

# 大容量磁気しゃ断器収納メタルクラッド配電盤

## Metal-clad Switchgear with Large Capacity Magnetic Type Circuit Breaker

近年、火力・原子力発電所の大容量化に伴い、所内回路の短絡容量が増大し、1,100MW級以上の発電所には7.2kV、60kAの磁気しゃ断器が必要となった。

このたび、日立製作所では7.2kVクラスでは世界で最大容量のしゃ断電流60kA磁気しゃ断器収納メタルクラッド配電盤を開発した。

磁気しゃ断器は、ハイループ方式アークシュートを採用し、水平引出形の構造であるため、小形・軽量になり、これを収納するメタルクラッド配電盤もまた、小形・軽量化と耐震性を向上することができた。

岩本清文\* Iwamoto Kiyofumi

谷水 徹\* Tanimizu Tôru

### 1 緒 言

近年、火力・原子力発電所の主機容量の増大に伴い、補機容量が増大しており、所内変圧器も容量が大きくなっているほか、補機電動機の起動電流値の増大による電圧変動を最小限に抑えるため、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、定格電圧7.2kVで、しゃ断電流60kA(しゃ断容量750MVA)という、大容量磁気しゃ断器を収納したメタルクラッド配電盤が必要となった。日立製作所ではこのようなニーズに応ずるため、7.2kV、1,200A及び3,000A、しゃ断電流60kAの磁気しゃ断器を収納した大容量のメタルクラッド配電盤を開発したので、その特長、構造及び試験結果について概要を述べる。

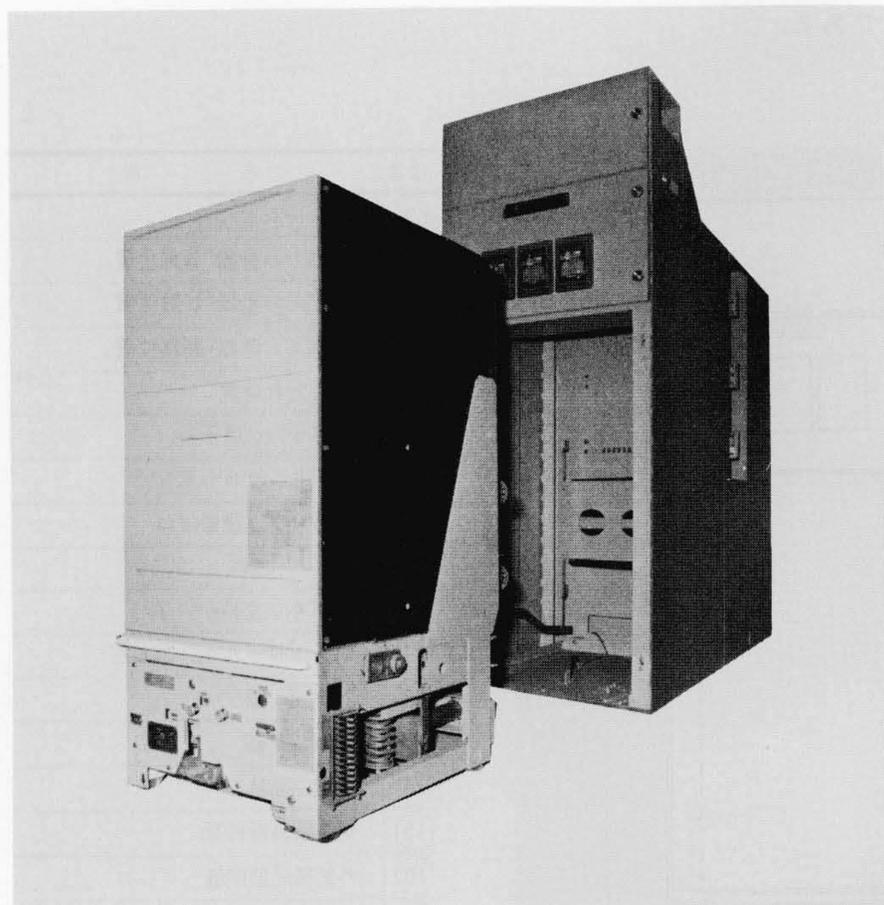


図1 6.9kV、60kA磁気しゃ断器とメタルクラッド配電盤 小形・軽量のハイループ式水平引出形磁気しゃ断器を収納したメタルクラッド配電盤で、保守・点検が容易である。

### 2 特 長

ハイループ方式(自己磁界でアークを駆動し、吹消コイルと磁鉄心を使用しないで消弧する方式)の水平引出し形磁気しゃ断器を採用して、メタルクラッド配電盤の構造を簡素化している。

主な特長は次に述べるとおりである。

#### 2.1 小形・軽量

ハイループ方式水平引出形磁気しゃ断器は、しゃ断電流が60kAであるにもかかわらず従来の40kA磁気しゃ断器と比較し、容積、重量とも90%に小形・軽量化されている。

したがって、メタルクラッド配電盤は従来の40kA用に比較して容積、床面積で90%に縮小され、重量も77%に軽量化された。

#### 2.2 容易な保守・点検

(1) 磁気しゃ断器は小形・軽量化されているので、メタルクラッド配電盤への引出し操作、及び盤外での移動や回転操作が容易である。

(2) 耐震形で、磁気しゃ断器をメタルクラッド配電盤内に固定するための工具、付属品をいっさい使用しない構造であり、保守・点検が一般形と同じに行なえる。

(3) 磁気しゃ断器には、「運転位置」「断路位置」の外に「試験位置」を設けたので、付属品を使用することなくフルシーケンステストが可能である。

#### 2.3 電動ばね操作器

磁気しゃ断器の操作部は、電動ばね操作方式を採用したので投入時間の短縮による「多電源回路の同期切換」の用途に使用でき、また、投入操作電源の容量を小さくすることができる。

#### 2.4 誤操作防止

(1) 磁気しゃ断器の水平引出し機構には、しゃ断器が開路状態でなければ絶対にしゃ断器の出し入れ操作ができないインターロック機構をもっている。

(2) 外部補助スイッチには、操作を誤って磁気しゃ断器と外部補助スイッチの開閉状態が異なっても、外部補助スイッチが自動的にしゃ断器の状態に合う機構を採用している。

### 3 定 格

表1にHS6MG形メタルクラッド配電盤とKBMH形磁気しゃ断器の定格を示す。メタルクラッド配電盤は、標準形と

\* 日立製作所国分工場

表1 HS 6 MG形メタルクラッド配電盤とKBMH形磁気しゃ断器の定格・仕様 定格電流1,200Aから3,000Aまでシリーズ化されている。

形 式		HS 6 MG	
内蔵しゃ断器の種類		水平引出形ばね投入磁気しゃ断器	
定 格 電 圧		6.9kV	
定 格 電 流		1,200 A	3,000 A
母 線 定 格 電 流		3,000 A	
定 格 周 波 数		50/60 Hz	
定 格 短 時 間 電 流		60kA 1s	
絶 縁 階 級		6号A	
規 格 番 号		JEM-1153(1974)	
規 格 形		G形	
総 重 量	標 準 形	2,000 kg	2,400 kg
	耐 震 形	2,800 kg	3,100 kg
形 式		KBMH-6L-60	KBMH-6W-60
相 数		F A	
相 数		三相	
定 格 電 圧		7.2kV	
絶 縁 階 級		6号A	
定 格 電 流		1,200 A	3,000 A
定 格 周 波 数		50/60 Hz	
定 格 しゃ 断 電 流		60 kA	
定 格 再 起 電 圧	波 高 値	12.4kV	
	上 昇 率	0.32kV/μs	
	波 高 時 間	38μs	
定 格 投 入 電 流		150kA	
定 格 短 時 間 電 流		60kA 2s	
定 格 開 極 時 間		0.05 s	
定 格 しゃ 断 時 間		5サイクル	
無 負 荷 投 入 時 間		0.1 s	
定 格 投 入 制 御 電 圧		DC 125 V	
定 格 引 は ず し 電 圧		DC 125 V	
標 準 動 作 責 務		(A) 0-(1分)-CO-(3分)-CO	
適 用 規 格		JEC-181(1975) 電力用規格B-112(1966)	
総 重 量		1,000 kg	1,100 kg

耐震形の2系列をもっているが、磁気しゃ断器は、標準形と耐震形を共用している。

#### 4 構 造

##### 4.1 HS 6 MG形メタルクラッド配電盤の構造

図2にHS 6 MG形フィーダ盤の構造を示す。

水平引出形磁気しゃ断器を収納したメタルクラッド配電盤は、制御継電器室、しゃ断器室、母線室及び変流器ケーブル室の4室から成り、各室間は金属バリヤで隔離されている。

##### (1) フレーム構造

フレームは鋼板モノコック方式(枠組みを行わず、板の曲げ絞りなどの加工を施し、それを組み合わせてまとめる構造で、各板が力を受け持つ一体構造)で、重量は40kA用のものに比べ60%に軽量化された。

##### (2) 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(最大10mm)を吸収できる構造としている。

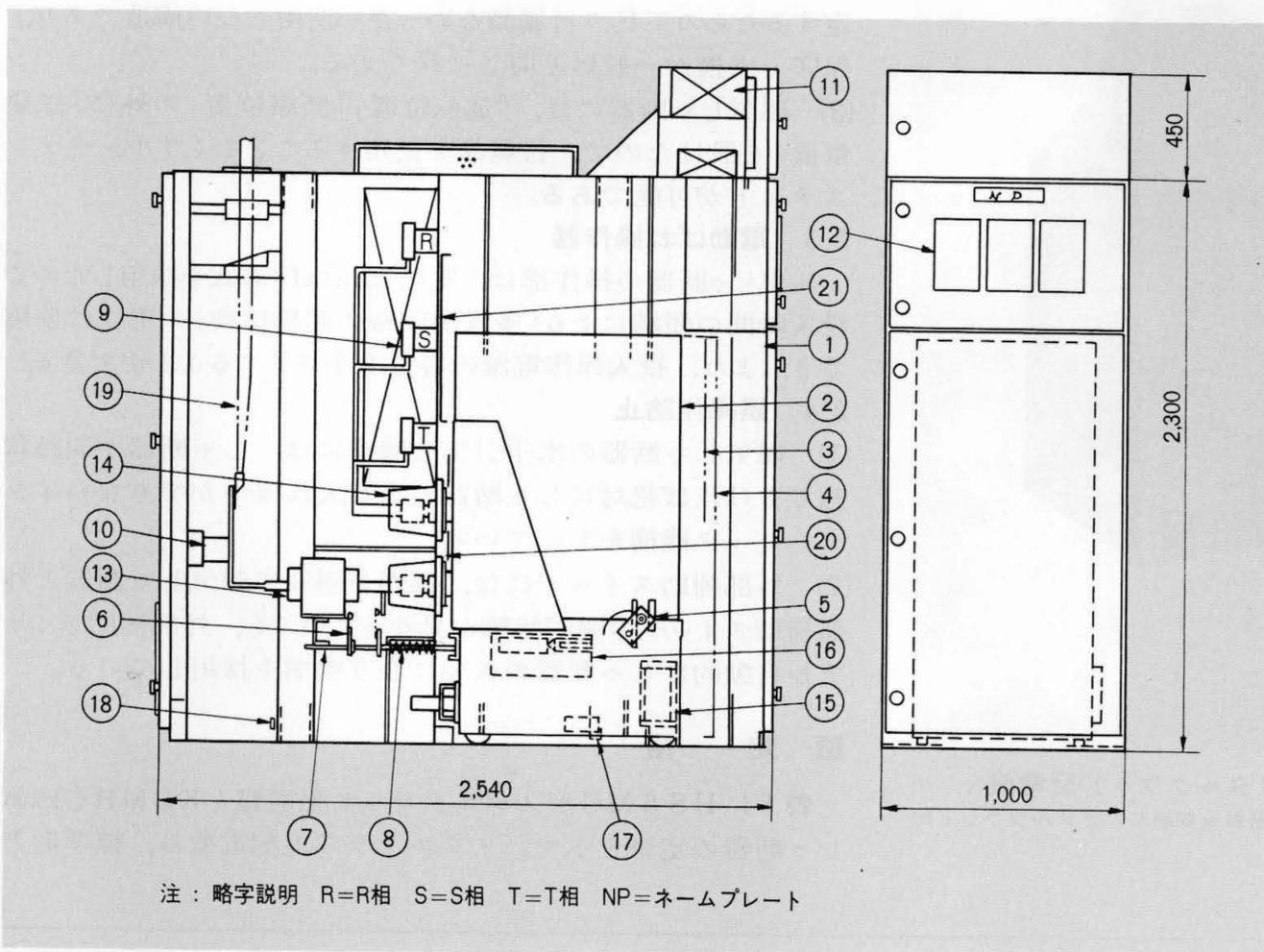
しゃ断器を引き出した後、主回路断路部をしゃへいする自動シャッタは、接地金属製として保守・点検時の安全性を図った。

##### (3) 引出し機構

図3に磁気しゃ断器の引出し操作を示す。手動クランクハンドルにより駆動されるカムドライブ機構とし、「運転位置」「試験位置」及び「断路位置」の各位置にしゃ断器を固定できる構造である。「試験位置」では、制御回路断路部と外部補助スイッチだけが接続され、しゃ断器の操作試験及び制御回路のフルシーケンステストが可能である。

##### (4) メガリング装置

図2の構造図中にメガリング装置の概略構造を示す。メガリング端子をもつメガリングロッドが、しゃ断器の引出し操作に応じて、前後に直線移動し、このメガリングロッドの直線移動により、メガリング端子が「開」「閉」する構造である。



項番	名 称
①	フレーム
②	磁気しゃ断器「運転位置」
③	磁気しゃ断器「試験位置」
④	磁気しゃ断器「断路位置」
⑤	出し入れ装置
⑥	メガリング端子
⑦	メガリングロッド
⑧	メガリング復帰ばね
⑨	母 線
⑩	エポキシ支持がい子
⑪	コントロールケーブル室
⑫	継 電 器
⑬	変 流 器
⑭	主回路断路部
⑮	制御回路断路部
⑯	外部補助開閉器
⑰	接地接触子
⑱	接地母線
⑲	ケーブルヘッド
⑳	自動シャッタ
㉑	母線点検穴ふさぎ板

図2 フィーダ盤の構造 しゃ断器は3ポジションをもち、母線は中央部に配置されている。



図3 磁気しゃ断器の引出し操作 磁気しゃ断器へは、手動クランクハンドルにより駆動するカムドライブ機構を内蔵させている。

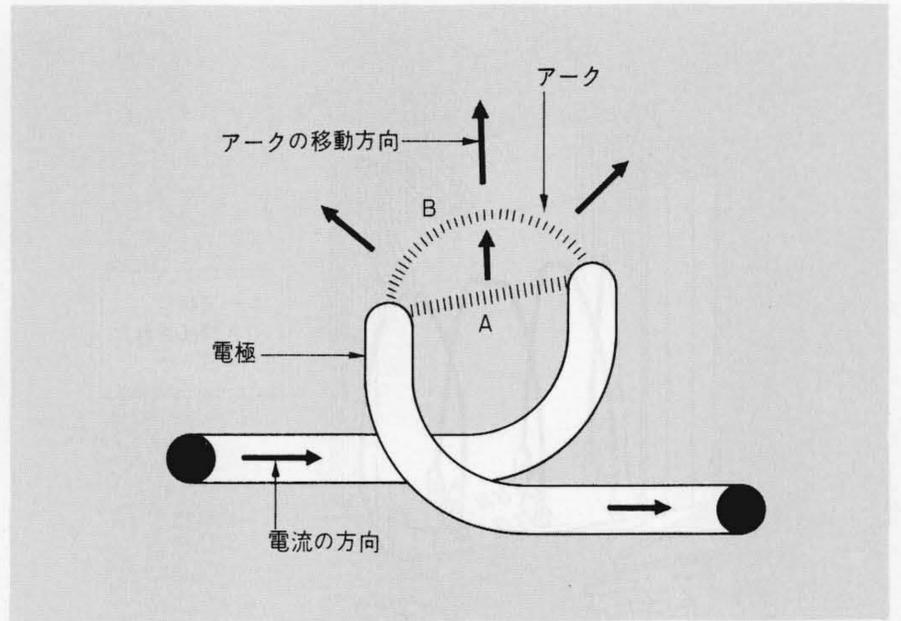


図5 アークの性質 電流の磁界によって、電源から最も離れた電極を起点として、アークは弧を描くように駆動される。

(5) 母線及び母線支持

母線材料はアルミ合金導体を使用し、その接続は溶接及びボルト締付を採用している。

母線支持は、高強度形エポキシがい子で大地間絶縁を行ない、母線の相間は空気絶縁としているので、多湿又は汚損環境にあっても絶縁低下の危険はない。

(6) 変流器

日立製作所では、円形巻鉄心と等分布巻線法を採用した貫通形エポキシ変流器を開発し、従来の変流器では製作できなかった過電流 60kA、一次電流 50A から 6,000A (最大過電流強度 1,200倍) までをシリーズ化した。

4.2 KBMH形磁気しゃ断器の構造

図4にKBMH形1,200A磁気しゃ断器の構造を示す。

KBMH形磁気しゃ断器は、操作器の上にはしゃ断部接触子、

アークシュート部を積み上げた構造としている。

(1) アークシュート

図5に示すような電極に、Aのようにアークが発生すると、アークは通電電流による磁界によってBに示すように駆動され、ループを描くようになる。ループが形成されると、自ら発生する磁界の電磁力と上昇気流によりループはますます拡大されて、図6に示すようにアークシュート内で多数のループがつながる。このような動作原理に基づき、複数個の電極とアークバリヤを組み合わせ、アークを引き伸ばすと同時に、アークバリヤによる冷却効果によってアーク抵抗を高め消弧する。図7にしゃ断時の状態を示す。

ハイループ方式の採用により、従来のアークシュートが必要とした吹消コイルや磁鉄心が不要となり、寸法はほぼ同一、重量は85%に軽減され、磁気しゃ断器の小形・軽量化が可能

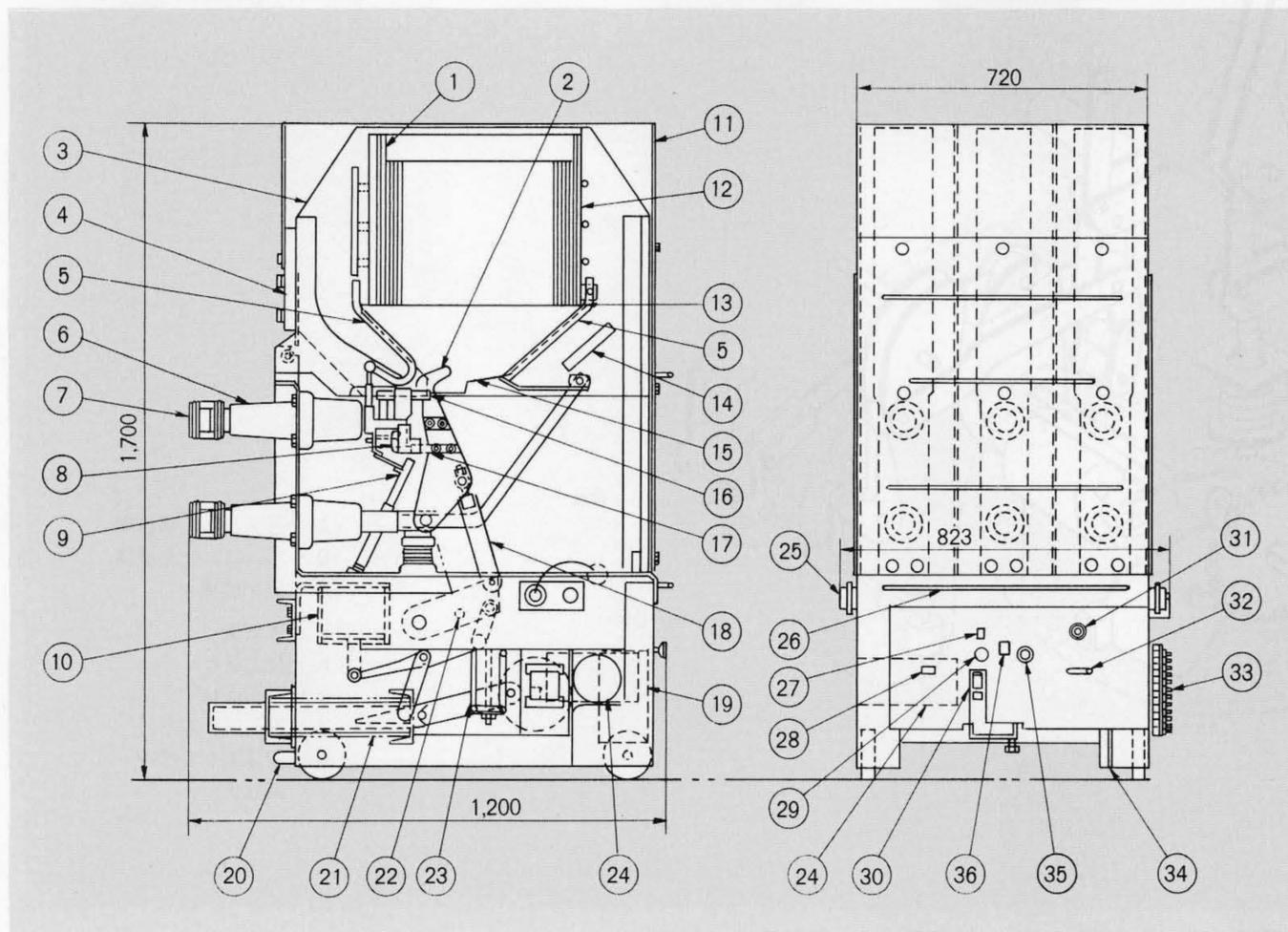


図4 磁気しゃ断器構造図 ハイループ方式アークシュートを採用したので、磁気しゃ断器は小形である。

項番	名称
①	冷却板
②	可動アーク接触子
③	アークシュート
④	アークシュート押え
⑤	アークホン
⑥	ブッシング
⑦	主回路断路部(チューリップ)
⑧	固定主接触子
⑨	空気吹付ノズル
⑩	空気吹付装置
⑪	アークシュートカバー
⑫	消弧板
⑬	アーク電極
⑭	ガスガイド板
⑮	アーク導入側板
⑯	固定アーク接触子
⑰	可動主接触子
⑱	絶縁操作ロッド
⑲	制御回路断路部
⑳	固定金具
㉑	投入ばね
㉒	外部補助スイッチ操作ロッド
㉓	しゃ断ばね
㉔	投入ばね圧縮電動機
㉕	出し入れ装置
㉖	取っ手
㉗	開閉表示器
㉘	動作回数計
㉙	手動投入用ボタン
㉚	投入ばね圧縮用ハンドル挿入口
㉛	出し入れハンドル挿入口
㉜	インターロックレバー
㉝	二次断路部(スライド)
㉞	インターロックロッド
㉟	手動引はずし用ボタン
㊱	投入ばね圧縮、釈放表示器

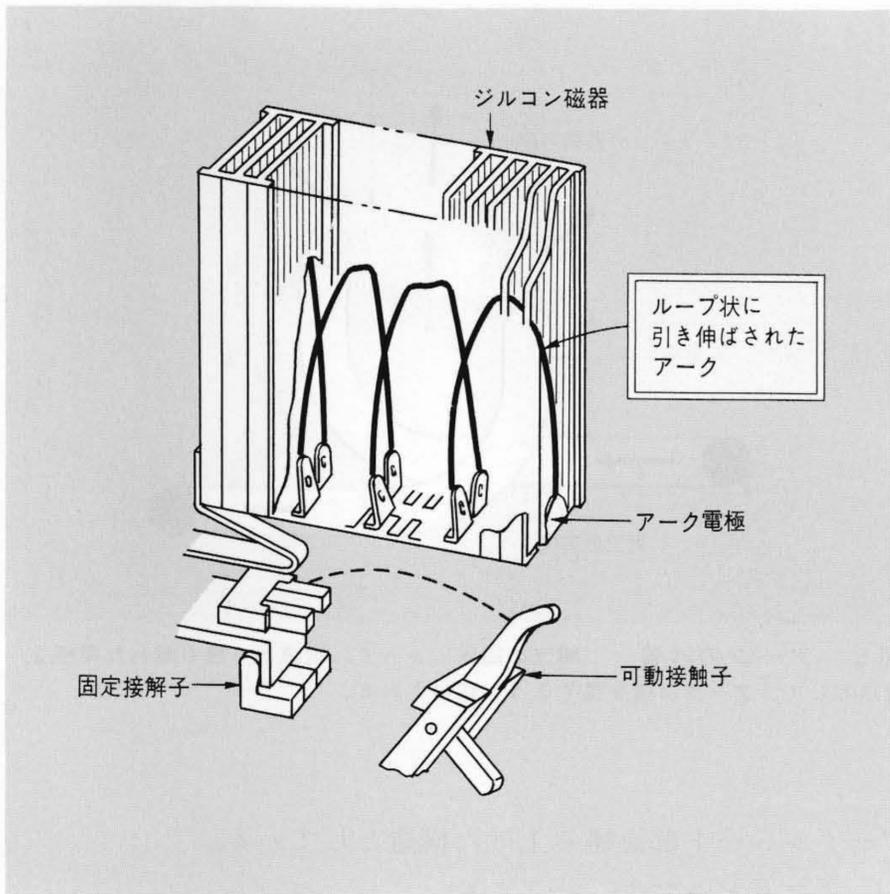
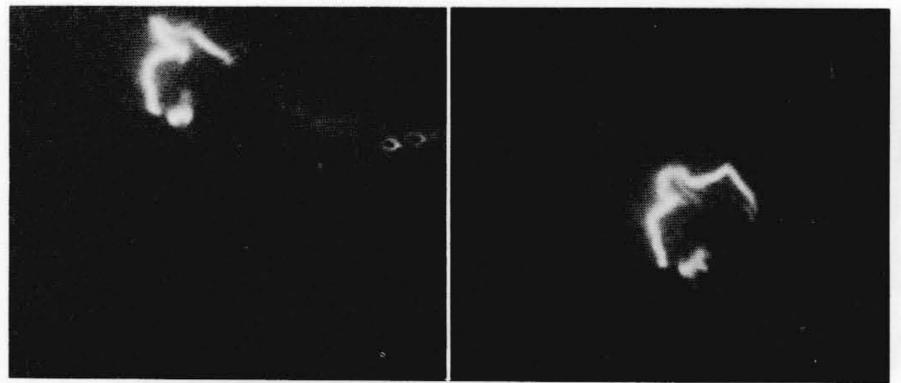
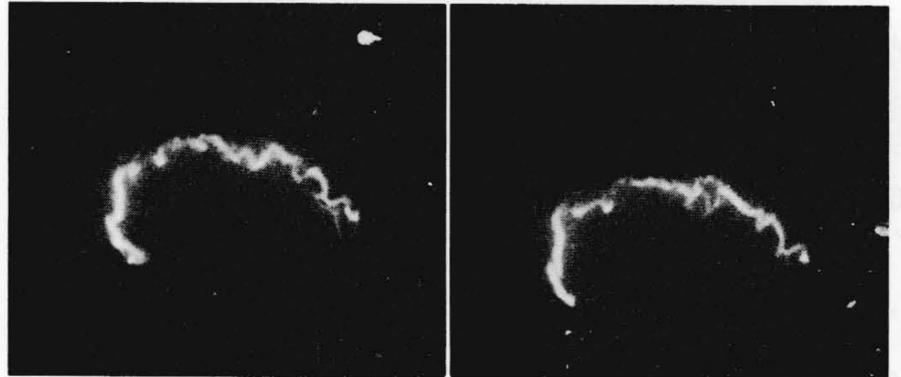


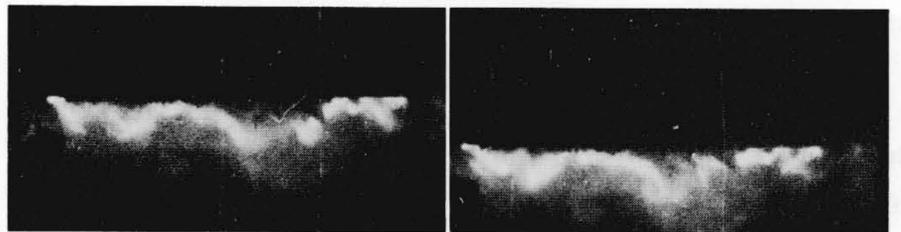
図6 ハイLOOP方式のアークシュート ジルコン磁器のアークバリヤ内で、アークはループ状に引き伸ばされる。



(a) アークが、可動アーク接触子～固定アーク接触子間で発生。



(b) アークが、アークホン転移した状態。



(c) アークが電極に転移し、バリヤ内に挿入する寸前。

図7 アークのしゃ断状況 アークがアークシュート内に入る状態が分かる。

となった。

(2) 操作器

操作器は、大別して投入ばねを蓄勢する機構、投入ばねの力を支えておく投入ばね支え機構及び接触子を開閉するため

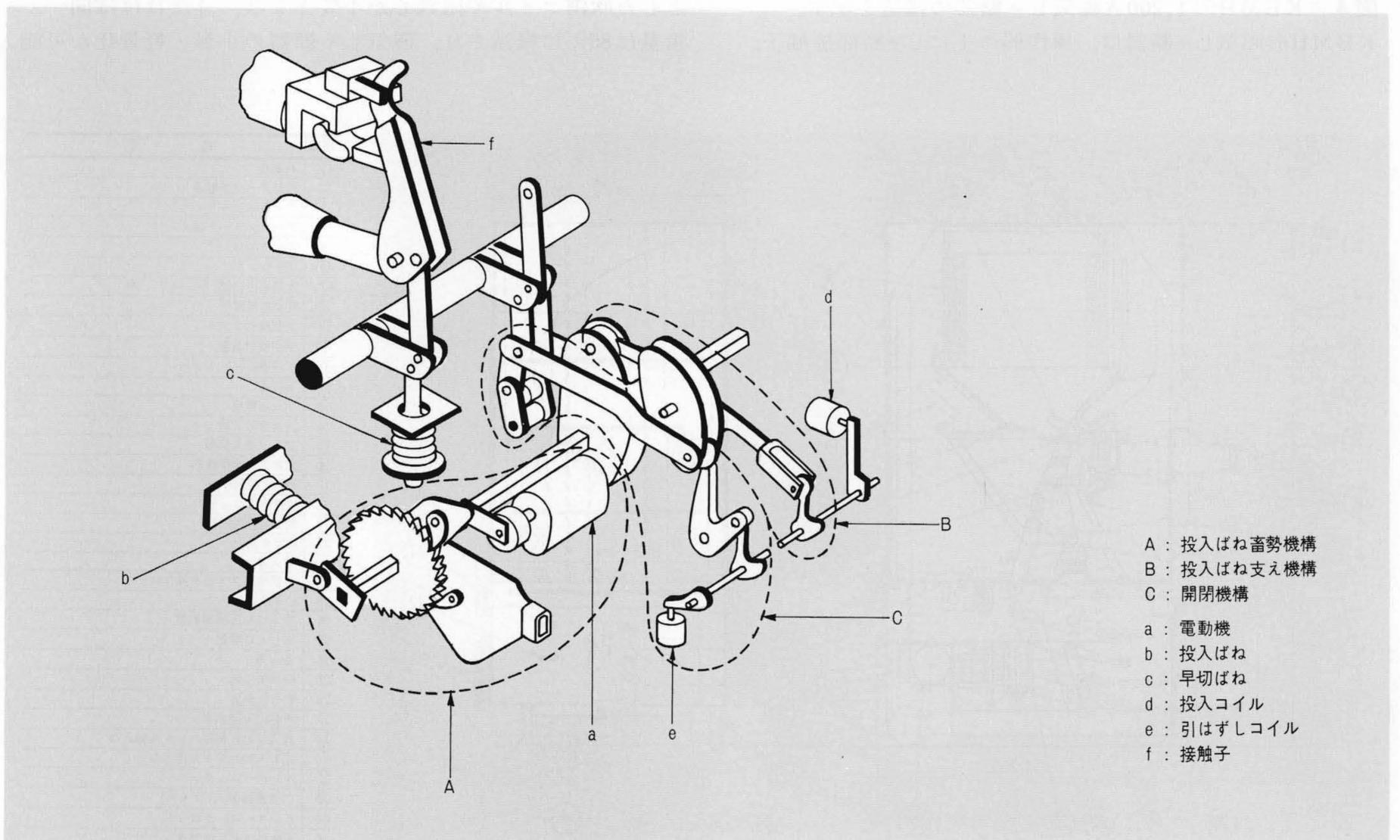


図8 電動ばね操作器 A: 投入ばね蓄勢機構, B: 投入ばね支え機構及びC: 開閉機構から構成され、機構が簡素化されている。

の開閉機構から構成されている。図8に電動ばね操作器の構造を示す。しゃ断電流60kAでは40kAに比較し、投入操作時の電磁反発力が約2倍となるが、60kA操作器はメカニズム、材料、表面処理などに新技術を採用し、従来の40kAのものとはほぼ同一の容積となった。

**5 耐震性**

原子力発電所の非常事態でも、原子炉を安全に停止させるための電源確保用として、耐震形メタルクラッド配電盤が必要である。今回、従来の耐震形を見直した結果、水平引出形しゃ断器を採用することにより、重量の重いしゃ断器を床に固定することが容易となり、メタルクラッド配電盤の重心を低くすることができ、剛体設計が容易となった。これらを静的耐震確認手法<sup>1)</sup>及び動的耐震確認手法<sup>2)</sup>により、フレーム、基礎ボルトなどの応力、変形量を解析して、共振周波数の高い剛体構造としている。

**6 試験**

**6.1 温度上昇試験**

定格電流1,200A、3,000Aのメタルクラッド配電盤に、磁気しゃ断器、変流器を実装して通電し、温度上昇値を測定した。一例として1,200A通電結果を図9に示す。

**6.2 耐電圧試験**

主回路に商用周波22kV1分間、インパルス正負60kVを各3回印加、また制御回路に2kV1分間加圧し、各々の試験に耐えることを検証した。

**6.3 短時間電流試験**

メタルクラッド配電盤に磁気しゃ断器、変流器などを組み立てた状態で短時間電流60kA(非対称波高値150kA)を2秒間通電し、十分に耐えることを検証した。

**6.4 短絡試験**

しゃ断器をメタルクラッド配電盤に収納して、三相短絡試験を行なった。図10のオシログラムに、アークバリヤの優れた消弧性能により、良好にしゃ断されていることを示す。また、図11に接触子の状態を示す。

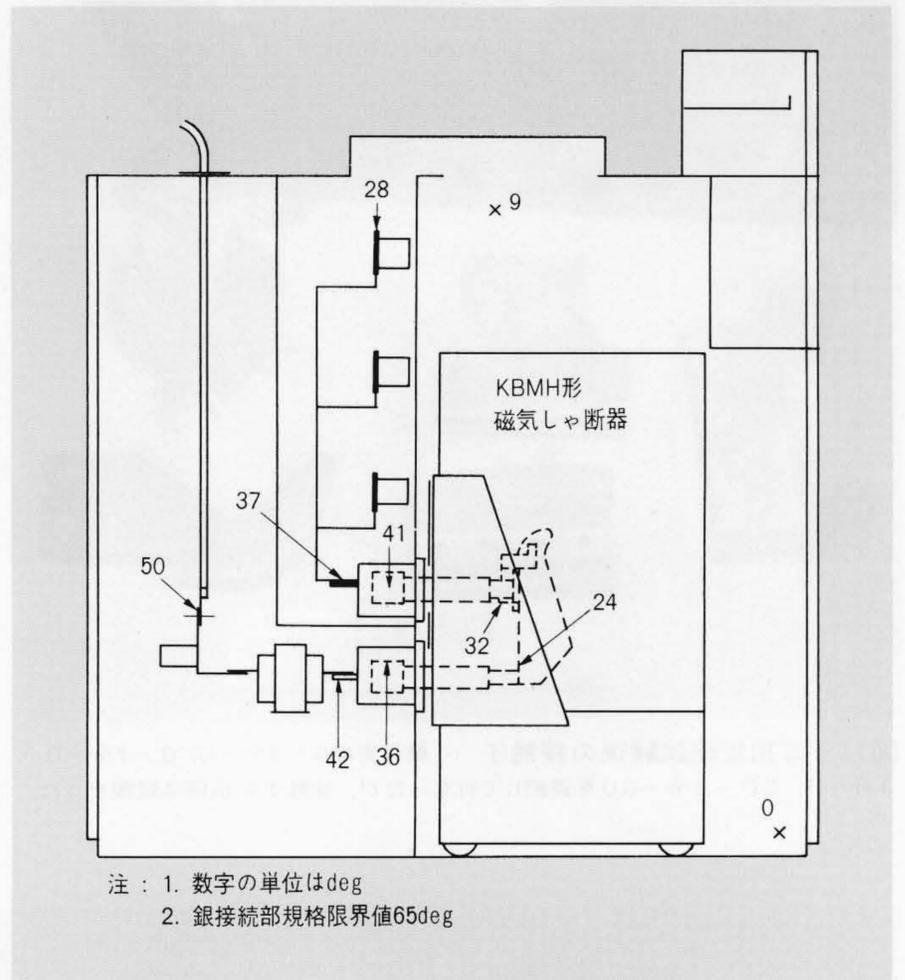


図9 温度上昇試験結果 各部の温度上昇値は、規格値65degに対し十分な余裕がある。

**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しゃ断試験を行ない、臨界電流でも補助空気吹付装置により、アーク時間2サイクル以下でしゃ断できることを確認した。

図12に全しゃ断電流域でのアーク時間特性を示す。

**6.6 開閉試験**

10,000回の無負荷連続開閉試験を行ない、動作特性の変化は認められないことを検証した。図13に試験後の部品の状態を示す。

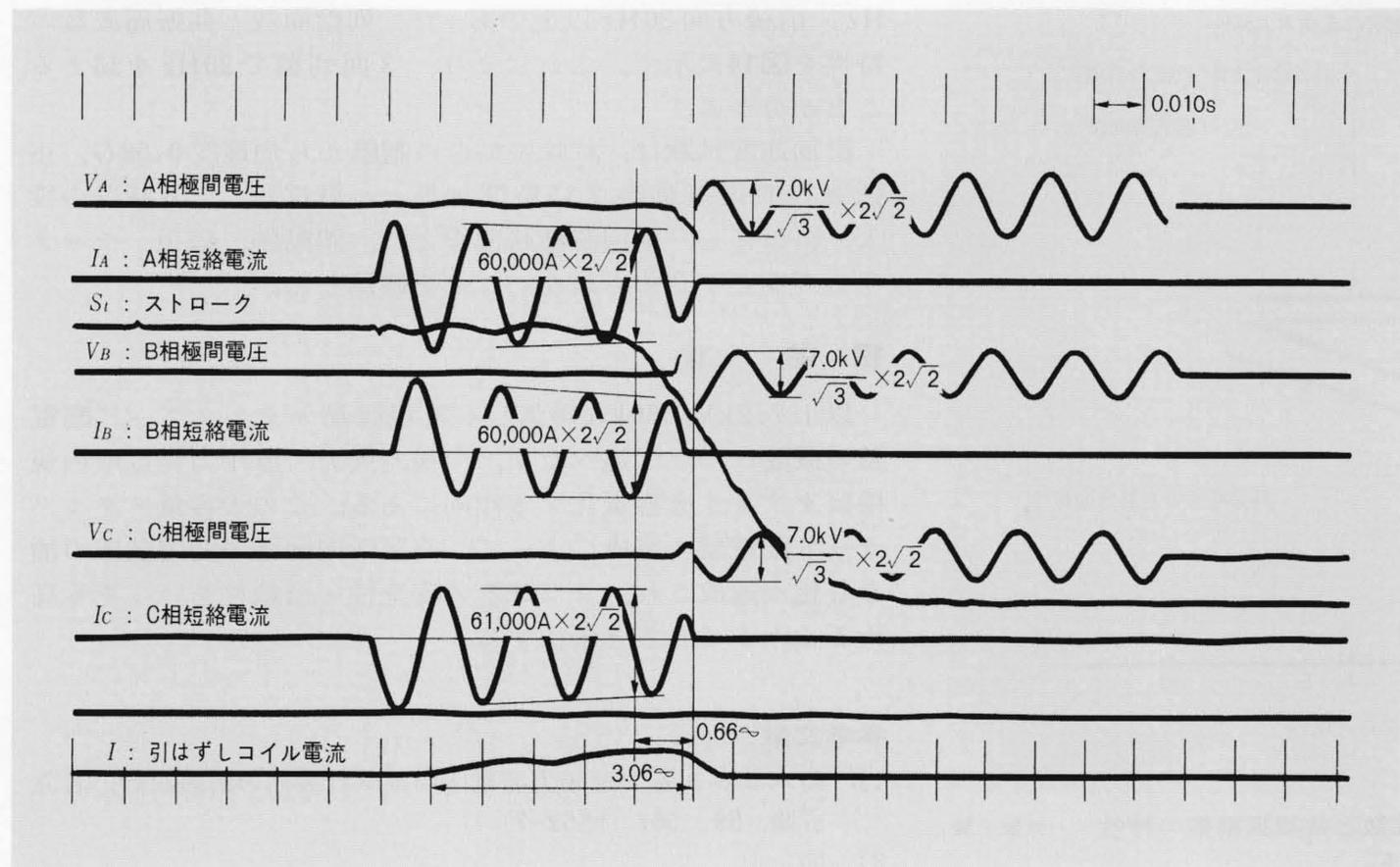


図10 短絡試験オシログラム 開極後0.66サイクルでしゃ断している。

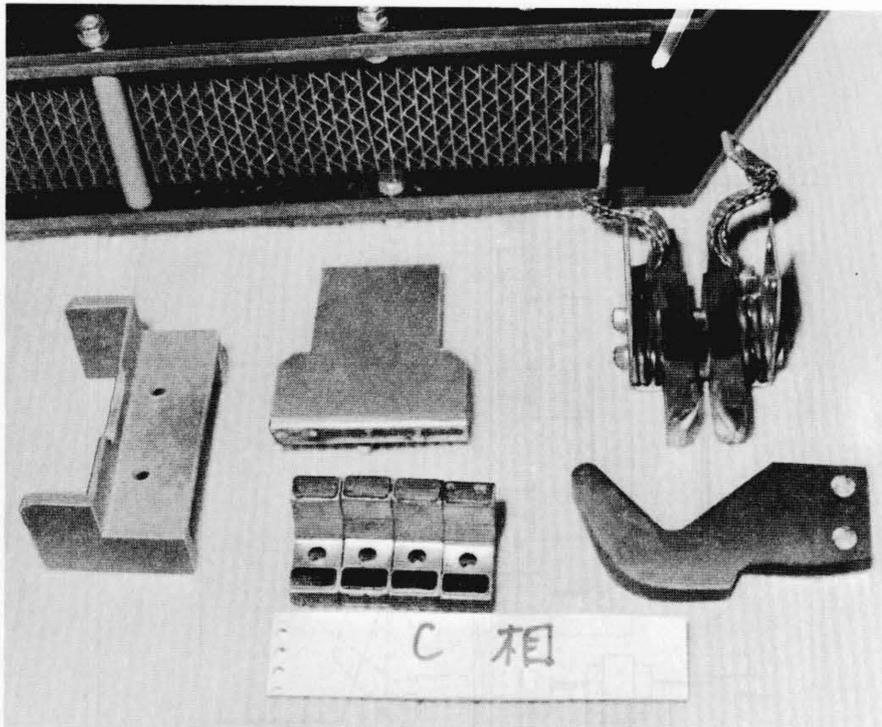


図11 三相短絡試験後の接触子 動作責務C-3分-C, 0-1分-0-3分-0, C0-3分-C0を連続して行なったが, 接触子の損傷は軽微だった。

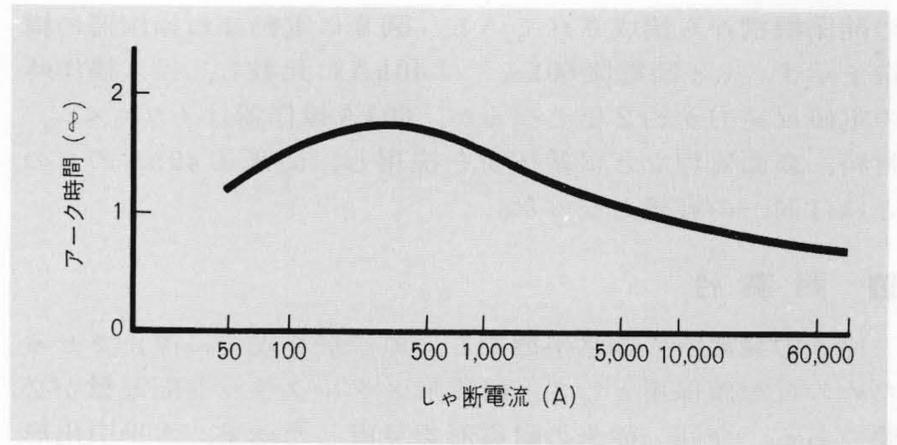


図12 7.2kV, 60kA磁気しゃ断器のアーク時間特性 しゃ断電流の全領域にわたって, アーク時間は約2サイクル以下である。

### 6.7 耐震試験

耐震形メタルクラッド配電盤を実装列盤とし, 共振振動数検索試験と耐加速度試験を行なった。共振振動数検索試験は, 盤の左右及び前後方向を, 振動数5~30Hz, 加速度一定の

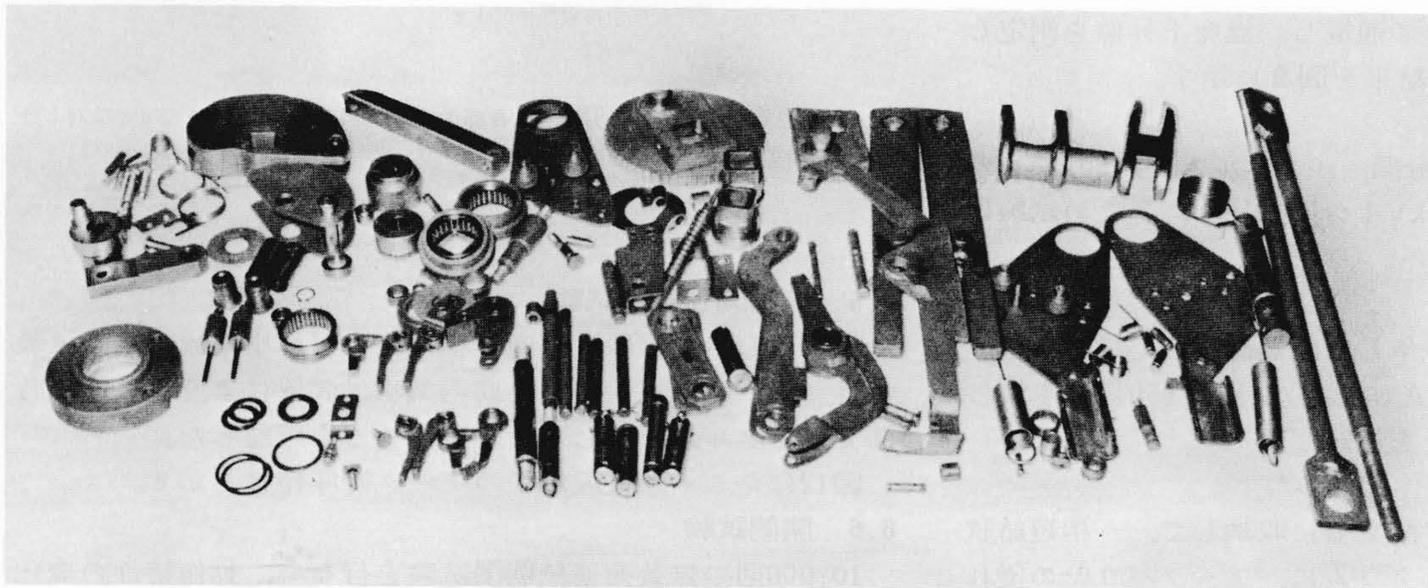


図13 開閉試験後の操作器部品 連続10,000回動作後, 部品に損傷などは認められない。

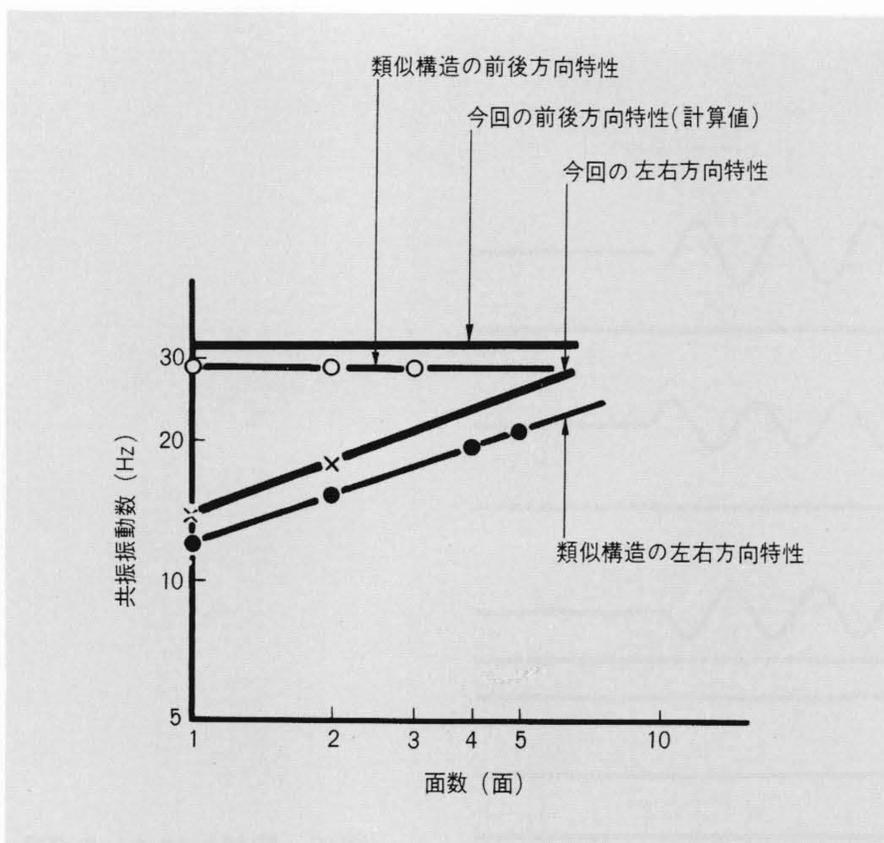


図14 メタルクラッド配電盤面数と共振振動数の特性 列盤2面で左右方向の共振振動数は18Hzである。

正弦波で加振した。共振振動数は盤2面列盤で, 左右方向18Hz, 前後方向30Hz以上であった。列盤面数と共振周波数の特性を図14に示す。これにより, 3面列盤で20Hzを超えることが分かる。

耐加速度試験は, 試験振動台の制限から加速度0.58G, 正弦波の共振振動数で15秒間加振し, 継電器, しゃ断器の投入, 引はずし, 主回路断路部などに, 誤動作, 破損, チャタリングなどが認められないことを確認した。

### 7 結 言

以上7.2kV, 60kA磁気しゃ断器収納メタルクラッド配電盤の概要について述べたが, 今後, 火力・原子力発電所の規模はますます大容量化する傾向にある。この大容量メタルクラッド配電盤の完成によって, 高圧所内回路の開閉装置の油なし化が達成され, 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と確信する。

### 参考文献

- 1) 鈴木ほか3名: 原子力発電所用電気計装品の耐震設計, 日立評論, 59, 567 (昭52-7)
- 2) 同上