

# 3.6～36kV用遮断器及び閉鎖配電盤の最近の動向

## Recent Development and Trends of Medium Voltage Circuit Breakers and Metal-clad Switchgear

石上維宏\* Masahiro Ishigami

渡辺英雄\* Hideo Watanabe

3.6～36kV用遮断器としては信頼性、操作性、保守点検性などいずれの点でも他の遮断器に比べ優れている真空遮断器が、省資源、省エネルギーという顧客のニーズと合致し、国内・外とも生産台数でその主流を占めるに至っている。日立製作所ではこれらの動きに十分対応できるよう原子力発電所用大容量器から小容量器まで国際規格に適合した3.6～36kVの真空遮断器をシリーズ化した。

一方、閉鎖配電盤では真空遮断器の特長に呼応して、メンテナンスフリー化、縮小化を進めるとともに、原子力発電設備への適用など用途の拡大が図られている。諸外国でもこの傾向は同じであり、真空遮断器収納閉鎖形配電盤が小油量遮断器収納閉鎖配電盤をしのご日は近いと考える。

### 1 緒言

1960年代に3.6/7.2kV用真空遮断器が実用化の緒につき、その優れた絶縁性能と遮断性能、優れた保守点検性、生産設備の合理化によるコストダウン、高信頼性、大容量化、低サーージ化などの技術開発によって3.6～36kV用の遮断器として、日本国内だけでなくアメリカ、イギリスなど諸外国でも小油量遮断器、磁気遮断器に代わり、真空遮断器化の動きは世界的な流れとなっている。この真空遮断器の動向とこれを収納した閉鎖配電盤の動向について概説する。

### 2 3.6～36kV用遮断器のニーズと動向

#### 2.1 遮断器の変遷と動向

3.6～36kV用閉鎖配電盤に内蔵される遮断器として、従来から油入遮断器、小油量遮断器、磁気遮断器、空気遮断器、SF<sub>6</sub>ガス遮断器などがあり、数年前までは油入遮断器がその主流を占めていた。しかし表1に示すように、小形、軽量、長寿命、低騒音、優れた保守点検性など、多くの特長をもつ真空遮断器は顧客のニーズと合致し、真空バルブの製造技術の発達と信頼性の向上、開閉サーージ発生メカニズムの解明とその対応策の確立によって、図1に見るように現在ではこのクラスを代表する遮断器となった。日立製作所では現在の姿を予測して1960年に電極材料の研究に着手し、1964年7.2kV、8kA真空遮断器を製品化して以来20有余年を経過、既に2万台以上の遮断器を社会に送り出している。これらの実績を通じてその信頼性が認められ、従来、変電所だけに適用されていた電力会社向け真空遮断器は、火力発電所、原子力発電所の分野にまで進出するに至った。

一方、一般産業、ビル、上下水道、電鉄などの民需の分野でも真空遮断器の採用が着実に増えている。これらの傾向は海外でも同様であり、真空遮断器の生みの親であるアメリカはもちろんのことイギリスでも早くから磁気遮断器、油入遮断器を真空遮断器へ転換する努力が図られている。小油量遮断器が主流であったヨーロッパでは、シーメンス社が真空遮断器を発表するに及び3.6～36kV遮断器での真空遮断器への転換は世界的な傾向となった。

また、最近設備投資の活発な中近東、東南アジア、中南米

表1 各種遮断器の性能、保守、耐環境性比較 真空遮断器は性能、保守性、耐環境性のいずれもが優れている。

比較項目		OCB	MOB	MBB	VCB	
性	遮断性能	○	○	○	◎	
	開閉寿命	△	○	△	◎	
	開閉サーージ	◎	○	◎	△(◎)*	
	遮断時の騒音	△	△	×	◎	
能	危険性	火災	×	△	○	◎
		噴油	×	△	◎	◎
		噴煙	×	△	×	◎
耐久性	消弧室	△	○	○	◎	
	接触部	△	○	△	◎	
保守点検	頻度	△	○	△	◎	
	清潔さ	×	×	○	◎	
	容易さ	×	△	○	◎	
設置環境	高湿度	○	○	×	◎	
	設置スペース	×	○	△	◎	
	騒音問題	△	△	×	◎	

備考 1. 表中の記号◎, ○, △, ×は、各項目ごとに優れたもの、有利なもの相対的な順位を示す。

2. \* ( )は、開閉サーージ保護装置付、又は低サーージ形の場合を示す。

注：略語説明

OCB(油入遮断器), MOB(小油量遮断器), MBB(磁気遮断器), VCB(真空遮断器)

地域などの諸国でも小油量遮断器から真空遮断器への転換が上記流れとマッチして図られている。

#### 2.2 真空遮断器の構造とシリーズ化

真空遮断器の心臓部である真空バルブは、図2に示すように絶縁筒、固定・可動電極、シールド、ペローズなどから構成されている。電極及びシールドの構造、材質及びその製法は、真空遮断器の遮断性能、絶縁性能を左右する。これらの研究、改善によって、1980年日立製作所は従来の磁気遮断器に比べ体積重量とも40%の7.2kV、63kA原子力発電所用の真空遮断器を開発し製品化した。その外観を図3に示す。これ

\* 日立製作所国分工場

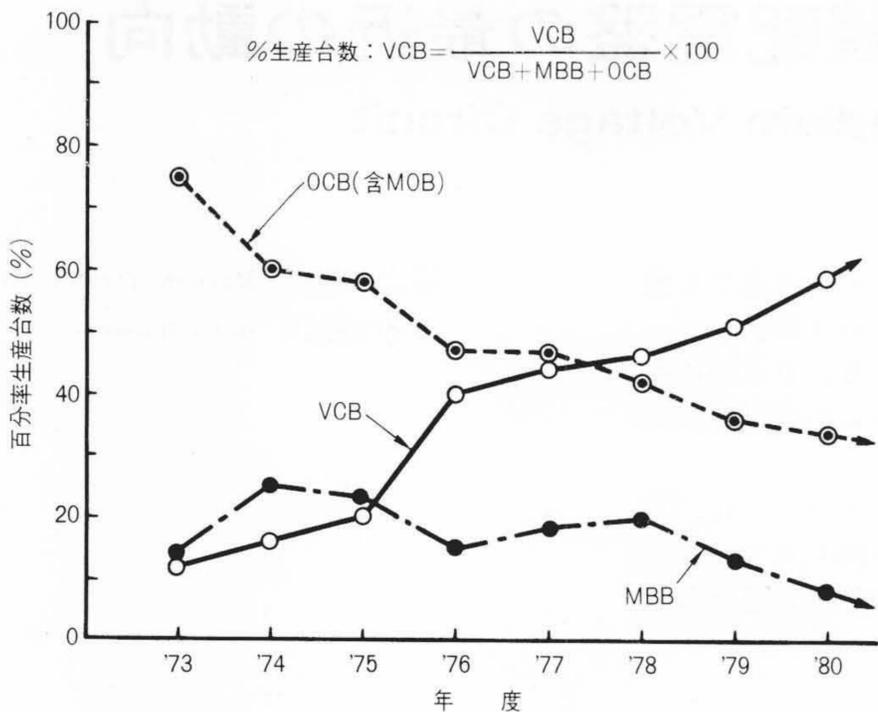


図1 国内での油入遮断器、真空遮断器及び磁気遮断器の年度別百分率生産台数 油入遮断器、磁気遮断器の減少と真空遮断器の顕著な増加が見られる。

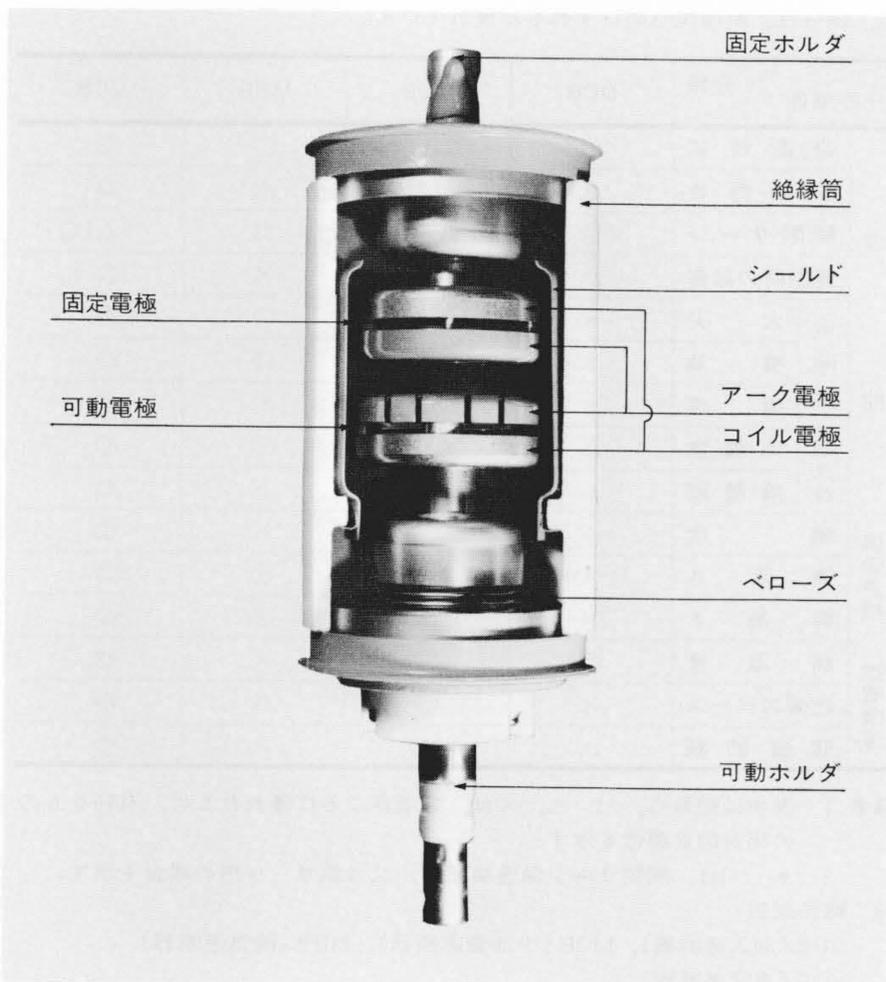


図2 真空バルブ 12kV, 630A, 25kA真空バルブの断面を示す。

らの技術をもとに、15kV級では50kAまで、24kV級では40kAまでの真空遮断器を開発することによって36kVまでの真空遮断器収納閉鎖配電盤の製作を可能にした。これらのシリーズ化状況は表2に示すとおりであり、このシリーズ化によって電力会社向け変電設備、配電設備、火力水力、原子力などの発電プラント、民需向け製鉄プラント、上下水道プラント、化学プラントなど、あらゆる要求に十分対応可能なものとなっている。

現在日立製作所でシリーズ化している3.6~36kVクラスの遮断器としては、真空遮断器の外にガス遮断器、磁気遮断器、油入遮断器などがあるが、これらの対応可能な定格範囲は図4に示すとおりであり、真空遮断器が電圧、電流的に自由度が大であることが分かる。

表2 真空遮断器の定格一覧表 大容量から小容量まで標準化され、各分野のニーズにこたえられる。

定格電圧	7.2kV	12kV	15kV	24kV	36kV
8 kA	400A	—	—	—	—
	630A	—	—	630A	—
	630A	—	—	—	—
16kA	1,250A	630A	—	—	—
	2,000A	—	—	—	—
20kA	630A	—	630A	—	—
	1,250A	630A	1,250A	—	—
	2,000A	—	2,000A	—	—
25kA	—	630A	630A	1,250A	1,250A
	—	1,250A	1,250A	2,000A	—
	—	2,000A	2,000A	2,500A	2,000A
31.5kA	—	1,250A	—	—	—
	—	2,000A	—	—	—
40kA	1,250A	—	1,250A	1,250A	—
	2,000A	—	2,000A	2,000A	—
	3,000A	—	3,000A	—	—
50kA	1,250A	—	1,250A	—	—
	2,000A	—	2,000A	—	—
	3,000A	—	3,000A	—	—
63kA	1,250A	—	—	—	—
	2,000A	—	—	—	—
	3,000A	—	—	—	—

注：適用規格 IEC(International Electrotechnical Commission)  
BSI(British Standards Institute)  
ANSI(American National Standards Institute)  
JEC(Japanese Electrotechnical Committee)

### 2.3 真空遮断器の小形化と大容量化

真空中での小電流アークは数千アンペアでは分散しているが、更に電流が増大するとアークの収縮現象を起し陽極面上に陽極スポットを発生させ、溶融現象を生じさせる。これにより金属蒸気の過大な発生を伴い、電極空間の絶縁回復を遅らせ再発弧の原因となる。したがって、大容量化のためには電極材料の検討とともにアークを制御し、電極の局部加熱を防止する工夫が必要である。アーク制御の方法として次の2方法がある。

- (1) アークに直交する磁界を印加し、電極上を磁気駆動力で回転させ局部加熱を防止する方法(磁気駆動形電極)。
- (2) アークに平行な磁界を印加し、電極全面にアークを分散させ、局部加熱を防止する方法(多極性平行磁界電極)。

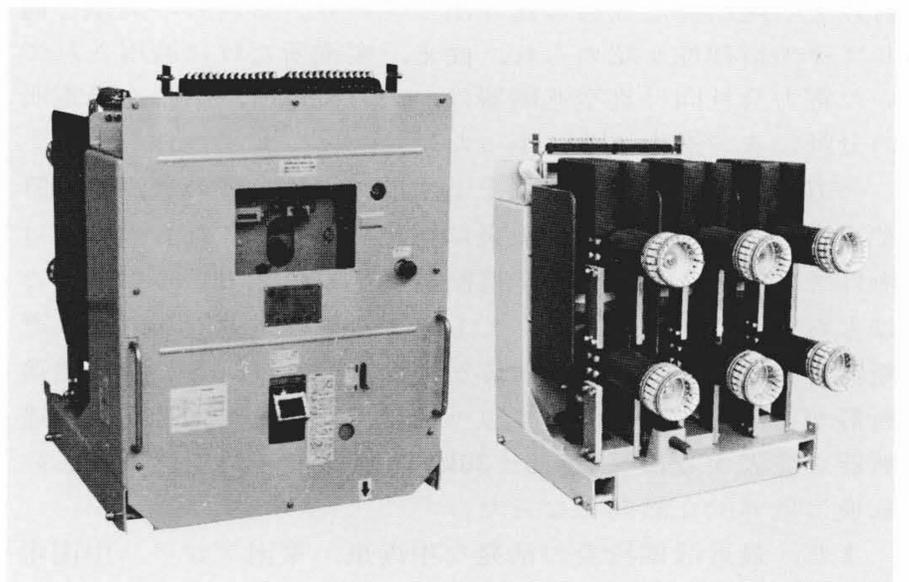
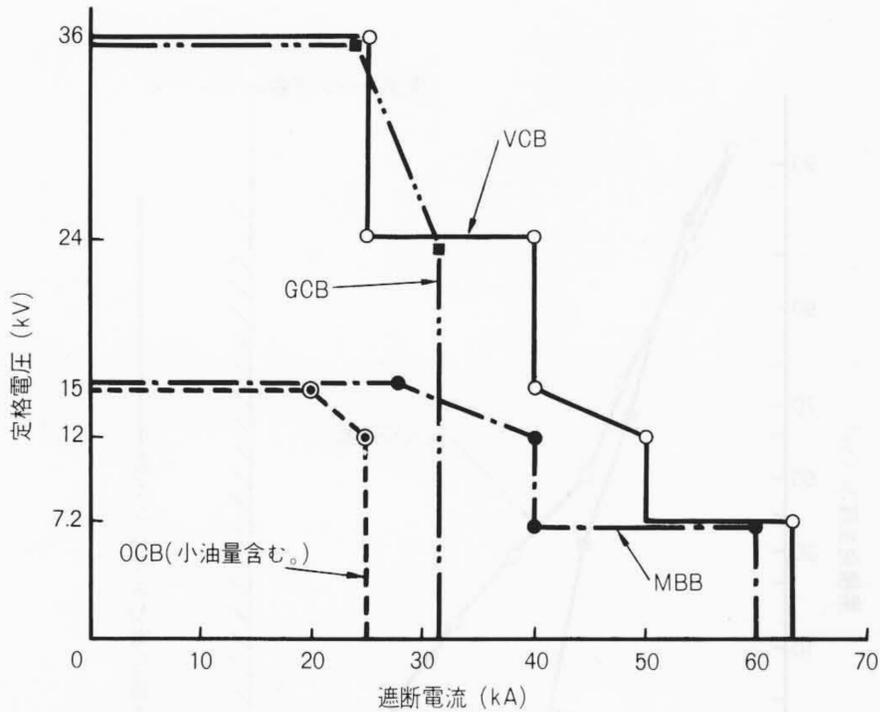


図3 7.2kV, 3,000A, 63kA真空遮断器の外観 従来の磁気遮断器に比べて容積、重量とも40%に縮小した。保守点検性、安全性を重視したデットフロント構造である。



注：略語説明 GCB(ガス遮断器)  
 図4 磁気遮断器，油入遮断器，ガス遮断器及び真空遮断器の定格範囲 真空遮断器が電圧，電流的に自由度が大きいことが分かる。

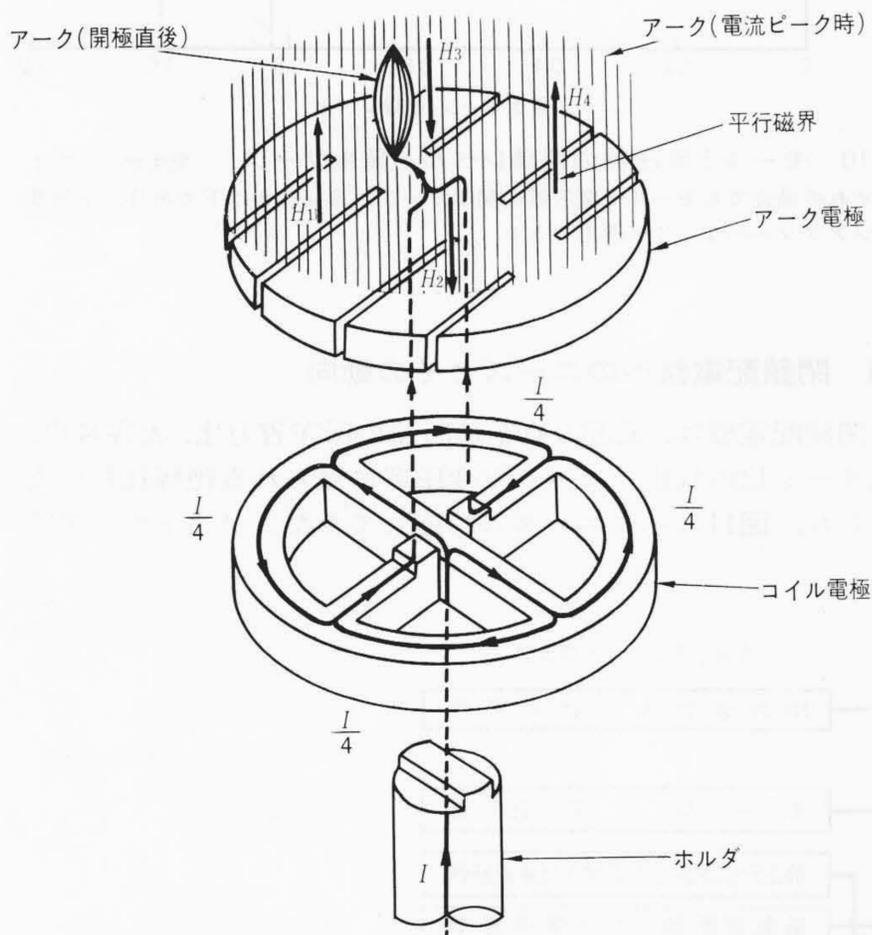


図5 多極性平行磁界形電極 平行磁界により，アークは電極全面に一様に分散される。

日立製作所ではそれぞれの特長を生かし，遮断電流20kA以下の小容量器には磁気駆動形電極を，大容量器には多極性平行磁界形電極を採用している。

大容量器用として開発した日立製作所独自の構造をもつ多極性平行磁界形電極の原理図を図5に示す。事故電流  $I$  はコイル電極により  $\frac{I}{4}$  に分けられ，この電流によって隣り合うもの同士，極性の異なる四極性の磁界 ( $H_1 \sim H_4$ ) をアークと平行に発生させるものである。この磁界によって大電流でもアークは多数の小電流アークに分けられ電極間に一様に分散するので，電流密度が下がり遮断性能を向上することができる。

図6に電極全面に分散したアークの写真を示す。磁気駆動形電極ではアークの収縮現象により陽極面の溶融を防ぐことが

できず，遮断性能は40kAを超えると飽和する傾向にある。多極性平行磁界形電極の採用によって，電極直径の小形化が進むとともに，従来，遮断性能上の壁であった40kAを超えることができた。この関係を図7に示す。これらの技術的進歩により真空遮断器容積，重量及び真空バルブ直径とも開発当初の50%以下に小形・軽量化されてきた。図8にその経緯を示す。

2.4 低サージ化

真空遮断器の開閉サージに関する研究は数多くなされ，現在その発生メカニズムは完全に解明された。一方，開閉サー

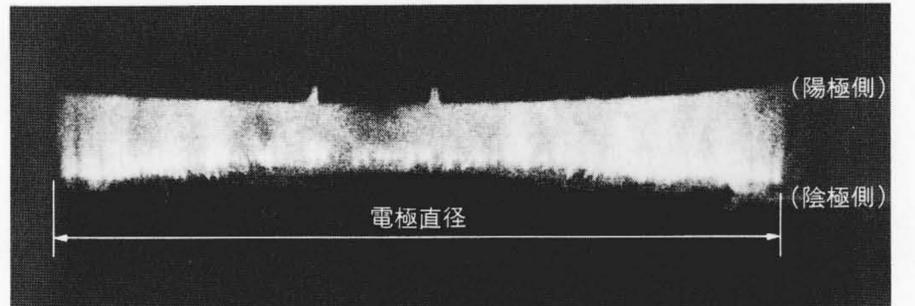


図6 多極性平行磁界電極でのアークの挙動 アークは電極全域で一様な分布となる。

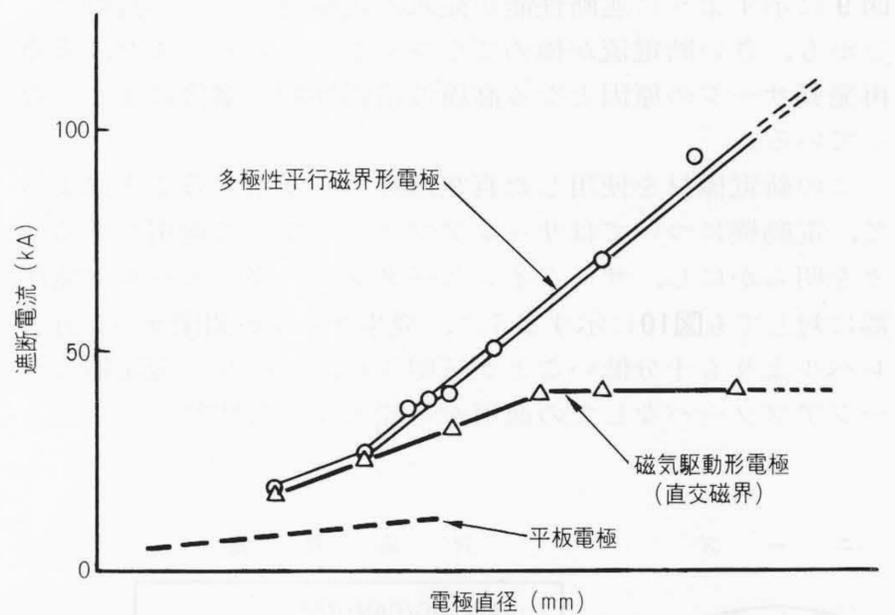


図7 電極直径と遮断電流の関係 多極性平行磁界形電極の遮断電流は，電極直径とともに増大する。

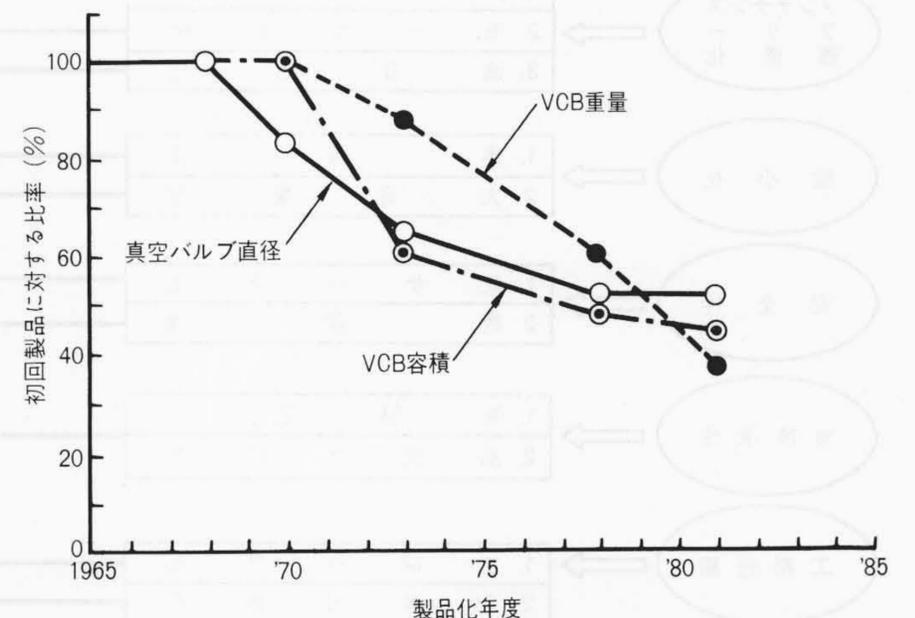


図8 真空遮断器の重量，容積及び真空バルブ直径の変遷 真空遮断器の重量，容積及び真空バルブ直径とも開発当初の50%以下に小形・軽量化されてきた。

電極材料	さい断電流 (A)					遮断性能 (%)					高周波電流遮断特性				
	2	4	6	8	10 12	60	80	100	120	140	20	40	60	80	100
従来電極材料	[平均値] [最大值]					[ ]					[ ]				
試験電流: 14Arms											試験周波数: 1MHz				
新電極材料	[ ]					[ ]					[ ]				
試験電流: 7Arms											試験周波数: 1MHz				

図9 従来電極材料と新電極材料との性能比較 新電極材料では遮断性能が良好で、サージの原因となるさい断電流も小さく、また多重再発弧の原因となる高周波消弧性能も小さくなっている。

ジの対応策(サージアブソーバ)も、従来、コンデンサが用いられてきたが酸化亜鉛避雷器の出現によって、より小形で信頼性の高い保護が可能となった。これらのサージ対策とは別に、真空遮断器自体の発生するサージを少なくする研究開発が行なわれている。従来の低さい断電流の電極材料は一般的に遮断性能が悪く、遮断器用としては比較的さい断電流の大きいCuを主成分とする遮断性能の良好な電極材料が使用されてきた。新しく開発した電極材料はAgを含む合金であるが、図9に示すように遮断性能が従来の電極材料よりも良好で、しかも、さい断電流が極めて小さくなっている。また、多重再発弧サージの原因となる高周波消弧性能も格段に小さくなっている。

この新電極材を使用した真空遮断器を使用することによって、電動機についてはサージアブソーバなしで適用できることを明らかにし、サージインピーダンスの高いモールド変圧器に対しても図10に示すように、発生サージが開閉サージ許容レベルよりも十分低いことが証明され、モールド変圧器もサージアブソーバなしでの適用が可能となった<sup>1)~4)</sup>。

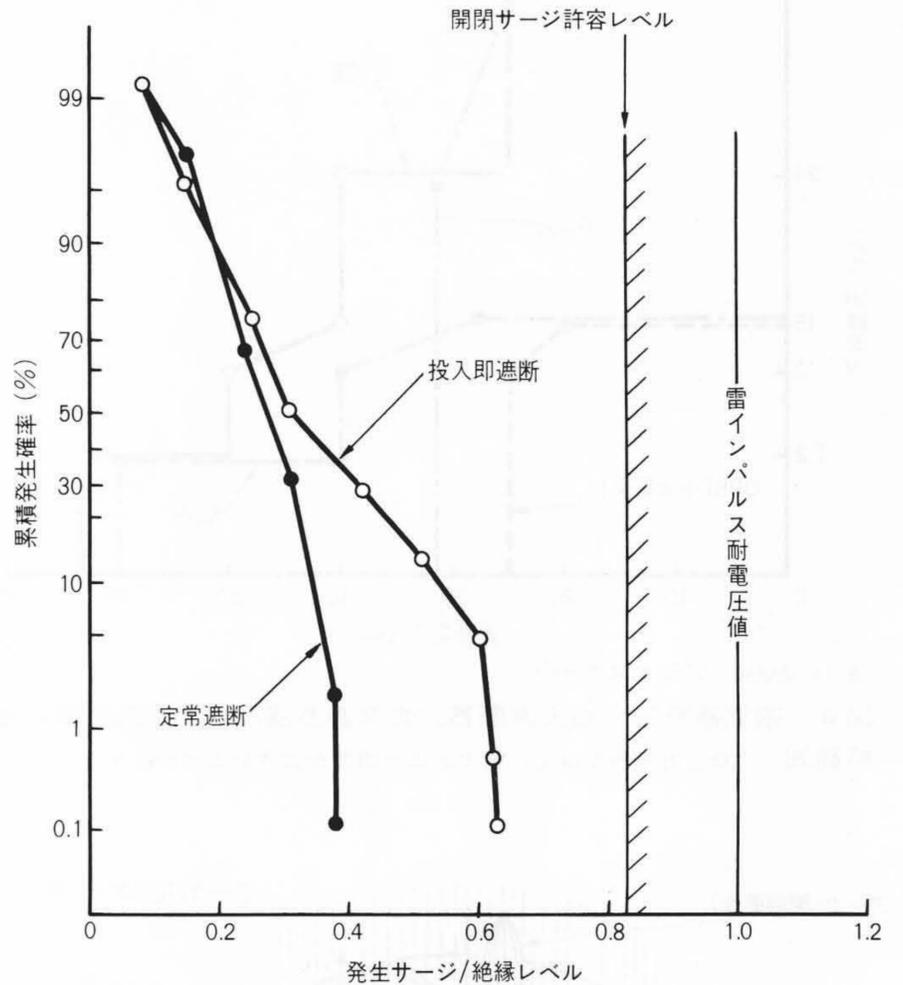
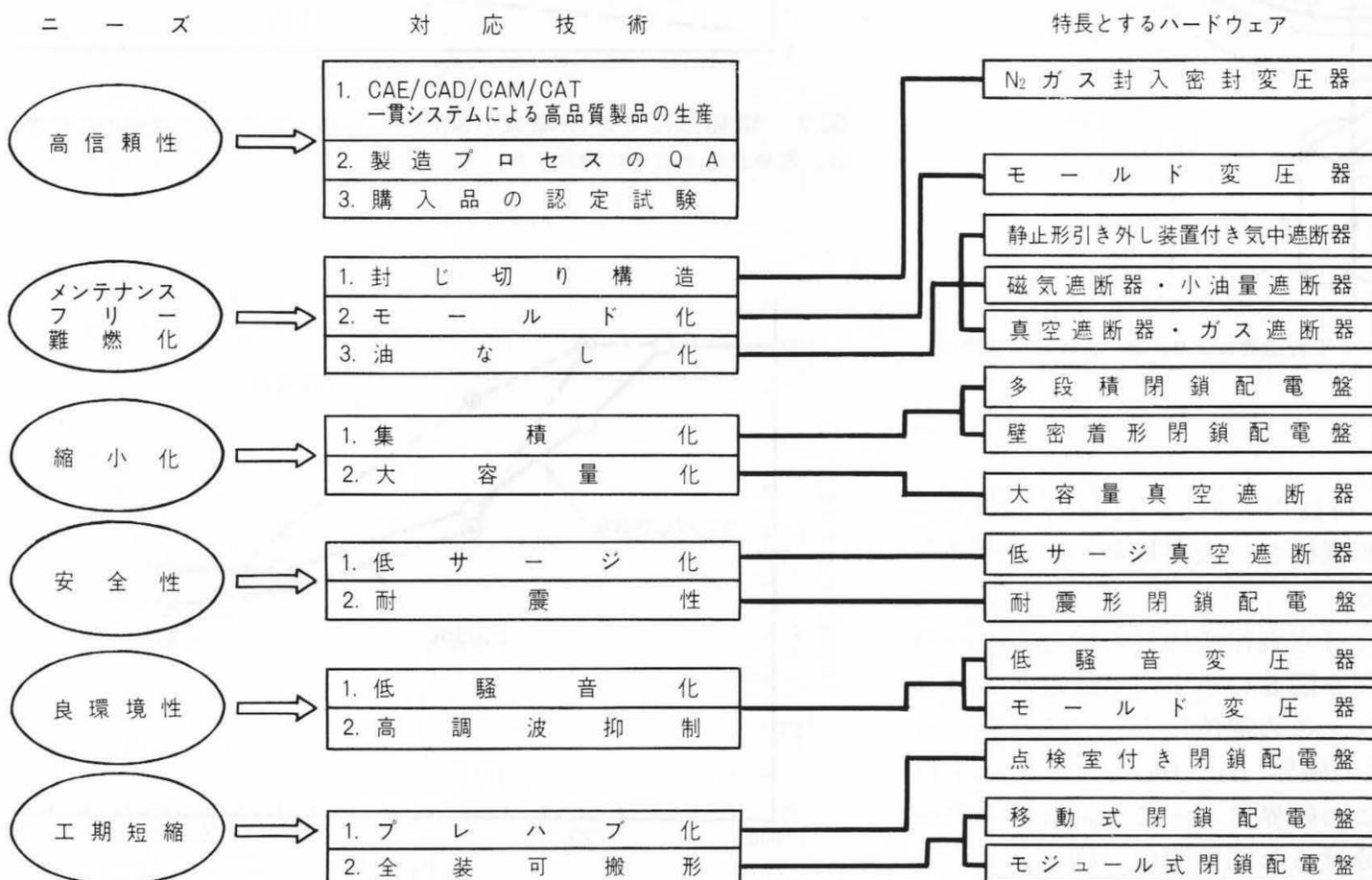


図10 モールド変圧器の絶縁レベルと発生サージ 発生サージでは、いずれの場合でもモールド変圧器の開閉サージ許容レベル以下であり、十分サージアブソーバなしでも適用できる。

### 3 閉鎖配電盤へのニーズとその動向

閉鎖配電盤は、最近の真空遮断器の保守省力化、大容量化、低サージ化の技術とモールド変圧器に見られる絶縁技術に支えられ、図11に示すニーズに対応してきた。ソフトウェア的



注: 略語説明 CAE(Computer Aided Engineering) QA(Quality Assurance)  
 CAD(Computer Aided Design)  
 CAM(Computer Aided Manufacturing)  
 CAT(Computer Aided Testing)

図11 閉鎖配電盤に対するニーズとハードウェア 閉鎖配電盤に対する社会的ニーズとそれにこたえる技術及びその技術を使用したハードウェアを示す。

には電子計算機によるCAE(Computer Aided Engineering)によってシステムの解析が行なわれ、より合理的なものとなっている。以下に具体例について述べる。

### 3.1 高信頼性

原子力、火力、水力などの発電プラント、石油化学、鉄鋼などの連続プロセスプラント、上下水道、電鉄、あるいはビル用などの公共性の高い設備でのシステムダウンは、生産上の被害の巨額さに加え人身にかかわる社会への影響が大きく、設備システムの信頼性ととも各機器に要求される信頼度はよりいっそう高まっている。高信頼性ニーズに対応し、CAE、CAD(Computer Aided Design)、CAM(Computer Aided Manufacturing)、CAT(Computer Aided Testing)など、システムの設計から各機器の設計製造、及び検査に至るまで計算機を使用して高品質の製品が生産されている。計算機による解析例を図12に示す。また高品質の製品が常に生産されるために、設計だけでなく関連部門、研究所などの知識を入れ、設計内容を審査するデザインレビュー、製造過程での品質管理、環境管理、他社からの購入品に対する認定試験、及び実機による加速寿命試験や過酷試験などの信頼性試験の実施によって、万全の品質保証(Quality Assurance)体制がとられている。

### 3.2 メンテナンスフリー、難燃化

人件費の縮減、人材の確保難などの理由によって、経済性の点で難点はあるが機器のメンテナンスフリーが要求され、油入機器から乾式化、モールド化が図られている。ビル、駅舎など多数の人が出入りする場所には、防災上の点から難燃性の機器が要求され、特に油の使用量の多い変圧器では、36kV以下にはエポキシモールド変圧器が使用され、保守の省力化と難燃化とが図られている。それらに呼応して3.6~36kV遮断器では油入遮断器から小油量遮断器、更に真空遮断器に移行し図13に示すように保守点検間隔を伸ばし、省力化と難燃化を図っている。

### 3.3 縮小化

12~36kV受変電設備では収納遮断器が空気遮断器からガス遮断器及び真空遮断器へと移行し、より小形な受変電設備が

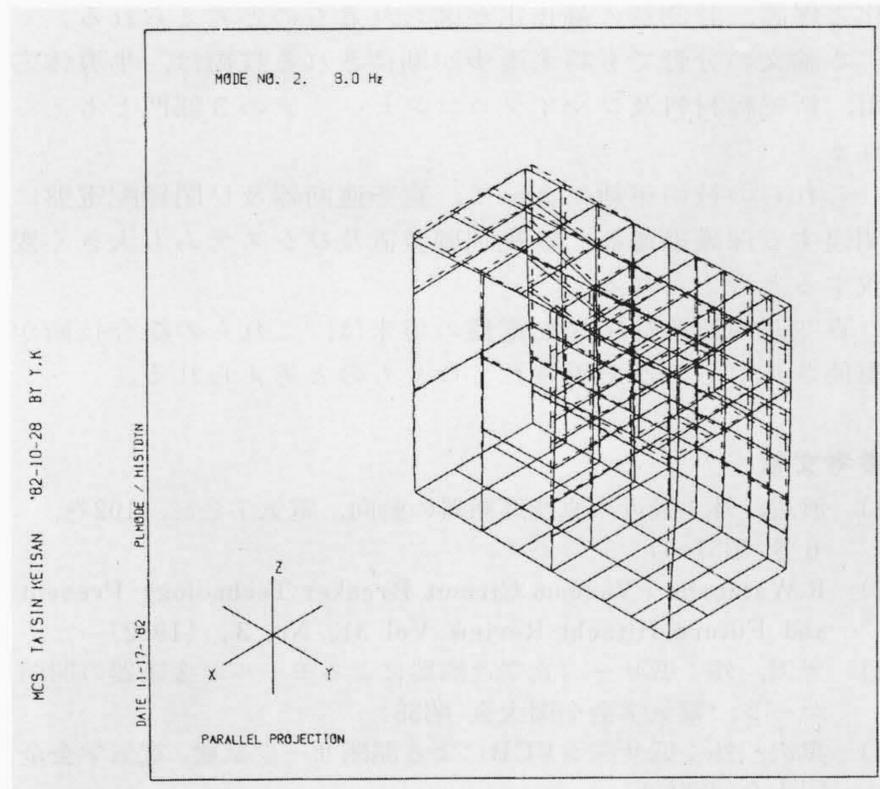


図12 閉鎖配電盤の固有振動モード 耐震性能を要求される閉鎖配電盤には、計算機による振動特性解析が行なわれる。

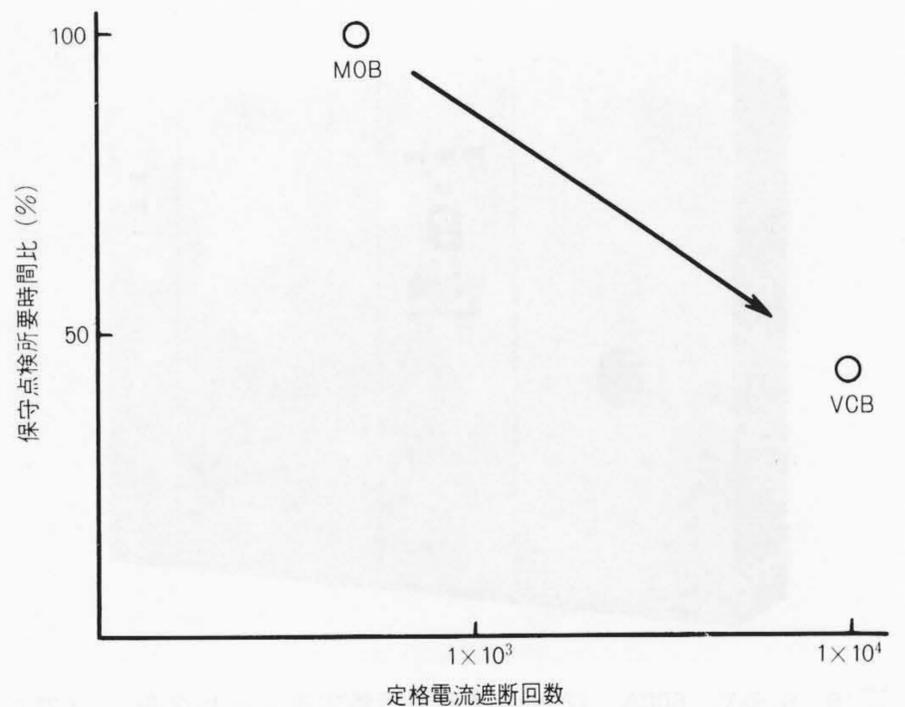


図13 保守点検を必要とする定格電流遮断回数と保守点検に要する時間比 真空遮断器は小油量遮断器に比べ多頻度使用に適し、保守点検間隔を大幅に伸ばし、保守に要する時間を大幅に短縮した。

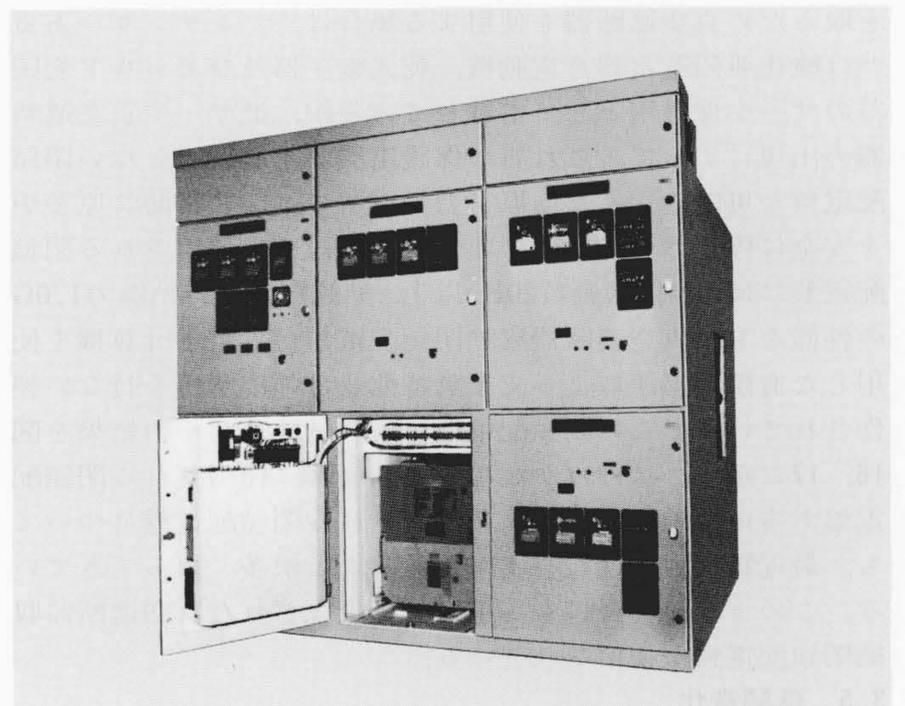


図14 6.9kV, 3,000A, 63kA大容量真空遮断器収納2段積閉鎖配電盤 本器により火力発電所、原子力発電所の電気室の縮小と保守の容易さが可能となった。

製作されている。また3.6~7.2kV閉鎖配電盤では段積数を増やし、スペースの縮小化を図っているが、収納遮断器も従来小油量遮断器、磁気遮断器から今後は前述の諸特長をもつ真空遮断器が使用されると考えられている。石炭燃焼大容量発電プラント、原子力プラントなどでは、所内負荷率が増大し所内変圧器容量も大きく、また補機電動機の起動電流による電圧降下を抑えるため、所内変圧器のインピーダンスを小さくする必要があり、大容量遮断器が要求される。大容量真空遮断器の開発・製作によって図14に示すように6.9kV、63kA閉鎖配電盤を2段積で製作可能となり、電気室の小形化が図られている<sup>5)</sup>。6.9kV、12.5kA真空遮断器を収納した閉鎖配電盤では、真空遮断器の小形化によって奥行を700mmとすることにより、前面から保守することを可能とし、壁面に密着し設置することによって変電室のスペースの有効活用が図られている。図15に薄形壁密着式キュービクルを示す。

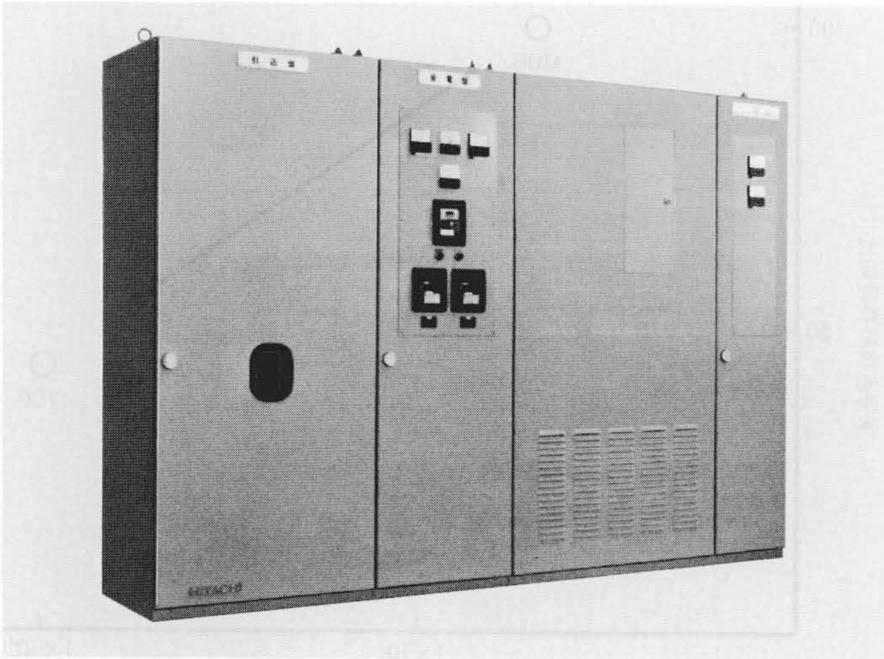


図15 6.9kV, 600A, 12.5kA薄形壁密着式キュービクル 本器の採用により電気室を有効に利用できるなど、既設受変電設備の更新に最適である。

### 3.4 安全性

機器に対する安全性向上として、負荷の絶縁耐力との協調を取るため真空遮断器を使用する場合は、コンデンサーあるいは酸化亜鉛避雷器を電動機、乾式変圧器及びモールド変圧器のサージ保護用として搭載しているが、低サージ真空遮断器の出現によって、これらの保護用機器を必要としない閉鎖配電盤が可能となった。原子力発電所では、非常時に原子炉を安全に停止させるための非常用電源設備に使用される閉鎖配電盤には、共振振動数20Hz以上、動的機能維持地震力1.0Gの性能をもつ真空遮断器収納閉鎖配電盤が、電子計算機を使用した有限要素法によって振動特性及び強度解析を行ない製作されている。この閉鎖配電盤の耐震試験及びその結果を図16、17に示す。このほかビルなど高層階に使用される閉鎖配電盤あるいは地震多発地域に設置される閉鎖配電盤についても、最近特に耐震性能を要求されることが多くなってきている。このような場合にも、小形・軽量化された真空遮断器収納閉鎖配電盤が使用されている。

### 3.5 低騒音化

最近の工業地域と居住地域との接近によって、騒音防止対策は不可欠となっている。音源としては、遮断器開閉時の間欠音と変圧器及びリアクトルの連続音があるが、遮断器開閉時の間欠音は空気遮断器がほとんど使用されなくなった現在

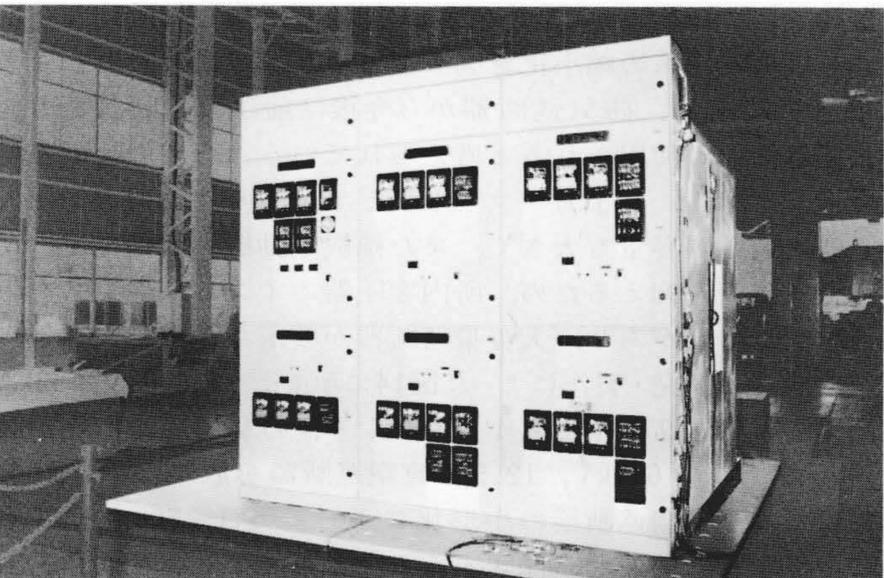
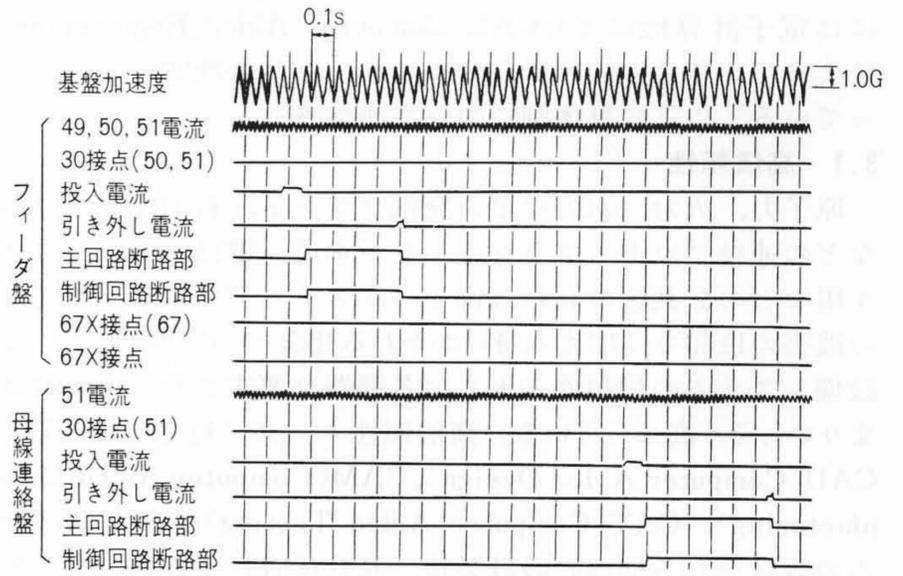


図16 耐震試験中の閉鎖配電盤 3面列盤で前後方向、左右方向とも20Hz以上の剛性をもっている。



耐加速度試験オシログラム左右方向(20Hz) 母線連絡盤とファイダ盤2面

図17 耐加速度試験結果 継電器の誤動作、チャタリングのないこと、遮断器動作の正常なことが分かる。

では、あまり問題とならない。変圧器、リアクトルなどの連続音については、低騒音変圧器の採用検討を含め、変電所の騒音分布を電子計算機を使用し、等騒音値曲線を求め十分検討しておく必要がある。

### 3.6 工期短縮

海外向けプラントでは、プラント自身がモジュール化され現地での作業は据付け、試運転作業に局限化し、海外での作業工期の短縮を図る傾向になってきている。

閉鎖配電盤も同様に、生活に必要な冷暖房設備と厨房設備を一体化し、モジュールユニットとしてこれを船舶でサイトに運び、そのまま基礎の上に据え付けるようなバンタイプ配電盤も計画され、サイトでの工期短縮が図られている。

## 4 結 言

7.2~36kV用真空遮断器及び閉鎖配電盤の現状と将来について展望した。真空遮断器については、当面は小形化、大容量化、低サージ化が進み、閉鎖配電盤では、モールド絶縁技術と収納機器の小形・軽量化によって当面は更に高密度集積化と保護、計測器の静止化が図られるものと考えられる。

本論文の分野でも将来進歩が期待される技術は、半導体応用、新絶縁材料及びマイクロコンピュータの3部門と考えられる。

これらの技術革新によって、真空遮断器及び閉鎖配電盤に関連する保護継電器、監視制御装置及びシステムも大きく変貌すると考えられる。

真空遮断器及び閉鎖配電盤の将来は、これらの総合技術が駆使されたものが適用されてゆくものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 渡辺, 外: 最近の真空遮断器の動向, 電気学会誌, 102巻, 6号(昭57-6)
- 2) R.Watanabe: Vacuum Circuit Breaker Technology-Present and Future, Hitachi Review Vol. 31, No. 3, (1982)
- 3) 黒沢, 外: 低サージ真空遮断器によるモールド変圧器の開閉サージ, 電気学会全国大会(昭58)
- 4) 黒沢, 外: 低サージVCBによる開閉サージ試験, 電気学会全国大会(昭56)
- 5) 吉川, 外: 原子力発電所用大容量真空遮断器2段積メタルクラッド配電盤, 日立評論, 64, 2, 579~590(昭57-2)