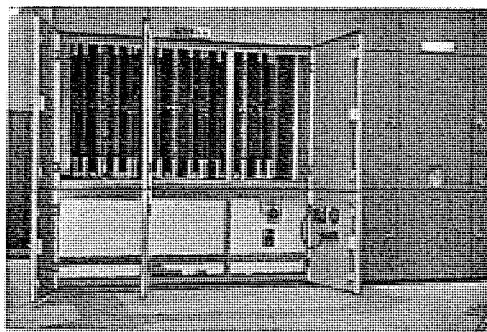


図 3.2 三相乾式変圧器の キューピクル 組込状態
Fig. 3.2 Setup three phase dry type transformer cubicle.

実績をもっているものである。図 3.3 は キューピクル に組み込まれた状態を示すもので、ビル用としては下記の定格のものを標準としている。

形 式	3 枠単段 横吹付式 圧縮空気操作	
定 格 電 壓	20-C-100 BL 形	30-C-150 AL 形
定 格 電 流	24,000 V	36,000 V
定 格 周 波 数	600 A	600 A
定 格 シャ 断容量	50-50 c/s	
定 格 シャ 断時間	1,000 MVA	1,500 MVA
絶 線 階 級	5 c/s	
標準動作實務	20 B 号	30 B 号
定 格 操作圧力	(甲号) O-(1 分)-CO-(3 分)-CO	
定 格 制御電圧	15 kg/cm ²	
定 格 制御電流	DC 100 V	
	投入 1 A(0.2 sec)	
	引はずし 5 A(0.07 sec)	

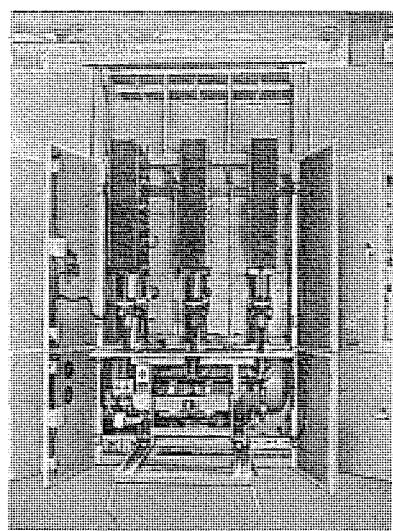


図 3.3 C 形空気 シャ断器の キューピクル 組込状態
Fig. 3.3 Setup of type C air circuit breaker.

3.3 断路器

キューピクル の ワク 組に直接断路器支持 ガイシ を取り付け、断路器単体の ベース を必要としない キューピクル 組込み形として設計されたもので、断路接触部は多重線銀銀接触式を採用している。操作はまことに軽快であり 100,000 回操作耐久試験に合格したもので、大きな短時間電流にも十分耐えうる性能を備えている。図 3.4 は断路器の キューピクル 組み込み状態を示すもので、ビル用としては次の定格のものを標準としている。

形 式	LC-C 形 3 枠単段 F-B 接続	
多重線銀銀接触式		
遠方手動または圧縮空気 (15 kg/cm ²) 操作	24,000 V	36,000 V
定 格 電 壓	600 A	600 A
定 格 電 流	24,100 A	24,100 A
定 格 短 時 間 電 流	20 B 号	30 B 号
絶 線 階 級		

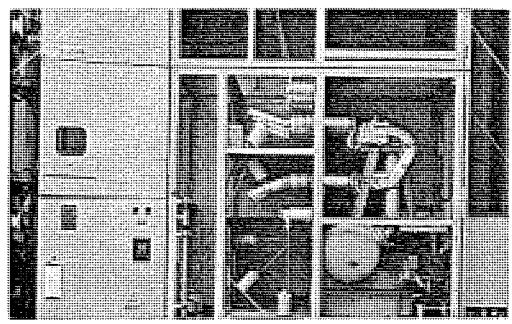


図 3.4 LC-C 形断路器の キューピクル 組込状態
Fig. 3.4 Setup of type LC-C disconnecting switch.

3.4 負荷断路器

2 パンク 以上の主要変圧器の切換操作を全 パンク 停電なく行なうために、主要変圧器一次側の断路器を負荷断路器としている。

負荷断路器の本体は LC-C 形断路器と同一設計のものであるが、デアイオン消弧と バネ による速切りにより、励磁電流の シャ断 が確実に行なわれる。また開閉操作は強力な バネ により駆動され、手動または動力操作はこの バネ を圧縮させるものであるから、断路器の開閉度はいかなる場合でも一定であり、また開閉途中の位置で止まることのない確実な機械的自己保持構造となっている。

図 3.5 は負荷断路器の キューピクル 組込状態を示すもので、ビル用としては下記の定格のものを標準としている。

形 式	LCB-EX 形 3 枠単段 F-B, F-F 接続	
多重線銀銀接触式		
圧縮空気 (15 kg/cm ²) 操作	24,000 V	36,000 V
定 格 電 壓	600 A	600 A
定 格 電 流	24,100 A	24,100 A
定 格 短 時 間 電 流	20 B 号	30 B 号
絶 線 階 級		
励 磁 電 流 + 断	5,000 kVA	5,000 kVA
可能な変圧器容量		

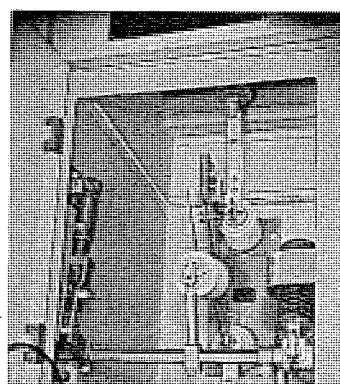


図 3.5 LCB-EX 形負荷断路器の キューピクル 組込状態

Fig. 3.5 Setup of type LCB-EX load disconnecting switch.

3.5 変流器

大きな過電流強度を必要とすることと、取付スペースの節減、合理化をはかるために、トウ管形乾式変流器を採用している。ビルの特高受変電回路では回路電流が小さく、変流器の変成比が小さい場合が多い。普通トウ管形変流器は一次導体が1巻となるため、二次巻線数に制約をうけ誤差確度の向上が困難であるが、特殊鉄心を使用しかつ誤差補償法を施して、一次電流比の不足する欠点心を使っている。図3.6はトウ管形変流器を断路器ガイ管に取り付けた状態を示すものであり、現在ビル用の標準として製作しているものの仕様は下記のとおりである。

形 式	BB形	単相	ブチルゴム絶縁	トウ管形
変 流 比 (A)	100/5	150/5	150/5	200/5以上
定 格 負 担 (VA)	40以下	15以下	40以下	40以下
誤 差 階 級	3.0	1.0	3.0	1.0
過 電 流 強 度 (倍)	300	200	200	150

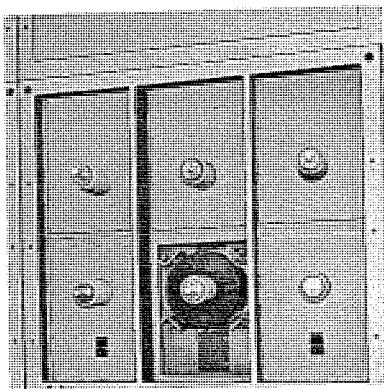


図 3.6 BB 形変流器
の キューピクル 組込状
態
Fig. 3.6 Setup type
BB current transformer.

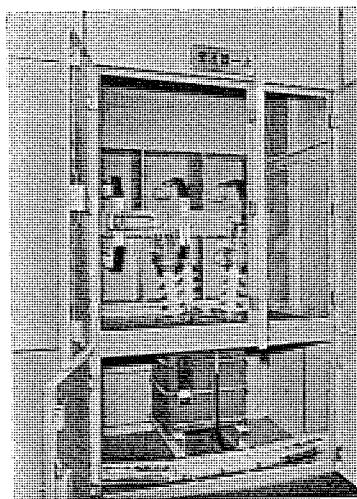


図 3.7 計器用変圧変流
器の キューピクル 組込状
態

Fig. 3.7 Setup of cubi-
cle for metering outfit.

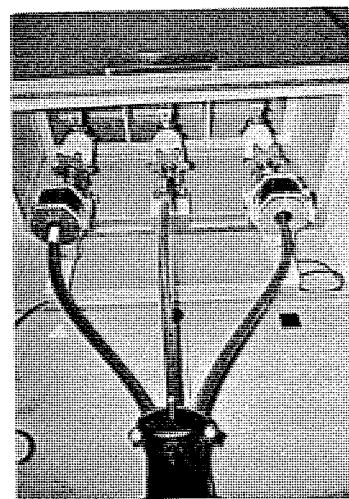


図 3.8 受電 ケーブルキューピ
クル の 内部
Fig. 3.8 Interior of re-
ceiving cable cubicle.

以上のはかに特殊仕様として複比のものも製作している。

3.6 取引計器用変圧変流器

電力取引用であるので、ほとんど電力会社の標準品の支給を受けることになり、外形、構造の種類が多く、標準は鉛油入であるが需要家側の要望次第では不燃油入となる場合もある。図3.7はキューピクル内への取付状態を示すものである。

3.7 特高ケーブル終端箱および分岐箱

受電引込ケーブルはSL, BN, 低ガス圧などの3心ケーブルが使用され、ケーブルの太さは現在のところ $3,250\text{ mm}^2$ が最大である。ケーブル引込および末端処理作業は電力会社によって施行され、ケーブル終端箱および分岐箱は電力会社支給品となる。

図3.8はキューピクル内におけるケーブル末端処理の状態を示すものである。

3.8 電圧検知器

電力回路に交流電圧が印加されているか否かを検知するためのもので、電力回路から離しておかれたアンテナの静電誘導電圧を増幅器で増幅後リレーを動作させ、表示灯で電圧の有無を指示するものである。その特長は直接母線に接続しないアンテナ式であるから、この装置に対する母線側保護装置が不要であり、したがって受電端の電圧検知が容易に行なえるものである。またこの装置の増幅器はトランジスタを使用しており連続使用において寿命は半永久的である。

3.9 圧縮空気発生装置

空気シヤ断器の操作シヤ断と断路器の操作用である。シヤ断器の定格圧力は 15 kg/cm^2 であるが、減温する目的で発生装置の定格圧力は 30 kg/cm^2 としている。発生装置の主空気タンクの容量は主として空気シヤ断器の連続開閉操作回数によって決定

され、圧縮機の容量すなわち吐出量は充気時間によって決定される。シヤ断器および断路器と接続する空気管と排水管は、キューピクル内部において最短距離で配管され配管接続はリムジョイント方式を採用している。ビル用の標準として製作しているものの仕様は下記のとおりである。

形 式	CA-KAA 形 複交流式
定 格 圧 力	30 kg/cm^2
供 給 圧 力	15 kg/cm^2
空 気 壓 縮 機	空冷式電動機 ($2 \times 0.75\text{ kW}$) ベルト駆動形
操 作 電 圧	AC 200 V 三相 50-60 c/s または AC 400 V 三相 50-60 c/s
定 格 吐 出 量	$2 \times 35\text{ l/min}$ (補充気時間約 12 分)
主空気タンク 容量	200 l

ビルディングでは必ず自家発設備をそなえているので、圧縮機は複交流式を採用している。常時2台の並列運転方式とし保守、点検などの際にはいずれか1台の単独運転が容易に行ないうるものである。全空気系統の漏気率7% (24時間) とし毎日1回の補充気運転が行なわれ、その補充気時間は約12分となる。

空気シヤ断器1台のCO操作可能回数は20-C-100 BL形で約3.5回、30-C-150 AL形で約2.5回の容量となり、なおそれぞれのシヤ断器の補助空気タンクで約1.5回の容量をもっているのでこれが加算されることになる。また断路器を圧縮空気操作式とした場合でも、断路器CO1回の空気消費量は約45lで微々たるものであるので、シヤ断器のCO操作可能回数にほとんど影響されない。

3.10 母線および接続導体

キューピクルの床面または天井部に配置され、異常電圧、事故電流に対して大地および相間の絶縁強度の劣化、母線接続部の電気抵抗変化を生じない安定度の高い構造としている、すなわち絶縁には空気と磁気によるもっとも安定した絶縁方法をとり、母線の接続部および母線と機器端子間は銀銀接触による接続導体により確実に接続されている。母線および接続導体は事故電流に対する機械的、熱的強度を補償するため、設備容量からみた電流よりもかに大きな 600 A 定格のものを使用している。また変圧器、シャンク断器、負荷断路器などの、運転、操作の際震動を生ずる機器の接続にはタワミ性接続導体を使用し、機械的衝撃を吸収する構造としている。

接地母線はキューピクルのフレームを一括して設けられている。フレームに銅製の接地母線取付座がロウ付され、これに接地母線をボルト締めしているので、接地母線とフレームは良好な接触を保っている。また接地線の接地母線への接続はクラップ端子により行なう構造となっている。

3.11 低圧配線

低圧配線に 600 V 耐熱ビニル電線 2.0 mm^2 のものを使用し、トピラ、スイングパネルなどへの渡り線にはタワミ性心線のものを使用している。またスペースヒータなど発熱体との接続部にはジュズガインによる絶縁を施し耐熱性を考慮している。配線方式はダクト配線、管配線、クリート配線を併用し、ビニル電線に高圧ビニルチューブをかぶせて対地絶縁の補強を施し、また配線接続部にはすべて圧着端子を使用しハンダによる接続はいっさい行なっていない。

4. キューピクルの構成

乾式変圧器を採用したキューピクルは全体が一つのグループでまとまり、グループ内の単位キューピクルの内訳は下記のとおりとなり、その配列構成は図 4.1 に示すとおりである。

コンプレッサキューピクル	1 面
受電シャンク断器 キューピクル	2 面
MOF キューピクル	1 面
主変圧器 キューピクル	2 面

油入変圧器を採用した場合のキューピクルは三つのグループに分かれ、グループ間はキューピクル上部からブスタクトによって、ブリッジ状に連絡されている、グループ内の単位キューピクルの内訳は下記のとおりとなり、その配列構成は図 4.2 に示すとおりである。

第一グループ

コンプレッサキューピクル	1 面
受電シャンク断器 キューピクル	2 面
MOF キューピクル	1 面

第二グループ

No. 1 主変圧器 キューピクル	1 面
-------------------	-----

第三グループ

No. 2 主変圧器 キューピクル	1 面
-------------------	-----

グループ間

連係用ブスタクト	2 組
----------	-----

変圧器キューピクルを除けば、主変圧器の乾式、油入を問わずまた容量の大小に関係なく、その配列構成はもとより単位キューピ

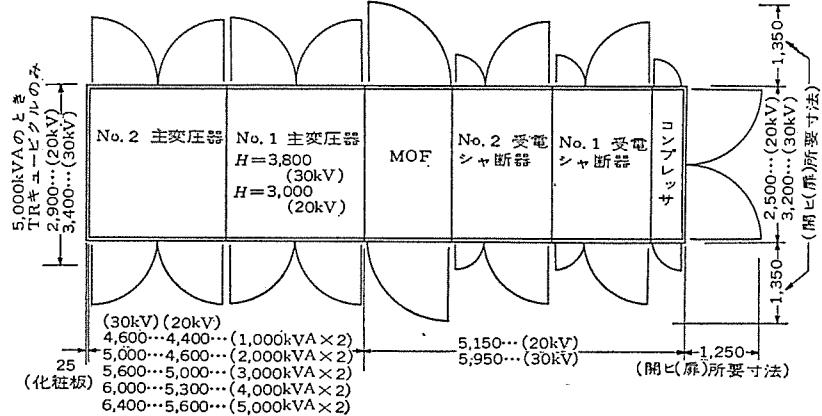


図 4.1 乾式変圧器の場合のキューピクル配列
Fig. 4.1 Plan of cubicles for dry type transformers.

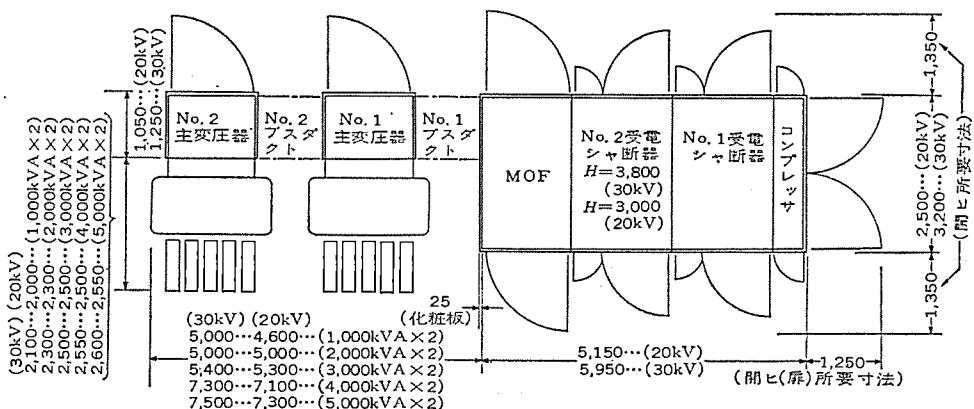


図 4.2 油入変圧器の場合のキューピクル配列
Fig. 4.2 Plan of cubicles for oil immersed transformers.

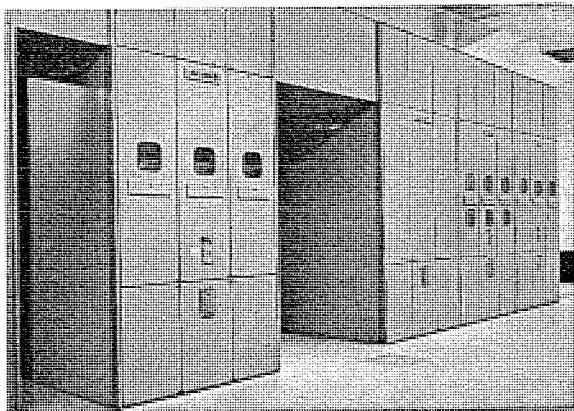


図 4.3 キューピクル 据付状態
Fig. 4.3 Installation of cubicles.

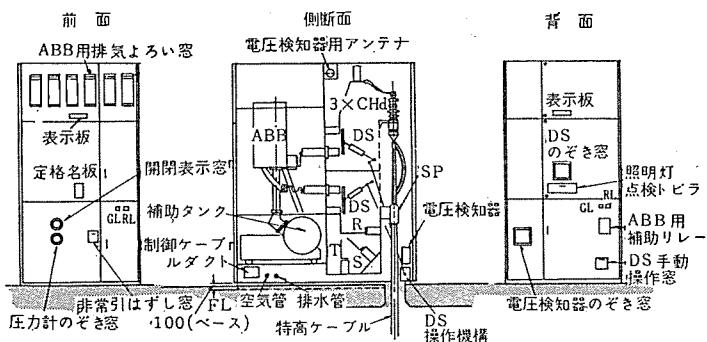


図 4.5 受電 シャ断器 キューピクル 構成図
Fig. 4.5 Block diagram of receiving end circuit breaker cubicle.

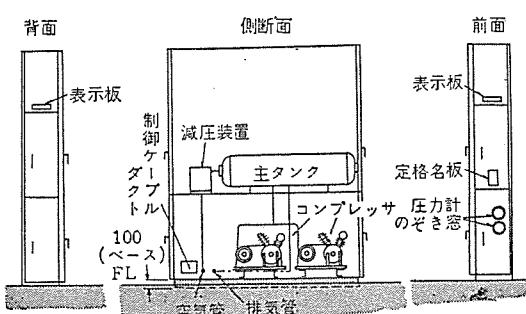


図 4.4 コンプレッサキューピクル 構成図
Fig. 4.4 Block diagram of compressor cubicle.

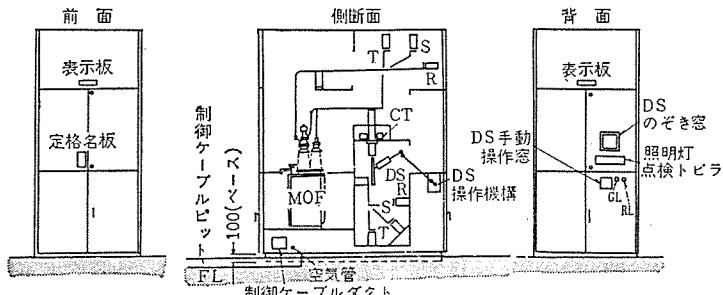


図 4.6 MOF キューピクル 構成図
Fig. 4.6 Block diagram of metering outfit cubicle.

クルの細部構造もまったく同様のものである。単位 キューピクルは互換性をもった側面隣接接続を可能とする列置式であるので配列を対称なものにすることもできる。フレームの接続は特殊構造となっていて単位 キューピクルに発生する震動の伝達を防止し、すえつけ誤差によるフレームの競合を生じないようにになっている。

ビルディングの消費電力が将来増大して、変電容量を増加したい場合は、主変圧器 キューピクルがユニット式になっているので、変圧器のパンク数を増すことは容易に行なえる。図 1.1、図 4.3 はその現地すえつけ状態を示すものである。

4.1 コンプレッサキューピクル

圧縮空気発生装置を内蔵し キューピクル床面に圧縮機 2台と中段に主空気タンク 1個が組み込まれている。点検用トビラは下トビラと中トビラに分けられ、下トビラには発生装置の制御器具一式と圧力計のぞき窓が付属している。この キューピクルは キューピクルグループの端に配置され、トビラは前背面のほか側面にも設けて、保守点検の便を計っている。図 4.4 は コンプレッサキューピクルの構造を示す。

4.2 受電 シャ断器 キューピクル

この キューピクルは受電ケーブルの末端処理部と電圧検知器 1台および、受電用 シャ断器 1台と、これを回路から切り放すための断路器が シャ断器の両側にそれぞれ 1台はいっている。断路器の操作は使用目的からみて 2台連動とし、キューピクルの外部から操作ハンドルをそな入して行なう、遠方手動操作を標準としている。トビラは前背面に設けそれぞれ下トビラ、中トビラ、上トビラにわかれている。前下トビラは シャ断器操作機構を主とした低圧室用、前中トビラは シャ断器の シャ断部用、前上トビラは 排気室用で背

下トビラおよび中トビラは、ケーブル末端処理の接地部と断路器操作機構、電圧検知器などの低圧室用、背上トビラはケーブル終端箱室用となっている。なお断路器および母線室は鋼板および金網により、背面低圧室と隔離されている。それぞれのトビラには シャ断器および断路器の赤緑表示灯、シャ断器の開閉表示のぞき窓、圧力計のぞき窓、非常引きはずし窓、排気よろい窓、断路器の操作窓、断路器本体のぞき窓、断路器照明灯、その他が付属され、保守、点検の便を計っている。

図 4.5 は受電用 シャ断器 キューピクルの構造を示すもので、ループ受電に使用されケーブル保護リレー用の変流器が、ケーブルにそな入されている。なお断路器のトウ管部に変流器三相 1組の取り付けは可能である。

4.3 MOF キューピクル

ループ受電の場合電力会社の送電上の責任分界となる断路器 1台、取引用計器用変圧変流器(MOF)1台、変流器三相分 1組がはいっている。断路器の操作は使用目的からみて、キューピクルの外部から操作ハンドルをそな入して行なう、遠方手動操作を標準としている。トビラは前背面に設け、それぞれ下トビラ、中トビラに分かれている。前下トビラは MOF の タンク回りを主とした低圧室用、前中トビラは MOF 下の特高充電部室用で、背下トビラは断路器操作機構を主とした低圧室用、背中トビラは断路器室用となっている。背面トビラには断路器赤緑表示灯、断路器操作窓、断路器本体のぞき窓、断路器照明灯、その他が付属され、保守、点検の便を計っている。

図 4.6 は MOF キューピクルの構造を示す。

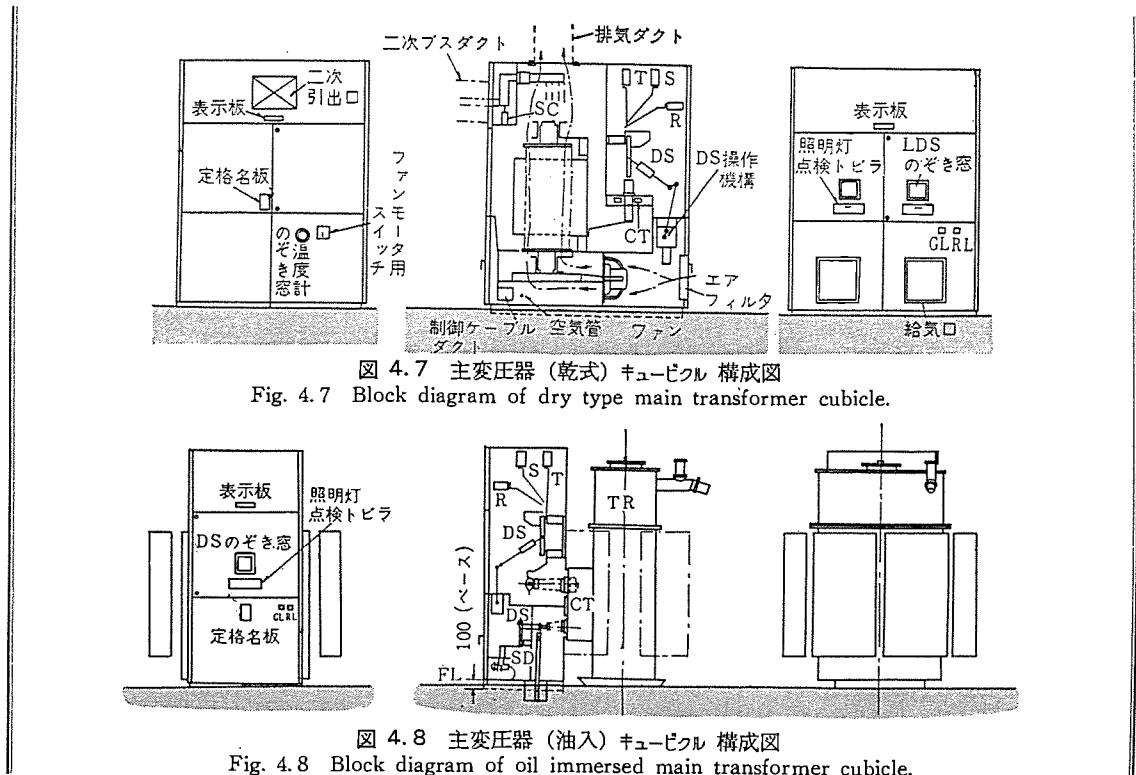


図 4.7 主変圧器（乾式）キューピクル 構成図
Fig. 4.7 Block diagram of dry type main transformer cubicle.

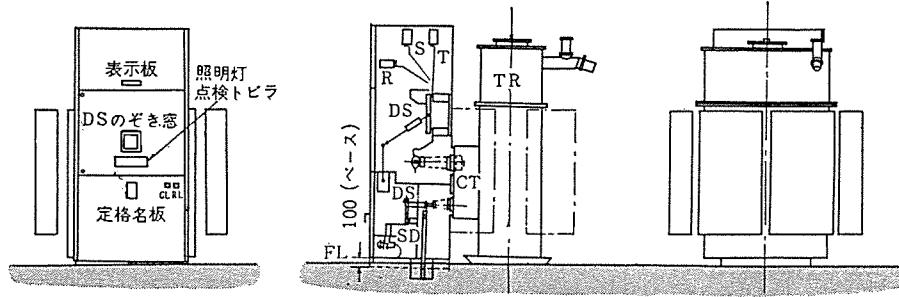


図 4.8 主変圧器（油入）キューピクル 構成図
Fig. 4.8 Block diagram of oil immersed main transformer cubicle.

4.4 主変圧器（乾式）キューピクル

H種乾式三相 750 kVA から 5,000 kVA までの容量の変圧器と、その一次側に負荷断路器 1 台、変圧器保護リレー用変流器三相分 1 組、二次側に 3 kV 級の場合 スタチックディスチャージャが 1 組がはいっている、二次側引出方法はケーブルまたはブスダクトの 2 種があり、一般に 3 kV 級の場合はケーブル、400 V 級の場合 ブスダクトとなる。

負荷断路器はパンク切換の運転操作を目的とするから、圧縮空気による遠隔動力操作を標準としている。トピラは前背面に設けそれぞれ下トピラ、中トピラに分かれている。前下トピラは変圧器低圧制御回路室用で、ファンモータ入切スイッチ、変圧器温度計のぞき窓が付属している。前中トピラは変圧器本体室用、背下トピラは変圧器冷却用ファンモータ室用で、吸気口およびグラスウール製エアクリーナーと負荷断路器赤緑表示灯が付属している。背中トピラは負荷断路器および母線室用で、負荷断路器のぞき窓と照明灯が付属されている。

図 4.7 は乾式変圧器 キューピクル の構造を示し、排気ダクトは天井の排気口に接続される。

4.5 主変圧器（油入）キューピクル

主変圧器の充電部とその一次側に負荷断路器 1 台が入っている。変圧器保護リレー用変流器は変圧器のトウ管にそう入され、変圧器タンク内に取り付けられる。二次側に 3 kV 級の場合 スタチックディスチャージャが 1 組はいっている。二次側引出方法はケーブルまたはブスダクトの 2 種があり、乾式変圧器の場合と同様一般に 3 kV 級の場合はケーブル、400 V 級の場合 ブスダクトとなる。

負荷断路器の操作も乾式変圧器の場合と同様で、圧縮空気による遠隔動力操作を標準としている。トピラは前面に設け、下トピラは負荷断路器操作機構、スタチックディスチャージャ、二次ケーブル引取用端子などの室用で、負荷断路器赤緑表示灯が付属している。中

トピラは負荷断路器および母線室用で、負荷断路器のぞき窓と照明灯が付属している。

図 4.8 は油入変圧器の場合のキューピクル構造を示すもので、キューピクルの大きさ構造は変圧器の容量に関係なく、グループ間に接続するブスダクトの長さが変るだけである。

4.6 ブスダクト

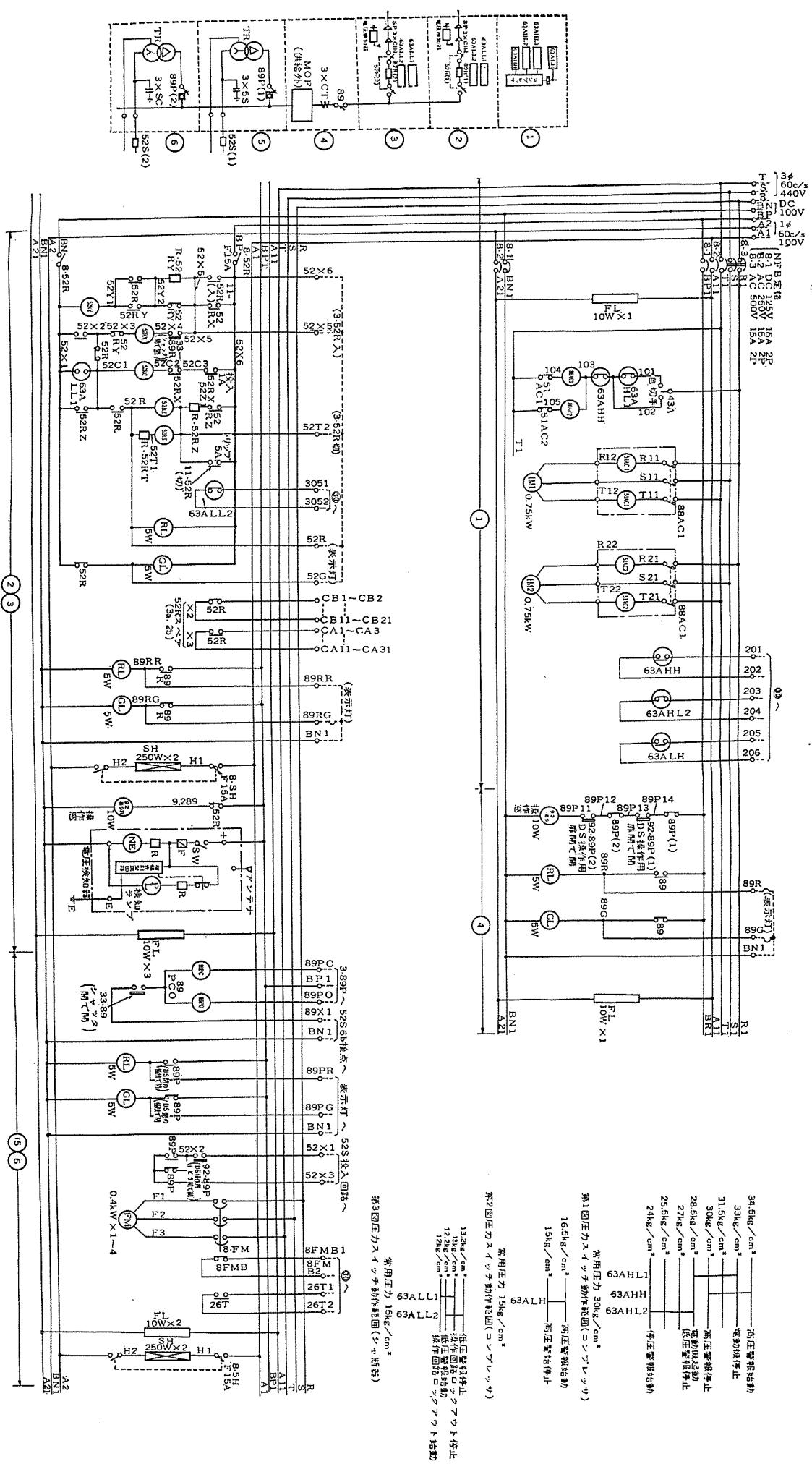
三相 3 線式でキューピクルグループ間の接続に使用する。外形寸法は幅 1,200 厚さ 800 で長さに制限はないが、5 m までならばラッジ状に取り付けた場合でも建家天井からのつり下げ金具は不要である。

5. 操作回路

操作回路は図 5.1 およびその説明のとおりであるが、インターロックは電気的および電気的機械的方式とし、インターロックの施行が困難な場合は操作注意名板を取り付け、誤操作の絶無を期している。各機器の合理的な組み合わせにより、保守、点検を必要とする個所は、トピラに付属したのぞき窓またはトピラを開くだけで、キューピクル外部から、目あるいは手の容易に届く所に配置されているので安全、確実、容易に保守、点検が行なえる。

6. むすび

以上ビル用特高キューピクルについてその概略を述べたが、とくに外形寸法が従来のものに比較して縮小され、たとえば 20 kV 受電で 3,000 kVA × 2 までの設備容量の場合乾式変圧器を採用すれば、電気室の大きさは柱間隔 6 × 6 m × 2 スパン程度の面積と、床面からハリ下まで 3.1 m の高さがあれば十分であり、建築の基礎設計ならびに設備設計の参考に供せられれば幸いである。なお今後ますますビルディングは高層大形化に進むものと思われるが、これに対応した特高キューピクルの開発を、各方面関係各位のご指導により進めたいと考える次第である。



特高キュービクル操作回路図（図 5.1）の説明

1. 壓縮空気発生装置

- 1.1 63 AHL 1, 63 AHH, 63 AHL 2, 63 ALH の動作圧力範囲は右図 第 1.2 図を参照。
 - 1.2 タンク、圧力が 28.5 kg/cm^2 に下がれば、63 AHL 1 は閉じて、88 AC 付勢し、IM 起動。
 - 1.3 タンク圧力が 33 kg/cm^2 に上がれば、63 AHL 1 は開いて、88 AC 消勢し、IM 停止。
 - 1.4 43 A を手動側に選せば、IM の手動運転ができる。
 - 1.5 IM が過負荷となれば、51 AC（サーマル、オーバロードリレー）動作して、88 AC を消勢し、IM は停止。
 - 1.6 タンク圧力が 63 AHH, 63 AHL 2 動作圧力範囲内にあるとき、および低圧配管内圧力が、63 ALH の動作圧力範囲内にあるときは、監視盤に高圧または、低圧警報を発す。
- ### 2. シャ断器の動作
- 2.1 シャ断器の操作圧力範囲（63 ALL 1）および低圧警報（63 ALL 2）動作圧力範囲は右図第 3 図を参照。
 - 2.2 63 ALL 1 が閉じ、インターロック条件（33-89 R が閉）を満足しているとき配電盤の 3-52 R を「入」にすれば、52 RX 付勢し、自己保持するとともに、52 RC 付勢し、52 R 閉合。
 - 2.3 52 R 閉合すれば 52 RY 付勢し、52 RX 次いで 52 RY, 52 RC 消勢するも 52 R はカギで閉合状態を保ち、63 ALL 1 を条件に、RL 点灯。
 - 2.4 3-52 R を「切」にすれば、52 RT, 52 RZ 同時に付勢し、52 R 開路し、GL 点灯。
 - 2.5 3-52 R を「入」または、「切」にし、52 RX または、52 RZ が動作した直後もし、63 ALL 1 が開いていても、52 RX または、50 RZ が 63 ALL 1 を短絡するので、投入または引はずし動作を完了することができる。
 - 2.6 シャ断器の試験動作はキュービクルのトピラを開き、押しボタンスイッチ 11-52 R で、任意に操作できる。
 - 2.7 非常時には、キュービクルトピラ付属の非常引はずし窓から、手を入れて、52 RT を押さえれば、閉トピラのままで 52 R を引はずすことができる。
 - 2.8 R-52 RZ は自動シャ断時にトリップ回路自己保持後、トリップ用リレーの動作表示器に所定の動作電流を流すためそう入してある。
 - 2.9 シャ断器の状態表示は、キュービクルトピラおよび監視盤の赤緑表示灯で行なうとともに、キュービクルトピラに機械的表示を行なう。
- ### 3. 断路器（89 R 遠方手動操作機構付）の操作
- 3.1 89 R は 52 R 閉のときのみ、92-89 R が励磁されて、手動操作窓は開放可能となり、手動操作窓開放中に 33-89 R が開いて、52 R の投入を阻止する。

4. 断路器（89 遠方手動操作機構付）の操作

- 4.1 手動操作窓は、89 P(1), 89 P(2) がともに開、89 P(1), 89 P(2) 操作用トピラ（92-89 P(1), 92-89 P(2)）がともに閉のときのみ 92-89 が励磁され、手動操作窓は開放可能。
 - 4.2 手動操作窓開放中は、33-89 が開いて 89 P の投入を阻止。
- ### 5. 断路器（89 P 壓縮空気操作機構付）の操作
- 5.1 空気操作は、二次側シャ断器 52 S が開、および 89 の手動操作窓（33-89）が閉のときのみ可能となり、このとき、監視盤の 3-89 P を「入」（または「切」）にすれば、89 PC（または 89 PO）付勢され、89 P は閉路（または開路）する。89 P が閉路（または開路）すれば、その極限で RL（または GL）を点灯し、これを合図に、3-89 P を離せば、89 PC（または 89 PO）は消勢し、操作を終了する。RL および GL は、89 P の中间位置では点灯せず、また開一閉の切り換えに要する時間は約 1 秒。
 - 5.2 89 P の試験操作はキュービクルトピラを開き、89 PC, 89 PO を押さえれば可能となる。
 - 5.3 89 P の手動操作を行なうには、52 S が開いていることを確認してから、89 P の操作用トピラを開き、空気止弁を閉じてから、操作する。（インターロックはなし）
 - 5.4 89 P の操作用トピラ開放中は、92-89 P が開いて、89 および 52 S の投入を阻止する。または、52 S は 89 P 操作中も投入を阻止する断路器の状態表示。
 - 5.5 断路器の状態表示はすべて、キュービクルトピラ取付の赤緑表示灯により行なう。なお、監視盤側も表示灯で表示。
- ### 6. 電圧検知器の操作
- 6.1 本装置の動作電圧範囲は、90~140 V.
- ### 7. 変圧器（乾式）の運転
- 7.1 変圧器はファンにより強制通風、冷却を行なう。ファンモータは 8-FM により起動および停止する。
 - 7.2 変圧器の温度が異常に上昇すれば、26 T 閉合し、監視盤に警報を発する。
 - 7.3 FM が過負荷となれば、8-FM は自動シャ断し、監視盤に警報を発する。
 - 7.4 変圧器を長期間休止させたときは、スペースヒーターにより、絶縁物の乾燥を行なうこと。
- ### 8. 照明灯（FL）
- 8.1 各キュービクル内部照明用のケイ光灯（FL）の点滅操作は、
 - ① キュービクルに取り付けの 8-2（ノーヘーズブレーカ）による一括操作とする。
- ### 9. トピラ
- 9.1 トピラにはインターロックを設けず常時施錠を行ない、必要に応じて、合カギまたは特殊工具により開放できる。なお錠前は低圧室と特高室とでカギ違いとする。

ビル電源設備の制御

小瀧 喜久二*

Control of Power Supplies to Buildings

Kōbe Works Kikuji KOTAKI

Capacities of power supplies to recent buildings have increased. Power receiving systems have become high degree with working voltages raised and power supply equipment modernized. To cope with the circumstances, rational automatic control of electric installations has been worked out to maintain constant voltage. Automatic change-over has been made possible to avoid the giving out of the electric power. Operating systems have turned automatic and concentrated by the supervisory control through remote operation. Furthermore, standing supervisory instruments have been reduced to simplify the maintenance and to reduce human errors, all being made feasible by the installation of data loggers.

1. まえがき

最近大形ビルディングが続々と建設されているが、これらのビルは電力の需用面からみると、空気調和設備としての冷暖房設備の高度化と、事務能率近代化設備による能率の増進対策などにより、電源容量として、3.3 kV 系では 5,000 kVA 以上、440 V 系では 1,000 kVA 以上 2 バックに達し、また受電々圧も 20~30 kV ループ受電のごとく、大容量、高電圧の設備が多く設置されている。

上記のごとくビル電源として容量の増大、受電系統の高度化、使用電圧の高圧化などで電源設備の近代化、高度化が非常に要望されるのであるが、監視制御面からこれを見れば保守管理として、一般に常時計測が容易であること、系統の状態およびその変化を迅速にはあくでき、すみやかに処置ができるここと、制御および操作が正確かつ容易に行なえることなどの性能を備えなければならないことは周知の事実であるが、このため従来のごとく電源系統はあくのため各電源系統単位をもって監視制御盤の一単位として、その中に監視制御に要するすべての器具を取り付けるという構成方法がとてこられたが、電源容量が飛躍的に増加し、+ 電線数が増加するとともに、系統の構成そのものが複雑になってくると、操作も複雑になるとともに、ビル電源の電気設備をすべて 1 個所で集中監視制御を行なう電気所では盤自体が膨大なものとなり、監視制御が容易でなくなってきた。

このような事情に対し被制御機器の合理的自動制御による定電圧、電源の自動切換による無停電、操作方式も自動化され、遠方操作による集中監視制御、さらに常時監視計器を少なくして、保守の簡易化と人為的誤りの減少のためのデータロガーの設置などで迅速確実な運営が行なわれる。

今回はビル電源設備の最近の制御方式の傾向について述べる。

2. 自動制御装置

2.1 配電用電圧調整器の自動制御

配電の電圧調整の理想は各電気所の電圧変動を一定に保つことにあるが、これがため誘導電圧調整器、負荷時電圧調整器付変圧器、自動電圧調整装置付配電用変圧器の運転を電圧調整継電器（積分形）ならびに線路電圧降下補償器の組み合わせ使用により負荷の変動および電源電圧の変動に速応し、配電々圧の調整を自動的に行ない機器端子電圧を一定にしている。

起動継電器としては飽和トランジスタ、分割抵抗および積分電圧要素からなる積分特性をもっている“CJ”形電圧調整継電器を使用し、電圧変動の状態により調整時間を制御し不用の動作を防止し、また時間帯により設定電圧変更ができるようプログラム制御も可能

図 2.1 CJ 形電圧調整継電器外観
Fig. 2.1 Type CJ Voltage regulating relay.

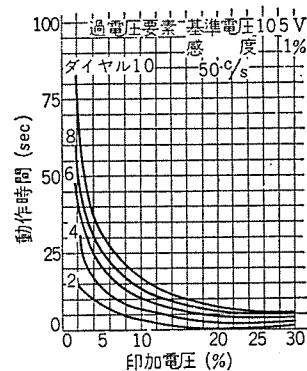
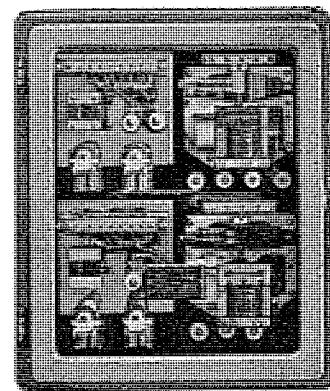


図 2.2 動作時間特性例
Fig. 2.2 Example of operation time characteristic.

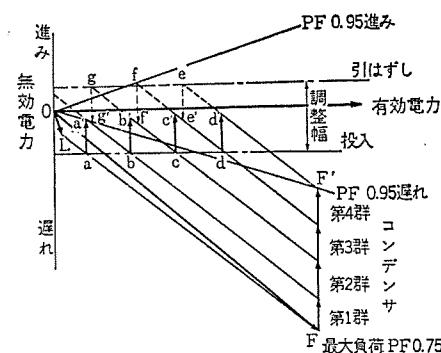


図 2.3 無効電力によるコンデンサ制御の動作
Fig. 2.3 Operation example of condenser control with reactive power.

としている。図2.1は外形、図2.2は動作時間特性例を示す。

2.2 電力用コンデンサの自動制御

電力用コンデンサは力率の改善または定電圧確保の二つの目的で設置される。力率改善としては各機器（とくに低力率の機器）と開閉をともにするのが望ましいが、母線に接続され総合力率をある規定値に保つには、無効電力による方式、力率による方式が考えられる。

(a) 無効電力による方式

無効電力继電器を用い主幹回路の無効電力が規定値よりも大きくなつた場合に投入し、また小さくなるか、進み無効電力が規定値より大きくなれば引はずす方式で、コンデンサはその容量に等しい遅相の無効電力を無くする設備であるから、この方式が最も合理的である。この方式による動作状況を図2.3に示す。図に示すとく引はずし点と投入点の間に調整幅として相当の間隔をもつてゐるがこの幅は必ずコンデンサ群の容量よりも大きく取る必要があり、コンデンサ各群の群容量を等しくしなければならない。

起動继電器としては三相平衡形の誘導形無効電力继電器が使用される。

(b) 力率による方式

力率継電器を用い主幹回路の力率を検出し一定力率においてコンデンサを開閉制御する方式であって、図2.4に示すことく投入引はずし点を示す線は原点を中心として放射状の力率を示す線と一致する。この方式はコンデンサ各群の容量が異なっていてもよく、最低負荷に対してベースとしてそう入する部分以外は大容量の群を後で投入するようにしたほうがよい。本方式で注意しなければならないのは調整幅は負荷が小さくなるとともに狭くなるので、この幅が群の容量より小さくなるところでは必ずハンチングを起こすので、電力継電器または電流継電器により自動装置をロックする必要がある。またコンデンサ容量が不均一のため後述の単方向順序制御が使用できないような問題があるため、あまり使用されない。

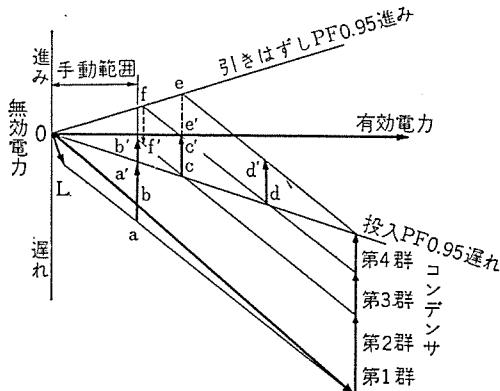


図 2.4 力率によるコンデンサ制御の動作例

Fig. 2.4 Operation example of condenser control working on power factor.

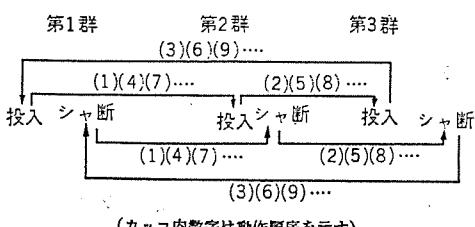


図 2.5 循環式順序制御方式説明図
Fig. 2.5 Explanation of circulation type sequence control system

(c) 循環式順序制御

数群の シャ断器または開閉器を自動的に開閉する場合主回路の状況には無関係に各 シャ断器、または開閉器の動作ひん度は等しいことが必要である。今 3 群の コンデンサについて述べれば、投入を第 1 群→第 3 群の順序に行なうと同時に引はずしも第 1 群→第 3 群の順序に行なわせるというやり方であり、たとえば第 1 群、第 2 群投入状態において、引はずし条件がくると第 1 群を引はずし、さらにその次に投入条件がくると第 3 群を投入させるがごとく循環させている。図 2.5 はこれを図形的に示したので、各開閉器の動作回数は均一となり、ある特定のものののみが早く劣化することはない。

2.3 選択シャ断装置

ビル電源設備において自家発電設備を設置されているが、これらの多くは所要電力を自家発電量だけで充足することはまれで、その一部または大部分を買電に依存している、すなわち買電と自家発が並列運転される無停電系統において、買電系統が短絡などの電気事故で停電すると、全負荷を自家発電機が負荷することになり当然発電機が過負荷となり、電圧、周波数ともに低下し、自家発電系統自体も急速に電源価値をなくする。しかしごり電源設備にあっては往々重要な負荷があり、一刻の停電も許しえぬものを含んでいるから、上述の状態に至れば受電用 シャ断器を シャ断するとともに重要負荷回路のみを残し、他の非重要負荷を シャ断して発電量に見合う配電回路のみを救う選択 シャ断装置を設けている。自動負荷選択 シャ断保護方式としては、発生電力記憶方式、不足電力記憶方式、周波数低下による方式がある。

(a) 發生電力記憶方式

買電系統停電時に、あらかじめ記憶された自家発電側発電力量に等しい負荷を残して、残りの負荷を切り離す方式で、図 2.6 に示すごとく TCT_1 は発電機回路 CT により TCT_2 は配電線回路の CT により付勢され配電線回路の全電流に比例した二次電流を発生し、P は発電機側および負荷側の電力の差に応動する電力平衡継電器で発電機側電力が配電線電力に比べ大なるときは接点 a、小なるときは接点 b を閉じ、T は間欠継電器で適当な時間的間隔を置いて接点 X および Y を交互に閉じるものとする。1 A 2 A 3 A 4 A および 1B 2B 3B 4B は選択記録継電器群で、スイッチ S が閉じられたときは P が a 接点を閉じているから、T が X を閉じたとき 1A が付勢され 1F（最重要配電線）の CT 二次回路は TCT_2 に接続され P の右側電力要素に IF 回路の電力に比例した電磁力を発生する。その後 X が接点を開けば 1B が付

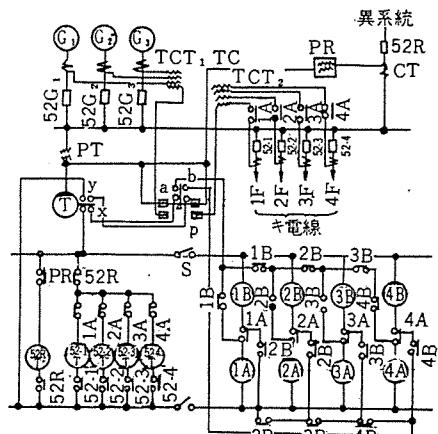


図 2.6 発生電力記憶方式
Fig. 2.6 Generated power memory system

勢され、次に 2A を動作させうる条件を完成する。自家発電力が IF 回路の電力よりも大きければ P は引き続き接点 a を閉じているから、次に X が閉じたとき 2A を付勢し 2F 回路の CT を接続する。かくして自家発側発生電力と平衡すべき配電線 CT を接続し終わるまで順次同じ動作が行なわれる。すなわち重要負荷群を電力平衡繼電器と選択記録装置によりあらかじめ選定しておき、停電時非重要負荷群を シャ断して自家発電系統を破壊から防ぐものである。

(b) 不足電力記憶方式

買電系統停電時にあらかじめ記憶された買電側の供給電力量に相当する負荷を切り離す方式で(a)とは逆に選択記録繼電器群は重要度の低い順に負荷を選択して行き、買電との連絡が断たれるかまたは断つ必要が生ずるや否やただちに、あらかじめ選択されていた重要度の低い負荷群を シャ断する。図 2.6 について説明すれば TCT₁ を買電からの受電々力総合用に切り換え、b 接点を a 接点に変更すればその他はまったく同一である。ただし 1. 2. 3. 4 は重要度の低い順位を表わすものとする。停電で 1F 2F が シャ断されると、このとき電力平衡繼電器 P に加えられていた電磁力は買電からの受電々力と配電線 1F 2F の総合電力であるから、それだけ自家発側発生電力は不足しているわけである。

(c) 周波数低下による保護方式

買電系統停電時に自家発系統の周波数が降下するのを利用して一定時間置いて順番に重要度の低い負荷から切り離してゆき、系統の周波数が回復するまで負荷の シャ断を継続するものである。

(d) その他の方式

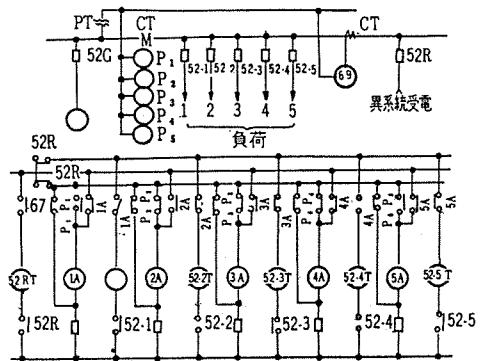
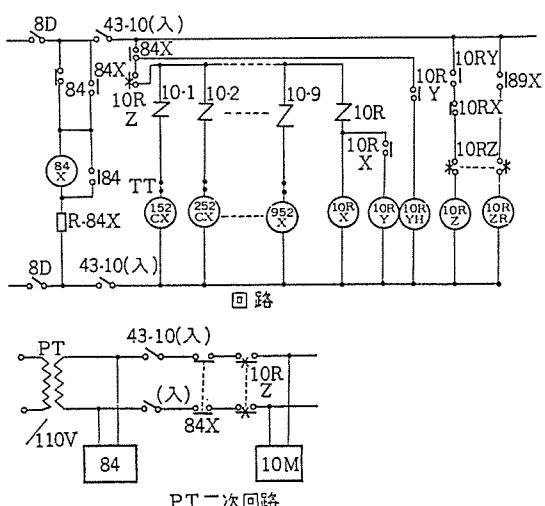


Fig. 2.7 Simplified system.



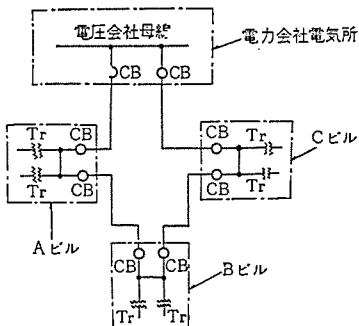


図 3.1 ループ配電
Fig. 3.1 Loop wiring.

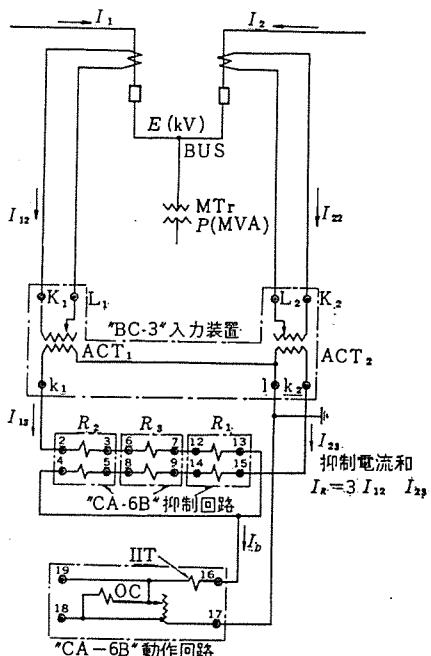


図 3.2 CA-6B 形比率差動繼電器と BC-3 形
入力装置の組み合わせによる簡易母線保護方式
Fig. 3.2 Simple bussystem due to combination of type CA-6 B
differential relay and type BC-3 input device.

3.2 400 V 回路接地保護

配電々圧については冷暖房および一般動力幹線は 420 V 三相 3 線式、電灯幹線は 420/242 V 三相 4 線式が採用されているが、その接地方式については変圧器二次側の中性点直接接地が最も良好な利点としている。

- (1) 非接地式に比べて回路に発生する異常電圧を低減できるので故障率が下がる
- (2) 日常の操作のとき三相の理想的な電圧のバランスがとれる
- (3) 配電線の対地電圧を常に 240 V 程度に押えることができるで対地絶縁が低減できる
- (4) 接地事故による損失の軽減、故障点の敏感な選択シャンク断回転機巻線の保護ができる
- (5) 変圧器の混触事故の際、対地電圧の上昇を防止できる

以上により中性点接地方式が採用されている。選択接地保護継電方式としては図 3.6 に示すごとく回路で接地電流約 500 mA 以上の選択接地を検出し、最大接地電流 500 A 以上に耐えるものを製作している。ただし選択接地をあまり高感度にすることにより常時動作し運転に支障をきたすことのないよう計画すべきである。

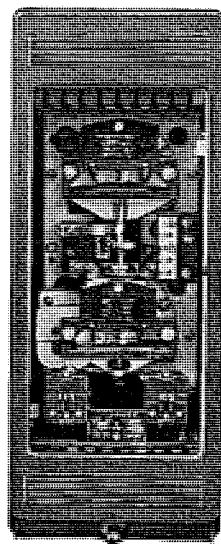


図 3.3 CA-6 B-M形比率差動繼電器外観
Fig. 3.3 Type CA-6 B-M ratio differential relay.

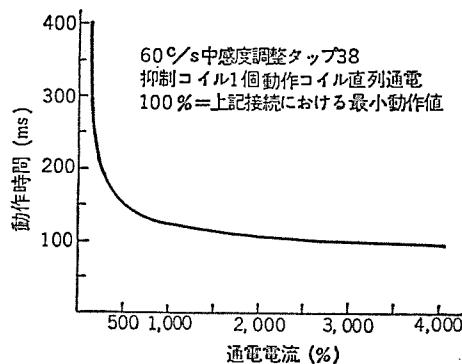


図 3.4 CA-6 B 形繼電器比率差動特性例
Fig. 3.4 Type CA-6B relay ratio differential characteristic.

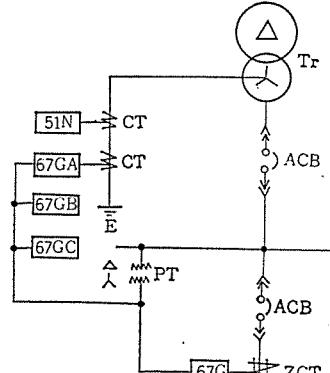


図 3.5 CA-6 B 形繼電器動作時間特性例
Fig. 3.5 Type CA-6 B relay operation time
characteristic.

S/N.....過電流繼電器, X 時限繼電器により
Tr 1 次開路
67 GA).....A, B, C 相母線繼電器
67 GC).....選択接地繼電器
67 G.....選択接地方式

図 3.6 400 V 回路の選択接地方式
Fig. 3.6 Selective ground system of 400 V circuit.

配電線 CT の三次回路または残留回路を使用することにより接地過電流継電器のみで約 20 A 程度の検出であれば簡単で運転に支障がない保護方式が得られる。

3.3 高圧回路接地保護 (6 ~ 3 kV 回路)

回路の接地方式は地絡保護の難易や異常電圧の大きさなど問題であるが、今まででは地絡電流 500 mA 以上を制限した旧工作規程の習慣により計器用変圧器接地方式が多く採用されてきたが、最近では電源容量の増大や配電線が多数ケーブルにより配電されているため、充電電流の大きさも数十 A 以上となって間欠地絡、共振などによる異常電圧発生の機会は多くなっている。異常電圧の発生は絶縁の寿命を短くし、絶縁破壊または回路の破損が生ずることが多くなり、回転電機では絶縁に使用できる広さが限られているため、電圧と寿命の関係はとくに激しくせりあっている。最近の高圧回路の接地は異常電圧を 3 倍程度以下に抑えるため充電電流により 10, 50, 100 A の接地方式を標準に採用している。

方式としては電源変圧器のある所では変圧器二次を人にして中性点に接地抵抗器をそう入している。また母線のみの所では接地変圧器と接地抵抗器によっている。時間定格としては短時間定格であるため形状も小形になっている。

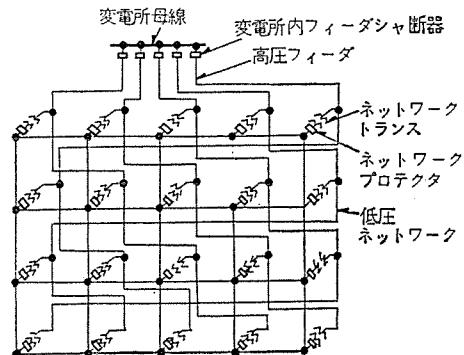


図 3.7 ネットワーク 方式実行例
Fig. 3.7 Example of network system.

3.4 ネットワークプロテクタ

ビル用電気品としては冷蔔房、計算器など停電の許されないものもあるが、現今では無停電はもちろん質の良い電気によるサービスを求めている。この要求を満たすには図 3.7 に示すごとく低圧ネットワーク方式を採用することは経済的な方法の一つである。AC ネットワーク方式は負荷は網状に組まれた二次配電網から供給され、電源は数回線の異なる配電線から順次にネットワーク変圧器に接続され、単位はネットワーク変圧器とネットワークプロテクタからなる。ネットワークプロテクタはネットワーク式低圧交流配電網の自動制御および電圧配電線保護に用いられるシャ断機構で、ネットワーク保護のため逆流を検出する繼電器によって引はずしシャ断が収納され、低圧側ネットワークの故障は回路に入れてある区分用ヒューズにより除去され、高圧側の故障に対してのみ故障電流をシャ断する。ネットワークは複数の配電線、複数の変圧器により配電されているので停電時間の短縮または無停電配電が可能となり、またフリッカの減少という利点があり、設備的には電力の融通性があるので、負荷の増加により変圧器を追加する場合には必要最少限度のものをネットワーク全体に対して設備すればよいので経済的である。

自動操作を述べれば、

(1) 無電圧投入特性

ネットワーク側が無電圧のとき、配電線が生きれば自動的にシャ断器が閉路する。

(2) 過電圧投入特性

ネットワークが生きているとき、配電線電圧がネットワーク電圧より十分高いときにシャ断器を自動的に閉路する。

(3) 逆電力シャ断特性

ネットワークから高圧配電線に逆流すれば、ただちにシャ断器を開路する。

(4) ポンピング作用防止

負荷の種類により生ずるトランス側電圧とネットワーク側電圧との位相差が電力の逆流をきたすような状態で接点を開き、シャ断器の閉路回路を鎖錠し、これにより故障シャ断後ふたたび電力の逆流により開路してポンピング作用を起こすことを防止している。

図 3.8 に CM-44 形ネットワークプロテクタの外観を示す。

3.5 低圧過電流保護

低圧交流回路の保護方式は「縦統」と「選択」の 2 種類がある。2 方式の唯一の理由は経済性だけである。低圧交流気中シャ断器の縦統配列を図 3.9 に示す。故障点に事故発生すれば A, B 各シャ断器には同一の故障電流が流れ、B シャ断器は故障電流が定格シャ断容量を超過しており A シャ断器は少なくとも A 点にお

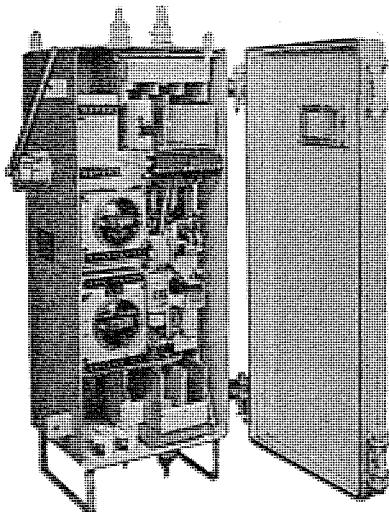


図 3.8 CM-44 形ネットワークプロテクタ
Fig. 3.8 Type CM-44 network protector.

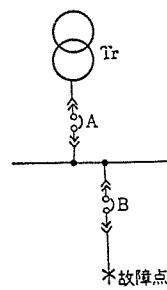


図 3.9 縦統回路
Fig. 3.9 Cascade circuit.

ける故障電流をシャ断できるシャ断容量を持つ必要がある。縦統方式は費用が安いことが特長であるが、欠点は配電回路に故障が生ずると全系統または大きい部分を停電させることである。

大形気中シャ断器を縦統配列するのに必要な条件は、

- (1) 故障電流値以上の定格投入電流値が必要である。
- (2) 縦統段数は 2 を越えてはならない。
- (3) メーカが縦統配列に使用するのを推奨した気中シャ断器であること
- (4) A シャ断器は全系統の十分なシャ断容量を持つこと
- (5) B シャ断器は全系統の 1/2 以上のシャ断容量を持つこと
- (6) B シャ断器は縦統引はずした場合は必ず点検してから再閉路したほうがよい
- (7) B シャ断器は人体に危険がないよう電気操作にしたほうがよい

縦統配列に使用するシャ断器はすべて瞬時引はずしと過電流の程度に対応する限時引はずを持ち、A シャ断器の瞬時引はずしは B シャ断器の定格シャ断容量より十分低い電流たとえば 80% に整定するごとく縦統方式の動作が確実にする必要がある。現在当社では DB 形気中シャ断器が縦統方式に使用され、モールドケース形のシャ断器は縦統にはできず、その場合の故障電流がシャ断器の定格シャ断容量にあるときのみ使用できる。

4. 配電盤

4.1 照光式配電盤

ビル電源系統が増大し、現在の運転状態管理や異常時の対策を早急にする必要があるため、電気系統を照光形式で表示し、シャ断器投入時における予告表示を行ない、故障のときはフリッカにより回路を明示して誤操作、誤判断のないよう、また運転を誤らないよう万全を期するため照光式配電盤が最近採用された。

照光式配電盤の特長は、もちろん照光母線にあるが、一方制御の面から考えてみると、従来行なわれている遠方制御の概念を取り入れ、これを変形させたセミスパー形式となっている。以下において照光式配電盤の盤構成、制御、計測について従来の配電盤形式と比較してその特長を述べる。

- (1) 監視配電盤と制御機とより構成され図 4.1 でわかるごとく、主回路の系統配置そのままに照光式模擬母線を張り、その

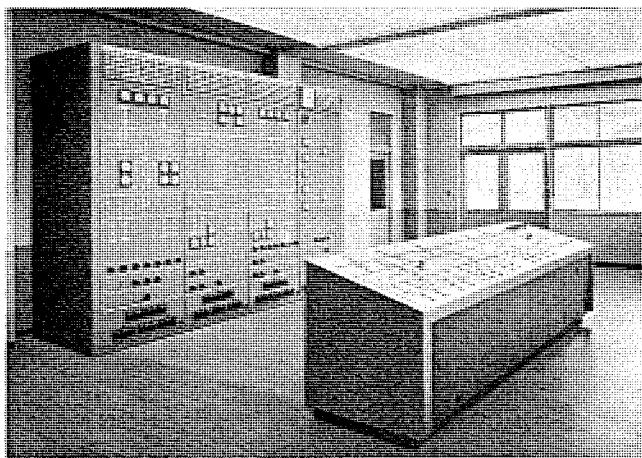


図 4.1 照光式配電盤外観
Fig. 4.1 Luminescent switchboards.

中に計器を組み込んだいわゆる グラフィックパネル である。

(2) 配電盤区分の方法が、従来は配電系統単位別区分となっているのに対し、照光配電盤は機能別区分を行なっている、すなわち監視配電盤は 1 面を上中下の 3 面に区分し上からそれぞれ、故障表示面、監視面、切換スイッチ面となっており、さらにそのほかに制御机、電源スイッチ盤、積算計器盤など各機能別にまとめられる。

(3) 人間が常時監視可能な視角は上下約 30 度左右約 45 度以下といわれているが、この形式の監視配電盤とすればその据付面積が、普通形の約 35 %、縮小机形の約 50 %となり、大幅に縮小されるから、その視角内におさめるのは比較的容易である。

(4) 金属模擬母線に代わって、照光式模擬母線を実系統そのままに張り、系統の運転状況により、点灯あるいは滅灯させるとともに、必要時にフリッカさせるから、系統状況を直観的に、かつ明確に掌握することができる。また照光母線は、線路充電などの検電器の役目を果たすから、電圧計を省略することもできる。

(5) シャ断器、断路器などの開閉表示灯は、従来の 2 灯式に代わって 1 灯式とし、とくに専用の表示灯を設けず照光母線内に組み込まれた模擬単位でこれを代用している。

(6) 監視計器を大幅に省略している。グラフィックパネルとする以上、計器自体の大きさを大幅に縮小しない限り協調がとれないことはこの形式の配電盤の宿命があるので、たとえば電流計、電圧計などはすべて一相分監視とするとともに、電力計は 2 回線の総合量だけを計り、その数量を大幅に減少させ、それらで不足する部分は照光母線あるいは記録計器で補なっている。

(7) 故障表示器は配置の関係上 ランプ式とならざるをえない、このために専用の補助继電器を必要とする。

(8) 開閉器類の操作は従来の ネン回形操作スイッチによる直接操作に代わって、押しボタンによる間接制御方式であり、各開

閉器に付属する選択用押しボタンと全体に共通の操作用押しボタンとからなる組み合わせ方式である。

(9) 制御に要する继電器は特殊電話用继電器である。

(10) シャ断器投入時の同期検定は、専用の検定スイッチを設けず、シャ断器選択と同時に行なう。

(11) 制御に要する電源は通常の直流 110 V とさらに、照光母線などの点灯制御用として 18 V を必要とする。これは通常ランプ定格が 18 V であり付属抵抗をつけるはん難さと、抵抗の熱損失による温度上昇および制御用として比較的多くの連続容量を必要とするなどの理由から、専用の 18 V 電源がおかれるのが一般である。

次に制御方式につき簡単に記述すると照光式模擬母線のもつ機能は、系統の運転状況を母線の点灯あるいは滅灯によって掌握すること、機器操作に先だってその操作を行なうことにより状態変化を起こす部分をフリッカさせ変化を予知すること、系統が故障シャ断したときは同じく変化部分をフリッカさせて、事故をすみやかに掌握すること、の 3 点に集約できる。また照光母線の点灯方式は、線路充電部を忠実に点灯させる、いわゆる電圧点灯方式を採用しているが、系統の運用条件によっては電流点灯方式との混合も可能である。図 4.1 に照光式配電盤と操作机の外観を示す。

4.2 データロガー

機器の動作状況の監視ならびにそれらの測定値を自動的に記録する機能を有するもので、本装置を電気所に使用することにより従来電気所記録を運転員が一定時間ごとに読取記録紙に記入し、またはこれらの総計を算出することにより電気所の運転日誌を作成していたものが、データロガーの使用により人手を借りずに従来とまったく同じ運転日誌が自動的に作表される。また高度のデータロガーを採用すれば、記録の作表以外に電気所の運転状態をたえず監視し、異常があればただちに警報を発し、運転員に知らせるとともに異常値の記録なども行なうことも可能である。

たとえば電力、電圧、電流、温度、圧力などの自動作表と上下限警報の役目を果し、警報装置は各アナログ量をそれぞれ基準値と比較しつつ一定時間隔で走査され上下限を越した場合は警報し、かつ異常値と時刻の印字を行わせる。積算電力に関しては 1 時間ごとに印字しなお 6 時間、12 時間、24 時間の積算印字も可能である。

5. むすび

以上項目を無統制に概略的に、説明したが最近の配電盤の発達は著しいものがある。実施例について述べればより具体的でわかりやすいと思われるが、次々と新しい制御理論の発展や装置が開発されている状況であるため、きわめて抽象的記述となり理解も困難であったことと思われるがご容赦願い、ビル用電源設備の制御装置の計画のご参考に供したいと考える次第である。

ビル用 6 kV, 3 kV 級メタルクラッド開閉装置

横浜 博*

6 kV, 3 kV Metalclad Switchgear for use in Buildings

Kōbe Works Hiroshi YOKOHAMA

The size of buildings is turning enormously large year after year. This brings about increase in the capacity of power receiving equipment, which in turn makes it necessary to pay attention to efficient use of the floor space for the electric machine installation. To meet the requirement metalclad switchgear has made a considerable development and come in use extensively. Its small size and increased safety because of dry type and noninflammable structure are the most dependable features among many others. Particularly where there is little probability of dangerous faults type FL and type FH metalclad units of recent development are well adaptable in the points of rational use and yet economy.

1. まえがき

オリンピックブームや都市における敷地が限界に達し、また建築法の改正などにより急激に高層建築が増加している。これに伴い設備容量が増加し非常用発電機を備えたビルも多くなってきた。

また建築計画より完成までの期時も短縮され電気設備の設計も急を要し、高度に標準化された開閉装置(Switchgear)を使用し、建物の計画をまさえろにする必要を生じている。最近ビルに適した各種の開閉装置を開発したので、これらについて述べる。

2. 特長

ビルの性質上その中に設置される開閉装置については、次のような特長を持ったものが好ましい。

- (1) 不燃性であり、油を使用しない乾式であること。
 - (2) 外形が小さく搬入に便利であり、すえつけ床面積が小さくビルの建設費を節減できること。
 - (3) 高圧ケーブル、制御用ケーブルとも、上部からもまた下部からも引き出し可能であること。
 - (4) 母線、主回路機器、制御線などは工場ですべて取り付け配線されており、現場でのすえつけに要する時間ができるだけ短いこと。
 - (5) 発電所、変電所などに比較した場合保守員の数が少ないことが多いので、とくに保守が簡単で安全度の高いものであること。
 - (6) 標準化されており、建築設計の初期に、寸法および据付に関する事項が容易にわかるものが望ましい。
 - (7) 外観が近代的センスを持ち、周囲のものとマッチすること。
- 以上のようなことが要求されるが、ビルのコストを下げるため、開閉装置の小形化はとくに望まれるところである。

3. 主回路構成

主回路の構成にあたっては、それぞれのビルに特殊性があり、使用している企業により事情を異にするが、年々シーザー断器の実用性能が向上しており、またメタルクラッドを使用した場合母線が絶縁されており、母線の点検は滅多に必要がないので単母線で回路を簡単にすることが望ましい。

また図3.1は9電力会社と9メーカーからなる共同研究により、昭和34年11月27日に制定された「電力会社配電用キュービクル規

表 3.1 新形負荷断路器

	形名	定格電圧(kV)	定格電流(A)	負荷シーザー断電流20回(A)	ループ電流シーザー断電流@600V, 100回(A)
負荷断路器	LCB	3.45 6.9	2,000 2,000	2,000 1,000	2,000 -

格要項とその試験規格」を参考としているが、磁気シーザー断路器の実用性能の向上により単母線を使用し、変圧器の一次側にシーザー断路器があるときは一次側のシーザー断路器を省略し断路器に代えている。また東京都内などで、図3.1のように母線連絡に断路器を使用する場合は、停電時間を最短にするため、断路器に代えて負荷断路器を使用する場合がある。当社のLCB形負荷断路器は小形で、通常の断路器とはほぼ同じ大きさの開閉装置に収納できる優秀なもので、その特性は表3.1に示されている。LCBの負荷断路器特性は負荷電流を切ることはもちろんあるが、このような回路に使用するときは、むしろ実用的には2パンク並列運転の際のループ電流および変圧器の励磁電流シーザー断に使用する場合が多い。

図3.1の回路は後述の軽負荷メタルクラッドにとくに適したものであり、電圧3kV、変圧器容量3,000kVAくらいの受電設備に対し経済的である。

負荷が変圧器のように固定したものの、しかも負荷との間が新しいケーブルで布設されているような場合、回路の開閉ひん度は少なく、過電流、短絡および接地事故の確率も少ない。したがってこのような場合、図3.2に示されているように電源にのみシーザー断路器を、負荷側には負荷断路器と電力用ヒューズを組み合わせ、引出形にしたFL形メタルクラッド開閉装置が適している。

また同じような条件であるが、開閉ひん度が比較的高くまた早い開閉速度を要求されるような回路には、図3.3のように受電回路にのみシーザー断路器を、負荷側にはコンタクタと電力用ヒューズを一体として引出形にしたEH形メタルクラッド開閉装置とを組み合せた方式が考えられる。

変圧器の一次側にシーザー断路器が省かれている場合は、図3.4のように変圧器二次側にシーザー断路器を設けている。また2パンクの場合母線連絡にもシーザー断路器を使用すれば、並列運転の際もしキ電線用シーザー断路器の容量が不足のときは、故障発生と同時に母線連絡用シーザー断路器をシーザー断し、系統を分離した後にキ電線用シーザー断路器をシーザー断する方法が取られる。

多くのビルでは病院、報道関係などのように、非常用電源としてディーゼル発電機が設置されていることが多い。図3.6において52Fは當時は外部電源から配電されており、停電の場合は外部

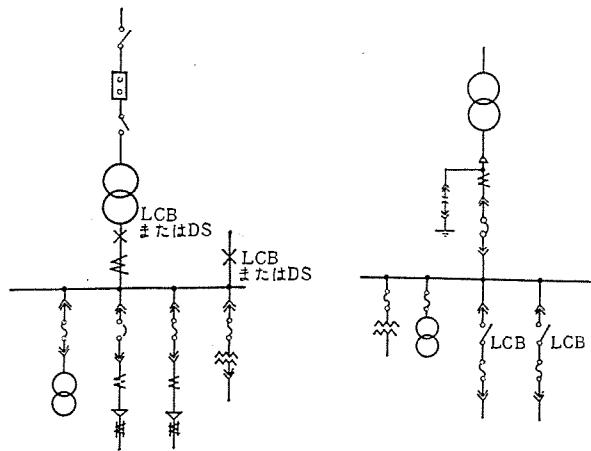


図 3.1 変圧器二次に シャ断器を省略した回路
Fig. 3.1 Circuit with circuit breaker omitted on transformer secondary side.

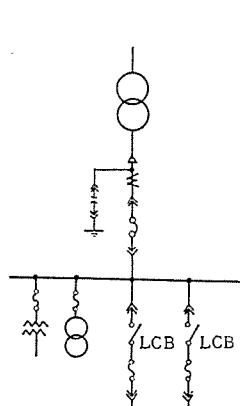


図 3.2 FL形メタルクラッド回路
Fig. 3.2 Circuit using FL type metalclad switchgear.

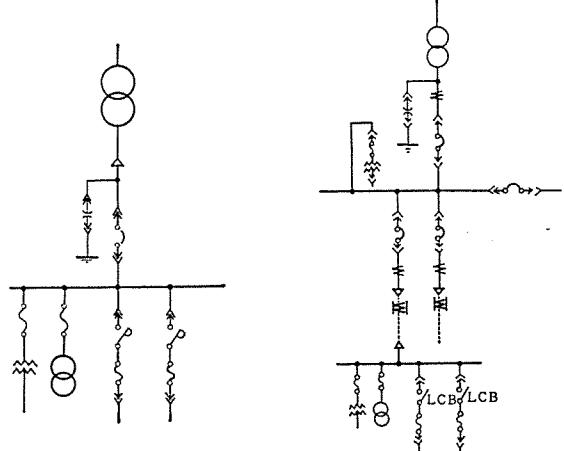


図 3.3 EH形メタルクラッド使用回路
Fig. 3.3 Circuit using EH type metalclad switchgear.

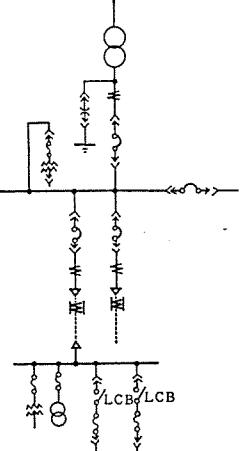


図 3.4 変圧器二次に シャ断器を使用した回路
Fig. 3.4 Circuit with transformer secondary circuit breaker.

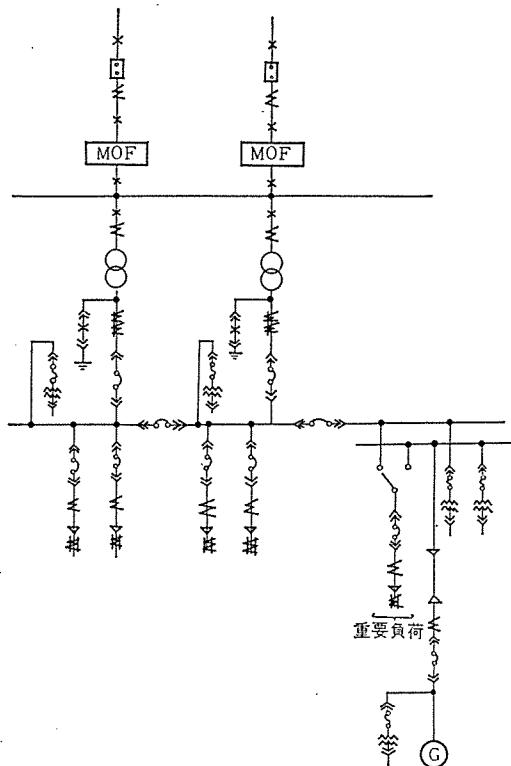


図 3.5 発電機をもった回路
Fig. 3.5 Circuit with generator.

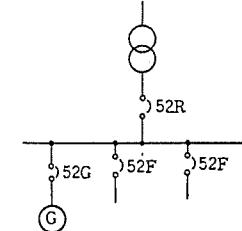


図 3.6 回路例
Fig. 3.6 Circuit example.

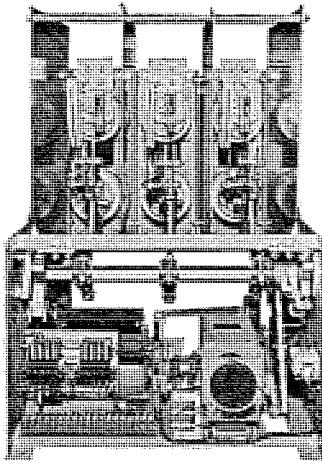


図 3.7 LCB形負荷断路器
Fig. 3.7 Type LCB disconnecting switch.

の系統と自家発とを並列運転させないように 52R を開路し、発電機回路用 シャ断器 52G を入れ、重要負荷のみ給電する方式が取られる。

またときに、受電系統と自家発系統と異なった母線をとくに要求される場合はコスト高となるが、図2.5の回路が一般的である。

4. シャ断器の操作方式

シャ断器の投入、トリップには外部条件で左右されない独立電源である バッテリを持つことは常に望ましい。しかし保守の手間を除き、変電所を簡素化する場合は AC 方式を取ることがある。

4.1 DC 方式

トリップ……DC 電源（バッテリ）

ビル用 6kV, 3kV 級 メタルクラッド 開閉装置・横浜

投入 ……DC 電源（バッテリ）

これはトリップ、投入とも バッテリを使用する従来から行われている最も一般的な方式で、利点としては外部条件に左右されない安定した制御電源を得られるが、保守には若干の手間がかかる欠点がある。

4.2 AC 方式

(1) トリップ……キャパシタトリップ回路

投入 ……DC 電源（セレン整流）

(2) トリップ…… { 短絡事故……CT トリップ装置
接地事故……DC 電源（セレン整流）

投入 ……DC 電源（セレン整流）

(3) トリップ……CT トリップ装置

投入 ……手動

AC 方式には大別して キャパシタ を使用した形式と、短絡時の故障電流を利用する CT トリップ 方式の二つがある。

第1の方式(1)は当社磁気 シャ断器を AC 方式で操作するときの標準である。これは各 シャ断器に常に充電されている蓄電器を持ち、トリップはこれの放電で行ない、投入は整流された DC 電源で行なう。この利点は トリップ に関しては DC 電源を持っているのと同じに考えられるので、リレー動作値の整定が自由に行なえる。また トリップ も一見交流電源から整流された DC 電源で行なえるように思えるが、至近端での短絡事故のときには、制御電圧が引はずし最低制御電圧以下になることがあるので、交流電源が断たれてもある時間 シャ断可能な キャパシタ 方式が必要となってくる。

第2の方式(2)は、図 4.2 に示されているような CT トリップ回路において常に計測回路に CT の二次電流が流れているが、短絡または過負荷によりこの電流がリレーの整定値以上になると、リレーの接点 S が開き、故障電流に相当する CT 二次電流を シャ断器の トリップコイル に流し、このエネルギーにより シャ断器を トリップ させるものである。接地事故に関しては、通常の配電線における接地電流の エネルギ ではどうてい シャ断器を トリップ させることができず、また接地時の相間電圧は低下しないので、この相間電圧から整流された DC 電源により トリップ を行なう。投入は同じく整流された DC 電源により行なう。

本方式の特長は短絡時の電圧降下にかかわらず、トリップの エネルギ が CT から得られるということである。しかし欠点は短絡時、リレー接点で大電流を切らねばならない、接点がいたみやすい。 シャ断器には短絡用の R, T 相接地事故用の計 3 個の トリップコイル を必要とする。負荷が小さくなったらときには、CT を取り換えないければ トリップ するに十分な エネルギ を得られないなどの弱点がある。

第3の方式(3)は シャ断容量の少ない末端の回路に使用される。投入用の電源トランス、整流装置を省略できる利点があり、一般に接地の事故 シャ断は考慮しないことが多い。

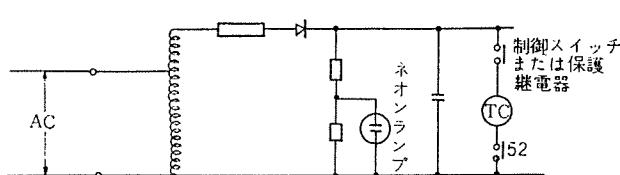


図 4.1 キャパシタ トリップ回路
Fig. 4.1 Capacitor trip circuit.

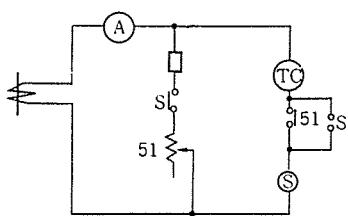


図 4.2 CT トリップ回路
Fig. 4.2 CT trip circuit.

5. 単位閉鎖配電盤の形

わが国では Switchgear を単位閉鎖配電盤とも開閉装置とも呼ばれている。また従来は キューピクル という名の下に各種の Switch-

gear が製作されている。これらのものの中には メタルクラッド のように高級なものから、単に主回路を簡単におおったものもあり、性能的にも価格的にも異なったものが同じ名称の下で取り引きされてきた。またこれらを規正する規格もなく、検査上も取引上もトラブル が多々あったので、1956年、JEM で単位閉鎖配電盤の形という規格を作成し、これらの支障を除くようにした。

JEM-1114「単位閉鎖配電盤の形」は表 5.1 に示されているように条件の累積により格付けされている。これについても当時、Switchgear は発展途上にあり、ある程度安定しかけている現在から見れば不備な点が多く、またある種の シャ断器ではこの規格の形態を厳格を守ることのできないものも出て、本規格の改訂を望む声も多くなってきており、しかしすべてに合致する規格を作成することは非常に困難を伴うので、漸次適用範囲を限定しながら Switchgear の発展に伴い新規格を作成する必要がある。

Switchgear ということばは、単位閉鎖配電盤、キューピクル 配電盤、メタルクラッド 配電盤、キューピクル 開閉装置、メタルクラッド 開閉装置と種々に翻訳されている。

NEMA, SG-5.1001 項によれば「Switcheare とは開閉器具、 シャ断器を内蔵し、関連ある制御、計測、保護、調整器具を結線し、一体として構造物内に収納したもの」としている。また特許公報でも Switchgear を開閉装置と訳しているのでこのことばが適切であると思う。

メタルクラッド 開閉装置 (Metal-clad Switchgear) は NEMA に定義されているが、これと同等の国内規格は JEM-1114-G 項に相等している。しかし国内では JEM-1114-E 項に準拠するものは、すなわち シャ断器が引出形であれば メタクラ と称している。当方でもわが国での通称に従って、G 項相当のものは メタルクラッド 開閉装置、その他の E 項以上のものは、何々形 メタルクラッド 開閉装置と呼称し、D 項以下のものを何々形 キューピクル 開閉装置と呼ぶこととした。

表 5.1 単位閉鎖配電盤の形 (JEM-1114)

単位閉鎖配電盤の形							具備すべき条件
A	B	C	D	E	F	G	
○	○	○	○	○	○	○	1 単位回路区分ごとに装置が一括して接地金属箱内に収容されている
-	○	○	○	○	○	○	2 主回路側と監視制御回路とを接地金属隔壁により離隔すること
-	-	○	○	○	○	○	3 シャ断器の閉路状態では断路器が操作できないようインテロックを設けること
-	-	-	○	○	○	○	4 シャ断器は撤出できる構造であること
-	-	-	-	○	○	○	5 シャ断器はその主回路および制御回路に自動連結式断路部を有する引出形であること
-	-	-	-	-	○	○	6 主回路のおもな機器は相互に接地金属隔壁または絶縁壁により離隔すること
-	-	-	-	-	-	○	7 主回路の導電部(母線、接続線、接続部など)は十分絶縁すること

6. 6/3 kV 級開閉装置の特色

ビル用の開閉装置としては前述の主回路に適した種々の形があるが、乾式で据付面積の小さいことが望ましいことから、E 項以上の油入 シャ断器を使用しない メタルクラッド 形についてその概略的な特長を述べる。

6.1 メタルクラッド 開閉装置

メタルクラッド 開閉装置 (Metalclad Switchgear) は JEM-1114-G 項に相当する最高級のもので、NEMA, SG-5 にも合致するものである。

表 6.1 開閉器具

	形名	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	シャ断容量	
				A級 (500回操作)	B級 (100回操作)
高圧コンタクタ	SH-105	3.45	100	25 MVA	
	H-205	3.6	200	5,000 A @PF 3.2%	"
	H-405	3.6	400		
負荷断路器	LCB	3.45 6.9	1,200 600	400 A 200 A	600 A 600 A

表 6.2 電力ヒューズ

形名	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	シャ断容量 (MVA)	
			非対称	対称
BAL-PT	3.45 6.9	1, 2	400 800	250 500
BAL-10	3.45	5, 10	250	160
BAL-30	3.45 6.9	15, 20, 25, 30 15, 20, 25	400 800	200 500
BAL-50	3.45 5.9	40, 50 30, 40, 50	400 800	250 500
BA-200C	3.45 6.9	1/2~200	100 180	65 112.5
BA-400C	3.45 6.9	1/2~400	180 300	112.5 187.5
BA-400-M	3.45 6.9	1/2~400	240 350	150 219
BA-400-HM	3.45	1/2~400	400	250
CLS	3.45	100, 240	400	250
PL	3.45	1	160	100

表 6.3 屋内メタルクラッド開閉装置用シャ断器

シャ断器	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	シャ断容量 (MVA)		形名
			3.6kV	7.2kV	
3-DHM-7.5	3.6	600	75	—	WH 37 WE 37 WL 37
	“	1,200	75	—	WH 37 WE 37 WL 37
3-DH-20A	3.6	600	200	—	WH 32 WE 32 WL 32
	“	1,200	200	—	WH 32 WE 32 WL 32
3-DH-20	3.6	2,000	200	—	WH 31 WE 31
	“	2,000	250	—	WH 35 WE 35 WL 35
3-DHM-25	3.3	1,200	250	—	WH 35 WE 35 WL 35
	“	2,000	250	—	WH 35 WE 35 WL 35
6-DHM-15	3.6/7.2	600	150	150	WH 61 WE 61 WL 61
	3.6/7.2	1,200	150	150	WH 61 WE 61 WL 61
6-DH-15	7.2	2,000	—	150	WH 60 WE 60
	“	2,000	—	150	WH 60 WE 60
6-DHM-25	7.2	600	250	250	WH 64 WE 64 WL 64
	7.2	1,200	250	250	WH 64 WE 64 WL 64
6-DH-25	7.2	2,000	250	250	WH 62 WE 62
	“	2,000	250	250	WH 62 WE 62
6-DHM-30	3.6/7.2	3,000	300	300	WH 33 WE 33
	3.6/7.2	3,000	300	300	WH 33 WE 33
6-DH-50	7.2	1,200	500	500	WH 65 WE 65
	“	2,000	500	500	WH 65 WE 65

当社のメタルクラッド収納用の磁気シャ断器は主回路および制御回路とも自動連結式の水平引出構造を有するもので、遠方手動操作の断路器を操作するのと同程度の労力でシャ断器を引き出し、主回路および制御回路の断路部を回路から切り離すことができる。

また主回路は完全に絶縁されており、絶縁母線には耐トラッキング性、耐炎性にすぐれているレダルタ (Retardant Micarta) を、これらの支持には同等の特性を持つガラスファイバポリエステル製の支持板を使用し、耐炎性を要求しているNEMA規格にも合致したものである。

6.2 E形メタルクラッド開閉装置

メタルクラッド開閉装置などの完備した条件を必要としない需要家のために、実用上さしつかえない程度に安全性を落とし、しかも寸法はメタクラ なみに小さくしたシリーズとしてE形メタルラッド開閉装置を作製した。

これはNEMAによるメタルクラッドの条件ができるだけ残し、JEM-1114-E項に準拠したもので、E形メタクラと従来のメタルクラッドとの相違点は次のとおりである。

(1) E形は規格上では主回路の絶縁は必要としないが、母線

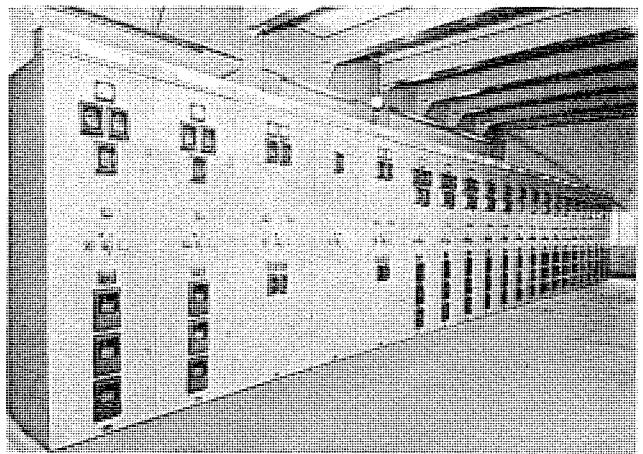


図 6.1 屋内メタルクラッド開閉装置
Fig. 6.1 Indoor type metalclad switchgear.

のみ寸法の縮小および標準化の見地から絶縁し他の必要のない所は絶縁を施さない。

(2) 主回路のおもな機器はE形では必ずしも相互に隔離する必要がないので、シャッタ および高圧機器間の隔壁は除いてある。

6.3 軽負荷メタルクラッド開閉装置

ビルなどの3kV級の+電線には背後電力が3,000kVA程度の比較的小容量で、シャ断容量も75MVA以下の場合が多い。この場合、保守点検に便利で油を使用しない3-DHM-7.5形磁気シャ断器を使用し、メタルクラッドの具備条件より軽負荷の場合には必ずしも必要としない要素を除き、すえつけ面積の縮小に重点をおき小形化を計った屋内用の開閉装置である。規格としてはJE M-1114-E項に該当し、E形メタルクラッドとほぼ同じ条件である。

3kVの+電盤として外形寸法が幅510mm、奥行1,500mm、高さ2,300mm(2,100mm)という縮小形はビルに最適であり、他に例を見ない。

6.4 FL形メタルクラッド開閉装置

負荷が変圧器などの固定したもので、しかも負荷との間がビル内でBus Ductや新しいケーブルで接続されているような場合、過負荷、短絡および接地事故の確率は少ない。またこのように開閉ひん度が少なくBack Powerの大きく、負荷電流の小さい回路には、シャ断器を使用しなくても電力ヒューズと負荷断路器の組み合わせにより、表6.2のようなシャ断容量および表6.1に示されている負荷シャ断能力を持つことができる。

このシリーズは電力ヒューズと負荷断路器を一体として、DH形シャ断器と同じような台車に収納して引出形とし、従来のメタクラの技術と標準化された仕様により各種の安全装置インターロックが取り入れられ簡便であるが性能的に充実し、コンパクトかつ経済的に製作されている。

特長

(1) 母線および導体は裸導体を使用し、計器室は高圧回路から隔離されており台車を引き出した後導電部に触れるのを避けるためシャッタ を設けてある。

(2) 負荷断路器とヒューズは点検および取り換えに便利のように台車に取り付けられており、台車はLCBが開のときのみ引き出し可能のようにインターロックを付してある。

(3) 一次二次接触子および接地シューは自動連結式となっていいる。

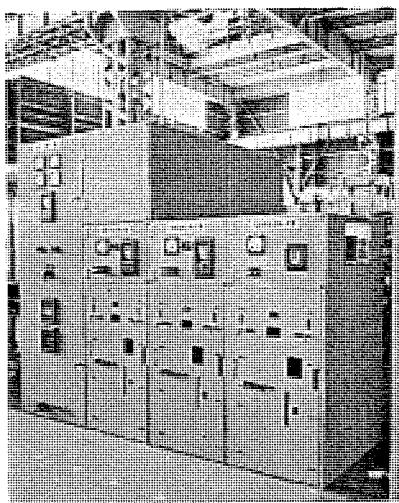


図 6.2 FL 形 メタルクラッド 開閉装置
FL Fig. 6.2 Type FL metalclad switchgear.

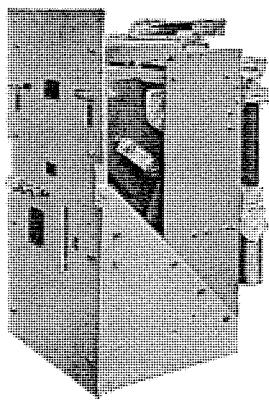


図 6.3 FL 形 メタルクラッド 用
LCB 付 ヒューズ 台車
Fig. 6.3 Fuse carriage with
LCB for type FL metalclad
switchgear.

(4) 付属装置を取り付けることにより自動遠方操作を行なうことができる。

(5) 近代的外観を有し、信頼性が大である。

(6) 標準化された設計であるので、計画および設置が簡単に行なえる。

6.5 EH 形 メタルクラッド 開閉装置

前項と同じような設置条件で事故回数が少ない回路において、FL 形 メタルクラッド では開閉速度およびひん度に難があり、シャン断器を使用すれば高価となるような場合にはこの形が適している。すなわち事故 シャン断は高圧 ヒューズ によりコンタクタの シャン断容量

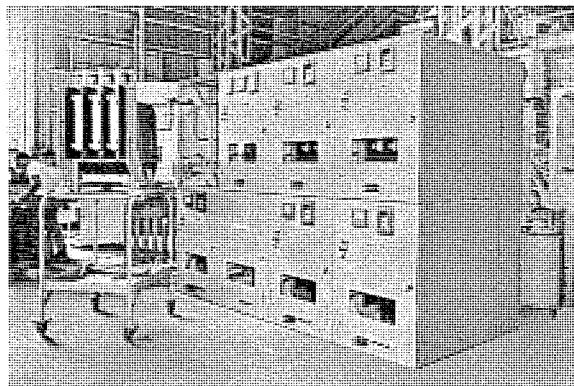


図 6.4 EH 形 メタルクラッド 開閉装置
Fig. 6.4 Type EH metalclad switchgear.

以内の事故、過負荷および開閉はコンタクタによる。とくに 1 面に 2 回路収納できるので、スペース的にすぐれ、FL 形と同じく従来のメタルクラッドの技術を取り入れているので、安全でしかも当社独自の設計による経済的な + 電盤である。規格としては JEM-1114-E 項に準拠している。

特長

- (1) 1 面に 2 + 電回路を収納するので床面積が著しく縮小されている。
- (2) 主収納器具は引出構造としてあり、確実な インターロック 装置および シャッタ 装置を有し、運転、保守の安全を期している。
- (3) 一次、二次接触子および接地 シュート は自動連結式となっている。
- (4) 前面 トピラ にある窓から高圧 ヒューズ の溶断を点検できる。

7. むすび

各種開閉装置の急激な進歩により、過去 10 年間に旧式な受電設備は順次新しいものに更新されつつある。これらは各種 インターロック も完備し、保守員の誤操作による事故も防止でき、また事故発生の確率も極度に少なくなっている。磁気 シャン断器の使用により母線との間の断路器を省略できるので小形となり、ビルに適したものとなった。また高圧線がビルの中を バスマウント または新しいケーブル で配線されているような事故確率の少ない所には、使用状況に応じ FL 形、EH 形 メタルクラッド の使用を推奨する。

DB形低圧気中シャン断器

勝田久登*・竹内孝治*

Type DB Low Voltage Air Circuit Breakers

Kōbe Works Hisato KATSUTA・Takaharu TAKEUCHI

In large buildings constructed nowadays electric power requirements are more and more increasing. On the other hand, in stepping down power supply voltage 400 V class low voltage is made available direct from 20 kV special high voltage. This makes short circuit current enormously large. Accordingly, low voltage air circuit breakers applied to this circuit are called for gruelling performances of various kinds. This paper particularly sets force the problem of continuity of power supply and also circuit breakers for motors and condensers switching as a center of discussion, going into details of attentions to be paid low voltage air circuit breaker application.

1. まえがき

最近の大形ビルディングでは、特高受電から、3kVあるいは6kV高圧の段階を経ることなく、直接440Vか420Vの三相4線式にする配電方式を採用する傾向にある。冷房、空調動力として、400V級大形ジカ入誘導電動機の発展と、これの起動停止、過電流保護、回路短絡保護を一手につかさどりうる電動機シャン断器の存在は、高照度ケイ光灯照明への利点とあいまって、前記配電方式を今後一層増加させるであろう。また選択性直列過電流引はずし装置を装備した大シャン断容量を有する低圧気中シャン断器は、これからの大形ビルディングにおける給電の連続性の要求を、信頼性高く、かつ安全に実現させうる。

当社はさきに、一般用の低圧気中シャン断器として、DB系列を完成し、多数納入してきた。地下とはいえ、大いに利用価値のある都心のビルディングにおいては、狭い床面積に安全で、保守、点検容易に、各種電気機械設備を、据え付けなくてはならない。少なくない数に達する低圧気中シャン断器においてはことにそうである。DB形シャン断器は、ビルディング配電パワーセンタに納めるシャン断器としても、きわめて好適である。

本稿では、ビルディング電気設備として、シャン断器に要求される条件の内、とくに給電の連続性と、電動機シャン断器に関するものを主点に述べてみたい。

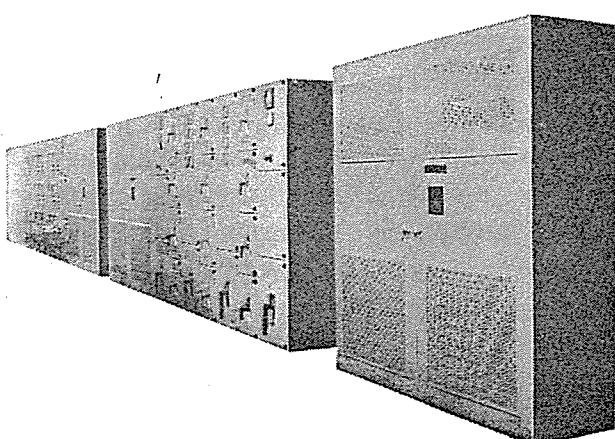


図1.1 低圧パワーセンタ
Fig. 1.1 Low voltage power center.

2. 定格

図2.1にDB形低圧気中シャン断器の写真を、表2.1、2.2、および表2.3に標準定格を示す。

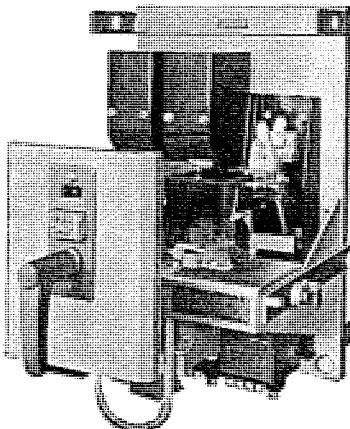


図2.1 閉鎖3段引出形
DB-25形気中シャン断器
Fig. 2.1 Three position
draw-out type DB-25
low voltage power
circuit breaker.

表2.1 DB形低圧気中シャン断器交流定格表(その1)

形名	定格電圧(V) 50/60c/s	定格ショート電流(kA)		定格短時間電流(kA)			フレームの大きさ(A)
		短絡発生後1/2サイクルにおける電流 非対称(rms)三相平均値	対称値	0.1秒 短限時帯	0.2秒 短限時帯	0.4秒 短限時帯	
DB-25	600 500 250	25 35 50	22 30 42	25 30 40	25 30 35	25 25 25	600
DB-50	600 500 250	50 60 75	42 50 65	50 60 65	50 55 60	50 50 50	1,600
DB-75	600 500 250	75 75 100	65 65 85	75 75 90	75 75 80	75 75 75	3,000
DB-100	600 500 250	100 100 150	85 85 130	100 100 130	100 100 115	100 100 100	4,000

(注) 短限時引はずしの場合回路短絡電流は定格短時間電流を越えないこと。

表2.2(1) DB形低圧気中シャン断器交流定格表(その2)

形名	定格電圧(V)	連続定格電流範囲(A)			
		閉鎖箱内空気温度55°C以下の状態における			
		瞬時	0.1秒 短限時帯	0.2秒 短限時帯	0.4秒 短限時帯
DB-25	600 500 250	40~600 100~600 150~600	175~600	200~600	250~600

表 2.2(2) DB 形低圧気中 シャ断器交流定格表(その 2)

DB-50	600 500 250	200~1,600 400~1,600 600~1,600	350~1,600	400~1,600	500~1,600
DB-75	600 500 250	2,000 3,000	2,000 3,000	2,000 3,000	2,000 3,000
DB-100	600 500 250	4,000	4,000	4,000	4,000

(注) 直列コイル定格電流の標準値(A)は
40, 50, 70, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500
600, 800, 1,000, 1,200, 1,600, 2,000, 2,500, 3,000, 4,000.

表 2.3 後備シャ断方式に対する短絡電流限界値(A)

形式記号	600 V		500 V		250 V	
	非対称三相平均値(kA)	対称値(kA)	非対称三相平均値(kA)	対称値(kA)	非対称三相平均値(kA)	対称値(kA)
DB-25	50	42	70	60	100	85
DB-50	100	85	100	85	120	100
DB-75	100	85	100	85	150	130
DB-100	100	85	100	85	150	130

(注) (1) 逆統定格電流は表 2.2 参照のこと。

(2) 過電流引はずし装置が瞬時引はずし要素をもつ場合のみに適用。

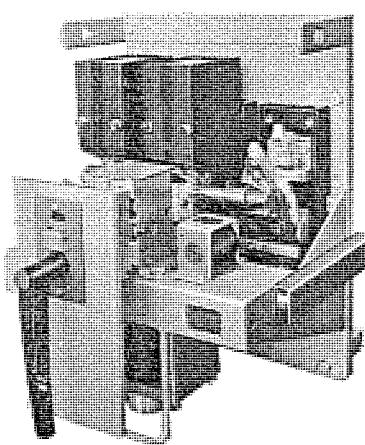
図 2.2 閉鎖 3 段引出形 DB-50 形
気中 シャ断器

Fig. 2.2 Three position draw-out type DB-50 low voltage power circuit breaker.

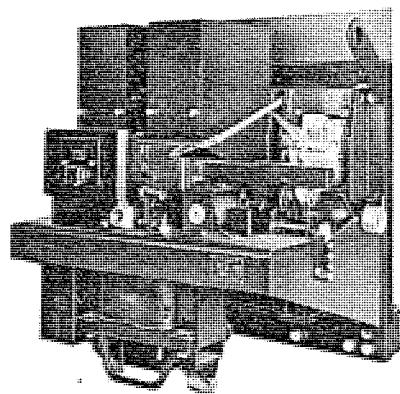
図 2.3 閉鎖 3 段引出形 DB-75 形
気中 シャ断器

Fig. 2.3 Three position draw-out type DB-75 low voltage power circuit breaker.

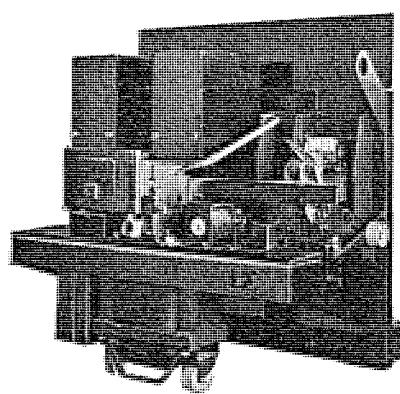
図 2.4 閉鎖 3 段引出形 DB-100 形
気中 シャ断器

Fig. 2.4 Three position draw-out type DB-100 low voltage power circuit breaker.

3. 低圧回路と給電の連続性

冬期の経済運転のため、変圧器は、2 バンク以上となるのが昨今 のビルディングにおける実情であり、低圧側に母線連絡 シャ断器が要求される。母線連絡 シャ断器で 2 バンク以上の変圧器が並列に結ばれると、好環境、高能率とするため、著しく受電容量の大きくなつた最近のビルディングにおいては、とくに キ電線 シャ断器、電動機 シャ断器などに、大きな シャ断能力をもつものが必要となつてくる。数多くの大形電動機の存在は、これに拍車をかける。すなわちこれらの電動機群の、短絡点へのバッキング電流も、無視できない大きさとなる。

ビルディング内の回路短絡事故による全面停電および非常用電源への切り換えは、極力避けられなければならない。余分の取付場所や、変成器、別電源を必要とする継電器を使用することなく、 シャ断器自身に装備する選択性直列過電流引はずし装置により、短絡事故を、母線連絡 シャ断器と、一つの キ電線 シャ断器（あるいは電動機 シャ断器）だけで シャ断させ、末端に短絡が発生しても、依然として給電を続行させる変圧器二次主 シャ断器と、それに協調する各 シャ断器がビルディング用として必要である。

3.1 基本的回路方式

回路方式は多岐にわたるが、ここではとくに最近のビルディングの傾向に合わせて、変圧器が 2 バンク以上で、母線連絡 シャ断器を置いた選択 シャ断方式と、準選択 シャ断方式のみに極限して、比較して見たい。図 3.1 に変圧器 2 バンクの場合の共通の回路を示す。Tr₁, Tr₂ は主変圧器、④は変圧器二次主 シャ断器、⑩は母線連絡 シャ断器、⑪は キ電線 シャ断器または電動機 シャ断器である。

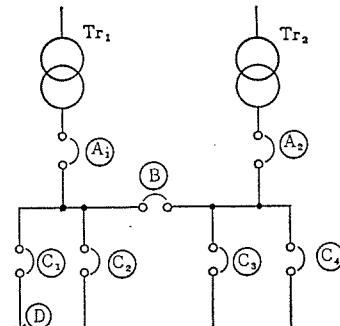


図 3.1 変圧器 2 バンクの低圧基本回路
Fig. 3.1 Low voltage basic circuit for two banks of transformers.

3.1.1 選択 シャ断方式

図 3.1 に示す回路において、給電の連続性を最大限に維持しながら回路短絡保護をまつとうするには、たとえば⑦点に短絡が発生した場合に、キ電線 シャ断器⑪のみ シャ断し、二次主 シャ断器④および母線連絡 シャ断器⑩は開路しないことが必要である。そのために主 シャ断器④および母線連絡 シャ断器⑩には、キ電線 シャ断器⑪に装備された直列過電流引はずし装置の引はずし特性と協調した選択性限時引はずし特性を与えなければならない。

この方式を採った場合は、キ電線 シャ断器⑪には、変圧器 Tr₁, Tr₂ および他のキ電回路から供給される短絡電流を、 シャ断するに十分な シャ断容量を持たさなければならない。

一般に、75 kA, 100 kA あるいはそれ以上の、大 シャ断電流定格をもつ気中 シャ断器では、電磁反発力による問題も大きく現われ、CO 責務がきわめて過酷となるが、DB 形低圧気中 シャ断器はこれらを独特の方法で解決し、厳密な シャ断試験を実施して、

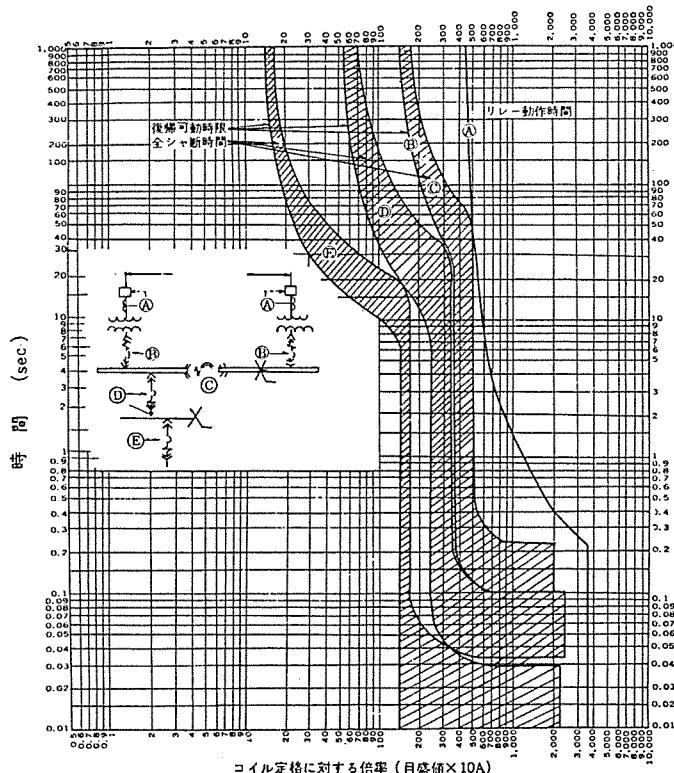


図 3.2 選択性引はずし時間-電流特性曲線の一例
Fig. 3.2 Selective tripping time-current characteristic curves.

裕度をもって定格 シャ断容量を保証している。

選択 シャ断方式による各 シャ断器の特性例と回路を図3.2に示す。

3.1.2 準選択 シャ断方式

3.1.1項の選択 シャ断方式によれば給電の連続性は最大に満足されるが、キ電線 シャ断器および電動機 シャ断器は変圧器二次主 シャ断器や、母線連絡 シャ断器に比べて、連続通電容量が小さいのに シャ断容量の大きなものを持ってこなければならず、ツライがとれない感があり、また設備費が高くなる場合が多い。

短絡が発生した場合、もし母線連絡 シャ断器が、最初に シャ断し、短絡電流を供給する電源変圧器およびキ電線を分離するならば、これからわずかに遅れて シャ断動作を開始するようなキ電線 シャ断器か、電動機 シャ断器を置けば、これらが シャ断しなければならない電流は、変圧器1台分と、その変圧器につながる電動機のバックラッシュ電流の和に、おさまるであろう。すなわち、図3.1において⑩点で短絡が発生した場合、最初に母線連絡 シャ断器⑪を シャ断し、次いでキ電線 シャ断器⑫を、 シャ断させる。この場合キ電線 シャ断器や電動機 シャ断器に、母線連絡 シャ断器が系統分離 シャ断を行なうまで流れこむ全短絡電流に対する投入過程を含んだ耐電磁力、耐熱の性能がなくてはならない。したがって母線連絡 シャ断器には高速度 シャ断が要求され、キ電線 シャ断器や電動機 シャ断器には、母線連絡 シャ断器の シャ断時間に密接に協調した開極時間をもたせなければならない。

この方式によって、回路保護協調を実際に行なった回路例を図3.3に示す。この例の場合は、母線連絡 シャ断器の引はずし特性を瞬時(2サイクル)、キ電線 シャ断器のそれを4サイクル短限時引はずし、変圧器二次主 シャ断器を10サイクル短限時引はずとした、(注)、本回路例では変圧器3パンクが同時に、母線連絡 シャ断器で接続されない条件である。

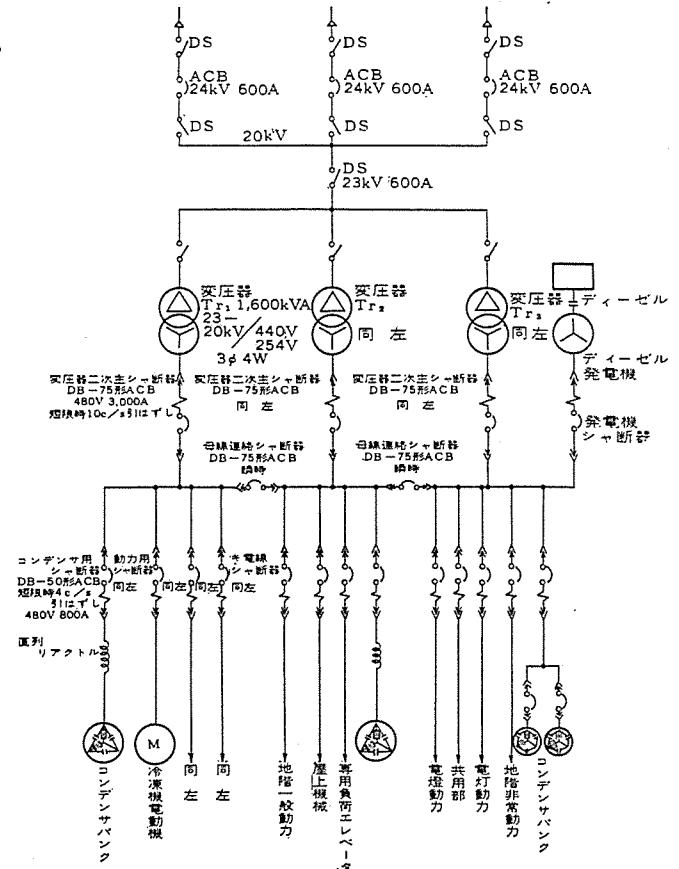


図 3.3 準選択 シャ断方式による実施回路図
Fig. 3.3 An example circuit conforms to semi-selective system.

冬期などにおいて変圧器1パンクのみで給電を行なう場合には、母線連絡 シャ断器の開極時間をキ電線 シャ断器、電動機 シャ断器のそれより逆に遅くして、(ただし、変圧器 シャ断器のそれよりは速い)完全な選択 シャ断により、給電の連続性を維持できるようになると重要であろう。この動作は、DB形気中 シャ断器に装備した選択性直列過電流引はずし装置により、容易に調整できる。

3.2 選択性直列過電流引はずし

以上述べたように、給電の連続性を維持するためには、選択性直列過電流引はずしは不可欠のものであり、引はずし装置はお互いに協調できるものでなければならず、またそのような装置をもった シャ断器は投入、 シャ断に対しても、それに適応した性能を要求される。

3.2.1 選択性直列過電流引はずし装置

給電の連続性を維持するためには協調のとれた限時 シャ断を行なわなければならないが、他の繼電器を使用することなく、 シャ断器自体に装備した選択性直列過電流引はずし装置により実現するのが最も望ましい。DB形低圧気中 シャ断器に装備する引はずし装置は、精度の高い限時引はずし特性を、調整容易に与えることができ、上記の協調を完全にまとうことができる。このDB形低圧気中 シャ断器用選択性直列過電流引はずし装置の構造およびその特性については、本誌に詳しく述べたことがあるので、それを参照願いたい。⁽²⁾

図3.4に写真を示す。

3.2.2 限時引はずしによる短絡電流 シャ断

低圧気中 シャ断器に選択性直列過電流引はずし装置を装備した

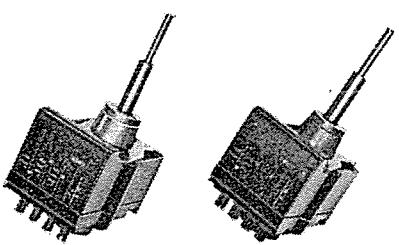


図 3.4 DB-50 形気中シヤ断器用選択性直列過電流引はずし装置
Fig. 3.4 Selective over current tripping device for type DB-50 low voltage power circuit breaker.

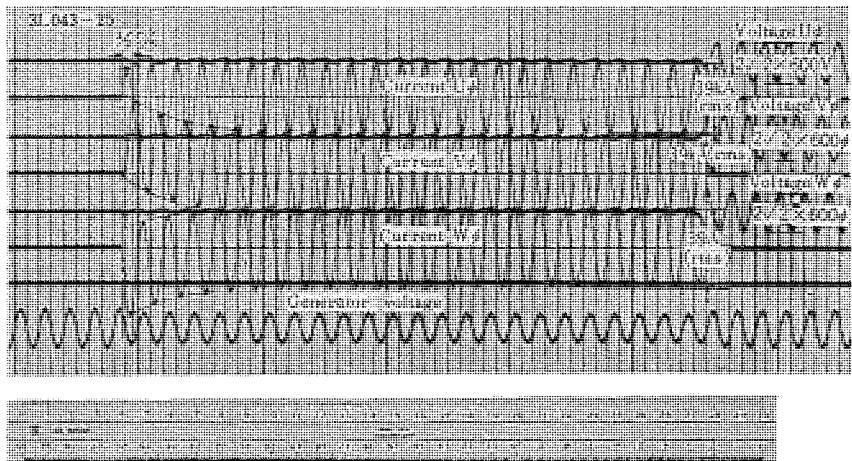


図 3.5 DB-50 形 ACB 短限時シヤ断試験 オシログラム
Fig. 3.5 Three phase interrupting test oscillogram of type DB-50 low voltage power circuit breaker with short time delay tripping devices.

表 3.1 DB-50 形 ACB 短限時シヤ断試験結果

オシロ番号	動作実績	周波数	給与電圧(V)	相	回復電圧(%)	シヤ断電流 交流分 rms (kA)	シヤ断時間 アーチ(c/s)	回路定数	OCT 目盛整定値		
									短絡力率	X/R	P.U. (kA)
3 LO 43-25	O	60	600	A(U) B(V) C(W)	91	41	51	11.4	0.65	23.8	24
3 LO 43-26	O	60	600	A(U) B(V) C(W)	91	41	51	11.4	0.65	23.1	24
3 LO 43-27	CO	60	600	A(U) B(V) C(W)	92	41	51	11.4	0.6	14.35	16
									0.7	23.7	24
									0.7	23.8	

場合の短絡シヤ断においては、引はずし装置が、単純に瞬時要素を持つ場合に比べて、シヤ断器は投入過程をも含んだ耐電磁力、耐熱の性能が同時に強く要求される。従来はこれを短時間電流試験などで代行していたが、DB形気中シヤ断器について、選択性直列過電流限時引はずし装置による実シヤ断試験を遂行し、その性能を確認したので、その結果の一例を図3.5および表3.1に示す。

4. 電動機シヤ断器

交流電動機の起動、停止をもつかさどる機器として低圧気中シヤ断器を使用する場合がしばしばある。電動機回路に気中シヤ断器を使用すれば、電動機の起動停止はもちろん、過負荷電流、電動機回転子ロックおよび回路短絡保護を単独で、行なわせしめることができる利点がある。電動機シヤ断器に要求されるおもな性能は次のとおりである。

- (a) 回路の短絡電流に対する十分なシヤ断容量をもつこと。
- (b) 電動機定格電流に対して余裕のあること。
- (c) 電動機の起動電流一時間特性に協調できる特性をもって、過負荷電流保護のできる過電流引はずし装置を装備すること。
- (d) 電動機シヤ断器は、ときには1日に数十回という開閉動作を要求される場合があるので、十分な開閉耐久回数をもつ必要がある。

次に電動機シヤ断器を選定する場合の条件および参考事項について述べる。

4.1 シヤ断容量

電動機シヤ断器の定格シヤ断容量は、適用される回路の適用点における起りうる短絡電流に対して、十分大きなものでなければ

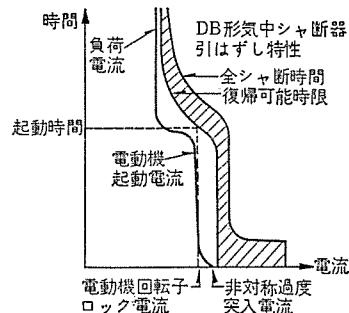


図 4.1 電動機シヤ断器引はずし協調
Fig. 4.1 Coordination of motor starting current with motor breaker.

ならない。

4.2 連続定格電流

電動機シヤ断器の連続定格電流は、どんな場合でも電動機全負荷電流のたとえば 115 %以上でなければならない。

また一般には（消火ポンプなど特殊なものを除いて）電動機全負荷電流の 125 %に整定すれば、運転中の過電流保護に対して十分であろう。なおシヤ断器の下位に電動機起動器がある場合は、そのシヤ断器は、回路短絡および起動器の保護のみを考慮すればよい。

4.3 シヤ断器引はずし特性

電動機の起動、停止をつかさどる電動機シヤ断器には、長限時および瞬時引はずし特性をもつ直列過電流引はずし装置を装備することを推奨する。適正な引はずし特性は、電動機起動電流および起動時間特性に基づいて選定るべきである。

電動機シヤ断器は、電動機起動時間中の起動電流によって動作しないだけの十分な長限時特性を持っていなければならない。電動機回転子ロック電流を基に、電動機起動時間は、図4.1に示すように、復帰可能時間以下でなければならない（注1）。電動機の起動電流は一般に、最初電動機回転子ロック電流から、わずかに減衰しながら、回転子が加速されると電動機負荷に見合った定常値に落ちて起動を終わる。

（注1）復帰可能時間とは、ある値の過電流がシヤ断器の長限時吸引電流目盛整定値の 80 %以下に減衰するとき、その過電流をシヤ断器を引はずすことなく流しうる時間の最大値である。（2）

瞬時引はずし目盛は、電動機起動時の過渡突入電流によって、引はずし装置が動作しないような値をとらなければならない。

もし電動機回転子 ロック 電流三相平均値が、電動機定格電流の 6 倍とすれば、相最大非対称実効値は約 $6 \times 1.5 = 9$ 倍となる。さらに引はずし装置の整定値に対して 10 % の誤差を認めると、電動機定格電流の 9.9 倍が必要である。また回路電圧が多少高い場合の起動を考慮して多少の安全率を加味することも必要であろう。これらを総合すれば、電動機起動を満足させるための瞬時引はずし目盛整定値は、電動機 ロック 電流が電動機定格電流の 6 倍程度のときは電動機定格電流に対して約 11.5 倍にする必要がある。

4.4 電動機回転子ロック保護

電動機回転子 ロック の場合の保護は、電動機回転子 ロック 電流に対する シャ断器の全 シャ断時間が、電動機に許しうる回転子 ロック 時間の最大よりも少ないときだけ可能である。

しかしながら実際に電動機の起動を満足に行なわせしめるために、復帰可能時限曲線上の点に電動機起動時間をもってくるよう引はずし装置の長限時を与えた場合、どのような適用に対しても常に完全な電動機 ロック 保護を行なうことは保証できない。

上記の復帰可能時限と電動機の起動時間と同じにとるような整定は、引はずし装置が行ないうる保護として最良のものである。

この電動機回転子 ロック 故障は非常にまれであり、これを完全に保護するために費やす多くの労力は、現実的にはむだであることが多いように思われる。

4.5 開閉耐久回数

電動機 シャ断器はときには非常にひん繁な開閉動作を要求される場合があるが、それに対しても電気的、機械的に十分耐えうるものでなければならぬ。次に DB 形低圧気中 シャ断器の、無負荷開閉耐久回数、定格負荷開閉耐久回数、電動機起動、停止などにおける突入電流閉、定格負荷開の耐久回数、および点検を行なう回数などを記す。なお JEC-91 改訂案にあるものは参考までに併記した。

4.5.1 無負荷開閉耐久回数

形名	フレームサイズ(A)	耐久回数	JEC案
DB-25	600	35,000	10,000
DB-50	1,600	10,000	10,000
DB-75	3,000	5,000	5,000
DB-100	4,000	5,000	5,000

(注) 1. 投入動作、開放動作各 1 回で、開閉耐久回数 1 回を構成する。

2. 上記投入動作は、定格投入操作電圧のもとにおける正常投入の場合をいう。

(a) 投入操作電圧が定格値の 110 % の場合は、上記の値は半減する。

(b) Trip Free Operation の場合は約 1/20 を保証する。

3. ひん度は、10 分間に 20 回以内とする。

4.5.2 定格負荷開閉耐久回数

形名	フレームサイズ(A)	耐久回数	JEC案
DB-25	600	3,500	1,000
DB-50	1,600	1,000	1,000
DB-75	3,000	500	500
DB-100	4,000	500	500

(注) 1. 定格電圧、定格電流以下で、力率 80 % 以上の回路を投入ならびに シャ断する場合である。

2. ひん度は 10 分間に 20 回以内とする。
3. 後述の点検回数に接点の点検手入れを行なうのが望ましく、接点の手入れあるいは取り換えにより、4.5.1 項の無負荷耐久回数まで使用できる。

4.5.3 突入電流閉・定格負荷開の耐久回数

形名	フレームサイズ(A)	耐久回数
DB-25	600	2,500
DB-50	1,600	750

(注) 1. 上記の値は、定格電圧以下で定格電流の 6 倍以下を投入し、定格電流以下（力率 80 % 以上）を シャ断する場合である。

2. ひん度は、10 分間に 20 回以内とする。
3. 後述の点検回数に接点の手入れを行なうのが望ましく、接点の手入れあるいは取り換えにより、4.5.1 項の無負荷耐久回数まで使用できる。

4.5.4 点検回数および期間

次の動作回数に達したならば、調整、手入れ、最小限の給油および各部の締付点検などを行なう。なお次の回数をこえなくとも、6カ月以内に点検手入れを行なうのが望ましい。

形名	フレームサイズ(A)	点検回数
DB-25	600	1,750
DB-50	1,600	500
DB-75	3,000	250
DB-100	4,000	250

以上、DB 形低圧気中 シャ断器の耐久回数を示したが、電動機 シャ断器としては、一層多い耐久回数を要求される場合も少なくないので、さらに一段と耐久回数の多い シャ断器を開発する予定である。

5. 電動機以外の回路への適用

最近の大形 ピルディングにおいては、動力用電動機の増加に伴つて力率の低下をきたすのを改善し、電力損失、電圧変動率の減少と、出力の増加、電気料金の割引による利益などをはかるために、設備費および運転維持費が少なく、電力損失もほとんどない電力用 コンデンサを設置するのが常識となっている。この電力用 コンデンサの設置場所は種々考えられるが、低圧側に分散配置する場合もあるので、このコンデンサバンク用 シャ断器を適用するにあたって、考慮すべき点およびその他の回路への適用についても若干触れて見たい。

5.1 コンデンサバンク用 シャ断器

低圧気中 シャ断器を、コンデンサバンク 回路に適用するにあたって考慮すべき要素は多くあるが、以下順を追って検討する。

5.1.1 コンデンサバンクからの短絡電流

使用中の コンデンサバンク による回路短絡点への流入電流は、電圧が波高值の瞬間に回路短絡が起こった場合が最も大きい。

このコンデンサバンク からの短絡電流は、系統に適用される シャ断器の シャ断容量の決定に際して考慮るべきであるが、一般には無視されている。

5.1.2 コンデンサバンク投入時の突入電流

コンデンサバンク 投入における突入電流は、その突入電流によつて発生する電磁力に対して、 シャ断器の投入、ラッチイン の能力を考慮する場合の一つの要素である。とくに コンデンサバンク が多数並

列に接続されている場合はそうである。コンデンサバンク投入時の突入電流最大値は、次式によって算出できる。

$$I_{cm} = 2\sqrt{2} E_{L-N} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

ここに E_{L-N} =定格相電圧

C =付勢されるコンデンサバンクの等価静電容量 (μF)
 L =付勢されるコンデンサバンクを含んだ母線および
シヤ断器の等価インダクタンス (μH)

5.1.3 コンデンサバンク開路に起因する過渡電圧

コンデンサを開路する場合、その動作中にもし再点弧が生じたならば高過渡電圧を発生する。しかし低圧のコンデンサバンクの開閉においては、経験的に極端に高い過渡電圧は生じないであろう。

5.1.4 連続定格電流

コンデンサバンク用シヤ断器の連続定格電流は、少なくともコンデンサバンク定格電流の135%以上に選定する。これは基本周波数の電流に加えて高調波電流や電圧変動時の運転をも考慮に入れなければならないからである。

5.1.5 過電流引はずし特性

コンデンサバンク用シヤ断器には、回路短絡保護を行なうため普通は長限時および瞬時要素をもった直列過電流引はずし装置を装備する。瞬時目盛整定値は、コンデンサバンク付勢時の突入電流に対し引はずしを行わないような十分高い値にしなければならない。単独バンクの運転に対しては、普通シヤ断器定格電流の8~10倍に採ればよい。

5.2 照明負荷用変圧器シヤ断器

400V系統においては、照明負荷用に適当な電圧値に下げるための変圧器が設置されることがしばしばある。この変圧器用として適用される低圧気中シヤ断器は、少なくとも変圧器全負荷電の125%以上の連続定格電流容量がなければならない。またこのシヤ断器に装備する直列過電流引はずし装置の瞬時引はずし目盛整定値は変圧器励磁突入電流に対して十分高い値としなければならない。普通、変圧器定格電流の約12倍に選べば十分である。

5.3 手動操作シヤ断器の適用

手動操作シヤ断器の適用に対しては、操作者がシヤ断器の前面

に立って操作する場合に危険のおよばないように考慮しなければならない。もし次のような条件がある場合には、シヤ断器は電気操作または手動ペネ投入操作としなければならない。

(1) 引はずし装置に瞬時引はずし要素をもち、シヤ断器容量が交流分42,000A以上のシヤ断器を、デッドフロントの閉鎖盤に収める場合。

(2) 過電流引はずし装置の瞬時引はずし目盛整定値が、15,000Aをこえるようなシヤ断器を、デッドフロントの閉鎖盤に収める場合。

(3) いかなるすえつけ方式の場合でも、シヤ断器に装備された過電流引はずし装置が、14,000A以上の短限時吸引目盛整定値を持つとき。

(4) いかなるすえつけ方式の場合でも、シヤ断器に直列過電流引はずし装置を装備せずに、回路短絡電流交流分が14,000Aをこえる回路に適用するとき。

6. む す び

ビルディング電気設備としてのシヤ断器の選定にあたっては、耐久性、運転操作および点検、保守の簡便、安全、確実であること、またすえつけ面積の縮小、維持費の節減など考慮しなければならない。

安定した選択引はずし特性を備えた直列過電流引はずし装置を装備し、小形で、閉鎖形デッドフロント配電盤に内蔵するパワーセンタ形式に適し大きな短絡電流を短いアーケ時間で消弧する能力を持つよう設計されたDB形低圧気中シヤ断器は、大形ビルディングが要求する諸事項を十分に満足できるものである。

本文にも少し触れたように、一般に電動機シヤ断器に対しては開閉耐久回数の非常に多いものを要求される場合もあるので、これを満足させるシヤ断器を製作すべく考慮中である。

参 考 文 献

- (1) 勝田、竹内：DB-75、DB-100形低圧気中シヤ断器「三菱電機」35 No.7 (昭36)
- (2) 勝田：DB形気中シヤ断器による船舶電気回路の保護
「三菱電機」33 No.5 (昭34)

低圧バスダクト

兼松 豊*・堀田滋矩*

Low Voltage Bus Ducts

Nagoya Works

Yutaka KANEMATSU・Shigenori HOTTA

The low voltage bus duct has its history of development started about 30 years ago. In this country marked diffusion is noticed for past several years of this duct in factories and office buildings where power demands are large. It has made a considerable contribution to the modernization of indoor wiring. This rapid development owe its features of eliminating many defects of the conventional wiring and also many other points together with its economical advantages. Since the revision of electrical work standards of Japan taken place in July, 1963, aluminium conductors have been approved for use in the low voltage duct, which enhanced the economical advantage of its installation. It is believed that the future of this device is quite promising.

1. まえがき

低圧バスダクトは屋内配線の合理性に富むため、アメリカでは1930年代に普及している。わが国ではここ数年間に目ざましい普及をとげ、電力需要の多い工場、ビルディングに使用され主として屋内配線の近代化の標準として大いに貢献してきた。

このような急速な普及は、これまでの配線の有する幾多の欠陥を排除し、多くのすぐれた長所を具備しているほか、国内規格の制定、この方式の経済性が認められてきたことに起因するといえよう。38年7月改正の電気工作物規程でアルミ導体の採用が公認され低圧バスダクトの経済性がさらに明るくなるので今後ますます普及するものと思われる。

この論文では当社低圧バスダクトの概要を説明するとともに、ビルディングなどに布設計画をする際必要な技術的事項として、バスダクトの特性、計画上の注意事項、ハンガの設置方法などについて述べる。

2. 低圧バスダクトの概要

従来、比較的大電流を通す屋内幹線には、絶縁電線を金属製電線管またはビニル製電線管に入れたパイプ工事や、これを木製線管(樋)または金属製線管に収めた線管工事、ケーブルなどがあった。しかしに電流容量の増大に伴い太い絶縁電線が必要となり1フィーダーの電線管または線管には収めきれなくなり、フィーダーを分けて配線をしていた。このため配線は複雑多岐となり、配線を要するスペースも大きくなり、とくにビル用では他の配管施設と併走するため保守点検が非常に困難であった。事故を生じたとき故障点の発見および絶縁電線の入換作業は難渋し、これが解決を希望されていた。

このような問題を解決する配線材としてバスダクト工事が登場した。バスダクトは要約すれば外部を鋼板またはアルミ製ダクトでおおい、内部に絶縁電線を使用せず裸導体を収めた密閉形母線である。このバスダクトは1フィーダーにまとめることができ、上述の欠点を除去することができる。

一方屋外用幹線は、従来主として裸導体工事が使用されているが、低圧バスダクトに比べインピーダンス値が約5割大きく、電圧降下値が大であるため低圧バスダクトが進出しつつある。

低圧バスダクトの一般的な特長は次のとおりである。

(1) 完全で寿命が長い。

(2) 過電流強度が大きい。

(3) 分岐回路が容易にとれ、負荷の移設、撤去に速応でき、再使用ができる。

(4) 工事費が少なく保守が容易。

(5) スペースをとらない。

(6) 建物との調和がよい。

2.1 種類と定格

三菱低圧バスダクトは、表2.1および表2.2に示す種類と定格がある。

2.2 構造

低圧バスダクトの構成は、ダクト(ハウジングとも呼ぶ)、母線、および母線支持物の組み合わせからできている。

(1) ダクト

表2.1 低圧バスダクトの種類

種類	適用	適合する配線方式
屋内用、屋外用 BF形フィーダバスダクト	主として変圧器と低圧配電盤との接続または一般屋内幹線で途中から分岐をしない形式のバスダクト	かく種類とも 単相2線式 単相3線式 三相3線式 三相4線式
屋内用 BP形プラグインバスダクト	任意の位置から分岐回路をとりだせる形式のバスダクト	
屋内用 低インピーダンスバスダクト	主として変圧器と低圧配電盤との接続または一般屋内幹線などの大容量用に適するもので電圧降下はとくに低いので長距離布設のバスダクトにも好適です	三相3線式 三相4線式
低容量バスダクト	BF形フィーダバスダクトおよびBP形プラグインバスダクトの屋内幹線から分岐する小容量バスダクト	単相2線式 単相3線式 三相3線式 三相4線式

表2.2 バスダクトの定格

種類	形式	定格電圧(V)	周波数(Hz)	定格電流(A)	※定格短絡電流(A)
BF形フィーダバスダクト	屋内用	AC 600	50/60	200	15,000
	屋外用			400	25,000
	非換気形			600	25,000
BP形プラグインバスダクト	屋内用	AC 600	50/60	800	25,000
	非換気形			1,000	25,000
	屋内用			1,200	35,000*50,000
低インピーダンスバスダクト	換気形	AC 600	50/60	1,500	35,000*50,000
	非換気形			2,000	35,000*50,000
	屋内用			換気形	非換気形
低容量バスダクト	換気形	AC 600	50/60	2,000	1,600
	非換気形			2,500	2,000
	換気形			3,000	2,250
	非換気形			4,000	2,640
	屋内用			5,000	3,300
非換気形	AC 600	50/60	100	10,000	15,000

* 印の定格短絡電流は短絡発生後1/2サイクルにおける点の非対称電流値(実効値)短絡電流維持時間は最低6サイクル

* 印は特殊品として製作可能

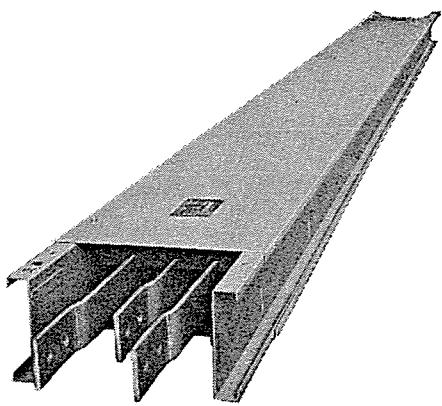


図 2.1 屋内形 BF 形 フィーダバスダクト
母線式 600 A

Fig. 2.1 Type BF indoor type feeder bus duct.

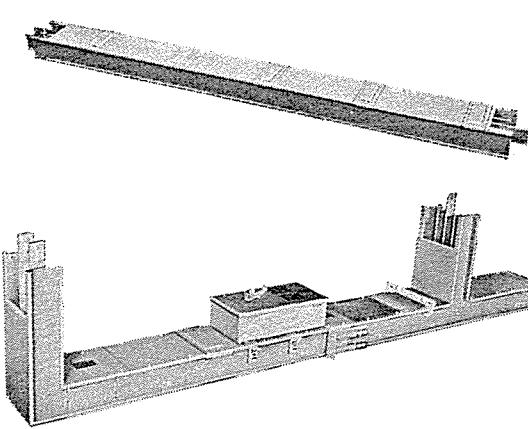


図 2.2 屋内用 BP 形 プラグ
インバスダクト 3 母線式 1,000A
Fig. 2.2 Type BP indoor type plug-in bus duct.



図 2.3 屋内用 バスダクトプラ
グイン 器具取付例
Fig. 2.3 Example of plug-in fixture mounted on an indoor bus duct.



図 2.4 屋外用 BF 形 フィー
ダバスダクト 3 母線式 1,000 A
Fig. 2.4 Type BF outdoor type feeder bus duct.

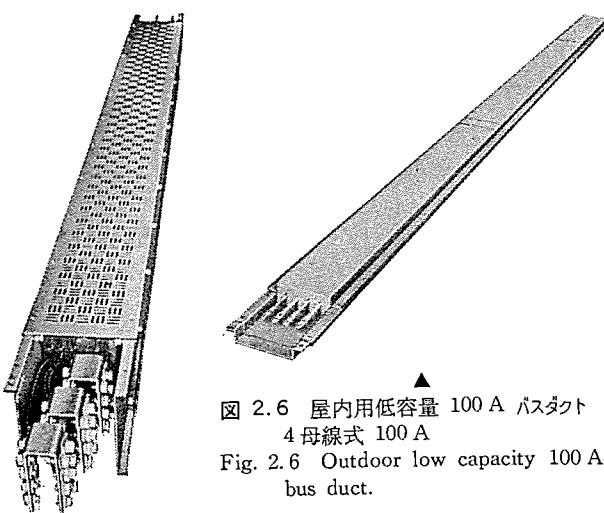


図 2.6 屋内用低容量 100 A バスダクト
4 母線式 100 A

Fig. 2.6 Outdoor low capacity 100 A bus duct.

図 2.5 屋内用換気形低 インピーダンス バスダクト 三相 3,000A
Fig. 2.5 Outdoor ventilated type low impedance bus duct.

母線をおおう ダクト は、外力または自重により容易に変形しない十分な機械的強度が必要である。BF 形 フィーダバスダクト および BP 形 バスダクト は、図 2.1 に示すように 4 側面とも厚さ 1.6 mm の冷間圧延鋼板を チャネル 構造とし、両 ワク と裏 カバー は点溶接し、正面 カバー だけ組み立て、点検の容易なことを考慮して ネジ 締めしている。

低 インピーダンスダクト は、図 2.5 に示すよう 4 側面とも厚さ 2mm の冷間圧延鋼板を チャネル 構造とし、母線を母線支持物で挟持しこれを堅く両 ワク に ボルト 締めしている。

低 容量 100 A バスダクト は、厚さ 1 mm の冷間圧延鋼板を 図 2.6 のように曲げ 2 枚構成としている。

(2) 母線支持物

母線支持物は電気的、機械的および耐熱特性などがすぐれており恒久的に使用できる絶縁物でなければならない。当社では硬質磁器、強化木材、石綿セメント板、フェノール樹脂成形品、ブチルゴムなどいろいろな材質について試験研究を行ない比較検討した結果、最もすぐれている自社製 ダイヤミックス（ガラスポリエステル樹脂）成形品を使用している。

この母線支持物を バスダクト 長手方向に最も効果的な支持間隔で、千鳥状に配置する。支持間隔は主として事故時の短絡電流による電磁力、母線 サイズなどを考慮して決定する。

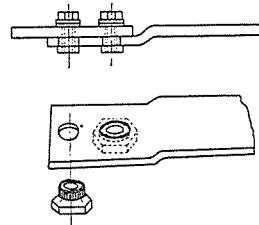


図 2.7 (a) バスダクト 母線
接続図

Fig. 2.7 (a) Bus duct bus bars jointing.

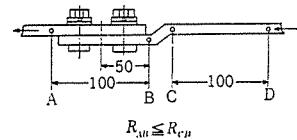


図 2.7 (b) 母線接続部分の
良否判定基準

Fig. 2.7 (b) Standard of judging the fitness of bus bars joint.

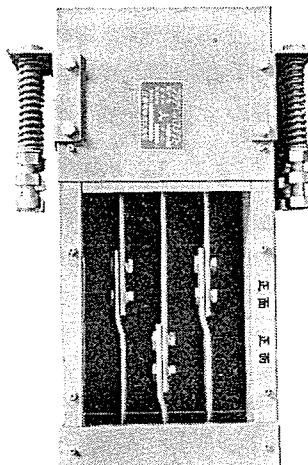


図 2.8 バスダクト 母線接続
および垂直 ハンガ の取付例
Fig. 2.8 Example of bus duct bus bar jointing and mounting of vertical hanger.

(3) 母線および母線接続部

母線は導電率 97 %以上の硬銅帯 (JIS H 3361) で バスダクト JIS C 8364 で定められた導体寸法を使用している。

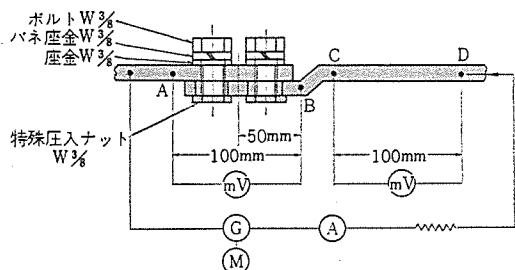
母線の両端には接続用穴が設けてあり、一端は 図 2.7 のように曲げ、ナール を切った特殊形状の ナット を圧入している。接続は隣接 バスダクト の母線と重ね合わせて ボルト 締めを行なう。母線接続部は平滑面になるようとくに工作を加え スズ メッキ または銀メッキ を施してある。また接触面積、接触圧力について考慮し、接続 ボルト の サイズ および使用本数とその締付トルク の標準をとり決め、接続部分の電気抵抗は接続部分を含まない同長母線の抵抗よりも小さくすることを接続の基本的なあり方としている。し

表 2.3 母線接続部と ポルトの選定

バスダクト定格電流(A)	ポルトのサイズおよび使用本数	備考
200, 400, 600	W ³ /8×2	1. 電流密度 20 A/cm ² 以下 1. 接触圧力(締付圧力)は母線の断面積 1 mm ² に 2.5 kg 以上 3. ポルトの締付トルクは 230 kg-cm
800, 1000	W ³ /8×4	
1200, 1500	W ³ /8×6	

表 2.4 ポルト締付トルクと接触抵抗

バスダクト定格電流(A)	導体寸法(mm)	メッキ	ボルトの回転角度 (バネ座金が平ら になってから)の 締付トルク (kg-cm)	ボルトの接觸抵抗 ($\mu\Omega$) 20°C		測定電流 DC(A)
				接觸部(A-B) (間)	非接觸部(C-D) (間)	
600	6.5×50	sn	100	60°	6.1	6.6 60
			150	75°	5.8	
			200	75°	5.3	
			230	80°	5.3	
			250	80°	5.3	
			300	90°	5.3	
800	6.5×75	sn	100	60°	4.4	4.6 80
			150	75°	4.4	
			200	90°	3.8	
			230	105°	3.5	
			250	105°	3.5	
			300	120°	3.5	
1500	6.5×150	sn	100	60°	1.6	2.2 100
			150	90°	1.6	
			200	120°	1.5	
			230	120°	1.5	
			250	135°	1.5	
			300	150°	1.5	

図 2.9 母線接続部の電気抵抗試験
Fig. 2.9 Electric resistance test of bus bars jointed.

たがって接続部分の電圧降下や電力損失はきわめて低く、温度上昇も低い。

2.3 特 性

当社低圧バスダクトの適用に際し注目を要する母線接続部、電圧降下および短絡強度について紹介する。

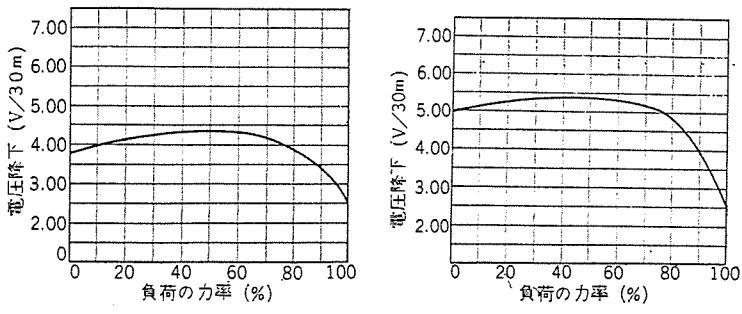
(1) 母線接続部

母線接続部とポルトの選定は表 2.3 に示す。この選定基準によったときポルト締付トルクと接触抵抗との関係を表 2.4 に示す。

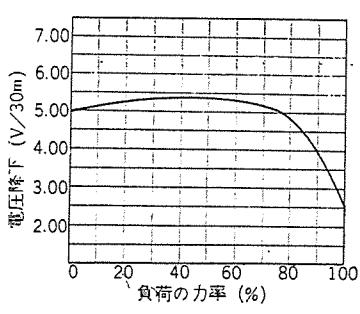
このように締付ポルト W 3/8 は 230 kg-cm の締付トルクで堅く締める必要があり、そのとき母線接続部分の接触抵抗は接觸部分を含まない同長母線の抵抗よりも小さい。

(2) 電圧降下

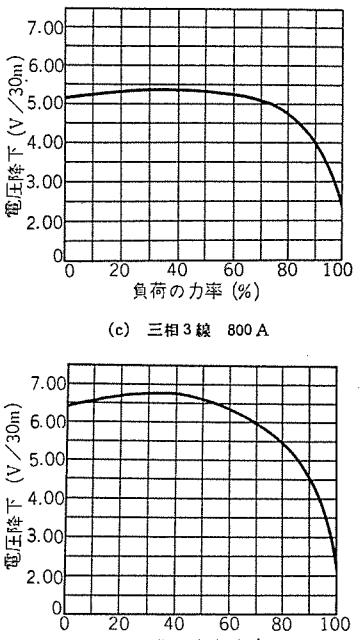
バスダクトに定格電流を流したときの電圧降下は図 2.10 および図 2.11 のとおりである。この電圧降下は、三相 3 線式、60 c/s 電路において長さ 30 m の末端に集中負荷をかけた場合のものである。



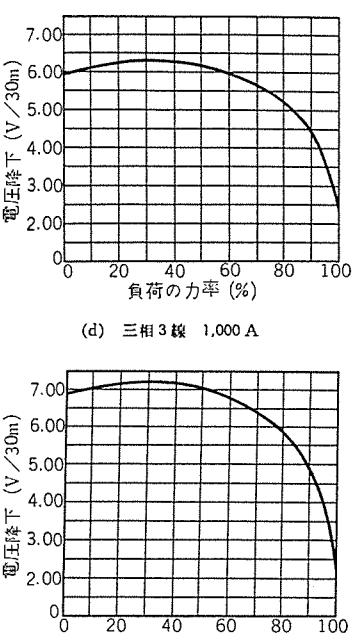
(a) 三相 3 線 400 A



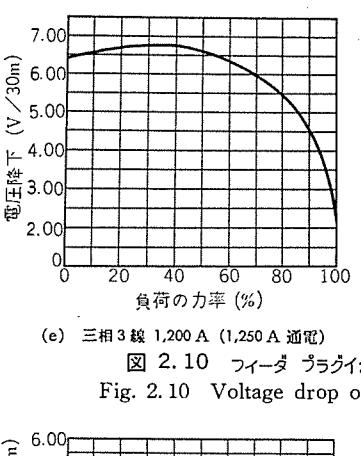
(b) 三相 3 線 600 A



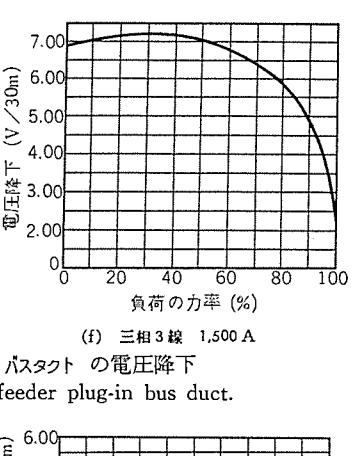
(c) 三相 3 線 800 A



(d) 三相 3 線 1,000 A

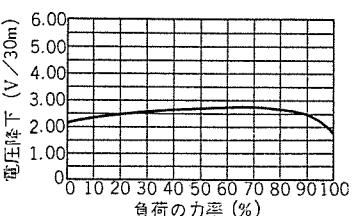


(e) 三相 3 線 1,200 A (1,250 A 通電)

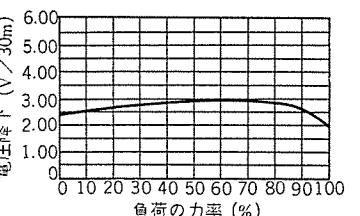


(f) 三相 3 線 1,500 A

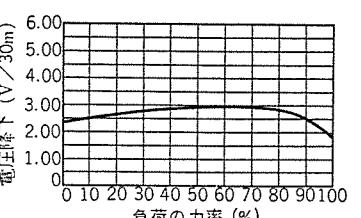
Fig. 2.10 Voltage drop of feeder plug-in bus duct.



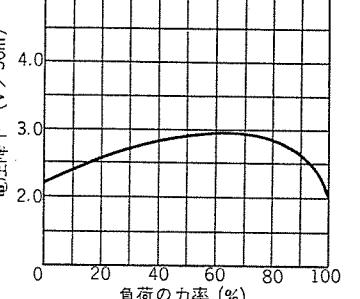
(a) 三相 3 線 2,000 A



(b) 三相 3 線 2,500 A



(c) 三相 3 線 3,000 A



(d) 三相 3 線 4,000 A

Fig. 2.11 Voltage drop of ventilated low impedance bus duct.

負荷の力率による電圧降下は、バスダクトのインピーダンス Z と三相電力 P を実測し、バスダクトの交流抵抗 R およびリアクタンス X を次式により算出する。

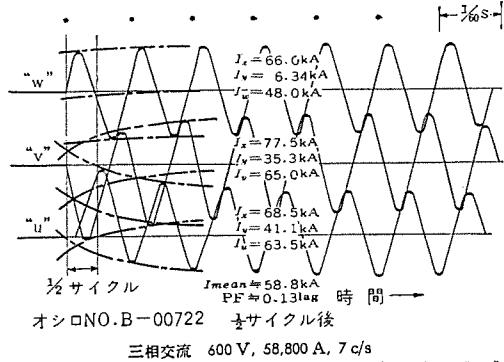


図 2.12 BF 形 フィーダバスダクト、BP 形 プラグインバスダクトの短絡試験 オシログラム
Fig. 2.12 Oscillogram of short circuit test of type BF feeder duct and that of type BP plug in bus duct.

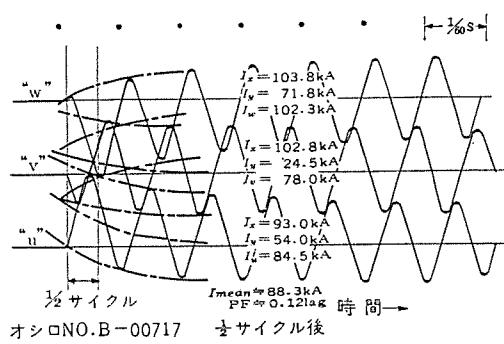


図 2.13 低インピーダンスバスダクトの短絡試験 オシログラム
Fig. 2.13 Oscillogram of low impedance bus duct.

$$Z = \frac{V}{\sqrt{3} IL} \quad \Omega/m$$

$$R = \frac{P}{3 I^2 L} \quad \Omega/3m$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad \Omega/3m$$

ただし V = 線間電圧降下 (V)

I = 線電流 (バスダクト 定格電流) (A)

P = 三相電力 (W)

L = バスダクト の長さ (m)

図 2.10 および図 2.11 はこの R と X をもとに各負荷の力率における電圧降下を計算したものである。

(3) 短絡強度

バスダクト が 電路の事故時に流れる短絡電流に対して、どのような強度をもっているかを示す重要なものである。

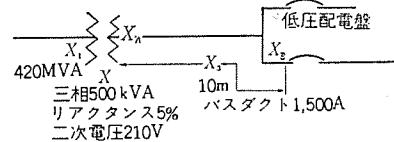
試験は バスダクトユニット 2 個を直列に接続し、60 c/s の単相および三相交流で短絡電流を 6 サイクル 以上通電し、ダクト、母線および母線支持物に異状(支持物の場合は主として、キ裂、ヒビ割れ)の有無を確認する。異状を生じない事故電流の大きさを定格短絡電流と呼び当社が保証する定格短絡電流は表 2.2 に示す。

3. 低圧バスダクトの適用

3.1 計画上の注意事項

従来の配線方式と違って、バスダクトは各ユニットごとに製品が工場でリジットに完成されている。現地では単にバスダクトを布設計画図に従い接続し、ダクトを所定位置に設置する方式である。

このためバスダクト工事はパイプ工事のよううに現地で任意に加工ができるので、変圧器盤、低圧配電盤、コントロールセントラルおよび建屋などの関連寸法を計画時に判断と取り決める必要がある。次に計画の順序に従って注意事項のおもなものを説明する。



X_1 : 電力会社の系統リアクタンス (P.U.)
 X_2 : 変圧器の P.U. リアクタンス
 X_3 : 変圧器の二次端子から低圧電盤のシャンク電源端子にいたるバスダクト電路の P.U. リアクタンス
 X_4 & X_B : 短絡点の位置

図 3.1 短絡電流検討用電路図

Fig. 3.1 Electric path for detecting short circuit current.

(1) 定格電流の決定

バスダクトは主として幹線に使用されるため、負荷電流から定格電流を決定するのはいまでもないが、将来増設される負荷を考慮し電源変圧器の容量から選定することが望ましい。

(2) 定格短絡電流の決定

短絡事故のときバスダクトに流れる事故電流を検討し、定格短絡電流を超過しないことを確認する。

この検討は計算方法により非常にむずかしくなるので、実用上十分と思われる概算法(ここでは P.U. リアクタンスを採用)で実施した検討例を参考に供したい。

(注) P.U. とは Per Unit の略で、%の値を 100 で割ったものである。

変圧器の二次定格電流は、1,370 A

よって変圧器の二次端子と低圧配電盤間のバスダクトは表 2.2 により 1,500 A を採用する。

(a) 変圧器二次端子 X_A で短絡した場合(三相短絡)

電源から短絡点にいたる電路各部の P.U. リアクタンスの総和(X)によって対称短絡電流を求める(抵抗は無視する)

$$X = X_1 + X_2$$

X_1 : 電力会社の P.U. リアクタンス は

$$1,000 \text{ kVA base の P.U. リアクタンス} = \frac{1,000}{\text{短絡 kVA}}$$

$$= \frac{1,000}{420,000} = 0.00238 \text{ P.U.}$$

X_2 : 変圧器 P.U. リアクタンス は

$$\text{P.U. リアクタンス (定格 kVA に対する)} = \frac{\% \text{ リアクタンス}}{100}$$

$$= \frac{5}{100} = 0.05$$

P.U. リアクタンス (1,000 kVA base) = 定格 kVA に対する

$$\text{P.U. リアクタンス} \times \frac{\text{kVA base}}{\text{定格 kVA}} = 0.05 \times \frac{1,000}{500} = 0.10$$

$$X = X_1 + X_2 = 0.00238 + 0.10 = 0.10238 \text{ P.U. (1,000 kVA base)}$$

全 P.U. インピーダンス Z は

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0.10238^2} = 0.10238 \text{ P.U. (1,000 kVA base)}$$

$$\text{対称短絡 kVA は} = \frac{\text{kVA base}}{Z} = \frac{1,000}{0.10238} = 10,000 \text{ kVA}$$

$$\text{対称短絡電流} = \frac{\text{kVA base}}{Z \times \sqrt{3} \times \text{kV}}$$

$$= \frac{\text{対称短絡 kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{10,000}{\sqrt{3} \times 0.21} = 27,500 \text{ A}$$

バスダクトの定格短絡電流は非対称値で示しているので、

$$\text{非対称短絡電流} = 27,500 \times 1.25 = 34,400 \text{ A}$$

(b) 低圧配電盤引込口 X_B で短絡した場合(三相短絡)

この場合 $X = X_1 + X_2 + X_3$ である。

X_3 : バスダクトの P.U. リアクタンス は

バスダクト 1,500 A、長さ 10 m のリアクタンスは表 3.1 から

表 3.1 バスダクトのリアクタンスおよび交流抵抗

フィードおよびブレーカーバスダクト
電源：三相3線 AC 600 V, 60 c/s
銅母線 銅板製ダクト

定格電流(A)	$Z \times 10^{-3} \Omega/3\text{m}$	交流抵抗 $R \times 10^{-3} \Omega/3\text{m}$	$X \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$
200	1.135	0.898	0.693
400	0.657	0.361	0.548
600	0.538	0.240	0.480
800	0.405	0.145	0.378
1,300	0.361	0.121	0.341
1,200	0.312	0.104	0.295
1,500	0.280	0.0923	0.265

ローラインピーダンスバスダクト
電源：三相3線 AC 600 V, 60 c/s
銅母線 銅板製ダクト

定格電流(A)	$Z \times 10^{-3} \Omega/3\text{m}$	交流抵抗 $R \times 10^{-3} \Omega/3\text{m}$	$X \times 10^{-3} \Omega/3\text{m}$
2,000	0.0812	0.0506	0.0635
2,500	0.069	0.0427	0.0543
3,000	0.056	0.0346	0.0443
4,000	0.0431	0.0289	0.0320
5,000	0.0342	0.0219	0.0263

$$0.000265 \times \frac{10}{3} = 0.000875 \Omega$$

$$\text{その P.U. リアクタンス } (1,000 \text{ kVA base}) = \frac{\text{オーム}}{(\text{kV})^2}$$

$$= \frac{0.000875}{0.212} = 0.00198 \text{ P.U.}$$

$$X = X_1 + X_2 + X_3 = 0.00238 + 0.10 + 0.00198 = 0.102218$$

$$\text{P.U.}(1,000 \text{ kVA base})$$

全 P.U. インピーダンス Z は 0.102218 である。

$$\text{対称短絡 kVA は } = \frac{1,000}{0.102218} = 9,800 \text{ kVA}$$

$$\text{対称短絡電流は } = \frac{9,800}{\sqrt{3} \times 0.21} = 26,900 \text{ A}$$

$$\text{非対称短絡電流は } = 26,900 \times 1.25 = 33,700 \text{ A}$$

よってこの場合 バスダクトの定格短絡電流は 35,000 A あればよい。ただし一般ビル、工場などで電動機の多い需用家ではその発電作用による フィードバック 電流を上値に含めて考慮する必要がある。

(3) 自動シヤ断器の施設

a. 幹線の保護

幹線として用いる バスダクトには、その定格電流に相当する定格の自動シヤ断器の設置が望ましい。ただし自動シヤ断器の標準の定格に該当するものがない場合は、バスダクトの定格電流の 150 % のをこえない範囲のものを選定のこと。

この自動シヤ断器には当社の DB-25 形、DB-50 形 低圧気中シヤ断器、NF 形 ノーヒューズシヤ断器および限流ヒューズがよい。

b. 分岐回路の保護

バスダクトから電路を分岐する場合には、分岐点に自動シヤ断器を設置する。バスダクトの母線を保護する自動シヤ断器が分岐用プラグイン器具から引き出された電線を保護できる場合は省略することができる。

この分岐用プラグイン保護器具には NF 50 A フレーム～NF 1,000 A フレームまで NFP 形 ノーヒューズシヤ断器を適用する。

(4) 布設経路の決定

バスダクトの布設経路を決定するに際しては、建屋の建築図面をもとに他の諸設備との関係を十分に調査することが必要である。建屋の建築図面の寸法精度は、電機メーカーが製作する機器の仕上り寸法に比べてやや異なるので、バスダクトで接続する機器間の主要な寸法を実測することが望ましい。バスダクトは一般的に若干の寸法の延長または切断加工が困難であるため計画は十分に検討を要する。この布設計画が工事の難易および良否を決定するポイントである。

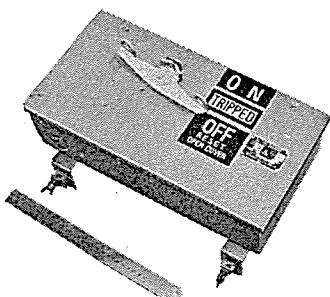


図 3.2 分岐用 プラグイン器具
(NFP-50 A フレーム A形)
Fig. 3.2 Plug in fixture for branching.

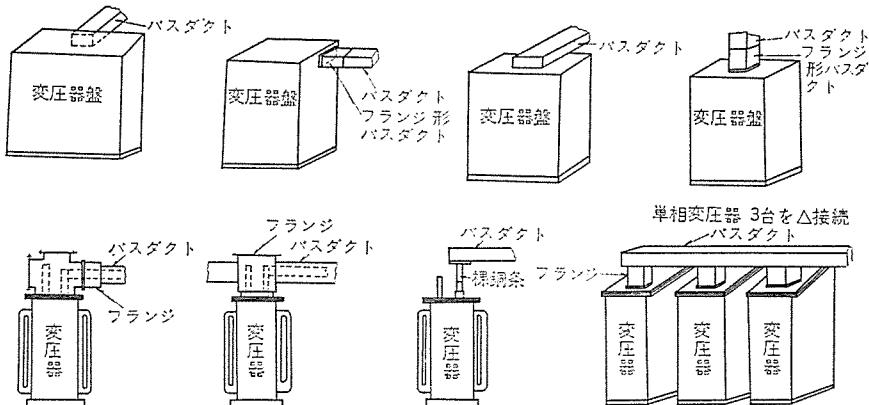


図 3.4 バスダクトと変圧器との接続
Fig. 3.4 Connection of bus duct to transformer.

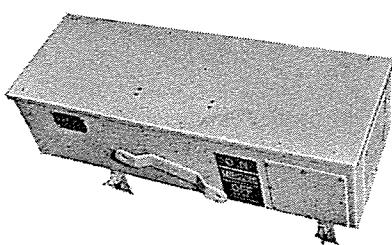


図 3.3 分岐用 プラグイン器具
(NFP-400 A フレーム)
Fig. 3.3 Plug in fixture for branching.

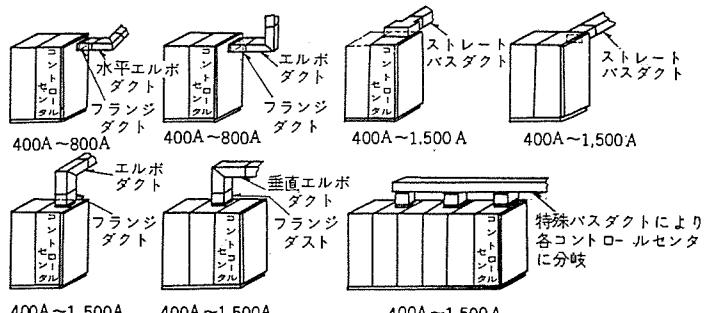


図 3.5 バスダクトとコントロールセンタの接続
Fig. 3.5 Connection of bus duct to control center.

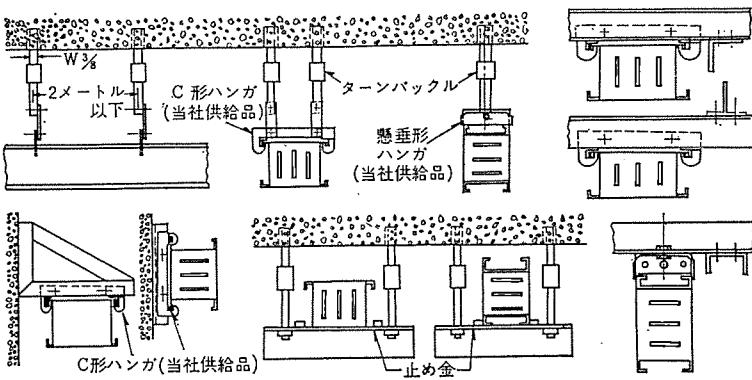


図 3.6 ハンガ (水平取付) の設置方法
Fig. 3.6 Horizontal installation of hangers.

図 3.7 C形 ハンガ
Fig. 3.7 Type C hanger.

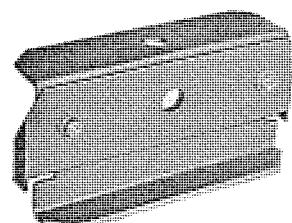


図 3.8 懸垂形 ハンガ
Fig. 3.8 Suspended hanger.

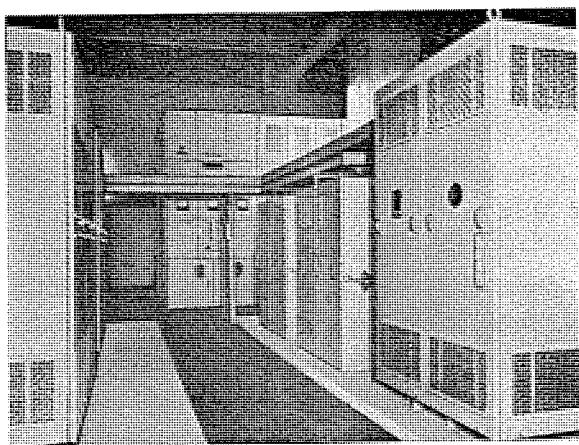


図 3.9 バスダクト 水平取付 (架台方式) の実例
Fig. 3.9 Horizontal mounting of bus duct.

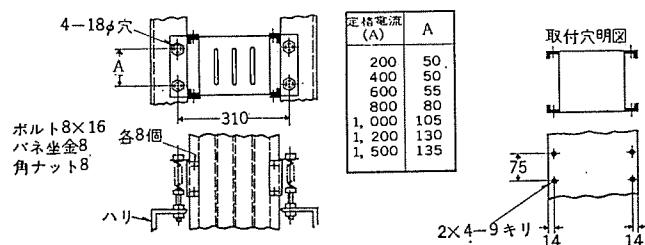


図 3.10 バスダクト 垂直取付図
Fig. 3.10 Vertical mounting of bus duct.

当社の エキスパンション・ストレート・バスダクト は、ダクト および母線の膨張収縮を補償するとともに寸法も $\pm 50 \text{ mm}$ の範囲で調整ができるようになっている。

電気工作物規程第156条で低圧屋内配線をバスダクト工事により施設する場合、他の低圧屋内配線と弱電流電線、水管、ガス管などの離隔距離は15cm以上が原則となっている。ただし金属管工事、バスダクト工事など金属製外被を使用した線またはダクトで第3種接地工事を施したもののは、工事上やむを得ない場合直接接触しないように施設すればよい。

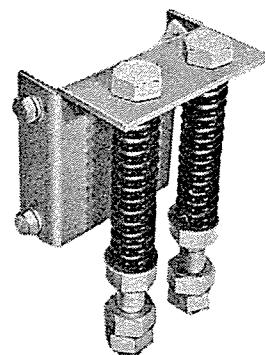
バスダクトと変圧器の接続、バスダクトとコントロールセンタなどの接続については図3.4および図3.5を参照されたい。

3.2 ハンガの設置計画

ハンガの一般的施工法について次に述べる。ハンガはバスダクトのすえつけに先立ち設置をする。その設置方式には下記の3種類がある。

(1) 水平取付 (つり下げ方式)

この方式は造営材の壁、ハリ およびその他固定物を利用して、当



▲ 図 3.11 垂直形 ハンガ
Fig. 3.11 Veritcal hanger.

図 3.12 バスダクト 垂直取付の実例
Fig. 3.12 Example of vertical mounting of bus duct.

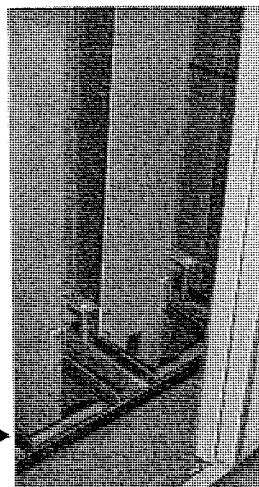


図 3.13 ビル 電気室のバスダクト工事例
Fig. 3.13 Example of bus duct work in an electrical room of building.

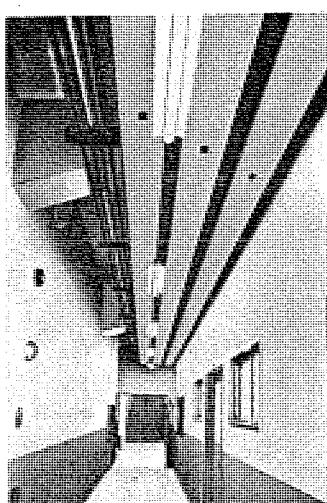


図 3.14 屋内用 BF形 フィードバスダクト の工事例
Fig. 3.14 Example of construction work of indoor type BF feeder bus duct.

社から供給するC形 ハンガ または懸垂形 ハンガ を使用し バスダクトをつり下げるものである。つり下げの方法については図3.6に示す。適用に際しては建屋の状況から最も容易な方法を採用する。

(2) 水平取付(架台方式)

この方式は ハンガ を使用しないで造営材の ハリ およびその他固定物を利用し架台を設け、この上に バスダクト を架設する方式である。

なお コンクリート の壁に ポルト などを埋め込みたい場合は、インサート による埋め込み、火薬銃による ドライビット 方式、および電動工具による インパクタ 方式が望ましい取付方法である。ポルトを鉛コーティングにより埋め込む方法は、重量物のため長い間にゆるむおそれがあるから避けることが望ましい。

(3) 垂直取付

この方式は造営材の壁、ハリ およびその他固定物を利用し、当社から供給する垂直形 ハンガ を使用し、バスダクト を垂直取り付ける方法である。

なお垂直形 ハンガ を ダクト に取り付けるには図3.10のとおり ダクト に穴明けをする必要がある。垂直 ダクト を支持する ハンガ の間隔は 1.5 m 以下にする。

3.3 その他

以上で大体 バスダクト 布設計画の段階を終了する。このあと実際に布設が始まり施工上の注意として、すえつけの順序、接続要領、ダクト の接地、プラグイン器具の取付要領、すえつけ後の点検、保守などがあげられるが、これは当社から バスダクト 納入の際添付する バスダクト 取扱説明書に詳細述べてあるので本稿では割愛する。

4. む す び

低圧 バスダクト はこれまでの配線工事に比べて、多くのすぐれた特長を有すること、今後ますます需要家各位に利用されるであろうことなどのほかに適用に際して計画上の参考事項について述べた。

これらの製品の構造は比較的簡単で製作は容易であるが、設計の品質、性能の面については十分検討されたうえ完成されたものでなければいけない。たとえば定格短絡電流を確かめる短絡試験など慎重に検討しないと事故電流により母線支持物が破壊し危険な状態になる。当社の低圧 バスダクト は総合電機 メーカ として持てる幾多の試験設備を利用し、設計、製作、試験されたもので品質、性能の面でも確信をもって推奨に値するものと信ずる。

当社低圧 バスダクト の特色は下記の点である。

(1) 母線支持物は当社製 ダイヤミックス (ガラスポリエスチル樹脂) 成形品を使用しているから、電気的絶縁性能、機械的性能がすぐれている。

(2) 母線接続部に特殊 ナット を採用しており、接続しやすく、隣接母線間の空隙が大きい。

(3) 上記(1)(2)項により4母線式 バスダクト の幅寸法は3母線式と同一にことができる。

(4) 屋外用 バスダクト は特殊板曲げ構造を採用し、パッキンをできうるかぎり使用しない構造のため、経年時の劣化がなく、屋内用 バスダクト と近似の経済的価格である。

(5) NFP 形分岐用 プラグイン 保護器具は、当社が製作しているすぐれた ノーヒューズ シャン断器を内蔵している。

参 考 文 献

高見、堀田：「三菱電機技報」36. No. 2. (昭 37)

ビル用コントロールセンタ

高木洋一郎*

Control Centers for Presentday Buildings

Nagoya Works

Yōichirō TAKAGI

Marvellous is the latest building rush and consequent increase of electric equipment going together to drive air-conditioning apparatus sanitary arrangements and lighting systems all indispensable to building dwellers. Control centers, ingenious devices to control them or to feed electric power to the installations, are the outcome of this new trend. Mitsubishi has produced type NC control centers, which are in use with success at many places, typical ones of which are Sannō International Building and San-ai Dream Land in Tōkyō and Trading Building in Aichi Prefecture. It is expected that the control center having wide application and high reliability will find its use in the control of low voltage motors or feeding power to a variety of electric facilities.

1. まえがき

ビル内には空気調和、衛生給排用などに数多くの低圧誘導電動機があり、また多くの照明設備がある。かつて電動機の起動装置は電動機の近傍に個々に据え付けられていた。しかし近年これら電動機起動装置および照明設備用モーターとして幾多の利点の認められるコントロールセンタによる集中制御が全面的に採用されている。以下一般に採用される低圧配電方式、ビル用コントロールセンタおよび当社のNC形コントロールセンタの機能と構造について詳述する。

2. 受配電方式

最近のビルの傾向としては400V配電が採用され、3kV, 6kVなどの中間電圧を用いず特高から400Vに直接通降する方式が多くなっている。さらに電動機など動力用は400V三相3線式、電灯照明用は420/242V三相4線式が使用されるようになったが、特高から直接低圧400Vに通降する400V配電方式には次のような利点がある。



図2.1 電気室に据え付けたコントロールセンタ
Fig. 2.1 Control center installed in an electrical room.

- (1) 3kV, 6kVから200/100Vに落とす機器の省略により設備費の大幅な節減ができるが狭いビルの地下電気室ではスペースの節約により利益は多大である。
- (2) 電圧降下の減少および電圧変動の改善が期待できる。
- (3) 420V三相3線式は200V三相3線式に比べて銅量は1/3ないし1/4である。420/242V三相4線式は、200/100V単相3線式に比べて銅量は1/5ないし1/7である。
- (4) 400V級電動機は200V級に比較して価格は同程度であり、設計工作上にもなんら問題はない。3kV電動機に比べれば価格ははるかに安い。

3. ビル用としてのコントロールセンタ

3.1 コントロールセンタの特長

従来電動機の起動装置は電動機の近傍に個々に取り付けられていたが、電動機の起動装置をおののおのの電動機容量に適した基準のユニットに収容したコントロールセンタによる集中制御は、数多くの利点が認められ次のようないくつかの特長がある。

- (1) 電動機起動装置の集中制御は貴重な床面積と壁面積とを節約し、かつ集中制御であるため管理が容易である。そして据付配線が容易である。
- (2) コンパクトな構造とデットフロントのため電気的、機械的に安全である。
- (3) 標準寸法の採用により完全な互換性を持っており、かつ計画も非常に容易である。
- (4) 保守点検が容易であり故障が少ない。ユニットは引出構造となっているから、万一故障を生じてもユニットの取り換えが簡単迅速にでき、かつ他のユニットに影響を与えない。
- (5) コントロールセンタユニットには、通常NFBと電磁開閉器を組み合わせた電動機起動装置が収容されており、回路および負荷の保護が確実にできる。

3.2 ビル用電気品へのコントロールセンタの応用

とくにビルのような狭い電気室や機械室にコントロールセンタを利用する場合次のような配慮が必要である。

- (1) 負荷容量が同じであれば400V級のほうが200V級に比べ、負荷電流の半減により電流定格の一段小さい電磁開閉器が使

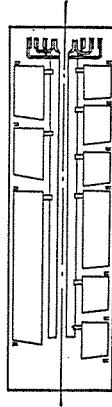


図 3.1 母線系統を別にしたコントロールセンタの断面

Fig. 3.1 Cross section of control center provided with different bus systems.

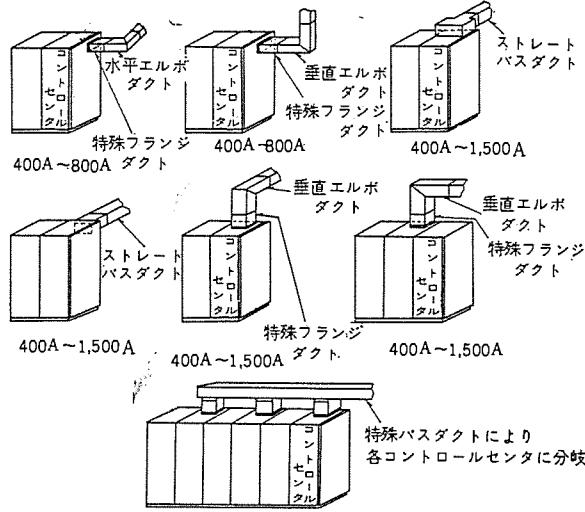


図 3.2 コントロールセンタとバスダクトの接続
Fig. 3.2 Connection of control center and bus duct.

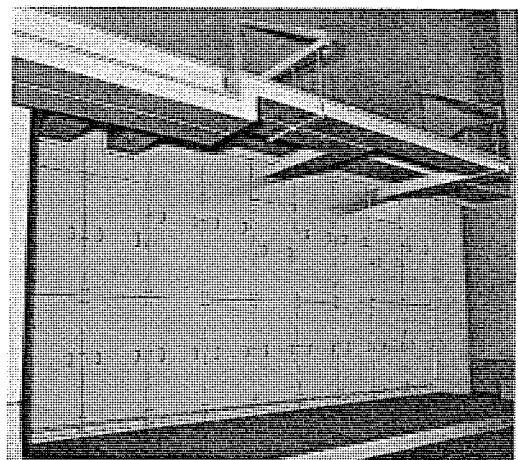


図 3.3 バスダクトとコントロールセンタの接続
Fig. 3.3 Connection of bus duct and control center.

用できるから、コントロールセンタの占めるスペースが減少する。

(2) 三菱コントロールセンタの外形寸法は片面形、両面形ともに同じで、1面について幅510、奥行520、高さ2,300または1,900である。したがって両面形を採用すればスペースの節約ができる。また片面形の場合には壁面に密着させてもまた場合によっては埋め込みを行なってもよく、裏面からの保守点検はいっさい不要である。

(3) 機械室に設置するコントロールセンタは、場合によっては前面と後面の母線系統を別にした両面形コントロールセンタを採用すればスペースの節約のみならず、運転、保守の面について大きな利益があると考える。このコントロールセンタは奥行寸法が710である以外標準コントロールセンタと寸法、構造、性能はまったく変わりはない。

(4) コントロールセンタとバスダクトの結合は自由に行なえる。バスダクトは寿命の長いこと、信頼性の高いこと、保守点検の容易であることなどの理由から近年盛んに使用されるようになり、とくに電源引込用として変圧器、コントロールセンタ間に利用されている。

3.3 コントロールセンタグループ

ビル内の低圧電気設備には大別して空調設備、衛生給排設備、電灯照明設備などがある。コントロールセンタも通常これら設備ごとにグループが形成され、それぞれ次のような設備の起動装置あるいはキ電シヤ断器が収容される。

(1) 空調関係 冷凍機、凝縮水ポンプ、冷温水ポンプ、送排風機、クリネヤ

(2) 卫生給排関係 油ポンプ、エアージュ、消防ポンプ、揚水泵、汚物ポンプ、排水ポンプ

(3) 電灯照明関係

(4) 広告灯関係

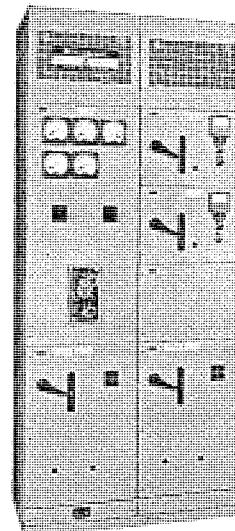
(5) 非常灯 非常灯、非常灯交流電源
非常灯交直切換装置

このほかにエレベータ、コンデンサ、屋階動力などの電源があるが、これらは(1)または(2)のグループに適宜収容される。

一般に特高から直接400V級に落とす方式では、変圧器二次シヤ断器が設けられDB形のような気中シヤ断器が使用される。

コントロールセンタにはさらに各グループに主シヤ断器(NFB)を設け

ビル用コントロールセンタ・高木



◀ 図 3.4 衛生給排用コントロールセンタ
Fig. 3.4 Control center for use in sanitary water supply and drainage.

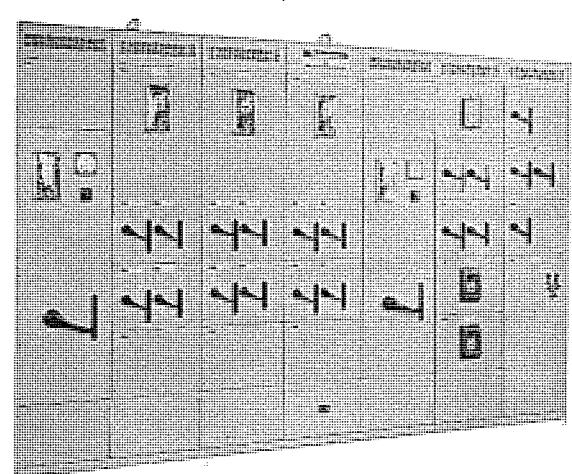


図 3.5 電灯用コントロールセンタ
Fig. 3.5 Control center for electric lights.

各回路に分岐する。空調関係、電灯照明、広告灯、非常灯などのグループは電気室に設置し、衛生給排関係は機械室に設置するのが普通である。また電気室におくコントロールセンタを動力および電灯回路のキ電盤とする場合には、NFBのみのコントロールセンタとし、現場に電動機起動装置を収容したコントロールセンタを設置するのが便利である。起動装置の制御は遠方および現場の両方から行なえるようにするのが普通である。

図3.4は衛生給排関係グループのコントロールセンタの一例である。

図3.5は電灯コントロールセンタの一例であり、各幹線分岐ごとにWhMが取り付けられている。このように電流計、電圧計、WhMなどは各コントロールセンタに分散して設けられる場合と、表示盤として（もちろんコントロールセンタタイプである）故障表示灯とともにまとめて取り付けられる場合がある。表示盤のない場合には机形の中央動力監視盤が使用される。

非常灯コントロールセンタには非常灯用電源シャンク断器のみでなく、商用電源消失時には自動的に直流に切り換えられるような交直自動切換装置が収容される。

4. NC形コントロールセンタ

4.1 NC形コントロールセンタの概要

前述したようにビルに設備される動力、電灯用制御装置には、コントロールセンタを採用することが好ましいが、NC形コントロールセ

ンタはさらに数々の利点を持って製作されており、すでに山王国際会館、三菱スカイリング、愛知県貿易会館その他多数のビルに納め好評をはくしている。

一般に電動機の場合はノーヒューズシャンク断器と電磁開閉器を組み合わせ、ノーヒューズシャンク断器は回路の短絡保護を行ない、電磁開閉器は電動機の起動停止と過負荷保護を行なう。NC形コントロールセンタはこれらのノーヒューズシャンク断器と電磁開閉器などの組み合わせを基本とした自立閉鎖盤である。

コントロールセンタはノーヒューズシャンク断器と電磁開閉器を組み合わせた電動機起動装置だけでなく、総括制御ないし自動制御用各種リレー類もユニット化して収容することができ、非常に融通性のあるものである。

4.2 構造

各外箱は表4.1に示すように標準化されているので外箱の結合

表4.1 NC形コントロールセンタ 標準外形寸法

形 名	基 準 ニ ッ ト 数	負 荷 端 子 引 き 出 し	外 形 寸 法								概 略 重 量 (kg)		
			W	WA	H	HD	HE×n(HC)	HB	HA	D			
片 面 用	兩 面 用	(mm)	(mm)										
NC-23 BS	NC-23 BD	5	8	下	510	40	2,300	180	350×5 240×8	320 200	50	520	250~350
NC-19 BS	NC-19 BD	4	6	下	510	40	1,900	180	360×4 360×6	280	50	520	200~250
	NC-16 BD	3	5	下	510	40	1,600	200	360×3 240×5	320 200	50	520	150~200
NC-16 BS		3	5	下	510	40	1,600	200	360×3 240×5	320 200	50	320	150
NC-23 TS	NC-23 TD	5	7	上	510	40	2,300	300 420	360×5 240×7	200	50	520	250~350
NC-19 TS	NC-19 TD	4	6	上	510	40	1,900	260	360×4 240×6	200	50	520	200~250

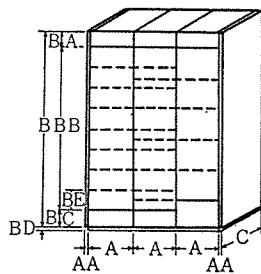


図4.1 NC形コントロールセンタ 外形寸法図

Fig. 4.1 Dimensions of type NC control center.

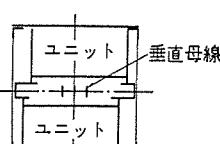


図4.2 コントロールセンタ 断面図

Fig. 4.2 Cross section of control center.

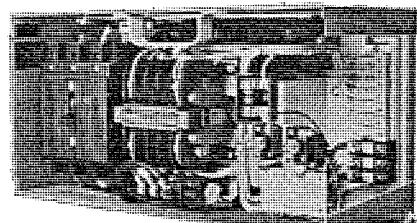


図4.3 コントロールセンタユニット

Fig. 4.3 Control center unit.

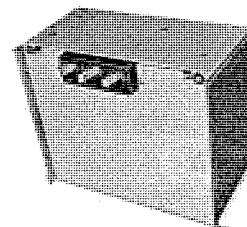


図4.4 ユニット裏面

Fig. 4.4 Back view of unit.

表4.2 コントロールセンタユニット一覧

非可逆起動器ユニット寸法

可逆起動器ユニット寸法

ノーヒューズシャンク断器ユニット寸法

ユニットの 総寸法 (mm)	適用最大電動機 容量(kW)		ノーヒューズ シャンク断器 シャンク容量A (NEMA)	
	200~ 440V	400~ 440V	250V	500~ 600V
240	5.5	11	7,500	5,000
	7.5	—	"	—
360	7.5	11	20,000	15,000
	15	22	"	"
240×2	15	22	"	"
360×2	15	30	"	"
	22	37	30,000	20,000
240×4	22	37	"	"
	37	75	"	"
360×3	22	37	"	"
	37	75	"	"
360×3両面	75	150	"	30,000
360×4	75	150	"	"
	125	250	"	"

ユニットの 総寸法 (mm)	適用最大電動機 容量(kW)		ノーヒューズ シャンク断器 シャンク容量A (NEMA)	
	200~ 220V	400~ 440V	250V	500~ 600V
240	3.7	5.5	7,500	5,000
	5.5	11	"	"
360	5.5	11	"	"
240×2	7.5	11	20,000	15,000
	5.5	11	7,500	5,000
360×2	7.5	11	20,000	15,000
	15	22	"	"
240×4	15	22	"	"
	22	37	30,000	20,000
360×3	22	37	"	"
	37	75	"	"
360×4	22	37	"	"
	37	75	"	"
360×4両面	75	150	"	30,000

ユニットの 総寸法 (mm)	ノーヒューズ シャンク断器		ノーヒューズ シャンク容量A (NEMA)	
	個数 最大	形 名	250V	500~ 600V
240	2	NF-50B	7,500	5,000
	1	NF-100C	"	—
	3	NF-30B	"	5,000
360	2	NF-100C	"	—
	2	NF-100B	20,000	15,000
240×2	1	NF-225D	30,000	20,000
360×2	1	NF-400A	"	"
	1	NF-600A	"	30,000
360×2両面	1	NF-800A	"	"
360×3両面	1	NF-600A	"	"
	1	NF-800A	"	"

を容易にし、また外観を統一する。構造は4本の縦ワクを上部および下部のワク組で支持し、側面にはユニット取付ワクが上下に通り縦ワクの前後を結ぶ補強金で支持してある。

コントロールセンタグループはいくつかの箱から構成されるが、それぞれの箱間には側板が存在しないので局部的温度上昇がなく箱内温度が均一化されるという利点がある。

箱の上部または下部には隣接する箱を貫通して水平母線が通っていて、箱の中央には垂直母線があり垂直母線および水平母線は短絡事故時の強大な電磁力に十分耐えるように支持されている。水平母線の位置は電源ケーブル、動力ケーブル、制御ケーブルなどが上引き込みの場合には下部に、下引き込みの場合には上部に設置される。水平母線の定格は通常600A、または800Aのものが使用されるが場合によっては水平母線を前後に並設することにより母線の電流容量を最大1,600Aとすることも可能である。

電源引込は通常垂直母線または水平母線の一部に圧着端子を用いて接続するが前述のとおりバスタクトによる引き込みも可能である。

4.3 ユニット

ユニットは図4.4のような電源接続用クリップにより垂直母線に接続される。またユニットケースの両側下部にそう入案内用のピンがあり、外箱のほうにピンとはめ合う案内外がある。ユニットの脱着は図4.3に見られるようにレバーによりラッチ機構をはずして行なう構造になっている。したがってユニットの着脱は迅速かつ容易に行なえ電気的にも安全である。クリップが垂直母線から離れた状態でユニットが安定かつ引き出しを容易にするため、ユニットの底は傾斜がついており、箱にはユニットを支持する区切ワクについている。

制御回路用端子には1極絶縁のプラグインコンセントを必要個数だけ取り付ける。このため制御回路が生きていても、ほかのユニットに関係なくユニットの取りはずしが容易にできる。

ユニットトビラにはNFB操作ハンドルがあり、ハンドルが「切」の位置でないとトビラがあかないようにインターロックされている。しかし「入」の位置でもトビラを開くことができるネジの頭が「入」のときのみ現われる位置についている。そのほかトビラには電流計、信号灯、押しボタンスイッチ、切換スイッチなどを取り付けることができる。

4.4 限流リクトル

最近のように大電力が使用されるようになり、大容量変圧器が使用されると短絡事故に対する制御装置の保護の問題が重要になる。短絡電流がNFBのシャン断容量では保護することができないほど大きい場合には、限流リクトルを電源側に接続して回路の短絡電流を抑制することが望ましい。限流リクトルを使用すれば短絡電流100,000Aを15,000A以下に限流することも可能である。MSP形限流リクトルは標準化されているので、必要インピーダンスを標準定格の中から選定して使用している。またMSP限流リクトルはコントロールセンタのキャビネットをそのまま使用でき、かつ同一要領でコントロールセンタと列盤にすることができる。

5. むすび

以上ビル用電気設備にコントロールセンタを応用する場合について述べたが、コントロールセンタは低圧誘導電動機の制御装置をはじめ各種の総括制御装置、自動制御装置をユニット化して収容することができ、信頼度も高い。今後ますます信頼度の高いコントロールセンタが採用されることと思う。

非常用ディーゼル発電機と制御装置

高橋卓夫・谷瀬敏之*

Diesel-Engine Generators and Control Equipment

Nagasaki Works Takuo TAKAHASHI · Toshiyuki TANISE

Diesel engine generators are now regarded indispensable to institutions and department stores when failure of power supply brings about fatal damage. Mitsubishi has been manufacturing generating apparatus to be used for this purpose for a number of years, having much experience of successful operation. Unlike general purpose machines, generators to be used for emergency (with Diesel engines) shall be designed on special attentions. That is; small size, moistureproof insulation, rustproof coating, and vibration withstanding construction are the most outstanding requisites. Caution against unbalanced load is the matter not be overlooked in the design. This article further touches upon the control equipment.

表 1.1 建築物納入非常用発電機一覧 (1963年4月以降納入のもの)

1. まえがき

文明と電気をうんぬんするまでもなく、電気はわれわれ生活に深く浸透し、切り離せないものとなっている。なかんずく建築物は最大限電気設備を有し、もはやいちじといえど電気は欠かすことのできないものとなってきた。

それだけにこれら建築物、とくにデパート、病院などは、不時の停電によっては致命的な損害をこうむる恐れもあり、そのため法令によるまでもなく、非常用電源としてディーゼル発電機を備えることが常識化されている。

三菱電機でもこれに応すべく早くから発電設備の製作に着手し、今までにもすでにかなり多くの納入実績を有している。

ビルディングなどに設置する発電機は一般的のものとはまた別の問題も有しており、ここに現在製作されている発電機、および制御装置の構造、性能について簡単に記述するとともに、実際に問題になる発電機容量、仕様決定の基準の一端を提供する。

2. 交流発電機

2.1 標準形式

標準製作機種一覧表を表2.1に示す。これはあらゆる条件、据付場所の環境などを考えにいれ決定したもので、ビルなどの非常用発電機としてとくに次のような点に考慮をはらってある。

(a) できるだけ小形軽量化する。

多くの場合据え付けスペースは狭く、これを有效地に生かし、かつ基礎工事を経済的にするためにも極力コンパクトにまとめる。

(b) 絶縁は耐湿性のすぐれたものとする。

普通機関室はビルの地下にあり、高温多湿な上、休転期間がながいので絶縁は耐湿性のものとして絶縁抵抗の低下をきたさないようにする。

(c) 防ショウ(錆)処理を完全にする。

納 入 先	容 量 (kVA)	電 壓 (V)	周波数 (c/s)	回転数 (rpm)	励 磁 方 式	絶縁 别	配 電 箱 形 式	製 作 年 月
国際電気ビル 御園座	625	3300	50	600	他励	A	キューピクル、自動起動	1963-4
丸光デパート	187.5	6600	60	1200	自励	B	" "	1963-4
京阪天満橋ビル	220	6600	50	1000	自励	B	"	1963-5
京阪天満橋ビル	250	6600	60	900	自励	B	" 自動起動	1963-5
萩窪広尾倉庫	58	6600	50	1000	自励	A	開放金銅付	1963-5
山口労働福祉センター	15	220	60	1200	自励	A	" 自動起動	1963-5
札幌郵政局(東室蘭)	7.5	210	50	1000	自励	A	"	1963-6
南海電鉄(南浦会館)	400	3300	60	900	他励	A	"	1963-6
防衛庁共済会館	100	6600/3300	50	1500	自励	A	励磁装置のみ開放	1963-7
九州労災病院	100	220	50	1200	自励	A	開放	1963-7
岩手県福利市	100	3300	50	1000	自励	A	キューピクル	1963-7
新大ビル	625	6600	60	600	自励	B	" 自動起動	1963-8
東京大学飛行宇宙観測所	70	210	60	600	自励	A	開放	1963-8
三井銀行(池袋)	150	200	50	1500	自励	A	キューピクル、自動起動	1963-8
鹿児島相互銀行	50	220	60	900	自励	A	開放	1963-9
川崎競馬場	70	110	50	1500	自励	A	"	1963-8
一ノ宮市役所	300	6600	60	900	自励	B	キューピクル、自動起動	1963-8
日本電波塔(東京タワー)	750	3300	50	750	他励	A	開放	1963-8
第一生命五反田ビル	100	200	50	1500	自励	A	"	1963-8
気象庁气象台舍	500	3300	50	750	自励	B	キューピクル、自動起動	1963-9
大阪富国生命ビル	625	440/254	60	600	自励	A	" "	1963-9
ホテル三愛	500	6600	50	600	自励	B	" "	1963-9
富士館ビル	125	3300	50	1500	自励	A	" "	1963-9
三菱銀行	300	3300	50	1500	自励	A	" "	1963-9
日本勧業銀行御徒町	150	3300	50	1500	自励	A	" "	1963-9
読売水族館	62.5	220	50	1500	自励	A	開放	1963-9
松岡産業(春日井市役所)	125	220	60	720	他励	A	キューピクル	1963-9
大牟田信用金庫	50	220	60	1200	自励	B	開放	1963-9
江沼病院	15	220	60	1800	自励	A	" 自動起動	1963-10
布施市役所	80	200	60	1200	自励	A	"	1963-10
青森市役所	25	220	50	1000	自励	A	励磁器および遠方監視盤	1963-10
本社貿易部(インド大使館)	75	415/240	50	750	他励	B	キューピクル	1963-10
鹿児島信用金庫	60	220	60	1800	自励	A	開放	1963-11
新宿ステーションビル	937.5	3300	50	750	自励	A	キューピクル、自動起動	1963-11
神戸新聞会館	800	3300	60	720	自励	A	" "	1963-11
大阪府庁舎	850	3300	60	900	自励	A	" "	1963-12
新橋センタービル	50	220	50	1500	自励	A	開放	1963-12
愛知県体育館	250	6600	60	1200	自励	B	キューピクル	1963-12
音羽町役場	35	220	60	1800	自励	A	開放	1963-12
富士天然色写真(札幌)	50	220	50	1500	自励	A	" 自動起動	1964-1
一ノ宮市下水処理	350	6600	60	900	自励	B	キューピクル、自動起動	1964-1
長崎県交通会館	120	3300	60	900	自励	A	開放 遠方操作	1964-1
株式会社柳屋(柳屋ビル)	300	3300	50	1000	自励	A	キューピクル、自動起動	1964-1
日本長期信用金庫	30	220	60	1800	自励	A	" "	1964-2
三菱地所(仲14号館)	312.5	3300	50	1500	他励	A	開放	1964-2
大阪府成人病センター	200	6600	60	1200	自励	B	キューピクル、自動起動	1964-2
輪島市民病院	10	220	60	1800	自励	A	励磁装置	1964-2
国鉄京都駅	250	460/265	60	900	自励	A	キューピクル、自動起動	1964-2
国鉄大阪駅	625	3300	60	900	自励	A	"	1964-2
森田ボンブ(若松消防署)	3	110	60	1800	自励	A	可搬式	1964-2
西都市役所	20	220	60	900	自励	A	開放	1964-2
三菱地所(東京銀行神戸店)	30	210	60	1200	自励	A	開放	1964-3
光商工(平塚市庁舎)	30	200	50	1500	自励	A	"	1964-3
福島県庁	12.5	210	50	1000	自励	A	キューピクル	1964-3
日本経済新聞	375	6600	60	1800	自励	B	" 自動起動	1964-3
能登鉄(新潟鉄道病院)	200	6600	50	1500	他励	A	開放 自動起動	1964-3
近鉄(阿部野百貨店)	500	3300	60	900	自励	A	" "	製作中 製作中
日通汐留支店	350	3300	50	1500	自励	A	開放	製作中

表 2.1 ディーゼル発電機標準形式一覧

極 数	4		6		8		10		12		14		形式	通風方式	軸受方式
	周波数(c/s)	回転数(rpm)	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50			
定格出力(kVA)	以下	40	35	30	25	15	12.5						横軸突極回転界磁形	開放(軸方向保護自己通風)	両(片)ブラケットコロガリ軸受
	50	40	35	30	20	15								開放(軸吸込自己通風)	両(片)ブラケットオイルリング給油スリーブ軸受
	以上	500	438	375	313	250	219	219	188	188	156	156		開放(軸吸込自己通風)	4.6 極両(片)ブラケットオイルリング給油スリーブ軸受
(kVA)	以上	625	500	438	375	313	250	250	219	219	188	188		開放(軸吸込自己通風)	8 極以上両(片)ベデスタルオイルリング給油スリーブ軸受
	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上	以上			両(片)ベデスタルオイルリング給油スリーブ軸受

適用規格は JIS, JEC 力率は 80% (遅れ) A 種組合

電圧 250 kVA 以上は 3300 V, 94~219 kVA は 220, 450, 3300 V, 75 kVA 以下は 220, 450 V

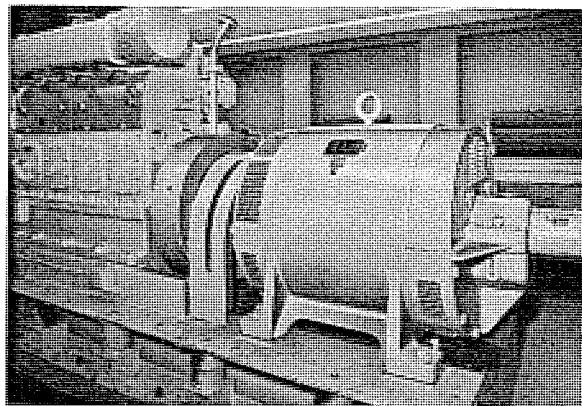
図 2.1 自励交流発電機 (ブラケット形)
120 kVA, 3,300 V, 60 c/s, 900 rpm

Fig. 2.1 Self-excited AC generator (Bracket type).

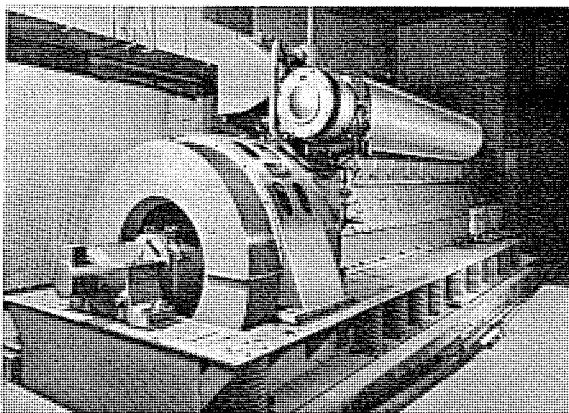
図 2.2 自励交流発電機 (ペデスタル形)
937.5 kVA, 3,300 V, 50 c/s, 750 rpm

Fig. 2.2 Self-excited AC generator (Pedestal type).

上記のごとく発ショウ条件がそろっているだけに防ショウには注意を要す。フレーム、ブラケット、ペデスタルなどはすべて防ショウ下地塗装を施す。導電部のスリップリングにはステンレス鋼を用いる。

(d) 耐震構造とする。

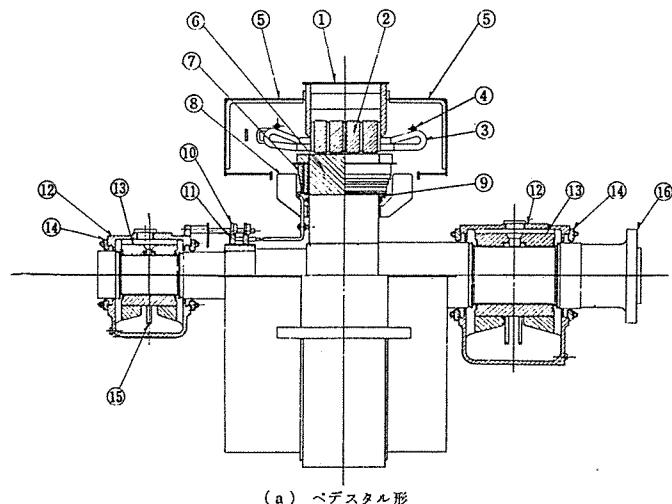
振動の激しいディーゼル機関によって駆動されるため、ねじ類はゆるみ止めを完全にし、溶接部などは、とくに強固にする。

2.2 構造

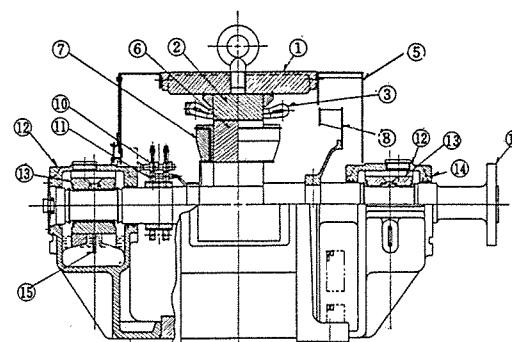
同じ非常用発電機でも大形機と小形機では構造的にもかなり異なっており図 2.3 (a) は主として大形機に採用しているペデスタル形の、(b) は高速機および小形全般に採用しているブラケット形の構造図を示す。主要部分について簡単に説明を加える。

2.2.1 固定子

フレームは大形機では鋼板の溶接構造とし、開放ペデスタル形のものでは通風は両吸込としてその排出口をフレーム中央に設け冷却効果をあげている。小形機では鉄製とし、重量を軽くするとともに機械的に強固にしている。



(a) ペデスタル形

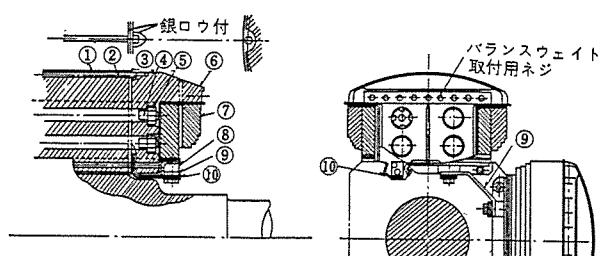


(b) ブラケット形

- | | | | |
|---------------|------------|-------------|------------|
| 1. フレーム | 6. 回転子鉄心 | 11. スリップリング | 16. 軸 |
| 2. 固定子鉄心 | 7. 回転子コイル | 12. 軸受台 | 12. 軸受 |
| 3. 固定子コイル | 8. ファン | 13. 紐受 | 13. 紐止め |
| 4. 固定子コイルささえ輪 | 9. ダンバーリング | 14. オイル | 14. オイルリング |
| 4. エンドカバー | 10. ブラシ | 15. オイル | 15. オイルリング |

図 2.3 発電機構造

Fig. 2.3 Constructions of generator.



- | | | |
|-----------|--------------------|---------|
| 1. 磁石鉄板 | 5. A リングナット | 9. ツナギ線 |
| 2. ダンバーパー | 6. 磁極端板 | 10. リード |
| 3. 磁石鋼板 | 7. 磁石コイル | |
| 4. ノジボルト | 8. コイルささえ金兼ダブルキー押え | |

図 2.4 ダンパおよびコイル押え (高速度用)

Fig. 2.4 Constructions of pole end (for high speed machine).

鉄心は大形機にはT級、小形機にはD級のケイ素鋼板を積層し、電圧波形にミジ高調波が混入しないようできるだけ分数ミジを使用、また小形機では標準としてすべてスキューミジを採用してある。

2.2.2 回転子

主軸には良質のタン(鍛)鋼を使用し、軸径ならびに軸長の決定にはエンジンメーカーと緊密な連絡のうえ設計しており、ディーゼルエンジンのトルク脈動によるネジ振動の問題には万全を期している。軸長を短縮する目的でエンジン側軸受を省略、すなわちエンジン軸受に荷重を持たせた片軸受構造を極力採用しているが、エンジンによってはまだこの構造を採用できないものもある。

界磁鉄心は20kVA以下の小形高速機では全極1パンチングで抜き、ウェッジを用いてコイルの飛出しを防止している。これは当社独特のもので、これによりコイル巻きが非常に容易になった。

また中形機および大形低速機には鋼板組立式スピーダを軸に焼付メし、これにコアリベットによって強固に締め付けた積層鋼板の界磁鉄心をダブティルによって取り付けている。大形高速機の場合は回転部にかかる遠心力が強大となるので、タン造打出し軸と一体のスピーダとする。図2.4に示す。

2.2.3 固定子コイルおよび回転子コイル

固定子コイルの絶縁は標準絶縁階級として600V、3,300Vおよび6,600Vの三段階にわけてある。A種の場合、素線には小形低速機に占積率の良いエナメル線(フォルマール線あるいはポリエスチル線)を、3,300V級および6,600V級には二重綿巻銅線(DCC)を使用する。B種の場合はすべて二重ガラス巻線(DGC)を使用している。主絶縁にはマイカラップあるいはガラスマイカラップを主体としてこれをガステープ、ガラステープによって補強している。

含浸ワニスとしては耐湿性、耐薬品性のすぐれたエポキシ変性のアルキッドワニスを使用している。このワニスの耐熱性はF種としても十分使えることが証明されており、したがって温度上昇はA種絶縁に準じていても、たとえば素線にポリエスチル線を用いた場合、実質的にはB種絶縁に近く、絶縁寿命は相当長い。

6,600V級には、A種、B種ともくに不飽和ポリエスチル樹脂による当社独特のダイヤレジンを真空含浸しており、絶縁特性は一段と良好である。

従来絶縁抵抗低下防止のためスペースヒータがしばしば用いられていたが、小形機ではスペース的に苦しく、また保安装置の故障によるコイル焼損の恐れなどがあった。しかるに上記のように非常に耐湿性のあるワニスが用いられるようになったため、現今ではスペースヒータはあまり設けない。

一方回転子コイルは、A種では小形にエナメル線、大形には、DCCを、B種の場合はすべてDGCを用い素線層間には固定子の場合と同じサーモセッタワニスであるエポキシ変性アルキッドワニスをハケ塗りしながら巻き、最後に熱プレスで焼固めて機械的に強固なものとしている。

2.3 発電機容量の算定

一般に非常用として設置されるものであるから、その利用率は

表2.2 誘導電動機起動電流値の例

定格出力(kW)	全負荷電流(A)	起動電流(A)		
		4極	6極	8極
7.5	30～33	170～190	175～185	185～210
15	58～63	330～370	335～380	355～405
75	139～149	785～875	800～900	840～940

(低圧特殊カゴ形2種開放形)

非常に低い。したがって発電機容量は必要最小限とすべきである。すなわち買電の停止中にもどうしても必要のあるサービス上、業務上の所要電力あるいはさらに切りつめて保安上欠かすことのできない所要電力などを対象として考えるべきである。このことはある程度使用者の意向によってもきめられようが、いずれにしても負荷設備の特性とか性格、すなわち供給する負荷の種類、負荷率、需要率、不等率などにより最大負荷を想定し、場合によっては将来のこととも考慮して供給負荷の大きさを定め、これに見合う出力のものとする。この場合とくに注意を要するのは負荷に誘導電動機がある場合、その起動突入電流である。これが大きい場合には発電機、エンジンとも一時過負荷になり、また発電機端子電圧は瞬間に降下する。

カゴ形誘導電動機はその特性上起動電流がきわめて大きく表2.2にも見られるように定格電流の5～7倍になり、さらにその力率も30～40%以下と相当悪い。

電圧降下が著しくなると種々の障害が生じ、したがって発電機容量の決定にはこの点をも考慮する必要がある。

2.3.1 瞬時電圧降下

まずこれについて最も広く用いられ、とくに過渡特性のよい自動電圧調整器(AVR)なし自励式の場合と従来から用いられてきた回転励磁機付の場合について述べる。AVR付き自励式の場合、AVRの方式によっても異なるが、その時間遅れ要素のため過渡特性はAVRなし方式に比べてやや悪くなるが、これとても回転励磁方式より格段にすぐれている。

(1) AVRなし自励交流発電機

瞬時電圧降下の大きさは突入負荷の種類と発電機の定数によって決まる。

負荷投入前の状態を付号1、投入後の状態を付号2で表わせば、負荷投入後の最低電圧 E_{t2} は次式で与えられる⁽¹⁾。

$$E_{t2} = \frac{(X_{qt1}X_{dt1} + r_{t1}^2)\sqrt{(X_{qt2}^2 + r_{t2}^2)(X_{ext2}^2 + r_{ext2}^2)}}{(X_{qt2}X_{dt2} + r_{t2}^2)\sqrt{(X_{qt1}^2 + r_{t1}^2)(X_{ext1}^2 + r_{ext1}^2)}} E_{t1} \quad \dots (2.1)$$

ただし上式において

$$X_{qt} = X_q + X_{ext}$$

$$X'_{dt} = X'_d X_{ext}$$

$$r_t = r_d r_{ext}$$

X_q ……発電機横軸同期リアクタンス

X_{ext} ……外部(負荷)リアクタンス

X'_d ……発電機直軸過渡リアクタンス

r_d ……発電機電機子抵抗

r_{ext} ……外部(負荷)抵抗

であり、いずれも単位法による。

式(2.1)の示すところでは投入負荷の力率が40%以内であれば0%の場合と電圧変動は大差なく、また初期負荷がある場合は最初無負荷である場合よりもむしろ小さくなる。この場合初期負荷が運転中の電動機であっても電圧降下最大時点は負荷印加後約1～の短時間なのでインピーダンスは変わらないものと考えられる。

誘導電動機の起動時の力率はほとんど40%以内にあり、最大電圧降下までの短時間では電動機の起動時のインピーダンスも一定と考えてさしつかえない。さらにまた発電機電機子抵抗はリアクタンスに比べれば無視できるほど小さい。したがって誘導電動機を起動した場合、発電機端子電圧の瞬時降下の最大値 ΔE は式(2.1)を基として近似的に次のように表わすことができる。

$$\Delta E = \frac{X_d}{X'_d + X_e} \dots (2.2)$$

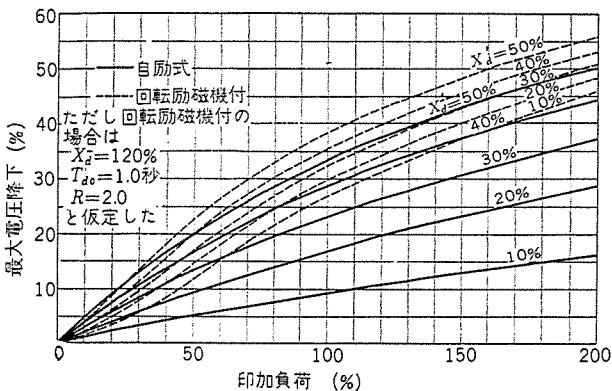


図 2.5 交流発電機の突入負荷による最大電圧降下
Fig. 2.5 Max-voltage drop of generator with suddenly applied load.

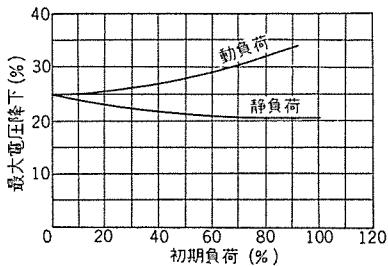


図 2.6 最大電圧降下に対する初期負荷の影響
(回転励磁機付)
Fig. 2.6 Effect of initial on the max voltage drop.

ここで

$$X_e \cdots (\text{発電機定格 kVA}) / (\text{負荷突入 kVA})$$

$$X_d' \cdots \text{発電機直軸過渡 リアクタンス}$$

この計算結果を図2.5の実線で示す。

(2) 回転励磁機付交流発電機

この場合については Harder および Cheek による詳細な論文が発表されており⁽²⁾、これによると電圧変動には発電機の特性、印加負荷の特性のほか、励磁機、AVR の特性も影響してくる。すなわち、

- (a) 発電機直軸過渡 リアクタンス X_d'
- (b) 発電機開路時定数 T_{do}
- (c) 励磁機 レスポンス R
- (d) 印加される負荷の特性
- (e) 初期負荷の特性
- (f) 発電機直軸同期 リアクタンス X_d
- (g) 発電機横軸同期 リアクタンス X_q および飽和度 S
- (h) AVR 動作時間 h

図2.5の点線で示したのは自励式励磁機（副励磁機をもたないもの、非常用はすべてこれである）付発電機について、代表的な諸定数 $T_{do}=1.0$, $R=2.0$, $X_d=120\%$, $X_q=75\%$, $S=20\%$, $h=0.05$ 秒, を選び、初期負荷はなく、投入負荷は一定インピーダンスで力率 35% として計算したものである。

上記の諸要素の内最も大きな影響力を持ち、また実際誘導電動機起動で問題になるのは (a)～(c) である。(d) は、自励式発電機の場合と同様投入負荷の力率が 40% 以内であれば最大電圧降下は大差ない。また初期負荷がある場合図2.6に示すようにそれが静負荷（一定インピーダンス）であれば電圧降下を減少させ、動負荷（たとえば、運転中の誘導電動機）であれば増大させるが、實際は両負荷が存在する場合がほとんどなのでその作用はたがいに

表 2.3 電圧降下による照度低下

電圧 (%)	照 度 (%)			
	100	90	80	70
ケイ光灯	100	87	74	35
白熱灯	100	66	42	25

表 2.4 発電機容量算定に用いた負荷およびその特性

No.	負荷の種類	出力	全率力 (%)	負荷効率 (%)	特性	起動率力 (%)	起動率力 (kVA)
1	誘導電動機	6×37	87.0	80.5	6×53	6×46	40.0
2	"	1×11	84.0	77.0	17	14.3	40.0
3	電灯その他	30	100.0	—	30	30	—
	合計		88.0	—	365	320.3	—

相殺して小さくなり、事実上初期負荷の影響は無視してさしつかえない。

また非常用発電機として用いられる程度のものはほとんど $X_d = 100\sim140\%$ であり、この範囲では X_d' の差による電圧降下の差は少ない。(g), (h) の影響力はさらに小さい。

したがって上記論文には X_d' , T_{do} , R をパラメータとし、他の定数は図2.5と同じ値を用いて電圧降下と印加負荷量の関係を図で表わしており、くわしくはこれを参照されたい。

なお当社の非常用標準発電機は 125% の突入負荷に対して自励式の場合の電圧降下が 25% 以下になるようにしている。

すなわち、 $X_d' < 26.7\%$ に設計してある。

2.3.2 電圧降下の許容範囲

電圧降下による障害は主として同系統に接続されているリレー類の ドロップアウト、照明のちらつき、運転中の電動機のストールである。

一般管制器具類のうち、電磁接触器は規格では 80% 電圧でも異常なく働くこととなっているが、トリップに対しては 30~35% 電圧降下によっても実際にはなんらの影響も受けないことが実験的に証明されている。

ケイ光灯および白熱灯の電圧降下による照度の低下は表2.3に示す。ケイ灯の場合はさらに電圧降下が大きいと消灯のおそれがある。

次に運転中の誘導電動機に対する影響であるが、規格によると誘導電動機に対して停動トルク 175% 以上たることが規定されている。突入電流による発電機電圧降下は短時間であるので、電動機に対する影響は、停動トルクの低下によるストールだけを考慮すればよい。

今 25% の電圧降下があったとすれば停動トルクは最低、 $175 \times (0.75)^2 = 98\%$ にはなるが、短時間であり、とくに自励の場合は電圧の回復が速いのでストールすることはまずない。

以上のように負荷の性質によっても電圧降下の許容値はかなり違ってくるが、一般的にいってこれが 25~30% 以内であればまず問題はないと考える。

2.3.3 計算例

負荷が表2.4に示す場合について自励式発電機所要容量を計算する。(誘導電動機の特性は JIS C 4201 によった。)

(1) 定常運転容量

負荷率、需要率、不等率をすべて 1.0 と仮定すると、負荷の定常運転に必要な出力は 320.3 kW であるから、発電機定格力率を標準の 80% として

$$\text{全負荷運転 kVA} = 320.3 / 0.8 = 400 \text{ kVA}$$

(2) 電圧降下より決められる容量

No. 1 負荷を 2 台同時に起動する必要があるとし、この場合の電圧降下は 25% まで許容する。投入負荷は、 $2 \times 336 = 672$ kVA であり、 $X_d = 23\%$ と仮定すれば、式 (2.2) より

$$\frac{0.23}{0.23 + X_d} < 0.25, X_d = \frac{\text{発電機 kVA}}{672} > 0.69$$

これより

発電機定格容量 > 464 kVA

(3) エンジンにかかる最大負荷 (kW)

No. 1 負荷の残り 4 台を 1 台ずつ投入すると考える。最大負荷は最後の 1 台を起動した瞬間に起こる。

エンジンにかかる最大負荷 P (kW) は

$$P = \frac{Q \cos \theta}{\eta} + P_1$$

ここで

$$P_1 : \text{ベース負荷} = 14.3 + 30 + 46 \times 5 = 274.3 \text{ kW}$$

$$Q : \text{電動機起動容量} = 336 \text{ kVA}$$

$$\cos \theta : \text{電動機起動電流の力率} = 0.4$$

$$\eta : \text{電動機起動時の発電機効率} = 0.88 \text{ と仮定}$$

$$\text{したがって } P = 465 \text{ kW}$$

エンジンの過負荷容量を 115% とすると

$$\text{所要エンジン出力} > 465 / 1.15 = 404 \text{ kW (540 PS)}$$

(4) 結論

(1)(2)(3) を総合して次のようにする。

発電機定格出力 kVA : 500 kVA (400 kW)

エンジン出力 : 540 PS

上の例でも見られるように所要発電機容量は電圧降下の点より決められることがしばしばあり、したがって負荷電動機の起動特性、同時に起動台数、順序などに注意を要す。負荷中にとくに大きな電動機がある場合にはその起動方法を考え、起動電流を小さくすることで発電機容量も小さくできる。この場合起動トルクの低下に注意しなければならないのは無論である。

参考までにおもな起動方法、およびそれに対する起動電流、起動トルクを表 2.5 に示す。(表は全電圧起動における値を 100 とする。)

2.4 発電機仕様決定の基準

2.4.1 形式

外被構造は開放形と全閉形に分けられるが、とくにじんあいの多いとか、ふん団ガスが爆発性であるような場合は全閉形が用いられるが、通常のビル非常用発電機としては開放形で十分である。

表 2.5 誘導電動機起動方法の比較

起動方法	起動電流	起動トルク
全電圧起動	100	100
補償器起動	80%タップ 65%タップ	64 42
リアクトル起動	80%タップ 65%タップ	80 64
△起動	65 33	42 33

表 2.6 発電機標準出力

定格出力 kVA (kW)
5 (4)
7.5 (6)
10 (8)
12.5 (10)
15 (12)
20 (16)
25 (20)
30 (24)
35 (28)
40 (32)

表 2.7 多く用いられる回転数

発電機出力 (kVA)	回転数 (rpm)
50 以下	1000~1800
50~312.5	900~1500
312.5~1000	720~900
1000 以上	500~750

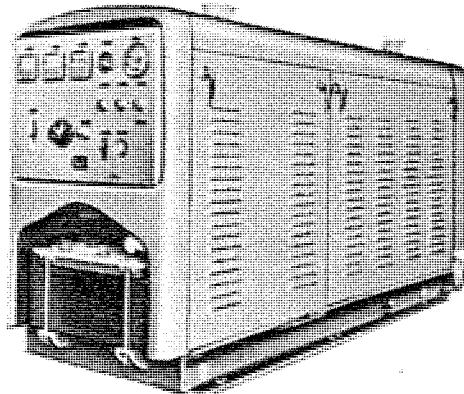


図 2.7 DU-25, ダイヤパワー 可搬式発電機
25/20 kVA, 220/210 V, 60/50 c/s, 4 P.

Fig. 2.7 DU-25 Diapower portable ACG.

水滴、油滴などのあるところでは防滴構造にすべきであり、休転中異物の混入、あるいはネズミによる絶縁物の損傷をなくするために、できれば保護形を用いる方がよい。

2.4.2 出力

一般に発電機定格出力は(kVA)であらわされ、当社では表2.6に示すように NEMA に従った標準系列を設けている。2.3 節に述べたようにして定めた所要容量に最も近いものをこの中から選べばよい。発電機の定格力率は実際にかけられる負荷の力率によって定めるべきであるが、一般には遅れ力率 80% を標準としている。

2.4.3 回転数

ビルは普通、高価な地代の都心地におかれ、発電機は据付面ができるだけ小さくすることが好ましいのはいうまでもない。したがってエンジンの寿命の問題もあるが非常用であることを考え、できるだけ回転数は高くとり、エンジン、発電機とも小形化することにより機関室を小さく、建設費を安くすべきである。

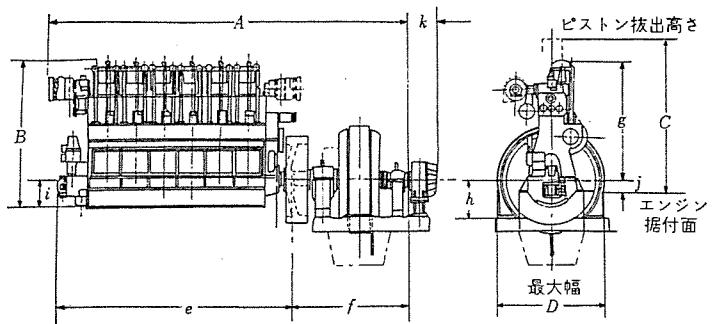
最近はかなり大容量のものまで安定した寿命を持つ高速ディーゼルが製作され、当社でも 1,333 kVA (1,200 kW), 4 極, 1,800 rpm のものまで製作した実績がある。

一方自動車工業の発展とともに中、小容量の高速ディーゼルエンジンも小形、かつ高性能のものが完成されており、最近の例でも中、小容量は大半が高速のものである。

発電機容量別にみた最もよく用いられる回転数を表 2.7 に示す。図 2.7 はエンジンメーカーと共同設計のうえ製作し、ダイヤパワーと称しているものである。

仕様は、25/20 kVA, 220/210 V, 3 φ, 1,800/1,500 rpm, 60/50 c/s, 4 極で、共通台床の上にエンジン、発電機はもちろん、励磁装置その他発電装置として必要なものすべてをコンパクトにまとめてある。元来は工事現場などの移動用電源として製作されたものであるが、その操作の容易性、基礎工事の不要などの点からビルの非常用電源としても重宝がられ、さらに容量の大きな 55/45, 75/62.5, 87.5/75, 100/87.5, 140/125 kVA を現在製作中である。

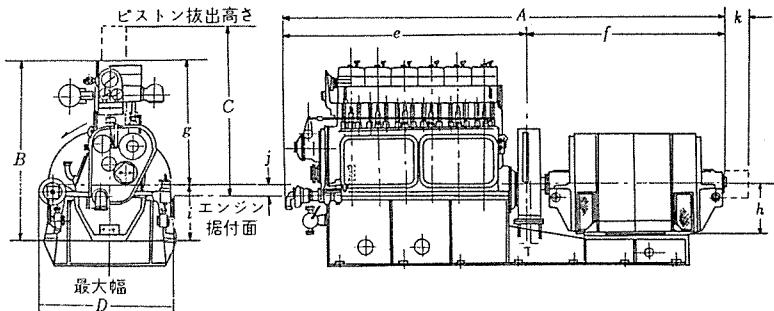
代表的な定格のものについて、その外形寸法、概略全重量を図 2.8 (a) および (b) に示す。図は両軸受、自励式の場合であるが、片軸受構造が採用できるものは、これより全長はさらに短く



(a)ペデスタル形

発電機定格出力 kVA (kW)	回転数 rpm	周波数 c/s	寸 法 (mm)									概略 全重量 kg	
			A	B	C	D	e	f	g	h	i	j	
1562.5 (1250)	720 750	60 50	7500* 7530*	1750 1750	2100 2100	2400 2400	5000 5000	2500 2530	1500 1500	450 450	250 250	28800 28500	
1250 (1000)	720 750	60 50	6330* 6380*	1750 1750	2100 2100	1940 1940	4020 4020	2310 2360	1500 1500	240 240	250 250	21800 21600	
1000 (800)	720 750	60 50	6390* 6440*	1680 1680	2160 2160	1940 1940	4200 4200	2190 2240	1440 1440	240 240	240 240	17000 16900	
875 (700)	720 750	60 50	6300* 6350*	1680 1680	2160 2160	1720 1720	4200 4200	2100 2150	1440 1440	240 240	240 240	16100 16000	
750 (600)	720 750 900 1000	60 50 60 50	5450* 5480* 5200 5240	1680 1680 2030 2030	2160 2160 1960 1960	1720 1720 3400 3200	2050 2080 1440 1530	1440 1440 240 240	240 240 500 500	240 240 280 280	14100 14100 14000 14000		
625 (500)	720 750 900 1000	60 50 60 50	5000* 5000* 5150 5200	1680 1680 1970 1970	1960 1960 1740 1740	1720 1720 3200 3200	3000 3000 1440 2000	2000 2000 1440 1470	240 240 240 200	240 240 500 500	12500 12500 12400 12300		
500 (400)	900 1000 1200	60 50 60	5190 5180 3970*	1970 1970 1330	1740 1740 1445	1710 1710 1500	3200 3200 2040	1990 1980 1930	1470 1470 200	240 200 500	280 280 1100	1200 1200 1100	
437.5 (350)	900 1000 1200	60 50 60	5140 5110 4260*	1795 1795 1330	1740 1740 1445	1740 1740 1500	3200 3200 2400	1940 1910 1860	1295 1295 1295	240 240 240	500 500 280	11900 11800 10500	
375 (300)	900 1000	60 50	5110 5060	1795 1795	1740 1740	1740 1740	3200 3200	1910 1860	1295 1295	550 550	500 280	11800 11800	
312.5 (250)	900	60	4750	1800	2010	1500	2910	1840		240		260	10000

* は据付面よりの高さ



(b)ブラケット形

発電機定格出力 kVA (kW)	回転数 rpm	周波数 c/s	寸 法 (mm)									概略 全重量 kg	
			A	B	C	D	E	f	g	h	i	j	
625 (500)	1500	50	4040*	1325	1445	1500	2040	2000		200			9300
500 (400)	1500	50	3990*	1325	1445	1500	2040	1950		200			8600
437.5 (350)	1500	50	3810*	1325	1445	1500	2040	1770		440			7900
375 (300)	1500	50	3510	1620			1200	1780	1730	1060	440	560	150 7400
312.5 (250)	1000 1500	50 50	4640 3450	1795 1590	1775	1215	2910	1730	1305	440	490	260	8000
	900 1000 1200	60 50 60	1795 1795 1330	1775 1775 1460	1215 1215 1050	1780 1780 1780	2710 1670 1670	1650 1305 1305	440 440 440	490 490 390	260 260 150	6800	
	250 (200)	900 1000 1200 1500	60 50 60 50	1795 1795 1590 1460	1775 1775 1590 1450	1215 1215 1200 1050	2910 2910 1610 1610	1670 1305 1060 1060	440 440 440 440	490 490 530 390	260 260 150 150	7800 7800 6500 6700	
	187.5 (150)	900 1000 1200 1500	60 50 60 50	4340 4405 331.5 331.5	1630 1630 1450 1250	1775 1775 1050 1000	2710 2710 1780 1680	1140 1140 1535 1635	440 440 440 440	490 490 390 355	260 260 150 50	7300 6900 5000 4800	
	156.25 (125)	900 1000 1200 1500	60 50 60 50	3985 3985 3075 3215	1630 1630 1540 1250	1775 1775 995 1000	2450 2450 1540 1680	1535 1140 1535 1535	440 440 440 440	490 490 450 355	260 260 260 50	6000 6000 4600 4100	
	125 (100)	900 1000 1200 1500	60 50 60 50	3665 3665 3115 3215	1630 1630 1250 1115	1775 1775 1000 920	2130 2130 1680 1680	1535 1140 1435 1535	440 440 440 440	490 490 355 355	260 260 50 50	5100 5100 4000 4000	

* は据付面よりの高さ

図 2.8 全外形寸法および概略重量
Fig. 2.8 Outline dimension and approx weight.

なる。

2.4.4 電圧

電圧は発電機単独で決まるべきものではなく、受電設備によって決定される場合がほとんどである。標準電圧としては 110, 220, 440, 3,300 および 6,600 V がある。元来ビル内の配電電圧としては 220 V また大容量の場合には 3,300 V が採用されたが近年一般配電系統の昇圧により 6,600 V もふえている。

また 220 V の倍電圧である 440 V あるいは三相 4 線式として二重定格にした 420/243 V なども多くなりつつある。これは従来の 200 V 級では普通誘導電動機は 40 kW 以下であったものが、400 V 級を採用すると 150~200 kW 程度まで製作可能となるからであり、一方制御器類では 200 V 級でも 400 V 級でも 600 V 定格のものが使われるため、同一容量の場合には 400 V 級の方が電流が半減し、電流定格の一段低いものが使用でき、価格が 60~80% となるからである。

発電機単独で考えるならこれを経済的に製作するには次のように容量に対して適当な電圧がある。

100 kV 未満 220 A または 440 V

100 kVA~250 kVA 220 V, 440 V または 3,300 V

250 kVA 以上 3,300 V

110 V はごく一部小容量のものに限られ、また 6,600 V は実際には 100 kVA 程度以上から用いられてはいるが、ビルなどに収められる出力の範囲では程度の差こそあれ、あまり経済的ではない。

というのは絶縁厚さは定格電圧から決定されるものであるから、容量が小さくなり、機械の寸法が小さくなるにしたがって、コイルの内、絶縁の占める割合は次第に増え、極端な場合、細い導体の回りを厚い絶縁材で包むかたちになり、導体の占積率が低下するのみならず、コイルは機械的にも非常に弱いものになってしまふ。

しかし、6,600 V の採用により変圧器の省略、シヤ断器容量の低減などが可能なこともあり、この電圧を採用する場合には他の機器との関連を十分に検討する必要がある。

2.4.5 絶縁種別

従来は A 種絶縁が圧倒的に多かったが、最近は B 種絶縁もかなり用いられた。

耐湿性の面からいえば、A 種が B 種に劣るようなことはない。B 種絶縁は無機材料を多く使用しているだけに高価ではあるが、それだけ発電機を小型化でき、全体の価格は大差ないであろう。

B 種絶縁を用いて機械を小型化すれば、効率が A 種のものに比べてやや悪くなることはまぬ

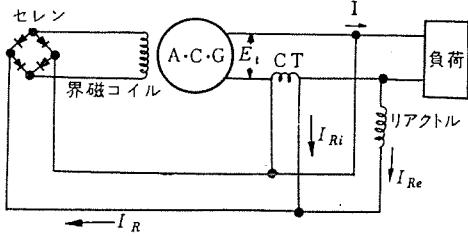


図 2.9 AVR なし自励交流発電機の簡略結線
Fig. 2.9 Skelton connection-diagram of self-excited AC generator without AVR.

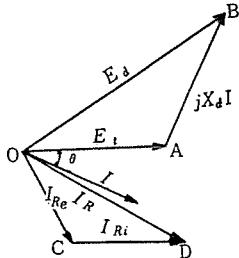


図 2.10 AVR なし自励交流発電機
のベクトル
Fig. 2.10 Vector of self-excited AC generator without AVR.

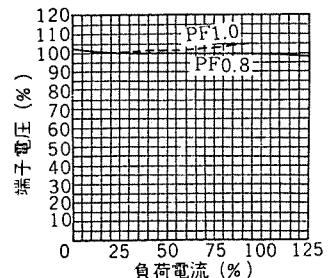


図 2.11 自励交流発電機 (AVR
なし) 外部特性
Fig. 2.11 External characteristic of self-excited AC generator without AVR

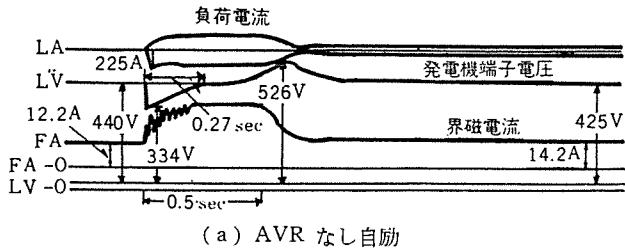
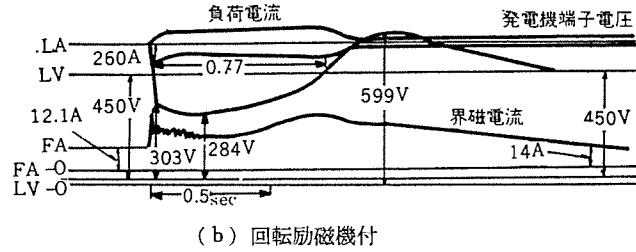


図 2.12 42 HP カゴ形誘導電動機 ジカ入レ起動試験
Fig. 2.12 Line start of 42 HP induction motor test.



(b) 回転励磁機付
Fig. 2.12 Line start of 42 HP induction motor test.

がれないが、非常用として考えれば問題になるほどではなく、据付面積が縮小するだけB種の方が有利であるともいえよう。

6,600 V 級、または大容量機や、とくに耐湿、耐药品性を要するものは、先述の ダイヤレジン を用いたB種 ダイヤラスチック 絶縁が最適である。

2.4.6 励磁方式

励磁方式には大きく分けて回転励磁機による他励式と自らの発生電力を整流器よって直流に変えて励磁する自励式とがあるが、現在では、ほとんどすべて自励式が採用されており、当社でもこれを標準としている。

自励式は2.3節にも示されているように電圧変動が小さいなど多くの特長を持っており、まとめて列挙すると次のとおり。

(1) 瞬時電圧降下および上昇率が回転励磁機付のものに比べ、きわめて小さい。

(2) 負荷変動時の端子電圧の回復がすみやかである。

(3) 励磁部分には、整流子や、回転部がなく保守点検が容易である上、回転励磁機特有の電波障害が少ない。

(4) 発電機据付面積が少なくてすむ。

これらの特長があるため、乾式整流器の信頼性の向上とあいまって一般化してきた。

自励式は回路も多種多様であるが、基本的にはAVR付とAVRなしの2種類になる。図2.9, 2.10はAVRを用いない方式の簡単な説明であるが、これからもわかるように自励式は本質的にそれ自身電圧を一定に保つ機能を有しているため図2.11のことくAVRを用いない方式でも外部特性はきわめて良好で、全負荷と無負荷の間でも電圧変動は±3%以内に収まる。またAVRなしの方式は回路数が少ないだけ瞬時電圧降下もより小さく、その回復もとくに速い。(0.3~0.5秒以内)

自励式でAVRを用いた方式が必要なのは次のような場合である。

(a) 漸変電圧変動率がさらに小さな高精度(±1.5以内)を必要とするとき。

(b) 異容量発電機、あるいは商用電源と並列運転を行なうとき。

(c) エンジンの回転数変動がとくに大きいとき。

(d) 負荷の力率が大きく変わるととき。

実際は非常用発電機では負荷の種類も一定しており、また他系統との並列運転を行なうこともなく、かつ端子電圧の変動も±3%以内であれば十分な場合が多く、この時にはAVRなし、自励式が最適である。一方過渡特性があまり問題にならない場合には、回転励磁機付きのものもなお用いられており、もちろん当社も、この指定があった場合には短納期の内に製作納入している。

図2.12は42HPカゴ形誘導電動機をジカ入レ起動した場合の過渡特性を自励式(AVRなし)と回転励磁機付についてオシロで比較しており、自励式がいかにすぐれているかがよくわかる。なおこの試験では最大電圧降下の値が割合に大きいが、これは過渡リアクタンス X_d' =34.5%と標準のものよりかなり大きな値に設計された発電機を使ったためである。

これら各項目の最近の傾向は表1.1を参照願いたい。

2.5 不平衡負荷

発電線容量が比較的小さく、一方電灯あるいは小容量の電動機など単相を電源としている負荷が多い場合は不平衡負荷が問題になることがある。

突極形同期機に不平衡電源が流れた場合、その逆相分によって界磁回路には偶数次高調波電流が流れ、電機子回路には奇数次高調波を誘起してその電圧波形をゆがませ、さらに磁極表面にウズ電流を誘起してこれを過熱する。波形を乱すことは、忍ぶとしても磁極の過熱は事故をひきおこすことがある。

逆相電流の限度であるが、これが大電流で、かつ、秒のオーダーであるような短時間の場合(たとえば線間短絡など)については、逆相電流と許容時間との関係は確立されているが⁽³⁾、ビル用発電機で実際に問題になるのは連続許容逆相電流である。

この許容電流は回転子構造、すなわち磁極がソリッドか、成層か、ダンパー巻線の有無、クランプの方式などで大幅に異なったものとな

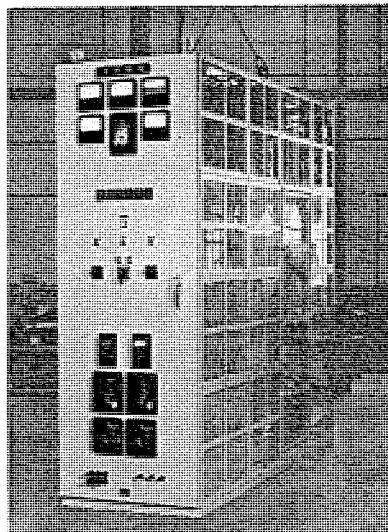


図 3.1 開放自立形配電盤
(保護カバー付)

Fig. 3.1 Open type self supporting panel.

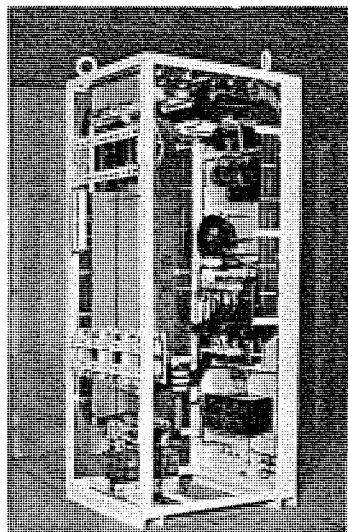
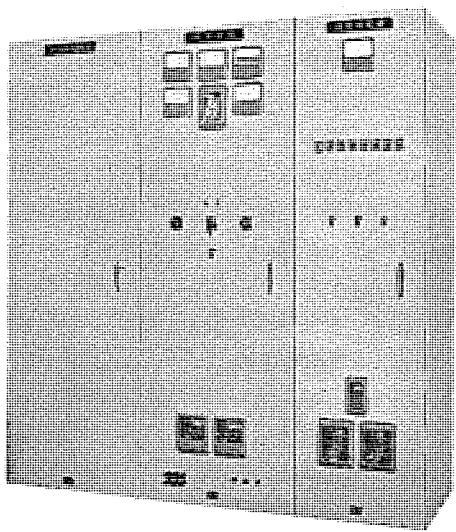


図 3.2 開放自立形配電盤(裏面)
Fig. 3.2 Open type self supporting panel.



左より静止励磁機盤、発電機盤、自動起動盤

図 3.3 閉鎖形配電盤

Fig. 3.3 Enclosed type switchboards.

表 3.1 配電盤標準寸法

形 式	寸 法 (mm)			お も な 用 途
	高 さ	幅	奥 行	
自立形開閉器開放	2,300	800	1,200	高圧発電機盤 (シャンク器 25 MVA 以下) および高圧用静止励磁器盤
	"	2,300	800	1,500 同上 (シャンク器 25 MVA 以上) 同上
"	2,300	600	1,200 および 1,500	高圧盤と連絡となる自動起動盤
	"	1,900	600	1,200 低圧発電機盤 (励磁装置、自動起動装置組込) 高圧発電機盤および静止励磁器盤 (奥行寸法はとくに 決定せず)
壁支持形開放	2,300	800	※	高圧発電機盤および静止励磁器盤 (奥行寸法はとくに 決定せず)
	"	2,300	800	※ 同上と連絡にある自動起動盤

表 3.2 發電機盤標準取付器具

り、一義的な正確な算式は確立されていない。これについて当所では ダイヤパワー DU-25 形発電機 (25 kVA, 60 c/s, 220 V, 4 P) を用いて試験した結果、逆相分が定格電流の 22% になる不平衡負荷をかけたとき、磁極表面の温度上昇は 51°C であった。

しかし上記の理由により、この結果だけから構造の異なる他の機械を類推することは危険である。

一般には定格電流の 15~25%までの逆相電流は連続的に許容されるといわれているが、いずれにしても単相負荷は発電機各相にでききやさしくさせるようにすべきことはもちろんである。

3. 配電盤

発生した電気を監視し、安全に負荷に供給し、さらにエンジンの制御と監視を行なうよう配電盤を設けるのが常であるが、予備電源の容量、関連する受電設備、据付のスペース、運転員の常駐あるいは無人などの状況によって配電盤の形式、構造は決められる。

3.1 構造と寸法

構造を大別すると (1) 開放形 (2) 自立閉鎖形 (キューピカル 形) とに分けることができる。いずれも表面は高級仕上鋼板による デットフロント 形であって、十分安全について留意される。

3.1.1 開放形

開放形はさらに アングルフレーム による自立形と パイプフレーム による垂直壁支持形があるが、主として高圧用では パイプフレーム 壁支持形とさらに計器用変成器、シャーレー断器などを単独に据え付けるようすれば、据え付けの スペース を有効に利用でき、その上さらに保守や点検に便利となり、経済的にも有利であるが、据え付けの際、器具配置を十分考慮しないと、安全性を欠く恐れがある。低圧盤では、アングルフレーム による自立形が主に使用される。低圧では使用する器具も小さく、また相間、器具間 スペース も大きくする必要がないため、この形式ではコンパクト になり、据え付けも容易になる。開放自立形で、側面、裏面などに鋼板カバー を設け、

安全性を増すこともある。

3.1.2 閉鎖自立形(キューピクル)

高圧、低圧の別なく使用される形式で、最も安全である。この形式では、前面をトピラ式とし裏面を取はずし可能なカバーとするのが標準になっているが、裏面もトピラ式とすることもある。閉鎖形では内部点検を行なうには、前後面の2方向から行なわなければならぬため、盤後側には少なくとも500mmのスペースを必要とし、したがって据付面積も開放形に比べ多くなる。

開放形、閉鎖形の標準寸法を表3.1に示す。

3.2 配電盤の種類

配電盤は用途によって次のようにわけられる。

3.2.1 発電機盤

発電電源を保護、監視するもので標準取付器具を表3.2に示す。

3.2.2 静止励磁機盤

自励式発電機の励磁装置を収納したもので回転励磁機の時には不要となる。この盤は低圧の場合には発電機盤内に装置を組み込み一つの盤として製作しないのが普通であるが高圧では、発電機盤と同一寸法、同一形式の盤とし、通常発電機盤と連盤として設置される。

3.2.3 自動起動盤

非常用として設置されるディーゼル発電設備では、商用停電時に自動起動させことがある。このための継電器類やエンジン保護装置を設けたものであるが、低圧機では、発電機盤にこれらの器具を組み込み、据付スペースおよびコストの低減を行なっている。

3.3 起動装置

ディーゼルエンジンは、それ自体が自力起動できないため通常、圧縮空気による空気式起動および専用バッテリを持ったセルモータによる電気式起動方法が用いられる。また操作方法によって商用受電電源が故障した場合自動的に起動させる(自動)、あるいは遠方監視室より運転員が押しボタンによって起動させる場合(押しボタン式手動)またはエンジンを直接操作して起動させる直接起動方法などがある。

3.3.1 自動起動

受電電源に電圧継電器を設け、受電電圧が低下した場合タイマリレーによって5~10秒間確認した後エンジン起動

回路に起動指令を与える。この場合電圧継電器は定格電圧の80~90%で吸引、50~60%電圧で落下するようヒステレス特性を持たせるのが望ましい。これは一般の電灯、電動機は90%以上の電

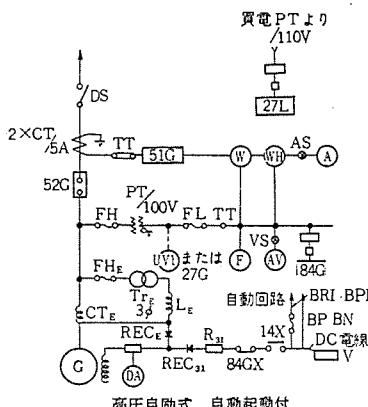


図3.5 発電機盤単線結線図
Fig. 3.5 Skelton diagram of generator panel.

圧で十分使用できるものであり、また商用電源電圧が60~80%に連続降下することはほとんどなく、継電器の誤動作を防ぐためにも上記の値が望ましいわけである。特殊なものとして周波数継電器を設け周波数の異常変動時にも予備電源を起動させることもあるが、ビルなどの一般電源用としてはほとんど使用されない。

エンジンを自動起動させた場合、発電機電圧確立によってシャン断器も自動投入することもあるが、必ず受電側シャン断器をトリップさせた後投入する様にしなければならない。さらに両シャン断器は同時投入防止のインターロック回路を設けることが望ましい。

予備電源運転中に受電電源が回復した場合、負荷を自動的に受電側に切り替えエンジンを停止することもある(全自动方式)が、エレベータなどを要するビルにおいてはこの方法は好ましくなく、受電回復による電源切り替えは、予告した後切り替えを行ない、エンジンも数分間の無負荷運転を行なった後停止することが、機器の保守の点からも最良の方法であろう。このように起動時のみ自動で行ない、停止を手動で行なう方法を前述全自动に対し半自动と一般に呼んでいる。予備電源設備が小さく、運転員が當時駐在していないような場合には全自动方式とすることも考えられる。

高圧自励式発電機の自動運転の場合の单線結線図を図3.5に示す。

3.3.2 エンジン制御

エンジンの起動、停止の方法は各エンジンの形式によって異なるがセルモータ起動式の一例を示すと、図3.6のようになる。自動起動の場合は受電停電の確認の时限を経たタイマリレーの接点でまた手動押しボタン起動の場合には押しボタン接点により起動の指令が発せられるとただちに予熱を始め、一定时间後(20秒)セルモータを運転しエンジンは回転を始め、付属の燃料ポンプにより燃料がシリンダ内に噴射されるため、これに着火し、始めてエンジンは自力で加速する。着火の状態は通常低速度リレー(15~30%回転で動作)で検出し、起動回路をすべて消済し、予熱およびセルモータを停止する。しかし周囲温度が低い場合などはセルモータ運転時に着火しないことがあります。このような時は電池の消耗を防ぐため一定時間後(15秒)いったんセルモータを停止し、約15秒間休止の後、再起動する。このような反覆起動は通常2~3回程度行な

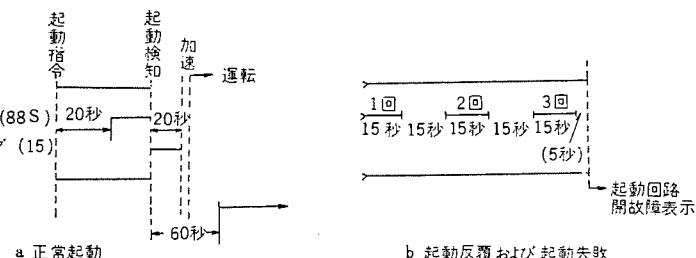


図3.6 機関起動 タイムスケジュール (セルモータ起動)
Fig. 3.6 Engine starting time schedule.

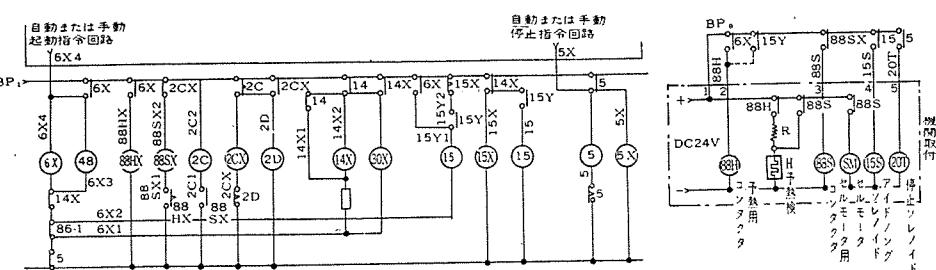
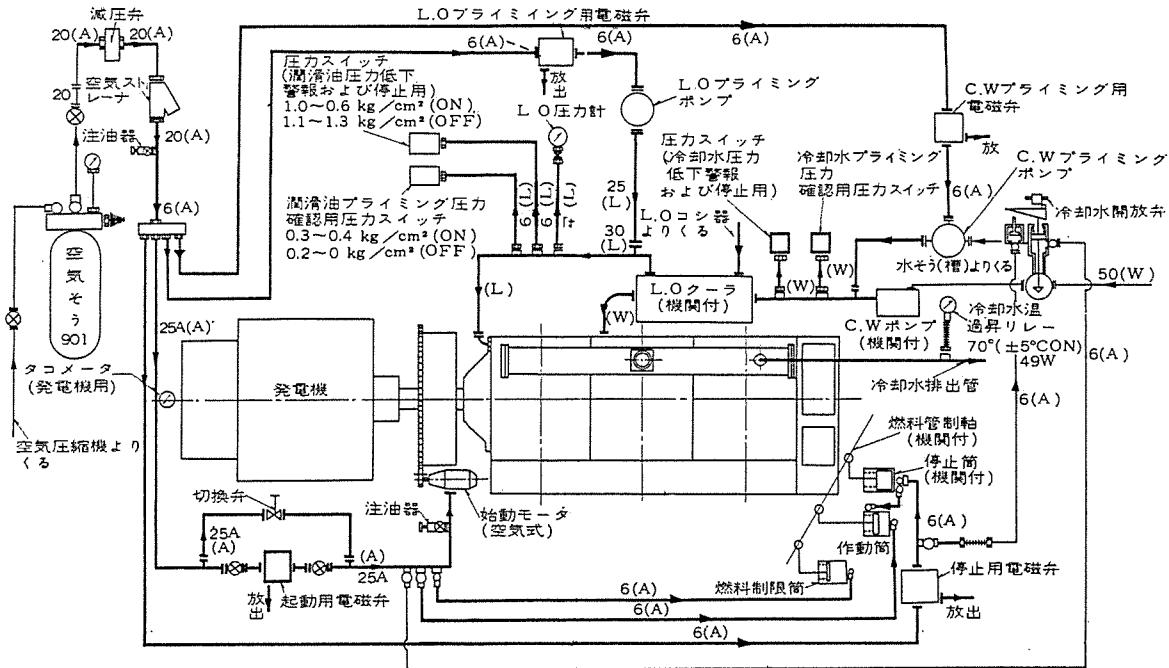


図3.7 機関起動回路展開接続図
Fig. 3.7 Connection diagram of engine starting circuit.



〔備考〕(1) 矢印上に記入の数字は管内径を示す。 (2) 図中 (A) は起動空気管 (L) は潤滑油管 (W) は冷却水管を示す。 (3) 使用電源は DC 24 V.

図 3.8 機関配管系統図 (空気起動)

Fig. 3.8 Engine piping system diagram.

い、この間にエンジン着火しない時は、(反覆回数によることがあるが、普通は起動指令と同時にタイマリレーを付勢し、時限によって)“起動失敗”的故障表示を行ない、起動を停止する。すなわち2~3回セルモータの運転を行なえば、エンジン自体の温度も着火可能な状態に達するものであり、着火しないのは、なんらかの故障によると考えられる。以上のことと接続図で示すと図3.7のようになる。空気式起動ではこのような反覆起動は行なわない。一度空気を噴射し休止した後、次の噴射の際は前回より空気圧力は低下し、起動条件としては悪くなるためである。セルモータ起動では、前述のような予熱を行なわず、プライミング、すなわち起動指令と同時にセルモータを運転し、この時約10~15秒間燃料噴射を停止してエンジンを空転させ潤滑油を十分に各所に満たした後、燃料噴射を行ない、エンジンを起動する方法もある。予熱式エンジンで自動起動を行なう場合、停電と同時に予熱を開始し、起動指令によってただちにセルモータを運転し、受電電源停電より予備電源確立までの無電源状態時間を短縮するようにした例もあるが、一般には停電より2~5秒間の確認時間を経て起動指令を発し前述のようなスケジュールによって起動を行なっている。

機関関係付属機器としては大別すれば、燃料油系統・潤滑油系統・冷却水系統・電気式起動の場合電気系統または空気式の場合の空気系統などを要するが各エンジンメーカーにより若干の違いがあるので細部は省略し、参考用として空気式起動によるエンジン回り配管系統図を図3.8に示す。とくに冷却水系統は水源の状態や、水槽と機関の関係位置など各建築物によって条件が異なってくるため、計画当初に十分検討を行なわなければならない。

3.3.3 バッテリ電源

予備電源として設置されるディーゼル機関を運転させるには、バッテリによるDC電源の操作、制御しなければならないが、DC電源電圧としては、100~110Vが最も広く用いられている。24V電源も用いられることもあるが、100Vに比べ、4倍の電流値を要するため、制御所間ケーブルが長距離となった場合、線路の

電圧降下が無視できなくなることもあり、また100Vでは、表示灯用ランプなど一般の交流100V用器具と共用でき好都合なことが多い。しかしセルモータ起動ではモータ定格DC24Vのものが最も多く、容量も大きくなるため(機関出力によって異なるが10~40%を要する)また、予熱式ではさらに大容量の電源を要するため、機関専用のバッテリを設ける。このため機関制御用としてこの電源を用いることができるが、起動時、セルモータおよび予熱電流による電源電圧低下のため各種繼電器が誤動作しないよう考慮をする。小容量低圧用ではエンジンバッテリと制御用の共用もさしつかえないが、高圧発電機用ではシャンク断器操作などDC100Vの電磁式操作が一般に用いられているため、制御用として、100V電源、エンジン起動用(セルモータおよび予熱用)として専用24Vバッテリを設けるのが最も理想的な方法であろう。

バッテリ容量は高圧用シャンク断器の投入時など大電流を要し、その値もシャンク容量によって異なるが通電時も短く、セルモータや予熱などのエンジン関係を除けば他は補助繼電器や表示灯などに要するのみで、発電機容量に関係なく、48AH以上であれば支障をきたすことはない。

3.4 故障表示と保護

予備電源を自動運転する場合はもちろんのこと、直接手動操作を行なうものについても発電機および機関の保護を行ない、故障表示するのが最近の傾向である。

3.4.1 表示器

故障内容の表示を行なうものに表示灯式による場合とターゲット式による場合があるが、現在ではターゲットによるものが多く、当社では二重ターゲット式DA形故障表示器を用いることを標準としている。外観および接続を図3.9、3.10に示すが、これは故障発生により白色ターゲットで表示し、同時に内蔵補助リレー(F)が動作しベルまたはブザーを鳴らし警報を発さらに他のリレーを動作させ起動回路などをロックさせることもできる。表示器が動作した時は、付属のリセットボタンでリセットするが、故障継続中

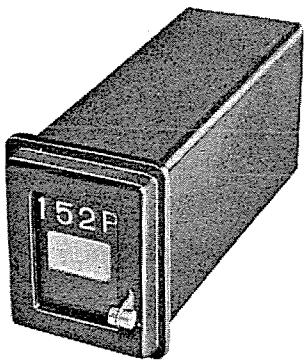


図 3.9 DA 形故障表示器
Fig. 3.9 Type DA fault indicator.

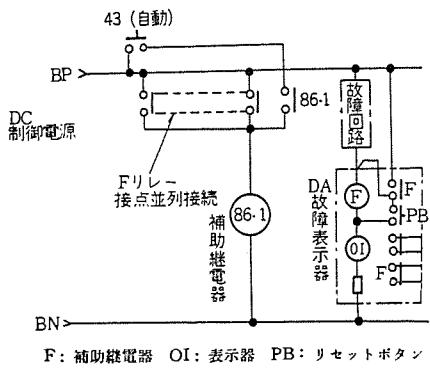


図 3.10 保護回路
Fig. 3.10 Protective circuit.

表 3.3 故障警報

故障状態	検出接点	記号	保護機能	シャットダウン	ベル
1 液面油圧低下	油圧スイッチ(0.5 kg/cm ²)	63Q	○	○	○
2 冷却水断水	流水リレー	69W	○	○	○
3 冷却水温度上昇	湿度スイッチ(80°C)	49W	○	○	○
4 起動失敗	タイムリレー	48	○	○	○
5 過速度	速度リレー(110%)	12	○	○	○
6 過電流	過電流リレーまたは NFB	51	○	○	○
7 燃料油不足	フロートスイッチ	33Q			○

であればターゲットは黄色に変わり故障回復によりターゲットも自動リセットする。

3.4.2 保護回路

一般に設けられる保護装置を表3.3に示しているが、空気式起動ではさらに“空気圧低下”を設ける。これは燃料油面低下と同様、機関の故障ではないが、不意の停電時に不起動とならないよう

うにするために重要である。以上の他に大容量機(1,000 kVA以上)では発電機軸受温度上昇を警報した例もあるがあまり一般的でない。自励式発電機では不要であるが回転励磁機の場合には過電圧の保護を行なう必要がある。回転励磁機では、電圧調整器(自動または手動)としては抵抗器が用いられるため、この抵抗が短絡される危険性があり、発電機は異常高電圧となり非常に危険な状態となる。この場合は界磁回路をショットする方法もあるが当社では、励磁機界磁回路に抵抗をそう入し(弱め界磁抵抗)故障表示を行なうようにしている。この時エンジンは停止する。

過電圧继電器としては、誘導形など反応特性的ものが望ましく125%電圧で動作するようにする。自励式発電機では、リアクトルと変流器の定数によって発電機電圧が決まるため、この値より高くなることがなく、したがって過電圧保護は設ける必要がない。

故障によって機関を停止させる場合引はずしリレーによる例が多いが、自動起動条件が満足されている状態で引はずしリレーをリセットするとただちに起動開始する危険があるため、当社では独自の自己保持方式を採用している。これは一度故障により機関停止した場合、再起動は必ず手動とする。すなわち自動一手動切換スイッチの自動回路を通して故障リレー(第86-1)は自己保持し、起動回路を開路する様にしたもので、切換スイッチを手動にすればリセットされる。

4. むすび

以上予備電源用としてのディーゼル発電設備について記載したが予備であるとともに非常用としての特殊性および経済的見地からも、建築物の様式、受電系統との関連、さらに負荷の重要性、運転員の状態など、計画時点において十分検討され、形式や取扱器具など取扱選択されるべきである。また長期間の休止により、不意の停電時に支障のない様常時における保守点検も重要なことである。

参考文献

- (1) 甲斐：「三菱電機」32, 928 (昭33)
- (2) E. L. Harder, R. C. Cheek: TAIEE 15, 310 (1944)
- (3) P. L. Alger: TAIEE 72, 394 (1953)
- (4) 杉山、町野：「三菱電機」32, 1288 (昭33)
- (5) 篠崎：「三菱電機」28, 240 (昭29)
- (6) 日本電設工業会：自家用予備発電設備の指針 (昭31)

ビル冷房用誘導電動機の回転子形式と起動方式の選定に関する一考察

衛 藤 護*・中 野 久 夫*

Consideration on the Selection of types of Rotors and Starting Method for Air Conditioning Induction Motors

Nagasaki Works Mamoru ETŌ・Hisao NAKANO

For induction motors driving turbo-refrigerators of air conditioners in buildings is used in general a starting system for the purpose of suppressing the starting current so as to prevent voltage drop during the starting. The most typical example of the systems is a method of the rheostatic start of wound rotor type motors. However, this method involves considerably high prices as compared with the line start of squirrel cage type motors. Then it is rather less important investment to use the wound rotor type motor except where the voltage drop evidently gives ill effect to the system. From this viewpoint, study has been made on the circuit and loading condition of buildings to make possible the most appropriate selection of the type of rotors and starting method for air conditioning motors.

1. まえがき

現在ビル冷房に盛んに使用されているターボ冷凍機は速度制御を行なうわけではなく、起動トルクも大して必要とせず、また慣性モーメントも大きくないので、その駆動用電動機を巻線形にしてこれを二次抵抗起動しているビルが圧倒的に多い。その理由は、起動電流を抑制して起動時の電圧降下を制限しようとするだけのために、もしこの起動時電圧降下の問題さえなければ、カゴ形誘導電動機を使用して極端な場合にはこれをジカ入れ起動してもよいはずである。

しかるに実状は、各ビルごとにその電気設備に対して電圧降下の影響を十分に検討のうえ、やむをえず巻線形を選定している場合よりも、従来からの慣習に従って、あるいは検討資料が不十分不明確なために安全を期して巻線形を採用している場合も多いと聞いている。したがって本当に巻線形にする必要があるかという疑問が関係者の間で持たれているビルが多いものと想像され、とくに系統電力の大きい場所ではこの疑問は一層大きいであろう。

さらに最近の密閉形ターボ冷凍機の進出はカゴ形誘導電動機使用の気運を高め、ビル冷房用誘導電動機の回転子形式および起動方法に対する従来の慣習を起動時電圧降下の点から再検討すべき必要を生じた。

しかし、この検討のためには単にビル電気設備の単線結線図とインピーダンス・マップを知るだけでは不十分で、実際の負荷状況や各電気設備の諸特性などの関連条件をも調べ、総合的見地から起動電流の許容限度を決定しなければならない。

以下はこれから関連条件の実態を約20のビルについて調査した結果に基づいて、ビル冷房用誘導電動機の回転子形式と起動方式を受電方式ごとに考察したものである。

この問題は、ビルの回路条件や負荷状況によって起動時電圧降下とその許容限度が異なるために一般的な結論を導くのは困難であるが、われわれが本文で企図したのは結論を導くことではなくむしろ問題の提起である。その点をご了解のうえ関係者各位のご意見をお聞かせいただければ幸甚である。

2. ビルの受配電方式

ビル内の電気設備を大別すると

(a) 冷凍機のように比較的大容量電動機を使用する動力設備で一般には400V以上の高圧を使用するもの（以下高圧動力と呼ぶ）

(b) 空調設備、衛生排水設備、エレベータ、エスカレータのように、中小容量電動機で、低圧200Vあるいは高圧400V級を使用する動力設備（以下ではこれを一応低圧動力設備と呼ぶ）

(c) 電灯照明、通信機械、事務計算機、コンセントなど100V級あるいは200V級の電圧を使用する設備（以下電灯照明設備と呼ぶ）

に分けられる。ビルの受電電圧、各設備の使用電圧、容量割合、あるいは受電設備の事故時にいかに給電を確保するかの考え方により上記各設備への受電方式は異なるが、現在のビルで行なわれている受電方式を概略的に分類すれば図2.1(a)～(b)のようになる。もちろん一般には受電回路、変電設備、各設備のキ電回路は複数個の場合が多いが、図ではこれを省略して一つで代表させている。

図2.1(a)は受電電圧が3kVあるいは6kVの中小ビルに見られる方式で、高圧動力は直接受電電圧の3kV級6kV級を使用し低圧動力、電灯照明はそれぞれ降圧変圧器により得た低圧を使用する方式である。

図2.1(b)、(c)は20kV級の特別高圧で受電している大ビルで最も多く見られる方式で、ビル全設備に共通の受電変圧器を設けて特高電圧を一旦400V級あるいは3kV級の高圧に降圧して各設備に供給する方式で、高圧動力、低圧動力を400V級に統一した場合が図2.1(b)であり、高圧動力電圧を3kV級とし、低圧動力を400V級あるいは200V級としたのが図2.1(c)である。

図2.1(d)は各設備ごとに専用の変圧器を設けて、特高受電電圧からそれぞれの設備の使用電圧に降圧する方式で大ビルでときどき見られる方式である。この方式の場合高圧動力と低圧動力とは400V級に統一し、両設備の400V母線間に連絡シヤ断器を

*長崎製作所

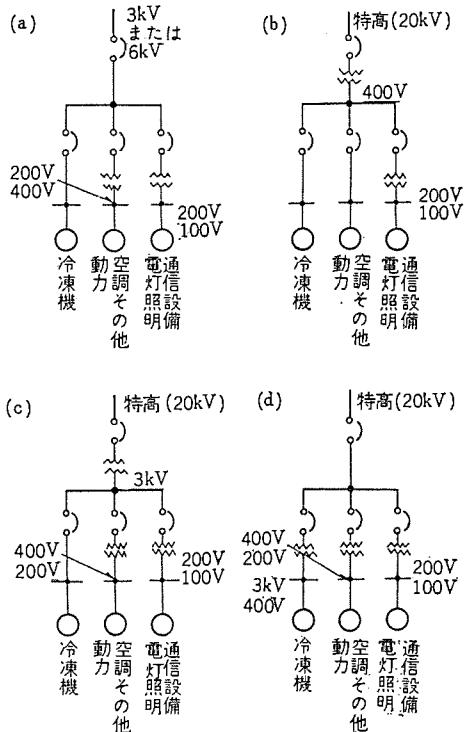


図 2.1 ビルの受配電方式
Fig. 2.1 Receiving and distribution systems of buildings.

設け電源設備の事故時でも各設備への給電を確保するように考慮される場合が多い。

3. 回転子形式と起動特性

誘導電動機の回転子構造には巻線形とカゴ形との2種類ある。

このうち、カゴ形は図3.1に示すように回転子全周のミジに裸線の導体バーを打ち込み、その両端をエンドリングでロー付けしたもので、構造が簡単がんじょうであり、価格も安価で取り扱いも容易である。しかし、その反面、起動電流が非常に大きい（ジカ入れ起動する際には一般に定格電流の400~650%程度の起動電流が流れる）ことや、速度制御ができないことなどの欠点を有しております。またGD²の大きい負荷を起動する際には起動中の発熱によって回転子バーやエンドリングが過熱される懸念もある。

これに対して巻線形は図3.2に示すように回転子ミジの中に絶縁処理されたコイルを納め、その巻線端をスリップリングを通して外部に導き出すので、カゴ形に比べて構造が複雑で工作手数も増し、外形寸法や重量も大きくなり、価格も高くまた取り扱いも多少めんどうである。しかしスリップリングを介してその回転子巻線に外部抵抗を自由に接続できるため、起動時に回転子側に発生する熱損失もそのほとんどが外部抵抗内で消費されるので電動機が過熱される心配はなく、また速度制御および起動特性の面でもカゴ形の及ばぬ長所を持つ。

その理由は、誘導電動機においてその回転子抵抗を増加させる場合には図3.3、3.4に図示するようにトルク、電流が同一となるスペリはその抵抗値に比例して移動する性質があるので、この性質を利用すると速度制御が可能となり、また起動時には大きな外部抵抗をそう入して起動電流を小さくし、しかも起動トルクを大きくすることができるからである。すなわち巻線形のように回転子巻線の外部そう入抵抗を自由に加減できる構造は、カゴ形のように回転子巻線が電動機内部で短絡されていて回転子抵抗の加

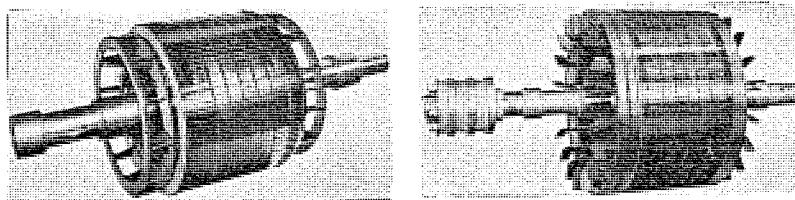
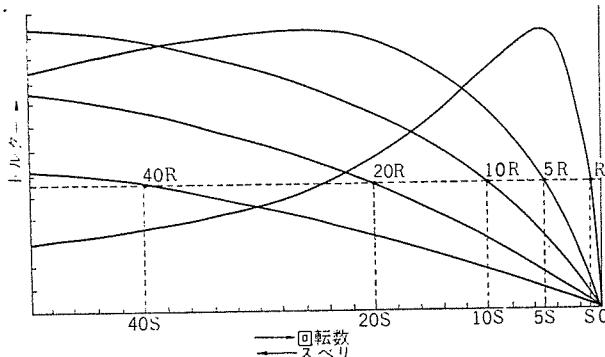
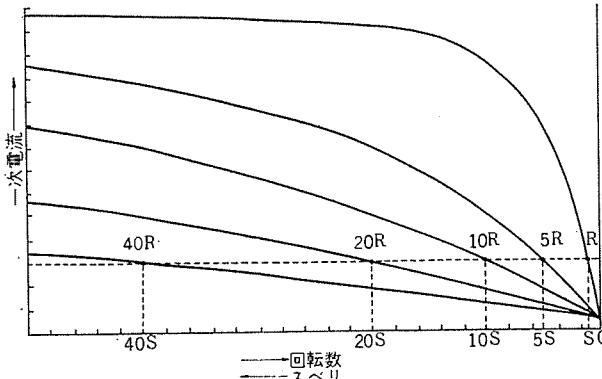


図 3.1 カゴ形回転子
Fig. 3.1 Squirrel-cage rotor.

図 3.2 巷線形回転子
Fig. 3.2 Wound rotor.



—回転数 —スペリ



—回転数 —スペリ

—回転数 —スペリ

減ができない構造に比べると、速度制御および起動制御の面ですぐれているわけである。

図3.5、3.6は、この巻線形の起動特性をさらに詳しく図示したもので、図から明らかなように外部抵抗の値やノッチ数を適当に選ぶことによって、起動電流をある範囲に抑えながら十分に大きな加速トルクで運転速度まで起動することができる。

ところでビル冷房に使用されている最近のターボ冷凍機は速度制御を行なうわけではなく、起動トルクも15~30%程度しか必要とせず、またGD²も非常に小さい。それにもかかわらず、その駆動用誘導電動機に巻線形を採用しているビルが圧倒的に多いが、その理由は起動電流を制限して電圧降下の悪影響を防止しようとする目的だけのためである。したがって、この起動電流を抑制する必要さえなければ巻線形とすべき理由はなに一つないわけで、カゴ形電動機を次に述べるような方法で減圧起動させても（極端な場合にはジカ入れ起動させても）よいのである。

4. カゴ形誘導電動機の起動法

カゴ形誘導電動機の起動方式としては全電圧起動法と、減圧起動法がある。減圧起動方式としては一般にスターデルタ起動、リクトル起動、単巻変圧器起動の3方式が採用されている。

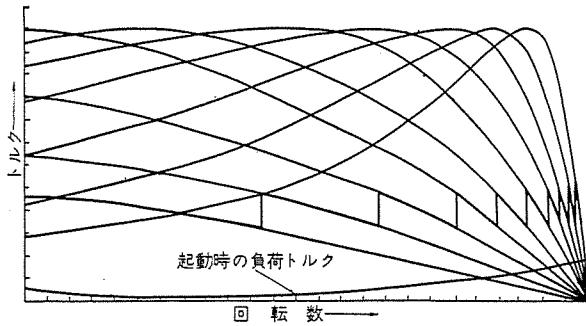


図 3.5 卷線形誘導電動機二次抵抗起動時のトルク特性
Fig. 3.5 Torque characteristic curves at secondary resistance start of wound rotor type induction motor.

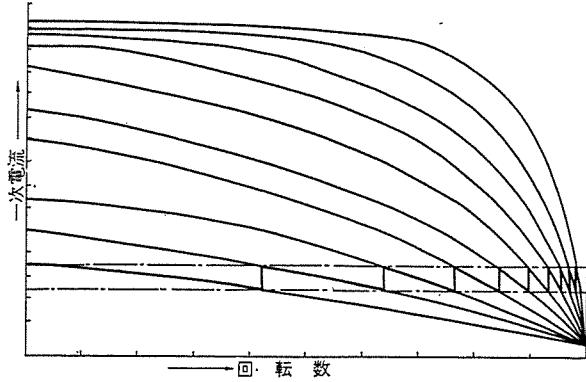


図 3.6 卷線形誘導電動機二次抵抗起動時の電流特性
Fig. 3.6 Current characteristic curves at secondary resistance start of wound rotor type induction motor.

4.1 全電圧起動

図4.1(a) のように電動機に全電圧を印加して起動する方式でも最も簡単で経済的な方式であるが、先に述べたように起動時に定格電流の4.0~6.5倍の突入電流が流れるので、電動機容量に比べ電源容量が大きく電圧降下の心配のない場合は使用できるが、電源容量が小さい場所では以下に述べる減圧起動法を採用する場合が多い。

4.2 スターデルタ起動

図4.1(b) のように電動機固定子巻線端子として6個設け、起動時はR開、S閉とし電動機固定子巻線をスター接続とし、電動機が全速付近に加速された後、S開、R閉としてデルタ接続に切り換える起動方式で、全電圧起動方式に比べ起動電流は $1/3$ に低下するが起動トルクも $1/3$ に低下する。

4.3 リアクトル起動

図4.1(c) のように起動時はRを開としリアクトルを介して電動機に電圧を印加して起動し、全速付近に加速されたときRを開じ電動機に全電圧を印加するよう切り換えて起動する方式でリアクトルでの吸收電圧(降下電圧)を電源電圧の $\alpha\%$ とすれば、全電圧起動に対し起動電流は $(100-\alpha)\%$ となるが起動トルクは $(100-\alpha)^2/100\%$ となり、起動電流の低下の割合に比し起動トルクの低下の割合が大きい。

4.4 単巻変圧器起動

図4.1(d) のように起動時はS閉、R開とし単巻変圧器で降圧した電圧を電動機に加えて起動し、全速付近に加速後 S開 R閉として電動機に全電圧を加えるような起動方式で、単巻変圧器二次タップ電圧を一次電圧の $\beta\%$ とすれば、全電圧起動に対し起動電流(電源に対する)、起動トルクはともに $\beta^2/100\%$ に低下する。

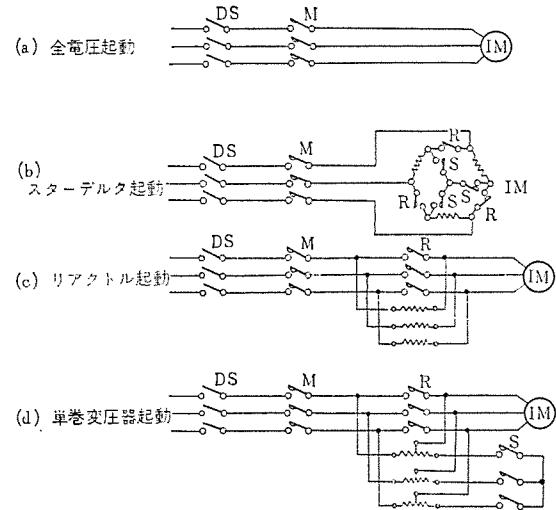


図 4.1 カゴ形電動機各種起動方式
Fig. 4.1 Various starting methods of squirrel cage rotor type motor.

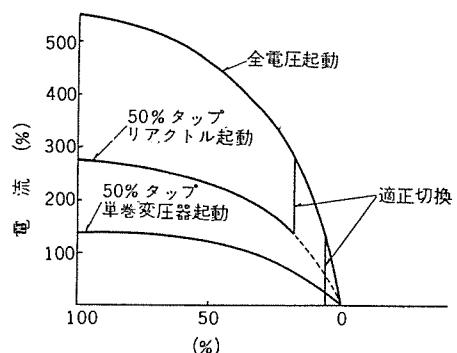


図 4.2 減圧起動時の電流変化
Fig. 4.2 Change of current during reduced voltage start.

表 4.1 各起動方式における起動電流と起動トルク

起動方式	起動電流 (定格電流に対する%)	起動トルク (定格トルクに対する%)
全電圧起動	550	100
スターデルタ起動	182	33
リアクトル起動	吸 タップ 電 圧 50% 35'' 20''	275
	275	25
	358	42
	440	64
単巻変圧器起動	変 タ 器 50'' 65'' 80''	138
	138	25
	231	42
	353	64

上記3とおりの減圧起動方式を比較すると、コストの面では一般的には全電圧起動に比べ、開閉器2個の追加ですむスターデルタ起動が最も安価で、次いでリアクトルと開閉器各1個の追加でよい、リアクトル起動となり、単巻変圧器と開閉器2個を必要とする単巻変圧器起動が最も高価となる。一方、起動効率(起動電流と起動トルクの割合)の点では単巻変圧器起動、スターデルタ起動が同一でリアクトル起動はこれに比べ劣る。しかしスターデルタ起動では起動電流、起動トルクの減少比は $1/3$ に限定されるが他の2方式ではタップにより任意に選定できる。またスターデルタ起動では電動機の端子は6個必要で高圧電動機には不向きであるなど各方式にはそれぞれ長短があるので、いずれの方式を採用するかは負荷の所要、起動トルク、許容起動電流、経済性を考慮して決定しなければならない。表4.1に電動機起動トルクが定格トルクの100%，起動電流が定格電流の550%とする場合の各起動方式での起動トルク、起動電流の定格値に対する%値を示す。また図4.2に各起動方式での起動電流-速度特性の一例を示す。

5. 電圧変動率

カゴ形誘導電動機を組み入れ起動する際には電源容量が小さい系統では相当の電圧低下を生じ、その系統に接続されている電動機や制御器に悪影響を及ぼす。

この電圧低下の様相は、電動機が交流発電機につながれているときと変圧器につながっているときではその性質が相違する。なぜならば、交流発電機では自動電圧調整器を一般には付属しており、その自動調整作用によって電流が減少しなくとも1~2秒内に定常電圧に復帰するのに対し、変圧器では起動電流が流れている間は電圧が低下したままで、起動完了して電流が減少するまで電圧は定常値に回復しない。このために起動電流が電圧低下に与える影響は電動機が変圧器につながっている場合に顕著に現われ、また、ビルの主要電気設備はすべて変圧器を介して受電しているから、以下では変圧器の電圧低下を述べる。

変圧器の電圧低下 $\varepsilon(\%)$ は

$$\varepsilon = [mq_r + nq_x + \{(mq_x - nq_r)^2 / 200\}]I \quad (5.1)$$

m : 負荷の力率 ($\cos \phi$)

n : 負荷のリアクタンス率 ($\sin \phi$)

q_r : 変圧器の%抵抗

q_x : 変圧器の%リアクタンス

I : 変圧器の負荷率

で表わされるが、実用上は第3項を省略して

$$\varepsilon = (mq_r + nq_x)I \quad (5.2)$$

として十分である。

変圧器に初負荷がある場合や数台の電動機を同時に起動する場合には、各負荷電流ベクトルの間には

$$mI = \sum_i^4 m_i I_i \quad (5.3)$$

(全電流の有効分) (各電流の有効分の総和)

$$nI = \sum_i^4 n_i I_i \quad (5.4)$$

(全電流の無効分) (各電流の無効分の総和)

の関係があるから、式(5.2)は

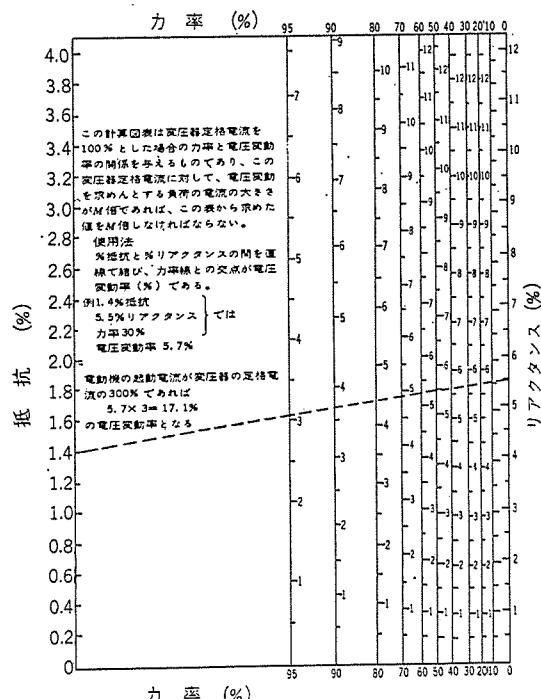


図 5.1 変圧器電圧変動率計算図表

Fig. 5.1 Calculation diagram of transformer voltage regulation.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum_{i=1}^4 (m_i q_r + n_i q_x) I_i \\ &= \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i \end{aligned} \quad (5.5)$$

m_i : i 番目の負荷の力率

n_i : i 番目の負荷のリアクタンス率

I_i : 変圧器の定格電流に対する i 番目の負荷電流の割合

ε_i : i 番目の負荷による電圧変動率

となる。すなわち1台の変圧器に多数の負荷がつながっている場合には、各負荷による電圧変動率をそれぞれ求めてそれらを加えれば全負荷による電圧変動率となる。

図5.1は変圧器に定格電流が流れたときの式(5.2)の計算図表で、この図表を用いれば、負荷電流の力率や変圧器の%抵抗%リアクタンスが与えられると、電圧変動率を簡単に求めることができる。

6. 電圧降下の許容値

電圧降下の許容値を決定する要素としては規格から制約を受けるものと特性上から制約を受けるものがある。

ビル関係で使用する電気設備に対して規格が指定する電圧変動範囲は表6.1のとおりである。しかし、この値は運転あるいは動作可能なる電圧の範囲を定め、製品が満足すべき品質水準の最小値を与えるものであり、電圧降下が持続しても満足しなければならないものであるが、カゴ形電動機の起動時の突入電流による電圧降下のような一時的電圧降下の許容値を規定するものではない。ここで問題とする電圧降下の許容値はこの一時的な短時間の電圧降下の場合についてであり、これは機器の特性上の諸条件も考慮し決定する必要がある。

6.1 電動機

ビルで使用する電動機はほとんどが誘導電動機であるが、誘導電動機では規格により最大トルク175%以上と規定されており、20%の一時的電圧降下があっても最大トルクは $175 \times 0.8^2 = 112\%$ を有するので電動機は停動することはない。すなわち電動機に対しては20%の電圧降下は許される。

6.2 電磁開閉器、シャン断器

電磁開閉器、シャン断器類の吸引電圧、投入電圧は定格電圧の85%以下であり、落下電圧、引はずし電圧はすでにこれより下まわるから電圧降下15%までならばその作動にはなんら支障をきたさない。

6.3 電灯照明器具

ケイ光灯では放電開始に必要な最低電圧があるが、電灯点灯時と冷房開始が時間的に重なることはほとんどないから、電灯照明に対して電圧降下が問題となるのは照度の低下およびチラツキである。ケイ光灯、白熱電球の電圧変動に対する光束変動は大体表6.2のような関係にある。また肉眼によるチラツキに対してもケイ

表 6.1 電圧降下の許容値

機器名	規格	許容電圧変動
高圧三相誘導電動機	JEC 37 JIS C 4202	使用電圧±10%で異常のないこと
低圧三相誘導電動機	JIS C 4201 4203	定格電圧±10%で異常のないこと
家庭用電機器 電気冷蔵庫 天井扇 扇風機	JIS C 9600	定格電圧±10%で異常のないこと
交流電磁開閉器 操作回路	JIS C 8325	定格電圧の85~110%で支障なく操作できること
交流シャン断器 操作回路電圧 交流配電盤	JEC 145 JEM 1097	定格電圧の85~110%で支障なく操作できること
ケイ光放電灯用安定器	C 8108	始動電圧100Vのときは±6% 200V " ±10%でも 放電開始電圧以上の電圧を生ずること

表 6.2 電圧変動に対する照度変動

電圧(%)	照度 (%)			
	100	90	80	70
ケイ光灯	100	87	74	35
白熱電灯	100	66	42	25

光灯のほうが白熱電灯よりチラツキが少なくケイ光灯の電圧降下の10%ときのチラツキが白熱電灯の3%のときのチラツキに相当する。

照度の低下とチラツキが人間に与える不快感のように生理的心理的要因が関係するものは、電動機や電磁開閉器に対するように物理的検討だけでは不十分であり、電動機の起動ひん度にも関係するため照明器具に対する許容値は簡単には決定できないが

ケイ光灯に対しては 20%程度

白熱電灯に対しては 10%程度

の電圧降下が許容されるのではないかと考える。

7. 関連条件の実態調査結果

今までに説明した事項がビル冷房用電動機の起動時における電圧降下とその影響を検討するために必要な基本的事項であり、これら基本的事項を考慮して、誘導電動機の回転子形式や起動方式を選定すればよい。

しかしながら、その場合にビル電気設備の回路条件や負荷状況などが関連するので、各ビルごとにこれら関連条件を調べて総合的な見地から検討しなければならない。

そこで、これら関連条件の実態を掌握する目的で、東北から九州にわたる約20のビルの実態調査を行なった。その調査結果を中心にして、ビル冷房用誘導電動機の起動時電圧降下を検討する際に考慮すべき関連条件の実態を以下に報告する。

7.1 ビルの使用電力と設備容量

ビルに使用される電力(動力)の用途別分類は、次のようになる。

- 空気調和用(冷暖房用)
- 給排水衛生用(ポンプ機類)
- エレベータ用
- 事務機械用
- 通信機械用
- 電灯照明用

このうち、事務機械用、通信機械用電力は、ビルの性格、用途によって著しく変動するので一概に定めにくいが、ビル使用全電力に対して占める割合は低く、さらに特殊な電源を付属する場合が多いので、電圧降下の検討においては除外して考えてもよい。

空気調和用、給排水衛生用、エレベータ用、電灯照明用電力は近代的ビルでは次のとおり。

(1) 近代的ビルでは延面積1坪あたり大体360ワット程度の電力設備を持つ。

(2) この電力設備のうち、空気調和用設備が一番大きな比率を占め、ビル全設備の約45%を占める。

(3) 電灯照明用設備が2番目に大きな比率を占め、ビル全設備の25~30%程度を占める。

(4) エレベータ用電力は、ビル人口や階数により相当大幅に変動するが、せいぜいビル全設備の10%程度の比率に過ぎない。

(5) 給排水衛生用電力は、ビルの規模が小さくなるにしたがってその占める比率は相対的に大きくなるが、せいぜい10%程度である。

7.2 冷凍機用電力の占める割合

ビル電力設備の中で最も大きな比率を占める空気調和用設備のうち、冷凍機用設備の占める割合は約60%に達し、ビル全電力設備に対しては約30%の設備容量となる。

7.3 ビル電力設備の需要率と負荷率

最近のビルの電気設備容量の大体の傾向は前述のとおりであるが、これらの設備容量に対して実際にどの程度の電力がビルで使用されているかを考える場合には、さらに需要率(最大需要電力を設備電力で割った百分率)や負荷率(ある期間中における平均負荷を最大負荷で割った百分率)を考慮しなければならない。

このうち、負荷率はすべての負荷において一般的に50~60%程度といわれており、需要率は東京地区の16のビルに調査した平均値が表7.1のような値となることが報告されている。

表 7.1 ビルの需要率

夏				冬		
電 灯	動 力	冷 函	総 合	電 灯	動 力	総 合
63%	48%	63%	51%	69%	37%	44%

このようにビルの電力設備はその使用電力に対してかなりの余裕を残している。

7.4 ビルで使用される電力の力率

ビルで使用される電力の力率は、式(5.2)で与えられる電圧降下の計算に必要である。

われわれが調査した結果によればビル受電端で測定したビル使用全電力の総合力率は次のとおり。

(1) 夏期の使用電力最大時には92~98%，使用電力最小時には97~100%である。

(2) 冬期の使用電力最大時には96~100%，使用電力最小時には97~100%である。

このようにビルで使用される電力の力率は非常に高いが、その原因は力率改善用コンデンサを設置しているからで、受電容量1kVAあたり約0.2kVAのコンデンサが一般に設備されている。

これは電力会社との契約条件において

(a) 力率85%以上は力率1%につき電力料金1%値引き
(b) 力率85%以下は力率1%につき電力料金1%値増しの取りきめがあるため、初期投資設備費用が高くなつても運転コストのほうでむしろ得策になるからであると考えられる。

7.5 ビル用変圧器の%抵抗と%リアクタンス

変圧器の%抵抗と%リアクタンスは定格電圧と容量によって異なるが、ビルに設置される範囲の三相高圧変圧器では表7.2に示すような値となる。

ところでビルのように使用電力の力率が非常に高い場合には式(5.2)で与えられる電圧変動率は%抵抗のみに関係するようになる。しかるにこの%抵抗は表7.2に示すように%リアクタンスよりもはるかに小さいから電圧変動率も小さくなる。すなわちビルでは定常負荷による電圧降下を実用上無視してもよい。

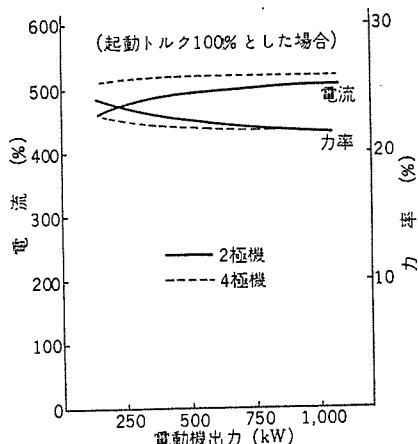
7.6 変圧器容量と電力設備容量との関係

7.4節で示したようにビルで使用される電力の力率は100%に近い値であるからkVAとkWとは同一視しても大差はない。したがって変圧器容量(kVA)と電力設備容量(kW)との相対関係を知れば、その値は変圧器容量の余裕を示すことになる。

これに関するわれわれの調査結果では高圧動力用、低圧動力用、電灯用とも変圧器は約20%程度の余裕を持っていることが明らかとなつた。したがって、これら各電力設備に100%の負荷がかか

表 7.2 ビル用変圧器の q_r と q_x

変圧器 (kVA)	定格 電圧 (kV)	q_r (%)			q_x (%)		
		6	11~12	33	6	11~22	33
500	2.0	2.0	1.6	4.5	5.5	5.5	
1,000	1.5	1.5	1.4	5.0	5.5	5.5	
3,000	1.3	1.2	1.0	5.5	5.5	5.5	

図 7.1 起動電流の値と力率
Fig. 7.1 Values and power factors of starting current.

っている状態でも変圧器からみた需要率は約 80 %に過ぎず、変圧器の % インピーダンスによる電圧降下を計算する際には、この点を考慮しておかねばならない。

7.7 受電電圧の変動

実際の受電電圧が負荷状況の変動によって定格電圧の上下に変動する場合には、この変動を考慮に入れて起動時の電圧降下の許容値を決定する必要がある。

この受電電圧の変動を調査した結果は次のとおり

(1) 受電電圧は定格電圧に対して年間を通じて 106~95 % の範囲で変動する。

(2) 季節的、時間的には、受電電圧が最高になるのは 1~2 月の夜間であり、最低になるのは 7~8 月の正午前後である。

(3) ビル林立区域ではこの受電電圧の降下は大きい。

(4) したがって冷凍機用電動機を使用する夏期において、とくにビルが林立している系統では受電電圧が定格電圧の 95 % 程度になっているものと考えねばならず、その分だけ起動時電圧降下の許容値が実質的に狭められたものと考える必要がある。

7.8 高速度カゴ形誘導電動機の起動電流と力率

ビル冷房用ターボ冷凍機の駆動用として使用される 2 極 4 極の高速度カゴ形誘導電動機の起動電流とその力率は、起動トルクをいくらか設計するかで異なるけれども、これを 100 % 程度に設計した場合には図 7.1 に示す程度の値となる。

このようにカゴ形電動機の起動電流はその値が大きいばかりでなく力率も悪いために、式 (5.2) で与えられる電圧降下は両者の相乗作用によっていっそう大きく現われることになる。

8. 電動機の回転子形式と起動方式についての検討

ビル動力設備中、空調、衛生排水設備などの低圧動力用の中小容量電動機はカゴ形誘導電動機としジカ入れ起動を行なっても、全電気設備に対する電動機起動 kVA の占める割合は小さく、その採用はまったく問題ないので、ここではビル動力設備中最大容量を占める冷凍機用電動機としてカゴ形誘導電動機を採用できるか、またその起動方式としていかなる方式を採用すればよいかを、今まで述べた調査検討資料をもとに考察してみる。この問題は電機機起動時の突入電流による電圧降下が他の電気設備にどのような影響を与えるかで決まる訳であるが、これは前記 2 項で

述べた各受電方式により多少様子が異なるので、以下各受電方式について電動機の回転子形式とその起動方式について検討する。

8.1 直接引込方式の場合

図 2.1(a) のような受配電方式の場合で冷凍機用電動機は受電用シヤ断器、運転用開閉器を通して直接受電電源に接続される。

したがってこの方式では冷凍機用電動機をジカ入れ起動した場合のビル受電端での電圧変動を検討すればよく、この場合の電圧変動はビル受電端から見た線路インピーダンスと負荷状況で決まる。ビル受電端から見た電源側の % インピーダンスは各ビルごとに異なるが、普通は受電容量をベースとして 2 % 以下のようである。

前述のようにビル各電気設備の受電容量に対する割合と需要率は前述のように下記のとおりであるから

$$\begin{aligned} \text{冷凍機用} & 30\% (65\%) \quad (\text{内需要率}) \\ \text{空調動力(冷凍機を除く)その他} & 40\% (50\%) \\ \text{電灯照明} & 30\% (65\%) \end{aligned}$$

冷凍機用電動機をジカ入れ起動した場合の起動電流を 600 % とすれば、その電動機 1 台の起動 kVA の受電容量に対する割合と線路インピーダンスによる起動前後の電圧変動率は下記となる。

$$\text{ジカ入れ起動時の所要 kVA} = 30\% \times 6.0 = 180\% \quad \begin{smallmatrix} (\text{受電容量に対する冷凍機用}) \\ (\text{電動機容量の割合}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 6.0 \\ (\text{起動電流}) \end{smallmatrix}$$

$$\text{"} \quad \text{の電圧変動率} = 2.0\% \times 1.8 = 3.6\% \quad \begin{smallmatrix} (\text{線路インピーダンス}) \\ (\text{起動電流}) \end{smallmatrix}$$

$$\text{単巻変圧器起動時の所要 kVA} = 30\% \times 6.3 \times 0.65^2 = 76\% \quad \begin{smallmatrix} (\text{受電容量に対する冷凍機用}) \\ (\text{電動機容量の割合}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 6.3 \times 0.65^2 \\ (\text{起動電流}) \end{smallmatrix}$$

$$\text{"} \quad \text{の電圧変動率} = 2.0\% \times 0.76 = 15\% \quad \begin{smallmatrix} (\text{線路インピーダンス}) \\ (\text{起動電流}) \end{smallmatrix}$$

電動機起動前における初負荷の受電容量に対する割合と電圧変動率は負荷率 100 % とすれば

$$\text{初負荷 kVA} = 40\% \times 0.5 + 30\% \times 0.65 = 40\% \quad \begin{smallmatrix} (\text{受電容量に対する空}) \\ (\text{調動力その他の割合}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 0.5 \\ (\text{電灯照明の割合}) \end{smallmatrix}$$

$$\text{"} \quad \text{による電圧変動率} = 2.0\% \times 0.4 = 0.8\% \quad \begin{smallmatrix} (\text{線路インピーダンス}) \\ (\text{初負荷 kVA}) \end{smallmatrix}$$

となる。また電源系統の負荷変動による受電電圧自体の変動はビル林立区域でも高々 5 % 程度である。したがってビル受電端での電圧変動は式 (5.5) からジカ入れ起動時では

$$3.6 + 0.8 + 5.0 = 9.4\% \quad \begin{smallmatrix} 3.6 \\ (\text{冷凍機用電動機起動}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 0.8 \\ (\text{初負荷による}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 5.0 \\ (\text{電圧変動}) \end{smallmatrix}$$

$$\text{単巻変圧器起動では } 1.5 + 0.4 + 5.0 = 6.9\% \quad \begin{smallmatrix} 1.5 \\ (\text{同上}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 0.4 \\ (\text{同上}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 5.0 \\ (\text{同上}) \end{smallmatrix}$$

である。図 8.1 に電動機容量((kW)/電源変圧器容量(kVA))に対する変圧器電圧変動率の値を各種起動方式に対して示している。今低圧動力負荷での最大電動機容量を低圧動力用変圧器の 10 % とすればこの電動機をジカ入れ起動した場合の電圧変動率は図から 4.4 % と求められる。したがって冷凍機電動機の起動とともに低圧動力の最大電動機が起動したという最悪条件での低圧動力用変圧器二次での電圧変動率は冷凍機用電動機が

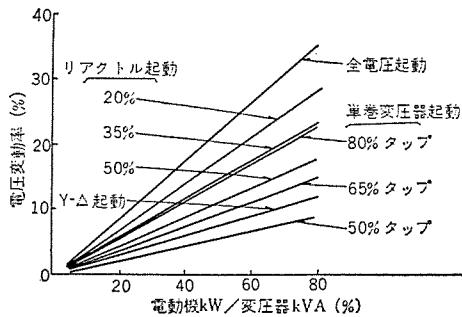
$$\text{ジカ入れ起動の場合で } 9.4 + 4.4 = 13.8\% \quad \begin{smallmatrix} 9.4 \\ (\text{受電端における}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 4.4 \\ (\text{最大低圧容量機起動}) \end{smallmatrix}$$

$$\text{単巻変圧器起動で } 6.9 + 4.4 = 11.3\% \quad \begin{smallmatrix} 6.9 \\ (\text{同上}) \end{smallmatrix} \quad \begin{smallmatrix} 4.4 \\ (\text{同上}) \end{smallmatrix}$$

程度となる。すでに 6 章の電圧変動の許容値のところで検討したように受電端での電圧変動、動力変圧器二次での電圧変動が上記の程度であればさほど問題となるほどのこともなく、しかも上記の値は負荷率 100 % とした最悪状態での値であるから冷凍機用電動機にカゴ形回転子を採用しジカ入れ起動してもかまわないと考えられる。

8.2 受電変圧器方式の場合

これは図 2.1(b), (c) のような受配電方式の場合で受電端での電圧変動は 8.1 節の直接引込方式と同一であるが、この場合は受



ただし電動機の $\eta \times \cos \phi = 0.8$ 全電圧起動電流 = 600 %, 起動力率 = 0.2, 変圧器の % リアクタンス = 5.5 %, % 抵抗 = 2 % とする

図 8.1 電動機 kW/変圧器 kVA と電圧変動率
Fig. 8.1 Motor kW/transformer kVA and voltage regulation.

電端での電圧変動の他に受電変圧器自体のインピーダンスによる電圧変動が加算され電灯用変圧器、低圧動力用変圧器は受電変圧器の二次側に接続されているため、この加算された電圧が問題となる。一般に受電変圧器から電灯用変圧器、低圧動力用変圧器に至る線路長は大して長くなく、変圧器内部インピーダンスに比べれば無視できる。前述のように変圧器の % リアクタンス、% 抵抗は普通最大 5.5 %, 2.0 %, 程度であり、負荷力率は 0.95 程度であり、変圧器容量はビル全設備容量の 120 % 程度である。したがって冷凍機用電動機起動前の初負荷の変圧器容量に対する割合は負荷率 100 % の最悪状態で $(40 \times 0.5 + 30 \times 0.65) / 1.2 = 33\%$ である。力率 95 % での負荷率 100 % での電圧変動率は図 5.1 から 3.7 % であるので

$$\text{初負荷による電圧変動率} = 3.7 \times 0.33 = 1.2\%$$

冷凍機用電動機の起動 kVA の受電用変圧器への割合は

$$\text{ジカ入れ起動} = 30 \times 6.0 / 1.2 = 150\%$$

$$\text{単巻変圧器起動 (65\%タップ)} = 30 \times 6.0 \times 0.65^2 / 1.2 = 63\%$$

電圧変動率は起動力率 0.2 として 100 % 負荷では図 5.1 から 5.8 % と求められるから電圧変動率は

$$\text{ジカ入れ起動} = 5.8 \times 1.50 = 8.7\%$$

$$\text{単巻変圧器起動} = 5.8 \times 0.63 = 3.7\%$$

受電電圧変動および低圧動力用変圧器二次での電圧変動は 8.1 節の直接引込の場合と同様であるので

電灯電源での電圧変動は

$$\text{ジカ入れ起動} = 9.4 + 8.7 + 1.2 = 19.3\% \\ (\text{受電端における電圧変動}) (\text{冷凍機用電動機起動時}) (\text{初負荷による電圧変動}) \\ (\text{変圧器%インピーダンスによる電圧変動})$$

$$\text{単巻変圧器起動} = 6.9 + 3.7 + 1.2 = 11.8\% \\ (\text{同上}) (\text{同上}) (\text{同上})$$

低圧動力用変圧器二次での電圧変動は

$$\text{ジカ入れ起動} = 19.3 + 4.4 = 23.7\% \\ (\text{低圧動力用変圧器受電端における電圧変動}) (\text{最大低圧容量機起動による電圧変動})$$

$$\text{単巻変圧器起動} = 11.8 + 4.4 = 16.2\% \\ (\text{同上}) (\text{同上})$$

となる。したがってこの受配電方式ではカゴ形電動機をジカ入れ起動することは問題があるが減圧起動を行なえばさしつかえない。上記の検討は冷凍機用電動機 1 台とした場合であり、冷凍機用電動機が 2 台以上で同時に起動を行なわないものとすれば電圧変動率はさらに小さくなる。

8.3 専用変圧器方式の場合

これは図 2.1 (d) のような受変電方式の場合で、この方式では冷凍機用電動機の起動による電灯照明設備への影響は 8.1 節の直接引込方式の場合とまったく同様ですでに検討しているから、ここでは冷凍機用電動機回路自身への影響のみを考えればよいことになる。

冷凍機用の専用変圧器の % リアクタンス % 抵抗をそれぞれ、5.5 %,

2.0 %, 電動機の起動電流、起動力率を 600 %, 20 % とすれば、電動機容量が変圧器容量の 80 % のときの電動機起動時の電圧変動率は図 8.1 から

ジカ入れ起動では	34.8 %
単巻変圧器起動 (65% タップ)	14.6 %

と電圧変動率は大きいが、これは電動機 1 台として計算しており他機への影響は考える必要なく、電圧降下が大きいことはそれだけ電圧を下げた起動すなわち減圧起動したことになり、専用変圧器一次に換算した電動機起動電流は直接引込方式より結果的に小さくなり、受電端での電圧変動は専用変圧器方式の方が直接引込方式より若干小さくなるのでカゴ形電動機をジカ入れ起動することは問題とならない。もちろんこの場合電動機制御装置電源は冷凍機用電動機専用変圧器二次から取らないことを前提とする。

次に冷凍機用電動機が 2 台あるとし容量は同一容量とする場合において 1 台が運転中今一つの電動機を起動する場合を考えてみる。電動機容量は変圧器容量の 40 % とし運転力率は進相コンデンサにより 95 % に改善されているとすれば運転中の電動機による電圧変動率は図 5.1 を利用して 1.5 % と求められ今一つの電動機起動時の電圧変動率図 8.1 から

ジカ入れ起動では	17.4 %
単巻変圧器起動 (65% タップ)	7.3 %

となり全電圧変動率は受電端での電圧変動分を考慮すれば

$$\text{ジカ入れ起動} = 9.4 + 1.5 + 17.4 = 28.3\% \\ (\text{受電端における電圧変動}) (\text{初負荷による電圧変動}) (\text{冷凍機用電動機起動時}) \\ (\text{専用変圧器二次電圧変動})$$

$$\text{単巻変圧器起動 (65\% タップ)} = 6.9 + 1.5 + 7.3 = 15.7\% \\ (\text{同上}) (\text{同上}) (\text{同上})$$

となる。したがってジカ入れ起動では運転中の電動機の停動が問題となるが、単巻変圧器の 65 % タップを使用すればカゴ形電動機を採用できる。

以上 3 種の受変電方式について、冷凍機用電動機としてカゴ形誘導電動機を採用した場合の起動時の電圧変動率と起動方式についての検討を試みたが、以上で取り扱った数値は変圧器の % インピーダンス 起動電流、起動力率のすべてがどちらかといえば最悪状態での値を取っているから、各ビルにおいて実際値を使用して詳細な検討を行なうならば全電圧起動あるいは簡単なリクトル起動を採用できるケースはさらに多いのではないかと考える。

9. むすび

ビル冷房用誘導電動機の回転子形式と起動方式はビルの回路条件や負荷状況によって起動電流による電圧降下の様相が異なるため各ビルごとに検討して決定すべき問題であって、一般的選定基準を与えるのはきわめて困難である。

しかしながらわれわれが調査した結果によれば、起動時のビル電圧変動を制限するだけのために電動機を巻線形にして二次抵抗起動したり、あるいはカゴ形電動機を減圧起動する必要がないにもかかわらず減圧起動装置を設置したりして、無駄な設備投資を行なっている場所がかなり多いと思われる。

これは、各ビルごとに最適方式が検討されないまま既設ビルの方式をそのまま踏襲している点にその理由の一端があるのでないかと推察するが、電力系統が大規模になり電力事情が好転した現在では当然新しい観点から再検討されるべきであろう。

ここにわれわれが提起した問題に対してビル電気設備の計画担当者が興味を示され各担当ビルに対して検討されるように希望する。

最後に、本文を発表するにあたり資料調査に協力された当社施設部および営業所の各位に対し、ここに深く謝意を表する次第である。

最近の事務所照明の傾向と技術的進歩

小堀 富次雄*

Modern Trend of Office Lighting and Technical Progress

Head Office Fujio KOBORI

Modern trend of office lighting is noticeable in its high illumination level. For these years the standard illumination level of every office room has increased from 200 lx to 500 lx. Generally speaking illumination level at every part has risen almost two fold. The high illumination level and large scale facilities have come to need high output fluorescent lamps. Luminous ceilings have become popular, too. On the other hand, a large amount of heat generated by these highly illuminant lamps poses another problem in the air conditioning and a countermeasures is being studied as an essential item. Another problem is economy in the lighting. This has also brought forth a careful selection of light sources to meet the requirements.

1. まえがき

最近の事務所照明はますます高照度の設備の傾向である。

日本工業規格 JIS Z 9110-1964 照度基準でもその改訂において一般事務室の標準照度を従来の 200 lx から 500 lx と 2.5 倍に上昇させた。しかしながら、この値は決して大きすぎるわけではなく、すでにこの数年間、新しい事務室の平均照度の設計値として採用されてきたものである。また、従来、事務所照明ではあまり採用されなかつた光り天井方式も最近では施設されるようになった。高照度施設の必然性から生まれたこの照明方式も今日ではそれほどぜいたくとも感ぜず、作業上必要と思われるようになってきた。

また、高照度施設のため光源から出る熱発生量が室内の空気調和に影響を及ぼすほどの ウエイト を占めるようになり、この傾向はますます拡大されてゆくものと考える。

本論文では以上の最近の傾向を論じ、さらに事務所の光源の種類および照明器具の優劣を判断するため照明経済の問題およびいくつかの新しい照明施設例を紹介する。

2. 高照度と光り天井方式

わが国の照明施設における光り天井方式の普及は発電所の中央操作室、配電盤室から出発し、最近では同施設はもちろん、設計製図室、一般事務室、計算機室または百貨店の売場にまで光り天井方式が進出してきた。

光り天井方式も発電所などで施設された初期においては照明材料として乳白色半透明拡散材料はほとんどメタクリル樹脂が使用された。これらの照明材料には適当なものが少なく、高価、施工および取り扱いなどに難点があり、しかも照明効率が悪いなどの悪条件のため、その普及が遅れ一般には光り天井はぜいたくとさえいわれたが最近は実用的な光り天井材料を各メーカーで完成した。硬質塩化ビニール材は照明用材料として良質でしかも安価のため、たとえば三菱 デラックスパネル⁽¹⁾ のように豪華な光り天井も普及形として広く施設されるようになった。

一方、最近の各施設の照度向上の傾向は目ざましく光源および照明技術の進歩、発展とともにますますその傾向である。事務所、工場でこの数年間に設計基準として採用される平均照度は 200 lx から 300 lx、さらに 500 lx から 700 lx へとますます高くなっている。表2.1 は日本およびイギリスの推奨照度⁽²⁾の変遷を示したも

表 2.1 推奨照度 ((lx) の変遷

場 所	1,936	1,941	1,946	1,953	1,955	1,960	1,961	1,964		
									日本	事務室
学校教室	—	150~50	—	200~100	—	300~150	~	700~300	—	300~150
一般事務	—	100~50	—	100~50	—	300~150	~	300~150	—	300~150
設計製図	500~250	—	300	—	300	—	450	—	300	—

表 2.2 事務所各場所の照度に対する意見

場 所	調査 登録 数	照 度 (lx)		面積あたり の光源容量 (W/m ²)	照明に対する意見(%)			
		平 均	範 囲		暗 さ ぎ る	満 足 し て いる	明 る さ ぎ る	
廊下	45	71.6	20~200	4.9	25.4	56.0	1.7	16.9
階段	47	42.8	10~150	4.4	23.9	61.0	—	15.3
階下踊場	47	70.9	10~300					
一般事務室	直下	48	332.1	100~600				
	中間	45	249.4	100~500	9.3	18.6	71.2	—
	すみ	46	161.3	50~300				10.2
局部	13	367.7	250~1,000	1.3	—	—	—	—
特殊事務室	直下	36	449.4	100~1,000				
	中間	35	360.2	100~800	12.3	10.2	49.1	1.7
	すみ	36	222.3	50~500				39.0
局部	18	490.0	100~1,000	4.5	—	—	—	—

のであるがとくに最近の5~10年間に各施設の照度の増加は150~200 % 増となっていることがわかる。これはわが国およびイギリスだけではなく世界各国とも同様の傾向である。

最近の事務室のように一般に低天井の場合、高照度の施設では光源の数が多くなるので照明方法がよくないとまぶしさ、明るさのムラ、正反射などの明視照明の定義に反するような悪条件によって机上の作業がしにくくなる恐れがある。

光り天井方式では光源数が多くなっても照明拡散材料の面で光が均等に拡散しまぶしくなく、柔らかな一様な輝度となって机上の作業面に到達するほか、室内全体としても明るい快適なふんい気となる。

したがって、事務所などの光り天井照明はただ単に豪華とか、ぜいたくな施設というわけではなく、作業面の照度が標準照度として精密作業または超精密作業または広範囲の補助照明を必要とする作業、事務所の設計製図、計算などの作業の必要から生まれ、採用された照明方式と考えられる。

このような高照度のすぐれた照明施設が推奨される反面、昭和36~37年に行なわれた照明学会の「ビルディング照明の実態調査⁽³⁾」の内、照度に関する項の中で表2.2のごとく、平均照度は概して

表 2.3 照度基準(日本工業規格 JIS Z 9110-1964 技革)

照度段階	場 所	作業種別
aaa		○設計 ○製図 ○タイプ ○計算 ○キーパンチ
aa	事務室、製図室、カウンタ、制御室、印刷室 電話交換室	○文書閲覧 ○電気室、機械室など の配電盤、計器盤など
a	役員室、会議室、応接室、集合室、講堂、食堂、調理室、書庫、金庫室、診療室、受付、守衛室、玄関(ホール)、廊下、洗面所、便所 エレベータホール、エレベーター、待合室、銀行客だまり	
b	喫茶室、宿直室、洗面所、浴槽、浴室、作業室、電気室、機械室、更衣室、階段、廊下、車庫、玄関(駐車場)	
c	非常階段	
d	石炭車(燃料倉庫)	

- (注) 1. この照度は主として作業面(一般には床面 85 cm, 座業のときは床面上 40 cm, 廊下、屋外などは床面または地面そのもの)における水平面照度を示すが、作業内容によっては鉛直面または傾斜面の照度を示すものもある。
 2. 付表中の○印は局部照明を併用することによってこの照度を得てもよいこの場合の全般照明の照度は、局部照明にする照度の 1/10 以上であること。

妥当な数値を示しているが相当低い照度も見受けられる。

事務室関係では均齊度に改善の余地が残っている今日でもなお電気スタンドなどの局部照明を利用しているビルも相当あり、電気スタンドによって室内平均の 140~150 % くらいの照度を得ているようない状況である。

特別事務室は細かい視作業のため、一般事務の平均照度に対して 130~140 % 位の高い照度を得ているが、照度基準の下限に近い値となっている。

照明に対する意見としては概して満足が多いが、それでも 19% くらいの人が暗すぎると訴えているのは一考を要する。

表2.3は日本工業規格 JIS Z 9110-1964 照度基準の事務所関係であるが、従来に比べてその内容の最も大きく変化したのは一般事務室の標準照度 200lx が 500lx 改正された点である。一般的な事務室の平均照度としてはこの数年間、すでに 200lx は低くすぎて多くの新しい事務室の照度としては 500lx の照度が採用されていた現状であった。

3. ケイ光灯照明による熱発生量

3.1 热発生量

以上のように事務室内の照度はますます向上する傾向である。照明による発熱量がそのまま室内に入り、室内の温度が上昇する。冬期のごとく室内に暖房を必要とする気候ならばケイ光灯などの光源による発熱量は暖房としても役に立つので効果的であるが、夏期のごとく冷房を必要とする時期にはまったく不要なものであり、照明による発熱量のすべてが室内の冷房負荷となるような照明方式では、その発熱量も冷房するため室内の空気調和装置の容量をそれだけ大きくしなければならないから、冷房系統の運転が非常に不経済なものとなる。

したがって、天井に取り付けられた照明器具から発生する熱をできるだけ天井裏で捕えて除去し、室内に入れない方法が考えられる。その方法には各方式があるが照明・空気調和の合成方式⁽⁴⁾として、照明設備と空気調和装置とを一体とした天井裏・天井面および室内の設計を建築的に行なう方式として、最近とくに関係方面で研究されている現状である。

3.2 光源別の熱発生量の割合

最近の事務所照明の傾向と技術的進歩・小堀

表 3.1 光源別の発生 エネルギー

形 式	FL-40 W 435 mA	FLR-110H-W 800 mA	F96PG17/CW 1,500 mA	L100V 150W
エネルギー比 (%)	標準形ケイ光灯 40 W 白色 2,850 lm	高出力ケイ光灯 110 W 白色 9,000 lm	超高出力ケイ光灯 グロー ケイ光灯 215W 白色 15,000 lm	白熱電球 150 W 2,700 lm
光 束	19	18	18	10
赤 外 線	31	31	42	70
伝導・対流	33	35	28	20
安 定 器 損	17	16	12	—

このように高照度の照明設備ではケイ光灯による発熱量も決して少ないものではなく大きくなり、室内の冷房負荷も従来の程度の室内照度に比較して無視できないような大きなものとなる。

一般事務室の照明光源としてはケイ光灯が大半であるがその種類も標準形ケイ光灯のほか、高出力ケイ光灯がすでに大規模・高照度の施設に普及し平均照度 500~1,000 lx の高照度も最近では珍しくなくなってきた。さらに超高出力ケイ光灯⁽⁵⁾が実用の段階に入った。これらの光源別の発生 エネルギーを分析すると表3.1のとおりである。

ケイ光灯の種類によって エネルギー比も光束は 18~19 % でほぼ一定であるが赤外線・伝導・対流および安定器損の エネルギーはそれぞれ異なるので、これらをいかに除去するかは各種の方法で検討し最も効果的に行なうべきである。

これらの光源とともに放射される エネルギーは熱に変換されるが実験によるとこれらの エネルギーが長時間、人体にあたったとき 68 W/m²⁽⁷⁾ 以上では健康上好ましくないとされている。この場合、面積あたりの エネルギー すなわち照明負荷は白熱電球の場合で 1,600 lx、標準形ケイ光灯で 8,600 lx 以上の照度に相当するわけでこの理由からもこの エネルギー が人体にあることは避けるべきであろう。

そして、65 W/m² の照明負荷は今日の アメリカ の事務室照明では珍しくなく、現状はそれ以上の値となっているが実際には普通の空気調整が実施されている場合が多いことは注意を要する。わが国でも近い将来、さらに高照度の施設ではこれらの問題が重要事項となると考えられる。

3.3 平均照度と光源の発生熱量

室内の単位面積あたりの光源の発生熱量 Q (kcal/m²h) と平均照度 E (lx) との関係は

$$Q = \frac{D \cdot b}{U \cdot \eta} E \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで D = 減光補償率

b = 安定器係数

U = 照明率

η = ランプ効率 (lm/W)

で表わせる。

事務室の床面積 18 × 36 m = 648 m²、天井の高さ $H = 2.7$ m の部屋を想定し、照明方式は直接照明、光源は高出力ケイ光ランプ FLR-110 H-W × 2 灯用 FA 形照明器具 (ランプ露出・V 形反射が付) 使用の場合について計算すると単位面積あたりの発生熱量 Q は

$E = 200$ lx のとき	$Q = 6.02$ kcal/m ² h
= 500 lx "	= 15.05 "
1,000 lx "	= 30.1 "
1,500 lx "	= 45.2 "
3,000 lx "	= 90.3 "

したがって室内の全発熱量は平均照度 3,000 lx の場合、

$90.3 \times 648 = 68,500 \text{ kcal/h}$ のような非常に大きな値となる。このように高照度の照明施設では照度の増すほど大きな熱量が室内に入ってくるため冷房負荷となるための割合は非常に大きくなる。

したがって上記の照明・空気調和の合成方式のような方法によって照明負荷を減少させなければならない。これらを減少させることによって、建物の各種経費の一部または相当部分が節約できるのである。

今後の大小の事務所ビルはもちろん、超高層ビルではますます高照度となり、室内の照明負荷の増大とともに冷暖房設備に大きく影響してくるものと考える次第である。

4. 照明経済の比較とその結果

事務所照明としてその光源の種類および照明器具の優劣を判断するための経済比較を行なった。

照明経済に使用した光源の特性と照明器具（すべて事務室用 F A形ランプ 露出形、反射がさ付V形のもの）を表4.1に示す。標準形ケイ光灯と高出力ケイ光灯のランプ入力別および灯数を選んで事務所向けのものとした。

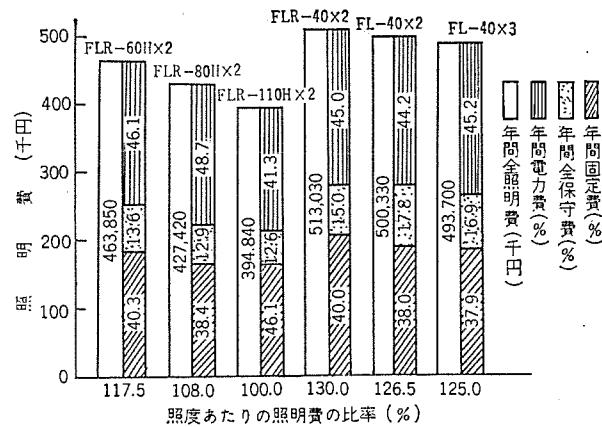
表 4.1 事務所用光源の特性と照明器具の比較

	光源の種類	高出力ケイ光灯	標準形ケイ光灯	
ランプ	光源の形状	FLR-60H-W	FLR-80H-W	FLR-110H-W
ソブ	大きさ(W)	60	80	110
ソブ	長さ(mm)	1,198	1,500	2,368
ソブ	管径(mm)	38	38	38
ソブ	口金(形状)	P-35-17 (二重オウ(凹)形)	P-35-17 (二重オウ形)	P-35-17 (二重オウ形)
ソブ	起動方式	直列逐次形	直列逐次形	直列逐次形
ソブ	管電流(A)	0.8	0.9	0.8
ソブ	全光束(4,500°K 冷白色(1m))	4,150	5,500	8,200
ソブ	ランプ効率((lm/W))	69.2	68.8	74.5
ソブ	ランプ寿命(h)	7,500	7,500	7,500
照 明 器 具	照明器具の種類	事務所用	事務所用	事務所用
照 明 器 具	照明器具の形状	FAR-602	FAR-802	FAR-1102
照 明 器 具	ランプ数/灯具	2	2	2
照 明 器 具	安定器損失(W)	22	33	33
照 明 器 具	効率(%)	90	90	90
照 明 器 具	ランプおよび安定器効率(%)	58.5	57.0	64.0
照 明 器 具	減光補償率(中)	1.4	1.4	1.4
価格	ランプ(1個)	700	900	1,300
価格	照明器具(安定器含む、ランプ別)	8,300	10,500	15,200
価格	付属品(グロースタータ1個)	—	—	—

表 4.2 事務所照明における平均照度の変化に対する照明費の比較

床面積 $18 \times 36 = 648 \text{ m}^2$ 天井の高さ 2.7 m

平均照度 (lx)	1. 光源の種類	高出力ケイ光灯			標準形ケイ光灯		
	2. 光源の形式	FLR-60H-W	FLR-80H-W	FLR-110H-W	FLR-40W	FL-40W	
	3. 灯具の形式	FAR-602	FAR-802	FAR-1102	FAR-462	FA-462	FA-453
	4. ランプ数/灯具	2	2	2	2	2	3
500	全初設備費(千円) 同上比率(%)	1,050 114.5	947 103.0	917 100.0	1,150 125.5	1,080 117.0	1,065 116.0
	年間照明費(千円/lx) 同上比率(%)	920.0 118.0	855.0 109.5	782.0 100.0	1,020.5 130.5	993.0 127.0	988.0 126.5
1,000	全初設備費(千円) 同上比率(%)	2,100 114.5	1,894 103.0	1,834 100.0	2,300 125.5	2,160 117.0	2,130 116.0
	年間照明費(千円/lx) 同上比率(%)	927.7 117.5	850.8 108.0	789.7 100.0	1,026.1 130.0	1,000.7 126.5	986.4 125.0
2,000	全初設備費(千円) 同上比率(%)	4,200 114.5	3,788 103.0	3,668 100.0	4,600 125.5	4,320 117.0	4,260 116.0
	年間照明費(千円/lx) 同上比率(%)	930.0 117.5	850.2 108.0	790.0 100.0	1,025.0 130.0	1,000.0 126.5	986.0 125.0



床面積 $18 \times 36 \text{ m}^2 = 648 \text{ m}^2$ 天井高さ 2.7 m 平均机上面照度 500 lx

図 4.1 事務所照明における経済比較
Fig. 4.1 Comparison of economy among office lighting.

経済比較の方法は単位照度あたり年間経費の比較を行ない、ランプ交換費、部品交換費、器具清掃費などの保守費も合わせて考慮した。すなわち、同一照度の下で同系統の照明方法、照明器具を使用し、机上平均水平面照度として、500, 1,000 および 2,000

lxのそれぞれの場合を想定した。

基礎設計資料としては中程度の大きさの事務室を想定し、室の床面積を $18 \times 36 \text{ m} = 648 \text{ m}^2$ (約 197 坪) とし、天井の高さ 2.7m 照明器具は天井 ジカ付とした。なお、電源関係は 200 V, 50 60 c/s とした。

計算の内容の詳細は文献 (8) を参照することとして、経済比較の結果は図 4.1 および表 4.2 のごとくである。

図 4.1 は机上水平面照明 500 lx の場合の年間固定費、年間全保守費、年間電力費、年間全照明費および照度あたりの照明率の比率を示すもので

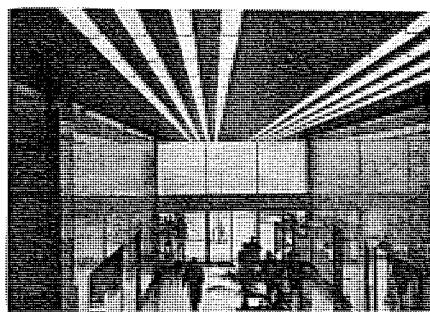
(1) 高出力ケイ光灯 FLR-110 H-W × 2 灯用照明器具が最も経済的に有利である。

(2) 次に FLR-80 H-W × 2 灯、60 FL-W × 2 灯の順で経済的である。

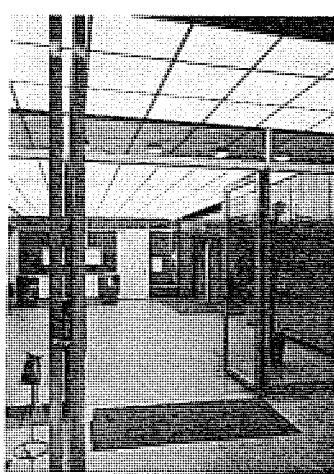
(3) 標準形ケイ光灯 FL-40 W は各ランプ入力の高出力ケイ光灯に続いている、FL-40 W × 3 灯、2 灯の順でラピッドスタート形 FLR-40 W × 2 灯がこれに続いている結果となった。

(4) 高出力ケイ光灯 FLR-80 H-W × 2 灯および 60 H-W × 2 灯では 80 H および 60 H をそれぞれ 100 % とした場合に標準形 FL-40 W × 2 灯、3 灯用ならびに FLR-40 W × 2 灯用の比率は非常に接近していることがわかった。

(5) 初設備費の比較では高出力ケイ光灯では FLR-110 H × 2 灯、80 H × 2 灯および 60 H × 2 灯の順で高価になっているが、これらを標準形ケイ光灯を使用した場合に比較すると、FL-40 W



40 W 1 灯 25 連 8 列 FY 形 600~400 lx
図 5.1 大名古屋ビル玄関ホール(名古屋)
Fig. 5.1 Great Nagoya building, entrance hall.



デラックスパネル DP-22 D×165 枚
床上 900 lx
図 5.2 木挽館玄関ホール(東京)
Fig. 5.2 Kobikikan hall.

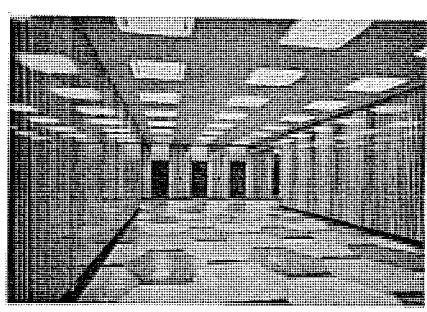


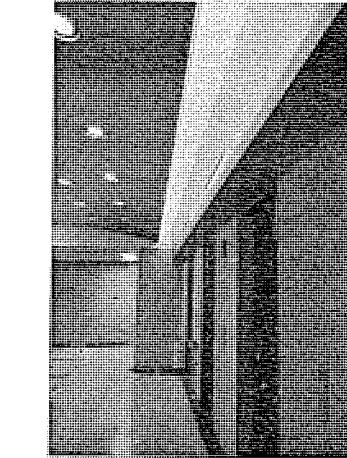
図 5.3 三菱電機ビル玄関ホール
Fig. 5.3 Mitsubishi Electric Building hall.



天井埋込形 FL-40 × 1 灯
図 5.4 三菱電機商品研究所廊下
Fig. 5.4 Mitsubishi Electric Corp., consumer products engineering laboratory corridor.



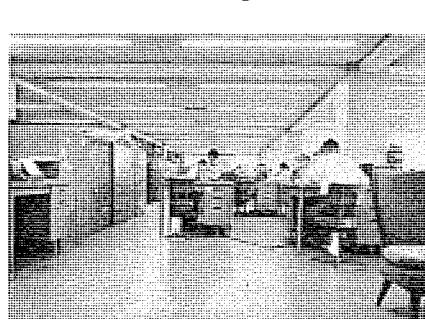
高出力ケイ光灯 110 W × 2 灯埋込形
平均照度 700 lx
図 5.5 竹中工務店東京支店設計室
Fig. 5.5 Takenaka Engineering office, Tokyo branch design room.



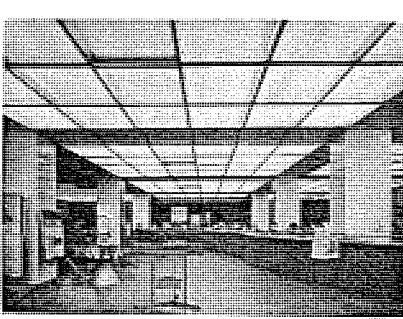
埋込形ダウンライトとケイ光灯間接照明
図 5.6 三菱商事ビル・エレベータホール
Fig. 5.6 Mitsubishi Shoji Building elevatorhall.



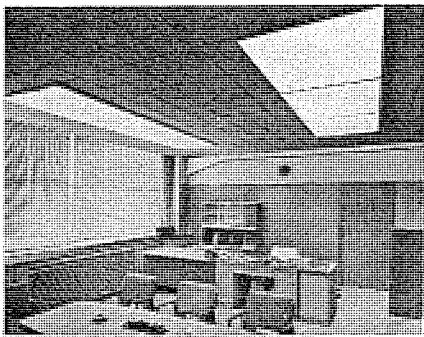
FY 形アクリライトカバー 埋込形 FL-40 W × 10 灯
10 セット 机上 1,000~800 lx
図 5.7 三菱銀行虎の門支店
Fig. 5.7 Mitsubishi Bank Toranomon branch.



110 W 1 灯 FB 形(下面開放) 550~700 lx
図 5.8 野村証券調査部(西川ビル)
Fig. 5.8 Nomura Security Co., Nishikawa building.



600~700 lx
図 5.9 三菱銀行日本橋支店光り天井
(西川ビル)(東京)
Fig. 5.9 Mitsubishi Bank, Nihonbashi branch.



デラックスパネル DP-34 C×3枚
2セット計6枚
図 5.10 三菱電機商品研究所
所長室（鎌倉）
Fig. 5.10 Mitsubishi Electric Corp.
consumer products engineering la-
boratory managers' room.

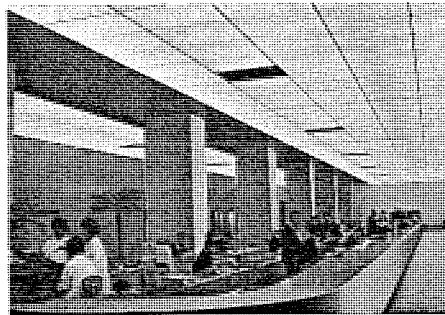


図 5.11 北陸銀行営業室（富山）
Fig. 5.11 Hokuriku Bank.
(Toyama)

×2灯および3灯の場合はFLR-60 H-W×2灯に非常に近く、FLR-40 H-W2灯の場合で約10%上回った値となっている。

表4.1は机上平均水平面照度を500lx, 1,000lxおよび2,000lxとした場合の全初設備費および単位照度あたりの年間照明費のそれぞれの価格と比率を比較したものである。全初設備費は平均照度に比例するが、光源および照明器具別に各照度ともその比率は変化しない。また、それらの照明費の比率も以上と同様にほとんど変化がないことがわかった。

5. 各部の照明

事務所の共通した関連部分の各部の照明方法について説明する。図5.1～5.9はそれらの施設例である。

（1）玄関・ホール

屋間外部から事務所に入ったとき、玄関・ホールが暗いと陰気な感じを与える場合が多いので最近では終日点灯を必要とすることが多い。

廊下より明るくすると効果的である。

乳白色 プラスチックカバー 埋込形 ケイ光灯のFL-40W×数灯用の器具か連続埋込形または細かい網目のハニールーパの埋込形のものと間接照明併用にする。受付カウンタには白熱電球のダウントライト使用がよく行なわれる。

（2）廊下・階段

窓側でない廊下では終日点灯の場合が多い。プラスチックカバーまたは下面開放埋込形 ケイ光灯などが多く使用される。階段では踊り場も含めて天井ジカ付、埋込形またはブラケット形が使用されるがいずれも廊下の通行、階段の上り下りに烈しい明るさのムラとか、まぶしさを感じないような灯具の形式と配置が望ましい。

（3）洗面所・手洗所

ケイ光灯の埋込形、ジカ付形が多く、鏡の上部または左右にブ

ラケット形 ケイ光灯でランプの光色はデラックス形を使用すると顔の表情および顔色などが自然に見えてよい。

（4）会議室・集会室

一般に暗い場合が多く、照明も装飾本位になりがちであるが最近は大分明るくなっている。天井ジカ付形か埋込形 ケイ光灯がよい。

（5）事務室・設計・製図・計算機室

一般に作業が細かいので高照度の必要あり、最近は高出力 ケイ光灯のジカ付け、つり下げまたは埋込形器具が使われてきた。また、設計製図室では光り天井方式の使用されている例もある。

6. むすび

以上、事務所照明の最近の傾向と照明技術の進歩に伴ういくつかの新しい照明技法——高照度と光り天井方式との関連性、ケイ光灯の発生熱量の及ぼす効果、照明経済などがそれである。新しい光源の開発とそれに伴う技術的進歩はさらに事務所照明をよりよく発展させてゆくものである。

参考文献

- (1) 小堀：近代ビルの特殊設備（技研出版社）
- (2) International Lighting Review. Vol. XII, No. 4 p. 181 (1961)
- (3) 照明学会・照明普及会：照学誌 46 No.12 601～606
- (4) W. S. Fisher & J. E. Flynn : CIE (Vienne 1963) p. 63. 8
- (5) M. L. Quin R. D. Bradley : Illum. Eng. 45～51 Jan. 1962
- (6) 牧野・土井・伊東：「三菱電機技報」光源と照明 37 No. 10特集 p. 1206 (昭 38)
- (7) 照明学会編：照明のデータブック p. 209 (昭 33)
- (8) 小堀：照学誌 46 No. 5 185～191 (昭 37)

エレベータ・エスカレータの配電計画

金野武司*

Planning of Electric Power Distribution for Elevators and Escalators

Nagoya Works Takeshi KANENO

Elevators and escalators are now indispensable to modern buildings. Without them efficiency of living in or working there is very poor. Consequently to operate them with a good performance, planning of electric power distribution is not less important than their excellent characteristics. How to select the transformer capacity, the feeder size, the capacity of generator for emergency use and the like come to the front. For instance the transformer capacity shall be such that the apparatus is capable of delivering 1.5~1.7 times as much current as that flows during the machines operates upward with full load. This article discusses many other points likewise in order to expect successful operation of the elevators and the escalators.

1. まえがき

最近における建築様式の近代化と空前のビル建設ブームにより、大都市はもちろんのこと、地方都市においても、主要建物にはほとんどエレベータまたはエスカレータが設置され、エレベータ・エスカレータは今まで経験しなかったほど急激に一般市民生活の中に溶けこんでいる。

一般にビルの動力用および照明用電源は高圧配電線によりビル電気室に供給され、自家変電設備により所要の電圧に下げる各用途に供せられる。ここでは自家変電設備より電源側の事項については他の論文にゆずり、自家変電設備よりエレベータまたはエスカレータ機械室受電端までの間の動力用配電計画について概説し、ビル電気設備の計画・施工・保守担当の方々のご参考に供する。自家変電設備を持たない小建物においては、配電用変圧器より負荷側の問題として読んでいただきたい。

2. 配電々圧とその電圧変動

2.1 配電々圧

わが国の高圧配電線の大部分は3kV三相3線式であり、最近負荷の急増に伴い配電々圧の上昇が漸次実施されつつあるが、最終需要としてのエレベータ・エスカレータの動力電源としては、一般に50c/s地区では三相200Vまたは400V、600c/s地区では三相210Vまたは420Vとしてそれぞれの機械室まで引きこんでいる。

エレベータ・エスカレータに対する供給電圧は設置台数が少ない場合または小容量の場合は200V系でもさしつかえないが、デパート・大建物などでは数台を同一配電線で給電する場合が多く、このような場合は400V系を推奨する。もしこの場合200V系を採用すると、ビル電気室よりエレベータまたはエスカレータ機械室までの配電線の太さは400V系の場合の2倍以上となり、施工の面でも経済性の点でも不利となる。しかしビル電気室の変圧器は空調揚水などにも共用されるのが一般であるから、全体の経済性を十分考慮の上、配電々圧を決定すべきであることはいうまでもない。

2.2 配電線の電圧変動

ビル電気室に対する供給電圧はなるべく一定に保持されることが望ましいが、現実問題として電圧変動は不可避である。旧電気事業法施行規則第60条によれば、基準電圧に対して上下4/100以内に電圧を保持することになっている。その後戦時中(昭和18年

7月)の特例として需要家の引込口において電灯±6% (昼間)、電力±10% (終日)の電圧変動範囲が認められ、戦後も引き続いで暫定的に同じ趣意の解釈がなされて今日に至っている⁽¹⁾。表2.1は各国における需要家電圧変動基準例を示したものである。

今仮に電源電圧変動±10%に対して、エレベータまたはエスカレータを安全にしかも確実に入命財産を運搬させるには、われわれは現用している回転機・電磁制御器具にさらに相当の余裕を持たせる必要がでてくる。すなわち容量を増すか、絶縁階級を上げるなどの必要がある。しかし後述するごとく、エレベータ・エスカレータとともにエレベータはきわめて過酷な電圧変動を本質的に内蔵しているので、当社では表2.2⁽²⁾の値などを参考にしてこれに多少の余裕を持たせ、エレベータ・エスカレータを設置するビルの変圧器受電々圧の電圧変動は+5%, -10%以内にしていただくよう、もし電圧変動がこの範囲をこえる場合は上記範囲内に入るよう季節的に変圧器のタップ切換または電圧調整器の設置を建築設備側におすすめしている。

昭和39年1月東京電力では“量の経営から質の経営へ”転換を計画、周波数偏差50c/s±0.2%，都市および周辺地区・地方都市一般需要家の電圧変動中±6%以内を昭和42年度までに達成との発表が行なわれたが、これはまことによろこばしいことで、

表2.1 各国における需要家電圧変動基準例

国名	種別	許容電圧変動
日本	旧電気事業法施行規則 第60条	±4%
	昭和18年7月電力局通達	引込口において 電灯 ±6% (夜間) 電力 ±10% (終日)
イギリス	Electricity Commissioners Regulation	引込口において ±4%
		引込口において ±6%
アメリカ	イリノイ州の規定 (電灯線)	積算電力計の位置において +5% -4%
		" ±10%
ドイツ	農村電化局の設計方針	引込口において ±10%
	Chicago Commonwealth Edison Co. (1932年)	引込口において ±5%
	サンフランシスコ・万国博覧会の建築規程 (1939年)	引込口において ±5%
V. D. E. 0176/1932		引込口において ±5%

表2.2 需要家高圧側の電圧変動(二次側換算)

	電圧変動(%)	最高(%)	最低(%)
都 市	5~6	109	99
地 方	10~5	109	96

需要家とともにわれわれ メーカ もその恩恵によくするところはきわめて大きい。

3. エレベータ・エスカレータ用回転機の時間定格

現用のエレベータ・エスカレータ用回転機の時間定格は各機種により各社とも異なっている。一例として当社では

直流 エレベータの電動発電機用誘導電動機……連続定格
交流 エレベータの巻上用誘導電動機……………1/2 時間定格
エスカレータの駆動用誘導電動機……………連続定格

として呼称している。

以上のように各回転機の時間定格は区々に見えるが、ご承知のようにエレベータは負荷と運転方向が常に変動し、全負荷でも下降運転の際は逆に電源側に電力を帰還する場合さえあるので、全負荷上昇に必要な出力を連続的に出す必要はなく、また加速や減速の際はごく短時間ではあるがきわめて大きな出力が要求されるので、はん用回転機を使用することは不経済である。このようになかなか御しにくい性格を持っており、われわれ メーカ としてはそのいづれの性能をも満足するように製作しているわけであるが、回転機単独の性能保証の一つの目安として各回転機にふさわしい時間定格を定めこれを名板に表示している。

したがって、ここで注意しなければならないのはエレベータ・エスカレータとくにエレベータの配電計画を行なう場合、所要回転機の名板値電流をそのままのみにしてはいけないということである。すなわち使用機器の温度上昇は使用状態における実効電流で、電圧降下はセン頭電流で論じなければならない。

以下において、エレベータ・エスカレータの配電計画にあたり、当社の推奨仕様について述べる。

4. エレベータの配電計画

4.1 直流エレベータ

4.1.1 変圧器の選び方

ビル電気設備として設置される変圧器は

(1) 三相結線であること。

V結線の場合、逆相電流により各部に不当の温度上昇および電圧降下を生じるから不具合である。また三相結線の場合でも三相の電圧ができるだけ平衡するよう計画すべきである。

(2) FLU 電流（エレベータ全負荷上昇時の電動発電機用誘導電動機線電流）が連続に流れた場合熱的にたえること。

このことはいさか奇妙に感じられるが、最近の高級 エレベータは実効速度を上げて輸送力を増大させるため、乗心地を害さない範囲で早い加速・早い減速が要求され、したがって全負荷昇方向加速時または無負荷降方向加速時などには FLU 電流の 1.5~1.7 倍程度の大電流が流れ、高ひん度使用の場合の電動機実効電流は FLU 電流にきわめて近くなる。よって当社直流 エレベータでは実効電流は FLU 電流に等しいと考えてすべての計画を行なっている。

(3) FLA_{cc} 電流（エレベータ全負荷で昇方向に加速時の誘導電動機最大線電流）が流れた場合、電圧変動率が 4% 以下であること。

ビル設置の変圧器も含めてエレベータ機械室の最終受電端までの電圧降下の配分をいかにすれば最も経済的であるかは非常に重要なことである。当社では変圧器の電圧降下と配電線の電圧降下をほぼ等しくすることでの問題を解決している。実際問題としてほとんどのビルでは変圧器容量はエレベータ専用としても上記(2)

の条件のみで決まる場合が多い。

4.1.2 ビル電気室の保護装置の選び方

当社直流 エレベータの機械室には受電盤を設置し、これにノーヒューズシャ断器を取り付けるのが標準である。このノーヒューズシャ断器の電流定格はエレベータの連続使用にたえ、かつ電動発電機の起動電流にもたえる最小限の値に設定してある。したがってビル電気室の配電盤にはヒューズの協調を考慮して、機械室のノーヒューズシャ断器と同等またはそれ以上の容量を持ち、できるだけ電流一時間特性の相似したシャ断器を設置されるようおすすめする。

なおビル電気室配電盤にナイフスイッチとヒューズの組み合わせは、単相運転となり、エレベータ運転が停止する危険性もあるので、できるだけ避け、やむをえずこの組み合わせを使用する場合はヒューズ容量を前記ノーヒューズシャ断器より 1, 2 段あるいはそれ以上のランクにされることをおすすめする。

4.1.3 配電線の太さの選び方

600 V 以下の屋内配電線に用いられる電線の太さの決定に当っては次の項目を考えなければならない。

(1) 機械的強度

普通直径 1.6 mm 以上の軟銅線もしくはこれと同等以上の強さおよび太さを有する 600 V ゴム 絶縁電線以上の絶縁効力のあるものを使用する。（電気工作物規程より）

(2) 許容電流

最大使用電流すなわち FLU 電流が電線許容電流をこえないようとする。（周囲温度 40°C）

(3) 電圧降下

普通の電動機回路の場合は最大使用電流に対して、幹線・分岐回路の合計電圧降下として国内では 2~6% 以下が⁽³⁾一般に行なわれているが、当社直流 エレベータにおいてはこの点大いに異なっている。すなわちビル電気室の変圧器よりエレベータ機械室受電盤までの配電線の電圧降下は、FLA_{cc} 電流（力率 90%）に対して 2.5 % 以下になるよう電線の太さを選ぶ。

したがって FLU 電流基準に換算すると電圧降下は約 1.5~1.7 % 程度となり、普通の電動機回路に比べ過酷な条件であるが、実効速度を上げるために高加減速を要求される高級 エレベータとしてはやむを得ないことである。実際問題としてコウ長 50 m 以下の配電線においては太さを決定する因子はほとんどの場合許容電流である。

(4) 施工上の難易

あまり太い電線は施工上取り扱いが困難であるから避けた方がよい。必要に応じ並列配線するか、200 V 系を 400 V 系に変更した方がよい場合がある。

4.1.4 非常用電源容量の選び方

供給電力が事故、その他のために停電した場合、保安上どうしても運転を続け休止することのできない動力、たとえば揚水・排水・消防 セン用ポンプ・換気装置など、また大きなビルではエレベータを動かすに必要な総合電力と非常用照明・表示灯・信号装置などに必要な電力を加えたもので、非常用発電機の容量が決定される。経済的考慮から発電機容量はとかく小さく計画されがちであるが、事情のゆるすかぎり幾分の余裕を見込んでおくことが必要である。

停電後非常用発電機でエレベータを運転しようとする場合、電動発電機を起動するには FLU 電流の約 2.5 倍が 3~5 秒間程度流れるから（当社 Y-△ 起動の場合）、この大電流で非常用発電機

が ハンチング または ストール しないことが必要である。

したがって当社では エレベータ用非常用発電機は エレベータの電動発電機の起動 kVA (力率 50%) に対しては少なくとも式 (4.1) の T 秒たえ得る容量を選ぶことを推奨している。

$$T = 1.3 T_s \{95/(100-\delta)\}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

ここで 1.3 は余裕度, T_s は電動発電機受電端電圧が 95% の起動時間 (3~5 秒程度), δ は電動発電機起動時における受電端電圧降下の割合 (%) である。

もし停電の際、負荷されたまま自動装置によって、いっせいに非常用発電機に切り換えられて再び起動する電動機が多い場合は、大きな起動電流が重複し、発電機の容量によっては エンジン の回転数が落ち発電々圧が下がり、自動装置がはずれて電圧が回復する。電圧が上がるとまた自動装置が入って再び起動にかかる。このような ハンチング 現象を呈する場合もあり得る。したがってこのような不具合をさけるため大きい非常用発電機を選べばよいわけであるが、大容量のものを軽負荷で運転することは、設備費・燃料経済上おもしろくないから、容量はほどほどにして、あとは技術的に起動の順序・必要運転台数などを研究検討して巧妙な運用を期すべきである。

4.1.5 不等率

一般に同種類の負荷群において、各個の最大需要電力は同時に起こるものではなく、その発生時刻にはずれがある。したがってその群の最大需要は各個の最大需要の和より幾分小さい。この割合を示すものを不等率といいう。

一群の エレベータ を共通の配電線で給電する場合は表4.1の不等率を乗じて電源容量・配電線の太さ・シャーレン断器容量などを決める。

もちろん前述のように、温度上昇については FLU 電流に対する倍率を、電圧降下については FLA_{cc} 電流に対する倍率を用いるべきである。

4.1.6 電圧降下の配分

総合的に エレベータ の機能を十分にしかも確実に發揮させるため、各部の電圧降下をいかに配分するかは経済的見地からも考慮すべし。

表 4.1 不 等 率

エ レ ベ ー タ 台 数	不 等 率		
	FLU 電 流 に 対 す る 倍 率	FLA _{cc} 電 流 に 対 す る 倍 率	
	急 行 区 間 の な い 場 合	急 行 区 間 を も つ 場 合	
2	2.0	1.7	1.85
3	2.7	2.4	2.7
4	3.1	2.95	3.4
5	3.25	3.6	4.2
6	3.3	4.1	4.9
7	3.71	4.6	5.6
8	4.08	5.1	6.3
9	4.45	5.6	6.9
10	4.8	6.0	7.6

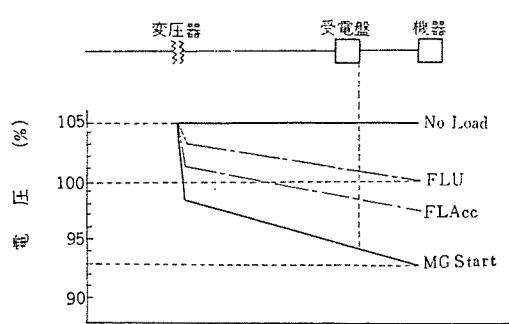


図 4.1 電圧降下分布 (直流 エレベータ)
Fig. 4.1 Voltage drop distribution (DC elevator).

きで問題である。

当社は前述のごとく、直流 エレベータ では FLA_{cc} 電流に対して電源変圧器電圧降下 4% 以内、配電線電圧降下 2.5% 以内を推奨している。エレベータ 機械室の受電盤より電動発電機受電端までの配線の長さは比較的短く、当社ではこの電圧降下が 1% 以内になるよう制限しているので、配電線の合計電圧降下は最大 3.5% となり、結局電圧降下の配分は変圧器が最大 4%，配電線が最大 3.5% としている。

図 4.1 は変圧器を最小容量、配電線を最小の太さに選んだ場合の電圧降下の分布を示す。この図からわかるように変圧器の受電端電圧は FLU 電流の場合機器受電々圧が 100% 電圧に最も近くなるよう選ぶことが必要である。また図は変圧器受電々圧が 105% を基点にしてあるが、この電圧が +5%, -10% 変動、すなわち変圧器受電々圧は 110% から 95% まで変動することを考慮してある。

4.2 交流エレベータ

4.2.1 変圧器の選び方

ビル 電気設備として設置される変圧器は

(1) 三相結線であること。

最近小建物に交流 エレベータ の設置される機会が多く、自実変圧器を持たない場合がある。この場合も配電変圧器はできるだけ平衡した三相結線とすべきである。V 結線または不平衡率の大きい三相結線では着床誤差の増える場合がある。

(2) 温度上昇

a. 駆動用電動機定格電流 (30 分定格) が 50 A 以下の場合は、その 125% を連続通電した場合熱的にたえること。

b. 駆動用電動機定格電流が 50 A を超える場合は、その 110% を連続通電した場合熱的にたえること。

(3) 電圧降下

FLA_{cc} 電流 (エレベータ 全負荷で昇方向に加速時の駆動用電動機最大線電流、ただしカゴ形電動機の場合は実効加速電流) が流れた場合、電圧変動が 6% 以下であること。

4.2.2 ビル電気室の保護装置の選び方

当社交流 エレベータ では機械室に LK 形開閉器 (ナイフスイッチ とヒューズの組み合わせ) を設けるのが標準である。したがってこの開閉器のヒューズとの協調を十分考慮して電気室の保護装置を選定していただきたい。

4.2.3 配電線太さの選び方

(1) 許容電流

a. 駆動用電動機定格電流が 50 A 以下の場合は、その 125% を連続通電した場合熱的にたえること。

b. 駆動用電動機定格電流が 50 A を超える場合は、その 110% を連続通電した場合熱的にたえること。

上記いずれも周囲温度は 40°C を基準とする。

(2) 電圧降下

電源変圧器より エレベータ 機械室 LK 開閉器までの電圧降下は FLA_{cc} 電流 (力率 80%) に対して 5% 以下であること。

(3) その他については 4.1.3 項を参照されたい。

4.2.4 非常用発電機容量の選び方

非常用発電機の容量は エレベータ 駆動用電動機の FLA_{cc} kV A = $\sqrt{3} \times (\text{FLA}_{\text{cc}} \text{ 電流}) \times (\text{配電々圧}) / 1,000$ (力率 80%) に 3 秒以上たえるものを選ぶ。とくに非常用発電機容量を大きくしたくない場合は、交流二段 エレベータ では低速電動機で手動運転するこ

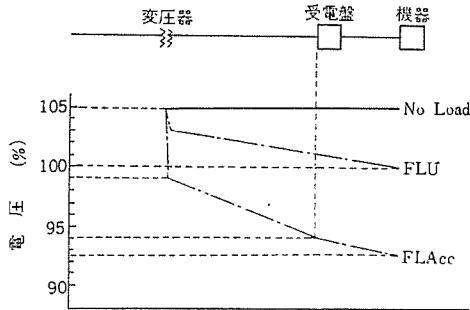


図 4.2 電圧降下分布（交流 エレベータ）

Fig. 4.2 Voltage drop distribution (AC elevator).

とも考えられる。この際は低速電動機の $FLA_{acc}kVA$ (力率 60%) で非常用発電機の過負荷耐量を計画すればよい。

4.2.5 不等率

不等率については 4.1.5 項を参照されたい。

4.2.6 電圧降下の配分

以上により変圧器容量を最小、配電線太さを最小に選んだ場合、各部電圧降下は図 4.2 のごとく分布する。当社交流エレベータでは機械室受電箱より電動機受電端までの電圧降下は 1.5% 以内に計画しているから、結局電源変圧器に 6% の、配電線に 6.5% の電圧降下を許容しているわけである。

5. エスカレータの配電計画

5.1 変圧器の選び方

- (1) 三相接続であること。
- (2) 全負荷電流が連続流れた場合熱的にたえること。
- (3) 加速電流に対し電圧変動率が 6% 以下であること。

5.2 ビル電気室の保護装置の選び方

当社エスカレータの機械室にはノーニューズシャ断器が設けられている。したがって 4.1.2 項で述べたと同様の注意が必要である。

5.3 配電線の選び方

- (1) 全負荷電流が連続流れた場合熱的にたえること。(周囲

表 5.1 不等率（エスカレータ）

エスカレータ台数	合計出力に対する不等率 (%)
2	100
4	95
6	90
8	86
10	82
12	78
14	75
16	71
18	68
20	65

温度 40°C)

- (2) 加速電流に対し電圧降下が 6% 以下であること。

5.4 不等率

一群のエスカレータを共通の変圧器・配電線から給電する場合は表 5.1 を用いて各設備容量を選ぶ。この表は 2 台のエスカレータが 100% 負荷で上昇、他は 90% 負荷で上昇運転している場合の値である。したがって使用状況が明らかな場合は実情に応じて不等率をある程度減少してもさしつかえない。

6. むすび

以上においてビルの自家変電設備よりエレベータ・エスカレータ機械室受電盤までの間の動力用配電計画について、一般によく知られていると思われるが、はん用機の場合と異なり盲点になっている事項もあると思われるので、浅学非才を顧みずあえて筆を執った次第である。ビル電気設備担当の方々に幾分でもご参考になり、諸賢のご批判、ご教示を賜われば幸いである。

参考文献

- (1) 和田：「近代配電工学」(昭 31)
- (2) 河股(東京電力)：「電気工事の友」「最近の配電線路工事はどう進んでいるか」Vol. 11, No. 8. (昭 33)
- (3) 電気学会、「送配電工学」配電編屋内配電編(昭 33)

ビル空調設備のプロセスオートメーション

佐野礼次郎・安部宗昌*

Automatic Process Control of Air Conditioners for Buildings

Head Office Reijirō SANO・Sōshō ABE

A building boom is notable everywhere now, bringing a big demand on electric equipment that go together with new buildings. Air conditioners are one of the items indispensable in modern life; the Company is now busy to fill many orders on the automatic control of these air conditioners is the matter calling for attention of engineers who are designing these installations. It mainly involves the following points.

1. Dependable start and stop of the apparatus.
2. Safe operation by means of protective devices.
3. Fault indication and alarming device of the apparatus.
4. Measurement and recording apparatus at a control supervisory panel.
5. Control of air conditioning.

1. まえがき

近年ビル建設ブームに乗ってその設備工事の受注は全国的に急激に増大し、大小各工事業者が日夜分かたぬ努力を傾倒しているのは周知の事実である。その例に漏れずわれわれ施設部門もビル設備工事に積極的に乗り出し、空調設備工事も年々受注増大し、またその自動化も設備の大小を問わず逐次進展しつつある。

とくに高度の空気条件を要求される今日、空気調和の制御は各自動機器メーカーの指導ならびに諸般の要求とあいまって高度に発展していくことは明らかである。したがってわれわれとしても今後真剣に取り組んで行かなければならない問題である。

一般的にビル空調設備の自動装置は大別して下記5項目に考えられる。すなわち

- (1) 確実な機器の起動・停止
- (2) 保安装置による安全運転
- (3) 機器の故障表示および警報装置
- (4) 中央監視盤による各種計測・記録装置
- (5) 空気調和の制御

今回はビル空調設備のProcess Automationについてという表題があるので(5)の空気調和の制御について述べてみたいと思う。

2. 空気調和の制御

一般的にプロセスとは化学工業などで、ある物質を製造・処理する場合にその工程あるいは装置のことをいうのであるが、その装置内の温度・圧力などの状態や、それから製造される品物の性質など制御量とする自動制御をプロセス制御と称し、今日自動制御工学の重要な一部門を形成している。

通常ビルの空気調和は人間の快感を保つため、室内の環境条件をある目標値にするものである。すなわち室内の温度・湿度・換気量などが制御量となる。それゆえビルの空気調和の自動制御もプロセス制御と考えることができる。この場合室内がプロセスにあたる訳である。また今日われわれが採用しているビル空調設備の代表的システムはビルをいくつかのゾーンに分け図2.1のごとく冷凍機・ボイラによる冷温水を各ゾーンの空気調和器に送り、空気調和器は冷温風を各室へ送って室内の温度・湿度条件を保っているの

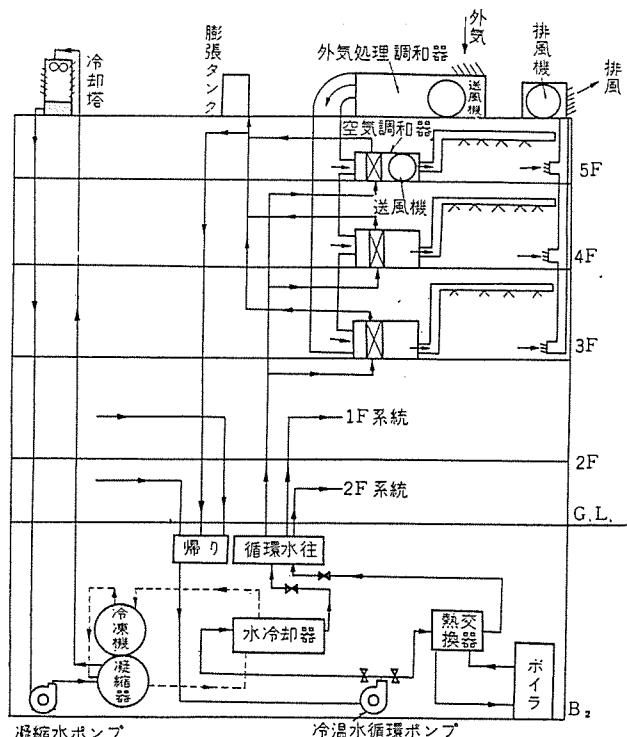


図 2.1 冷温水循環冷暖房方式
Fig. 2.1 Air conditioning by cold and hot water circulation.

である。

したがって冷暖房負荷の変動に対して、各ゾーンの空気調和器にある弁で冷温水の循環量を制御すると冷凍機・ボイラにかかる負荷はおのずから変動して従属的に冷凍機・ボイラも容量制御が要求される。すなわち冷凍機もボイラもプロセスと考えて自動制御が行なわれる所以である。このようにビルの空気調和においては直接に冷暖房の目的となる室内だけでなく、2次的にボイラ・冷凍機・空気調和器・熱交換器・給水装置なども自動制御の対象になる。もちろん一部の部屋を直接冷暖房するユニット式冷暖房機を使用して部分制御している場合もあるが、大部分はビルの負荷をいくつかのゾーンに分けて空気調和を行なっているのが現状である。

3. 空気調和の制御方式

空気調和の制御方式を列挙すれば換気・加熱・予熱・加湿・冷却・除湿・風量制御などがあり、これらの方にもそれいくつかの種類があって、しかも前記いずれかの単一制御の場合といくつかの制御を併用した重複制御の場合とがあるが、いずれの方を使用するにしても負荷の性質によって最も適切な方式を選ぶことはいうまでもない。また制御の伝達方式には電気式と電子管

式とがあり、両者を比較すれば、電気式は簡単な制御に適し安価であるが、精度の点で電子管式に劣る。電子管式は感度が良いため制御系に対する追従性が高く、四季にわたっての連続制御が自動的に移行できまた外気温の変化に伴う室内温度の変更もできるなど種々の特徴があるけれど当然価格は高くなる。

以上述べた各種の方式を詳述すれば膨大な紙数を要するのでここでは昨年はなばなしく、しゅん工した当社の三菱スカイリングの空気調和の自動制御の実例について述べてみよう。

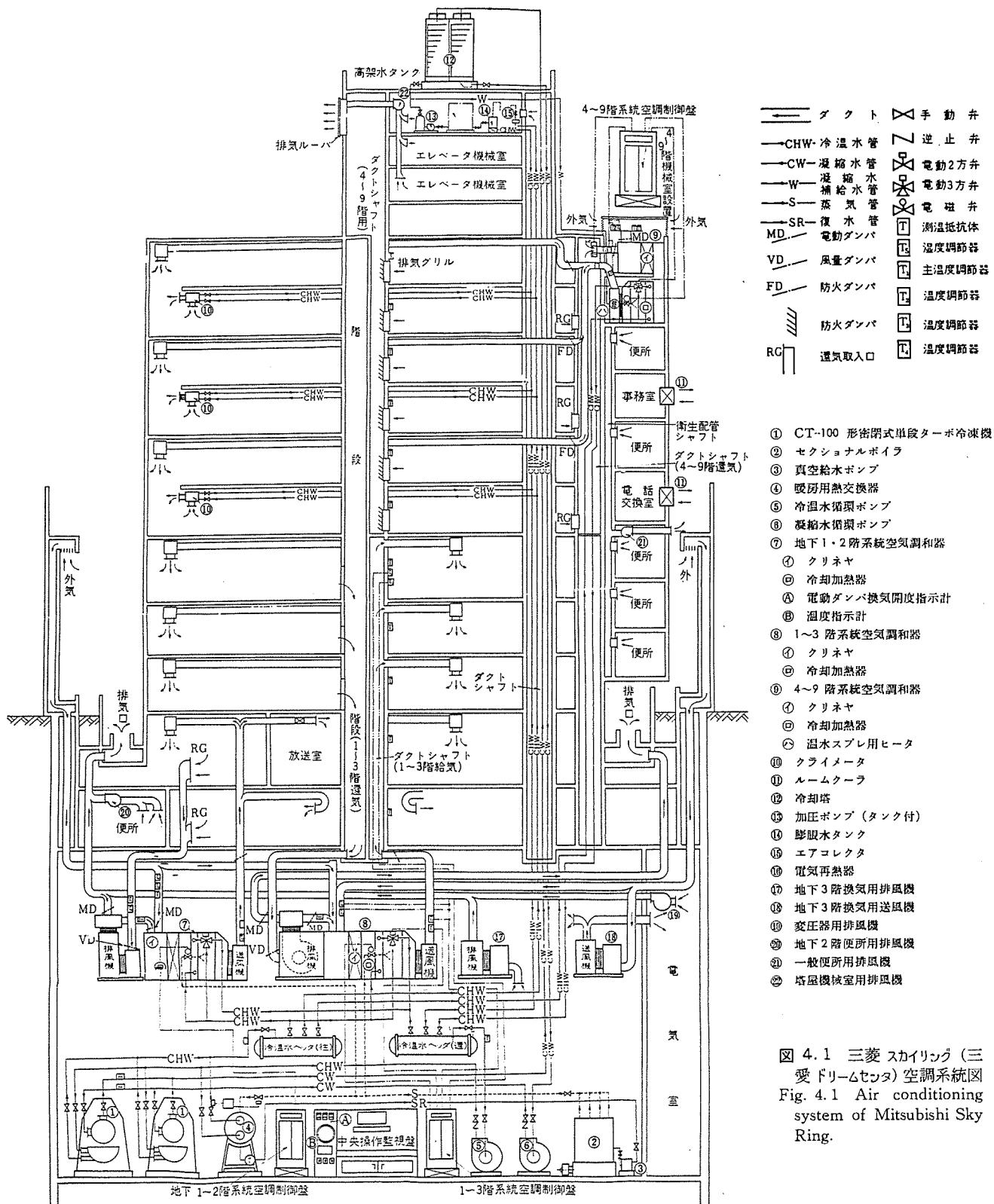


図 4.1 三菱スカイリング（三愛ドリームセンタ）空調系統図
Fig. 4.1 Air conditioning system of Mitsubishi Sky Ring.

4. 三菱スカイリングの空気調和自動制御

三菱スカイリングの空気調和システムは図4.1でわかるように地下1・2階系統、地上1~3階系統、地上4~9階系統(4・6・8階のみクラメータ方式)の3系統に分かれ、いずれも冷温風循環方式を用い、クリネヤ(電気式空気清浄装置)を使用し、冷凍機は当社の開発したCT-100形密閉式単段ターボ冷凍機2台を置いており、これらの冷凍機は順位起動のできる全自动運転方式を採用している。

次に3方弁・加湿・2方弁・電動タップについて述べよう。

(1) 3方弁による冷温水の比例制御(ここでは地下1・2階系統について説明するので図4.2を参照されたい)。

まず感知体から3方弁までの伝達経路について述べるが、方式は電子管式を用いている。

ダクト内部にそう入されたサーモスタットが感知した温度変化は電流に変換されて電子管パネル(R_1)のブリッジ回路に指令され、dual形のモジュトロール・モータ(M_1 電子管式)を動かす。このモジュトロール・モータの変位は補助ボテンショメータでまたび電流に変換され、夏冬切換スイッチ(S)・自動手動切換ボテンショメータ(Q_1)を経てモジュトロール・モータ(M_2 電気式)を駆動して3方弁の開閉をする。

この伝達経路の中間にある夏冬切換スイッチ(S)は、冷房・暖房に対して3方弁を逆動作する。モジュトロール・モータの逆転をさせるためのものであり、また自動手動切換ボテンショメータは各サーモスタットに無関係に手動で3方弁の開閉を行なうためのものである。電子管パネルほか大部分は空調制御盤にまとめられているので、ここで集中的に室内温度やサーモスタットの指令度を設定・調節しておけば、四季を通じて自動制御が可能となる。

(a) T_1 サーモスタット

T_1 サーモは室内に設置され、負荷に対応する指令という意味ではその他のサーモスタットの中でも最も基本的な役割を持っており、室内温度の設定にあずかるものである。

(b) T_2 サーモスタット

T_2 サーモを使用する効果は3方弁の制御過度を抑えることにある。室内の温度は常に設定された温度に保つこ

とが理想であるけれど、 T_1 サーモだけで制御すると室温は設定温度を中心として高低を繰り返し、またその高低の周期も短くなり不快感を起こすとともに、不安定な制御になりやすい。その理由は多くの場合、とくにセントラル方式においては空気調和器と室内との間には相当の距離があり給気が室内に達して室温が設定温度になるまでには時間的遅れがあることである。したがって T_2 サーモは T_1 サーモより供給熱源に近い所、つまり空気調和器出口の給気ダクト内に設置され、図4.7に示すとおり T_1 サーモの指令度をある程度減少させるようブリッジ回路に接続されるが、複要素のサーモスタットを

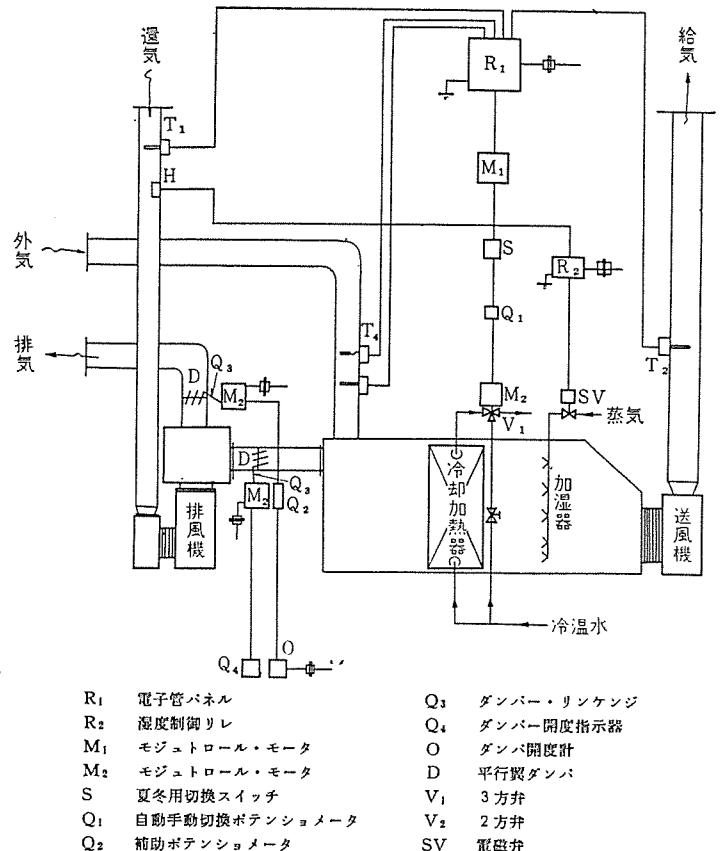


図 4.2 地下1・2階系統
Fig. 4.2 Systems in the first and the second underground floor.

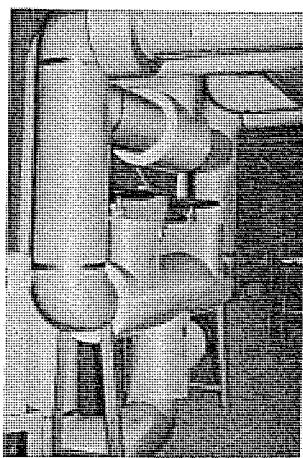


図 4.3 地上1~3階系統
空気調和器3方弁
Fig. 4.3 Cross valve of air conditioned at the second floor of Mitsubishi Sky Ring.

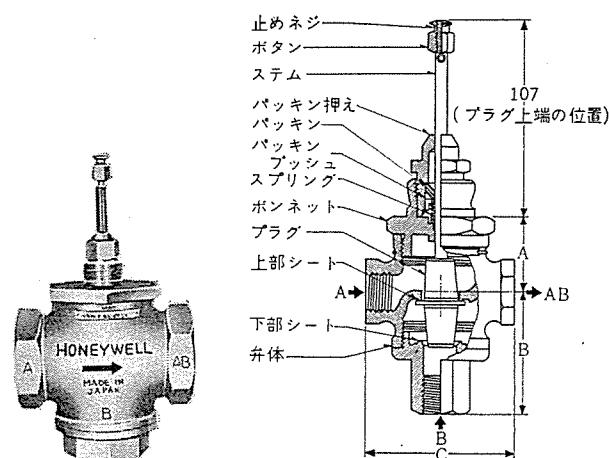


図 4.4 V5013A 3方弁
Fig. 4.4 Cross valve.

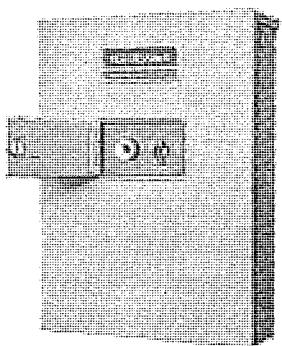


図 4.5 MD791A1 電子式パネル
Fig. 4.5 Electronic type panel.

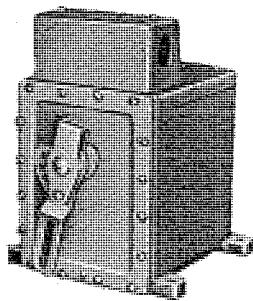


図 4.6 M904F 形モジュト
ロールモータ
Fig. 4.6 Modutrole motor.

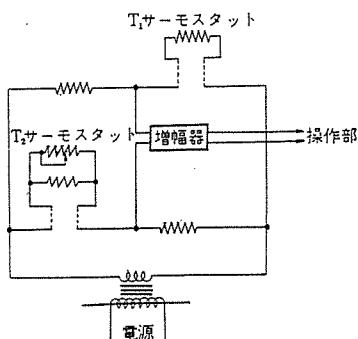


図 4.7 T₁, T₂ ブリッジ回路の例
Fig. 4.7 Example of T₁, T₂ bridge circuit.

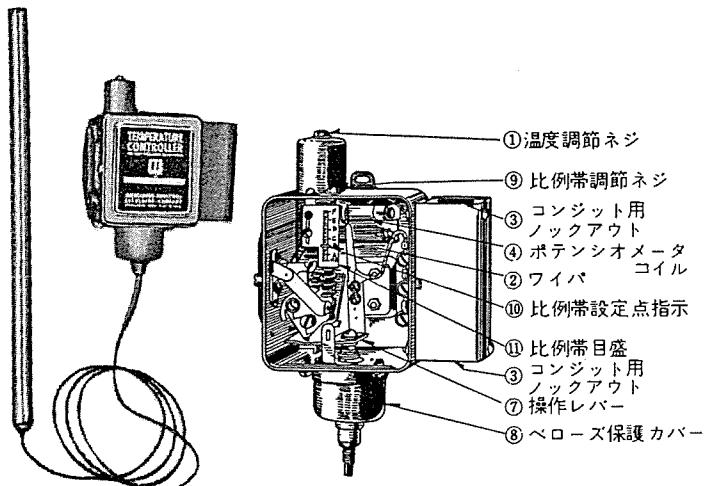


図 4.8 T915C, L956C そう入式温度調節器
Fig. 4.8 Insertion type temperature regulator.

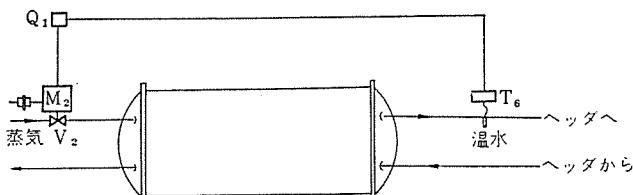


図 4.9 热交換器系統
Fig. 4.9 Heat exchanger system.

使用しているから一定時間後には T₁ サーモの指令度に影響を与えないよう動作する。また外気温の変化や外気取入量の変化に対してただちに対応した指令を出すなどの利点もある。

(c) T₃ (外気補償)・T₄ (夏冬切換) サーモスタット

T₃ サーモは外気補償、つまり外気温度に適応した室内温度を設定するもので夏期に室内温度と外気温度との差があまり大きくなることは、健康上からも経済運転上から考えても好ましいことではない。T₄ サーモはこの冷房・暖房の切換サーモであって、T₃ サーモの動作開始は T₄ サーモが切り換わり、しかも外気温度が T₁ の設定温度になってはじめて可能となる。T₃, T₄ サーモのブリッジ回路は T₁, T₂ ブリッジと別にあって両者が結合されていることはいうまでもない。

T₃ サーモの指令度は%で表わされ、室内設定温度 (T₁ による) と外気温度との差に%をかけただけ室内温度を変更するし、T₂ サーモの指令度も%で表わされるがこれは遅れ要素の時間となる。また ブリッジ回路には比例帯があってその幅は 0.5~1.5°C (T₂ サーモを使用する場合) の間で決定するが、

1°C に設定すれば、3 方弁は室内温度の 1°C の変化で全閉・全開をすることになる。

(2) 加湿制御

これは冬期室内の乾燥を防ぐのを目的とし、還気ダクトにヒュミディフィカット (H) を置き、制御リレー (R₂) を介し、電磁弁を開閉して調和器内で循環空気に加湿する。

(3) 電動 2 方弁による蒸気の比例制御

暖房はボイラを用い、図 4.9 に示すように、熱交換器の温水出口に設置された T₆ サーモスタットで蒸気の熱交換器への入口にある 2 方弁の比例制御を行なっている。

(4) 電動ダンパー

換気制御はサーモスタットと電動ダンパーの組み合わせで全自动あるいは半自动で行なわれるが、一般的な空気調和では冷却加熱器などと併用されるのであって、換気制御だけでも外気によるオールシーズン換気制御など、多くの方法があることは論をまたない。

ただしスカイリングでは負荷の変動が(とくに冬季において)きわめて激しいので、中央操作監視盤に設けられた開度設定器で手動操作を行なうようにしてある。地下 1・2 階系統は排気ダンパーが全開になれば還気ダンパーは全閉になるよう動作し全外気による換気となる。

5. むすび

以上総括的に空気調和の制御について述べたが、2 次的プロセスの代表的冷凍機の容量制御について若干述べてみる。

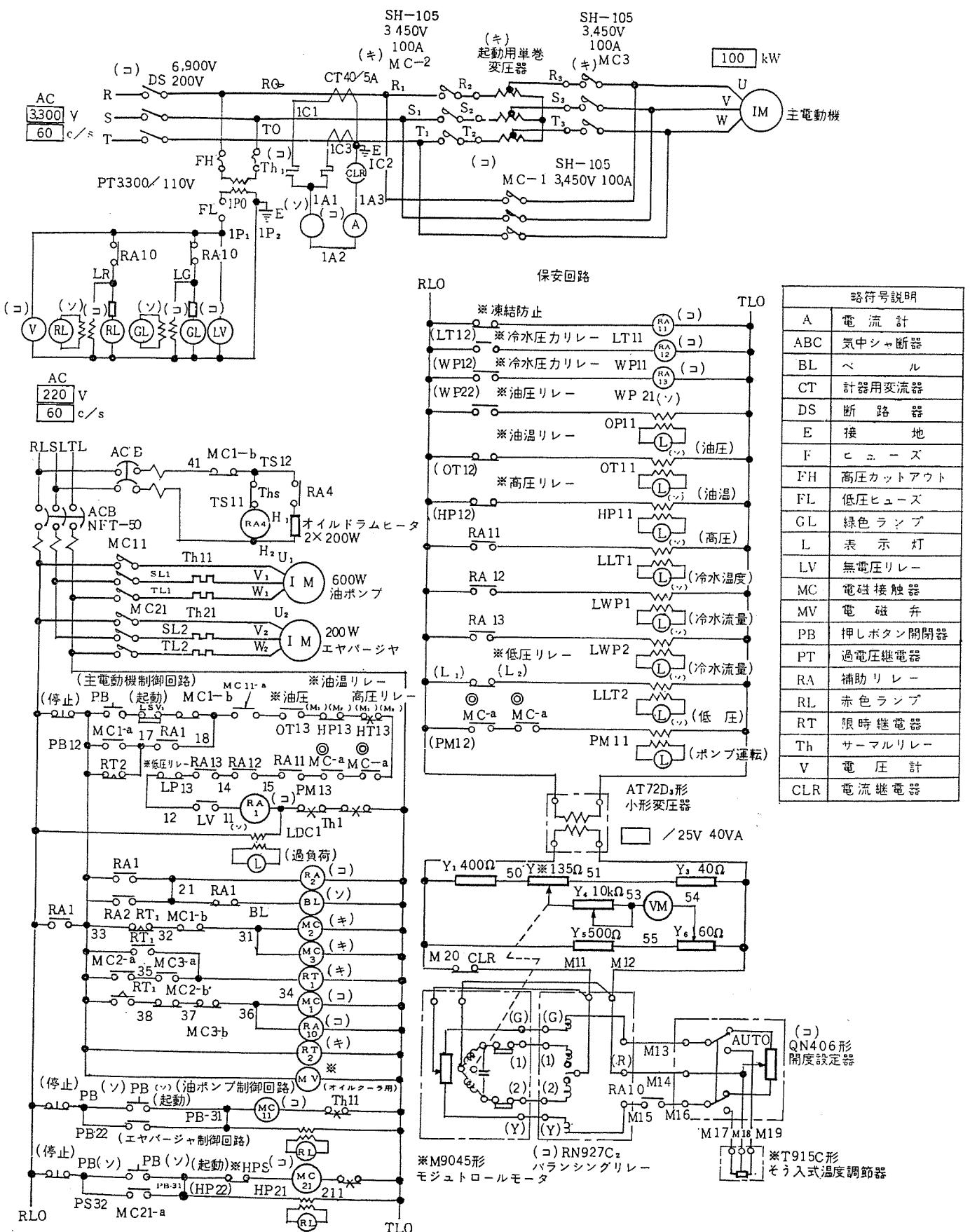
三菱スカイリングは前述のとおりターボ形の冷凍機が設置されているが、冷房用冷凍機としてはそのほか吸式冷凍装置、レシプロ形冷凍機などがあり、現在当社はターボ形とレシプロ形を生産している。いずれも大部分はチラユニットになっている。すなわち水冷却器と凝縮器、冷凍機および電動機がユニットになっている。

冷房の負荷変動によって前述のごとく 3 方弁で循環水が制御されるので水冷却器の負荷、すなわち冷凍機の負荷は変動していく。

一般的の場合水冷却器の出口水温を設計条件で決定し冷凍機の容量を選定するので、この出口温度に接するサーモの指令によりレシプロの場合は冷媒回路にある自動膨張弁、ターボの場合は吸入側にあるベーンを作動させ冷媒循環量を増減させて容量制御をしている訳である。もちろんそれに付随して各補機が作用し冷凍機に無理がかからないようにしてある。

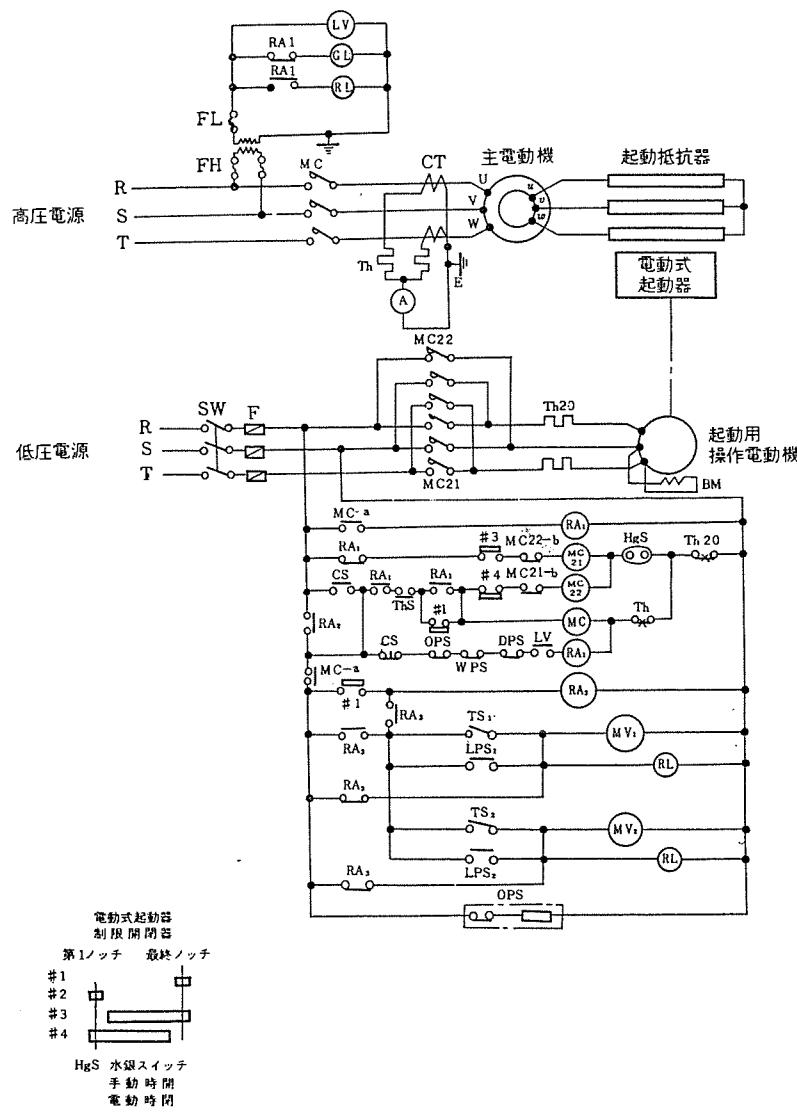
現在大型冷凍機は長崎製作所で製作されその制御方式も長電で選定されているが、その代表的なものをカタログから抜粋して添付ご参考に供したいと思う。

その他ボイラ制御、給水制御などビルの空気調和には多くの自動制御があり、まだ実用的に満足されてない点がかなりあるようと思われる。また空調方式でも二重ダクト方式あるいはウェザマスター方式など多々あるが、現在われわれが実際に設計施工していないのでこれらの説明は割愛しこの報告に止めることにした。



- 注記
- (ソ) は冷凍機本体取付操作箱取付
(コ) は高圧電動機盤取付
(キ) は起動補助器盤取付
※ は冷凍機本体取付
 - 冷水冷却水ポンブインターロック用
 - LSV₁ はモジュトロールモータ制限閉鎖器ペーン全閉で接

図 5.1 CT-100 形ターボ冷凍機制御回路 (No. 4 方式)
Fig. 5.1 Type CT-100 Turbo refrigerator control circuit.



A: 電流計
 TS: タンプラスイッチ
 PT: 計器用変圧器
 RA: 補助繼電器
 FH: 高圧カットアウト
 FL: 低圧カットアウト
 E: 接地
 MC: 電磁接觸器
 OPS: 油圧開閉器
 DPS: 高低圧開閉器
 WPS: 断水開閉器
 Th: 熱動過負荷繼電器
 CT: 計器用変流器
 ThS: 温度調節器
 CS: 操作開閉器
 LV: 電磁弁
 MV: 電動式
 BM: 起動用操作電動機
 Th 20: 熱動過負荷繼電器
 RA1: 補助繼電器
 MC22: 電磁接觸器
 MC21: 電磁接觸器
 MC-a: 電磁接觸器
 RA2: 補助繼電器
 CS: 操作開閉器
 OPS: 油圧開閉器
 DPS: 高低圧開閉器
 WPS: 断水開閉器
 ThS: 温度調節器
 LPS: 負荷制御圧力開閉器

図 5.2 MB 形冷凍機制御回路 (No. 5 方式)
Fig. 5.2 Type MB Refrigerator control circuit.

名古屋・御園座のどんちゅう照明

—ブラックライトによる照明効果—

小堀 富次 雄*

Illumination of a Drop Curtain in the Misonoza Theater, Nagoya City

—Illumination Effects by Black Light—

Head Office Fujio KOBORI

Black light is a light source giving out only ultra-violet rays but not visible rays, being used as a special lamp for discerning various kinds of materials and also for special illumination to make fluorescent pigments luminant in the dark. This light is still on the threshold of diffusion. When the Misonoza theater was opened in last September, a spectacular attempt was made with this black light. The drop curtain was painted with various fluorescent pigments, to which black light is projected to make designs thus painted become luminant to give very wonderful illuminating effect. The drop curtain is so large as 7.6×24.0 meters. It is a very rare example of employing fluorescent pigments and black light for such a large object. This light is also applicable to wall paintings and others.

1. まえがき

ブラックライトは「紫外線だけを出し、可視線を出さない光源」⁽¹⁾の意味で、識別用ケイ光ランプとして各種物質の識別とか、ケイ光顔料を暗所で発光させる特殊照明に使用されているが、一般に特殊な用途のため比較的普及していない。

昨年9月1日開場した名古屋・御園会館内の劇場御園座の高さ7.6m、幅24.0mの大きさのどんちゅうの内の1枚（三菱電機寄贈）に、新しい試みとしてケイ光顔料を塗付して、そのデザインに使用し、これにブラックライトを照射し、発光しておもしろい照明効果を表わす目的で研究したので報告する⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。これらの照明効果は休憩時間中、または閉幕の前後において独得の発光を表わすものである。

このように大規模にケイ光顔料とブラックライトの施設された例は珍らしいが、さらにどんちゅう以外に壁画、絵画などに応用しても面白い装飾照明の効果が期待される。

2. ブラックライトの特性

ブラックライトランプは光源としては高圧水銀灯またはケイ光灯を使用し、紫外線を透過し、可視線をシャットするガラス管を光源として使うか、またはフィルタとして使う。前者の水銀灯によるものは強力で、比較的遠い距離より照射することができるが、照射範囲が狭く、後者のケイ光灯によるものは近距離ではあるが、照射範囲が比較的大きくなる。今回のどんちゅうの照明には、ブラックライトランプを使用した照明器具を設置する個所の制限があるため、どんちゅうの照射範囲個所と照明器具の距離を大体10mとし、後者のケイ光灯によるものとした。

ブラックライトランプはその極大波長が3,300Åと3,600Åの二種類⁽⁵⁾あり、FL-15 BLB の比エネルギー分布は図2.1のようである。FL-15 BLB-360ランプの3,600Åにおけるピークの比エネルギーはFL-15 BLB-330のピークの値より大きく103%となっている。ランプから若干出る可視線は紫外線透過用黒色フィルタガラスでシャットしているが、図のように可視部の3,800Å以上の波長の光がわずかに漏出で紫青色となって見える。表2.1はこれらのランプの

特性で、リン酸カルシウム・タルウムまたはケイ酸バリウム鉛などの特殊ケイ光体により、波長3,000~4,500Åの近紫外線のみが出るようになっている。

図2.2はブラックライトランプの動作特性である。紫外線量は点灯時間2,000hで初期の70%，3,000hで65%程度の減衰であるから今回のどんちゅう照明の場合は実用上十分役に立つものと思われる。

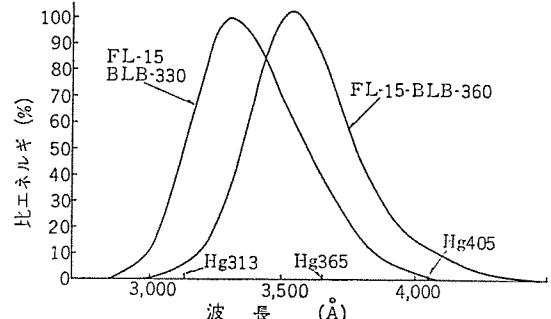


図2.1 ブラックライトランプの比エネルギー分布
Fig. 2.1 Relative energy distribution of black light.

表2.1 ブラックライトランプの特性

形式記号	大きさ(W)	長さ(mm)	管径(mm)	管電流(A)	定格電圧(V)	極大波長(Å)	放射線出力(W)
FL-15 BLB-330	15	436	25	0.30	100	3,300	2.1
FL-15 BLB-360	15	436	25	0.30	100	3,600	2.0
FL-10 BLB-330	10	330	25	0.23	100	3,300	1.2
FL-10 BLB-360	10	330	25	0.23	100	3,600	1.1

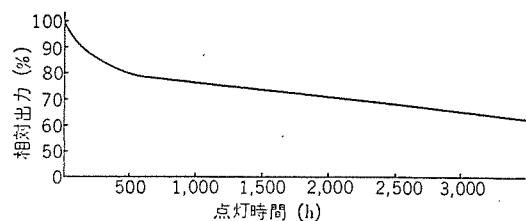


図2.2 ブラックライト動作特性
Fig. 2.2 Black light performance characteristic.

3. ケイ光顔料の特性

従来、ケイ光顔料を塗付し、暗黒のところでブラックライトを当て発光させる方法は舞台照明または広告照明などに利用されている。しかし、これらの照明効果は特殊なもので、しかもケイ光顔料による発光量はきわめて少ないため、設計資料などの実用の質料はほとんど発表がなく、上記の照明効果を表わしたものも大規模なものはほとんど見受けられない。

大日本 シンロイヒ 株式会社より最近発表された シンロイヒ・カラー (Shinroih Color) FZ-2000 形 ケイ 光顔料⁽⁶⁾は耐候性がよく、色彩も黄・黄橙・橙・赤など非常に鮮明である。ブラックライト(主波長3,600 Å)にあたると、ケイ光を発して輝く。これらのケイ光顔料の特性は表 3.1 のようで、その耐候性は色によっても違うが、屋外南面暴露試験で7~12カ月となっている。なお、ケイ光顔料による色彩はそれ自身が発光するので、マンセルカラーを対照して、色相、明度、彩度を決定することはできない。たとえば普通の赤は入射白色光のうち赤色部を反射して、他を吸収し赤く見えるがケイ光顔料の赤では赤色反射光成分に紫外線を赤色のケイ光に変換して反射するケイ光成分が加わる⁽⁷⁾。

なお、ケイ光顔料に関する規格としてはケイ光顔料を使用したケイ光安全色彩としてケイ光安全色彩使用通則（日本工業規格JIS Z9106-1963）があり、建物内の比較的照明のゆきとどかない場所、煙、粉じんなどによって視界の妨げられる場所、とくに安全色彩を強調する必要のある個所に用いるようになっている。

表 3.1 ケイ光顔料の諸特性
(シンロイヒカラー FZ-2000 形)

* I S ……不溶解 S S ……わずか溶解 P S ……一部溶解

4. ブラックライトランプによる光束発散度

4.1 光束発散度の測定

ブラックライトランプによる光束発散度の基礎的資料を得るため次の実験を行なった。

ブラックライトランプ FL-10 BLB-360(10 W, 3,600 Å)を使用し、各色のケイ光顔料を塗付した布および紙とブラックライトランプとの距離を1~8 mの範囲で変化させ、各資料の表面の光束発散度(fL)をExposure Photometerで測定しrlxに換算した。この計器はSalford Elec. Instruments Ltd. (England) 製のものである。

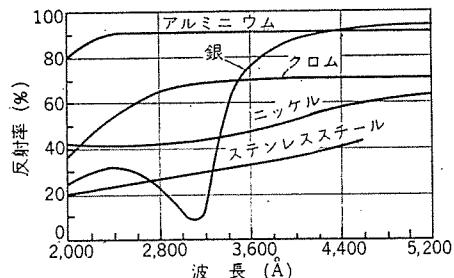


図 4.1 反射がさの材質による反射率
 Fig. 4.1 Reflection factors with different material of reflectors.

表 4.1 ケイ光灯とブラックライトによる色の変化

(a) 色 紙								
色 紙	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8
FL-W-DL	青	青緑	緑黄	黄橙	橙	赤	桃	深赤
BLB-360	青紫		變化なし			燈赤	深	赤

(b) 布地

布 紙	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
FL-W-DL	白	青緑	緑黄	黄	燈	赤	桃	深赤
BLB-360	うす青	変化なし	黄褐	やや黄が かった様	燈	変化なし	赤	

注 P……紙にケイ光顔料を塗付した資料
C……布に " "

ブラックライトランプは殺菌灯用 GK-10 形器具に取り付けて使用した。波長 3,600 Å 付近の紫外線の反射率⁽⁸⁾は

アルミニウム	90%
銀	90% (ただし、約 3,000 Å で 10 %以下となり波長により変動が多い)
クロム	70%
ニッケル	45%
ステンレススチール	30%

であるから、アルミの電解研磨イレミナイトを使用した殺菌灯用反射がさは実験用としても実用上もすぐ役立つ。図4.1はそれらの反射がさの材料による反射率を示している。

4.2 ケイ光灯とブラックライトによる色の変化

ケイ 光灯のデラックス白色(FLR-40 W-DL)とブラックライトランプ3,600Å(FL-10 BLB-360)での色の変化を調査した。表4.1(a)(b)がその表で、色相の変化のないものもあるが、変化するものもあり、紙と布では異なることもあるので、どんちうとか壁面などの装飾照明の場合はブラックライトによる色相の変化をあらかじめ考慮してデザインしなければならない。紙と布での色相の変化はケイ 光顔料および紙、布などの発光の相違によるものと思われる。

4.3 灯数と距離による光束発散度

実験した場所は三菱電機・商品研究所内講堂で、その照明方式はケイ光灯 FLR-40 W-DL による間接照明で調光装置により机上面(床上約 1.0 m)の照度を 20 lx, 資料を取り付けた黒板面(鉛直面)の照度を 10 lx として、紙および布に塗付されたケイ光顔料による資料の面の光束発散度を測定した。表 4.2(a)(b) は各色の紙および布の場合の例で ブラットライトランプと、それらの距離を変化させた場合の測定値である。

一般に最も明るい値となったのは P-3, 4 および C-3, 4 の緑
黄、黄系の色であった。

以上のように ブラックライトランプによる ケイ光顔料の資料の発光は決して明るくはないが、光束発散度の少ない他の光源、たとえ

表 4.2 灯数と距離による光束発散度の変化

(a) 色 紙

色 紙	灯 数	距 離 (m)			
		1	4	8	12
P-1 青	5	8.1 (0.75)	2.9 (0.27)	1.18 (0.11)	0.73 (0.069)
	3	4.9 (0.45)	1.7 (0.16)	0.75 (0.07)	0.44 (0.041)
	1	2.6 (0.24)	0.54 (0.05)	0.25 (0.023)	0.24 (0.022)
P-3 緑 黄	5	110.3 (10.5)	18.3 (1.7)	7.5 (0.7)	4.0 (0.37)
	3	68.0 (6.3)	10.8 (1.0)	4.5 (0.42)	2.36 (0.22)
	1	25.8 (2.4)	3.55 (0.33)	1.5 (0.14)	0.91 (0.084)
P-5 橙	5	89.0 (8.3)	18.3 (1.7)	5.9 (0.55)	2.9 (0.27)
	3	53.8 (5.0)	10.8 (1.0)	3.6 (0.33)	1.72 (0.16)
	1	17.2 (1.6)	3.6 (0.33)	1.18 (0.11)	0.59 (0.055)
P-7 赤	5	45.2 (4.2)	11.3 (1.05)	3.44 (0.32)	1.51 (0.14)
	3	26.9 (2.5)	6.8 (0.63)	2.05 (0.19)	0.97 (0.09)
	1	10.8 (1.0)	2.3 (0.21)	0.68 (0.063)	0.32 (0.03)

(注) 距離 12 m の光束発散度は計算による。

(b) 布 地

布 地	灯 数	距 離 (m)		
		1	4	8
C-3 緑 黄	5	143.0 (13.3)	18.3 (1.7)	6.9 (0.64)
	3	86.0 (8.0)	10.8 (1.0)	4.1 (0.38)
	1	23.7 (2.2)	3.6 (0.33)	1.4 (0.13)
C-5 緋	5	89.3 (8.3)	14.0 (1.3)	4.8 (0.45)
	3	53.8 (5.0)	8.4 (0.78)	2.9 (0.27)
	1	19.4 (1.8)	2.8 (0.26)	0.97 (0.09)
C-7 桃	5	53.8 (5.0)	9.0 (0.84)	4.3 (0.4)
	3	32.3 (3.0)	5.4 (0.5)	2.6 (0.24)
	1	10.8 (1.0)	1.8 (0.17)	0.86 (0.08)

ば市販の電気 ルミネセンス 板の表面の光束発散度 4~5 rlx (0.37~0.47 ft-L) に比較すれば、相当な距離があっても数倍の明るさとなるので、劇場の休憩時間中の明るさとか余り明るくない場所での照明効果を表わすことは可能である。

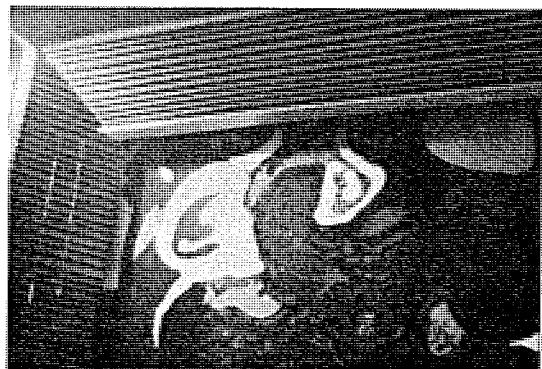
5. どんちょうとブラックライト器具

どんちょうは高さ 7.6 m、幅 24.0 m、厚さ 5 cm、重量 1,500 kg の大きなもので、デザインは日本画、中村正義氏（無所属、元日展）で花にイメージを求めた抽象画で「饗宴」(きょうえん)と題する異色あるものである。正倉院御物中、ただ一点ある織成織（しょくせいおり）という織り方で古代裂の技術を用い、株式会社竜村美術織物(京都)で完成したもので、デザインの一部分にケイ光顔料の赤・青・黄色が使用されている。図 5.1(a)(b)(c) はそのデザインを示したものである。ブラックライト器具は取付場所の関係で舞台の両そでにある第 2 スポット 室の上部に図 5.2 ごとく設置した。FL-15 BLB-360(15 W, 3,600 Å) × 20 灯ずつ計 40 灯を 2 セットのイルミナイト反射板付器具に取り付けて、第 2 スポットライト 室の上部のブラックライト器具の中心と、どんちょうの上下の中央で幅 1/3 の個所との距離は約 10.5 m となり、器具の照射方向をその位置とした。それらの関係位置を図 5.3(a)(b) に示した。また、図 5.4 はブラックライト器具をスポットライト 室の後方より写したものである。

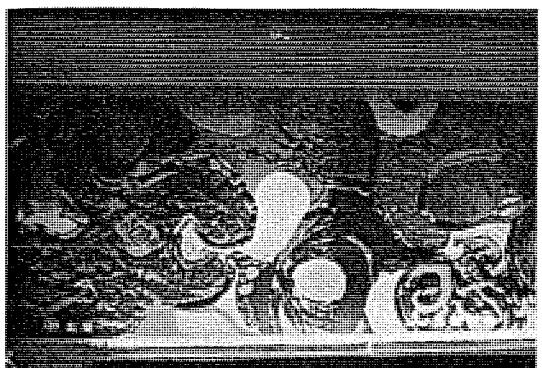
休憩時間中のどんちょうのケイ光顔料の発光した状況をカラーフィルム (Super Ansco Film Daylight type ASA 100) で撮影した⁽¹⁰⁾ので裏表紙に示した。発光した部分の光束発散度は黄色の個所で 4.9~10.8 rlx、赤色部分で 0.4~0.65 rlx、そして青色部分で 0.3~0.65 rlx であった。

6. む す び

以上のようにケイ光顔料をブラックライトで発光させるどんちょう名古屋・御園座のどんちょう照明・——ブラックライトによる照明効果——・小堀



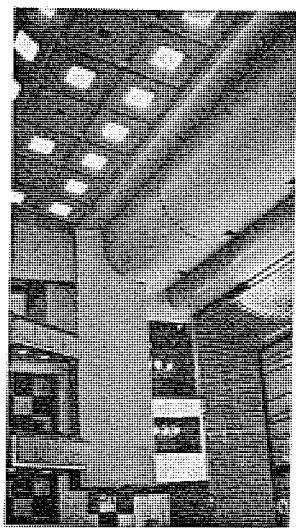
(a) どんちょうの左上方



(b) 中央部分



(c) 右上方

図 5.1 どんちょうの デザイン
Fig. 5.1 Design of drop curtain.図 5.2 ブラックライト器具の設置場所(第 2 スポットライト室の上方)
Fig. 5.2 Installations of black light fixtures.

うを完成したが、その結果を要約すると、

- 人工照明または太陽光におけるケイ光顔料による資料の色彩は、ブラックライトによって発光する色とは異なる場合があるの

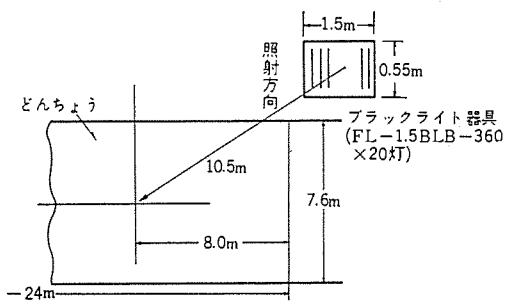
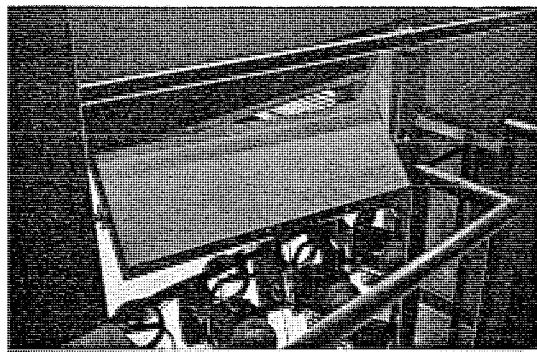


図 5.3 (a) どんちょうと ブラックライト器具との関係位置
Fig. 5.3 (a) Relative position between drop curtain and black light fixtures.



スポット室の後方より見たもの
Fig. 5.4 Black light fixture.

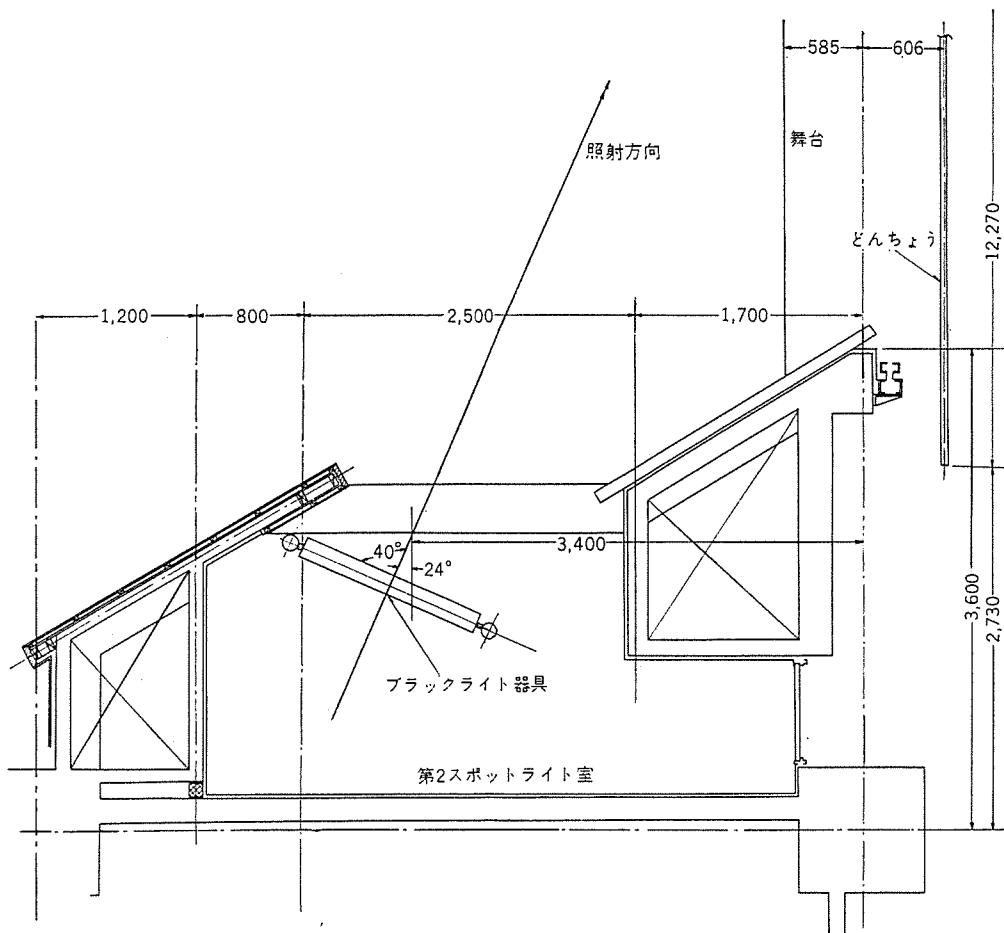


図 5.3 (b) ブラックライト器具のスポットライト室における取付状況
Fig. 5.3 (b) Installations of black light fixtures in second spot light room.

で、あらかじめ、その変化を考慮しておくことが必要である。

(2) ブラックライトによるケイ光顔料の発光は十分な明るさとはいえないが周辺が若干暗い状態では獨得な発光をするので普通の色彩と組み合わせてデザインに使用すると変化に富んだ装飾効果を表わす。

(3) ケイ光顔料を使用したデザインは、真暗な場合、休憩時間のように若干明るい場合および場内が非常に明るい場合の三つの状態でそれぞれ異なった意匠となるので、それらを考慮するとおもしろい照明効果が得られる。

(4) どんちょう以外に壁画、絵画などロビー、レストラン、喫茶店などの装飾照明として効果が考えられる。

このブラックライトによるどんちょうの照明を完成するにあたっては御園会館長谷川社長、丸栄百貨店小川取締役、ケイ光顔料の

資料を提供された大日本シンロイヒ高野氏その他関係者の方々に深謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 照明学会編：照明のデータ・ブック 464 (昭 33)
- (2) 小堀：照明学会東京支部大会講演論文 21 p. 85-90 (昭 38)
- (3) 小堀：照学誌 48 No. 3 (昭 39)
- (4) 小堀：照学誌 48 No. 3 照明のデータ・シート (昭 39)
- (5) 立原・秦・栗津：「三菱電機」29 No. 6, 307 (昭 30)
- (6) Dai Nippon Shinroih Co.: Technical Information Shinroih Color.
- (7) 高野：色材 35 p. 350 (昭 37)
- (8) Lewis R. Koller: Ultraviolet Radiation 179, 181 (1952)
- (9) 小堀：照明学会東京支部大会講演論文 21 p. 89 (昭 38)

開放形ターボ冷凍機用誘導電動機

衛 藤 譲*
酒 向 潔**

Open-Type Turbo-Refrigerator Motors

Nagasaki Works Mamoru ETŌ
Nagoya Works Kiyoshi SAKŌ

Construction of hotels and office buildings are vigorously going on nowadays. Marked trend is the provision of air conditioning of buildings, which is considered indispensable to cope with modern living. This trend has aroused increasing demand of turbo refrigerators in moderate capacities and induction motors for driving them. Of the turbo-refrigerator those used for the capacities above 200 refrigerating tons are of an open type. Herein are given descriptions on special matters called for with the open type turbo generator driving motors together with standard specification and constructional features of them. Particularly the construction applied to 90~200 kW motors are a new development with a number of features.

1. まえがき

わが国におけるめざましい経済的発展によって、最近は各都市に盛んにビルが建設されており、また、東京オリンピックを目前に控えて、外人観光客受入れのために多数のホテルが各地で急ピッチで建築されている。

これらの近代的ビル・ホテルは高度に電化されていて、延面積1坪あたり350W程度の電気設備を有しているが、この電気設備のなかで一番大きな比率を占めるのは空気調和用動力設備であって、全電気設備のほぼ半分を占める建物もある。そのなかでも冷凍機用動力の占める割合が大きくて、全電気設備の2~3割に達するのが普通である。

この冷凍機には容量的に手ごろなターボ冷凍機が使用され、約200冷凍トンまでには密閉形ターボ冷凍機が、それ以上の冷凍トンには開放形ターボ冷凍機が使われている。そして、いずれの場合にも、これらターボ冷凍機の駆動には誘導電動機が一般に採用されている。

前者の密閉形ターボ冷凍機用電動機については、「三菱電機技術」37卷5号に既報のとおりであるが、今回は後者の比較的冷凍トンの大きな分野に使用される開放形ターボ冷凍機用電動機について述べ、当社の標準製作仕様を紹介したい。

また、最近のビルの高層大規模化とともに誘導電動機も大容量化の傾向があり、ビル受配電方式にも大きな影響を与えるようになったので、電動機設計上の立場からいくつかの問題点をあげてご参考に供したい。

2. 開放形ターボ冷凍機と電動機との関係

土地代の高い場所に建てられるビル、ホテルは地代および建築費をできるだけ減らすために1坪といえども経済的に使用しなければならず、この理由からターボ冷凍機の圧縮機は高速化によって小形軽量化が計られている。そして、この高速度を得るために駆動用誘導電動機には2極ないし4極の高速機が使用され、これをさらに歯車によって增速運転している。

これら冷凍機と電動機は、図2.1の取付図に示すような共通台

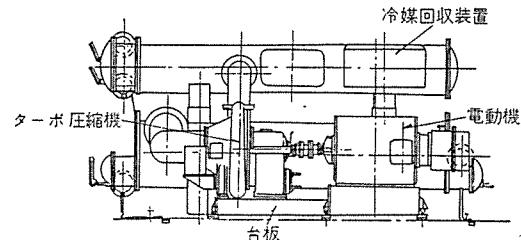


図 2.1 電動機取付図
Fig. 2.1 Installation of motor.

上でカップリングにより直結されて、共通台床はスプリングサポート方式で支持されている。したがって密閉形ターボ冷凍機の場合とは異なり、冷凍機に使用する冷媒ガスが電動機内部に入ることはない。

そのため開放形ターボ冷凍機用誘導電動機としての独特な構造があるわけでもなく、一般的誘導電動機ととくに異なる点はないが、高速機するために生ずる問題に対して対策を講ずる必要があり、さらに設置場所や使用条件も特殊である。

以下では、これら特殊事項についておもに説明を加え、一般的誘導電動機と共通する事項は説明を省略したい。

3. 電 壓

ホテルやビルの電力は普通は市中変電所を介して受電されるが、市中変電所送電端とビル受電端との地理的距離に応じて送電線インピーダンスによる電圧降下に差があり、同一配電系統に属するビルでも、変電所近傍のビルと遠隔地にあるビルとでは受電電圧が約10%異なる場合もある。そのために3,000V, 50c/sあるいは3,300V, 60c/sの標準定格のみで使用される一般の電動機に比べて、ターボ冷凍機用電動機では3,300V, 50c/sとか3,150V, 50c/sで使用される機会もかなり多い。

このような特殊事情を考慮して、当社のターボ冷凍機用2極電動機では、その出力が同一であるかぎり、同一品をそのまま3,000V, 50c/s, 3,300V, 50c/s, 3,300V, 60c/sの3定格使用に応じうる設計をしている。(400V級, 6,000V級においても同じである。)

* 長崎製作所 **名古屋製作所

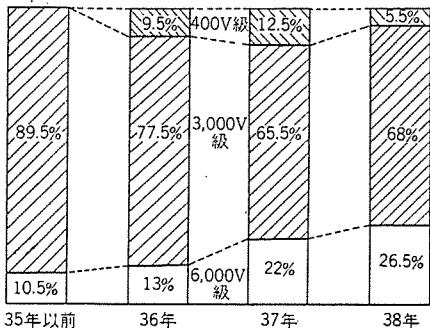


図 3.1 電動機定格電圧年度別分類
Fig. 3.1 Rated voltages of motor classified according to years.

この3定格使用の場合には、コイル導体寸法は3,000 V, 50 c/sから規定され、鉄心部主要寸法は3,300 V, 50 c/sから決定される。

一方、機械的強度、振動は60 c/s 使用の面から検討しておかなければならず、冷却効果は50 c/s 使用の場合を配慮する必要がある。

次に、電動機定格電圧選定の問題であるが、最近の大きなビルでは1 kW 以下の小形機から数百 kW の大形機にいたるまで数百台の電動機が使用されるので、これら電動機群の高低圧の境界を何 kW に選ぶかは、単に電動機定格電圧選定だけの問題ではなく、変圧器、シヤ断器、開閉器およびビル内の諸配線を含めた受配電系統を決定する根本問題であり、技術的、経済的にはもちろん、保守管理の面まで考察して総合的に選定すべき大きな問題である。

図3.1は当社で昭和38年末までに製作した200 kW 以上のターボ冷凍機用2極電動機約200台について、その定格電圧を年度別に分類したものである。図3.1から知れるように、配線費が安価な400 V配電方式の採用と大容量低圧シヤ断器の出現は400 V級電動機の占める比率を年々高めており、また、直接引込方式の採用と6 kV昇圧化の気運によって6,000 V級電動機の需要が増える傾向にある。

このように受配電方式の推移の影響を受けて、電動機定格電圧には400 V, 6,000 V級が採用される度合が増加している。

しかし、電動機の設計だけからいえば、その容量に応じて技術的ならびに経済的に最も妥当な電圧があるわけである。

すなわち、同一定格の小容量電動機で高圧機と低圧機とを比較すると、高圧機は低圧機と比べ固定子コイルを細くし、巻回数を増さなければならない。また、絶縁物の厚さが高圧では増すので導体の占める断面積が小さくなり、スペースファクタが悪くなつて大形となる。そのうえ、絶縁距離を増さなければならず、コイルエンドの寸法も伸びるので、ますます大形化する。とくに高速機ではコイルエンドが長いので、この影響は著しい。さらに工作の手数も増すので、高圧機のほうが高価格となる。

反対に、大容量電動機にあまり低い電圧を採用すれば、コイル導体の断面積が大きく巻回数が減少するので、設計上巻回数の選定が困難となり、高速機では並列回路数の選定自由度も少くないので、高圧機よりも大形となつたり、極端な場合には製作不可能となることもある。また、電流が非常に大きくなるので制御装置のほうから制約を受けることもある。

当社では600 kWを440 Vで製作した例があり、この程度までの出力であれば400 Vでも特別の困難なしに設計製作することができ電動機のみについていえばとくに経済的に不利となることがない。一方、6,000 Vでは開放形ターボ冷凍機用としては100 kW

を製作した実績があり、密閉形用では75 kWを製作中であるが、6,000 Vの場合には電動機設計上の経済限界は数千 kW程度のところにあって、小容量機では専用変圧器を設けて電動機を低圧機にするほうが、むしろ経済的なこともありうる。

4. 絶縁

400 V級と3,000 V級にはA種絶縁を、6,000 V級にはダイヤラスチック絶縁(B種)を標準として採用しており、要求があれば他の絶縁階級のものも製作している。

いずれの絶縁階級にしろ、電動機は地下室など湿気の多い場所に設置されることが多い、また、シーズンオフには長期間停止されるので、耐湿性のすぐれた絶縁処理を施す必要がある。

当社ではこの点を配慮してA種用絶縁ワニスにはエポキシ变成のアルキドワニスを使用し、耐湿性のすぐれたコイルを製作している。なお、このワニスは耐熱性の点でもすぐれており、F種絶縁にまで適用できるワニスである。

6,000 V級には耐コロナ性にすぐれたダイヤラスチック絶縁を採用している。ダイヤラスチック絶縁とは、主絶縁層を形成するマイカテープまたはマイカラッパの接着剤としてポリエステルあるいはポリエスチレンビニル系のボンドを用い、低粘度のポリエステル系含浸用ダイヤレジンによって重合反応を起こさせるものである。この絶縁方式では、完成コイルの絶縁層にはマイカ片とダイヤレジンとが完全に一体となって、ボイドやピンホールが生じないので、耐コロナ性、耐湿性にすぐれている。当社では6,000 V級の電動機にはこのダイヤラスチック絶縁を全面的に採用しているが、マイカラッパやポリエスチレンワニスはB種絶縁材料であるので、素線絶縁にもB種材料を使用してコイル全体をB種絶縁とするのを建前としている。

5. 回転子形式

カゴ形誘導電動機は起動時に450~650 %の起動電流が流れるために、電源容量が小さい場合には起動時にかなりの電圧降下を生じ、その電源に接続された電気設備に悪影響を及ぼす欠点がある。この理由から、ビルのように比較的電源容量の小さい場所で使用電力の大きいターボ冷凍機用電動機には、起動電流を抑えるために巻線形電動機が採用されることが圧倒的に多い。

したがって、この受注傾向に対応して、当社では電動機回転子形式は巻線形として標準化している。

しかし、カゴ形電動機は巻線形に比べて構造が簡単ばかりでなく、スリップリング部分が不要なので電動機は小形化でき、また、制御器や抵抗器などの付属設備が不要なため、設備費維持費が安価である。

そのため、起動時電圧降下さえ許せば、ターボ冷凍機は速度制御を行なうわけではなく、起動トルクも大して必要とせず、また、慣性モーメントも小さいから、カゴ形電動機を採用するほうが有利であり、現にカゴ形電動機を使用しているビルもある。

この電圧降下の許容値は、他の電動機のトルク減少による停動、電磁接触器の励磁喪失による誤動作、電灯の照度低下による生理的心理的な嫌悪感の三者が大きく関係する。一般には電圧降下の許容限度は定格電圧の15~20 %程度が妥当な値と考えられているが、この15~20 %の電圧降下を生ずるための起動電流の大きさは

- (1) 受電方式(専用変圧器方式、共用変圧器方式)
- (2) 受電電圧の変動

- (3) 受電線の線路インピーダンス
- (4) 受電系統内の全電気設備の需要率と負荷率
- (5) 過電流遮断器の限時特性
- (6) 電力会社との契約条件

などが関連し、各ビルごとに電動機、電磁接触器、照明器具に対する許容電圧降下を個別に検討のうえで決定すべき問題であって、たとえば、起動電流を200%以下に抑えれば良いという一律的な考え方は無意味であり、むだな設備投資を招く原因となる。このむだを避けるためには、各ビルごとに最適方式を検討する必要があるが、現状では従来からの慣習にしたがって、既設ビルの方式を漫然と踏襲して巻線形を採用したのではないかと推察されるビルも随所に見受けられる。

電力系統が大規模になり、電力事情が好転した現在では、回転子形式および起動方式のあり方について再考することも意義あることと考え、関係者にあえて問題を提起する次第である。

6. 外被形式、通風方式と形名

最近は環境衛生の立場から、電動機も含めて各種機械の騒音が多方面で問題視されているが、ビルのように多数の人間が集合しているところに設置されるターボ冷凍機用電動機には低騒音がとくに要求されている。しかも、開放形ターボ冷凍機用電動機のように中容量以上の高速機では、ファンおよび回転子ダクトより発生する空気力学的騒音が必然的に大きくなり、この空気力学的騒音を防止する対策を講じなければならない。

そのため、開放保護形電動機においてはサイレンサ付として吸音を計り、また、全閉形を使用する場合にはファン騒音の大きい外扇形の代わりに空気冷却器を内蔵させた全閉内冷形を採用して、電動機の冷却風が外部に出ないような構造にしてシャ音効果を高

めている。

このように、当社で製作しているターボ冷凍機用電動機には開放保護形サイレンサ付と全閉内冷形空気冷却器付との2通りの外被形式があるが、そのおのおのにさらに2種類の形名があり、電動機の容量に応じて両者は使い分けられる。

6.1 開放保護形サイレンサ付 (SB-AWH形およびMSB-H形)

開放保護形サイレンサ付の形名には、SB-AWH形とMSB-H形の2種類がある。図6.1および図6.2はその外観写真であり、いずれもスケヤタイプとして据付面積の節減と近代感覚にあふれた形状となっている。図6.3および図6.4はその断面図であり、断面図中の矢印は冷却風の循環状態を示している。

両形とも冷却風は、負荷側および反負荷側の両軸方向にあるサイレンサ吸込窓より吸込まれ、サイレンサの迷路を通り電動機内部に到着し、回転子の両側に設けられたファンと回転子鉄心のエアダクトによりコイルおよび鉄心に発生する熱をうばって、電動機の中央部より上部のサイレンサ迷路に入り、両側面の排出窓より排出される。電動機内部に発生する騒音はサイレンサの入口、出口にいたるまでの迷路の間で十分に減衰され、所要の騒音特性を満足させることができる。

6.2 全閉内冷形空気冷却器付 (SE-AWG形およびMSE-G形)

全閉内冷形空気冷却器付の形名には、SE-AWG形とMSE-G形との2種類あり、これら両者の外観、断面図、通風方式がたがいに似ている点は、開放形サイレンサ付の両者の場合と同じである。図6.5はSE-AWG形の外観であり、図6.6はMSE-G形の断面図と通風方式を示す。

電動機中央部よりあがってくる熱い空気はクーラボックス内で負荷側および反負荷側の軸方向に左右等分に分かれ、軸に対して直角方向に適当個数配列してある冷却水管の間をジグザグにくぐり

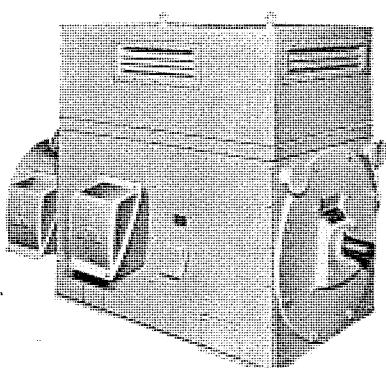


図 6.1 SB-AWH 形電動機外観
Fig. 6.1 View of type SB-AWH motor.

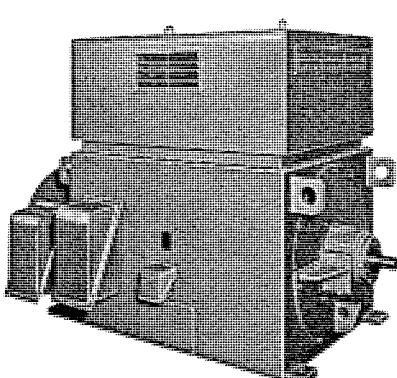


図 6.2 MSB-H 形電動機外観
Fig. 6.2 View of type MSB-H motor.

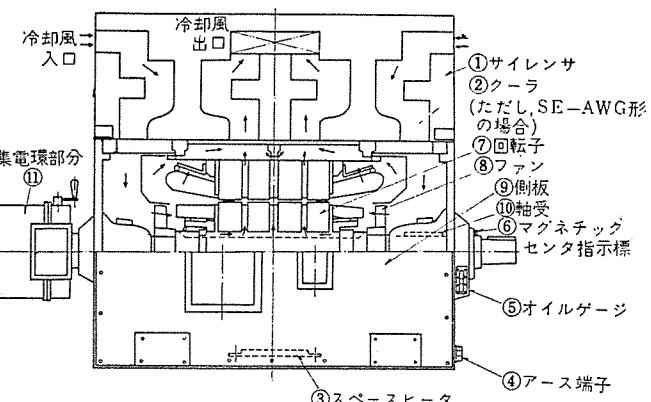


図 6.3 SB-AWH 形電動機断面図
Fig. 6.3 Cross section of type SB-AWH motor.

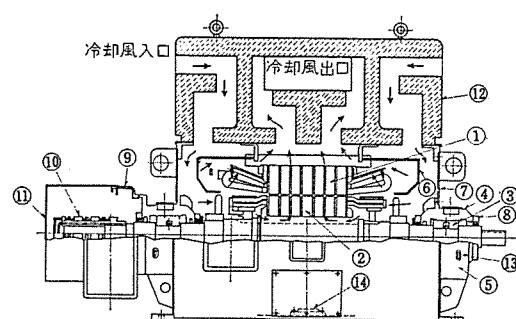


図 6.4 MSB-H 形電動機断面図
Fig. 6.4 Cross section of type MSB-H motor.

品番	品名	品番	品名
1	固定子	8	端カバー
2	回転子	9	アダップタ
3	軸受	10	集電環
4	軸受保持	11	集電環カバー
5	ブラケット	12	消音器
6	風ウケ	13	油面計
7	フレーム	14	スペースタ

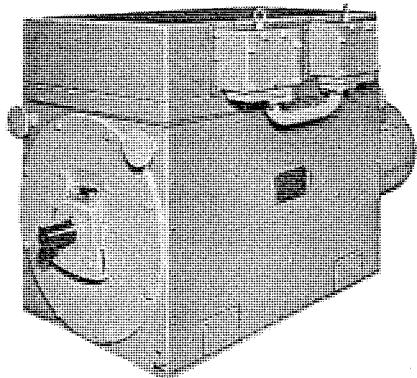


図 6.5 SE-AWG 形電動機外観
Fig. 6.5 Exterior view of type SE-AWG motor.

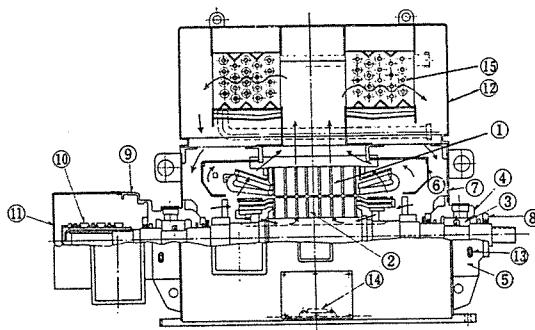


図 6.6 MSE-G 形電動機断面図
Fig. 6.6 Cross section of type MSE-G motor.

品番	品名	品番	品名
1	固定子	9	アグッタ
2	回転子	10	集電環
3	軸受	11	集電環カバー
4	軸受押え	12	空気冷却器
5	ブラケット	13	柱面計
6	風ウケ	14	スペースヒータ
7	フレーム	15	冷却水管
8	端カバー		

ぬけて、電動機内部を一巡する。その間に電動機に発する熱損失は全部この空気冷却器より冷却水によって運び出されるので、一般の電動機のような冷却空気の吸排出口がなく、十分なシャ音効果を持たせることができるほか、電動機から排出された空気によって室温が上昇したり、室内のじんあいによって電動機内部が汚される心配もない。

6.3 両形名の適用範囲

SB-AWH 形 (SE-AWG 形) と MSB-H 形 (MSE-G 形) との適用範囲は下表のとおりである。

表 6.1 適用範囲

形名	SB-AWH 形 SE-AWG 形	MSB-H 形 MSB-G 形
400 V 級 (A 種絶縁)	200 kW まで	200 kW を超えるもの
3,000 V 級 (A 種絶縁)	200 kW まで	200 kW を超えるもの
6,000 V 級 (B 種絶縁)	130 kW まで	130 kW を超えるもの

(注) 本表は 2 極機巻線形の場合の適用範囲を示す。

7. SB-AWH 形と SE-AWG 形の外形寸法および構造

SB-AWH 形と SE-AWG 形とは、開放形 ターボ 冷凍機用のような用途に対して最近開発した新しい構造のものであり、一応の標準化も完成したものである。

図 7.1 は、開放保護形 サイレンサ付のもので図 7.2 は、全閉内冷形 クーラ付のものの外形寸法図を示す。容量は A 種絶縁 3,000 V 級で 90 kW から 140 kW までを 3665 H フレームに、150 kW から 200 kW までを 3671 H フレームに納めている。400 V 級の各容量は上記と同じワク番号の割振りであるが、6,000 V 級は絶縁 スペースを多大に必要とする関係で、3671 H フレームでも 130 kW までしか製作できない。

以下、この電動機の付属品および構造部分を図 6.3 に示す番号順に説明する。

① サイレンサ

スケアタイプの電動機外観に適合した形状としてあり、またサイレンサの冷却風の出入口は、ダクトの取付が可能なように、フランジとともに、風の方向を上下いずれにも適宜変更できるようループ構造としている。

② クーラ

冷却パイプは熱交換に対して理想的特性をもつ、U-フィン管を採用しているので、その効果は十分期待できる。また、この冷却管の固定構造が、クーラ自体の補強も兼ねているので、構造上振動、騒音の少ない強固なクーラを形成している。

③ スペースヒータ

スペースヒータは、電動機が停止している間、内部温度を常に外部より若干高い状態に保ち、また、全閉形の場合には、呼吸作用による内外気の往来を極力少なくて、電動機コイルの吸湿による絶縁低下を防止するためのものである。容量は電動機の構造に適合したものを選定し、その引出口は、固定子本体の端子箱と分離した別の端子箱より出すようにしている。

④ アース端子

電動機の負荷側フレームに、適当なサイズの銅管端子をアース用端子として、取り付けている。

⑤ オイルゲージ

直視によって油面の状況をよくはあくできるようにアクリル透明板のノゾミ窓構造を採用している。

⑥ マグネットックセンタ指示票

ターボ 冷凍機としての負荷に対して、適当なエンドプレイを決めており、その磁気中心の指示は、電動機軸端にしたマーカーと、ブラケットに取り付けた指示票によって、正確に合わせることができる。

⑦ 回転子

振動、騒音の原因になる回転子のアンバランスは、この種 2 極用高速機に対しては、特別な注意が肝要で、精密な機械加工を施すとともに精密なダイナミックバランスをとっている。また空気力学的サイレン音を防止し、しかもコイルの温度上昇を効果的に抑えるように適当な配列、組み合わせおよび寸法のダクトを付属している。軸自身についても、強度を損なわずに、回転子コイルの冷却を有効にするように、冷却風の通路となるミヅを設けてある。

⑧ ファン

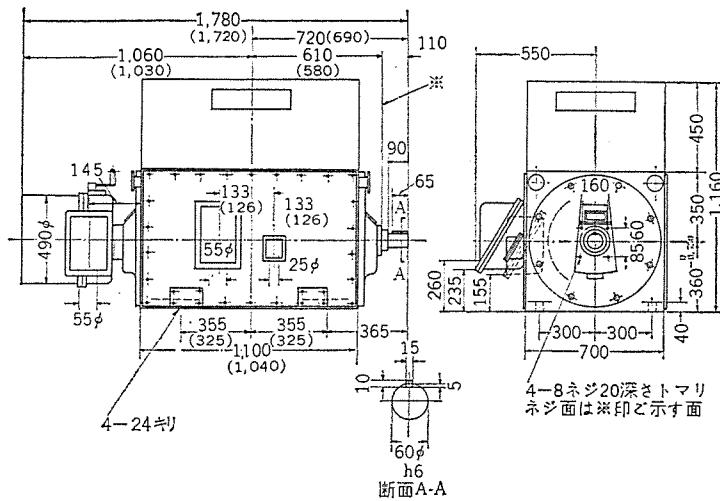
回転子コイルの温度上昇を十分低下させることができるようにとくに考慮した形状、寸法のプロペラファンを採用している。

⑨ フレームの側板、底板

この種の高速機では電動機内部に発生する騒音源のうち、回転子ダクトと内部ファンによる空気力学的騒音が最も大きなウェイトを占めている。側板および底板については、内部に発生する騒音が容易に透過することなく、また、振動を起こさないように、板厚および固定方法に考慮を払っている。

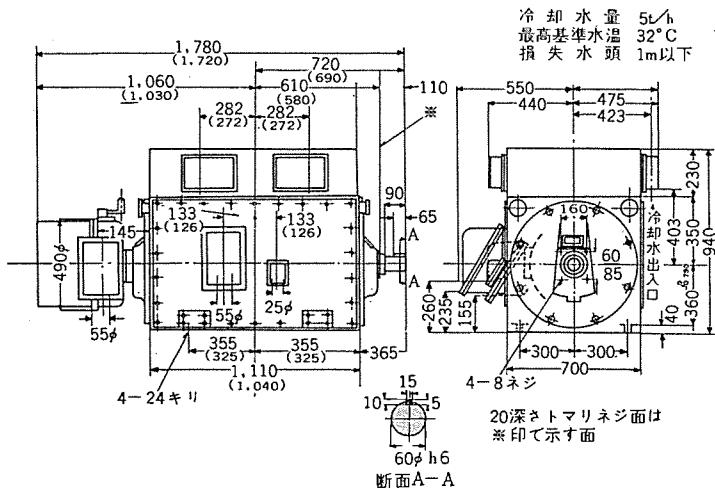
⑩ 軸受

オイルリング付のオイルバス方式で、点検、取換などが容易で、構造単純な筒軸受を採用し、十分な寿命とともに静かな運転を保証する。



SB-AWH形 開放保護形 卷線形 ワク番号 3671 H, サイレンサ付 A種絶縁
150~200 kW 2P, 3,000/3,300/3,300 V 50/50/60 c/s
() 内は、ワク番号 3665 H 90~140 kW 2P

図 7.1 外形寸法図
Fig. 7.1 Outline dimensions of motor.



SE-AWG形 全閉内冷形 卷線形 ワク番号 3671 H クーラ付 A種絶縁
150~200 kW 2P 3,000/3,300/3,300 V 50/50/60 c/s
() 内は、ワク番号 3665 H 90~140 kW 2P

図 7.2 外形寸法図
Fig. 7.2 Outline dimensions of motor.

①集電環部分

集電環部分は保守、点検、清掃が容易にできるようにカバーは余裕のあるスペースをとり、取はずしが簡単なヒンジ付の構造になっている。また、完成後でも短絡装置付あるいは短絡装置なしのいずれの構造にも適宜交換できるように、スリップリングをはじめ、各付属品の形状、寸法および取付方法を特別に考慮している。

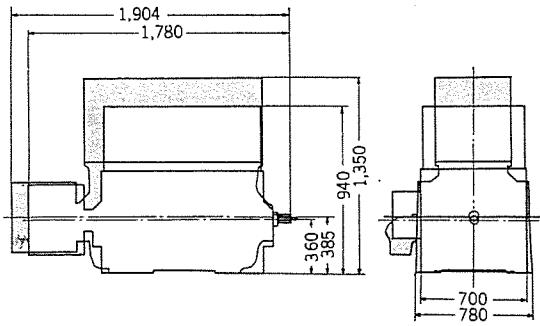
8. SB-AWG 形と SE-AWG 形の構造上の特長

8.1 小形、軽量

図8.1は、従来の構造と新形構造の寸法比較を示したものである。この図よりわかるように、寸法的に相当小形化されている。また、電動機の機構上、全重量中大きな比重を持つフレーム部分を機能上、強度的に必要最少限の骨組(スケルトン)に限定し、重量の軽減を計っている。図8.2はコイルを入れ完了状態のスケルトンフレームの外観写真である。

8.2 外観

前掲の図6.1.6.5の電動機外観写真よりわかるように、大形開放形 ターボ 冷凍機用誘導電動機・衛藤・酒向



200 kW 2P 3,000V 50 c/s サイレンサ付 A種

図 8.1 新形、旧形寸法比較図

Fig. 8.1 Comparison of outline dimension between new of motor and old types of motor.

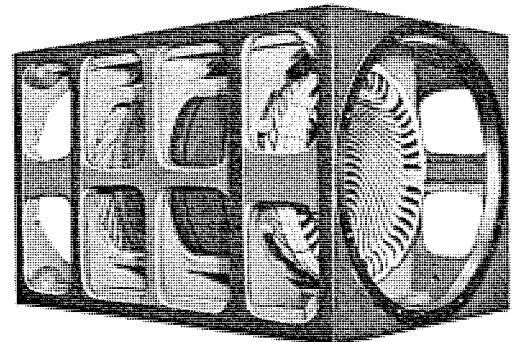


図 8.2 スケルトンのフレーム
Fig. 8.2 Skeleton frame.

電動機ではともかくとして、中容量電動機には従来あまり採用されていなかったスケルトン型で据付面積の節減と近代感覚にあふれる形状となっている。

8.3 形式の互換性

サイレンサはもちろんのこと クーラをも電動機上部に設置するまったく斬新な構造を採用したことにより、開放形と全閉形との互換をいつでも自由に行なうことができる大きな特長をもつこととなった。従来の構造では、この操作は考えられなかつたが、この新しい構造を採用することにより、たとえばサイレンサ付のものでは、温度上昇した冷却風が設置場所の室内に排気されるので、それを嫌う場合には、適当な冷却水を使って全閉内冷形に変更することが考えられ、しかも短期間で可能になる。また、開放形のもので、とくに騒音に関して問題にしない場所に設置する場合にはサイレンサの代わりに、簡単な防滴カバーの類で十分である。

8.4 付属物の取付個所の変更

フレームの上下構造が同じになつていているため、サイレンサ、クーラなどの付属物を最終需要家の希望や、設置場所の事情により下部に変更することも可能である。

8.5 保守、点検、清掃の容易

従来の構造の電動機であれば、内部の点検、清掃は電動機を静止させ、サイレンサやクーラなどの付属物を取り除き、両側ブラケットをはずし、回転子を抜いた後に行なつてはいるわけであるが、この新らしい構造によれば、ただ側板を止めているネジをはずすことにより容易にその目的を達することができる。従来の構造では、上記手順により分解するにしても、やはりある程度の技術的な熟練者を必要とし、とくに軸受構造が特殊なものである場合はいっそ深い知識と技術が必要になってくる。この新形構造では、普通一般の保守上の知識を有している人でも点検・清掃が容易に

でき、しかも電動機運転中においても必要に応じて、適宜行なうことのできる点がとくにすぐれた点であるといえよう。

9. MSB-H 形と MSE-G 形の構造と特長

図6.1から図6.6までに示すように、MSB-H形(MSE-G形)とSB-AWH形(SE-AWG形)とは外観がきわめて類似しており、通風方式もまったく同じであって、主要な構造部品、付属品も同じである。

したがってSB-AWH形あるいはSE-AWG形について先に述べた構造と特長は、MSB-H形あるいはMSE-G形の構造や特長としてそのままあげることができる。しかし後者では前者よりも電動機の重量が大きくなるため、フレームは鋼板溶接構造で剛性の大きな構造としている点が相違している。

このほか短絡装置なしを標準構造とするなど細かな点ではいくつかの相違もあるが根本的な相違は上記以外にはない。

10. 特 性

10.1 電気的特性

電気的特性はJEC-37(1961)「誘導機」の規格に準拠している。

10.2 温度特性

温度上昇についてもJEC-37に対し十分に余裕のある設計をしている。その一例として図10.1に200kW 2極機の温度上昇曲線を示す。

また、全閉内冷形空気冷却器付では、冷却塔から冷却水を得る場合を考慮して、冷却器入口の冷却水最高温度を32°Cとして、冷却水量を決定している。

10.3 騒音特性

さきに述べたようにこの種の中容量2極機については、磁気的騒音に比較して、内部ファンおよび回転子ダクトより発生する空

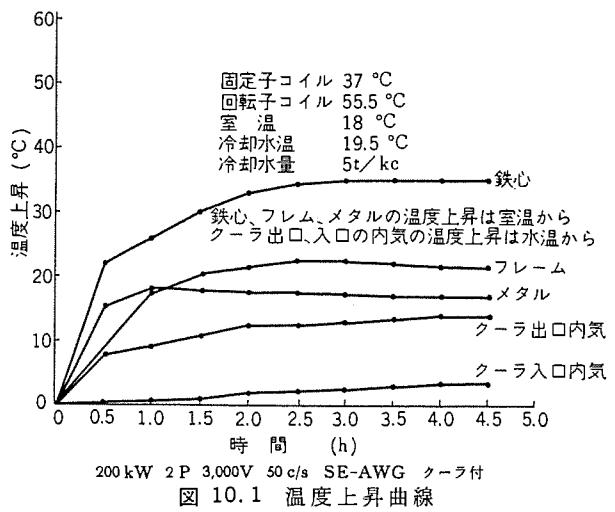


Fig. 10.1 Temperature rise curves.

気力学的騒音が、大きな比率を占めている。従来の鉄鉄フレーム製のものに比較して、内部騒音が側板、底板を通じて外部に透過し易く、また、高次の振動を発生し易い傾向があり、これがこの新形の唯一の欠点といえる。したがって、側板、底板の固定に際しては中間にパッキンあるいは固定個所をふやすなど、騒音減少対策に十分な考慮を払っている。電動機の騒音レベルについては、現在、規格上の制約をうけていないが、騒音計A特性で電動機主壁面から1mの距離で測定した値が75~80phon以下を一応の目安に置いている。

なお、電動機の騒音の大きさは、騒音協調の面からターボ冷凍機や周囲に散在する騒音源に照し合わせて決定すべきであって、他の騒音源との協調なく電動機だけ低くしても、全体の騒音レベルは決して低くならず、必要以上に高価な電動機を使用することになる。

10.4 振動

この種高速電動機は、とくに振動を極力低くすることが必要条件になってくる。したがって軸受部では、軸方向と、軸と垂直の縦横方向の3方向について、片振幅5ミクロン以下、フレームなどの構造部分については、片振幅7ミクロン以下に納めるよう工作上、組立上、十分注意をはらっている。

11. む す び

以上述べた新形の誘導電動機の構造は、単に表題に掲げた開放形ターボ冷凍機用電動機としての巻線形、2極高速電動機に限定されるべきものでない。カゴ形電動機はもちろんのこと、4極用、6極用の電動機やターボ冷凍機以外の一般的の用途のものに対しても、適用を拡大することができる。小形、軽量で付属物を入れ換えるだけで、開放形と全閉形の互換性が可能であり、外観も斬新なスケアタイプになっていること、さらに電動機内部の保守、点検、清掃をとくに熟練者でなくても行なえるなどの種々のすぐれた長所を有している。

したがって、この構造の電動機は、近い将来広く利用されるとが期待され、また希望する次第である。そして今までの製作上の経験を基にして、今後さらにコスト、特性の面から、よりすぐれたものに育てあげよう努力するつもりである。

また、ターボ冷凍機の設置場所も、主として、ホテルやビルを対象にして説明したが、最近は、化学、とくに石油化学工業において-10~60°C程度の大容量低温装置の需要が増し、大容量で高効率を示して取り扱いも容易なターボ冷凍機が、この分野で逐次使用されつつある。この場合には、電動機は爆発性ガスを使用する場所に設置するため、電動機は防爆構造にするものが多い。

当社では、今までにも多数の防爆形電動機を製作してきたが、これらの最近の需要増加に対処して、最も受注ひん度の高い範囲の低温ターボ用電動機の標準化に鋭意努力中であり、今後ともすぐれた電動機を安価、短納期に製作していきたいと念願している。

レクチフォーマ

—新しい一体構造の整流装置—

小林凱*・鶴田敬二*

Rectiformer

—The New Rectifier Transformer Integral Construction—

Itami Works Gai KOBAYASHI・Keiji TSURUTA

Conventional large rectifier stations have been designed with switchgear, transformers and rectifiers installed individually in large buildings with expensive wiring work. However, silicon rectifiers have made a great stride and their excellent characteristics and flexibility have brought a new era to power conversion equipment. "Rectiformer" is a merger of a rectifier and a transformer, built into a single self-contained unit. The new approach to rationalized installation provides the customers with numerous advantages. A 2,200 kW rectiformer, built in 1963 as the first unit in this country for practical service, has been operating with success. This article gives a brief description of this new device covering the construction, comparison with other systems and many novel features.

1. まえがき

従来の整流器変電所では整流器やその他の機器を収容する変電所建屋と、これに伴う据付配線工事は必然的なものと考えられていた。とくに電解工業における著しい大電流設備の出現は、建屋や機器間を結ぶ導体の費用をきわめて大きなものとしつつ電気的特性に及ぼす影響も無視できなくした。また電鉄その他の用途においても据付面積の縮少、屋外設置への要求は常に合理化された変電設備への方向として出されているところである。

一方シリコン整流器の発達はそのすぐれた特性により旧来の機器では不可能であった新しい変電所形式を可能とした。それはシリコン整流器と変圧器を一体化する方式で、変電設備のすう勢を示すものとして注目されている。この過程においてもすでに幾つかの試みが発表されているが、いずれも過渡的な段階とみられるものであった。

当社ではこのすう勢にこたえるためかねてから レクチフォーマの

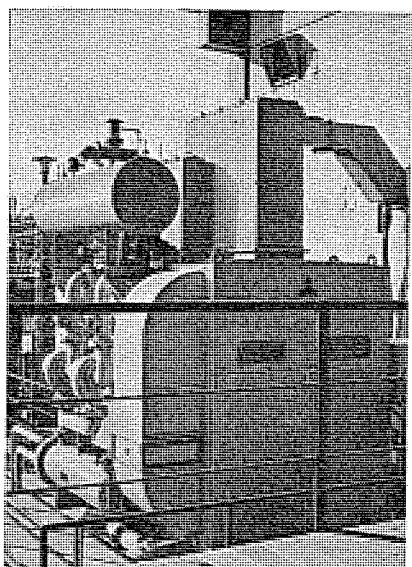


図 1.1 レクチフォーマの据付運転状況
Fig. 1.1 Rectiformer operating at a chemical plant.

表 1.1 レクチフォーマ形整流装置製作実績

納入先	直 流 出 力			備考
	出力 (kW)	電圧 (V)	電流 (A)	
某ソーダ電解工場	2,200	220	10,000	屋外形
旭硝子	9,900	165	60,000	風冷再冷却
某ソーダ電解工場	11,700	130	90,000	屋外形
三菱化成	5,000	250	20,000	66 kV 受電
三菱金属鉱業	2,500	125	20,000	屋外形

名で新しい一体構造の開発を進めてきた。レクチフォーマはその名前が示すように整流器 (Rectifier) と変圧器 (Transformer) を一体化した装置をさすもので単に旧来方式の機器を集めたものとは異なる。昭和38年には 2,200 kW レクチフォーマがわが国最初の実用器として完成し引き続き営業運転に入っている。この装置では整流器は変圧器と共に油冷却系統を用いるばかりでなく、負荷時電圧調整器や電圧調整 リアクトルも含んで完全な電解用直流電源を形成し屋外形に製作されている。このように レクチフォーマは一体構造としてのあるべき形を有するとともに、その運転結果がきわめてすぐれているところから、今後の整流装置一体化の方向を示すものとしてその概要を報告しご参考に供したいと考える。

2. 従来の形式と一体化の試み

2.1 整流器変電所の発達

過去において直流変電機器は M-G より回転変流機、水銀整流器、接触変流機、さらに半導体整流器としてセレン、ゲルマニウムよりシリコンに至っているが、大きな建屋に個々の機能を有する機器を設置してこの間を配線するといった変電所構成が依然として用いられている。これは過去における変換機器がそのような構成を必要とし、かつ長年間にわたって一般化した形式はシリコン整流器の発達においてもそのまま適用された結果である。また一方交流を直流に変換する整流装置本来の目的から考へると、二次的機能しか有しない多くの設備が含まれており合理化の観点より屋外形といった試みはこれまでにもたびたび行なわれてきたところである。しかし従来の変換機器には常に運転の監視と保守が要求され、かつ冷却方式などからとくに大容量の装置では屋外構造

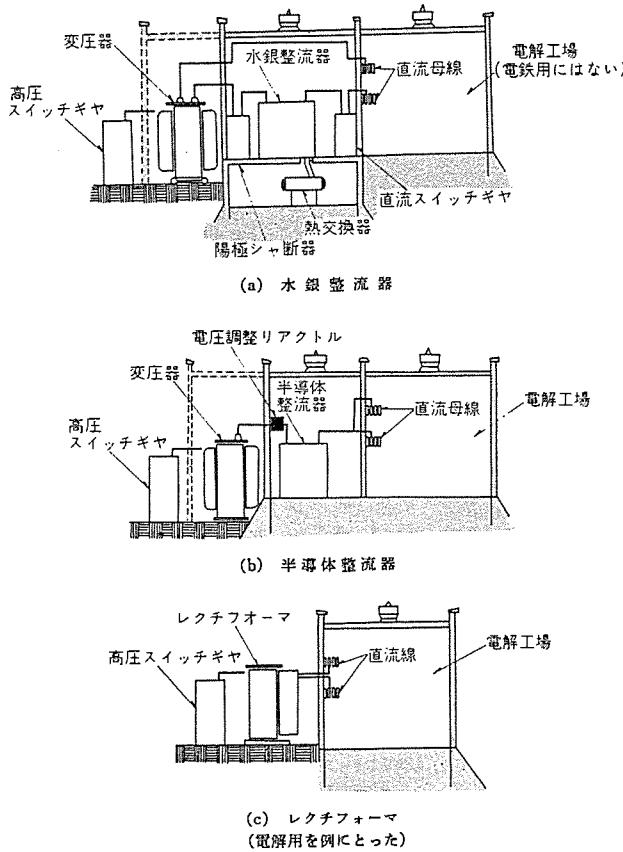


図 2.1 整流器変電所の発達
Fig. 2.1 Development of rectifier substation.

は高価なことが多く、あらゆる設置条件に対し経済的とはいえない結果同じ形式が繰り返されることになっている。

2.2 シリコン整流器

現在製鉄などの大容量電動機駆動や直流送電など一部の用途を除いてシリコン整流器はほとんどあらゆる直流電源に用いられている。この理由を改めて要約すれば

- (1) 高い効率（わずかな損失）
- (2) 高い電圧定格がえられる。
- (3) 広い温度範囲とくに高温度で安定に動作できる。
- (4) 風冷でも液冷でも容易に冷却できる。
- (5) 保守の必要がほとんどない。
- (6) 保護が簡単でわずかのスイッチギヤですむ。
- (7) 小形でありかつ任意の形状にまとめることができる。

これらは個々に考えても重要な特性であり、従来の幾つかの試みはそのある部分を利用したものといえる。たとえば風冷式シリコン整流器を屋外キューピクルに収容した屋外変電所が電鉄用などに作られている。これは大きな進歩であるがさらに一般化した整流装置とするために考慮されなければならない問題点を有している。その一つは大量の空気を吸収するため、じんあい、雨水の侵入による絶縁劣化の問題がある。同時に腐食性ガスに対する考慮から周囲環境の悪い電気化学用への採用に制限を受ける。

次にシリコン整流器は液冷式としてもその特長を利用することができます。このとき素子に発生した熱は内部を循環する液体-主として水-によって運ばれ、熱交換器を介して外部の水または空気に伝えられる。この方式はとくに電気化学用に対し好都合な冷却手段であり、液冷式シリコン整流器はわが国では当社のみが大容量器について製作実績をかさね技術的に完成の域に至っている。

液冷式は屋外用として多くの利点を有していることは、当社が

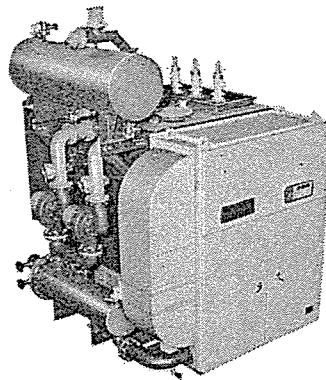


図 2.2
2,200 kW レクチフォーマ
Fig. 2.2
2,200 kW Rectifor-
mer.

昭和32年にわが国初のシリコン整流器として完成した屋外変電所においてもみられるが、ここでもあらゆる要求に対応する際にはなお不十分な点がある。それは主として水を冷却液体に使用する関係から素子の直列接続を必要とする高電圧用途には不適なこと、また低圧の電気化学用でも大电流装置では多数の交流大电流導体を屋外キューピクルに導入する困難性を有することである。

2.3 一体化の試み

シリコン整流器の特長の一部すなわち構造上の多様性を利用して、整流器と変圧器を一体化しようとする方式はすでに幾つか試みられている。たとえば水冷式シリコン整流器を変圧器の横に設けた構造、あるいは風冷式整流器のキューピクルを近接しておいた方式である。これらは接続導体を簡略化する面では進歩を示しているが、なお2.2節にあげられた問題点を残しておきながら電気化学用において重要な点は必然的に付属する可飽和リアクトルなど電圧調整器具に対する解決がなされなければならないことである。一例では整流器より各相別々のアームを取り出し、別個に可飽和リアクトルを設置する方式もあるが、これでは交流大电流の通る複雑な導体配線を必要として真の一体構造とはなれたものになるとともに屋外化は実際上不可能である。したがってこれらの問題点が総合的に解決され始めて完全な電力変換単位が形成されることになる。

当社がレクチフォーマの開発に着手したときこれら従来の方式の組み合わせもまず検討の対象となった。しかしシリコン整流器のもつすべての特長を総合するときこれまでの装置では不可能であった新しい自由度がえられるところから従来の整流器の概念に拘束されず高度の技術を要求されることがあっても使用者側にとって経済的かつ便利な装置が完成されるべきであるとしてその方式が決定された。

3. レクチフォーマの構成

3.1 構造方式の選択

シリコン整流器と変圧器を一体化するときます問題となるのは両者の冷却である。これを別個に考えれば従来の装置の延長を適用することができる。しかし複雑な系統に比べ変圧器に必要な油を使用して单一化された装置とすればそれだけ便利かつ信頼度が高いことは当然である。ただ両者の動作温度を合理的に適合した設計と油密構造に対しより高度の技術が要求されるが慎重な試作検討の結果これらの条件は十分満足しうることが判明した。また並列して行なわれた調査でも、諸外国の代表的メーカの方式すなわち一体構造に対する世界的傾向とも合致している。

変圧器と整流器を組み合わせて共通の冷却油を使用するときも、従来の構造同様に整流素子や保護ヒューズなどが容易に保守できることが必要でここから単なる油浸構造は除外される。

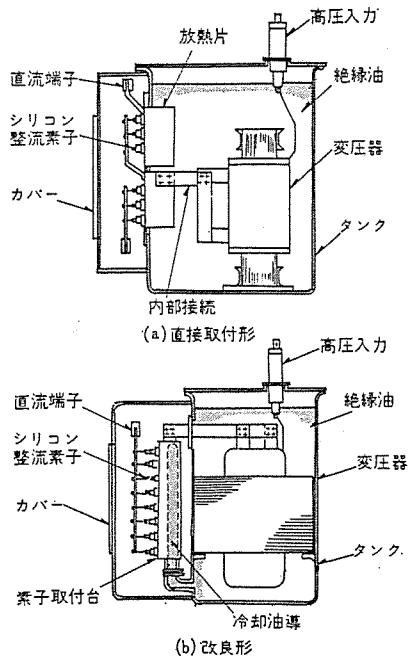


図 3.1 一体構造の各方式
Fig. 3.1 Various types of integral construction.

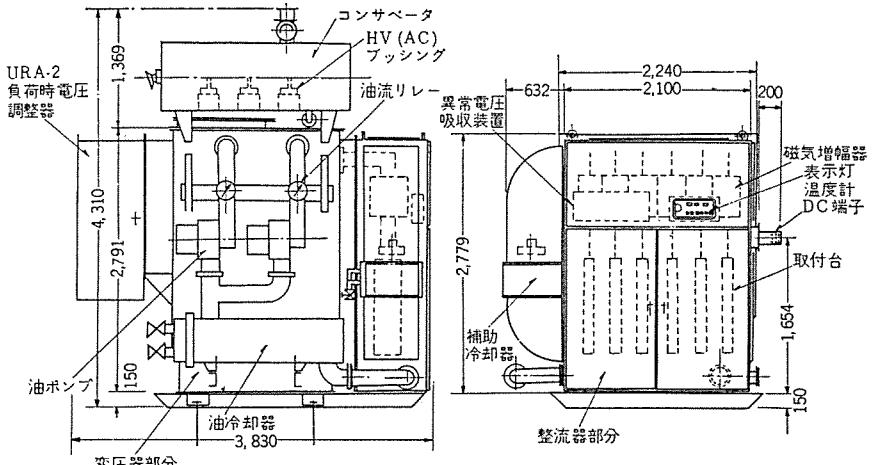


図 3.2 2,200 kW レクチフォーマ 外形、構造図
Fig. 3.2 Outline and construction of 2,200 kW rectifier.

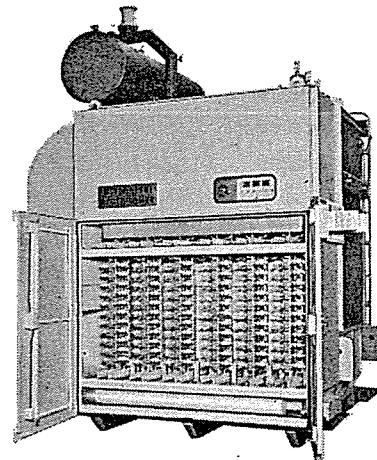


図 3.3 整流器部分
Fig. 3.3 Rectifier compartment.

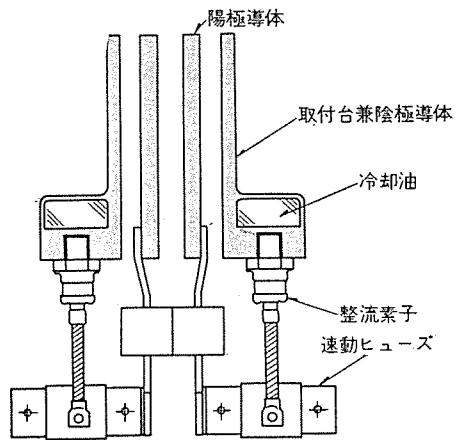


図 3.4 整流素子取付構造
Fig. 3.4 Cross section of rectifier assembly.

まず考えられた構造は素子を外部よりねじ込む取付台兼放熱片を、変圧器タンク側壁にあけた穴に油密かつ絶縁して取り付けるものである。この構造はWH社の初期の一体構造方式としてすでに紹介されている。しかしこれを一般に適用するにはさらに考慮されなければならない要素がある。

(1) 装置の電圧電流定格は用途により多種多様であるから、整流器と変圧器の寸法が常に満足されるとは限らずかつ標準設計が困難である。

(2) 装置の強度と变形ヒズミに対する要求がきびしくまた外鉄形変圧器の採用が困難である。

(3) 放熱片の大きなものが必要でかつ上下位置に温度差を感じ易い。

これらの考慮から変圧器はタンクに特別な窓を設げず最も小形で有利な形状に設計し、この側壁に複数組の素子取付台を設けて変圧器二次端子を接続するとともに取付台内部には変圧器の油を流通して冷却する方式が考えられた。

この方式によればレクチフォーマの特長はすべて活かされるとともに両者間の寸法には厳密な制限はなく、かつ機構的にも安定した装置がえられる。一体構造に関し多くの製作経験を有するWH社も、初期の方式よりさらに水冷整流器の組み合わせなど各方式について比較検討した結果当社が採用した構造を最も将来性ある形として連絡してきている。図3.1はこれら各構造方式の比較

である。(c)は直列素子数が多くかつ並列数の少ない高電圧用途に対し考えられた变形である。

3.2 レクチフォーマの構造

図3.2は2,200 kW レクチフォーマの外形と構造で、この装置は次の定格仕様を有している。

用 途 塩水電解

直 流 出 力 2,200 kW

220 V, 10,000 A

A種定格 (JEM 1156)

交 流 入 力 三相, 50 c/s, 21 kV

電圧調整範囲 220-100 V

URA-2 形負荷時 タップ 切換器 (33段調整) と磁気増幅器形リアクトルによる連続調整 (DC 12 V) を併用。

形式 SO-SUW-URA 送油水冷式

この装置は最初二重星形結線で計画されたが、納入先の既設並列整流器の条件から三相全波結線に変更製作された。したがって相間リアクトルは含まれていないが、変圧器、シリコン整流器、負荷時電圧調整器、磁気増幅器および冷却系統も含めすべての必要な装置が一体化されている。これら各機器の設計および組み合わせにはとくに慎重な検討を行なった結果全体としてもきわめて小形に作られており、工場で組み立てられた装置は写真にもあるようにそのまま現地へ輸送された。

この装置は屋外形であると同時に、周囲条件のとくにきびしい臨海コンゴート地区に設置されるための考慮も払われている。

整流器部分は屋外用密閉キューピクルで、本質的に屋外構造である変圧器と一体化されている。さらにケーブルの高圧入力は上部のブッシングカバー内で接続され直流出力はカバータクトを通してただちに電解槽に接続されるから帶電部分の露出は皆無である。

屋外設置の保守の便を図るために整流器部分のひさしカバーも考慮されているが現在までその必要は認められていない。

3.3 整流器部分

3.1節にも説明したように、整流素子取付台は軽合金の押出形材を溶接したものを六相分、変圧器側壁に取り付けたキューピクルに収容している。この構造形状は慎重な試作の結果決定されたもので有効な冷却を与えるとともに機械的にも強固なものである。この取付台内部を絶縁冷却油が流通するが油系はすべて溶接構造としてゴムホースのように経年変化する弱い部分ではなく信頼度も変圧器にラジエータが付けられているのと同じである。整流回路は陰極側の取付台と陽極側導体により形成されるが、ここには当社のみが使用できる磁界消去構造が採用されており、従来の大電流整流器でも問題となり一体構造ではタンク側壁に接近するためさらに重要な障害になると考えられていた加熱問題を本質的に解決している。図3.4は整流器の一相分を示している。

また電圧調整用磁気増幅器も内蔵しているのがレクチフォーマの特長である。磁気増幅器はキューピクルの上部コンパートメントに無理なく収容され、二次回路は変圧器側壁の端子よりとり出されリアクトル鉄心を貫通して整流器の各アームに導かれる。この結果出力端子からは完全に制御された直流がえられている。

4. 変圧器と付属装置

4.1 レクチフォーマ用変圧器

変圧器は当社独特のフォームフィット構造外鉄形変圧器が採用されており、次に述べる様に外鉄形変圧器が本質的に有する長所とともにレクチフォーマ用変圧器として種々の特長を有している。

(1) 低電圧、大電流に好適な銅板コイルを採用しているので無理のない合理的な設計が行なわれている。

(2) 外鉄形フォームフィット変圧器はコイルが完全に絶縁物で包まれその四隅を鉄心およびタンクにより完全に締めあげられているから、広い締付面を有し、タンク全側面の弾力性をもって締め付けられた構造で機械的強度が大きい。

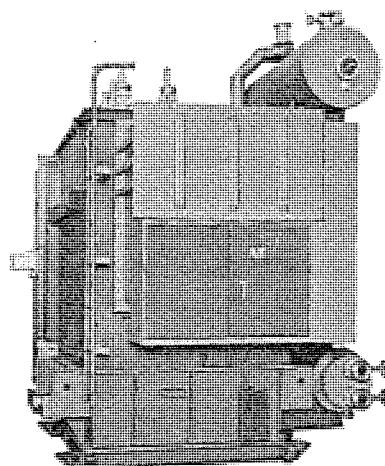


図4.1 変圧器部分（負荷時タップ切換器付）

Fig. 4.1 Transformer side with on-load tap changer.

(3) 外鉄形変圧器はコイル数が少なくその間隔が大きく、さらにフォームフィット構造であるため強制循環式では油の大部分がコイルの間を通りようになっていて有効な冷却作用が行なわれている。

(4) フォームフィット構造を採用しているため、外形寸法が小さく、重量、油量が少ない。

(5) タンクは全溶接構造で油漏れの可能性が非常に少ない。

(6) 外鉄形変圧器は設計の自由度が大きく、縦、横、高さの比や特性がある程度自由に選択ができる、整流器、変圧器、負荷時タップ切換器、電圧調整用磁気増幅器を一体としたレクチフォーマ用変圧器としては好適である。

(7) 高、低圧コイルグループの数を増し、漏れインピーダンスを小さくし、転流電圧降下を小さくすると同時に高低圧コイル間に静電シャハイ板を設け、高圧側に発生した異常電圧の低圧側への移行を防止している。

(8) 冷却方式としては送油水冷式を採用し、床面積を小さくすると同時に、化学工場に多い水中浮遊物による冷却器の腐食を防止している。

(9) 水中浮遊物による汚損を防止するために高圧ブッシングはバスダクト方式とし、低圧側ブッシングは直接整流器室へ導かれおり、漏る部分の外気露出がまったくない構造としている。

4.2 負荷時タップ切換器

負荷時タップ切換器にはひんばんな動作に対しても信頼度が一段と高く、保守、点検が簡単容易なURA-2形負荷時タップ切換器が採用されている。URA-2形負荷時タップ切換器は33点のタップ点数を有し、有効な電圧調整を行なうことが可能であるとともに次の特長を有している。

(1) 切換開閉器を乾式とし、磁気吹消形、空気吹付開閉器を用いているから、あらゆる電流域でアーキ時間が短く、接点の寿命が大であり、ひんばんな開閉動作に対しても信頼度が高い。

(2) 油中切換開閉器のごとく、油の汚損絶縁耐力の低下、油のロ過などの問題がない。

(3) タップ選択器は1組のゼネバギヤによって三相一括駆動されるから動作が確実である。

(4) 制動はコンデンサによる制動と電磁ブレーキを併用しているので停止が確実で寿命が大である。

(5) 保守点検が簡単容易である。

図4.1はレクチフォーマをURA-2負荷時タップ切換器側からみた写真である。

4.3 電圧調整用磁気増幅器

負荷時タップ切換器で、階段的に切り換えられた電圧をさらに連続制御を行なうために磁気増幅器が使用されている。

磁気増幅器は等アンペアターンで動作する従来の可飽和リアクトル

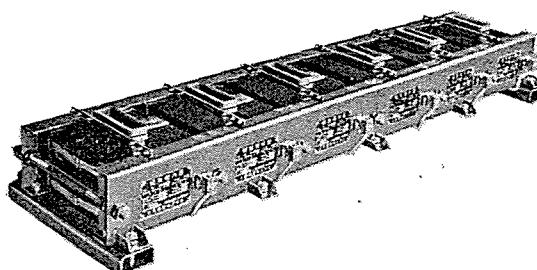


図4.2 電圧調整用磁気増幅器

Fig. 4.2 Magnetic amplifier for voltage control.

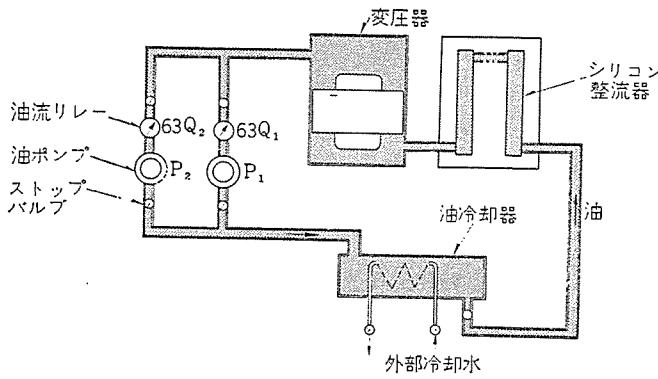


図 4.3 冷却系統図
Fig. 4.3 Cooling system.

と異なり、自己飽和形であるから制御アンペアターンは非常に小さくてよい。したがって、制御直流電流は 10 A 以下の小さな電流でしかも出力巻線と制御巻線の巻数比が 1 に近いので出力側の異常電圧が制御側に及ぼす危険度は非常に少ない。

鉄心には無切断の接着鉄心を使用しているため、低騒音であり、全制御域でリニアなすぐれた特性を有している。

また、出力巻線としては、鉄心との間に絶縁筒を介して銅板を貫通させる構造としており、貫通銅板は接続用銅板（変圧器と整流器間の接続途中）をそのまま利用するようにしているのでコンパクトでかつ点検保守も簡単容易である。

図 4.2 は磁気増幅器の外観である。

4.4 冷却装置

一体構造においては整流素子の温度を安全な限界内に保つとともに変圧器とバランスのとれた設計が重要である。同時に統一された簡素化された冷却系統は保守の手数を省き運転の信頼度向上する。この要求は変圧器に対して与えられている冷却を整流器にも適用することで満足されるが、これはシリコン整流器の特長を完全にいかすことにより始めて実現される。ゲルマニウム整流器ならば別個の循環水冷系統が必然的であろうが、シリコン整流器ではたとえば 190°C の動作温度限界より連続運転上の安全度をとった 150°C 付近に設計基準をおいても、80°C 程度の油温との間になお熱放散に十分な温度差ができる。さらに詳細に検討された結果では、別個に冷却系統を設ける費用と比較して、单一化された方式では容易に大きな伝熱面積を有する熱交換器を設けて全体の温度を下げる事が判明している。これは油の保守の面でも大きな利点となる。しかし油で冷却する場合には水に比べてはるかに高度の設計を必要とする。それは熱伝達率と粘性において不利な液体を使用するからでこのため液冷式シリコン整流器の経験をいかしてきわめて熱伝達の良い素子取付台が開発された。後述の試験結果にも示されているように、油と整流素子ケース間の温度差はわずかに 10°C 程度で、これも整流器の寸法をまったく増加させることなくえられている。

図 4.3 は 2,200 kW 装置の冷却系統である。油はポンプをへて内圧をもちながら冷却器に入る。ここから温度の低い油がまず整流器部分を冷却して変圧器に入る循環系統を形成している。油ポンプは信頼度の高い油中形でさらに油流継電器とともに 1 組の予備が設けられている。運転中に万一ポンプ P₂ の故障で 63 Q₁ が動作するとただちに P₂ を起動するとともに警報を発する。63 Q₁ 動作して一定時間後なお P₂ が起動しないときはじめて装置を停止する。冷却器はとくに信頼度を高めるため 2 重ヘッダ構造を用

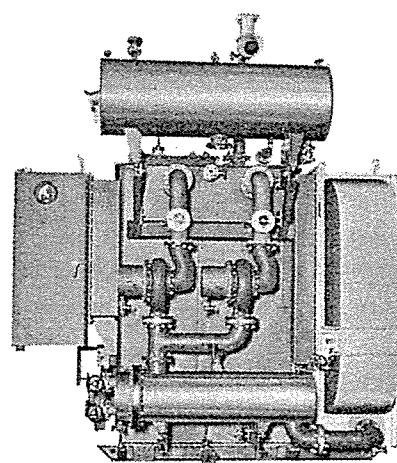


図 4.4 冷却装置
Fig. 4.4 View of the cooling system.

いさらに油圧により故障時の水の侵入を防いでいる。

このように連続運転に対するあらゆる処置をとり、逆止弁、ストップバルブなども含めながら冷却装置は図 4.4 にみられるようにきわめて簡単である。ここに単一化された冷却系統の特長が示されている。このほか整流器部分に収容された磁気増幅器の発熱などを冷却する小形の補助冷却器が設けられ キューピクル内の循環風を冷却している。循環油の冷却には外部冷却水が用いられるのが普通であるが、水のえらべにくく場所に対応して 9,900 kW レクチフォーマが送油風冷式で製作されている。共通の油を冷却に用いることは他にも幾つかの利点をもたらす。その一つは大きな熱容量を有するため外部冷却条件の急変に対しきわめて安全なことである。

また電鉄用などの高電圧用途にもそのまま適用できるとともに、平均値として余り大きくなない変動負荷に対しては冷却器が小形になる有利な方式である。

5. 試験結果

レクチフォーマの試験はその製作段階より始まる。まず変圧器は組み合わせ前に単独で必要な試験を受ける。次いで同じく試験された磁気増幅器を組み込んだ整流器部分を組み合わせて完成した装置となり、ここで全装置に対する点検と耐圧試験の後温度上昇と特性測定試験が行なわれる。また油圧試験もこれと並行して加えられた。温度上昇試験の結果は図 5.1 のように非常に余裕のある値を示しておりまた外部冷却水の停止などかこくな特殊試験にもすぐれた特性を示した。この試験は仕様値の水量（油冷却器 250

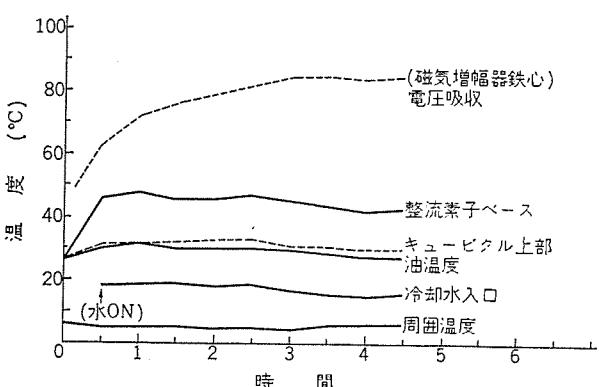


図 5.1 温度上昇試験
Fig. 5.1 Load test-temperature rise.

l/min , 補助冷却器 $60 l/min$) で行なったが, 結果より明らかなよう実際には, はるかに少ない水量で運転している。

電気的特性は全装置の効率 96.8 %, 電圧変動率 6.9 %がえられた。これは負荷時電圧調整器や電圧調整磁気増幅器も含みさらに直流出力はただちに負荷に接続されるから、これらの特性はそのまま実際使用時のものとなる。したがってこれまでの諸形式で発表されている特性とは区別されなければならない。レクチフォーマのすぐれた特性は他例においても同様に発揮される。たとえば $11,700 \text{ kW}$, 130 V , 90 kA の装置でも総合効率 96.7 %が期待されている。

6. 大容量装置への適用

6.1 レクチフォーマの容量

レクチフォーマとしての直流出力には理論上限界はないが、実際応

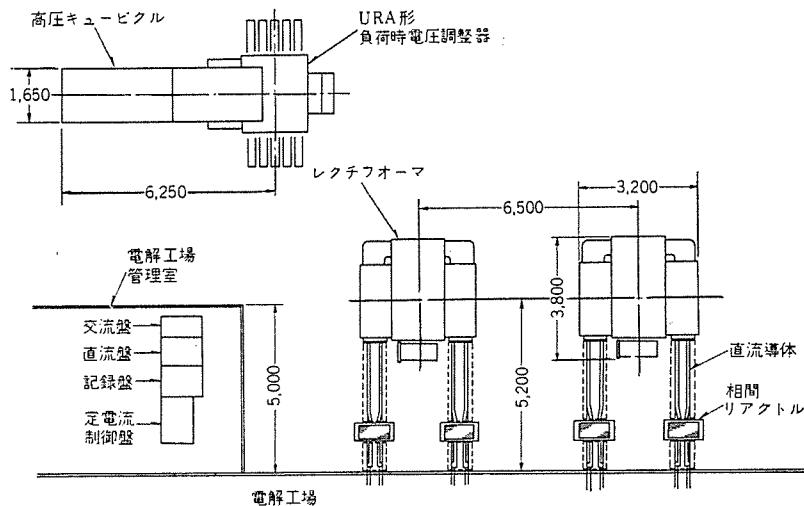


図 6.1 130 V , 90 kA レクチフォーマ 变電所機器配置 (例)
Fig. 6.1 Layout of a 130 V 90 kA rectiformer substation.

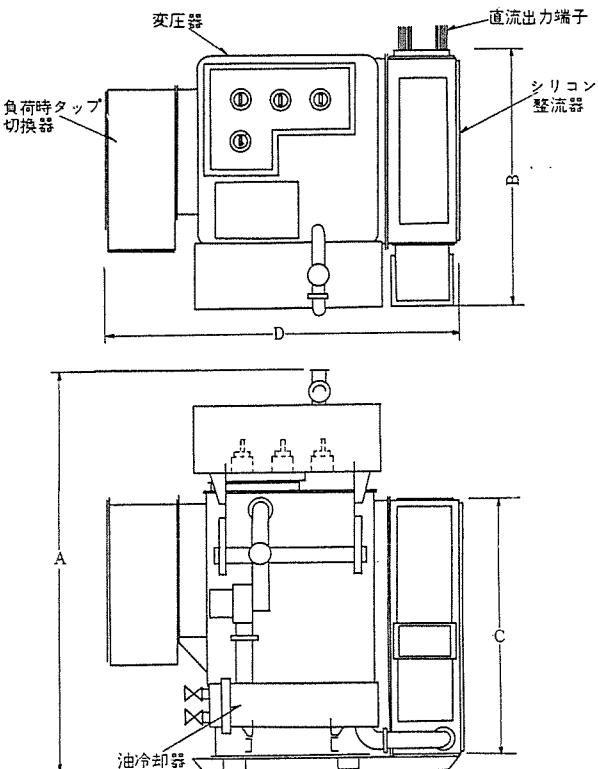


図 6.2 (a) レクチフォーマ 形整流装置外形 (例)
Fig. 6.2 (a) Outline Dimensions.

用上の考慮 (たとえば組合 12 相といった) から回路構成上幾つかの変換単位で構成することもある。現在すでに直流出力 $10,000 \text{ kW}$, 電流 $60,000 \text{ A}$ の領域が 1 単位で製作されており、複合形式を用いればさらに大電流装置の構成が可能である。図 6.1 は典型的な塩水電解用設備の例を示している。また レクチフォーマの寸法、重量は電圧調整範囲などによってその都度変化するが、概略として図 6.2 および表 6.1 に幾つかの例をあげる。(b) の形に対してもその高圧端子側に負荷時電圧調整器を付加する場合がある。いずれも電圧調整 リアクトルを含んでおり他の形式に比べて小形すなわち経済的に設計されていることが知られる。

6.2 据付配線

レクチフォーマはこの面において最も大きな利益をもたらす。特別な考慮なしに屋外形に製作できるから変電所建屋が節約される。同時に小形のため多くの場合 コンサベータなどわずかの部品をはず

しただけで 図 6.3 のように組立輸送できその据付もきわめて簡単にすむことは想像に難くない。

また最近の大容量電解設備では電解槽の接続導体に アルミ材を使用することが進んでいるが、

表 6.1 レクチフォーマ 形整流装置概略寸法

番号	直流出力 出力 (kW)	直流出力 電流 (A)	外形寸法 (mm)				重量 (油なし) (kg)
			A	B	C	D	
a 1	2,000	10,000	4,000	2,800	2,300	3,500	18,500
a 2	3,000	15,000	4,200	2,800	2,600	3,800	21,000
a 3	5,000	20,000	4,500	2,800	2,800	4,000	24,000
a 4	6,000	30,000	4,500	2,800	3,200	4,000	26,500
b 1	5,000	40,000	4,000	3,800	2,600	3,200	22,000
b 2	7,000	50,000	4,000	3,800	2,900	3,400	26,000
b 3	10,000	60,000	4,000	3,800	3,200	4,500	32,000

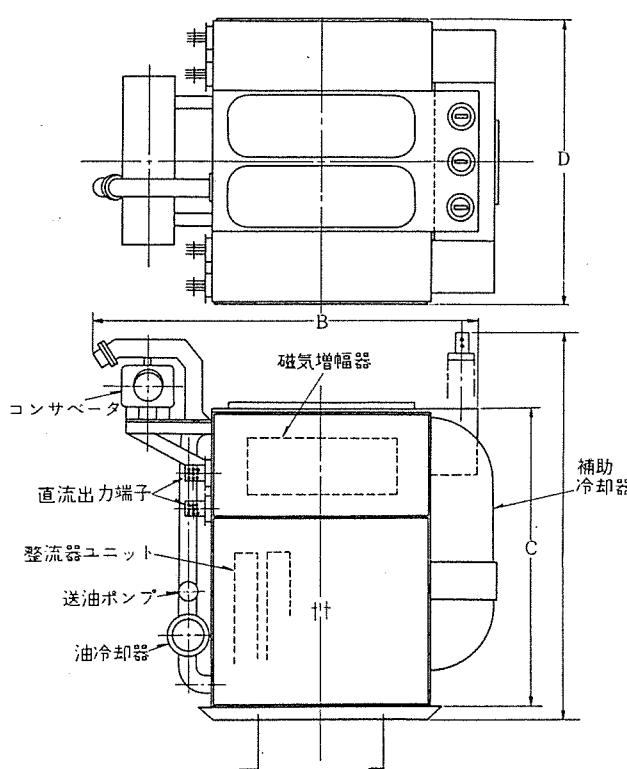


図 6.2 (b) レクチフォーマ 形整流装置外形 (例)
Fig. 6.2 (b) Outline Dimensions.

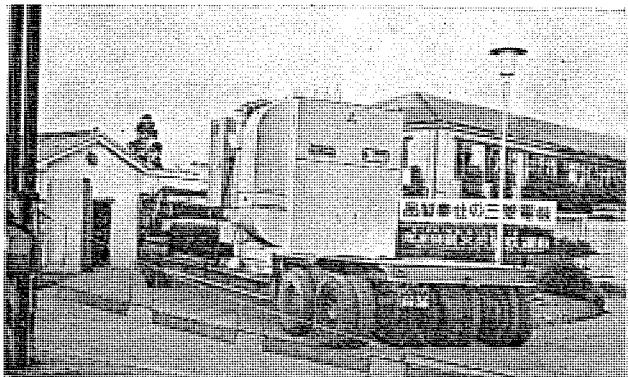


図 6.3 レクチフォーマの組立輸送
Fig. 6.3 Rectifier under transportation.

レクチフォーマはこの傾向にも合致している。すなわち複雑な機器間の導体接続工事がなく、これが電気的特性に及ぼす影響からも開放されているから直流出力端子への接続は電槽側接続導体をわずかに延長するだけでこれに含めることができる。このとき機器側の工事としては基礎上への据え付け、高圧側と補助回路のつなぎ込み程度となり従来の方式に比べて著しく簡略化される。

図 6.1 の変電設備はその一例である。

7. む す び

以上に 2,200 kW 装置を中心として新しく完成した一体構造の整流装置 レクチフォーマの概要を紹介したが、この方式は本文で述

べられた範囲に制限されることなくさらに広い応用分野を有していることは明らかである。最後に レクチフォーマによってもたらされる利点を要約してみると次のようになる。

(1) 建設費の節約

- a. 整流器や付属機器を収容する建屋を省略できる。
- b. 変圧器と整流器、電圧調整 リアクトルをむすぶ接続導体がない。
- c. 基礎は変圧器単独にも要求されるものと同じですむ。
- d. 変電設備に要する敷地が少ない。

(2) 据付工事の簡易化

- a. 多数の機器の代わりに单一装置を据え付ければよい。
- b. 機器間の複雑な導体接続工事がない。

(3) 運転費の節約

- a. 変圧器と整流器、電圧調整 リアクトルをむすぶ導体に生じていた損失がなくなる。

(4) 容易な保守と信頼度の向上

- a. 変電所建屋の補修が不要である。
- b. 単一化された冷却系統は複雑な構成に比べて保守も容易でありかつ信頼度が高い。熱容量の大きな系統は外部冷却の停止に対しても安全である。

レクチフォーマのすぐれた特長はその運転実績からも確認されており今後ひろく変電設備の合理化に貢献するものであるが、さらにご使用いただいた各位のご意見を取り入れてより完全な装置にしたいと考えている。

架線電圧検知・構内無線共用アンテナ

黒田忠光*・久保田肇*
永岡栄**
喜連川隆***・武市吉博****

A Blade Antenna for Common Use in Trolley Wire Voltage Detectors and Yard Radiotelephone Equipments

Kamakura Works Itami factory
Itami Works
Research Laboratory

Tadamitsu KURODA・Hajime KUBOTA
Sakae NAGAOKA
Takashi KITSUREGAWA・Yoshihiro TAKEICHI

An antenna provided on the New Tokaido Trunk Line of the Japanese National Railways is in common use for detecting trolley wire voltage of 25 kV AC as a static antenna and for radio communication in the yard as transmitting and receiving antenna of VHF radio telephone equipment. Its construction is a vertical plane board with height of about $\lambda/6$ combined with a horizontal bar. This assembly is housed in a radome and possesses enough strength to withstand impact, vibration and wind pressure indispensable to the train. A trolley wire voltage detecting device operates positively against the fluctuation of the trolley wire voltage and variation of its height; the VHF antenna has good impedance characteristics and directive characteristics for the all band width of 150 Mc band.

1. まえがき

東海道新幹線の列車は、架線電圧の有無を検出する架線電圧検用静電アンテナと、構内連絡用に使用するVHF無線電話装置に必要な送受信アンテナの両者が必要である。

これに対し車両構造からくる種々の条件と、美観上の問題から先頭車の屋根上に取り付けるアンテナは1本とし、両者の機能を兼ね備えた新形アンテナを開発したので、以下に詳細を記述する。

2. 共用アンテナ方式

図2.1はもっとも基本的な静電誘導兼無線周波アンテナ方式の原理を示したものである。車両の屋根に相当する地板の上に静電誘導兼電波放射導体を設け、両者は直列に絶縁してある。静電誘導兼電波放射導体内には同軸伝送線路#1および#2を設け、それらの上端において#1は短絡し、#2は開放してある。

このような構造にするとその等価回路は図2.2のように表わされる。図2.2における端子対 T_1-T_1' および T_2-T_2' はそれぞれ図2.1における静電誘導出力端および無線周波入出力端を表す。 Z_a は静電誘導兼電波放射導体と地板との間の絶縁間隔から外

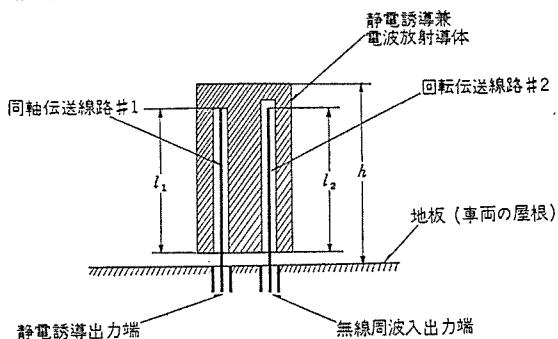


図2.1 静電誘導兼無線周波アンテナ 原理図
Fig. 2.1 Illustration of an operation principle of a static and radio-frequency antenna.

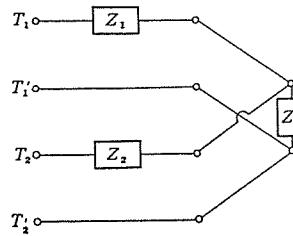


図2.2 図2.1の静電誘導兼無線周波アンテナの等価回路
Fig. 2.2 Equivalent circuit for the static and radio-frequency antenna shown in Fig. 2.1.

を見たインピーダンスおよび同絶縁間隔そのものがもつインピーダンスからなるインピーダンスであり、これは上記導体および地板の形状寸法によって定まる。 Z_1 および Z_2 はそれぞれ上端短絡同軸伝送線路#1および上端開放同軸伝送線路#2をそれらの下端から見たインピーダンスであって、

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= jZ_{01} \tan 2\pi \frac{l_1}{\lambda_1}, \\ Z_2 &= -jZ_{02} \cot 2\pi \frac{l_2}{\lambda_2} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

で表わされる。ここで Z_{01} および Z_{02} はそれぞれ伝送線路#1および#2の特性インピーダンス、 l_1 および l_2 はそれぞれ伝送線路#1および#2の長さ、 λ_1 および λ_2 はそれぞれ伝送線路#1および#2の内部における電波の波長である。

今 0 c/s における電気的諸量を添字sで表わし、無線周波数における電気的諸量を添字rで表わせば、

$$\left. \begin{aligned} Z_{1s} &= 0, \\ Z_{2s} &= -j\infty \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

であるのに対して、伝送線路の長さを

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{\lambda_{1r}}{4}, \\ l_2 &= \frac{\lambda_{2r}}{4} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

となるようにすればその周波数において

$$\left. \begin{aligned} Z_{1r} &= j\infty, \\ Z_{2r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

となる。したがって Z_0 の両端に 0 c/s および式(2.3)の関係を満たす無線周波数の電圧が誘起した場合、 0 c/s の電圧はそのまま端子対 T_1-T_1' に現われ、無線周波数の電圧はそのまま端子対 T_2-T_2' に現われる。また各端子対にどのようなインピーダンスをつないでも、互いに他の端子対から見たインピーダンスに何の影響をも及ぼさない。すなわち静電系と無線周波数系とは互いに独立に働く。以上においては周波数 0 c/s と無線周波数との場合について述べたが、 60 c/s のような低い周波数と無線周波数との場合についてもほとんど同じ関係が得られることは明らかである。

なお図2.1においては、静電系と無線周波数系とを独立に働くための伝送線路として同軸線路を例にとったが、これを他形式の線路で置き換えることはいうまでもない。また伝送線路#2の長さ l_2 は必ずしも $\lambda_{2r}/4$ に選ぶ必要はなく、 $l_2=\lambda_{2r}/4$ として無線周波数におけるインピーダンス整合に役立てることができる。

以上のようにして静電誘導兼無線周波アンテナが得られるわけであるが、さらにアンテナの許容高さ h と所要静電誘導出力電圧との関係で、静電誘導用水平導体を設ける必要がある場合には、そのために起こる無線周波アンテナとしての電気性能の低下、すなわち不要偏波成分の放射、所要偏波成分の放射パターンのヒズミ、インピーダンスの周波数特性の劣化などを防がなければならない。その一方法を示したのが図2.3である。同軸伝送線路#3の長さを伝パン波長の4分の1にすることによって、垂直導体と水平導体との間に $j\infty$ のインピーダンスをそう入することができ、上記性能の低下を防ぐことができる。

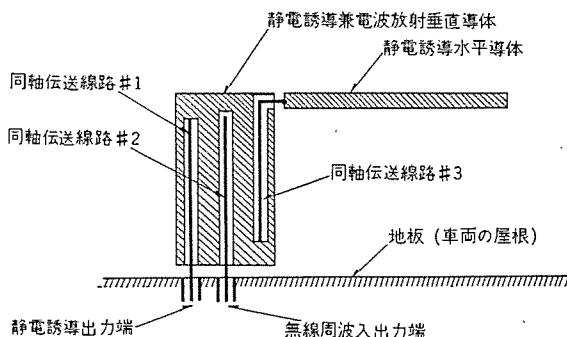


図2.3 水平導体付加静電誘導兼無線周波アンテナ 原理図
Fig. 2.3 Illustration of an operation principle of a static and radio-frequency antenna with a horizontal linear conductor.

3. 構造および性能

前節に述べた方式に基づいて、東海道新幹線列車の 60 c/s 架線電圧検知装置と 150 Mc 帯構内無線電話装置の共用アンテナを製作した。その構造および性能を以下にしるす。

3.1 構造

このアンテナはアンテナカバーおよび内部エレメントからなり、その外観は図3.1のとおりである。

3.1.1 アンテナカバー

この部分は、意匠的ならびに機構的な面から最も重要な部分であって、形状が複雑でかつ過酷な環境条件で使用されるために、材料としては性能上ならびに工作上から、これらに最も適したガラス繊維強化ポリエステルを使用した。ガラス繊維強化ポリエステルについては、当社が長年製作している航空機用グレードアンテナ⁽¹⁾⁽²⁾およびレードーム^{(3)~(6)}において好結果を得ている。

3.1.2 内部エレメント

この部分はVHFアンテナとして 150 Mc の高周波電波を発射

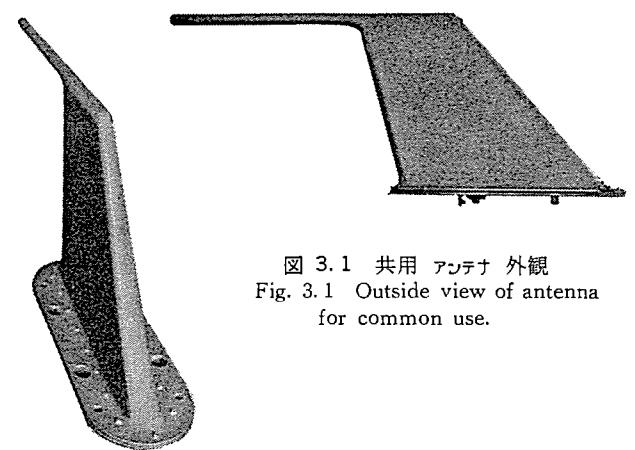


図3.1 共用アンテナ 外観
Fig. 3.1 Outside view of antenna for common use.

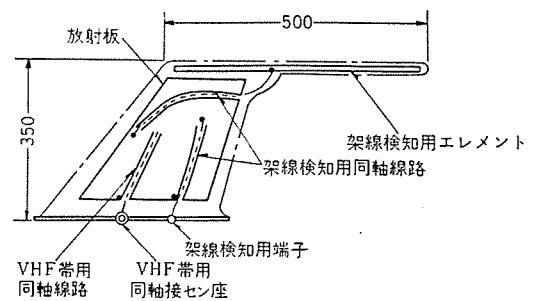


図3.2 共用アンテナの構成概要
Fig. 3.2 Structure of the antenna for common use.

あるいは受信すると同時に、架線から 60 c/s の電圧を誘起し、あたかも2組の別個のアンテナがあるように働きかせるもので電気的に心臓部ともいいくべき部分である。

内部は図3.2のように下記の各エレメントから構成されている。

- (1) 架線電圧検知用垂直エレメント兼用VHF帯放射板
- (2) VHF帯用同軸線路
- (3) 架線検知用同軸線路

3.2 架線電圧検知アンテナとしての電気性能

3.2.1 アンテナへの誘起電圧

交流電圧架線の下にこのアンテナを置いた場合、静電誘導によりアンテナに誘起される電圧 E_t は

$$E_t = E_0 \times \frac{Z_t}{Z_t + Z_0}$$

E_t : 架線電圧

Z_0 : アンテナと架線間のインピーダンス

Z_t : アンテナの負荷インピーダンス

上式のように書き表わされる。

Z_0 はアンテナと架線間の距離および列車位置がトンネル内か外かなどによって大幅に変化する。

新幹線の架線の配置、トンネルの形状などの条件を入れ、架線とアンテナは二つの平行無限長線と近似して、アンテナのインピーダンスを電界模写から求めた。これを表3.1に示す。

図3.3にアンテナの実測誘起電圧特性と、表3.1の値から計算した誘起電圧特性を示す。実測値と計算値は多少違っているが、これは工場内での測定のため測定状態を等価的に模写することが非常に困難なためと考えられる。しかし直線性が非常に良いことから、実際の列車でのアンテナ誘起電圧特性は計算によって大略求められることがわかる。また表3.1から隣接線路の架線からの誘起電圧は、最大 $1/6$ 程度であることがいえ、後述の増幅器の調整により十分選択しうる範囲にある。

表 3.1 架線-アンテナ間インピーダンス Z_0

トンネル外	トンネル内	トンネル外 (隣架線間)	トンネル内 (隣架線間)	工場内
1,180 MΩ (60 c/s)	1,350 MΩ (60 c/s)	7,800 MΩ (60 c/s)	27,100 MΩ (60 c/s)	1,400 MΩ (60 c/s)

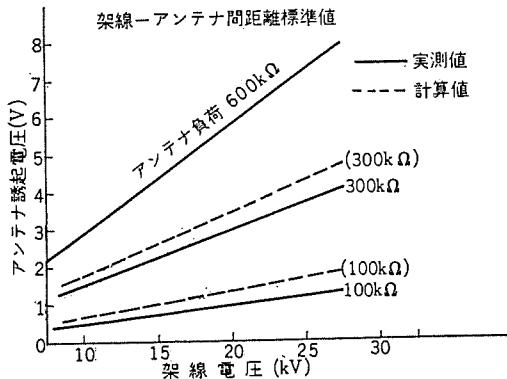


図 3.3 アンテナの誘起電圧特性

Fig. 3.3 Induced voltage characteristic of the antenna.

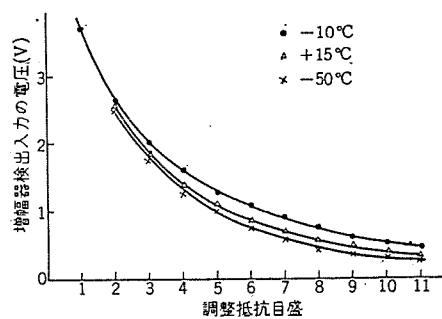


図 3.4 増幅器の感度特性 -10°C , $+15^{\circ}\text{C}$, $+50^{\circ}\text{C}$
Fig. 3.4 Sensitivity characteristic of the amplifier at -10°C , $+15^{\circ}\text{C}$, $+50^{\circ}\text{C}$.

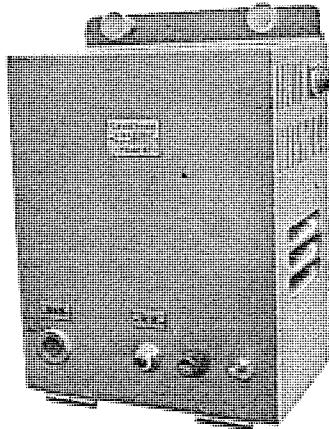


図 3.5 増幅器
Fig. 3.5 Amplifier.

3.2.2 架線電圧検知装置

架線電圧検知装置は上記 アンテナ と増幅器との組み合わせにより、交流電圧架線の下で パンタグラフ を上げることなく架線電圧印加の有無を検知し、表示灯を点灯させるものである。

したがって、架線電圧がある値以下の場合は表示灯は消灯し、また隣接線路の架線電圧を誤って検出してはならない。

増幅器は増幅回路、判別回路および表示回路から構成され、すべてトランジスタを使用している。とくに表示灯の点灯スイッチ回路はパワートランジスタを使用し、信頼度の向上を計っている。

増幅器は増幅度が可変で、表示灯点灯に必要な入力レベルを変えることができる。図3.4に増幅器の検出入力電圧特性を示す。

図3.5は増幅器の外観を示し、車両側から直流 100 V の電源

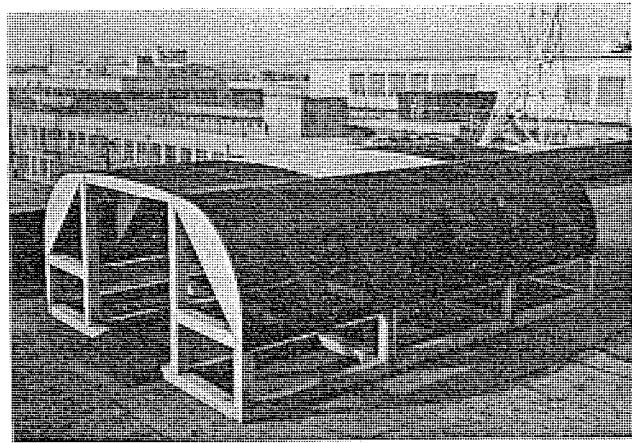


図 3.6 東海道新幹線列車の屋根に擬似したインピーダンス測定用実物大模型

Fig. 3.6 Full-scale mock-up on the roof of the rolling-stock of the new Tokaido trunk line for antenna-impedance measurements.

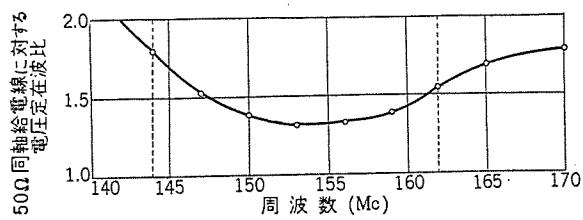


図 3.7 共用アンテナの入力電圧定在波比測定結果
Fig. 3.7 Measured input voltage standing-wave ratio of the antenna for common use.

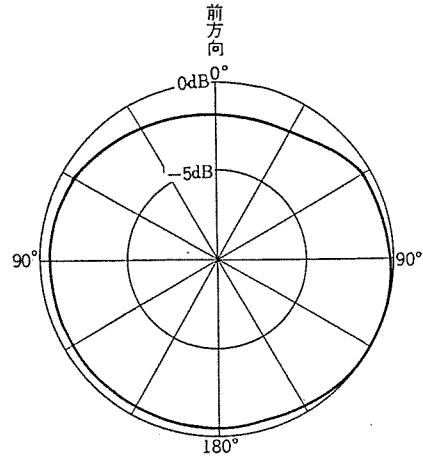


図 3.8 共用アンテナの放射パターン測定結果
Fig. 3.8 Measured radiation pattern of the antenna for common use.

を得て動作する。図中右上の同軸接栓座は アンテナ との接続端子を示す。

3.3 VHF アンテナとしての電気性能

共用アンテナの性能のうち、VHF アンテナとしての電気性能を以下に述べる。VHF アンテナとしては 150 Mc 帯通信の周波数範囲 144~162 Mc 全域にわたって 垂直偏波水平面内無指向性 アンテナとして使用しうるようにするために、アンテナの高さ 350 mm 以下、すなわち 150 Mc 帯における約 6 分の 1 波長以下という構造的制限のもとに、広帯域板状 ユニポール 形式の放射素子に 2 節の共用アンテナ 方式を適用して所要性能を得てある。

3.3.1 インピーダンス特性

インピーダンス特性は、東海道新幹線列車の屋根に擬似した幅 3,280

mm, 長さ 4,500 mm の実物大模型（図 3.6）の上にアンテナを取り付けて測定した。図 3.7 は 50 Ω 同軸給電線に対する入力電圧定在波比測定結果であって、150 Mc 帯通信用として必要な 144 ~ 162 MCにおいて 2 以下であるだけでなく、さらに広い、142 ~ 170 Mc 以上にわたって 2 以下が得られている。

3.3.2 放射指向特性

放射指向特性は便宜上直径 1 波長の円形地板に アンテナを取り付けて測定した。図 3.8 は周波数 154 Mc での垂直偏波に対する水平面内放射 パターンである。半波長 ダイポールアンテナに対する水平面内平均利得約 -1 dB, 水平面内利得変化 ±1 dB という良い結果を得た。

3.4 機械的性能

新幹線運転時間問題となる点を列挙すると下記のようになる。

(1) 台風・非運転時

任意の方向から風速 80 m/sec

(2) 台風・運転時

前後方向から $250 \text{ km/h} + 25 \text{ m/sec} = 94.4 \text{ m/sec}$

(3) 車両振動に対して共振しないこと

5~20 c/s 振動加速度約 0.3 G

以上を考察するに、風速 80 m/sec の横風を受ける場合の荷重が最大になるので、この条件により強度計算を行ない設計をした結果下記に示すように十分の強度が得られた。

3.4.1 風圧荷重の計算値

側面からの風圧荷重は約 60 kg となった。この荷重により取付部に生ずる最大応力 0.25 kg/mm^2 となり、一方本材料の許容応力は安全率 7 として、 4 kg/mm^2 であるから強度は十分である。

上部パイプの付け根については、風圧荷重 3 kg となり付け根の最大応力は 1.39 kg/mm^2 となる。したがって前者同様強度は十分である。

3.4.2 荷重試験

本アンテナを水平に取り付け、平板部分に静荷重 100 kg を繰り返しかけたが、異状はなかった。

3.4.3 振動試験

振動数 5~50 c/s, 振動加速度 1 G 一定で振動試験を行なった

が、異状はなかった。

以上により列車に要求される振動ならびに風圧に十分耐える性能が得られたものと思う。

4. む す び

以上、今回国鉄東海道新幹線用として製作した架線電圧検知用静電アンテナと構内無線用 VHF アンテナとの共用アンテナについて、その共用原理、構造ならびに試験結果について概要を記した。

列車の高速度化に伴い、種々の電気装置は今後ますます複雑になり、一方実装上のスペースならびに美観の点から簡素化、単純化が計られ、このような形式の複合体が今後の新しい発展の重要なキーポイントになるものと思われる。

最後に、設計製作にあたり絶えず指導援助をいただいた国鉄関係当局各位ならびに当社関係部門のご尽力に対し、ここに深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 喜連川・平岡・浜口・武市・大林・水沢： 航空機用 VHF 帯小形広帯域 ブレードアンテナ、「三菱電機」, 36, p. 436 (昭 37-3).
- (2) 喜連川・武市・水沢： 広帯域 8 分の 1 波長 ユニポールアンテナ、昭和 38 年度電気通信学会全国大会講演論文集, No. 167 (昭 38-11).
- (3) 尾島・喜連川・信岡・有田： レーダームの設計および製作法と新製品の紹介、「三菱電機」, 31, p. 588. (昭 32-7). Frank Leary: Electronics in Japan, Electronics, 33, No. 22, p. 74 (May 27, 1960).
- (4) 喜連川・有田： 金網入り誘電体 ラドーム、電気通信学会雑誌, 44, p. 250 (昭 36-2). T. Kitsuregawa and F. Arita: Metal-Mesh Embedded Dielectric Radome, Electronics 34, No. 42, p. 58 (Oct., 1961).
- (5) 尾島・石黒・前田・喜連川： ジェット 機機首 レーダーム、「三菱電機」, 34, p. 909 (昭 35-7).
- (6) 前田・馬波・香坂・喜連川・野並： 地上大形硬質レーダーム、「三菱電機」, 36, p. 615 (昭 37-5).

電空併用ブレーキ装置

小原太郎*

1. まえがき

鉄道車両のブレーキに圧縮空気を利用することは1869年、Westinghouse電機会社（以下W社といふ）ならびにWestinghouseエアブレーキ会社（以下WAB社といふ）の創立者であるGeorge Westinghouseによって初めて実用化がなされて以来、幾多の改良を重ね今日の空気ブレーキ装置を実現するに至った。

しかしながら、電車におけるブレーキ方式は、戦後、様相を一変し、空気ブレーキ一本の時代は去り、発電ブレーキ主体・空気ブレーキ補助のいわゆる電空併用ブレーキ方式が確立した。

一方、当社は空気ブレーキ装置を担当する新三菱重工業・三原製作所の協力を得、電空併用非常弁付電磁直通式SMEE形、電空併用式AR-D形およびHSC-D形を完成し、とくに後者は一部変更を加えて国鉄電車モハ100形用電空併用ブレーキSELD形として制定されるに至った。

この間、市街交通用としては、東京都電向け全電気式PCC車両を製作したが、このブレーキ構成はその後大阪市電などの市街電車にも取り入れられた。

トロリ・バス用としても発電ブレーキを基本とし空気ブレーキを補助とした方式を京都市電などに製作納入している。

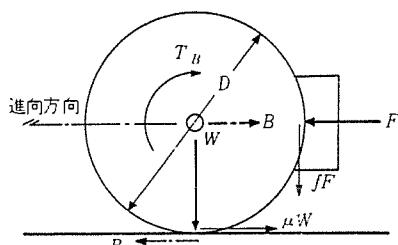
このように、急速に発達を遂げた電車用電空併用ブレーキは、他の車両用ブレーキにおいてはみられないすぐれた特長を持ち、また興味ある研究事項を含んでいる。

2. 基本事項

高い表定速度と安全な人命輸送を使命とする電車運転においては、高性能であってしかも信頼度の高いブレーキ装置を備えているという確信のもとに、はじめて十分な高速運転が行なわれるわけである。そこでまず電車用ブレーキの性能、信頼度に関する基本事項について考えてみる。

2.1 滑走限界

図2.1は車両における車輪まわりのブレーキ作用の原理を示す。



W: 軸重(kg)
F: シューピレスカ力(kg)
D: 車輪径(m)
B: ブレーキ力
mu W: 粘着力(kg)
fF: 摩擦力(kg)
T_B: ブレーキトルク(kg-m)

図2.1 車輪ブレーキの作用原理

着力点でのレール側反力が、ブレーキ力B kgとして車軸に作用することを説明したものである。

$$B = T_B / (D/2) = f \cdot F \leq \mu W \text{ (kg)}$$

すなわち、軸重Wのμ倍以上のブレーキ力に対しては、車輪は粘着していることができなくてレールとの間に相対すべりを生ずるわけである。このすべり現象をスキッドまたは滑走と呼び、完全に車輪の回転が停止した場合のブレーキ力は(車輪とレール間の摩擦係数)×(軸重)となるが、この摩擦係数はμより小さいため、ブレーキ力は急減するとともに、車輪表面にはフラットを生じ削正加工を必要とすることになる。空気ブレーキにおいては滑走発生の際自動的にブレーキシリンダを排気させるためには、やっかいな付加装置を必要とするが、発電ブレーキ単独の場合はその特性上、誘起電圧が自己減衰してブレーキ力を弱め自動的に再粘着するため、車輪の損傷は軽微である。

次に、滑走限界としてμとβ_{max}の関係を、平坦な直線路で走行抵抗を無視し、回転部慣性重量は車重の10%、4軸平等の軸重という条件で求めてみる。

$$\frac{1.1 \times 4 W}{g} \cdot \beta_{\max} \times B = 4 \mu W \text{ (kg)}$$

ここで g = 9.8 (m/sec²) = 35.28 (km/h/sec)

$$\beta_{\max} = \frac{35.28}{1.1} \cdot \mu = 32 \mu \text{ (km/h/sec)}$$

このβ_{max}を決めるためのμについては古くから実験が重ねられているものの、乾湿などの線路状況に左右されて確定しないが経験上図2.2に示す次の実験式を目安として用いている。

$$\mu = \frac{9}{v + 42} + 0.092 \quad : v = \text{車速(km/h)}$$

またシューブレーキ形式での正味ブレーキ率F/Wは

$$\frac{F}{W} \leq \frac{\mu}{f} \text{ (%)}$$

の制限をうけるが、図2.2に示すようにfの値のほうが高速になるとほどより小さくなるため、高速部では150%程度に大きくなる。

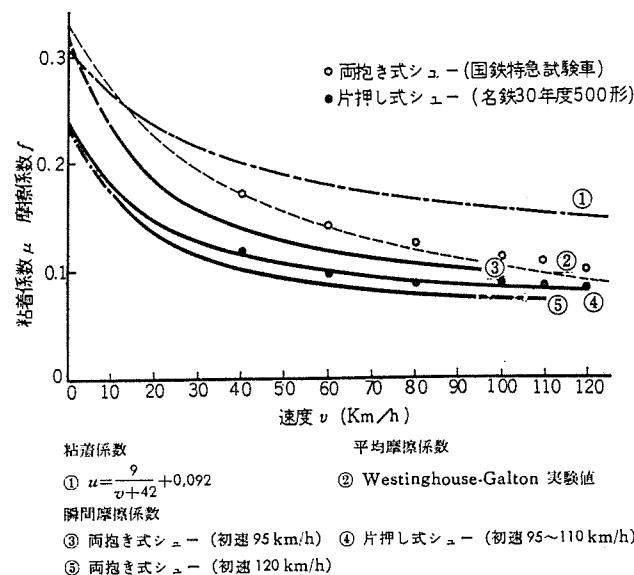


図2.2 粘着係数と摩擦係数

きてもごく低速部でスキッドを生ずるので、非常ブレーキ距離短縮という問題に対して工夫を要するわけである。

このように粘着限界をもつ車軸ブレーキ以外の方式として、レールに吸着してブレーキ力を直接に台車へ伝達する電磁トラックブレーキ形式が考えられるが、高速になるほどレールとの間の摩擦係数が小さくなるので比較的低速の市街電車や急カウ配区間用の安全装置として実用されている。

2.2 独立したブレーキ系統

乗客輸送の安全性の立場より互いに独立した動力源によって作用する2系統以上のブレーキ装置を備えていることが必要である。従来の空気ブレーキ装置だけを具備した電車では、手動ブレーキを別系統としていた。最近の高性能発電ブレーキ装置をもつ場合は十分低速まで減速させた後、駐車用ハンドスコッチャをレールと車輪の間に差し入れて停車させることができるので手動ブレーキを省略することが多い。また電動発電機によって浮動充電する蓄電池を電源とした電磁トラックブレーキをもつ市街電車では3系統を備えていることになる。

2.3 適用上の性質

(1) 常用ブレーキ

これは、減速ブレーキ、下りカウ配での抑速ブレーキおよび、停車ブレーキに用いられる。したがって、この場合のブレーキ力が自由に選択できることと円滑に増減操作ができることが必要でしかも長編成列車であっても先頭車と後尾車の間が一貫して同期制御が行なわれなければならない。

(2) 非常ブレーキ

この適用は前方路線に障害発生または電車自身および運転者に関する事故の場合であるが、実情は前者の路線に関する事故の場合が多い。いずれにしても最小のブレーキ距離とブレーキ時間が要求されるわけで、わずかな空走時間と限界いっぱいの減速度がその解答となるが、とくに高速領域での減速度の向上が効果的であることが注目される。前述の μ/f 特性関係からすれば、シュー・ブレーキ単独では低速部でのスキッド限界に支配されて高速部では不十分な減速度しか得られないので高速部でだけ発電ブレーキを追加することも考えられる。

3. 発電ブレーキ

主電動機をブレーキ時には発電機とし電車の運動エネルギーを熱エネルギーに変えて抵抗器に消費されることによりブレーキ力をうる方式であり、一般的利点としては次のとおりである。

(1) シュー・ブレーキの使用割合が激減するので、シューの節約となり、またシューの摩耗粉末による電機品の絶縁低下を軽減する。

(2) シュー・ブレーキは一般に高速になるほどブレーキ力が小さくなるが、発電ブレーキは速度のいかんにかかわらず一定のブレーキ力が得られる。

(3) 一般にブレーキ操作から効力発生までのムダ時間がわずかで、とくに高速域において速応しやすいので空走距離の短縮に有効である。

(4) またブレーキ力加減操作に対する即応性がよく、長大列車においても同期制御することができる。

表 3.1 電車用電空併用ブレーキ装置

電車区分 用途	両数	形式	電動車用 形式名	元ダメ圧力 (kg/cm ²)	ブレーキ弁 形名	記事
市街電車	單車	直通	SM-3D	4.5~5.5	SA-2	
市街(郊外) 電車	2両	非常弁付直通	SME-D	4.5~5.5	ME-38-M	
	6両以下	A動作弁使用 中継弁付自動	AR-D	6.5~7.5	ME-24	
	24両以下	A動作弁使用 自動直通	HSC-D	6.5~7.5	ME-38-A	荷重対応装 置付設可能
郊外電車 (地下鉄電車)	24両以下	同上	SELD	6.5~8.0	ME 38	"
	11両以下	非常弁付電磁 直通	SMEE	8.0~9.0	ME 42	"

しかしながら、この発電ブレーキ本格的な常用ブレーキとするにあたっては、主電動機の過電圧制限による高速域での利用不能、保護装置を伴う電気回路の複雑化、主電動機ならびに主抵抗器の熱容量増加のための容積と重量の増加、停車前のブレーキ力減衰といった問題があったが次のようにすることにより、その長所を生かし広く実用されるようになった。表3.1はその代表例である。

(1) 定格電圧の低い電動機が使用される回路とし、電動機の整流子間電圧を低くして許容誘起電圧を高くすることにより、高速からの発電ブレーキ適用を可能にした。いわゆる8個主モータ制御がその一例である。

(2) 多段式制御装置の使用によって、制御ステップ間のピーク電流を減少し、また惰行中あるいはブレーキ初期に電動機界磁コイルを予備励磁することによりブレーキ電圧の誘起を速めて制御器のノッチとびを防止するなどの方法によって過電流を防ぐようにした。

(3) 主電動機は許容温度の向上、回転数の上昇により小型軽量化と単位重量あたりの出力の増大化が行なわれたので重量、スペースともに問題ない程度まで進歩した。

(4) 主抵抗器は、冷却効果のよい板状またはリボン状の採用、さらには強制通風などの方法によって小型軽量となり、実用上の容量増加の要求に応じられるようになった。

(5) 停車前のごく低速度でブレーキ電流が減衰すれば連動装置により自動的に空気ブレーキを作動させる。

(6) 電空併用ブレーキはブレーキ弁単一操作するために、ブレーキ弁に電気接触部を付設し、またブレーキ電流の増減もブレーキ弁操作度合によって制御できるようにした。

3.1 発電ブレーキ回路と主電動機電圧

線電圧、主電動機定格電圧と発電ブレーキ回路の関係を示せば表3.2、図3.1のようになる。類別Aにおける発電ブレーキ時の許容端子電圧は定格電圧の1.2~1.3倍であって、定格速度の1.2~1.3倍以上の速度から発電ブレーキをかけるときは、ブレーキ電流を定格以下に押さえなければならない。

類別B、Cの375Vまたは300V定格の電動機の場合は、それぞれ750Vまたは600V以上の過電圧に耐えるので、定格速度の2倍の高速から発電ブレーキを有効に使用することができる。

図3.1(c)、(d)は線電圧1,500Vにおいて発電ブレーキを常用とするために、近畿日本鉄道当局との共同によって開発し、昭和29年に近畿大阪線新車に装備して以来、国内電鉄の大半を占める線電圧1,500V用郊外電車に広く適用されているもので8個電動

技術解説

表 3.2 主電動機定格電圧と発電ブレーキ回路

類別	回路	線電圧(V)	主電動機定格電圧(V)
A	図 3.1 (a), (b)	1,500	750
B	図 3.1 (a), (b)	600	300
C	図 3.1 (c), (d)	1,500	375

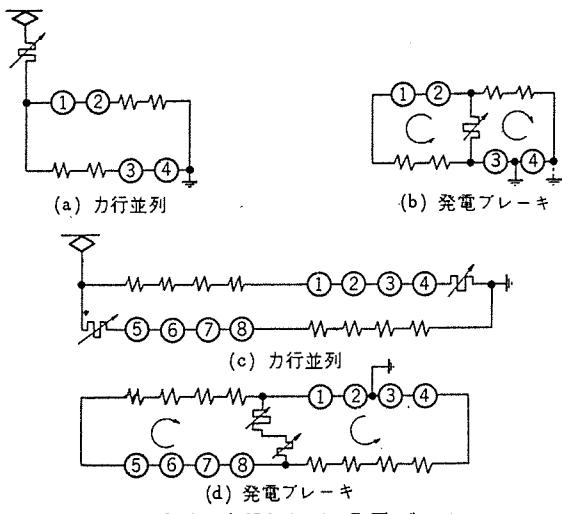


図 3.1 力行ならびに発電ブレーキ

機すなわち 2両の電動車を 1組の制御装置によって制御するようになっている。

3.2 予備励磁方法

発電ブレーキ初期のブレーキ電圧の立上りは残留磁気だけに依存するときは、とくに低速であるほど緩慢であって、制御器のノッチとびをおこし過電流を生ずる危険があるので予備励磁によって立上り急速化を計る必要がある。

(1) 他励磁方式

発電ブレーキ初期または直前に電動機界磁コイルを、架線または制御電源から他励磁する方法であって、ブレーキ電流が立上ればこのほか励磁作用をやめるようになっている。

他励磁効果の顕著な例として、立上りが鈍感なために発電ブレーキ効果が期待されていなかった弱め界磁段についての現車試験記録を図 3.2 に示す。この場合は全界磁状態で他励磁を行ない、電流立上り検知继電器の動作によって弱め界磁段に移すとともに他励磁を切放すようにしたもので、最下段に界磁分路電流が記録されている。

(2) スポッティング方式

惰行中に抵抗ステップを電車速度相当位置まで進ませておき、

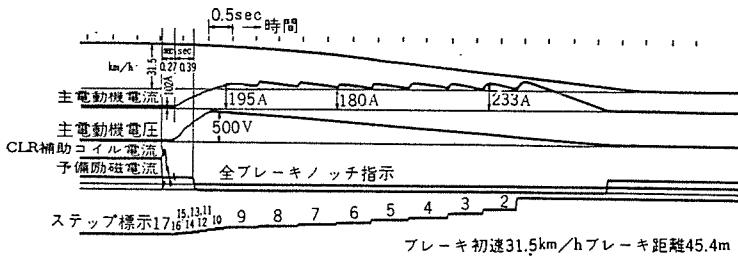


図 3.3 他励磁式 スポッティング を用いた ブレーキ 試験 オシロ記録

発電ブレーキまたは再ブレーキがおくれなく円滑に開始されるようにする方法である。方法としては片回路の電動機界磁を他励磁しその電機子は反対回路の電動機界磁と閉回路となった発電ブレーキ回路を形成して抵抗ステップの選択を行なうようしているが、このやり方はブレーキ力がわずかでありながら確実なスポットティング作用を行なう特長がある。図 3.3 にブレーキ 19ステップをもつ電車のスポットティング使用によって得られた円滑なブレーキ電流の立ち上がり状況を示す。

4. 空気ブレーキとの関連組み合わせ

発電ブレーキは、このように信頼できる常用ブレーキにまで発展したが、不測事故による過電圧、過電流の場合にはブレーキ回路を開き、まったく発電ブレーキ力が皆無となることが考えられるから、別系統ブレーキを備えておく必要がある。次にこの別系統ブレーキ(これは一般に空気ブレーキであるが)との連動の必要条件をあげる。

- (1) 発電ブレーキ故障の場合はただちに同等のブレーキ力が作用すること。
- (2) 発電ブレーキ力を任意に選択制御できること。
- (3) 発電ブレーキ力だけで不足する場合には空気ブレーキ力を補足追加できること。

(4) 停車前の低速域で、発電ブレーキ力が消衰すれば同程度のブレーキ力が自動的に作用すること。

(5) 連動常用ブレーキ以外に独立の非常ブレーキ部をもつていること。

4.1 空気ブレーキ単独装置

電空併用ブレーキが出現するまでに、国内で発達した WAB 社系の電車用空気ブレーキ装置のおもなものは表 4.1 のとおりである。

4.2 電空併用ブレーキとしての組み合わせ要素

- (1) 発電ブレーキ力の加減装置

発電ブレーキ力すなわちブレーキ電流の増減は限流値を変化することによって行なうが、この制御を、ブレーキ弁単一操作で行なうのに次の 2 方法がある。

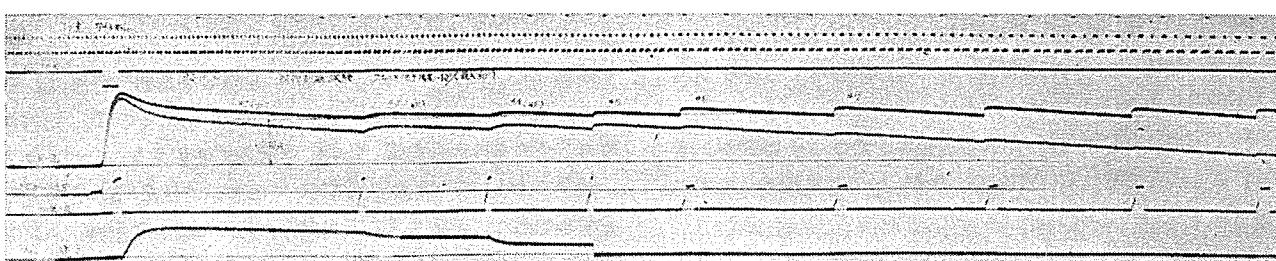


図 3.2 ブレーキ 初期試験

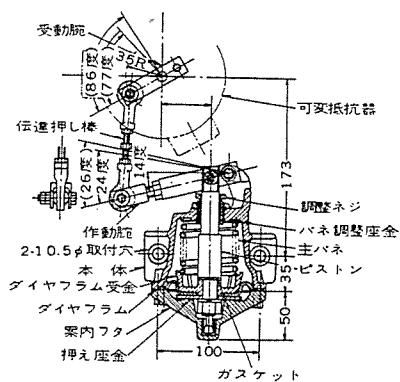


図 4.1 AC-3 形 アクチュエータ

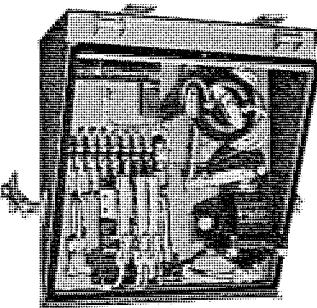


図 4.2 AC-60 形 アクチュエータ箱

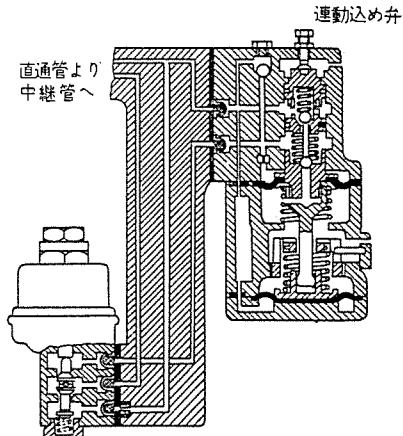


図 4.3 連動締切電磁弁と連動込め弁

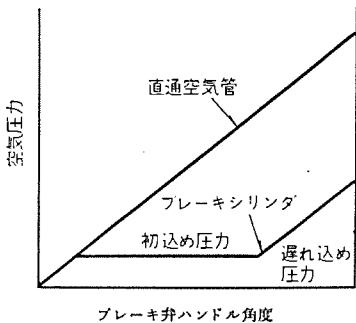


図 4.4 連動込め弁作用

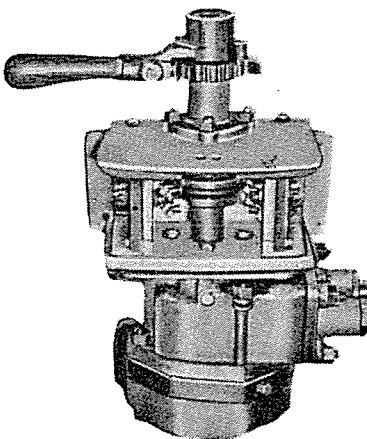


図 4.5 ME-38-A 形 ブレーキ弁

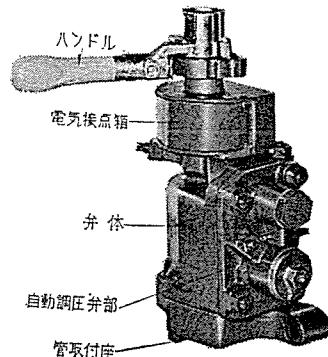


図 4.6 SA-2E 形 ブレーキ弁

表 4.1 電車用空気ブレーキ装置

電車区分		形 式	電動車用形式名	元ダメ圧力 (kg/cm²)	ブレーキ弁 形 名	ハンドル位置
用 途	両 数					
市街電車	単 車	直 通	SM-3	3.5~4.5	PV-3	全ゆるめ, 緩 ゆるめ, 重なり, 常用, 非常
市街(郊外) 電 車	2 車	非常弁付直 通	SME	4.5~5.5	M-18-A	ゆるめ, 重な り, 第1常用, 第2常用, 非常
郊外電車 (地下鉄電車)	3 車	M3 動弁使用 自動, 直通(制 御管式)	AMM-C	6.5~7.5	M-24-C	ゆるめ, 直通 なり, 直通, 自動重なり, 自動抜取, 非常
	5 車以下	M3 動弁使用 自動, 直通(元 空気ダメ 管式)	AMM-R	同 上	同 上	同 上
	6 車以下	A動作弁使用 自動	AMA	6.5~7.0 6.5~8.0	M-24-C M-23	ゆるめ, 保ち, 抜取, 重なり, 常用, 非常
	10 車以下	A動作弁使用 電磁自動	AMAE	6.5~8.0	ME-23A	同 上
	15 車以下	A動作弁使用 中継弁付電磁 自動	AMARE	同 上	ME-23A	同 上

- a. ブレーキ弁電気接触部で直接限流値を制御する。
- b. ブレーキ弁操作度合に比例した制御用空気圧に追従動作する空気圧式作用器を仲介として上記の制御抵抗を増減する。
 - a. の方法は簡易であるので単車または2両編成の市街電車に用いられており、図4.1に空気圧式作用器の構造を、図4.2に可変抵抗器と組み合わせた上、空気繼電器とともに箱に収めた写真を示す。なおこの作用器はダイナミック・アクチュエータ(単にアクチュエータと略称している)と称し、敏感な応動により指定された空気圧範囲で可変抵抗器を動かすように調整される。

(2) 電空両ブレーキの切換装置、ブレーキ弁ならびに空気制御部からのブレーキシリンダへの給気は、発電ブレーキ有効中は途中で締切っておかなければならない。この役目は連動締切電磁弁が受持ち、ブレーキ電流とブレーキ進段ステップとの組み合わせによって制御される。しかしながら、この締切作用中に空気ブレーキへの移行の準備および必要に応じて空気ブレーキの追加が行なわれなければならない。この目的に図4.3に示す連動込め弁が用いられ、その作用説明を図4.4に示す。

この初込め圧力はブレーキ・シューを車輪に軽く当てておく程度でブレーキ力にならないが、遅れ込め圧力は追加空気ブレーキ力となる。図4.3において前者は最上部の調整ネジで、後者は最下部バネの取付ネジ部によって加減できるようになっている。

なお連動締切電磁弁は3口配管が必要なため、排気口をもたない全密閉形が用いられる。

（3）電気接触部付ブレーキ弁

自動空気ブレーキの場合を除き、直通式の場合はすべてセルフラップ弁形(自動調圧弁)を用いるので、ハンドル操作角度に比例してブレーキ力が大きくなるからブレーキ扱いがやりやすい。電気接触部には、ブレーキ電源回路、ノッチ進め回路、非常ブレーキ電磁弁回路などを取り入れ、スイッチとしては一般に図4.5に示すようなカム接触器式を用いているが単車用は電流容量が小さいのでドーム式を用いる。

4.3 市街電車用直通ブレーキの場合

単車の場合は、セルフラップ式SA-2E形ブレーキ弁を用いて、SM-D形と称し、2両連結の場合は非常管給排のために、ME-38

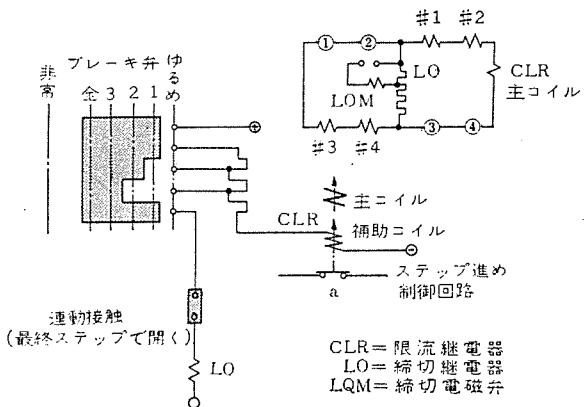


図 4.7 直通空気 ブレーキ の場合の電気回路

形 ブレーキ 扱を用い SME-D 形と称している。図 4.6 は SA 2 E ブレーキ 扱を関係 ツナギ は図 4.7 のようになり ブレーキ 扱操作によって限流値を 3 段に変化できるようにしてある。

4.4 郊外電車用自動ブレーキの場合

従来広く用いられている AMAR 形の場合 ブレーキ 管減圧に比例して増圧する作用室空気圧を運動節切装置を経て中継弁に送るとともに、アクチュエータ へも導くようにして電空併用式としたもので ブレーキ 弁は ME-24 C 形が用いられるが、直通管配管部には盲 セン(栓) をして自動 ブレーキ、ゆるめには直通 ブレーキ 位置を用いるようにしてあり、直通重なり位置は ステップ 進めを止めて、コウ 配下降用抑速 ブレーキ に利用できるようにしてある。

4.5 電磁直通ブレーキの場合

列車を貫通して設けられた直通管の空気圧を、セルフラップ式 ブレーキ弁の操作角度により定まる制御空気圧値に即応するよう給排気電磁弁装置によって追従させ、中継弁を経てブレーキシリンダ圧力を支配する方法で、この方式のすぐれた応動性と同期性は電空併用ブレーキに好適のものである。もちろんブレーキ管も引通されて自動ブレーキ作用による非常ブレーキ系統を支配するようになっている。この方式のうち HSC-D 形と SELD 形は A 動作弁を使用の AMAR 形において直通ブレーキ部を電磁直通式常用ブレーキしたるものであるから、当然常用自動ブレーキ作用も有効であり、別系統として保安度を増すとともに AMA 形を備える従来車との連結運転が可能である。一方 SMEE 形と称する形式では、直通ブレーキとして電磁弁制御以外に機械的な給排気制御部をブレーキ弁に備えているので、常用自動ブレーキは取りやめるとともに、自動ならびに電磁直通共同動作による敏感な非常ブレーキ作用を行なうようにしてある。

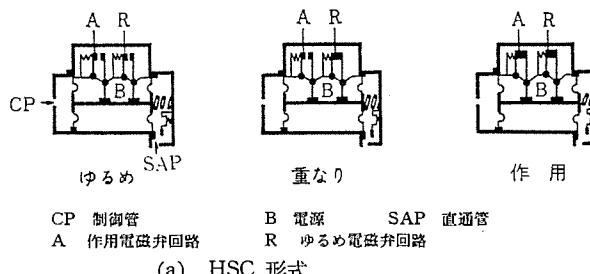
(1) 直通管空気圧の電磁弁制御方法

HSC-D 形, SELD 形と SMEE 形とで, 電磁弁の用い方に表 4.2 のような相異があり, したがって空気圧つりあい式電磁弁スイッチ 部の構造も図 4.8 (a), (b) の違いはあるが性能上の感度は同じである. また SMEE 形式では, ブレーキ弁に電磁弁電源回路を設け, ハンドル 取はずし, 非常 ブレーキ 両位置では開路しておかなければならぬが, HSC 形式では制御開閉器を電源 スイッチとするだけでよい.

図4.9にHSC形式に用いている電磁弁装置を示す。この電磁弁は単弁式であって、弁部通路面積もとくに大きく7mm径相当穴に相当するものである。

表 4.2 電磁直通 ブレーキの電磁弁動作

ブレーキ形式		HSC, SELD		SMEE	
電磁弁	用途	作用 (給気用)	ゆるめ (排気用)	作用 (給気用)	ゆるめ (排気用)
	形式	オン	オフ	オン	オン
スイッチ制御	ゆるめ 重なり 込	— ○	— ○○	— ○	○ —



(a) HSC 形式

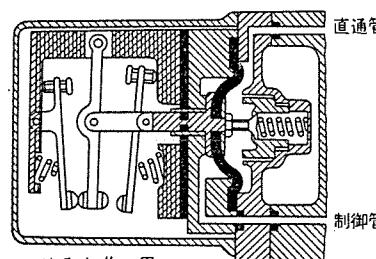


図 4.8 電磁直通 制御器

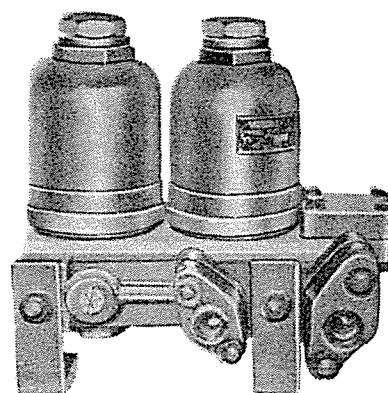


図 4.9 No. 21-B 形電磁弁装置

(2) 電空併用方法

自動 ブレーキ の場合と同様であるが、作用室圧力に代って直通管圧力が アクチュエータ を動作させ、また連動締切電磁弁ならびに連動込め弁に通ずる。ブレーキ弁としては HSC-D 形、SELD 形の場合、ゆるめ、セルフラップ 直通部 (15~80度)、ハンドル 取はずし、自動重なり、自動、非動という位置からなる ME-38 形が用いられる。SMEE の場合は図 4.10 に示す ME-42 形が用いられ、ゆるめ、セルフラップ 直通部 (20~70度)、非常、ハンドル 取はずしという位置があるが、常用発電 ブレーキ はいずれも電磁直通式 セルフラップ 帯で行なわれる所以敏感な制動応動をうることができる。

HSC-D 形の制御作用装置は自動 ブレーキ の場合と同じく、C-1 形が用いられるが、SMEE 形の場合は図 4.11 のように電磁直通制御作用・ゆるめ電磁弁なども付設した A-1 形作用装置が用いられる。

代表例として、電気回路 ツナギを図4.12に示すが電磁直通制御以外は自動ブレーキの場合と同じである。図4.13はブレーキ弁ハンドル角度と空気圧の関係であり、後述の可変荷重弁による制御作用を空車・満員車として合わせて示している。図4.14は帝都交通丸の内線のSMEE形による現車試験オシロ記録であり、電気と空気の要素が多数はいっているので電空併用状態がよくわかる。

このように電空併用ブレーキの基本方式は一応確立してその実用成績も良好であったが、さらには次のような応用もなされた。

a. 電空併用非常ブレーキ

2.3節(2)に述べた主旨によって考案されたもので、これは自動式非常ブレーキにおいて図4.15のように粘着限界に余裕のある約60km/hまで限流値を下げた発電ブレーキを追加するもので、この場合は空気ブレーキの応荷重制御と合わせて現車試験の一例は表4.3の結果を得た。すなわち、空気ブレーキ単独の場合低速時のスキッド限界から割り出されたブレーキ距離600mに対する初速は約110km/hといわれていたのに対し、

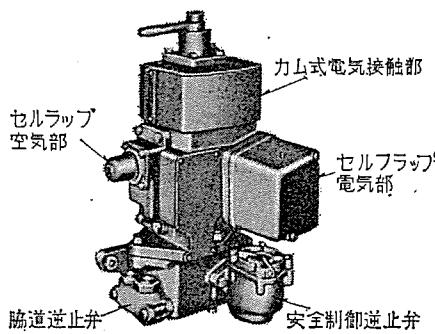


図4.10 ME-42形ブレーキ弁

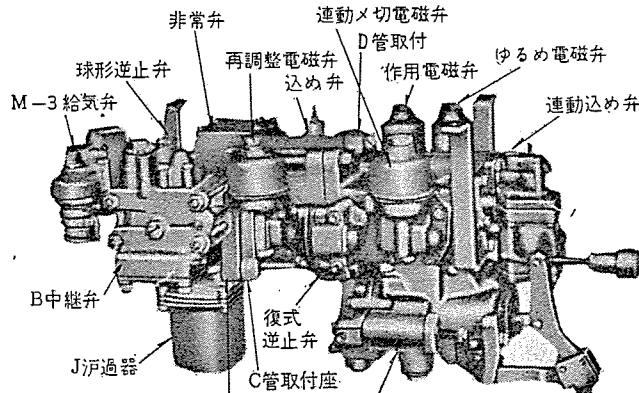


図4.11 A-1形作用装置

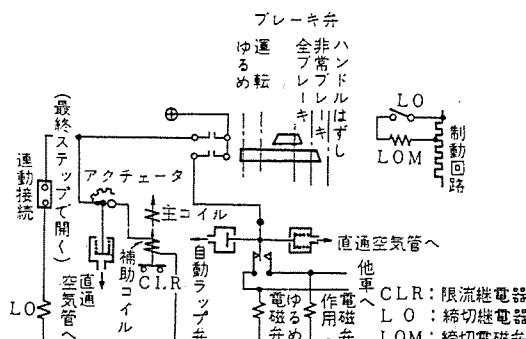


図4.12 電磁直通式空気ブレーキの場合の電気回路

この初速を実際に130km/h近くまで上げることができた。

この方法を合理化して、発電ブレーキを許容最大限まで利用し不足分を空気ブレーキの追加で行なうようにしたのが「直通非常」の考え方であり、ブレーキ弁において常用の電空併用全ブレーキ位置に統一して遅れ込みが1段高くなるようにしたものである。この場合の減速度は全ブレーキで普通4.0~4.5km/h/secであるのに対し

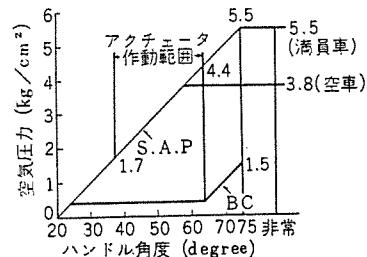


図4.13 空気圧力関係線図

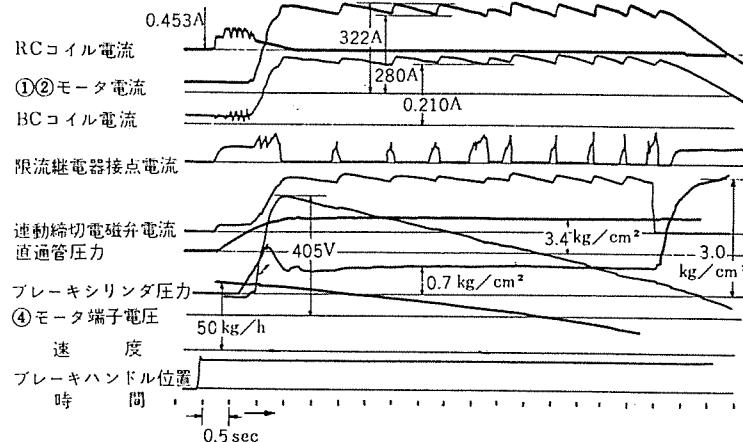


図4.14 電空併用ブレーキ試験オシロ記録

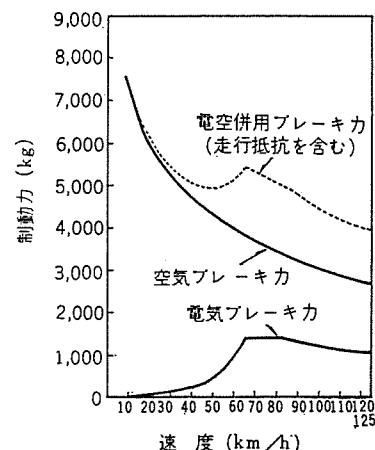


図4.15 電空併用非常ブレーキ力

表4.3 電空併用非常ブレーキの試験成績

荷重状況	ブレーキ初速(km/h)	ブレーキ距離(m)	ブレーキ時間(sec)	減速度(km/h/s)	ブレーキシリンダ圧力(kg/cm²)
空車	127	480	25.2	5.08	3.4
	125	452	24.6	5.08	▲
	120	430	24.0	5.01	▲
	110	360	21.5	5.12	▲
	100	292	20.5	4.88	▲
定員の1.5倍	120	515	28.4	4.28	4.3
	110	395	24.7	4.45	▲
	100	300	21.0	4.77	▲

注 名鉄特急車試験報告より(空気だけ荷重加減制御)

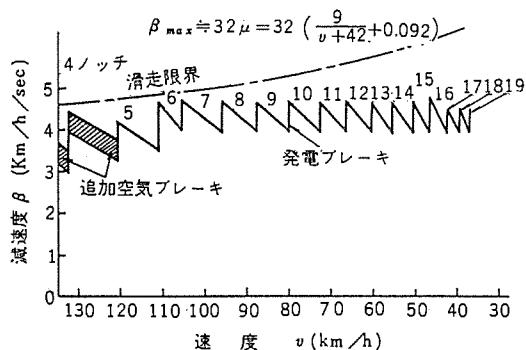


図 4.16 非常ブレーキにおける減速度

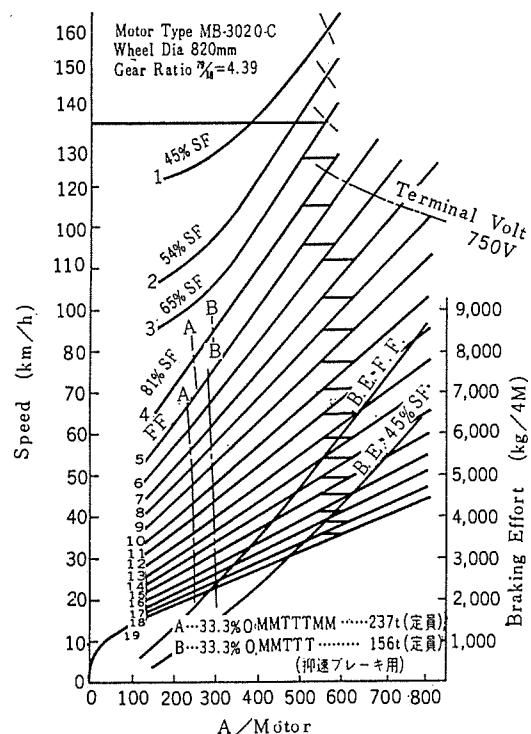


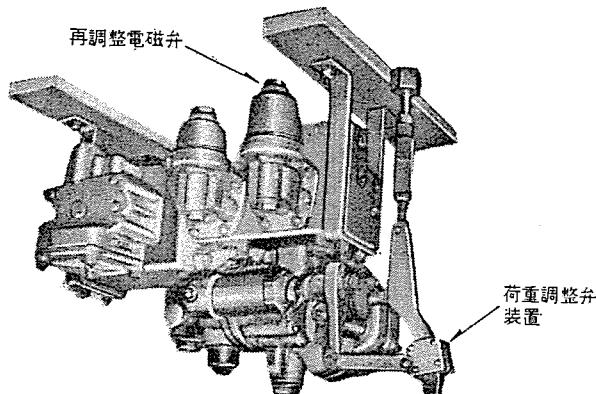
図 4.17 ブレーキノッチ曲線

4.8~5.0 km/h/sec になっており、図 4.13 に国鉄モハ90形電車における荷重対応制御と組み合わせた関係効果を示す。図 4.16 に示すのは図 4.17 のブレーキ・ノッチ曲線をもつ近畿日本鉄道大阪線の特急車の場合で、発電ブレーキが不足する高速の弱界磁段においてだけ空気を追加した粘着限界いっぱいの直通非常効果を表わしており、ブレーキ初速 135 km/h よりのブレーキ距離は 600m 以内という計算になっている。

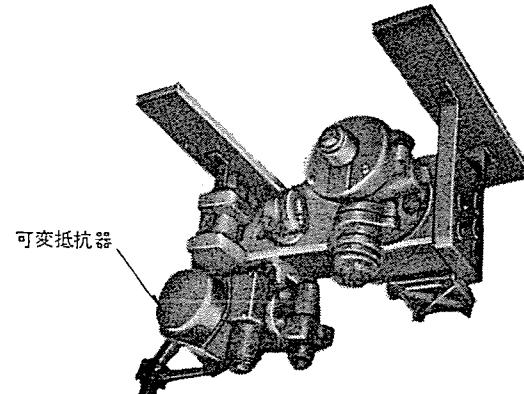
b. 応荷重制御

電車の軽量化にともない、乗客人員の多少による空車と満員車との間の総重量比は相当大きく、たとえば 30t 空車に対し 1 人あたり 55kg とした 400 人満員車では 1.73 倍となる。このような条件下で列車間隔の短い運転ダイヤを組むためには、加速度および減速度性能をそろえる必要があり、この見地から応荷重制御の問題が取り上げられた。まず限流値制御により加速度を一定にするとともに、ブレーキシリンダ圧力を制御することにより最大減速度だけを一定にする方法で、地下鉄向けとして SMEE 形に組み合わせて好成績を得た。この方法は、まず荷重検出部が台車基板に対する車体の沈み量を測り、リンク伝達によって応荷重制御部(可変荷

重弁部とも称す)を調整するもので、台車のバネ特性が基準となる。なお、最近の空気バネ台車では沈み変位がないので空気バネ圧力を基準として荷重検出を行なっている。この検出部の操作は乗客変動が生ずる出入口開戸という条件を、戸閉機械連動スイッチまたは車掌スイッチの操作で拾い、これにより再調整電磁弁を制御して、バネ固定空気ゆるめの制御部と空気作用バネ引上げの検出部とを走行中機械的に保持するようになっている。この制御部には可変荷重弁と限流値制御用可変抵抗器を備え、図 4.11 および図 4.18 のように管座に付設される。その後、上記の可変抵抗器で、加速時の限流値制御だけでなく、発電ブレーキにおいてもアクチュエータ操作の可変抵抗と組み合わせてブレーキ電流の限流値制御の役目をもさせるということが行なわれた。図 4.19 に示すのが結果として得られた制御ツナギである。空気制御用可変荷重弁



(a) CV-1形作用装置(裏側)



(b) CV-1形作用装置(表側)

図 4.18 CV-1形可変荷重弁部弁付作用装置

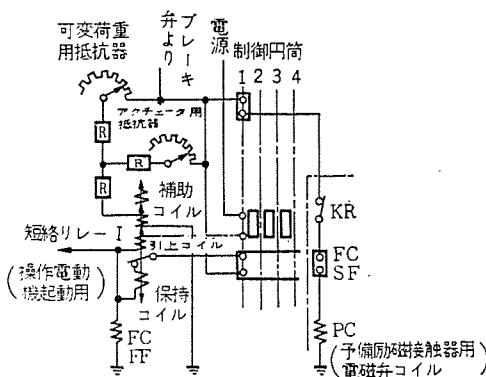


図 4.19 荷重対応制御回路

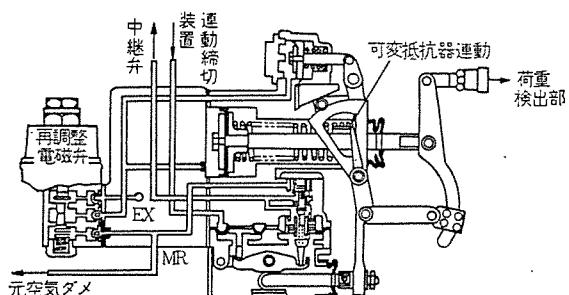


図 4.20 荷重対応制御装置

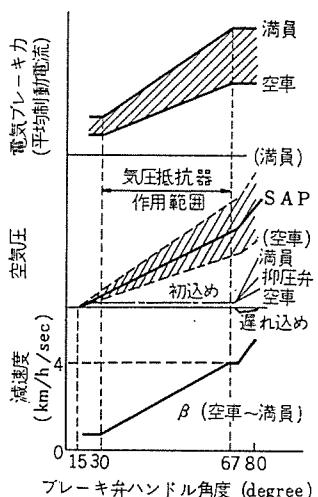


図 4.21 荷重対応制御による組み合わせ ブレーキ 効果

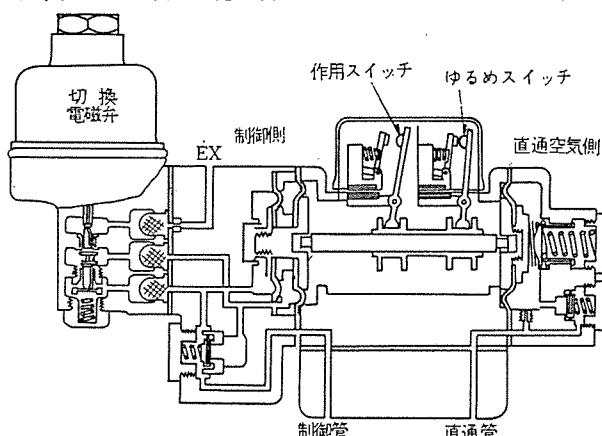


図 4.22 B-55 形電磁直通制御器

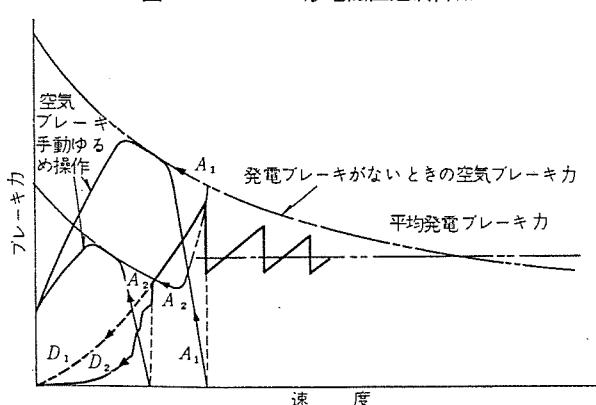


図 4.23 低速での電空両 ブレーキ の切換

についても同時に図 4.20 のようなてんびん式 ダイヤグラム形が開発され、てんびんの支点を変えることにより直通管圧力とブレーキシリンダ圧力は比例変化するようになったので電空併用の総合ブレーキ効果は図 4.21 に示すように荷重変化には無関係でブレーキ弁操作角度に対してだけ比例する減速度が得られるようになった。

c. 低速での発電 ブレーキ より空気 ブレーキ への自動移行

電空併用式では中速域で電空両 ブレーキ 力を等しくなるよう設計するのが常道であるが、低速になるほど シュの摩擦係数が増大するため、発電 ブレーキ 最終段で 1 段大きい空気 ブレーキ 力に移行することと、移行途中で電空両 ブレーキ の重なりが過度になる場合があるため、この切換 ショック の問題が生じた。

この対策としては、発電 ブレーキ 最終段で ブレーキ 電流が限流値まで下がったことにより、数段の弱界磁段を進ませてこの ブレーキ 力を急速に弱めるとともに、連動締切部を開放して空気 ブレーキ を立上がらせる制御法をとった。また、最終段入の条件で直通管圧力を 1 段切下げておき、空気 ブレーキ 力が大きく立上がらないようにするために、切換電磁弁を用いた図 4.22 の二重膜板式電磁直通制御器を考案した。この作用は、最終段で切換電磁弁を励磁することにより制御側大膜板室が排気されるので、小膜板室の空気力につりあうまで直通空気側大膜板の空気圧が下がるようゆるめ スイッチ を開き、つりあうとゆるめ スイッチ が閉じて重なり状態をとるというように行なわれる。この改善対策による効果説明を図 4.23 に示している。

5. 市街交通用の新方式併用ブレーキ

国産化した PCC 車とトロリ・バス用の ブレーキ で、いずれも発電 ブレーキ を主にした、高性能の組み合わせ ブレーキ であるが、とくに市街交通に適合するよう大きい減速度加減を容易に行なうことができるようになっている。

5.1 全電気式 PCC 車の発電・電磁併用ブレーキ

この ブレーキ 装置は、まったく圧縮空気を使用せず、互いに独立した次の 3 系統の組み合わせによって、最高 10 km/h/sec に及ぶ減速度が得られるようになっている。主体となる発電 ブレーキ は惰行中 スポッティング によって抵抗位置を自動的に選択するので、すみやかな ブレーキ 電流の立上がりが得られ、電磁ゆるめ バネ作用式の ドラムブレーキ は電動機軸に設けられて発電 ブレーキ の補償を行ない、追加 ブレーキ 用として、車軸間につけられた励磁により レールに吸着することにより ブレーキ 力を直接に台車へ伝達するようとした電磁 トラックブレーキ を備えている。

(1) 常用 ブレーキ

発電 ブレーキ は、足踏み式 ブレーキ 制御器に設けた可変抵抗器により、連続的に限流値が加減されるようになっており、約 3 km/h まで減速すると、自動的に ドラムブレーキ が作用して停車するようにしてある。 ブレーキ・ペタル による 3 系統 ブレーキ の制御は図 5.1 のように行なわれ、最大の発電 ブレーキ 力に加えて 3 段に強まる トラックブレーキ 力を追加できるようになっている。発電 ブレーキ が故障のときは、3 段に加減できる ドラムブレーキ が代行するようにしてある。図 5.2 は常用 ブレーキ 試験の一例であり、円滑にして一様な ブレーキ 効果を示している。

(2) 非常 ブレーキ

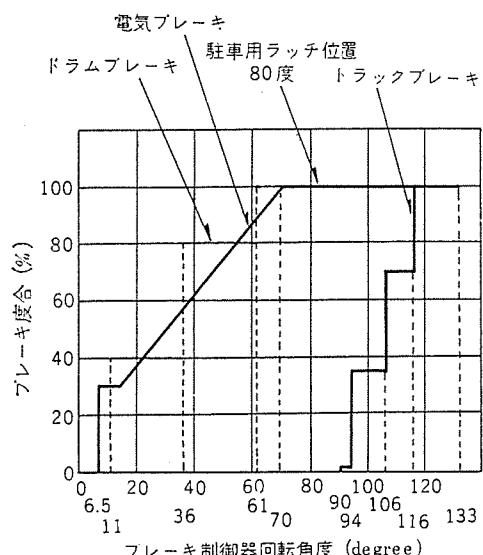


図 5.1 ブレーキ作用順序関係図

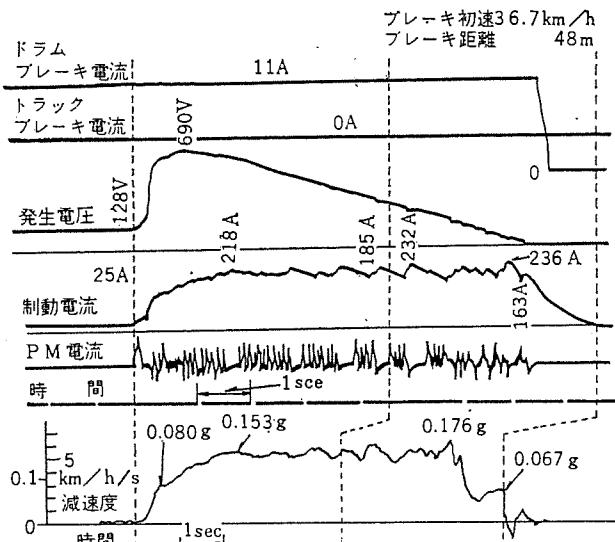


図 5.2 常用ブレーキオシロ記録

ブレーキ・ペタルを最大位置に踏み込めば非常ブレーキとなり最大の発電ブレーキと最大のトラックブレーキが作用し、停車直前に発電ブレーキ最終段でドラムブレーキが作用する。なお、安全運動用デッドマンス・ペタルから足をはなせば3系統のブレーキがいっせいに作用するようになっている。

5.2 トロリ・バスの新方式発電ブレーキとの組み合わせ

このブレーキ装置は加速用の直巻界磁と、ブレーキ用の分巻界磁とを兼備した新形式主電動機による発電ブレーキを主体とし、セルフラップ式ブレーキ弁による直通空気ブレーキを併用するものである。

この場合の発電ブレーキ作用は、その回路を図5.3に示すように、電機子はブレーキ用の抵抗器RA, RBと閉回路を形成し直巻界磁はブレーキ回路の外に切り放される。分巻界磁は制御抵抗部Cとブレーキ抵抗RBを経て架線から励磁されて、分巻発電機として働くのであるが、相対極性は、電機子電流の増大が、分巻界磁電流の低下となるようにしてある。ブレーキ力の加減は、制御抵抗部Cを変化することによって行なわれる。図5.4に3段制御のブレーキノッチ曲線を示し、図5.5に現車等価工場試験で得られた

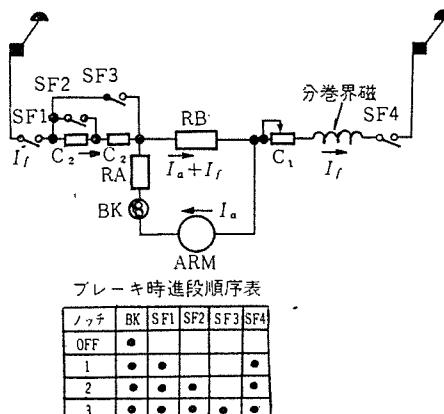
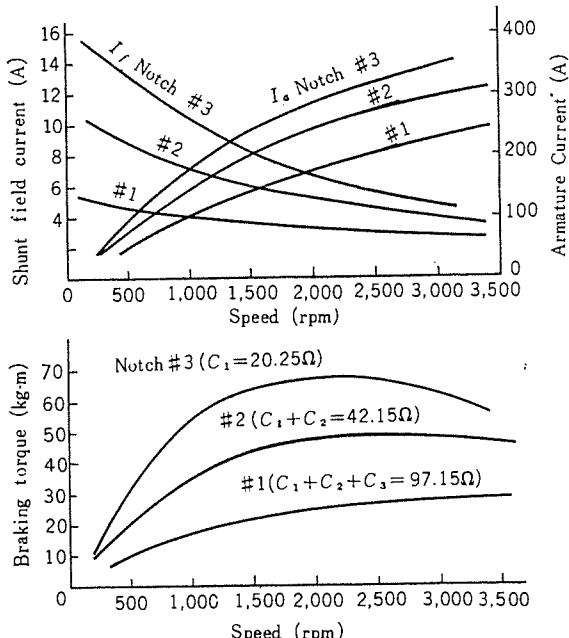


図 5.3 トロリバスのブレーキ回路



注 km/h Speed=0.0/1665 rpm
kg Braking Effort=22.6 B.T. kg-m

図 5.4 ブレーキノッチ曲線

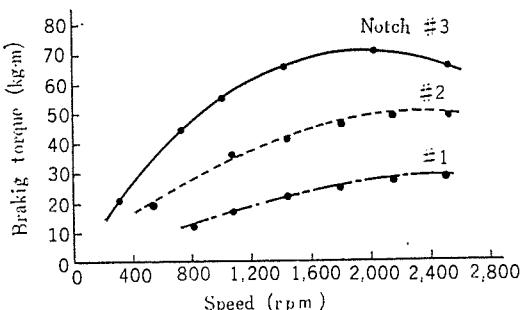


図 5.5 ブレーキ試験成績

成績の一端を示している。なお、抵抗RAの選び方の大小によりブレーキトルクの最大値が得られる速度が高いほう、または低いほうに移動し、抵抗RBの増減により全速度範囲でのブレーキトルクを小さくしたり大きくしたりすることができる。

ブレーキ・ペタル操作度合に対する電空併用は図5.6に示すように、空気によるドラム・ブレーキは発電ブレーキ変化段では、いわゆる初込め作用が行なわれ、続いて追加空気ブレーキが次第に強く

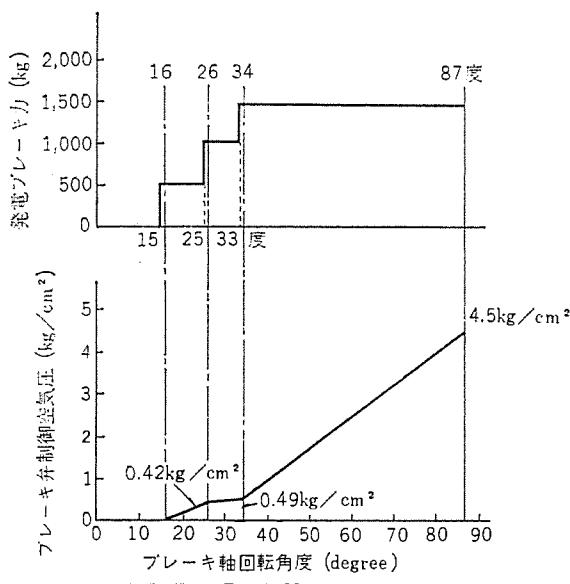


図 5.6 電空組み合わせブレーキの制御

きくようになっている。このように増減自由な電空併用作用により減速されて停車に近くになると、抵抗 RA と並列につながれブレーキ電圧によって保持されていた界磁離電器が落下して接触器群 SF を開き、分巻界磁電流を切るので空気ブレーキによって停車が完了される。

6. 列車自動制御用ブレーキ装置

最近の新製電車はほとんど限度に近いと思われるほど高性能化されている。一方、貴重な人命を預かる乗客輸送においては 100 % の安全保証が第一条件となるのは当然であるが、先行列車との追突ならびにその他の事故を絶対に防止するとともに列車間隔を最小に保持できる自動保安制御が必要でこのため A.T.C., A.T.O., P.T.O. などが装備されている。これらのうち A.T.C. をわが国が一番最初に適用された帝都交通丸ノ内線電車のブレーキ方式は在来の SMEE 形に A.T.C. を巧妙に組み合わせたもので図 6.1 に車上装置系統を、図 6.2 にそのブレーキ系統を、図 6.3 は A.T.C. を用いた試験プログラムを示してある。

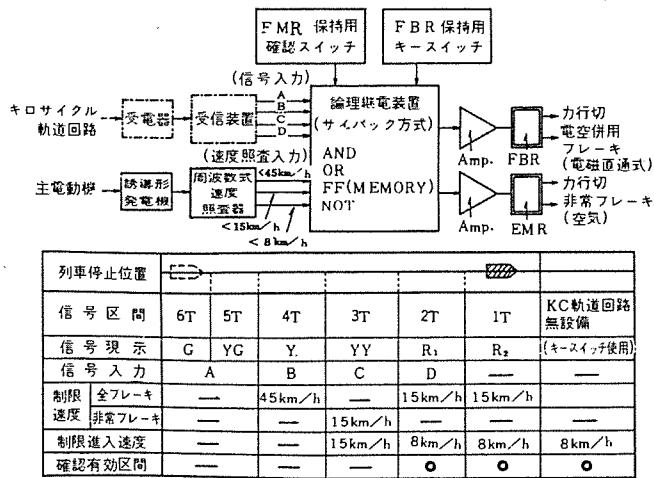


図 6.1 車上装置系統

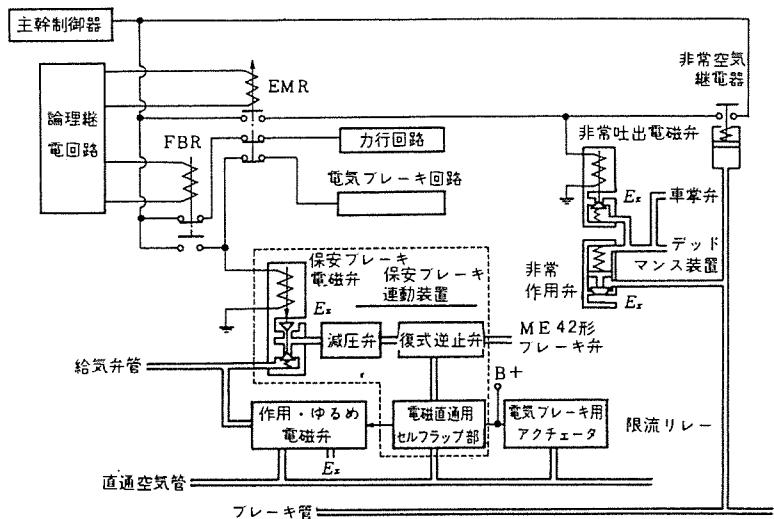
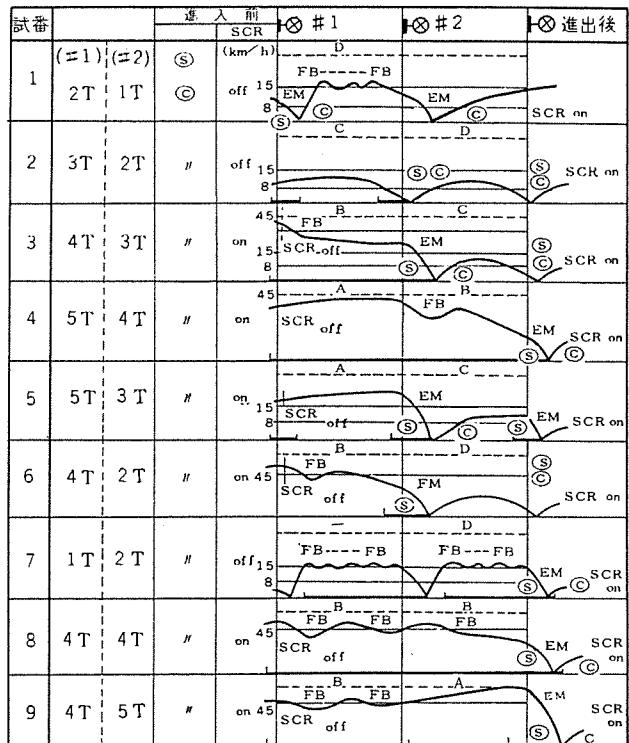


図 6.2 保安ブレーキ系統説明図



◎：停止、◎：確認操作、SCR：キーイッチ入
FB：減速ブレーキ EM：非常ブレーキ

図 6.3 試験プログラム

7. 新幹線電車用電空併用ブレーキ装置

東京一大阪間約 500 km を約 3 時間で結ぶ国鉄東海道新幹線電車は世界でも初めてといふ高速性能を誇り、数多くの特長を有しているが、高速であるだけブレーキ性能に課せられる使命は重大であるが、まずブレーキ指令としては次のとおりである。

7.1 ブレーキ運転

高速運転を行なうだけブレーキ性能に課せられる使命は重大であるが、まずブレーキ指令としては次のとおりである。

a. 運転手のブレーキ弁扱いによる場合

技術解説

- b. A.T.C. (またはP.T.O.) による場合
 - c. 緊急非常扱い、または列車分離の場合

一方、これらのブレーキ指令に対し適用されるブレーキの種類

 - a. 50 km/h 以上の高速では発電ブレーキを
 - b. 50 km/h 以下では空気圧制御油圧式ディスクブレーキ (以下単にディスクブレーキという)

が作用するようになっている。

いずれの場合も発電ブレーキが消滅すれば同等のディスクブレーキ力がただちに作用することになっている。

これらのブレーキには、常用、非常および緊急ブレーキの3種類があり、緊急ブレーキは緊急扱いおよび列車分離などの場合適用され、前2者はブレーキ弁あるいはA.T.C.により、それぞれ指令される。

減速度は速度継電器の支配により次のような値にセットされて

速 度 (km/h)	ブレーキ速度 (km/h/s)		
	常 用	非 常	緊 急
250~160	1.4	2.0	
160~110	1.9	2.64	2.6
110~ 0	2.50	3.58	

おり粘着力を十分利用し、かつ滑走などの不測の事故を防止するよう配慮されている。

(1) 発電ブレーキ

発電 ブレーク 回路は、図 7.1 に示すように 4 個直列接続の主電動機を 1 群とした自励式発電 ブレーク 回路で、スポットティングを行なうほか、ブレーク 指令が出た時は界磁の予備励磁を行ない、ブレーク 電流が遅滞なく立上がるようになっている。発電 ブレーク が消滅した時は電流継電器により締切電磁弁を開いて、ディスクブレーク がただちに作用するようになっている。

(2) ディスクブレーキ

油圧式ディスクブレーキは、空気圧に比例した油圧をブースタを介して発生し、これを油圧シリンダに作用することによって所定のディスクブレーキ力を得る方式である。各車には元空気ダメ管と直通空気管が引通してあり、後者をブレーキ弁あるいはA.T.C.により電空制御器を介して電磁弁で制御することによって、ディスクブレーキ力が加減できるようになっている。

図 7.2 に ディスクブレーキ 系統図を示してある。

(3) 緊急ブレーキ

以上のような ブレーキ 方式では従来のように制御 ブレーキ 管を引通していないので、たとえば直通管圧力が上昇不能のような場

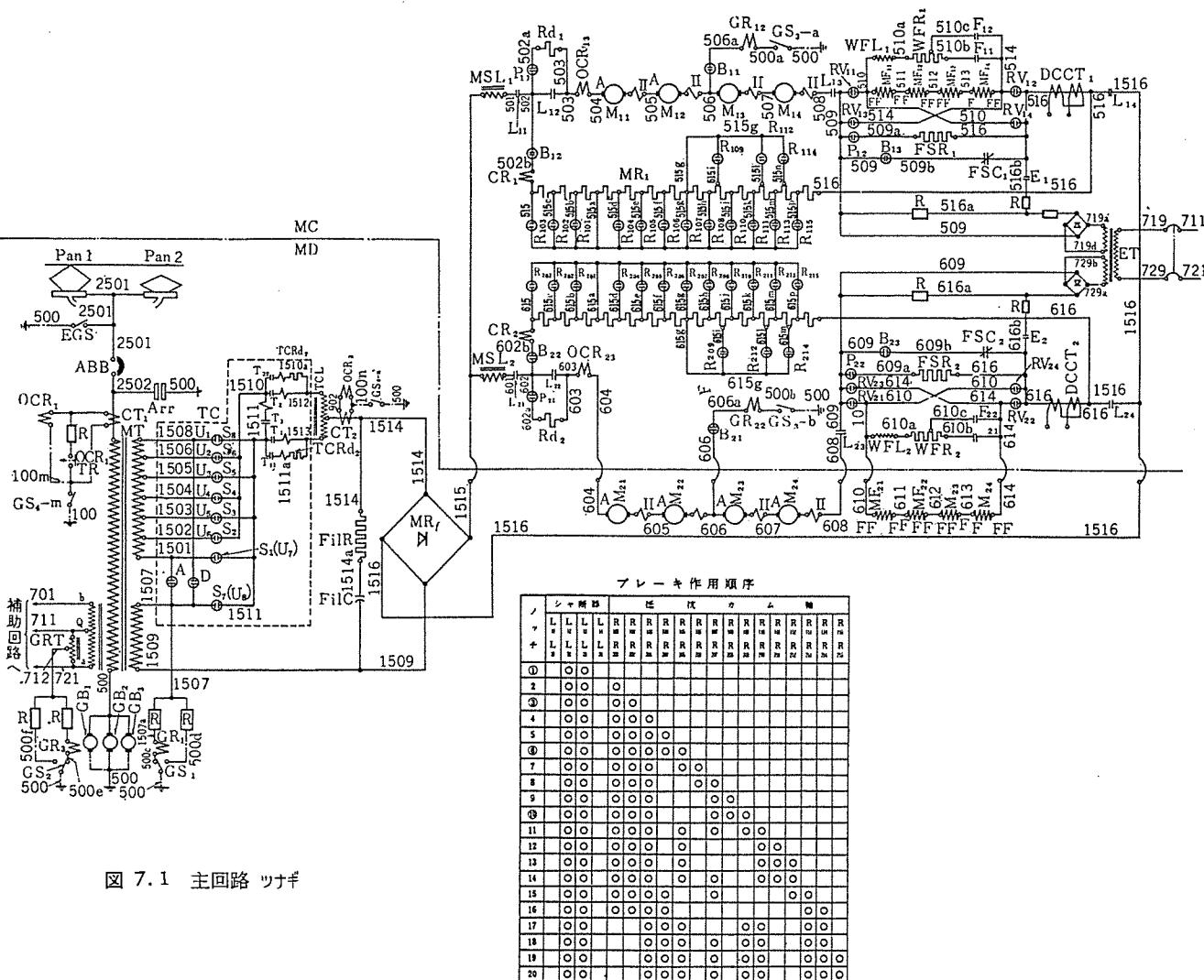


図 7.1 主回路 ツナギ

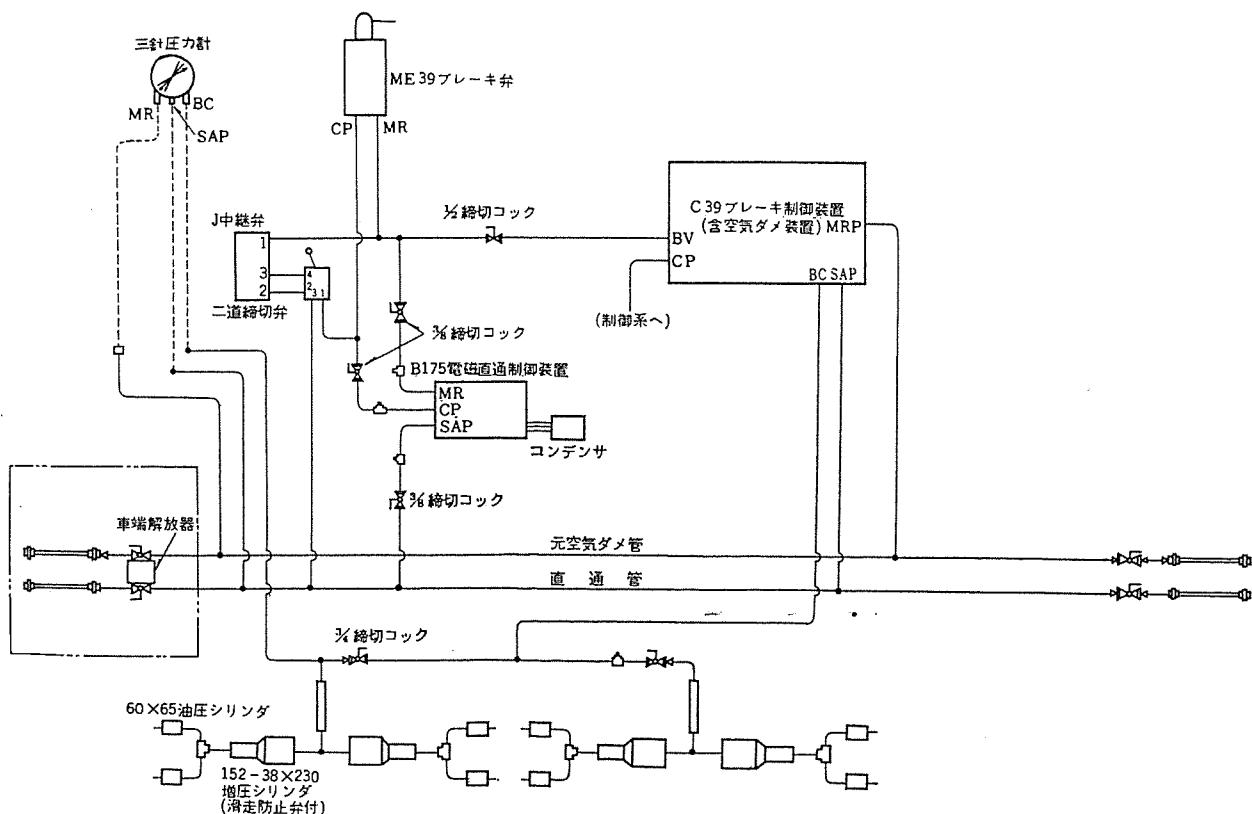


図 7.2 ディスクブレーキ 系統図

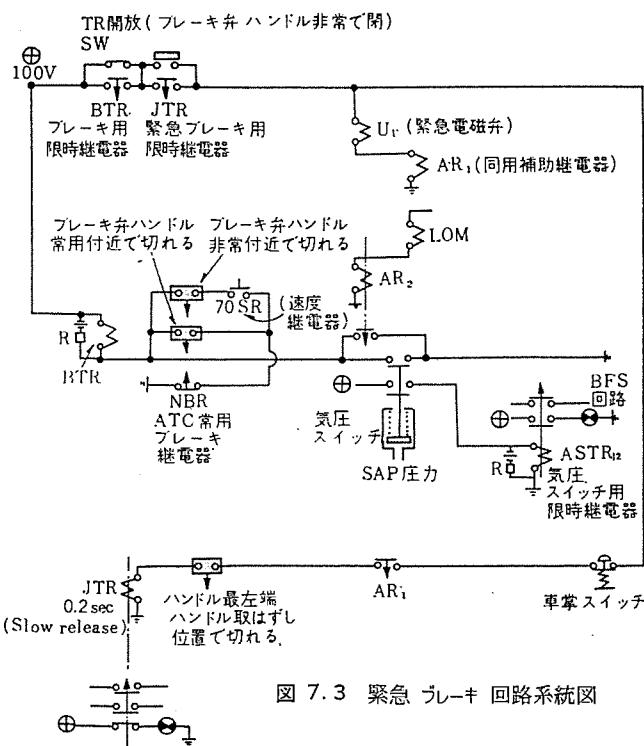


図 7.3 緊急ブレーキ回路系統図

合（ただし 50 km/h 以上では発電ブレーキも故障の時）とか、列車分離のような不測の事故が発生したり、あるいは乗務員が緊急扱いを行なった場合など、自動的に、しかも直通管圧力いかんにかかわらず緊急ブレーキを作用させるようになっている。この緊急ブレーキの系統は図 7.3 のとおりである。

8. むすび

車両ブレーキの基本概念、具備条件について検討し、電空併用ブレーキ方式のあらましについて記した。

電車が高速になるにつれ、また、高密度運転になるに従い、電空併用ブレーキの重要度も大きく、さらには電気一油圧ブレーキなどの新方式も出現することであろう。

技術講座

プラズマ(その3) — プラズマ内の各種の巨視的現象 —

河合 正*・伊藤利朗*・近藤博通**

前々号⁽³⁰⁾では、ある運動エネルギーを持った単粒子がどのような確率で他の粒子と各種の衝突を行なうかを論じた。しかしこれらの結果からただちに、プラズマ中でこの種の衝突がどの程度のひん度で起こるかを知るというわけにはゆかない。粒子の個別的、集団的運動についても、前々号や前号⁽³⁰⁾でかなり詳しく論じてはあるが、拡散係数や移動度の具体的数値についてはまだ触れてはいない。また、前号で述べたプラズマの物性理論においては、プラズマからの光のフク射、プラズマ中の波動の励起および伝搬という、プラズマの本質にとつてまことに重大な現象が全然取り扱われてはいない。

この号では、これらのとり残された問題を論ずることにする。その際、近年の放電の研究の対象の代表的なものといえる超高温プラズマの閉じ込めおよびアーカーの消弧の問題を、プラズマにおける力、エネルギーの平衡に関連する話題として採り上げることにしよう。

7. 粒子の発生と消失との平衡

7.1 平衡の基本式

たとえば電子についての平衡の式は、前号の式(5.7)から

ただし

$$x_e = \int d\tau v_e \left[\frac{\partial f_e}{\partial t} \right]_{\text{coll}} \quad \dots \dots \dots \quad (7.2)$$

となる。 z_e は、電子の発生ないし消滅を伴う衝突 [電離、電子付着、再結合] 全部について合計した正味の電子密度增加分を示す。これに対し式(7.1)の右辺第2項は、たとえばプラズマ中の磁界 B が零である場合には、前号式(6.10)すなわち

$$n_e \bar{v}_e \equiv F_e = -\nabla_T \cdot (D_e n_e) + \mu_e n_e E \quad \dots \dots \dots \quad (7.3)$$

の発散 (divergence) に相当する。すなわち Γ_e は拡散 [式 (7.3) 右辺] および電界方向への移動 [同第2項] による電子群の流入の割合を示し、したがって $\nabla_r \cdot \Gamma_e$ [式 (7.1) 右辺第2項] はこのような機構による電子群の流出と流入との差にも基づく正味の電子密度減少分を表わすものである。式 (7.3) の D_e, μ_e はそれぞれ電子の拡散係数、移動度に相当するが、プラズマ中での拡散の場合には一般に D_e の代わりに両極性拡散係数 D_a を採用したほうが妥当であることは前号でも述べたとおりである。

定常状態では、式(7.1)は

となる。これは、衝突による発生消滅 [左辺] と運動による流入流出 [右辺] とが平衡しなければならぬことを示す。この平衡状態の内容は、プラズマの種類によって非常に異なる。たとえば、水銀整流器 アーク の陽光柱などの場合、荷電粒子数の増加は主として電界電離、減少は主として管壁への拡散によるが、高気圧 ガス中のアーカーの陽光柱などの場合、荷電粒子数増加には熱電離、同減少には空間内再結合が主として寄与する。

次節以降に、このような粒子数増減の具体的数値をしるそう。

7.2 粒子の集団的移動

電界方向への移動：この移動に基づく電荷蓄積 $V_r(\mu nE)$ は、過渡 プラズマ のように不均一な電位分布がある場合を除けば、ほとんど無視してよいと思われる。しかし、粒子の電界方向への移動の度合を示す移動度は、放電の各種の現象に関係する重要な物理定数の一つである。その意味で前号の説明の補足をここで行なっておくことにしよう。

電荷 q , 質量 m を持った荷電粒子が, 初速度零で出発して電界 E の中を時間 t だけ飛行すれば, そのときの電界方向への飛行距離 d は $(cE/m)t^2$ で与えられる。荷電粒子が他の粒子と衝突することがなければ d は t とともに増すが, プラズマ 中では荷電粒子は他の粒子と次々にと衝突し ジグザグ な軌跡を描きながら平均として電界の方向に進んでゆく。衝突の平均的な周期を $\tau \equiv v_m^{-1}$ [v_m : 衝突周波数] とし, 衝突のたびごとにこの粒子の電界方向の速度がいったんゼロとなるものとすれば, 衝突後次の衝突を行なうまでに電界方向に移動した距離 d は $(qE/m)\tau^2$, したがってこの期間中の平均速度 v_d は

で与えられる。この両式は、プラズマ中の任意の種類の荷電粒子群の電界方向への平均的な移動の速度を示す式である。ただし、 v_d は一般に熱運動平均速度 \bar{v} [前号(4.16)に比べて小さいので、 $v_m = nv\sigma$ [式(2.4)。 v : 荷電粒子速度、 n : 荷電粒子の標的となる粒子の密度、 σ : 荷電粒子と標的粒子の衝突の断面積] の v として \bar{v} を採用してもよいであろう。したがって次の関係

すなわち μ と n 、したがって ガス 壓力 p 、との比例関係がなりたつ。荷電粒子は磁界と平行に走るとき、この磁界から力をうけることはない。したがって電界と平行に静磁界がある場合、この磁界は粒子群の電界方向への平均的な移動の速度には関係しない。

前号の式(6.21)で磁界と平行な方向における移動度[同式右辺右下の対角要素]が磁界のない場合の移動度の式(7.6)とまったく同一であるのはこの理由に基づく.

これに対し静磁界と直角の方向における移動度は、式(6.21)右辺の左上および中央の対角要素の $\omega = 0$ の場合に相当するものであって、これは磁界と平行な方向における移動度の $\{1 + (\omega_b/v_m)^2\}^{-1}$ 倍にあたる。ここで、サイクロotron 周波数 $\omega_b = qB/m$ は 100 ガウス程度の磁界中の電子の場合でも $1.5 \times 10^{10} \text{ sec}^{-1}$ 、一方 v_m は、 $10 \mu \text{Hg}$ 程度の稀薄な Ne ガスの中で 1 eV 程度の熱運動エネルギーを持つ電子の弹性衝突の場合、 $3 \times 10^6 \text{ sec}^{-1}$ 程度である。したがって、低気圧ガス中の放電では移動度に対する磁場の影響はかなり大きい。しかし、1 気圧程度のガス中では v_m はたとえば $10^{10} \sim 10^{11} \text{ sec}^{-1}$ 程度となるから磁場の影響はそれほど大きくなる。以

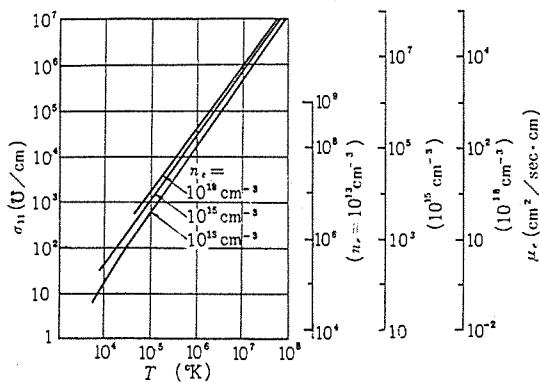


図 7.1 超高温 プラズマにおける電子移動度 μ_e および磁場のない場合の導電度 σ_{11} と プラズマ 温度 T との関係

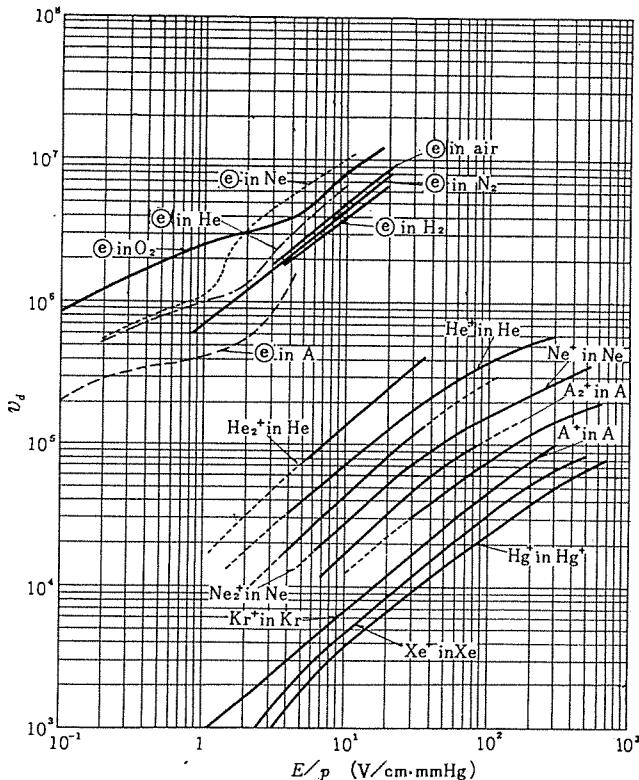


図 7.2 各種 プラズマ 中における電子および イオン の
電界方向への集団的移動の平均速度 v_d

上によって磁場の影響は大体わかったから、以後は磁界のない場合について述べよう。

完全電離 プラズマ では上述の衝突に該当するのは イオン-電子間の散乱だけである。式(7.6)の移動度は、衝突直後の荷電粒子の電界方向への速度成分を零として導かれたものであるから、完全電離 プラズマ の v_m としては初め電界方向に向かっていた荷電粒子が何回かの小角度散乱によって電界とほぼ直角方向に向かうようになるまでに要した時間 [式(6.43)の τ_{ei} と同程度の時間] の逆数をとるがよい。このことを考慮すると、磁界のない場合の完全電離 プラズマ 中の電子移動度 μ_e は、式(6.25)により

ただし σ_{11} : 磁界方向の プラズマ 電導率 [式 (6.46)]

で与えられる。図 7.1 は式 (6.46) を用いて求めた μ_e , σ_{11} を示している。イオンの移動度は、 v_m として式 (6.44) の $\tau_{ei} [\simeq (m_i/m_e)\tau_{ci}]$ の逆数を用いれば求まる。重水素イオンの場合、これは

電子移動度の $1/3,600$ 程度である。

また、一般の不完全電離 プラズマ では、各種の衝突が起こるので、その移動度について統一された理論をたてることはむずかしい。最も簡単な理論は、式(7.6)の v_m を中性粒子との弾性衝突の周波数と考える理論であるが、これは実測値とかなりへだたった移動度の値しか与えない。図7.2は、各種ガス中における電子イオンの電界方向への移動速度 $v_d = \mu E$ を示したものである。ただし、式(7.7)からいえば v_d は E/n したがって E/p [p : 中性粒子群圧力(封入ガス圧)]に比例するはずであるので、同図では E/p の関数としての v_d を示してある。

同図におけるイオンの場合 E/p の小さいところでは、たしかに v_d は E/p に比例しているが、 E/p がある程度以上大きくなると v_d はむしろ $\sqrt{E/p}$ に比例し、したがって μ は E/p に無関係な定数ではなくなる。 E/p が大きくなると、イオンは衝突後次の衝突までの間に、電界による加速のため、かなり大きな電界方向の運動のエネルギーを得るが、これは衝突によって無秩序な熱運動のエネルギーに変換される。したがってこの場合のイオンの熱運動平均速度 \bar{u} は電界の関数となる。

イオンが弾性衝突のたびごとにその熱運動 エネルギーを一定の割合で失い、このエネルギー損失分が 1 自由行程ごとに電界から獲得するエネルギーと等しくなるものと仮定することにより、 v_d と $\sqrt{E/p}$ の比例関係を説明できる。⁽¹⁾⁽⁵⁾しかし実際の現象はこのように簡単なものではない。たとえば励起原子が多数に存在するガス中をイオンが動くときには、励起原子からイオンへのエネルギーの転移が活発に起こるためイオンの \bar{v} 、したがってイオンの各種衝突のひん度が増し、その結果イオン移動度は低下する。電荷の転移 [3.3 節] や集団イオン [cluster ion] イオンにいくつかの分子が付着したもの] の生成も、実効的な移動度の低下をもたらす。また大電流、大電荷密度の場合には、イオン-電子間の散乱現象も考えに入れなければならない。

また、図 7.2 の電子の場合、弱い電界の領域では v_d は $\sqrt{E/p}$ に比例している。電子は質量が小さいので弱い電界の下でも熱運動速度がかなり大きくなるので、その移動度は強い電界の下におけるイオンのそれと同様に $\sqrt{E/p}$ に比例することになる。しかし E/p がある程度以上高くなると、電子群の中で比較的高い運動エネルギーを持つものが励発、電離などの非弾性衝突を行なうようになるので、 v_d は $\sqrt{E/p}$ に対する比例関係からはずれるようになる。

拡散：拡散係数が一定とすれば、拡散による荷電粒子密度変化 $D_{rr} \cdot (Dn)$ は当然 $D_{rr} \cdot n$ となる。 x 方向だけに密度 n のコウ配があるときにはこれは $D(\partial n / \partial x)$ で表わされる。拡散は密度のコウ配をなくす方向に、そのコウ配に比例して粒子が流れゆく現象である。

静磁界中のイオンないし電子の拡散係数は、衝突周波数 ν_m を一定とすれば式(6.22)から、磁界方向に対して $\overline{v^2}/(3\nu_m)$ [通常、 $\overline{v^2}$ は熱運動速度の二乗平均 $\overline{u^2}$ におきかえてよい]、磁界と直角の方向に対してはその $\{1 + (\omega_b/\nu_m)^2\}^{-1}$ 倍となる。 $\omega_b/\nu_m \gg 1$ のとき、後者は前者の大体 $(\omega_b/\nu_m)^{-2}$ 倍すなわち $(\nu_m m/qB)^{-2}$ 倍となるから強磁界をかけることによって磁界と直角方向の拡散を著しく少なくできるはずである。これは、強磁界によって超高温 β_{mi}

技術講座

表 7.1 $p=1 \text{ mm Hg}$ における各種イオンの同種気体中ににおける拡散係数 D_i (cm^2/sec)
[D_i^+ , D_i^- はそれぞれ正イオン, 負イオンの拡散係数]

気体	D_i^+ [実測]	D_i^- [実測]
H_2	98	110
O_2	21	32
N_2	23	31
空気	22	33
CO_2	18	20

スマを閉じこめようとする核融合研究にとって、まことにどうのよい性質であって、実験的にもこのことはある程度認められている。しかしながらプラズマ内に不安定現象、乱流、異常振動などが起こった場合、拡散の異常な増大が起こることは当然予想される。この例としては、Lehnertなどの実験で、放電管の軸方向にかけた磁場が非常に大きい場合に、プラズマのラセン状不安定現象とそれに伴う異常拡散現象が観測されている。この現象については Kadomotsev らにより理論的説明が与えられているが、その他の異常拡散現象については実験的にもまだ正確につかめていない。⁽⁴⁰⁾

磁界のない場合の拡散係数は磁界方向のそれ $\bar{u}^2/(3\nu_m)$ と同じである。前述の式 $\nu_m = \bar{u}n\sigma$ を用いると、拡散係数は \bar{u} すなわち問題とする粒子の熱運動平均速度したがってまたその温度と、 n すなわちその標的となる粒子群の密度したがってまたガス圧力に比例することがわかる。弱電離プラズマではイオンと中性粒子の温度差はほとんどないが、この場合のイオン拡散係数 D_i と実測値を表7.1に示しておいた。

電子の拡散係数についての実測は行なわれていない。プラズマ中では電子とイオンとは両極性拡散によって拡散してゆくから、電子だけの拡散係数を問題にしても実際に無意味である。両極性拡散係数 D_a は式(6.18)に示したように $D_i\mu_e + D_e\mu_i / (\mu_e + \mu_i)$ に等しい。Heガスでの実測によると、ガス圧力 p が $2 \sim 13 \text{ mm Hg}$ の間で $D_a p$ はほぼ一定値 $550 \text{ (cm}^2/\text{sec}) \cdot \text{mm Hg}$ である。この D_a の実測値は表7.2の D_i よりやや大きい程度の値である。

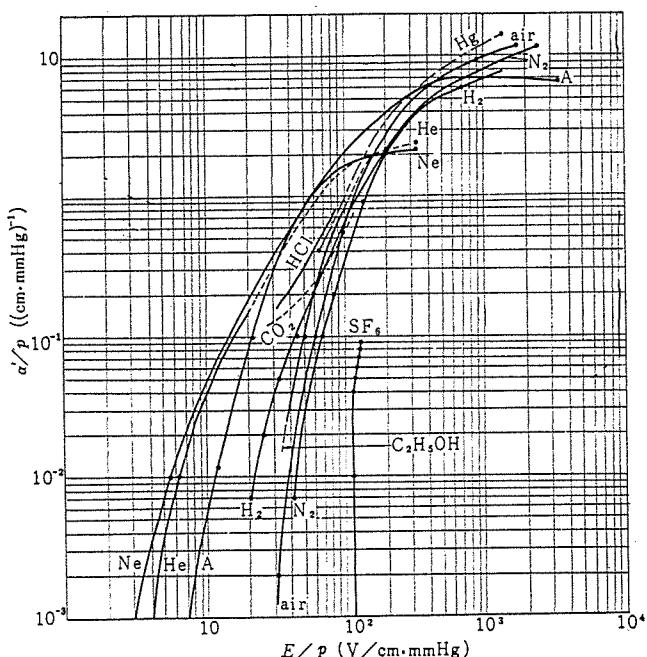


図 7.3 各種プラズマにおける Townsend の第1電離係数 α'

7.3 衝突による粒子の発生、消滅

電界電離：電界を印加されたプラズマの中での電離は、主として電子によって行なわれる。イオンによる電離の確率は、イオン運動エネルギーが少なくとも 100 eV 程度以上になるまでは、ほとんど問題にならぬ程度の小さな値にとどまる[図 3.9]。元来あまり大きな電界の生ずることのない、プラズマの中を、ひんぱんに衝突を繰り返しながら動くイオンが、 100 eV というような大きな運動エネルギーを得る確率はきわめて小さく、したがってイオンによる電離は無視できる。

プラズマ中を動く電子群が単位長進む間に行なう電離回数の電子1個あたりの平均値 α' を通常 Townsend の第1電離係数と呼ぶ。電離によって生じ、また次々に電離に寄与するから、電子群が長さ d を進む間にその数は $\exp(\alpha' d)$ 倍に増す。 α' は電子の標的となる中性粒子数、すなわちガス圧力 p に比例する。図7.3は種々なガス中における α'/p を E/p の関数として示したものである。 E/p は(電界) \times (平均自由行程)、すなわち荷電粒子が衝突後次の衝突までの間に電界から獲得する運動エネルギーないし運動量に比例する。すべての衝突の確率はガス圧に比例するとともに、上記の運動量の関数でもある[3章]。したがって、 α' を E や p の関数とするよりも、 α'/p を E/p の関数としてグラフに示したほうがはるかに一般性がある表示法だといえる。電子による各種ガス分子の電離の断面積[図3.8]には $10 \sim 100 \text{ eV}$ の電子運動エネルギーのところに極大があったが、これに対応して図7.3の α'/p 曲線も電子の1自由行程あたりの獲得エネルギーが上記の値と大体同じになるところで最大となっている。

熱電離、熱励起、熱解離：プラズマの温度が高くなつて、荷電粒子、中性粒子の熱運動エネルギーが大きくなれば、電界がなくても粒子相互の激しい衝突によって電離、励起、解離が起こる。

電子およびおののおの1種類のイオンおよび中性粒子からなり、それらの温度がすべて同一値 T であるような等温プラズマの熱平衡状態における熱電離の状態は Eggert-Saha の式

$$\frac{n_i n_e}{n_0} = 2 \left(\frac{2 \pi m_e k T}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{z_i}{z_0} e^{-\frac{V_i}{kT}} \quad (7.9)$$

ただし n_e, n_i, n_0 : 粒子密度

z_i, z_0 : 各粒子の並進運動の状態と以外の状態和

V_i : イオン化電圧

で与えられる。とくに電離すべき粒子が原子である場合には、

$$z = \sum_{m=0}^{\infty} (2J_m + 1) e^{-\frac{E_m}{kT}} \quad (7.10)$$

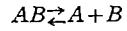
で与えられる。ここに J_m は m 励起状態における電子の全角運動量に関する量子数であり、 E_m は基底状態のエネルギー準位を原点として測定した m 励起状態のエネルギー準位である。

また、 m 励起状態における粒子密度 n_m は次式で与えられる。

$$n_m = \frac{g_m e^{-\frac{E_m}{kT}}}{z_m} \cdot n_i \quad (7.11)$$

ここに n_i は注目している粒子の粒子密度である。とくに原子に対しては上記のように、 g_m は $2J_m + 1$ に一致する。

解離現象についても同様の式が成立するが、とくに



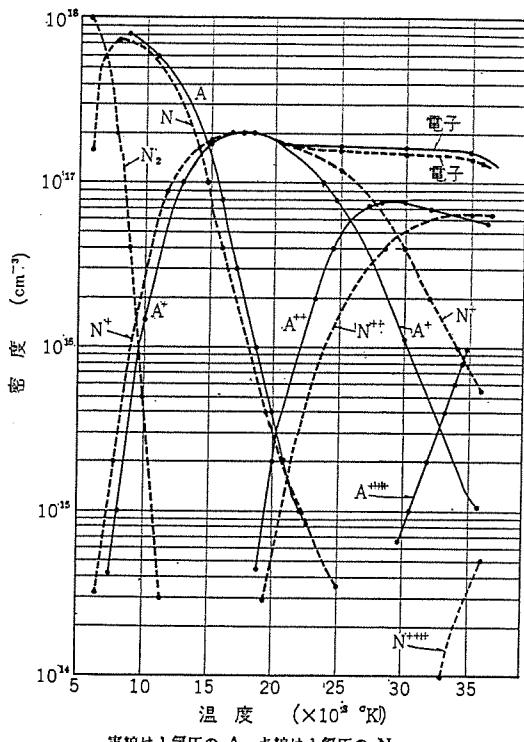


図 7.4 温度の上昇に伴う熱解離、熱電離の進展の例

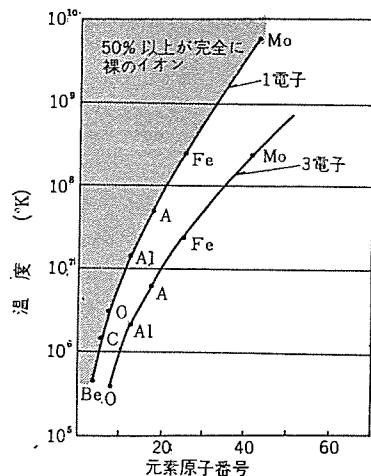


図 7.5 各種 プラズマ の温度と多重電離度との関係

のような 2 原子分子の熱解離についていえば、

$$\frac{n_A \cdot n_B}{n_{AB}} = \left(2\pi \frac{m_A \cdot m_B k T / h^2}{m_A + m_B} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\sigma_{AB} h^2}{8\pi^2 I_{AB} k T} \left(1 - e^{-\frac{h\nu_{AB}}{kT}} \right) \cdot \frac{z_A \cdot z_B}{z_{AB}} \cdot e^{-\frac{E_D}{kT}} \quad (7.12)$$

ただし z_A, z_B, z_{AB} : 電子軌道に関する状態和

I_{AB} : AB 分子の慣性モーメント

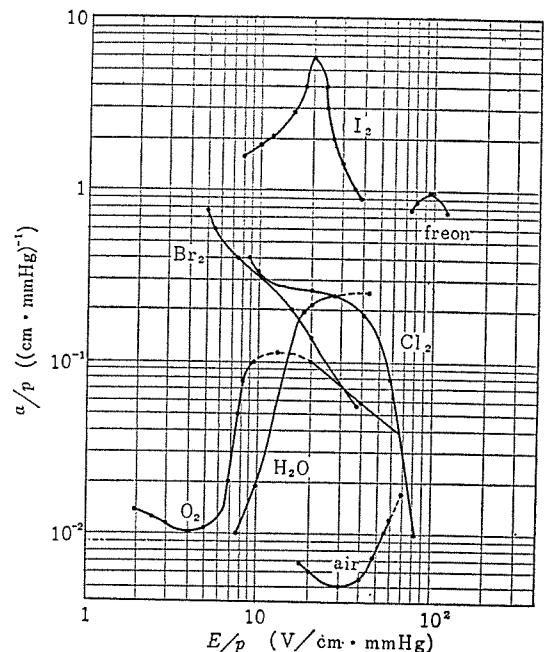
σ_{AB} : " 对称数

ν_{AB} : " 振動数

E_D : 解離エネルギー

で与えられる。

図 7.4 は 1 気圧の N_2 ガス および A ガス 中において、熱解離、熱電離がどのように進展してゆくかを示したものである。また図 7.5 は各種元素の多重電離の度合と温度との関係を示したもので、図の 1 電子とするした線はそれより左側では プラズマ 中粒子の 50

図 7.6 各種 プラズマ における電子付着係数 a

%以上がただ 1 個の電子をあますか、ないしは完全に電子をはぎとられた状態の イオン となることを示し、3 電子とするした線は同じく 50% 以上が 3 個ないしそれ以下の電子しか有していない状態の イオン となることを示す境界線である。

電子付着 : プラズマ 中で、電子群が単位長さ進む間に中性粒子に付着する回数の電子 1 個あたりの平均値 a は、先の α' と同様中性粒子の密度したがってその圧力 p に比例する。図 7.6 は、電子付着の起こりやすい各種 ガス について、 a/p を E/p の関数として示したものである。図 3.11 にも示したように付着確率の大きいのは低速度の電子であるから、図 7.6 でもこれに対応して低い E/p のところに a/p の極大があらわれる。

再結合 : 3.7 節で述べた再結合係数 α を用いれば プラズマ 中での再結合による粒子消滅の割合をただちに求めることができる。したがってここではこれ以上述べない。

8. 力の平衡

プラズマ における力の平衡が問題となるのは、超高温 プラズマ の閉じ込めの場合、アーケー陽光柱の磁気駆動の場合などである。前者の場合、後者とは異なって、プラズマ が完全電離状態に近く、しかも壁やガスなどの冷たい物質からまったく隔絶され真空中に浮いた状態で閉じ込められることが理想とされる。したがって、この閉じ込めの問題に関しては 5 章 で述べたような MHD 理論が適用しやすい。この章では以下この問題を採り上げて論じてみよう。

8.1 超高温 プラズマ の閉じ込めの方式⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾

式 (5.25) は閉じ込めの際の力の平衡を示す式であるが、プラズマ は一般に電気的中性 [$Q=0$] とみなしてもよいかから、この式は定常状態においては次の形

$$\nabla \cdot \mathbf{P} = \mathbf{j} \times \mathbf{B} - \rho \mathbf{P}_r \phi \quad (8.1)$$

となる。プラズマ が真空中に浮いた状態で閉じ込められているならばその圧力 $P = n_e k T_e + n_i k T_i$ は プラズマ の周辺部で零で、プラズマ

技術講座

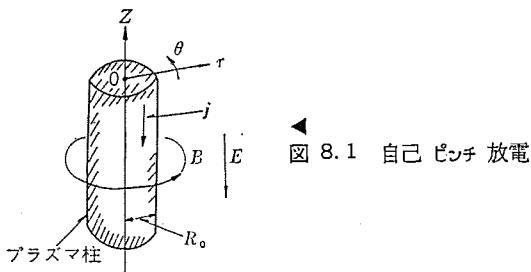


図 8.1 自己 ピンチ 放電

内部に向うにつれ高くなるような分布となるはずである。座標の原点は通常、プラズマの内部に選ばれるので、上述の圧力分布では $\nabla_T p < 0$ となる。式(8.1)によれば、閉じ込めを可能ならしめる力は電磁力 $j \times B$ か重力 $\rho \nabla_T \phi$ しかない。後者は天体規模のプラズマででもなければ問題とはならないから、けっきょく、地上の装置においては閉じ込めは次の式

$$\nabla_T p = j \times B \quad \dots \dots \dots (8.2)$$

によって行なわれる。この場合、ペクトル恒等式から $B \cdot \nabla_T p = 0$, $j \cdot \nabla_T p = 0$ となるから、このような MHD 的な閉じ込めの配位においては磁力線も電流とともにプラズマの等圧面に沿うて走らなければならない。

MHD 的な閉じ込め配位の一つの簡単な例として、核融合研究の初期に提案されたピンチ放電について考察しよう。図 8.1 に示すような円筒配位において、まずプラズマ電流密度 j が z 成分しか持たないものとし、外部から印加する磁界はないものとすれば、プラズマの内外にできる磁界 B は θ 成分しか持たない。すべての物理量は θ および z 方向に一様であるとする式(8.2)式(5.27)から

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -j_z B_\theta \quad \dots \dots \dots (8.3)$$

$$E_{0z} - \eta j_z = 0 \quad \dots \dots \dots (8.4)$$

$$E_{0r} - \frac{1}{en_e} \frac{\partial p}{\partial r} = 0 \quad \dots \dots \dots (8.5)$$

ただし E_{0z} , E_{0r} : 外部からプラズマに印加する電界の z , r 成分、一方 Maxwell の電磁方程式から電流と磁界の関係

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r B_\theta) = 0 \quad \dots \dots \dots (8.6)$$

が得られる。式(8.4)に含まれる比抵抗 η は粒子密度や温度の関数であるが、ここでは簡単のためにプラズマ内部のいたるところで一定であると仮定する。このような仮定の下では式(8.4)は通常の Ohm の法則となんら異なる。式(8.6)の積分により

$$B_\theta = \begin{cases} (\mu_0/2) r j_z : & 0 < r < R_0 \\ (\mu_0/2) (R_0^3/r) j_z : & R_0 < r \end{cases} \quad \dots \dots \dots (8.7)$$

が得られる。したがって式(8.3)からプラズマ柱の中心 [$r=0$] における圧力を p_0 として次の圧力分布

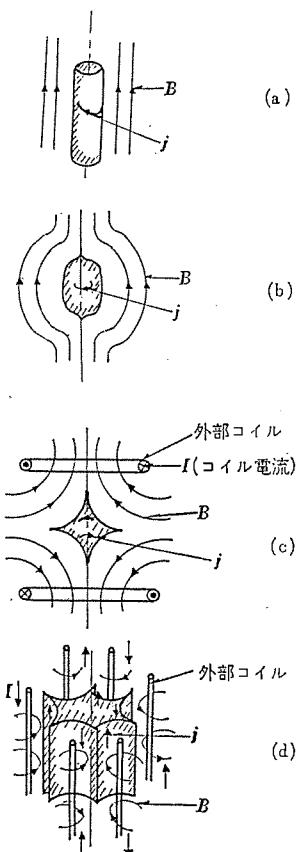
$$p = p_0 - \frac{\mu_0}{4} j_z^2 r^2 \quad r < R_0 \quad \dots \dots \dots (8.8)$$

が得られる。ただし $r=R_0$ で $p=0$ であるから中心部圧力は

$$p_0 = (n_i + n_e) k T = \frac{\mu_0}{4} j_z^2 R_0^2 \quad \dots \dots \dots (8.9)$$

で与えられる。

プラズマの閉じ込め方式にはこのほかにも種々なものが提案されている。図 8.2 はそのおもなものを図示したもので上から順に(a) θ ピンチ [あるいは誘導 ピンチ] 形、(b) ミラー形、(c) カスプ形を示してある。(d) は(c)の一変形とも考えられるが通常多極磁界(multi-pole)形と呼ばれるものである。(a) は上に述べたピンチ放電 [自己ピンチ放電]において J と B との関係を逆にした形とも考えられる。ただし (a) では θ 方向の電界を誘起しなければならな



(a) 膝導ピンチ [θピンチ], (b) ミラー形
(c) カスプ形, (d) 多極磁界形

図 8.2 超高温 プラズマの閉じ込め配位の例

いので z 方向の磁界を時間的に変化してやることが必要である。

先に述べた自己 ピンチ や (a) の θ ピンチ の配位においては z 軸方向には無限に長い配位を考えたが、この方式を実際のプラズマ閉じ込めに適用するには端の部分をどうするかという問題 [end problem] を解決しなければならない。θ ピンチの場合は普通端の部分の磁界を強くして端からプラズマの洩れを少なくする方法すなわち (b) のミラー磁界をそのまま圧縮用磁界として用いる方法が採用されているが、当社中央研究所の装置⁽⁴²⁾のように放電管をドーナツ状とし端のないプラズマにθ ピンチをかける方式もある。ドーナツ状放電管を用いて端の問題を解決するという方式は自己 ピンチ 放電では盛んに採用されている。(c) のカスプ装置も (b) のミラー装置と同様、端の部分の磁場が強くなっていることがプラズマ洩れの防止に役だつ。しかし (c)においてはカスプ損、(b)においてはミラー損の名で呼ばれるプラズマなし荷電粒子の洩れを絶滅することは本質的に不可能である。

なお、閉じ込め方式には図 8.2 以外にもまだいくつかの方式がある。ドーナツ状放電管に適用する方式としてたとえば Stellator, Heliotron などの配位などはその例である。

8.2 超高温 プラズマの MHD 的不安定性^{(10)~(12), (42)}

自己 ピンチ 形の閉じ込め配位が実はきわめて不安定であることは実験的および理論的に十分明らかにされた。閉じ込め配位が不安定であるといふのは、その配位において期待される力学的平衡 [式(8.2)に示されたプラズマ圧力と電磁力の平衡] にわずかの変位たとえば $d\xi(r) \exp(im\theta + ikz + i\omega t)$ [$m=1, 2, \dots$], を与えたと

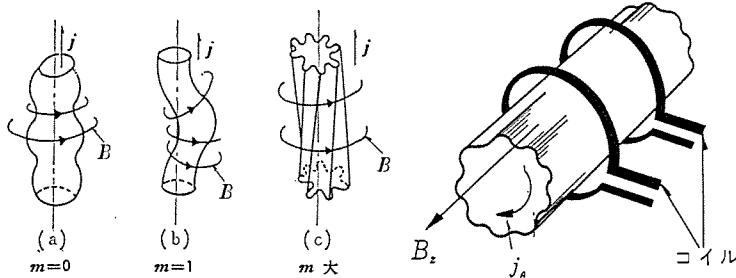


図 8.3 自己ピンチ放電における MHD 的不安定性の例

図 8.4 θピンチ放電における交換形不安定性

き、系の全エネルギーの変化 ΔW が負になるような場合がありうることをいうのである⁽⁴⁵⁾。自己ピンチ形配位での不安定性の例を示せば、たとえば図 8.3 の (a) (b) (c) のような変位が考えられる。(a) では、プラズマがパクビレでその断面が小さくなると、その個所では B_θ したがって プラズマを圧縮する電磁力 $j_z B_\theta$ がますます強くなり プラズマのクビレはますます進展する。(b)においても同様に、プラズマが図のようにネジレると、ネジレの内側では磁界が強くなっている。この不安定性はますます成長しようとするのである。(a) および (b) は上述の変位の式においてそれぞれ $m=0$, $m=1$ の場合に相当しており、(c) は m がかなり大きい。(a) を ソーセージ形不安定性 (sausage instability), (b) を キンク不安定性 (kink instability) と呼ぶが、(a)～(c)などを一般に キンク不安定性と総称することもある。また図 8.3 のように z 方向に電流 j_z を流している プラズマの内外に、電流と平行な磁界 B_z が印加されている場合、この印加磁界 B_z と電流の発生する自己磁界 B_θ とが合成されてラセン状磁界ができるが、 j_z したがって B_θ がある限界 (Kruscal または Shafranov の限界) をこすと、電流を流している プラズマが磁界と同じピッチのラセン状の変形を起こす。このような不安定性もまた広義の キンク不安定性の中に入れることができよう。

また図 8.4 は、交換形不安定性 (interchange instability) と呼ばれる別の不安定性の典型例を示したものである。図のコイルに パルス電流を加え、その際生ずるパルス強磁界 B_z によって プラズマの圧縮 (θ ピンチ) を行なう場合、プラズマが円柱形とはならず、表面に磁力線と平行な タテミジができることがある。これを タテミジ形不安定性 (flute instability) と呼ぶこともある。これは プラズマ内部の プラズマを含む磁力管と、外部真空空間の磁力管とを交換したとしたときの上述のエネルギー変化 ΔW が負になれば発生する。

これらの円柱形閉じ込め配位の安定条件の理論は、非常に多くの理想化された仮定を使うけれども、きわめて複雑な導出過程を必要とする。この中、磁界 B_z および B_θ の中におかれた プラズマ円柱に関して B. Suydam が与えた閉じ込め安定の必要条件⁽⁴³⁾

$$\frac{2\mu_0}{B_z^2} \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{r}{4} \left(\frac{1}{b_h} \frac{\partial b_h}{\partial r} \right)^2 \geq 0 \quad (8.10)$$

ただし $b_h = B_\theta / (r B_z)$

で与えられる。閉じ込め配位では圧力コウ配 $\partial p / \partial r$ は負、したがって上式において左辺第2項は大きな正の値をとらねばならぬことになる。

Stellarator と呼ばれる装置で採用された ラセン状の カスプ磁場コイルは、 r 方向における磁力線 ネジの増加 [magnetic shear]

の割合 $\partial b_h / \partial r$ を正にし プラズマの安定化に貢献するものといえる。しかし プラズマが高温になればなるほど、圧力コウ配の絶対値は大きくなるから、式 (8.10) を満たすことは一般にはなはだ困難となる。

また別の理論から、プラズマをとりかこむ磁力線が、プラズマに対してトツ(凸)の形となっておれば、その配位は交換性不安定性に関しては安定であることがいえる。ただしこの理論の結論は今少しく一般的であって、磁力線の曲率をその全周にわたって平均したものがトツの曲率となっていれば プラズマは安定とされる。

自己ピンチ放電では広義の キンク不安定性が起りやすい。この防止のために安定化用 B_z 磁界のそう入、金属壁放電管の採用などが行なわれているがその効果は十分とはいえない。ミラー形の磁場では、タテミジ形不安定性を防ぐため プラズマ端部に導体をおくという方法も行なわれているが、高温 プラズマにとって好適な方法であるとはいえない。ドーナツ放電管に特殊な閉じ込め用磁界を印加する Stellarator などの方式でも、プラズマの加熱のためにその軸方向に Kruscal 限界以上の電流を流すと不安定現象が起こる。

カスプ磁界や多極磁界は磁力線が プラズマに対してトツとなつておらず、その上磁界の強さが プラズマから離れるに従って著しく増大するので、プラズマ安定性の上からは好ましい配位であると考えられる⁽⁴⁴⁾。Ioffe らはミラー形磁界と多極磁界とを重ね合せて印加した場合、プラズマの閉じ込めが飛躍的に良くなることを実験で明らかにした。⁽⁴⁵⁾もちろん カスプ磁界や多極磁界には カスプ損があること、コイルが正方向、負方向に電流を流す導体を交互に配置する方式であるため所望磁界に対しかなりな大きさの電源を必要とすることなどは欠点はある。しかし、他の閉じ込め方式の不安定性の克服が非常に困難であると見られるにいたったことを考え合わせると、これらの磁界配位の改良にかけられる期待は大きい。これらの磁界、とくに多極磁界においては、その磁界の空間的変化が著しく大きいため、これらに単純な MHD 方程式をあてはめることには問題がある。

最後に、プラズマの不安定性は上述のような MHD 的な不安定性だけに限らぬことを指摘しておきたい。上述の不安定性が巨視的なものであり、電気抵抗や粘性のない理想 プラズマにおいてとくに明瞭な形で出現するものであるのに対し、微視的不安定性、すなわち プラズマ内の粒子密度や電磁場の ユラギが普通の熱 ジョウ乱の レベル以上での波動として伝搬してゆくような形式のものや、プラズマの電気伝導度が無限大でないことに起因する抵抗性不安定現象 (resistive instability)，たとえば 7.2 節拡散の項で述べた Lehnelt の実験に現われたそれ、などが存在する。

これらの各種不安定現象はこの 10 年間に次々に予見され発見されたものであって、理論も実験もこれらのすべてを体系的、定量的に掌握したという段階には達していないが、近い将来にこれらの包括的掌握やこれらに対する十分な対策の樹立も可能となるであろうことを期待したい。

9. エネルギーの平衡

プラズマのある点に電界 E があり、そこに密度 j の電流が流

れれば、その個所に与えられる単位体積あたりの電気的入力は $j \cdot E$ である。あるいはプラズマ柱の1断面における電界、全電流が E, i で表わされるとき、柱の単位長さあたりの入力は iE であるというように表現してもよい。また、プラズマが電磁力などにより駆動されて速度 V で動いておれば、その単位体積あたりに与えられた運動エネルギーは $(\rho/2)V^2$ である。

プラズマに与えられたこれらのエネルギーは、いろいろな機構の仕事に使われ、最後にはなんらかの形でプラズマから逃げてゆく。この章では、このようなエネルギー損失の機構と、エネルギー平衡に関する話題としてアーカの消弧の問題について述べよう。

9.1 エネルギー損失の機構

普通の低温プラズマのエネルギー損失の実測例⁽³⁾として、水銀プラズマ柱の単位長さあたりの管壁損失 P_w およびフク射損失 P_r の電気的入力 iE に対する割合を図9.1に示してある。

これからもわかるように、低気圧では、入力 iE の大半は壁損失 P_w の形で失われてゆく。ただし、この壁損失は、プラズマ中の荷電粒子が拡散によって壁に到着しそこで再結合することによって生ずる損失である。たとえば水銀原子は 10.4 eV を与えられて 1 値イオンとなるが、このイオンは壁での再結合の際に 10.4 eV を吐き出す。1 万度程度の電子の熱運動コネルギーが高々 1 eV 程度にすぎないことを考えると、上記の 10.4 eV は非常に大きい損失であるといえる。7.1節で述べたように拡散係数はガス圧 p に反比例するから、低気圧では拡散による壁損失が上述のように著しく多くなるのである。

ガス圧が高くなるにつれ、拡散は減り、その代わりフク射損 P_r が増してくる。ただしここでいうフク射損とは、励起粒子からのフク射 [excitation radiation. 以後励起フク射と呼ぶ] による損失を指し、図の場合にはとくに水銀共鳴線 2,537 Å のフク射によるものだけを示してあるが、図からわかるようにこの単一スペクトル線による損失だけでも入力の数十分%に及ぶことがある。

さらに気圧が高くなると、フク射損も減り、入力の多くは、プラズマに混在している中性粒子の加熱に使われる始める。このような加熱が十分となるに従ってプラズマは等温プラズマの状態に近づく。なお、高気圧中の放電では空間内再結合により生ずる光 [この種の光は連続スペクトルとなる] も相当量放出される。

超高温プラズマにおける損失の問題^{(7)~(14)}は、上述の低温プラズマの場合とは著しく異なる。元来、励起フク射は粒子の核外電

子のエネルギー準位変化に伴って生ずるものであるから、電子をまったくほぎとられた裸の原子核、たとえば水素ないし重水素のイオンは励起フク射を生じない。以後、水素ないし重水素プラズマに例をとると、これらは数十万度ではほぼ完全電離状態に近くなり、[図7.5] これ以上の温度ではほとんど励起フク射を出さぬようになる。このような高温状態では励起フク射に代わって、荷電粒子が磁界中でラセン状軌道を描くときに生ずるサイクロotron射、荷電粒子の軌道が他の種の荷電粒子により曲げられるために生ずる制動フク射 [英文でも Bremsstrahlung と書かれる] が問題となる。ただしサイクロotron射は、一般に波長がかなり長くてプラズマ内で、吸収されやすいためプラズマ外には出にくい。制動フク射は主として、イオンにより散乱された電子のエネルギー放射の形で出る。このため超高温プラズマ中の電子温度 T_e はイオン温度よりある程度低くなるものと予想されている。超高温プラズマにおいて単位体積から出る制動フク射エネルギーの単位時間あたりの値 w_B は

$$w_B = \frac{q_i^2 q_e^2 n_i n_e}{\sqrt{48 \mu \epsilon_0^3 C_m e h}} \sqrt{\frac{8 k T_e}{\pi m_e}} \\ = 4.8 \times 10^{-3} Z^2 n_i n_e (10^{-3} k T_e / e)^{1/2} [W/m^3] \quad (9.1)$$

ただし Z : イオンの電荷数 [N 値イオンのとき, $Z=N$]

$10^{-3} k T_e / e$: keV であらわした電子温度

n_i, n_e : イオン、電子の密度

で与えられる。プラズマ密度 ($\approx n_i \approx n_e$) が $10^{21}/m^3$ であるような重水素プラズマにおいては w_B は、 $T_e=10^6 K$ [0.085 keV] のときに $0.15 MW/m^3$, $T_e=10^9 K$ のときに $4.8 MW/m^3$ というきわめて大きな値に達する。核融合発電は、プラズマ内の核融合反応熱がこの w_B を十分に上回るような条件においてのみ可能となる。

超高温プラズマのエネルギー平衡の問題に対して、プラズマ中の不純物イオンは重大な影響を与える⁽¹⁰⁾ 図7.5に示したように重いイオンは超高温状態でも裸の原子核にはなりにくい。したがって、重水素プラズマ中に一定量の重い不純物 O, Al などがある場合、 $10^6 K$ 程度の高温になっても不純物イオン 1 個あたりの励起フク射は重水素イオン 1 個による制動フク射のたとえば 10^5 倍程度の大いさを持つ。またこの種の重い不純物イオンは電荷数 Z が非常に大きいため、式(9.1)からもわかるようにその 1 個あたりの制動フク射は重水素イオンのそれよりもはるかに大きい。このように不純物イオンは非常に大きなプラズマ損失を発生するから、超高温発生のためにはプラズマの純度を非常に高くしなければならない。

9.2 アーカの消弧

シャンク断器などのアーカの消弧は、なんらかの手段によってその陽光柱すなわちプラズマ領域のエネルギー平衡をくずすことにより行なわれる。すなわち、一般にシャンク断器内のアーカは、衝突周波数の非常に大きい高気圧ふんい気内で発生消滅するので、少なくとも、衝突断面積の大きい荷電粒子間の結合、解離反応に関しては、その緩和時間はきわめて短いと推定され、しかも電子温度と気体温度とはほぼ同一であると考えられるので、電子密度は式(7.9)に従って変化することになる。したがって、なんらかの手段によってプラズマ部分のエネルギー平衡をくずすことによって、温度を下げるに、式(7.9)に従って電子密度が、温度変化よりもはるかに急速に減少し、その結果消弧が行なわれることになる。

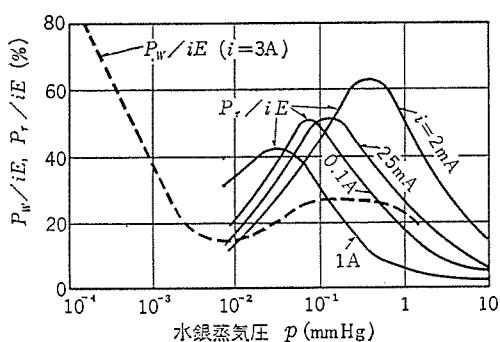


図 9.1 水銀プラズマにおける管壁損失 P_w 、共鳴線 2,537 Å についてのフク射損失 P_r の電気入力 iE に対する割合
[ただし P_w は直径 32 mm の放電管における Klarfeld の測定、 P_r は直径 18 mm の放電管における Rössler らの測定による]

以上の考え方を数式的に表現すると、エネルギー平衡の方程式は
 $(\text{エネルギー入力}) = (\text{総エンタルピーの時間変化}) + (\text{フク射損失}) + (\text{熱伝導損失})$

すなわち

$$\sigma E^2 = \rho \frac{D}{Dt} (h_t + \frac{1}{2} V^2) + S(T) - \nabla_r \lambda \nabla_r T \quad \dots \dots \dots (9.2)$$

ただし

D/D_t : 実質部分に関する時間微分 [$= (\partial/\partial t) + V \cdot \nabla_r$]

V : 気体の流速, h_t : エンタルピー, $S(T)$: フク射損失,

λ : 熱伝導損失, ρ : 密度

上式に運動方程式 $\rho DV/D_t = -\nabla_r p$, およびエンタルピー温度関係式 $h_t = C_p T$ を代入して整理すると

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \sigma E^2 + V \cdot \nabla_r p - S(T) + \nabla_r \lambda \nabla_r T \quad \dots \dots \dots (9.3)$$

を得る。

すなわち、入力 σE^2 に打ち勝つだけの流体流力学的損失 $-V \cdot \nabla_r p$, フク射損失 $S(T)$, あるいは流体力学的損失 $-\nabla_r \lambda \nabla_r T$ のいずれかを、なんらかの手段によって与えると式(9.3)の右辺が負になり、 T が減少して消弧が行なわれることになる。

以上が消弧現象の一般論であるが、次に実際のシャ断器について、その消弧機構を説明し、電子の消滅の早さがどの程度であるかを具体的に示そう。

空気シャ断器⁽⁴⁶⁾ : 圧縮空気をためた貯氣タンクから、ノズルを通じて高速の空気を外部に放出し、この空気の流速を利用して、ノズル内に発生したアーカーを冷却して消弧を行なうという消弧機構を有している。

この場合、交流電流の零点に注目すると、すでにアーカーの温度が十分に減少し、 σ および $S(T)$ が小さくなっていることが予想されるので、 σE^2 および $S(T)$ は他の項に比して無視できるものと考えられる。また積極的な流体力学的損失が与えられているので、熱伝導損失も流体力学的損失に比して無視できる。したがって式(9.3)は

$$\frac{C_p}{R} \frac{1}{T} \frac{DT}{Dt} = V \cdot \nabla_r p \quad \dots \dots \dots (9.4)$$

いま実質部分の温度変化のみに注目すると上式の D/D_t は d/dt に置換できる。一方7.3節で説明した Saha の式に注目し、温度変化と電子密度の変化との対応関係を考えると、

$$\frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dt} \approx \frac{E_t}{kT} \frac{1}{T} \frac{dT}{dt}$$

$$\text{したがって } \frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dt} = -\frac{R}{C_p} \frac{E_t}{kT} V \cdot \nabla_r p \quad \dots \dots \dots (9.5)$$

ただし R : 単位質量あたり空気の気体定数

一般に V と $\nabla_r p$ との方向は反対方向であるので、上式の右辺は負の大きな値となる。実際のシャ断路について上式の右辺を計算すると、 $-10^{+6} \text{ sec}^{-1}$ 程度となり、電子密度の消滅の時定数が $1 \mu\text{s}$ 程度であることが推定される。実験結果もこの程度の時定数を与えている。

磁気吹消シャ断器⁽⁴⁷⁾ : 磁気の力でアーカーを駆動し、これを耐熱材料で構成された細ゲキに押し込んで熱伝導損失を増加させて、消弧を行なうという消弧機構を有している。この場合には空気シャ断器で見られるよう流体力学的損失はないが、アーカーは耐熱材料との接触により、その内部で $\nabla_r T$ が増加し、温度の低下が早められる。いま間ゲキの幅を a とすると、

$$\nabla_r \lambda \nabla_r T \approx -\frac{2}{a^2} \lambda T$$

となるので、 σE^2 および $S(T)$ を無視し、同様にして n_e の変化を求める

$$\frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dt} \approx -4 \frac{R}{C_p} \frac{E_t \lambda}{p k a^2} \quad \dots \dots \dots (9.6)$$

を得る。実際のシャ断器に関する値を上式に代入すると、電子密度減少の時定数として、数十 μs 程度の値が得られ、実験的にも確かめられている。

SF₆ガス内の消弧 : SF₆アーカーのような多原子分子では、分子の解離反応が多数存在するので、熱伝導率が非常に複雑な温度の関数となることが知られているが、その結果、アーカーの部分が非常に細く収縮することが、理論的にも実験的にも実証されている。⁽⁴⁸⁾ すなわちこのアーカー空間では式(9.6)の a がきわめて小さくなる。

しかもSF₆ガスあるいはその分解生成物は、大きな電子親和力を有しているので、これらの気体で構成されたアーカー空間が導電性を急速に失なう数千度程度の温度では E_t が実効的に非常に大きくなる。これらのことを考えに入れて式(9.6)に代入して電子密度の時間的変化の割合を求めるとき、1 A 以下の小電流領域では、その時定数が $1 \mu\text{s}$ 以下の小さい値になることが推定され、実験的にも実証されている。⁽⁴⁸⁾

10. プラズマ内の波動^{(49)~(52)}

10.1 波動の問題の重要性

プラズマ内の波動に関する問題の例としてはたとえばケイ光灯の雜音の問題がある。放電という再現性のない現象の中で起きる文字どおり雜多な雜音は、実験的にも理論的にもまことに取り扱いにくいしろものである。

しかし通信障害というような実利上の問題を別としても、プラズマ内波動の問題はプラズマ物性の本質に関係しているという意味で非常に重要な意義を持っている。

われわれは先に6.3節では、完全電離プラズマの緩和現象をせいぜいデバイ長の程度にしか及ばぬ近距離的なクーロン力による大角度散乱に基づくものであるとして取り扱った。しかし4.3節で論じたようにクーロン力にはもう一つ別に非常に長距離的な性格のものがある。実際に衝突がほとんど起こらないような圧力の低い放電管でも電子は容易に Maxwell 分布の状態となること、プラズマに負電極をそう入することによって生ずる電子速度分布のヒズミはその電極から 1 cm 程度離れた所でもほとんど見られなくなること (Langmuir のパラドックス) などは、プラズマ内に発生する波動を考慮しなければとうてい説明できない。Bohm-Pines はプラズマ内粒子の運動を近接粒子相互間の個別的な衝突過程と、遠距離的なクーロン力によって生ずる集団運動 [いわゆるプラズマ振動] とに分けて取り扱う理論をはじめて展開した。このような多体問題をはらんでいるところにプラズマの最も本質的な特徴があり、したがってプラズマの波動はプラズマの最も重要な物性の一つである。

また、プラズマ内の波動の伝播現象は、電波天文学、通信工学にとっても重要な問題であるばかりでなく、プラズマ電子密度計測 [マイクロ波診断] の技術とも深い関連がある。ただし、この章では代表的な波動の例について基本的な説明をするにとどめ、応用上の問題にはとくに立ち入らぬこととする。

技術講座

10.2 電磁波 [横波] の伝搬

誘電率, 透磁率, 比抵抗がそれぞれ ϵ , μ , η [いずれも定数] である均一媒質中の電界 E について、電磁界に関する Maxwell 方程式からただちに次の式

$$\nabla_r^2 E - \mu \epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} - \frac{\mu}{\eta} \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad \dots \dots \dots (10.1)$$

を導くことができる。これは波動を表わす。波動の伝搬方向を x 方向、波動の伝搬定数を $k [=2\pi/\lambda, \lambda \text{ は波長}]$ とすると、この解は前進波と後進波の和の形

$$E = E_{g1} \exp[i(kx + \omega t)] + E_{g2} \exp[i(-kx + \omega t)] \quad \dots \dots \dots (10.2)$$

で表わされ、 k は分散式 [dispersion equation]

$$k^2 = \epsilon \mu \left(\omega^2 - \frac{i\omega}{\eta} \right) \quad \dots \dots \dots (10.3)$$

で与えられる。周波数 ω における プラズマ の電気伝導度 ($1/\eta$) は式 (6.26) (6.21) から

$$1/\eta = n_e e^2 / \{m(\nu_m + i\omega)\} \quad \dots \dots \dots (10.4)$$

で与えられるから、これと プラズマ 周波数 [$\omega_p/(2\pi)$] の表式 (6.4) を用いると、式 (10.3) は

$$k^2 = (1/C^2) \left[\omega^2 - \frac{\omega_p^2}{1 + (\nu_m/\omega)^2} - \frac{i\omega_p^2}{1 + (\nu_m/\omega)^2} \frac{\nu_m}{\omega} \right] \quad \dots \dots \dots (10.5)$$

ただし C : 真空中の光速度
となる。

衝突がほとんど起こらぬ [$(\nu_m/\omega) \approx 0$] プラズマ では、

$$k^2 \approx (1/C^2) [\omega^2 - \omega_p^2] \quad \dots \dots \dots (10.6)$$

がなりたつから、もし電磁波の周波数 ω が プラズマ 周波数 ω_p より高ければ k は実数、したがって式 (10.2) からわかるように電磁波は減衰することなしに プラズマ 中を進みうる。逆に $\omega < \omega_p$ では k は虚数、したがって式 (10.2) の波は減衰波となり電磁波は プラズマ 中を伝搬できない [6.1 節]。前者の場合、電磁波の位相速度 $C_p = \omega/k$ は真空中の光速 C より大きくなり、したがって プラズマ は比誘電率 ϵ/ϵ_0 が $\sqrt{1 - (\omega_p/\omega)^2}$ に等しいような誘電体であると考えてよい。後者の場合、プラズマ は電磁波に対してあたかも金属のようにふるまう。

衝突が無視できぬ [$(\nu_m/\omega) > 0$] 場合には、式 (10.5) からわかるように $\omega > \omega_p$ のときでも電磁波のある程度の減衰が起こる。

以上のような諸性質は、プラズマ にマイクロ 波を通して電子密度 n_e 、衝突周波数 ν_m を測定することに利用されている。ただし、以上は磁界のない プラズマ の場合の特性であって、磁界を印加された プラズマ の場合の特性はかなり異なってくるが、ここではその説明は省略する。

10.3 磁気流体波 [Hydromagnetic Wave]

Alfvén によって最初に解析された関係上 Alfvén 波と呼ばれることがある。前節の電磁波では イオン はほとんど波動の伝搬には関与してはいなかったが、磁気流体波は慣性の大きい イオン が波動の伝搬に寄与するような比較的の低周波の横波であって伝搬速度も小さい。

今この最も簡単な例として図 10.1 の場合を考えよう。プラズマ 中の x 方向に静磁界 B_0 が印加されている。なんらかの原因で プラズマ の素片が図のように速度 V で y 軸に平行な動搖を始めたとすると、導電性素片が磁場 B_0 を横切るために電界 E_z したがって電流 j_z が発生し、この電流により磁場の変動分 B_i が y 軸に平行な向きに誘起される。したがって最初真直であった磁力

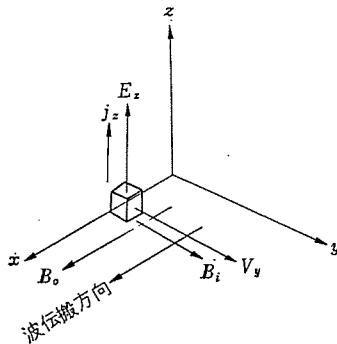


図 10.1 磁気流体波における各物理量の相互関係

線はうねりはじめ、次のような方程式に従ってこのうねりが x 方向に伝搬してゆく。まず完全電離 プラズマ の力のつりあいの式 (5.25) において、右辺の第 1, 3, 4 項を無視して電磁力だけが慣性力とつりあうとすると方程式

$$\rho(\partial V_y / \partial t) = j_z B_0 = (E_z / \eta) B_0 \quad \dots \dots \dots (10.7)$$

また式 (5.27) において、電界 E と運動起電力 $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$ とを除く他の項を省略すると方程式

$$E_z - V_y B_0 = 0 \quad \dots \dots \dots (10.8)$$

を得る。この両式と波動方程式 (10.1) とから

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} = \left(1 + \frac{\rho}{B_0^2 \epsilon_0} \right) \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} \quad \dots \dots \dots (10.9)$$

を得る。これから波の伝搬定数 k 、位相速度 C_p は

$$k^2 = \frac{\omega^2}{C^2} \left(1 + \frac{\rho}{B_0^2 \epsilon_0} \right) \quad \dots \dots \dots (10.10)$$

$$C_p = C / \sqrt{\left(1 + \frac{\rho}{B_0^2 \epsilon_0} \right)} \quad \dots \dots \dots (10.11)$$

となる。式 (10.10) (10.11) に プラズマ の質量密度 ρ や 磁界 B_0 が入っている点が磁気流体波の特色を示している。粒子密度が $10^{21}/m^3$ 、 B_0 が 1 Wb/m^2 の重水素 プラズマ の場合 C_p は $5 \times 10^5 m/s$ 程度の大きさである。

10.4 電気的音波 [Electroacoustic Wave]

前 2 者と異なり、これは プラズマ 中の電子と イオン との密度の微弱な不つりあいとそれによる空間電荷電界の変動が伝搬してゆく継波である。磁界がなく、プラズマ 導電率は無限大、音波の周波数は非常に高くて電子だけがその伝搬に関与できるとすると、式 (5.27) から

$$\frac{m_e}{n_e q_e^2} \frac{\partial j}{\partial t} = E - \frac{1}{n_e q_e} \nabla_r p_e \quad \dots \dots \dots (10.12)$$

が得られる。この音波は電子の密度変化の伝搬にほかならないから、この密度変化を断熱膨張ないし圧縮と考えて熱力学の式

$$\nabla_r p_e = \gamma_e k T_e \nabla_r n_e \quad \dots \dots \dots (10.13)$$

γ_e は電子群の定圧比熱と定容比熱の比である。イオン 密度は変化しないとしているから $\nabla_r n_i = 0$ 、したがって式 (10.13) は

$$\nabla_r p_e = (\gamma_e k T_e / q_e) \nabla_r \rho \quad \dots \dots \dots (10.14)$$

となる。式 (10.12) の発散を作り、Maxwell 方程式と式 (10.14) とを代入すると、プラズマ 質量密度伝搬に関する波動方程式

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\omega_p^2 p + \frac{3kT_e}{m_e} \nabla_r^2 p \quad \dots \dots \dots (10.15)$$

を得、したがって伝搬定数 k 、位相速度 C_p 、群速度 C_g は

$$k^2 = m_e (\omega^2 - \omega_p^2) / (3kT_e) \quad \dots \dots \dots (10.16)$$

$$C_p = \sqrt{(3kT_e) / \{m_e [1 - (\omega_p/\omega)^2]\}} \quad \dots \dots \dots (10.17)$$

$$C_g = \partial \omega / \partial k = 3kT_e / (m_e C_p) \quad \dots \dots \dots (10.18)$$

となる。 $\omega < \omega_p$ のとき、 k は虚数となり波動は伝搬できない。

[6.1 節]

技 術 講 座

10.5 その他の問題

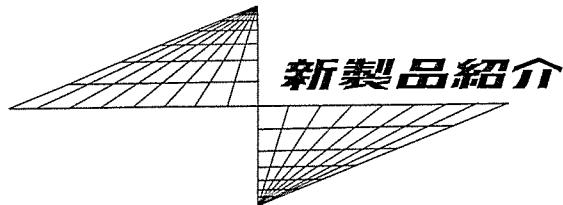
以上述べた波動はごく単純な典型例にしかすぎない。プラズマ中では熱 ジョウ 乱による粒子密度の ュラギ がたえず励起され、これが前節で述べたような機構で プラズマ 内を伝搬してゆく。しかしながら前節の理論ではこの波動の角周波数 ω は定まらない。これを定めるには波動の減衰の機構を考慮する必要がある。たとえば Landau Damping と呼ばれる機構を考慮すると ω は ω_p よりやや大きい程度の周波数範囲に納まることが結論される。ただしこの種の縦波は プラズマ 外には出ない。しかし プラズマ の非線形性、不均一性その他の原因により、縦波の横波との結合 [量子論的には プラズモン と光子の相互作用] ないし相互転換が起これば、上記の限りではない。

このほか磁場のある場合の横波の伝搬 プラズマ 中に高速の荷電粒子を入射したときなどに生ずる Cerenkov 波、非平衡分布 プラズマ における波動の励起、その他前述の Lehnert の実験で見られたようなきわめて周波数の低い振動等々は非常に複雑な問題であって、これらについては数多くの理論や実験の結果がある。

参 考 文 献

(1)～(38) 前号、前々号の引用の参考文献参照

- (39) 本講座（その 2）：「三菱電機技報」38, No. 3 (昭 39)
- (40) 水野：物学誌 17, 649 (昭 37)
- (41) 河合、近藤ら：「三菱電機技報」37, 826 (昭 38)
- (42) 佐藤：物学誌 18, 495 (昭 38)
- (43) B. R. Suydam : 2nd U. N. Int. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, p 1357.
- (44) V. A. Balebanov et. al. : J. Nucl. Energy, C 5 205 (1963)
- (45) M. S. Ioffe et. al. : Atomnaya Energia 14 443 (1963)
- (46) 伊藤：「三菱電機」34, 1319 (昭 35)
- (47) G. Frind : Z. Angew. phys. 12, 231 (1960)
- (48) K. H. Yoon et. al. : A. I. E. E. Tr. (Pt. III) 78, 1634 (1959)
- (49) T. H. Stix : The Theory of Plasma Waves [Mc. Graw-Hill, 1962]
- (50) M. Mitchner : Radiation and Waves in Plasma [Stanford Univ. Press 1961]
- (51) 角：物学誌 16, 574 (昭 36)
- (52) 小島：物学誌 16, 408 (昭 36)



CR形チーリング・ユニット

1. まえがき

現在の空気調和用 チーリング・ユニットは、圧縮機にターボ冷凍機を使う形式のものと往復動式冷凍機を使う形式の2形式が大部分であり、わが社はこれら2形式の両方とも生産している。前者はCT形で容量として比較的大きい方の60~200R.T.をカバーし、後者はCR形で15~80R.T.の小容量の範囲をカバーする。容量的に60~80R.T.付近では両者が重なっているので、需要家のいずれの要求にも答えうる。いずれを選ぶかは施設費、運転費、運転保守の難易その他できめられるが、価格的には100R.T.以上の大容量ではターボ形が安く、容量が小さくなると往復動形が安くなるといわれている。往復動形のCR形の大きな特長は、この安価である点である。従来のCR形は開放形圧縮機MC形(シリンダ径75mm,ストローク60mm,冷媒R-12)を使用していたが、こんど圧縮機を半密閉形のMX形に変更するとともにその他多少変更してあるので以下その概要を述べる。なおチーリング・ユニットの概略的特長として

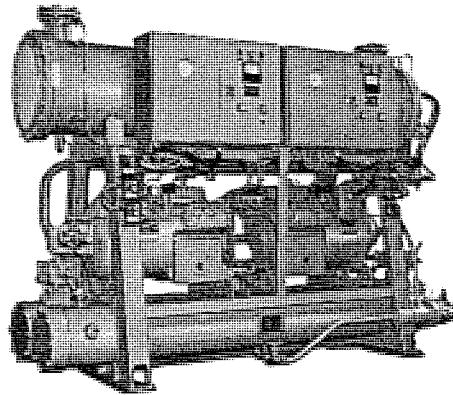


図1.1 CR-60X形チーリング・ユニット

- (1) 安価である。
 - (2) 品質が安定している。
 - (3) 据付、配管が簡単にできる。
 - (4) 運転、保守が容易である。
 - (5) ヒート・ホーピーとして使用できる。
- などがあげられる。

2. 仕様および構造

2.1 仕様

CR形チーリング・ユニットは半密閉形圧縮機MX形(冷媒R-22)を1台使ったCR-20X、CR-30X、CR-40Xと2台使ったCR-60X、CR-80Xの5種がある。

表2.1は冷房の場合の標準仕様である。CR形は冷房用のみならず暖房用としても使用できる。

2.2 構造

CR形チーリング・ユニットは圧縮機、凝縮器、水冷却器その他を一體にユニットにまとめてあり、現地にそのまま据え付けて水配管、

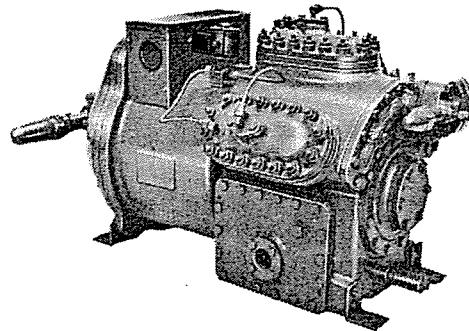


図2.1 MX形冷媒圧縮機

表2.1 CR形チーリング・ユニット仕様

形名		CR-20X	CR-30X	CR-40X	CR-60X	CR-80X
*-冷却能力kcal/h	50 c/s	41,500	62,500	83,500	121,000	143,000
	60 c/s	47,500	73,000	96,500	141,000	190,000
圧縮機形名		MX-4	MX-6	MX-8	(MX-6)×2台	(MX-8)×2台
使用冷媒		R-22	R-22	R-22	R-22	R-22
電動機出力kW		15	22	30	22×2	30×2
電動機極数		4P	4P	4P	4P	4P
凝縮機形名		KC-13X-17	KC-19-22	KC-25B-22	(KC-19-22)×2台	(KC-25B×22)×2台
--*冷却水量m ³ /h 50/60c/s		10.2/11.6	15.3/17.8	20.4/23.6	29.6/34.4	39.8/46.4
水頭損失m 50/60c/s		3.1/3.9	5.1/6.5	5.3/6.8	4.9/6.1	5.1/6.5
--*配管接続		2B(2 ¹ / ₂ B, 2B×2)	2 ¹ / ₂ B(3B, 2 ¹ / ₂ B×2)	2 ¹ / ₂ B(3B, 2 ¹ / ₂ B×2)	2 ¹ / ₂ B	3B
水冷却器形名		LAF-24-22	LAF-36-22	LAF-47-22	LAF-60-22	LAF-84-22
冷水量m ³ /h 50/60c/s		10.4/11.9	15.6/18.3	20.9/24.1	30.3/35.3	40.8/47.5
水頭損失m 50/60c/s		1.5/2.0	1.5/2.0	1.5/2.0	1.5/2.0	1.5/2.0
配管接続		21/2B	3B	3B	4B	5B
容量制御範囲(%)		100, 50	100, 66	100, 50	100, 83, 66	100, 75, 50

電源は200V 50c/s, 220V 60c/s, 200V 60c/s

*- 能力は冷却水入口温32°C, 冷水出口温5°Cで冷却水、冷水量が上記の場合を示す。

--* 冷却水通路はバスの場合

--* () 内は2バスの場合

電気配線のみを施行すればよい。

2.2.1 圧縮機

半密閉形圧縮機 MX 形を使用している。冷媒 R-22 専用機でシリンダ径 60 mm, ストローク 60 mm である。気筒数は 4, 6, 8 の 3 種で V, W, ダブル V の配置をとっている。吸入弁、吐出弁はフェザーバルブである。潤滑はスクリーパー方式をとっている。半密閉形にしたこと、弁をフェザーバルブにすることで MC 形に比べ音は低く静かになった。図 2.1 は MX-6 形圧縮機を示す。

2.2.2 液体冷却器

横置多管式でローフィン管を使用している。安全装置としての溶栓およびオーバーチャージ防止のためのノブキ窓をつけてある。水側通路数の変更は水栓はそのまま配管側で施行すればよい。

2.2.3 水冷却器

横置乾式すなわち管内側を冷媒が通り外側を水が流れる形式のもので、冷却管は内側にフィンをもつインナー・フィン管を使用している。従来の乾式水冷却器は冷却管に銅管を使用しているため、

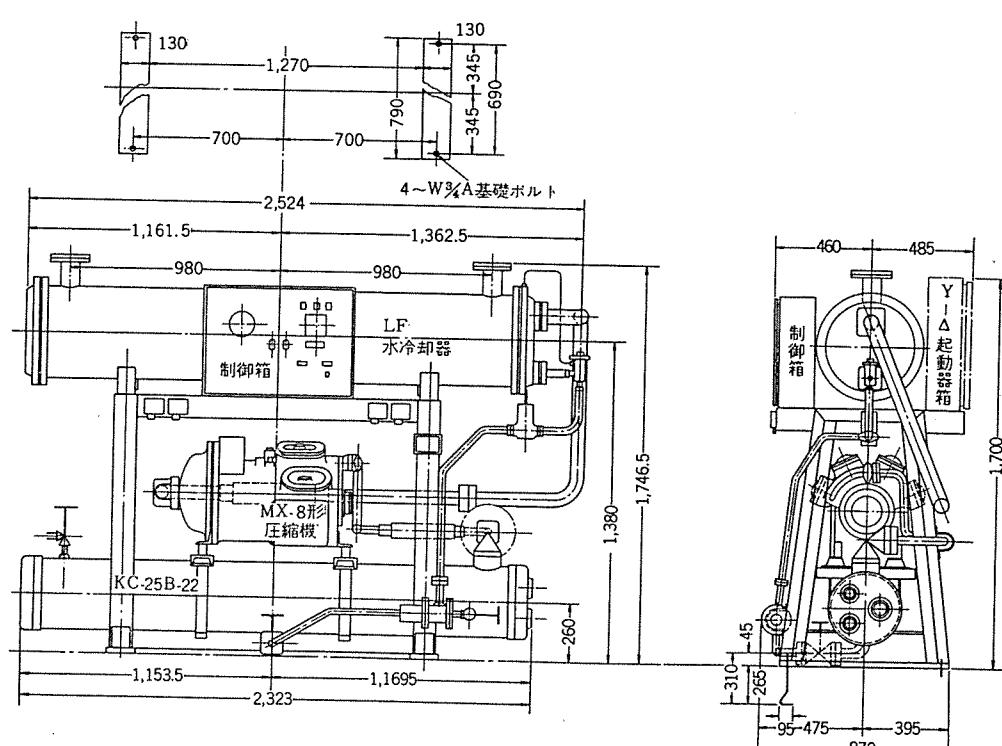


図 2.2 CR-40X 形 チリング・ユニット

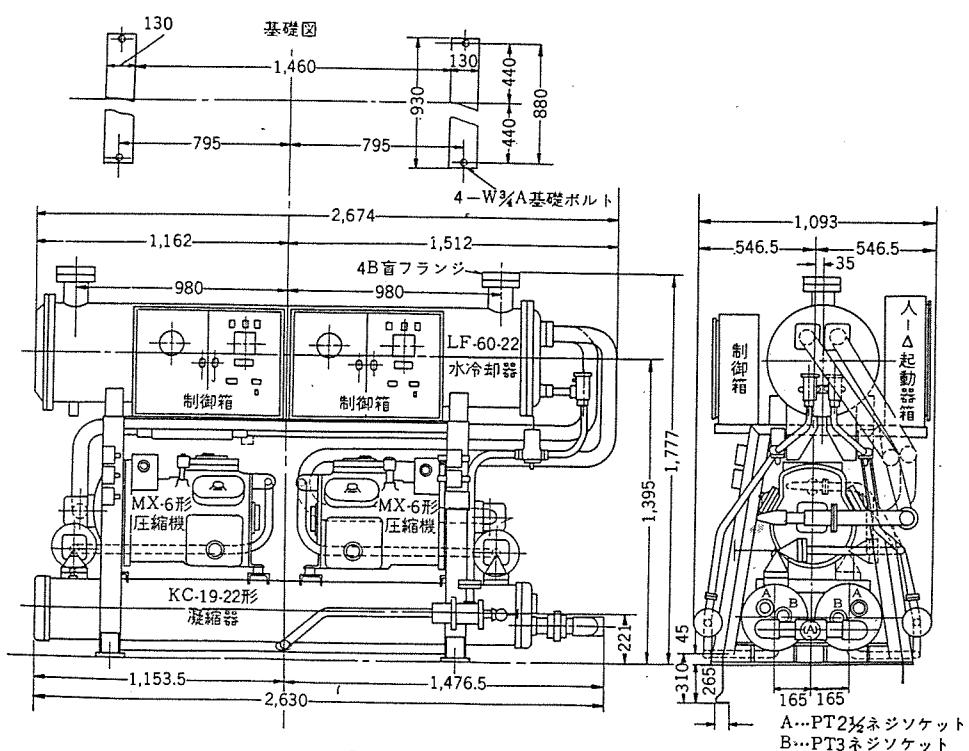


図 2.3 CR-60X 形 チリング・ユニット

ローフィン 管を採用し得る満液式水冷却器（管外側が冷媒、内側を水が流れる形式）に比べ寸法的に大きくなる欠点をもっていたが、インナ・フィン 管を採用することで遜色なくなった。

冷媒側回路は、圧縮機が1台のみの CR-20X から 40X までは1回路であるが、2台使っている CR-60X, 80X は圧縮機別に完全に2系統にするよう2回路に仕切られてある。したがって圧縮機1台のみの単独運転ができる。

乾式水冷却器であるため、満液式に比べ、冷媒充テル量がすくなくてすみ、水凍結による冷却管破損が皆無で、油のもどりもよい。

2.2.3 安全装置

安全装置は標準として下記を具備している。

(1) 高低圧圧力開閉器

高圧 シャ断圧力 19 kg/cm²

低圧 シャ断圧力 4.8 kg/cm²

(2) 凝縮器溶栓

溶解温度 75°C

(3) 凍結防止用温度開閉器

作動温度 2±0.5°C

(4) 電動機オーバードリレー

冷却水および冷水の無水シャ断器は標準としては付属していない。

い。

2.2.4 付属機器および制御装置

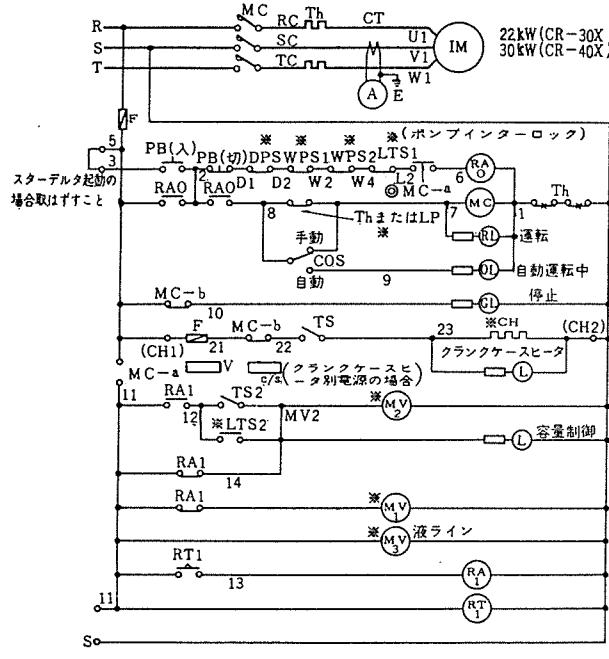
上記のほか冷媒ラインにはストレーナ兼ドライタ、液ライン用電磁弁、外部均圧形膨張弁、可トウ管がつけてある。圧縮機は標準として防振装置を施し、容量制御用電磁弁、クランクケースヒータを取り付けてある。クランクケースヒータは運転停止中冷媒の油中への混入を抑えるためのもので、圧縮機停止と同時に自動的にヒータに通電され、起動と同時にかかる。

制御箱を標準として付属する。圧縮機1台の場合は1個、2台の場合はそれぞれ1個が付く。箱内には圧縮機用N形電磁接触器、電動機オーバードリレー、補助リレー、限時リレー、クランクケースヒータ用タンブ拉斯イッチなどが付いている。盤面には電流計、信号灯、表示灯、押しボタンスイッチ、容量制御用および運転切替用タンブ拉斯イッチが付く。起動方式は直入起動が標準であるが、スターデルタ起動も可能であり、その場合は自動スターデルタ起動器箱を付属する。

図2.4および図2.5に電気配線の展開接続図を示す。

3. むすび

以上CR形チーリングユニットの概要を紹介した。この種ユニットの需要は増加すると思うが、今後ともいっそうの改良、研究により安価で良い品を出したいと思う。

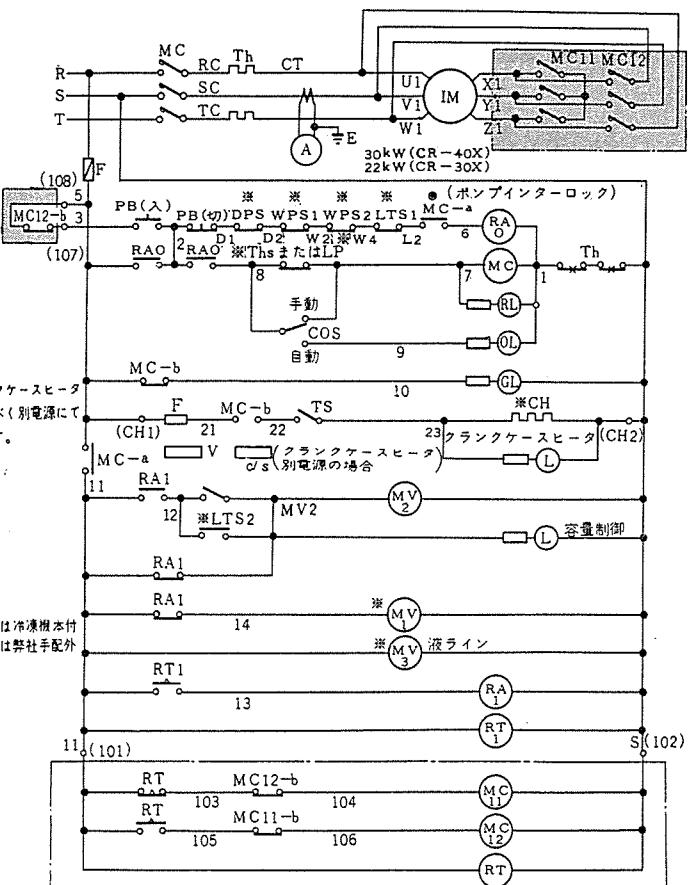


注 *印は冷凍機本体取付

◎印は当社手配外

- No. 4 制御方式として使用される場合は COS 手動位置にて運転願います。
- クランクケースヒータはなるべく別電源にて願います。

- No. 4 制御方式として使用される場合は COS 手動位置にて運転願います。
- クランクケースヒータはなるべく別電源にて願います。



No. 4 制御方式として使用される場合は COS 手動位置にて運転願います。

図 2.5 CR-40X チーリングユニット用展開接続図(スターデルタ起動の場合)

一般家庭はもちろん、営業用としても十分使用できる 三菱電気魚焼器 TF-10 形新発売

当社は、一般家庭用としてはもちろん、営業用としても十分使用できる、大形の焼皿を備えた引出式魚焼器を新発売いたします。

■特長

(1) 大形の焼皿

焼皿が大形になっているので、サンマならば3匹丸ごと切らずに焼けるので、一般家庭はもちろん営業用としても十分役立つ。また800Wで、魚に十分な熱量を与えるので、ムラなくおいしく焼ける。

焼皿は白色ホーロー仕上になっているので、よごれても簡単に洗い落しができる。

(2) 取り扱いが簡単な引出式

引出式なので魚の出し入れなど取り扱いが簡単、また魚を引出しに入れたまま食卓まで運べる。

(3) 理想的な上火式

理想的な上火式なので、脂の多い魚でも煙をたてず、上手に焼くことができる。

(4) 魚焼きの他に下火を利用して、いため物、焼物などのプレート料理ができる。

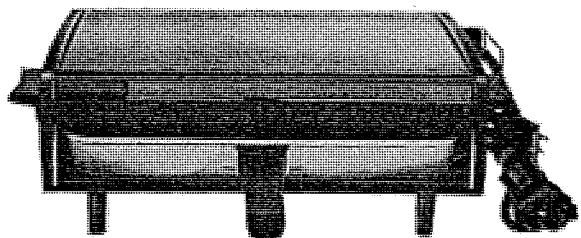
(5) 焼面の高さの調節で火加減も自在

焼網の操作によって、焼面の高さが3段に切り換えられるので焼物の大小により強火・中火・弱火と適当な火加減に調節、好みの焼け具合が得られる。

(6) そのほか、中間スイッチ付き、つタ開閉、取りはずし自在のヒンジ付き、発熱体はウチワネジ1本の操作で掃除が簡単にできる。フタツミミが左端についているので、開閉の際蒸気や熱気が手にあたらないなど、使う身になって設計・製作がされている。

■仕様

消費電力	800W
製品寸法	152(高さ)×434(幅)×267(奥行)mm
焼板寸法	15(深さ)×308(幅)×162(奥行)mm
焼皿寸法	40(深さ)×321(幅)×179(奥行)mm
コード	袋打 1.25mm ² 有効長 2m
スイッチ	コードスイッチ
付属品	焼網・引出用ハンドル
型式認可番号	▽81-284



TF-10形三菱電気魚焼器
現金正価 ¥4,300

均一な焼きあがり(H・C式自動装置) + 簡単な操作(前面操作式) 三菱自動トースター AT-4 形新発売

当社では、このたびわが国初の前面操作式の採用をはじめ、連続的に焼いても常にそろった焼け具合が得られる、当社独自のH・C(ヒートクリーニング)式自動装置、完全な状態でパン焼きができるマグネット装置など、多くの特長を備えたAT-4形三菱自動トースターを新発売いたします。

■特長

(1) 独特のH・C(ヒートクリーニング)式自動装置によって、何回連続焼きをしても、いつもお好みどおりのトーストが得られます。これは自動装置の生命であるバイメタルの動作を、パン焼前半(予備焼)と後半(仕上焼)の2段階にわけてあるので、常に同じ条件でバイメタルの動作が行なわれるからです。

(2) マグネット装置の採用で、電流の切断、焼き上ったパンの自動飛び上り動作がいっそう確実となり完全な状態でパン焼きができます。

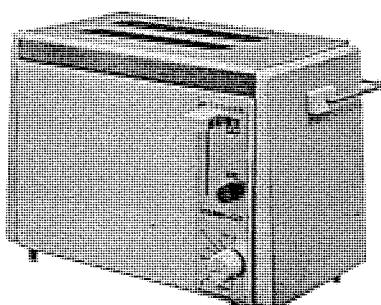
(3) スイッチや調節ツマミをすべて前面に付けたので操作はきわめて簡単です。

(4) 烤き上りの調節は、調節ツマミを合わせるだけでOK、簡単にお好みに合わせることができます。

(5) 底づタが大きく開くので、パンくずれなどの掃除が簡単にできます。

■仕様

電圧費消電力	100V 600W
操作方式	前面操作式、二連自動 ポップアップ式
自動装置	バイメタル 加熱冷却式、マグネット装置
色調	若草色、赤色
型式認可番号	▽ 81-114



AT-4形三菱自動トースター
現金正価 ¥2,450

おわび……38巻3号、新製品紹介欄中 6X-515形三菱トランジスタラジオの現金正価を¥3,980に訂正いたします。

■ 関西電力姫路第二発電所納め 396MVA 内部冷却タービン発電機完成

かねてより、鋭意製作中であった、関西電力姫路第二発電所納め 396 MVA 内部冷却タービン発電機がこのほど長崎製作所において完成した。

本機は新三菱重工業製作の 325 MW タービンと直結されるが、容量の点で記録品であるのみならず、いく多の特長を持っている。

特長

- (1) 回転子径が一段上で軸材としては降伏強さ 67 kg/mm^2 の最高級を使用していること。
 - (2) 輸送などを考慮し固定子分割構造を採用し、最大重量部を 255 t に収めたこと。
 - (3) 電圧は 24 kV の現在での最高電圧であり、コロナ防止のため固定子コイルエンドにコロフォイル方式（アルミはくを主絶縁中に段階的に巻き込む）を採用した。
- などである。

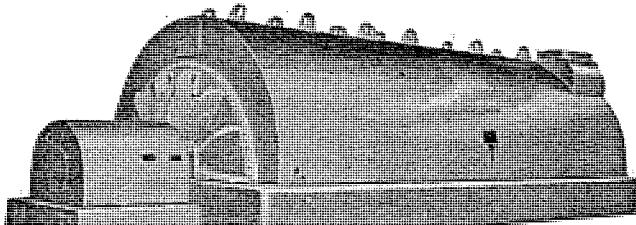
定格

皮相出力	396 MVA
実効出力	336.6 MW
力率	85 %
ガス圧	4 kg/cm ²
電圧	24 kV
回転数	3,600 rpm
短絡比	0.582
励磁電圧	500 V
励磁機	1,500 kW 別置

である。

工場試験においては固定子各部に多数のサーモカップルを埋込み、温度分布や最高温度を調査したが、異常な個所は見当らなかった。

本機完成の意義の第一は、もちろん記録的容量機が満足に完成されたことだが、この試験結果が今後の 400 MW, 500 MW に十分活用され、さらに容量の大きいものに対する貴重な資料を与えたことも見逃せない。



関西電力姫路第二発電所納め 396 MVA 内部冷却タービン発電機

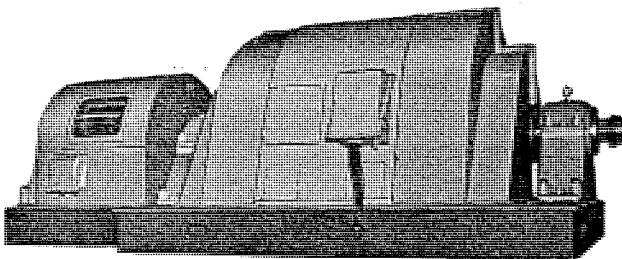
■ 三菱化成納め 6,600 kW 三相誘導電動機完成

三菱化成水島工場納めとして、コンプレッサ用 6,600 kW, 4,000 kW, 1,500 kW, (いずれも 4 極) の三相誘導電動機を製作中であったが、このうち 6,600 kW は 39 年 2 月より立合試験を終了し納入された。

この電動機は三菱造船製作のクラークドガスコンプレッサに遊星增速歯車を介して直結されるもので、電動機の両側にコンプレッサが取り付けられる。電動機の形式は、巻線形全閉内冷形で、空気冷却器は電動機ビット内に埋め込まれており、スリップリング部は内圧防爆構造で、電動、手動式スリップリング短絡刷子引揚装置付である。また 4 極の誘導電動機としてはわが国での記録品であり、その要目は次のとおりである。

出力	6,600 kW
電圧	1,1000 V
周波数	60 c/s
極数	4 P
回転数	1,780 rpm
台数	1 台
軸受給油方式	強制給油方式
空気冷却器所要水量	80 T/H

なお 4,000 kW, 1,500 kW も 3 月中旬納入される予定である。



全閉内冷形巻線形三相誘導電動機
6,600 kW 4 P 11,000 V 60 c/s 1,780 rpm
強制給油方式、空気冷却器付

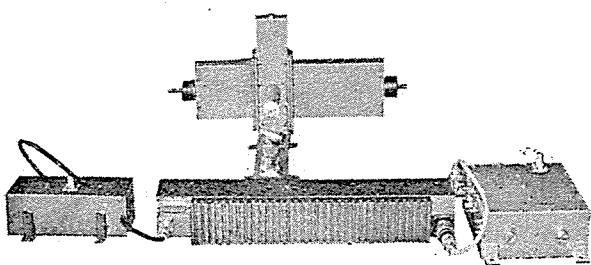
■ 全固体化マイクロ波周波数源

—固体化多重通信機を生産開始—

高出力 VHF トランジスタ、および可変容量ダイオードによる周波数倍増器を、従来のクリストロン、板極管に代わるマイクロ波周波数源として着目し、その開発を進めていたが、この技術を応用した多重無線機の生産を開始した。おもな標準定格は、400 MC 带で 5 W, 1,800 MC 带で 2.5 W, (いずれも直流消費電力 20 W); 7000 MC 带で 20 mW, 2,800 MC 带で 20 mW, (直流消費電力 6W, 高次倍増列) である。いずれも原振は周波数安定度 2×10^{-5} の水晶発振器であるから安定で、かつ小形、高効率長寿命などの特長を有する。

これら周波数倍増器を応用した多重無線機は、すでに受信部、ビデオ部などで完成している固体化とあいまって、消費電力および発熱量の低減、小形、安定化に大きい役割をはたし、さらに制御素子の半導体化により、瞬断時間の大幅な改善ができ、高速データ伝送回線に好適である。

なお、これら周波数倍増器列において、マイクロ波帯の一部素子を除き、VHF 帯高出力シリコントランジスタ、および UHF 帯シリコン可変容量ダイオードはすべて当社製を使用している。



(上) 7,000 Mc 帯 高次倍部
(下) 発振変調部→400 Mc 帯(5 W)部→1,800 Mc 帯(2.5 W)部

■ 生産用コンベヤのデジタル制御

いすゞ自動車納め

デジタルタイマ(MELDAS-4769)好調稼動中

著しい進歩を遂げたプログラム制御技術を各種の生産施設や大規模な試験設備に適用して時間と労力を大幅に削減して生産性を合理化しようとする試みが各方面で活発に要望されている。

本装置は本年1月にいすゞ自動車藤沢工場に納めた自動車生産用コンベヤの制御装置であり、最近の電子デジタル技術によって設計されたこの種の製品の最先端をゆくものである。

親時計のクロック信号を受け、あらかじめプログラムされた時間にコンベヤの起動および停止の指令信号を出し、生産用コンベヤの時間規定の精度を向上し、生産合理化の一翼をなっている。

そのおもな特長は下記のとおりである。

(1) 親時計に完全に連動し、実際の時間で制御できる。すなわち昼夜などにコンベヤを自動的に停止させることができる。

(2) 親時計に連動して時刻を表示する。

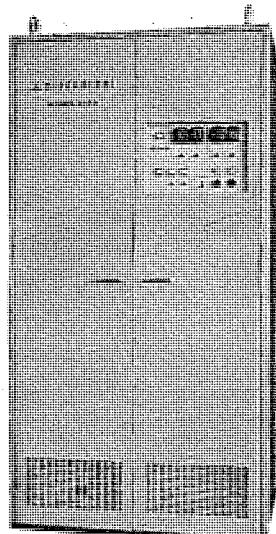
(3) 論理要素として高信頼度のトランジスタNORを用いている。

(4) 日曜日などの休日を考慮して24時と48時間サイクルを切り換えて使用することができる。

(5) 停電に備えて無停電々源(バッテリ電源)を使用している。

要目

クロック信号 親時計より30秒間隔のパルス信号



デジタルタイマ(MELDAS-4769)

時間設定方式	ダイヤル 各ケタ毎に設定
設定時間範囲	0分~23時59分(単位1分)
設定要素数	50要素
出力要素数	50要素
出力信号	出力の各要素は下記の4個の信号よりなる 起動合図用、起動信号用、停止合図用、停止信号用

■ 中米エル・サルバドルから

30,000 kW 火力発電プラント一式受注

三菱商事を窓口とする三菱電機、新三菱重工、三菱造船の三菱系4社は、このほど中米のエル・サルバドルのCELから、出力30,000 kW の火力発電プラント一式を受注した。

本プラントは、エル・サルバドル政府が世界銀行からの借款によってアカツト市に建設するもので、昨年10月末国際入札の結果、西ドイツのマン・ジーメンスグループ、スイスのBBC社、イタリアのフランコ・トッシ社など、これまで中南米地区に実績を持つ西欧有力メーカーをしきぞけ、三菱系4社が受注に成功したものである。

当社の製作する機器

発電機	30,000 kW	1基
変圧器	33,000 kVA	
その他発電所用電気機器一式		

■ 中華民国台湾電力谷関発電所向け

増設機器一式受注

当社ではかねて引合いを受けていた、中華民国の台湾電力公司から、谷関発電所の大規模な増設プラント機器一式の受注を内定した。

今回の受注は、さる昭和34年末から35年初めにかけて当社が同発電所に納めた57,500 kVA タテ軸水車発電機2台、57,500 kVA 主要変圧器2台などとともに、同発電所の発電能力を一举に倍加しようとする計画に応じたものである。また天輪(Tien-Leng)、竜澗(Lung-Chien)、第一次谷関(Ku-Kuan)、石門(Shimen)の各発電所に次いで、当社の台湾向け水力発電プラント輸出は、戦後5番目のものである。

プラント機器のおもな仕様は次のとおりである。

タテ軸水車発電機(フランス水車直結) 2台

容量 57,500 kVA

電圧 13,800 V

周波数 60 c/s

回転数 300回/min

力率 90%

主要変圧器 2台

容量 57,500 kVA

電圧 13,200/161,000 V 2台

シヤ断器

断路器 161 kV, 1,600 A 4台

なおタテ軸フランス水車は、新三菱重工で担当する。また水車発電機は明年春に出荷される予定である。

交流電気車の制御装置

考案者 小原太郎

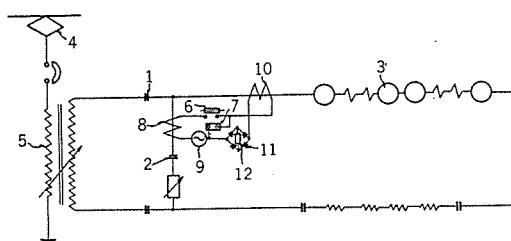
整流子電動機を駆動電動機とする交流電気車において、主回路には力行時に交流が流れ制動時には直流が流れることは周知のことである。この考案は、単一の変流器で前記力行時および制動時の主回路電流を検出し、簡単な装置で限流制御を行なわせるようにしたものである。

電気車の力行時には、断流器(1)が閉じ断流器(2)は開かれる。したがって、電動機(3)には集電装置(4)および主変圧器(5)を介して交流が供給され駆動される。この状態では、転換接点(6)(7)は図示位置にありコイル(8)および交流制御電源(9)は切離されている。一方、コイル(10)は主回路に流れる交流により付勢されて交流変流器の二次コイルとして作用しその出力電流は整流器(11)を介して、繼電要素(12)に供給され、この繼電要素(12)の作動に応じて限流制御が行なわれる。

制動時には、制動転換器(図示していない)が動作し断流器(1)が開き断流器(2)が閉じると、整流子電動機(3)は直流電圧を発生し制動抵抗(13)を含む制動回路に直流電流

を供給する。前記制動転換器の作動に応じて転換接点(7)は開き接点(6)は閉じる。したがって、コイル(8)と(10)とはたがいに反対極性すなわち差動的に直列接続され、さらにこのコイル(8)(10)と繼電要素(12)との間に交流制御電源(9)が直列にそう入されて直流変流器が構成される。そしてコイル(8)(10)と鎖交する直流制動電流の値に応じてそのインダクタンス値が変化し、繼電要素(12)への入力電流が変化して、これにより制動時の限流制御が行なわれる。

(実用新案登録第702461号)(竹中記)



誘導電動機

発明者 増田元昭

この発明は単相誘導電動機の固定子鉄心に次のような三相巻線を施し三相回転磁界を二相回転磁界に置き換えるようにした誘導電動機に関するものである。

図1に示すようにこの発明の三相巻線a b cは、そのうちb c巻線が二相電動機用固定子鉄心(1)における一相のミジ(B) (D)内に同時に納められ、かつこれを図2に示すようにたがいに逆方向に作用するよう接続する、またa巻線は上記固定子鉄心(1)における他の一相のミジ(A) (C)内に納められている。したがってこれにそれぞれ平衡三相電圧を加えれば図3に示すようにbおよびc巻線による磁束 ϕ_b ϕ_c が合成された磁束 ϕ_k となっての巻線の磁束 ϕ_a との間に位相差を生じ二相回転磁界を作るのである。なお、この時b c巻線が同一であれば合成磁束 ϕ_k は図3に示すごとく ϕ_a に対し90°の位相差を

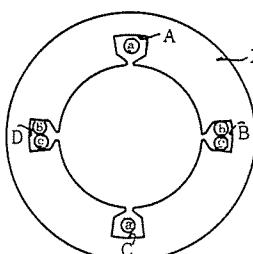


図1

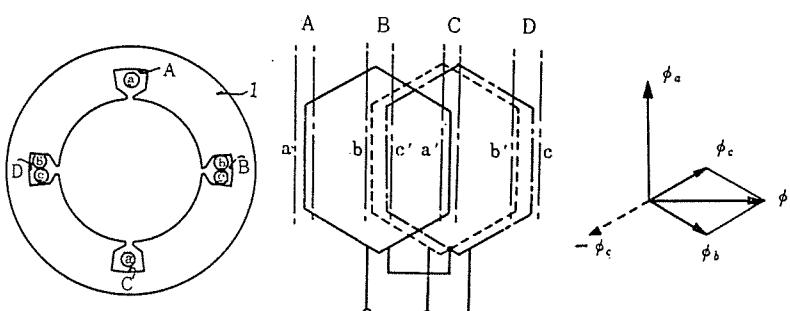


図2

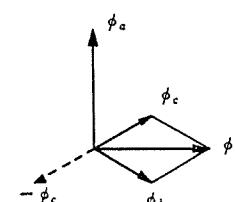


図3

有することになる。

この発明は上述したように単相誘導電動機用固定子を三相誘導電動機固定子に共用できるようにしたことに特長を有するものである。

特許第297849号(藤田記)

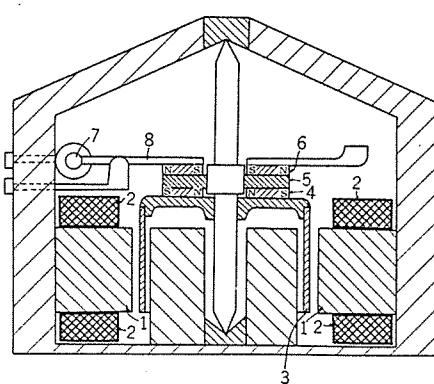
誘導形

発明者 北浦孝一

この発明は誘導形繼電器の可動部をトルク発生部と可動接点部とに分割してこれを隔離し、これらの双方を磁気的に結合することによって可動接点の反跳現象を防止するようにしたものである。

すなわちこの発明は固定磁極(1)に巻かれた線輪(2)の移動磁界によって、回動部(3)を回動する図示の繼電器において、この回動部に磁石(4)を取り付、スペーサ(5)を介して別の磁石(6)を配設し、この磁石(6)に可動接点(7)の支持部材(8)を取り付けることによって、もし回動部に与えられる駆動力が大きい時には、可動接点が固定接点に当接した後は磁石(4)と(6)の相対位置がずれるのを利用して、接点の反跳現象を防止したものである。

(特許第298562号)(大岩記)



==== 最近登録された特許 =====

名 称	登録日	登録番号	発明・考案者	関係場所
回転機の起動停止装置	38-12- 4	414515	松尾潔	神戸
波形変換装置	38-12- 4	414516	藤井重夫	"
脱調検出继電器	38-12- 4	414517	三上一郎	"
垂直コンペア制御装置	38-12- 4	414518	武長豊	古屋
多相用短絡距離继電装置	38-12- 4	414519	三上一郎	神戸
温度制御装置	38-12- 4	414520	加藤義明・野畠昭夫	群馬
避雷器の放電間隙装置	38-12- 4	414521	岡田昌治・鎌田隆好	丹波
荻野一夫				
自動車用エレベータ	38-12- 6	312438	瀬原田三郎	名古屋
直流電動機の正逆駆動装置	38-12-10	414803	細野勇	伊丹
計数形自動計算機	38-12-24	312998	豊田準三	中央研究所
誘導型計器继電器	38-12-24	312999	山県穆	福山
通信方式	38-12-24	313000	奥村徹・大西熊一	無線機
保護继電装置	38-12-25	416339	北浦孝一	神戸
内燃機関点火装置	38-12-25	416342	三木隆雄	姫路
ブレーキ制御装置	38-12-25	416343	小原太郎	伊丹
トランジスタを前置した自己平衡形磁気増幅器の電圧補償装置	38-12-25	416344	浜岡文夫・山崎英蔵	中央研究所
内燃機関点火装置	38-12-25	416345	三木隆雄	姫路
"	38-12-25	416346	"	"
定電圧制御装置	38-12-25	416348	平田毅	"
信号装置	38-12-25	416350	三木隆雄	"
放電間隙装置	38-12-25	416352	大木正路	伊丹
多気筒内燃機関点火装置	38-12-25	416353	三木隆雄	路
内燃機関点火装置	38-12-25	416354	三木隆雄・浅野哲正	"
"	38-12-25	416357	三木隆雄	"
"	38-12-25	416358	"	"
内燃機関点火装置	38-12-25	416362	三木隆雄	姫路
2進符号10進法の数を2進法に変換する装置	38-12-25	416363	吉江高明・首藤勝	中央研究所
送電系統保護装置の優先遮断方式	38-12-25	416368	菅忠義・魚田勝臣	
内燃機関点火装置	38-12-25	416369	三上一郎	神戸
磁気駆動形放電間隙装置	38-12-25	416370	三木隆雄	姫路
内燃機関点火装置	38-12-25	416371	鎌田隆好	伊丹
2相短絡用距離继電器	38-12-25	416372	三木隆雄	路
2相故障検出方向距離继電装置	38-12-25	416373	三上一郎	戸田
直接接地系統の短絡地絡両用方向距離继電装置	38-12-25	416374	三上一郎	戸戸
磁気駆動形放電 チャップ	38-12-25	416376	岡田昌治	戸丹
交流電気車	38-12-25	416381	木村久男・北川和人	本社
誘導電動機の蓄電器制動制御装置	38-12-25	416382	吉田太郎・高岡明雄	古屋
同期機の電気制動装置	38-12-25	416383	川合弘	神戸
同期調相機の起動装置	38-12-25	416384	古賀信勝	戸戸
交流電動機の速度制御装置	38-12-25	416385	長町恒資	屋
送電線系統保護装置の優先遮断方式	38-12-25	416386	吉田太郎	長崎・神戸
保護继電装置	39- 1- 7	416547	三上一郎	神戸
飛翔体用走査空中線装置	39- 1- 7	416548	北浦孝一	戸戸
交流電圧振幅制限装置	39- 1-11	313001	河村孝	倉倉
トランジスタ继電器	39- 1-11	313002	北村啓郎	鎌倉
負帰還増幅装置	39- 1-11	313003	吉田太郎	名古屋・中央研究所・神戸
飛翔体誘導方式	39- 1-11	313004	忍足博	鎌倉・無線機
絶縁劣化検出装置	39- 1-11	313005	渡部優	"
光電導体による自動電源遮断方式	39- 1-11	313006	早瀬通明	伊丹
FM送受信装置	39- 1-13	417048	伊吹順章・野島謙治	中央研究所
電波方位識別方式	39- 1-13	417057	阿部修・川上昭	無線機
半導体開閉装置	39- 1-13	417059	東野義夫	"
レーダ装置のPPI表示方式	39- 1-13	417063	三木隆雄	姫路
			御法川秀夫	無線機

次号予定

三菱電機技報 Vol. 38 No. 5

自動車用電装品特集

- 内外電装品の展望
- AC ダイナモのすう勢
- 同軸形 スタータ
- トランジスタ 点火装置
- ダイヤマチック SAT
- 電装品の工作

- 国鉄納め ED75 形交流機関車
- 国鉄納め信号電源用永久磁石形電動交流発電機および制御盤
- 多点支持梱包による大形 ブッシング の落下試験
- 変圧器用耐熱処理紙の実用性能試験
- 三菱 ロジックトレーナ
- 北上川洪水計算用電子計算機
- ME-9形 7Gc 帯 トランジスタ化多重無線装置
- トランジスタ 式 10/25 W 400 Mc/FM 無線電話装置
- トランジスタ VHF 内空無線装置
- パラメトリック 増幅器の実用化に関する諸問題
- 技術解説： 大形 アナログ 計算機の最近の進歩（1）
- 技術講座： プラズマ（その4）

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉 弘毅
副委員長	宗村 平精
常任委員	明石 精
"	安藤 安二
"	大野 寛孝
"	河合 武彦
"	小堀 富次雄
"	篠崎 善助
"	高井 得一郎
"	中野 光雄
"	馬場 文夫
"	宮内 圭次
"	山田 栄一
委員	岩原 二郎
"	大森 淳夫
"	片岡 高示
"	樋本 俊弥
"	神崎 邇
"	堀 真幸

(以上 50 音順)

昭和39年4月22日印刷 昭和39年4月25日発行
「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉 弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋 武夫

発行所

三菱電機株式会社内「三菱電機技報社」

東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル内)

(電) 東京(212) 大代表 6111

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

電話 (291) 0912 搭替東京 20018

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本社	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)
----	--------------------------------

(電) 東京(212) 大代表 6111

大阪営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神町58・天神ビル (電) 福岡 (75) 大代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌 (6) 大代表 9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 大代表 6101
富山営業所	富山市総曲輪490の3・明治生命館 (電) 富山 (3) 大代表 3151
広島営業所	広島市八丁堀63・昭和ビル (電) 広島 (21) 大代表 4411
高松営業所	高松市寿町1の4・第1生命ビル (電) 高松 (2) 大代表 5021
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神町58・天神ビル (電) 福岡 (75) 大代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌 (6) 大代表 9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 大代表 6101
富山商品営業所	富山市総曲輪490の3・明治生命館 (電) 富山 (3) 大代表 3151
広島商品営業所	広島市八丁堀63・昭和ビル (電) 広島 (21) 大代表 4411
高松商品営業所	高松市寿町1の4・第1生命ビル (電) 高松 (2) 大代表 5021
北九州出張所	北九州市小倉区京町10の281・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 大代表 8234
静岡出張所	静岡市七間町9の10・池田ビル (電) 静岡 (53) 大代表 9186
岡山出張所	岡山市上石井174・岡山会館 (電) 岡山 (4) 0331~2
長崎出張所	長崎市大黒町3番1号長崎交通産業ビル (電) 長崎 (2) 0293
金沢出張所	金沢市幸町13番28号 (電) 金沢 (31) 6213~4
長野出張所	松本市本町3の123 (電) 松本 (2) 1058
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船782番地 (電) 大船 (6) 大代表 3131
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電) 兵庫 (67) 大代表 5041
伊丹製作所	伊丹市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 8021 伊丹局 大代表 2481
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電) 長崎 (3) 大代表 3101
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋 (73) 大代表 1531
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 福岡 (431)
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地 (電) 福山 (2) 大代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原 (0427) 1-(7) 大代表 3231~3241
静岡製作所	静岡市小鹿110番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場928番地2 (電) 中津川 (2121) ~8
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 和歌山 (3) 大代表 1275
大船製作所	鎌倉市大船800番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 2121
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山 (2) 1220~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 尾島270番地 太田 大代表 4311番
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所1 (電) 京都 (92) 大代表 1141
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 大代表 5131
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171
鎌倉製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 8021
伊丹工場	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 8021
鎌倉製作所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋 (73) 大代表 1531

名古屋・御園座の どんちょう照明

一般に劇場の舞台に使用されるどんちょうは、ケイ光灯または白熱電球のスポットライトで照射照明する。

昨年 9 月に開場した名古屋・御園会館内の劇場御園座のどんちょうの内の一枚には、新しい試みとしてケイ光顔料を塗付して、そのデザインに使用し、これにブラックライトによる紫外線を照射し各色に発光させておもしろい照明効果を表わした。詳細は本誌 p. 85 名古屋御園座のどんちょう照明を参照下さい。

(1) どんちょうのデザイン

どんちょうは高さ 7.6 m、幅 24 m、厚さ 5 cm、重量 1,500 kg の大きな西陣織のもので、デザインは日本画中村正義画伯の作・花にイメージを求めた抽象画で饗宴（きょうえん）と題する異色あるものである。

(2) ブラックライトによる発光

どんちょうの表面に塗付されたケイ光顔料はブラックライトより出る紫外線で発光する。画面はどんちょうの左上部の青いケイ光による発光とスポットライト室のブラックライト器具から出る青白い光を示している。

(3)(4) ケイ光顔料の発光による照明効果

どんちょうの各部に赤、青、黄色のケイ光顔料がデザインとして使用されている。劇場の休憩時間中のあまり明るくない客席より見て独特の発光をするので普通の色彩と組み合わさせて変化に富んだおもしろい照明効果を表わす。

各部の光束発散度は赤色で 0.4~0.65 rlx、青色で 0.3~0.65 rlx、黄色で 4.9~10.8 rlx である。



今日もあなたと共に

