

原子力発電所用大容量真空しゃ断器 2 段積 メタルクラッド配電盤

Metal-clad Switchgear with Large Capacity Vacuum Circuit Breaker in Two-Tier Arrangement for Nuclear Power Plants

原子力発電所の主機容量の増大に伴い、6.9kV所内補機回路の短絡容量は63kAが必要となっているが、このたび日立製作所では、7.2kV、63kA真空しゃ断器 2 段積メタルクラッド配電盤を開発した。

真空しゃ断器は、信頼性・操作性・保守点検のいずれでも従来のしゃ断器に比べて優れており、これを 2 段に収納したメタルクラッド配電盤は、所要スペースを半減できるため、電気室面積を縮小して建築コストを節減できる利点をもっている。

また、原子力発電所用として必要な耐震性を備えるべく詳細解析して開発し、十分な検証テストで裏付けした。

吉川 功* Isao Yoshikawa

渡辺英雄* Hideo Watanabe

杉谷信二* Shinji Sugitani

1 緒 言

近年、原子力発電所の主機容量の増大に伴い、補機容量、所内変圧器容量が大きくなっているが、加えて補機電動機の起動電流の増大による電圧変動を許容限度に抑えるため、所内変圧器のインピーダンスを小さくする必要がある。このため、発電所内の 6.9kV 回路の短絡容量が増大し、しゃ断電流 63kA のしゃ断器が必要となった。

従来、大容量しゃ断器としては磁気しゃ断器が使用されてきたが、最近の発電所環境条件に、より適合した真空しゃ断器が使用されるようになってきた。日立製作所では 7.2kV、1,200～3,000A、しゃ断電流 63kA の真空しゃ断器を 2 段積に収納したメタルクラッド配電盤を開発したので、その特長、構造、試験結果などについて概要を述べる。

2 特 長

本真空しゃ断器は、多極性平行磁界形電極の採用により、コンパクトで取扱いの容易な構造となっており、メタルクラッド配電盤は 2 段積としたことによる構造上、取扱上の複雑化を避けるように数々の工夫がなされている。図 1 に 63kA 真空しゃ断器 2 段積メタルクラッド配電盤の外観を示す。

主な特長は次に述べるとおりである。

2.1 小形・軽量

真空しゃ断器 2 段積メタルクラッド配電盤は、従来の磁気しゃ断機収納盤と同じ幅・高さの盤に 2 段積として、床面積・容積ともに 54% に縮小され、重量は 45% に軽量化されているので、発電所での盤配置の自由度が高まり、スペースの有効利用ができる。

A 発電所での磁気しゃ断器収納メタルクラッド配電盤を使用した場合と真空しゃ断器 2 段積メタルクラッド配電盤を使用した場合の盤配置検討例を図 2 に示す。

真空しゃ断器 2 段積を使用した場合、電気室(メタルクラッド室)の所要面積は、従来に比べ 69% となり、約 171m² のスペース合理化が可能である。

2.2 長寿命・保守点検が省力化

真空しゃ断器は、しゃ断部接点の消耗が少ないため、負荷



図 1 真空しゃ断器 2 段積メタルクラッド配電盤 小形・軽量で、取扱い・操作は容易である。

電流開閉寿命は 1 万回であり、かつ接点の点検・保守を必要としない。

2.3 構造が簡単、取扱い容易

2 段積で実装密度が 2 倍になっているにもかかわらず、構造を簡素化して、取扱いを簡便にしている。

母線の点検・保守は、盤内で直立姿勢で作業できる構造である。

2.4 高い信頼性・安全性

真空しゃ断器は、接点が露出していないので、塵埃・湿度・腐食性ガスなどの影響を受けない。更に、操作機構は長年の実績をもつ電磁操作方式を採用して信頼性を高めた。しゃ断の際も、ガスや熱を排出することがないので安全である。

* 日立製作所国分工場

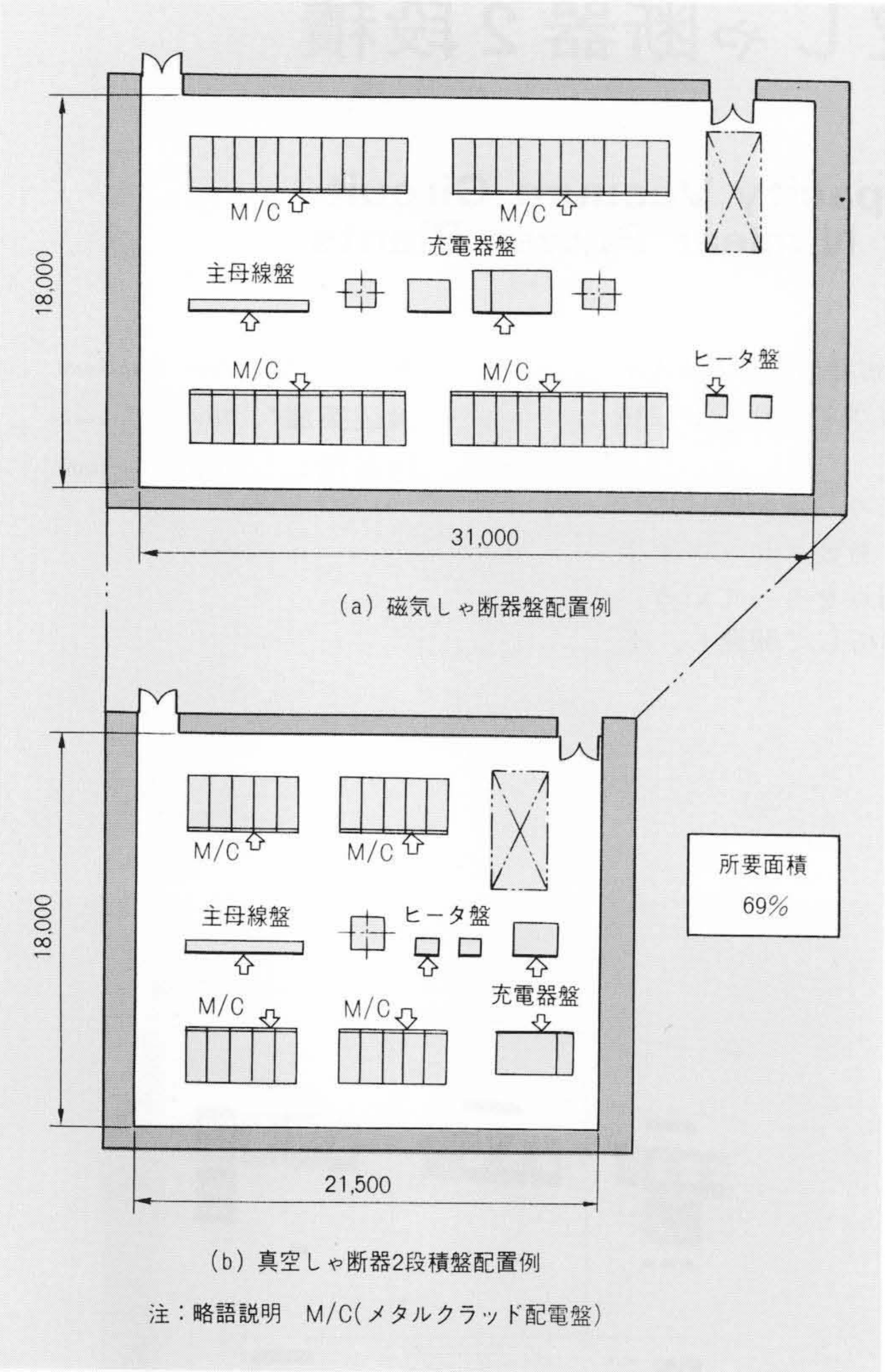


図2 真空しゃ断器2段積メタルクラッド配電盤による盤配置検討例 真空しゃ断器を使用した場合、磁気しゃ断器を使用した場合に比べ、所要面積を69%に節減できる。

3 定格・仕様

表1に、HS6G2G形メタルクラッド配電盤とKVGMS形真空しゃ断器の定格及び仕様を示す。メタルクラッド配電盤は、標準形と耐震形の2系列があるが、真空しゃ断器は1種類で両者を共用している。

4 構造

4.1 HS6G2G形メタルクラッド配電盤の構造

図3に本メタルクラッド配電盤の構造を示す。
盤の中央に母線を配置し、その前面側にしゃ断器を上下2段に収納し母線室後部をケーブル室として、上下回路間にバリヤを設けて分離した構造である。
正面扉も上下に分割し、各々の回路のリレー、操作スイッチなどの器具を取り付けている。

(1) 枠構造

薄板鋼板によるモノコック構造であるが、更に枠両側面をU形部材で補強したことによって軽量化された耐震構造となっている。このU形部材の内側を盤内配線のダクトとして利用して、配線を金属ダクトで保護し、安全性・信頼性を高めている。

表1 真空しゃ断器2段積メタルクラッド配電盤の定格・仕様 1,200～3,000Aまで電磁操作式でシリーズ化されている。

項 目		フ ィ ー ダ 盤		受 電 ・ 母 連 盤	
メタルクラッド配電盤 ユニット形式		HS6G2G-63MA		HS6G2G-63MA (上段にPT・GPTを収納)	
しゃ断器形式		KVGMS-6L-63-MA	KVGMS-6T-63-MA	KVGMS-6W-63-MA	
定格電圧	盤	6.9kV			
	しゃ断器	7.2kV			
定 格 電 流		1,200A	2,000A	3,000A	
定 格 母 線 電 流		2,000/3,000A			
定 格 周 波 数		50/60Hz			
耐 電 圧	衝 撃 波	60kV			
	商用周波	22kV 1分間			
定格しゃ断電流		63kA			
定 格 投 入 電 流		160kA			
定 格 短 時 間 電 流		63kA 2s			
定 格 開 極 時 間		0.04s			
定 格 し ゃ 断 時 間		5 サイクル			
無負荷投入時間		0.1s			
定格投入操作電圧		DC100/110/125V			
定格引外し電圧		DC100/110/125V			
操 作 方 式		電 磁 操 作			
標 準 動 作 責 務		0—1分—CO—3分—CO			
しゃ断器重量		540kg	545kg	685kg	
寸 法		幅1,000×奥行2,740×高さ2,300mm			
総重量	標 準 形	2,500kg	2,500kg	2,640kg	
	耐 震 形	3,800kg	3,800kg	3,940kg	

注：適用規格 JEC-181(1975) 交流しゃ断器
JEM-1153(1974) 閉鎖配電盤

(2) 母 線

母線は高強度U形アルミ合金導体を使用し、母線と導体との分岐接続は溶接を採用している。

U形アルミを使用することにより、従来複数枚必要だった母線が単一導体となり、作業性が向上するとともに短絡強度にも裕度ができ、母線の信頼性を高めている。

母線及び導体は高品質のエポキシレジンにより絶縁され、高強度形エポキシ注形がい子により対地間で支持されている。相間は空気絶縁としているので、多湿又は汚損に対して絶縁低下の心配はない。

(3) 主回路断路部

断路部接触子はチューリップ形として、上下・左右の加振時の変位を吸収できる構造である。

しゃ断器を引き出した後、断路部を遮へいする自動シャッタは、接地金属製として保守・点検時の安全性を図っている。

(4) 出し入れ機構

しゃ断器の出し入れは、手動クランクハンドルによるスクリュウ機構とし、「運転位置」「試験位置」及び「断路位置」にしゃ断器を固定できる。「試験位置」では、制御回路プラグが接続されており、制御回路のフルシーケンステストが可能である。また、「試験位置」では、制御回路に影響を与えることなく、しゃ断器を単独で操作試験ができるように切換スイッチ及び操作スイッチを設け、保守の簡便性を向上している。

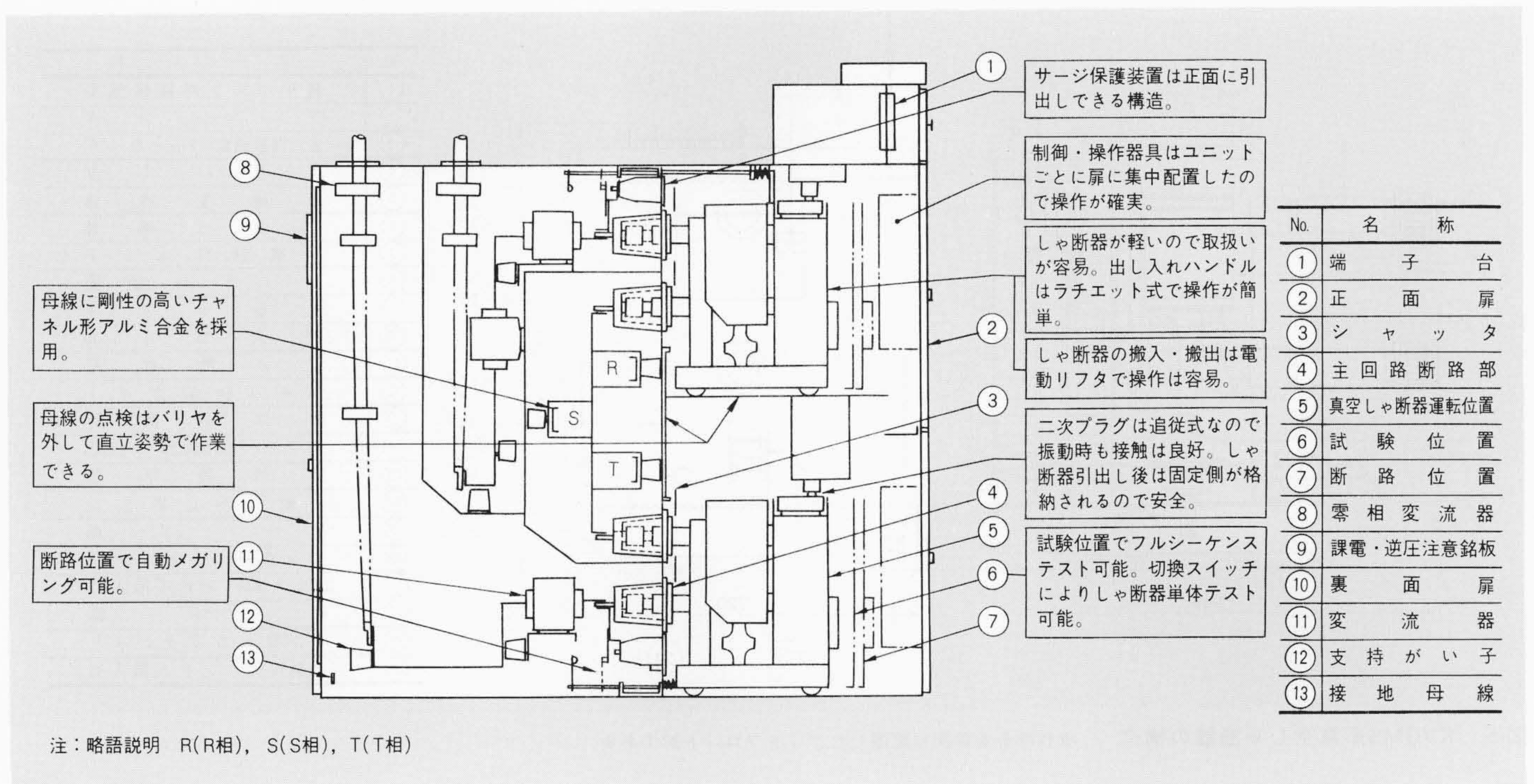


図3 HS6G2G形メタルクラッド盤の構造（フィーダ盤） 従来の盤に比べ、実装密度は2倍であるが取扱いの容易な構造となっている。

なお、オプションとして外部補助スイッチも取付け可能である。

(5) サージ保護装置

開閉サージ保護用として、非直線抵抗体の保護装置を各相に設けて、回路へのサージの波及を防止している。

保護装置は引出形となっており、しゃ断器室から保守・点検ができる。

(6) メガリング装置

メガリング端子をもつロッドが、しゃ断器の引出し操作に応じて、前後に移動してメガリング端子が開閉する構造である。測定端子は盤前面に引き出されているので、安全に回路の絶縁抵抗を測定することができる。

4.2 KVGMS形真空しゃ断器

KVGMS形63kA真空しゃ断器は、既に火力発電所で実績のある多極性平行磁界形電極構造¹⁾を採用することによって、従来の同定格磁気しゃ断器²⁾と比較して容積、重量とも40%に小形・軽量化したものである。図4にその外観を示す。

本しゃ断器の基本構造は図5に示すように、日立製作所KVG形真空しゃ断器の設計思想である操作器前面配置形（デッドフロント構造）を採用し、操作機構部、引外し機構部、インターロック機構部の共用化により、信頼性、安全性、保守性の向上を図っている。

4.2.1 真空バルブ

真空しゃ断器のしゃ断原理は、真空中でのアーク荷電粒子の拡散作用によって得られており、そのしゃ断性能は陽極側電極の温度上昇によって生ずる金属蒸気の放出、又は熱電子放射の発生によって決まる。本しゃ断器ではアークを電極空間に閉じ込めるとともに、電極全面に一樣に分散させて金属蒸気の放出を抑制する平行磁界形電極構造を採用している。

日立製作所では電極中心部の磁界を零とし、平行磁界に基づく渦電流を低減した独特な多極性平行磁界形電極（現在、特許申請中）を開発した。原理図を図6に示す。コイル電極を流れる電流により隣合うもの同士、極性の異なる4極性のアークと平行する磁界（多極性平行磁界）を発生する。この磁界により大電流でもアークは多数の小電流アークに分けられ、図7に示すように電極全面で一様な分布となるのでしゃ断性能を向上できる。図8に多極性平行磁界形電極の電極直径としゃ断性能の関係を、従来最も多く使用されてきた磁気駆動形電極のそれと比較して示す。磁気駆動形電極はアークに直交する磁界を作用させ、フレミングの法則に基づく電磁力でアークを駆動し、アークの停滞による局部加熱を防ぐものであるが、電流の増大に伴って生ずるアークの収縮現象により、電極（陽極）面の溶融を防ぐことができず、しゃ断性能は40kAを超えると飽和してしまう。これに対し多極性平行磁界形電極の場合、アークが電極全面に分散して一様分布となるため、

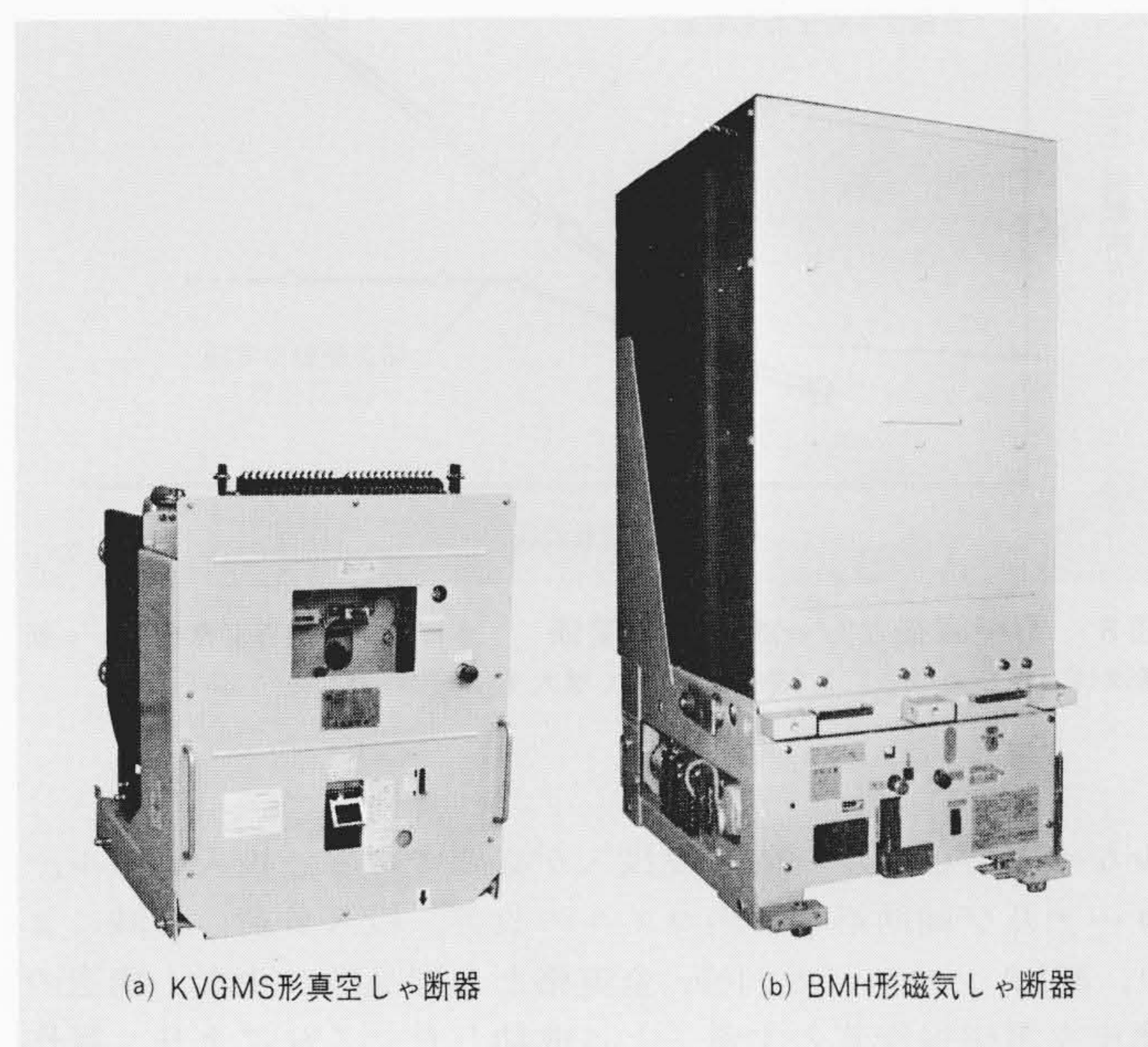


図4 KVGMS形真空しゃ断器の外観 磁気しゃ断器に比べて容積・重量とも40%に縮小された。

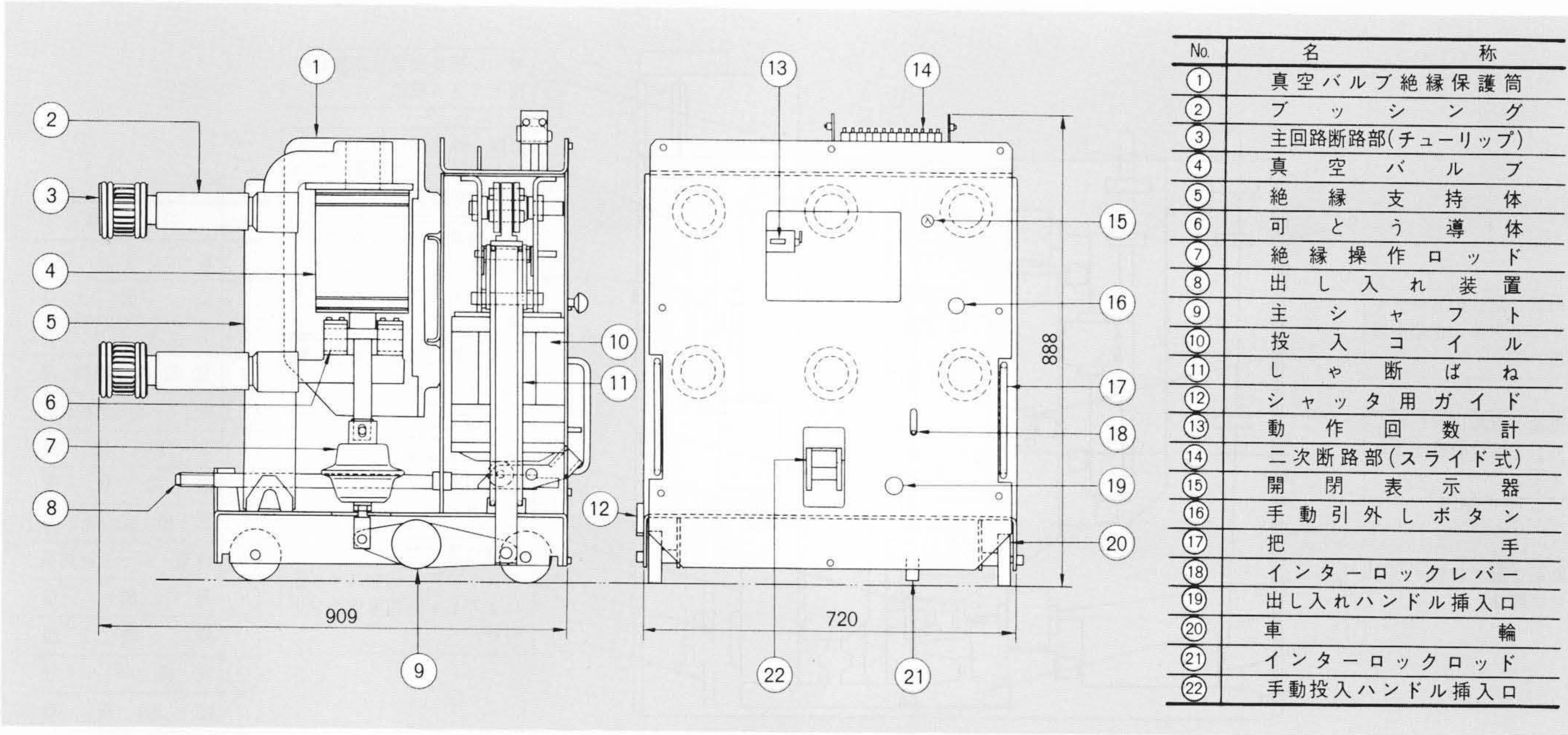


図5 KVGMS形真空しゃ断器の構造 操作部分を前面に配置したデッドフロント形である。

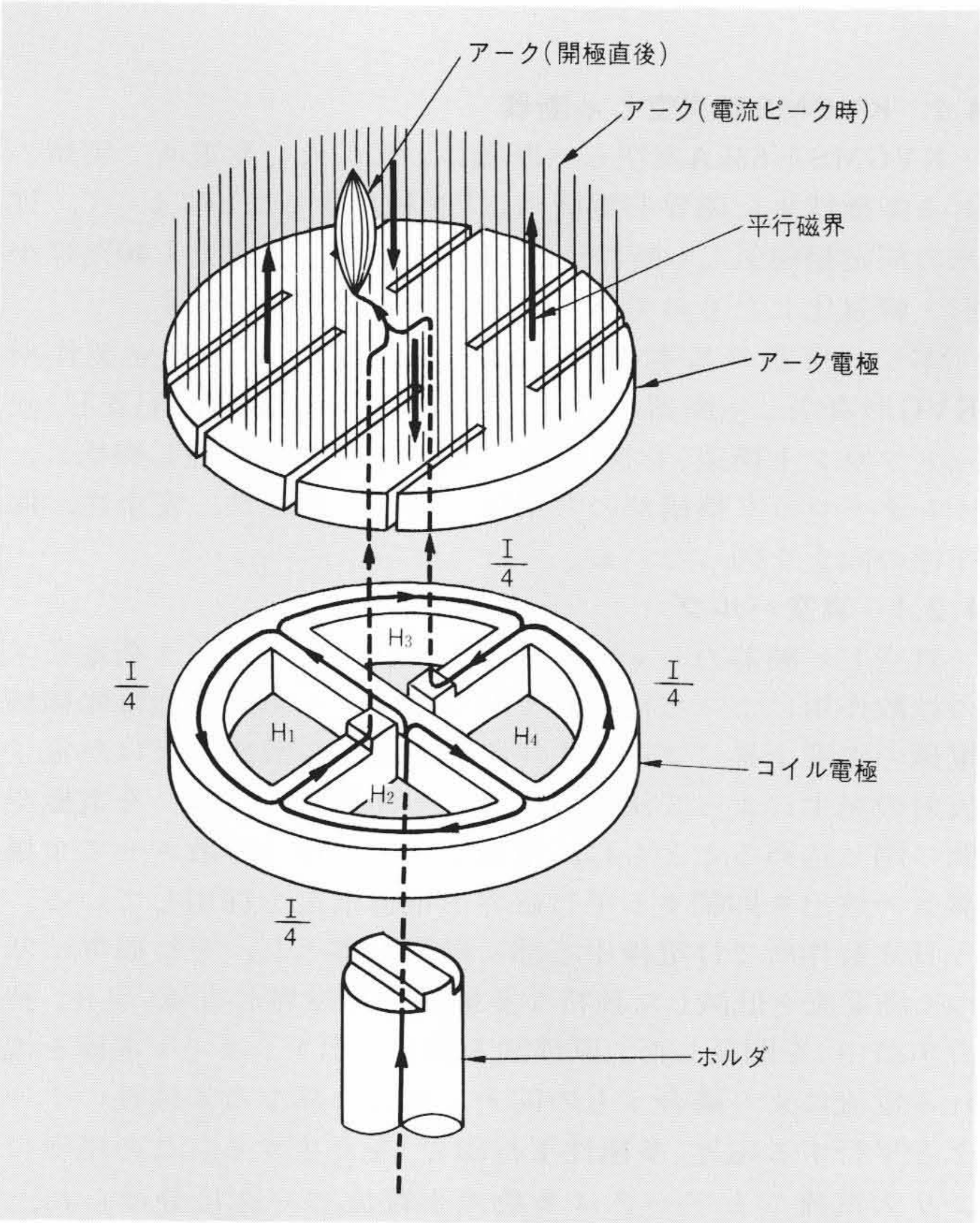


図6 多極平行磁界電極 平行磁界により、アークは電極全面に一樣に分散される。

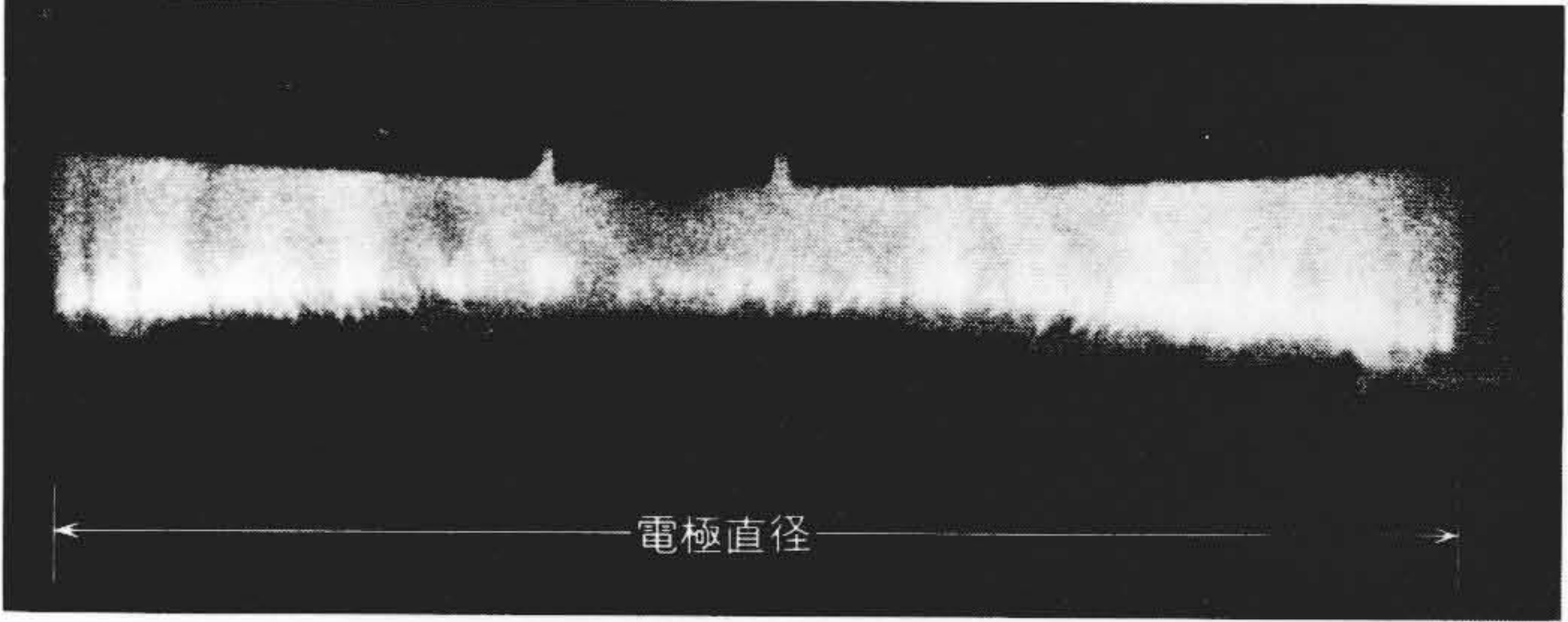


図7 多極性平行磁界電極でのアークの挙動 アークは電極全域で一様な分布となる。

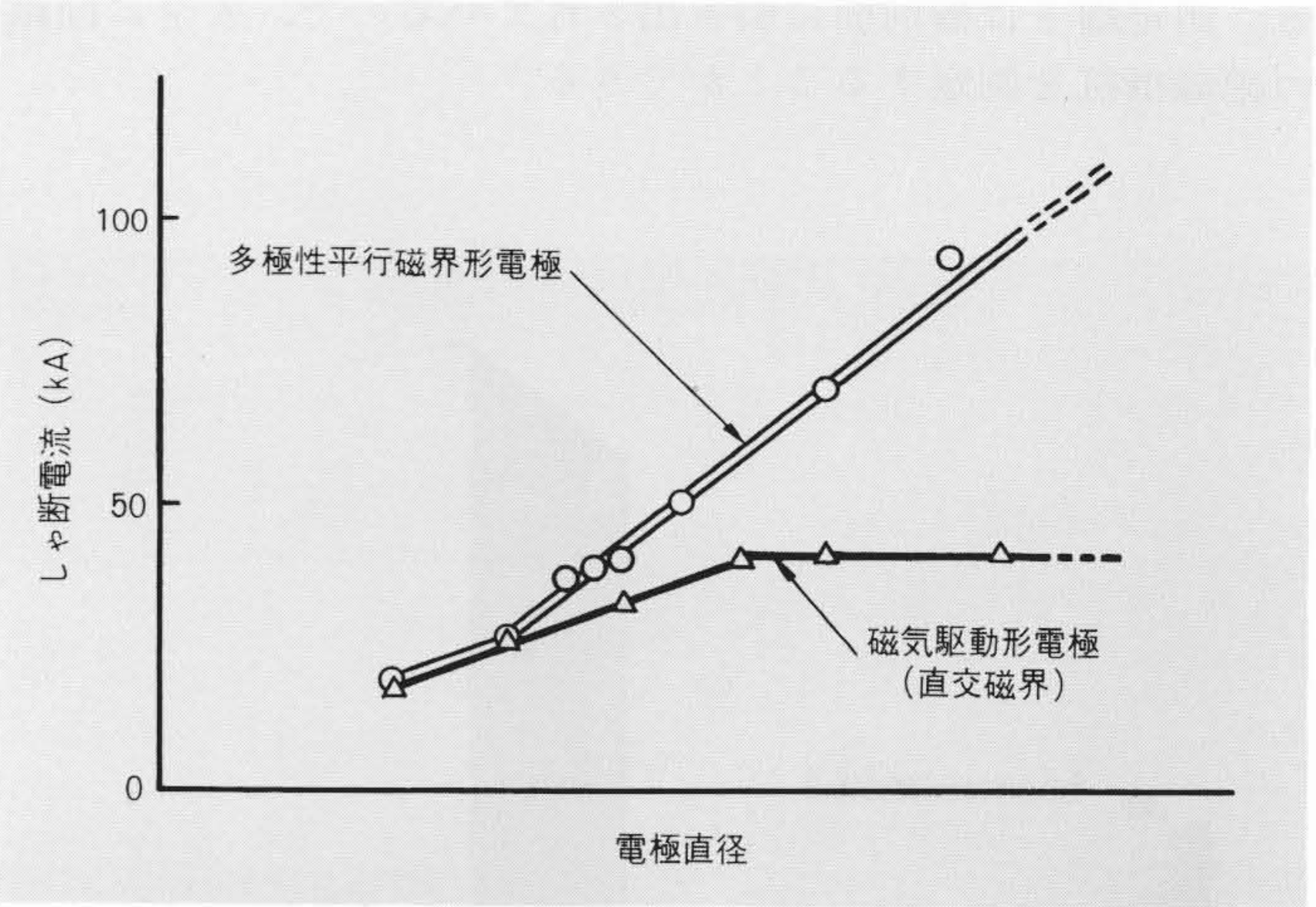


図8 電極直径としゃ断電流の関係 多極性平行磁界形電極のしゃ断電流は、電極直径の約1.5乗に比例して増大する。

電極直径を増せば無限にしゃ断性能を増大することができるので、実用上のしゃ断限界はないものとみてよい。実験結果から多極性平行磁界形電極のしゃ断性能は電極直径の約1.5乗に比例して増大することが判明している。

4.2.2 操作器

「多電源回路の同期切換」の用途に適用するしゃ断器は、

少なくとも0.1秒の高速度投入が必要である。投入コイル、ヨーク及び補助継電器のコイルの改善、投入負荷の軽減により、40kAシリーズと同様、全定格とも部品数の少なく構造の簡単な電磁操作式とすることに成功した。これにより、操作器の信頼性を従来の磁気しゃ断器と同等以上とすることができた。

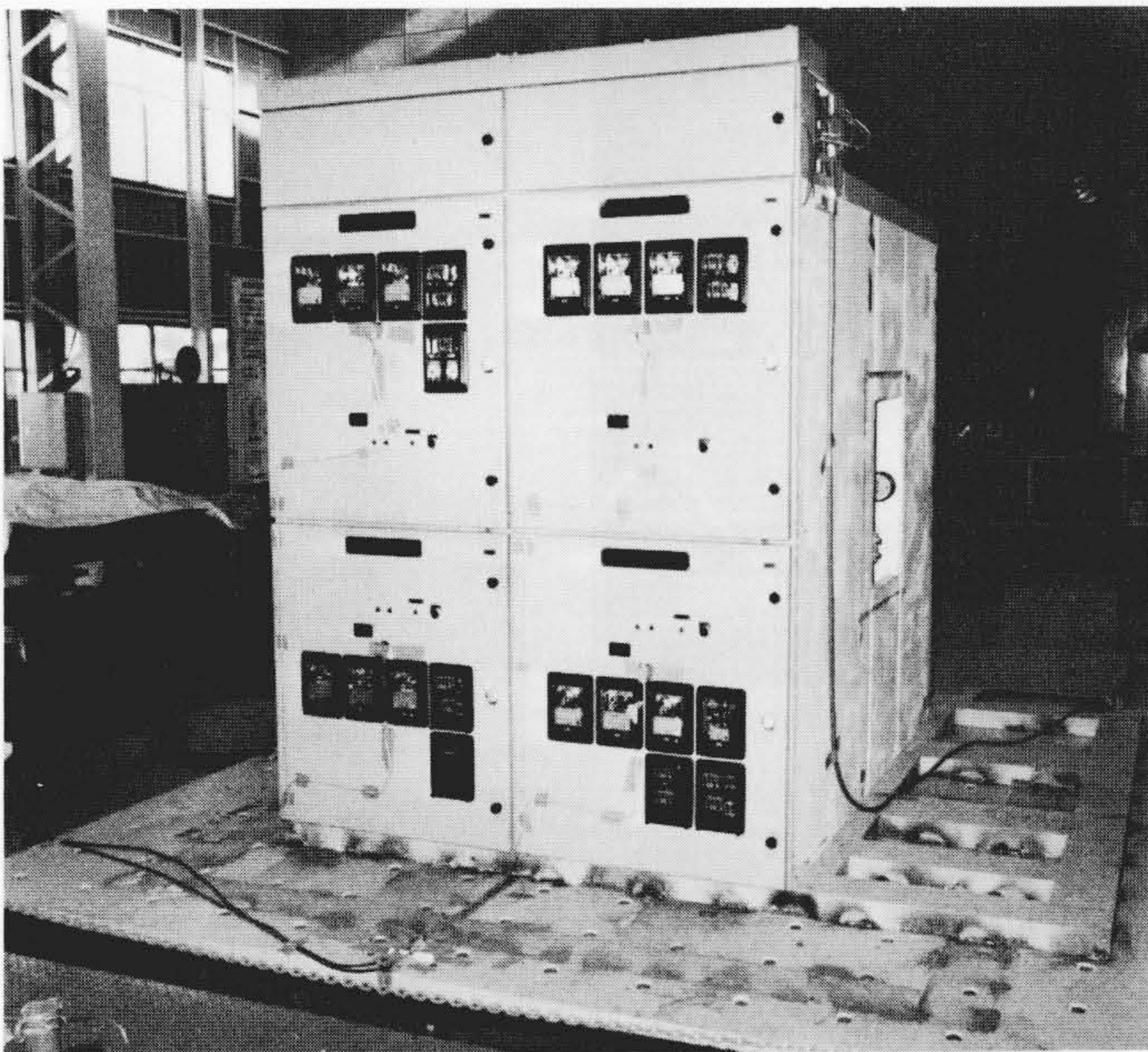


図9 耐震試験中のHS6G2G形メタルクラッド配電盤 2面列盤で前後方向、左右方向とも20Hz以上の剛性をもっている。

5 耐震性

原子力発電所の非常時に、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メタルクラッド配電盤は、最上級のASクラスにランクされ、要求される耐震性能は設計限界地震に遭遇しても、

- (1) 盤の転倒や滑動がなく、構造的に損傷しないこと。
 - (2) 継電器やしゃ断器などの誤動作がないこと。
 - (3) 地震中でも、しゃ断器の開閉操作が正常であること。
- などである。

このような条件を満足するために、電子計算機を使用した有限要素法により、振動特性及び強度解析を行ない、2面列盤で共振振動数20Hz以上、動的機能維持地震力1.0Gの性能をもつ盤を開発した。図9に2面列盤での耐震試験の状況を示す。

構造上の特長は次に述べる通りである。

- (1) 耐震性能を高めるために必要な補強部材を、盤内配線の

配線ダクトと兼用し、外形寸法を標準形と同一とした。

- (2) 枠構造を鋼板と形鋼の組合せによるモノコック構造として、重量増加を最小とした。

- (3) 主回路部品は、すべて標準形と共用とした。

6 試験結果

6.1 耐電圧試験

主回路に商用周波22kV 1分間、インパルス正負60kVを各々3回印加、また制御回路に2kV 1分間加圧し、各々の試験に耐えることを検証した。

6.2 温度上昇試験

定格電流1,200A、2,000A、3,000Aのメタルクラッド配電盤に、しゃ断器、変流器など機器を実装して定格電流を通電し、温度上昇値を測定した。各部の温度上昇値は規格値以下である。

6.3 短時間電流試験

メタルクラッド配電盤に、しゃ断器、変流器などを実装して63kA(非対称波高値160kA)を2秒間通電し、電氣的、機械的に異常のないことを検証した。

6.4 短絡試験

メタルクラッド配電盤にしゃ断器を実装した状態で三相短絡試験を実施し、いずれもアーク時間1サイクル以下の安定したしゃ断性能をもつことを検証した。図10に100%“CO”責務のオシログラムを示す。試験後、真空バルブを解体点検し、多極性平行磁界式電極の効果によりアークが電極全域に分散、電極消耗のほとんどないことを確認した。

6.5 小電流しゃ断試験

小電流しゃ断試験は、進み小電流と遅れ小電流につき試験を実施した。なお遅れ小電流試験については、サージ保護装置の有無の二つの条件で実施し、サージ保護効果を確認した。

6.6 連続開閉試験

2万回の無負荷連続開閉試験を行ない、開閉特性の変化のないことを検証した。部品の消耗はわずかであり、保証回数(1万回)内では部品の交換は不要であることを確認した。

6.7 特殊試験

6.7.1 開閉サージ組合せ試験

電動機のインテュ操作で、電流零点近傍で開極するという極めてまれな条件が重なると、負荷の耐電圧強度を上回るサージが発生する場合がある。このため、JEC181による遅

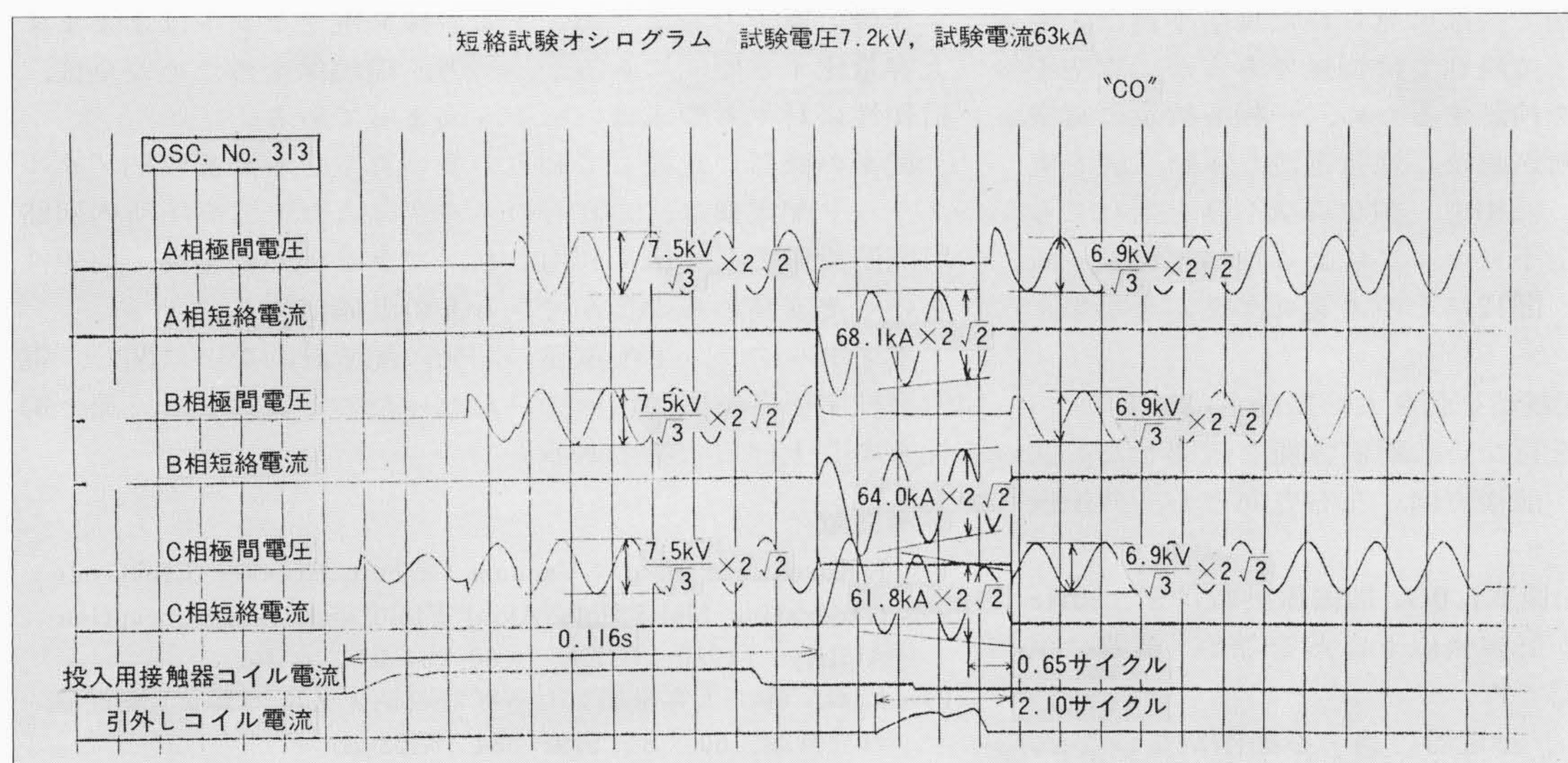


図10 短絡試験オシログラム 開極後0.65サイクルでしゃ断している。

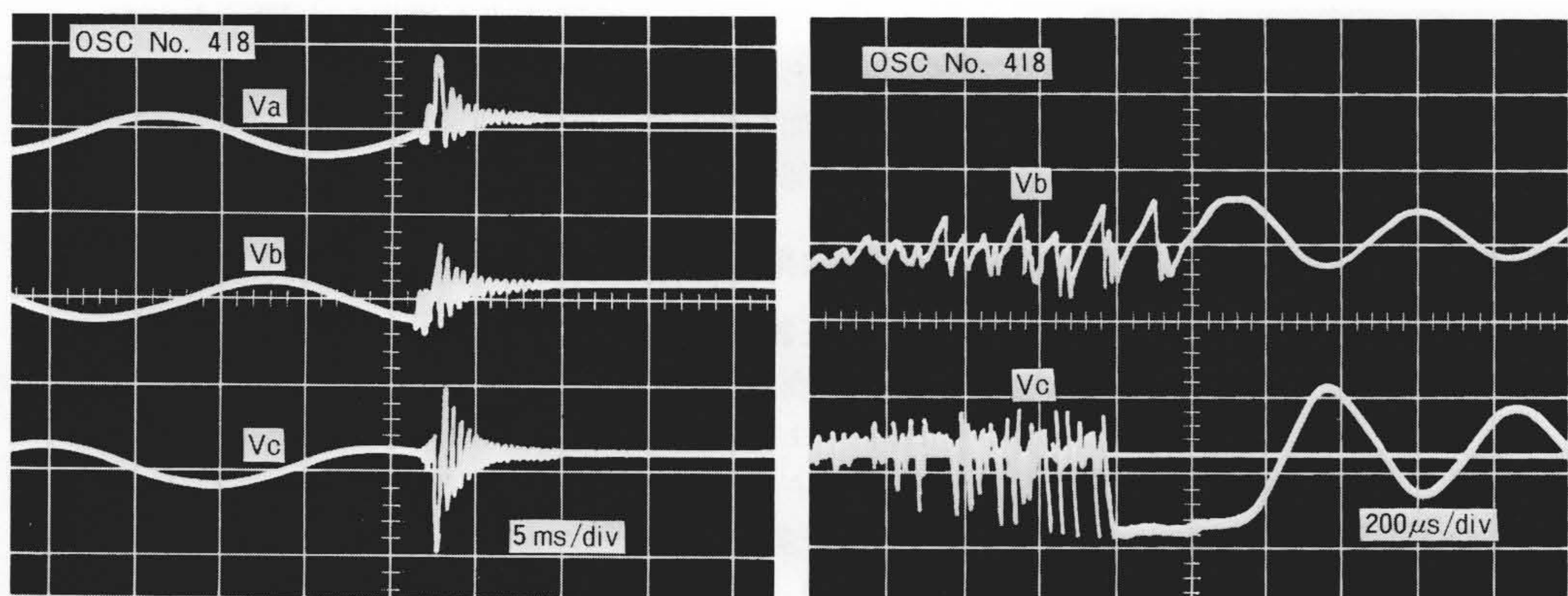


図11 開閉サージ組合せ試験結果 サージ保護装置(ZLA)により、サージは一定の値に制限される。

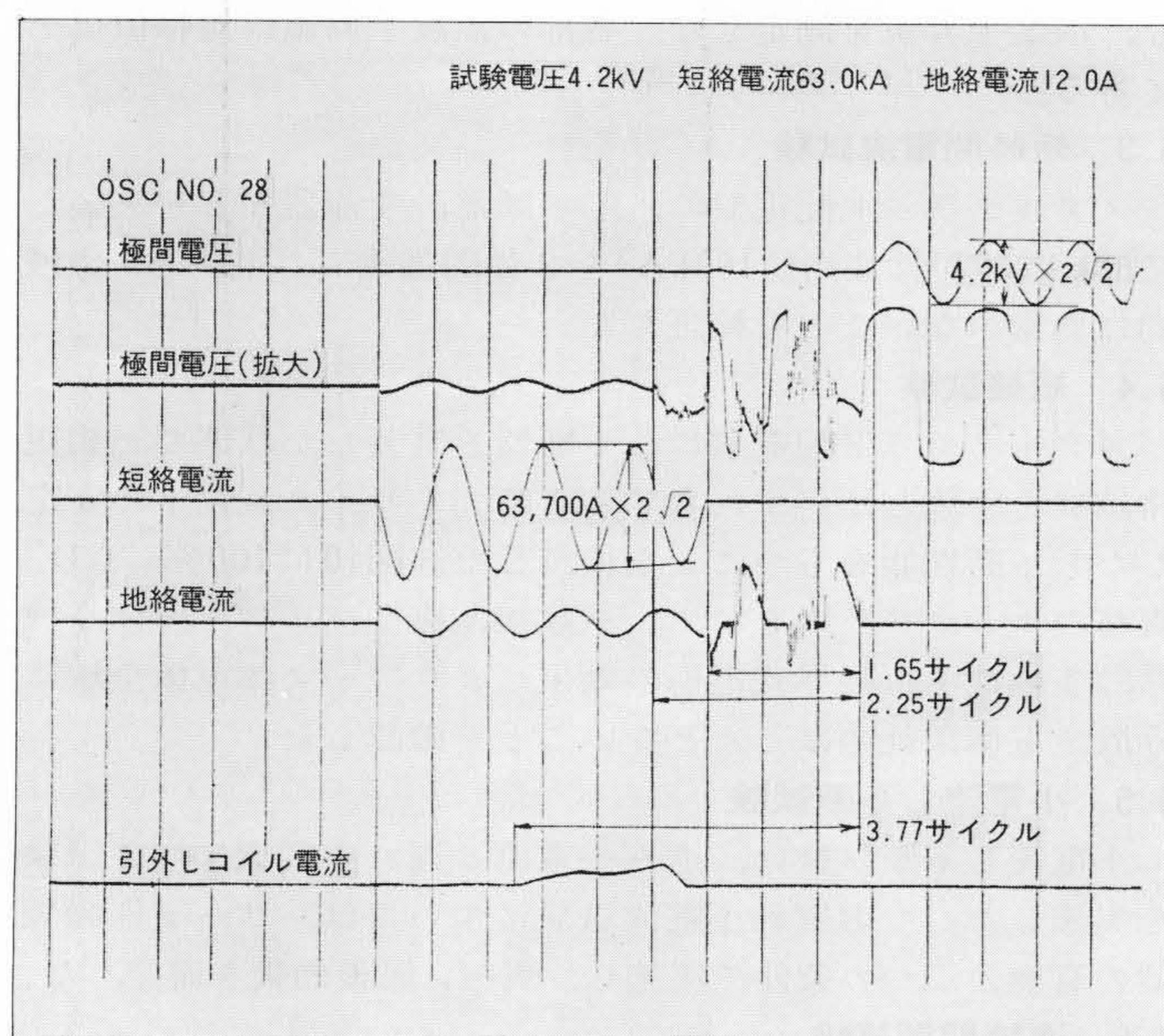


図12 一相真空不良時のしゃ断試験結果 三相中、相欠相短絡しゃ断後、真空不良バルブにより地絡電流がしゃ断できる。

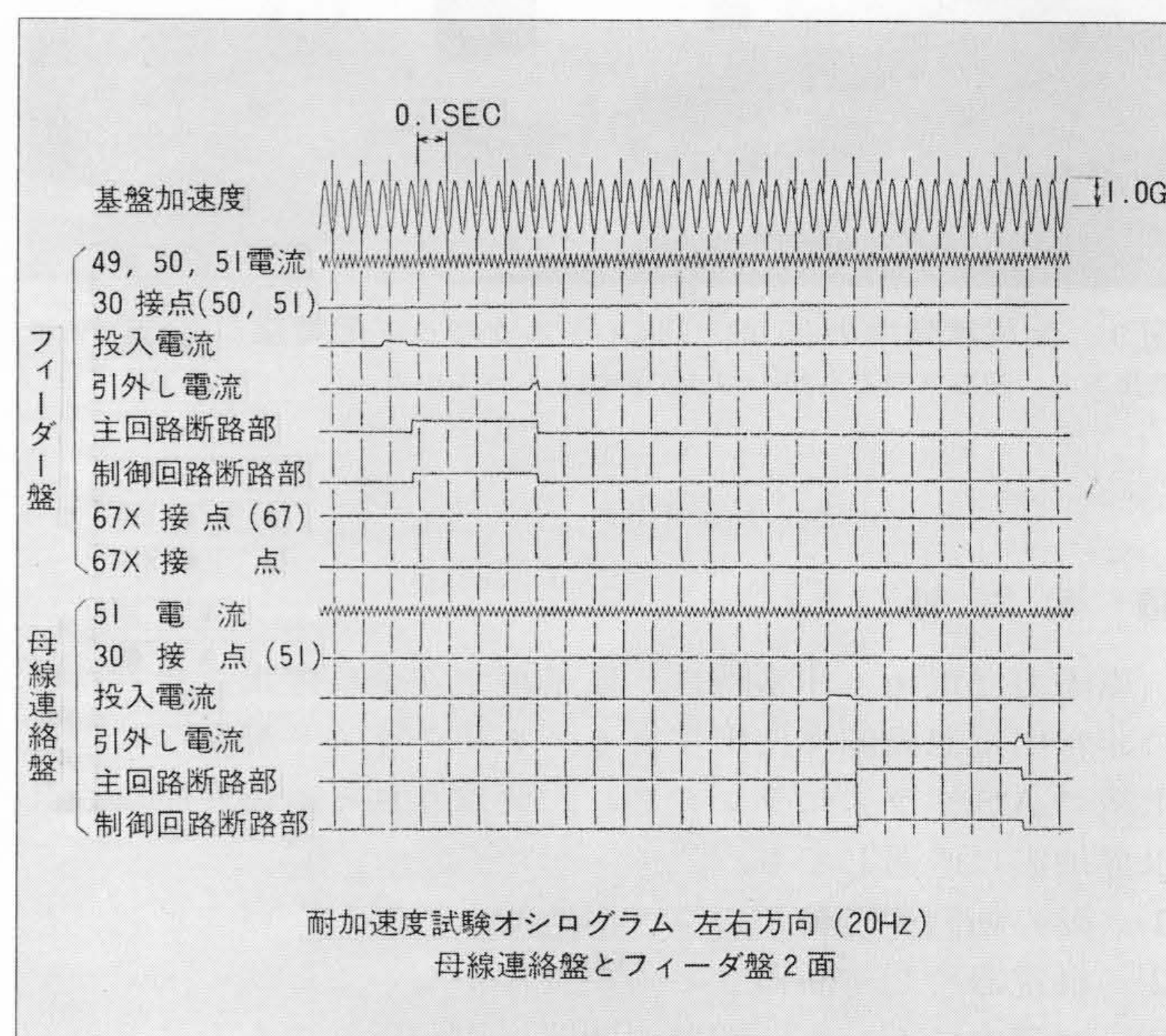


図13 耐加速度試験結果 継電器の誤動作、チャタリングのないこと、しゃ断器動作の正常なことが分かる。

れ小電流しゃ断試験のほか、実回路を想定して、真空しゃ断器、サージ保護装置、ケーブル、電動機の組合せ試験を実施した。その結果、図11に示すとおりメガヘルツオーダーの高周波サージもサージ保護装置により一定の値に制限されることを検証した。

6.7.2 一相真空不良状態での短絡しゃ断試験

真空しゃ断器の開発当初で一部に見られた真空不良は、適切な対策と品質管理によって現在では皆無であるが、真空不良時での電流しゃ断特性を検証するため、一相を故意に真空不良させ、短絡電流しゃ断試験及び地絡電流しゃ断試験を実施した。その結果、万一、三相中一相が真空不良を生じても短絡電流しゃ断、及び真空不良バルブによる地絡電流しゃ断のできることを検証した。図12にそのオシログラムを示す。

6.8 耐震試験

耐震形メタルクラッド配電盤2面を大形振動台(20t振動台)に据え付けて実加振試験を行ない、耐震性能を確認した。共振振動数検索試験の結果、前後方向、左右方向とも、共振振動数は20Hz以上である。

耐加速度試験は、加振加速度1.0G、加振振動数は5～20Hzまで行ない、各部の応力が許容値以下にあること、機器に損傷や変形がないことを確認した。

動的機能維持についても、継電器の誤・不動作がないこと、

しゃ断器が正常に開閉操作できることを確認した。

耐加速度試験結果の一例を図13に示す。

7 結 言

以上6.9kV、63kA真空しゃ断器2段積メタルクラッド配電盤の概要について述べた。

今後、原子力をはじめとする各種発電プラントはますます大容量化する傾向にあるが、一方、環境保全のため安全性、信頼性に対する要求はいっそう高まっている。

従来の機器に比較して利点の多い真空しゃ断器収納メタルクラッド配電盤は、これらのニーズにこたえて高圧所内回路用開閉設備として広く利用され、プラントの安全性、信頼性をいっそう高めることができるものと確信する。

本メタルクラッド配電盤の開発、配置計画などに関し、電力会社関係各位の御指導をいただいたことに対し、感謝と御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) I. Kurosawa, et al.: Vacuum Circuit Breaker Electrode Generating Multi-Pole Axial Field and its Interruption Ability (1980 IEEE F80 284-0)
- 2) 岩本, 外: 大容量磁気しゃ断器収納メタルクラッド配電盤, 日立評論, 60, 8, 579～584 (昭53-8)