

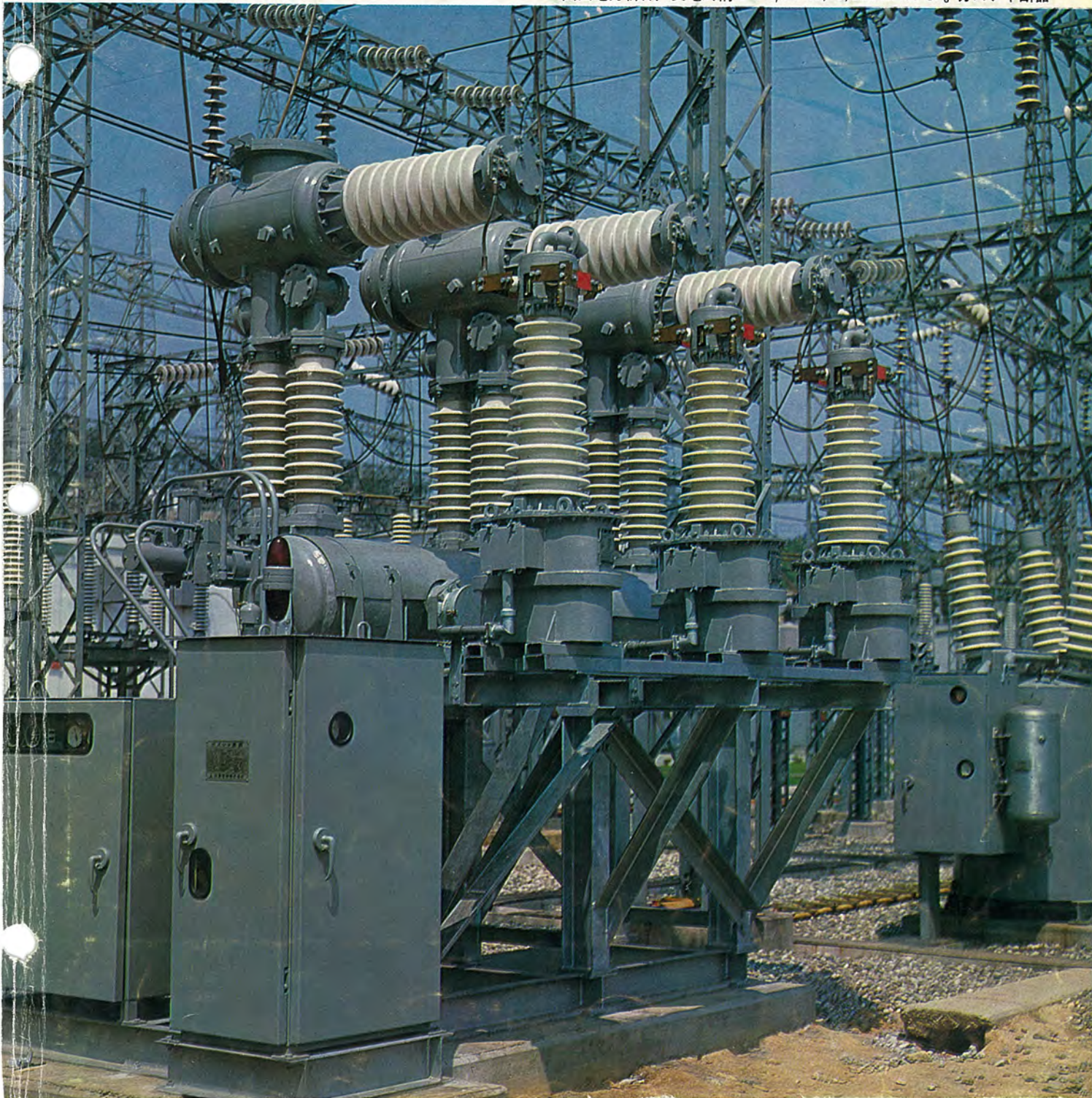
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol. 39 August 1965

SF₆ ガスシャ断器特集

8

関西電力新神戸変電所納め 72/84 kV, 5,000 MVA SF₆ ガスシャ断器



●心臓／動脈／リンパ管などの血管撮影を自動化！

国立名古屋病院納め

SH式自動血管撮影装置完成

名古屋大学医学部橋本外科との共同研究によってSH式自動血管撮影装置を完成し、このほど国立名古屋病院へ納入し臨床実験に成功した。

心臓、動脈、静脈、リンパ管などの血管撮影を行なうためには血管の中へ撮影部位に最も適した速度で造影剤を注入し、適切なタイミングにおいてレントゲン撮影を行なう必要がある。従来この注入は手で行なう方式やガス圧を利用する方法などが行なわれているが、一定速度の注入が困難でありこのために造影むらが生じて鮮明な写真が容易に得られない。また大動脈、心臓撮影の高速注入やリンパ管撮影の極度の低速注入が困難であるし、レントゲン撮影との連動タイミングも不正確である。さらに医師が患者のそばにいないといけないのでレントゲン障害を起こしやすいなどの問題点があげられている。

今回完成した装置はこれらの問題点を解決したものである。動作器（注入装置）と電気制御装置とで構成されており、動作器は200W直流電動機を内蔵しポールネジで回転力を直進力に変換する機構である。示速

発電機で回転数を検出して注入速度を表示している。注射管が収納される部屋は温度制御を行なって恒温室としている。電気制御装置内部にはサイリスタ回路、レントゲン撮影連動回路などを収納し、上部を操作パネルとしてここから遠隔操作が行なえるようにしている。

■特長

(1) 直流電動機の色度を自動制御しているので負荷変動による注入速度の変動はきわめて小さく、造影むらのない鮮明な写真が得られる。注射管を押す圧力は0～200 kgである。

(2) サイリスタ静止レオナード制御をしているのでダイヤルを設定するだけで、1～40 cc/secの任意の注入速度が得られる。

(3) レントゲン撮影との正確な連動が可能である。連続撮影装置との連動も可能である。

(4) 遠隔操作のため医師のレントゲン障害の心配がない。

(5) 各種の電氣的安全装置を備えている。また取り扱い法が簡単で便利に設計されている。

SH式自動血管撮影装置



三菱電機技報アンケート

「三菱電機技報」をご愛読いただき 厚くお礼申し上げます。

本誌は、大正 14 年創刊いらい 40 年にわたり、わが社の研究・技術の成果を皆様にご紹介してまいりましたが、ぜひ皆様の本誌に対するご意見をお聞かせいただき、本誌をより良いものにいたしたくアンケートを挿入いたしました。勝手ながら 9 月 30 日までに○印をつけて、ご投函くださるようお願い申し上げます。

なお回答をおよせ下さった方に抽せんの上三菱トランジスタ（コールメリー）を 10 名様に進呈いたします。

三菱電機技報社

||||| 料金受取人払 ||||| 郵便はがき

東京中央局承認

802

差出有効期間
昭和 40 年 9 月
30 日まで

(受取人)

東京中央局区内

千代田区丸の内 2 の 12

(三菱電機ビル)

三菱電機株式会社内

三菱電機技報社行

ご氏名

年 令 才

ご住所

勤務先

職 種

☐ 経営管理 ☐ 技術管理 ☐ 企画調査 ☐ 研究 ☐ 設計

☐ 現場技術 ☐ 製造 ☐ 販売 ☐ 営業 ☐ 購買 ☐ 教育

☐ その他 ()

三菱電機技報アンケート

※各項目について該当番号に○印をつけてください

- 主論文の長さ 1. 現在程度 2. 短かすぎて徹底しない 3. 長すぎる
- 主論文の程度 1. 現在程度 2. もっと学術的にくわしい論文を多くする
3. 資料的な記事を多くする
- 本誌の利用状況 1. 研究・企画 2. 営業資料 3. 技術資料
4. 新製品を知るのに役立つ 5. その他()
- 読む程度
- | | | | |
|-----------|---------|----------------|------------|
| 主論文 | 1. よく読む | 2. 関係の深いものだけ読む | 3. あまり読まない |
| 技術解説 | 1. " | 2. " | 3. " |
| 技術講座 | 1. " | 2. " | 3. " |
| 新製品紹介 | 1. " | 2. " | 3. " |
| ニュースフラッシュ | 1. " | 2. " | 3. " |
- 読み方 1. 単独 2. 回覧 (2~3 人, 5~6 人, 10 人以上)
- 論文の希望
- 内容別 1. 研究 2. 試験 3. 応用 4. 設計 5. 製造 6. 保守
7. 現業 8. 管理 9. 営業 10. 購買 11. 教育
12. その他 ()
- 機種別 1. 電力機器 2. 工業用電機品 3. 輸送機器 4. ビル用電機品
5. 電子応用機器 6. 計器・計測器 7. 材料 8. 家庭用電気品
9. その他 ()
- その他本誌へのご要望



表紙説明

SF₆ ガスを消弧媒体とするシヤ断器でわが国で初めて製品として関西電力新神戸変電所に納入された 72/84 kV, 5,000 MVA, 1,200 A, 70-SF-500 形SF₆ ガスシヤ断器の写真である。約 15 気圧の SF₆ ガスで アーク を吹き消す方式で可動接触子は油圧操作機構と加速 パネによって駆動される。空気シヤ断器のような爆発的な操作音がないこと、近距離線路故障などのきびしいシヤ断条件にも十分強いこと、接触子の損耗がきわめて少く点検回数を大幅に節約できることなどの特長があり、とくにこの新神戸のような都心近くの変電所にも防音設備なしに使用できる。このシヤ断器のシヤ断点を 2 個直列にすれば 168 kV, 10,000 MVA, 4 個では 300 kV, 25,000 MVA, 6 個では 525 kV, 35,000 MVA の SF₆ ガスシヤ断器シリーズができるわけで、これらシリーズの第 1 号機としてこの新神戸変電所におけるガスシヤ断器の使用実績は各方面の注目を集めている。



三菱電機技報

昭和 40 年 第 39 卷 第 8 号 (SF₆ ガスシヤ断器特集)

目 次

《特集論文》

電力用シヤ断器の大容量化と SF ₆ ガスのシヤ断器への応用	潮 恒 郎	2
SF ₆ ガスの絶縁破壊特性	新田東平・川根 清・山田直也	7
SF ₆ ガス中の消弧現象	伊藤利朗・宮本紀男・鎌谷章博	13
アークに対する SF ₆ ガスの物理化学的特性	宮本紀男・鎌谷章博	22
ガスシヤ断器におけるガス流のシミュレータとその応用	宮本紀男・鎌谷章博・森岡昭二・稲村彰一	31
新形大容量 SF ₆ ガスシヤ断器	富永正太郎・森岡昭二	37
ガスシヤ断器用油圧操作機構	富永正太郎・稲村彰一	46
新設大容量短絡試験設備	堀 真幸・大谷清二・桑原 宏	51
大容量シヤ断器の試験および測定技術に関する最近の 2, 3 の問題	瀬渡卓三・中原孝一	58

《論 文》

ブラシスターピン 発電機	甲斐 高・長沢保明	63
大容量高速度 2 極同期電動機	高原洋介・中野久夫	70
航空機用 VHF 帯 1/2 波長広帯域 プレドアンテナ	喜連川 隆・武市吉博・水沢丕雄・小野 誠	79
合理的な時間帯別料金制度に使用される機器	武田克己・新川成美	82
国鉄ディーゼルカー用 AU-13 形ユニットクーラ	清水 一朗	88
OP モータ	前川善六	92

《技術解説》

ポリアトロン (多陽極計数放電管)	岡田武夫・倉橋浩一郎・佐竹正章	98
-------------------	-----------------	----

《新製品紹介》

国産最初の三菱真空 スイッチ VS103 の完成・トランジスタ 式距離継電器完成・RC-2-D 形自動再閉路継電器完成・MT-4 形 モレクトロン 携帯無線機販売開始・電気大工三菱 ドリルキット 用角 プラ DKF-1 形を開発・コック 式三菱脱水洗たく機 CW-755 形新発売	106
--	-----

《ニュースフラッシュ》

世界最大の 24,000 kW レクチフォーマ 完成・東京電力角管変電所納め 23 kV 配電用屋内 キューピクル 完成・中国電力岩国火力発電所納め SSV 形 140 kV 耐汚損避雷器完成	110
--	-----

《特許と新案》

油圧 エレベータ・同軸線路の気密封止方法・テールキャップアンテナ 方式・点灯制御装置・整流子面の清浄装置	112
--	-----

《表 紙》

1. 関西電力新神戸変電所納め 72/84 kV, 5,000 MVA SF₆ ガスシヤ断器
2. 国立名古屋病院納め SH 式自動血管撮影装置完成
3. 三菱 E 種 モートル
4. 三菱 ミキサー・ジュース・フルオートジュース

電力用シャ断器の大容量化と SF₆ ガスのシャ断器への応用

潮 恒 郎*

Requirements for High Capacity Power Circuit Breakers and Application of Sulfahexafluoride Gas

Itami Works Tsunerō USHIO

Increasing short circuit capacities of power systems are now approaching the stage where unprecedented high interrupting capacities of power circuit breakers have come into pressing need. At this moment Mitsubishi announces the successful development of a new series of SF₆ gas circuit breakers of extremely high ratings. Their performance is especially suitable for the increasing requirements of power industry. It will not be long before they prevail in the circles and the advent of the new devices is recognized as a significant technological innovation.

1. ま え が き

電力系統容量の増大と近代化に伴い、各電力機器に対する性能上の要請もまた急速に大きくなっているが、中でも短絡容量の増加によるシャ断器の所要シャ断容量の増大は単的に電力系統の飛躍的發展を裏付けしている。

シャ断器のシャ断容量の増大は、従来経験されなかったいろいろな性能上の要求や技術的問題を伴い、それらを総合的に解決しなければならないので、経済的、技術的にむずかしさは加速度的に大きくなる。電力用シャ断器は最近において最も変ぼうの激しい機器であって機種により製作者によって著しく多岐にわたるシャ断器がつぎつぎと開発され製品化されているのも、この間の事情を物語っている。

従来から広く使用されてきたシャ断器は大別すると主として米国において発達し親しまれてきたタンク形の油シャ断器と、欧州において発達し広く使用されている空気シャ断器ならびに少油量形シャ断器とであり、わが国においても現在これら機種が普及している。これらの機種にはそれぞれに長所短所はあるが、大容量化、高電圧化が進むとともに、つぎつぎに遭遇する諸問題を解決しつつ今日にいたっている訳である。

約10年前、米国において実用化の緒についた SF₆ ガスを使用するシャ断器は、最近にいたって急速な発展普及を見せ、これが、系統大容量化に答える高圧大容量シャ断器として、きわめてすぐれた特長をもち、今後の普及が期待されるにいたった。

当社では以前より SF₆ ガスのすぐれた消弧能力と、そのシャ断器への適用についていろいろの面から検討を進め、米国 Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）における製作、実用化の経験をも参考にして、新形大容量のガスシャ断器の開発に努力してきたが、最近、72 kV より超高圧にいたる独特な方式のガスシャ断器シリーズの製品化に成功した。これによって近い将来のわが国の系統が要求する諸問題に答えうるのみならず、電力技術への SF₆ ガスの導入というきわめて重要な技術革新のスタートを切ることができたと確信している。

この機会に、現在の系統大容量化の傾向と、大容量シャ断器に要求される問題点について概観し、SF₆ シャ断器が、これに対処するホープとして登場してきたゆえんを振り返って見たい。

2. 系統容量の増加とシャ断容量の増大

電気エネルギーの消費が指数関数的に伸びつつある世界的傾向の中で、最近わが国における電力の発展はとくに著しく、わが国の記録的な経済成長の代表的指標となっている。戦後10年ようやくわが国の復興が一段落したころ、なお、わが国の系統は154 kV を基幹とするいわゆる逆放射状の、水力主体の電力系統としては後進的な安定を欠く体制にあった。しかしその後の10年間は、わが国の系統が火力を主体としていわゆるネットワークあるいはグリッド系統という先進の形態へ急速な転換を行なった画期的な時期である。この間系統容量の増大と、系統の近代化が非常な勢で進められ、新鋭火力の建設と超高圧基幹系統のグリッド化が進展し、欧米先進技術への追従の時期から漸次脱却し、いまやわが国の電力技術はその量的質的水準において、諸外国をリードしようという時期を迎えつつある。事実、現在では大都市地区の電力需給密度はすでに世界最高のレベルに達している。

系統容量の増大はいまでもなく、高い送電圧の導入と発展を促進するが、同時に、各電圧階級における短絡容量の増大を招来する。

図2.1は、当社において製品化されたシャ断器の名板シャ断容量の変遷を示すが、過去10年ほどの間に各電圧階級においてシャ断容量は3倍ないし5倍という増大を示しており、その増加率は電力需給の伸び率を上回っていることは注目すべきである。この傾向はもちろん世界的なものであり、とくに米国においても図2.2に見るごとくわが国と同様の傾向をたどっている。

系統容量と系統短絡容量の関係を現在および将来計画の系統について調査してみるときわめて興味深い事柄がある。図2.3はわが国の代表的な電圧階級の現在および将来の系統において、系統内設備容量(G)と系統内の最大短絡容量(W)との関係を示す電気協同研究会における調査結果である。系統の小さいところでは、電圧階級によらず W/G 比は大体1.5という値に一致しているが設備容量の増加とともに、より高い電圧階級が導入されて、下の電圧階級の系統に重畳するので、この場合、下の電圧階級の短絡容量値ははつきり飽和する特性を示している。いいかえれば、短絡容量値がある値を上回る可能性のあるところで、必然的に高い電圧階級が導入されて系統短絡電流値はある値に押えられて

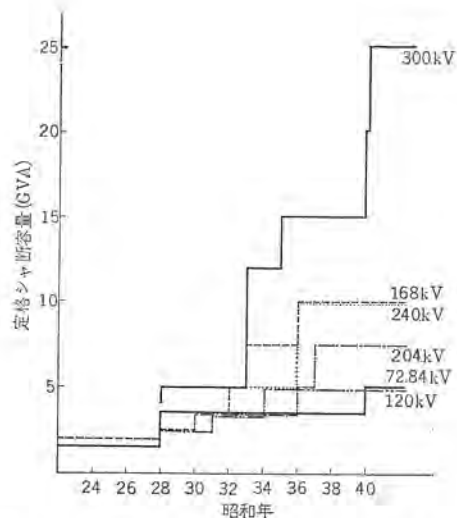


図 2.1 当社電力用 シャ 断器名板定格の変遷
Fig. 2.1 Maximum ratings of Mitsubishi power circuit breakers.

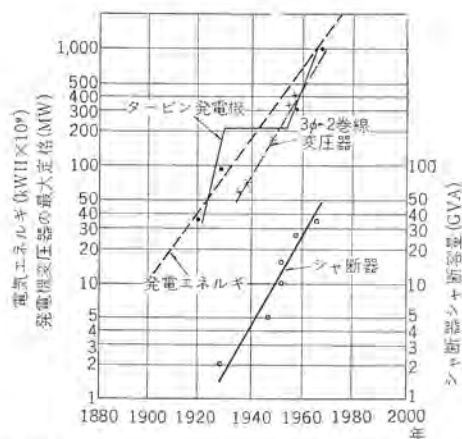


図 2.2 米国における機器最大定格容量の変遷
Fig. 2.2 Maximum sizes of apparatus in U.S.A.

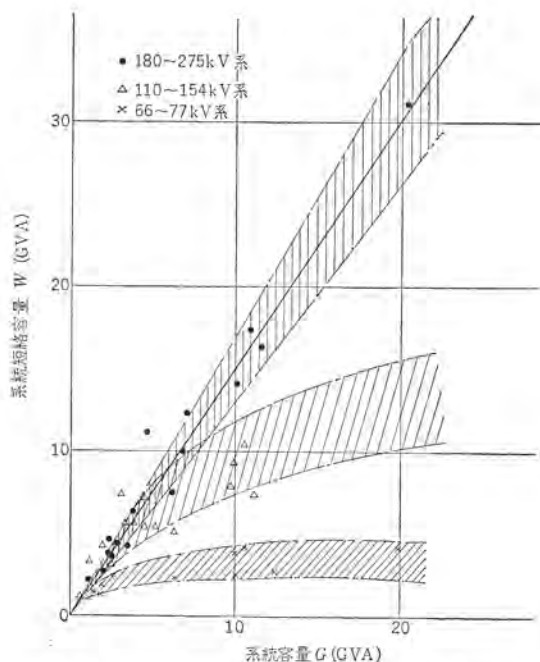


図 2.3 系統設備容量と最大短絡容量
Fig. 2.3 Maximum short circuit capacities of the system as a function of the system generating capability.

いるといえるであろう。この図から推定すると、わが電力用 シャ 断器の大容量化と SF₆ ガスの シャ 断器への応用・潮

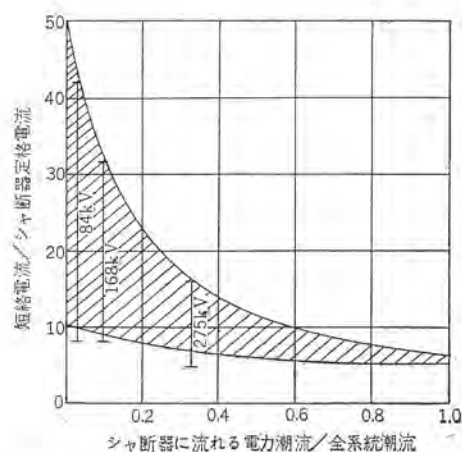


図 2.4 短絡電流と シャ 断器定格電流の関係
Fig. 2.4 Short circuit current and circuit breaker rated current.

国では 66 ないし 77 kV 系統では短絡容量 5,000 MVA 程度で飽和し、110 ないし 154 kV 系統では 10,000 ないし 15,000 MVA 程度で頭打ちとなり、220 ないし 275 kV 系統で短絡容量が 25,000 MVA から 30,000 MVA 程度に達する前におそらく必然的に一段上の 500 kV 級が導入されることになるであろうという推論が成り立ちそうである。これらの値はいずれも、今まで標準として用いられてきた シャ 断器の シャ 断容量値をだいたい一段上回るものであるが、このことはいいかえれば、経済性をも考慮した シャ 断器の技術的レベルがその辺にあるということを示しているともいえるのかも知れない。

系統短絡容量の増大に関連して重要な問題は、機器定格電流の増大である。図 2.4 は系統をかなり簡単にモデル化して考察した場合の短絡電流と シャ 断器定格電流の比を、シャ 断器に流れる電力潮流の全系統潮流に対する比について計算したもので、実在する範囲について求めているが、当然のことながら、電圧が高くなると 1 回線の受け持つ潮流比率が上り、それに応じて定格電流に対する短絡電流の倍数が小さくなっていく。したがって系統容量が大きくなり、電圧階級が上るにつれて、定格電流の大きな シャ 断器が要求される傾向となってくるわけである。たとえば、275 kV 系統で定格 シャ 断容量 25,000 MVA (48 kA) を考えると、定格電流 4,000 A がかなり標準的なものとなることを示している。

今日、系統短絡容量の増大は機器の技術的な限界能力の追求とともに、系統運営上の問題についていろいろな面から詳しい検討を必要としており、系統短絡特性、機器の短絡特性などについての協同研究が活発に行なわれているが、その中でも最も問題となるのはいうまでもなく、シャ 断器の シャ 断容量増大に対する可能性であって、技術的、経済的な面からこれが将来の系統計画の重要なかぎをにぎっているといえるであろう。

元来、系統短絡容量の問題については、二つの根本的に対照的な考え方があるように思われる。一つは、系統短絡容量を故意に抑制あるいは制限することなく、電力受給の増大に応じて必要な系統を構成し、連係を行ない、安定度の高い、柔軟性のある系統を構成し、その代わり大容量 シャ 断器の採用によって、短絡容量増大に対処して行なうというやり方である。この考え方は米国においてかなり強いように思われるが、かつて Grand Coulee 発電所の建設を契機として一挙に 230 kV 級 シャ 断器の シャ 断容量が 3 倍にはね上がったことや、AEP 系統の発展などはこの考え方の現われであるように思われる。

一方の考え方は、系統短絡容量あるいは短絡電流をある適当なレベルに抑制する手段を講じ、シヤ断器のシヤ断容量や機器の短絡電流をある程度標準化して、これを限度に押える方がより経済的かつ合理的であるとする考え方である。このやり方は欧州電力界においてかなり支配的であったようである。

前者は機器とくにシヤ断器の大容量化に關しての技術的問題の解決を促進し、結果的には大きな系統の発展がかなり大たんに行なわれることとなるが、しかし機器に課せられる技術的負担と比重は大きく、総合的に経済的な評価を十分に行なう必要がある。

後者は系統の分割や常時あるいは故障時の分離、リアクトルの設置、変圧器インピーダンスの増加など、シヤ断器以外に問題の解決を求めるわけで、あるレベルまではもちろん可能であるが、あるレベル以上になるとやはりいろいろな技術的、経済的な困難がましてくる。欧州においても最近はいよいよシヤ断器の大容量化が目立ってきているようである。

近年においてわが国では系統短絡容量の増大は顕著であったが、その絶対値においては、なお米国のあとを追い、欧州と同程度のレベルにとどまり、したがって問題はほとんどシヤ断器の大容量化によって解決される方向にあったのである。ところが最近において必要とされるシヤ断器のシヤ断容量は急速に増大の傾向を示し系統計画の面で、とくに既設機器との関連において、さしあたりどの方向に踏み切るかというさし迫った問題の解決を迫られている。大容量シヤ断器の使用を全面的に推進するか、あるいはなんらかの短絡容量抑制対策を進めるかは、技術的、経済的にいろいろな方向から総合的な判断が行なわれなければならないので、問題はきわめてむずかしい。筆者の独断の見解を許されるならば、今後のレベルにおいては、短絡容量抑制対策はむしろいろいろな困難に遭遇することが予想され、超々高圧の導入とともに、大容量シヤ断器の採用を推進することが最も望ましいと考えている。同時に、電力需給の飛躍的増大に対処して経済的で信頼性ある大容量シヤ断器を供給することが製作者としての現在の重要な使命であろう。

3. 大容量シヤ断器における最近の問題点

シヤ断器において電圧の増加は、シヤ断点数の増加と対地絶縁の強化によって解決されるのに対して、短絡電流、シヤ断電流、定格電流などの電流過酷度の増大は電氣的、機械的、熱的なストレスを加速度的に大きくするため、シヤ断容量の増大とともに、技術的困難は急に大きくなって来る。

シヤ断器に対しての電流過酷度の問題は詳しく述べれば非常に多いが、最近の問題としてやはり最も興味あるのは近距離短絡故障であろう。近距離短絡は、きわめて上昇率の高い再起電圧を与える条件として知られ、一見、電圧過酷度と考えられるが、実は、回路のサージインピーダンスと、シヤ断電流とによって定まり、電流に比例して過酷度を増すものである。空気シヤ断器が再起電圧に敏感なことは古くから知られているが、系統の再起電圧条件が一般にはシヤ断電流の増加に対して垂下特性を示すという、空気シヤ断器としては都合のよい事実が必ずしも成立しないことが近距離短絡によって明らかにされ、大容量シヤ断器の要求とともに空気シヤ断器が近年その設計を一変するにいたったことはきわめて重要な事柄である。電流過酷度としての近距離短絡は、かなり低いサージインピーダンスときわめて高い固有周波数を有する回路を与え、空気吹付アークの動的慣性が問題となるような領域の現象で

あるためこの問題へのアプローチとしてアークというもの流体的なあるいは物性論的な研究がかなり突っ込んで行なわれたことは、最近の成果として特筆すべき事柄と思うが、アークシヤ断現象というものの現代的な解釈が近距離短絡の問題を契機として新しい展開が行なわれ、長年論議の的であったシヤ断器の残留電流の重要性や試験法に關して検討がかなり明瞭に行なわれるようになったことは大きな意義がある。

近距離短絡は電流と局部系統の回路構成にのみ依存する現象であるので、とくにシヤ断点数の少い、低い電圧定格の大容量シヤ断器において過酷であり直列シヤ断点数の増加する高電圧シヤ断器ほど楽になるわけであるが、しかも、なおかつとくに大容量のシヤ断器では超高圧級のもので近距離短絡の過酷度は無視できるものではなくてくる。最近大容量の空気シヤ断器は、気圧の上昇常時充気式の採用が目立ちました。低抵抗シヤ断方式の採用されるものが増えてきているのは、主としてこの近距離短絡の問題に対しての対策からであるといってもよいであろう。

油シヤ断器は元来再起電圧の影響を受けにくく、とくに、大電流域での近距離短絡のような高い電流過酷度に対して非常に強いことは、実験的理論的に明らかにされているが、巧妙に設計された油シヤ断器のシヤ断性能に關しての優秀性は、最近近距離短絡に關連してあらためて見直され、その経済性とあいまって発展する電力系統の増強に広く利用されているのは注目すべきである。

後に述べるごとく、SF₆ガスシヤ断器もまた、近距離短絡に關してきわめてすぐれた特性を示し、このメリットがガスシヤ断器の発展を促進した一つの大きな動機であったといっても過言ではないであろう。

近距離短絡はシヤ断容量の大きなところで、問題となるので現在はいよいよ特殊な場所に限られているであろうが、将来は大容量系統の内部では一般化してくる問題と思われる。

大容量シヤ断器は系統内の電力集中度の高い、重要地点に使用されることになるため、あらゆる点から信頼度の高いものが要求されるので、近距離短絡をも含めた普通の短絡シヤ断条件のみならず、まれに考えられる特殊なシヤ断条件に対しても性能の高いものが要請されるのは当然である。これらの特殊責務としては、過電圧条件、すなわち脱調シヤ断条件や異相地絡条件でのシヤ断あるいは電圧上昇時の線路開閉などが考えられるが、従来の一般用シヤ断器と比較してさらに大きい裕度を持つことが必要であろう。現在これらの特殊責務に關しては、現象そのものの解明と実態の調査がなお十分でないので、理論的実証的な研究を進めることがとくに急がれているが、まだこれらを規格面に反映するまでの段階にいたっていない。

かつて、開閉異常電圧はシヤ断器にとって非常に重要な問題であったが、現在新鋭のシヤ断器については、この問題はほとんど解決されているといえよう。現在、問題となっているのは絶縁裕度の小さい超々高圧系統における投入時のサージを抑制する必要性であるが、おそらく超々高圧シヤ断器は投入抵抗を備えるものが標準となるであろう。

現在シヤ断器において一般的に問題となっている事柄は、耐塩害の問題、騒音の問題、絶縁協調の問題、耐震耐風強度の問題などであり、そのいずれも相当にむずかしい事柄を含んでいるので現状において完全に解決されているとはいえないが、とくに大容量シヤ断器に対しては、これらの問題はいっそうきびしい。

さらに、大容量シヤ断器に対して要請されてくるであろう問題

としては、系統安定度向上のための高速度化の問題や、試験の問題があげられる。

高速度化については、現在の3サイクルシヤ断器を2サイクル化するとは、とくに新技術に頼らなくても可能な事柄であるが、経済的観点からその必要性を検討すべきものと思われる。

大容量シヤ断器の試験の問題は現在あらためて反省、再検討すべき段階にきているように思われる。シヤ断器の大容量化と試験設備容量の巨大化とが dog and tail であるところについての論議はすでに久しいが、実系統における検証が行ないうる場合を除いてはに大きな試験設備を用いても、やはり、ユニット試験、合成試験など実際の状況とは異なるなんらかの「等価」試験を必要とするわけである。従来から、ユニットの実負荷試験のみが信頼され、合成試験などは補助的手段と考えられ勝ちな傾向にあったが、ユニット試験といえども大きな仮定に立っており、十分検討された合成試験と比べて優位に立つとは考えられない。事実、最近の大容量シヤ断器は、そのユニットシヤ断点の電圧がしだいに高くなる傾向にあり、80 kV ないし 120 kV 級のユニット電圧のシヤ断器が出始めているが、シヤ断器の設計技術の進歩によって、ユニット電圧は高くなることも考えられるので、ユニットの実負荷試験を行なうという制約条件のみから、設計の制限を行なうことは問題である。大容量のシヤ断器になると前述のように、いろいろの角度からの検討が必要で、実情に合った試験条件というものが必要とならなければならないが、同時に、最近ではシヤ断現象の詳細な研究がかなり進んできたので、十分な吟味をして、最小の設備で効果的な性能の検証がしだいにできるようになってきている。試験設備の大容量化より以上に、実系統の使用条件に細かい点にわたって適合するような、シヤ断現象の本質にさかのぼったきめの細かい試験技術の開発が非常に重要であると思われる。

4. SF₆ ガスの大容量シヤ断器への応用

古くから絶縁性の高いガスとして知られ、一部電気機器への応用を考えられていた六フッ化イオウガスが、絶縁物としてよりもむしろ消弧性能において非常にすぐれた特性のあることが、米国 W 社において発見されたのは、むしろ偶然の機会からであった。その後同社研究陣の、これをシヤ断器として利用するための研究が続けられ、約 10 年前実用化の道をスタートしたが、最初負荷断路器や小容量のシヤ断器への適用から始まり、漸次高圧大容量のシヤ断器へと発展し、230 kV 級 15,000 MVA のタンク形ガスシヤ断器の多数の実用経験を経て、ついに最近では 500 kV、35,000 MVA 級の大容量機が実用に入る段階となった。

元来、シヤ断器はその最も重要な性能は申すまでもなく大電流をシヤ断するところにあり、このシヤ断動作にあたって、現用シヤ断器ではいずれもアークプラズマの導電性の制御が用いられているわけである。理想的なシヤ断器は、電流のシヤ断されるゼロ点を境にして、きわめて高い導電率の良導体から、できるだけ導電率の低い良好な絶縁体へ急変することが要求されており、かかる導電率の急変を行なうことができるものは、現在ではアークプラズマの温度変化による導電率の大幅な変化にたよるのが唯一のものである。

このアークプラズマの材料は、空気シヤ断器では窒素および酸素ガスであり、油シヤ断器では、油の分解によって発生する水素ガスであるわけであるが、もちろんシヤ断器が実用化された当初はアークプラズマを積極的に利用しようということではなく、むしろ自

然に発生するアーク放電をいかにして抑制消滅させるかということに努力がはらわれたのである。しかし、観点を変えて見れば、アークこそ大電流をシヤ断できる唯一の状態であるといいうるであろう。ところで、アークプラズマの導電率の制御という観点から反省して見れば、窒素、酸素、水素などは必ずしも理想的なプラズマ材料であるとはいえない。とくに、空気は、無尽蔵に容易に使えするという利点を除いては、むしろ不適格な材料ですらあるといえるであろう。

SF₆ というガスの消弧性能の優秀性についての研究が進むにつれて、このガスを材料とするアークプラズマが、制御可能な導電率の急変特性においてきわめてすぐれており、実はこれが現存する化合物の中では消弧媒体として最も卓越しているということが明らかになってきたのはまことに興味ある事柄といえる。普通俗に、SF₆ は空気の 100 倍の消弧能力があるといわれるが、それをさらに裏付けるならば、静止気体中のプラズマ導電率の急変特性を時定数の形で表現した場合、窒素、水素、SF₆ の割合は、100:10:1 という数字で表わされるのである。SF₆ ガスのこのような特性がいかなる理由によるかということは、なお完全に明らかになってはいないが、このガスをシヤ断器の消弧媒体としてうまく利用するならば、非常に高性能のシヤ断器が実現できるであろうという予想のもとに、実用化への研究開発をすすめ、段階的な試作研究と実用性能向上のための研究を推進し、ついに現在では最もすぐれた電力用シヤ断器の実用化に成功した W 社の研究開発陣の決断と努力とに対しては、あらためて深甚の敬意を表わしたいと思う。まさに、SF₆ の出現は、電力需給の増大とシヤ断器の大容量化という近年の大問題に対してまことに時宜を得た福音であり、電力技術における重要な技術革新となったのである。

当社においてもつとに SF₆ の消弧媒体としての優秀性に着目し、これの実用化への研究を開始したが、とくにその基礎的研究は当社中央研究所において計画的に進められた。その成果の一部はこの特集号の別論文にも紹介されているが、研究は W 社と緊密な連絡のもとに行なわれ、W 社における研究の追試を含めて、とくに実用化に伴い予想されるあらゆる諸問題についての検討が続けられた。このうちでもとくに研究の努力が集中されたのは

(1) SF₆ ガスの消弧能力の秘密はなにであるか、いかにすればその本来の性能を最高度に利用できるか。

(2) SF₆ ガスでアークプラズマを形成した場合、いかなる物理化学的变化が行なわれるか、とくに、有害なアーク生成物が集積するようなことはないか。

(3) SF₆ ガスが金属や絶縁物に対して化学的に影響を及ぼすことはないか、とくに、アークにされた状態でどうであるか。

(4) SF₆ ガスに空気などの不純物が混入した場合の影響はどうであるか、また低温において液化する SF₆ の特性はどうであるか。

といったような問題である。

一方、シヤ断器としての製品化にあたっては、まず、W 社において標準化された現用機種的设计どおりの試作品を製作し、あらゆる観点からこれに対して徹底的な検討を加えるとともに、米国内における W 社の豊富な実用経験を可能な限りにおいて活用し、同時に社内における研究成果を十二分に参考として、独自の新形機種の開発を決意し、本質的に大容量シヤ断器としての SF₆ ガスの適性を最大に活用できるように努力を集中した。今日製品化を完了したシリーズは、別論文に詳細が報告されるごとく、大容量基

幹系統の過酷な要求を満足するシヤ断器として自信をもっておすすめするものであるが、ちょうど、時を同じくして、W社においても、別方式の超々高圧級ガスシヤ断器の製品化に成功しており、また、西独シーメンス社においても、性能のすぐれた新形ガスシヤ断器の製品化が完了したことが報告されて、世界的にも、いよいよガスシヤ断器時代に入りつつあるという感を深くするものである。さいわいにして当社の特長あるガスシヤ断器が、わが国の飛躍的な短絡容量増大の時期にどうやら間に合うことができたのは、社内外各方面の絶大なご援助に負うところ多く、とくに、ガスシヤ断器の将来に重大な関心を持たれて、その試用と開発の指導をいただいた一部電力会社のご好意には深く感謝申し上げる次第である。

SF₆ガスをシヤ断器に適用するにあたり、当初は、既存の各種シヤ断器よりの類推からいろいろの方式のものが考慮され、試作も行なわれたが、現在においては、基本的に二つの方式、すなわち、パツファ吹付方式と二重気圧吹付方式のものが主として使用されており、とくに高圧大容量シヤ断器に対しては、二重気圧吹付方式のものがもっぱら採用されている。W社では油シヤ断器と類似した接地タンク構造の超高圧大容量シヤ断器に対してこの二重気圧吹付方式のものを実用化し、その後この方式は各電圧階級のものに対して標準とされ、最近のlive tank構造、ガイシ絶縁方式のユニット形の超々高圧シヤ断器において同一の消弧室機構が踏襲された。

当社ではいろいろ検討の結果、二重気圧吹付方式の採用にあたり、空気シヤ断器において最近多くの採用されているいわゆる常時充気式と同様、シヤ断部を高圧ガス中に置き、排気弁をシヤ断ノズルの下流に設置して排気吹付けを行なう下流排気方式を使用した。その結果W社における設計のものと比較しても、さらに一段と性能の向上を期することができるようになった。ユニットシヤ断点の電圧としては84kVを選んだが、これがいろいろの点から考えて最も経済的であると考えられたからである。

SF₆ガスシヤ断器の特長を総合的に考えると以下のごとくである。

(1) シヤ断性能が著しくすぐれている。

これはSF₆というガスを使用する点から当然であり、その特長をいかに設計面で経済的に反映するかということが問題である。抵抗シヤ断などを採用しないのでよいため、構造的には非常に簡単になっているが、シヤ断器の寸法が外部絶縁の長さにより制約される点もあって、まだ、SF₆ガス本来の性能が完全に経済的に反映されていないという点を反省している。

(2) 開閉サージを発生しない。

充電々流のシヤ断に対してすぐれた特性を示すことは当然であるが、従来のシヤ断器の常識からすれば、シヤ断性能のすぐれたシヤ断器は励磁電流などの小電流をさい断して異常電圧を発生することが知られていた。これは、そのシヤ断機構が主として等エントロピ的冷却という熱力学的過程にたよっているためであるが、SF₆ガスの場合は、シヤ断能力がガスそのものの性質に依存するところが大きく、前述のようにコンダクタンスの急変を可能としているため、小電流域までアークは安定に存続し、いわゆるさい断ということを行なわない。一見矛盾するようでむしろ当然のことといえるが、これはSF₆ガスシヤ断器の本質的な特性として非常に重要である。

(3) 大電流定格のシヤ断器に適している。

SF₆ガスは空気の5倍程度の密度をもち、熱伝達特性、すなわちヌッセルト数が大きい。したがって、これを高圧に充てんした中に置かれる接触部や導電部の冷却特性はとくにすぐれており、大電流定格のシヤ断器の設計が容易である。さらに、かなり高温に

至るまでSF₆ガスが安定であり、空気による酸化や、油中のスラッジの発生のごとき現象がないため、接触部の温度を従来の各種のシヤ断器に比べて非常に高くとることができる。現に、W社では温度上昇65°Cで製作し、接触部の温度上昇90°Cを許容したのもつくられているが、このメリットは将来大いに活用されるべきである。

(4) 静かなシヤ断器である。

操作時の騒音問題は、シヤ断器が発生する唯一の「公害」であるので、近時使用者にとっては深刻な問題となっているが、とくに空気シヤ断器で大容量化されるとともに、気圧も上昇し、排気量も増えるため、排気騒音の抑制はかなり困難な問題となっている。SF₆ガスシヤ断器は高低圧間の排気を行なうが、これが完全に密閉した系統内で行なわれるため、排気騒音がないという大きな特長がある。もちろん空気シヤ断器でも完全な密閉方式をとれば騒音はなくなるわけであるが、その場合シヤ断性能を維持するための寸法的ならびに経済的な負担はきわめて困難なものであることが予想され、逆にいえばSF₆ガスのすぐれた消弧性と絶縁回復特性が、局限された密閉空間の利用を可能にしているといえることができるであろう。操作機構についても、当社の油圧操作機構のごとく静かな装置を組み合わせることによって、大容量シヤ断器でもまったく気になる騒音を発生しないことは特筆すべきことといわなければならない。

(5) 無保守シヤ断器へ一歩近づいた。

SF₆という特殊なガスを使用し、これを密閉状態で使用することとは、保守点検についてのわずらわしさを心配させる事柄であったが、実際に使用してみると、ガスの性質が安定していることもあり、外気と完全に隔絶されているため、長期間、多数回の開閉動作を行なってもほとんど内部の保守点検を実施する必要がなく、米国での実績では、無保守で4年間コンデンサバンクの開閉用に使用されたことが報告されている。とくに注目すべき点は、アークを発生する接触子の消耗が非常に少ないことであって、経験される接触子の消耗状況からすれば、接触子の点検や取り換えはほとんど必要でない。このことは完全密閉式の構造とあいまって、使い放しの無保守シヤ断器へ一歩近づいたといえることができるであろう。このことは、系統運営に対して大きな意義をもつ事柄である。

以上述べたようないくつかの特長は大容量シヤ断器について要求される問題点の多くを満足できる形で解決したものといえるがSF₆ガスの電力技術への利用がまず、シヤ断器という技術的にはかなりやっかいな機種において実用化に成功したことは、その意義が非常に大きい。SF₆ガスのユニークな性質をその他の送変電技術に適用することの研究は現在活発に行なわれているが、シヤ断器がその突破口となって、将来SF₆ガス時代を招来することも決して夢ではないような気がする。かかる晩には、電力系統技術は画期的な変ぼうを遂げることになるであろう。

5. む す び

当社において開発されたさん新な設計の大容量SF₆ガスシヤ断器が完成した機会に、現在急速に発展しつつある電力系統の短絡容量増大ならびにシヤ断容量増加の問題を振り返り時宜を得て登場したSF₆ガスシヤ断器が、新しい時代の要望に答える重要な技術革新を推進しつつあるゆえを述べた。

われわれはあらためて、新技術の開発の先導をされた先達の努力に敬意をあらうとともに、新しい技術を新しい時代により有効に生かすための努力を続けることをここに誓いたいと思う。

SF₆ ガスの絶縁破壊特性

新田 東平*・川根 清*・山田 直也*

Electrical Breakdown Characteristics of Sulphur Hexafluoride

Central Research Laboratory

Tōhei NITTA・Kiyoshi KAWANE・Naoya YAMADA

Sulphur hexafluoride (SF₆) has come in use widely as insulant for various kinds of high voltage apparatus. In the design of insulation of those apparatus provided with the gas, it is necessary to make thorough investigation on the breakdown characteristics of the gas so that the merits of it shall be made use of in the construction of the equipment. For this purpose experiments have been conducted on the sulphur hexafluoride to bring light to its characteristics. The results thus obtained being based on and information acquired from literatures on the subject being referred to, the major characters to be taken into consideration in the insulation design are described in this article.

1. ま え が き

SF₆ その他の強い電気的負性を示す気体は、高い絶縁耐力をもつばかりでなく、固体や液体の絶縁物に比べて、多くのすぐれた特性を有することから、まずシヤ断器への実用化が進んだが、さらに種々の高電圧機器の絶縁媒体としても広く使用されるようになってきている。

とくに最近、コンパクトで不燃性の要求される都心の変電所用機器、車両用電気品などのガス絶縁、超高压送電線路のガス絶縁などの実用化も、国内外で進められており、今後ますますその重要性が増すものと思われる。

従来、これらの高電圧機器の多くは、油と大気圧空気の組み合わせで絶縁されてきたが、これにかわってガス絶縁が用いられるためには、真にそのすぐれた点を生かし、欠点を補なうような、新しい方式の機器を構成しなければならない。

このためには、まずこれらのガス絶縁物の各種の特性を正確に掌握する必要がある、多方面にわたってこの努力がなされている。なかでも、とくに重要な絶縁破壊の特性については、古くから広範な研究がなされている。しかし電気的負性ガスの破壊特性は非常に複雑で、なお定量的な理論はもとより、実験的にも条件を正確に押えた、再現性あるデータを得ることは非常にむずかしい。

われわれは、SF₆ シヤ断器およびその他のガス絶縁機器の絶縁設計に必要な基礎データを得るために、おもに SF₆ ガスについて種々の実験を行ってきたが、この稿ではこれらの実験の結果および多くのすでに発表された文献の結果をもとにして SF₆ ガスに限ってその絶縁破壊の特性と、これに関連する実用上の問題点についてまとめた。

2. 平等に近い電界における破壊特性

2.1 商用周波交流電圧および直流電圧に対する特性

平等電界に対する破壊電圧は、絶縁材料の良否の最も一般的な目安となるもので、SF₆ ガスの場合、空気や窒素などの2.5~3倍の絶縁耐力をもち、約3気圧でほぼ絶縁油に匹敵する耐力を示す。しかし、この種の破壊電界強度の大きな気体の破壊特性は、電極表面の状態その他の影響を受けることが著しいので、得られたデータは実験者により、かなりのバラツキを示している。この傾向は、当然高気圧となるほど顕著となる。

図2.1は注意深く処理したステンレス製の105mmφの平行平

板電極を用いて求めた各ギャップ長の平等電界に対する商用周波交流破壊電圧(ピーク値)の気圧依存性の例である。この実験範囲では、破壊電圧がほぼギャップ長 l と気圧 P の積に比例またはやや飽和の傾向を示して変化していることがわかる。同じ図2.1に比較的厳密な実験から得られ、広く引用されているHoward⁽¹⁾のデータを破線で示しているが、われわれの得た値よりいくぶん近くなっている。

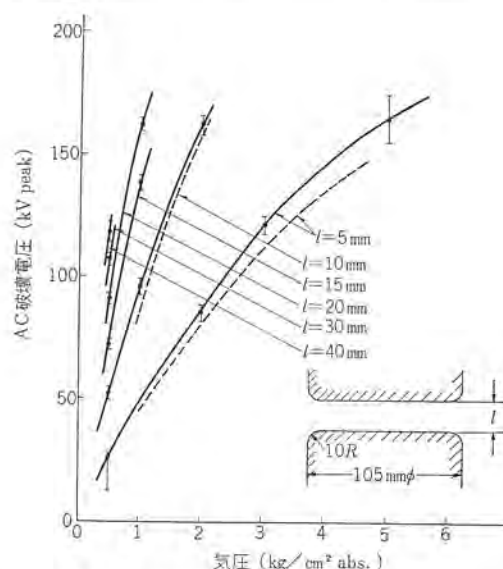


図2.1 平等電界におけるAC破壊電圧

Fig. 2.1 AC breakdown voltages in uniform field.

表2.1 ギャップ長1cm、気圧1atmあたりの破壊電圧の実験値の比較

実験者	破壊電圧 (kV peak)	測定条件
著者	92	$l=10\text{ mm}$ $P=1\text{ atm}$ のデータ
	80	$l=20\text{ mm}$ $P=1\text{ atm}$ のデータから換算
	81	$l=10\text{ mm}$ $P=2\text{ atm}$ *
Howard ⁽¹⁾	86	$l=10\text{ mm}$ $P=1\text{ atm}$ のデータ
	84	$l=15\text{ mm}$ $P=1\text{ atm}$ のデータから換算
	85	$l=10\text{ mm}$ $P=2\text{ atm}$ *
Wilson et al ⁽²⁾	80	$l=6.35\text{ mm}$ $P=1\text{ atm}$ *
Camilli et al ⁽³⁾	67	$l=6.35\text{ mm}$ $P=1\text{ atm}$ *
McCormick et al ⁽⁴⁾	61	$l=10\text{ mm}$ $P=813\text{ mmHg}$ *
Zalleski et al ⁽⁵⁾	60	$l=10\text{ mm}$ $P=2\text{ atm}$ *

(破壊電圧が $P \times l$ に比例するとして換算した)

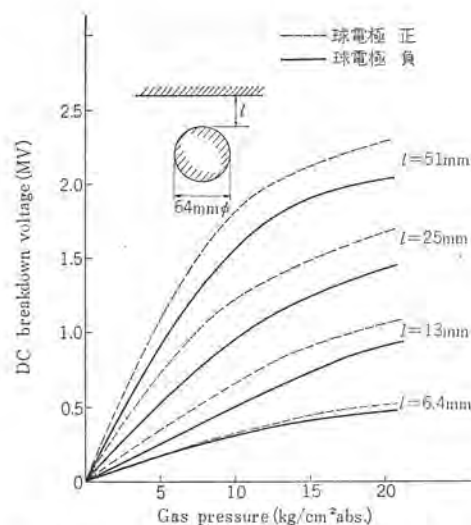


図 2.2 球—平板電極の直流破壊電圧
Fig. 2.2 DC breakdown voltages of sphere-plane electrode.

その他の文献に見られるデータの中には、これよりかなり近い電圧を与えているものもある。しかし、いずれもこの実験範囲では、破壊電圧は $P \times l$ にほぼ比例している。したがって、2, 3 の文献の $l=10$ mm, $P=1$ kg/cm² の条件に近いデータから破壊電圧と $P \times l$ の比例を仮定して、このケースの破壊電圧を比較してみると、表 2.1 のごとくなる。この表から、実験者によりその結果にかなりの差があることがわかる。

直流電圧に対する破壊電圧は、交流波高値に対する値とバラツキの範囲で一致する。

さらに高気圧で、ギャップ長もいくぶん大きい電極系についての実験データの例として、ほとんど平等電界に近い球対平板電極を用いた Philp⁽⁶⁾ の直流電圧による実験結果を図 2.2 に示した。ギャップ長が大きくなると電界の不平等性のために、正負の破壊電圧にかなりの差がみられるが、短ギャップではほとんど平等電界とみなしてよい。この実験での破壊電界強度は、1 気圧あたりで約 50 kV/cm 程度でかなり低い値となっている。

2.2 インパルス電圧に対する破壊特性

インパルス電圧に対する破壊特性を調べる実験では、直列抵抗が小さいため、高性能の側路回路を使用しても、なお破壊ごとに電極面が変化するので、とくに高気圧における実験では再現性のあるデータを得るにはかなりの困難がある。図 2.3 に Howard⁽¹⁾ によって $1 \times 50 \mu\text{s}$ の衝撃電圧を印加して求められたデータおよび、われわれが $0.2 \times 200 \mu\text{s}$ の電圧波形を印加して得たデータの一部を示した。

インパルス破壊電圧と AC 破壊電圧波高値の関係は、気圧、電極表面の状態、インパルス電圧の波形などの影響を受けるので非常に複雑である。SF₆ にかぎらず、一般に高圧気中において破壊電圧が電極表面の影響を受けて低下する場合、その破壊時間遅れが著しく大きくなる特長があり、このため、波尾長の短いインパルス電圧ではその低下の割合が小さく、インパルス比は気圧とともに増加する。

図 2.4 にギャップ長 2 mm の円板形電極（材質 グラファイト）について実験した、交流破壊電圧とインパルス破壊電圧（ $1 \times 40 \mu\text{s}$ ）の関係の気圧依存性の例を示した。電極表面のアウトツ（凹凸）は 0.5μ 以下で、かなりきれいに処理してあるが、ギャップ長が短いので気圧が増し破壊電界強度が大きくなると交流の破壊電圧のほ

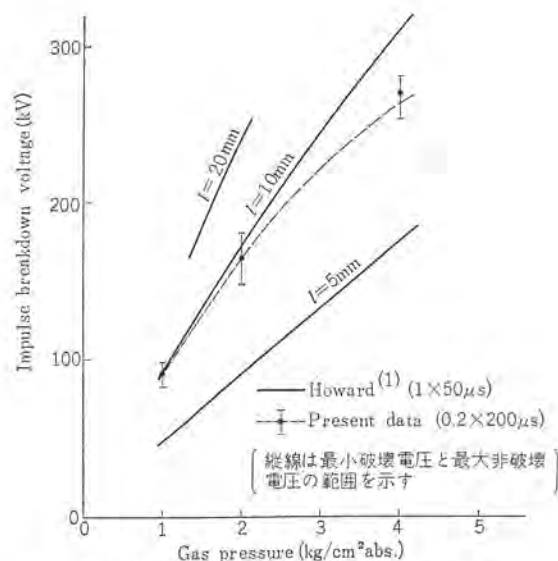


図 2.3 平等電界におけるインパルス破壊電圧
Fig. 2.3 Impulse breakdown voltages in uniform field.

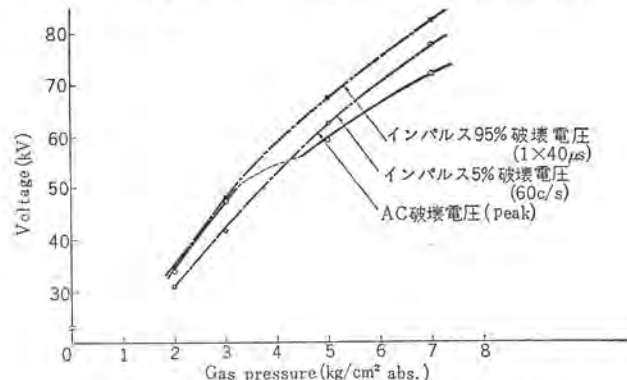


図 2.4 AC およびインパルス破壊電圧の気圧依存性
Fig. 2.4 Gas pressure dependence of AC and impulse breakdown voltages.

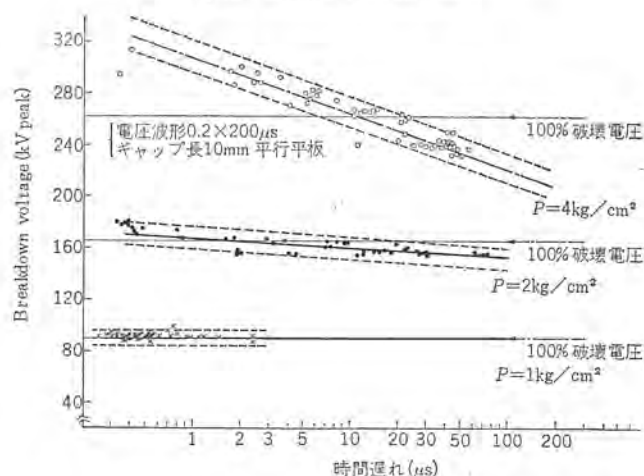


図 2.5 衝撃電圧破壊における電圧—時間特性の気圧依存性
Fig. 2.5 Pressure dependence of voltage-time characteristics.

うが早く飽和の傾向を示す。

表面の荒い電極ではインパルス電圧の波尾長が長くなると、その破壊電圧も波尾長とともに低下し、波尾長が数 100 μs では、むしろ AC 破壊電圧波高値以下となる。この特性は空気中における開閉サージ電圧破壊特性と類似である。

電極表面の影響によって破壊電圧が低下する場合、その時間遅れが大きくなることを示す例として、図 2.5 に 105 mm ϕ のステンレス製平行平板電極を用いたギャップ長 10 mm の平等電界に

0.2×200 μs の衝撃電圧を印加した場合の、破壊の電圧—時間特性の気圧依存性の例を示した。印加電圧の波尾長がかなり長いので、高気圧になると非常に大きな時間遅れが生ずるようになる。このことは 1 気圧においても 1% 程度のわずかな過電圧を印加すると秒単位の Laue Plot が得られるという Norbut らの結果⁽⁵⁾と合わせて考える必要がある。

上の電圧—時間特性で時間遅れが 0.5 μs 程度の電圧を取ると、その値は気圧、電極の表面状態に関係なく、 $P \times l$ に比例するのは興味がある。

3. 不平等電界における破壊特性

3.1 交流および直流電圧に対する破壊特性

実際のガス絶縁機器では電界は一般に不平等となるから、破壊特性の電界依存性を十分検討し、慎重に絶縁設計を行なわなければならない。

不平等電界における SF₆ ガスの絶縁破壊特性は非常に複雑で、その機構は現在のところ、ほとんど明らかにされていないといっている。実験データも、電界のはっきりしない針対平板電極あるいはこれに類する電極に対する結果^{(1-3), (10-15)} および同軸円筒電極に対する 2, 3 の結果^{(1), (16)} があるのみで、電界の不平等性の影響や、破壊電圧以下で発生する定常的なストリーマコロナの特性などは、ほとんど調べられていない。

われわれは、平行平板電極の接地側に半回転円筒体状の突起を付けた電極を用いて、破壊特性の電界依存性および、コロナの特性を調べた⁽²³⁾。この実験は現在継続中で、後日さらに詳しい結果を報告する予定であるが、ここでは主としてその破壊電圧特性について述べる。実験は図 3.1 に示す 4 種の突起電極について、ギャップ長を変えて、AC 破壊電圧を求めた。突起電極の高さ a はすべて 10 mm で、半径方向の軸長 b と a の比を γ で示し、各突起は $\gamma=1$, $\gamma=1/2$, $\gamma=1/4$, $\gamma=1/8$ に対応している。先に示した平等電界は、 $\gamma=\infty$ の特殊ケースとみなすことができ、この観点から図 2.1 と図 3.2 を比較すると興味

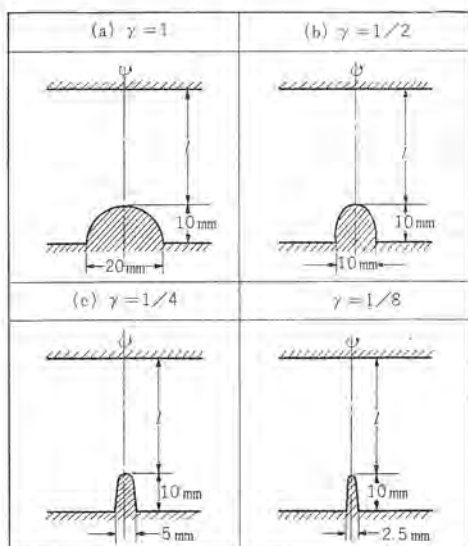


図 3.1 使用した突起電極
Fig. 3.1 Electrodes used in the non-uniform field experiments.

がある。これらの電極系に対する静電位分布その他については、先の報告⁽²⁴⁾を参照されたい。

図 3.2 に、これらの電極系の AC 破壊電圧の特性を示す。電界の不平等性が著しくなると、気圧の上昇とともに破壊電圧が低下する特異な特性があらわれる。(a) の $\gamma=1$ の電極では、短ギャップでは平等電界の特性と同じであるが、ギャップ長が増すと、とくに高気圧でかなり低い破壊電圧となる。(a), (b) の不平等性の少ない電極では、実験した気圧の範囲で破壊電圧は気圧とともに単調に上昇し、その破壊形式も平等電界と同一である。これらの電極では、破壊電圧が電極表面の影響を受けるので、かなりのバツキを示すのが特長である。このとき破壊は気圧によらず大部分負サイクル(突起側が負となるサイクル)でおこり、直流の突起側が負の破壊特性と一致する。直流正極性の破壊電圧はこの実験領域で負極のそれよりわずかに高い。

(c), (d) の電極では、破壊電圧よりかなり低い電圧でまず負サイクルコロナが発生し、さらにそれより少し高い電圧で正サイクルコロナが発生する。これらのコロナによる電荷のために、ある気圧範囲で気圧の上昇とともに破壊電圧が低下する特異な領域が現われる。この電極では、低気圧の領域を除く、大部分の気圧領域において正サイクルで破壊が生ずる。突起側が負のサイクルでは低電圧から発生するグロー状のコロナの Stabilization 効果により、破壊電圧は平等電界に対する値近くまで上昇する。一方、正サイクルではパルス状のストリーマコロナが発生する。この場合、比較的低気圧では、

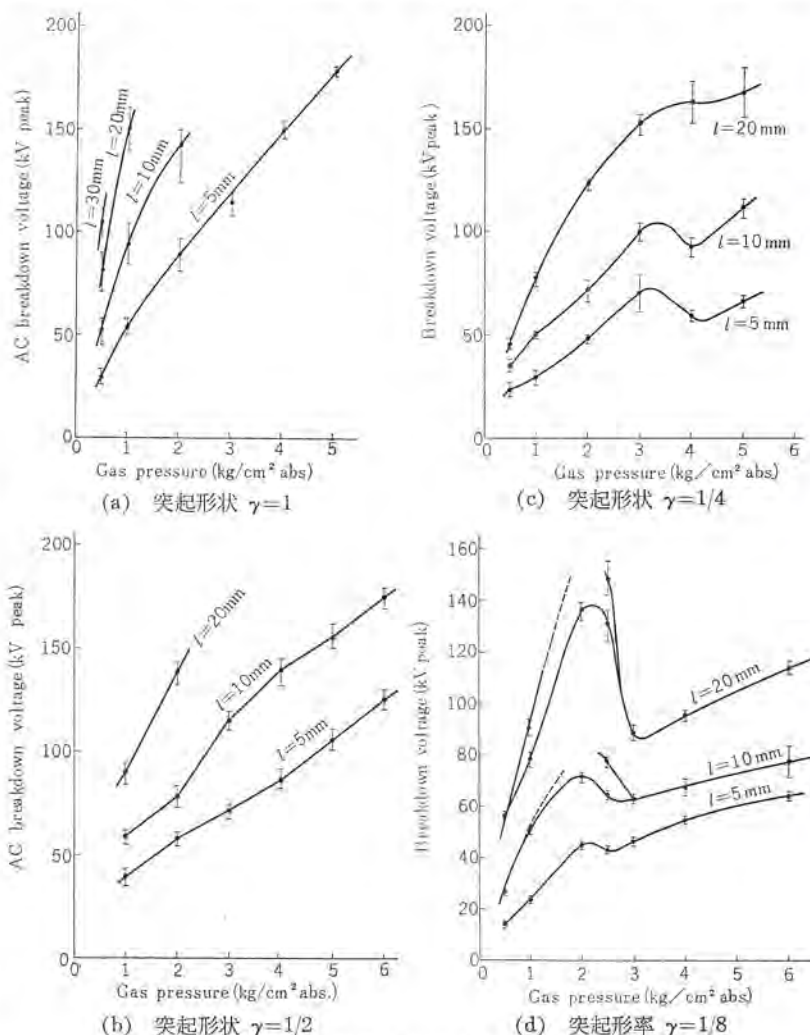
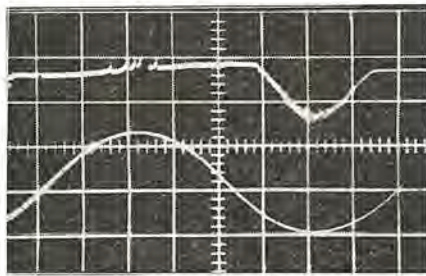


図 3.2 不平等電界における AC 破壊特性
Fig. 3.2 AC breakdown voltage in non-uniform field.



電極 $\gamma=1/\mu$, $l=2\text{ cm}$ $P=2\text{ kg/cm}^2$ abs
 上側：電流波形 $21.4\text{ }\mu\text{A/div}$
 下側：電圧波形 $67.2\text{ kV (peak) } 60\text{ c/s}$

図 3.3 正ストリーマコロナ(左)と負グローコロナ(右)の電流波形
 Fig. 3.3 Typical current waveforms of streamer corona (left) and negative glow corona (right).

やはり負と同様の Stabilization 効果が生じ、高い破壊電圧となるが気圧がある値に達すると、コロナ電流のパルス的な性質から、正ストリーマコロナの発生電圧がほとんど破壊電圧に等しくなる。

図 3.3 の写真は、正サイクルコロナの発生電圧付近における典型的な正負サイクルコロナの電流波形である。下側は印加電圧波形である。この写真からわかるように、電界の不平等性が著しい電極では、破壊電圧よりかなり低い電圧で大きい定常的コロナ放電を生ずるので、実用のガス絶縁機器の設計などに際しては十分注意する必要がある。

3.2 インパルス電圧に対する破壊特性

インパルス電圧を同じ電極系に印加すると、図 3.1 (a), (b) の電極では、AC の破壊電圧波高値よりかなり高い破壊電圧を示すが、この程度の中間の不平等性をもつ電極の破壊電圧が突起電極先端の影響を受けて非常にばらつく。(c), (d) の電極のように、不平等性の著しい場合には、突起側が負極性の破壊電圧は、DC とほぼ等しいが、突起側が正の場合、破壊電圧対圧力曲線の山の部分でインパルス破壊電圧が DC あるいは AC 波高値よりはるかに近くなり、インパルス比が 1 よりかなり小さくなる。Norbut ら⁽⁶⁾ は、これは SF_6 が中のコロナ発生の時間遅れが非常に大きいので Corona Stabilization に要する時間が $200\text{ }\mu\text{s}$ 程度以上必要であるためであることを示唆している。

この領域での破壊機構を調べるために Berg と Works は⁽¹¹⁾ 針対平板ギャップに直流バイアスをかけた場合のインパルス破壊特性を調べ、直流バイアスがコロナ発生電圧を越えると、破壊電圧が急激に上昇することを示した。

3.3 同軸円筒電極の破壊特性

絶縁破壊特性の電界依存性を調べる目的や、電気機器に類する電界が比較的多く用いられるという実用的目的から、同軸円筒電極配置の不平等電界に対して、種々の電圧を印加して破壊電圧を求める多くの実験がなされている。

Howard⁽¹⁾ は外側電極の半径 R を 15 mm の一定に保ち、内側電極の半径 r を変化させて $1\sim 4$ 気圧の範囲で、DC, AC およびインパルス電圧に対する破壊特性の変化を調べた。その結果次の諸点が明らかとなった。

- (a) R/r の値が 2.7 のとき破壊電圧が最大となる。
- (b) R/r が $2.5\sim 4$ の範囲で r による破壊電圧の変化は少ない
- (c) R/r が 11.5 程度で、コロナ放電による破壊電圧対気圧特性の特異性が現われる。
- (d) 直流破壊では R/r が小さいと、内側電極が正のときの破壊電圧が高いが、 R/r が増すと逆に負の破壊電圧のほうが高くなる。これらの特性は先に述べたわれわれの実験結果と比較してみる

と非常に興味がある。

Works⁽¹⁷⁾ や Trump⁽¹⁷⁾ は実用的な見地からさらに大きな同軸円筒電極に対して、多くのデータを取得している。しかし、ギャップ長その他の大きいこれらの実験の結果は上の Howard の結論と必ずしもすべての点では一致していない。

4. 沿面破壊の特性

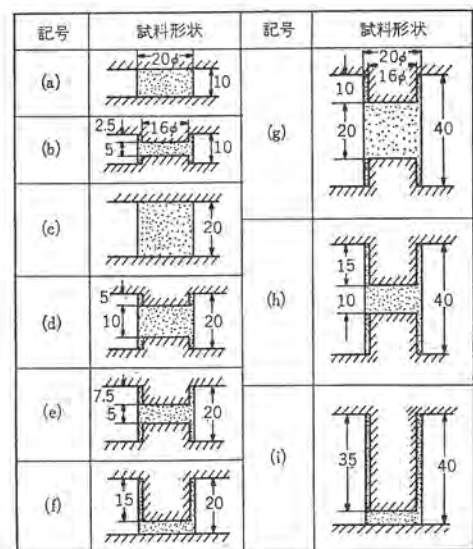
ガス絶縁機器では、支持物として電極間になんらかの形で固体絶縁物を用いるので、この表面での沿面破壊の特性がその機器の絶縁特性を決定することが多い。

しかし、多くの絶縁物では少数回沿面破壊を起こさせることにより放電トラックが生じ、その後の破壊電圧が著しく低下すること、電極と固体絶縁物との接触状況によって破壊電圧が非常にバラツクこと、などによって沿面破壊の実験はかなりむずかしい。このため、実験データは平等電界^{(1), (22), (24~26)}あるいは平等電界に近い同軸円筒電極^(23~31)および非常に不平等な電界の特殊な場合^{(1), (27), (28)}について 2, 3 の結果が得られているのみで、その一般的特性はほとんど明らかになっていない。

われわれは図 4.1 に示すような円筒形の試料を用いて固体絶縁物表面に種々の電界分布を実現し、AC 電圧を印加してその破壊特性の電界依存性を調べた。

図の試料 (a), (c) は表面の電界が平等な場合、他はすべて不平等電界の場合である。これらの試料に対する電位分布をデジタル計算機を用いて計算し、表面の電界強度の分布と破壊特性の関係について検討した。最も不平等性の著しい試料 (i) の場合、最大電界強度を与える点は接地側電極の近くにあつて、上側電極端の電界強度の約 37 倍に達する。試料 (b), (d), (e), (g), (h) では電界の集中部が電極端をはなれた点にあるのが特長である。

図 4.2 は各試料の破壊電圧—圧力特性である。試料 (a), (c) の平等電界の場合、低気圧では沿面の有無による破壊電圧の差はなく、実際破壊放電路もすべて沿面外の部分で生ずる。しかし、気圧の上昇とともに、破壊は沿面で起こりやすくなり、破壊電圧も低下する。この低下の割合は気圧の上昇とともに非常に大きくなる。この特性はおもに沿面絶縁物と電極との接触状況により左右され、比較的加工性の良い材料を用いて端面を精度よく加工し、



(単位mm)

図 4.1 沿面破壊実験のための試料
 Fig. 4.1 Test samples for surface flashover of various field distribution.

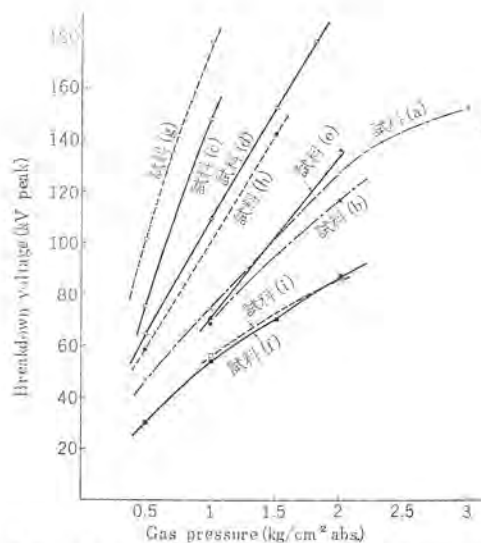


図 4.2 各種電界分布に対する AC 沿面破壊電圧の特性
Fig. 4.2 AC surface flashover voltages for various field distributions.

きれいな電極表面とスチ間もなく接触させれば、数気圧まで沿面の効果が現われなくすることができる。また (b), (d) などのように電界の集中部が電極端を離れた点にあるような試料ではこのような接触部の影響を受けにくく、比較的高気圧まで破壊電圧は気圧とともにあまり飽和せず上昇する。これらの特性は次の 5.1 節で述べる電極表面アラサの影響と比較してみる必要がある。

文献に見られる多くの 1 気圧における平等電界のデータでは⁽¹⁾ (34~39) 沿面をそう入することにより数%から 20% 程度の低下を示しているが、これも電極との接触面の影響によるものと思われる。

沿面の電界が不平等な試料については、ギャップ長その他の影響も多少受けるが、破壊電圧はほぼ最大の電界強度によってきまり、電界集中部が電極端にある場合と電極から離れた試料中央部にある場合との差はほとんどない。たとえば試料 (h) は (f) を 2 個突き合わせた形で上下対称であるから、これに (f) の 2 倍の電圧を印加すると、その上下半分の電界分布は (f) とまったく同じとなる。したがって (h) の破壊電圧も (f) の約 2 倍となっている。ただし高気圧では先に述べた理由により、(f) の方がいくぶん低目になっている。

試料 (i) と (f) で強電界となる接地電極端の電位分布はほとんど等しく (ギャップ長は (i) が (f) の 2 倍であるが、最大電界強度の平等電界に対する倍率も約 2 倍となっている) この二つの試料の破壊電圧はほとんど等しい。

しかし、試料 (b) および (d) のように沿面の電界強度の分布が比較的平坦な場合には、その破壊電圧はいくぶん高い値となっている。

試料 (f), (i) のように電界の不平等性の著しい場合にさらに気圧の高い点で 3 章に述べたような、破壊電圧-圧力曲線の特異性が現われるかどうかは興味があるが、固体絶縁物の絶縁耐力の点からこの実験では確かめることができなかった。

5. その他の特性

以上述べてきた SF_6 ガスの基本的な絶縁特性の他に、一般に電気機器を SF_6 で絶縁する場合に考慮すべき 2, 3 の特性について、簡単に列記する。

5.1 電極表面の影響

SF_6 ガスのように高い破壊電界強度をもつ電氣的負性気体の破壊電圧の絶縁破壊特性・新田・川根・山田

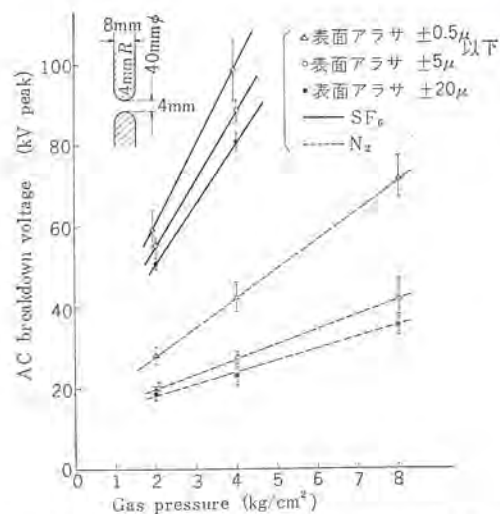


図 5.1 破壊電圧に及ぼす表面アラサの影響
Fig. 5.1 Effect of surface irregularities on breakdown voltage.

破壊電圧は実験者により大きなバラツキを生ずるが、この原因として、電極表面状態⁽³⁾⁽⁶⁾、予備放電その他電極の処理方法⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、試験容器の大きさ形状⁽³⁾⁽⁵⁾、電圧印加の方法⁽⁸⁾、照射の有無⁽¹⁾⁽⁷⁻⁹⁾などが考えられている。われわれの行った実験では、これらの内電極表面のアラサおよびその表面処理の方法が最も重要な原因であることが明らかとなった。

図 5.1 にギャップ長 4 mm の円板状電極 (材質 グラファイト) について、電極の表面アラサを変えてその破壊電圧の変化を調べた例を示す。表面アラサが増すに従い、破壊電圧が著しく低下する。この低下の度合その他の特性は、ギャップ長、気圧などにより変化する。この表面が荒いために生じた低い破壊電圧は、多数回 (そのときの表面状態、気圧などによって異なるが、たとえば数 10 回から数 100 回) の破壊を起こさせることにより徐々に上昇して、きれいな表面に対する値に近づく。また、この低い電圧で破壊が生ずるときの破壊時間遅れが非常に大きくなることはすでに述べた。

この電極表面の影響は SF_6 に特有なものではなく、空気や窒素においても、高気圧になると同様の効果が現われる。窒素についての同じ電極を用いた実験の結果を図 5.1 に破線で示した。これからみて、 SF_6 は窒素に比べてむしろ電極表面の影響を受けることが少ない。これらの特性は電極材料によっても影響を受ける。

電極表面のアウトツが $\pm 0.5 \mu$ 以下の鏡面に仕上げられて十分きれいな電極でも、特別な考慮を払わないと最初の数回の電圧印加の際には、かなり低い値で破壊することがあるので注意を要する。

Zalasskii⁽⁵⁾ は強いアークにさらされた電極間の破壊特性について実験し、破壊電圧が約 80% に低下することを述べている。

試験容器、器壁の効果および紫外線照射の効果は、われわれの実験精度の範囲で観測されないが、電極面積の大きさが破壊特性にいくぶん影響を及ぼす。

5.2 他の気体との混合気体の特性

SF_6 ガスに N_2 などの電氣的負性でない気体、あるいは空気のように電氣的負性の強くない気体を混合した場合、破壊電圧は各気体の分圧に対する破壊電圧の和にならない⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。たとえば図 5.2 は平等電界について SF_6 と N_2 の混合比に対する破壊電圧の変化を調べた Howard⁽¹⁾ のデータで、 SF_6 にかなり多量の N_2 が混入してもほとんどその破壊電圧は低下しないことがわかる。これは、この特性を積極的に利用することのほかにガス絶

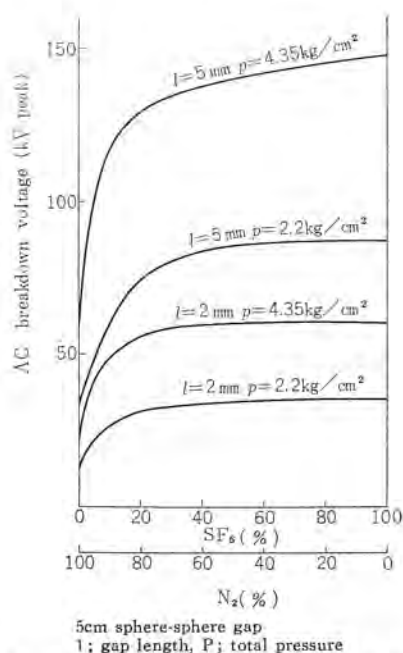


図 5.2 SF₆-N₂ 混合気体の AC 破壊特性

Fig. 5.2 AC breakdown characteristics of SF₆-N₂ mixture.

縁機器などに封入された SF₆ ガスに混入する不純物としての空気などの管理限界を定める上にも重要である。消弧特性についてもこれと同様な性質があるので、SF₆ 遮断器では 20% 程度の空気が混入しても、その性能にはほとんど影響しない。その他、不平等電界における混合気体の性質についても興味あるデータが得られている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³²⁾。

また、強い電気的負性を示す気体同志の混合気体の破壊特性についても 2, 3 の実験が行なわれている⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。Ahearn⁽²¹⁾ らによれば、ハロゲン化気体同志の混合気体の場合、破壊電圧が各気体の分圧に対する破壊電圧の和となる Ideal Mixture とそうならない Nonideal Mixture があり、比較的性質の似かよった気体同志を混合すると Ideal Mixture となる。Sharbaugh ら⁽²⁰⁾によれば SF₆ と FC-75 (C₈F₁₈O) の混合気体はほぼ Ideal な性質を示す。このような特性は、封入気圧を増して破壊電圧を上げ、かつ液化温度を低く保つことができる点で重要である。

5.3 不純物水分の影響

ガス絶縁機器中に封入された SF₆ ガスは、封入時には乾燥状態にあっても、内部の固体絶縁物その他から蒸発により、ある程度の水分が混入することはまぬがれない。したがって含有水分量と破壊特性の関係を知り、水分の混入がどの程度まで許容できるかを知ることが必要となる。このほかの水分の影響としては、低温時に混入水分が固体絶縁物の表面に凝結する場合も考えられるが、これについては次節で述べる。

気体状態の水分子は、ほとんど破壊特性に影響を及ぼさず、むしろ水分の増加とともに破壊電圧はいくぶん上昇する。一方沿面放電の場合には、水分量がかかなり多くなると、破壊電圧はいくぶん低下する。しかし、普通のガス絶縁機器では、活性アルミなどを封入しているので、この点の心配はまったくないといってよい。

5.4 低温における特性

高気圧の SF₆ ガスを封入した機器が低温にさらされると、気体の一部が液化したり、または不純物として含まれた水分が凝固し固体絶縁物表面に付着することが考えられる。このような状況で破壊特性がどのような影響を受けるかを検討しておく必要がある。

少量の水分を含む SF₆ ガスを冷却してゆくと、その封入圧力および含有水分量により、SF₆ と H₂O の蒸気圧曲線から

(a) 最初に SF₆ が液化する場合

(b) まず水分が液化する場合

(c) 水分が氷結する場合

が考えられる。われわれは平行平板電極間に円筒形の固体絶縁物をはさんだ平等電界の沿面破壊について調べた結果、(c) の場合には破壊特性にはほとんど影響を及ぼさないこと、および (a) の場合も SF₆ の液化による圧力の低下から予想されるほど破壊電圧は低下しないことが明らかとなった。最も問題となるのは (b) の水分が液化するときで、このときには状況によってはかなりの破壊電圧の低下の可能性があるためこの点を十分留意してガス絶縁機器の許容水分量を定める必要がある。ただし現在の SF₆ ガス遮断器の水分管理限界はこの許容値よりはるかに低いものである。むしろこの問題は高圧空気の充てん機器においてさらに重要であろう。

6. む す び

以上 SF₆ ガスを電気機器の絶縁媒体として使用するとき、十分検討しておかなければならないその絶縁破壊特性について、われわれが行なった実験の結果および文献に発表された結果をもとにしてまとめた。

SF₆ の絶縁破壊特性については、まだ不明の点が多く、その特長をよりよく生かした合理的なガス絶縁機器を構成するにはさらに広範な研究が必要で、このための努力が各所で払われている。今後、これらの研究によって、その特性が正確に掌握されるに従い、ガス絶縁はさらにその重要性を増すものと思われる。

参 考 文 献

- (1) P. R. Howard: Proc. of IEE 104, Pt. A, 123 (1957)
- (2) W. A. Wilson, J. H. Simmons, T. J. Brice: Jr. of App. Phys. 21, 203 (1950)
- (3) G. Camilli, J. J. Chapman: G. E. Rev. 51, 35 (1948)
- (4) N. R. McCormick, J. D. Craggs: Brit. Jr. of App. Phys. 5, 171 (1954)
- (5) A. M. Zaleskii, A. I. Poltev: Elektrichestvo 11, 57 (1963)
- (6) S. F. Philp: IEEE Tr. Paper. 63-27 (1963)
- (7) A. H. Sharbaugh, P. K. Watson: IEEE Tr. 84, 131 (1964)
- (8) P. Narbut, D. Berg, C. N. Works, T. W. Dakin: AIEE Tr. Paper 59-74.
- (9) E. Kuffel, M. J. Mulally, C. B. Cölbe: International Conference on Ionization Phenomena in Gases, 1, P-976 (1961)
- (10) C. N. Works, T. W. Dakin: AIEE Tr. 72, Pt I, 682 (1953)
- (11) D. Berg, C. N. Works: AIEE Tr. 77, Pt III, 820 (1958)
- (12) T. R. Foord: Proc. of IEE, 100, Pt I, 585 (1950)
- (13) G. Camilli, G. S. Gordon, R. E. Plump: AIEE Tr. 71, Pt III, 348 (1952)
- (14) G. Camilli, T. W. Liao, R. E. Plump: AIEE Tr. 74, Pt I, 637 (1955)
- (15) G. Camilli, J. J. Chapman: AIEE Tr. 66, Pt III, 1463 (1947)
- (16) J. G. Trump: Proc. of International Conference on Gas Discharge held at CERL, Leatherhead, (1962)
- (17) C. N. Works: Westinghouse Technical Report
- (18) T. Flack, M. Todd: Proc. of International Conference on Gas Discharge (Leatherhead, 1962)
- (19) E. H. Cohen: Proc. of IEE, 103, Pt A, 57 (1957)
- (20) A. H. Sharbaugh, P. K. Watson: IEEE Tr. 84, 131 (1964)
- (21) J. F. Ahearn, A. G. Larsson: 5th Electrical Insulation Conference P-16 (1963)
- (22) P. I. McNeill, D. J. Skipper: Proc. of International Conference on Gas Discharge (Leatherhead, 1962)
- (23) 新田, 川根, 山田, 原: 昭和 40 年電学連大 102
- (24) 新田, 川根, 山田, 原: "
- (25) 鳳, 河野, 宅間, 福原, 岳田: " 56
- (26) 加賀谷, 吉田, 西村: " 292
- (27) 池田, 岡本: " 59
- (28) 太田, 河合: " 291
- (29) 乗松, 永野, 池田: " 1200
- (30) 池田, 吉田, 渋谷, 位高: " 1201
- (31) 芳賀, 松尾, 梶本, 米山: " 1202
- (32) 佐藤, 最上: " 293
- (33) 新田, ほか: 昭和 39 年電学関西支部連大 2-31
- (34) 原, 新田, 川根, 山田: 「三菱電機技報」37, 875 (1963)

SF₆ ガス 中の 消 弧 現 象

伊藤利朗*・宮本紀男**・鎌谷章博**

Arc Quenching Phenomena in SF₆ Gas

Central Research Laboratory Toshio ITOH・Toshio MIYAMOTO・Akihiro KAMATANI

Dynamic behavior of arcs around current zero is of great importance for the quantitative understanding of the arc quenching phenomena in circuit breakers. With several SF₆ gas model circuit breakers in use, reliable information on the inherent arc time constant of the dynamic arc has been obtained from precise recordings of post arc and pre-current zero transients.

The review of the date shows that the electron affinity and the unique thermodynamical properties of the gas play an essential role in the arc quenching processes in SF₆ gas. On the basis of the experimental results, approach has been made to the theoretical confirmations of the arc quenching processes. The results will contribute to the design of new type SF₆ circuit breakers.

1. ま え が き

SF₆ ガスは古くからすぐれた絶縁性をもつガスとして知られていたが、消弧媒体としても卓越した特性を有することが発見され、ここ十数年来このガスをシャ断器に使用するため、いろいろな研究が行なわれてきた。とくにSF₆ ガス中におけるシャ断現象の定量的な掌握と、そのすぐれたシャ断性能の秘密の解明は、この新しい原理に基づいたシャ断器の開発の基礎をなす重要なことからであって、すでに多くの研究者によってSF₆ ガス中のシャ断現象の研究が行なわれているが⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾、まだ現象の核心はつかめていないようである。とくに、SF₆ 吹付形シャ断器のシャ断現象については、これまでほとんど研究されておらず、その現象はまったく不明であった。筆者らは主としてSF₆ ガス吹付形シャ断器におけるシャ断現象を取り上げ、これに関連する各種の実験的、理論的研究を続けてきた。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

この結果、SF₆ ガスシャ断器における決定的な消弧力が、SF₆ ガスの電子付着特性とこのガスの高温における特異な熱力学的特性によるものであることが明らかになった。SF₆ ガスの電子親和性はシャ断電流の波高値からその電流ゼロ点へ至るいわゆる消弧過程において顕著な電気伝導度の減少をもたらし、とくにアークの低電流領域においては負イオンの共鳴的発生を促進することなどが明らかになった。またSF₆ ガスが多原子分子であるため高温における解離反応は非常に複雑であること、このためSF₆ ガスの熱伝導特性を含む熱力学的特性は他の一般気体では例をみない特異な特性を呈することなどが判明した。SF₆ ガスに特有のこれらの現象のために、SF₆ ガス中では細いアークが低電流域まで維持されること、またアーク電流の減少とともにいわゆるアーク時定数は急激に減少すること、したがって、SF₆ シャ断器によれば電流サイ断のない理想的な大容量シャ断が行ないうることなどが明らかになった。またSF₆ ガス特有のこれら消弧力がシャ断器の消弧室形状あるいはガス流の過渡特性と密接な関係にあることなどが判明し、得られた研究成果は、最近開発された大容量SF₆ ガスシャ断器の設計に寄与している。

この稿ではSF₆ シャ断器における消弧現象についてその概要を説明しSF₆ ガスシャ断器が示すすぐれたシャ断性能に対して物理的な裏付けを与えることにする。

2. SF₆ ガス シャ断器におけるアークシャ断現象

一般にシャ断現象を定量的に取り扱う場合、重要なきめ手となるものは、アークがシャ断される電流ゼロ点近傍におけるアークの諸特性であって、アークの電流ゼロ点近傍における特性は種々のシャ断アークに個有的ものとされており、複雑な放電空間を支配する物理的法則性を見出す上で有力な手がかりを与えるものである。種々のシャ断アークの電流ゼロ点近傍を詳しく測定し解析することによって、シャ断アークにはそれぞれ個有的『慣性効果』のあることがわかっている。この『慣性効果』は、たとえば、放電空間の導電度変化の時定数に現われ、場合によっては、シャ断器が適用される回路条件によって、いわゆる『残留電流』と呼ばれる電流としてシャ断完了後にこれが認められる。⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾

これら放電空間の慣性効果を詳しく測定することによって、個々のシャ断アークを支配する主要な因子を見出し、シャ断現象を定量的に掌握することが可能となる。⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾

筆者らは、SF₆ ガス並切形、SF₆ ガス吹付形の両モデルシャ断器により、SF₆ ガス中のシャ断特性を測定し、とくにアークの電流ゼロ点近傍における諸特性については、電気的ならびに光学的測定を行なった。この結果、SF₆ アークに特有の現象がいくつか発見され、これらがSF₆ ガスシャ断器の消弧過程を特長づけていることが明らかになった。以下の節では、実験装置、回路ならびにSF₆ ガスシャ断器の消弧過程における特異現象について述べる。

2.1 シャ断現象実験用モデルならびに試験回路

図2.1, 2.2に、SF₆ ガスモデルシャ断器を示す。図2.1は並切形モデルシャ断器で、図2.2はSF₆ 吹付形モデルシャ断器である。ともに電極はAg-W接点付でストローク20mm、ガス圧力30kg/cm²まで試験できるようになっている。いずれのモデルも光学的な測定ができるように消弧室外筒はアクリル樹脂で作ってある。図2.1の並切シャ断点の可動電極はペローズによりシールされ、空気操作によりシャ断するようになっている。図2.2のSF₆ 吹付形モデルシャ断器は、貯気タンクにSF₆ ガスならびに各種の気体あるいはSF₆ と他のガスの混合気体を充填し空気操作により吹付弁を開き、貯気タンクの任意のガスを送気パイプを通して下流側の消弧室に吹き付ける構造になっている。シャ断器のノズルはアクリル樹脂性の透明ノズルならびに金属製のノズルを用い、透明

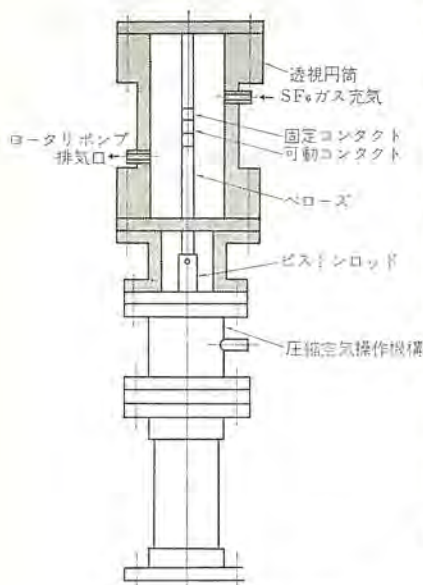


図 2.1 並切形モデルシヤ断器
Fig. 2.1 Plain break model interrupter.



図 2.2 SF₆ 吹付形シヤ断器モデル
Fig. 2.2 SF₆ gas blast type model interrupter.

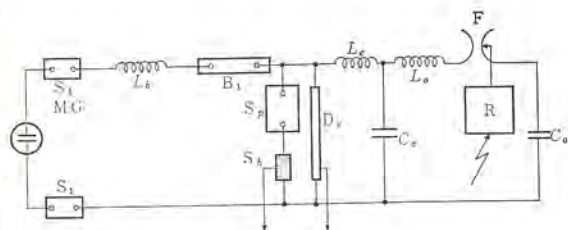


図 2.3 実験回路 Fig. 2.3 Test circuit.
S₁:投入スイッチ
B₁:補助スイッチ
M-G:直流発電機
L_b:高インダクタンスリアクトル
L_e, C_e:再起電圧調整用 C, L.

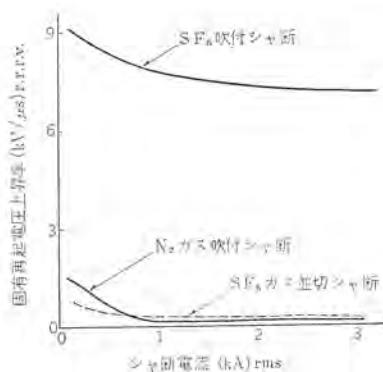


図 2.4 SF₆ 吹付形モデルシヤ断器のキロメートル故障シヤ断性能
Fig. 2.4 Current vs. r.r.v. interrupting limit of SF₆ gas blast model breaker.

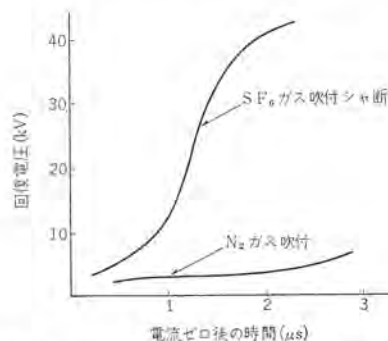


図 2.5 SF₆ ガス吹付形モデルシヤ断器の絶縁回復特性
Fig. 2.5 Recovery characteristics of SF₆ gas blast model breaker.

ノズルは主として吹付アーク挙動の光学測定のために用いた。電極は下流側のものを可動とし、流れが定常状態に達したのち、全開路距離まで開極され常時はパネの力により固定電極に接触している。なお、ノズル形状、ノズルと固定可動両電極の相対的位置は、個々に調整できるようになっている。

図 2.3 は実験回路である。M-G は普通の直流発電機であり、 L_0 はインダクタンスの大きいリアクトル (25mH) であって、投入スイッチの投入後、保護シヤ断器 B_1 および S_p を開極し直流電流のシヤ断を行なわせる。このシヤ断電流ゼロ点を検出し、そこでチャップ始動装置 F を無線操作で始動すれば、供試シヤ断点極間に L_0 , C_0 で決定される振動性の大電流が流れる。これは、一種の合成等価試験回路であるが⁽⁹⁾、直流電流は 100~120 A で単に所要の極間距離までアークを維持させるだけの役目を果すものである。 C_0 は 120 μ F まで、 L_0 は 60 mH までいろいろの値が用いられ、 C_0 の充電電圧は 5~30 kV、電流波高値は 0.3~5 kA、周波数 50~500 c/s で実験された。 C_e , L_e はそれぞれ再起電圧調整用のコンデンサ、リアクトルである。アーク電流、電圧は同軸分流器 S_h , CR 分圧器 D_v により測定したが、測定法の詳細はすでに報告されているもの⁽⁹⁾と同じであるので省略する。

このほか、SF₆ ガスと空気、あるいは SF₆ ガスとほかの電気的負性気体を貯気タンク内で混入し、ガスの組成とアーク現象の関係を調査したが、混合ガスの組成は質量分析計により定量分析し、ガスが拡散により十分混合したことを確認したのち実験を行った。また SF₆ アークの光学測定には流しカメラ (日立工機 S P-1) ならびに高速コマ取りカメラ (Beckman-Whitley 社製 DY NAFAX 326) を使用した。

2.2 SF₆ ガス中の消弧特性

SF₆ ガスを使用した実用シヤ断器はすでに数多く営業運転に入っており、⁽¹¹⁾⁽²⁷⁾ その消弧性能の優秀性は各国の代表的な試験機関によって行なわれた多数の実測結果が示すとおり⁽¹²⁾、他のシヤ断器の追従を許さない画期的なものであるが⁽¹³⁾、シヤ断現象の研究に関連して興味あることがらば、ガスの種類によるシヤ断性能の差異、あるいはガス混合によるシヤ断性能の変化などの基本的な消弧特性の究明である。以下 SF₆ ガス中の基本的な消弧特

性について、吹付形モデルシヤ断器による実験結果を述べる。

(a) キロメートル故障に対する特性

電力システムの増大と複雑化に伴いシヤ断器に要求されるシヤ断責務もますます過酷なものになってきている。ここで取り上げるキロメートル故障シヤ断責務は数ある責務のうちで最も過酷なものとされており、キロメートル故障シヤ断性能のすぐれたシヤ断器を開発することはシヤ断器技術者にとって共通の課題であった。キロメートル故障というのは、大容量系統に接続された架空送電線に短絡事故が発生し、しかもシヤ断器から故障点までの距離が数キロメートルという短距離のときに問題となるもので、この場合はシヤ断電流が大きいうえに高い再起電圧上昇率を伴うため、大容量シヤ断器にとってとくに問題となる故障である。

筆者らは複周波等価試験回路により、モデルシヤ断器のキロメートル故障シヤ断特性を測定した。図 2.4 は、シヤ断電流値とシヤ断限界の再起電圧初期上昇率の関係を示したもので、同一条件におい

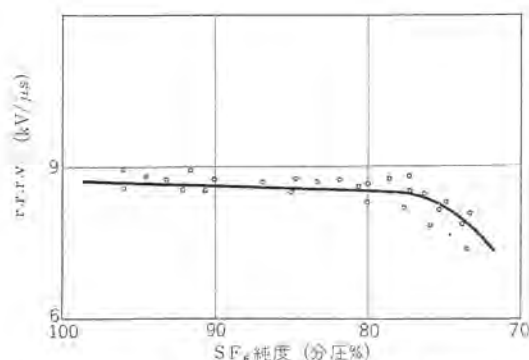


図 2.6 SF₆-空気混合ガスの 3 rV シュ断性能
Fig. 2.6 Effect of air admixture on the interrupting limit of r. r. r. v.

て N₂ ガス 吹付けを行なった場合の特性も比較のために示してある。図 2.4 の特性と関連して興味ある特性は、アークシュ断後の絶縁回復特性であって、図 2.5 に代表的な特性を N₂ 吹付けと比較して示す。図 2.4, 2.5 はともに SF₆ ガスのすぐれた消弧性能を裏付けるものであって、N₂ などの一般気体に比較して格段の差のあることがわかる。

(b) ガス 混合の効果

SF₆ ガス と N₂ ガス の混合気体の消弧特性は理論的にも実用上も興味あることがらである。図 2.6 は SF₆ ガス 中に徐々に N₂ ガスを混合したときの シュ断特性の変化を示したもので、キロメートル故障のシュ断限界をプロットしたものである。図 2.6 によれば、N₂ ガスの混合比 20 % までは シュ断性能はほとんど変化しないが 20 % を越えるとかなり急激に性能の低下することがわかる。この値 20 % は SF₆ ガスの 純度管理基準に対して一つのめやすを与えるものである。

以上述べたとおり SF₆ ガスの シュ断性能は非常に優秀なものであるが、このようにすぐれた特性が SF₆ ガスの いくつかの因子に関係するものかを明らかにするため、次に シュ断電流 ゼロ 点近傍の アーク 過渡現象について述べる。

2.3 SF₆ ガスシュ断器の消弧過程

(a) アーク 時定数

一般に シュ断器の消弧過程は、放電空間の電気導電度が減少しつづいては シュ断器極間の絶縁が回復する過程であると考えられる

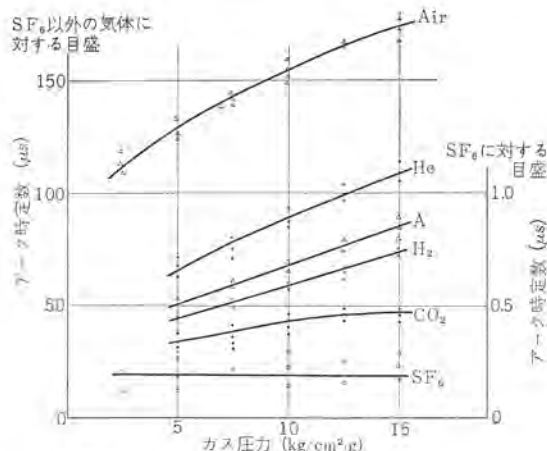


図 2.7 SF₆ を含む各種並切 アーク の時定数 対圧力特性
Fig. 2.7 Time constant vs pressure.

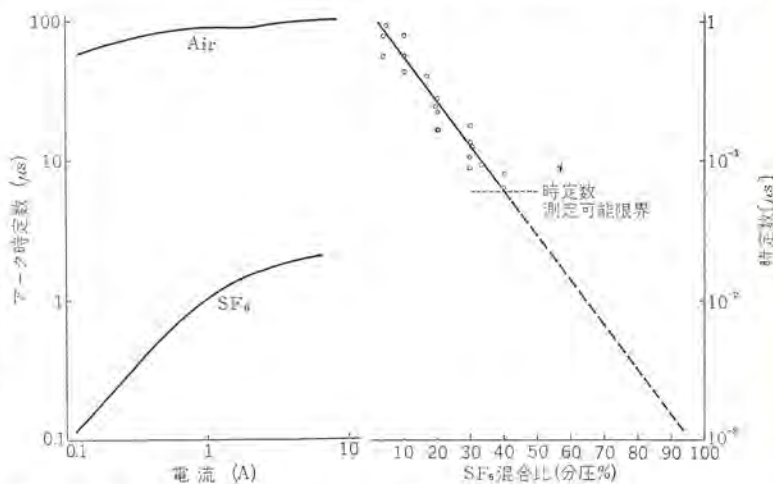


図 2.8 SF₆ ならびに空气中並切 アーク の時定数対電流 対電流レベル
Fig. 2.8 Arc time constant vs current level.

図 2.9 空気吹付アークの時定数と SF₆ 混合比の関係
Fig. 2.9 Air-blasted arc time constant vs the amount of SF₆ in air.

が、この電気導電度が変化する過程は普通指数関数的な減少特性を示し、この時定数はいわゆる アーク 時定数と呼ばれる。

アーク 時定数は種々の シュ断 アーク について固有の値を示し⁽²⁸⁾ 各 シュ断器における消弧速度のめやすを与えるものとされている⁽²⁹⁾。たとえば、大気中静止 アーク では約 100~150 μs の アーク 時定数が観測され、空気 シュ断器のように高速気流の吹き付けを行なった場合 アーク 時定数は 1 μs の オーダに減少する⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。シュ断性能が気流の吹き付けによって格段に向上することは、空気 シュ断器の例をひくまでもなく周知のことからであるが、時定数の変化が、性能の向上を明かに示している。このように アーク 時定数は消弧性能の重要なめやすを与える量であるため、古くから多くの研究者によって、この アーク 時定数の精密な測定が行なわれてきた。筆者らも種々の シュ断 アーク の時定数を測定してきたが、図 2.7 はその結果の一部であって、気流吹付けのない静止 SF₆ ガス 中の アーク 時定数を示したものである。図 2.7 によれば、静止 SF₆ ガス 中でもその アーク 時定数は著しく小さく、空気などに比較して 2 桁 以上のすぐれた性能を有することがうかがえる。空気吹付け アーク の場合、その時定数は電流 レベルによらずほぼ一定であるのに対し、SF₆ アーク の場合、その時定数は電流 レベルによって変化する。図 2.8 は SF₆ ならびに空気中静止 アーク の時定数と電流 レベルの関係を示したものであるが、SF₆ アーク の場合、その時定数は 0.1 A 以下の電流 レベル で非常に小さな値を示すことがわかる。図 2.7 に示した SF₆ アーク の時定数はこのような低電流 レベル における測定量であって、SF₆ ガス 中では低電流になってはじめて顕著な消弧性能が発揮されることを暗示している。

図 2.9 は吹付形 シュ断器 モデル の貯気 タンク 内に N₂ ガス と SF₆ ガス を既知の分圧%で一定気圧に混合し、これを吹き付けたときの アーク 時定数を求めたものであるが、N₂ ガス 中の SF₆ ガス 混合比が 45~50 % のとき、アーク 時定数は現有測定器では測定不可能な小さな値にまで減少することがわかる。

図 2.10 は SF₆ ガスシュ断器におけるアークコンダクタンスの変化をプロットしたもので、電流 ゼロ 点のごく近傍で急激なコンダクタンスの変化が認められる。図 2.10 には、比較のため、同一条件のもとで測定した空気 シュ断器の特性もプロットしてあるが、SF₆ ガス と空気の差は明瞭である。図 2.9, 2.10 の時定数、あるいはコ

ンダクタンスの変化はいずれも 0.1 A 以下の電流レベルで測定または確認されたもので、SF₆ ガス中では、低電流領域になって、決定的な消弧力が作用することを示すものである。

(b) SF₆ ガスシヤ断の消弧過程における特異現象^{(21), (22)}

(a) で取り上げた アーク 時定数はシヤ断電流ゼロ点ごく近傍の アークコンダクタンスの変化から求めたものであるが、アーク電圧ならび

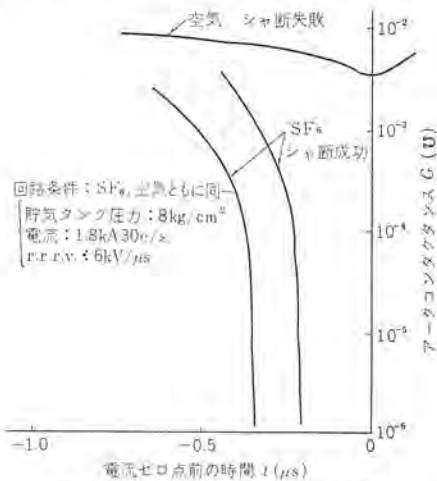


図 2.10 電流ゼロ点近傍におけるアークコンダクティビティの変化 (同一回路条件において)
Fig. 2.10 Variation of arc conductivity near current zero.

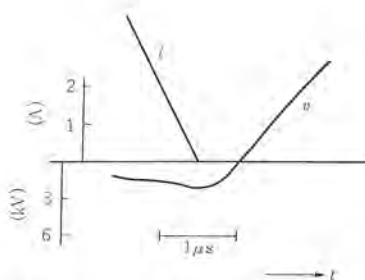


図 2.11 SF₆ 吹付アークの電流ゼロ点近傍の電圧電流波形 (シヤ断に成功した場合)
Fig. 2.11 Record of near current zero of SF₆ gas blasted arc.

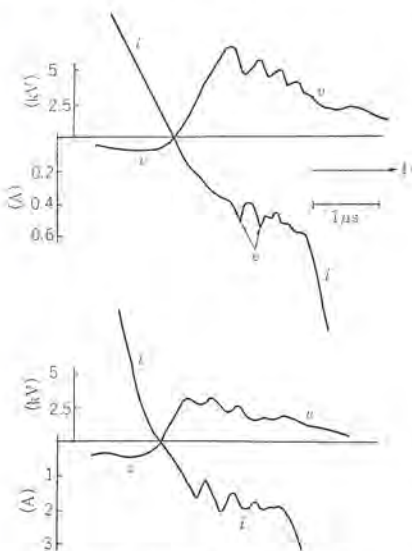


図 2.13 SF₆ 吹付アークの典型的なアーク振動波形
Fig. 2.13 Typical records of arc oscillation observed at near current zero of SF₆ gas blasted arc.

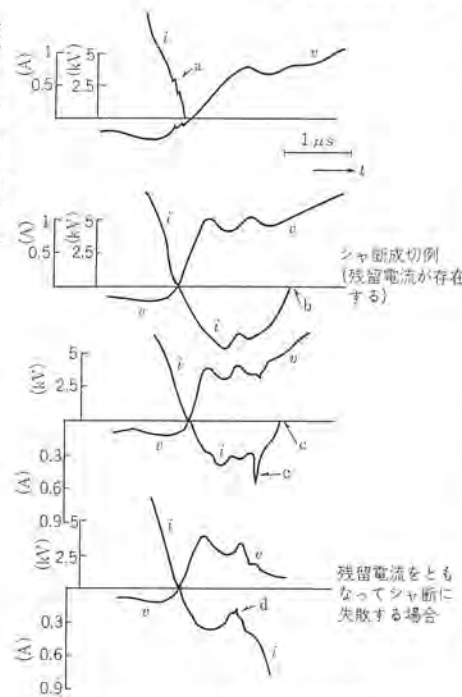


図 2.12 SF₆ 吹付アークの電流ゼロ点近傍における波形
Fig. 2.12 Record of near current zero of SF₆ gas blasted arc.

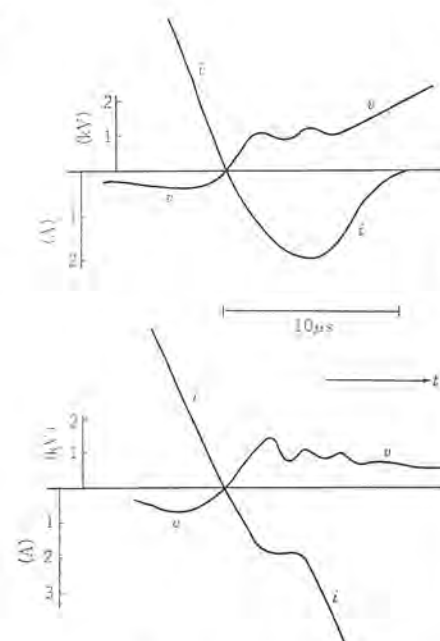


図 2.14 空気吹付アークの電流ゼロ点近傍の電圧、電流波形
Fig. 2.14 Records of near current zero of air blasted arc.

に電流の過渡的な変化を電流ゼロ点前後のかなり広い範囲にわたって観測すると、SF₆ アークに特有の興味ある現象をとらえることができる。図 2.11~2.14 は、SF₆ 吹付アークの代表的な電流ゼロ点近傍のオシログラムであって、V はアーク電圧、i はアーク電流の変化を示している。図 2.11 は SF₆ 吹付アークのシヤ断成功例であり、図 2.12 は、図 2.11 の状態から、徐々に回路過酷度を上げていくときに認められる残留電流波形ならびに残留電流を伴ってシヤ断に失敗するときに認められる電圧、電流波形である。

図 2.13 は電流のゼロ点通過後に現われる一種のアーク振動波形

である。図 2.14 には空気吹付アークの電圧、電流波形を比較のために示してあるが、これらと SF₆ 吹付アークの一連の波形を比較してみると、SF₆ 吹付アークでは、電流レベルの低いところで、空気吹付アークには見られない電流波形の急変点が認められる。一連のオシログラムで a~e の矢印を施した個所が上述の急変現象の発生している点であって、シヤ断に成功する場合の SF₆ 吹付アークの電流の終端には、必ずこの急変点が認められる。一方 (a) の項で測定した時定数も、シヤ断成功時における電流波形の終端で測定された量であるため、SF₆ アークの場合、その時定数は SF₆ ガス中のアークにしか認められない電流の急変現象となんらかの関係があるものと考えられる。電流波形の急変現象は、さきに a~e で示したように、電流の終端のみならず、波形の途中にも現われるが、それらが認められる範囲はほとんど例外なく、0.5~0.7 A 以

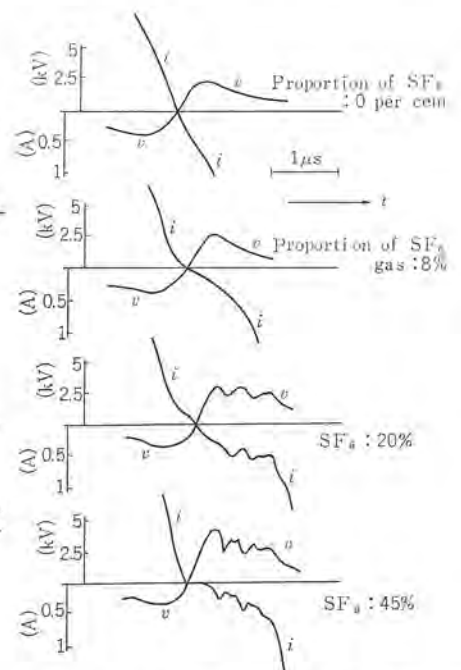


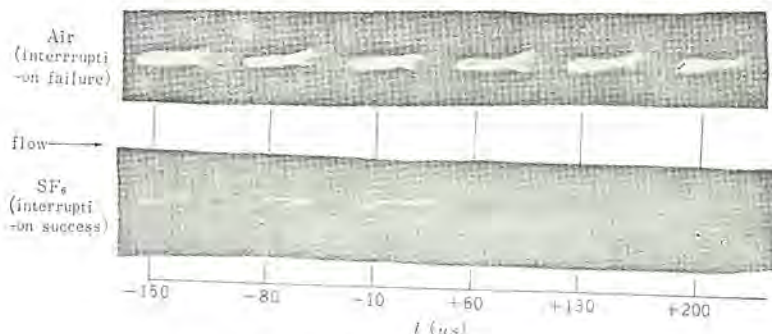
図 2.15 空気中に SF₆ ガスを混合していくときの電流ゼロ点近傍における波形の変化
Fig. 2.15 Effect of SF₆ gas admixture on the near current zero transients of air blasted arc.



Camera : 日立工機製植村式 SP-1
対物レンズ : F 3.5, $f=200$ mm
鏡 径 比 : F 14 等価
スリット幅 : 0.3 mm (60 c/s 300 A arc)

図 2.16 ノズル 最小断面における SF_6 吹付 アーク 直径および輝度の変化
(縮尺比 1:1×0.125)

Fig. 2.16 Streak photograph of SF_6 blasted arc. Near current zero variation of arc diameter & intensity at the minimum sectional area of the nozzle.



アーク : 300 A, 60 c/s
とも : コマ間隔 70 μs
露 出 : 2 μs/Frame
コマ速度 : 26,000 コマ/sec
電 極 : Ag-W
現 像 : 増感 ASA 800

図 2.17 SF_6 ならびに空気吹付アークの電気ゼロ点近傍における高速コマ取り写真の一例

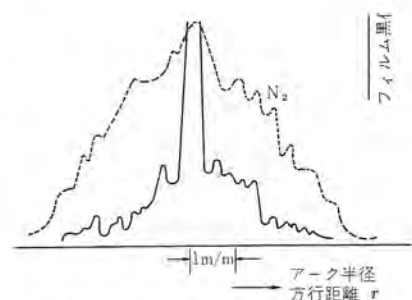
Fig. 2.17 Farming pictures of SF_6 and air blasted arcs. (under the same circuit condition)

下電流レベルに限られている。同様な現象は、すでに静止 SF_6 ガス中のアークについても認められており⁽¹⁴⁾、かかる特異な現象はシャ断方式のいかんを問わず、ガス自身の個有な特性に起因しているようである。試みに SF_6 ガスをまったく含まない空気吹付アークに徐々に SF_6 を混合していくときの電圧、電流波形を測定してみると、図 2.15 のようになる。 SF_6 ガスの混合比が 40 % 程度でかなりはっきりした di/dt の不連続波形が求められる。これなどは明らかに SF_6 ガス 個有の特性の影響によるものであって、 SF_6 ガスを使ったシャ断器ではその消弧方式のいかんを問わず、低電流レベルで起こるかかる特異な現象が小さなアーク時定数とともに、消弧過程のつかを握っているものと思われる。

(c) SF_6 ガス 気流中 アーク 姿態の特異性⁽²³⁾

SF_6 ガス 中電力アークの姿態についてはすでに報告したとおり、並切アークについて詳しい観測を行なっているが^{(15), (16)}、気流中アークについては今までほとんど研究されていない。筆者らは、流しカメラならびにコマ取りカメラによって SF_6 吹付アークの電流ゼロ点近傍における挙動を観測した。図 2.16 は電流ゼロ点近傍における SF_6 吹付アーク姿態を流しカメラで撮影したもので、図 2.16 はカメラのスリットをアーク軸に対して直角方向におき、ノズル最小断面部におけるアーク半径ならびに輝度の変化を撮影したものである。図 2.16 から明らかなように、 SF_6 ガス 中ではアークは細くかつ低い電流レベルまで高輝度のまま保たれるが、1 A 以下 0.5 A 程度の電流レベルでアークの輝度は急激に減少する。図 2.17 は SF_6 アークのコマ取り写真を空気吹付アークと比較して

SF_6 ガス 中の消弧現象・伊藤・宮本・鎌谷



測定条件 : アーク : SF_6 吹付アーク 300 A 60 c/s
電流ゼロ点前 60 μs
電極 Ag-W
フィルム ASA 200
増感 : ASA 800
1 コマ/2 μs
ノズル最小断面で測定

図 2.18 SF_6 アーク 半径方向輝度分布
Fig. 2.18 Microphotometric trace of SF_6 arc.

示したものであるが、輝度の高い、細いアークが低い電流レベルまで維持され、その輝度が急速に消滅するようすが明瞭に認められる。図 2.17 において、アークの半径方向の輝度分布をマイクロホメータにより測定すると図 2.18 のようになる。細くかつ高輝度のアークの存在がよりいっそうはっきり示されている。

2.4 SF_6 ガス中の消弧反応^{(17), (18), (19)}

SF_6 ガスのような電氣的負性気体では、自由電子を捕獲して負イオンを作る、いわゆる電子付着特性がある。この特性は SF_6 ガスのアークによる解離再結合反応などを含めた、いわゆる消弧反応と関係があり、消弧反応はさきに述べたアークの電氣的過渡特性とも密接な関係にある。 SF_6 ガス中の消弧反応を明らかにする目的で、高速反応追跡用の分析計を開発し、アークシヤ断過程における SF_6 ガスの組成変化を追跡した。^{(3), (18), (19), (21)}

図 2.19 は 1~3 kA のアークの波高値付近で認められる負イオンを示したものであって、 F^- 、 SF_6^- が多量発生している。図 2.20 は電流ゼロ点近傍で認められる負イオンを示したもので、 F_2^- イオンが電流ゼロ点において共鳴的に発生するようすがはっきり示されている。

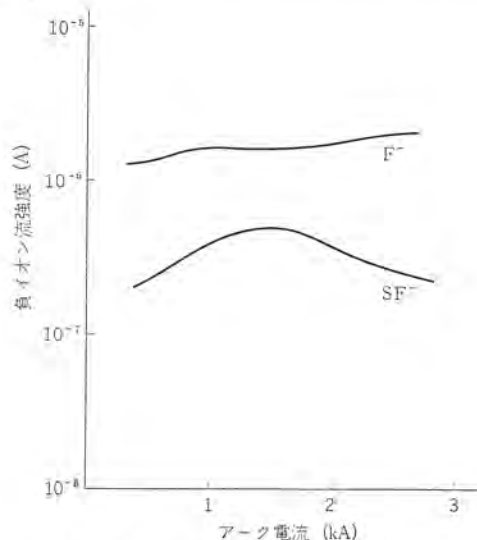


図 2.19 大電流アーク発生中に認められる負イオン対電流特性

Fig. 2.19 Negative ions in high current SF_6 arc vs arc current.

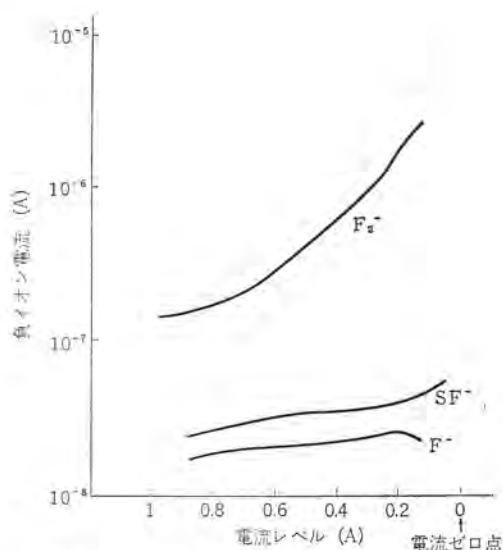


図 2.20 電流ゼロ付近の負イオンの強度変化
Fig. 2.20 Negative ions identified at the extremely low current level of 1 kA 35 c/s arc.

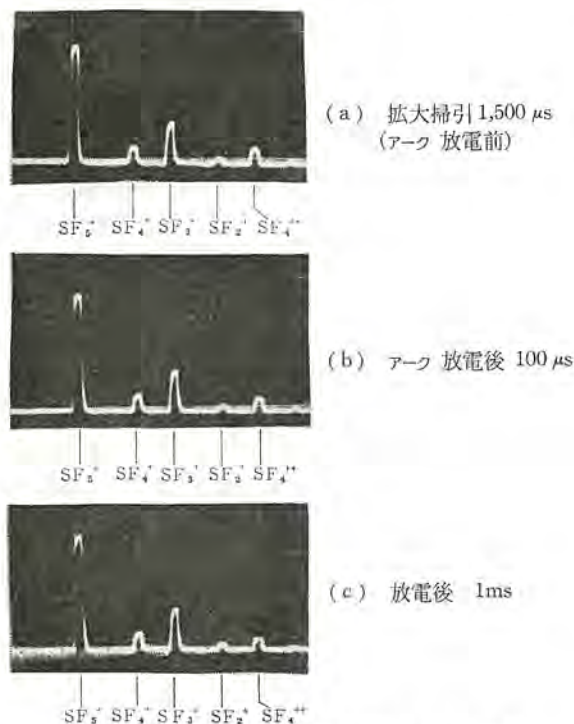


図 2.21 アークシャ断直後の SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ 各ピーク変化
Fig. 2.21 Variation of SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ peaks immediately after the arc discharge of 1.5. (kWs/cc)

以上は SF_6 アーク中で認められる負イオンについて述べたものであるが、 SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ などの正イオンあるいは分子状中間生成物はアーク消滅後少なくとも 10^{-4}sec 以内には再結合を完了していることが判明している。図 2.21 はアーク消滅直後の SF_6 ガスの質量スペクトル写真を示したもので、 10^{-4}sec のちにはほぼ完全に再結合を完了していることがわかる。

SF_6 ガス中の消弧反応における特長的事象がら、電流零点直前の共鳴的な負イオンの発生と、その直後の急速な再結合であって、 SF_6 アークの特異な電気的あるいは光学的過渡特性を解く手が握っているものと思われる。

3. SF_6 ガス中の消弧現象に関する理論的考察

前章では SF_6 アークの電気的あるいは光学的に観測される過渡特性と SF_6 ガス中の消弧反応について述べたが、 SF_6 ガスに特有の現象がいずれもアークの低電流領域で、しかも相互に同期して発生していることは特筆すべきことである。以下この章では、高温における SF_6 ガスの熱力学的特性の計算結果をもとに、前章で述べたいくつかの特異現象に物理的な説明を試み、最後にそれらを総合して SF_6 ガスがすぐれたシャ断性能を発揮できるゆえんを明らかにする。

3.1 SF_6 ガスの高温における熱力学的特性

一般にアーク空間の熱力学的特性を詳細に知ることは、シャ断現象の理論的考察を行なう場合、非常に重要であるが、 SF_6 ガスは多原子分子気体であるため高温における解離反応は著しく複雑なものであって、質量分析あるいは分光学的な測定によってもその全体を完全に掌握することははなはだ困難である。しかしながら、現在までに得られている質量分析のデータをもとに、すべての解離反応が熱平衡にあると仮定して統計力学的な手法を適用することにより SF_6 ガスの高温における熱力学的な特性を求めることができる⁽³⁰⁾。

図 3.1 は SF_6 ガスの高温における気体組成を SF_6 を 1.0 として計算したものであるが、 SF_6 ガスの解離反応が $2,000\sim 2,500^\circ\text{K}$ 程度の比較的低い温度で急激に進行すること、 $4,000^\circ\text{K}$ 以上の高温ではアーク空間はほとんど F と S の単原子状態にあることがわかる。図 3.2 は SF_6 ガスの高温における比熱対温度特性であって、ガスの解離反応のために $2,000^\circ\text{K}$ 付近で著しい比熱の増加、したがって熱伝導率の増加が認められる。図 3.2 には比較のために空気の比熱も示してあるが、 SF_6 ガスの場合、空気に比較して最高 2 ケタ以上の著しい比熱の増加が比較的低い温度で認められる。

ここで取り扱っている温度範囲では一般にガスの比熱 C_p と熱伝導度 K との間に

$$C_p/K \cong \text{一定} \dots \dots \dots (3.1)$$

なる関係が成立するところから C_p の増加する温度で K も増加することが導かれる。

一方、高温における SF_6 ガスの電気伝導度 σ を計算した結果、図 3.3 のような特性が得られた。 SF_6 ガスの場合、 σ と温度 T の関係は分子の電子親和性の影響を強く受け、 σ が急激に増加する温度は高温側へ移動する。つまり、 SF_6 中では K が急激に増加する温度と σ の増加しはじめる温度とがずれることになる。したがって、 SF_6 アークの場合、電気伝導度の大きいアーク中核部では K が小さく、中核部をとりまく低温、低コンダクタンスのいわゆる外炎と呼ばれる空間では K が大幅に増加する。いまアーク中核部から、それを取り巻く回りの空間へ逃げる熱流を Γ とすると、

$$\Gamma = -K \text{grad } T \dots \dots \dots (3.2)$$

なる関係が成立する。定性的な考察の便宜のため、半径方向に一次元的な広がりをもつアーク空間を考えると、

$$\Gamma = -K \frac{dT}{dr} \dots \dots \dots (3.2)$$

と表わされる。ここに dT/dr はアーク半径方向の温度勾配である。 Γ はいまここで考察の対象にしている温度範囲ではほぼ一定であると考えられるので、式 (3.2) から dT/dr を求めると、 dT/dr が K に逆比例することがわかる。 SF_6 アークの場合、5,000

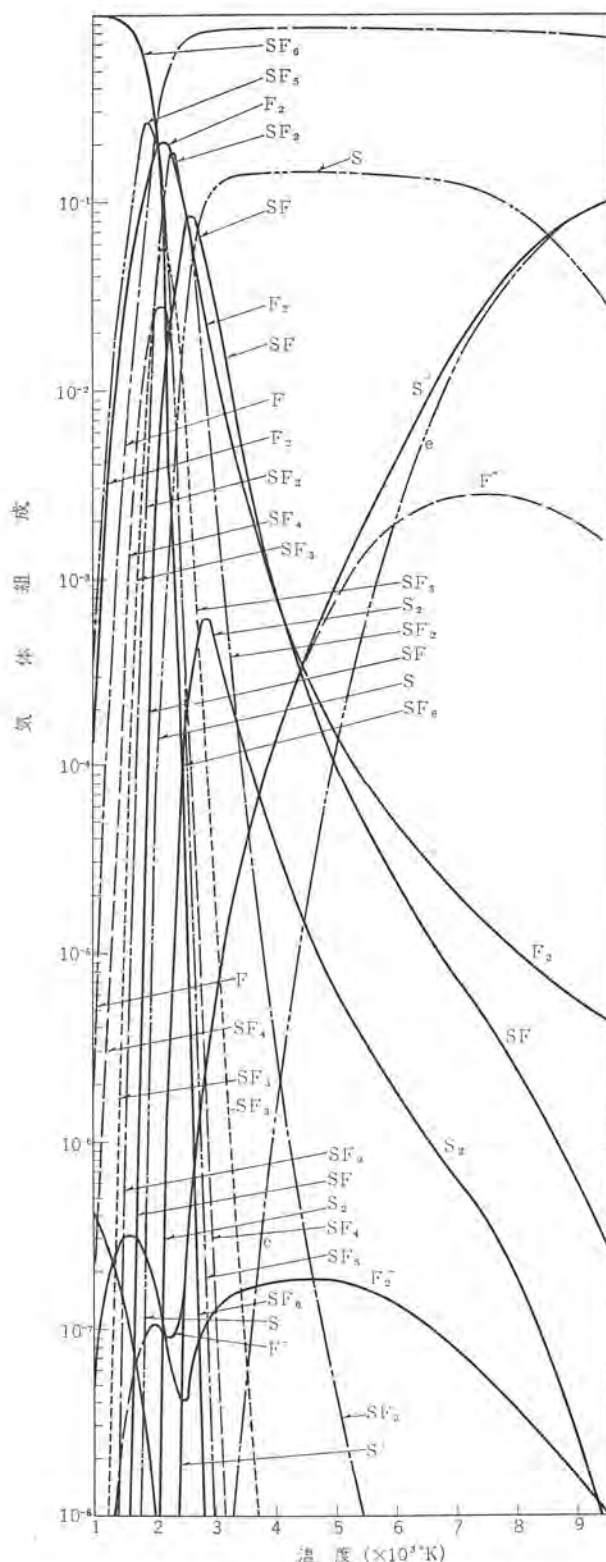


図 3.1 SF₆ ガスの高温における気体組成
Fig. 3.1 Gas composition of temperature SF₆ gas.

*K 以上の高温ではじめて電気伝導度が現われるため、アーチ電流はすべて高温の中核部を流れることになるが、高温の中核部では K が小さいために dT/dr は大きく、それより外側の 2,000°K 程度の外炎では K が大きいために dT/dr が著しく小さくなる。以上述べたとおり、 SF_6 ガス 中では電流通路が中核部に集中し中核部ですでに dT/dr が大きいことから細くかつ輝度の高いアーチが維持される特性が説明できる。これに対し、空気中アーチでは、 σ が増加しはじめる温度と K が増加する温度とがほぼ一致する

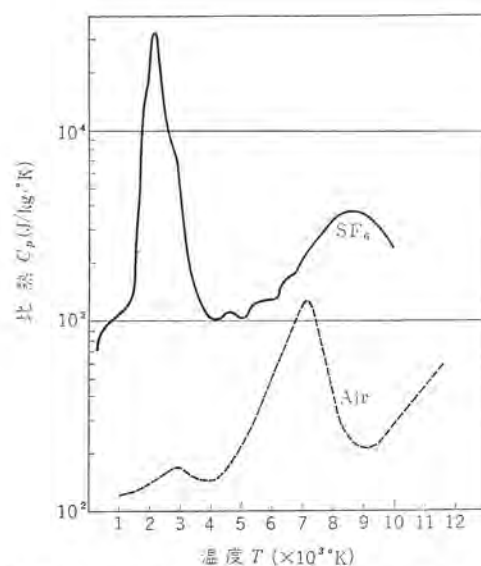
SF₆ ガス 中の消弧現象・伊藤・宮本・鎌谷

図 3.2 SF₆ ならびに空気の高温における比熱対温度特性
Fig. 3.2 Specific heat vs temperature of SF₆ and air.

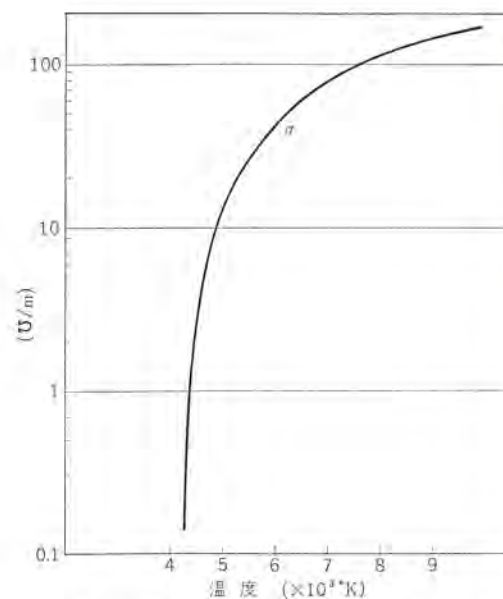


図 3.3 SF₆ ガスの高温における電気伝導度
および温度特性
Fig. 3.3 Electrical conductivity vs temperature of
SF₆ gas.

ため、 dT/dr は アーク 中核部、外炎部ともほぼ等しい値になり、アーク 空間は広がり、アーク 断面積は大きくなる。次に SF_6 アークの温度分布、断面積について少しく定量的に述べる。

3.2 SF₆ アークの断面積

SF_6 アーチが細く輝度の高い中核部と低温の外炎とでなりたっていることは、上に定性的に述べたとおりであるが、ここではアーチ断面積と温度分布に関して少しく定量的な考察を試みる。

いま アーク 空間が熱平衡にあると仮定して、軸対象な アーク を考えると、定常熱伝導方程式として、いわゆる Elenbaas-Heller の式を得る。この式は、 σ , K を電気ならびに熱伝導度とすると、

$$\sigma E^2 = S(T) - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot r \cdot K \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \quad (3.3)$$

で与えられる。 r はアーク半径方向距離, T は温度, $S(T)$ はフック射損失, E はアーク軸方向電位傾度である。電流ゼロ点近傍のアークを対象とすると $S(T)$ は省略でき, K として、図3.2の C_0

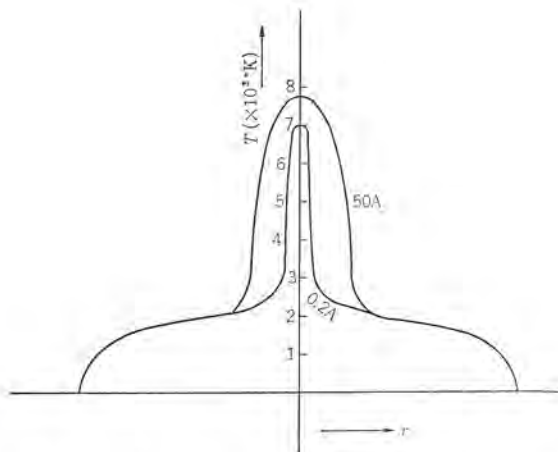


図 3.4 SF₆ アーク半径方向の温度分布
Fig. 3.4 Radial temperature distribution of SF₆ arc.

から計算される特性、 σ には図 3.3 の特性を代入すると、熱平衡にある SF₆ アークの温度分布が得られる。図 3.4 は電子計算機により計算された SF₆ アークの温度分布を電流値をパラメータとしてプロットしたもので、いずれの分布においても高温の中核部が存在し中核部で dT/dr が大きいこと、また電流の小さいところで、中核部は収縮をうけつつもやはり存在していることがわかる。これらは SF₆ 吹付アークの光学測定の結果とよく符合し、SF₆ ガス中では細くかつ輝度の高いアークが維持され、これが低電流レベルで急激に収縮することなどが理論的に裏付けられる。

3.3 SF₆ アークの時定数

Frind によれば、^{(28), (29)} 一般にアーク時定数 θ は、

$$\theta = K\pi r_0^2 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

で表わされ、アーク断面積と比例関係にあることが確かめられている。 r_0 はアーク半径、 K は比例定数である。3.2 節では SF₆ アークの断面積について計算したが、空气中アークについても同様な計算を行ない、SF₆ アークと比較してみると図 3.5 のようになる。空气中アークの場合、その断面積は SF₆ アークに比較して大きく電流ゼロ点近傍ではほぼ一定であるのに対し、SF₆ アークでは 1A 以下の電流値で急激に断面積が縮小することがわかる。空气中アークの断面積が大きいことは、図 2.17 の写真撮影結果とも合致し、SF₆ と空气中アークの時定数に 2 けた以上の差のあること、空气中アークでは時定数が電流レベルによらずほぼ一定であることがうなずける。

以上一連の考察で明らかなように、電流の変化に追従して常にアーク空間の熱平衡が保たれているとすると SF₆ ガス中でアーク時定数は電流レベルとともに変化することになり、とくに低電流領域でその時定数が急激に減少することがわかる。図 2.16 の写真撮影では、1A 以下の電流で一見アーク中核部が消滅したかにみえるが前節で指摘したとおり、実際には収縮をうけつつも中核部はやはり存在しているものと思われ、収縮速度が早いので写真では捕え得なかったものと思われる。SF₆ 吹付アークのように気流吹付のある場合には電流の減少とともにアークも収縮しており、熱平衡状態は保たれているものと考えられる。これに対して、静止 SF₆ ガス中の並切アークでは熱平衡状態が常に維持できないため、アーク時定数は熱平衡が追従する最少電流値、0.1A 程度の電流レベルにおける時定数におちつく、図 2.7 で求められた時定数はこのような場合の測定値で、0.1~0.3 μ s 程度である。

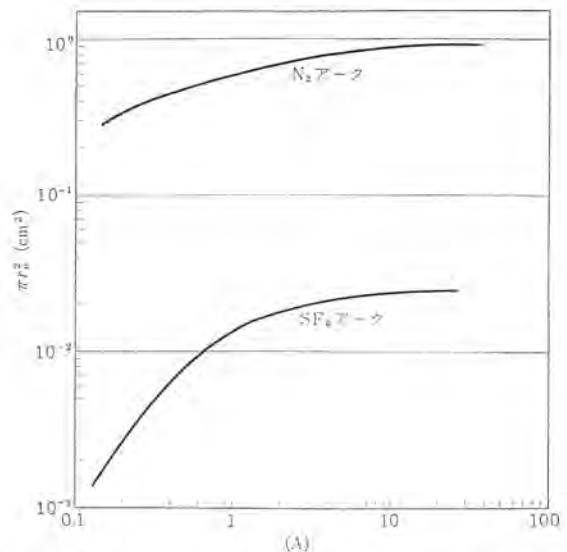


図 3.5 SF₆ N₂ アークと弧断面積とアーク電流の関係
Fig. 3.5 Cross sectional area of SF₆ and N₂ arc column vs arc current.

いずれにしても、SF₆ 吹付アークの場合、アーク空間の熱力学的平衡の達成される早さが著しく早いので、電流の減少に追従しアーク断面積は縮小し、式 (3.4) で与えられる時定数も低電流レベルでは減少することになる。電流の減少とともにさらに時定数が減少し、電流零点では式 (3.4) で与えられる熱的時定数は零になるはずであるが実際には再結合反応の時定数で押えられ、やはり有限な値に収束する。SF₆ ガスシヤ断器の場合、電流零点における再結合反応の時定数 θ_r は、^{(31), (32), (33)}

$$\theta_r = \frac{M\hbar v_0 \cdot Q_R \cdot kT}{m A^2 a^3 \cdot f(E^*) \pi r_0^2 \cdot P \cdot v} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

で与えられる。ここに m は電子の質量、 \hbar は Dirac の定数、 M は分子の平均質量、 A は電子親和エネルギー、 E^* は電子の運動エネルギー、 r_0 は分子半径、 Q_R は Ramsauer 衝突断面積、 P は気流中圧力、 v は気流流速、 k はボルツマン定数、 $a = \hbar \sqrt{2mE}$ である。図 2.9 において、SF₆ ガス混合比が 100% の点のアーク時定数を外そうすると 10⁻⁹sec 程度になるが、式 (3.3) の計算結果も同一条件で同じ値を示し、SF₆ ガスシヤ断器の時定数が著しく小さいことが説明できる。

以上述べたとおり、SF₆ アークの時定数が電流レベルで変化すること、電流ゼロ点では著しく小さな値を示すことなどの実験結果に物理的な説明を与えることができたが、次節では SF₆ ガスシヤ断器における消弧現象を要約して述べることにする。

3.4 SF₆ ガスシヤ断器における消弧現象

以上述べたとおり、SF₆ ガス中では SF₆ ガスが多原子分子であり、しかも強い電子親和性をもっているためアークは細くかつ低い電流レベルまで、アーク中核部が維持される。このアーク中核部が、電流ゼロ点ごく近傍の 1A 以下で急激に収縮し、それに従ってアーク時定数も急激に減少する。時定数は最終的にはアーク空間の緩和時間で決定され、非常に小さな値を示す。また SF₆ ガスの電子親和性のために、アーク温度の比較的高い点で急激な電気伝導度の減少が認められ、さらに低い温度では、ガスの解離にもとづく熱伝導率の増加、ならびに共鳴的な負イオンの発生が起こり、再結合反応は著しく促進される。この結果、電流波形の終端あるいは低電流レベルにおいて電流波形の急変現象が観測され、電流終端におけるコンダクタンスの急変時定数が SF₆ アークの場合

の時定数として認められる。

極端に小さなアーク時定数と早い再結合反応のために、 SF_6 シュ断器の絶縁回復特性は他に例をみないすぐれた性能が発揮され、大電流のシュ断ののちもキロメートル故障のような過酷な再起電圧に耐えうるものと思われる。

このほか、 SF_6 ガス中では低電流までアークの弧心部分が存在し、それが電流零点まで連続的に収縮され、電流ゼロ点ではじめて完全にシュ断されるため、電流サイ断による開閉サージの発生は小電流のシュ断時においても少なく、一電流シュ断時におけるすぐれた性能とともに、 SF_6 ガスが理想的な消弧媒体であるゆえんが説明される。

4. む す び

この稿では SF_6 ガスシュ断器の消弧特性ならびに消弧原理について、実験的、理論的研究を行なった結果について述べた。 SF_6 ガスシュ断器における主要な消弧力が、 SF_6 ガスの電子親和性と、このガスの高温における特異な熱力学的特性に基づくものであることが判明し、実用機においては、これら消弧力がシュ断器消弧室の形状、あるいはガス流の過渡特性と関係のあることなどが確認された。このほか、 SF_6 アーク特有のいくつかの現象についても理論的考察を試み、その機構が定性的に説明できることを明らかにした。得られた研究成果は、最近開発された新形大容量 SF_6 ガスシュ断器の設計に寄与している。

最後にこの研究に対し有益な討論と助言をいただいた、当社伊丹製作所潮シュ断器設計課長また質量分析計による研究に対して種々ご専門の立場からご指導いただいた大阪大学理学部、緒方惟一教授ならびに SF_6 ガスの高温における熱力学的特性の数値計算に尽力された、当所、村井裕技師に深謝する。

(昭 40-6-24 受付)

参 考 文 献

- (1) 潮、宮本：「電学誌」82. p. 714 5月 (昭 37)
- (2) 宮本、鎌谷：「電学誌」85. No. 919 4月 p. 665 (昭 40)
- (3) 宮本、鎌谷：「電学誌」85. No. 919 4月 p. 675 (昭 40)
- (4) 潮、伊藤、宮本：「三菱電機」35. 811 (昭 36)
- (5) 潮：「三菱電機」30. 109 (昭 31)
- (6) 潮、伊藤、八代、大倉：「三菱電機」34. 981 (昭 35)
- (7) 伊藤：「三菱電機」34. 1319 (昭 34)
- (8) 潮、伊藤：「電学誌」80 p. 1832. 12月 (昭 35)
- (9) 伊藤、大倉：「電学誌」82. No. 884. p. 749 5月 (昭 37)
- (10) 潮、伊藤：「電学誌」81. No. 887. p. 440 3月 (昭 36)
- (11) F. B. Henry & R. E. Friedrich. : AIEE Winter General Meeting paper No. 58-128 (1958)
- (12) Electrical World : Jan. 7. p. 28 (1963)
- (13) 新井、潮、富永、稲村：「三菱電機技報」37. 1398 (昭 38)
- (14) 潮、宮本：電学連大 512, 513, 514. (昭 37)
- (15) 潮、宮本、鎌谷：「三菱電機技報」36. 1036 (昭 37)
- (16) 宮本、鎌谷：電学関西支部連大 7-29 (昭 37)
- (17) 宮本、鎌谷、後藤：「真空」6. No. 8 p. 309 (昭 38)
- (18) 宮本、鎌谷：質量分析学会予稿 a-20. (昭 37)
- (19) 潮、宮本、鎌谷：「三菱電機技報」36. 1364 (昭 37)
- (20) Mauecker : Annalen der Physik, Series 6. 18 No. 58. p. 441 (1956)
- (21) 宮本、鎌谷：電学連大 747. (昭 38)
- (22) 宮本、鎌谷：電学連大 748. (昭 38)
- (23) 宮本、鎌谷：電学連大 633. (昭 39)
- (24) 宮本、鎌谷：電学連大 634. (昭 39)
- (25) M.M. Magnien : SFE 8° série, tome III n° 34 p. 513 Oct. (1962)
- (26) D. Battaglia : SFE 8° Série tome III n° 34 p. 514 Oct. (1962)
- (27) M.J. Vigreux : SFE. 8° Série tome III n° 34. p. 538 Oct. (1962)
- (28) G. Frind : Z. für. Physik, XII. Band Heft 5 p. 231 (1960)
- (29) G. Frind : Z. für. Physik. XII. Band Heft p. 515 (1960)
- (30) 伊藤、村井. Mitsubishi Denki Laboratory Report. 6. No. 2. p. 771. (1965)
- (31) Miyamoto, Kamatani : Mitsubishi Denki Laboratory Report. 5. No. 3 p. 321. (1964)
- (32) Miyamoto, Kamatani : Mitsubishi Denki Laboratory Report. 6. No. 1 p. 45. (1965)
- (33) Miyamoto, Kamatani : Mitsubishi Denki Laboratory Report No. 2 p. 771. (1965)

アークに対するSF₆ガスの物理化学的特性

宮本 紀男*・鎌谷 章博*

Physico-Chemical Properties of SF₆ Gas Against Arcing

Central Research Laboratory Toshio MIYAMOTO・Akihiro KAMATANI

Practical application of such gaseous compound as SF₆ to the insulation fluid or the arc quenching medium has brought about the necessity of looking into the stability of this particular gas against arcing. Studies have been made on SF₆ gas subjected to arcing by means of a panoramic fast scanning type mass spectrometer so as to bring light to its recombination processes, arc-formed products and their decomposition process. Cleaning of the arced gas has been also investigated in the removal of the decomposed products by passing the gas through activated alumina. Chemical stability and non-toxic properties of SF₆ gas against arcing have been revealed in the procedure.

1. ま え が き

六フッ化イオウガス(SF₆)は生理的に不活性、無毒であり、化学的に安定な化合物であるため、古くから乾式電気機器の絶縁媒体として使用されてきたが、近年このガスが絶縁媒体としてよりは、むしろ消弧媒体として、ほかに例をみない優秀な性能を発揮することが発見され、これを利用した高圧シヤ断器が実用段階に入っている。

SF₆ガスの消弧性能に関する筆者らの実験結果によれば、このガスは絶縁耐力において空気の2.5~3.5倍の程度であるにもかかわらず、消弧性能では、実に100~200倍の能力を発揮しうることを確認している。^{(1),(2),(3)}またSF₆ガスが、このようにすぐれた消弧性能を発揮するゆえんについても、すでに多くの研究がなされ、^{(4),(5)}筆者らも質量分析計あるいは高速コマ取りカメラなどによる実験結果を引用して定性的にその裏付けを与えている。^{(6),(7),(8)}

実際のシヤ断器にこのガスを適用する場合、上に述べた消弧原理の究明とならんで、「アークに対するSF₆ガスの物理化学的特性」に関する実験的裏付けはこの種シヤ断器の実用上、重要な事柄である。さきにも述べたとおり、SF₆ガスはそれ自身生理的に不活性、無毒であるため医療用として人工気胸に用いられるほどであるが、大電流アークにさらされた場合、このガスは低位のフッ素化合物に解離する可能性がある。

一般に消弧性ガスのアークに対する特性を論ずる場合、ガス中の消弧現象に直接関係のある、いわゆる消弧特性とシヤ断器の実用性能に関係のある比較的ゆっくりしたガスの過度化学特性とに分けて考えることができる。前者はシヤ断器のシヤ断性能に関係しシヤ断の成否を決定する高速反応であって、アーク発生中ならびにその直後のガスの過渡特性である。後者はシヤ断器の繰返しシヤ断性能、あるいはガスの絶縁性能、ガスの生理的特性に関係のある比較的ゆっくりしたガスの化学特性の変化である。

これら、SF₆ガスのアークによる解離、再結合反応ならびにガス成分の変化の有無については実験的検討が必要であって、筆者らはこの点について詳細な研究を行なうために新らしく直視形高分子質量分析計を開発し⁽⁹⁾これを用いて基礎的な研究を行なった。⁽⁸⁾

この結果、SF₆ガスは放電に対し化学的にも安定であって、実際のシヤ断器の実用性能上でも、このガスのアークによる分解あ

るいはそれによる劣化を考える必要のないことが判明した。すなわち、大電流アークによって一時的に発生する低位のフッ素化合物はアーク消滅後、急速な再結合によってただちにものSF₆ガスの状態に戻るため、その再結合時定数は非常に短かいものであることが判明している。ただ、実際にはほとんど起り得ないことであるが、SF₆ガス中に多量の水分が存在する非常に過酷な状態では、アーク発生後ある種の残留あるいは中間生成物の認められる場合がある。しかしこの場合でも活性アルミナなどを適宜使用することにより、ガス中に多量の水分の介入する余地をなくすれば残留生成物の発生を根本的に防ぐことができることなどが明らかにされ、SF₆ガスシヤ断器の実用性能に関してもなんら心配のないことが確認された。

この稿では、得られた結果のうち、シヤ断器の実用性能上重要であると思われることがらについておもに述べ、活性アルミナの効果などについても述べることにする。

2. SF₆ガスの主要諸特性

2.1 SF₆ガスの物理的特性

SF₆ガスは分子量146.07のきわめて安定度の高い化合物で普通の状態では無色、無臭、不活性、無毒の気体である。分子量は空気の5倍、単位モルあたりの定圧比熱は約3.5倍である。SF₆の三重点は-50.8°C、2.21 atm、固体の密度は2.51である。またSF₆ガスに対する状態方程式はBeattie-Bridgeman形の式で与えられ⁽¹⁰⁾図2.1にその計算結果をプロットしてある。このほかのSF₆ガスの主要物理特性を列挙すれば表2.1のようになる。表2.1においてSF₆ガスの熱伝導率それ自身は同一条件のもとで空気より小さいが、対流などを考慮した総合伝熱率は空気よりはるかに大きく、ヘリウムや水素と同程度であると報告されている。⁽¹¹⁾

2.2 SF₆ガスの化学的特性

このガスの分子構造は8面体で6個の頂点をF原子が占領し、S原子は分子の中央にある。S-Fの間隔はすべて等間隔で、この距離は実験者によって異なっているが、1.57または1.58Åとなっている。この分子の衝突直径は4.77Åとされている。SF₆ガスは21.95%の硫黄、78.05%のフッ素からなっており、各原子間の結合はイオンおよび共有結合になっているが、比較的共有結合の性質が強い。ガスは無色、無臭、生理的に無害であって、500°Cまではいかなる金属とも反応せず熱的にも非常に安定である。す

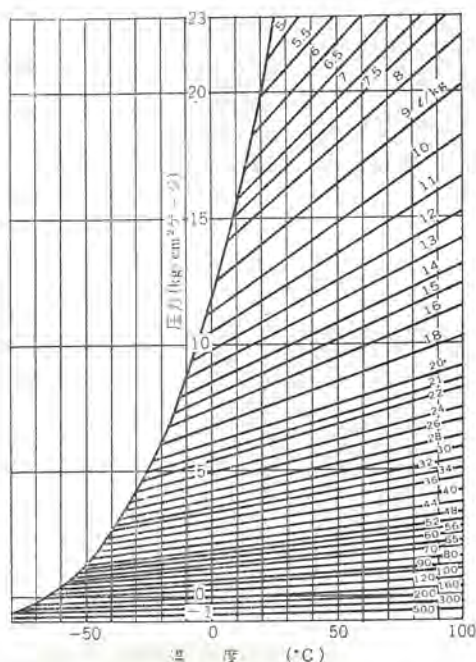


図 2.1 SF₆ガスの圧力-温度特性
Fig. 2.1 Pressure-temperature characteristics of SF₆ gas.

表 2.1 SF₆ガスの主要物理特性

溶解温度	-50.8°C
昇華温度	-63.8~63.5°C
密度	6.093 g/cc (753.3 mmHg, 20°C)
飽和蒸気密度	-40°C において 0.026 (g/cc) 3.54 (kg/cm ³) 0°C において 0.103 (g/cc) 13.14 (kg/cm ³) +40°C において 0.43 (g/cc) 34.80 (kg/cm ³)
臨界定数	温度 : 45.5°C 圧力 : 36.8 atm, 比モル体積 : 201 m ³ /mol, 比重 : 0.727 g/cm ³ .
SF ₆ の相変化における潜熱:	
融解熱	: 1,100~1,390 cal/mole.
蒸発熱	: 沸点において 4,500 cal/mole, 0°C において 3,000 cal/mole, 20°C において 2,300 cal/mole.
昇華熱	: 5640 cal/mole
SF ₆ の比熱 Cp (1 atm において)	
100°K のとき	13.94 (cal/mole°C)
230°K のとき	28.56 (*)
300°K のとき	23.22 (*)
SF ₆ の粘性率 η (1 atm において)	
η (気体 30°C)	= 0.0154 Centi poises.
η (液体 13.5°C)	= 0.305 Centi poises.
SF ₆ の熱伝導率: (30°C 1 atm において) ⁽¹¹⁾	
3.36×10 ⁻⁵ (Cal/s/cm°C) (参考値: Air は 5.12×10 ⁻⁵ である)	
表面張力:	-50°C において 11.63 (dynes/cm) -20°C " 8.02 (*)
SF ₆ の誘電率: ε=1.002049 ⁽¹²⁾ (1 atm)	
SF ₆ の誘電体力率: tan δ=5×10 ⁻⁶ 以下 (1 atm) ⁽¹³⁾	

なわち, Moissan⁽¹⁴⁾らの研究によれば, SF₆ガスはボヘミアガラスの軟化温度まで加熱しても分解を起こさない。石英ガラスの中では500°Cではじめて少し分解する。H₂, Cl₂, I₂とSF₂とは600°C以上になっても反応しない。またSF₆ガスは水およびアルカリ溶液でまったく加水分解をうけないなど、その安定な性質が実験的に実証されている。このような安定な性質はSF₆ガスの立体分子構造によるものと考えられている。

以上はSF₆ガスの基本的な静特性について、すでに判明している資料、実験結果をもとに、物理的、化学的性質をまとめたものであるが、電気機器へこのガスが使用されるゆえは、このガスの安定、不活性な性質とともに、SF₆ガスが有するすぐれた電気絶縁性と消弧性能にあることはいうまでもない。SF₆ガスが有す

るかかるすぐれた電気特性はSF₆ガス個々の物理的特性の一つである電子付着特性と密接な関係にあることが判明しているが、⁽⁷⁾ SF₆ガスの電子付着特性については、このガスの『放電に対する特性』の一つとして後述することにする。

2.3 SF₆ガスの生理的特性⁽¹⁵⁾

空気中のN₂をSF₆ガスでおきかえ、O₂:20%, SF₆:80%のふんい氣中に「はつかねずみ」を24時間放置し、そののち解剖したが、異常はまったく発見されなかったと報告されている。⁽¹⁹⁾ また100%のシタ断試験を35回行ったのち、使用したSF₆ガスを2/1,000の割合で空気を混合し、「ねずみ」をその中に放置してもなんらの障害は認められなかったという実験がある。⁽²⁰⁾

当社および米国 Westinghouse 社における試験中のガスシタ断器を取り扱う技術員は、特別の器具を用いず6年以上も作業を行なってなんら健康上の異常は発見されていない。もちろん、シタ断回数、点検回数は現地におけるものと比較にならぬほど多いと考えられる。したがって上記の経験からも、実地に使用された場合、保守点検に際してのガスの生理的安全性についてはまったく問題ないと考えられる。

以上純SF₆ガスの静特性ならびに一部 arced SF₆ガスの生理的特性について述べた。いずれにしてもSF₆ガスが不活性、安定なガスでアークに対しても生理的に無害なガスであることは、ほぼまちがいないようであるが、以下各種の基礎実験によって、アーク発生時のガスの過渡特性をはあくし、経験的には実証されているSF₆ガスのアークに対する安定、無害な性質に実験的な裏付けを与えることにする。

3. 実験の概要

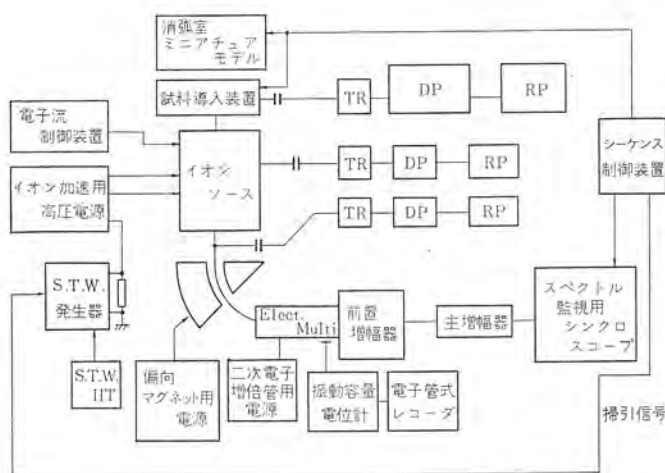
SF₆ガスのアーク発生前後の過渡的な特性を追跡するために前述のとおり新しく高速反応追跡用の分析計を開発し、実験に使用した。行なった実験の大部分は、時分割形直視用高分子量質量分析計を用い、小形のモデル消弧室内で種々の放電を行なわせ、その中のガスを連続的に分析する方法をとった。分析計の詳細についてはすでに報告されているので、^{(9), (18)}ここでは実験装置ならびに方法の概略を説明する。

3.1 実験装置

(a) 直視形高分子量質量分析計

この分析計は高速の消弧反応の研究用としてとくに開発されたもので、アーク発生中あるいはその直後のガス組成の変化を刻々追跡し、中間生成物や負イオンの過渡的な特性をブラウン管上に直視できるようにした装置である。周知のとおり、質量分析計というのは、試料ガスを電離し、ガスを構成する分子、原子をイオン状にして加速し直交磁界の中で回転させ、それぞれのイオンの質量数の大きさに従って分散させるもので、質量数に対応してイオン流強度を測定すれば、試料ガスがいかなる組成のものであるかを決定できる。分析結果は、構成分子または原子の質量数に対応して種々の強度のイオンピークをもつスペクトルパターンとして得られ、直視形分析計の場合にはこのスペクトルパターンがブラウン管上で直視できるようになっている。

図3.1は試作した分析装置の構成図である。図3.1において、試料ガスは試料導入装置を経てイオンソースに導かれ、電子流により電離されたのち加速され磁界によって分散される。分散されたイオン流は二次電子増倍管に達し増幅されたのちブラウン管へ導かれる。装置を直視形とするために加速電界にノコリ状波形を



TR: トラップ DP: 拡散ポンプ RP: ロータリポンプ
Elect. Multi: 二次電子増倍管

図 3.1 直視形質量分析計 ブロック 線図

Fig. 3.1 Block diagram of direct viewing type mass spectrometer.

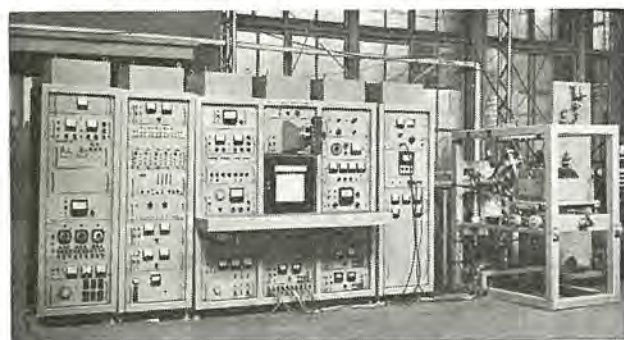


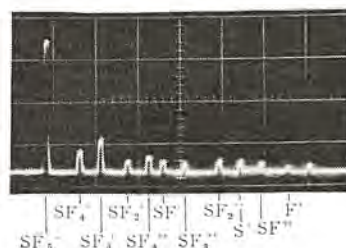
図 3.2 直視形質量分析計 外観

Fig. 3.2 Front view of the time resolved type mass spectrometer.

表 3.1 直視形質量分析計の諸性能

時間分解能	10 μ s (2次元輝点制御記録方式による) ⁽¹⁸⁾
	100 μ s (Y軸方向階段状波描引方式による) ⁽¹⁸⁾
質量数分解能	140 M/e .
分析可能質量数範囲	1~200 a.m.u.
イオン加速	直流 ± 2 kV. (正負両イオン用) ノコギリ状波 ± 3 kV ()
電子衝撃電流	100~500 μ A
電子加速電圧	0~100 V
分析管	150 m/m 60° 偏向 Nier 形
磁界強度	12 kG, max.
イオンコレクタ	電子増倍管 (三菱 ND-9112) ⁽¹⁶⁾ , ⁽¹⁷⁾
直結ホワイトカソードフォロワ	6 DH 3 \times 3

用い、イオン流を質量数に対して加速変調する方法を採用している。シンクロスコープブラウン管のX軸は質量数掃引用の信号と同期して掃引され、Y軸へは増幅されたイオンパルスが加えられる。このようにして、試料ガス成分の変化がブラウン管上で時々刻々観測できる訳である。図3.2は質量分析計全体の外観写真であって、試作した分析計の諸性能をまとめたものが表3.1である。図3.3は試作した分析計により純粋な SF_6 ガスを分析した場合のスペクトルパターンである。スペクトルの中に、 SF_4^+ 、 SF_3^+ 、 SF_2^+ などが認められるがこれらは不純物の存在を意味するのではなく、質量分析の原理からいって当然のことである。普通このようなスペクトルパターンは各種のガスについて同一測定条件のもとでは、それぞれ個有のものでありCracking patternと呼ばれ、人間の指紋に相当する。未知のガスの分析、同定においてはこのスペクトルパターンが重要なめやすになる訳で、複雑な組成のガスもスペクトルパターンをたよりに解析すれば容易にその組成の同定が行ないうる。



分析法および条件
イオン加速: 3 kV, イオン衝撃電
子電流 250 μ A
電子増倍: 10^6 , 電子加速電圧 60V,
Trap 電流: 5 μ A
質量数掃引: 特殊非線形 M/e
比例掃引 (1 ms)
分析管内圧: 10^{-6} mmHg. 分析感
度: $10^9 \Omega$

図 3.3 純 SF_6 ガスのスペクトルパターン
Fig. 3.3 Mass spectrum of pure SF_6 gas.

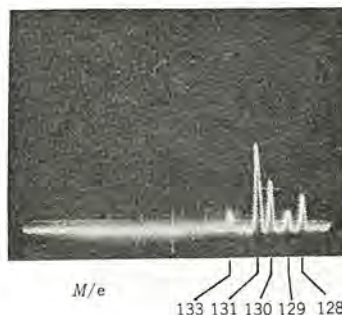


図 3.4 質量数分解能を示すXeガスのスペクトログラム
(分析条件は図3.3に同じ)
Fig. 3.4 Panoramic spectrum of Xe group.

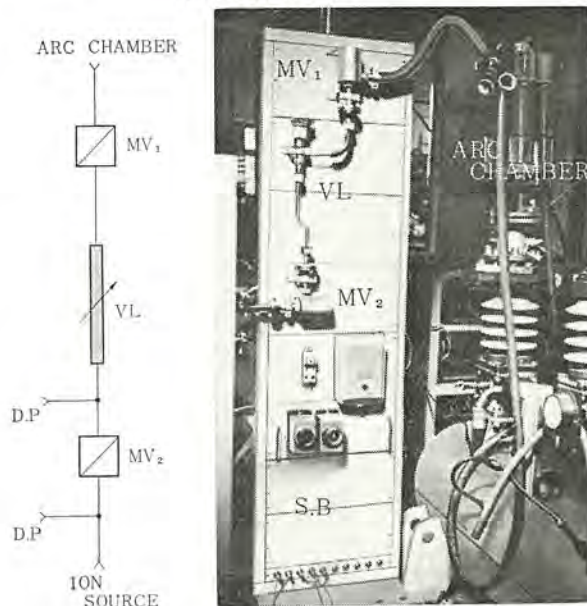


図 3.5 高速度試料導入装置

Fig. 3.5 Conventional high speed sample inlet system.

図3.4は分析計の質量数分解能が高い質量数に対しても十分であることを示すXeガスのスペクトル写真である。

(b) 試料導入装置

高速反応の研究においては分析計本体と同様に試料導入装置が必要であって、筆者らは関西地区質量分析学会会員各位の有益な助言をもとに、⁽²¹⁾ 3種類の試料導入装置を試作した。

第1の装置はNeedle-leakをもつ可変リークバルブにより、試料ガスを定常粘性流の形でイオンソース内に導くものである。リークガスを定常粘性流の形でイオンソース内に導くものである。リークバルブのリーク率は0.1~1,000 lusecの間の任意の値に選ぶことができ、試料ガスの気圧によりこれを変え所要の試料ガス圧で試料の導入を行なうものである。この第1の装置は主として、40~3,000s程度の長時間の反応を追跡する用途に適している。しかしながら粘性流により試料を導入しているため、本質的に質量数に対する分離効果があるので、これについては実験にさきだってXe.ならびにAの規定濃度の混合ガスにより相対比を校正し誤差を極力少なくするよう努力した。

第2の装置は高速の電磁真空バルブを直列に複数個連結し、電氣的にバルブを操作することによって試料流を制御するものである。装置の前面図ならびに構成図を図3.5に示す。図3.5において、 MV_1 , MV_2 はそれぞれ速動電磁真空バルブ、VLは可変リークバルブであり、SBはバルブシーケンス制御用の電子装置である。DPは650 l/sの拡散ポンプで常時 MV_1 は閉じており MV_2 は開いている。VLを含む導入系は常時DPにより排気され、 10^{-5} mm Hgになっている。試料導入の場合は MV_1 を開き、VLを通じて試料をイオンソースに導入し、所要量導入したのち MV_2 を閉じる。この装置により試料導入時間は 10^{-3} sec 消弧室内圧力 10^{-3} ~ 5 mm Hgにおける消弧反応の追跡ができる。

さらに試料導入時間を短縮しアークシャ断現象に関係のある消弧反応をも追跡するために第3の装置を試作した。この最後の装置は分子ビーム方式の試料導入装置であって、試料ガスは反応室からイオンソース内へ超音速ジェット形で導かれ、高速度の試料導入が行ないうるようになっている。この装置の詳細についてはすでに報告したとおりであるので省略する。^{(9), (18), (21)}

以上のべた各種の装置により種々の場合のスペクトルピーク変化の様相がフィルム上に記録されるのであるが、得られた資料はただちにIBM 7090電子計算機により分析計算され、⁽²²⁾ 成分比ならびに各成分の同定計算が行なわれた。

3.2 実験の方法

SF_6 ガスの放電に対する基本的な特性を定量的に扱うために、1,000 ccの消弧室内で種々の放電を種々のエネルギーで行ない、ガス組成の変化の有無を調査した。消弧室はアクリル製の図3.6のような構成のもので、以後有極コンテナと呼ぶことにする。後述するように活性アルミナ(Al_2O_3)の効果を調査するために、有極コンテナの中には Al_2O_3 が入れるようになっている。有極コンテナはAg-W接点を付けた電極が取り付けられており、外部のL-C放電回路、C-R放電回路から、アークまたはコロナ放電が極間で起こるようにした。放電の電氣的諸量や、並切シャ断点としてのシャ断性能についてはシックスコーンなどで観測した。この結果、コロナ放電に関しては電機機器における許容コロナ量をはるかに越えるコロナ放電によっても、絶縁破壊特性、シャ断性能ともに変化しないことが明らかになったが、ただ著しく高エネルギーのアーク放電を行なった場合で、しかも消弧室に故意に多量の水分を含ませた場合には、並切シャ断点のシャ断性能が繰返しシャ断により徐々に低下することが判明した。ただし、このような水分の多量に存在する場合でも、アーク放電のエネルギーの小さい場合には繰返しシャ断を行なっても性能の低下は認められず、コロナ放電などはこの極限に相当する。以上の結果から、筆者らは単位時間、単

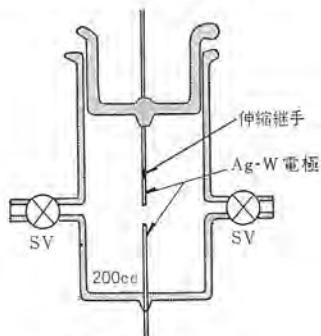


図 3.6 有極コンテナ
Fig. 3.6 A miniature arc chamber with a pair of plain break gap.

位消弧室容積あたりの放電エネルギーをパラメータとして実験結果を検討したところ、特殊な消弧室条件の場合、ある放電エネルギー率を境として、それ以下では繰返しシャ断によるシャ断性能の低下が認められないにもかかわらず、それ以上では繰返しシャ断によりいつかはシャ断失敗に至る限界エネルギー注入率 P_{rc} の存在することを確認した。この P_{rc} は次式

$$P_{rc} = \sum_{i=1}^N Wi \left/ \left(\sum_{i=1}^N t_i \cdot V \right) \right. \quad (\text{kW}_s/\text{min-cc})$$

で定義される。 Wi は第*i*回目の試験で消弧室内に注入されるエネルギーを示し、 V は消弧室容積、 t_i は第*i*回目と*i*-1回目の試験間隔である。上述のとおり、この P_{rc} は消弧室内の水分含有量によって変化し、水分含有量の小さい場合には高い値を示す。もちろん、この P_{rc} はあくまで並切形に対するもので一般の吹付形のシャ断器では定義できない量であるが、吹付後のガスを回収する形式のシャ断器では等価的な P_{rc} を考えることができる。この場合、循環系に使用されるガスの全体について P_{rc} を概算したところ並切形の2~3割上の値を示し、実用機の繰返しシャ断性能に関してはなんら問題はないといえる。しかしここでは、 SF_6 ガスの放電に対する基本特性を掌握するのが目的であるため、さきの並切シャ断点に対する P_{rc} を一応の実験の基準として採用した。以下、一連の実験では、 SF_6 ガスのアークによる特性変化を確実に掌握するため、エネルギー注入率は P_{rc} の5倍以上に選らんだ。また活性アルミナの効果を調査するために、閉ループアルミナフィルタ系ならびに常時充テン式のフィルタを用いて実験を行なった。使用したアルミナは住友化学製DT-6で内容積1 lの消弧室内に200 gを充テンした。

このほか、負イオンの分析を行ない電子付着現象についても検討したが、この場合は分析計の加速電圧、磁場の極性を反転して実験を行なった。

4. 実験結果

4.1 SF_6 ガスの耐コロナ性

一般にガスの耐コロナ性を論ずる場合の確たる基準は国際的にはもちろん、国内でもまだ定まっておらず、定量的な取り扱いがはなはだ困難であるが、絶縁材料の耐コロナ性についてはすでに多くの研究がなされ、Mason⁽²³⁾、原⁽²⁴⁾またとくに SF_6 ガスについては堺⁽²⁵⁾らの諸氏により一応の許容限界が提唱されている。実用機器でコロナが発生することはまずないであろうが、絶縁材料のコロナ劣化を対照として求められた上記許容エネルギーは一つの基準となりうるもので、筆者らはこのエネルギーで放電を行なった場合のガスの特性変化を追跡した。堺氏らによれば SF_6 ガスの場合、上記許容限界は 10^{-10} ~ 10^{-11} クーロン×1個/l c/sの程度であって、筆者らの実験でもこの値を採用し、1気圧の SF_6 を充テンした有極コンテナ内で約1,000時間の放電を行なった。

図4.1は1,000時間放電後のガスのスペクトル写真であるが、純 SF_6 ガスと比較してわかるとおり、成分変化はまったく認められない。さらに大きいエネルギーのコロナ(10^{-9} クーロン×1個/l c/s)に対し同一条件で得られた分析結果でもガス成分にはなんら変化を認めなかった。また、空気および水が SF_6 ガス中に不純物として存在する場合を模擬し、空気は20分圧%、水分は10重量%含まれるという過酷な条件のもとで実験を行なったが、ガス組成に変化は認められなかった。 SF_6 ガスの耐コロナ性は以上述べたとおり優秀なものであるが、実用機ではむしろ絶縁材料のコロナ劣

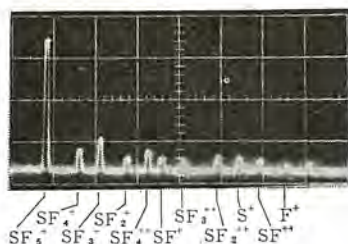


図 4.1 コロナ 放電 1,000 時間後の SF_6 ガスのスペクトル
(分析条件は図 3.3 に同じ)
Fig. 4.1 Panoramic spectrum of SF_6 gas after corona discharge of 1,000 hours.

化の観点から コロナ の発生を極力抑えるべきであろう。

4.2 SF_6 ガスのアークに対する特性

一般に高温の アーク 空間では、いかなる ガス も高度に解離、電離され、 SF_6 ガス の場合もこの例外ではないが、ただこの ガス が多原子分子であるため解離反応は非常に複雑である。しかしながら、すべての反応が熱平衡状態にあると仮定して統計力学的な手法を適用することにより、⁽²⁶⁾ SF_6 ガス の高温における熱力学的特性を求めることができる。かかる解析を行なった結果、 SF_6 ガスは 2,200°K 付近で低位の フッ素化合物に解離され、6,000~7,000°K においては アーク 空間はすべて S と F の単原子気体になっていることが明らかになった。同様な結果は分光学的な測定によっても得られており、 SF_6 ガス の高温における特性は、ほとんどが単原子フッ素の状態にあると仮定して計算してよいようである。実際の ショ断器のように大電流交流 アーク の ショ断を行なう場合には、電流の減少とともに、解離された単原子気体も急速に再結合するため アーク ショ断直後の ガス の組成には変化は認められずほとんどがもとの SF_6 ガス の状態に戻っている。図 4.2 は小形の消弧室に市販の SF_6 ガス (Allied Chemical 製) を充てんし、大気圧において 1.5 kW/cc-min のエネルギー注入率で 100 回の放電を行なったものの SF_6 ガス の質量 スペクトルを示したもので、 SF_6 ガス の組成に著変は認められない。また 100 回目の ショ断直後の SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ などのピークの時間変化を図 4.3 に示す。これらのピークが ショ断直後 10^{-4} sec 以内で旧状に復していることが明瞭に示されている。

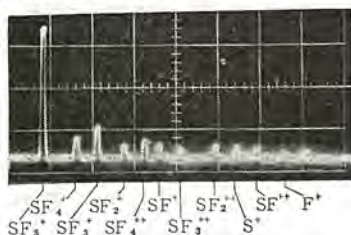
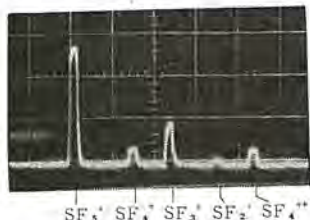
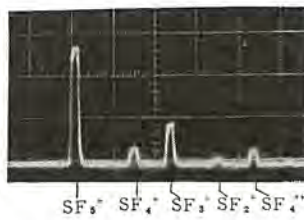


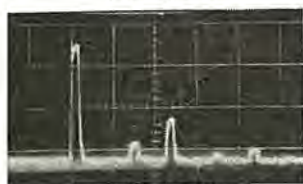
図 4.2 アーク 放電 100 回後の SF_6 ガスのスペクトル (分析条件は図 3.3 に同じ)
Fig. 4.2 Panoramic spectrum of SF_6 gas after arc discharge of 1.5 kW/cc-min \times 100 times.



(a) 放電前



(b) 放電後 (100 μ s 後)



(c) 放電後 (1 ms 後)

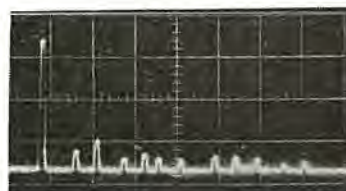
図 4.3 アーク ショ断直後の SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ 各ピークの変化
Fig. 4.3 Variation of SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ peaks immediately after the arc discharge of 1.5 kW/cc.

しかしながら、小形の消弧室内に故意に多量の水分を注入し、しかもその消弧室の ショ断限界以上の アークエネルギーで多数回の実験を行なった場合には、アーク ショ断後ある種の残留生成物の認められる場合がある。この場合でも大部分のピークは再結合しているが、一部の中間生成物はそれ自身非常に安定な物質であるため、その平均寿命がほかの中間生成物の寿命に比べて著しく長く、上述のような特殊な条件のもとでは アーク 消滅後かなりの時間を経過したのちに、それらが残留生成物として認められるようである。

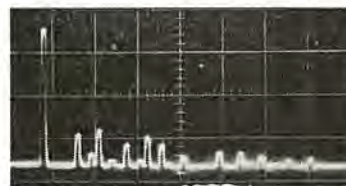
残留生成物のおもなものは SO_2F_2 , SF_2 などであるが、いずれも電気的負性気体であるため実用上の問題はない。 SO_2F_2 は無色透明、不活性なガスで Swartz らにより発見され、⁽²⁷⁾ その当時は SF_6 の生成過程の途中に発見された。沸点 -55°C 、融点は -136.7°C で S 原子を 1 頂点とする正四面体 SF_5 の各頂点に電子親和性の大きい F および O 原子をもつ非常に安定な化合物である。 150°C までは水およびいかなる金属に対しても不活性であるが、KOH または NH_2OH に徐々に吸着される。熱的にも非常に安定であるが、 600°C 程度に達するとガラスを腐し、 S_2F_2 , SO_2 を生ずる。

このガスの有する安定、不活性な性質のため、 SO_2F_2 ガスは Hochberg らにより絶縁媒体として用いられた実績があり、良好な結果を得ている。また SF_2 は実験的に純粋なものを分離することが困難であるため、化学的諸量は詳細には判明していないが、金属に対して比較的活性が低く、活性アルミナまたはアルカリ溶液に急速に溶ける。次に、これら生成物の発生過程ならびにアルミナの効果について述べる。

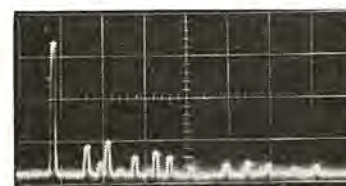
図 4.4 は、消弧室内に水分を入れた場合の繰返し ショ断の各過程における SO_2F_2 , SF_2 のピークの変化を示したものである。図 4.5 は同一条件における アーク ショ断直後の SF_2 , SOF , SO_2F_2 などのピークの変化を分析感度を上げて追跡したものである。



(a) 25 回放電後の SF_6 ガスのスペクトル

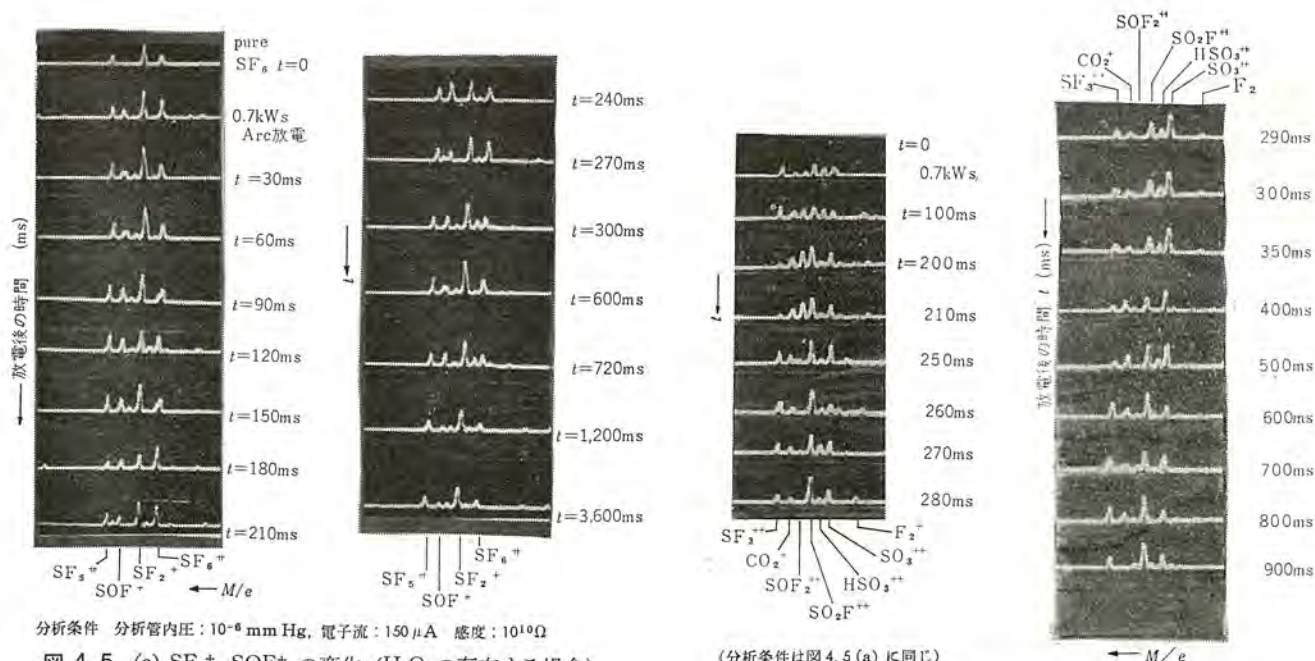


(b) 70 回放電後の SF_6 ガスのスペクトル



(c) 150 回放電後の SF_6 ガスのスペクトル

図 4.4 消弧室内に多量の水分を注入繰返し放電を行なった場合の SF_6 ガスのスペクトル変化
Fig. 4.4 Variation of the composition of the arced SF_6 gas with large amount of H_2O in the arc chamber as an impurity.



分析条件 分析管内圧: 10^{-6} mm Hg, 電子流: $150 \mu\text{A}$ 感度: $10^{10} \Omega$

図 4.5 (a) SF_2^+ , SOF^+ の変化 (H_2O の存在する場合)
Fig. 4.5 (a) Variation of mass peaks SOF^+ , SF_2^+ after the arc discharge of 0.7 kW when H_2O exists in the arc chamber.

(分析条件は図 4.5 (a) に同じ)

図 4.5 (b) SO_2F^+ の変化 (H_2O の存在する場合)
Fig. 4.5 (b) Variation of SO_2F^+ peak after the arc discharge when H_2O exists in the arc chamber.

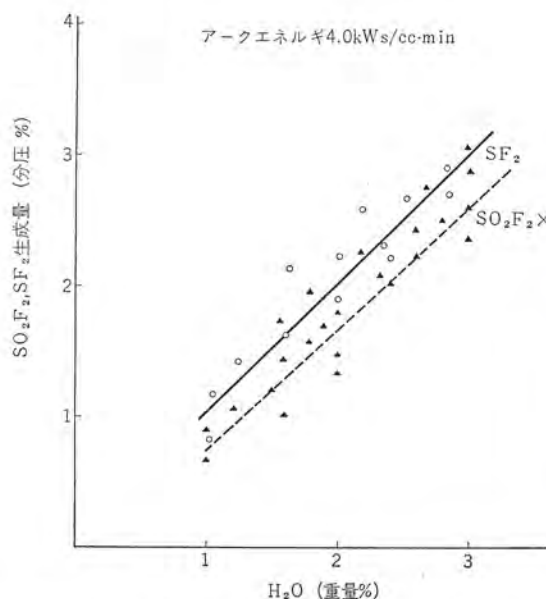


図 4.6 SO_2F_2 , SF_2^+ の発生量と H_2O 含有量の関係
Fig. 4.6 Correlation between the amounts of SF_2^+ , SO_2F_2 and H_2O .

図 4.5 (a) は繰返し放電の初期の SF_2 , SOF の変化を示したものであるが, SF_2 のピークも 3.6 sec ののちには旧状に復していることがわかる。ただきわめて微量の SOF 存在が認められるが, SOF を含む, SO_2F , SO_2F_2 などのピークは SO_2F_2 の存在を裏付けるいわゆる影像ピークであって SOF などの物質が存在していることを意味するものではない。

図 4.5 (b) は SO_2F , SO_2F_2 などのピークを追跡したもので, SO_2F のピークの発生はアークシタ断後 200 ms を経て認められ, その後徐々に減少するが 500 ms ののちにはふたたび増加し, H_2O が存在する場合には SO_2F^+ ピークの残留が認められる。 SO_2F_2 , SF_2 の生成過程についてはすでに報告したとおりであって, ⁽²²⁾ H_2O が反応のカギを握っており, H_2O が存在するときのみ生成反応は進行することが判明している。図 4.6 は故意に H_2O を消

アークに対する SF_6 ガスの物理化学的特性・宮本・鎌谷

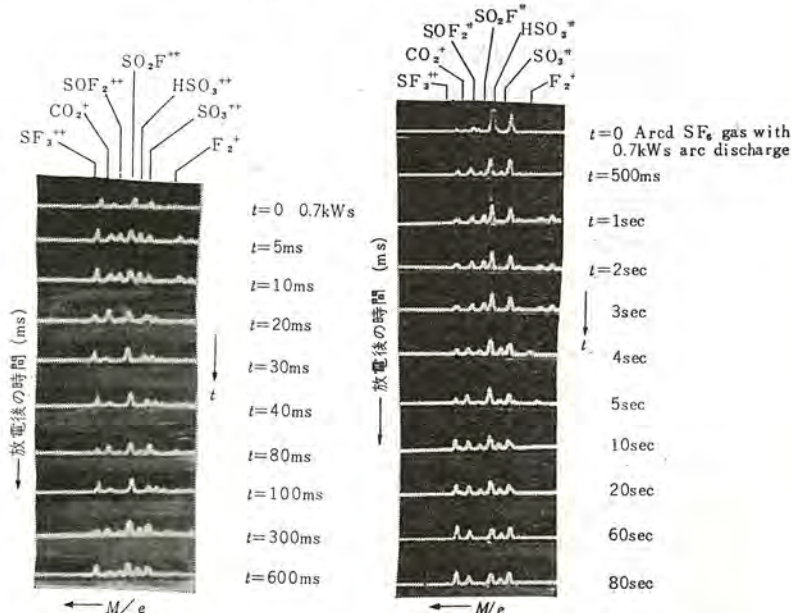


図 4.7 SO_2F^+ peak の変化 (H_2O のない場合)
Fig. 4.7 Variation of SO_2F^+ peak when the arc is discharged in the pure SF_6 gas.

図 4.8 活性アルミナ中における SO_2F^+ の変化
Fig. 4.8 Variation of SO_2F^+ peak in alumina. (Al_2O_3)

弧室に入れ, ある一定のエネルギー注入率で一定回数の放電を行なった場合の SF_2 , SO_2F 各ピークの大さを H_2O 注入量に対してプロットしたものであるが, いずれのピークも H_2O 注入量に対してかなり明瞭な相関関係を示している。したがって, 消弧室内に故意に多量の H_2O を入れない限り残留物質の発生はないものと思われる。図 4.7 は H_2O を故意に消弧室内に入れなくて, 普通の SF_6 ガスボンベから採集した SF_6 ガス中で図 4.5 と同様なアークエネルギーで実験を行なった場合のスペクトルを示したものであるが, H_2O の存在しない状態では SF_2 , SO_2F_2 などのピークに著しい変化はなく, 各ピークの残留も認められない。図 4.8 は SF_6 ガス中に H_2O を入れ故意に SO_2F_2 を発生させたのち, このガスを活性アルミナフィルタに通した場合のスペクトルの変化を示したものである。いったん生成し残留している物質も活性アルミナを用い

ることによりほぼ完全に除去され、純 SF_6 ガスの状態が維持できることは明らかである。

このほかにも同様な測定を数多く行ない、アーク消滅後の中間生成物のフルマイに関して次に述べるいくつかの結論が得られた。すなわち、

(1) SF_6 ガス中に故意に多量(3%以上)の H_2O を入れ、しかも消弧室のシヤ断限界以上のエネルギーで繰返しシヤ断を行なった場合には、微量の残留生成物の発生をみるが活性アルミナにより完全に除去される。

(2) SO_2F_2 の発生はアーク消滅後かなり遅れて200ms後にはじめて認められガス中に多量の水分のある場合には、最高2~3%の発生をみる。 S_2F_2 はアーク発生中または直後数msの間認められるが、発生量が少なく、 SO_2F_2 、 SF_2 とともに不活性であるので、機器の絶縁に影響はないものとみなされる。

(3) 実用機においては(1)、(2)で述べたような特殊な消弧室状態になることはありえない訳で、84kV,5,000MVAのシヤ断器で全シヤ断容量のシヤ断を30回つづけてシヤ断したのち、消弧室のガスを分析したがガス組成にならば変化は認められなかった。(29)

(4) 当然のことながら、有毒なガスとして知られる S_2F_{10} の発生はいかなる消弧室条件のもとでも認められなかった。

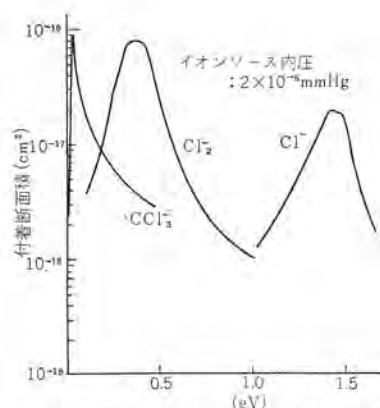
4.3 SF_6 ガスの電子付着特性

SF_6 ガスのすぐれた電気特性が SF_6 ガスの電子付着特性に関係していることはさきにもふれたが、ここでは SF_6 ガスをはじめとする種々の電氣的負性気体の電子付着特性を質量分析計により測定した結果について述べる。図4.9は分析計イオンソース内で種々の電子エネルギーガスを電離した場合の負イオンの強度を示したものである。 SF_6 ガスのほかに CCL_4 、 O_2 、 C_3F_8 などの負イオン強度を示してあるが、 SF_6 ガス中で認められる SF_6^- 、 SF_5^- などの負イオン強度が他のガス中の負イオン強度に比べて著しく大きいことがわかる。したがって、 SF_6 ガス中では自由電子がガス分子に捕獲され、易動度の小さい負イオンをとくに発生しやすいこと、このため SF_6 ガスがすぐれた絶縁特性を発揮するものであること、などが定性的に導かれる。

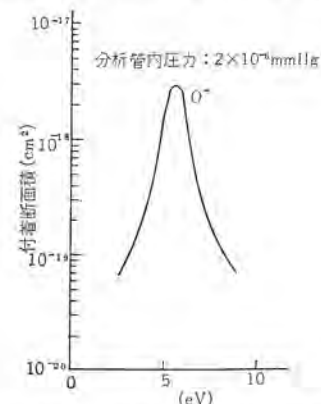
このほか、 SF_6 ガスの電子親和性は、シヤ断電流の波高値からその電流零点へ至る、いわゆる消弧過程において、顕著な電気伝導度の減少をもたらす、とくにアークの低電流域においては、負イオンの共鳴的発生を促進することなどが明らかになっている。(8),(9) 消弧現象とガスの電子親和性の関係などの詳細についてはこの本特集号中の別稿で述べられているので省略するが、少なくとも SF_6 ガスの電子親和性を含むガス個々の物理的特性は、このガスがすぐれた消弧性能を発揮することに大いに貢献しているようである。

以上、放電における SF_6 ガスの基本特性の一つとしてその電子付着特性について述べたが、 SF_6 ガスが有するすぐれた絶縁ならびにシヤ断特性がこのガスのアークに対する安定、不活性な性質とあいまって、はじめて実用上の意義をもつことはいうまでもない。

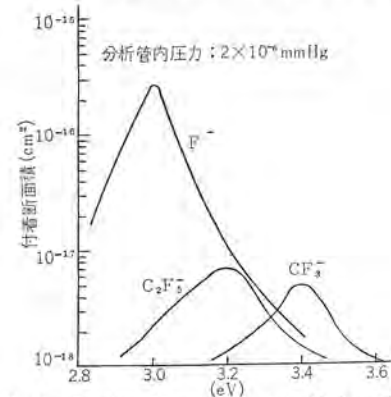
前節まで述べたところを総合すると、 SF_6 ガス中で大電流のシヤ断を行なっても残留生成物の発生は実用機では起り得ないこと、また、たとえ発生しても活性アルミナなどを適宜(使用するガス重量の10重量%) 使用することにより完全に除去できることなどが明らかになっている。したがって、シヤ断器の常時の運転にお



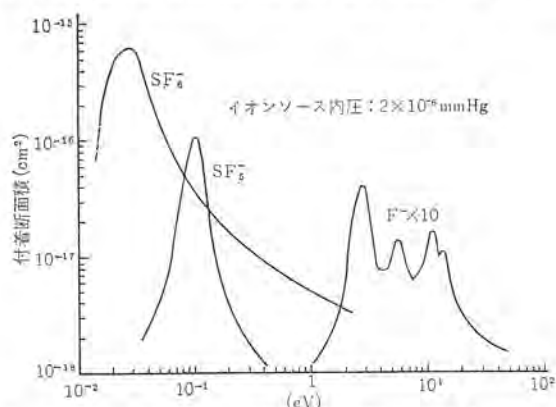
(a) CCl_4 中に発生する負イオン強度と電子エネルギーの関係



(b) O_2 ガス中で発生する負イオン強度と電子エネルギーの関係



(c) C_3F_8 ガス中に発生する負イオン強度と電子エネルギーの関係



(d) SF_6 ガス中負イオン強度と電子エネルギーの関係

図4.9 種々の電氣的負性気体中で電子衝撃により発生する負イオン強度と電子エネルギーの関係

Fig. 4.9 Relation between minus ion intensity and electronic ion produced by electronic impact in various electrically negative gas.

いては SF_6 ガスの純度は常に高い値に保たれているものと思われるが、シヤ断器の保守点検などの際、ガスの充排気操作を誤ると大気中空氣がガス中に混入する恐れがある。かりに充排気操作に誤りが発見された場合でも、シヤ断器が据え付けられている現地でガスの純度を簡単に点検できれば好つごうである。次にこのような目的のためにとくに開発し試用している携帯用の SF_6 ガス純度測定装置について述べる。

5. SF_6 ガス純度測定装置⁽²⁸⁾

SF_6 ガスのシヤ断性能、⁽³¹⁾絶縁性能ともに、ガス中空氣混入率20%程度までは変化しないことが確認されているので、⁽³⁰⁾試作した装置では SF_6 ガス中空氣の分圧% : 0.5~20%の範囲を直読できるようになっている。空氣の混合%は直接装置前面のメータに指示され、空氣混合比が20%を越えると警報が出るようになっている。図5.1は装置の外観であってDは検出ヘッド右は測定部本体である。測定原理は、 SF_6 ガス中不平等電界におけるコロナ電流が SF_6 ガスの純度によって大幅に変化するという特性を応用したもので、Dは特殊形状のコロナ電極検出ヘッドであり、コロナ電流の変化を増幅してメータに指示させるようになっている。図5.2は装置のブロック線図であって、コロナ発生のための電圧源はDC-DCコンバータにより発生し高圧ケーブルによって検出ヘッドに導かれる。このほか%値校正回路、メータスケールオーバー保護回路、高圧電源過負荷保護回路なども内蔵している。開発した装置のおもな仕様は次のとおりである。



図 5.1 SF_6 ガス純度測定装置外観
Fig. 5.1 SF_6 gas purity monitor.

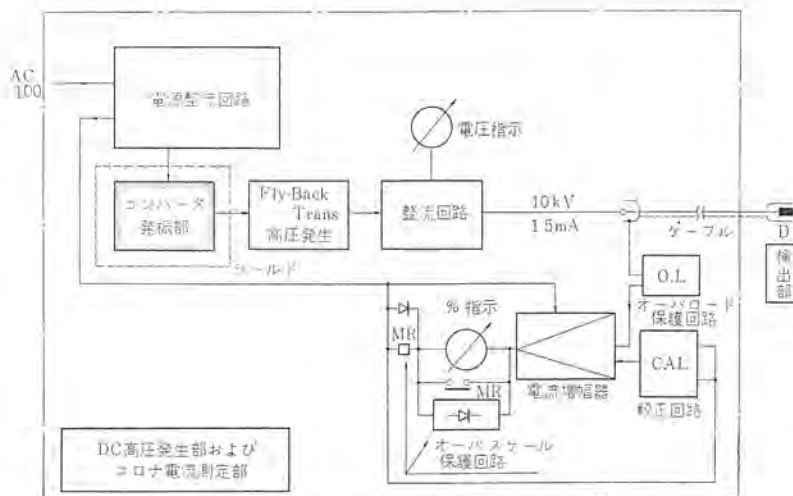


図 5.2 SF_6 ガス純度測定装置ブロック線図
Fig. 5.2 Block diagram of the SF_6 gas purity monitor.

SF_6 ガス 純度測定可能範囲	: 99.5~80% 精度 0.2%
% メータ 保護回路設定%	: 80%, 100 μA
DC コンバータ 発生電圧	: 16 KV, 2 mA
電源電圧および変動許容範囲	: AC. 100V, 50~60 c/s, $\pm 15\%$
消費電力ならびに重量	: 70 W, 13 kg.

6. む す び

この報告では SF_6 ガスの各種放電に対する物理化学的特性を主として取り上げ、とくにアークに対する特性を直視形質量分析計により吟味した。得られたおもな結論は次のとおりである。

(1) 十分に乾燥した SF_6 ガスでは、コロナおよびアークによるガスの成分変化はまったく認められず、したがってガスの劣化もまったくない。

(2) SF_6 ガス中に故意に多量の H_2O を入れ、しかも消弧室のシヤ断限界以上で多数回の放電を行なった場合には微量ではあるが残留生成物の発生が認められる。生成物のうち、おもなものは SF_4 , SO_2F_2 であるが、いずれのガスも電気的負性気体であり、しかも生成量が少ないため、消弧現象とは直接の関係はないものと思われる。これらの生成物が、たとえ発生しても活性アルミナを使用することによりほぼ完全に除去できる。残留生成物の生成量と H_2O との間には明らかな関係が認められ、アルミナを使用して SF_6 ガス中に H_2O の混入する余地をなくすれば、残留生成物の発生を根本的に防ぐことができる。したがって、シヤ断器の常時の運転においては SF_6 ガスの純度は常に高い値に保たれているものと思われ、シヤ断器の実用性能に関してもなんら心配のないことが確認された。

(3) 当然のことながら、有毒なガスとして知られる S_2F_{10} の発生はいかなる消弧室条件のもとでも認められなかった。

このほか、残留生成物の発生過程、再結合過程ならびに SF_6 ガスの電子付着特性について明らかにし、最後に SF_6 ガスの純度測定装置のあらましを述べた。

最後にこの研究に対し有益なご助言ならびにご討論をいただいた大阪大学理学部緒方惟一教授、また SF_6 ガスの熱力学的特性の計算に尽力された当所伊藤利朗研究員、村井技師の諸氏に深謝する。
(昭 40-6-15 受付)

参 考 文 献

- (1) 潮, 宮本:「電学誌」82, 714. (昭 37)
- (2) 潮, 宮本: 電学連大 512. (昭 37)
- (3) 潮, 富永:「オーム」p. 21. (昭 37)
- (4) K. H. Yoon. & H. E. Spindle i AIEE. Tr. 77. Pt III p. 1634 (1958)
- (5) G. Frind: Zeitschrift für angewandte Physik. P. 231~37 May. (1960), P. 515 ~21. Nov. (1960)
- (6) 宮本, 鎌谷: 電学連大 747, 748 (昭 38)
- (7) 宮本, 鎌谷:「電学誌」85, 665 (昭 40)
- (8) 宮本, 鎌谷:「電学誌」85, 675 (昭 40)
- (9) 宮本, 鎌谷, 後藤:「真空」6, 308 (昭 38)
- (10) Miller, Verder: et Gall: Ind. Eng. Chem. t. 43. 1126 (1951)
- (11) PLank; Kältechnik. t. 8. 365 (1956)

- (12) Watson et al : Proc.Roy. Soc. London. ptA. t 132, P. 56 9. (1931)
- (13) Birnbaum : National Bur. of Standards. (New York) Unpublished data.
- (14) Moissan et. Lebeau : C.R.Acad. Sci. 130, P. 865. (1900)
- (15) Lester et. Greenberg : Arch of Ind. Health and Occup. Med. 2, 350. (1950)
- (16) 後藤, 甲斐, 川崎ほか : 質量分析 NO. 14, P. 21. (昭 35-1)
- (17) 後藤, 道島ほか : Mitsubishi Denki. Laboratory Report. 2. NO. 1. P. 71. Jan. (1961)
- (18) 宮本, 鎌谷 : Mitsubishi Denki Laboratory Report. vol. 5 NO. 3. P. 321. July. (1964)
- (19) D. Lester : AIEE. Tr. PtIII P. 1183 (1957)
- (20) Compte rendu des discussions, SFE 8° serie tome III n° 34. P. 547. Oct. (1962)
- (21) 宮本 : 関西地区質量分析 コロキウム 第 26 回 (昭 37)
- (22) 潮, 宮本, 鎌谷 : 「三菱電機技報」 36, 1360 (昭 37)
- (23) J. H. Mason. : P. I. EE. 107. pt.-A. 551 (1960)
- (24) 原, 平林 : 「電学誌」 80, 1454. (昭 35)
- (25) 堺, 伊藤, ほか : 「電学誌」 82, 796 (昭 37)
- (26) 伊藤, 村井 : Mitsubishi Denki Laboratory Report. 6, No. 2. 731. (1965)
- (27) Bonch Bruevich and Hochbery : Exp'tle Theoret. Phys. (U.S.S.R.) 10 171 (1940)
- (28) 宮本, 鎌谷 : 電学連大 922. (昭 40)
- (29) 潮, 富永, 森岡 : 「三菱電機技報」 (SF₆ ショット断器特集号)
- (30) 宮本 : 関西支部電学連大 シンポジウム S・2-2 (昭 39)
- (31) 宮本, 鎌谷 : 「三菱電機技報」 (SF₆ ショット断器特集号)
- (32) 宮本, 鎌谷 : Mitsubishi Denki Laboratory Report. 6, NO. 2. April. 731 (1965)
- (33) 宮本, 鎌谷 : Mitsubishi Denki Laboratory Report. 6, NO. 1 January. 45 (1965)

ガスシャ断器におけるガス流のシミュレータとその応用

宮本紀男*・鎌谷章博*
森岡昭二**・稲村彰一**Development of a Pneumatic Transients Simulator and Its Practical Applications to Design of SF₆ Gas Blast Circuit BreakersCentral Research Laboratory Toshio MIYAMOTO・Akihiro KAMATANI
Itami Works Shōji MORIOKA・Shoichi INAMURA

In past three years a large number of experiments have been carried out on the arc quenching phenomena in SF₆ gas and air flow. The review of the data made available shows that arc quenching performance of power circuit breakers is largely affected by the pressure transients in the arc chamber. To put the research work to the practical design and development of power circuit breakers, it is necessary to study the phenomena in actual circuit breakers.

For these purposes a pressure transient simulator has been newly developed so as to obtain precise pressure transients in the arc chamber of various configurations. The simulation is made on the basis of the analogy between hydrodynamical and electrical variables. The simulator is a kind of a high speed scanning type analog computer and the pressure transients are displayed on the screen of a synchroscope.

In this paper are explained the principle of the simulation and outline of the instruments.

1. ま え が き

ここ数年来、筆者らは大容量 SF₆ ガスシャ断器の開発研究に携わり、その一環として SF₆ ガス中消弧現象の基礎的な研究を行ってきた^{(1)~(5)}。この結果、SF₆ ガスシャ断器における決定的な消弧力が SF₆ ガスの電子付着特性によるものであって、これがシャ断電流の電流ゼロ点近傍で最も有効に作用すること、また SF₆ ガス特有のこれら消弧力がシャ断器消弧室内のガス流とくにその過渡特性と密接な関係にあることなどが明らかにされた。実際のシャ断器では、ノズルあるいは弁によってガス流が制御されるため、消弧過程における消弧室内のガス流は非常に複雑な過渡現象を呈する。

実用寸法のシャ断器において、その消弧室内の流体力学的諸量を詳細に知り、ガス流の過渡特性を正確に掌握できれば、モデルシャ断器による一連の基礎研究結果から⁽²⁾、実用シャ断器の消弧特性を外そう(挿)することが可能となる。しかしながら、実用機消弧室の流体力学的諸量を実測することは相当めんどうであるのみならず、シャ断器消弧室の構造によっては、測定が不可能な場合もある。また、実用シャ断器の設計段階において、その消弧室内のガス流の特性をあらかじめ知ることができれば、シャ断器の開発を行なう場合、非常に有利であることはいうまでもない。すなわち、開発に先だってシャ断器の性能を知り、さらに進んでは実系統におけるシャ断器の消弧特性までも知ることができると、筆者らはこのような目的のためにシャ断器消弧室内のガス流を模擬できる、『圧力過渡現象シミュレータ』を試作し、ガスシャ断器の設計、開発のために活用している。

試作したシミュレータは圧力回路を電気対応回路に等価変換し、圧力回路上の任意の点の圧力過渡現象をブラウン管上に直視することのできる、直視形アナログコンピュータの一種である。このようにして得られた圧力過渡現象解をもとに、消弧室内のガス流がシャ断に最も有効に作用するよう、消弧室の構造を研究、開発する

ことができる。

以下、この稿では、試作したシミュレータの模擬原理ならびに構成についてあらましを述べ、最後にそれらの応用例についても言及する。

2. 圧力回路と電気回路間の等価変換

2.1 定断面積配管系のシミュレーション

配管内を伝搬する波動は一次元波動方程式で表わされる。等価変換においては、管を短く分割し、階差方程式にしてその区分内の気体を集中質量とみなして取り扱う。いま管内の気体に及ぼす管の抵抗力は気体の速度に比例し、管内に一樣な大きさで分布するものとする。気体の分子速度を $\partial y / \partial t$ 、管断面積を S 、気体の圧力を P 、平均圧力を P_{om} 、気体の平均比重量を γ_{om} 、単位長さの摩擦係数を R とし、管内の気体の温度は一樣であると仮定する。また気体の音速を a とし、管内の軸方向の速度分布を一樣とすると、微小な管長 dx に対して運動方程式は次式で表わされる。

$$S \cdot \frac{\gamma_{om}}{g} \cdot dx \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -S dx \cdot \frac{\partial P}{\partial x} - RS \cdot dx \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \quad (2.1)$$

質量流量 q と圧力変動分 dP を用いて、

$$q = \frac{\gamma_{om}}{g} \cdot S \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$dP = P - P_{om} \quad (2.3)$$

とおくと、式(2.1)は、

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -S \cdot \frac{\partial (dP)}{\partial x} - R \cdot \frac{g}{\gamma_{om}} \cdot q \quad (2.4)$$

となる。

他方、連続の式は、

$$\frac{\partial (dP)}{\partial t} = -\frac{a^2}{S} \cdot \frac{\partial q}{\partial x} \quad (2.5)$$

式(2.4)、(2.5)で表わされる連立方程式をシミュレーションにより解くためには、全管長を n 区分に分け、その j 番目の区分の長

さを l_j とし、圧力変化分を dP_j 、流量を q_j とし、階差方程式の形にする。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dq_j}{dt} &= -S_j \frac{dP_{j+1} - dP_j}{l_j} - R_j \frac{g}{\gamma_{om}} q_j \\ \frac{d(dP_j)}{dt} &= -\frac{a^2}{S_j} \frac{q_j - q_{j-1}}{l_j} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

$j=1, 2, 3, \dots, n$

$$\left. \begin{aligned} l_j/S &= L_j \\ Sl_j/a^2 &= C_j \\ Rl_jg/S\gamma_{om} &= R_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

と置く、

$$\left. \begin{aligned} L_j \frac{dq_j}{dt} &= dP_j - dP_{j+1} - R_j R_j \\ C_j \frac{d(dP_j)}{dt} &= q_{j-1} - q_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.8)$$

$j=1, 2, 3, \dots, n$

この式は、 dP を電圧、 q を電流、 L をインダクタンス、 C をキャパシタンスとした電気回路と等価である。したがって、分断数 n を十分多くした場合には、式 (2.7) の $l_j \approx 1$ としたものを単位長の電気回路対応定数と考えることができる。式 (2.7) の R_j 、式中の R については、Stanton 図表⁽⁶⁾ あるいはその他の実験図表からこれを求めることができる⁽⁷⁾。

2.2 超音速流ならびに衝撃波発生を考慮する場合の等価変換

前節では、ノズルなどの特殊な圧力要素を含まない配管系について、その変換法を述べたのであるが、電力用ガス吹付形シャ断器では、流体管路途中にノズル部分、すなわち、極端な絞り込みのあるのが普通であって、シャ断性能もこのノズル部分の流体力学的特性と深い関係にあることはすでに報告したとおりである⁽²⁾。

このようなノズルが管路途中にある場合には、ノズル最小断面積部下流側で超音速流が発生するが、超音速流が発生している管路と音速以下の管路とでは、流体力学的な過渡特性がまったく逆になることは流体力学の基本特性として広く知られている⁽⁸⁾。したがって、等価変換式のうち流体抵抗に相当するものは式 (2.7)、(2.8) とは違ったものとなる。

以下、ノズルなどが存在する管路の取り扱いについて述べる。まず取り扱いの便利のため、以後の計算では、一次元定常流として取り扱い、衝撃波も直立衝撃波のみを考慮することにする。

断熱流のエネルギー方程式

$$\frac{1}{2} u^2 + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P}{\rho} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_0}{\rho_0} \dots\dots\dots (2.9)$$

ならびに等エントロピー関係式

$$\left(\frac{P}{P_0}\right) = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^k \dots\dots\dots (2.10)$$

を用いると、圧縮性流体に対する Bernoulli の式として、

$$\frac{1}{2} u^2 + \frac{k}{k-1} \left(\frac{P_0}{\rho_0}\right) \left(\frac{P}{P_0}\right)^{(k-1)/k} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_0}{\rho_0} \dots\dots\dots (2.11)$$

を得る。式 (2.9)～(2.11) において、

$k=C_p/C_v$ であって比熱比を表わす。また u は流れの速度、 ρ は管路中流体密度、添字 0 は貯気タンク圧力、貯気タンク密度に対応することを示す。いま、式 (2.10)、(2.11) で表わされる等エントロピー流において、単位断面積を単位時間に通過する流量 ρu と圧力の関係は、 $a_0 \equiv (kP_0/\rho_0)^{1/2}$ として、

$$\rho u = \sqrt{\frac{2}{k-1}} \rho_0 a_0 \sqrt{\left(\frac{P}{P_0}\right)^{2/k} - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{(k+1)/k}} \dots\dots\dots (2.12)$$

で与えられ、いわゆるノズルの臨界状態においては、 $\rho u = q$ は最大となり、 S^* を最少断面面積として、

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{2}{k-1}} \rho_0 a_0 \left(\frac{2}{k+1}\right)^{1/(k-1)} S^* \dots\dots\dots (2.13)$$

を得る。なお臨界状態における最小断面部の圧力を P^* とすると、 $P^* = (2/(k+1))^{k/(k-1)} P_0$ で与えられる。式 (2.13) を書き換えると、

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{2k}{k+1}} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{1/(k-1)} S^* \frac{P_0}{\sqrt{R_0 T}} \dots\dots\dots (2.14)$$

となり、臨界状態にあるノズルに対する等価変換式として、

$$R_N = \sqrt{\frac{k+1}{2k}} \left(\frac{k+1}{2}\right)^{1/(k-1)} \frac{\sqrt{R_0 T}}{S^*} \dots\dots\dots (2.15)$$

を得る。

以上は、単純な一重インコウ(咽喉)の圧力回路における R_N を導いたものであるが、一般にガス吹付形のシャ断器では、圧力回路は、複雑な多重インコウの形態をしており、絞り込み部分が2個所以上に存在するのが普通である。このような場合には、流体抵抗の模擬方法も変わってくる。以下、多重インコウの圧力回路の等価変換法について述べる。

いま、流れが臨界状態に達する点の断面積、密度、速度に対して *印をつけることにすれば、流量一定の関係式、 $\rho u S = \rho^* u^* S^*$ と、式 (2.12)、(2.13) から、流管断面積と圧力の関係として、

$$\frac{S}{S^*} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{1/(k-1)} \left(\frac{k-1}{k+1}\right)^{1/2} \left(\frac{P}{P_0}\right)^{-1/k} \left[1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{(k-1)/k-1/(k-1/2)}\right] \dots\dots\dots (2.16)$$

を得る。以下式 (2.16) は、 $S/S^* = F(P/P_0)$ とおくことにする。いま衝撃波が発生している場合をも含めて模擬するため、以後の取り扱いにおいては、衝撃波前後の流管断面、圧力、流速に対してそれぞれ、 C, B なる添字を用いる。 M (マッハ数) $\equiv u/a$ とし、

$$P_C/P_0 = (1 + (k-1)M_C^2/2)^{-k/(k-1)} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$P_B/P_0 = [2k/(1+k)]M_C^2 - [(k-1)/(k+1)] \dots\dots\dots (2.18)$$

$$P_0'/P_0 = [1 + 2k(M_C^2 - 1)/(k+1)]^{-1/(k-1)} \times [(k+1)M_C^2 / \{(k-1)M_C^2 + 2\}]^{k/(k-1)} \dots\dots\dots (2.19)$$

なる関係が成立する。 P_0' は衝撃波直後の貯気タンク圧力を示す。この P_0' と P_B とは、 $P_B/P_0' = P_B/P_C \cdot P_C/P_0' \cdot P_C/P_0$ で与えられる。したがって S_B^* と S_C^* とは、

$$S_B^*/S_C^* = F(P_C/P_0)/F(P_B/P_0) \equiv G(M_C) \dots\dots\dots (2.20)$$

で与えられる。一方衝撃波下流に対しても等エントロピー流を仮定すると、 S と S_C^* の関係として、 $S/S_C^* = S/S_B^* \cdot S_B^*/S_C^*$

$$= G(M_C) \cdot F[(P/P_0) \cdot (P_0/P_0')] \equiv Z(P/P_0, M_C) \dots\dots\dots (2.21)$$

を得る。式 (2.21) から、 M_C をパラメータとした S/S_C^* と P/P_0 の関係が得られる。式 (2.21) を k が既知である任意のガスについて電子計算機により計算したものが図 2.1, 2.2 である。図 2.1, 2.2 は SF_6 ガスと空気 (それぞれ $k=1.07, 1.4$) について計算したものであって、複数のノズルを有する圧力回路内の定常圧力分布を衝撃波の発生をも含めて解くことができるはん用チャートである。

いま、シャ断器圧力回路との対応を考えて、第1インコウ部がノズル、第2インコウ部が排気弁であると仮定すると、普通第1インコウ部が最小断面部であると考えられる。図 2.3 はこのような圧力回路の一例であって、次にこの中の圧力分布を図 2.1, 2.2 に従って求めてみる。後述するように、図 2.1, 2.2 のチャートにより求められた定常圧力分布は過渡現象を解く場合、 $t \rightarrow \infty$ における境

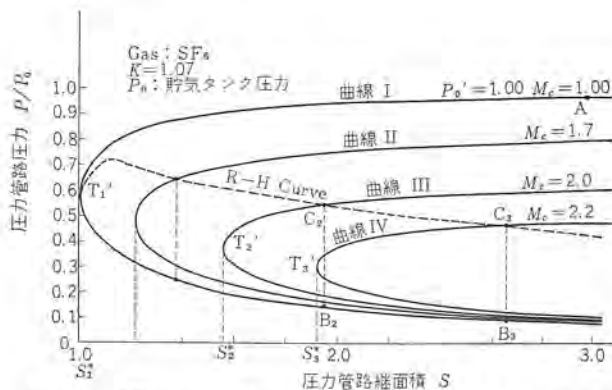


図 2.1 SF₆ ガスシヤ 断器圧力回路抵抗換算用はん用 チャート
Fig. 2.1 Universal purpose chart for the calculation of the pneumatic resistance in SF₆ gas blast circuit breakers.

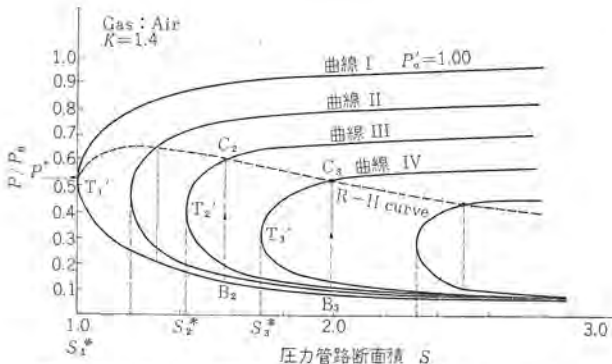


図 2.2 空気シヤ 断器圧力回路抵抗換算用はん用 チャート
Fig. 2.2 Universal purpose chart for the calculation of the pneumatic resistance in air blast circuit breakers.

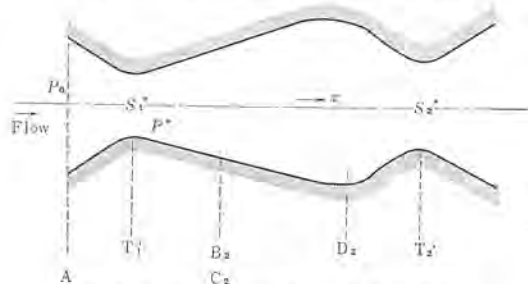


図 2.3 代表的な二重 インコウ 圧力回路
Fig. 2.3 Typical raval nozzle with double throat.

境界条件になる訳である。

いま、図 2.1 において、第 1 インコウの断面積を S_1^* 、第 2 インコウ部の断面積を S_2^* とすると、圧力分布は貯気タンク圧に相当する曲線上の点 A から曲線 I に沿って降下し、 S_1^* の点で臨界状態に達し、 P^*/P_0 は空気の場合 0.528、SF₆ ガスの場合 0.591 となる。ノズル下流側でふたたび S が増加するに従って、さらに曲線 I に沿って圧力が低下するとともに超音速流が得られる。図 2.1 の曲線群の中で、その最少断面積部に対応する点 T_1' 、 T_2' 、 T_3' などの S の値がちょうど S_2^* であるような曲線 III と R-H 曲線との交点 C_2 から P/P_0 軸に平行に S 軸に垂直に引いた線と曲線 I の交点を B_2 とする。ノズル下流側で S の増加とともに I の曲線をたどり圧力が降下し、 B_2 点に達すると B_2 点に対応する断面積の点で直立衝撃波が発生する。

直立衝撃波直後では圧力は C_2 に回復し、その後の S の変化に従って圧力分布は曲線 III に沿って変化する。もし、第 2 インコウ部の断面積が S_2^* より大きく S_3^* である場合には圧力分布は $T_1' \rightarrow B_2 \rightarrow C_3 \rightarrow$ 曲線 III をたどることになる。このようにしてさら

に複雑な圧力回路についても、定常圧力分布を求めることができ、圧力管路軸方向距離 x の関数として圧力分布が得られる。消弧室圧力回路に直結して、送気パイプなどの配管系が存在する場合には、配管系における損失係数からその系の圧力損失を求め、全圧力回路に対して一つの定常圧力分布を得る必要がある。得られた圧力分布はさきにも述べたとおり、模擬回路を組む場合の境界条件になる訳で、式 (2.15) で与えられる抵抗を模擬回路上の圧力降下対応点に分割して分布させ、配管系に対しては、式 (2.7) の L, C, R を用いて模擬回路を作ればよい。

2.3 バルブ類の操作特性に対する模擬

シヤ断器などの圧力回路においては過渡現象の始動はノズルを含むバルブ類によって行なわれ、それらのバルブは普通完全閉路状態から、完全開路状態まであるストロークカーブに従って変化する。このようなバルブ類の操作特性が模擬できなければ、回路定数個々の変換がいかに精密に行なわれても圧力過渡現象解としては信頼度の少ないものとなる。

前節で求めたノズルの流体抵抗はノズルが臨界状態になってはじめて意味をもつものであるが、実際のシヤ断器などではノズルがはじめ完全閉路状態からあるストロークカーブに沿って全開するのが普通である。ノズルが全開状態になるまでの過程で刻々変化するノズルの有効断面積に対応して式 (2.15) の流体抵抗式が適用できるためには、それぞれの時点でノズルは臨界状態になければならない。いまノズル有効断面積が変化する早さを一つの時定数 T で表現し、これに追従してノズル部分が臨界状態に達する時定数を τ とすると、 τ は理論的に、

$$\tau \approx l/a \left[\left(\frac{k+1}{k-1} \right) \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{(k-1)/2k} - \left(\frac{2}{k-1} \right) \right] \dots \dots \dots (2.22)$$

で与えられる。 P_1 は外気圧 P_n と貯気タンク圧 P_0 の関数として表わされ、次のようになる。

$$\frac{P_n}{P_0} = \frac{P_1}{P_n} \left[1 - \frac{(k-1)(P_1/P_n - 1)}{\sqrt{2k} \sqrt{2k + (k+1)(P_1/P_n - 1)}} \right]^{-2k/(k-1)} \dots \dots (2.23)$$

式 (2.22) において、 l はノズル部分が圧力管路内に占める軸方向の代表的距離、 P_1 はノズル方向に進行する圧力波波頭値、 a は音速、 k は比熱比である。式 (2.22)、(2.23) を解くと、 τ は 0.1~0.3 ms となり、一般の実用機でノズルが全開になる時定数 $T=5 \sim 6$ ms に比較すると、 τ はるかに短い時間に臨界平衡が達成されていることがわかる。

したがって、ノズルあるいはバルブ類の操作特性を模擬する場合にも、流体抵抗の刻々の値は式 (2.15) で与えられるものと考えてよい。ただし、バルブやノズルの断面積 S はバルブストロークによって変化する、時間の関数となる。つまり、流体抵抗 R_N はノズルなどの操作ストロークカーブに従って、 $S=0$ の状態 ($R_N \rightarrow \infty$) から、ノズルの全開状態に対応する $R_N(S^*)$ へと変化する。よほど特殊な構造のバルブでない限り、バルブ断面積 S の変化はバルブストロークカーブと相似関係にあるため、これらバルブ類の操作特性を模擬するためには流体抵抗が $R_N \rightarrow \infty$ から $R_N(S^*)$ へ変化する過程をバルブストロークカーブに沿って変化させればよいことになる。試作したシミュレータでは、このバルブストロークカーブを Ramp 関数あるいは二乗関数で近似し、バルブユニットとしてはパワートランジスタを用いている。トランジスタのベースエミッタあるいはベースコレクタ間にストロークパタン信号を加え、その信号に従ってトランジスタのコレクタエミッタ間の抵抗を変化させてバルブ操作特性の模擬を行なっている。

なお、圧力回路内にノズルなどがなく、臨界状態の部分あるい

は衝撃波の発生がないような管路においては、流体抵抗は式 (2.7) で与えられる一定の電気抵抗 R_f を考えておけばよい。

2.4 終端閉管路における圧力波の反射現象とその模擬方法

終端が閉じた圧力管路を充気する場合、圧力波の往復反射を考慮しなければならない場合がある。終端閉管路における反射係数を知ることによって、このような回路の電気等価回路への変換法が導かれる。終端閉管路における圧力波の入射、反射両波の間の関係は式 (2.24), (2.25) により与えられる。すなわち、入射波圧力波頭値 P_f と反射波圧力最大値 $P_{r \max}$ との間には次のような関係のあることが判明している。すなわち、

$$\frac{P_f}{P_1} = \frac{P_f}{P_1} \left[\frac{\sqrt{2(k+1)}}{2 + [(k-1)/k](P_{r \max}/P_1 - 1)} \right]^{2k/(k-1)} \quad (2.24)$$

ただし、 P_1 は管路内初期圧力、また、

$$\frac{P_f}{P_1} = \frac{P_f}{P_1} \left[1 + \sqrt{\frac{k+1}{2}} \left(\frac{P_{r \max}}{P_1} - 1 \right) \right]^{2k/(k-1)} \quad (2.25)$$

である。式 (2.24), (2.25) の両式から P_f と $P_{r \max}$ の関係をプロットすると図 2.4 のようになる。図 2.4 から明らかなとおり、反射係数は 2 以下であることがわかる。したがって、閉圧力回路終端におくべき抵抗は図 2.4 から反射係数を求めれば模擬回路のサージインピーダンスとの関係からこれを決定できる。

以上でおもな圧力回路の変換法について述べたのであるが、それらを総合すると次のようになる。

$$\text{流体容量: } C = SI/\gamma RT \quad (2.26)$$

$$\text{流体慣性係数: } L = l/A \quad (2.27)$$

$$\text{配管に対する流体抵抗: } R_p = Rlg/S\gamma_{om} \quad (2.28)$$

ただし、 R については Stanton 図表⁽⁷⁾、Dacy の式、Gibson 氏らの計算図表⁽⁸⁾により求める。

ノズル等流管の一部で臨界状態が発生する場合については、ノズルの最小断面積を S^* とすると、式 (2.15)

$$R_N = \sqrt{\frac{k+1}{2k}} \left(\frac{k+1}{2} \right)^{1/(k-1)} \frac{\sqrt{R_g T}}{S^*}$$

で与えられる。普通のガス吹付形のシャ断器では必ず圧力回路内にノズルがあるので流体抵抗は式 (2.15) で与えられる。

R_N は定常圧力分布に従って圧力模擬回路上の圧力降下対応点に分割して分布される。

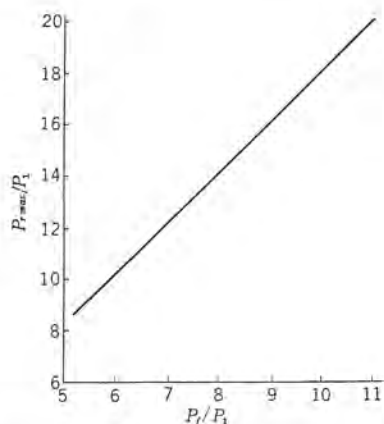


図 2.4 終端閉管路における入射波圧力対反射波圧力特性

Fig. 2.4 Reflection of pressure front on a rigid wall. (Pressure front P_f vs reflected front $P_{r \max}$)

3. 圧力過渡現象シミュレータの概要とその応用

さきにも述べたとおり試作したシミュレータは圧力過渡現象をブラウン管上に繰り返し掃引することのできる直視形アナログコンピュータの一種である。過渡現象の始動は普通吹付弁あるいは排気弁により行なわれるため、これら流体制御用のバルブストロークを模擬できるトランジスタスイッチを用いて、これをバルブ要素としている。装置は現象を繰り返して始動するための繰返し信号発生機、バルブストロークを模擬するためのバルブストロークパタン発生器、複数のバルブを一定の時間々隔で操作することのできる遅延時間ユニットなどで構成されている。また模擬回路構成用の L, C, R は合計 200 単位がパネル面に配置されており、パッチボード上で適宜回路を構成できるようになっている⁽⁹⁾。

図 3.1 は装置の外観で、図 3.2 は装置のブロック線図である。バルブ要素としては、スイッチング用のパワートランジスタ、2SB300 を使い、バルブストロークパタンは、バルブの始動から閉路までを模擬できる、台(梯)形波を用い、その立上り時間、全開対応時間などが別個に変えられるようになっている。また、立上り特性は Ramp 関数近似あるいは、二乗近似で模擬できるようになっている。このほか、必要があれば高速度再開路、再充気などの特殊責務を模擬することもできるようになっている。図 3.3 はバルブストロークパタン発生器のブロック線図であり、図 3.4 は代表的なバルブストロークパタンの波形である。

圧力過渡現象解は模擬回路上対応点における電圧過渡波形とし

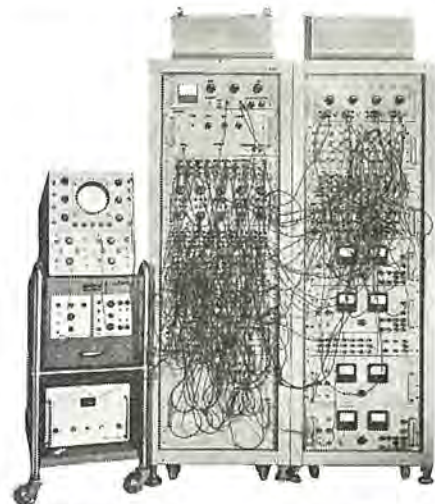


図 3.1 シミュレータの外観
Fig. 3.1 Front view of the pressure transients simulator.

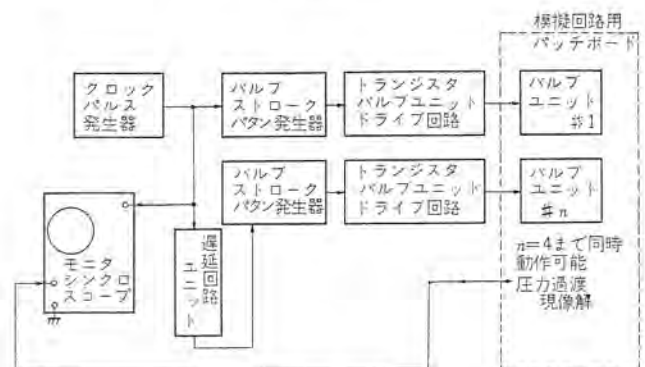


図 3.2 シミュレータブロック線図
Fig. 3.2 Block diagram of the pressure transients simulator.

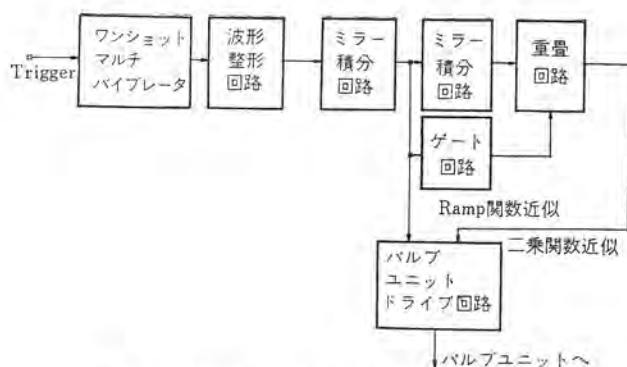


図 3.3 バルブストロークパターン発生器ブロック線図
Fig. 3.3 Block diagram of the valve stroke pattern generator.

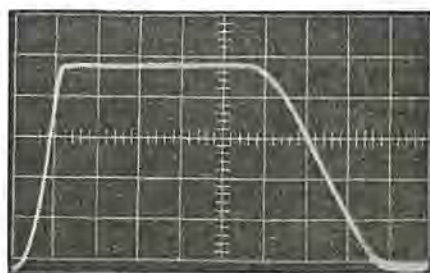


図 3.4 バルブストロークパターン信号の一例
Fig. 3.4 Valve stroke pattern signal.

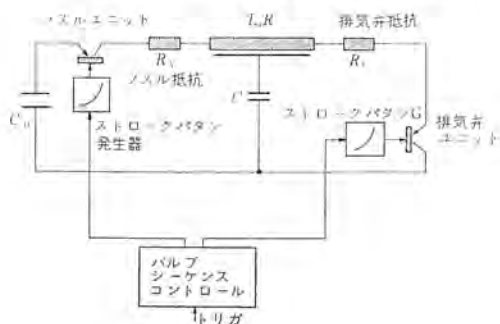


図 3.5 代表的な常時充気式シャ断器の模擬回路構成図
Fig. 3.5 Typical circuit of a pressure rised arc chamber type circuit breaker.

てシンクロスコープのブラウン管上に繰り返し掃引される。

図 3.5 は代表的な模擬回路構成図であって、常時充気式シャ断器の圧力回路に相当するものである。図 3.5 では二つのバルブユニットが用いられ、それぞれノズルと排気弁に対応している。ノズルならびに排気弁のストロークカーブはパタン発生器により与えられ、実用機と同じ弁動作を圧力回路の中で行なうようになっている。図 3.5 の模擬回路において二つのバルブユニットが用いられているがいずれのバルブユニットもトランジスタのエミッタまたはコレクタは電氣的には定電位にあるため、ストロークカーブに従って操作することは容易である。しかしながら、ある種のシャ断器では排気弁の下流側に無視することのできない圧力回路、たとえば消音器や低圧側ダクトなどがあって、排気弁に対応するバルブユニットを電氣的に変動する模擬回路の途中で操作しなければならない場合がある。図 3.6 は、このような目的に使用されるバルブユニットの一例でその構成を示したものである。バルブストロークカーブはコンデンサ C ならびに抵抗 r_1, r_2, r_3 との組み合わせを変えることにより変更することができる。

図 3.7 は、試作したガス流シミュレータによる解析結果の一例

ガスシャ断器におけるガス流のシミュレータとその応用・宮本・鎌谷・森岡・稲村

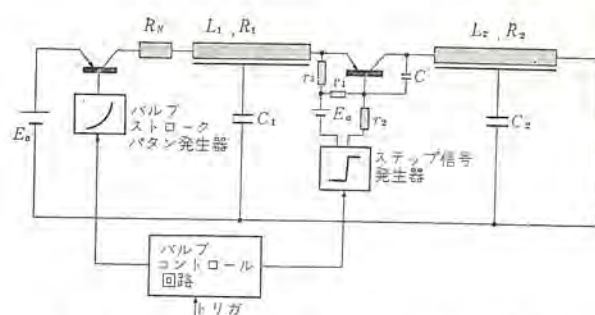


図 3.6 バルブが模擬回路中央にある場合の回路構成
Fig. 3.6 Circuit diagram of the floating valve unit.

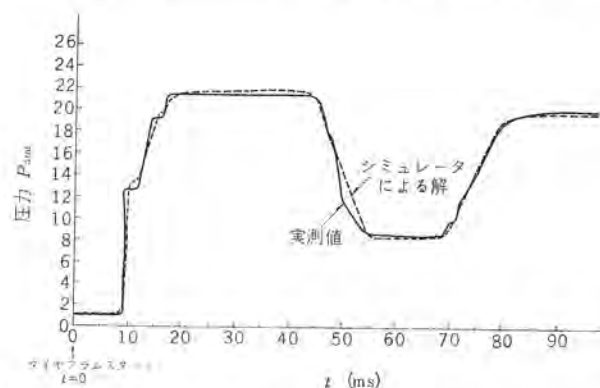


図 3.7 シミュレータによる解と実測値の比較 (I)
Fig. 3.7 Comparison between a measured and a calculated transient.

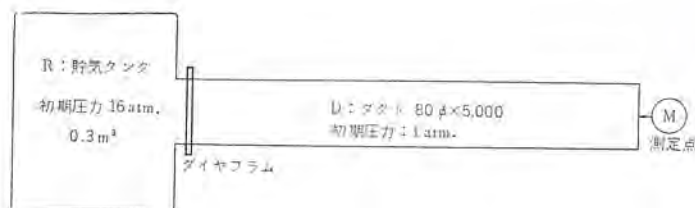


図 3.8 模擬解析の対象となっている圧力回路
(高速充気回路ダイアフラムスタート)
Fig. 3.8 Arrangement for rapid charging of a duct.

を、実測結果と比較して示したものである。図 3.7 で取り上げた圧力回路は図 3.8 に示すような構成のもので、図 3.7 の結果は、ダクト終端のところで得られた過渡現象解である。図 3.9 には実測結果を比較のために示してあるが、実測結果とシミュレータによる解析結果との一致は満足すべきものであることがわかる。図 3.9 はさらに複雑な実用シャ断器の圧力回路について解析を行なったもので、吹付弁やノズルのストローク、おのおのの時間遅れなどの複雑な因子をすべて模擬した場合である。この場合も実測値と計算値との一致は満足すべきもので、複雑な管路終端あるいは弁部における往復反射が忠実に現われている。以上の例でも明かなように、試作したシミュレータは十分実用に耐えうるもので数多くの解析結果を総合すると、その時間値精度は $\pm 4\%$ 、圧力値精度は $\pm 3\%$ で実測値と合致することが判明した。

この稿のはじめにも述べたとおり、試作したシミュレータはシャ断器の開発設計に具体的な検討を加え、机上設計の段階でシャ断器消弧室内のガス流について、その過渡特性を予知することを目的としたものであって、シャ断器消弧室の最適構造、寸法を決定することが可能である。すでにこのシミュレータはいくつかのシャ

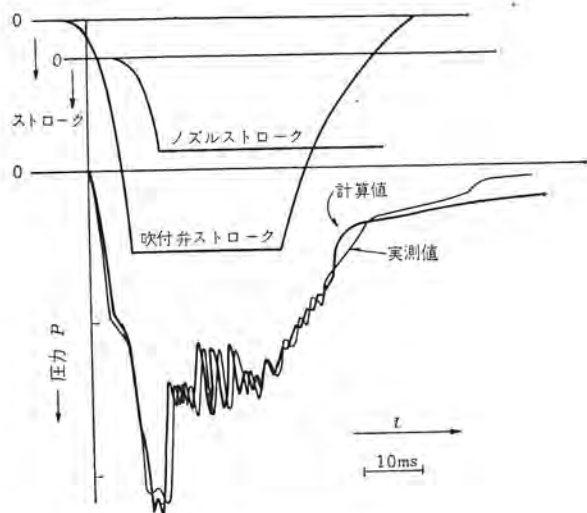


図 3.9 実用機における実測値とシミュレータ
による解との比較

Fig. 3.9 Comparison between a measured and a calculated transients in the actual power circuit breaker.

断器の開発設計に先だって試用され、とくに SF_6 ガスシヤ断器の開発においては見るべき成果を収めている。

このシミュレータのさらに進んだ応用としては、アークの電気的な動特性を模擬できる計数形計算機を用いたシミュレータと組み合わせることにより、短絡故障シヤ断現象の模型的解析を行なうことも考えられ、実用シヤ断器の開発を行なう場合にも机上設計の段階でシヤ断現象、シヤ断性能を予知することができる。

4. む す び

この稿では、シヤ断器消弧室内のように圧縮性流体が用いられる圧力回路の圧力過渡現象を一般的に解くことのできるシミュレータについて、その模擬原理と装置の概要を述べた。シヤ断器消弧室内の圧力過渡現象のシミュレータによる解析の究極の目的は、シヤ断器消弧室の設計製作に先だって、多種多様の消弧室形状についてその圧力過渡現象を知り、さらに進んでは、それらシヤ断器のシヤ断性能についても模擬解析を行なうことであって、目下この目的のために引き続き努力を続けている。

最後に、試作したシミュレータを実用機的设计に応用する際、種々ご協力いただいた、伊丹製作所シヤ断器設計課の各位、ならびにこの稿の作成にあたって、種々有益なる討論ならびに助言をいただいた当所、伊藤利朗研究員に深謝する。

(昭 40-6-15 受付)

参 考 文 献

- (1) 潮, 宮本: 「電学誌」82, 714 (昭 37)
- (2) 宮本, 鎌谷: 「電学誌」85, 665 (昭 40)
- (3) 宮本, 鎌谷: 「電学誌」85, 675 (昭 40)
- (4) 潮, 伊藤, 宮本: 「三菱電機」35, 811 (昭 35)
- (5) 宮本, 鎌谷: 電学連大 512, 513 (昭 37)
- (6) 数森: 高圧ガス工学 (日刊工業新聞社) p. 38.
- (7) 河武: 油圧駆動 (小峰出版社) p. 27.
- (8) 河村: 高速空気力学 (日刊工業新聞社) p. 37.
- (9) 宮本, 鎌谷: 電学関西支部 7-15 (昭 39)

新形大容量SF₆ガスシャ断器

富永正太郎*・森岡昭二*

New High Capacity SF₆ Gas Circuit Breakers

Itami Works Shōtarō TOMINAGA・Shōji MORIOKA

A series of new high power SF₆ circuit breakers ranging from 72/84 kV to 300 kV has been completed after exhaustive efforts for these several years. The breaker is provided with a high pressure SF₆ gas reservoir at the high voltage part. (so called a live tank type). The voltage rating of one breaking point is 72/84 kV. Oil hydraulic mechanisms, which have the excellent performance for more than ten years in Europe, have been adopted as a standard mechanism of the apparatus. Type tests for various power companies have been conducted for the past year. Features of new SF₆ gas circuit breakers have won user's favor. The Company is now prepared for mass production of the breakers.

1. ま え が き

卓越した消弧性能を有する SF₆ (六フッ化イオウ) ガスは、そのすぐれた絶縁性とあいまって、シャ断器用消弧媒体として最適のものとなされ、ここ十数年来この方面でいろいろな研究がなされてきた。最近にいたってその実用化は急速に進み、アメリカでは製品として出荷されたものおよび製造中のものを合わせると、数百台の多数にのぼり、一方ヨーロッパでもすでに数社が製品化を開始している。

当社でも早くから SF₆ ガスに対する広範な基礎研究を開始し、このガスをシャ断器へ適用するに際しての考慮すべき各種の問題を実験的ならびに理論的に研究したが、他方製品開発の第一歩としてアメリカ Westinghouse 電機会社 (以下 W 社と略す) において、すでに製品化されている接地タンク形超高圧シャ断器と同一設計のものを試作し、W 社でもつ豊富な実用経験を学ぶとともに、超高圧電力研究所武山試験所でシャ断試験を実施し、そのすぐれた性能を再確認したことはすでにこの誌上で発表したとおりである。(1)

ついでこのタンク形ガスシャ断器の試作試験で得られた経験を十分に活用し、さらにわが国の実状に適合さすべく、まったく当社独自の構想と設計による新製品の開発を行ない、ガスシャ断器としては世界はじめての常時充気式 live tank の構造を採用し、操作機構としてはわが国でははじめてであるが、ヨーロッパでは経験豊富で信頼度の高い油圧操作機構を用いた 72 kV から 300 kV に至る大容量ガスシャ断器のシリーズ化を完成し、昭和 39 年秋から 40 年夏にわたって各電力会社の形式試験を受験したので、その構造性能などについて紹介する。

2. 大容量ガスシャ断器開発の経緯

新形大容量 SF₆ ガスシャ断器開発の経緯を以下に概説する。

2.1 SF₆ に関する基礎研究

当社においてはアメリカで W 社が SF₆ に注目し、製品化を進めつつあった昭和 34 年ごろから SF₆ に関する各種の基礎的な研究を開始した。研究は主として、このガスの絶縁耐力に関する研究、静止 SF₆ ガスの消弧性能についての各種気体との比較研究、吹付 SF₆ ガスの消弧能力の研究、SF₆ シャ断器中の電極消耗とガ

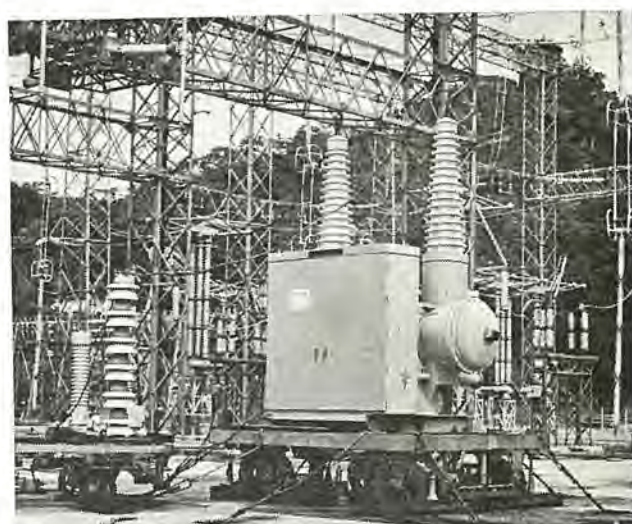


図 2.1 超高圧電力研究所武山試験所で試験中の 240 kV 15,000 MVA SF₆ ガスシャ断器
Fig. 2.1 240 kV 15,000 MVA SF₆ gas circuit breaker under tests in the testing authorities at Takeyama, Japan.

スの劣化に関する研究、SF₆ ガスの熱的諸特性に関する研究などでこれらの成果の一部はすでに発表されている。(2)~(6)

2.2 240 kV 15,000 MVA タンク形 SF₆ シャ断器の開発

SF₆ ガスをシャ断器として適用するに際し、すでに W 社でもつ豊富な実用経験を勉強するとともに、これをわが国に実用化する観点から徹底的に再検討する目的で、W 社において標準品として生産されている接地タンク形超高圧シャ断器と同一設計のものを試作し、各種性能ならびに実用性能に関して広範な試験を実施した。図 2.1 に超電研武山試験所においてシャ断試験実施中の 1 相分外観を示す。

各種性能は予想どおり、きわめてすぐれていることが確認されたが、接地タンク形の構造であるため各電圧階級にわたって統一設計が困難であり、ユニット形式にできないため量産に不向きであるとか、将来の 500 kV, 750 kV といった超々高圧シャ断器への適用は無理であるなどの理由から、このタンク形ガスシャ断器の試作において得られた経験を十分に活用して、まったく独自の構想による統一設計のユニット形ガスシャ断器の開発に着手した。

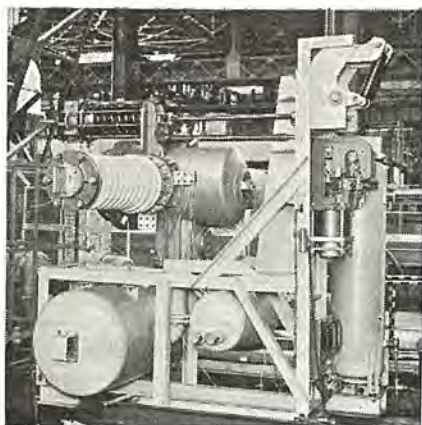


図 2.2 シュ断試験用ユニットの一例
Fig. 2.2 One model unit for interrupting tests.

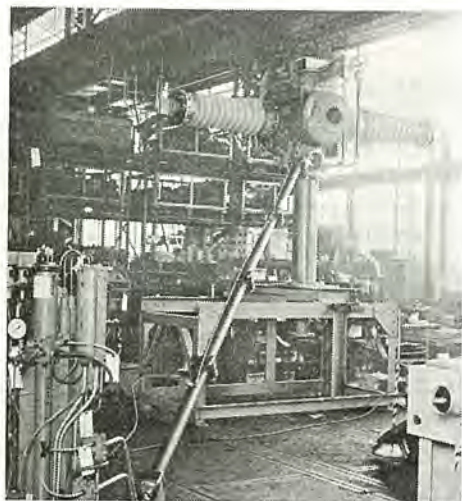


図 2.3 操作試験用ユニットの一例
Fig. 2.3 One model unit for operating tests.

2.3 ユニット形ガスシュ断器消弧室ユニットの試作試験

以上のような経緯を経て開発を開始した新形のガスシュ断器においては、その当初に各方面からの徹底的な検討を行ない、基本的に次のような構想を採用した。すなわち

- (1) 72/84 kV を1シュ断点とし、168 kV 2シュ断点を一つのユニットとするユニット形式
 - (2) 消弧室を収めたガイ管2個をもつ live tank 構造
 - (3) 約 15 kg/cm² g の高圧系統をもつノズル吹付方式を採用するが、とくにガスシュ断器としては世界最初の常時充気式、下流排気弁方式を採用する。
 - (4) 接触子および弁の駆動には油圧操作機構を採用する。
 - (5) ユニットの定格シュ断電流は 50 kA 以上、定格電流は 4 kA を対象とする。
- というものである。

これらの基本構想に基づいて試験のための消弧室（図 2.2）、操作方式（図 2.3）ガス制御系統などについて並行して試作研究が行なわれた。最適の設計および構造を決定するため、たとえば消弧室のユニットに関しては4種類、油圧操作機構に関しても3種類のものが試作され、つぎつぎと試験を実施したがそのおもなものとして次のようなものがあげられる。

- (1) ユニットについて、近距離線路故障、異相地絡、脱調時などのシュ断を含め数百回のシュ断試験

- (2) 充電々流、励磁電流などの小電流シュ断試験
- (3) 1,300 A の負荷電流の連続 3,000 回繰返し開閉試験
- (4) 温度上昇試験
- (5) ガス系統温度試験
- (6) 絶縁ならびにセン絡試験
- (7) コロナ試験
- (8) 汚損セン絡試験
- (9) シュ断器可動部分、油圧操作機構、ガス系統の寿命試験
- (10) 絶縁物の耐 SF₆ 特性試験
- (11) 絶縁操作ロッドの強度試験

これらの試験結果を十分比較検討してユニット形ガスシュ断器の最終製品としての統一設計が完了し、製品化にいたったのである。

3. 定 格

新形大容量 SF₆ ガスシュ断器の定格は表 3.1 のとおりで、図

表 3.1 新形大容量 SF₆ ガスシュ断器定格表

形 式	70-SF-500	140-SF-1000	250-SF-2500
定 格 電 圧 (KV)	72 84	168	300
定 格 電 流 (A)	1,200/4,000	4,000	4,000
定格シュ断容量 (MVA)	5,000	10,000	25,000
定格再起電圧	II号 4.5kc/s II号 4kc/s	* I号 0.5kc/s	* I号 0.36kc/s
定格投入電流 (KA)	109.3 93.8	93.8	13.1
定格短時間電流 (KA)	40.2 34.4	34.4	48.1
定格シュ断時間 (～)	5	3	3
無負荷投入時間 (S)	0.1	0.15	0.15
操 作 方 式	油 圧 操 作	油 圧 操 作	油 圧 操 作
定格操作油圧 (kg/cm ²)	320	320	320
投入制御電圧 (V)	D.C. 100	D.C. 100	D.C. 100
定格引はずし電圧 (V)	D.C. 100	D.C. 100	D.C. 100
定格ガス圧力(kg/cm ² ・g)	15	15	15
標準動作責務	甲 号	高速度再投入	高速度再投入
総 重 量 (t)	5	9	20
シュ断点数	1	2	4

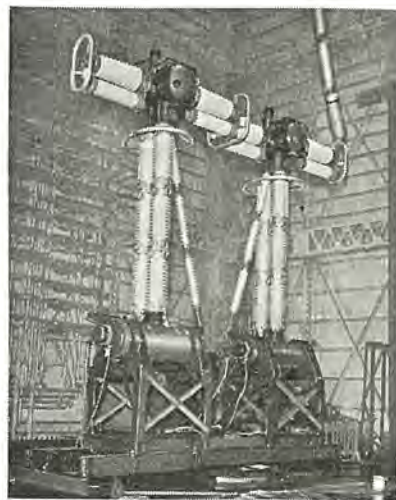


図 3.1 高圧試験室に据え付けられた 300 kV, 25,000 MVA 4,000 A SF₆ ガスシュ断器
Fig. 3.1 300 kV 25,000 MVA 4,000 A SF₆ gas circuit breaker under testing in high voltage laboratory.

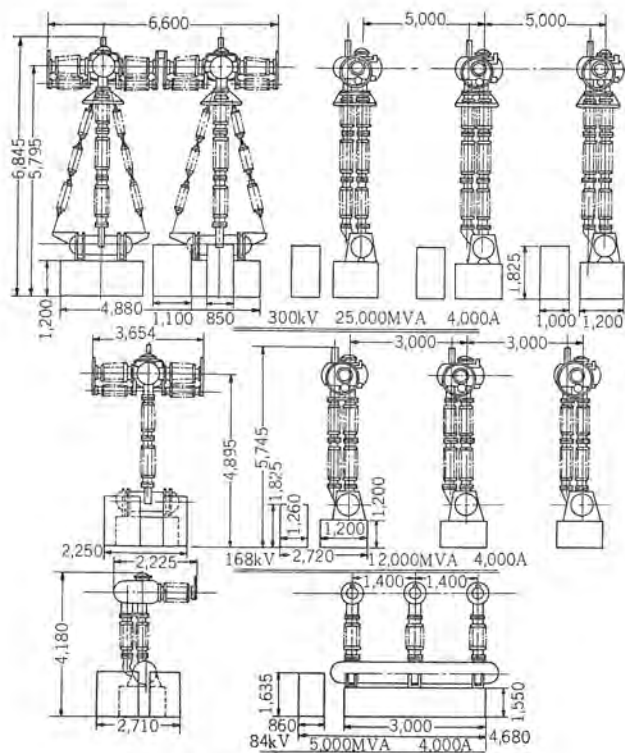


図 3.2 外形寸法
Fig. 3.2 Outline dimensions of SF₆ gas circuit breakers.

3.1 に高圧試験室に据え付けられて試験中の 300 kV 25,000 MV A, 4,000 A のガスシヤ断器を図 3.2 に外形寸法を示す。

4. 構造および動作

図 4.1, 4.2 の構造図に示されるように低圧 ガスタンクを基礎に 2 本の ガイ 管によって大地から絶縁された高圧 ガスタンク が充電部分にあり, 72/84 kV 用の シヤ 断器には 1 個の消弧室を, 168 kV, 300 kV 用の シヤ 断器 ユニット には 2 個の消弧室を備えている。この シヤ 断器本体とは別に油圧操作機構と ガス 圧縮機の ハウジングがあり, 前者には低圧 ガスタンク の横に取り付けられた油圧操作シリンダへ約 300 kg/cm² の油を送油, 排油することによってシヤ断器を入り切りする機構いっさいが含まれるが, この詳細について

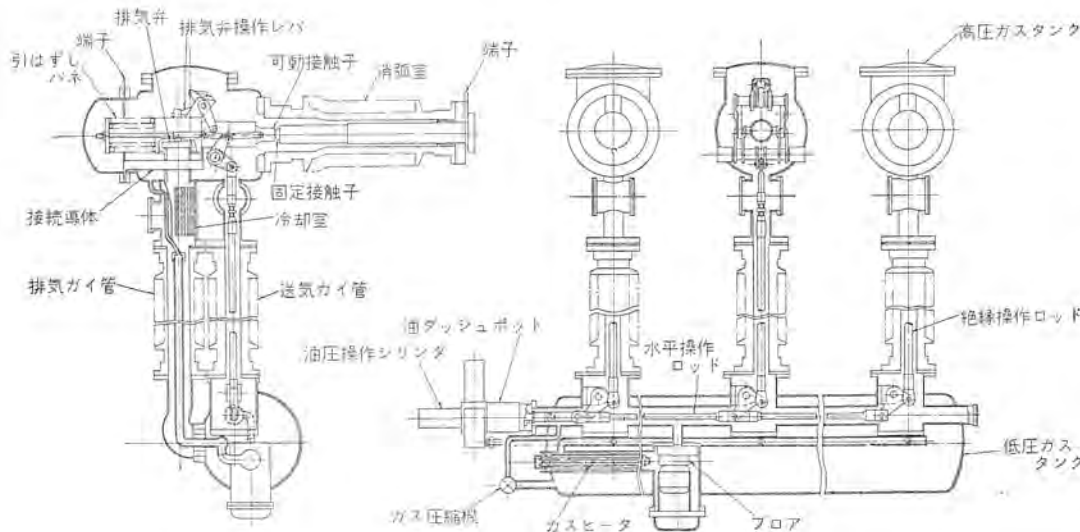


図 4.1 72/84 kV 5,000 MVA SF₆ シヤ断器構造
Fig. 4.1 Cross section of 72/84 kV 5,000 MVA SF₆ circuit breaker.

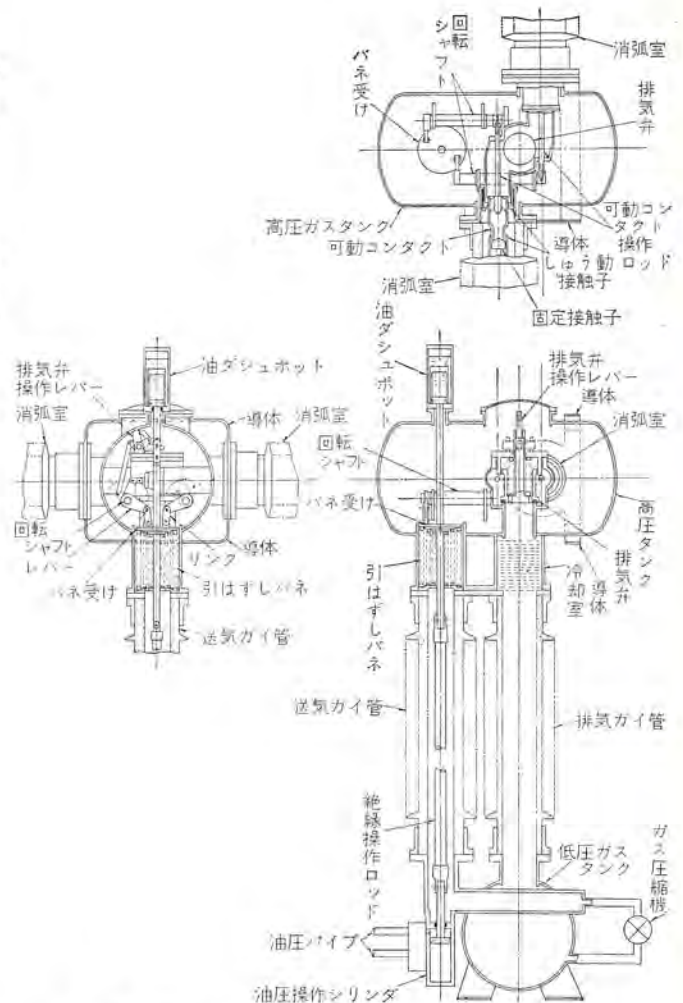


図 4.2 168 kV, 300 kV SF₆ シヤ断器ユニット構造
Fig. 4.2 Cross section of 168 kV 300 kV SF₆ circuit breaker unit.

はこの号の“ガスシヤ断器用油圧操作機構”を参照されたい。後者にはシヤ断に使用されたガスをふたたび圧縮して, 高圧ガスタンクに戻すための圧縮機とその制御装置が含まれている。参考のために図 4.3 にシヤ断器とこれら機構の組み合わせを示すダイアグラムを示す。

投入操作は大地電位にある油圧操作シリンダに約 300kg/cm² の油圧を送り, 絶縁操作ロッドを介して引はずし用バネを圧縮することによって行なう。接触子は 15kg/cm² の高圧ガス内で投入されるので先駆放電による損耗はきわめて少ないことはいままでもない。引はずし操作は油圧操作シリンダの油を排油し, 引はずしバネに蓄積されたエネルギーを解放すれば動

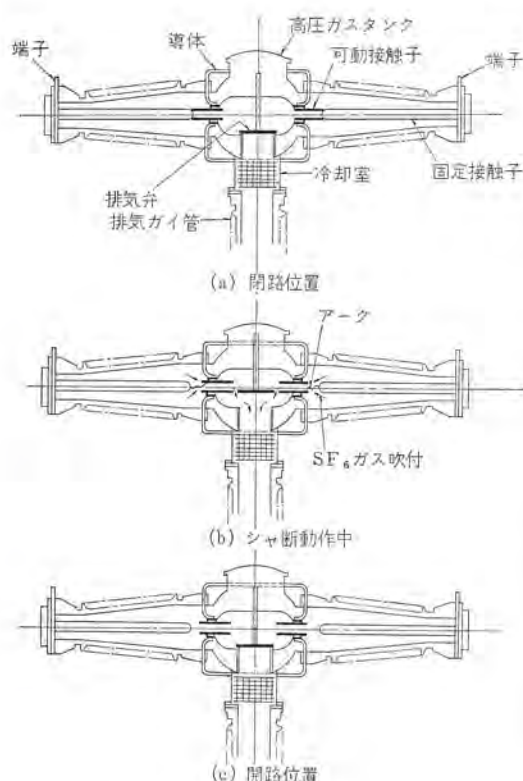
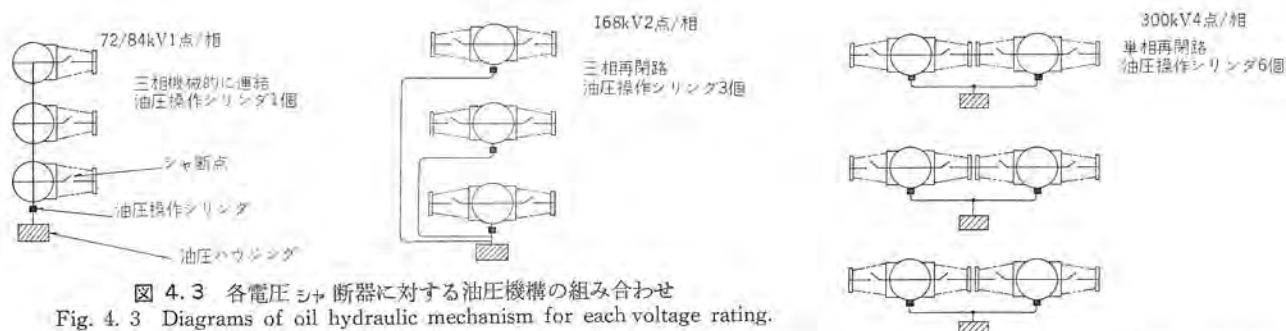


図 4.4 SF₆ シュ断器消弧室動作原理
Fig. 4.4 Diagram showing interrupting operation of SF₆ gas circuit breaker.

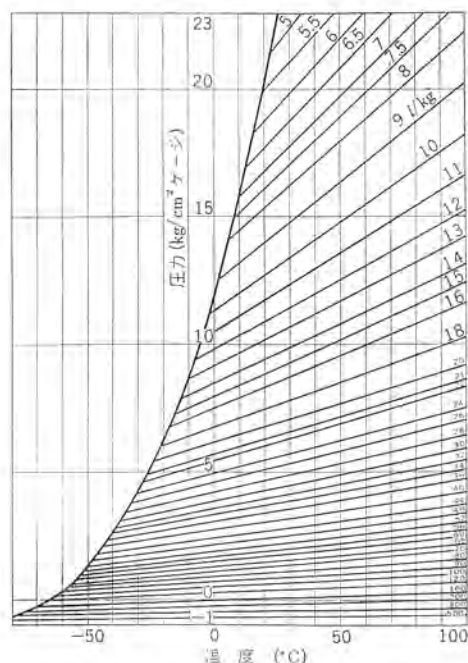


図 4.6 SF₆ の圧力-温度特性
Fig. 4.6 Pressure-temperature characteristics of SF₆.

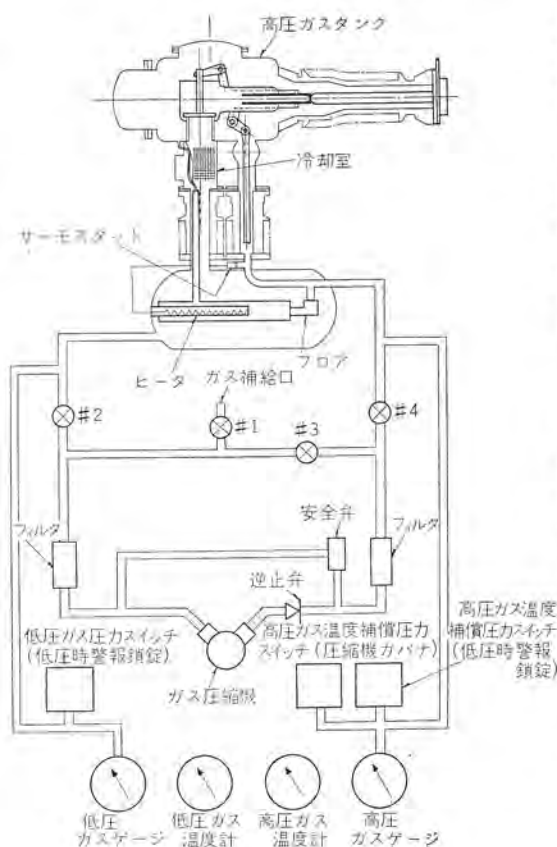


図 4.5 SF₆ シュ断器ガス系統
Fig. 4.5 Gas system for SF₆ gas circuit breaker.

2ユニット以上で構成されたシュ断器で投入中万が一1ユニットの絶縁ロッドが破損するような事態が生じてもただちに残るユニットを高速に引はずしできるようにするためであることは別論文に示されるとおりである。

シュ断部は常時高圧ガス中に置かれているが、アーカをシュ断する際には可動接触子の下流に位置する排気弁が数サイクルの間開き、接触子部分に高速のガス流が作られ、アーカはノズルを形成する可動接触子の中に吸い込まれ消弧が行なわれる。

排気弁の運動はレバーと係合するカムに連動して行なわれ、排気動作の行なわれる数サイクルのみ開き、接触子部分が分離してアーカが消弧された後は排気弁は閉鎖して接触子は高圧ガス中で極間絶縁を維持されるようになっている。この消弧室動作を図4.4の原理図で示す。消弧に使用されたガスは冷却室、排気パイプを通して低圧ガスタンクに放出され、ガス圧縮機によって圧縮され、活性炭アルミフィルタを通過してふたたび高圧ガスタンクへ戻される。この圧縮機の起動停止は図4.5のガス系統図に示されるように高圧ガス圧力で動作する温度補償圧カススイッチによって制御されるが、この温度補償圧カススイッチは図4.6に示されるガス圧力-温度特性の等密度曲線に沿った特性を持っている。もし高圧系統のガス圧力が異常に低下した場合は警報を出すとともに仕様によって

作が開始される。

引はずしパネの力
はリンク、レバー
などを通じて可動接
触子に伝えられる
ばかりでなく、排
気弁をシュ断瞬時
のみ開くための排
気弁操作レバーに
も伝達される。

投入、引はずし
動作とも可動部分
は高速に運動する
ので、運動最終部
分で緩衝作用を行
なう油ダッシュボ
ットも備えている。
この油ダッシュボ
ットの位置は72/84
kV用と168kV、300
kV用とは異なる
が、これは300
kV以上のシュ断
器のように一相が

シヤ 断器をそのまま鎖錠するか、あるいは投入時にはただちに引はずし動作を行なうようになっている。ガス が万一外部に漏れているときは低圧系統のガス 圧力が降下するから警報が出て ガス 圧縮機の運転を中止するようになっている。

15 kg/cm²g の SF₆ ガスは約 8℃ で液化するのでこれを防ぐために ガスヒータによって暖められた ガス を高圧 ガスタンク中に循環させる フロー が設けられており、ガスヒータ、フロー の入り切り制御には サーモスタット を使用している。

5. 試験 結果

2.3 節に述べた ユニットの試作状態での各種試験は紙面のつこう上発表できないが、製品化された シヤ 断器に対して行なった試験結果のうちおもなものを以下に示す。

構造および動作において触れたように、72/84 kV 用の シヤ 断器は高圧 ガスタンク に1個の消弧室を備え、油圧操作 シリンダ1個で三相を操作する構造であるのに対し、168 kV、300 kV 用の シヤ 断器は高圧 ガスタンク に2個の消弧室を備えこれが1ユニットを形成しており、この1ユニットを1個ずつの油圧操作 シリンダ で操作しているといった相異点があるので、引はずし用 パネ、操作 シリンダ、排気弁の大きさなどが前者と後者の間では異っている。したがって試験結果も 74/84 kV 用 シヤ 断器と168 kV、300 kV 用 シヤ 断器の両者について述べる。

5.1 開閉試験

ガス 圧は操作に影響がないとあってよい構造なので 15 kg/cm²g と一定にし、制御電圧、油圧をかえた組み合わせの開閉試験を実施した。油圧 ポンプ は 320 kg/cm² で始動し、336 kg/cm² になると停止するように圧力 スイッチ で制御されるが油圧の投入鎖錠は

表 5.1 連続開閉操作試験結果

操作回数 (回)	制御電圧 (%)	操作油圧 (kg/cm ²)	操 作	投入時間 (ms)	三相不揃 (ms)	開極時間 (ms)	三相不揃 (ms)
0	100	320	C	88	0	—	—
	100	320	O	—	—	38	1
	100	320	CO	88	0	38	1
1,000	100	320	C	88	0	—	—
	100	320	O	—	—	38	0
	100	320	CO	88	0	38	1
2,000	100	320	C	88	1	—	—
	100	320	O	—	—	38	0
	100	320	CO	88	0	38	0
5,000	100	320	C	86	1	—	—
	100	320	O	—	—	38	0
	100	320	CO	86	0	38	0
10,000	100	320	C	90	0	—	—
	100	320	O	—	—	38	1
	100	320	CO	90	1	38	1

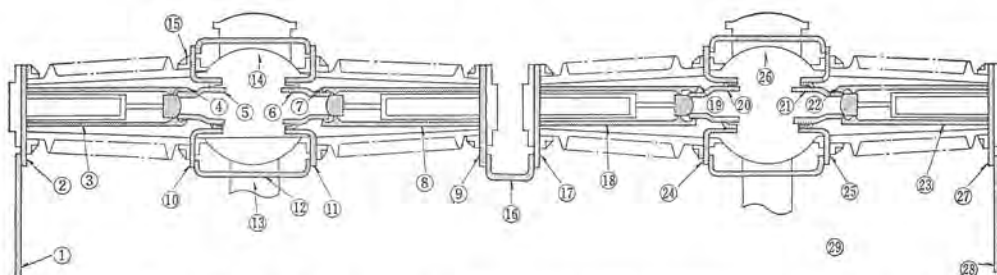


図 5.2 250-SF-2500 形 ガスシヤ 断器一相分による 4,000 A、4,800 A 温度上昇試験測定点
Fig. 5.2 Location of temperature rise measurement for type 250-SF-2500 SF₆ gas circuit breaker.

(引はずしはいかなる場合でもできるので鎖錠する必要はない) 動作責務が異なるので 72/84 kV 用では 285 kg/cm²、168、300 kV 用では 270 kg/cm² の圧力で行なうことにしている。

72/84 kV 用および 300 kV 用 シヤ 断器に対して 10⁴ 回の連続開閉試験を実施したが、いずれも満足すべき結果が得られた。その一例として 72/84 kV 用 シヤ 断器連続開閉試験途中で測定した開極、投入時間を表 5.1 に示す。

5.2 温度試験

表 5.2 70-SF-500 形 ガスシヤ断器温度上昇結果

測 定 点	1,200A		4,000A		許 容 値 (°C)
	最終温度 (°C)	温度上昇値 (°C)	最終温度 (°C)	温度上昇値 (°C)	
1	41	22.5	—	—	70
2	44	25.5	59	44	70
3	44.5	26	—	—	55
4	46	27.5	64	49	55
5	46	27.5	61	46	55
6	45	27.5	58	43	55
7	45	26.5	—	—	70
8	44.5	26	57	42	55
9	45.5	27	—	—	70
10	44.5	26	58	43	—
11	51	32.5	68	53	—
12	40.5	22	50	35	55
13	51.5	33	66	51	—
14	44.5	26	—	—	—
15	37	18.5	64	49	55
16	18.5	—	15	—	40以下

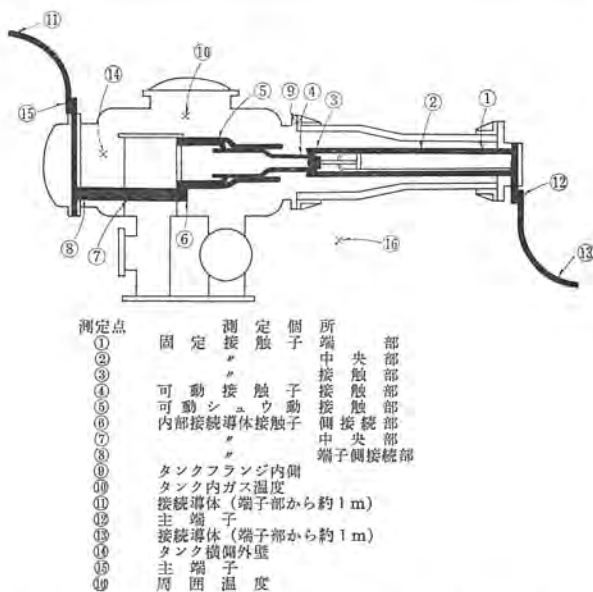


図 5.1 70-SF-500 形 ガスシヤ 断器 1,200 A、4,000 A 温度上昇試験測定点

Fig. 5.1 Location of temperature rise measurement for type 70-SF-500 SF₆ gas circuit breaker.

- ①, ⑤, ⑨ : 接続導体、端子から 1 m の位置
- ②, ③, ④, ⑥, ⑦, ⑧, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭, ⑮, ⑯, ⑰, ⑱, ⑲, ⑳, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖, ㉗, ㉘, ㉙, ㉚, ㉛, ㉜, ㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳, ㊴, ㊵, ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, ㊺, ㊻, ㊼, ㊽, ㊾, ㊿ : 端子
- ③, ④, ⑥, ⑦, ⑧, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭, ⑮, ⑯, ⑰, ⑱, ⑲, ⑳, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖, ㉗, ㉘, ㉙, ㉚, ㉛, ㉜, ㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳, ㊴, ㊵, ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, ㊺, ㊻, ㊼, ㊽, ㊾, ㊿ : 固定接点 高さ中央部
- ④, ⑦, ⑩, ⑫, ⑮, ⑰, ⑲, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖, ㉗, ㉘, ㉙, ㉚, ㉛, ㉜, ㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳, ㊴, ㊵, ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, ㊺, ㊻, ㊼, ㊽, ㊾, ㊿ : 主接点部
- ⑤, ⑥, ⑧, ⑨, ⑪, ⑬, ⑭, ⑯, ⑰, ⑱, ⑲, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖, ㉗, ㉘, ㉙, ㉚, ㉛, ㉜, ㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳, ㊴, ㊵, ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, ㊺, ㊻, ㊼, ㊽, ㊾, ㊿ : シュウ動接点部
- ⑩, ⑪, ⑬, ⑮, ⑰, ⑲, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖, ㉗, ㉘, ㉙, ㉚, ㉛, ㉜, ㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳, ㊴, ㊵, ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, ㊺, ㊻, ㊼, ㊽, ㊾, ㊿ : 外部導体接続部
- ⑫ : 外部導体中央部
- ⑬ : 上部タンクの外部導体近接部
- ⑭, ⑮ : ガス温
- ⑯ : 消弧室ガイ管フランジ
- ⑰ : ユニット間接続導体中央部
- ㉙ : 周囲温度

表 5.3 250-SF-2500 形ガスシヤ断器の温度試験結果

測 定 点	4,000A		4,800A		許 容 値 (°C)
	最終温度 (°C)	温度上昇値 (°C)	最終温度 (°C)	温度上昇値 (°C)	
1	71	56	82	72	50以上
2	50	35	54	44	55
3	54	39	57	47	70
4	57	42	59	49	55
5	53	38	55	45	55
6	54	39	56	46	55
7	56	41	59	49	55
8	53	38	55	45	70
9	46	31	49	39	55
10	47	32	47	37	55
11	45	30	44	34	55
12	50	35	50	40	70
13	43	28	44	34	70
14	50	35	52	42	—
15	48	33	48	38	70
16	53	38	56	46	70
17	48	33	48	38	55
18	53	38	56	46	70
19	55	40	58	48	55
20	53	38	55	45	55
21	54	39	53	43	55
22	56	41	58	48	55
23	53	38	59	49	70
24	46	31	45	35	55
25	48	33	47	37	55
26	48	33	49	39	—
27	52	37	58	48	55
28	73	58	85	75	50以上
29	15	—	10	—	40以下

72/84 kV 用 シヤ 断器に対しては、1,200, 4,000 A の電流を流し、300 kV 用 シヤ 断器には 4,000, 4,800 A の電流を流して温度上昇を測定した。なお 4,000 A 以上の通電をして測定する際には接続導体が シヤ 断器端子から 1 m 離れた点で 50°C 以上の温度上昇を示すように調整してある。図 5.1, 5.2 に温度測定点を表 5.2, 5.3 に結果を示す。さらに 72/84 kV 1,200 A の シヤ 断器に対しては、38 kA および 2.8 kA の短絡電流についてそれぞれ標準動作責務甲号を 1 回ずつ行なわせ、17.2, 20.5, 38 kA の短絡電流を 3 回ずつ シヤ 断し、さらに 100 kA の投入電流を 2 回投入した後に温度上昇を測定した。固定、可動接触子、接触部の温度上昇値は短絡 シヤ 断 試験を行なう前に測定した温度上昇値と変わっていない。

SF₆ ガス 中では接触部の酸化がないことも考えあわせると、温度上昇値は現在 JEC-145 に銀接触で 55°C と規定されているが、SF₆ ガスシヤ 断器に対してはこの上昇限度をあげてしかるべきであり、現に アメリカ では銀接触で 65°C あるいはそれ以上の温度上昇まで許容しようという動きがある。逆にいえば現在の 55°C の温度上昇を目標に設計された シヤ 断器接触部は実用上通電容量にかなりの潜在能力を有しているといえよう。

5.3 電圧分布測定試験

72/84 kV 用 シヤ 断器では シヤ 断点が 1 個 なので問題ないが、168, 300 kV 用 シヤ 断器では シヤ 断点がそれぞれ 2, 4 と直列になるので対地漂遊容量のため シヤ 断時の再起電圧あるいは シヤ 断後の回復電圧が均等に分布しない。これを是正する目的で 168, 300 kV 用 シヤ 断器の各 シヤ 断点には並列に 電圧均等分布用のコンデンサを備えている。

全 シヤ 断点を直列に試験する場合には問題ないが、短絡試験設備容量の関係で ユニツト 試験を行なう際にはあらかじめ電流 シヤ 断時の電起再圧および回復電圧の分布を知っておく必要がある。この目的のため当社ではわが国はじめてと思われるが図 5.3 に

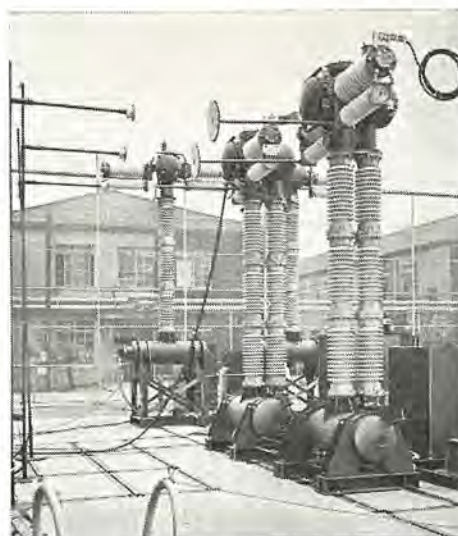


図 5.3 電圧分布測定中の 250-SF-2500 形ガスシヤ断器
Fig. 5.3 Type 250-SF-2500 SF₆ gas circuit breaker under measurement of voltage distribution.

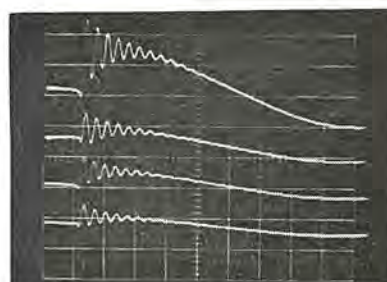


図 5.4 電圧分布測定 オシログラム の一例
Fig. 5.4 Typical oscillogram showing the voltage distribution.



図 5.5 電圧分布測定用 ミリアンペア 計を取り付けた 250-SF-2500 形 SF₆ ガスシヤ 断器
Fig. 5.5 Type 250-SF-2500 SF₆ circuit breaker under measurement of voltage distribution using milliammeter.

見られるような特殊な形状をしたコンデンサを製作して シヤ 断器に取り付け、電流 シヤ 断時の再起電圧および回復電圧を実測した。その際にとれたオシログラムの一例を図 5.4 に示す。もちろんこのコンデンサはシヤ断器の対地漂遊容量を変えない程度に小さい容量のものであることはいうまでもない。なおこれと並行して均等分布用の各コンデンサに直列にミリアンペア計を接続し電流シヤ断後にこの電流を望遠鏡で読み、電流値とコンデンサ容量から各シヤ断点の電圧分布も求めた。図 5.5 はシヤ断器に取り付けられたミリアンペア計を示している。

この試験の結果 168 kV シヤ断器では最悪の場合を考えても、

表 5.4 無負荷変圧器励磁電流 シュ断試験結果

シュ断器形名	動作責務	試験電圧 (KV)	シュ断電流 (A)	高圧ガス圧 (kg/cm ² ・g)	シュ断位相	過電圧倍率	備 考
70-SF-500	0	73	12	15.7 (at32°C)	φ ₁	1.9	定常励磁電流シュ断
					φ ₂	1.6	
					φ ₃	0.9	
					φ ₄	1.1	
					φ ₅	1.7	
					φ ₆	2.1	
	0	73	320 320 345 470 740 810	15.7 (at32°C)	φ ₁	2.3	過渡励磁電流(突流)シュ断
					φ ₂	2.3	
					φ ₃	1.6	
					φ ₄	1.1	
					φ ₅	1 以下	
					φ ₆	1 以下	
140-SF-1000 (1 シュ断点使用)	0	73	12	14.2 (at15°C)	φ ₁	1.0	定常励磁電流シュ断
					φ ₂	1.5	
					φ ₃	1.7	
					φ ₄	1.1	
					φ ₅	2.0	
					φ ₆	1.3	

電圧分布は線路側のシュ断点に 55 %, 300 kV シュ断器では線路側から 2 番目のシュ断点に 30 % の電圧が分布されることが判明した。

5.4 小電流シュ断試験

SF₆ ガスシュ断器では、大きな短絡電流に対してきわめてすぐれた消弧能力を示すが、さらに従来の常識とは反対にこのガス特有

表 5.5 充電電流 シュ断試験結果

シュ断器形名	動作責務	試験電圧 (KV)	シュ断電流 (A)	高圧ガス圧 (kg/cm ² ・g)	シュ断回数	再点弧	再発弧
70-SF-500	0	61	65 33 16 5.2	13.2 (at32°C)	12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
	0	84	144 75 30 18 5.7	13.2 (at32°C)	12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
					12	0	0
140-SF-1000 (1 シュ断点使用)	0	84	75 30	12.3 (at20.5°C)	12	0	0
					12	0	0

の消弧機構があずかって、無負荷変圧器の励磁電流をシュ断する場合でも、異常電圧抑制装置を付加することなく電流サイ断による異常電圧の発生を防止できるという大きな特長があげられる。ガス圧は試験時温度における最高の圧力でシュ断位相を制御しつつ無負荷変圧器の励磁電流および突入電流をシュ断したが得られた異常電圧倍数は過渡励磁電流のシュ断でも 2.3 倍以下であった。結果の一部を表 5.4 に示す。

一方充電電流シュ断試験は設備の関係から単相 1 シュ断点について実施したが、非有効接地系の場合は相電圧の 1.25 倍以上に 1 線地絡時の健全相シュ断を考えて線間電圧相当の試験を行ない、

表 5.6 代表的な実負荷試験結果

シュ断器形名	動作責務	操 作 圧 (kg/cm ²)	高圧ガス圧 (kg/cm ² ・g)	シュ断電流 対称分 (kA)	シュ断電流 直成分 (%)	試験電圧 (kV)	固有再起電圧		投入電流 (kA)	アーケ時間 (s)	シュ断時間 (s)	ガス温度 (°C)	備 考
							周波数 (kc)	振幅率					
70-SF-500	0-C 0	320	13.1	38	0~14	7.6	2.5	1.6	0.82	85~104	0.2~0.5	24	73 kV = $\frac{84}{\sqrt{3}} \times 1.5$
	0-C 0	320	13.1	2.8	5~16	73	6.0	1.7	1.9	8.3	0.3~0.6	25	
140-SF-1000 (1 点使用)	0-C 0	320	12.2	14.0	0~20	80	2.0	1.6	0.65	30~36	0.2~0.5	20	80 kV = $\frac{168}{\sqrt{3}} \times 1.5 \times 0.55$
250-SF-2500 (全 4 点使用)	0-C 0	320	12.2	2.8	0~15	225	2.5	1.5	2.30	6~7.3	0.2~0.5	20	225 kV = $\frac{300}{\sqrt{3}} \times 1.3$
" (2 点使用)	0-C 0	320	12.1	2.3	0~20	191	2.5	1.6	1.94	5~6	0.2~0.5	18	191 kV = $\frac{300}{\sqrt{3}} \times 1.1 \times 2 \times 0.5$
" (1 点使用)	0-C 0	320	12.1	25.2	0~16	58	3.0	1.6	0.71	60~65	0.2~0.6	18	58 kV = $\frac{300}{\sqrt{3}} \times 1.1 \times 0.3$
" (全 4 点使用)	C 0	320	12.3	53	0~60	18	7.0	1.4	0.45	120~150	0.2~0.5	21	投入試験
" (1 点使用)	C 0	320	12.3	53	0~55	18	7.0	1.4	0.45	120~145	0.2~0.6	21	"

表 5.7 代表的な合成等価試験結果

シュ断器形名	試 験 条 件	操 作 圧 (kg/ cm ²)	高圧ガス圧力 (kg/ cm ² g)	等価シ 断電 流対称 分 (kA)	給与 電圧 (kV)	回復 電圧 (%)	固 有 再 起 電 圧							アーケ 時 間 (c/s)	シャ断 時 間 (c/s)	ガス 温度 (°C)	備 考
							母 線 側			線 路 側			シャ断 器極間 上昇率				
							周波数 (kc)	振幅率	上昇率 (kV/μs)	周波数 (kc)	振幅率	上昇率 (kV/μs)	(kV/μs)				
70-SF-500	JEC-II	320	12.6	38	73	93	4.2	1.75	1.35	—	—	—	1.35	0.3~0.5	2.5~2.7	81	73kV= $\frac{84}{\sqrt{3}}$ ×1.5
	キロメー トル故障	320	12.4	21	73	95	4.2	1.7	0.75	25	2.0	4.4	5.15	0.3~0.5	2.5~2.7	15	"
	2 km 相 当脱調	320	12.8	17.2	146	93	4.1	1.5	2.36	—	—	—	2.36	0.3~0.5	2.5~2.7	21	146kV= $\frac{84}{\sqrt{3}}$ ×3
140-SF-1000 ^(1点使用)	JEC-II	320	12.3	38	80	95	2.5	1.6	0.82	—	—	—	0.82	0.3~0.5	2.5~2.7	18	80kV= $\frac{168}{\sqrt{3}}$ ×1.5×0.55
250-SF-2500 ^(1点使用)	JEC-II	320	12.3	53	58	95	—	—	—	2.7	1.95	0.78	0.78	0.3~0.55	2.5~2.75	18	58kV= $\frac{300}{\sqrt{3}}$ ×1.1×0.3
" ^(1点使用)	キロメー トル故障	320	12.6	37	58	95	1.8	1.3	0.37	23	1.5	1.3	1.67	0.3~0.5	2.5~2.7	23	"
" ^(1点使用)	3 km 相 当脱調	320	12.3	24	114	95	—	—	—	1.8	1.3	0.82	0.82	0.5~0.6	2.7~2.8	18	114kV= $\frac{300}{\sqrt{3}}$ ×1.1×2×0.3

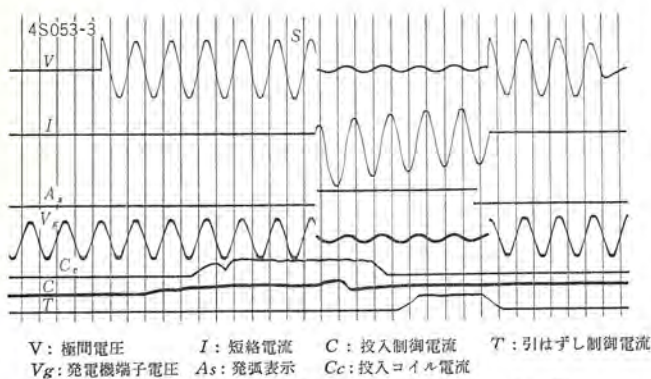


図 5.6 単相実負荷短絡試験 オシログラム の一例
(7.6 kV シュ断電流 38 kA, 投入電流 104 kA CO 試験)
Fig. 5.6 An example of oscillogram showing the interrupting test, closing 104 kA peak interrupting 38 kA at 7.6 kV

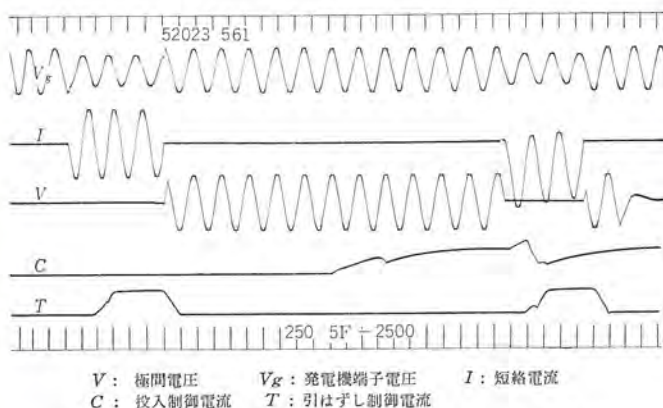


図 5.7 単相実負荷短絡試験 オシログラム の一例 (18 kV シュ断電流 53 kA 投入電流 150 kA C-Co 試験)
Fig. 5.7 An example of oscillogram showing the interrupting test, interrupting 53 kA, closing 150 kA peak at 18 kV.

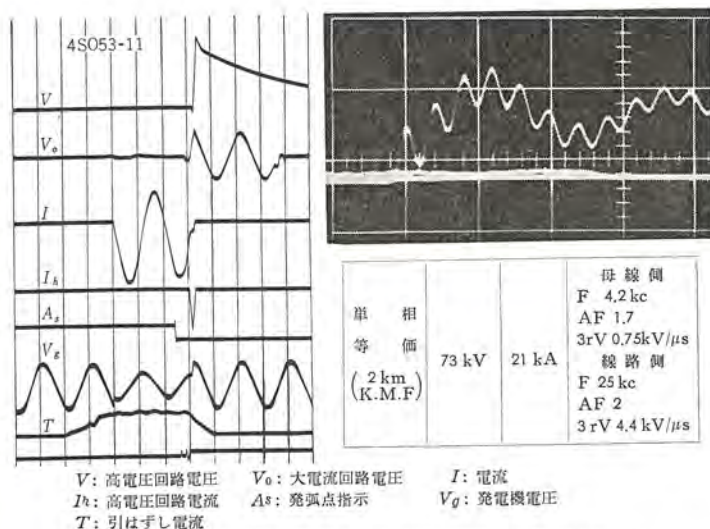
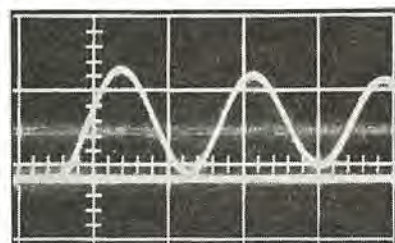
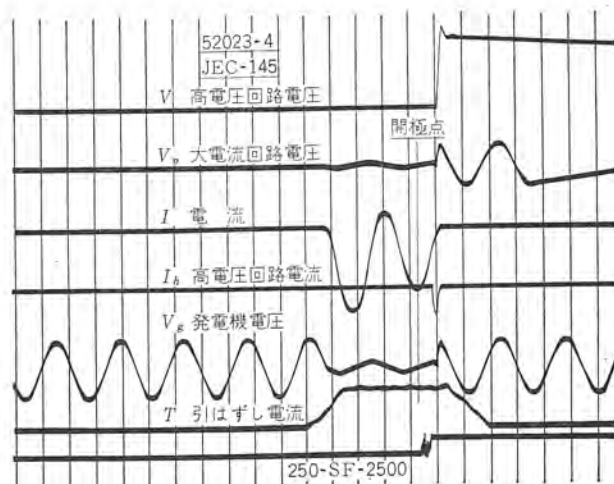


図 5.8 近距離線路故障 シュ断試験電磁および ブラウン 管 オシログラム の一例
Fig. 5.8 An example of oscillogram showing the short distance line fault interrupting test using Weil's synthetic test circuit.

いずれも無再発弧, 無再点弧でシュ断に成功している。もちろんこの場合も位相制御を行っており, ガス 圧は試験時の温度における鎖錠圧力以下である。おもな結果を表 5.5 にまとめておく。

5.5 短絡電流シュ断試験

72/84 kV 用 シュ断器の短絡電流 シュ断試験はいまだ新しい短



試験方法	電圧 (kV)	電流 (A)	再起電圧
単相等価 JEC-145 110%	58	53	F. 2.7 kc A.F. 1.95

図 5.9 JEC II 号相当短絡 シュ断試験
電磁および ブラウン 管 オシログラム の一例
Fig. 5.9 An example of oscillogram showing the high rate of rise of recovery voltage using Weil's synthetic test circuit.

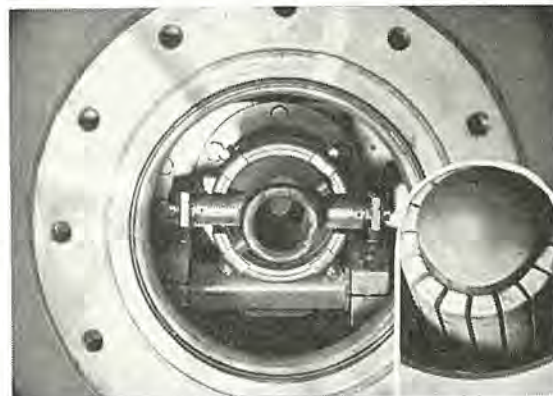


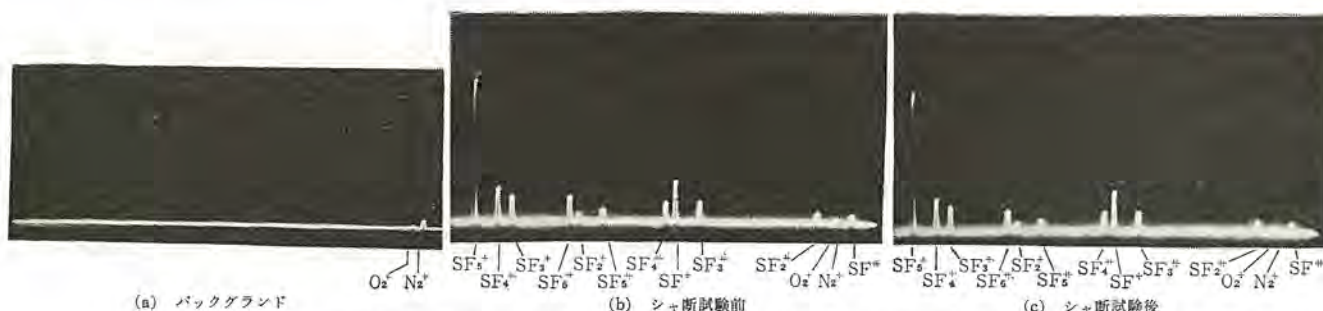
図 5.10 多数回短絡大電流 シュ断後の接触子
Fig. 5.10 Photograph showing the contacts after 30 interruptions of 33 kV rms.

絡試験設備が建設中であったので, 従来の短絡試験設備を使用して実施したが, 168 kV, 300 kV 用 ユニットの シュ断試験には, 従来の短絡試験設備のみならず, 新たに完成した大容量短絡試験設備を使用している。

JEC-145 に規定されているいわゆる II 号用 シュ断器は定格電圧が 84 kV までであるが, 168 kV, 300 kV 用 ユニットに対しても最大 シュ断電流にいたるまで, 再起電圧周波数の高い II 号相当の シュ断試験を行なっている。

短絡 シュ断試験としてはこのほかに, 大容量母線から 1 キロメートル ないし数 キロメートル 離れた地点での短絡事故に相当する近距離線路故障試験を, また過電圧における シュ断性能検証として非有効接地系に対しては常規対地電圧の 3 倍, 有効接地系に対しては常規対地電圧の $2 \times 1.1 = 2.2$ 倍の試験電圧のもとで定格 シュ断電流の 50 % にのぼる事故電流を シュ断している。

これらの試験は新しい短絡試験設備を用いても, 84 kV の ユニ



分析法：直視，高密度相対組成比較分析 質量数掃引：M/I 非比例掃引 イオン加速：2 kV イオン衝撃電流：250 μ A 電子加速：90 eV, Trap. Curr.: 3 μ A
分析管内圧： 5×10^{-6} mmHg 分析感度： 10^{-9}

図 5.11 SF₆ ガススペクトル

Fig. 5.11 Photographs showing gas spectrograms.

ットであるためユニットの最大シタ断電流の実負荷試験はできないので Weil 等価回路による合成等価試験を実施している。表 5.6 に実負荷試験結果の一部を、表 5.7 に合成等価試験結果のものもを示し、オシログラムの一例として図 5.6、5.7 に 84 kV 5,000 MVA および 300 kV, 25,000 MVA ガスシタ断器の実負荷短絡シタ断試験結果を、図 5.8 に、84 kV, 5,000 MVA 2 キロメートル相当の近距離線路故障試験結果を、図 5.9 には 300 kV, 2,500 MVA, JEC-II 号相当の試験結果を示す。

これらの短絡シタ断試験で SF₆ ガス中の接触子損耗がきわめて少ないことを再確認したが、その模様を示す一例として図 5.10 は約 33 kA の短絡電流を 30 回ほどシタ断した後の接触子の写真である。なおこの上数十回の短絡電流をシタ断できるほどいたみが少なく、これと短絡試験設備を使用して行なった負荷電流数 1,000 回連続シタ断試験結果の接触子損耗から推定すると、シタ断器の寿命中接触子の取り換えは必要ないといえよう。

また参考のために 84 kV, 5,000 MVA ガスシタ断器の形式試験前後において使用した SF₆ ガスをスペクトル分析した模様を図 5.11 に示すが、大電流を多数回シタ断してもガスの劣化は認められない。

6. 特 長

以上述べてきた SF₆ シタ断器は、従来のシタ断器に比べて次のような特長がある。

(a) すぐれたシタ断性能

短絡シタ断はもちろんのこと、最近問題となっている近距離線路故障など過酷な再起電圧条件に対して卓越したシタ断性能を示すばかりでなく、異相地絡、脱調シタ断といった過電圧の故障シタ断条件に対してもすぐれた性能をもっている。

(b) 騒音が小さい。

高低両気圧の系統をもつノズル形のシタ断器であるが、完全な密閉構造なので、空気シタ断器において問題となるような排気騒音がまったくない。投入シタ断動作を行なわせる油圧操作機構も理想的な制動特性をもった密封システムなので、操作騒音は油シタ断器よりも小さいくらいである。

(c) 小形軽量である。

1 シタ断点 84 kV, 50 KA の短絡容量を処理できる能力があるので、超高圧シタ断器として用いたときシタ断点数が少なく、据付面積、重量が小さい。

(d) 異常電圧発生の恐れがない。

小電流シタ断に際して有害な電流サイ断を起こさず、また高い絶縁耐力をもつ SF₆ ガスで常時充テッ構造を採用しているので、充電タ流シタ断に際しては線間電圧で試験しても無再点弧であり、有害な異常電圧発生の恐れはない。

(e) 余裕のある過負荷能力

接触部はまったく不活性の高気圧 SF₆ ガス中に常時包まれているため、高温状態における酸化はなく温度上昇の許容値は空気中の接触部に比べて高く取りうるので潜在的な過負荷能力があるといえる。

(f) 接触子の取り換え不要

電流シタ断に際しての接触子損耗は驚くほど少なく、ほとんど永久的に接触子を換える必要はない。

7. む す び

このように当社は顧客の要求を十分に取入れた新しい大容量 SF₆ ガスシタ断器のシリーズ化を完成した。

近年電力の需要の伸びは著しく、都市近郊に大容量の変電設備が新設されつつある。ここに用いられるシタ断器は大電流、大容量のシタ断器であるばかりでなく、設置場所の関係上操作時の騒音はできるだけ小さいことが望まれている。このような用途としてこの SF₆ ガスシタ断器は大きな期待をもたれていることはいうまでもなく、開発早々数台のガスシタ断器の注文を受けたことはこれを物語っているといえよう。

筆をおくにあたって、このシタ断器開発にとくにご尽力を賜った、関係各位に誌上をかりて心からの謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 新井、潮、富永、稲村：超高圧タンク形 SF₆ ガスシタ断器の試作「三菱電機技報」37,1398 (昭38)
- (2) 潮、伊藤、宮本：シタ断器の残留電流とアーク動特性「三菱電機技報」35,811 (昭36)
- (3) 潮、宮本：SF₆ ガス中のアーク動特性「電学誌」82,714 (昭37)
- (4) 宮本、鎌谷：放電における SF₆ ガスの化学的特性「三菱電機技報」36,1360 (昭37)
- (5) 宮本、鎌谷：SF₆ 吹付形シタ断器の電流零点近傍における現象「電学誌」85,665 (昭40)
- (6) 宮本、鎌谷：直視形高分子質量分析計による SF₆ ガス中消弧反応の研究「電学誌」85,675 (昭40)

ガスシャ断器用油圧操作機構

富永正太郎*・稲村 彰一*

Oil Hydraulic Mechanism for SF₆ Gas Circuit Breaker

Itami Works Shōtarō TOMINAGA・Shōichi INAMURA

An oil hydraulic mechanism developed by ETNA in France has been employed as a standard operating mechanism for use with Mitsubishi SF₆ gas circuit breakers. This mechanism has had long and successful field experiences in Europe for the period of more than ten years. With many prominent features such as quick response, low noise and high reliability, the device is regarded as the most appropriate operating mechanism for SF₆ gas circuit breakers, where the operation of breaker itself is noiseless.

1. ま え が き

SF₆ ガスシャ断器を開発するあたり、まず可動接触子をいかに操作すべきかということが問題となった。SF₆ ガスは、比重が空気の約5倍であるから充気速度は空気の場合の半分ぐらいになり、空気シャ断器のようにSF₆ ガスで可動接触子进行操作することは不适当であることが判明している。

そこで騒音が少ないこと、応動が早いこと、動作特性がすぐれていること、信頼性が高く取り扱いが簡単なことなどの条件を満足する操作機構として、油圧操作機構を使用することが考えられた。

シャ断器用油圧操作機構としては後述するようにいろいろな種類があるが、当社はフランス ETNA 社の油圧操作機構に着目し、約3年前からこの油圧操作機構を輸入してモデルシャ断器および実際のシャ断器と組み合わせてきびしい動作試験および寿命試験を行ない、好結果が得られたので、SF₆ ガスシャ断器の操作には ETNA 社の油圧操作機構を採用することに決定された。ここにその概要を紹介する。

2. 各種油圧操作機構

シャ断器用油圧操作機構としては次のようなものが考えられている。第一は、復動駆動 ジャッキ を使用し投入および引はずしは駆動 ジャッキ に加圧された油を送って行ない投入状態の保持はトラップで行なうものである⁽¹⁾。第二は、単動駆動 ジャッキ を使用し、加圧された油を駆動 ジャッキ に送って投入状態の保持は駆動 ジャッキ の油圧で行ない、引はずしは投入時に引はずしバネを蓄勢しておき駆動 ジャッキ 内の油圧をゼロにすることによって行なわれる⁽¹⁾。このほかに、ベルト水車のように可動接触子の羽根に油を吹き付けて投入引はずしを行なうものもある⁽²⁾。

3. ETNA 社

ETNA 社はその社名の起源「Etudes des Technique Nouvelles et leur Applications」——「新しい技術の研究とその応用」——の示すとおり、油圧および圧縮空気機械の分野における新しい技術開発をめざして 1942 年 8 月に創立された会社である。製作機構の約 60% がシャ断器用油圧操作機構であり、このほかにアキュムレータ、安全弁、ディーゼルエンジンのスタータ、断路器用油圧操作機構などを製作しているフランスの流体機器専門メーカーである。

ETNA 社はまず 1952 年頃 E.d.F (フランス電力局) で使用された有名な懸垂形シャ断器用の油圧操作機構を開発し、その優秀性が認められた。懸垂形以外のシャ断器にもこの油圧操作機構はひろく使用されており現在にいたっている。

ETNA 社はこの方式の油圧操作機構をすでに 8000 ユニット以上製作し、欧州ですぐれた使用実績を誇っている。

4. 油圧操作機構の特長

ETNA 社の油圧操作方式には主として次のような特長がある。

(1) 応動性がよい

油はほとんど圧縮性がないので応動性がすぐれており圧縮性の高い空気でも可動接触子进行操作する方式に比べて時間遅れが少なく操作力が瞬間的にシャ断器に伝達される。

(2) 速度制御がやさしい

油圧機器は一般に速度制御がきわめて容易であるから、シャ断器のように急激な運動を必要とする場合、必然的に問題となる衝撃を少なくすることができる。

(3) 操作音が小さい

圧縮空気で作動されるシャ断器は直接外部へ圧縮空気を放出するが、油圧操作機構ではこれがないから消音器などを取り付けなくても操作音がきわめて低く SF₆ ガスシャ断器と組み合わせるときわめて低騒音のシャ断器を製作できる。

(4) 操作機構の小形軽量化

圧縮空気操作方式と比較して高い圧力 (320 kg/cm²・g) を使用しているので小形でも大きな操作出力が得られる。

(5) 信頼性が高い

最近の油圧機械の進歩は著しく航空機、工作機械などに用途がひろがり総合技術も十分開発されている。この ETNA 社の油圧方式はすでに 15 年以上も欧州で使用実績がありきわめて信頼性の高いものである。

5. 油 圧 系 統

5.1 原 理

油圧操作機構の外観を図 5.1 に示してある。この操作機構は、投入および投入状態の保持を油圧で行ない、引はずしは投入の際に圧縮されたバネで行なわれる。作動油の主流は、油圧アキュムレータ→シャ断器駆動ジャッキ→大気圧油タンク というように一方に



図 5.1 油圧操作機構の外観
Fig. 5.1 Assembly of oil hydraulic mechanism.

流れるので油圧回路内部に空気が蓄積しないから動作が安定している。投入および引はずし速度はシボリで調整でき、一度シボリを調整すれば速度の経年変化はない。

一つの油圧回路で多数の駆動 ジャッキ を制御する場合は、後述する油圧 リレー から ジャッキ までの管路の長さを等しくするか、それとも油圧 リレー の動作時間を調整することにより多数の駆動 ジャッキ を十分正確に同期させることができる。油圧が不十分の場合は圧力 スイッチ で投入電気制御回路を切り離すので不十分な速度で投入する危険はない。油圧 アキュムレータ の圧力は別の圧力 スイッチ で油圧を制御しつつねに所定の圧力に保つがもし万一投入状態で油圧が低下した場合は、自動的に正常な引はずし速度で引はずしを行なうからたとえこのとき短絡事故が生じていたとしても シュ断失敗ということはない。なお投入状態を保つに必要な油圧は油圧 アキュムレータ の初期充填空気圧力よりも低くしてあるから不完全投入の状態ととまることがない。

投入および引はずし速度は温度によって変化するが $-30 \sim 60^{\circ}\text{C}$ の範囲で $\pm 15\%$ 以内である。

5.2 油圧系統の構成

油圧系統は油圧制御回路、駆動 ジャッキ および ダッシュポット から成り立っている。図 5.2 には各電圧 シュ断器に対する油圧操作機構の組み合わせを示してある。図 5.3 は 84 kV シュ断器の油圧系統を書いてある。各部品の名称は表 5.1 のとおりである。

これは一つの油圧制御回路であり一つの駆動 ジャッキ を制御するもので、図 5.2 からわかるように三相間は金属棒で機械的に連結されており駆動 ジャッキ と ダッシュポット とが一体となっている。図 5.4 には 168 kV 以上の シュ断器に使用される油圧系統の一例として 300 kV 一相分に使用されるもののうち 84 kV 用油圧系統と異なる部分だけを示してある。駆動 ジャッキ は大地電位にあり ダッシュポット は高電圧部に取り付けてある。これは 84 kV シュ断器のように絶縁操作棒が短いものは温度および荷重による絶縁操作棒の伸びが小さいが、168 kV 以上になるとこの伸びが無視できなくなるためである。このように ダッシュポット を高電圧部

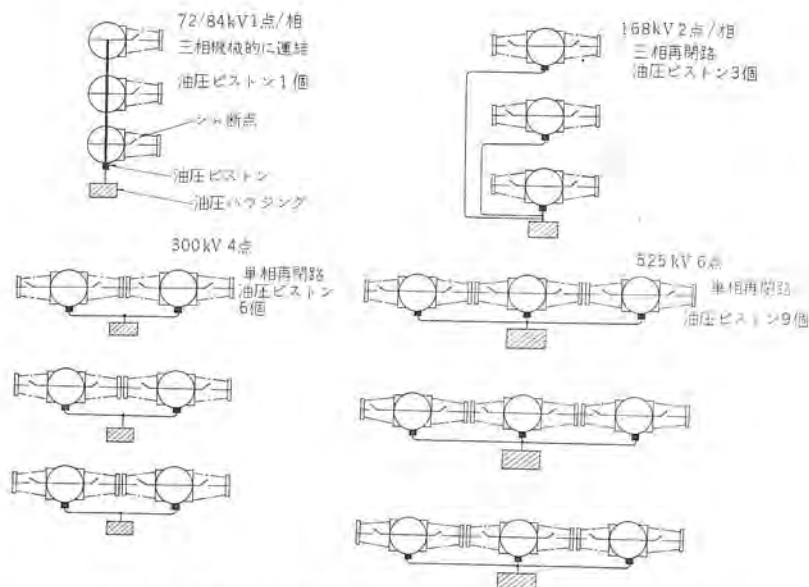
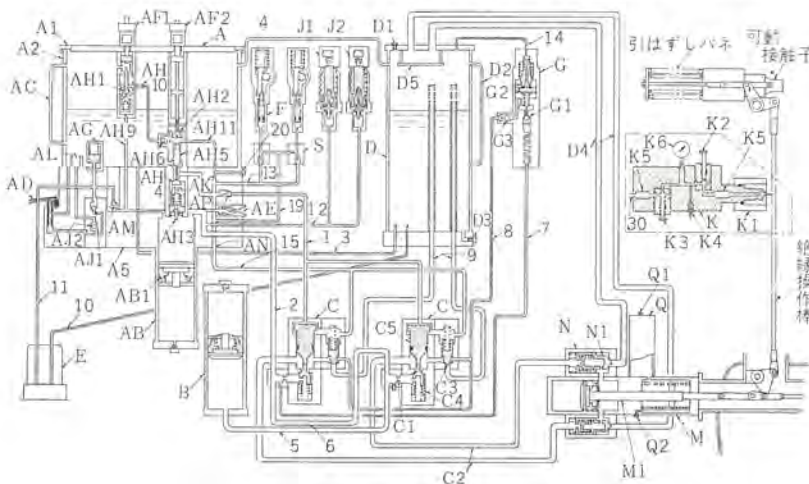


図 5.2 各電圧 シュ断器に対する油圧操作機構の組み合わせ
Fig. 5.2 Combination of circuit breaker and oil hydraulic mechanism.



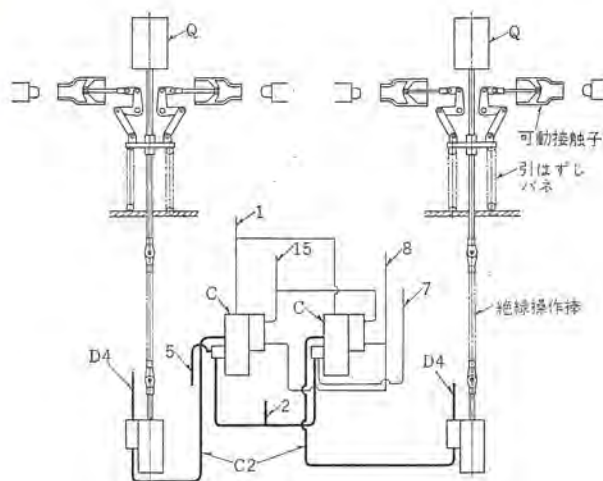


図 5.4 300 kV シュ断器の油圧操作機構
Fig. 5.4 Oil hydraulic mechanism for 300 kV circuit breaker.

に置きこれにて投入状態および引はずし状態の位置を定めているので絶縁操作棒の伸びは無関係になる。そのうえ 168 kV 以上では一つの駆動 ジャッキ で可動接触子が2個動かされるので可動部分の等価重量も大部分高電圧部に集中するから ダッシュポット をこの近くにおくことは非常に有効である。

次に油圧系統に使用してあるおもな部品についての役割を説明する。電動 ポンプ 制御圧力スイッチ J2は電動 ポンプEを制御し アキュムレータ AB および B 内の油圧をつねに $320 \sim 336 \text{ kg/cm}^2$ に保つ。手動ポンプADは電動ポンプの電源がなくなったときに使用するものである。投入電磁弁 AF1 および引はずし電磁弁 AF2 は後述するように電気制御回路で制御されるが手で押して動作させることもできる。減圧弁Gはシュ断器が引はずし状態にあるとき油圧 リレー C から駆動 ジャッキ Mに至る送油管 C₂ および駆動 ジャッキ M 内を $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ の圧力の油で満たしておき次の投入のとき駆動 ジャッキ M にほとんど瞬間的に油圧が伝わるようにするためのものである。この減圧弁Gがあるから空気操作方式のように充気するための時間遅れがなくなる。油圧 リレー C は少量の制御油流を増幅するものである。補助回転 ジャッキ F は a 接点と b 接点のある補助回転 スイッチ を動かす。アキュムレータ B はシュ断器の動作責務に応じて使用数が定まる。同一定格のシュ断器では アキュムレータ B を多く設置するほど電動 ポンプ E を運転せずに投入引はずしが多数回行なえるが再蓄勢の時間は長くなる。圧力検査器は点検時に取り付けて圧力スイッチなどの動作圧力を調べるものである。

5.3 動作

5.3.1 投入

図 5.5 は投入に関する説明図である。投入行程は次の順序で行なわれる。

- (1) AF1 が励磁される。
- (2) AH1 が開く。
- (3) 高圧油が $AB \rightarrow AH9 \rightarrow AH1 \rightarrow AH10$

$\rightarrow AH6$ に流れる。

(4) AH2 が閉じ AH5 も閉じる。AH5 は AH4 を押しさげ AH4 を開く。

(5) 高圧油が $AB \rightarrow AH4 \rightarrow AN \rightarrow 15 \rightarrow C$ に流れる。

(6) C3 に背圧がかかり C5 は C4 を押しさげるから C4 は開く。

(7) 高圧油が $AB \rightarrow 2 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C2 \rightarrow N \rightarrow M$ に流れて投入する。

投入状態の自己保持は次のとおりである。

(1) AH4 が押し上げられたとき高圧油は $AB \rightarrow AH4 \rightarrow AK \rightarrow AH11$ に流れる。

(2) AF1 の励磁がなくなると AH10 は大気圧になるが (1) で入ってきた高圧油は AH6, AH2 でとめられるので AH2, AH5 は投入行程と同じ位置にとどまる。

5.3.2 引はずし

図 5.6 は引はずしに関する説明図である。

引はずし行程は次のとおりである。

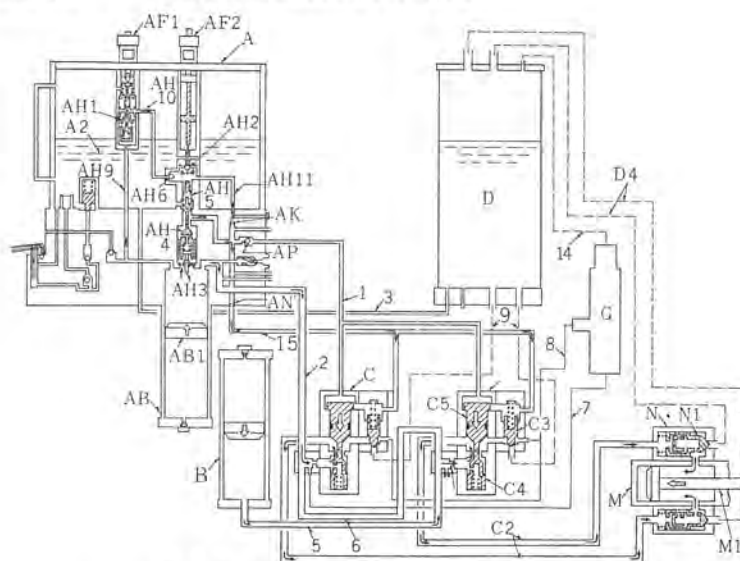


図 5.5 油圧操作機構投入説明
Fig. 5.5 Closing operation of oil hydraulic mechanism.

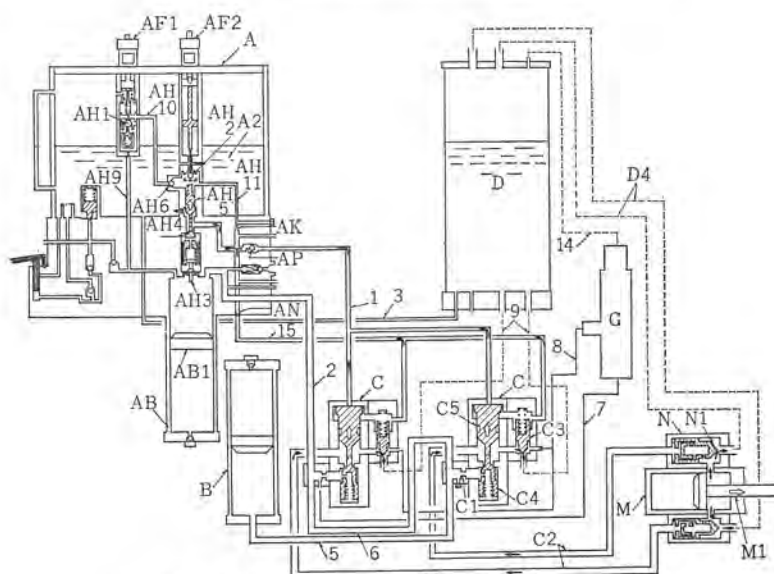
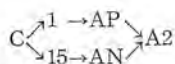


図 5.6 油圧操作機構引はずし説明
Fig. 5.6 Tripping operation of hydraulic mechanism.

- (1) AF2 が励磁される。
- (2) AH2 が開く。
- (3) AH5 の背圧がなくなり、AH5 は開き同時に AH4 が閉じる。
- (4) C3 および C5 を押し上げている油が



の順に流れて C3, C5 の背圧がなくなり、C5 と C4 とは上に動き C4 が閉じる。

- (5) 油が C2→C3→9→D に流れて N1 の背圧がなくなる。
- (6) N1 が開き M 内の油が M→N→D4 に流れ、引はずしパネの力で M1 が矢印の方向に動き引はずしが行なわれる。
- (7) 引はずしが終了すると C3 および M は閉じる。
- (8) 高圧油が 7→G に流れ G で減圧されて 2~3 kg/cm² の油が G→8→C に流れ C2 および M 内を 2~3 kg/cm² に保つ。引はずし優先動作は次のとおりである。

AF1 と AF2 とが同時に励磁されると高圧油は AH9→AH1→AH10→AH2 に流れ、投入状態にある場合は引はずしを行ない、引はずし状態の場合はそのままの状態を保つ。

投入状態で油圧が低下してくると AB のピストン AB1 が AH3 にぶつかり AH4 および AH5 が押し上げられる。したがって AF2 が励磁されたのと同じ順序で C3, C5 の背圧がなくなり正常な速度で引はずしが行なわれる。

5.4 絶縁操作棒破断時の動作

300 kV 以上のシタ断器のように一相あたり 2 ユニット以上、換言すれば駆動 ジャッキ が 2 個以上ある場合を考える。絶縁操作棒の強度は十分余裕があるが万一これが破損した場合はただちに検出する必要がある。

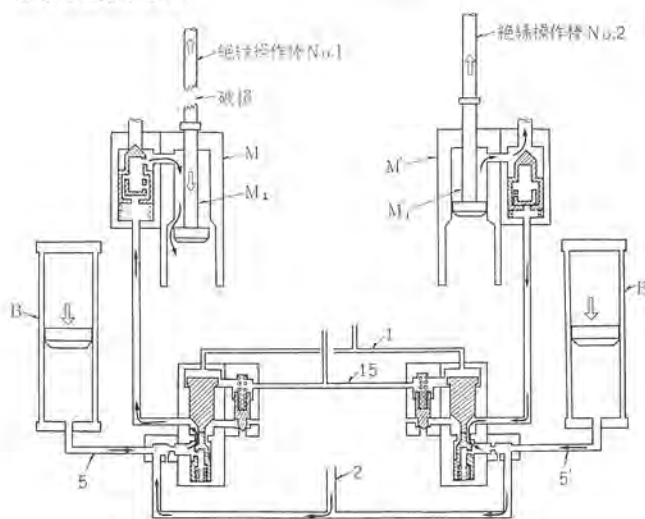


図 5.7 絶縁操作棒破断時の動作
Fig. 5.7 Operation on accidental breakage of operating rod.

図 5.7 は絶縁操作棒 No. 1 が破断した場合を示してある。駆動 ジャッキ M のピストン M1 が下に移動し シリンダ壁との間に大きなすき間ができる。それゆえ油が矢印のように外部に放出されるので圧力が低下するから 5.3.2 項で説明した投入状態で油圧が低下する場合と同じようにして駆動 ジャッキ M' の油圧もなくなり第 2 ユニットも引はずされる。負荷電流のシタ断は 1 ユニットのシタ断点 2 個で十分行なえるし絶縁操作棒が破断したとき短路事故が起こっていれば当然引はずし電磁弁 AF2 が励磁されて第 2 ユニットは引はずしを行なうから危険はない。このようにして絶縁操作棒

がシタ断器用油圧操作機構・富永・稲村

が破断するというやなぎわめてまれな事故もただちに検出される。

6. 電気制御回路

電気制御回路はシタ断器の使用条件によって大幅に変わり、また SF₆ ガス 圧制御用圧力スイッチ との組み合わせもいろいろあるのでここでは最も単純な例を図 6.1 に、また各部の名称を表 6.1 に示してある。この図は引はずし状態、油圧はゼロ、気圧でしかも電動ポンプが停止している場合を表わしている。

6.1 定格油圧時の投入行程

- (1) 投入信号 C または手動投入操作スイッチ 3-52 閉を閉じる。
- (2) P1→Y(b)→⊗→OPS-LPC(a)→N1 の回路で⊗が励磁される。
- (3) X1 が閉じ⊗の励磁を自己保持し X2 が閉じて⊙(CC)が励

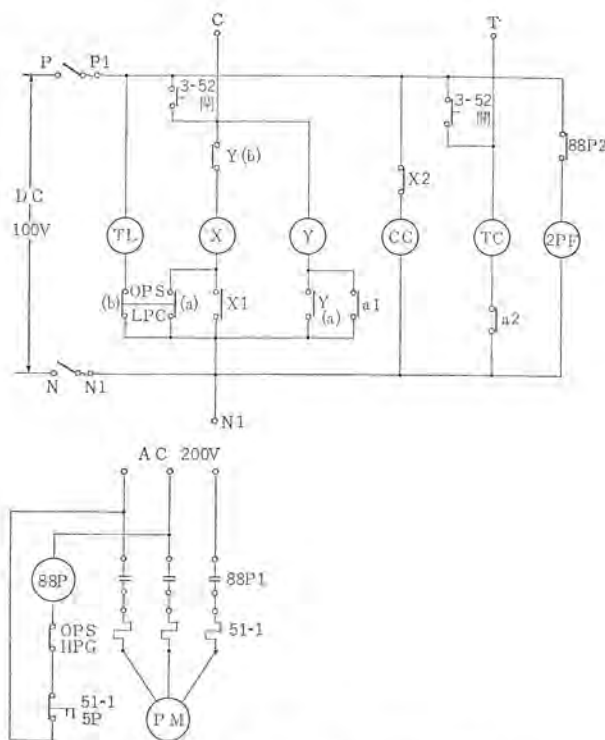


図 6.1 油圧操作機構電気制御回路例
(シタ断器は引はずし状態)
(油圧はゼロ、ポンプ停止状態)

Fig. 6.1 Electric circuit of hydraulic mechanism.

表 6.1 電気制御回路名称

記号	名 称
X	投入継電器
Y	ボンピング防止継電器
CC	投入電磁弁 AF1 のコイル
T. C	引はずし電磁弁 AF2 のコイル
3-52	手動開閉器
88P	電動ポンプ用電磁開閉器
PM	電動ポンプ E の電動機
2PF	警報用限時継電器
TL	“
OPS-LPC	低油圧投入防止圧力スイッチ J1 で動作する
OPS-HPG	電動ポンプ制御圧力スイッチ J2 で動作する
51-1	電動ポンプ用過電流継電器
5P	電動ポンプ停止用押しボタン

磁される。

(4) シュ断器が投入すると a1 が閉じる。

(5) $P1 \rightarrow \textcircled{Y} \rightarrow a1 \rightarrow N$ の回路で \textcircled{Y} が励磁される。

(6) $Y(b)$ が開き \textcircled{X} の励磁を解き $Y(a)$ が閉じて \textcircled{Y} の励磁を自己保持するのでポンピングが防止される。

6.2 低油圧時の投入防止

投入信号 C または手動投入操作スイッチ 3-52 閉を閉じても OPS・LPC(a) が開いているので \textcircled{X} は励磁されない。

6.3 引はずし行程

(1) 引はずし信号 T または手動引はずし操作スイッチ 3-52 開を閉じる。

(2) $P1 \rightarrow \textcircled{TC} \rightarrow a2 \rightarrow N1$ の回路で \textcircled{TC} が励磁され シュ断器を引はずす。

(3) 引はずしが終わると a2 が開き \textcircled{TC} の励磁を解く。

6.4 電動ポンプの運転

(1) 油圧が低下すると OPS・HPG が閉じる。

(2) $\textcircled{88P}$ が励磁されて 88P1 が閉じ \textcircled{PM} を回転し同時に $\textcircled{2PF}$ が 88P2 により励磁される。

(3) あらかじめ定めたポンプ運転時間内に油圧が回復すると OPS・HPG が開き $\textcircled{88P}$ の励磁を解く。

(4) 88P1 が開き \textcircled{PM} が停止する。88P2 も開くので $\textcircled{2PF}$ の励磁が解ける。

(5) もし定めた運転時間内に油圧が回復しない場合は $\textcircled{2PF}$ が警報を出す。

6.5 低油圧警報用限時継電器の動作

(1) 低油圧投入防止圧力まで油圧が低下すると OPS・LPC(a) が開くと同時に OPS・LPC(b) が閉じ \textcircled{TL} が励磁される。

(2) あらかじめ定めた時間内に油圧が回復しないとき \textcircled{TL} が警報を発する。

7. そ の ほ か

油圧操作機構とシュ断器と組み合わせた場合の動作時間はシュ断器の仕様によって変わってくる。3サイクルおよび5サイクルシュ断器には普通の引はずし電磁弁を使う。さらに短い開極時間のシュ断器には高速引はずし電磁弁を使う。高速引はずし電磁弁の励磁電流は油圧で直接開閉するスイッチで切るので通電時間は10msぐらいである。

油圧操作機構の配管には、大部分いわゆる食い込み継手を使用しているので油漏れの心配がない。

弁類はできる限りポペット形を使用しているので高低圧間の油漏れが非常に少ない。

8. む す び

以上に述べたようにこの油圧操作機構はきわめて優秀なものであって SF_6 ガスシュ断器本体と組み合わせると非常に信頼性のある取扱いの簡単なシュ断器を製作できると考えている。

筆をおくにあたってこの油圧操作機構の導入決定、輸入の促進に多大のご尽力をたまわった当社名古屋営業所新井正元所長をはじめ関係各方面の方々に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) E. Maury: Évolution actuelle de disjoncteur á faible volume d'huile á tres haute tension: L'Orthoprojecteur Rapide: Bull. Sci. Assoc. Engrs. Electriciens. 75, 1111 (1962)
- (2) M. Pierre-Édouard Dorges: Conception nouvelle pour un disjoncteur á faible volume d'huile á injection: Bull. Soc. Franc. Elect 9, 341 (1959).

新設大容量短絡試験設備

堀 真幸*・大谷清二**・桑原 宏*

High Power Switchgear Testing Laboratory

Itami Works Masayuki HORI・Seiji ÔTANI・Hiroshi KUWAHARA

In June, 1965 a high power switchgear testing laboratory was brought to completion. Facilities arranged are of an epochal capacity such as a three phase short-circuit output at the generator voltage in the test cell No. 1 is 4,520 MVA and an single phase output through a transformer is 1,890 MVA. The installations are provided with a synthetic test circuit and an artificial transmission line for the testing of short line fault, all being the most up-to-date and enabling the test to be conducted on every circuit breaker which will be used in the next 10-15 years. All the electric apparatus used for the arrangement are of record specification. Devices for the measurement and control are also the outcome of the latest technic of which the company is proud.

1. ま え が き

当社においては、昭和 26 年、当時としては国内最大容量であった 50 MVA 短絡発電機を有する大電力試験設備を建設し、油シヤ断器、空気シヤ断器の開発試験、変圧器の短絡強度の研究、避雷器、断路器の開発などに、多大の貢献を成してきた。しかし、近年における系統容量の増大は目覚ましいものがあり、すでに 300 kV、25,000 MVA のシヤ断器を必要とし、また近い将来には、500 kV 級送電線が実現しようとしている。これに対処するために、旧短絡試験設備においても、合成試験を用いて等価シヤ断容量の検証を行ってきたが、新たに開発した SF₆ ガスシヤ断器のごとく、単位シヤ断点のシヤ断容量が飛躍的に大きいものが開発され、従来の設備では十分な能力の検証が困難となり、そのうえ、電力機器の活ばつな開発研究のために、大電力試験設備の使用ひん度が増大し、旧設備 1 台では消化しきれなくなった。そこで、新たに大容量短絡試験設備を設置し、昭和 40 年 6 月から実用運転にはいったので、ここにその概要を発表する。

この設備は、単機容量としては世界有数のものであって、今後シヤ断器を始め、電力機器の開発に活躍が期待されるばかりでなく、この設備の機器が、大電流高電圧の極限の性能を要求されているものであるから、これら機器の開発に注がれた努力と、得られた技術が、今後の電力機器の開発に大いに貢献するものである。

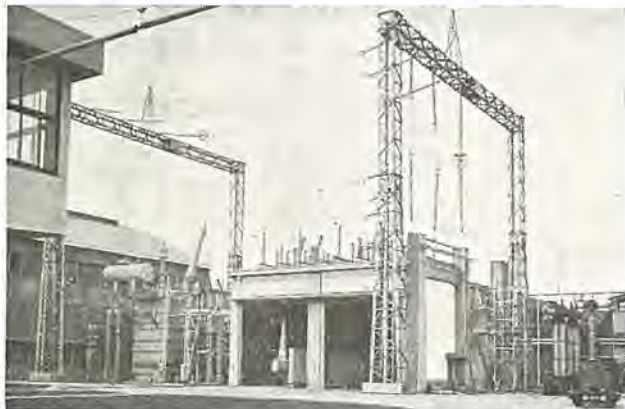


図 1.1 新設大容量短絡試験設備全景
Fig. 1.1 General view of high power switchgear testing laboratory.

うと信ずる。

この設備を設計するにあたっては、下記の基本的仕様を満足するように定めた。すなわち、

(1) 近い将来製作されることになる 500 kV 級シヤ断器の試験が可能な電圧を発生しうること。

(2) 単位シヤ断点電圧が 40 kV のものに対しては、84 kV、7,500 MVA の実負荷試験が可能であること。また単位シヤ断点電圧が 80 kV のものに対しては、84 kV、7,500 MVA、300 kV、25,000 MVA、以上が等価試験でもって検証できること。

(3) 測定、制御には最新の技術を導入し、できうる限り小人数で、能率よく試験が遂行できること。

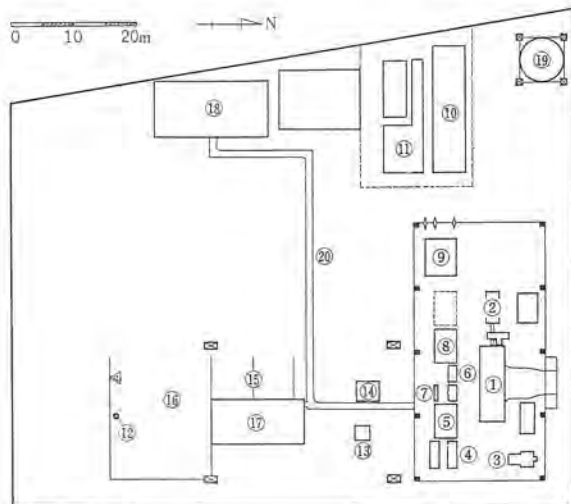
(4) 設備としては、1 日 100 回の短絡試験に耐えられる熱容量を持ち、運搬、据付、回路切換、測定などもそれに見合うよう自動化をすること。

などである。

2. 設備の概要

この設備は、伊丹製作所シヤ断器工場隣接地に、老朽工場を取り除いてその跡に設置したもので、将来拡張計画を含めて、約 10,000 m³ の敷地内に第一期工事を完成したものである。図 2.1 は、この設備の主要機器の配置図であり、図 2.2 は結線図を示す。全体の配置を決定するにあたっては、将来増設される発電機 2 号機と、数台の変圧器の設置場所を考慮にいれ、しかも、第一期工事完成の姿で、十分の能力を発揮するよう慎重に考慮のうえ、決められたものである。最も苦心したのは、発電機出力端子より変圧器一次に至る距離を、現在はもちろん、将来 2 号機増設のときにも最短になる配置とする点であった。したがって、発電機室内の機器の配置も、主回路に関係ある機器は変圧器側に、補機はその反対側に並べた。

図 2.1 において、①は発電機であって、②の駆動電動機によって定格 1,800 rpm で駆動される。発電機の起動、停止は、④の制御盤によって行なわれるが、いったん起動が完了すれば無人運転となり、完備した保護回路にいっさいは任せられ、警報関係の情報だけが観測室⑤に送られる。発電機の励磁は、③の誘導電動機駆動直流発電機によって行なわれるが、急速過励磁は行なわない。これは、発電機に強力なダンパ巻線が装備されていて、交流分の減



① 短絡発電機 ② 駆動電動機 ③ 励磁機 ④ 制御盤 ⑤ 限流リアクトル ⑥ 保護シヤ断器 ⑦ 投入開閉器 ⑧ 圧縮空気発生装置 ⑨ 等価試験用充電装置 ⑩ コンデンサ群 ⑪ 周波数調整用コンデンサ ⑫ 360 kV 計測用コンデンサ ⑬ 60 MVA 変圧器 No.1 ⑭ 60 MVA 変圧器 No.2 ⑮ 屋内試験室 ⑯ 屋外試験室 ⑰ 近距離故障用模擬線路 ⑱ 観測室 ⑲ 非常用冷却水塔 ⑳ 制御、測定線ダクト

図 2.1 大容量短絡試験設備機器配置図
Fig. 2.1 Layout of high power switchgear testing laboratory.

衰時定数がきわめて大きく、過励磁を必要としないためである。発電機の固定子巻線は、二重巻線であって、発電機の両端よりおのおのべつべつに、⑥の保護シヤ断器に導かれるがその間にY△切換、発電機保護用の避雷器、アブソーバ、中性点抵抗が、地下室に設置されている。保護シヤ断器を出たあと2回路の母線は、一つの回路にまとめられ、投入開閉器を通過して屋外に出る。限流リアクトルは⑤の位置にあり、高さ6.5mの鉄骨の中に、0.0045Ωから4.61Ωまで、二進法で値が進む11個のリアクトルが、隣接するものは互いに直角方向に向くように配置されており、リアクトルのそう入は、短絡用断路器を開くことによって行なわれる。低圧母線は強大な電磁力に対抗するため、電磁力がつねに支持ガイスの圧縮方向に働くように支持された、I形アルミ母線を使用した。発電機室を出た母線は、⑬⑭の60 MVA 2台の変圧器に、断路器を通して接続されるとともに、低圧母線として、⑮の屋内試験室にも導かれる。変圧器で昇圧された電圧は、75 kV までは中圧母線と称し、⑮の屋内、⑯の屋外試験場へ逆V字形ガイスにささえられて供給される。一方、150 kV、225 kV、360 kV の高圧母線は、高さ23mの鉄構に長幹ガイスで引き止められ屋外試験

室に導かれる。第一期工事においては、75 kV までの断路器はすべて遠方制御としたが、第二期工事で360 kV 母線まで遠方制御とする計画である。

屋内試験室背面には、近距離故障試験用模擬回路を収める部屋⑰がある。等価試験設備は、発電機室の西側にあり、⑩のコンデンサ群は充電々流試験にも使用される。充電装置は発電機室内⑨にあって、始動ギャップ、空心リアクトルとともに設置されている。⑮は、観測室および事務室で2階建よりなり、1階が測定、制御室であり、2階に来客用観測室と事務所がある。この建物から全試験室が展望することができ、試験進行がよく監視できる。⑲は、非常用冷却水塔であって、停電、断水が重なっても発電機の自然停止に要する期間、軸受潤滑油の冷却を行なえるようにしてある。

3. 出 力

3.1 実負荷試験

発電機は、Y結線、△結線に接続可能であって、定格電圧は、18 kV および 10.4 kV である。発電機インピーダンスは、180 MVA ベースで3.3%ときわめて低く、発電機電圧は18 kV という高い値であり、さらにまた、低圧母線の長さを短くするように努めたので試験室における短絡容量は、4,520 MVA と、記録的な大出力をうることができた。単相短絡の場合には、同じく第一試験室において2,250 MVA である。

変圧器のタツプ電圧は、No. 1が22, 44, 75 kV の3タツプであり、No. 2からは22, 44, 75, 150, 225, 360 kV の6タツプのタツプつき変圧器である。これらの電圧は、シヤ断器の試験電圧を検討のうえ決定されたものであるが、発電機と変圧器を、カスケードに接続することも可能であって、発電機の励磁を可変することにより、10 kV より93 kV の間のあらゆる電圧で、ほとんど1,000 MVA の単相出力をうることができる。主要タツプにおける短絡出力を表3.1に掲げたが、電圧40 kV では1,890 MVA の出力を発生し、これは84 kV シヤ断器の三相短絡に換算して、7,500 MVA に相当する。

電流制限用リアクトルは、0.25% より256% にいたるまで、二進法で増加するものを11個持っているので、変圧器を通じた場合、電流を最大出力より2.5% 刻みに調整することができ、最も大きく制限した場合には、定格電圧で30 MVA まで制限することが可能である。最近、フローアップされてきた近距離故障試験用としては、0.5 km より3 km までの実負荷模擬線路を備えている。

3.2 等価試験

当設備を使用し、試験に分割シヤ断器を用いれば、単位シヤ断点電圧が40 kV のものに対し

表 3.1 大容量試験設備出力一覧

電 圧 (kV)	短絡出力 (MVA)		備 考
	瞬 時	3c/s 後	
18	5,500	4,100	三相、発電機端子
18	4,520	3,400	三相、第一試験室
18	2,250	2,000	単相、第一試験室
22	1,670	1,500	"
40	1,890	1,700	"
44	1,610	1,450	"
62	1,780	1,600	"
75	1,500	1,350	"
93	1,620	1,460	"
150	900	810	単相、第三試験室
225	780	700	"
360	605	545	"

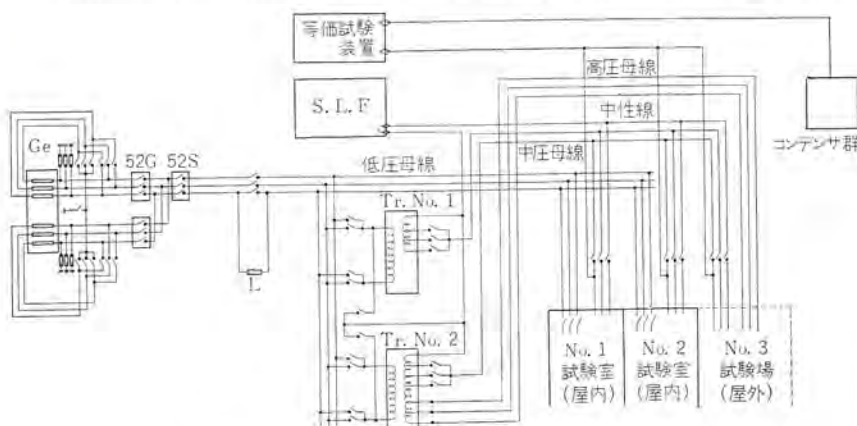


図 2.2 大容量短絡試験設備結線図
Fig. 2.2 Connection diagram of high power switchgear testing laboratory.

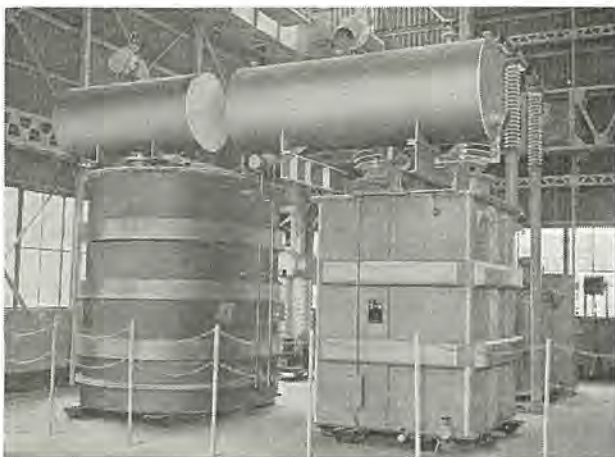


図 3.1 等価試験用充電装置、リアクトル
Fig. 3.1 Charging rectifier and tuning reactor
for synthetic test.

では、現在国内で製作されるあらゆる大きさのシヤ断器の実負荷試験が可能であるが、単位シヤ断点電圧が 80 kV のものに対しては不十分であるので、これらのシヤ断器に対しては合成試験を適用することとしている。回路は、Weil 氏の合成試験回路と同様のものである。この回路は周知のごとく、電流源回路として発電機の発生する電流を使用し電圧源としてコンデンサに充電した直流電圧源を使用するわけであるが、当社の場合、電流源としては 22 kV タッチの電流源を使用すれば、現在必要とされている 300 kV、25,000 MVA のシヤ断電流 53 kA はいうにおよぼず、はるかに大きな電流まで流すことができる。また、アーク電圧に比べて 22 kV という値は十分に高く、アーク電圧によって、電流波形にヒズミを生ずる恐れもまったくない。電圧源としては、250 kV、1 A の充電装置によって充電される 2 μ F、40 台のコンデンサ群があり、交流実効値電圧 160 kV 相当まで試験可能である。

振動用リアクトルは、コイルを始めとして、タンクおよびコンサベータ、ベースにいたるまで、すべてアルミ材で製作した。従来から、変圧器、リアクトルなどに重量軽減を目的としてアルミ材を用いることが考えられていたが、この研究開発を兼ねて製作したものであって、リアクタンスとしては 84 kV シヤ断器で、10,000 MVA より 2,500 MVA までの短絡容量のものを試験する場合に必要とする、インダクタンスに変換することができる。2,500 MVA 以下のものに対しては、実負荷試験が可能であるので、結局 84 kV、10,000 MVA 以下すべての試験が可能で、今後数年間の間に開発されるであろうあらゆるシヤ断器の試験ができることになる。

近距離故障試験の合成試験も目下研究開発中で、電圧源の供給線路途中に多段の模擬線路をそう入して試験を行ない、等価性、波形について検討中である。

3.3 進相電流試験

等価試験に使用するコンデンサは充電電流試験にも使用可能で、単位容量 2 μ F、AC 使用電圧 32 kV のもの 40 台を、3 段まで直列に接続することができる。また、各コンデンサは断路器付きで簡単に接続換えができ、96 kV において 290 A より 12 A まで 24 段に変換可能である。電圧が 64 kV、32 kV の場合には、さらに大きな電流とより細かい調整が可能であって、バンク容量としては 31,000 kVAR である。小さい電流のときは、周波数調整用のコンデンサを使用すれば、0.1 A 程度の進相電流も作るができる。

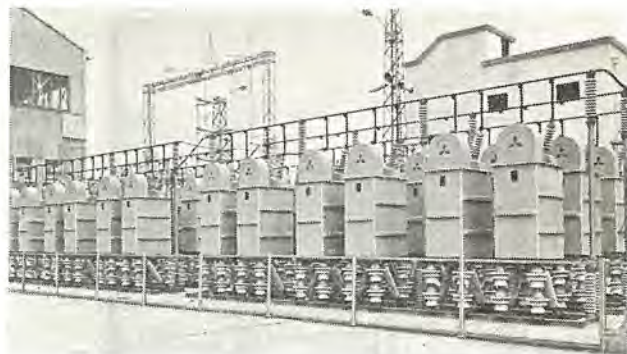


図 3.2 コンデンサバンク
Fig. 3.2 Main capacitor bank.

4. 制御および測定

発電機の起動および停止は、発電機室内制御盤のマスタースイッチによる一人制御方式を採用している。起動時のベアリング油膜形成は、ターニングギヤによる低速回転によって作られ、3 rpm に達すると誘導電動機が回転し始め、二次抵抗を順次減少しつつスピードアップする。起動に要する時間は約 10 分程度である。いったん起動してしまってからあとは無人運転ができるように、停電、断水、軸温度など運転に影響を及ぼす諸条件は、保護継電器によって保護されており、故障の程度を、制御停止、無負荷無励磁運転、自然停止の 3 段階に階級をつけて保護し、その信号を観測室制御盤に送るようになっている。

発電機の電圧制御は観測室の制御盤で行なうが、試験時間の短縮と作業員の精神的負担を少なくする目的で、スイッチを倒せば、あらかじめセットされた基準電圧に自動制御されるようにしてある。試験回路の設定は、観測室制御盤の照光ランプ付スイッチのオン、オフによって行なわれるが、制御盤上には回路図がミミック系統線で書かれており、断路器の位置がスイッチになっていて、直視的に回路確認ができ、回路設定の誤りを犯さないようにしている。また、回路設定を行なうと、制御盤内の演算回路が実回路と同じに組みあがり、回路インピーダンス、電圧、電流が、計数形電圧計に自動的に表示され、予定回路どおりに、回路が設定されたかどうかすぐに確認できるようになっている。

短絡試験の遂行は、一連の機器の動作を数秒の間にきわめて正確に制御する必要がある。一般に使用されている方法は、機械式のシーケンススイッチが多いが、当社の場合には全トランジスタ式のシ



図 4.1 観測室制御盤
Fig. 4.1 Main control desk.

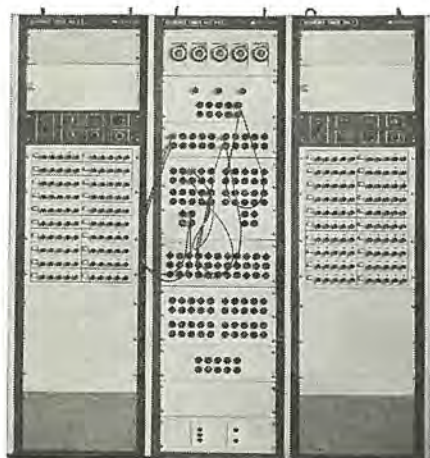


図 4.2 シーケンスタイマ
Fig. 4.2 Sequence timer.

ーケンスタイマを使用した。この回路は NOR ユニットを使用した直結 プログレッシブカウンタと、同じく NOR を用いたデコーダよりなり、計数単位は電気角 5° で最大計数は 10 秒である。計数単位である 5° おきのパルスは、発電機軸に電気角を合わせて直結された、2kVA の発電機の出力で同期電動機を回し、軸に取り付けた 72 個のスリット付き円板と、ホトランジスタで作っている。短絡試験を行なった場合、大電流、高電圧の急変により非常に大きなノイズが測定線、制御線に飛び込むが、接地系統を適切に張りめぐらしたのと、出力を水銀接点 リレーで絶縁したことにより、誘導に対してきわめて安全なものとする事ができた。このシーケンスタイマと投入開閉器を組み合わせることにより、投入電流は電気角 5° の精度でもって自由に直流分の制御が可能である。また、シーケンスタイマは要素数 20 のものが 2 台あり、まったく別個にも、また並列にも直列にも起動できるので、きわめて広範囲、自由な設定ができる。

測定は、おそい現象は電磁 オシロ、速い現象は シンクロスコープで行なう。電磁 オシロは、12 要素 2 台、無現像 オシロ 12 要素 1 台、シンクロスコープは 1 要素 2 台、6 要素のものが 1 台ある。6 要素のシンクロは、このたびとくに開発したもので、2 要素のブラウン管を 3 本、当社 トリネスコプ方式によるカラーテレビと同じように、ハーフミラーを使って光学的に重ね合わせたものである。これら測定器は、2 組の通常試験用と、1 組の特殊試験用に分けられ、それぞれ専用の測定端子盤と組み合わせて使用される。試験の進行速度は、測定に要する時間および設備、被試験器の点検に必要な時間で大きく左右されるが、これらの時間の短縮をはかるために、メモリスコープでつねに電流、電圧を監視し、工業用テレビで発電機室、被供試器を監視しながら試験を行なう。また、作業員の数を減らすために、測定器の起動、停止、カメラシャッター開閉は、すべてシーケンスタイマにより自動的に行なわれる。

電圧の測定用としては、結合コンデンサを使用し、360 kV、75kV の 2 種類を持っている。電流の測定用としては、磁束密度がきわめて低く、直流分を含んだ電流も正確に変流する大電流変流器と、無誘導分流器を使用する。

5. 主要機器

以上において新設大容量シャ断設備の概要を記したわけであるが、これに使用した機器は、すべてが記録の大容量、高電圧のものであって、開発に注がれた努力もさることながら、これらの機



図 4.3 測定室の内部
Fig. 4.3 Instrumentation panels and measuring instruments in the control room.

器が将来の電力機器の発展に貢献するところも、きわめて大なるものがあることと考え、以下に主要機器の定格と簡単な紹介を行なう。

5.1 短絡発電機

形 式	横軸円筒回転界磁形
定格容量	180 MVA (リアクタンス 算出基準)
同期速度	1,800 rpm
結 線	二重巻線、Yおよび Δ
重 量	固定子 270 t, 回転子 130 t
短絡容量	
三 相	5,500 MVA (短絡瞬時) 4,100 MVA (3 c/s 後)
単 相	2,750 MVA (短絡瞬時) 2,350 MVA (3 c/s 後)
初期過渡 リアクタンス	$X_d'' = 3.3\%$
過渡 リアクタンス	$X_d' = 4.45\%$
同期 リアクタンス	$X_d = 33.9\%$
短絡初期過渡時定数	$T_d'' = 0.040 \text{ sec}$
短絡過渡時定数	$T_d' = 0.825 \text{ sec}$
電機子時定数	$T_a = 0.082 \text{ sec}$

この発電機は、上記仕様のごとく、短絡 3 c/s 後においても出力 4,100 MVA を持ち、最近 W 社、シーメンス、AEG など、あいついで大容量短絡発電機が完成したが、それと比べてもまったくそんな色なく、世界屈指といえることができる。

この発電機の回転子は、シャフトエンド、ボディエンド、およびデスクをボルトで一体に組み合わせたビルドアップ構造であり、4 極機として



図 5.1 短 絡 発 電 機
Fig. 5.1 General view of short-circuit generator.

極限の大きさを持つものである。短絡発電機は、短絡瞬時に大きな電流を流すことが必要であるのみならず、それをできるだけ長い期間保持して、減衰の少ない発電機でなければならない。そのために、この機械は空 気 磁束密度を普通の機械の 130% 以上の高い値に選び、固定子、回転子とも ミツ 幅を広くし、深さをとくに浅く設計して パーミアンス を小さくするとともに、固定子 コイル 端部を円 スイ 形の銅板製 ダンパコン で包み、端部漏れ磁束を短絡する構造としている。また、回転子に強力な ダンパ 巻線を持たせ、端部には ダンパリング を設けて完全な制動回路を構成させ、短絡時定数の増加をはかった。このために、急速過励磁をまったく必要としなくなり、励磁は別置励磁機により行なう。

固定子 コイル は、二重巻線 Y で端子電圧 18 kV である。端子は、相側 6 本、中性点側 6 本、計 12 本で、おのおの 3 本ずつスリッパリング 側と電動機側の下部に出ている。基礎への固定子取付法は、スリッパリング などの緩衝機構を介することなく直接取り付けられている。短絡時、とくに单相短絡時には、750 t 程度の衝撃荷重を発生するが、完成前の総合試験時に基礎 ボルト に働く荷重、基礎の振動などについて実測したが、きわめて安全なことが実証された。潤滑油系統は誘導電動機駆動の常用油 ポンプ と、蓄電池系を電源とする直流電動機駆動の非常用油 ポンプ からなり、冷却水は、常時は屋外に設けた冷却水塔を循環する水を、240,000 kcal/h の冷却能力を持つ冷却塔で冷却する方式であって、停電の場合には、非常用 ヘッドタンク からの放水をして、発電機自然停止までの期間潤滑油を冷却する。

5.2 4,000 kW 駆動電動機

出 力	4,000 kW
電 圧	6,600 V
同期回転数	1,800 rpm
形 式	開放管通風形
定 格	5 min

短絡発電機駆動電動機はその使用条件が特殊であるため、普通の誘導電動機と異なった点で、設計上、工作上留意しなければならない問題が多い。それは主として、発電機が突発短絡の数 サイクル 間に発生する定格 トルク の 100 倍以上にも及ぶ短絡 トルク にうち勝つことが必要であり、また、短絡によって生ずる速度低下を急速に回復するために、入力 kVA が急増するためである。これらの複雑な現象は、IBM 7090 形電子計算機を利用して解析を行ない設計した。電動機定格出力 4,000 kW は、起動時および突発短絡の速度回復の条件から決めたものである。起動は、さきにも述べたように、ターニングポイント で 3 rpm まで起動したあと、誘導電動機で加速する方式であるが、この期間、二次抵抗を入力 kVA が一定になるように制御する。制動をかける方法は、誘導電動機の固定子に直流を流し、二次抵抗を負荷とする直流発電機に変えて制動する。無制動の場合には、停止までに約 1 時間必要とするが、制動をかけた場合には約 8 分で停止する。

5.3 短絡変圧器

表 5.1 に示すごとく、この変圧器は、短絡容量においても最大級のものであり、短絡時に発生する強大な電磁力に繰り返し耐えることが必要であるほか、BIL レベルは、500 kV 送電線に使用される変圧器に要求される値と同じである。かくも過酷な条件の変圧器を製作し得たのも、当社の卓越した外鉄形変圧器の技術によるものであって、斯界に誇りうるものである。

構造としては外鉄形 フォームフィット 構造を採用した。外鉄形では、

新設大容量短絡試験設備・堀・大谷・桑原

表 5.1 短絡変圧器 定格

形 式	外鉄形 単相油入自冷式 60/50 c/s
容 量	60 MVA
最大短絡容量	1,500 MVA (短絡瞬時, 対称分)
定格電圧	
一次	18 kV
二次	360—225—150—75—44—22 kV
試験電圧	
一次	インパルス 150 kV AC 50 kV
二次インパルス	1,800—1,300—900—450—350—250—N 150 kV
AC	805—575—390—185—140—90—N 50 kV

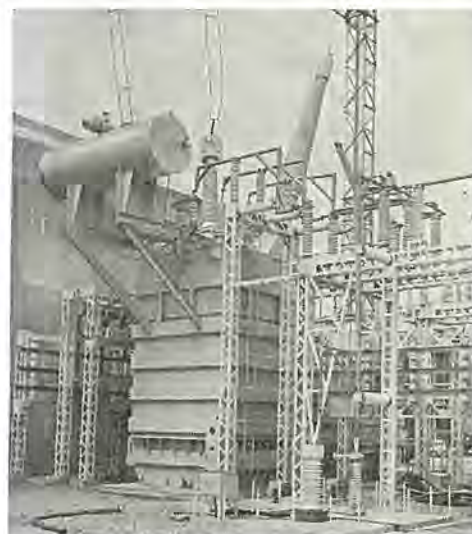


図 5.2 短 絡 変 圧 器
Fig. 5.2 Short-circuit transformers.

巻線から タウ を取り出すことが容易なこと、巻線の全周を鉄心および タンク で強固に締め付けられているため短絡時の機械力に対する耐力が大きいほか、コイル 群数を増すことにより機械力を減少させることができる特長を有している。この変圧器では、4 群構成を採用し短絡時の機械力を 2 群の場合 1/2 に減少させた。

絶縁構造としては充テ ン 絶縁方式を用いて、寸法の短縮とインピーダンスの減少をはかり、また鼓形 コイル 配置とするとともにコイル 寸法精度を上げて巻線中心の スレ による直角成分機械力を最少に抑えた。コイル 各群の構成は多数の タウ を有するため、高電圧 タウ 線路端には静電板を設けて電位分布を改善しているほか、電磁 モデル により各部の電位振動と移行電圧を検討して絶縁には十分な安全度をもたせた。またこの変圧器では、繰り返し短絡責務が大きいため、電子計算機により各 コイル の温度上昇を推定し、その結果、短絡電流の少ない 150 kV 以上の高電圧部には油 ダクト なしの完全充 テ ン 構造を、また 75 kV 以下は油 ダクト を設けて温度上昇に協調を採った。このほか、短絡時に各 コイル に加わる電磁力について電子計算機で計算し、とくに機械力の大きいコイル に対しては、導体寸法の増強と適当な補強を施こして、機械力安全性を高めた。

5.4 保護シャ断器

形 式	20—C—250 L
定格電圧	24 kV
定格電流	3,000 A
定格周波数	50/60 c/s
定格シャ断容量	2,500 MVA
定格再起電圧	9 kc II 号
定格投入電流	164,000 A

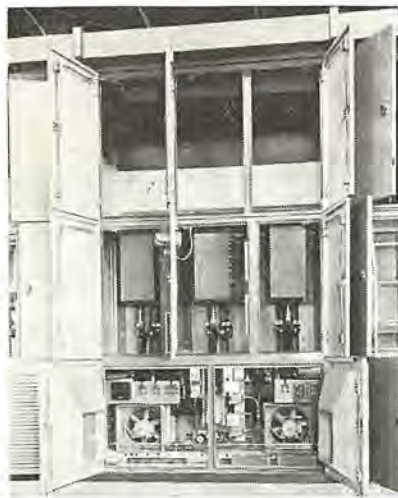


図 5.3 保護 シ ャ 断 器
Fig. 5.3 Back-up circuit breaker.

定格短時間電流 60,000 A
定格操作圧力 10 kg/cm²・g

短絡試験設備用保護 シ ャ 断器は、周知のように一般電力用 シ ャ 断器に比べ非常に過酷な条件で使用される。新設大容量短絡設備では、旧短絡設備において 10 数年間の実績を持つ 20—C—250L 形空気 シ ャ 断器を、発電機の二重巻線のおおのに 1 台ずつ掛け、並列運転を行なっている。20—C—250L 形 空気 シ ャ 断器は横吹付形 シ ャ 断方式を採用しており、過酷な再起電圧に対してすぐれた シ ャ 断性能を有しており、抵抗 シ ャ 断方式を採用せず、1 シ ャ 断点で良好な シ ャ 断特性を発揮している。建設以来今日までに行なわれた設備の試験にも、定格に近い電流を数 10 回無保守で シ ャ 断した。横吸付形 シ ャ 断方式を行なっているために、ノズル 形空気 シ ャ 断器の断路部に相当する部分で シ ャ 断でき、構造が非常に簡単で、また接触子が消弧室をはずすことなく外部から点検できるうえ、消耗接触子の交換も容易で、高信頼度を要求される保護 シ ャ 断器として好適である。

5.5 投入開閉器

形 式	AC 形
定格電圧	18 kV
定格投入電流	対称電流 105 kA 非対称電流 170 kA
定格周波数	60 c/s
定格投入時間	0.02 sec (誤差±0.3 ms)
定格操作気圧	10 kg/cm ² ・g
定格耐電圧	商用周波 50 kV 衝撃電圧 90 kV

図 5.4 は、投入開閉器一相分の断面図で開離状態を示す。タンク内圧力が 10 kg/cm²・g に充気されているので可動、固定接触子間にはわずかな間 隙 で絶縁耐力があり、可動距離が非常に短いので、投入時間およびその パラツキ はきわめて小さい。開離状態では操作 ピストン の両側が 10 kg/cm²・g に充気されているので力はずり合い、パネ 力により開離している。投入信号により投入用電磁弁が動作し、制御 ピストン を上に押し上げ、操作 シリンダ内の圧縮空気が抜け、タンク 内圧力 10 kg/cm²・g の操作力で投入する。投入状態では、制御弁は制御 ピストン の面積比で自己保持する。

開離は、開離用電磁弁の動作により制御 ピストン が下にさがり、操作 シリンダ下部側にも タンク 圧力 10 kg/cm²・g が充気され、パネ

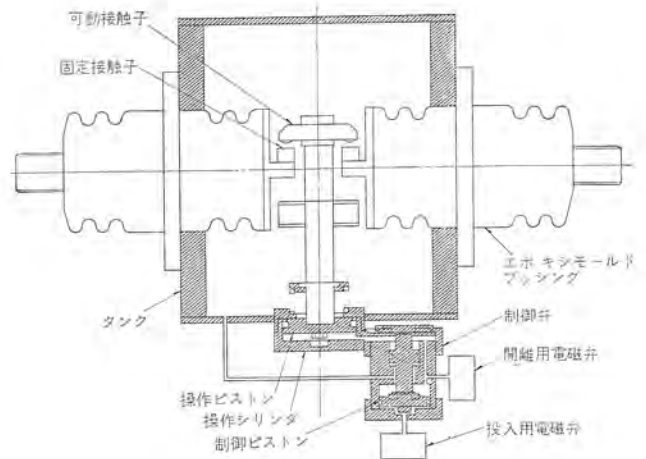


図 5.4 投入開閉器構造動作
Fig. 5.4 Sectional view of closing switch.

力により開離する。タンク 上部には、大きな マンホール がついており、点検を非常に容易にしている。

5.6 断路器

VSZ, VSY 形断路器の仕様は、表 5.2 のとおりで定格電流は使用条件よりとくに指定はないが、3,000 A 程度に相当する。

VSZ 形断路器は磁気継手を介して プレード を直接操作する単極単投遠方空気操作式 (操作気圧 10 kg/cm²・g) である。VSY 形断路器は回転により プレード を持ち上げ、無ねん (捻) 回、面接触で、単極単投遠方空気操作である。これら VSZ, VSY 形断路器は、今までにない短時間大電流に耐える必要から、接触状態をできる限り良好に保たせるために プレード を分割構造とし、接触圧力用のパネは一接触面に対し 4 個分散配置として、接触圧力の均等化、および接触面積の増加をはかっている。閉路および開路時の プレード の衝撃力を減少させるために接触部を除き導電部はすべて耐食アルミニウムを使用し、接触面は銀 メッキ を施す特殊設計になっている。これは、将来の アルミニウム 断路器の設計、とくに長期間屋外で使用した場合の経年変化をみるための テストピース としても大きな意義があるものと思う。

表 5.2 断路器 定格

形 式	定格電圧 (kV)	定格短時間電流 (KA. Sym. rms)	衝撃耐電圧 (kV)
V S Z	18	105	90
V S Y	93	80	450



図 5.5 V S Z 形 断 路 器
Fig. 5.5 Type VSZ disconnecting switch.

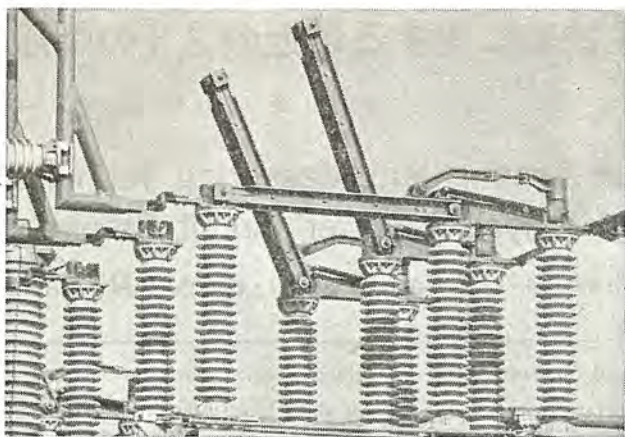


図 5.6 V S Y 形 断 路 器
Fig. 5.6 Type VSY high current disconnecting switch.

6. む す び

このたび新設された大容量短絡試験設備は、三菱電機の総力をあげ、最新の技術を駆使し、開発研究に多大の努力を重ねて完成したものであるが、この設備の利用によって今後要求されるあらゆる大容量シャ断器の開発が可能となったばかりでなく、断路器、避雷器、変圧器などの特殊試験にも利用され、世界屈指の設備として貴重な研究が期待されるとともに、この設備に使用する機器の開発に注いだ努力と成果が、今後の電力機器の開発に大いに役立つものであると確信する。

参 考 文 献

- (1) 志岐；「三菱電機技報」37, 977 (昭 38)
- (2) 甘粕；「三菱電機技報」37, 991 (昭 38)
- (3) 小滝；「三菱電機技報」37, 995 (昭 38)
- (4) 桑原, 平井；「電気四学会」793 (昭 40)

大容量シャ断器の試験および測定技術に関する最近の 2,3 の問題

瀬 渡 卓 三*・中 原 孝 一*

Recent Problems on Testing and Measuring Technics with High Capacity Power Circuit Breakers

Itami Works Takuzō SETO・Kōichi NAKAHARA

Of various problems on the testing of high capacity power circuit breakers, three representative topics which are made much of recently are accounted for herein. They are noise of breaker operation, interrupting test of short line fault and voltage tests on contamination of porcelain surfaces. Suggestion has been made on a new approach to the shock noise problem not resorting to the conventional measurement of 'phone' level, while the necessity of reviewing the testing procedures taken so far for the short line fault and contaminating conditions are discussed.

1. ま え が き

近年大容量発電設備の建設と送電網の拡大に従って、超高圧大容量化への発達はとみに急速で、ついに 500 kV 送電に対する実験が着手されるにいたったが、一方これら大容量超高圧機器の製作に対しても、シャ断性能の向上と価格低減それに量産体制などの見地から新たな消弧方式・操作方式・ユニット化などの研究も進められ、油シャ断器ならびに空気シャ断器の進歩、さらにはガスシャ断器の実現へと新技術の発達も著しいものがある。

また系統における短絡故障の解析、塩害および騒音の問題などその実態の究明に伴って、各種の実験と研究が行なわれ、その試験の内容が多様多様となってきたのが最近の特長ともいえる。

ここに大容量シャ断器の試験と測定に関しての最近の諸問題のうち、その代表的なものの特異な次の三つを取りあげ、現状を評価して今後のあり方を検討してみたい。

- (1) シャ断器の騒音に対する考察、
- (2) 近距離線路故障のシャ断試験について、
- (3) シャ断器の汚損試験の実態とその問題点。

2. シャ断器の騒音に対する考察

電力機器の発する騒音が、最近都市近郊における発・変電所において問題になってきている。以上は騒音の低い油シャ断器がシャ断器の主要地位を占めていたため、問題とはならなかったが、空気シャ断器の台頭により、またその普及度が高まるにつれて、非常に大きな問題となってきたものである。この稿において取りあげるには特異な性質のものであるが、最近のシャ断器の主要な特性の一つでもあるので、とくにその実態と問題点について考察を加えてみたい。

2.1 騒音の評価法

騒音の概念としては“好ましくない音”“ないほうがよい音”のすべてをいうものであり、その判断は本来主観的なものである。ある音を騒音と感じても、他の人がそうでないと判断することも珍しいことではない。また同一人がまったく同じ音を聞くにしても、その人の肉体的精神的な条件だとか周囲環境などに依りて、その判断は大きく変わるものである。騒音は通常多くの音の組み合わせられた複合音であって、これをどう数値化するかは大きな問題で、単に物理量としての音のエネルギーを測定するならば比較的

容易であるが、かりに音の物理的エネルギーが大きくとも、われわれの耳で聞いた場合小さいという場合が存在する以上、やはり耳で聞いた感覚の大きさを示すような測定でなければならない。参考までに、音源のパワーレベル、音の強さ、音圧レベルの関係を示すと次のとおりである。

$$\text{音の強さ } J = \rho C v^2 = \frac{P^2}{\rho C} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\text{音圧レベル } SPL = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (\text{dB})$$

$$SPL \approx PWL - (20 \log \gamma + 8) \dots \dots \text{半空間の場合}$$

$$J: \text{音の強さ (W/m}^2\text{)} \quad P: \text{音圧 } (\mu \text{bar または N/m}^2\text{)}$$

$$\rho: \text{媒質の密度 (kg/m}^3\text{)} \quad P_0: \text{基準音圧 (0.0002 } \mu \text{bar)}$$

$$C: \text{音速 (m/s)} \quad \gamma: \text{音源からの距離 (m)}$$

$$v: \text{媒質の粒子速度 (m/s)} \quad PWL: \text{音源の パワーレベル}$$

$$W: \text{音の全出力 (W)} \quad 10 \log \frac{W}{W_0} \quad W_0: 10^{-12} \text{ (W)}$$

物理的量と感覚的な量との関係を一般的な尺度で示したものに、有名な Fletcher & Munson の等感曲線がある。これは多くのアメリカ人を対象に実験的に求めたもので、健康な人間の耳の純音に対する諸性質を示している。この等感曲線は 1,000 c/s を基準とした計量法の騒音 (ホーン) の基礎となったもので、一般の騒音計のレベルもこれを基準として作られたものである。

ところが、この約束はすべて純音にして持続音に対してのものであって、複合音とかレベルの時間的な変化に対する考慮はなく、一般の騒音基準としては多くの疑問を含んでいる。とくにシャ断器の騒音のように、突発的な一種の衝撃音でそのレベルが 100 ホン近傍の大きな音では、“驚き”とでも表現される不快さも十分考慮すべき要素である。このように現在一般に使用されている騒音計は約束による近似的な測定器であって、決して満足すべき感覚量を示してくれるものではない。

周知のように音には大きさ、高さ、音色のいわゆる音の 3 要素がある。物理的には強さが大きさに、周波数が高さに対比できる。しかし音色はなにの音であるかを判別できるための性質であって、物理的にいえばその音の構成全体が音色を構成する。純音でいえば、その高さ大きさの両者がその純音の音色であるし、複合音では、その構成する各成分のそれぞれの周波数・強さの入り方が音色を決めるものである。

さらにほとんどの実際の音においてはその音の時間的な変化が問題であって、各成分部分音の時間的な変化を考えに入れないと音色

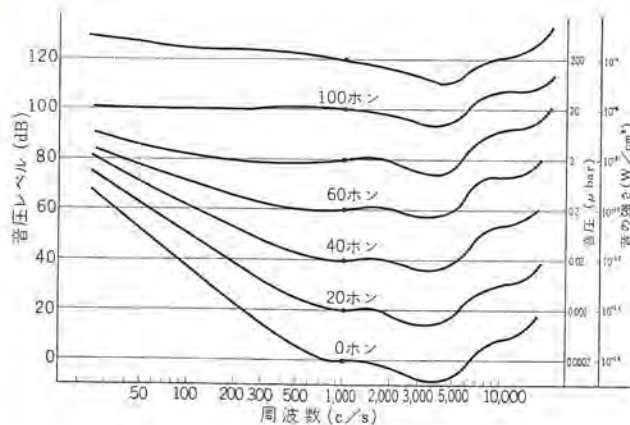


図 2.1 Fletcher & Munson 等感曲線
Fig. 2.1 Fletcher & Munson equal loudness contours.

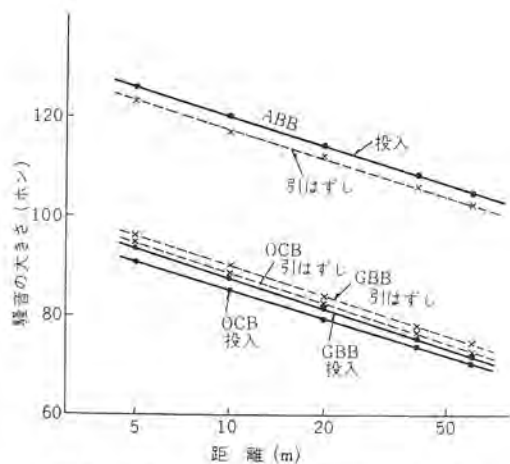


図 2.2 各種 シヤ 断器の騒音距離特性の一例
Fig. 2.2 Distance vs noise level characteristics of various circuit breakers.

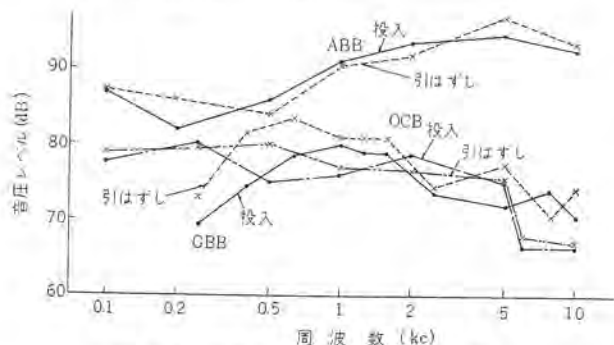


図 2.3 各種 シヤ 断器騒音周波数分析
Fig. 2.3 Noise frequency analysis of various circuit breakers.

ははっきり規定できない。たとえば楽器の音や人間の声の母音のように比較的簡単とみられる音であっても、変化を考えずただある瞬間の音を取り出し、この音を連続的に無変化に出しても元の楽器の音や母音にはならないのである。また機械の音のように比較的变化のない場合は、その変化のないことがその音の特長づけているものである。また不規則な音でその大きさも高さも絶えずひどく変動している場合は、これを大きさにおいても高さにおいても計量することができず数値としての評価は不可能であるが、これとてもそれなりに音色をもっているものである。

大きさ、高さおよび音色をもって音の3要素としているが、実際には大きさおよび高さに比べて音色なるものはなはだばく然としたもので少なくともこれを計量したり表現したりすることは

はなはだ困難である。音色は量ではなくしてあくまで質の問題であるからである。高速度分析法が確立し、過渡現象が十分究明されたときにおいて、はじめて完全に量の問題となりうるもので、これは今後の音響学の進歩に待たなければならない。

このほかにもマスキングの問題がある。騒々しいところで小さい音が聞きとれない現象がこれである。二つの音を同時に耳に入れたら一方を大きくしてゆくと、ある値になったとき一方の変化しない音が聞きとれなくなることによって、この作用を定量的に求めることができる。比較的小さい音(60ホン程度より小さい音)のマスキング効果は、周波数の近い音だけに作用し、大きくなるに従って広い範囲の音に作用を及ぼしてくる。しかもこの効果の周波数特性、振幅特性がきわめて複雑なため、これを一つの数式でもグラフでも扱えぬところに問題がある。二つ以上の成分からなる普通の音では、このマスキング作用が各成分間に相互に作用して、大きさに対する感覚がきわめて複雑になる。このことは騒音として評価するときより重要なことで、耳で直接感じとる以外に計量すること自体がほとんど無意味かと思われるほどである。

2.2 騒音測定のための測定器と耳

騒音測定を行なうために、われわれが備えうる測定器の種類は非常にわずかなものである。すなわち通常は騒音の大きさを測定するものと、それを各周波数成分に分析するものとである。このほかに流用できる測定器としては、オーディオメータとかオシログラフ、高域・低域ロハ器などくらいであろう。これらは前述のように騒音の特定な1性質だけを、しかも近似的に約束に従って測定するものでしかない。

すなわち、これらの測定器は単能であり、かつその使用範囲が限定されているものである。

これに比較してわれわれのもっている耳は、こと可聴音に関する限り万能であり、かつその使用範囲はきわめて広い。たとえば音の大きさの場合現在の測定技術では、ただだか20ホンまでであろうが、耳ではそれより小さい音でも十分に感じとることができる。またそのほかの性質に対しても、耳のほうがはるかにまさっている。したがって耳は最も精巧な測定器であるといえよう。耳で判断できるのだから当然メータに出せるはずだというのは、理論的には正しいとしても、現在の計測技術では必ずしも万能ではないのである。耳での判断には相当の主観が入るし、前述のごとく周囲の事情や環境などによって、確定した尺度とはなり得ないであろう。しかし騒音というものはそれ自体もともと主観的なものである。

とくにシヤ断器の騒音の場合は、他のものと違って単発的な衝撃音であるところにその特殊性がある。

騒音レベルの測定だとか、波形や周波数の分析は、騒音防止対策を研究するうえに重要なことには違いないが、騒音の本質に戻って、その大略をつかんで処理することのほうがより重要なことである。最近騒音の本質を忘れ、ややもすると数字にこだわりのちな傾向が見受けられるが、まことに遺憾なことと思う。そこで筆者らは、シヤ断器の騒音測定器として、耳を大いに活用すべきであると考え、次のことを提唱したい。

- (1) 重要な騒音の測定には、指示騒音計による直読記録にたよってはならない。
- (2) 磁気テープに記録して再生を容易にし、耳による評価を重要視する。
- (3) 上記のテープによる記録のさい、競技用のピストルの発

射音を標準音として同時記録し、比較の対象とする。

(4) 騒音の真の値および周波数分析などは、(2)項の磁気テープを利用し、再生して求める。

従来実施されてきた騒音の測定は、ときにはオシロ記録によるものはあっても、その大部分が指示騒音計による読みの値であって、指示計のレスポンスが悪いためシャ断器のごとき単発的衝撃音の測定には不向きである。またここで競技用のピストル発射音を同時記録としたのは、耳による評価の比較の対象にしたものであるが、これはシャ断器のごとき単発的衝撃音の騒音の基準としては、やはり衝撃音のほうがより適切な校正法と考えたからである。このピストル発射音は、周波数および大きさが、従来の騒音計の校正笛の場合に比べて、人による誤差がずっと少ないもので、筆者らは、数多くの経験によりこのことを確かめている。

3. 近距離線路故障のシャ断試験

シャ断器のシャ断特性の中で最近とくに問題視されるようになったものの一つに近距離線路故障の問題がある。

これに関する系統の実験条件、シャ断現象の解析については、すでに多くの方々によっていろいろ論議されているが、ここでは少し違った観点、とくに試験の実態とその問題点について考察を加えてみよう。

近距離線路故障の特長は、シャ断時に極間に現われる再起電圧が母線側と線路側を重畳した複周波数であることは周知のことであるが、大容量のシャ断器においては、この条件を満足せしめることは試験設備上不可能なことであって、通常の場合は線路側のみに考えて実験せられるのがそのほとんどである。

再起電圧そのものの過酷度からいって、この条件でもよい場合が多いが、供試器のシャ断原理なり構造をわきまえたうえでの試験条件の設定が必要である。

すなわち、油シャ断器のごとき初期回復特性の早いものについては、再起電圧の絶対電圧が必要であり、空気シャ断器の場合では上昇率のほうがより重要である。

また上昇率を考えた場合でも回路のサージインピーダンスを十分考慮しないと、試験回路としては満足なものとはいえない。したがって、必然的に実回路の線路定数とまったく同一のものが究極的には要求されてくる。実際には実系統の線路とまったく同一にすることは不可能な場合が多く、近似的なことで満足を余儀なくされることになる。

この問題を分布回路と集中回路の違い、エネルギーの相違、サージインピーダンスの相違、あるいはまた等価試験(Weil氏回路)の回路構成上の問題などについてシャ断器に対する過酷度と対照しながら、2, 3の検討を行なってみる。

3.1 分布回路と集中回路の相違

分布回路と集中回路を対照したものを表3.1に示す。

この表を見るとサージインピーダンスでは集中回路のほうが50%増しとなり、エネルギーについては同様20%増しとなっている。

一般に分布回路と集中回路を比較すると、初期においては分布回路のほうがエネルギー流入が大きく、再起電圧の波高値に近づいてつれて集中回路のほうがエネルギー流入が大きくなる。とくに、残留抵抗がかなり大きい場合について、第1波高値までの間の $\int i^2 R dt$ 値を比較すると

$$\text{分布回路では} \approx \frac{\pi}{\beta} \frac{E^2}{R}$$

$$\text{集中回路では} \approx \frac{3}{2} \frac{\pi}{\beta} \frac{E^2}{R}$$

となって集中回路のほうが50%程度過酷になる。

実際は、分布回路で試験を実施することは非常に困難であり、3~10段のπ回路で試験しているのが実状である。

3.2 等価試験による近距離線路故障の試験(集中回路)

等価試験回路(Weil氏回路)で試験を実施する場合は、線路側のみを模擬した回路Aと線路側と、母線側を同時に考慮した回路Bの2種がある。

両者の相違はシャ断器極間に現われる再起電圧の単一の場合と二重の場合の差であって、再起電圧波高値の大きさについてはBの場合は、正規の母線電圧の回復値を有している。

空気シャ断器のように、初期上昇率がシャ断器の過酷度に大きく影響するものについてはAの回路で試験してもよい場合もあるが、油シャ断器のようにシャ断後の回復特性の良いものについては電圧値の高いBの二重周波回路で試験することが望ましい。

また母線側周波数が割合高く、故障距離の長い場合は、上昇率において母線周波数の占める割合が大きくなる。このような場合は、Bの回路で試験するほうがよい。

なお、二重周波回路では、母線電圧を非接地系においては $\sqrt{3}/2E$ にするために、線路側は相あたりのインダクタンスの1.5倍相当条件にならざるを得ないことになる。

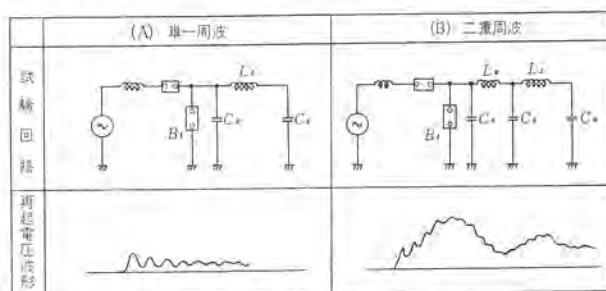
したがって初期上昇率には差はなくとも、再起電圧絶対値は同

表 3.1 集中回路と分布回路

	(A)集中回路	(B)分布回路	(A) (B)
回路インダクタンス	L_0	l	1
再起電圧周波数	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$	$f = \frac{1}{4\sqrt{lC}}$	1
回路キャパシタンス	$C_0 = \frac{4}{\pi^2} C$	C	≈ 0.4
エネルギー	$\frac{2}{\pi^2} CE^2$	$\frac{1}{6} CE^2$	≈ 1.2
サージインピーダンス	$\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{C}}$	$\sqrt{\frac{l}{C}}$	≈ 1.5

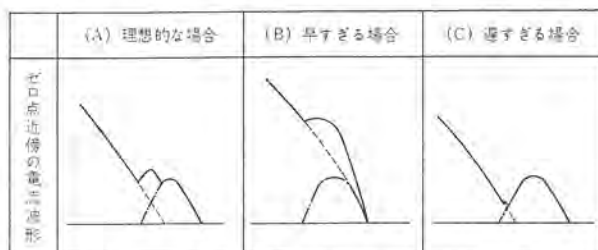
(注) l, C は単位距離あたりのインダクタンスおよびキャパシタンスである

表 3.2 単一周波数と二重周波数の回路波形



L_0 : 母線側インダクタンス
 L : 線路側インダクタンス
 B : 供試シャ断器

表 3.3 印加位相によるゼロ点近傍の波形の変化



(注) ———: 実際に流れる電流
 - - - - -: 母線電圧
 ———: 印加される高周波電流

様に高くなる問題が存する。

以上のように、短距離故障の試験においては、2、3の重要なポイントをつかんで試験を実施する必要があるが、このほか実際の試験、とくに等価試験においては高電圧回路の印加位相にも問題がある。

すなわち表2.3のごとく高電圧回路の印加が早い場合は傾斜が高く、また極端に遅い場合は接続点で電流が限流されるおそれがある。

これは高周波電流の周波数にも関係し、通常では600 c/s以下であれば理想的な位相に印加することも可能であるが、ゼロ点近傍の電流傾斜、とくに残留電流の流れるような領域で、アークの動特性を考慮に入れなければならない場合には簡単に論ずることはできず、今後の課題の一つといえよう。

4. 大形シヤ断器の汚損試験の実態とその問題点

近年、海岸に近接して陸続と建設される大容量火力発電所ならびに、これに連なる系統の耐塩害設計の問題が大きくクローズアップされている。ガイシ単体のような比較的シンプルな機器に対しての研究はかなり進んでいるようであるが、これらを合わせ使っているシヤ断器については、同じような使われ方をしている断路器やアレスタなどと違った意味で、系統の保護という重責務をになっているだけに、耐塩害問題についても十分な考慮がはられねばならない。以下、シヤ断器の汚損試験についての2、3の考察を述べてみたい。

まず、汚損に関する試験そのものが雑多であり、ようやく最近になって統一化されようとしているものの、その試験のもつ性格からして、はなはだ再現性に乏しくまたバラツキも大きいものである。さらに試験状態と使用状態での汚損条件の結び付きが判然としていないので、いまだに決め手のない試験であるといつて過言ではない。

シヤ断器に対して汚損を考える場合、シヤ断器の種類によって大きな差異が出てくる。高電圧大容量形となると現在のところはタンク形油シヤ断器、ガイシ組立構成による空気シヤ断器、ごく最近開発されたガスシヤ断器の3種類に絞られるが、このうち汚損に対してはタンク形油シヤ断器がいちばん有利な存在となっている。タンク形油シヤ断器は周知のように、外部絶縁はブッシングのみである。したがって汚損に対しては、解明され尽した感のあるブッシングのみに考慮されればよいことになるが、超々高圧のように非常に高電圧のものについてはなおブッシングの汚損の研究は必要である。

最近とみに関心の深まっている超々高圧シヤ断器の動作機能やシヤ断性能については、すでに実用化されている欧米諸国の例を見習うことが開発の早道かも知れないが、わが国の置かれている特殊な立地条件を考えれば、汚損試験についてはわが国独自の研究を推進せねばなるまい。

空気シヤ断器やガスシヤ断器の外部絶縁構成は、いずれもガイシの組み合わせによるものであるが、大地間への耐汚損特性は、ほぼガイシのみの試験結果と同じような特性を示すものである。シヤ断器の構造上支持ガイ管を2本近接して立てたようなものは、ガイ管1本のみの試験結果とは若干異なるが、ガイ管の漏れ面積の変化のみと考えて実用上支障ない。

また高電圧大容量のシヤ断器は、必然的に高さ、重量とも増加し、耐震目的のため補強用の支持ガイシを張るものがあるが、こ

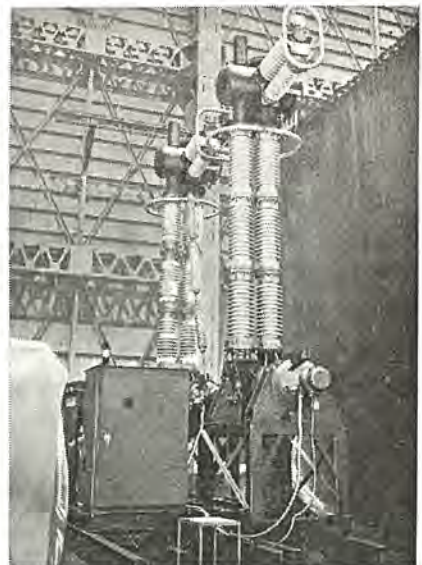


図 4.1 300 kV ガスシヤ断器の等価霧中試験状況
Fig. 4.1 300 kV, 25,000 MVA, SF₆ gas circuit breaker under contamination test in high voltage laboratory.



図 4.2 300 kV ガスシヤ断器の汚損スプレー状況
Fig. 4.2 300 kV, 25,000 MVA, SF₆ circuit breaker in spraying for contamination test in high voltage laboratory.



図 4.3 300 kV ガスシヤ断器のジェット洗浄試験状況
Fig. 4.3 300 kV, 25,000 MVA SF₆ circuit breaker in water jet cleaning test in high voltage laboratory.

れによる本体への影響はほとんどない。図 4.1 は 300 kV ガスシヤ断器の例であるが、これにみられるように同じ汚損条件でも、支持 ガイシ と補強 ガイシ に現われている アーク の規模が大きく違っており、このことを実証している。

大形シヤ断器の汚損試験を実施する場合、いちばん問題になるのは条件の一定化ということであろう。図 4.2 は同じく 300 kV ガスシヤ断器に対して汚損 スプレ 作業中のものであるが、かなり大がかりな スプレ 装置と長い試験時間が必要となる。現在、代表的な汚損試験法である等価霧中試験では、1 回の セン 絡値を得るのに 20~30 分間もかかっているのが実情である。

汚損 ガイシ の試験結果は商用周波や衝撃波の セン 絡特性と違って、ほぼ ガイシ の漏れ距離の比例に近いという データ も採られているので、試験の実施方法によっては ユニット での試験結果を延伸する方法がより正確といえるかも知れない。

シヤ断器の汚損で重要な問題の一つに、同相極間の電圧分布を考えねばならない。清浄状態でシヤ断器を開路したとき、同相極間は電圧分布用 コンデンサ によって等分布を保っているが、これらが汚損された場合には大地間の支持 ガイ 管の漏れ抵抗が大きく影響し、容量分は完全に抵抗分に置換されてしまうが、このときは個々の電極間の表面漏れ抵抗測定によって、比較的簡単に電圧分布を算出することが可能がある。したがって汚損状態のシヤ断器性能保証という問題も、これらの方法で得た電圧分布から割り出した ユニット 試験で実験できることになる。

汚損試験法としてもう一つの問題は、汚損洗浄試験である。現在わが国で、台風襲来に備えて火力発電所などに設置されている洗浄装置は、シヤ断器の種類以上に雑多であり、それだけに試験結果を画一的に扱うことは危険である。図 4.3 は 300 kV ガスシヤ

断器の ジェット 注水試験の状況であるが、大別してこのような ジェット 方式と噴霧方式とがあり、それぞれに大きな 特長があるので、個々の試験結果は個々の試験条件での結果であるということ を銘記されねばならない。

このようにシヤ断器に限らず、汚損試験や耐塩害設計には未知の分野、方法があり、今後の研究結果に待たれるものが大きい。

5. む す び

大容量シヤ断器の試験と測定に關しての最近の問題点のうち、特異な内容の騒音測定、近距離線路故障のシヤ断器試験、汚損耐電圧試験の三つを取りあげ、その実態を評価して今後のあり方を検討したものである。ここにこれらをまとめると次のとおりである。

(1) 騒音の問題については、過去の測定法について評価を加え、とくにシヤ断器の騒音の場合は単発的な衝撃音であることに注目し、よりよい方法として競技用の ピストル 発射音を標準音とすることを試みた。そしてこの標準音とシヤ断器の実際の騒音とを同時に記録してあとで再生し、耳による判断を重要視することを提案した。このことは従来行なわれている騒音の測定法なり記録値を、決して軽視するものではないが、今後のシヤ断器の騒音の評価について、その本質を失なわぬようにしたいものである。

(2) 近距離線路故障のシヤ断器試験については、実系統の回路条件と試験回路のそれとを比較して検討を加え、その過酷度を評価した。また試験の実態についても等価試験の場合を例にして、複周波数回路の構成そのほか実施上の諸問題を分析して、今後の試験技術発展の参考とした。

(3) 汚損試験については、汚損方法と表面漏れ抵抗の実態について検討を加え、将来の汚損試験に対する考え方の一助とした。

ブラシレスタービン発電機

甲斐 高*・長沢 保明*

Brushless Turbine Generators

Kōbe Works Takashi KAI・Yasuaki NAGASAWA

The brushless excitation system is an ideal one which eliminates the usual commutator, collector and brushes required with conventional DC exciter. However, in the application of the system to high speed turbine generators, such components as silicon diodes, fuses, resistors and capacitors must be given sufficient strength to withstand huge centrifugal forces during operation. An AC exciter and a rotating rectifier just completed in Mitsubishi Kōbe Works for the Nihon Carbide Co. have proved excellent of their electrical and mechanical reliability even at the twenty per cent overspeed or 4320 r.p.m. This article describes briefly system, construction, characteristics and a part of test results of Mitsubishi brushless turbine generators.

1. ま え が き

電力用発電機の最近の発達はめざましく、とくに2極タービン発電機では冷却法と材料の飛躍の進歩によって、小形の機械で大きい出力が得られるようになったが、その反面では励磁容量が急速に増加している。数年前までは最大1,000 A, 375 V程度であった励磁機定格は、現在では4,000 A, 500 Vに達し、近い将来には4,000 kWを越えるものと予想される。このような励磁電力を主発電機に直結の直流励磁機から供給するのは、ブラシの摩耗や整流の点で非常に困難なので、最近では減速機を用い、あるいは別置き MG にして回転数を下げて製作し、とくに大容量のものでは二重電機子を採用する場合もある。しかしこのような場合にも、励磁機の体格が大きくなり過ぎるという欠点があるし、また主発電機の軸に固定されたスリップリングでは上述のような便法もないので、その製作には相当の苦心が払われている。

一方、比較的小容量の自家用タービン発電機では、最近急速に発達した半導体整流器を利用する自動方式が普及し、整流子がないので保守が楽なこと、独立した電源の場合には負荷急変時に端子電圧が安定していることなどの点で歓迎されているが、化学工場のように腐食性ふんい気で使用される機械では、スリップリングな

らびにブラシの保守に若干の問題が残っている。

ここで述べるブラシレス励磁方式は、回転電機子形の同期交流励磁機と回転軸上に取り付けたシリコン整流器を用いて、整流子スリップリングおよびブラシをすべて取り除いた理想的励磁方式で、本質的に出力や回転数に対する制限がないので、とくに電力用大容量発電機に適している。ただ、高速で大型のタービン発電機では、運転中にシリコン素子などの部品にかかる遠心力は、低速の水車発電機や小形ディーゼル発電機とは比較にならないほど大きいので、各部品の機械的信頼性とその支持方法について特別の配慮が必要である。

当社では約6年前にブラシレスタービン発電機の開発に着手し、昭和37年度には50 MVAのタービン発電機を対象としてAVR回路を含む全励磁系を試作して、各部品の信頼性、回転整流器の構造ならびに励磁系としての性能などを慎重に試験し検討してきた。今回、日本カーバイト 魚津納め15,625 kVA ブラシレスタービン発電機を完成したので、この機会にその概略を報告する。

2. ブラシレス励磁方式

図2.1はブラシレス励磁方式の構成を示す簡単な原理図である。回転電機子形交流励磁機の出力は回転整流器（シリコン整流器）に導かれ、ここで直流に変換されて主発電機の回転界磁に供給される。交流励磁機の電機子、回転整流器および主発電機の界磁は同一軸上に配置されているので、直流出力を静止部に取り出す必要がなく、したがって整流子、スリップリングおよびブラシなどのシュウ（摺）動接触部分がまったくない。交流励磁機の界磁は、同一軸上の永久磁石発電機、主発電機の出力の一部あるいは所内電源など



図 1.1 日本カーバイト 魚津納め 15,625 kVA, 3600 rpm タービン発電機用 65 kW, 220 V ブラシレス励磁機

Fig. 1.1 65 kW 220 V brushless exciter for use with a 15,625 kVA rpm turbine generator delivered to the Nihon Carbide Co.,

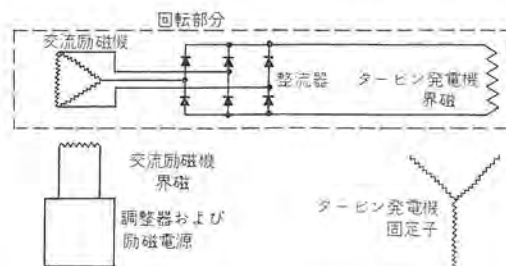


図 2.1 ブラシレス励磁方式の原理
Fig. 2.1 Principle of the brushless excitation system.

任意の電源から励磁され、適当な AVR 回路によって制御される。

2.1 交流励磁機

交流励磁機の定格出力、電圧および力率は、主発電機に必要な界磁電圧と励磁電流が与えられ、また整流回路が決まれば正確に計算できる⁽¹⁾。三相電波の整流回路を採用する場合には、力率は0.91~0.94、交流励磁機線間電圧と主発電機界磁電圧の比は0.77~0.87、交流励磁機電機子電流と主発電機励磁電流の比は0.75~0.80程度である。したがって普通は定格力率を0.9に選ぶ。

次に周波数はなるべく高いほうが速度度の点では望ましいが、あまり高くなると各部のウズ電流損が増加し、またリアクタンスも大きくなるので制約があり、商用周波数から500 c/s 程度までが妥当な範囲である。日本カーバイト納めには420 c/sを採用した。

構造上は三相電機子巻線が回転子に配置されて3,600 rpm で回転するので、巻線端部が遠心力に十分に耐えるように、レジンリングなどを用いた特殊な設計としている。図2.2は日本カーバイト納め80 kVA 交流励磁機の外観である。

2.2 回転整流器

シリコン整流器の結線は、普通に整流回路として採用されているものであればどのような回路でも利用できるが、実際には図2.3に示す2種類の基本回路、すなわち三相全波回路（グレート結線）と三相半波回路のどちらかを採用する。三相全波回路ではヒューズとリードの数は多いが、ピーク逆耐電圧が小さくてすみ整流器の利用率もよい。三相半波回路では高いピーク逆耐電圧が要求されるが、ヒューズとリードの数は少ない。どちらを採用するかは励磁機容量と電圧によって決定されるが、どちらを採用するにしても必要な電流値とピーク逆耐電圧値に従ってシリコン素子の適当数が直列ならびに並列に接続される。三菱製 SR 200 H 形シリコン整流素子（公称電流240 A、ピーク逆耐電圧最大値1,200 V）を使用の場合、直列個数1~3、並列個数2~20で500 MW までのタービン発電機に必要な励磁容量を十分にカバーすることができる。日本カーバイト納めには三相全波回路を採用し、各アームに2個直列、2個並列の素子を接続している。

2.3 保護装置

図2.4に日本カーバイト納め回転整流器の接続図を示す。

整流素子1ストリング（2S-1P）に対して定格400 A の高速限流ヒューズを接続し、万一整流素子が故障短絡した場合には、このヒューズによって故障素子を回路からすみやかに切り放す。しかし、正常な運転状態でヒューズが溶断しないように、ヒューズの特性はシリコン素子の過負荷耐量に適合したものとなっている。またヒューズが動作した場合、外部から容易に検出できるように特殊な動作指示装置をつけており、動作したヒューズの個数と位置（番号）を運転中でもストロボによって確認できる構造にしている。電力用大容量機では各アームのシリコン素子のうち20%が切り放されても運転を継続できるように計画しているので、ヒューズ動作指示装置を定期的にストロボで監視することによって停止の必要性の有無を決定できる。日本カーバイト納めは全素子数の半分が切り放されても運転を継続できるようになっている。

直列に接続された素子の電圧分担を均一にするために、分圧抵抗と分圧コンデンサを各素子と並列に接続する。分圧抵抗は定常状態で良好な分圧を得るために使用され、また振動を減衰させるためにも有効である。分圧コンデンサの目的は過渡時の分圧を保証するとともに、各素子の逆方向性の回復の差によるキャリア蓄積効果を吸収するためのものである。

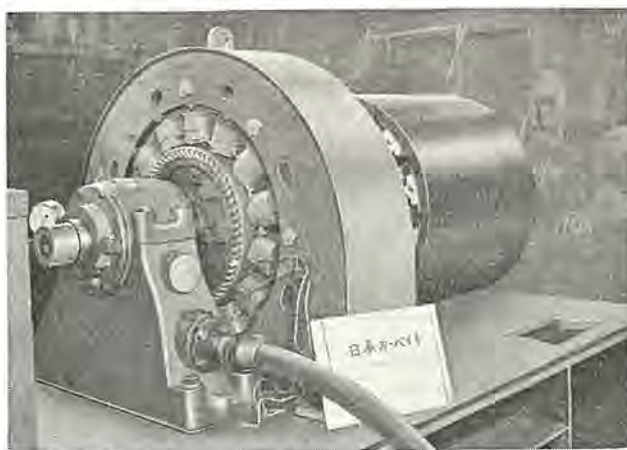


図 2.2 日本カーバイト 魚津納め 80 kVA, 180 V, 420 c/s 交流励磁機

Fig. 2.2 80 kVA 180 V 420 c/s AC exciter for Nihon Carbide Co.,

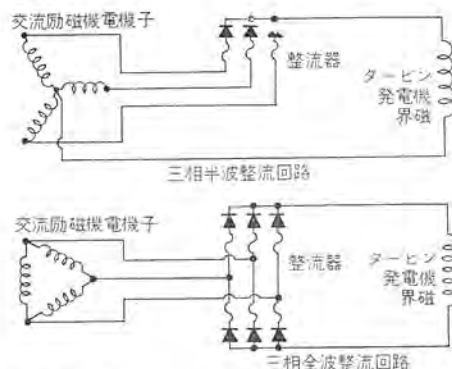


図 2.3 ブラシレス励磁機基本接続図

Fig. 2.3 Fundamental connections of the brushless exciters.

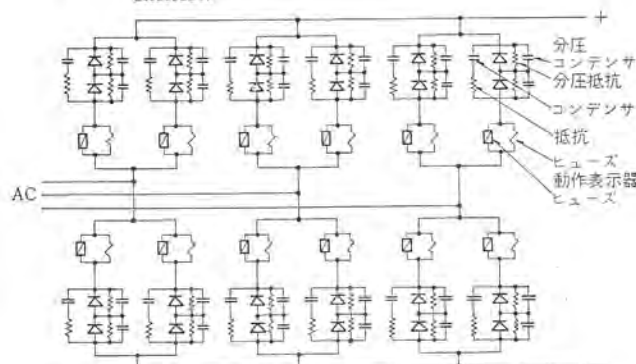


図 2.4 日本カーバイト 魚津納めシリコン整流器接続図
Fig. 2.4 Connection diagram of the silicon rectifier for the Nihon Carbide Co.,

さらにこの励磁方式では交流励磁機電機子ならびに主発電機界磁は常に整流装置に接続されているので、開閉サージの発生は考えられず、また主発電機の電機子側あるいは交流励磁機の界磁側から誘導によって入ってくるサージも、かなりゆるやかなものと考えられるが、電力用機器としての信頼性を考え万全を期する意味で、直列接続の数個の素子の両端間にこれと並列にCRファラダをそう入している。

2.4 自動電圧調整装置

ブラシレス励磁方式で使用する自動電圧調整装置は、普通の直流励磁機による場合とくに違ったものではない。調整装置の設計にあたっては次の5原則が重要である。

- 連続動作形の調整器
- 速度度が大きいこと

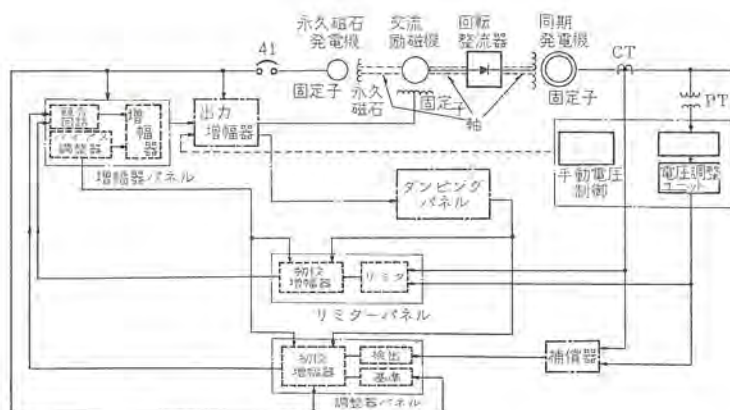


図 2.5 電力用 ブラシレス 励磁方式 AVR 結線図
Fig. 2.5 Connection diagram of AVR brushless excitation system for the utility turbine generators.

- c. 安定性が良いこと
- d. 部品の信頼性が高いこと
- e. 必要に応じた励磁制限装置を有すること

電力用大容量 ブラシレスタービン 発電機用の自動電圧調整装置の一例を図 2.5 に示す。

PT 二次電圧を整流した入力信号を永久磁石発電機の出力電圧からとった基準量と比較し、その差を初段磁気増幅器および競合磁気増幅器で増幅して出力磁気増幅器を制御する。出力磁気増幅器の出力が交流励磁機の界磁に供給され、制御 ルーラ はさらに交流励磁機電機子、回転整流器、タービン 発電機界磁およびタービン 発電機固定子を経て完成される。

速応度を大きくするには、閉 ルーラ 中の各部品の時間遅れを非常に小さく設計すればよい。400c/s 程度の交流励磁機および永久磁石発電機を使用することによって、励磁系の時間遅れは発電機の時定数に比べて非常に小さくなり、事実上「単一の時間遅れ系」となる。

安定性については、普通、主発電機界磁からの フィードバック がダンピング の目的には最も望ましいとされているが、この場合は主発電機界磁が回転していて信号を取り出すことが困難なので、交流励磁機の界磁と初段磁気増幅器の間にダンピング回路をそう入し、この回路中で主発電機界磁電圧と等価な電圧を作る。調整装置の部品として、使用経験の豊富な磁気増幅器と永久磁石発電機を使用するので、その信頼度は非常に高い。また発電機と同一軸上に設置された永久磁石発電機を電源として用いることによって、運転の信頼性はさらに高められる。各段の増幅器として磁気増幅器の代わりにトランジスタあるいはサイリスタを使用することも、もちろん可能であり、この場合には自動電圧調整装置が小形軽量となり、盤面を大幅に縮小できる。日本カーバイト 納めには出力増幅器にサイリスタを採用している。

図 2.5 に示したように、自動電圧調整機能と別個に適当な励磁制限装置を設け、その出力を競合磁気増幅器に接続することによって、自動電圧調整の機能が与えられた負荷条件の範囲内でしか働かないように制限を加えることができる。これはたとえば電力用大形機では最低励磁制限装置として使用され、家用用機の場合には力率限定装置でおきかえられる。

自動電圧調整装置は必要に応じて手動電圧制御に切り換えられる。この場合には出力磁気増幅器への入力を制御することによって電圧を調整する。

3. ブラシレス用シリコン整流器

—問題点の検討と開発—

ブラシレスタービン 発電機に使用される シリコン 整流器は、運転中に高速回転による膨大な遠心力を受け、その加速度は 7,000 g にも達する。また電氣的にも、同期はずれなどの場合、かなりの逆方向電圧が シリコン 素子にかかることが予想される。

電力用機器としては、予想されるすべての運転条件に対して十分な信頼性をもって安全に運転できることが最も重要であるので、当社では長期間にわたって上記の特異点を検討し、またこの用途に適する部品の開発を行なった。ここでは、その心臓部とも考えられる シリコン 整流器の 2,3 問題点と研究結果について述

べる。

3.1 過渡時に整流器に加わる逆電圧⁽³⁾

3.1.1 一相断線時の逆電圧

発電機が単相負荷に接続された場合には 2 倍周波数の逆相電流が界磁巻線に流れ直流界磁電流に加わる。2 倍周波数成分の大きさが直流分よりも大きければ、電流は 1 秒間に 120 回 (60 c/s の場合) 負の値をとり、整流器で励磁する場合にはこれが整流器端子に逆電圧となって現われる。したがって、外部リアクタンスが小さくまた初期の励磁電流が小さいときには逆電圧の危険性がある。検討の結果、外部リアクタンスが 0.2 (単位法) 程度の場合でも初期励磁電流が無負荷定格電圧時の界磁電流値の 20% 以上であれば、逆電圧を生ずるおそれはないことがわかった。

3.1.2 同期はずれ時の逆電圧

同期はずれ時にも界磁巻線には直流電流と交流電流が重畳して流れ、交流分が大きい場合には異常逆電圧を発生する。交流分の大きさは外部リアクタンスとスベリに支配され、同期はずれ前の初期励磁電流が小さいときには相当大きな逆方向電圧となる。この問題について詳細な解析を行なった結果、たとえば外部リアクタンスが 0 でスベリが 5% の場合、ある計算例では定格界磁電圧の 7 倍に及ぶ逆電圧が発生することがわかった。しかし、この値は外部リアクタンスが大になれば急激に減少する傾向を有し、外部リアクタンスが 0.2 (単位法) 程度になれば、普通に考えられるスベリの範囲では逆電圧は無負荷時界磁電圧の 5 倍以下におさまる問題ない。

以上のような諸点を考慮すれば、回転整流器は定格界磁電圧の 5 倍程度の逆方向電圧に耐えるように計画すればよい。

3.2 遠心力に対する整流素子の強度

整流素子に加わる遠心力の影響は、PN 接合部の電氣的性能に対する影響と外部ケースの変形あるいは漏れの 2 点に大別される。

3.2.1 接合部の強度

まず試験用素子の接合部に静圧縮荷重を加え、その前後の電氣的特性を観察して圧縮荷重の影響を調べたが、3,000 kg の荷重を加えてもその電氣的特性に変化は現われず、接合部に機械的破壊が起こらないことが確認された。さらに微細な機械的損傷の有無を調査するため、上記圧縮試験後の素子に対し過酷な振動試験を実施したが、変化は認められなかった。

一方、遠心力が長時間加わった場合の信頼性を調べるため、特段なベローズ付シリコン整流素子を作り、これに実際使用時の遠心力よりはるかに大きい 200 kg の荷重をかけて長時間負荷試験を行なった。ベローズ付素子は、実用される整裝素子と本質的に構造上、

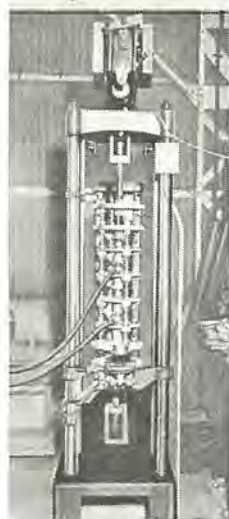


図 3.1 シリコン 整流素子荷重試験装置
Fig. 3.1 Load testing equipment for the
silicone rectifier cells.

寸法上の差異はないが、電流を通電しつつ所要の荷重を接合部に加えることができるようにしたものである。この素子を図 3.1 に示す試験装置に取り付け、圧縮荷重だけをかけた場合と電流も同時に通電した場合について、適当な間隔をおいて電気的性能をチェックしたが、約 3,000 時間経過しても劣化は現われず、接合部が十分に信頼できることが確認された。

3.2.2 外部ケースの強度

シリコン 整流素子では、PN 接合部の接着されている ペース 電極と陽極 リード の間は セラミック で絶縁され、またケース内は完全な気密封じによって特殊ガスが封入されている。この部分に加わる遠心力によって、セラミック を含む外部 ケース に有害な永久変形を生じたり、気密構造に漏れを生じたりすれば、長時間の運転後には性能の劣化を招く。この問題についても詳細な解析と試験を繰り返し、運転中に外部 ケース の各部分に加わる各種応力と タワミ の関係、漏れの有無などを精密に調査した。その結果、当社の標準の シリコン 素子についての機械的諸性能が解明され、ブラシレス発電機としての用途に十分に使用できることが明らかになった。これと同時に、シリコン 素子の取付法がこの問題に非常に大きな関係をもつことがわかり、回転整流器の設計ならびに工作上の基準を確立をすることができた。

日本 カーバイト 納め ブラシレス 励磁機は以上の研究結果と試作機の経験に基づいて製作したものであるが、工場試験時の過速度試験前後の調査により、シリコン 素子が電気的にも機械的にもまった

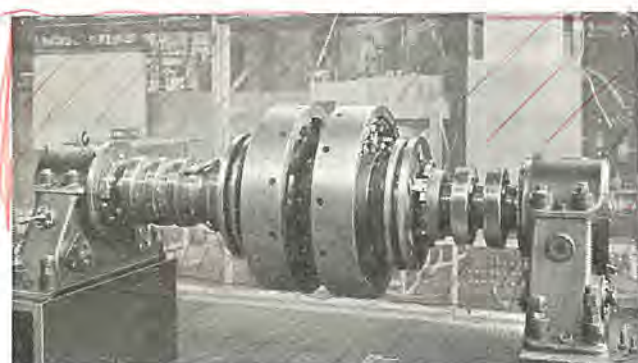


図 3.2 工場試験中の開発機
Fig. 3.2 Shop testing of the newly developed brushless
exciter.

く異常がないことが確かめられた。

4. 日本カーバイト魚津納めブラシレス励磁装置

4.1 発電機および励磁装置仕様

4.1.1 発電機

形 式 横軸円筒回転界磁、密閉風道循環形空気冷却
同期交流発電機

数 量 1 台
出 力 15,625 kVA
電 圧 3,300 V
電 流 2,734 A
周波数 60 c/s
回転数 3,600 rpm
極 数 2
力 率 0.96 (遅れ)

4.1.2 励磁装置

形 式 AVR 付 ブラシレス 励磁方式

数 量 1 組
冷却法 空気冷却器付密閉空気冷却
構 成

交流励磁機 (主発電機直結) 1 台

形 式 横軸回転電機子 突極同期交流発電機
出 力 80 kVA
相 数 3
電 圧 180 V
周波数 420 c/s
回転数 3,600 rpm
極 数 14
力 率 0.9 (遅れ)

回転整流器 (主発電機直結) 1 台

形 式 シリコン 整流装置
接 続 三相全波 (グレート)
出 力 65 kW
電 圧 220 V
ピーク 逆耐電圧 2,000 V

自動電圧調整装置

連続動作形、自動力率調整装置付

4.2 励磁装置の構造と構成

励磁装置の断面を図 4.1 に示す。交流励磁機と回転整流器は同

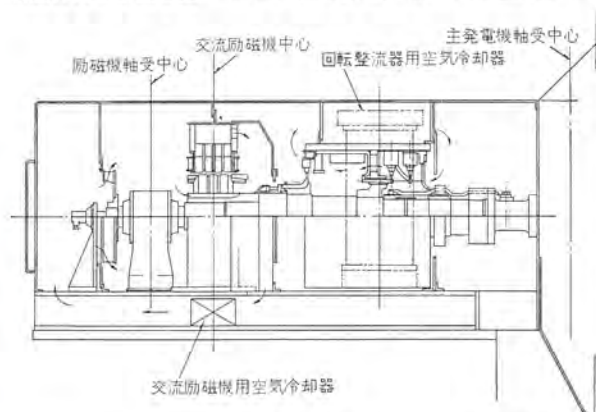


図 4.1 日本カーバイト魚津納め ブラシレス 励磁機断面図
Fig. 4.1 Sectional view of the brushless exciter for
the Nihon Carbide Co.,

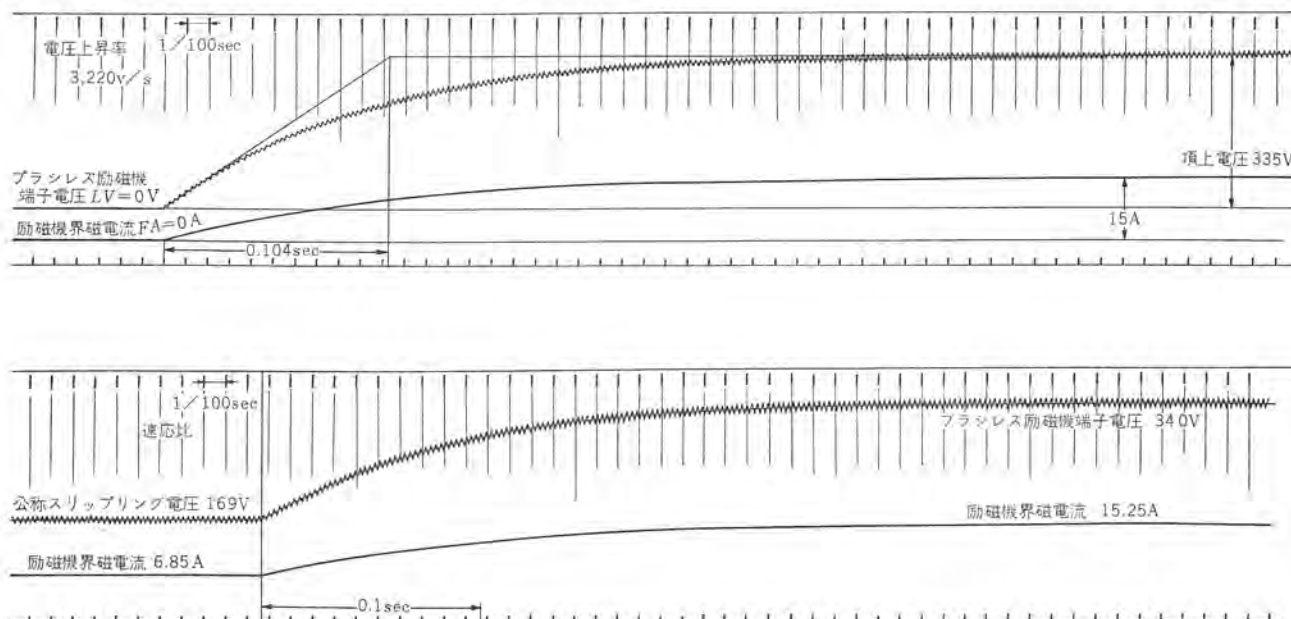


図 4.4 励磁機速度試験結果

Fig. 4.4 Test result of the exciter nominal response degree.

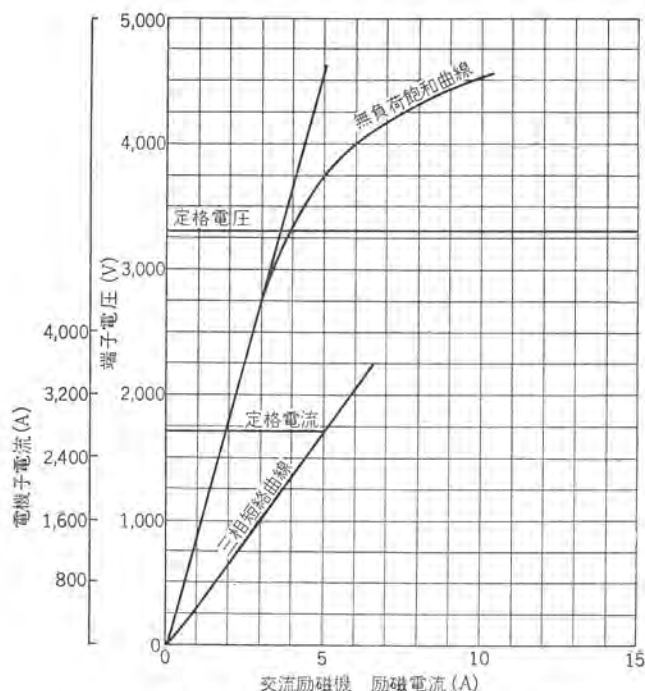


図 4.5 日本 カーバイト 魚津納め 15,625 kVA 3,600 rpm タービン 発電機、無負荷飽和および三相短絡曲線

Fig. 4.5 No load saturation and three phase short circuit curve 15,625 kVA 3,600 rpm brushless turbine generator.

励磁機速度は 3.66 であった。

(3) 発電機の無負荷飽和および三相短絡曲線

ブラシレス 励磁装置で励磁した場合の無負荷飽和および三相短絡曲線を図 4.5 に示す。

(4) 電圧調整試験

電圧設定抵抗値を変化させた場合の端子電圧の可調整範囲は定格電圧の 75% から 112% であり、また上記抵抗を定格電圧に設定して周波数を変動させた場合は $60 \text{ c/s} \pm 5\%$ の範囲で電圧は 3,300 V に一定に保持された。

(5) 誘導電動機起動試験

突然の負荷変動に対する励磁系全体の性能を調べるため

350 kW の カゴ 形誘導電動機 2 台 を同時に ジカ 入れ起動した。この場合の突入電流は定格電流の 40% に達したが、電圧降下の最大値は投入後 0.1 秒で 6% にすぎず、また約 0.3 秒後には定格電圧に回復した。

以上のほか、過速度試験、振動および騒音の測定、シリコン 素子の電気的および機械的性能の検査など各種の参考試験を実施したが、結果は良好であった。

5. ブラシレスタービン発電機の特長と運転実績

5.1 特 長

ブラシ 励磁方式の特長をまとめれば次のとおりである。

- (1) ブラシ の取り換えと保守が不要
- (2) 整流子の保守が不要
- (3) スリップリングの保守が不要
- (4) 炭素粉や銅粉がなく絶縁の寿命が伸びる
- (5) 故障が少なく運転が安定する
- (6) 有害ふんい気の影響を受けにくい
- (7) 主発電機に直結されるので運転の信頼性が増加
- (8) 直流励磁機に比べて速度が大きく
- (9) 大容量機ではとくに据え付面積が小さくてすむ
- (10) 4,000 kW の励磁機も密易に製作でき経済的である。

5.2 運転実績⁽³⁾

当社が技術提携している米国 Westinghouse 電機会社では 5 年前に世界ではじめて 50 MVA タービン 発電機用として 180 kW、250 V の ブラシレス 励磁装置を製作した。この機械は現在まで順調に運転しており、過去 4 年間に シリコン 素子 36 個、ヒューズ 18 個のうちシリコン 素子 3 個、ヒューズ 1 個を定検時に取り換えたに過ぎず、ここ 1 年間は シリコン 素子もヒューズ もまったく取り換えていない。1963 年夏には ブラシレス の第 2 号機として West Penn Power Co. の Mitchell 発電所納め 352 MVA 内部冷却 タービン 発電機用の 1,350 kW、375 V 励磁機が運転に入り、2 年間を経過しているが、その間に、シリコン 素子 90 個中 2 個が定検中に取り換えられただけで無事故で運転を続けている。その後 2 台の ブラシレスタービン 発電機が運転に入り、さらに 185 kW から 3,500 kW の定格の 18 台の

機械が W 社で製作中で、とくに 3,500 kW ブラシレス 励磁機は世界最大の 733 MVA タンデム 形 タービン 発電機に直結されるものと伝えられる。

当社では 1,000 kVA 以下で 600~1,800 rpm の交流発電機に ブラシレス 励磁方式を多数採用しており、いずれも無事に運転しているが、今回の日本 カーバイト 納め発電機は タービン 発電機として本邦で最初の ブラシレス 方式であるので、W 社の技術を十分に取り入れるとともに、長期間の研究開発と試験を基礎にして製作した。

同機の現地における実際の運転経験によってその信頼性と特長が広く認められるようになるものと確信している。

6. む す び

以上、ブラシレスタービン 発電機の構成と構造について述べ、日本カーバイト 納め 15,625 kVA, 3,600 rpm のわが国最初の ブラシレスタービン 発電機の計画内容と試験結果の一部を紹介した。同機は、今後の電力用大容量 タービン 発電機への ブラシレス 励磁方式の採用の第 1 歩として、画期的な意義をもつものと考え、当社ではすでに

100 MW 以下の水素冷却 タービン 発電機ならびに 150~250 MW 級の内部冷却 タービン 発電機用の ブラシレス 励磁装置の基本設計を完了しており、各部品や製作上の技術も確立している。電力用発電機としてはこのほかにも ブラシレス 水車発電機 1 台を受注して製作中であるが、この機会に使用者におかれても、ブラシレス 励磁方式の利点とその将来性について深い認識とご支援を賜わるよう希望するものである。

終わりにこの方式を採用され、種々のご協力をいただいた日本カーバイト 関係者各位にここからの感謝の意を表するとともに、この励磁方式の開発が当社中央研究所ならびに長崎、北伊丹製作所の諸氏の多大のご援助によって遂行されたことを付記する。

参 考 文 献

- (1) 高原、元木：「三菱電機技報」38, 1535 (昭 39)
- (2) Ph. Barret : Reueue Générale de Eélectricité, Sept. (1961)
- (3) D. B. Hoover : Westinghouse Enginner, Sept. (1964)

大容量高速2極同期電動機

高原 洋介*・中野 久夫*

Large Capacity High-Speed Two pole Synchronous Motors

Nagasaki Works Yōsuke TAKAHARA・Hisao Nakano

A 9,200 kW and a 7,000 kW two pole synchronous motors for use in driving blast furnace blowers have been built recently. With machines as a center of topics, this article describes the construction, characteristics, starting systems and test results of large capacity high speed two-pole synchronous motors. The construction, in general, is almost the same as that of a turbine generator. The rotor is made of a cylindrical single mass of steel, but in case of self starting machine slightly modified construction is needed for good starting characteristics. Calculation of starting characteristics, temperature rise of the rotor at the starting and analysis of pull in are among the account, and features of various starting systems employed for tow pole machines are also touched on.

1. ま え が き

最近、製鉄または化学、風洞などで使用されるブロワやコンプレッサは、しだいに大容量化され、しかも高速化されているが、その駆動機として大容量の2極電動機の要求がきわめて多い。

従来、この種の大容量2極電動機としては、もっぱら2極誘導電動機が採用されてきたのであるが、2極誘導電動機においては、回転子を積層コア構造とすることが必要あり、その積層材料の機械的強度などにより製作限度に制約がある。

これに反し、2極同期電動機においては、回転子は同期速度で回転するため、単一鋼塊（ソリッドポール）回転子とすることができ、タービン発電機と同様、大容量のものまで製作可能であり、数万kW級の2極同期電動機は十分製作可能である。

また、大容量高速電動機では、きわめて高い信頼性が要求されるが、2極同期電動機的设计・製作はすべてタービン発電機の豊富な経験に基づいており、その高い信頼性については、過去のタービン発電機の運転実績から明らかであるところである。

さらに、2極同期電動機は、電動機の力率を100%または進み力率とすることができるというすぐれた特長を有しており、とくに大容量機の場合には、誘導電動機に比べて、その運転経費（電力料金）の節減は非常に大きいものと思われる。

ただ2極同期電動機では、起動方法に不利な点がある。各種の起動方法が考えられているが、巻線形誘導電動機のごとく、簡単で、円滑な起動装置が得たいことが難点である。

最近、当社では住友金属和歌山工場向けとして、高炉ブロワ駆

動用の9,200 kWならびに7,000 kW 2極同期電動機を製作し、現在好成績をもって運転中であるので、この機会に大容量高速2極同期電動機の概要につき述べてみたい。

2. 高炉送風機用電動機仕様

今回当社が住友金属和歌山工場 No. 3 高炉ブロワ用として製作納入した電動機の概略仕様を示すと次のとおりである。

2.1 機器配置

No. 3 高炉ブロワの概要機器配置は図2.1に示すとおりである。

主ブロワセットは高炉ガスをを用いたガスタービン駆動であり、これに7,000 kW 2極同期電動機と、起動用の2,000 kW 4極誘導電動機とが配置されている。

予備ブロワセットは電動駆動であって、9,200 kW 2極、同期電動機によって駆動され、これに起動用の1,500 kW 2極誘導電動機が直結されている。

2.2 主ブロワ用電動機

(1) 7,000 kW 2極同期電動機

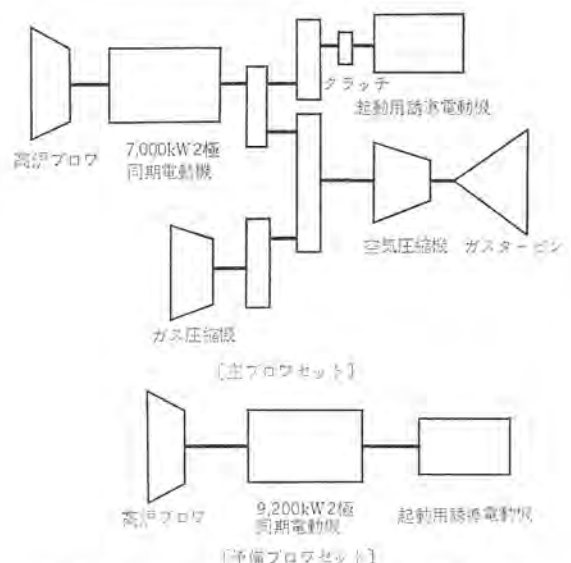


図 2.1 高炉ブロワ設備概略機器配置
Fig. 2.1 Arrangement of blast furnace blower installation.



図 1.1 高炉ブロワ駆動用9,200 kW 2極同期電動機
Fig. 1.1 A 9,200 kW 2-pole synchronous motor for driving a blower of blast furnace.

出力	7,000 kW
電圧	11,000 V (三相)
周波数	60 c/s
回転数	3,600 rpm
極数	2 極
力率	80 %

電動機形式 空気冷却器付全閉内冷形

定格 連続

(2) 起動用誘導電動機

出力	2,000 kW
電圧	3,300 V (三相)
周波数	60 c/s
回転数	1,800 rpm
極数	4 極
電動機形式	開放防滴巻線形
定格	30 分

2.3 予備ブロウ用電動機

(1) 9,200 kW 2 極同期電動機

出力	9,200 kW
電圧	11,000 V
周波数	60 c/s
回転数	3,600 rpm
極数	2 極
力率	100 %
電動機形式	空気冷却器付全閉内冷形
定格	連続

(2) 起動用同期電動機

出力	1,500 kW
電圧	33,00 V
周波数	60 c/s
回転数	3,600 rpm
極数	2 極
電動機形式	全閉巻線形
定格	10 分

3. 2 極同期電動機の構造

2 極同期電動機の大部分の構造は、タービン発電機の構造とほとんど類似しているが、自己起動を行なうもの、または今回製作した 9,200 kW 2 極電動機のごとく、負荷慣性モーメントならびに負荷トルクが極端に大きく起動用誘導電動機のみでは同期入れ可

能な最小スベリまで加速することができず、自己加速を必要とし、したがって、非同期運転に伴う回転子温度上昇に注意する必要がある、このために回転子を特殊構造にしなければならない。

図 3.1 に 9,200 kW 2 極同期電動機の断面構造図を示す。

3.1 固定子

固定子 フレーム・エンドカバー は軟鋼板を溶接して作られており、電源投入時の大きな衝撃トルクにも十分耐える強度を有している。

固定子 コア には ケイ素含有量が多く鉄損の少ない、高級ケイ素鋼板を使用し、これを扇形に打ち抜き、焼きナマシののち各抜板間をワニスや耐熱紙で絶縁し、鉄損を極力少なくして電動機効率の向上をはかっている。また、固定子コアの軸方向の両外側には非磁性の歯形押えを当て、強固で均一なコア締付けを行なうとともに、磁束の集中を避けて漂遊損の減少をはかっている。

大容量 2 極同期電動機は、今回の 9,200 kW, 7,000 kW 電動機におけるごとく、工場の最も重要な負荷を駆動するため、きわめて高い信頼性を要求されるので、固定子コイルの絶縁には当社独特のダイラスタック絶縁を施している。ダイラスタック絶縁とは、マイカテープを絶縁基材とし、これにダイレジンと称するエポキシ基を有するポリエステルレジン を真空含浸したのち、加熱重合反応を行なわせたものである。

ダイレジン は無溶剤レジンであり、加熱硬化前は低粘度で絶縁基材内によく含浸し、また加熱硬化に際しては、ダイレジンとマイカバンドとが重合反応を起こし完全に一体となり、溶剤の揮発に伴うピンホール・ポイドがなくすぐれた絶縁特性を有している。すなわち、絶縁耐力・絶縁抵抗がきわめて大きく、さらに耐湿性・耐油性・耐アルカリ性に富み悪条件のふいい気に対しても十分信頼性を保証できる。また、抗張力が大きく、弾性に富み、熱的に安定であるため長い寿命を保証できる。

同期電動機においては、電源投入時ならびに同期入れ時に突入電流が流れ固定子コイル端部に大きな電磁力が作用するので、コイル端部の長さを極力短くするとともに、コイル変形を防止するため、コイル間に間隔片を入れ固定子コア端部に取り付けられた非磁性締付け片を用いてコイル端部を強固に押えている。

9,200 kW ならびに 7,000 kW 同期電動機の固定子コイルはいずれもハーフコイルとし、トランスポジションを施し、固定子銅損を減少せしめている。また、端子電圧 11,000 V であるので、固定子コイルのスロット部分ならびにスロット出口部分にはコロナ防止処理を施し電位傾度の均一化をはかり、コロナ発生・絶縁破壊を防止

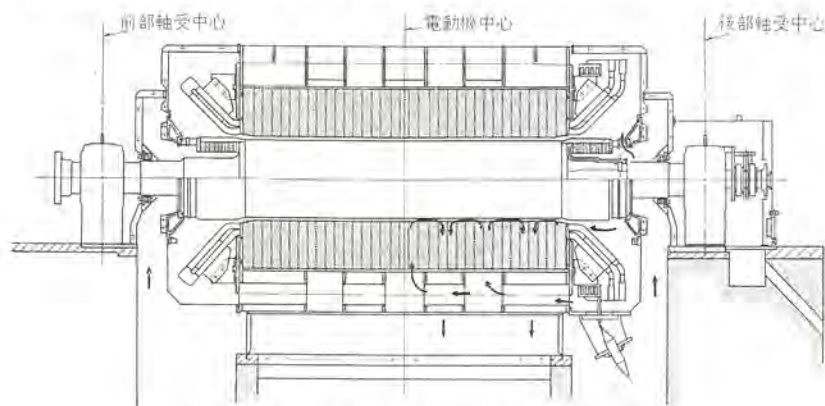


図 3.1 9,200 kW 2 極同期電動機の断面構造図
Fig. 3.1 Cross section of 9,200 kW 2-pole synchronous motor.



3.2 2 極同期電動機の固定子
Fig. 3.2 Stator of 2-pole synchronous motor.

している。

3.2 回転子

2極同期電動機の回転子軸材には、タービン発電機と同様の真空鋳造された品質のきわめてすぐれた高張力炭素鋼を使用する。この材料は高速回転機では、機械的に最も重要な部分であり、超音波探傷試験で検査するとともに、表面および両端面から試験片を取り厳重に試験を行ない、また中心孔をあけ内部の状態を拡大鏡で精密に検査を行なっている。さらに、回転子軸に導体スロットおよび通風穴を切ったのち、歯の応力・中心孔周辺の応力が過速度においても材料降伏点を十分下回るよう設計を行ない、また電源投入時の大きなトルクにも十分耐えるものとしている。

回転子コイルには焼きナシの平角銅帯を使用し、層間およびスロット絶縁にはマイカを用いて絶縁を行なっている。回転子コイルはクサビを用いて回転子スロット内に固定される。

回転子コイル端部には大きな遠心力が作用するので、機械的強度の大きい特殊鋼で作られたコイル押えリングを用いて強固に押えている。また、回転子コイルは、負荷の増減に伴って軸方向に伸縮を繰り返すので、コイル押えリング内面には、機械的に強く熱的に安定したアスベスト積層板を裏張りしている。

今回製作した9,200 kW 2極同期電動機においては自己加速を必要としたため回転子クサビならびにコイル押えリングの構造を、一般のタービン発電機のそれとは若干異なったものとしている。すなわち、2極同期電動機の自己加速期間中には、回転子に図3.5に示すような循環電流を流すことによって、大きな加速トルクが得られ、同期引入を支障なく行なうことが可能となる。このた

め、クサビのそう入を容易にし、かつ回転子軸と均一な接触が行なわれるようにクサビ形状を特殊にしている。また、コイル押えリングと回転子クサビ、コイル押えリングと回転子軸との接触部は局部的な過熱が起こらないよう、あらかじめ十分なモデル試験を実施している。

スリップリングは特殊鋼製でマイカ絶縁をへだてて軸に焼き付けた構造であるが、同期電動機では、界磁放電抵抗の値いかによっては起動時に高い電圧が発生し、また同期投入時に大きな電流が流れることがあるのでその構造、絶縁には十分注意を払っている。リングの外周にはラセン状のミゾを切って冷却効果をよくす



図 3.3 回転子軸 Fig. 3.3 Rotor shaft.



図 3.4 2極同期電動機の回転子 Fig. 3.4 Rotor of 2-pole synchronous motor.

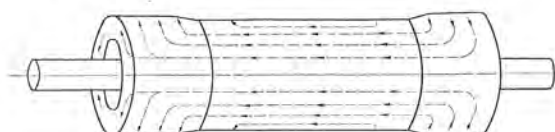


図 3.5 2極同期電動機の自己加速時の循環電流 Fig. 3.5 Circulating current during self acceleration period of 2-pole synchronous motor.



ブラシ保持器取付図

図 3.6 スリップリングとブラシ保持器 Fig. 3.6 Slip ring and brush holder.

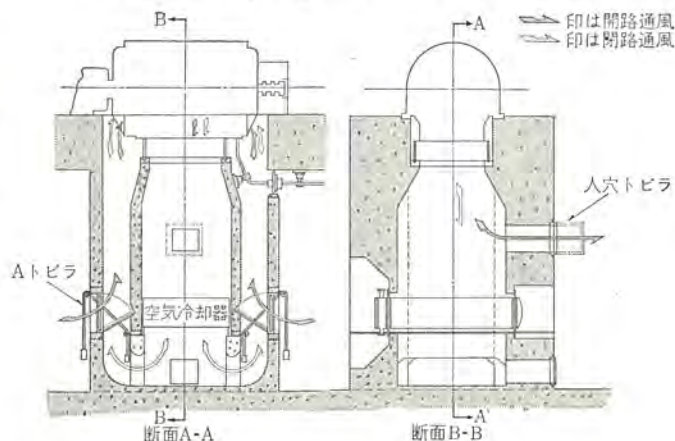


図 3.7 2極同期電動機通風説明図 Fig. 3.7 Ventilation of 2-pole synchronous motor.



図 3.8 空気冷却器 Fig. 3.8 Air cooler.

るとともに、ブラシの過熱ならびに異常摩耗を防止している。

3.3 通風方式

2極同期電動機の通風方式は通常複式放射通風方式とし、回転子両端部に取り付けた内部ファンによって通風が行なわれる。空気冷却器は普通基礎内に設置され、冷却風は密閉した通風路内を循環し、外部空気と遮断されているので、長時間の連続運転に対して高い信頼性を有している。

4. 2極同期電動機の特性

4.1 起動特性（非同期運転特性）

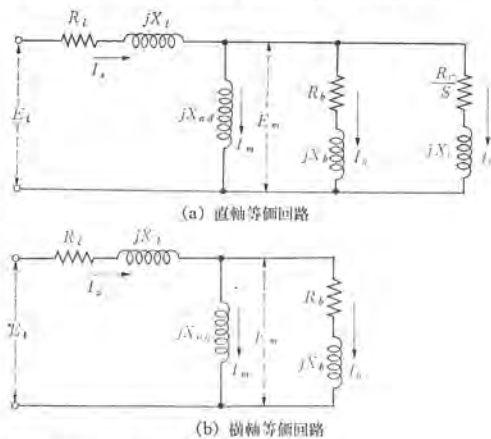
2極同期電動機を電源に投入して自己加速を行なう場合には、誘導電動機と同様、回転子にはスベリ周波数の二次電流が流れ、加速トルクが発生する。

一般に、同期電動機の起動時（非同期運転時）の等価回路は図4.1に示すとおりである。図4.1(a)は直軸成分、図4.1(b)は横軸成分に関する等価回路を示す。

次に、等価回路の各部分における電流ならびに電圧のベクトル線図を示すと図4.2のとおりとなる。

これら等価回路を解くことにより、起動時の各スベリに対する電流・トルクなどのすべての特性を求めることができる。ただここで2極同期電動機は単一鋼塊（ソリッドポール）回転子であるので、ダンパ回路の等価抵抗 R_b 、等価リアクタンス X_b の計算式が最も重要である。

この計算式に関しては、過去種々の文献^{(1)~(5)}で紹介されているが、最近では鉄の飽和現象を考慮に入れた次に示すような計算



R_1 = 一次抵抗 X_1 = 一次漏れリアクタンス
 X_{ad} = 直軸相互リアクタンス X_{aq} = 横軸相互リアクタンス
 R_b = ダンパ等価抵抗 X_b = ダンパ等価リアクタンス
 R_f = 界磁巻線抵抗 X_f = 界磁巻線リアクタンス

図4.1 同期電動機の起動時等価回路
 Fig. 4.1 Equivalent circuit at the starting of synchronous motor.

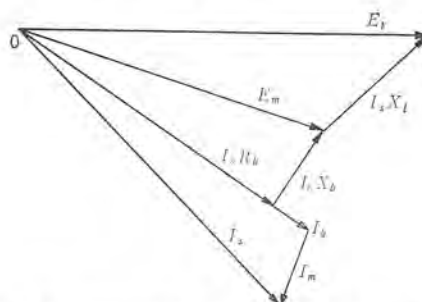


図4.2 同期電動機の起動時のベクトル線図
 Fig. 4.2 Vector diagram of synchronous motor at the starting.

式が一般的に採用されている。

すなわち、いま H を回転子に与えられる磁化力 (At/cm) の最大値であるとすればこれは下式で与えられる。

$$H = \frac{2m K_{ap} \sqrt{2}}{\pi D} \cdot I \quad (4.1)$$

ここで

m : 相数 (三相)

N : 毎相直列ターン数

K_{ap} : (分布巻係数 K_d) \times (短節巻係数 K_p)

D : 回転子外径 (cm)

I : 回転子電流 (一次換算値) (A)

一方、回転子電流層の深さすなわち浸透深さを δ (cm)、ならびに回転子単位表面積あたりの損失を L (W/cm²) とすればこれは下式で与えられる。

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho H}{\omega B_s}} \quad (4.2)$$

$$L = \frac{8}{3\pi} \rho \frac{H^2}{\delta} \quad (4.3)$$

ここで

ρ : 回転子軸の比抵抗 (Ω -cm)

ω : 回転子角速度 (rad/sec), $\omega = 2\pi s f$

s : スベリ

f : 電源周波数 (c/s)

上式において、回転子磁束密度 B_s の値は次のごとくにして求められる。すなわち回転子軸の磁化飽和特性は図4.3の曲線 I に示すとおりであるが、これを同図の曲線 II に示すような $H=0$ 以外は常に一定磁束密度 B_s であるような理想的磁化特性に変換する。

上記式 (4.1), (4.2), (4.3) から回転子の全損失を求めこの値を P で除すことによって、次のごとくダンパ回路の等価抵抗 R_b 、等価リアクタンス X_b が求められる。

$$R_b = k_1 \cdot \left\{ \frac{m I_s^2 (K_{ap} N)^3 B_s \rho f}{P \tau} \right\} \cdot \frac{1}{s E_m} \quad (4.4)$$

$$X_b = k_2 R_b \quad (4.5)$$

ここで

P : 極数

τ : 極間隔 (cm) $\tau = \frac{\pi D}{P}$

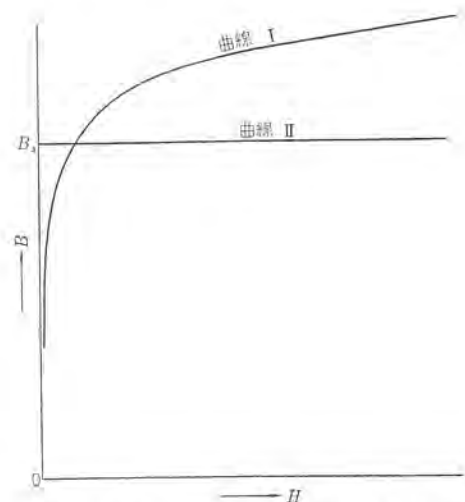


図4.3 回転子軸材 (炭素鋼 ユニ造軸材) B-H特性曲線
 Fig. 4.3 B-H characteristic curve of rotor material.

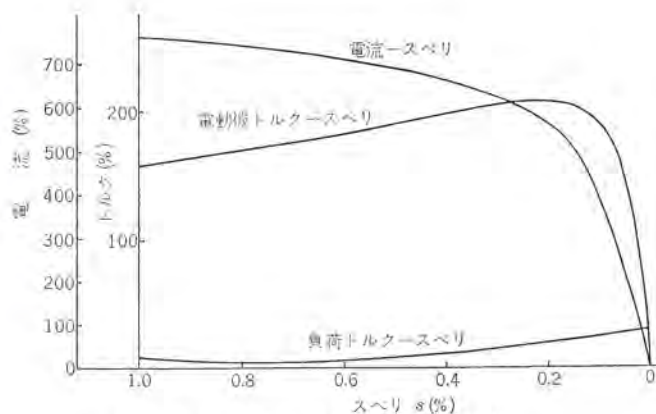


図 4.4 2極同期電動機の起動特性
Fig. 4.4 Starting characteristics of 2-pole synchronous motor.

l : 鉄心長 (cm)

E_m : 励磁電圧 (V)

k_1, k_2 : 定数

上記式 (4.4) および式 (4.5) から明らかなごとく、 R_b および X_b は回転子スベリ s 、励磁電圧 E_m の関数となっており、図 4.1 の等価回路を解くにはめんどろな Cut and try を必要とする。このため、電流、トルク、力率などの特性の算定にあたっては、高速度の電子計算機を使用している。

2極同期電動機の代表的な起動特性 (じか 入れ起動) を示すと図 4.4 に示すとおりである。

なお上記起動特性の解析において、界磁回路につながる界磁放電抵抗の値と界磁回路の二次誘起電圧との関係を求め、起動の際に界磁巻線に高電圧が発生し絶縁損傷を起こすことがないようにしている。また、界磁放電抵抗を含めた同期速度近傍のトルク特性を求め、これと負荷のトルク特性とより到達可能な最小スベリ値を求めて、同期引入れが支障なく行なわれるようにしている。

4.2 起動時 (非同期運転時) の回転子温度上昇^{(9)~(11)}

前項において述べたように、2極同期電動機を電源に投入して自己加速を行なう場合には大きな突入電流が流れ、その入力電力の一部は回転子内の熱損失に変換され、その温度を上昇せしめる。

従来の同期電動機またはカゴ形誘導電動機の回転子のように、積層鉄心構造でダンパ巻線を有しているものでは、起動時の熱損失の大部分はダンパ巻線に集中して発生し、鉄心部への熱伝導も比較的少ない。これに反して、いま考えている単一鋼塊回転子においては、起動時回転子電流は回転子表面に層状をなして流れ、これによる発生熱は回転子表面から深部へと伝導される。しかも、この電流層の深さすなわち浸透深さなびらびに発生熱損失は、回転子周波数に関係し、回転子速度とともに変化する。

当社では、これら現象を解析して起動時の回転子温度上昇を次のごとく求めている。すなわち2極同期電動機の回転子を図 4.5 とし、円筒座標を用いてその基準軸を r, θ, z とすれば、回転子内の各微小要素における熱微分方程式として次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} - \frac{\gamma C}{\lambda} \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{V(r, t)}{\lambda} \quad (4.6)$$

ここで

θ : 温度上昇値 ($^{\circ}\text{C}$)

λ : 回転子軸の熱伝導度 (cal/cm \cdot sec $\cdot^{\circ}\text{C}$)

γ : 回転子軸の比重 (g/cm 3)

C : 回転子軸の比熱 (cal/g $\cdot^{\circ}\text{C}$)

式 (4.6) において右辺の $V(r, t)$ は、時間 t において r の

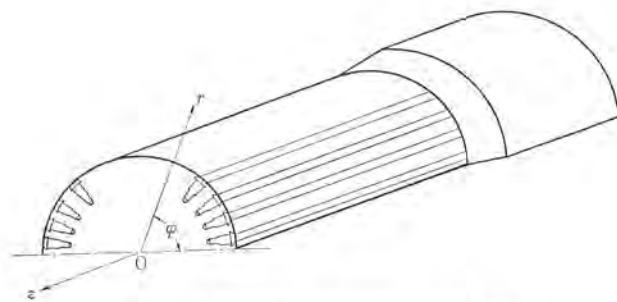


図 4.5 2極同期電動機の回転子の基準軸
Fig. 4.5 Fundamental axis of coordinate with rotor of 2 pole synchronous motor.

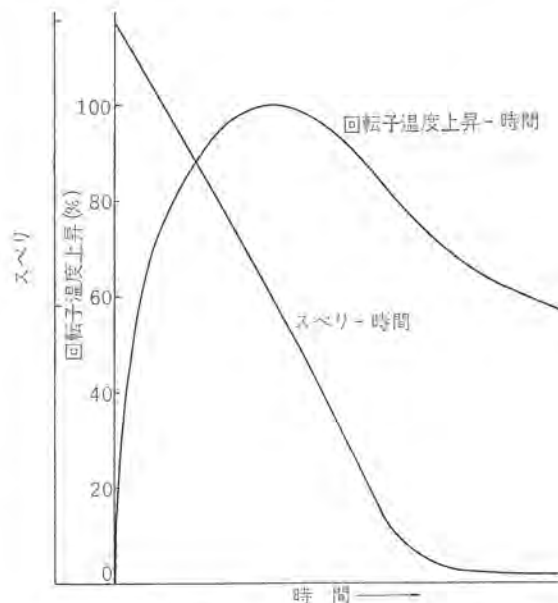


図 4.6 起電時回転子温度上昇
Fig. 4.6 Temperatur rise of rotor at the starting.

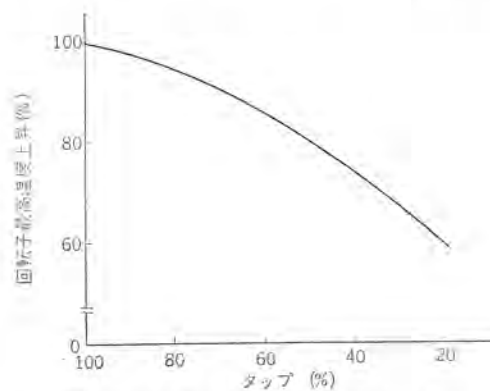


図 4.7 減電圧起動と回転子最高温度上昇
Fig. 4.7 Reduced voltage starting vs the max. temperature rise of rotor.

ところにある微小要素に発生する熱損失 (cal/sec) であって、この値は前項式 (4.2) の浸透深さ δ 、ならびに式 (4.3) の損失 L を用いて求められる。

この微分方程式を解くにあたっては、回転子表面から空気への熱放散を考慮に入れ、さらに電子計算機による数値解法の手段を用いている。

これらの解析によって求められた起動時回転子温度上昇の時間的変化の一例を示すと図 4.6 のとおりとなる。さらに、起動補償器またはリアクタを用いて減電圧起動を行なった場合の回転子内

の最高温度上昇値を求めてみると図4-7のとおりとなる。

この図から明らかなごとく、2極同期電動機のような単一銅塊回転子においては、起動補償器またはリアクタを用いて、そのタウをできるだけ下げて減電圧起動を行なうほど起動時回転子温度上昇は低くなり、起動は楽になることがわかる。

当社では、9,200 kW 2極同期電動機の製作に先だち、2極同期電動機を試作し前項で述べた起動時の諸特性を実測し解析結果と比較検討するとともに、上記の起動時回転子温度上昇についても実測を行ない、解析結果の正しいことを確認している。

4.3 同期入れ^{(12), (13)}

同期電動機の同期入れの可否判定には、従来、次の関係式が用いられてきた。

$$s < k_3 \sqrt{\frac{e_d \cdot e_t}{\pi \cdot f \cdot H \cdot x_d}} \quad (4.7)$$

ここで

s : 同期入れ可能の スベリ (単位法)

k_3 : 定数 0.55~0.60

H : 慣性定数 $H = \frac{1.375 \cdot GD^2 \cdot (\text{rpm})^2}{(\text{kW}) \cdot 10^6}$

e_t : 電源電圧 (単位法)

e_d : 直流励磁に対応する内部誘起電圧 (単位法)

x_d : 同期 リアクタンス (単位法)

f : 電源周波数

GD^2 : 負荷も含めた全回転部分の ハズミ 車効果 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

しかし、上式は同期入れの可否判定の概略の日安であって、制動効果ならびに界磁回路の時定数は考慮されていない。

今回の 9,200 kW 2極同期電動機は負荷が高炉 プロワ であり、回転部の慣性 モーメント ならびに負荷 トルク が大きく同期入れが問題であり、さらに同期投入時の突入電流が問題となったため同期入れの現象を詳細に検討する必要があった。

同期電動機の加速ならびに同期入れの現象は次の運転方程式を解くことにより解析される。⁽¹²⁾

$$2H p\omega = T_E - T_L \quad (4.8)$$

ここで

H : 慣性定数

ω : 角速度 (単位法)

T_E : 電動機の発生 トルク (単位法)

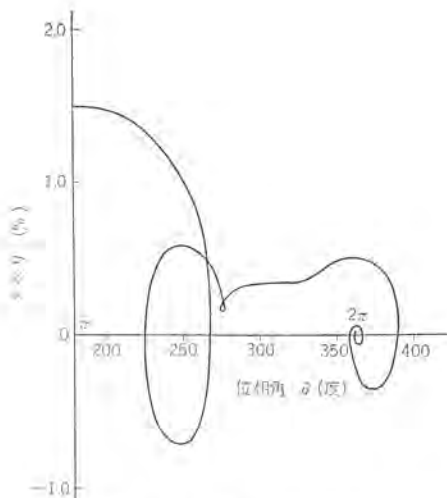


図 4.8 同期入れ時の位相角特性
Fig. 4.8 Phase angle characteristic during the pull in.

T : 負荷 トルク (単位法)

p : $\frac{d}{dt}$

上式において、電動機の発生 トルク T_E は、電気回路 (電機子回路、界磁回路、タンパ回路) に関する多元連立微分方程式を解くことによって求められる。

その計算例を図4-8に示す。

5. 2極同期電動機の起動方法

2極同期電動機の計画にあたり、最も重要な問題点は起動方式の選定である。2極同期電動機の起動方式としては種々の方式があるが、通常次の方式があげられる。

- (1) 自己起動方式
- (2) 起動電動機による起動方式
- (3) 低周波起動方式

5.1 自己起動方式

この起動方式は最も簡単な起動方式であるが、起動時の回転子温度上昇の点から、負荷の慣性 モーメント と負荷 トルク に制限があり、また起動時の大きな突入電流の点から、電源系統の容量に制限がある。

当社では、前項において述べたごとく、起動時の回転子温度上昇値を求め、また起動時突入電流による電源電圧降下を求め、自己起動の可否を決定している。

通常、2極同期電動機で自己起動を行なう場合には、減電圧起動方式を採用する。これは起動突入電流を極力小さくして、電源への影響をできるだけ少なくするためと、起動時温度上昇を極力低くするためである。

減電圧起動方式としては通常

- (1) リアクタ 起動方式
- (2) 起動補償器 (コンペン) 起動方式

が採用される。

5.2 起動電動機による起動方式

起動電動機としては、通常巻線形誘導電動機または誘導同期電動機を使用しこれを2極同期電動機に直結する。

起動電動機として巻線形誘導電動機を使用する場合には、まず誘導電動機を加速し、そののち同期電動機を電源に投入して同期速度近傍まで自己加速を行ない、次に界磁を励磁して同期入れを行なう。今回製作した 9,200 kW 2極同期電動機にはこの起動方式を採用している。

起動電動機として誘導同期電動機を使用する場合には、まず誘導同期電動機により加速ならびに同期入れを行ない、そののち主同期電動機を励磁し電圧ならびにその位相を調整して電源に投入する。この方式においては突入電流値を前者の方式に比べ小さくすることはできるが、回転部分の慣性 モーメント が大きい場合には誘導同期電動機における同期入れ可能の スベリ 値を極端に小さくする必要があり、このためその マシンサイズ は大きくなり、不経済となる。

回転部分の慣性 モーメント が極端に大きく、同期入れ可能の スベリ 値が容易に得られない場合には主同期電動機と起動用電動機との間にギヤを設け、主同期電動機速度を同期速度以上に上げ、減速途中の周波数、電圧位相の一致点を検出して電源に投入する起動方式が採用される。この場合、起動用誘導電動機は4極以上の任意の極数とすることができる。なお、この方式においては、切りはなし可能の クラッチ を設けることにより、同期入れ後に

は起動用電動機を切りはなして運転効率を高めることも可能である。

また、起動電動機による起動方式の一つとして、起動時に主同期電動機の固定子巻線と、起動用電動機とを直列に接続する方式がある。

この起動方式は通称 Pony motor 方式といわれ、起動時突入電流を小さくすることができる。(14)、(15)

5.3 低周波起動方式^{(16)~(18)}

この起動方式は図 5.1 に示すように、起動用電動発電装置 (M-G セット) をおき、この発電機と主同期電動機とを電氣的に接続し両機に適当な励磁を与えて低周波で同期化を行なったのち、両機の速度を上昇し、主同期電動機を電源に投入する方式であって、従来、揚水発電所におけるポンプ用同期電動機の起動または大容量火力発電所におけるクロスコンパウンド形発電機の起動などにおいて盛んに採用されている方式である。

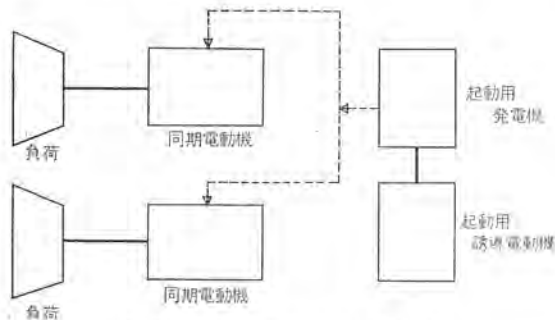


図 5.1 低周波起動方式
Fig. 5.1 Low frequency starting system.

前記 5.1 節で述べた自己起動方式においては、誘導電動機としての加速が行なわれるのに反して、この起動方式においては同期トルクにより同期電動機として加速するので慣性モーメントの大きな負荷の起動も可能であり、また同期電動機の電圧位相を電源系統と完全に一致せしめた状態で投入されるので、起動時突入電流を小さくすることができる。

さらに、この起動方式は同期電動機が数台同一場所に設置される場合には、次の諸点からとくにすぐれた起動方式である。

- (1) 同期電動機数台に対し起動用 M-G セットを共用できるので設備費を節減できる。また、起動用 M-G セットは主同期電動機起動の際のみ運転され、常時停止しているため、空転による風損・軸受損などの機械損がなく運転効率が良く運転経費を節減できる。
- (2) 起動用 M-G セットは主同期電動機の配置とは無関係に任意の位置に据え付けることができ、しかも同期電動機数台に対し起動用 M-G セットは1台でよく、据付床面積を節約できる。
- (3) 起動用 M-G セットは、常時は停止しているので十分な保守点検

が可能である。また、起動用 M-G の極数・回転数は、その発電機ならびに電動機を設計・製作するうえで最も容易なものとすることができ、信頼性の高いものとする事ができる。

6. 2 極同期電動機制御装置

6.1 9,200 kW 2 極同期電動機制御装置

9,200 kW 予備高炉 用 2 極同期電動機は起動電動機付で、完全自動起動、自動力率制御方式を採用し、運転制御、監視のすべてを中央制御室で行ないうるようにしている。図 6.1 にこれの単線図を示す。

9,200 kW 2 極同期電動機は 1,500 kW 2 極起動用巻線形誘導電動機を直結しており、まず誘導電動機により同期速度付近 (スベリ約 1.3 %) まで加速した後主同期電動機を電源に投入する。主同期電動機の非同期運転でさらに同期速度に近づけ (スベリ約 0.8 % 程度)、界磁に直流励磁を与え同期引き込みを行ない定常運転に入る。このようにして系の加速時発生する損失のほとんどを起動用誘導電動機の二次抵抗内に捨て、主同期電動機回転子の過熱を防止するとともに、起動加速時および同期引き込み時の突入電流を低減し電源の悪影響をなくしている。

起動用誘導電動機の二次そう入抵抗としては電動操作式液体抵抗器を使用し、電流継電器でもって電動機電流を監視し、液体抵抗器の電極下げ動作を制御して起動トルクを約 200 % 一定で加速するよう自動制御している。ただし液体抵抗器は電極を極限まで近づけても電極を完全に接触できず、また電極面には界面抵抗が存在するなどの理由で若干の残留抵抗がありスベリ約 5 % 以下の速度まで電動機を加速することは困難で、この状態で二次短絡を行なうと大きな突入電流が流れ思わしくないので、液体抵抗器の電極が下限に到達すると液体抵抗器の残留抵抗と並列に分路用金属抵抗器をそう入し、電動式制御器で起動突入電流を抑制しながら順次短絡し最終的に誘導電動機二次を短絡し誘導電動機としての最高速度まで加速するようにしている。

液体抵抗器、分路用金属抵抗器は連続 3 回の起動に耐えるよう、十分な熱容量をもたしておる。電動制御器による誘導電動機の二

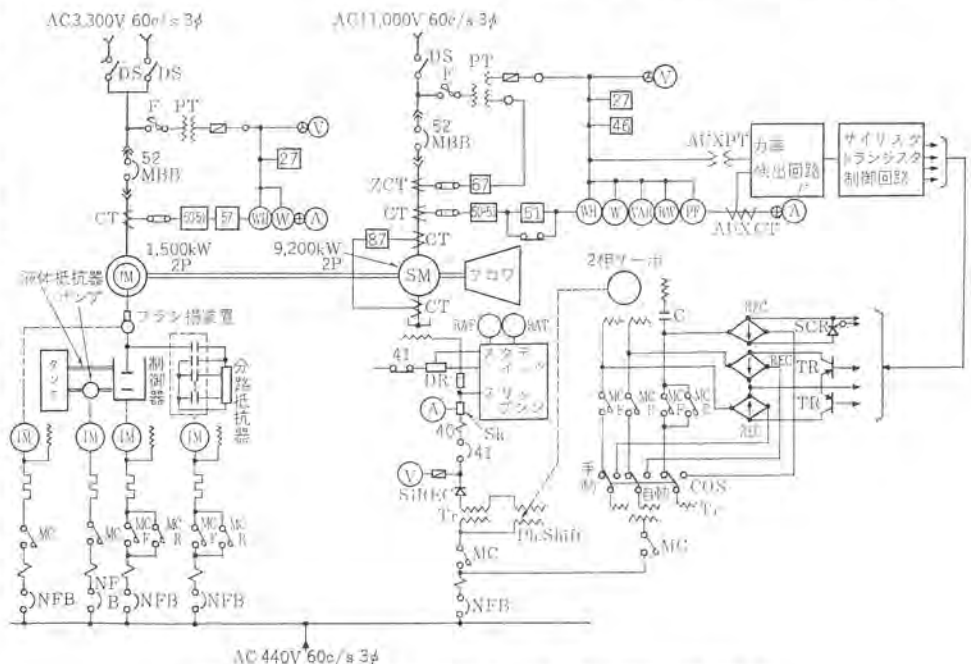


図 6.1 9,200 kW 予備高炉 用 2 極同期電動機単線図
Fig. 6.1 Skelton diagram of 9,200 kW 2-pole synchronous motor.

次短絡を行なうと主同期電動機を電源に投入する。これにより主同期電動機の非同期運転で承はさらに同期速度に近づくのでこのための所定時間において界磁に直流励磁を与え同期引込みを行なう。初めの計画では、同期引込みを行なうための界磁投入は非同期運転時界磁に現れるスベリ周波数の交流電圧の周波数、位相を検出し最適位相、回転数で行なうようにしていたが、現地テストの結果、主同期電動機の非同期運転で同期速度近くの十分な速度まで加速でき、このようなことを行なわなくとも主同期電動機を電源に投入後所定時間において界磁投入を行えば確実にしかも大きな突入電流を流すことなく同期引込みを行なうことができたので、限時継電器を使用する方式を採用した。

同期化が完了すると同時に起動用電動機は電源から切り離し、電動機 ブラシ 揚装置で ブラシ 揚げを行ない連続運転による ブラシの摩耗を防止しておく。また液体抵抗器、電動機制御器は、すべて起動前位置に自動的に復帰するようにしておく。

起動操作後は、起動電動機の起動から主同期電動機の同期化し運転状態に入るまでを自動的に行なう自動起動方式と、起動電動機の起動、主同期電動機の電源への投入、界磁シャ断器の投入をそれぞれ操作スイッチを操作して行なう手動起動の両者が行ないうるようにしておく。

主同期電動機の励磁方式は シリコン 整流器、三相変圧器、電動操作式三相移相器を組み合わせた静止励磁方式としておく。移相器の操作電動機としては2個の制御コイル、1個の励磁コイルを設けた二相サーボを使用し、トランジスタ NOR 要素からなる力率検出回路からの信号で、制御コイル、励磁コイルのいずれかを選択的にトランジスタ、サイリスタ式無接点スイッチで「入」「切」し、操作モータを正逆転し、運転力率を常1.0になるよう自動力率調整するようにしておく。制御回路は完全に無接点化しており、高ひん度の使用にも十分耐えるようにしており、きわめて高い信頼度のものとしておく。

自動力率制御では負荷が30%以下の軽負荷では応答しないようインターロックを取り安定度の低下を防止してある。

6.2 7,000 kW 2 極同期電動機制御装置

7,000 kW 2 極同期電動機は、主高炉ブロウとこれの駆動用のガスタービン間に設けられ、常時はガスタービンと同期電動機の両者で主ブロウを駆動するが、ブロウ負荷が減少しガスタービン出力に余剰が生じたときは発電機運転を行なうようにしてある。図 6.2 にこれの単線図を示す。

7,000 kW 同期電動機は発電機として電源に同期化させる。ガスタービンをこの起動用の 2,000 kW 巻線形誘導電動機で起動して点火し運転に入った後、電動機の界磁電流、ガスタービンのガバを調整し、電動機の誘起電圧の大きさ、周波数、位相を電源と一致させ電源に投入する。同期化の操作は手動で行なっている。

界磁の制御方式は 9,200 kW 同期電動機と同様静止励磁装置を大容量高速度 2 極同期電動機・高原・中野

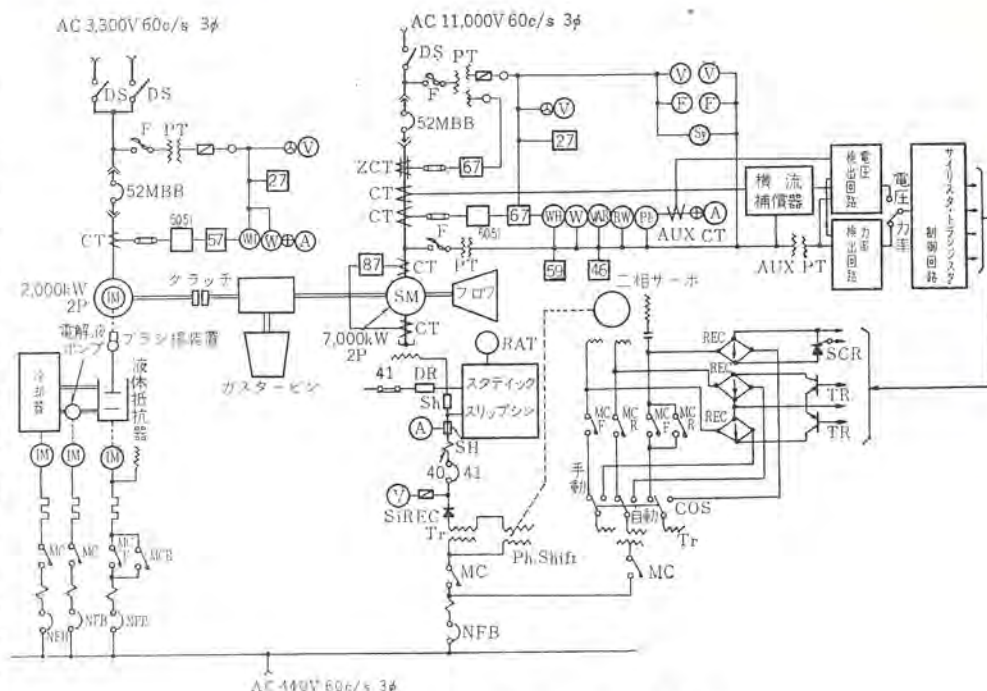


図 6.2 7,000 kW 2 極 同期 電動 機 単 線 図
Fig. 6.2 Skelton diagram of 7,000 kW 2 pole synchronous motor.

使用し自動力率制御を行なっている。電動機運転では進み 0.8 力率一定、発電機運転では遅れ 0.9 力率一定の力率限定運転を行ない、自動的に電動機運転から発電機運転あるいは発電機運転から電動機運転に切り換わるようにしてある。なおこの場合も電動機運転、発電機運転のいずれでも 30% 以下の軽負荷では自動力率制御しないようインターロックをとり、安定度の低下を防止してある。

またこの機のみで単独で発電機運転すること考慮し、自動電圧調整器を設けて必要に応じて切り換えて使用できるようにしてある。

7. 2 極同期電動機の試験結果

7.1 起動特性試験

9,200 kW 2 極同期電動機は、自己加速を行なう関係上、工場試験において起動特性の実測を行なった。すなわち図 7.1 に示すように、9,200 kW 2 極同期電動機に直流発電機を直結し、その出力を計測することにより、同期速度近傍におけるトルク、電流などの起動特性を求めた。この試験結果から 9,200 kW 2 極同期電動機はすぐれた自己加速特性を有し、同期速度にきわめて近い点まで加速しうる事が明らかとなった。

7.2 同期入れ試験

9,200 kW 2 極同期電動機は負荷慣性モーメントが大きく同期入れが問題であったので、あらかじめ工場試験において、その確認試験を実施した。すなわち上記図 7.1 の試験設備において直流電動機によって任意のスベリ値まで加速したのち手動ならびに自動で同期入れ試験を行ない、実際の負荷と直結したときの同期

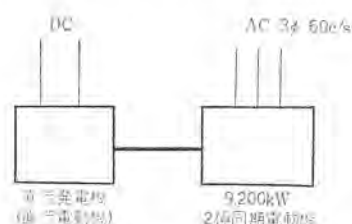


図 7.1 起動特性試験装置
Fig. 7.1 Test arrangement of starting characteristic.

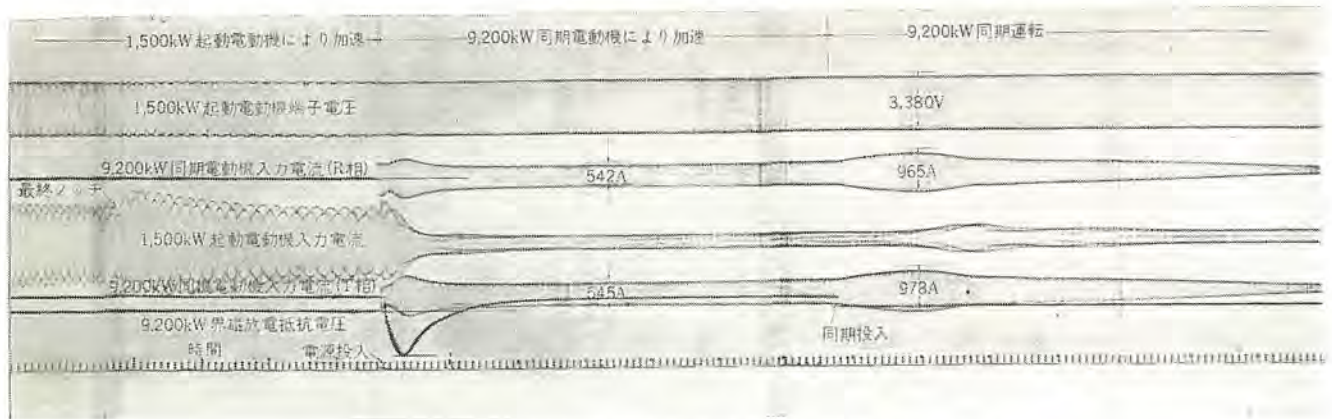


図 7.2 9,200 kW 2 極同期電動機同期引入れ時のオシログラム
Fig. 7.2 Pull-in oscillogram of 9,200 kW 2-pole synchronous motor.

引入れ確認を行なうとともに突入電流の大きさを推定した。

現地で負荷と直結したときの起動電動機加速から同期投入までの期間における 9,200 kW 同期電動機の入力電流、界磁放電抵抗電圧などの変化を示すと図 7.2 のとおりである。

7.3 同期運転特性試験

9,200 kW ならびに 7,000 kW 2 極同期電動機は、工場試験において次の測定を行ない同期速度における運転特性を求めた。すなわち、

- (1) 無負荷飽和特性・三相短絡特性測定、
- (2) 損失測定・効率算定、
- (3) 等価温度上昇試験、
- (4) 振動・騒音測定などである。

同期運転時の効率は高く、定格力率・定格負荷における実測効率は、保証値をはるかに上回っていた。現地直結全負荷運転の際の温度上昇値は規格値をはるかに下回っており、また、機器各部の振動もきわめて小であった。

8. む す び

以上住友金属和歌山向け 9,200 kW ならびに 7,000 kW 電動機を中心に、2 極同期電動機の構造・性能につき概説した。2 極同期電動機はそのすぐれた特性と高い信頼性のために高炉・プラウ用のみならず、これ以外のあらゆる用途に使用できるものと考え、現にアメリカ、ソ連邦などの諸国においては数万 kW 級の大容量 2 極同期電動機が製作され続々と運転に入っていることが報ぜられており、わが国においても広く各種分野でのご使用を期待したい。

参 考 文 献

- (1) H. M. McConnel, E. F. Sverdrup: The Polyphase Induction motor with solid rotor, AIEE Trans., 74, June, 343 (1955)
- (2) H. M. McConnel: Eddy current phenomena in ferromagnetic materials, AIEE Trans. 73, I, July 226 (1954)
- (3) P. D. Agarwal: Eddy current losses in solid and laminated iron, AIEE Trans. 78, II, May 169 (1959)
- (4) B. J. Chalmers: Asynchronous performance characteristics of turbo-generator, IEE Trans Aug. (1962)
- (5) P. Bharali, B. Adkins: Operational impedances of turbogenerators with solid rotors, P.I.E.E., 110, No. 12, Dec. 2185 (1963)
- (6) P. D. Agarwal: Equivalent circuit and performance calculations of canned motor, AIEE Trans., 79, Oct, 635 (1960)
- (7) G. Angst: Polyphase induction motor with solid rotor; Effects of saturation and finite length, AIEE Trans, 81, Feb, 902 (1962)
- (8) W. J. Gibbs: Induction and synchronous motors with unbalanced rotor, J.I.E.E., 95, 411 (1948)
- (9) P. K. Sattler: Erwärmung der massiven Polschuhe von Synchronmotoren beim asynchronen Anlauf, ETZ-A, Bd 83, H. 24, 807 (1962)
- (10) E. Rosenberg: Wirbelströme in massiven Eisen, EuM, 41 Jahrgang, 317 (1923)
- (11) O. V. Livanova, S. G. Shatron: The heating of the solid rotor of a synchronous motor during starting, Elektrichestvo (USSR), Feb. (1962)
- (12) C. Concordia: Synchronous machines theory and performance, John Wiley & Sons, (1951)
- (13) D. D. Stephen: Synchronous motors and Condensers, Chapman & Hall, 198 (1958)
- (14) D. D. Stephen: Connecting large machines to power systems, P.I.E.E., 110, Aug, 1425 (1963)
- (15) C. M. Lane, T. H. Kuno: Cross-compound turbine generator turning-gear synchronization study, AIEE Trans., 80, June, 282 (1961)
- (16) C. Concordia, S. B. Crary, C. E. Kilbourne, C. N. Weygandt, Synchronous starting of generator and motor, 64, Sept, 629 (1945)
- (17) L. R. Stuve, P. E. Benner: Recent developments in starting cross-compound turbine-generator units, AIEE Trans., 82, 748 (1963)
- (18) S. M. Denton: Irrigation pumping with Grand Coulee Power, AIEE Tech. Paper 48-192, July (1948)

航空機用 VHF 帯 1/8 波長広帯域ブレードアンテナ

喜連川 隆*・武市吉博**・水沢 丕雄**・小野 誠**

A One-Eighth-Wave Broadband Blade Antenna for Aircraft in the VHF Band

Central Research Laboratory Takashi KITSUREGAWA・Yoshihiro TAKEICHI・Moto-o MIZUSAWA・Makoto ONO

An effective means has been devised to reduce the size and broaden the band of unipole antennas and applied to a blade antenna for aircraft communication in the VHF band.

The radiating element of the antenna is theoretically a notched planar conductor divided into there. The conductor having inherently broadband impedance is made to resonate at one-eighth wavelength high by notching it and to form a broadband matching circuit of itself by dividing it. The element is made of a sheet of photoetched metal-clad dielectric for simple structure and easy adjustment.

Experimental results reveal that the input voltage standing-wave ratio on 50 Ω coaxial feeder is below 1.3 to 1 over the frequency band of 118~144 Mc and that radiation of vertically polarized wave is omnidirectional in azimuth.

1. ま え が き

航空機の VHF 信通, UHF 通信用の垂直偏波水平面内無指向性アンテナとして, 現在種々の形式のユニポールアンテナが使用されているが, この種のアンテナにおいては, 小形化により空気抵抗および重量を軽減し, しかも電氣的に広帯域性をもたせることが重要な問題である。

さきに中形輸送機 YS-11 が国産される機会に, 航空機用小形広帯域ブレードアンテナを研究し実用化した⁽¹⁾が, 今回新しくユニポールアンテナの小形広帯域化に有効な方法を考案し航空機の VHF 通信用ブレードアンテナに応用し, 良好な結果を得てブレードアンテナの性能を向上させることができた。今回のアンテナはさきのアンテナと外形寸法はまったく同じであるが構造簡単, 軽量で調整容易な点がすぐれている。

ブレードアンテナは空気抵抗を軽減するために外形を“Blade”状にした薄手構造のユニポールアンテナに対する一般の名称であって, 今回のアンテナも誘電体外殻の中に板状の広帯域放射素子を収容する構造とした。

以下にこのアンテナの研究の報告として, 原理となる小形広帯域化の方法, 試作品の構造および実験結果について述べる。

2. 小形広帯域化の方法

今回の小形広帯域化の方法を要約すれば, 次のとおりである。
すなわち,

(1) ユニポールアンテナを幅広い板状放射導体で構成し, それに切り込みをつけて高さ 1/8 波長で共振するようにするとともに, 板状放射導体そのものがもつ広帯域性を利用する。

(2) そのようにした板状放射導体を多分割して, 分割された導体そのものが広帯域整合回路を形成するようにする。

以下順を追って述べる。

2.1 小形化

図 2.1 (a) のような板状放射導体で構成したユニポールアンテナが, 細い線状放射導体で構成したユニポールアンテナに比べて, インピーダンスの広帯域性をもつことはよく知られているが, それに図 2.1 (b) のような切り込みを付けると, 導体上の電圧, 電流分布が変わる

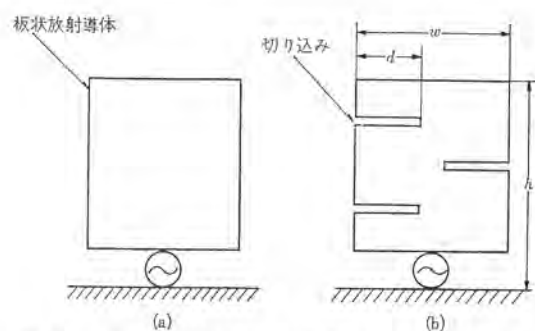


図 2.1 板状放射導体で構成したユニポールアンテナと, その電圧電流分布を変更するために切り込みを付けたユニポールアンテナ

Fig. 2.1 Unipole antennas constructed of a planar conductor and of a planar conductor notched to modify the voltage and current distribution.

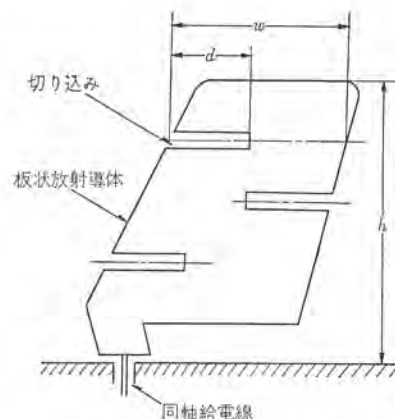


図 2.2 航空機の VHF 通信用ブレードアンテナを構成する板状放射導体の切り込みによる小形化

Fig. 2.2 Reduction of the height of a planar conductor for a blade antenna of aircraft communications in the VHF band by notching the conductor.

ために, アンテナの占有空間を増すことなしに共振周波数を近くしうることを実験的に確め得た。

図 2.2 は今回のブレードアンテナの許容占有空間内で, とりうる最大の寸法をもつ板状放射導体に切り込みを付けたもので, 図において導体の高さ h を一定にして導体の横幅 w に対する切り込みの深さ d を増してゆくと, 図 2.3 のように共振周波数を低く

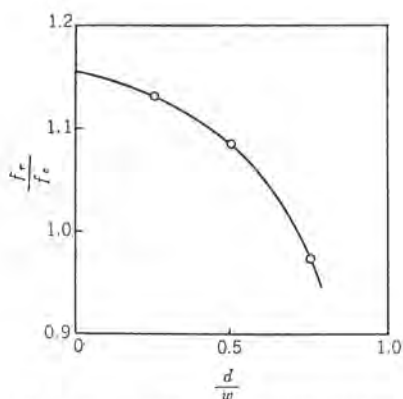


図 2.3 図 2.2 の板状放射導体の切り込みによる共振周波数の低下
Fig. 2.3 Fall of the resonance frequency due to the notch in Fig. 2.2.

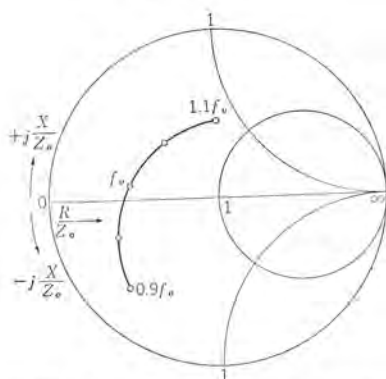


図 2.4 図 2.2 における $d/w=0.75$ のときの給電点インピーダンスの周波数特性
Fig. 2.4 Frequency characteristics of the input impedance in the case of $d/w=0.75$ in Fig. 2.2.

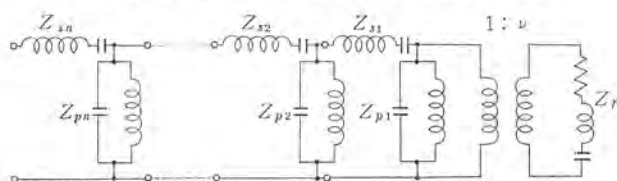


図 2.5 図 2.4 のインピーダンスの整合回路
Fig. 2.5 Matching circuit for the impedance shown in Fig. 2.4 to a feeder.

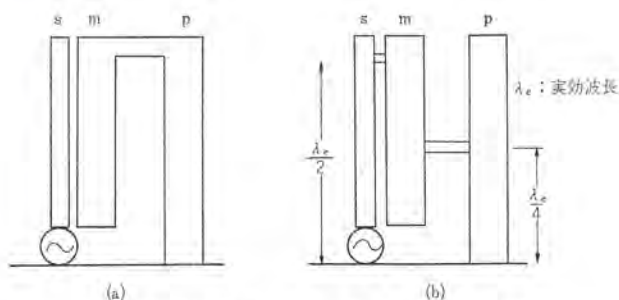


図 2.6 図 2.5 における $n=1$ に相当する場合の放射導体構成
Fig. 2.6 Construction of the radiator in the case of $n=1$ in Fig. 2.5.

することができる。図 2.3 で、 f_0 は $h=\lambda/8$ (λ は波長) となる周波数、また f_r は共振周波数である。図からわかるように、この場合には $d/w=0.75$ とすれば $f_r \approx f_0$ となり f_r は f_0 よりむしろ低くなる。このときのアンテナの給電点インピーダンス Z_r を図 2.4 に示してある。

2.2 広帯域化

図 2.4 のようなインピーダンス Z_r の周波数特性は、 f_r の近傍においては図 2.5 に示してあるような直列共振回路のそれに近似することができ、そして直列共振回路のインピーダンスに対する最適広帯域整合の方法⁽²⁾から、 Z_r を給電源の特性インピーダンス Z_0 に対して整合するためには、図 2.5 の整合回路が最適と考えられる。図において Z_{pn} , Z_{sn} の添字 n が 1 の場合に相当する放射導体構成法の一例を原理的に示したものが図 2.6 (a) である。ただしこの場合、導体 s は他の導体 m および p に比べて十分細くして s に対する放射電流配分率を無視しうる程度に小さくし、かつ s と p との間の結合も無視しうるような構造にする必要がある。

図 2.6 のような放射導体構成を行なった場合の給電点インピーダンス Z は折返しアンテナの理論⁽³⁾から

$$Z = \frac{1}{\nu^2} + Z_{s1} + \frac{1}{Z_r + Z_{p1}} \quad (2.1)$$

となる。ここで Z_{p1} および Z_{s1} は、導体 m と p 、導体 m と s がそれぞれ形成する平行線路を下端から見たインピーダンスであり、 ν は導体 m に対する放射電流配分率である。すなわち上式は図 2.5 の回路の $n=1$ の場合に一致する。

広帯域整合はまず ν を選んで Z_r の共振時の抵抗値を調整し、次に Z_{p1} および Z_{s1} を選んで Z_r のリアクタンス分の周波数特性を打消すことによって達することができる。

3. アンテナの構造

以上の小形広帯域化の方法に基づく、航空機の VHF 通信 (周波数範囲 118~144 Mc) 用小形広帯域ブレードアンテナの外観を図 3.1 に、また構造の概略を図 3.2 に示してある。

このように得られた放射素子は図 3.2 のように 1 枚の誘電体板に印刷された三つの銅ハクからなり、それぞれ前節の図 2.6 の導体 m , p および s に対応している。導体 m と p とは 1 枚の誘電体板の表裏に印刷されていて、点 A において短絡されてい



図 3.1 航空機用 VHF ブレードアンテナ 外観
Fig. 3.1 Out side view of the VHF blade antenna for aircraft.

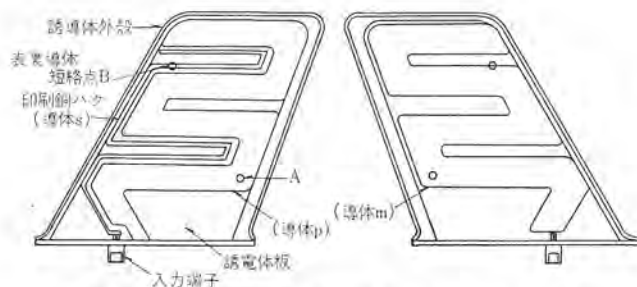


図 3.2 航空機の VHF 通信用 ブレードアンテナ の構造
Fig. 3.2 Construction of the blade antenna for aircraft communications in the VHF band.

る。また導体 s は p と同じ側に印刷されていて、点 B において導体 m と短絡されている。このように 1 枚の印刷配線基板の表裏を使って放射素子を構成することによって、アンテナを軽量でかつ調整容易なものとすることができた。

放射素子の電気的な設計は前述の小形広帯域化の手順によった。板状放射導体は高さ 8 分 1 の波長とし、式 (2.1) に基づいて、 Z_r の実験値およびこれを 50Ω 同軸給電線に整合させるための ν 、 Z_{p1} 、 Z_{s1} の計算値から形状寸法の概略を定めた後、実験により最適寸法を決定した。

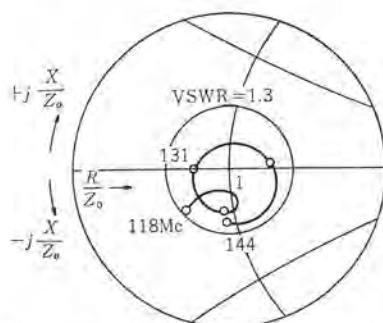


図 4.1 入力インピーダンス特性
Fig. 4.1 Frequency characteristics of the input impedance of the antenna.

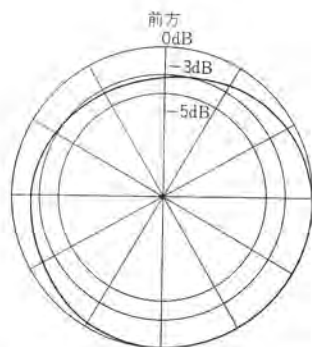


図 4.2 航空機の VHF 通信用 ブレードアンテナ の垂直偏波水平面内放射パターン (水平偏波成分の放射は -24 dB 以下)
Fig. 4.2 Radiation pattern in azimuth for the vertical polarization of the blade antenna for aircraft communications in the VHF band. The radiation of the horizontal polarization is suppressed to less than -24 dB over the maximum radiation of the vertical polarization in the horizontal plane.

4. 実 験

試作 ブレードアンテナ について インピーダンス 整合および放射 パターン の測定を行なった。

4.1 インピーダンス整合

航空機の胴体に擬似した直径約 3 m、長さ約 10 m の導電半円筒上に試作 アンテナ を取り付けて インピーダンス 整合の実験を行なった。

導体 m と p との幅の比により ν を定め、導体 m 、 p および s の幅ならびに導体 m 、 p 間および導体 m 、 s 間の短絡点を選んで Z_{p1} および Z_{s1} の周波数特性を最適にして整合をとった結果、所要周波数帯域 $118\sim 144$ Mc ($0.9f_0\sim 1.1f_0$) において 50Ω 同軸給電線に対する入力電圧定在波比を 1.3 以下にすることができた。これを図 4.1 に示してある。

4.2 放射指向特性

直径約半波長の円形地板にアンテナ を取り付けて放射 パターン を測定した結果、図 4.2 のように垂直偏波水平面内無指向性を得た。なお水平面における不要直交偏波である水平偏波の放射電力レベルは必要な偏波である垂直偏波のそれに対して -24 dB 以下である。なおこの種の アンテナ を実際の航空機に取り付けた場合に放射 パターン がどうなるか、また放射 パターンの点から考えて最適の取付位置はどこかといった問題についてはすでに報告済み⁽¹⁾、⁽⁴⁾である。

5. む す び

ユニポールアンテナ の小形広帯域化の一方法を考案し、それを航空機の VHF 通信用 ブレードアンテナ に応用して、高さ $1/8$ の波長でしかも良好な広帯域性をもつものを得ることができた。このアンテナ はすでに製品化され、実用に供されている。ここに述べた方法を用いて、列車用、自動車用など各種移動体用の小形広帯域アンテナ も得ることができる。

なお、その後さらに移動体用小形広帯域アンテナ の研究を継続し、航空機用としては周波数範囲 $225\sim 400$ Mc の UHF 小形広帯域アンテナ も研究し、良好な結果を得た⁽⁵⁾。

(昭 40-6-4 受付)

参 考 文 献

- (1) 喜連川、武市、水沢：航空機用 VHF ユニポールアンテナ の小形広帯域化、昭 36 年度電気通信学会全国大会論文集、143、(昭 36-11) および喜連川、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、436 (昭 37)
- (2) R. L. Tanner: Theoretical Limitations to Impedance Matching, Electronics, 24, 234 (1951)
- (3) 内田、虫明：超短波空中線、157 (昭 30-07)
- (4) 喜連川、武市、水沢：航空機用 VHF 帯埋込み形 アンテナ、電気通信学会航空電子機器研究専門委員会資料、(昭 35-12)、喜連川、平岡、武市、太田、水沢：航空機用 VHF 無指向性埋込み形 アンテナ、「三菱電機」、35、818 (昭 36)
- (5) 喜連川、武市、小野：航空機用 UHF 小形広帯域 ブレードアンテナ、昭和 39 年度電気通信学会全国大会論文集、231 (昭 39)

合理的な時間帯別料金制度に使用される機器

武田 克己*・新川 成美*

Measurement Devices Used for a Rational System of Electric Power Rate Classified by Hours

Fukuyama Works Katsumi TAKETA・Seibi SHINKAWA

In the electrical world of Japan there comes in use gradually a new rational electrical rate which is charged on power consumptions classified by seasons and hours. Enforcement of this new rate system requires the provision of rational and economical measuring instruments and with a change over device with which the power rate is calculated on the classified basis.

Mitsubishi type TV-33Y time switches have been developed as a change over device of small size, high accuracy and steady operation through the employment of a crystal clock and special components at the change over device. In this paper is introduced an outline of the change over device and its actual working state in combination with the measuring instrument.

1. ま え が き

昭和 37 年における電気料金調査会の欧米における電気料金の調査結果によりフランスにおける緑料金制度が検討され始めた。

緑料金とは、すでに「AG 形季節別時間帯別料金測定装置」で紹介したとおり、季節別、時間帯別に使用電力量を細かく分けそれに見合ったそれぞれの電力料金を算出する合理的な電気料金制度で、わが国電力業界でもその効果を高く評価してこれを採用する機運がでてきている。

しかし、この新しい電気料金制度を全面的に採用するためには膨大な設備投資を要するので、この方式の目的とするところを取り入れ合理的かつ経済的な電力料金制度が実施され始めている。

この電力料金制度をわれわれは時間帯別料金制度と呼んでいるが、これに使用される計器は分離形、パルス形最大需用精密積算電力計すなわち発信器より電力量に比例したパルスを受量器に送り電力量および最大需用電力などを計量させる方式のもの、また時間帯切換装置は取扱い容易で、切換時間の精度の高いタイムスイッチが要求されている。このたびこの時間帯別料金制度に使用される機器を紹介するわけであるが、計器すなわち分離形、パルス形最大需用精密積算電力計については、すでに発表しているので主として時間帯切換装置である TV-33Y 形タイムスイッチの概要と、これと計器との組み合わせ使用の実態を紹介して、さらに広く利用を仰ぐ次第である。

2. 時間帯別に取引される取引の対象と制御方式

フランスにおける緑料金制度をそのままわが国にあてはめることは国情の相違で難しいため、わが国の各電力会社では取引対象は電力取引量の多い大口需用家を、また制御方式にはフランスのように集中制御方式で行なうことは多目的でない限り設備投資の点で得策でないため、大口需用家個々で時間帯別に切り換える個別制御方式が考えられている。

したがって大口需用家を対象に個別制御方式で取引を行なうために、タイムスイッチとしては次のことが考慮されなければならない。

(1) 時間帯別の使用電力量 kWh, 最大需用電力 kW, 月間平均力率による取引ができる。

(2) 時間帯を 2 時間帯, 3 時間帯に変更できる。

(4) 平日と特定日(休日)の取引を異にできる。

(5) 時間帯の切換を平等に行なうことができる。

なおフランスにおける緑料金制度および緑料金制度を実施するための装置の方式は大別して、集中制御方式と個別制御方式があるが、このことについてはすでに「三菱電機技報」Vol. 37, 387 (昭 38)「AG 形季節別時間帯別料金測定装置」に紹介してあるので参照されたい。

3. 取引の実施

実際に取引をする場合には、精度よく行なう方法を考えることはもちろんであるが最も経済的に行なうにはどうしたらよいか最も取扱い容易にするにはどうしたらよいかなど考える必要がある。

この場合、各電力会社によって状況が異なるのでこれが最良という方法は述べられない。よって方法を数種あげてみる。

(1) 計器とタイムスイッチを一体の計器箱に直接組み込み、1 年の時間帯別のプログラムを組み込み、さらに奇数月と偶数月に分け検針を 1 月のうちいつしてもよいように容易にする。

この場合は全計器を分離形、パルス形とする。

(2) 計器とタイムスイッチを計器箱へ組み込むことは(1)項とどうようであるが、毎月の検針ごとにその月のプログラムを組み込んで帰る。

この場合に全計器を分離形、パルス形とする。

(3) 毎月検針ごとにその月のプログラムを組み込んで帰るが昼間平均力率の取引を行なう計器は昼間のみ計量するものであるので分離形、パルス形としないで個別計器として、在庫の積算無効電力計をそのまま利用して経済性を図る。

この場合昼間平均力率測定用は個別形、その他の計器は分離形、パルス形とする。

このたび開発した TV-33Y 形タイムスイッチは(3)項の取引方式を採用したもので以下このタイムスイッチの概要について述べる。

4. 特 長

まず TV-33Y 形タイムスイッチの特長を述べる。

(1) 高精度で累積誤差が僅少である。

水晶振動子の固有振動を利用しているので高精度であることは当然であるが、周波数微調整器により精度向上をはかるとともに

これにより年間を通じての周囲温度変化の影響が少なくように調整しているので累積誤差が少なく高精度である。

(2) 切換精度が高い。

5分1回転軸, 30分1回転軸, 24時間1回転軸にスイッチを設計, 各スイッチの閉が重なった時に時間帯を切り換え, しかも切換動作時間は5分1回転軸のスイッチにより決定されるもので切換精度が非常に高い。

(3) 停電時でも動作に支障がない。

密封形, 焼結形ニッケルカドミアルカリ蓄電池を使用し, 停電時はこの蓄電池で時計装置およびリレーを動作させるので停電しても24時間は動作する。

(4) 時間帯の種類および切換時間の変更が容易。

24時間目盛板へ可変可能な切換ピンセット方式であるので, 時間帯および切換時間の変更が容易である。

(5) 1ヵ月以上のプログラムがセットできる。

24時間目盛板以外に31日目盛板を設けているので35日のプログラムがセットできる。

(6) 2回路独立3点切換開閉器を持っている。

いずれの分離形, パルス形計器も切り換えできるように2回路同時切換とし, 時間帯を2区分でも3区分でもできるよう3点切換としてある。

(7) 昼間個別計量用切換開閉器を持っている。

電力取引には月間平均昼間力率の測定を要するので, 昼間個別計量用切換開閉器を設けてある。

(8) 時刻の合わせ込みなど取扱いはもちろん, 保守点検も容易である。

時刻の合わせ込みには粗合わせ込みつまみ, 精密合わせ込みつまみを設けたので時刻の合わせ込みが容易である。また時計装置, 切換開閉器部, 電源装置をユニット化したので保守点検が容易である。

(9) 負担が少ない。

時間帯の切り換えは瞬間のバルスにより行なっているのほとんど消費電力を要せず, 時計装置は小電力の小形ステップモータを三相分配器で励磁駆動させるために消費電力が少なく, 負担はわずかである。

(10) 動作確実である。

水晶振動子からの周波数の通降回路および三相分配回路はすべてFLIP-FLOP回路, また三相励磁回路はNOR回路で構成され, ONかOFFの信号を利用する追従が確実な高トルクステップモータ方式であるので動作が確実である。

(11) 小形軽量である。

水晶時計式としたにもかかわらず, 小形のステップモータを駆動源にし, しかも電源装置部とタイムスイッチ部とに2分したので, おおのが小形軽量にできた。

5. 構造の概要

このタイムスイッチはTV-33Y形タイムスイッチとAD形電源装置とを組み合わせたもので, 図5.1に外観を示す。

このタイムスイッチは図5.2のブロック線図のように構成されており, 電源装置は直流の定電圧をタイムスイッチに供給するとともに, 停電事故に備えて蓄電池を浮動充電しているTV-33Y形タイムスイッチは電源装置より直流電源を受け, 水晶発振器, 三相分配器, ステップモータ, 時間帯切換開閉器を動作させ時間帯の切り換

合理的な時間帯別料金制度に使用される機器・武田・新川



図 5.1 TV-33Y 形 タイムスイッチ (AD 形電源装置) 外観
Fig. 5.1 Exterior view of type TV-33Y time switch and type AD power source unit.

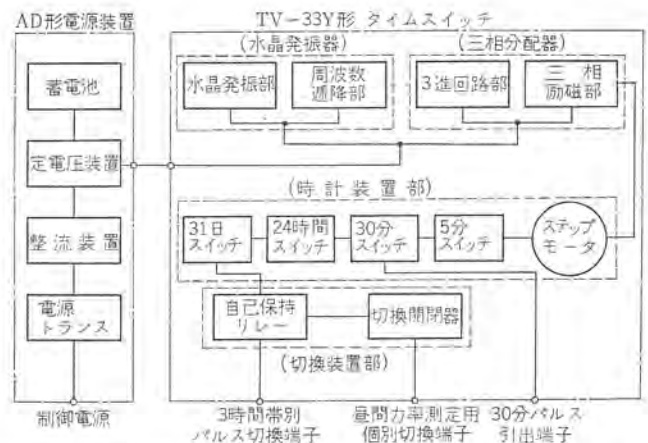


図 5.2 TV-33Y 形 タイムスイッチ (AD 形電源装置) ブロック線図
Fig. 5.2 Block diagram of type TV-33Y time switch and type AD power source unit.

えを行なう。

5.1 AD 形電源装置

AD 形電源装置は常時は整流装置で整流された直流電圧と定電圧装置のゼナーダイオードのゼナー電圧と比較し, この差が増幅されて回路電圧を一定に保ち, TV-33Y 形タイムスイッチへ供給するとともに, 補助電源である蓄電池を浮動充電している。停電事故の場合は常に十分充電されている蓄電池よりTV-33Y タイムスイッチへ電源が供給され停電補償を行なうものである。図5.3に構造図, 図5.4に接続図を示している。

5.2 TV-33Y 形タイムスイッチ

図5.5にTV-33Y 形タイムスイッチの構造図, 図5.6に接続図, 図5.7に時計装置部の構造図を示す。

5.2.1 時計装置駆動部

電源装置より電源を受け水晶振動子を振動させ, この水晶振動子の固有振動数をFLIP-FLOP回路で半分ずつ25csに通降し,

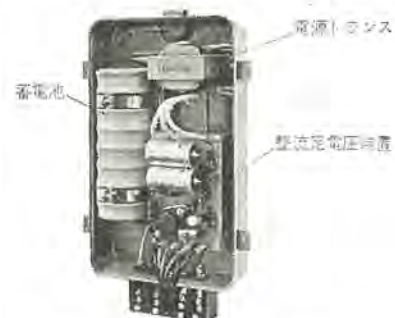


図 5.3 AD 形電源装置構造
Fig. 5.3 Interior of type AD power source unit.

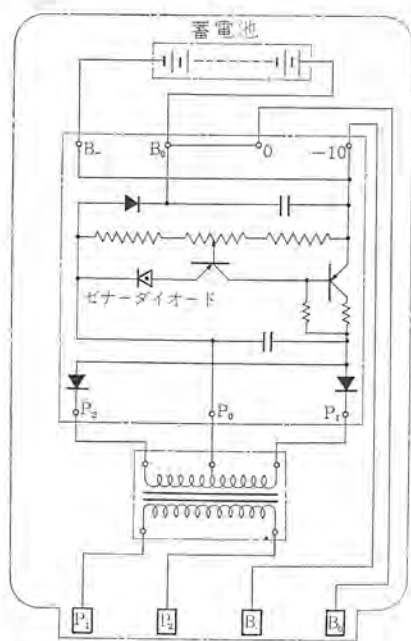


図 5.4 AD 形電源装置接続図
Fig. 5.4 Connection diagram of type AD power source unit.



図 5.5 TV-33 形タイムスイッチ構造
Fig. 5.5 Interior of type TV-33Y time switch.

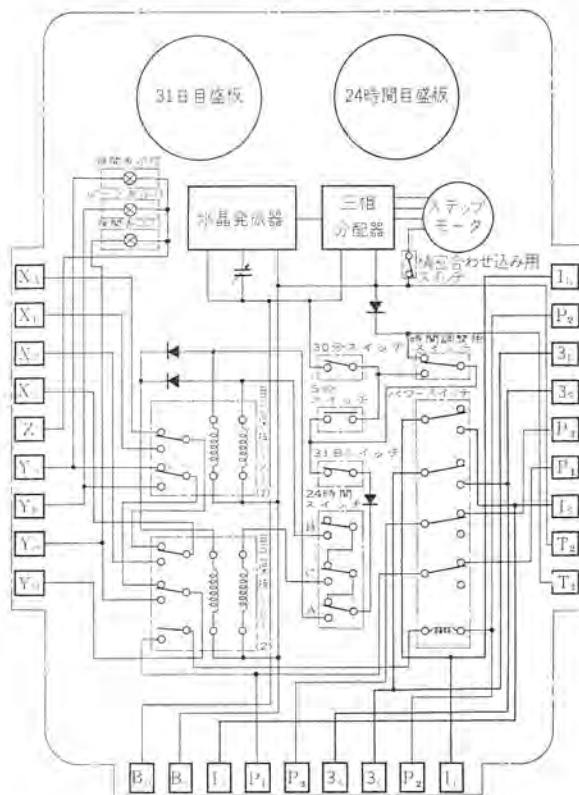


図 5.6 TV-33Y 形タイムスイッチ接続図
Fig. 5.6 Connection diagram of type TV-33Y time switch.

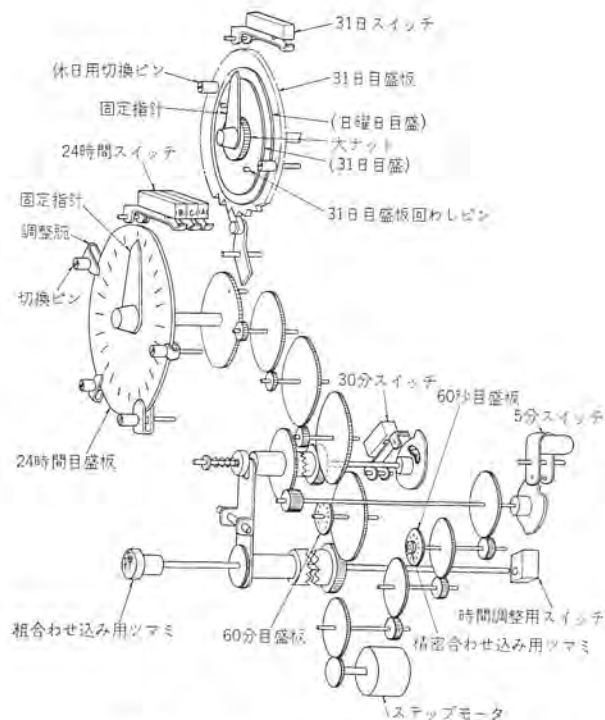


図 5.7 時計装置の構造
Fig. 5.7 Mechanical construction of clock device.

このパルス を FLIP-FLOP 回路よりなる 3 進回路で三相として 3 組の NOR 回路を ON, OFF させる. この出力で小形 ステップモータ を 25/12 回/秒の回転速度で水晶振動子の振動数に正しく比例して回転させる. さらにこの回転は 5 分 1 回転軸, 30 分 1 回転軸, 24 時間 1 回転軸に伝えられる.

また時計の時刻合わせ込みは組合わせ込み用 ツマミ と精密合わせ込み ツマミ があり, 組合わせ込み用 ツマミ を押し左回転させると, 30 分 1 回転軸以前がクラッチによりたたれる 30 分 1 回転軸から 24 時間目盛板まで回り組合わせ込みができる. 次に精密合わせ込み用押し ボタン を押して 1 分 1 回転軸上の精密合わせ込み ツマミ で精密合わせ込みができる. なお精密合わせ込み用押し ボタン はステップモータ の励磁を切って精密合わせ込み ツマミ の操作を容易にするためのものである.

水晶振動子から ステップモータ までの詳しい動作原理, 構造については「三菱電機技報」Vol. 37, 395 (昭 38)「水晶時計付記録積算計器」を参照されたい.

5.2.2 時間帯切換装置部

時計装置部の 5 分 1 回転, 30 分 1 回転する軸には 5 分 スイッチ (水銀スイッチ) 30 分 スイッチ (マイクロスイッチ) を制御するカム が 24 時間 1 回転軸には 24 時間 スイッチ を切り換える切換ピン が取り付けられており, 各軸の回転によりわずかの時間のみ接点が閉合する開閉機構により パルス を発生させる.

この状態は図 5.8 に示すように, 減速後 (たとえば 30 分 1 回転) の軸より発生する パルス 幅 $\times 1/2$ (たとえば 1.5 分) を減速前 (たとえば 5 分 1 回転) の パルス 間隔, (たとえば 2.5 分) より少しせまくして減速前と減速後の パルス 中心をあわせており, 各接点は図 5.6 のとおり直列に接続されているので, 各軸の接点が同時に閉合する時のみ出力 パルス (たとえば 1/5 秒幅の パルス) が発生する構造となっている.

したがって切換動作は, 5 分 1 回転軸の パルス によって行なうので, 切換時間誤差を非常に少なくすることができる.

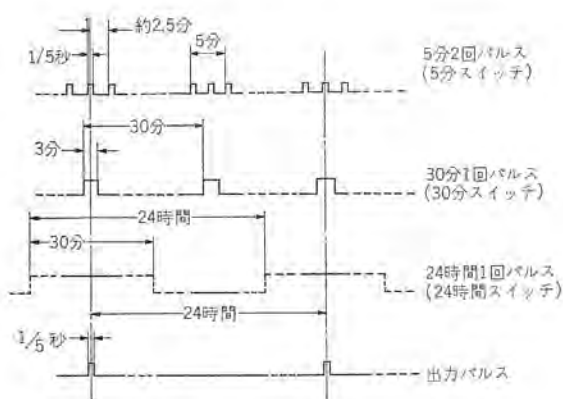


図 5.8 切 換 パ ル ス 発 生 原 理
Fig. 5.8 Principle diagram of change-over pulse generation.

次に動作を説明すると、図 5.6 のごとく 24 時間スイッチは 3 個のマイクロスイッチがあり、マイクロスイッチ (A), (B), (C) を同時に切り換えておき (図 5.6 の状態より反対側の接点へ切り換える) 5 分スイッチ、30 分スイッチが閉合すると閉合巻線が瞬時励磁され、自己保持リレー (1) の切換スイッチが切りかわると同時に整流器を通して自己保持リレー (2) も切り換わって図 5.6 の状態となり、以後次のパルスを受けるまでその状態を維持する。したがって端子 X_0 , Y_0 は X_A , Y_A に接続される。

次に 24 時間スイッチ (B) のみ切り換えておき、(図 5.6 の状態より反対側の接点へ切り換える) 5 分スイッチ、30 分スイッチが閉合すると閉合巻線が瞬時励磁され、自己保持リレー (1) の切換スイッチが上記と反対側に切り換わり、以後次のパルスを受けるまでその状態を維持する。したがって端子 X_0 , Y_0 に X_B , Y_B に接続される。

次に 24 時間スイッチのマイクロスイッチ (B), (C) を同時に切り換えておき、どのように 5 分スイッチ、30 分スイッチが閉合すれば自己保持リレー (2) の閉合巻線が瞬時励磁され切換スイッチが反対側に切り換わり、以後次のパルスと受けるまでその状態を維持する。したがって端子 X_0 , Y_0 は X_C , Y_C に接続される。

このような動作は 24 時間目盛板へ時間帯によって長さの異なる切換ピンをセットすることによって容易に行なえる。

しかもこの 24 時間目盛板へのセットは図 5.8 に示すような原理によって行なっているため固定指針と少しぐらいずれても 5 分 1 回のパルスで切換動作を行なうため正確に切り換わり、これにより時間帯別のセットが非常に楽に行なえる。

以上のように端子 X_0 と X_A , X_B , X_C , Y_0 と Y_A , Y_B , Y_C の 3 段切り換えを昼、ピーク、夜間計量用にする分形、パルス形計器の 3 時間帯切り換えを行なうことができる。もし、2 時間帯とするとときには不要な 1 時間帯のピンを使用しないことによりこれまた容易に行なえる。

5.2.3 平日、休日切換装置

1 カ月のプログラムを組む、すなわち休日、祭日などを夜間計量にしたい場合はこの装置を利用する。

この装置は 24 時間 1 回転軸とラッチ機構により 23 時過ぎから約 1 時間かかって 1 日 1 目盛ずつ送られる 31 日目盛板があり、31 日目盛板の各日には切換ピンをセットするようになっていて、この切換ピンは 31 日スイッチを開にし、また 31 日スイッチは 5 分スイッチ、30 分スイッチ、24 時間スイッチと直列に接続されている。

合理的な時間帯別料金制度に使用される機器・武田・新川

したがって切換ピンをセットしている当日は、31 日スイッチが開になるので 5 分スイッチ、30 分スイッチ、24 時間スイッチが閉合してもパルスが発生しないから、自己保持リレーは動作せず 1 日中前日の夜間計量のままだになっている。ゆえに 1 日中夜間計量を行なう日のみ切換ピンセットすることにより容易に上記動作が行なえる。

5.2.4 個別切換装置部

昼間のみ個別計量用計器を計量させたい場合にこの装置を使用する。

この装置の接続は図 5.6 に示すとおり。

自己保持リレー (2) は 24 時間スイッチのマイクロスイッチ (C) の接続時のみ閉合するので、この自己保持リレーにおける別の閉合回路でパワーリレーを動作させれば、その時間帯のみ個別の計量用計器の計量動作を停止させることができる。

すなわちパワーリレーにより夜間の時間帯は入力電圧回路を開放し電流回路を短絡させ、その他の時間帯は以上の逆に正規接続となり出力の WHM を個別に制御できる。なおパワーリレーの電源は P_1 , P_2 回路より供給される。

5.2.5 付属端子

0 分および 30 分 ± 5 秒に約 1/5 秒の直流 11.6 V のパルスを発生する端子付である。この端子は記録計などの時限制御に使用できる。

6. 特 性

6.1 時計装置駆動部

水晶時計方式については「三菱電機技報」Vol. 37, 395 (昭 38)「水晶時計付記録積算電力計器」で述べてあるので参照されたい。過去 1 年間実動させて時計の誤差変化を測定したデータを図 6.1 に示す。このように誤差が非常に少なかった。

6.2 時間帯切換装置部、その他

時間帯切換装置部、その他についても「三菱電機技報」Vol. 37, 387 (昭 38)「AG 季節別時間帯別料金測定装置」で述べてあるので参照されたい。

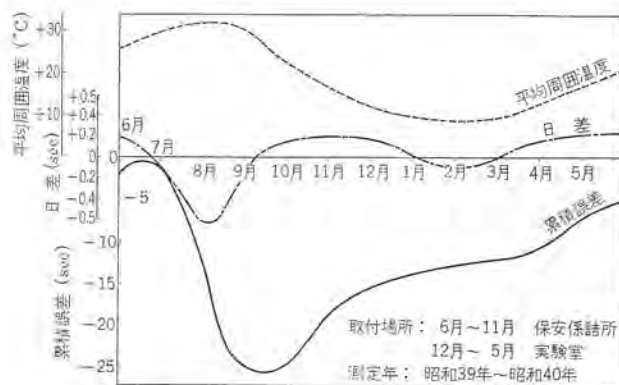


図 6.1 過去 1 年間の水晶時計誤差変化実測

Fig. 6.1 Actual working records of quartz chronometer throughout a year.

7. 仕 様

仕様を表 7.1 に示す。

なお構造動作については最も多用途の TV-33Y 形 タイムスイッチについて説明したが、表 7.1 に示すとおり個別またはパルス切換で 2 時間帯専用の TV-31Z 形 タイムスイッチ、特定日を使用しない

表 7.1 TV 形 タイムスイッチ仕様

形 名		TV-11Z	TV-31A	TV-31Z	TV-33Y	
方 式		水 晶 時 計 式				
切 換 時 間 帯		2	2	2	3	2
制 御 電 源		AC110 V または 110 V 50, 60 c/s				
時 計 装 置	日差(5~35°C)	1 秒 以 内				
	組合わせ込み	±5 分 以 内				
	精密組合わせ込み	±3 秒 以 内				
	目 盛 板	24時間・31日 目 盛 板	24 時 間 目盛板	24 時間・31 日	目盛板	
	動作する周囲温度	-10 ~ +40°C				
切 換 装 置	切 換 方 式	パルス切換	個 別 切 換		パルス切換	個別切換
	切 換 開 閉 器	2 極 2 投	4 極 2 投		2 極 3 投	4 極 1 投
	定 格	AC110 V 500 mA	AC 110 V 6 A		AC110 V 100 mA	AC110 V 6 A
	切換時間誤差	±5 秒 以 内 (時計装置に対して)				
	最小区分可能時間	30 分				
停電補償時間		24 時 間 以 上				
備 考					昼間力率 測定用	

TV-31A 形 タイムスイッチ、パルス切換で 2 時間帯専用の TV-11Z 形 タイムスイッチがあるが、これらはいずれも TV-33Y 形 タイムスイッチの不必要なものを取り去ったもので構造動作は同じものである。

8. TV-33Y 形タイムスイッチと組み合わせ当社の計器

8.1 3 時間帯別計量用計器

(1) 3 時間帯別 パルス切換用

HK-4, HK-5 形最大需用精密積算電力計

この計器については「三菱電機技報」Vol. 35, 1598 (昭 36)

「HK 形最大需用精密積算電力計」を参照されたい。

(2) 月間昼間平均力率測定用個別切換用

RWSr 形積算無効電力計

この計器についてはリーフレットを参照されたい。

8.2 2 回路総合計量用計器

(1) 2 回路 3 時間帯別 パルス切換用

TZ-2 形 2 回路総合最大需用精密積算電力計

この計器については「三菱電機技報」Vol. 36, 1419 (昭 37)

「多回路総合電力測定装置」を参照されたい。

(2) 月間昼間平均力率測定用個別切換用

RWSr 形積算無効電力計

この計器についてはリーフレットを参照されたい。

9. 使 用 例

9.1 3 時間帯別切換装置の場合

図 9.1 に示すとおり 3 時間帯別 パルス切換付発信器 (MWS-Dr または MWS-5Dr) の発振端子と各受量器 (HK-4 または HK-5) の受量端子を並列に接続し、各受量器の制御電源の 1 線を TV-33Y 形 タイムスイッチの端子 Y₀-Y_A, Y_B, Y_C で時間帯別に切り換えることにより時間帯の計量をする。

なお図 9.1 に示すとおり各受量器の受量端子 (C₁, C₂, C₃) には整流器を取り付けている。これは時間帯別切換における誤計量を防ぐものである。すなわち整流器を取り付けていないと、ある時間帯においてパルスを発信すると受量計器以外の計器へもパルスの一部が逆流し、受量計器以外の計器を誤計量さすので整流器を取り付けてパルスの逆流を防ぐようにしてある。

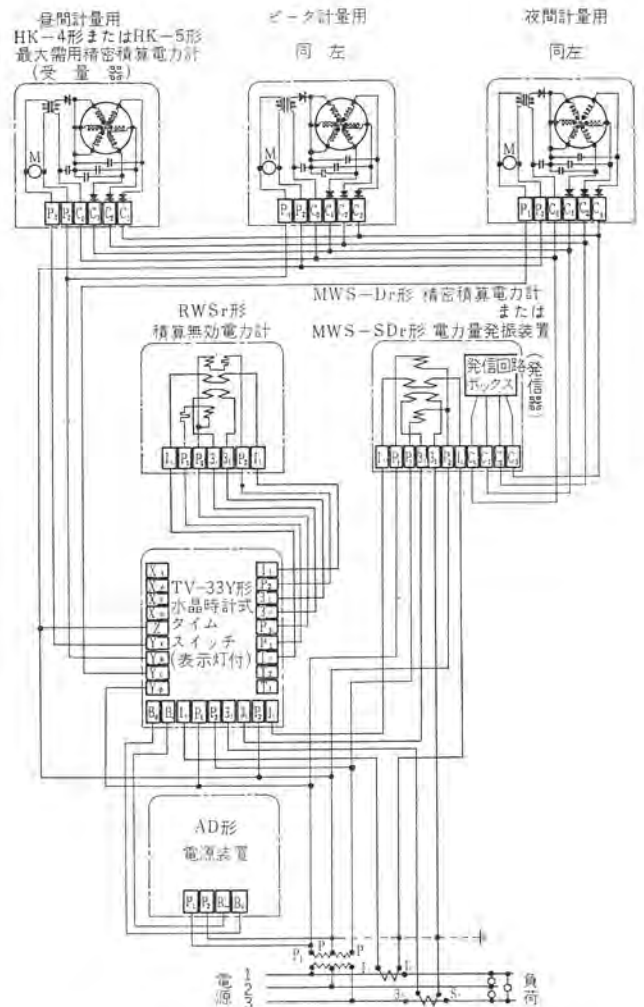


図 9.1 3 時間帯別切換装置接続図
Fig. 9.1 Connection diagram of electric power change-over device classified by three hour interval.

月間昼間平均力率測定用個別切換は TV-33Y 形 タイムスイッチで積算無効電力計を直接切り換え昼間のみ計量する。

また 2 時間帯別の計量にする場合は、24 時間目盛板上の切換ピン、たとえば ピーク 用切換 ピン を取ると昼間、夜間計量用計器のみ計量する。

9.2 2 回路総合時間帯別切換装置の場合

この方法は受電回路が 2 回路あり、それを総合計量する場合に使用するもので、図 9.2 に示すとおり 3 時間帯別 パルス切換は各回路の発信器 (MWS-Dr または MWS-5Dr) の発振端子と各受量器 (TZ-2) の受量端子を並列に接続し、各受量器の制御電源の 1 線を TV-33Y 形 タイムスイッチの端子 Y₀-Y_A, Y_B, Y_C で時間帯別に切り換えることにより 2 回路総合の時間帯計量をする。もちろん受量器の受量端子にも 9.1 節と同じ整流器が取り付けられている。

月間昼間平均力率測定用個別切換は各回路ごとに計量するようになっている。すなわち 1 回路は TV-33Y 形 タイムスイッチで積算無効電力計を直接切り換え、2 回路は TV-33Y 形 タイムスイッチのパルス切換側の端子で QR-201 形 積算計器選択継電器を制御し、この継電器で積算無効電力計を切り換え計量する。なおこの場合、2 回路とも変成比を同一にしないと正常な計量をしないことはもちろんである。

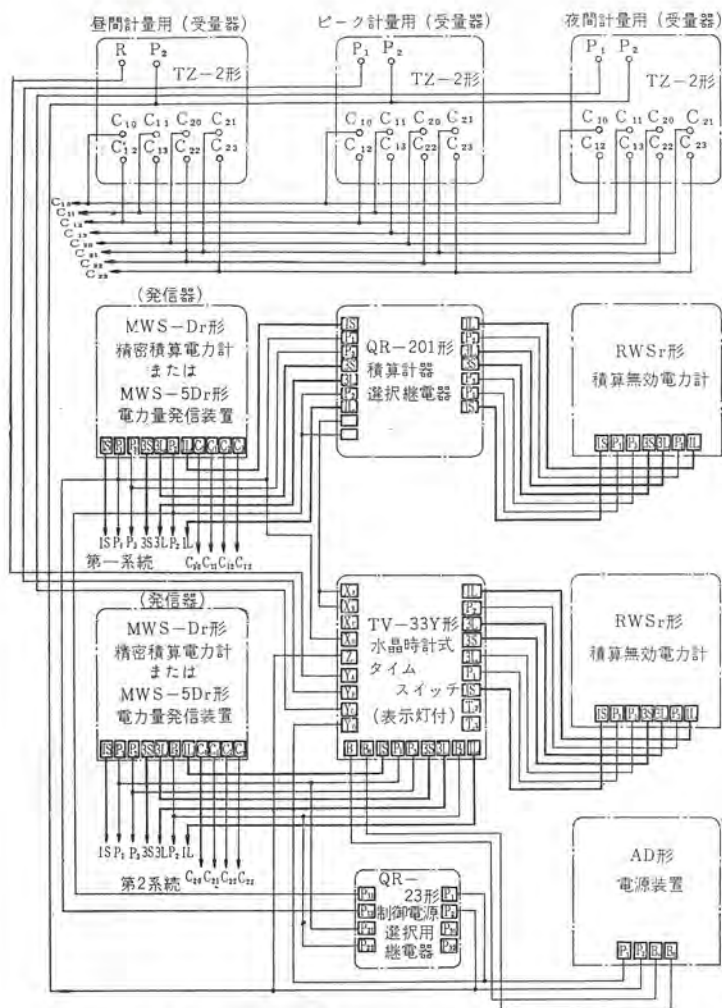


図 9.2 2 回路総合 3 時間帯別切換装置接続図
Fig. 9.2 Connection diagram of two circuit totalized electric power change-over device classified by three hour interval.

QR-23 形制御電源選択用継電器は AD 形電源装置、TZ-2 形 2 回路総合最大需用精密積算電力計の制御電源を 2 回路のうち一方が停電した場合は自動的に他方の電源より受電するものである。

9.3 多回路総合 3 時間帯別切換装置の場合

多回路総合計量する場合は 9.2 節と同じ方法で多回路総合最大需用精密積算電力計の制御電源を TV-33Y 形 タイムスイッチ で切り換え、月間昼間平均力率測定用個別切換は各回路ごとに積算計器選択継電器で切換計量することにより可能である。

10. む す び

大口需用家の増加および取引電力量の増大にともなって実情に即した合理的な電気料金制度ということが重要になってきている。そのためには時間帯切換の正確化はもちろん、時間帯の細分化、長期間のプログラム化が今後の検討の対象になると思う。

TV-33Y 形 タイムスイッチ はこのような目的を完全に満足しているということだけでなく、これを基本品として使用者の要求によりさらに変更および改良してゆきたいと思うのでご使用者各位のご示唆を重ねてお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 武田, 林, 相田: HK 形最大需用精密積算電力計「三菱電機技報」35, 1598, (昭 36)
- (2) 武田, 佐藤: 多回路総合電力測定装置「三菱電機技報」36, 1419 (昭 37)
- (3) 武田, 神本: AG 形季節別時間帯別料金測定装置「三菱電機技報」37, 387 (昭 38)
- (4) 武田, 林: 水晶時計付記録積算計器「三菱電機技報」37, 395 (昭 38)

国鉄ディーゼルカー用 AU-13 形ユニットクーラ

清水 一朗*

Model AU-13 Unit Coolers for First-Class Diesel Cars of the Japanese National Railways

Nagasaki Works Ichiro SHIMIZU

Unit coolers developed for first class diesel cars of the Japanese National Railways are of a roof mounted type. They shall be arranged distributed on the roof of car in a group of several units, being designed with particular attention to reducing the size and weight. When used for the first class diesel car with a seating capacity of 52 persons, six units are mounted on one car. The unit consists of two refrigerating cycles fans and control equipment, all set up compact into one piece unit and operating automatically to regulate the temperature.

1. ま え が き

いろいろの愛称で呼ばれている国鉄の急行用ディーゼルカーの一等車(キロ28形)の冷房装置である。東海道新幹線車両に取り付けられているAU-57形と同様のいわゆる天井形で車両屋根上に数台分散配置して使用する。定員52人のキロ28形では一両あたり6台である。電源は車両下に設けてあるディーゼル発電機から供給を受ける。各ユニットはそれぞれ温度調節器をもっていて自動的に温度コントロールする。まったく独立した2組の冷凍サイクルを備えていて、1組単独運転の場合でも2組同時運転の場合でも車内の均一温度分布を得られるよう独特の工夫をしている。

39年夏、九州および四国の路線の急行6両に試作機が取り付けられたが、無事シーズンを終わり十分その目的を達成した。40年に入りその製作台数も増えてきたので、ここにその構造について概要を説明する。

2. 構造および作用

2.1 概 説

キロ28形車両にこのユニットクーラを取り付けた状態を図2.1に示す。図2.2~2.4はユニットクーラの外観で、このユニット本体と、図2.6, 2.7に示す化粧板の二つの部分から成る。図2.5はこれらの外形寸法と構成部品を示す。ユニット本体の仕様を次に示す。



図 2.1 AU-13 形 ユニットクーラ 取付外観
Fig. 2.1 Appearance of the type AU-13 unit cooler installation.

形 式	AU-13
電 源	主回路 三相 400 V 50 c/s
	制御回路 単相 100 V 50 c/s
冷房能力	5,000 kcal/h 以上



図 2.2 ユニットクーラ 外観 (側面)
Fig. 2.2 Exterior view of unit cooler.



図 2.3 ユニットクーラ 外観 (前後カバーを開いて上から見たところ)
Fig. 2.3 Exterior view of unit cooler with covers open and viewed from the above.



図 2.4 ユニットクーラ 外観 (前後カバーを開き下側方から見たところ)
Fig. 2.4 Exterior view of unit cooler with covers open and viewed from the below.

循環風景	720 m ³ /h
冷 媒	R-22
電 流	約 5 A
電 力	約 2.6 kW
重 量	約 198 kg (本体のみ)

2.1.1 ユニット本体

車内と車外とを仕切る底板にすべての機器を取り付けてある。底板の上側(室外側)に圧縮機2台, 凝縮器2個, 凝縮器用ファン1台を備え, 底板の下側(室内側)に冷却器1個, 冷却器用(冷氣循環用)ファン1台, エアフィルタ1個, 分電箱1個, サークットブレーカ箱1個および温度調節器1個を備えている。いわゆる2層式天井形ユニットクーラであるが, 図2.5に見られるごとく従来形にない特殊の構造をとっている。すなわち底板の中央部を上方にトツ(凸)に作りその内側に四角形冷却器(図2.9参照)を収納してあること, 凝縮器用ファンと冷却器用ファンを立形の両軸電動機により上下に配置してあることである。この構造をとったことによって次の利点がある。

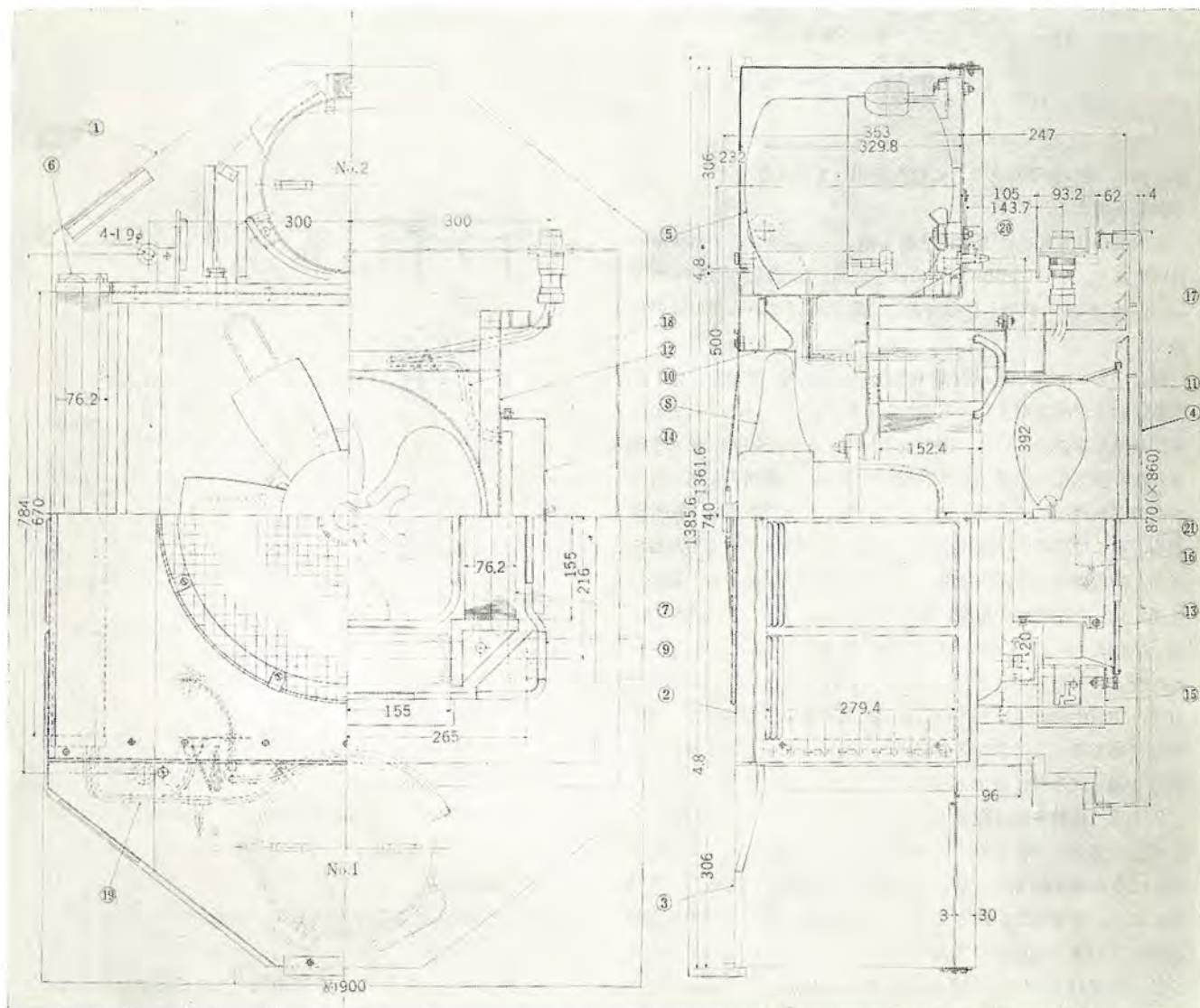
(1) 四角形冷却器はその冷却管が上下2群に分れていて, それぞれの冷凍サイクルにつながり, 車内循環空気は冷却器の内側

から外側に四方に流れるよう冷却器用ファンを使用しているので, 冷房負荷により1組の冷凍サイクルが休止しても四方へ流れる空気は常に均等に冷却されている。

(2) 空気中の湿気は冷却器表面に凝縮して水滴となり冷却器の直下に設けてある露受皿(図2.10参照)に落ちるが, この露受皿の下面を車両屋根より高い位置に置くことができる。すなわち冷却器を四角形にしてその高さを減らすとともに底板を上方にトツに作って冷却器をその内側に収納しているので, 一平面上に凝縮器, 冷却器, 圧縮機, その他をすべて配置したいいわゆる一層式にはほぼ近い高さまで露受皿下面を上昇し得ている。したがって露受皿よりドレンは車両屋根上に自然流下できる。さらにまた, 露受皿の排水口は冷却器用ファンの吐出側に置いてあるのでドレンは風圧により車外に押し出され排水ポンプを必要としない。

(3) 全体の高さが低くできるとともに, 騒音の点より有利な低回転の電動機が採用できる。ファン用電動機を立形にしてしかも両軸にしてあるので, 低回転電動機で十分な必要なファン直径を選ぶことが可能である。

室外側は全体を室外カバーで覆ってある。室内カバーは中央上カバーと前後カバーに分けられ, 前後カバーを開くと(図2.3参



- | | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|--------------------|-----------------------|-------------|
| 1. 底 板 1 個 | 5. 圧 縮 機 2 台 | 9. 露 受 皿 1 個 | 13. エアフィルタ 1 個 | 17. キャノンコネクタ(プラグ) 1 個 | 21. 名 板 1 式 |
| 2. 上カバー 1 個 | 6. 凝 縮 器 2 個 | 10. 風扇(上) 1 個 | 14. サークットブレーカ箱 1 組 | 18. 配 線 1 式 | |
| 3. 前後カバー 2 個 | 7. 冷 却 器 1 個 | 11. 風扇(下) 1 個 | 15. 分 電 箱 1 組 | 19. 冷 媒 配 管 1 式 | |
| 4. 化粧キセ 1 組 | 8. 電動送風機 1 組 | 12. 取付ワッ 1 個 | 16. 温度調節器 1 個 | 20. ユニット取付部 1 式 | |

図 2.5 AU-13 形 ユニットクーラ 外形

Fig. 2.5 Outline of type AU-13 unit cooler.

表 2.1 AU-13 形 ユニットクーラ 電気部品

部 品 名	所要数 /1台	仕 様	
		形 式	電 動 機 直 結 形 全 閉 往 復 動 式
電 動 圧 縮 機	2	形 名	D6N
		出 力	1.1 kW
		入 力	約 1.2 kW
		電 源	三相 400 V 50 c/s
		冷 媒	フロン 22
		冷凍能力	2,500 kcal/h 以上 (蒸発温度 10°C, 凝縮温度 50°C)
電 動 送 風 機	1	形 式	電 動 機 直 結 軸 流 送 風 機 (両 軸)
		風 量	冷却器用 12 m ³ /min 凝縮器用 50 m ³ /min
		電 動 機	カゴ形全閉三相誘導電動機
		出 力	0.125 kW
		回 転 数	960 rpm
		電 源	三相 400 V 50 c/s
電 磁 接 触 器	3	形 名	M-7
		定格容量	600 V 4 A
		コ イ ル	100 V 50 c/s
サーキットブレーカ (主回路用)	1	形 名	K-53
		定格容量	400 V 15 A
		シャ断容量	5,000 A
サーキットブレーカ (制御回路用)	1	形 名	K-31
		定格容量	100 V 5 A
		シャ断容量	5,000 A
ラチェット・リレー	1	形 名	MR-2
		定格電圧	100 V
		動作電圧	定格値の 80% 以下
		復帰電圧	定格値の 10% 以上

照) クレン 用 手 があり、これを利用して全体を一体としてつり降しができる。

室内側の分電箱には電磁接触器 3 個とラチェットリレー 1 個を取り付けてあり、サーキットブレーカ 箱には主回路および制御回路のサーキットブレーカ が各 1 個取り付けてある。表 2.1 はこれら電気品の仕様を示す。

図 2.8 は冷媒配管系統を示すもので、圧縮機、凝縮器、乾燥器、毛細管および冷却器とこれらをつなぐ配管はろう付により完全な密閉通路を形成している。図の矢印のごとく、圧縮機に吸入圧縮された高温気圧の冷媒ガスは凝縮器に送られ、凝縮器を通る外気で冷却され凝縮して高圧、常温の液になり乾燥器を通り毛細管に入る。ここで冷媒液は減圧され、低圧低温の液となって冷却器に入り、冷却器を通る室内空気と熱交換して逐次蒸発する。蒸発してガス化した冷媒は圧縮機に吸入され圧縮され、ここに冷凍サイクルが形成される。室内空気は冷却器用ファンによりまずエアフィルタをとおし浄化されて冷却器に入り、冷媒と熱交換して冷却される。空気中の湿気は前述のごとく冷却器表面に凝縮して下の露受皿に落ちる。この水は露受皿底部の四隅に集まり車体側の排水受けを通して車外に排出される。

2.1.2 化粧キセ (図 2.6, 2.7)

ユニット本体は車体屋根上の取付座に据え付けるが、この化粧キセは車内天井にヒンジで取り付け止ピンで固定してある。化粧キセには、中央部の室内空気吸込口とそれを取りまいて車両進行方向およびそれに直角な方向(窓側)にそれぞれ吹出口を備えている。吹出口が窓側のみあるときは、通路寄りの乗客に比べて窓側の乗客が冷えすぎることがあるが、上記のように四方に吹出しているので通路側、窓側いずれも適度に風が流れ冷えすぎの恐れがない。この化粧キセは上記のように機能的に均一な空気分布が得られるとともに、意匠的にも近代的な斬新な設計と自負



図 2.6 化粧キセ (表面)
Fig. 2.6 Decoration lattice work. (surface view)



図 2.7 化粧キセ (裏面)
Fig. 2.7 Decoration lattice work. (back view)

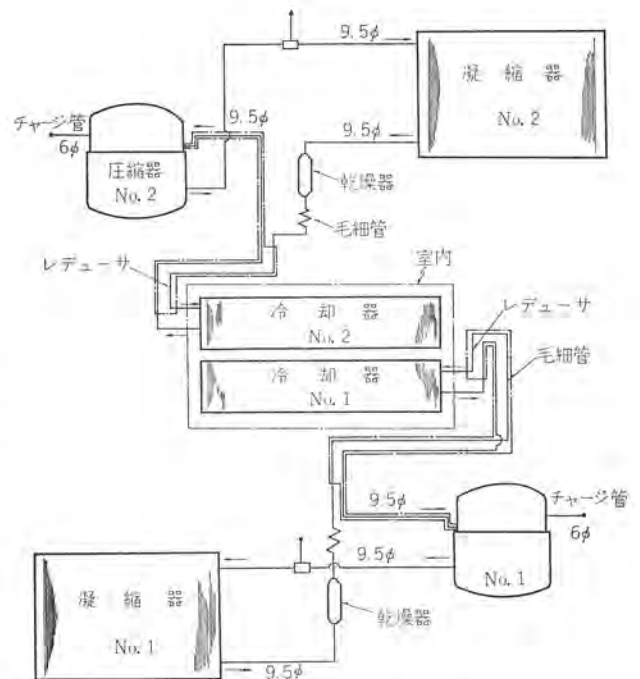


図 2.8 冷媒配管系統
Fig. 2.8 Diagram of coolant piping system.

している。なお化粧キセの内側には止ピンがはずれたときのための安全ヒモが付けてある。

2.2 構成部品

このユニットに使用されているおもな機器について述べる。

2.2.1 圧縮機

全密閉形で一つのケース内に電動機とこれに直結した往復動式圧縮機とこれら運動部分への給油機構が組み込んである。ケース内で防振支持されているが、さらにケース取付足も防振ゴムを介して底板に取り付けてある。ケース外壁には自動復帰式の熱動安全器を備えている。



図 2.9 空気冷却器 (上から見たところ)
Fig. 2.9 Cooling section (viewed from the above)



図 2.10 露受皿 (上から見たところ)
Fig. 2.10 Defrosting tray (viewed from the above)

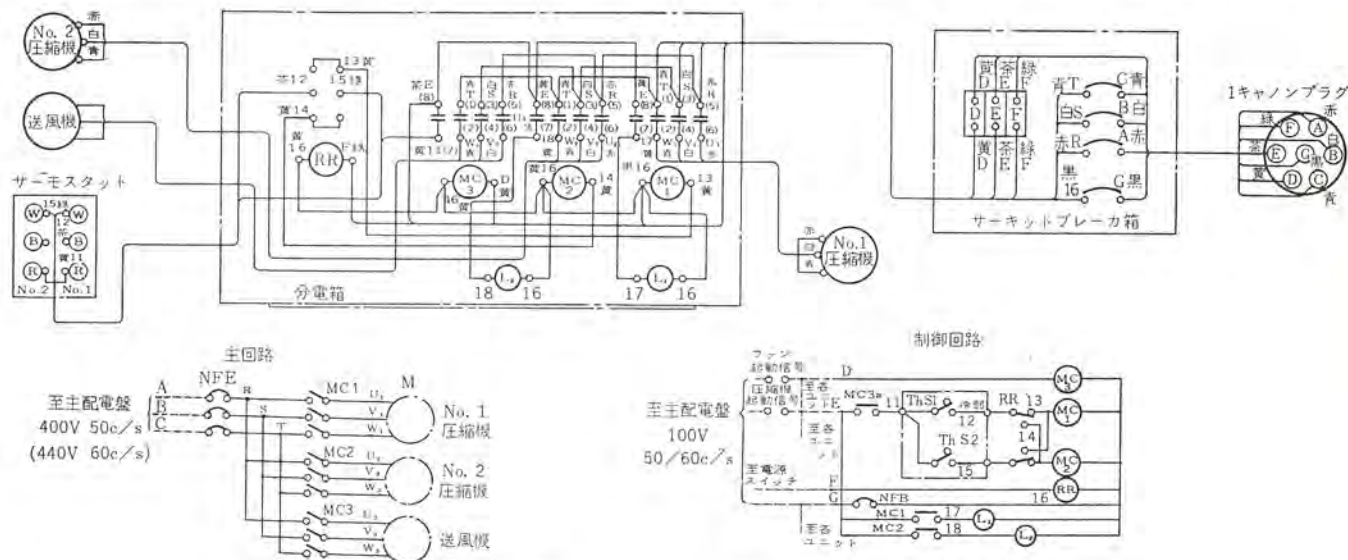


図 2.11 電気配線

Fig. 2.11 Electric wiring

2.2.2 凝縮器

外気で冷却する空冷式で、銅管をエキスパンドしてアルミフィンで固定したプレートフィン形である。

2.2.3 冷却器 (図 2.9)

銅管をアルミフィンにエキスパンドした4個のプレートフィン形冷却器を図のように四角につなぎ一体にしたもので、銅管は上下2群から成りそれぞれの冷凍サイクルにつながる。空気はこの四角形冷却器の内側から外側へ向って四方に流れる。

2.2.4 露受皿 (図 2.10)

露受皿は冷却器に合わせ四角につながれた皿で四隅に排水口および車両が急停車したときの溢水を防ぐ水返し板を備えている。耐食性を考慮して黄銅製としニッケルメッキを施してある。

2.2.5 電動ファン

立形の電動機の下上両端にそれぞれ凝縮器用と冷却器用の軸流ファンを取り付けてある。なお電動機は防音のためゴムを介して底板に取り付けてある。

2.2.6 分電箱

透明なカバー内に電磁接触器3個(圧縮機用2個、ファン用1個)、ラチェットリレー1個が取り付けられている。点検に便なるよう簡単にとりはずせる構造になっている。なおラチェットリレーは圧縮機2台の起動が交互になるよう切り換えるリレーである。

2.2.7 電気配線 (図 2.11)

7心のキャンコネクタから主回路400V、50c/s、制御回路100V、50c/sが供給され、温度調節器により2段に自動運転する。電源スイッチを投入するごとにラチェットリレーが働き圧縮機2台の起動順序を交換させる。保護装置としては、主回路と制御回路にそれぞれサーキットブレーカが入れてあり、圧縮機に熱動安全器が取り付けられている。なお圧縮機が起動すると分電箱内のランプが点灯するので圧縮機が運転中か停止中かの判断が容易にできる。

3. む す び

以上 AU-13 形ユニットクーラの構造の概要を述べた。夏の旅行に必須のものとなってきた車両冷房装置の一翼をになつて、この装置が十分にその機能を発揮することを期待する。

Utilization of high coercive force characteristics of the OP magnets (Barium Ferrite Permanent Magnets), increase of ampere-turns and the improvement of heat radiation in the armature have brought about the production fractional horse power DC motors with markedly good characteristics, the products being named OP motors. The ratio of continuous locked torque to total weight of these motor is 5.4 times that of commercial servomotors and twice that of printed motors, being unrivalled by any motor in the world. The ratio of the continuous locked input (corresponding to the output) to the moment of inertia with this new motor is 5 times that of DC servomotor, similar to two phase servomotors and printed motors.

This report deals with them from the viewpoint of servomotors only.

1. ま え が き

一般に小形モータは従来生産台数が多く、研究の歴史も古いので、すでに研究し尽された感が強く、画期的特性改善の余地はあまり残されていないように思われ、あえて飛躍的特性改善を図ろうとするならば、材料の改善とごん新な構造にすることでその道がひらかれると考えられる。

筆者などは OP 磁石（バリウム・フェライト磁石）の高抗磁力特性を活用し、電機子巻線のアンペア・ターンを極力大にし、かつその放熱効果を良くすることによって、従来の直流モータ、二相サーボ・モータおよびプリント・モータなどと比較して、トルク対全重量比の点で、はるかにすぐれた小形直流モータを試作研究し、OPモータと命名した。

この小形直流モータは、界磁に永久磁石を用いるので、トルク対速度特性は分巻特性であり、サーボ用だけでなく小形動力用としてもきわめて有用であるが、この論文ではサーボ・モータの観点から考察を進めることとした。

2. サーボ・モータの設計方針

サーボ・モータとして要求される性能は次のような点があげられよう。

- (a) トルク対速度特性が垂下特性であること。
- (b) 最大トルクが大きく、全重量が小さいこと。
- (c) 慣性性能率が小さく、出力が大きいこと。
- (d) 摩擦力による起動トルクが小さいこと。
- (e) 低速においても円滑に回転すること。

ここで、直流サーボ・モータの最大トルクと全重量および出力について考察しよう。界磁に永久磁石を用いた直流モータのトルク対速度特性は一般に垂下特性を有しているが、そのトルクの上限は主にモータの温度上昇によって制約される。また印加電圧 V_a が一定のときの直流サーボ・モータの出力は、図 2.1 に示したようになり、モータの摩擦力と鉄損を無視して銅損のみを考慮すると、負荷トルクが最大トルクの $1/2$ で運転したとき最大となり、その最大出力の値は電機子内で消費し得る電力の $1/4$ であって、界磁の強さにはなんら関係しない。

したがって直流モータの出力を大にするためには、電機子内で

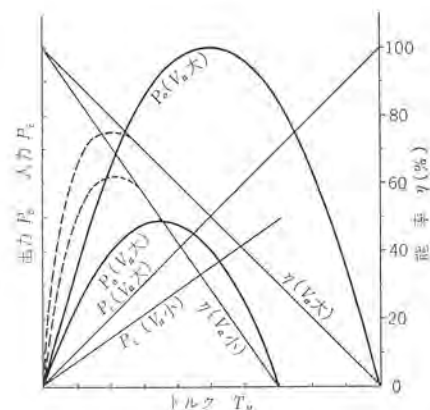


図 2.1 サーボ・モータの入力対トルク、出力対トルクおよび効率対トルク特性

Fig. 2.1 Input-torque, output-torque and efficiency-torque characteristics of a servomotor.

消費しうる電力を大にすべきであり、このためには電機子のアンペア・ターンを大にすること、すなわち太い導線を多数回巻かなければならない。この結果電機子と界磁間の磁気的空気ギャップが増大して空気ギャップ磁束は減少し、直流モータのトルクは減少する。この場合トルクを減少させないためには、界磁に永久磁石を用いた直流モータでは永久磁石の等価磁路長を大にし、また界磁が電磁石の場合にはそのアンペア・ターンを大にすることが必要であり、その結果直流モータの外径寸法と重量は必然的に増大する。

そこで界磁の永久磁石の磁路長を小さくして直流モータの重量を小さくするために、永久磁石の中で抗磁力が大きくかつ要求の形状を容易に作成し得る OP 磁石を用いることにより、トルクを減少させないで直流モータの小形軽量化を可能にした。

3. OP 磁石の特性

図 3.1 に当社製の各種 OP 磁石と金属磁石 (MK-5) との減磁特性を示し、表 3.1 に各種永久磁石の諸特性を示した。図 3.1 および表 3.1 からわかるように、OP 磁石は金属磁石に比較して抗磁力 H_c は高いが、残留磁束密度 B_r は小さく、また最大エネルギー積は最良の OP-S₂ 磁石でも金属磁石の約 $1/2$ であり、OP-S₁ では約 $1/6$ である。

直流モータのトルクは、電機子巻線のアンペア・ターンと界磁の作

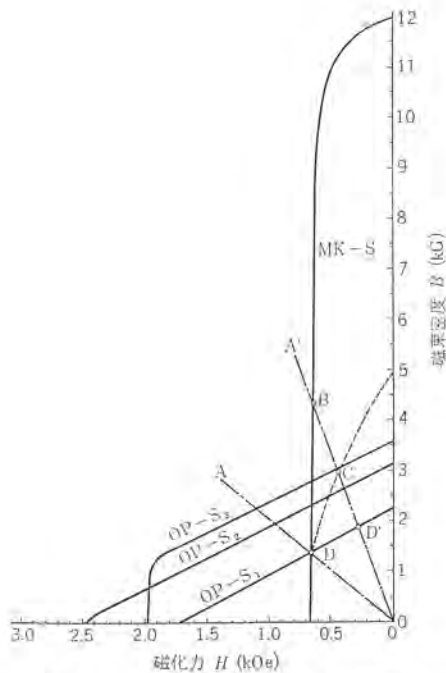


図 3.1 永久磁石の減磁特性
Fig. 3.1 Demagnetizing curves of permanent magnets.

表 3.1 永久磁石の特性

	単位	OP-S ₁	OP-S ₂	OP-S ₃	MK-5
比重		約 4.8	約 4.8	約 4.8	7.3
固有抵抗	($\Omega \cdot \text{cm}$)	10^8 以上	10^8 以上	10^8 以上	47×10^{-6}
熱膨張係数	$\times 10^{-6}$ (1/°C)	約 0.25	約 0.25	約 0.25	11.3
抗磁力	(K·Oe)	1.75	2.5	2.0	0.65
残留磁束密度	(K·G)	2.25	3.15	3.6	12.0
(B·H) _{max}	$\times 10^6$ (G·Oe)	1.0	2.0	2.7	5.5
磁束温度係数	$\times 10^{-3}$ (1/°C)			1.9	
可逆導磁率		1.25		1.2	約 5
熱伝導率	$\times 10^{-3}$ (cal/s·cm·°C)	4.79~8.95			

る磁束との積に比例するが、界磁に永久磁石を用いた直流モータにおいては、電機子巻線のアンペア・ターンの増大に伴う界磁の全磁束の低下は、図 3.1 からわかるように、一般に金属磁石の方が、OP 磁石よりも著しい。したがって界磁に OP 磁石を使用しかつ電機子および界磁の構造寸法を適切に設計することによって、金属磁石を用いた直流モータよりも、同一のトルクで小形軽量かつ高出力の直流モータを製作することが可能となる。

次に永久磁石の可逆導磁率について述べると、金属磁石の可逆導磁率曲線は一般に図 3.1 に点線で示したように、減磁曲線と大幅に異なっているのに反し、OP 磁石では可逆導磁率曲線と減磁曲線とはほとんど一致している。したがって金属磁石を用いた直流モータを組み立てて後着磁した場合には、いったんモータを分解すれば磁束は減少してしまい、再組立しても磁束は元に戻らない。ところが OP モータでは分解再組立の影響はまったく生じないのである。OP 磁石の BH エネルギー積は、金属磁石よりもはるかに小さいにもかかわらず、OP 磁石を用いた理由の一つは、このように分解再組立の影響が残らないためである。

直流モータの最大トルクは巻線の温度上昇によって制約されるので、モータの放熱効果の良否は直流モータの小形軽量化にとってきわめて重要な因子であることはいうまでもない。OP 磁石は表 3.1 に示したように、電気的絶縁物であるにもかかわらず、その熱伝導率は $(4.79 \sim 8.95) \times 10^{-3}$ (cal/s·cm·°C) であって、銅の約 1/140 であるが、空気の約 120 倍である。すなわち OP 磁石は電気的絶縁物ではあっても、熱的絶縁物であるとはいえない。

4. OP モータの構造と特性の測定

現在までに数種の OP モータを試作したが、ここではその中の 3 機種について説明する。この 3 機種をそれぞれ A 形、B 形、C 形と呼ぶことにする。

図 4.1 は OP モータ (A 形) の外観写真を示し、図 4.2 はその構造断面図を示す。この電機子は鉄心にモリブデンと歯のないいわゆる平滑形電機子であるが、電機子としては必ずしも平滑形でなくても良く、電機子巻線のアンペア・ターンが十分大きければ良い。図 4.2 の電機子では、総導体数は 1,904 本である。

図 4.2 に示した OP モータ (A 形) の回転軸を拘束して、電機子電圧 V_a として一定値 15 V を印加したときの時間対電機子電流変化特性を図 4.3 に示した。図 4.3 において時間 t が 12 分経過後電機子電流 I_a はほぼ一定に達している。図 4.3 の特性では電機子巻線に関する熱抵抗 R_{θ} は $7.04^\circ\text{C}/\text{W}$ であり、熱的時定数 τ_{θ} は 3.6 分である。図 4.2 の電機子には耐熱温度が 105°C のエナメル線を用いているので、モータの周囲温度を 50°C とすれば、電機子巻線の許容温度上昇は 55°C となり、電機子内で消費しうる電力は 7.85 W となる。図 4.2 の電機子抵抗は 25.8Ω で、連続最大電流は 0.55 A となる。



図 4.1 試作 OP モータ (A 形) の外観
Fig. 4.1 Exterior view of OP motor (type A) produced by way of trial.

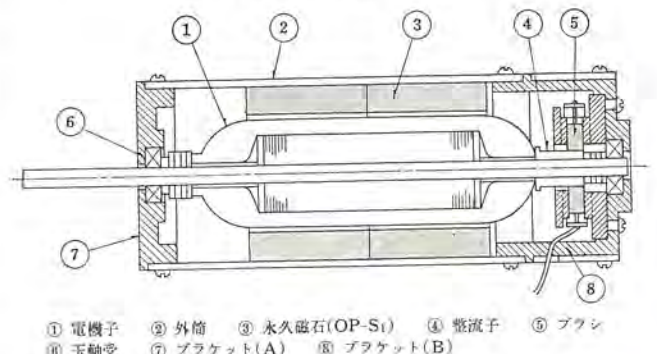


図 4.2 OP モータ (A 形) の構造断面
Fig. 4.2 Sectional view OP motor. (type A)

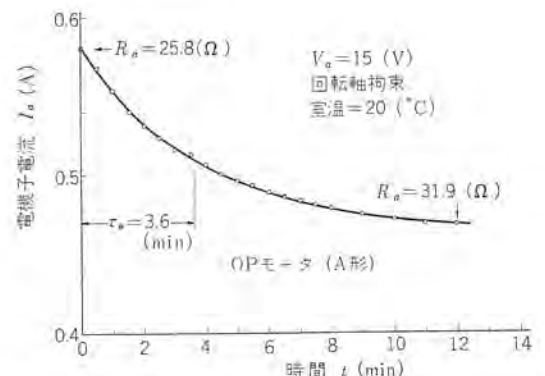


図 4.3 OP モータ (A 形) の拘束時の電機子電流対時間特性
Fig. 4.3 Armature current-time characteristics of OP motor (type A) at locked state.

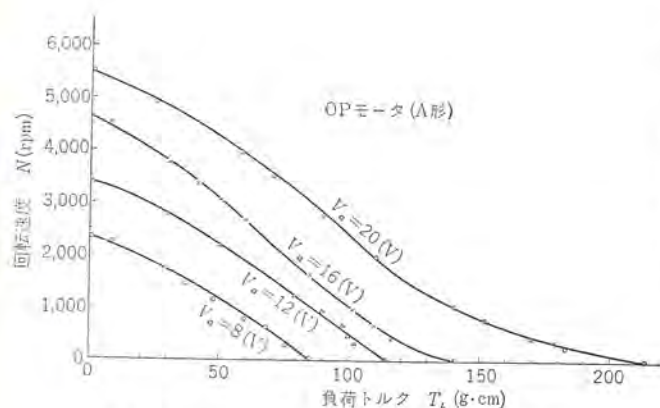


図 4.4 OP モータ (A形) のトルク 対回転速度特性
Fig. 4.4 Torque-speed characteristics of OP motor. (type A)



図 4.5 試作 OP モータ (B形) の外観
Fig. 4.5 Exterior view of OP motor (type B) produced by way of trial.

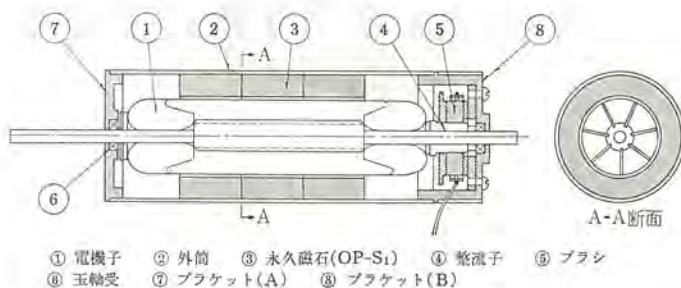


図 4.6 OP モータ (B形) の構造断面
Fig. 4.6 Sectional view of OP motor. (type B)



図 4.7 OP モータ (B形) および OP モータ (C形) の電機子
Fig. 4.7 Armature used in OP motor. (type B and type C)

直流モータの逆起電力、回転速度、発生トルク、電機子電流間には次式の関係がある。

$$E_m = \frac{z}{c} \cdot \phi \cdot P \cdot \frac{N}{60} \cdot 10^{-8} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$T_M = 1.62 \times \frac{z}{c} \cdot \phi \cdot P \cdot I_a \times 10^{-5} \dots \dots \dots (4.2)$$

ここに E_m = 逆起電力 (V) T_M = モータの発生トルク (g·cm)
 z = 電機子導体数 c = 電機子回路数 ($c=2$)
 N = 回転速度 (rpm) P = 極数 ($P=2$)
 ϕ = 毎極磁束 (Mx) I_a = 電機子電流 (A)

である。

図 4.2 の OP モータ (A 形) の逆起電力の実測値は $E_m=2.97$ V/10³ rpm であるから、式 (4.1)、(4.2) からトルク定数は 300 g·cm/A となり、したがって連続最大電流 $I_a=0.55$ A に対応する連続拘束トルクの計算値は 165 g·cm となり、実測値とよく一致することがわかった。

図 4.4 は OP モータ (A 形) のトルク対速度特性の測定結果を示す。

図 4.4 のトルク対速度特性の非直線性は、測定中の電機子抵抗の温度変化に起因するものである。

次に図 4.5 に OP モータ (B 形) の外観写真を示し、図 4.6 にその構造断面図を示す。図 4.7 は図 4.6 の構造の OP モータに用いた電機子の外観である。また図 4.6 および図 4.7 に示した電機子は、図 4.1 に示した OP モータ (A 形) の電機子鉄心が積層されているのに対して、なんら積層されていない。図 4.7 の電機子

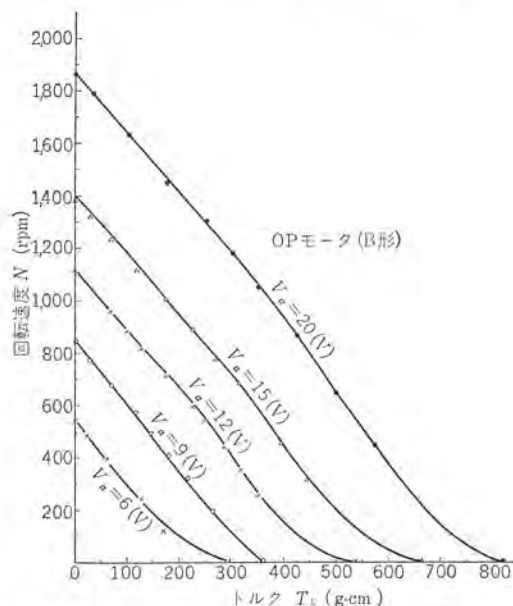


図 4.8 OP モータ (B形) のトルク 対速度特性
Fig. 4.8 Torque-speed characteristics of OP motor. (type B)

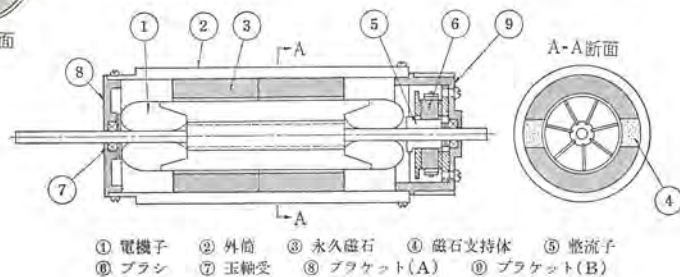


図 4.9 OP モータ (C形) の構造断面
Fig. 4.9 Sectional view of OP motor. (type C)

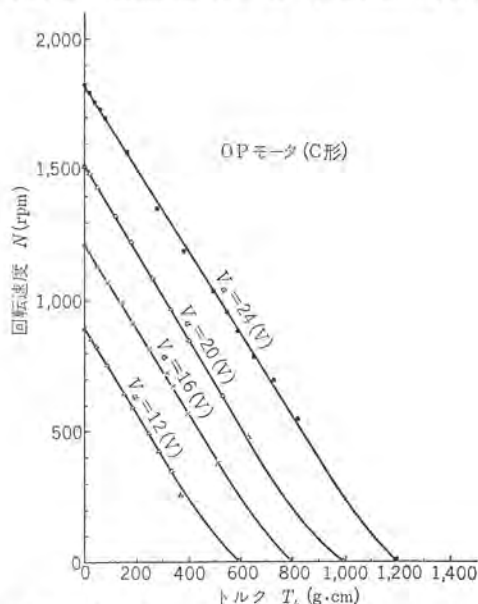


図 4.10 OP モータ (C形) のトルク 対速度特性
Fig. 4.10 Torque-speed characteristics of OP motor. (type C)

鉄心は円筒形磁性材料とその周囲に配置された薄い歯とから構成されている。したがって電機子巻線は アンペア・ターン はきわめて大きく、0.26φのエナメル線を用いた場合その総導体数は2,800本に達している。

図4.8は図4.6に示した構造のOPモータ(B形)のトルク対速度特性の測定結果を示す。

図4.9はOPモータ(C形)の構造断面図を示す。この試作モータの界磁はOP-S₂で、半円弧状に分割されていて、その中間に樹脂が充てん(鎮)してあり、この樹脂部分による磁束の低下を防ぐ目的で鉄外筒の内厚は3.5mmにしてある。また図4.9の構造のモータの電機子は、界磁構造による差異を比較する目的で、図4.6の構造のモータの電機子と同一の電機子を用いた。

図4.10は図4.9のOPモータ(C形)のトルク対速度特性の実測値を示す。このトルク対速度特性の非直線性は、図4.4、4.8にそれぞれ示したOPモータ(A形)および(B形)の特性と同様、測定中の電機子抵抗の温度変化に起因するものである。

5. 鉄損対速度特性

OPモータ(B形)、(C形)に用いた電機子鉄心は前述したように、まったく積層されていないので、ウズ電流による鉄損が懸念されるが、次に鉄損の速度特性に及ぼす影響について考察しよう。

OPモータ(B形)の回転軸は、図4.6の構造図で示したように、回転軸が左右両端のブラケットから突き出ているが、この部分を2

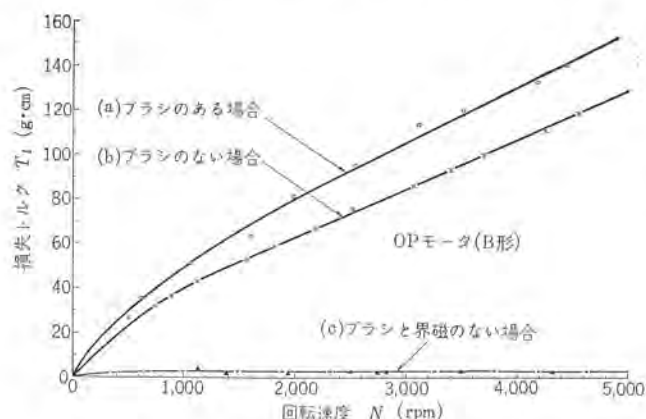


図 5.1 OPモータ(B形)の損失トルク対速度特性
Fig. 5.1 Torque loss-speed characteristics of OP motor. (type B)

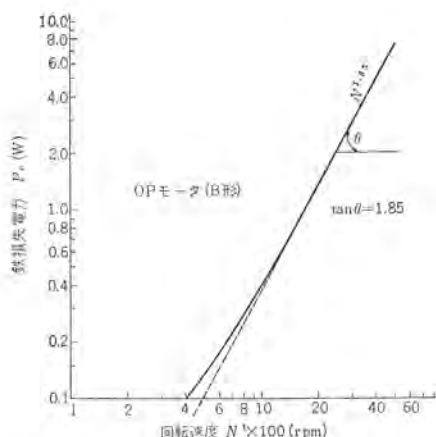


図 5.2 OPモータ(B形)の鉄損失電力対速度特性
Fig. 5.2 Iron loss-speed characteristics of OP motor. (type B)

個の玉軸受で支持して、電機子と界磁とがともに回転しようようにし、供試モータには電圧を印加しない状態で、電機子を他のモータで駆動すれば、界磁は回転力を受けて、外筒は回転しようとする。この回転力を外筒に取り付けた腕とその一端にあるオモリとで平衡させることによって、損失トルクを測定することができる。

図5.1はこのような方法で測定したOPモータ(B形)の損失トルク対速度特性の測定結果を示す。図5.1の曲線(a)はOPモータにブラシを取り付けた場合であり、曲線(b)はブラシを除去した場合を示す。したがって曲線(a)と曲線(b)との差がブラシによる損失トルクを示す。図5.1の曲線(c)は図4.6の構造の中、界磁を除去した場合の損失トルク対速度特性を示す。この曲線(c)はモータの玉軸受と風損との和の損失トルクを意味するが、その値はきわめて小さく、回転速度Nが5,000rpmのとき、損失トルクT_Lは3g·cmにすぎない。

図5.1の曲線(b)と曲線(c)との差から、電機子鉄心中に生ずる鉄損失トルクが求められるが、回転速度Nが1,880rpmのときの鉄損失トルクは、図5.1から57g·cmであることがわかる。

一方OPモータ(B形)の連続拘束トルクは835g·cmであり、連続拘束印加電圧V_aは20.4Vであるが、V_a=20.4Vにおける無負荷回転速度は1,880rpmである。

したがって、連続拘束電圧を印加したときの鉄損失トルクの最大値は拘束トルクの約6.8%にすぎない。

このように、OPモータ(B形)の鉄心が全然積層されていないにもかかわらず、鉄損失トルクが小さいのは、OP磁石の残留磁束密度が図3.1に示すように、小さいためである。

図5.2は図5.1の損失トルク対速度特性の曲線(b)と曲線(c)との差から求めたOPモータ(B形)の鉄損失電力対速度特性を示す。図5.2から鉄損失電力P_iは速度Nの1.85乗に比例していることがわかる。

6. 各種サーボ・モータの相互比較

サーボ・モータの性能を示す指標として、時定数、最高加速度、最大加速度対時定数比などが提案されているが、まだ一般的には認められていないようである。サーボ・モータとして一般に小形軽量であることが望ましいのに、上記の指標には重量の概念が含まれていない。

筆者はサーボ・モータの性能を表わす指標として、

- (1) 連続拘束トルク対全量比
- (2) 連続拘束入力電力対慣性性能率比

の二つを提案したい。

上記提案の(1)については、直流サーボ・モータの電機子の構造寸法を同一にしておき、界磁の強さを大にすれば、最大トルクが大となり、時定数および最高加速度は改善されるが、その反面モータの全重量が増大するからである。

また上記提案(2)については、サーボ・モータをたとえば記録計などに用いた場合を想定すると、記録計のペン先はある一定距離を短時間に移動することが望まれるが、このためにはモータの慣性性能率が小さく、最大トルクが大きく、最高速度も大であることが必要である。したがってたとえば電磁ブレーキのような手段で最高回転数を減少させることによって時定数を小さくしても、記録計の応答速度は改善できない。

このような観点からサーボ・モータの性能を表わす一つの指標と

表 6.1 各種サーボモータの仕様

	単 位	試作 OP モータ			直 流 サーボ モータ (A 社)	プ リ ン ト モータ (B 社)	二 相 サーボ モータ (C 社)
		(A)	(B)	(C)			
		外 径 31φ	外 径 42φ	外 径 47φ			
連続拘束トルク	(g·cm)	165*	835*	1,090*	260**	160	280
連続最大電流	(A)	0.55*	0.895*	1.03*	0.2**	6.0	
電機子抵抗	(Ω)	25.8	22.8	21.6	135	0.23	
慣性能率	(g·cm ²)	18.1	131	131	150	18	16
連続拘束入力電力	(W)	7.85*	18.2*	22.9*	5.7**	8.26	10***
最大静摩擦トルク	(g·cm)	9.9	45	23			
熱的抵抗	(°C/W)	7.04	3.05	2.48			
熱的時定数	(min)	3.6	7.7	5.0			
機械的時定数	(ms)	50		21.5			
人カインダクタンス	(mH)	8	22	6.7		0.0022	
全重量	(g)	235	656	880	900	350	800
逆起電力	(V/10 ³ rpm)	2.97	9.8	11.2			
連続電流密度	(A/mm ²)	15.6*	8.71*	10.0*			
構造		図 4.2	図 4.6	図 4.9			
全導体数	(本)	136T×7×2	200T×7×2	OP-S ₂			
永久磁石機巻線		OP-S ₁	OP-S ₂	OP-S ₂			
電機子巻線		P.V.F 0.15φ	P.V.F 0.26φ				

注 * 周囲温度は 50°C、電機子巻線温度は 105°C とする。
 ** 周囲温度は 50°C、電機子巻線温度は 120°C とする。
 *** 公称出力より換算。

して最大出力対慣性能率比が考えられるが、上記(2)のように、連続拘束入力電力対慣性能率比を提案した理由は次のとおりである。

前述したように サーボ・モータの最大出力は、拘束時の最大入力電力の約 1/4 であるが、これは印加電圧を拘束状態から無負荷速度まで一定とした場合であって、直流モータ固有の最大出力とは異なるのである。

直流モータの出力は、負荷トルクと回転速度の積で表わされるが、負荷トルクの上限は主にモータの温度上昇で制約され、回転速度の上限は主にモータの寿命で制約される。この最大トルクと最高速度の状態で運転した場合の出力が直流モータ固有の最大出力であるが、このときの印加電圧を一定にしたままでモータの回転軸を拘束すると、モータは比較的短時間で焼損するであろう。

サーボ・モータを位置制御系に用いた場合には、モータは回転と静止の繰り返しであり、入力周波数の増大とともにモータは拘束状態に近くなる。したがって連続拘束の条件すなわち最も過酷な条件で各種サーボ・モータを相互比較することが必要と考えるわけである。

このような連続拘束の条件で表わした試作 OP モータ 3 種の仕様をプリント・モータ、二相交流サーボ・モータ、直流サーボ・モータと比較して表 6.1 に示した。

ここで比較的小出力の二相サーボ・モータ(公称出力 100 W 程度以下)では、静止時に一相にのみ電圧を印加し、周囲温度を 50°C としたときの固定子巻線の許容温度上昇から定格電圧を規定している。したがって連続拘束状態では印加すべき二相電圧はそれぞれ定格電圧の $1/\sqrt{2}$ であり、この印加電圧での最大出力は公称出力の約 1/2 である。この値から換算して等価的な連続拘束入力電力を求めると、公称出力のほぼ 2 倍となる。ただしここでは二相サーボ・モータのトルク速度特性は直線であると仮定し、さらに制御相と励磁相の入力インピーダンスは同一であると仮定している。

図 6.1 は各種サーボ・モータについて、連続拘束トルク対全重量比の比較を示す。図 6.1 の特性比較からプリント・モータについては、連続拘束トルクは全重量の約 1.44 乗に比例し、直流モータについては約 1.4 乗に比例していることがわかる。したがって前述したように、モータの重量を決定する因子は主にトルクであってモータの出力ではない。

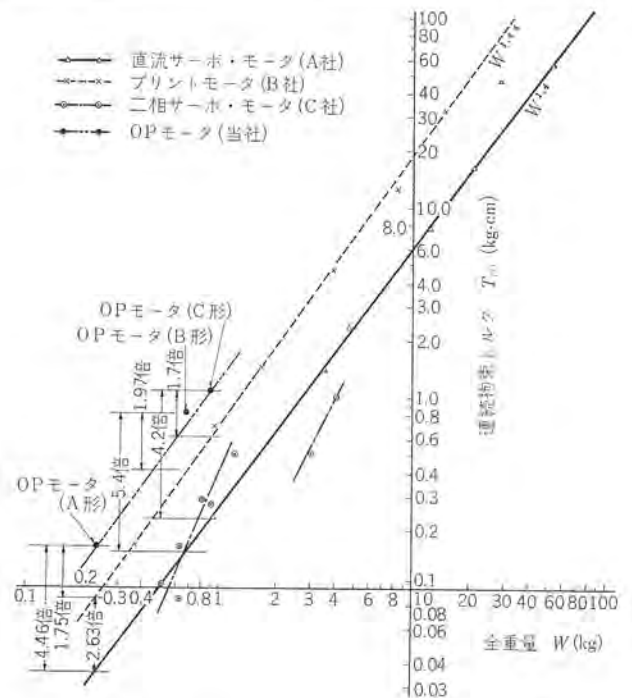


図 6.1 各種サーボ・モータの連続拘束トルクと全重量
 Fig. 6.1 Continuous locked torque versus total weight for various kinds of servomotors.

試作した OP モータの連続拘束トルク対全重量比は、図 6.1 に示したように、直流サーボ・モータの約 5.4 倍、また従来最高であったプリント・モータよりもさらに約 2 倍もすぐれた特性を有しているものがある。

二相サーボ・モータについては、図 6.1 からわかるように、連続拘束トルクと全重量との間に明確な関係は見られないが、二相サーボ・モータの連続拘束トルク対全重量比はプリント・モータよりも劣っている。

図 6.2 は各種サーボ・モータについて連続拘束入力電力対慣性能率の関係を示す。図 6.2 の特性比較から試作 OP モータの連続拘束入力電力対慣性能率比は、同一慣性能率の直流サーボ・モータよりも約 5 倍も大きく、プリント・モータおよび二相サーボ・モータとはほぼ同程度であることがわかる。

図 6.3 は各種サーボ・モータの連続拘束トルク対慣性能率の関係を示すが、試作 OP モータの連続拘束トルク対慣性能率比は、直流サーボ・モータおよび二相サーボ・モータよりもはるかに良く、プリント・モータと同程度であることがわかる。

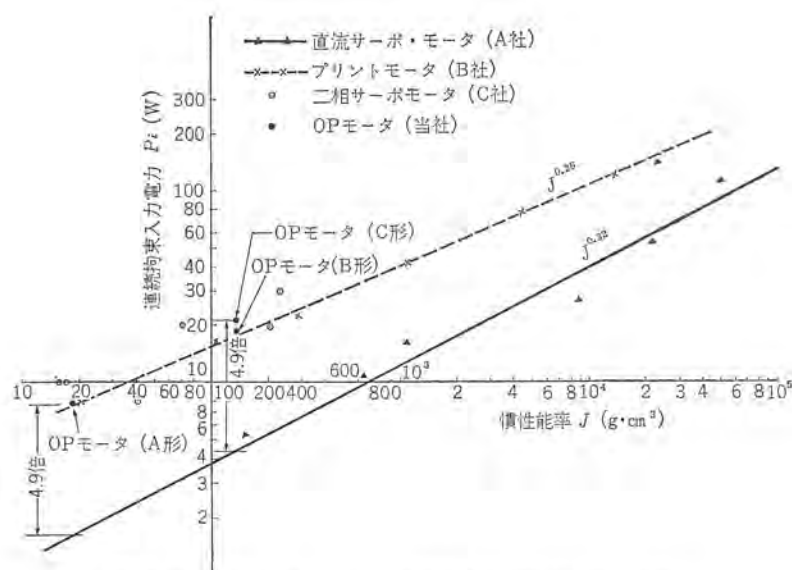


図 6.2 各種サーボ・モータの連続拘束入力電力と慣性能率
Fig. 6.2 Input at continuous locked condition versus inertia for various kinds of servomotors.

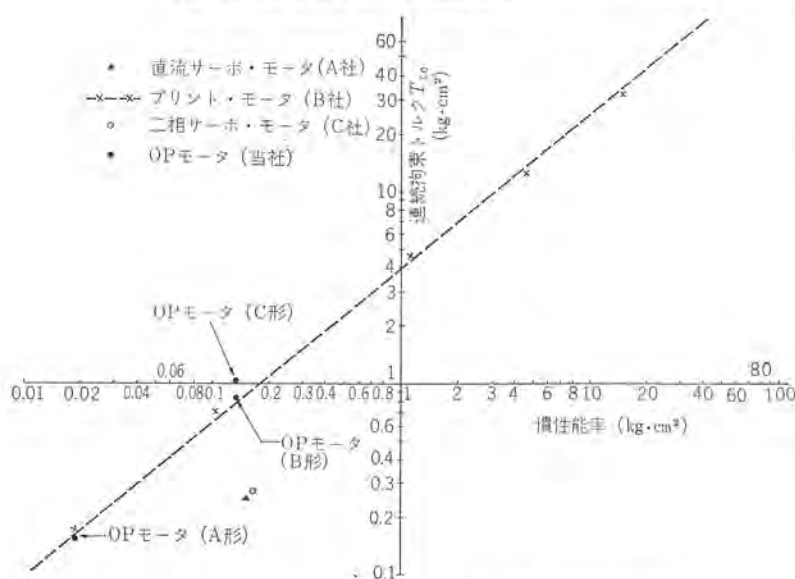


図 6.3 各種サーボ・モータの連続拘束トルクと慣性能率
Fig. 6.3 Continuous locked torque versus inertia of various kinds of servomotors.

図 6.1～6.3 において OP モータと比較した直流サーボ・モータは巻線の耐熱温度が 120°C であり、OP モータのそれは 105°C であるから、同一耐熱温度の電機子巻線を用いれば、OP モータの各種特性はさらに改善できることが推察されよう。

以上述べたように OP モータはきわめてすぐれた特性を有しているが、次にその原因について考察しよう。

たとえば試作 OP モータ (A 形) の電機子巻線の直径は 0.15ϕ で、電機子回路数 C は 2 であり、連続安全電流 I_a は表 6.1 に示すように、 0.55A であるから、連続電流密度 I_d は $15.6\text{A}/\text{mm}^2$ となる。

これに反して従来の直流モータの巻線は電機子鉄心のミジの中にツリビで密閉されている場合、直径 0.15ϕ の電線の連続電流密度 I_d は $1.7\text{A}/\text{mm}^2$ と推定され、開放状態では $I_d=18\text{A}/\text{mm}^2$ と推定される。

したがって図 4.2 に示したような構造の OP モータ (A 形) の電機子巻線の温度上昇は開放状態に近いと考えて良く、連続電流密度は密閉状態の約 9.2 倍になっている。これが前述したように、従来の直流サーボ・モータと比較して、画期的特性改善が実現した理由の一つである。

7. む す び

試作した OP モータについて、以上述べたことをまとめると次のとおりである。

(1) 試作した OP モータの構造寸法では、電機子巻線の電流密度はきわめて大きく、開放状態の巻線の電流密度に近いので、連続拘束トルク対全重量比は直流サーボ・モータの約 5.4 倍であり、また従来最高であったプリント・モータの約 2 倍に達しているものがあり、この点で世界最高の性能と思われる。

(2) 連続拘束入力電力対慣性能率比は直流サーボ・モータの約 5 倍であり、プリント・モータおよび二相サーボ・モータとほぼ同程度である。

(3) OP 磁石の高抗磁力特性を活用しているため、界磁と電機子間の磁気的および機械的空ギャクが大であっても、磁束の減少は小さく、高い工作精度を必要としない。

(4) 試作した OP モータは整流子とブラシとを有する直流モータであるから、その信頼性と寿命は従来の直流モータと同程度であると推定される。

(5) OP 磁石を 4 章で述べた界磁構造で製作することは粉末焼成技術で製作できるので、量産がきわめて容易であろうと想像され、この点でも従来の直流サーボ・モータに比べ製作上の大きな利点があると思われる。

また金属磁石よりも安価な OP 磁石を界磁に使用し、その他の部分には、従来の直流モータと同様な材料と部品を用いてあるので製作コストは安価である。

(6) OP 磁石の残留磁束密度は小さいため、ウズ電流による鉄損は小さく、とくに高速回転する場合以外には、電機子鉄心は全然積層しなくても良い。このように電機子鉄心を積層しない場合には、鉄心のラレス抜形が不要であって、サーボ・モータのように、多種少量生産のモータでは、きわめて有利と思われる。

(7) OP 磁石はその製作可能な大きさには、自から限界があるため、OP モータの製作可能な容量にも自から限界があると思われる。これが OP モータの欠点であろう。

以上述べたように、直流モータとして、今回きわめてすぐれた特性の OP モータを試作研究し得たが、さらに改善の余地が残されていると思われるので、現在さらに性能改善を検討中であり、その実用化も具体的に考慮されている。

(昭 40-6-1 受付)

ポリアトロン (多陽極計数放電管)

岡田 武夫*・倉橋浩一郎**・佐竹正章**

1. ま え が き

最近電気計測の正確化、能率化、自動化の要求が各方面で増大してきている。このため、従来のアナログ方式の測定器にかわって、デジタル方式の測定器が使用されるようになった。たとえば周波数を測定するためのデジタルカウンタ、電圧を測定するためのデジタル電圧計、またはそれらの測定値を自動記録するためのデジタルレコーダなどがそれである。

デジタル測定器は、測定源から入力として入ったアナログ量をデジタル量に変換するアナログ、デジタル変換回路、デジタル量を時間的に計数する計数回路、その結果を数字表示する表示回路から成っている。

計数回路の回路素子として現在使用されている代表的な素子はトランジスタ、真空管、デカトロンである。

表示回路の内視覚表示素子としては電球を用いた投光式、光点式表示板、ニクシー管 (数字表示放電管)、ネオンランプなどが使用されている。

デジタル表示は有効であるにもかかわらず、この普及をさまたげる原因は、その回路素子が複雑で、高価になるという点である。

一方性能としてそれほど高い計数速度がなくても回路が簡単で安価になれば、デジタル表示が要望される分野が非常に広いので、かねてから簡易な計数、表示装置の出現が待たれていた。

ポリアトロンはこの要求にマッチした放電管であり、ポリアトロンとニクシー管とを直列に接続することにより、計数、表示を同時に行なえるものであり、将来この方式は 10 kc 以下の計数速度で十分な測定器や、civil use の商品分野で手軽に利用されてゆくものと考えられる。

2. ポリアトロンの構造および動作機構

2.1 構造

ポリアトロンは東北大学の八田教授により発明されたもので、構造的には現在使用されているダブルパルスデカトロンの極性を逆にした冷陰極放電管である。この放電管の陽極グローを一組のダブルパルスにより次の陽極に切り換えることにより、これと直列につないだニクシー管の切り換えを行ない、これだけの簡単な回路で計数および表示が可能になることが特長である。

ポリアトロンの構造および外形を図 2.1 に示す。中心におかれた 1 個の円筒状陰極と、それを囲んだ 10 個の主陽極群 ($A_0 \sim A_9$) と 2 群の転移極群 (t_1, t_2) とより構成されている。主陽極間の転移電圧を増加させるために、主陽極群の直径は転移極群の直径より大きくなっている。

封入ガスはアルゴンと水素との混合気体で、ガス圧は 10~20 ㎞の範囲である。水素を混入しているのは水素は体積結合が盛んで、放電を集束させて、イオン密度分布を急しゅんにする作用を有す

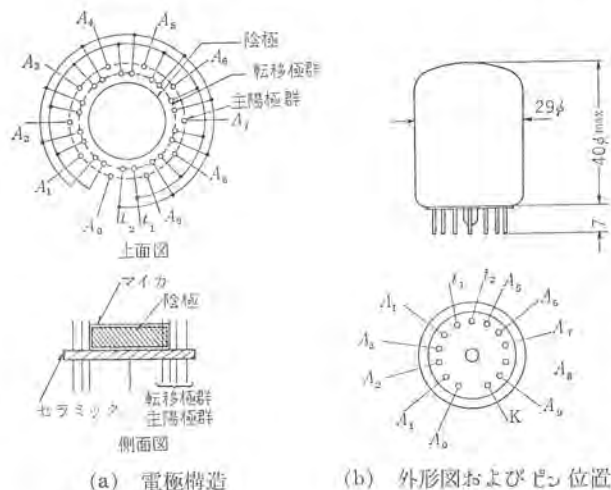


図 2.1 電極構造および外形図



(c) 写真

るためと、動作周波数を高める作用をさせるためである。ポリアトロンは、その寿命が主として陰極の不整スパッタリングにより定まることから、陰極材料としてはとくにスパッタ特性の良好な金属を使用している。

2.2 動作機構

図 2.2 でこの放電管の動作原理を説明する。 A_0, A_1, \dots, A_9 の 10 本の主陽極の放電開始電圧が約 250 V、放電維持電圧が約 180 V であるから、陽極供給電圧 E_{b0} としては約 300 V を用いる。転移極 t_1, t_2 の直流電位としては、負グローを放電中の主陽極の下に集束させるために、主陽極電位より約 -60 V 低い電位に保つためのバイアス電圧 E_t を加えておく。

この状態でスイッチ S_1 を切ると A_0 と陰極 K との間が導通し、 A_0 の真下に集束された負グローを維持する。一般にグロー放電は負抵抗であるから、 A_0, K 間に放電が維持された後は、スイッチ S_1 を入れても他の陽極は放電しない。

第一のパルス電圧を t_1 端子に加えると、グローは A_0 よりすぐ右隣の転移極 t_1 に移る。第一パルスより少し遅れて第二のパ

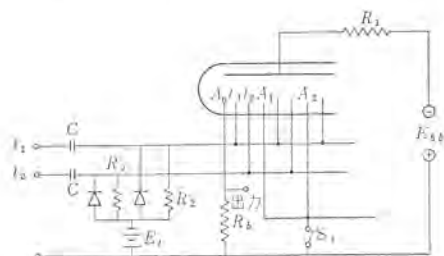


図 2.2 動作原理図

ルス電圧を t_2 端子に加えると、さらにグローは t_1 より右隣の転移極 t_2 に移る。そして第二パルスが終わると同時にグローはすぐ隣の主陽極である A_1 極に移り、 A_1, K 間が導通状態になる。このようにして一対のダブルパルスを t_1, t_2 極に加えることによりグローは次の主陽極に移り、一つ数を数えたことに相当する。このようにしてダブルパルスの数に応じてグローは A_0, A_1, A_2, \dots と移動し、10 回目に再び A_0 極に戻った時、この主陽極 A_0 に抵抗 R を入れておけば、 A_0, K 間に流れる電流により R の両端に電圧降下を生じる。この電圧を出力として取り出して、ケタ上げ信号とする。なお、第一、第二のパルスの順序を逆にして加えることにより逆回転させることも可能である。

3. ポリアトロンの特性

3.1 ポリアトロンの静特性

3.1.1 静的進み電圧 v_{st}' 、静的戻り電圧 v_{st}'' 、隣接陽極間転移電圧 v_{st}^* 、陽極陽極間転移電圧 v_{st}^{**}

ポリアトロンを図 3.1 のように接続し、 A_0, K 間に放電電流 I_a が流れている状態を考える。このような状態で t_1 に A_0 対して正の電圧を加えてゆき、放電が A_0 から t_1 に転移する電圧値を v_{st}' とする。同様な方法で不要な電極を float させた状態で、 t_2 へ転移する電圧を v_{st}'' 、 A_1 へ転移する電圧を v_{st}^* とする。ここでは v_{st}' は静的進み電圧、 v_{st}'' は静的戻り電圧、 v_{st}^* は隣接陽極間転移電圧と呼ぶ。

放電電流 I_a に対する v_{st}' 、 v_{st}'' 、 v_{st}^* の関係を図 3.2 に示す。図 3.2 より I_a が $0 \sim 3 \text{ mA}$ の範囲では、 $v_{st}' < v_{st}'' < v_{st}^*$ であり、 v_{st}^* は 60 V 以上であることがわかる。陽極陽極間転移電圧 v_{st}^{**} はもし放電空間からならの寄与もない場合には、放電電流 I_a に無関係に $v_{st}^{**} = V_{BD} - V_m$ なる関係が成立する。ただし、

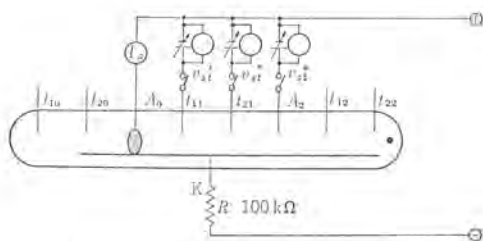


図 3.1 静的転移電圧測定回路

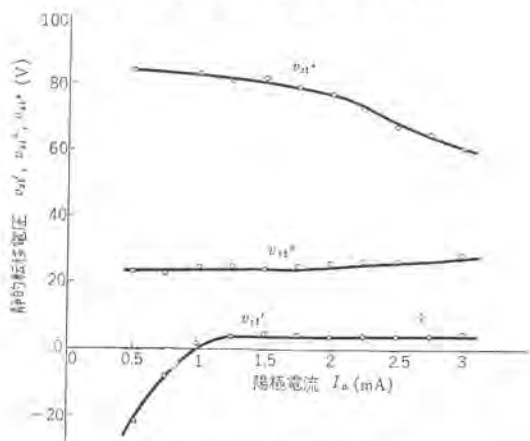


図 3.2 各電極への転移特性

V_{BD} はグローを転移させようとする電極の放電開始電圧であり、 V_m は先行放電している電極の放電維持電圧である。図 3.2 からこの関係の成り立つのは I_a が 1.5 mA 以下の範囲であることがわかる。 I_a が 1.5 mA 以上では v_{st}^* が $V_{BD} - V_m$ より小さくなる範囲であり、これは先行放電空間に生じた電子および陽イオンの量が多く、それらが隣接電極空間に拡散してゆき、その空間の放電開始電圧を低下させるためである。

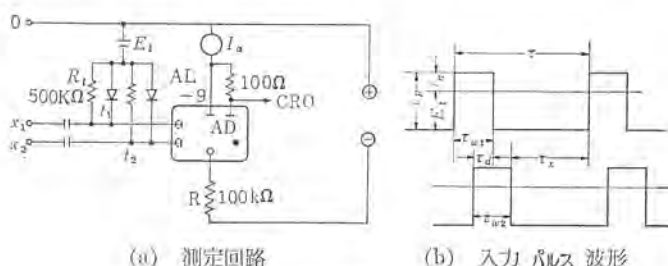
v_{st}^* は隣接陽極間の転移電圧であるが、隣接陽極以外の陽極陽極間転移電圧を v_{st}^{**} とする。 v_{st}^{**} は放電空間の電子および陽イオンの影響をほとんど受けないので、 $v_{st}^{**} (V_{BD} - V_m)$ に等しくなる。ただし V_{BD} はかなり変動があるため、 v_{st}^{**} の値もバラツキを示すが、最小の v_{st}^{**} の値でも 70 V 以上である。

この v_{st}^* および v_{st}^{**} の値が大きいためにポリアトロンとして要求される重要な性質である。それは現在市販されているニクシー管（数字表示放電管）においては、表示しようとする数字の陰極にのみ放電が維持され、その他の陰極に分流しないためには、放電電流 2 mA においては表示しない陰極の電位を約 40 V 以上高く保つ必要がある。もしポリアトロンの陽極陽極間転移電圧 v_{st}^* がこの電位差より低ければ、ニクシー管の表示しようとする陰極以外にも電流が分流するため、表示の明瞭度をかき、計数表示回路として適当ではないからである。ポリアトロン I_a が 2 mA では、図 3.2 に示すように v_{st}^* は最高 80 V もあり、十分この条件を満足しているといえる。

3.2 動特性

3.2.1 最低動作電圧 v_d' 、最高動作電圧 v_d'' 、最高到達周波数 f_{\max}

図 3.3 (a) のような動作回路において、図 3.3 (b) のような波形の入力パルスを加えた場合、ある一定の周波数においてパルス電圧 v_p を徐々に大きくしてポリアトロンが動作し始める点のパルス電圧値を v_p' とすると、この電圧とバイアス電圧 E_t との差を最低動作電圧 $v_d' (\equiv v_p' - E_t)$ と定義する。さらに v_p を大きく行くとポリアトロンが誤動作を始めるパルス電圧値 v_p'' があり、この値と E_t との差を最高動作電圧 $v_d'' (\equiv v_p'' - E_t)$ とする。すなわちポリアトロンは v_d' と v_d'' との間の電圧範囲で正常に動作を行なう。陽極電流 I_a をパラメータとし、パルス周期 $\tau (=1/f)$ と



(a) 測定回路

(b) 入力パルス波形

- τ : パルス周期 (μs)
- τ_{w1} : 第一パルス幅 (μs)
- τ_{w2} : 第二パルス幅 (μs)
- τ_d : パルスの重なり (μs)
- τ_{on} : パルス間隔 (μs)
- v_p : パルス電圧 (V)
- E_t : バイアス電圧 (V)
- v_d : 有効パルス電圧 (V) ($=v_p - E_t$)

図 3.3 測定回路および入力パルス波形

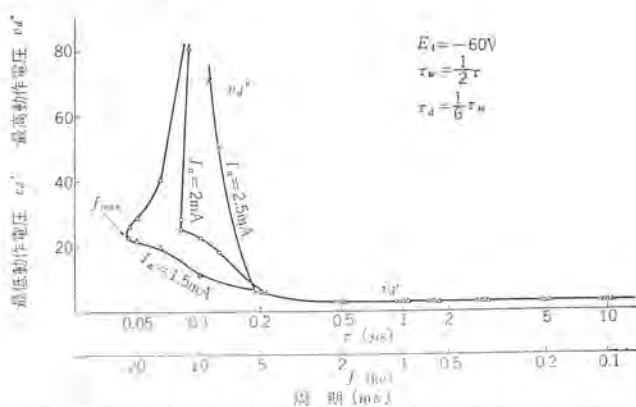


図 3.4 最低動作電圧 v_d' 最高動作電圧 v_d'' と周期 τ との関係

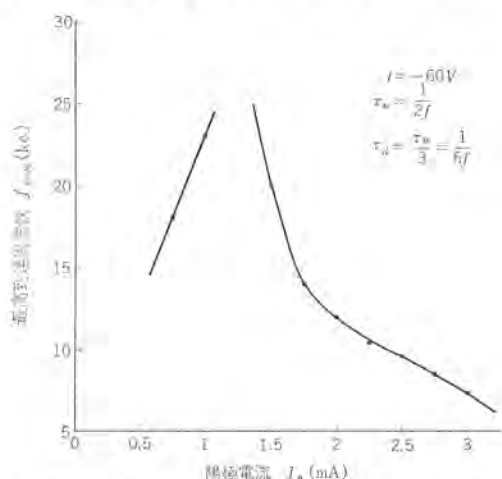


図 3.5 陽極電流 I_a と最高到達周波数 f_{max} との関係

v_d' , v_d'' との関係を測定すると図 3.4 のようになる。 v_d' と v_d'' との交点が ポリアトロン の動作する最高到達周波数 f_{max} を示している。図 3.4 で見られるように、 v_d' は f_{max} 付近でやや上昇する傾向を示すが大略 $1/f$ に無関係に一定である。この値は動的な最小の進み電圧に相当するものである。

v_d'' は消イオンが不十分なために誤動作を生じる限界の電圧であり、 f_{max} 付近でその値は急激に低下する。

陽極電流 I_a と最高到達周波数 f_{max} との関係を示すと図 3.5 のようになる。 I_a が 1.2 mA 付近において f_{max} の最高値 f_{mm} が存在する。 f_{mm} の存在する理由としては、 f_{mm} を与える陽極電流を I_{am} とすれば、 $I_a < I_{am}$ の範囲と $I_a > I_{am}$ の範囲とで周波数の上限を与える要素が異なるためと考えられる。すなわち $I_a < I_{am}$ の範囲での転移は進み電極領域の放電の破壊によるものであり、この破壊は陽極電流が大きい程容易になる。また $I_a > I_{am}$ の範囲では先行電極領域での残留イオンが周波数の上限を与えるものであり、残留イオンは陽極電流が大きいほど多くなることが f_{mm} を与える原因であると考えられる。

3.2.2 バイアス特性、最低バイアス電圧 E_t' 、最高バイアス電圧 E_t''

ポリアトロンを使用した数ヶの計数回路を設計する場合に個々のポリアトロンの特性のバラツキや電源電圧の変動などがあっても十分安定に動作するためには、駆動ダブルパルスの波形も重要な要素であるが、同時に転移極に加えるバイアスの最適値も非常に必

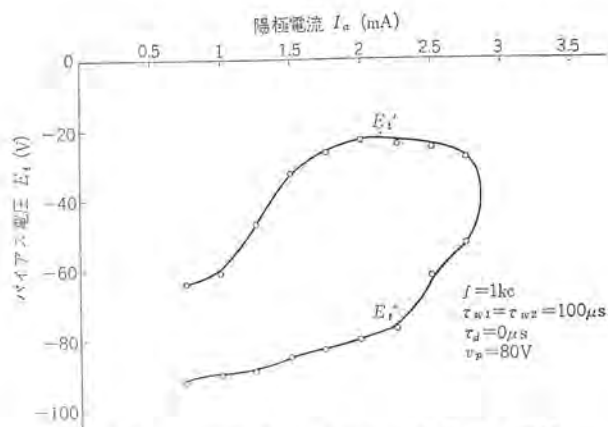


図 3.6 陽極電流 I_a と バイアス 電圧 E_t との関係

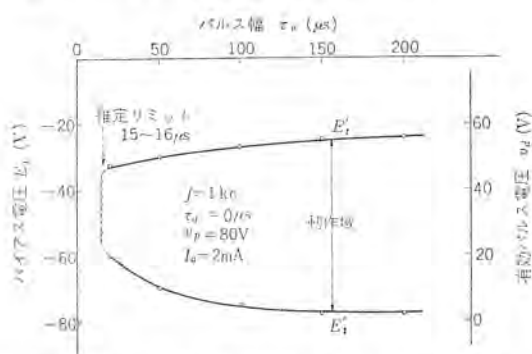


図 3.7 パルス幅 τ_w と バイアス 電圧 E_t との関係

要な値である。バイアス特性としてダブルパルスの波形を固定し、陽極電流を変化させて安定に動作するバイアス電圧の範囲を求めたのが図 3.6 である。

これはたとえば図 3.3 (a) の回路である陽極電流において、バイアス電圧 E_t を徐々に負側に大きくして、ポリアトロンが動作し始めるバイアス電圧を E_t' とし、さらにバイアス電圧を大きくしてポリアトロンが誤動作を始めるバイアス電圧を E_t'' として求めたものである。ポリアトロンは、そのバイアス電圧が E_t' と E_t'' との間で正常な動作を行ない、この範囲がバイアス電圧の変動許容範囲になる。図 3.6 においてバイアス電圧の変動許容範囲は、 I_a が 2 mA 付近で最も広くなり、一方実際の計数表示回路の動作電流は 2 mA が標準電流であるから、良好な特性を示している。一般に球ごとの特性のバラツキを考慮したとき、 $I_a = 2$ mA において $E_t' = -35$ V, $E_t'' = -65$ V の範囲であり、バイアス電圧を E_t' と E_t'' との間の適当な値に設定すれば、電源電圧の変動に対しても十分安定に動作しうることがわかる。(4.1.2 項 (2) 参照)

3.2.3 パルス幅 τ_w 、パルスの重なり τ_d 、パルス間隔 τ_x とバイアス E_t との関係

3.2.2 項では、パルス幅、パルスの重なり、パルス間隔を一定に保ったが、これらを変えることにより E_t' , E_t'' の範囲も変わる。したがって回路設計においてこれらの値を設定する場合、ポリアトロンが安定に動作するようにバイアス電圧変動許容範囲の広い値に設定することが望ましい。

図 3.3 (a) の回路において $I_a = 2$ mA, $f = 1$ kc, パルスの重なり $\tau_d = 0$ μ s, $v_p = 80$ V とした場合にパルス幅 τ_w と E_t' , E_t'' との関係を測定すると図 3.7 のようになる。 E_t' は τ_w に関係なく

一定値を示すが、 E_i'' は τ_{w0} が小さくなれば徐々に小さくなりしたがって変動許容範囲が狭くなる。ポリアトロンが動作するのに必要な最少のパルス幅は 10~15 μ s である。

また、第一パルス幅を 50 μ s 第二パルス幅を 100 μ s とし第一パルスとの重なり τ_d とバイアス電圧 E_i' 、 E_i'' との関係を測定すると図 3.8 のようになる。同図より第二パルスが第一パルスの立上がり時間より 10 μ s 程度遅れておればポリアトロンは正常動作を行なうことがわかる。重なりが少なくなるにしたがって E_i'' は大きくなりバイアスの許容範囲が広がる。第一パルスと第二パルスの重なりがなくなり、両者が離れると E_i'' は急速に小さくなり、ついにはポリアトロンは動作しなくなる。

逆に第一パルス幅を 100 μ s 第二パルス幅を 50 μ s とし上記同様な測定を行なうと図 3.9 のようになる。ポリアトロンが正常に動作する最大の重なりは、第一パルスが終わって第二パルスのみが存在する時間で決まり、その値は約 15 μ s であることを示す。

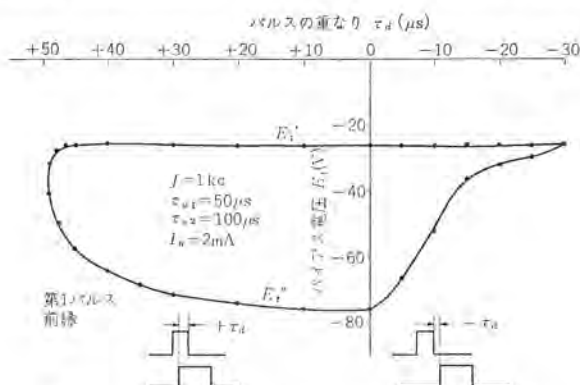


図 3.8 第一パルスと第二パルスの重なり特性 (I)

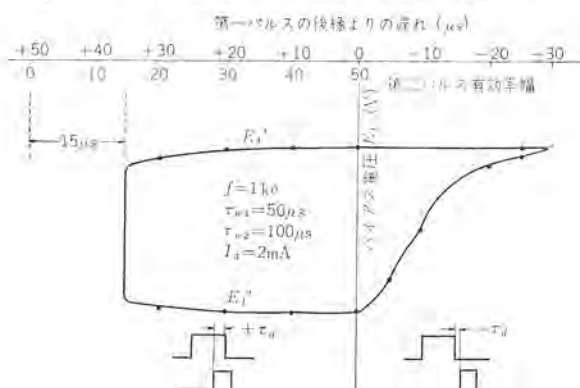


図 3.9 第一パルスと第二パルスの重なり特性 (II)

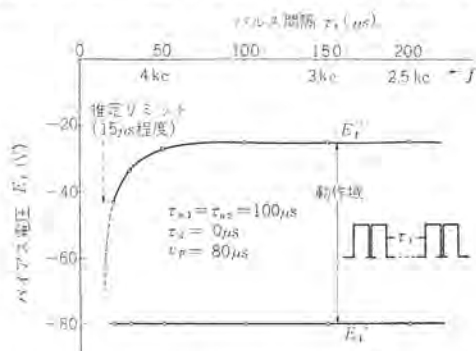


図 3.10 パルス間隔 τ_x とバイアス電圧 E_i' との関係

第一パルスと第二パルスの重なりがなくなった場合は、図 3.8 と同様に E_i'' は急速に小さくなる。

次にパルス間隔 τ_x と E_i' 、 E_i'' との関係を測定すると図 3.10 のようになる。 E_i'' は τ_x が小さくなくても大略一定値を示すが、 E_i' は τ_x が 100 μ s 以下になると徐々に小さくなり、バイアス許容範囲がせまくなる。ポリアトロンが正常に動作するために必要なパルス間隔 τ_x の最小位は約 15 μ s である。

以上図 3.8, 3.9, 3.10 よりパルス幅パルス間隔が小さくなるほど、また、第一パルスと第二パルスの相対関係が適当でなければバイアス許容範囲はせまくなり不安定になる。したがってこれらの値を設定する場合、上記の特性を考慮の上、安定に動作する値に設定しなければならない。

また、図 3.8, 3.9, 3.10 より各限度は 15 μ s 付近の値を示す。これは陽極や転移極に放電が安定し、また、正方向に転移を完了するためには、15 μ s 以上必要であることを示している。

3.3 寿命

ポリアトロンの寿命は使用条件によりかなり異なった値を示す。われわれは寿命テストとして、

- (1) ポリアトロンに連続して信号が加えられ、グローはたえず陰極表面を回転している場合。
- (2) 入力信号が加えられず、グローは陰極の 1 個所に停止している場合。
- (3) 入力信号が間欠的に加わり、グローは回転および停止を繰り返す場合。

の 3 種類の条件で寿命テスト中であるが、(1) の場合は現在 6,000 時間経過後も特性の劣化は認められず、非常に長寿命である。(2) の場合には陰極材料によっては数 100 時間の非常に短い時間で特性は劣化する。(3) の場合では表 3.1 に示すように回転および停止の周期により種々の結果を得た。

表 3.1 回転・停止寿命時間

回転時間 (h)	停止時間 (h)	寿命時間 (h)
3	3	1,000 以上
12	12	約 1,000
18	6	1,500 以上

以上の結果および陰極表面状態の観察より、寿命は負グローによりスパッタした陰極物質が周辺の陰極に付着して、その部分の放電特性を変化させるために定められるものと考えられる。寿命テスト (1) の条件のような場合には陰極全面にわたってスパッタを受けるので、その表面は均一に保たれるが、寿命テスト (2) の条件のような場合には放電を行っていた周辺の部分のみスパッタされた物質が付着し、その部分の特性を変化させることが寿命を定める。(3) の条件で回転の時間が長いほど寿命時間が長くなっているのも、回転中に陰極全面を再び均一にスパッタさせる効果によるものである。

(2) の場合のような、非常に厳しい条件で使用する場合も、封入ガスおよび陰極材料を選択することにより、1,000 時間近くまで寿命を延長することができる。

4. ポリアトロン計数回路

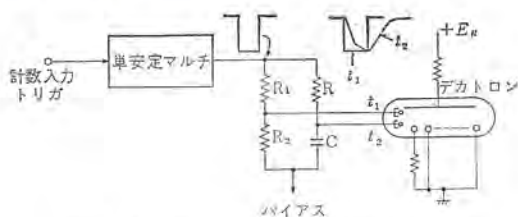


図 4.1 デカトロン駆動回路の一例

4.1 基本的事項

4.1.1 概説

ここでは、ポリアトロン駆動回路の選定に必要な基本的事項について簡単に検討する。

駆動回路は基本的には適当な重なりをもち、かつ振幅、時間幅がほぼ等しい二つのパルスが発生するものである。このようなダブルパルス発生回路は、すでにデカトロンを対象として種々のものが考案されている。これらの回路は大部分ポリアトロンに対しても流用可能である。しかしポリアトロンはデカトロンに比べて、陽極電流、したがって所要の転位極駆動電流が大きいので、デカトロンの場合と多少事情が異なる場合があるから注意する必要がある。たとえばデカトロンでは図 4.1 のごとく R-C による整形回路を通してダブルパルスを作って駆動することが可能であるが、ポリアトロンではこのような方法は適当ではない。駆動回路としては、トランジスタをスイッチング形式で用いるのがむしろ自然であって、このようにすれば駆動パルス波形として方形波に近いものが得られ、動作はより安定であり、また駆動条件をポリアトロンの特性値と比較することが容易になる。具体的な駆動回路例は次項で示すことにし、この項ではポリアトロンの特性から、駆動回路の設計に必要な事項を簡単に検討する。

4.1.2 駆動回路に対する基本的要求

(1) ポリアトロンの特性

ポリアトロンの特性は前述のとおりであるが、これらを簡単にまとめれば以下になる。

(a) ポリアトロン DA11 の動作アノード電流の最適値は約 1.5~2 mA の程度である。これはポリアトロン DA11 がニクシー管を駆動することを目標として設計されていることによる。ニクシー管を駆動する場合はもちろんであるが、ポリアトロン単独で用いる場合でも、この最適電流付近で用いることが望ましい。

(b) アノード電流を一定とすれば、所要パルス電圧 v_d とパルス幅 τ_w との関係は図 3.7 のようになる。すなわち、最高計数周波数を上げるためにパルス幅を短くしようとすればより大きいパルス電圧が必要となる。

(c) またアノード滞留時間とバイアスとの関係は図 3.10 のようになる。計数周波数をあげて行けばアノードに放電がとどまっている時間 τ_x が短くなるが、これが短くなればなるほど、安定に動作させるためには、より深いバイアスをかけなければならない。

(d) 第一パルスと第二パルスとが重なり合っている方が動作範囲が広くとれる。これが重なり合っていない場合には、その間隔が数 μs 以上になると、比較的急速に動作範囲が減少する。(図 3.8, 3.9 参照)

(2) 必要なバイアス値および駆動パルス振幅

ポリアトロン 11 の代表的特性は上記のようなものであるが、計数回路として必要な駆動パルス振幅などは個々のポリアトロン 11 の間のバラツキおよび計数回路の動作余裕を考慮して決めなければならない。

ポリアトロン 11 の動作範囲のバラツキとして、たとえばパルス振幅パルス幅一定のときの動作バイアス範囲の下限 $|E_i'|$ および上限 $|E_i''|$ のポリアトロン 11 個体間のバラツキをみれば、 $f=1 \text{ kc}$, $v_p=80 \text{ V}$, $\tau_w=100 \mu s$ のとき、 $|E_i'|$ の最も大きいもので約 35 V, $|E_i''|$ の最も小さいもので約 65 V の程度である。したがって、 $f=1 \text{ kc}$ 程度以下で用いるならば

$$\left. \begin{aligned} E_i &< -35 \text{ V} \\ v_d' = v_p - E_i'' &> 15 \text{ V} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

なる条件で駆動すればよいことがいえる。すなわち、駆動回路は上記 (1) の値を最悪時にも実現できるものを選ばなければならない。たとえば、実際の回路において、バイアス値の変化が $\pm 20 \text{ V}$ あっても動作させるようにしなければならないすれば、 $E_i < -35 \text{ V}$ を満足するためには標準のバイアス値を -55 V に選ばなければならない。一方、このようにすれば、バイアスが最も深くなるときには -75 V となるから、 $v_d' > 15 \text{ V}$ を満足するためには v_p として少なくとも 90 V が必要となる。

また、計数回路を 10 kc 程度まで動作させるために $\tau_w \approx \tau_x \approx 30 \mu s$ 程度にとるものとすれば、図 3.7, 3.10 からわかるように、 E_i , v_d' の両者をそれぞれ約 10 V 大きくしなければならなくなる。したがって v_p は約 20 V だけ上記の場合よりも大きくしておいてやる必要がある。

駆動パルス振幅はさらに次の出力電圧をも考慮する必要がある。

(3) 出力電圧の問題

ポリアトロン 11 の陽極に負荷を接続する場合を考える。

問題は二つあって、一つは最大出力電圧、他の一つは駆動パルス振幅の問題である。

(a) 最大出力電圧

図 4.2 のように、陽極 i に負荷が接続されており、かつこの陽極に放電がある場合を考える。このような状態では、他の陽極 j と i との間には j が正の電圧が表われるが、これが前述の陽極陽極間転位電圧 v_{ji}^{**} を越えれば、放電は j へ移ってしまい正常な計数機能を失う。

したがって、ポリアトロン 11 から取り得る最大出力電圧は v_{ji}^{**} できまる。ポリアトロン DA11 では $v_{ji}^{**} \approx 70 \text{ V}$ の程度であるから、かなり大きい出力電圧がとれ、普通の用途に対して十分であろう。

(b) 駆動条件

図 4.2 において、転位極に与えるべきバイアスは、最も電圧の

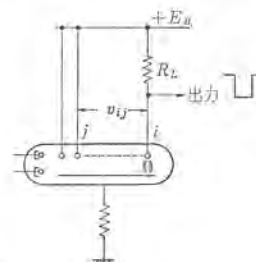


図 4.2 アノード負荷によるアノード間電圧



△：何とか実用になる
○：実用上問題なし

図 4.4 表示の明瞭さと R_b との関係

- バイアスを最大出力電圧に相当する分だけ深くし、
- かつ、駆動パルス振幅 v_p をバイアスの増加分だけ大きくしてやる必要がある。

4.1.3 ポリアトロンでニクシー管を駆動する場合の問題

(1) 靜的特性

すなわち、ニジュー管による表示を明了にするためには、放電不用極に対して約 30~40 V 程度のバイアスをかけておく必要がある。このバイアスが、前述の出力電圧に相当した量となるから、ポリアロンはかなり大きい v_{si}^{**} をもたなければならない。ポリアロン DA11 はこのバイアス 30~40 V という要求をみたしている。

このニクシー管のバイアス電圧，したがってバイアス抵抗 r は，ニクシー管の表示の明了さ，およびホリアトリオンの v_{gt}^{**} の両者をも考慮してきめなければならない。

ニクシー管については、たとえば CD26 について バイアス抵抗と表示の明了さとの関係、および抵抗と カソード 間 バイアス 電圧との関係を明示すれば図 4.4 および図 4.5 のようになる。一方 $v_{a, \text{min}}$ の最小値は 70 V の程度であるから、全アノード電流を 2 mA とするとき、33~39 k Ω 程度の バイアス 抵抗を用いることによりニ

(2) 驅動條件

しかし、ポリアロン 陽極から立ち上りの早い出力電圧を取り出す必要がない場合には、図 4.3 の パイアス 抵抗 r をバイパスすることにより、この余分な駆動パルス振幅の増加をなくすることができる。(図 4.6)

この理由は模形的には図 4.1 によって説明できる.

すなわち、転位極 バイアス の所要最小値は、 ϕ_0 となっている。陽極電圧を基準にすべきことは前と同様である。ところが、パルス電圧 v_a' は、陽極が図 4.6 のごとく十分大きい C でバイパスされていれば、放電が第 1 転位極へ転位した直後の陽極電位の上昇は遅く、ほぼ ϕ_0 のときの値に保たれているとみてよいから、放電が第 1 転位極で安定するために必要な v_a' は、この ϕ_0 のときの陽極電圧を基準として考えればよいことになる。

実験結果は図 4.8 のようになっており、数 1,000 pF 程度でパ
イパスしておけば十分であることが言えよう。

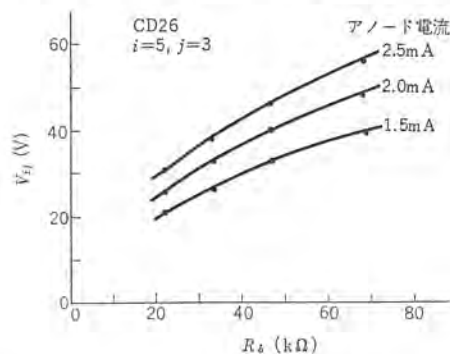


図 4.5 バイアス V_{ij} の最大値と R_b との関係

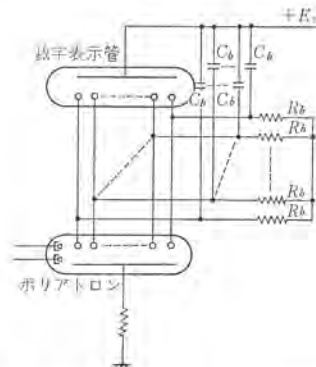


図 4.6 バイパス・コンデンサによる計数動作の改善

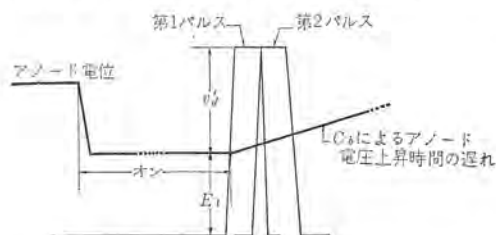
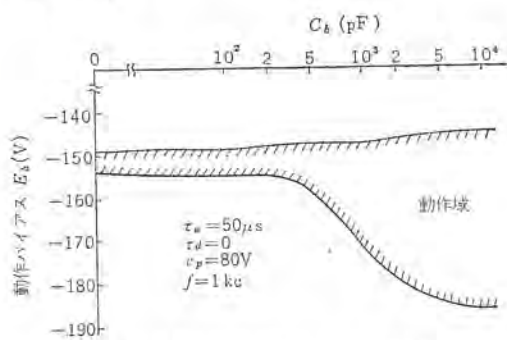


図 4.7 C_b がある時の計数動作



(注) E_b は数字表示管供給電圧 E_B に対する値
図 4.8 動作域に及ぼす C_b の効果

4.1.4 ケタ上げの方法

ポリアトロン計数回路を多段直列として2ケタ以上の計数回路を構成するとき、ケタ上げの方法として次の二つが考えられる。

(1) “0”に放電が移ったことを検出してケタ上げるもの。(図4.9)

この方法が比較的簡単であり、多段の計数回路を作る場合にも直接つながる段のみを問題にすればよい。しかし、10個目の計数パルスが入ってから実際にケタ上げ動作が起こるまでには時間遅れがあるので、このような時間遅れが問題になるところでは用いることができない。

(2) ケタ上げ用ゲートを用いる方法

図4.10のように、前段が“9”のときに、次に入ってきた計数入力パルスでゲートしてケタ上げを行なうことができる。

多段の場合は図4.11のようになる。この方法ではケタ数が多くなれば、ケタ上げ信号をたくさんとらなければならないという欠点をもつが、その反面、各ケタの計数動作はすべて計数入力パルスの時刻そのもので起こるから、ケタ上げの時間遅れは考えなくてよいという利点をもつ。

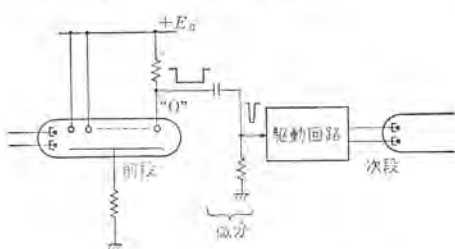


図 4.9 “0”へ戻ったことを検出するケタ上げ回路

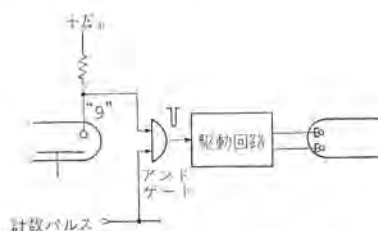


図 4.10 ケタ上げゲートを用いるケタ上げ回路

ニグシー管を駆動している場合でも、上の二つの方法のいずれもが使用可能である。

4.2 計数回路例

4.2.1 トランジスタによる直接駆動

前述のように $f=1\text{kc}$ 程度以下で用いるならば、 $v_p=90\text{V}$ 程度でもバイアスの余裕 $\pm 20\text{V}$ 位が得られるから、 $v_p=100\text{V}$ 程度の回路で十分実用になるものが得られる。

$v_p=100\text{V}$ とすれば、高コレクタ耐圧のトランジスタを用いればポリアトロンを直接駆動し得ることになる。この場合の例を図4.12に示す。このような回路を用いれば、駆動回路の電源としてポリアトロンの陽極回路の供給電源を流用できるので、駆動回路のための特別の電源を必要としない利点がある。

この回路の動作は概略次のようなものである。まず入力パルスがない場合には Q_1, Q_2 は、いずれもオフの状態にある。

計数入力パルス(パルス幅 $100\mu\text{s}$ 以上)は C_1, R_2 をへて Q_1 に加わり、これを飽和させ Q_1 のコレクタには約 100V の振幅をもった正のパルスが得られる。このパルスは C_3 をへてポリアトロンの第1転移極を駆動すると同時にコンデンサ C_2 を充電する。ところで C_1, R_1, R_2 は微分回路を構成しているから、一定時間後

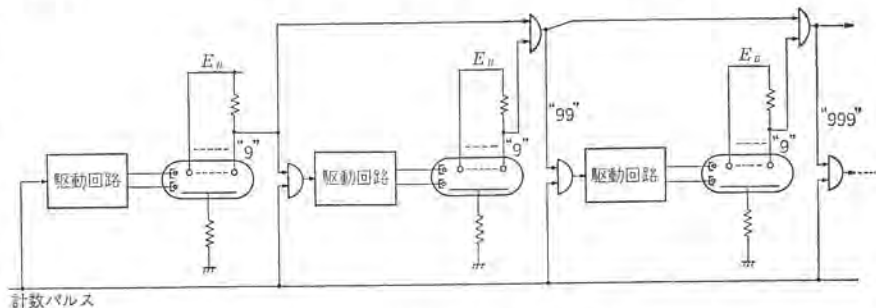


図 4.11 ケタ上げゲートを用いる多段カウンタ

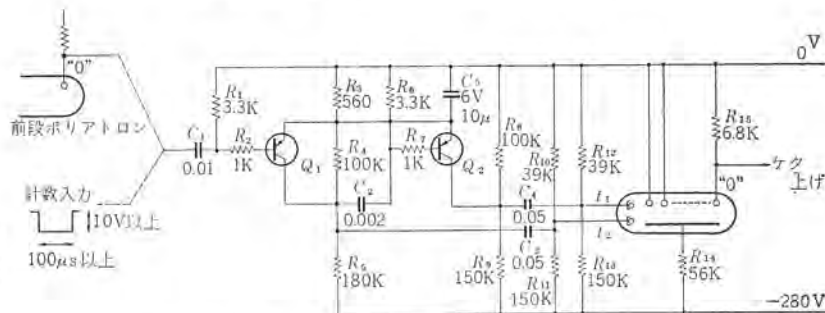


図 4.12 ポリアトロン計数回路例(1)

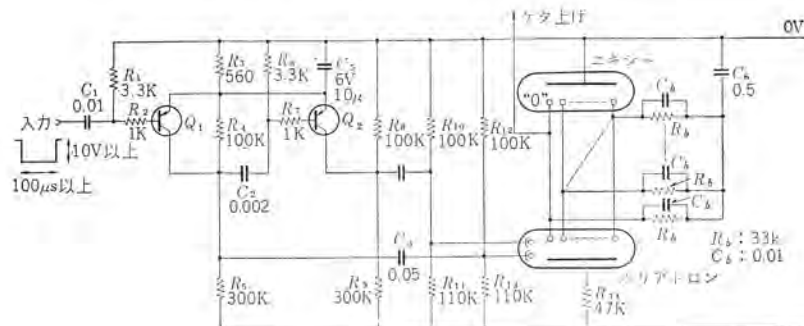
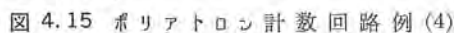


図 4.13 ポリアトロン計数回路例(2)



Q_1 がオフになれば、 Q_1 のコレクタ電圧が負の方向へ動くから、 C_2 が放電を開始する。この放電電流が Q_2 を飽和させ、 Q_2 のコレクタには振幅約 100 V の正パルスが得られる。このパルスは C_4 をへて第 2 転移極を駆動する。 C_2 の放電電流が減少し、 Q_2 を駆動できなくなった時間後 (約 100 μ s) に第 2 パルスが終了する。

5. む す び

簡易な方法による計数表示の要求は今後ますます増加すること
と思われるので、この要求に沿って、ポリアトロンが広い分野で役立
つことを願うものである。

(昭 40-5-12 受付)

新製品紹介

国産最初の三菱真空スイッチ VS103 の完成

当社では多年にわたり、真空スイッチの開発研究が進められてきたが、今回国産最初の実用真空スイッチ VS103 形が完成された。

真空スイッチは、高真空度に排気された密封容器中に、特殊な接点材料で作られた固定電極と可動電極を設け、可動電極を密封容器外より機械的に動かして、固定電極と接触あるいは開放させることにより、電気回路の開閉を行なうスイッチである。

真空スイッチは世界各国で古くから研究が始められ、高真空中で電気回路の開閉ができれば、現在のスイッチの多くの欠点が解消されるとの予想のもとに、研究が継続されてきた多くの夢を託された新形スイッチであるが、最近の高真空スイッチの製作が可能となった。

■ 特 長

(1) 高真空中ではわずかな開閉距離で高耐圧が得られるので、高電圧用でも非常に小形化される。

(2) 高真空中ではアーク電圧が低く、内部発熱が少ないから、大電流用でも小形化される。

(3) 真空シヤ断器の最大の特長は電流シヤ断能力がすぐれているので、きわめて小形で大きいシヤ断容量を持った高速度シヤ断器の製作が可能である。

(4) アークが外気に触れないから、防爆用としてすぐれているので炭坑・化学工業などの防爆用スイッチ、あるいは船舶・ビルディング内など火災に対して高度の安全性が要求される用途に最適である。

(5) 真空中ではアークによる接点の酸化汚損などが無いから、長寿命である。

表 1 VS103 形真空スイッチの代表的定格

(1) 交流シヤ断器〔JEC-145 (1950)〕に用いる場合

定 格 電 圧 (kV)	7.2	3.6
連 続 容 量(三相) (kVA)	3,750	1,880
開 極 距 離 (mm)	8	4
シヤ断容量(三相)(MVA)	50	25
電 流	シヤ断 (kA)	4
	投 入 (kA)	11
	連 続 (A)	300

(2) 高圧交流電磁接触器〔JEM-1167 (1963)〕に用いる場合

定 格 電 圧 (kV)	6.6	3.3
連 続 容 量(三相) (kVA)	3,430	1,715
開 極 距 離 (mm)	6	3
シヤ断容量(三相)(MVA)	50	25
電 流	シヤ断 (kA)	4.37
	連 続 (A)	300
	開閉容量による級別	A 級 (3kA)
開閉ひん度による号別	1 号 (1,200 回/時)	1 号 (1,200 回/時)
	2 号 (25 万回)	2 号 (25 万回)

(6) 可動部の質量が小さく、開閉距離も小さいので、駆動操作装置も簡単小形となり、騒音の少ない高速度高ひん度のスイッチとして適している。

■ 用 途

真空スイッチは以上のような特長があるので、

- (1) 商用周波交流シヤ断器
- (2) 商用周波交流電磁接触器
- (3) 高圧直流シヤ断器
- (4) 高周波用シヤ断器
- (5) 高圧用の交流・直流・高周波回路の電路開閉器

などの多くの用途を持っている。

■ 定 格

VS103 形真空スイッチの最も一般的な用途として、3,300 V・6,600 V 商用周波数回路の交流シヤ断器や交流電磁接触器に適している。表 1 にこれらに用いた場合の代表定格を、図 1 に外観写真、図 2 に外形寸法を示す。



図 1 外 観

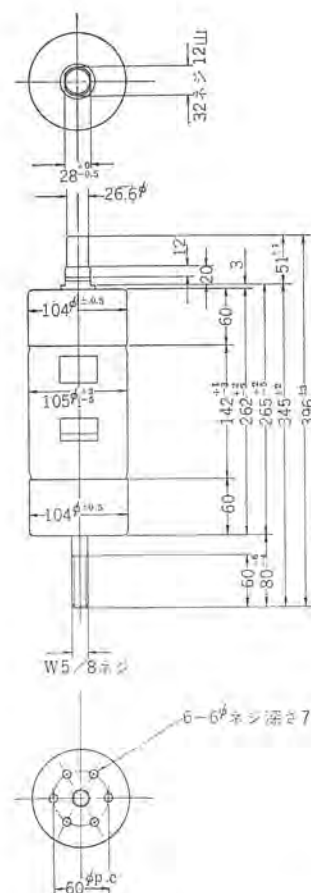


図 2 外形寸法

トランジスタ式距離継電器完成

電源開発の進歩に伴い、重要送電線の新設・連けが急激に増加し、電力系統の保護継電装置の使命も一段と重要度を増してきた。したがって、継電器単体も従来にも増して、高度な性能が要求されるようになった。

当社では、このすう勢にかんがみ、新形トランジスタ式距離継電器の開発研究を進めていたが、このほど新形短絡距離継電器シリーズが完成したので、ここに概略を紹介する。

KKS形継電器は、四辺形位相特性にしているため、内部故障インピーダンス存在範囲を最小限度に、完全に含む理想的な動作特性を有する短絡距離継電器となっている。従来は、四辺形特性を作るのに、複数の継電器を使用していたが、この継電器によれば、1個でことたり。このことは、従来実用上避けることのできない宿命的な欠点、すなわち、接点協調の必要性、動作速度の遅延、継面スペースの増大などを一挙に解決したことになる。

KKS-64-D、KKS-65-D形継電器は、1個のリレーケース内に第1段・第2段要素を収納している。

またKMS-1-D形継電器には、第1段・第2段、リアクタンス要

表1 トランジスタ形短絡距離継電器

形名	整定範囲	定格	備考
KKS-12-D	$X=0.25\sim 2.5\Omega$ または $0.5\sim 5\Omega$	AC110V 8.66A DC110V	タ形特性
KKS-22-D	$X=12, 13, 14, 15\Omega$ $R=4, 5, 6, 7\Omega$	AC110V 5A DC110V	交流電化用
KKS-64-D	$X_1=X_2=0.25\sim 2.5\Omega$ または $0.5\sim 5\Omega$	"	1段2段切換式
KKS-65-D	$X_1=0.25\sim 2.5\Omega$ $X_2=0.5\sim 5\Omega$ または $1.0\sim 10\Omega$	"	1段2段別要素
KMS-1-D	$X_1=X_2=0.25\sim 2.5\Omega$ $M=2\sim 20\Omega$ または $0.5\sim 5\Omega$ または $3\sim 30\Omega$	"	1段2段リアクタンス特性 3段モータ特性

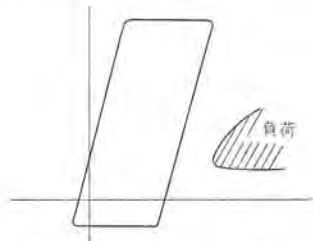


図1 KKS-22-D形継電器特性

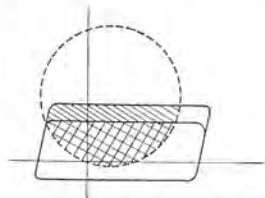


図2 KKS-12, 64, 65-D形継電器特性

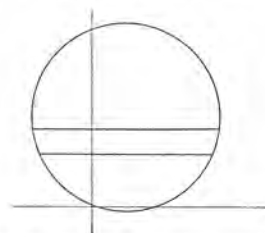


図3 KMS-1-D形継電器特性

素X、第3段、モータ要素Mが、1個のリレーケース内に収納されており、両者XとMの協調が不要な回路方式としている。

これらの継電器の特長は、トランジスタ回路において、一定時間以上入力が続いて初めて動作状態に入る方式を採用していることである。このことは従来のパルス性入力があれば動作する方式に比べ、著しく信頼度が高くなっていることを意味している。

■適用および特性

(1) KKS-22-D (KKS-2を含む) 形継電器は、交流電化用

表2 主なる特性

	KKS-12-D	KKS-22-D	KKS-64-D	KKS-65-D	KMS-1-D
タップ範囲	100~10% (1% Step)	$X=12, 13, 14, 15\Omega$ $R=4, 5, 6, 7\Omega$	100~10% (1% Step)	同左	同左(ただし) $X=1\%$ Step $M=5\%$ Step
E-I特性	5A以上 $\pm 5\%$	同左	同左	同左	同左
動作速度 (80%故障)	50ms以下	30ms以下	50ms以下	同左	同左
復帰速度	20ms以下	10ms以下	50ms以下	同左	同左
温度特性	$-20^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ 異常なし $0\sim 40^\circ\text{C}$ $\pm 5\%$	同左	同左	同左	同左
消費VA	CT	6VA	5VA	6VA	7VA
	PT	4VA	2VA	4VA	6VA
	DC	23W	23W	23W	13W

表3 納入実績

形名	納入先	台数	納入年月
KKS-12-D (KKS-1を含む)	国鉄	12	38—12
	中部電力	20	40—5
	住友共同電力	4	製作中
KKS-22-D (KKS-2を含む)	国鉄	60	38—6
	"	40	39—9
	"	28	製作中
KKS-64-D (KKS-61, 62, 63を含む)	四国電力	12	38—10
	関西電力	13	"
	三菱重工業	6	"
	関西電力	12	39—4
	四国電力	3	"
	北海道電力	9	39—8
KKS-65-D	中部電力	15	40—5
	関西電力	30	製作中
	中部電力	19	"
	北海道電力	10	"
KMS-1-D	四国電力	65	40—3



図4 KKS-12-D形
距離継電器



図5 KKS-65-D形
距離継電器



図6 KMS-1-D形
方向短絡距離継電器

として、列車負荷と故障 インピーダンス の判別のため使用される。(図 1 参照)

(2) KKS-12, 64, 65-D 形継電器は、モー 形の方角継電器(シリンダ形)と組み合わせて、接点協調不要のリアクタンスリレーとして

使用される。(図 2 参照)

(3) KMS-1-D 形継電器は、モー・リアクタンスリレー なのでこれ自体接点協調不要の 3 段式距離 リレー として使用される。(図 3 参照)

RC-2-D 形 自動 再 閉 路 継 電 器 完 成

変電所、開閉所の自動無人化に伴い系統事故による故障除去時、自動再閉路により再び送電を開始する自動復旧が最近広く採用されている。RC-2-D 形継電器はこの要求に沿った自動再閉路継電器で、今回従来のドラム 駆動機構、補助継電器およびシーケンス 回路に改良を加え標準化を計った。以下にその仕様特長を紹介する。

■ 仕 様

AC 110 V または 220 V 50/60 c/s

再閉路回数 最大 5 回

最大時限(ドラム 行程) 6 分

■ 特 長



RC-2-D 形自動再閉路継電器外観

- (1) 再閉路時間は最大 6 分まで連続的に調整可能である。
- (2) 再閉路回数最大 5 回、投入時間 6 分までの間希望の回数および投入時間が自由に整定可能。
- (3) 瞬時復帰式であり、再閉路中の全停時には瞬時に復帰して母線電圧回復後再閉路を行なうものである。
- (4) 整定誤差を少なくするためドラム 行程が 3 分以内の時に最大目盛 6 分を 3 分に切換できる二重切換式とし、切換は押しボタンにより容易にできる。
- (5) 投入指令のみでなく失敗時の警報、動作中の表示が自由に行なえる。また必要により投入および失敗の回数を外付の積算計に表示できるよう考慮されている。
- (6) 半埋込引出形となっており盤面より簡単に引き出し、時限などのチェック が簡単に行なえる。

MT-4 形 モ レ ク ト ロ ン 携 帯 無 線 機 販 売 開 始

本誌 39 巻 4 号に発表した モレクトロン 携帯無線機 MT-2 形(150 Mc 帯 0.1 W)の試作結果をもとに、新たに MT-4 形(150 Mc 帯 1 W)を設計し、生産完了して販売開始の運びとなった。本機はモレクトロン 応用無線機の量産品としては昨年国鉄の東海道新幹線用として納入した防護警報送信機に続く 2 番目の製品である。

本機は写真で見られるように、アンテナ、スピーカ、マイク 内蔵の トランシーバタイプ で、取り扱い操作はきわめて簡単である。モレクトロンの 使用により従来の 150 Mc 帯 1 W の機種より大幅に小形軽量化された上、信頼度も向上している。また同調回路には市販の小形高周波 トランス を使用するなど、の配慮がしてあるので、価格も従来の機種より下げることができた。その他完全防水構造になっているので雨の中でも使用できること、上端にある メータ により受



MT-4 形モレクトロン携帯無線機

信時は電源電圧、送信時は送信出力の監視ができることなど、種々の利点を持っている。

主要性能は下記のとおりである。

周 波 数	146~162 Mc の 1 波
電波形式	F3
通信方式	ラレスタート方式
送信出力	1 W
送信周波数偏差	±0.002% 以内 (-10~+50°C)
局発周波数偏差	±0.002% 以内 (-10~+50°C)
20 dB 雑音抑圧感度	6 dB (μV) 以下
低周波出力	100 mW
使用電池	アルカリ 電池 (10 個) または 単 3 乾電池 (9 個)
外形寸法	195×75×41 (mm)
重 量	900 g (アルカリ 電池内蔵時) 830 g (単 3 乾電池内蔵時)

電 気 大 工 三 菱 ド リ ル キ ャ ッ ト 用 角 ノ ミ DKF-1 形 を 開 発

レジャーを有効にと、日曜大工を楽しむ家庭が多くなり、“電気大工、三菱ドリルキット”が多くのの人に愛用されていますが、そのアタッチメントにさらに高級な製品の製作に必要な角ノミ(DKF-1形)を開発し、日曜大工の楽しみをグッと多く致しました。

角ノミの用途は、本ダナ、マガジンラック、整理ダナなどの製作にはほぞ(柄)穴などの角穴加工が必要ですが、従来はキリで穴あけし、その後、ノミでほぞ穴を加工していたのですが、手作業であるため、直角度、寸法精度が保たれず素人では難しい作業の一つでし



DKF-1 形
三菱角ノミ

た。本機を用いますと、直角度、寸法精度は確実に、しかも早くきれいに加工できるように、スタンド式になったもので、同じ角度、

同じ深さの加工が素人でも楽しく使用できる工具です。さらにスタンド式の電気ドリルとしても使用できます。

■ 特 長

- (1) 定規により連続穴加工が容易で確実。
- (2) 調整リングにより、穴あけ深さの調節、規制ができる。
- (3) ゲージ兼用のカバーにより、角ノミやキリの取り付けが簡単。
- (4) ホルダ構造により、アタッチメントの組み換えが容易。

■ 仕 様

形 名	容 量 (mm)	重量 (kg)	付 属 品	別途販売品
DKF-1	最大角ノミ寸法 12.7	6.6	角ノミ 9.5 mm	角ノミ 8 mm
			6.4 mm	12.7 mm
	最小角ノミ寸法 6.4		各 1 組	各 1 組
	ストローク 60		角ノミ用カバー (2) (4) 各 1 個 P丸木ネジ 2 本	角ノミ用カバー (1) (3) 各 1 個

コック式三菱脱水洗たく機 CW-755 形新発売

当社では、洗たくと脱水が同時にできる能率的な、二槽式脱水洗たく機として、このたび独特のビード式大形強力脱水カゴをはじめ、布地に合った水流が得られる W ストリーム方式、排水スピードが従来の 2 倍も速い左右両面排水方式、モートル回転翼の軸受に業界初の完全無給油式など、多くの新機構を採用した CW-755 形三菱脱水洗たく機（愛称：ダイヤカッパル）を新発売いたします。

■ 特 長

- (1) ビード式大形強力脱水カゴ
脱水カゴは直径 18 cm と大形で、しかも独特のビード式を採用しているので、脱水力も抜群、また洗たく物の出し入れが容易です。
- (2) 布地に合った水流が選べる W ストリーム方式
薄物なら自動回転、厚物なら一方回転と布地に合わせて二つの水流が選べる W ストリーム方式で、布地をいためず洗い上がりも抜群です。
- (3) 2 倍になった排水スピード
径 2.5 cm の太いホースを使用した左右両面排水式を採用、排水時間は従来の半分ですみます。
- (4) 日本で最初の完全無給油式
モートル、回転翼の軸受は完全無給油式を採用、注油の必要がなく安定した性能を発揮します。
- (5) サビに強い二重アクリル塗装
ボディーは最新のサビに強い二重アクリル塗装です。
- (6) 排水に便利なコック式
ツマミ一つの操作で、洗たく、ゆすぎ、排水ができるコック式を採用しているのでホースを立てたり倒したりする手間がいりません。

- (7) 洗たくと脱水が同時にできる能率的な二槽式
- (8) 安全なツマミ連動ブレーキ付き脱水カゴ
- (9) 故障がなく使いやすいタイムテーブル式、完全防水形タイムスイッチ

■ 仕 様

洗たく・脱水容量 1.5 kg
洗たく方式 自動回転・一方回転水流切換式
消費電力 洗たく機用 モートル 80 W/脱水機用 モートル 20 W
外形寸法 64 (幅)×78 (高)×42 (奥行) cm
形式認可番号 洗たく機側 ㊞ 91-180/脱水機側 ㊞ 91-1098



CW-755 形三菱洗たく機
現金正価 ￥ 30,500
月賦正価 ￥ 32,300



ニュースフラッシュ

■ 世界最大の 24,000 kW レクチフォーマ完成

かねてより鋭意製作中であった徳山曹達株式会社納めの世界最大容量の 24,000 kW レクチフォーマユニット (12,000 kW 2 ユニット) が伊丹製作所で完成し、このほど同社に納入された。

このレクチフォーマはきわめて大容量であるため、通信線障害などを考慮して、交流電流中の高調波含有率を少なくすべく、24 相整流方式が採用されている。1 ユニットは交流巻線に $+7.5^\circ$ の移相巻線を付けた 12 相整流、他の 1 ユニットは -7.5° の移相巻線を付けた 12 相整流で、これら 2 ユニットのレクチフォーマを組み合わせることで 24 相整流が行なわれる。

シリコン整流器は 30,000 A ユニットのものが送油水冷式変圧器の両側に 1 組ずつ取り付けられており、1 ユニットのレクチフォーマで 200 V、60,000 A の直流出力が得られ、2 ユニットで 200 V、120,000 A の直流出力が得られる。

■ 特長

(1) シリコン整流器箱内に電圧微調整用磁気増幅器も内蔵しており、完全一体構造の直流変換装置で、1 ユニット 120,000 kW の大容量器にもかかわらず組立輸送がなされ、据付工事も簡単になり、据付け面積も大幅に節約できる。

(2) 変圧器と整流器間の大電流接続導体が不要でまた電解ツウ 近くに自由に設置できるため、接続導体が大幅に節約でき、損失、電圧変動率が小さくなるとともに経済的である。

(3) 整流器箱は密閉され、内部は循環風によって冷却され、またシリコン整流器自身は変圧器冷却油をそのまま直列に通して冷却する当社独特の油冷方式が採用されているため、風冷式における保守の手数が簡略化され、周囲環境の悪い設置条件にも適している。

(4) 送油水冷式を採用しているため、床面積が小さく、また室内換気量が少なくてすむ。

(5) 水冷式冷却器はレクチフォーマ 1 台に対し 3 台別置されているが、これら 3 台の冷却器は互いに冷却器弁によって連系されており、冷却器あるいは油循環ポンプのどの 1 台を停止しても約 70% の負荷で連続使用ができるようになっている。

(6) フラッシングなどの充電部分が露出していないので、周囲環境の悪い設置条件にも適している。

(7) 工場において使用状態とまったく同一条件で試験される。

(8) 比較的騒音を発生する電圧調整用磁気増幅器は整流器箱内に密閉されており、また冷却扇などの騒音発生源を外部に有しないから、騒音がかなり小さい。

(9) 変圧器部分は当社独特の外鉄形、フォームフィット構造が採用されている。

図 1 および図 2 は据付中の 24,000 kW レクチフォーマである。

■ 仕様

レクチフォーマ、屋内用、外鉄形、フォームフィット構造

形式 SO-SUW

冷却方式 送油水冷式

交流入力 周波数 60 c/s

相数 三相

容量 30,000 kVA (15,000 kVA 2 ユニット)

電圧 17,800 V

結線 三角および星形 (1 ユニットは $+7.5^\circ$ 他の 1 ユニットは -7.5° の移相巻線付)

直流出力 容量 24,000 kW (12,000 kW 2 ユニット)

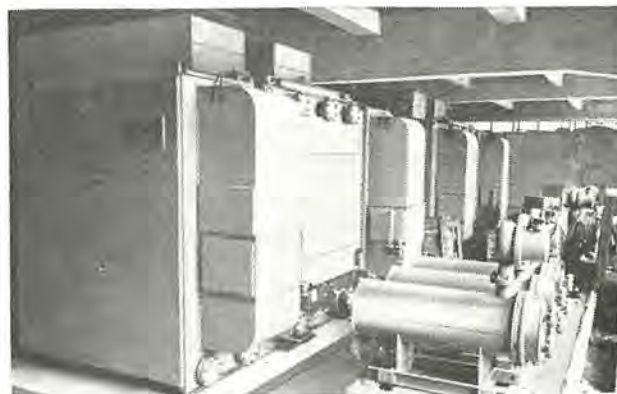
電圧 200 V (200~100 V, 100~50 V)

電流 120,000 A (60,000 A 2 ユニット)

結線 変形二重星形結線、24 相整流



(a)



(b)

据付中の 24,000 kW レクチフォーマ

■ 東京電力角筈変電所納め

23 kV 配電用屋内キュービクル完成

23 kV キュービクルは昭和 26 年以來多数納入されているが、今回完成したキュービクルは最新形軽重量の 20-C-100L 形 (24 kV、

1,000 MVA) 空気シタ断器を収納し据付床面積が従来品に比べ 20% 減、高さ 15% 減となって配電用変電所納めとしては最小のものである。

構造設計条件として

(1) シタ断器室、母線室、断路器室、ケーブルヘッド室、配電盤室(低圧室)、はそれぞれ金属隔壁で仕切って万一のキューピクル内事故拡大を阻止し、かつ点検保守の安全性をはかる。

(2) キューピクル内部にはネズミ、虫などの異物侵入を完全に防止し、そのための短絡事故は絶無なものと考え、また内蔵機器で

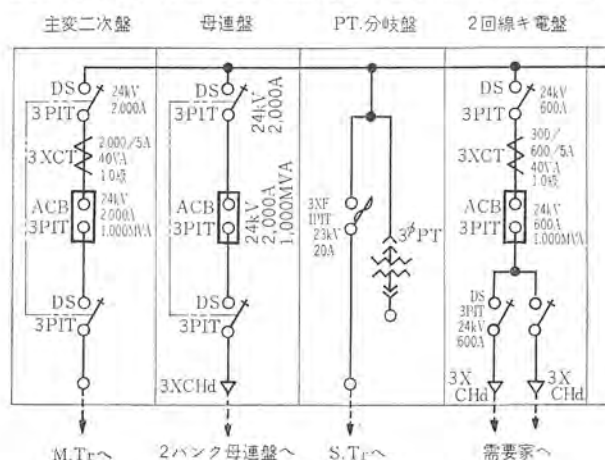


図1 単線結線図



図2 主変二次盤シタ断器側トビラ開放



図3 母線連絡盤, PT盤の断路器側表面

あるシタ断器、断路器, PT, CT, などの信頼度が期待しうるので相間金属隔壁は設けない。

(3) シタ断器, PT は精密点検が容易にできるようキューピクル外へ引き出しうる構造とする。

(4) 計器, 保護継電器を耐振トビラに取り付け, 制御盤を縮小する。

などが考慮され, おもな仕様は次のとおりである。

定格電圧	23 kV
定格母線電流	2,000 A
定格短時間電流	24.1 kA 2 秒
絶縁階級	20 号 B

今回完成した単位キューピクルの本体の大きさは

1.4 幅×2.8 高×2.5 奥行 (m)

であり, 1 バンク分構成単位キューピクルの内訳は, 主変二次盤 1 面, 母線連絡盤 1 面, PT 所変分岐盤 1 面, 2 回線キ電盤 6 面である。図 1 にその単線結線図を, 図 2 に主変二次盤のシタ断器側トビラを開いた写真, 図 3 に母線連絡盤, PT 盤の断路器側表面を示す。

■ 中国電力岩国火力発電所納め SSV 形 140 kV 耐汚損避雷器完成

当社では, 超高压系統用まで自立でき, 良好な汚損特性をもつ SSV 形避雷器を製作し, 多数の納入実績を有するが, このたびさらに汚損特性のすぐれた定格電圧 140 kV 耐汚損避雷器を製品化して, 中国電力岩国火力発電所へ 13 相納入した。

この避雷器は下ひだ付 1 本ガイ管を使用したもので, 付着塩分量 0.05 mg/cm² において, 等価霧中および活線スプレー洗浄状態で, 115 kV の耐電圧を有するものである。実際の活線洗浄作業は前記より軽汚損状態で行なわれるので, 洗浄中に系統に 1 線接地事故が発生しても, 健全相避雷器は事故時の対地電圧上昇に十分耐えることができる。このため避雷器を系統から切り離して洗浄する場合に比べ, 汚損に対する避雷器の保守が非常に楽になり, また洗浄中は被保護機器が無保護になることも防止できる。

最近の火力発電所は, ほとんど海岸付近に建設されているため汚損塩害に対する機器保守が重要な課題となっているが, すぐれた耐汚損特性をもつ避雷器の出現は, その解決に寄与するところ大きく, この避雷器の今後の適用が期待される。



活線スプレー洗浄中の SSV 形 140 kV 避雷器

特許と新案

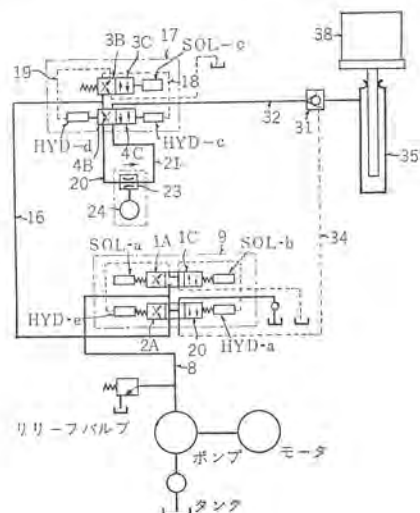
油 圧 エ レ ベ ー タ

発 明 者 瀬 原 田 三 郎

るものである。(特許第 422328 号) (松岡記)

この発明は油圧エレベータの制御装置に関し、起動停止時のショックの軽減および油圧回路の簡略化を目的としている。図において、乗カゴ (38) 内から上昇指令が出されると方向切換弁 (17) のコイル SOL-C が付勢されて弁要素 (3C) によって油管 (16) と (18) が連結され、油管 (16) の圧油を油圧ピストン HYD-C に送ってこれを付勢し弁要素 (4C) によって油管 (16) と (20) および (21) と (32) を連結する。この結果圧油は流量制御弁 (23) とチェックバルブ (31) を通してシリンダ (35) に至り、流量制御弁 (23) の開度調節によって乗カゴ (38) の起動停止が制御されることになる。また下降指令が発せられると、コイル SOL-C が消磁されて弁要素が図の状態にもどるため弁要素 (4B) によって油管 (32) と (20) および (21) と (16) が連結されるとともに、方向切換弁 (9) の弁要素 (2A) を通じて油管 (8) から (34) に圧油が送られてチェックバルブ (31) を開く、このためシリンダ (35) 内の圧油が流量制御弁 (23) 内を上昇時と同じ方向に流れ、その流量が制御される。

このようにこの発明では単一の方向性を持った流量制御弁を方向切換弁 (17) と組み合わせることによって、エレベータの上昇下降時の両方向の制御を行なうことができるため、油圧回路が簡単となり、さらにエレベータの運転をきわめてスムーズにすることができ



同 軸 線 路 の 気 密 封 止 方 法

発 明 者 岡 田 武 夫・橋 本 勉・島 亀 嘉

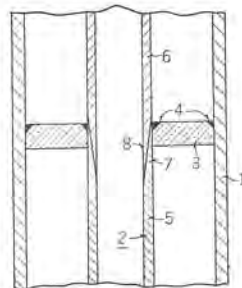
従来たとえば銅で作られた同軸線路において、外部導体と内部導体との間にセラミックをろう付けすることにより気密封止をする場合、銅はセラミックより膨張係数が大きいから、外部導体の内側にセラミックを封着する場合には封止後の冷却時にはセラミックに圧縮力が加わるため破壊しにくい、内部導体の外側にセラミックを封着する場合にはセラミックに半径方向に張力が作用してセラミックを破壊することがある。

この発明は以上の欠点を除去するものである。図において、(1) は同軸外部導体、(2) は同軸内部導体で、これらはいずれも銅で作られている。(3) は上記外部導体(1)と内部導体(2)との間にカンワ(嵌挿)された封止用の環状セラミック板、(4)はこのセラミック板(3)を前記内外導体に固着するろうである。

このような封止部において、セラミック板(3)には前述したような応力に加わり、とくに内部導体(2)による張力によって破壊されやすいから、それを避けるために、封止部において内部導体(2)を(5)と(6)とに2分割し、その部分をテーパ合でできるように肉薄部(7)(8)を形成し、セラミック板(3)をろう(4)によって

まず内部導体(5)の肉薄部(7)に固着した後、他方の内部導体(6)を(5)の内側にはめ込むようにする。

このようにするとセラミック板(3)には一方の内部導体の肉薄部(7)による力が作用するだけであるから、及ぼされる張力は弱く、これによってセラミック板(3)が破壊されるようなことはなくなる。なお内部導体(5)(6)の端部はテーパの代わりに段を設けてカン合するようにしてもよい。(特許第 426773 号) (竹歳記)



テ ー ル キ ャ ッ プ ア ン テ ナ 方 式

発 明 者 喜 連 川 隆・武 市 吉 博

航空機の機体の一部をアンテナに利用したテールキャップアンテナは周知であるが、一つの機体に使用周波数帯の異なる二つのアンテナを併設する場合には通常図 1 に示すように、尾翼(2)に絶縁間ゲキ(3)を介して低周波用テールキャップ(5)を、また絶縁間ゲキ(4)を介して高周波用テールキャップ(6)を設け、これらをアンテナとして使用する。

ところで、これらアンテナとくに高周波用アンテナの電気的特性はきわめて微妙であって、高周波用テールキャップ(6)の寸法形状を

適当に定めて所望の電気特性が得られるように設計しても、その後低周波用テールキャップの寸法形状、絶縁間ゲキ(3)の間隔、材料などをかえれば、高周波用アンテナの電気的特性は大きくくずれる欠点があった。この原因は低周波用アンテナの上記調整により高周波電流の電流分布が変わるためである。

そこでこの発明は、図 2 に示すように低周波用テールキャップ(5)の絶縁間ゲキ(3)に低周波はシャ断するが高周波アンテナの使用周波数は通過するフィルタ(7)を設けるようにしたことを特長とする

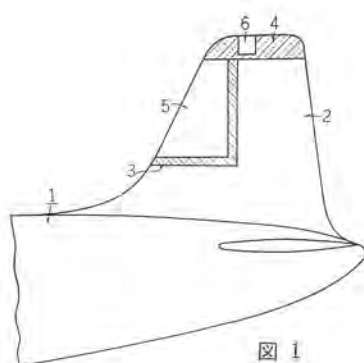


図 1

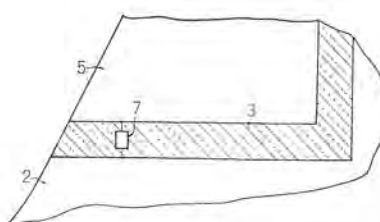


図 2

ものである。なおその入位置は低周波用テールキャップ (5) の絶縁間ギャップ (3) を除去し、尾翼 (2) に高周波用テールキャップ (6) のみを設けたと仮定したとき流れる高周波電流の電流密度の大きい個所に数個そう入する。このようにしておけば低周波用アンテナの調整すなわちテールキャップ (5) あるいは絶縁間ギャップ (3) の寸法などを加減しても高周波電流の電流分布にはほとんど影響を与えないため各アンテナは独立に設計あるいは調整を行なうことができる。

以上のようにこの発明は構成きわめて簡単で実現が容易である上、低周波用アンテナと高周波用アンテナ互に独立に最適特性になり得るため、この種のアンテナの設計製作に寄与するところ大なるものである。

(特許第 418416 号) (竹蔵記)

点 灯 制 御 装 置

考案者 野 島 謙 治・伊 吹 順 章

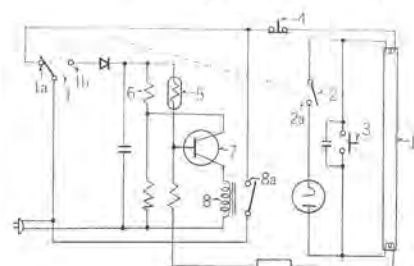
この考案はケイ光灯を自動点滅、あるいは手動点滅し得る点灯制御装置に関するものである。

すなわち図において、まずケイ光灯 (L) を手動操作により点滅させるには、互いに連動する切換開閉器 (1) と開閉器 (2) とを操作して接点 (1a) を閉合し、他方の接点 (2a) を開放しておく。このようにセッとしたのち、点灯用押しボタン開閉器 (3) を所定時間だけに閉合すればケイ光灯 (L) は点灯する。また消灯するには消灯用押しボタン開閉器 (4) を開放すればよい。次にケイ光灯 (L) を自動的に点滅させるには、上記切換開閉器 (1) を切換操作してその接点 (1b) と開閉器 (2) の接点 1 を閉合しておく。この状態において、周囲が暗くなれば光電素子 (5) を照射する光量が少なくなるとその内部抵抗が抵抗 (6) より大となるから、トランジスタ (7) が導通する。したがって、リレー (8) が動作してその常開接点 (8a) が閉合するので、フロースイッチ (9) が動作してケイ光灯 (L) は点灯する。なお、周囲が明るくなると光電素子 (5) の内部抵抗

が抵抗 (6) より小さくなるから、トランジスタ (7) は不導通になってリレーの接点 (8a) が開放してケイ光灯 (L) は消灯する。

以上のようにこの考案は、連動する切換開閉器 (1) と開閉器 (2) との各接点を切り換えておくことにより、ケイ光灯 (L) を自動点滅、あるいは手動点滅し得るものである。

(実用新案登録第 728322 号) (幸島記)



整 流 子 面 の 清 浄 装 置

考案者 小 山 建 次

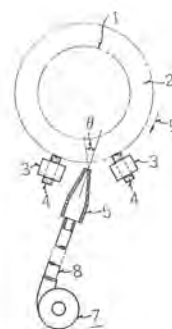
この考案は回転電機の整流子面を清浄に保つ装置に関するものである。

従来回転電機の整流子面はブラシあるいは整流子の摩耗による炭素あるいは銅などの粉末によってその表面が汚染され、長時間の運転後には上記じんあいと整流子片間に蓄積して整流特性を悪化し、保守上問題となっていた。この考案は整流子面上に高圧の空気を吹き付けまたは整流子面上から吹き込むことによって、整流子面上のじんあいを除去し常時整流子面を清浄にしようとするものであって、図において、(1) は回転電機の回転軸、(2) は整流子、(3) はブラシ保持器、(4) はこの保持器に支持され適当な圧力で上記整流子 (2) の表面に接触しているブラシ、(5) はその噴射口、(6) が上記整流子表面に対向した噴射管、(7) は連通管 (8) を介して上記噴射管 (5) に風を送給する別個の送風源である。噴射管 (5) は図に示すように噴射口 (6) から出る気流が整流子 (2) の回転方向 (9) と逆向きになるように所定角度 θ 傾斜して設置されている。以上のようにこの考案は噴射管 (5) を噴射口 (6) から出る気流が整流子 (2) の回転方向と逆向きになるよう傾斜させて設置したから効果的に整流子面上を清浄にでき、したがって送風器 (7) を小形かつ小容量にすることが可能となる。

またこの考案は別個に送風機を設けたから風量を任意に調節す

ることができ、整流子面に害を及ぼす程度のじんあいが蓄積された時期を見計らって風を供給すれば十分所期の目的を達成でき、じんあいの蓄積程度に関係なく常に風を供給する従来の回転電機にファンを内蔵したものに比べきわめて経済的であるなど多くの利点を有するものである。なお上記説明は整流子面を吹き付けるように構成した場合を示したがこれを逆に送風機 (7) の代わりに吸風機、噴射管 (5) の代わりに吸入管を設置し、整流子面のじんあいを連通管 (8) を介して吸い込むように構成することもできる。

(登録実用新案第 741472 号) (伊藤記)



次号予定

三菱電機技報 Vol. 39 No. 9

中央研究所 30 周年記念特集

特集論文

- 巻頭言
- 中央研究所の概況
- 質量分析計の開発
- 大電力パルスクライストロン
- 光磁気共鳴磁力計の応用
- 米国エイムス研究所向け複式中性子回折装置
- イオン交換樹脂によるクロペンゼンの精製
- 電解析分離
- 分相性ホウケイ酸ガラスの溶出過程の体積変化
- 透過形電子顕微鏡によるメルコロイ-Xの研究
- サイリスタ無整流子電動機
- 方向性電力分配回路とその応用
- 高速回転体
- 電解加工
- ダイヤモンドエポキシ絶縁
- GaAs インジェクションレーザ
- III-V 族化合物半導体結晶
- 17-7 PH ステンレスの RH 処理

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
常任委員	明石石精
"	安藤安二
"	石川理一
"	宇佐見重夫
"	大野寛孝
"	小路誠春
"	小堀富次雄
"	鈴木正材
"	祖父江晴秋
"	中野光雄
"	馬場文夫
"	宮内圭次
"	安松靖彦
"	山田栄一
委員	大森淳夫
"	尾畑喜行
"	樫本俊弥
"	神崎遼
"	島津大介
"	堀真幸
	(以上 50 音順)

昭和 40 年 8 月 22 日印刷 昭和 40 年 8 月 25 日発行
「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内)
(電) 東京 (212) 大代表 6111

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店
電話 (291) 0912 振替東京 20018

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本社	東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪営業所	大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町 3 の 88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号 天神ビル 5 階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111
仙台営業所	仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101
富山営業所	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151
広島営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111
高松営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 大代表 0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内 2 の 12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町 3 の 88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号・天神ビル 5 階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111
仙台商品営業所	仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101
富山商品営業所	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151
広島商品営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 代表 5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
横浜出張所	横浜市中区区沢 1 6 番地・高島台第 2 ビル (電) 横浜 (48) 6121~6123
新潟出張所	新潟市万代町 69 番地 (電) 新潟 (4) 0643
長野出張所	松本市白坂 212 番地 (電) 松本 (3) 1453
静岡出張所	静岡市江戸町 9 の 10・池田ビル (電) 静岡 (53) 代表 9186
北九州出張所	北九州市小倉区京町 10 の 28・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町 3 番 1 号・長崎交通産業ビル電長崎 (3) 代表 6101
金沢出張所	金沢市幸町 13 番 28 号 (電) 金沢 (31) 6213~4
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北 122 の 1 (電) 岡山 (24) 代表 0331
中央研究所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船 782 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 神戸 (67) 大代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小島町 122 番地 (電) 長崎 (3) 大代表 6211
稲沢製作所	稲沢市井之口町 (電) 稲沢 (32) 代表 4121~9
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275~9
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171
北伊丹製作所	伊丹市大庭字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
名古屋製作所	名古屋市中区東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (721) 2111
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 88 代表 0432
福山製作所	福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 (2) 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保 224 の 224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
静岡製作所	静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場町 1 番地 3 号 (電) 中津川 (5) 大代表 2121
大船製作所	鎌倉市大船 800 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
郡山製作所	郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 (2) 1220~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松 800 番地 (電) 太田 代表 4311
無線機製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所 1 (電) 京都 西山 (92) 代表 4171
鎌倉製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
伊丹工場	伊丹市大庭字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
相模製作所	相模原市小山字久保 224 の 224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
世田谷工場	東京都世田谷区池尻町 437 番地 (電) 東京 (414) 代表 8111
伊丹製作所	三田市三輪町字父々部 85 番地 (電) 三田 4371~4375
三田工場	三田市三輪町字父々部 85 番地 (電) 三田 4371~4375
札幌営業所	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (22) 3976
札幌工場	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (22) 3976