

発電機主回路用ガスしゃ断器

Gas Circuit Breakers for Generator Main Circuits

近年、発電機の大容量化、超々高压送電線への直接昇圧が行なわれる傾向に伴い、発電機主回路用低圧大容量しゃ断器を使用した低圧同期方式の特長が大きくなってきている。日立製作所では定格電圧24kV、定格電流10/16kA、定格しゃ断電流63kAの発電機主回路用ガスしゃ断器を開発した。本器は、多数の製作実績をもち構造が簡単な単一圧力パツファ形SF₆ガスしゃ断器の技術を基礎に、発電機主回路用しゃ断器に要求される大電流通電、大電流しゃ断、多頻度開閉に際して長寿命の性能をもち、かつ連続シース方式相分離母線と直結する構造などを採用して、小形・軽量化を図ったものである。

白水達二* Tatsuji Shirouzu

伊藤義守* Yoshimori Itô

高橋 功** Isao Takahashi

1 緒 言

近年、電力需要の増大に伴い発電機の単機容量は飛躍的に増大し、発電機と主変圧器を接続する主回路に使用されるしゃ断器にも大容量化の気運が高まっている。発電所の主回路の方式の一つとして、発電機と主変圧器とを結ぶ発電機主回路にしゃ断器を設ける低圧同期方式は経済性、運用面で幾多の特長が認められているが、大容量発電所ではしゃ断器に要求される責務が過酷なことから、発電機と主変圧器を直結し高压側にしゃ断器を設ける高压同期方式が採用されてきた。

近年、超々高压送電線への直接昇圧のケースが増大し、また揚水発電所でのサイリスタ起動方式の採用などにより、低圧同期方式の特長が極めて大きくなり、この方式を実用化するため、日立製作所では大容量の発電機主回路用ガスしゃ断器の開発を行なった。今回開発した24kV、10,000A/16,000A、63kAガスしゃ断器は、既に日立製作所で多数実績のある72～550kV単一圧力パツファ形ガスしゃ断器の技術を基礎とし、主

に水力・揚水発電所への適用を考慮して大電流通電、大電流しゃ断、多頻度開閉で長寿命、据付面積の縮小、相分離母線との直結などを考慮して開発したものである。本器は各種の検証試験を完了し、東北電力株式会社、北陸電力株式会社及び日本国有鉄道から合計5台を受注し、現在鋭意製作中である。

更にまた、火力・原子力発電所用として定格電流42kAの大容量発電機主回路用ガスしゃ断器を開発中である。

2 発電機主回路方式

図1に発電機主回路方式の比較を示す。発電機主回路用しゃ断器を使用した低圧同期方式は、次に述べるような特長がある。

(1) 起動用変圧器の省略

起動用として所内変圧器を使用できるので起動用変圧器を省略でき、特に、高压側の電圧が超高压又は超々高压の場合

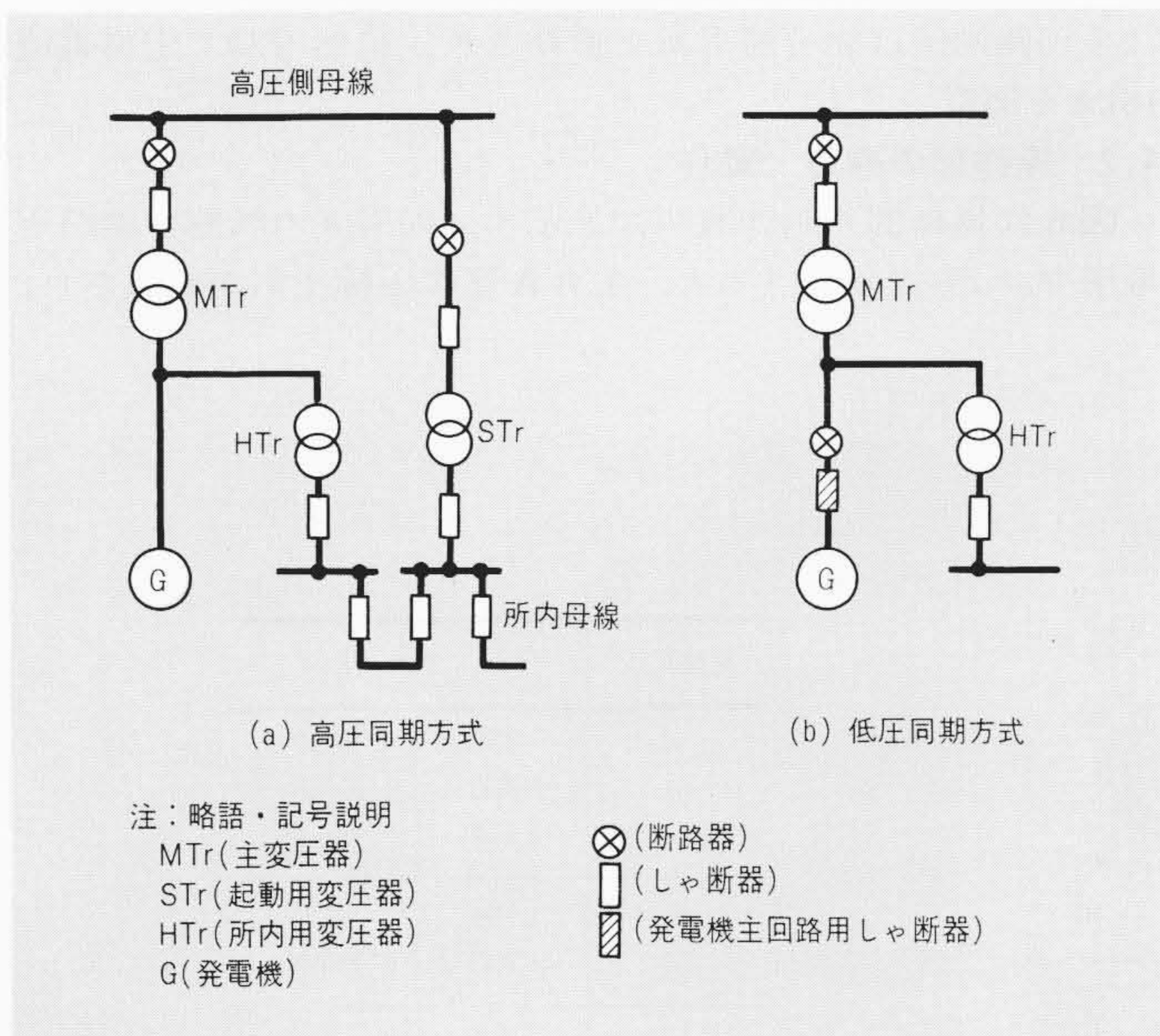


図1 発電機主回路方式 発電機主回路用しゃ断器を使用した低圧同期方式では、起動用変圧器を省略できる。

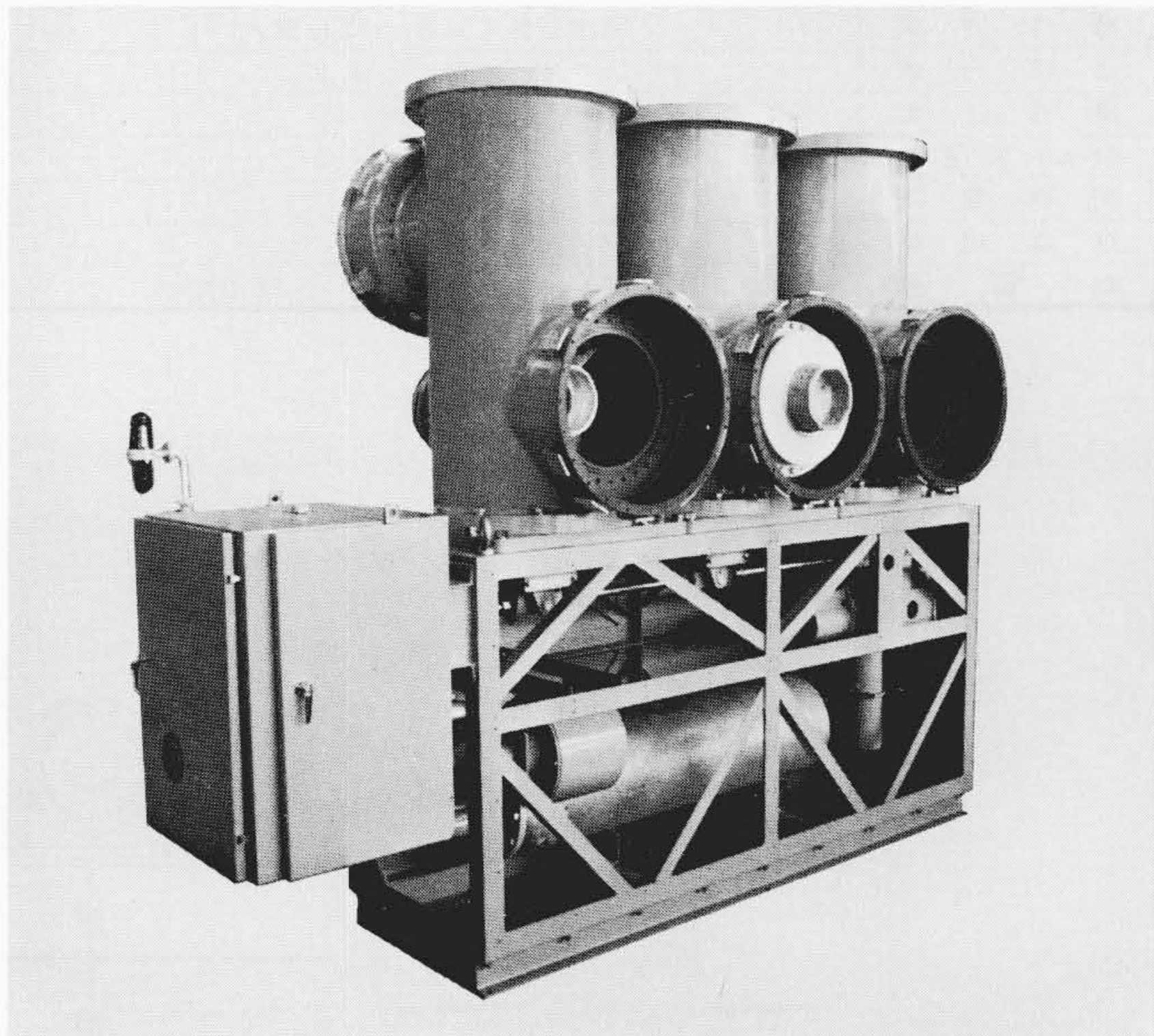


図2 発電機主回路用ガスしゃ断器 主回路端子及びシースは、相分離母線と電氣的に接続され、連続シース方式を構成する。

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所

には経済的効果が大きくなる。

(2) 系統運用の合理化

発電機の系統への併入、分離は低圧側で行なえるので、発電機の起動、停止時の所内母線の切換えが不要になるとともに、高圧側開閉器の操作頻度を減少できる。

(3) 補機電源の高信頼性

発電機と主回路しゃ断器との間の事故の場合は、主回路しゃ断器を開路させることにより無停電で所内電源を確保できる。

(4) 主変圧器の過励磁防止

発電機起動時は、主変圧器と発電機は主回路しゃ断器により開離できるので、主変圧器の過励磁が防止できる。

(5) セントラル方式の採用が可能

発電機2台に対し主変圧器1台のセントラル方式の採用が可能である。

3 定格・仕様

今回開発した発電機主回路用ガスしゃ断器の外観を図2に、外形寸法図を図3に、相分離母線と組み合わせた配置例を図4に、また定格を表1にそれぞれ示す。

4 構造・動作

4.1 全体構造

図5にガスしゃ断器の全体構造を示す。三相のしゃ断部は

表1 発電機主回路用ガスしゃ断器の定格 定格電流10kA、16kA器の主な定格、仕様を示す。定格短時間電流は125kAであるので、短絡電流が63kAを超える系統でも負荷開閉器として使用できる。

形 式	FPT-20XL-63PA	FPT-20XT-63PA
定 格 電 圧	24kV	
絶 縁 階 級	20号B	
定 格 電 流	10,000A	16,000A
定格しゃ断電流	63kA	
定格投入電流	160kA	
定格短時間電流	125kA 2秒	
しゃ断時間	5サイクル	
投 入 時 間	0.15秒	
操 作 方 式	圧縮空気しゃ断、ばね投入	
消 弧 方 式	SF ₆ ガスパッファ	
操 作 圧 力	15kg/cm ²	
SF ₆ ガス圧力	5kg/cm ²	
制 御 電 圧	DC 100V	
準 拠 規 格	JEC-181(1975)	
総 重 量	10,000kg	12,000kg

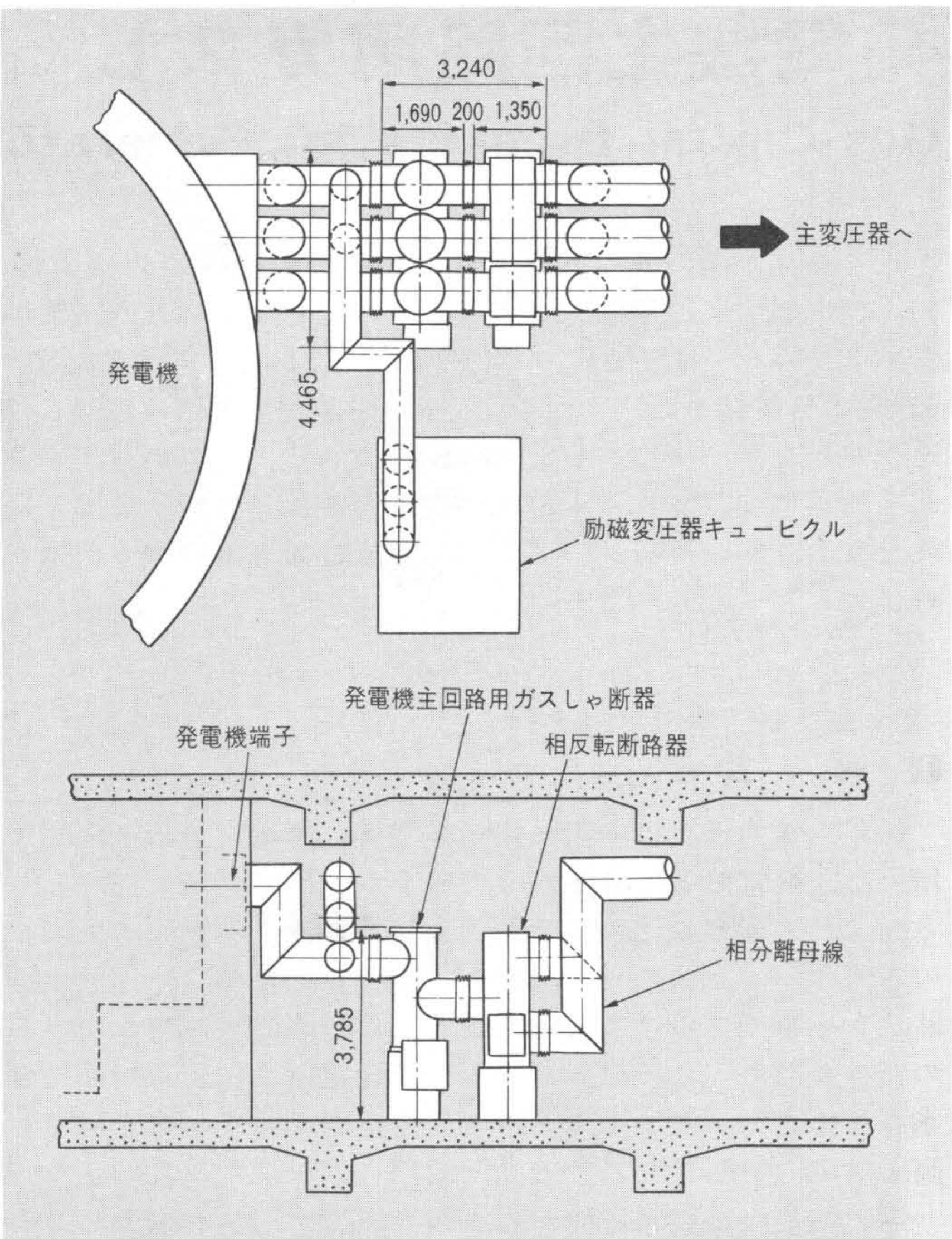


図4 発電機主回路の配置例 24kV、10,000A、63kAガスしゃ断器を相反転断路器と組み合わせて、揚水発電所に適用した例を示す。

各相独立した接地形タンクに収納され、架台上に垂直に取り付けられ、空気操作器によって三相同時に操作される。架台部分には操作用空気タンク、電磁弁、主弁、操作シリンダ、投入ばねなどから成る空気操作器が配置されている。

主回路端子は相分離母線と直結され、自然冷却で定格電流16kAを通電できる。

4.2 操作部の構造・動作

図6に操作部の動作説明図を示す。同図(a)の状態で開路用電磁弁コイルを励磁すると、主弁A室に圧縮空気が充気され、

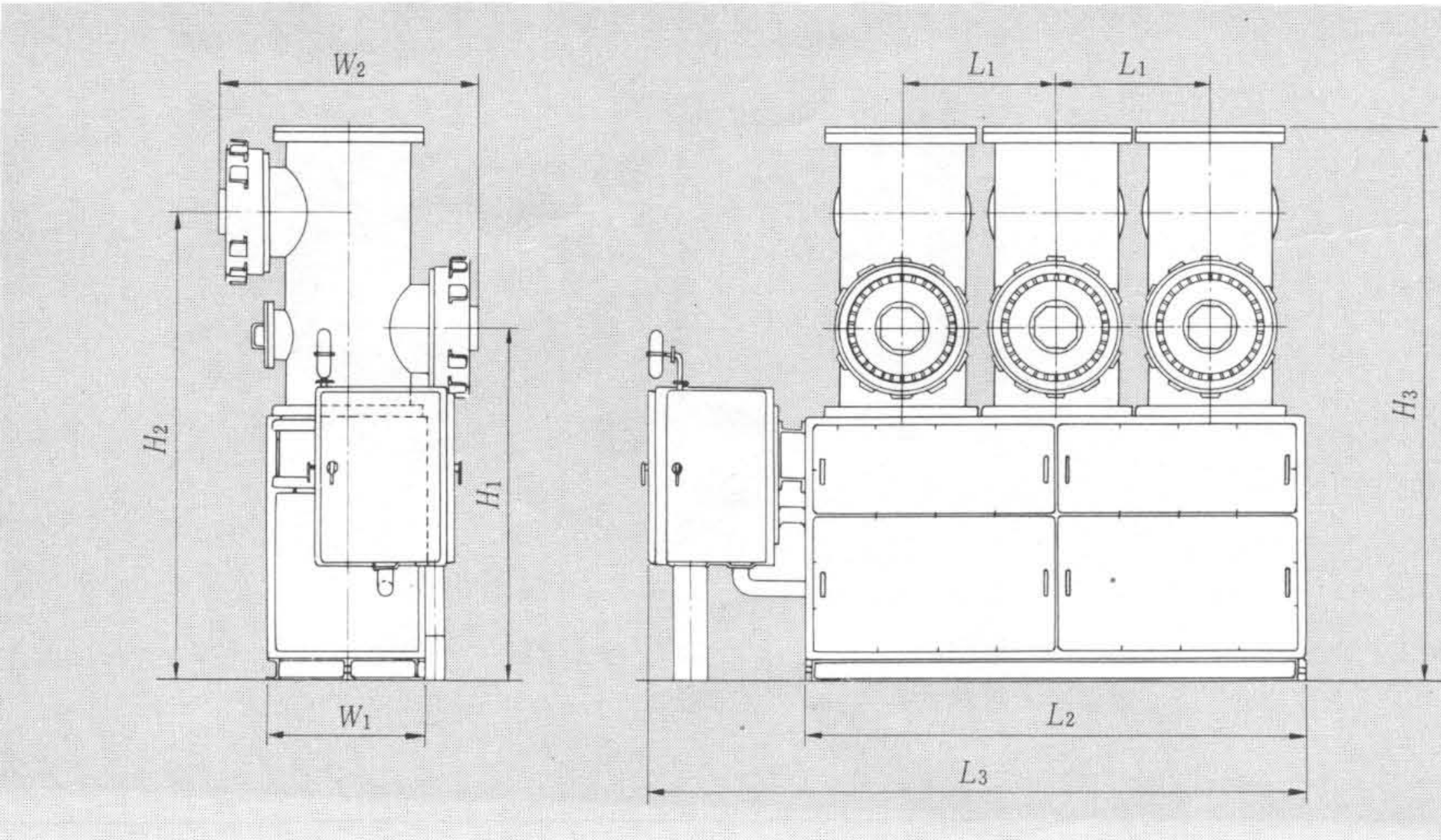


図3 ガスしゃ断器外形寸法図 縦形しゃ断部、三相一括操作方式の採用により、据付面積は極めて小さく発電機主回路機器の配置が容易になる。

定格電流	10kA	16kA
L ₁	1,050	1,300
L ₂	3,400	4,150
L ₃	4,465	5,215
W ₁	1,100	1,350
W ₂	1,790	2,040
H ₁	2,400	2,500
H ₂	3,200	3,300
H ₃	3,785	4,000

注：単位(mm)

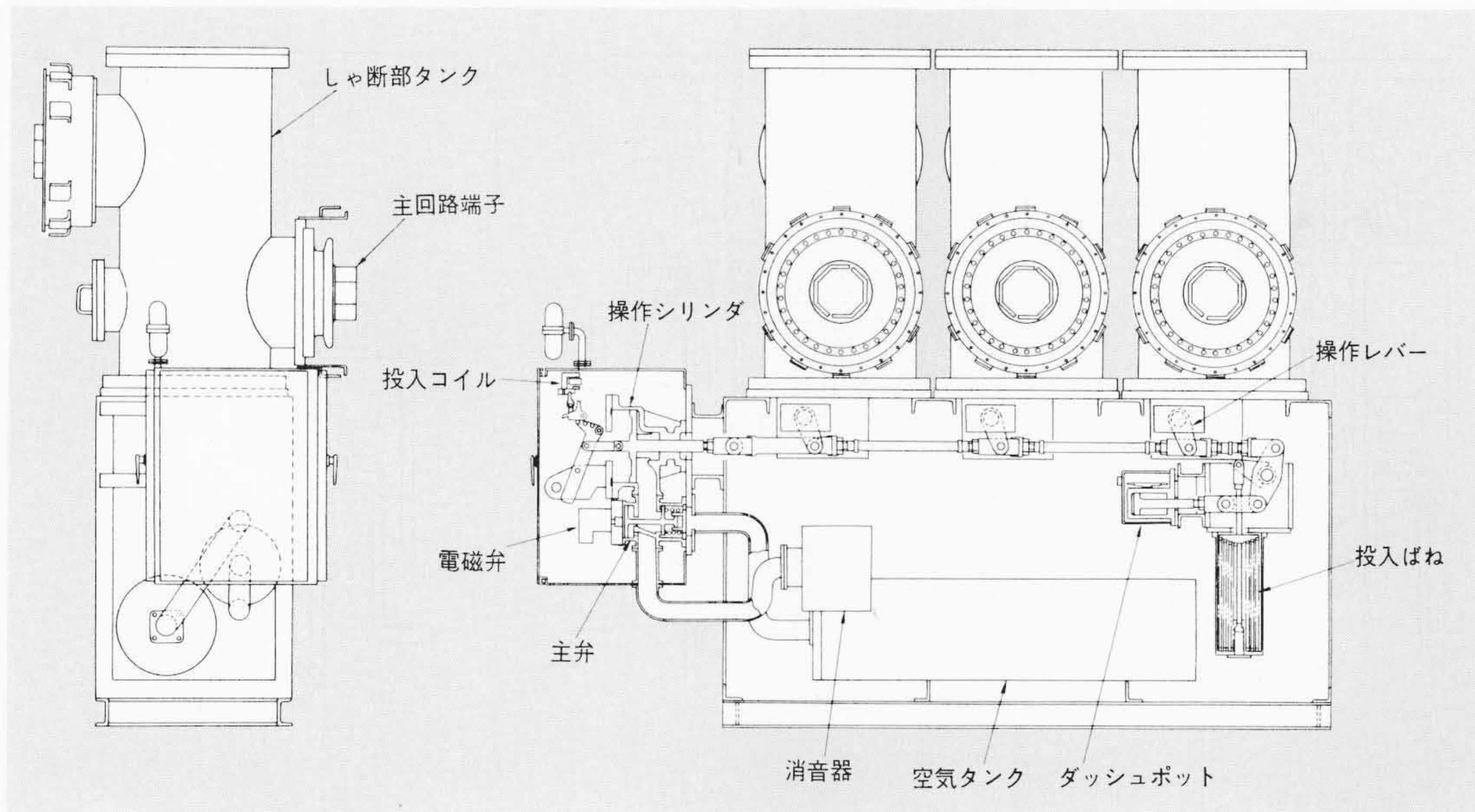


図5 ガスしゃ断器構造図 各相しゃ断部は、空気操作器により三相一括操作される。

主弁ピストンは左方向に押されて主弁を開く〔同図(b)参照〕。操作ロッドに直結されている操作ピストンは、投入ばねを圧縮しながら矢印の方向に駆動され、各相しゃ断部の操作レバーを回転させ、しゃ断部タンク内部の接触子の開路動作を行なう。

開路動作完了直前でローラが掛金に係合して機構は機械的に保持されるとともに、操作シリンダの空気を排気して開路状態が保持される。

投入コイルを励磁すると図6(c)の状態からアーマチュアが吸引され、フックが外れて機械的保持が解け操作ロッドは投

入ばねにより投入方向に駆動される。

4.3 しゃ断部の構造

図7にしゃ断部の構造を、図8にしゃ断動作原理図を示す。アルミニウム製のしゃ断部タンクは、上部を点検用カバー、主回路端子部を2個のブッシングで密閉され、主接触子、アーク接触子を内蔵するとともに 5 kg/cm^2 の SF_6 ガスが封入されている。

電流は主回路端子、主固定・可動接触子を通り主回路端子へと流れる。

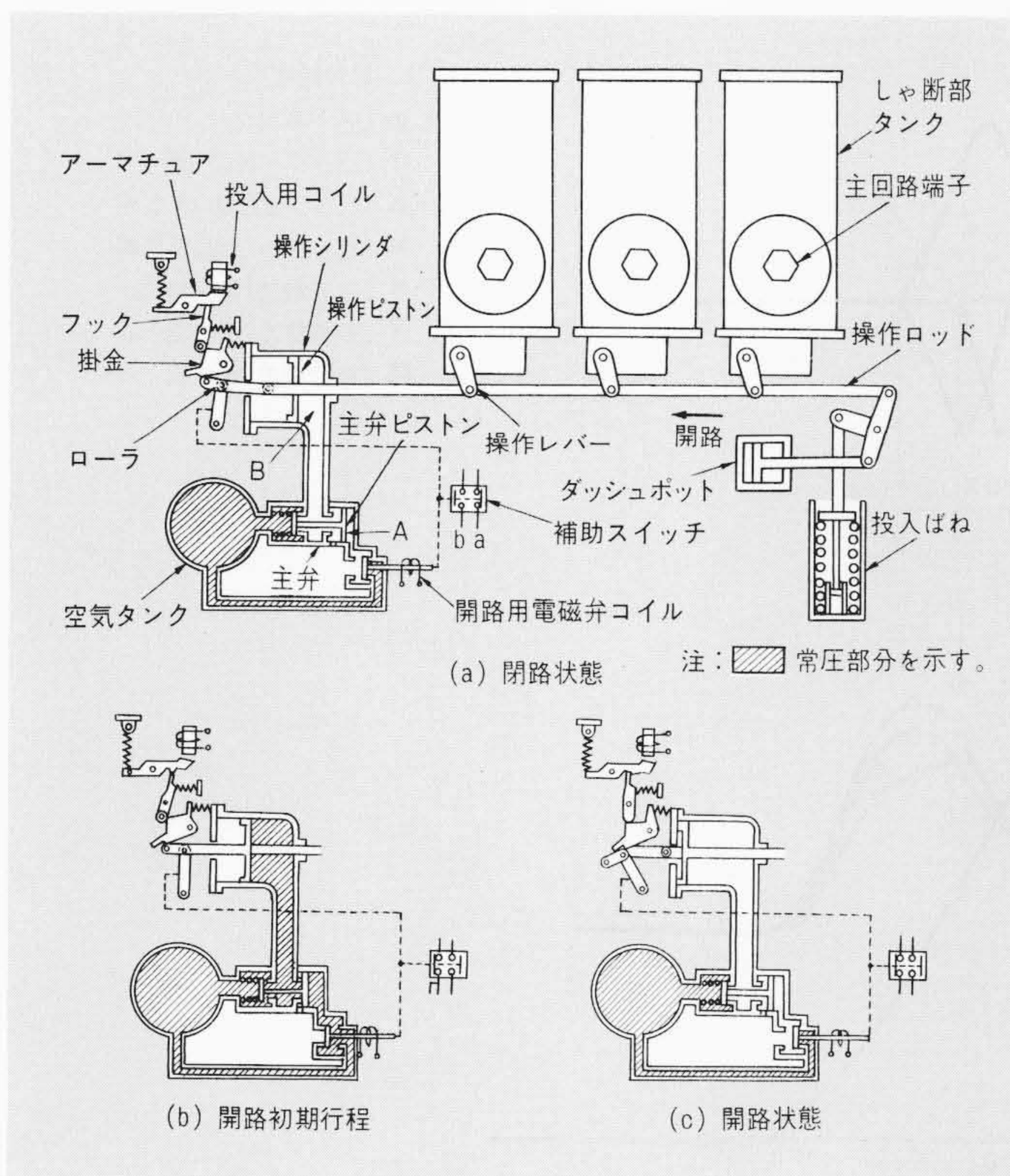


図6 操作部動作説明図 圧縮空気により、操作ピストンは矢印方向に駆動され、しゃ断動作を行なう。

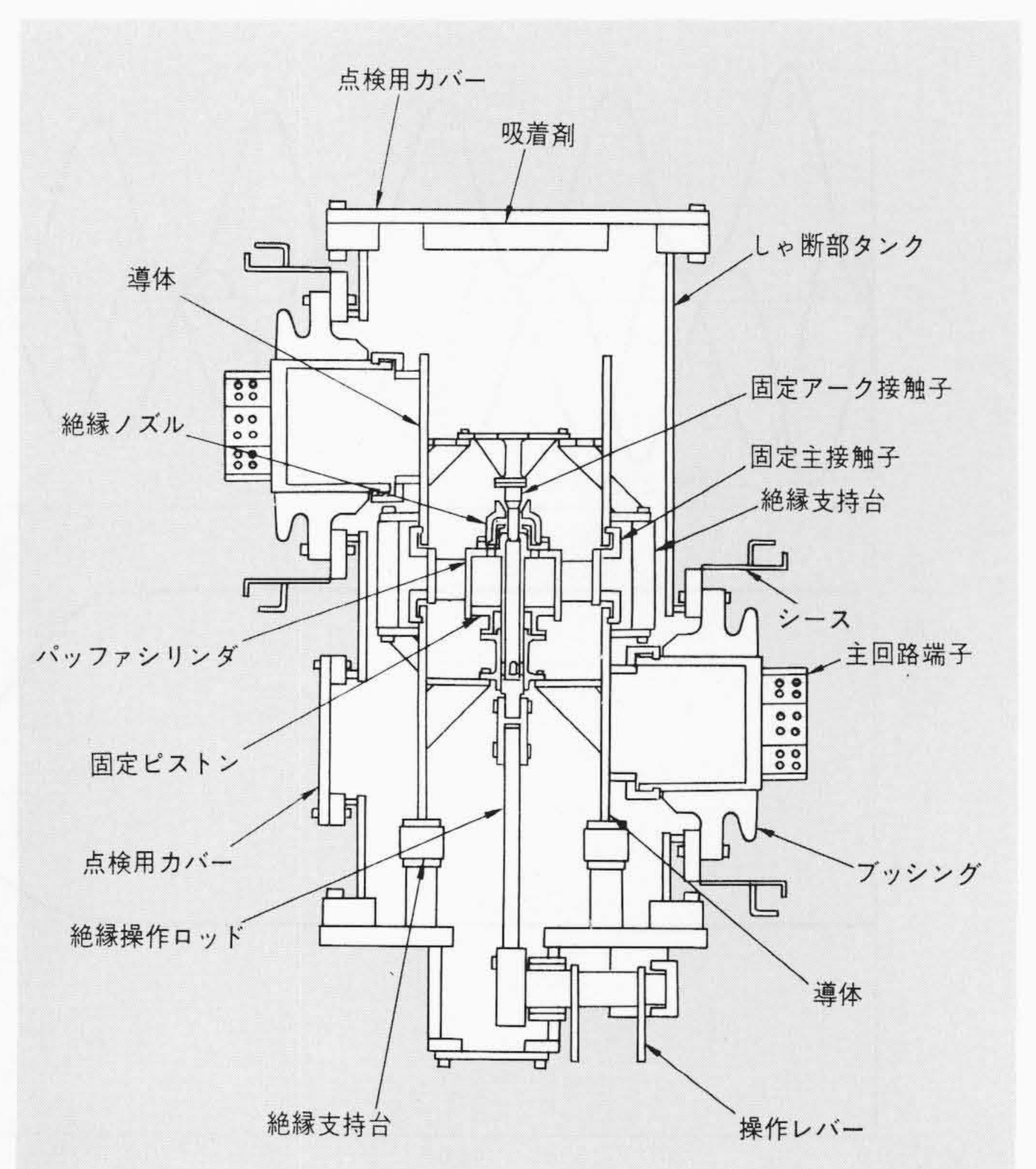


図7 しゃ断部構造図 アルミニウム製の接地タンク内には、 5 kg/cm^2 の SF_6 ガスが封入されており、パッファシリンダにより圧縮されたガスの吹付けにより消弧が行なわれる。

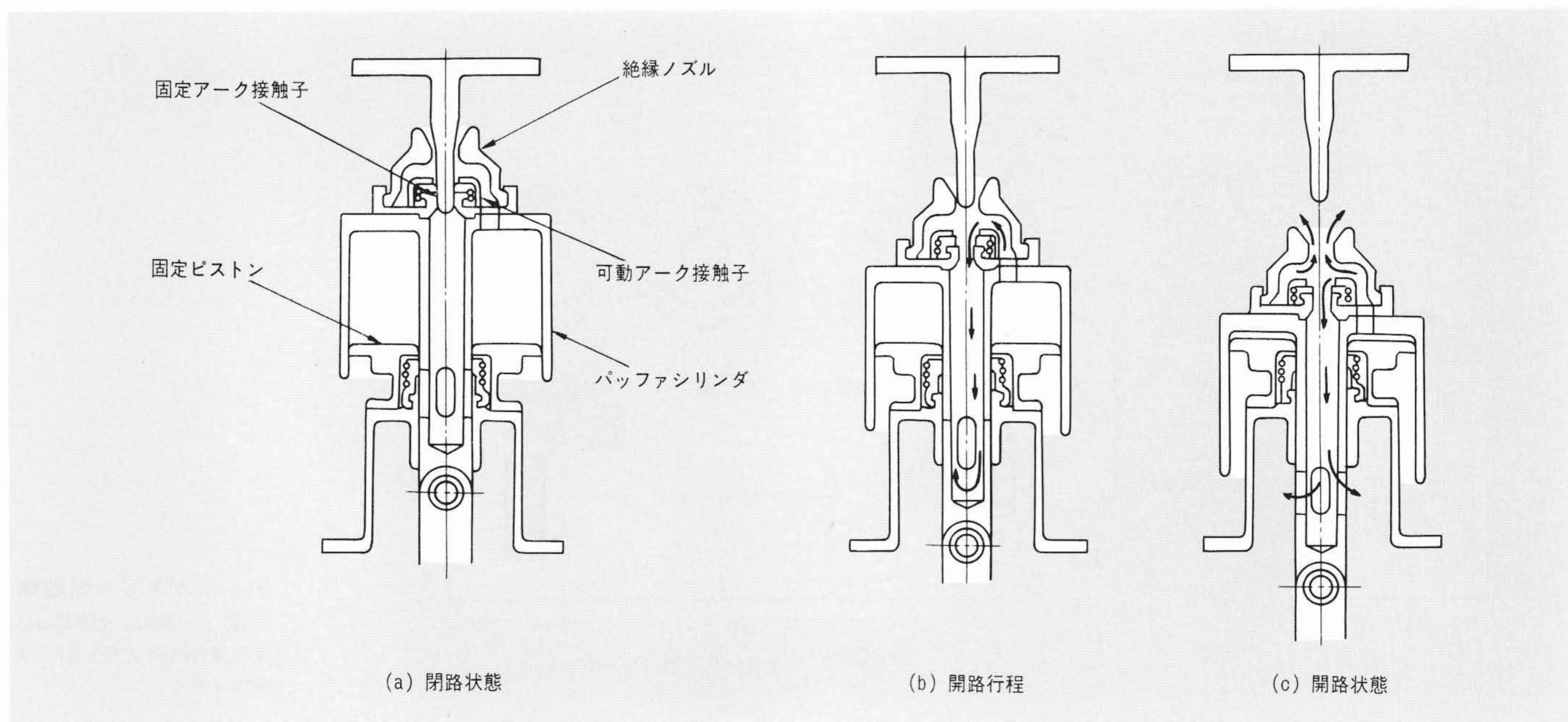


図8 シャ断動作原理図 パッファシリンダが下方に駆動されると、シリンダ内で圧縮された SF_6 ガスはノズル部、中空軸部への二方向へ吹き付けられ、発生したマークは消弧される。

相分離母線とは主回路端子部で接続するが、シャ断器のタンク及びシース部分を相分離母線のシースと電氣的に接続して、シース電流を流す連続シース方式を採用した。

このため、定格電流が16kAであっても導体の発生する磁束による近接構造物の発熱、短絡電流63kAによる相間電磁力の増大を防止し、小形の装置を作ることができた。

シャ断動作では、操作レバーが回転して絶縁操作ロッドと接続されたパッファシリンダが下方に駆動される。パッファシリンダの外周には、円筒状の可動主接触子が配置されているため、下降行程の最初にまず円筒状の主接触子と多数のフィンガー状の固定側主接触子が開かれ、電流は固定アーキ接触子から可動アーキ接触子に分流し、両アーキ接触子間でアー

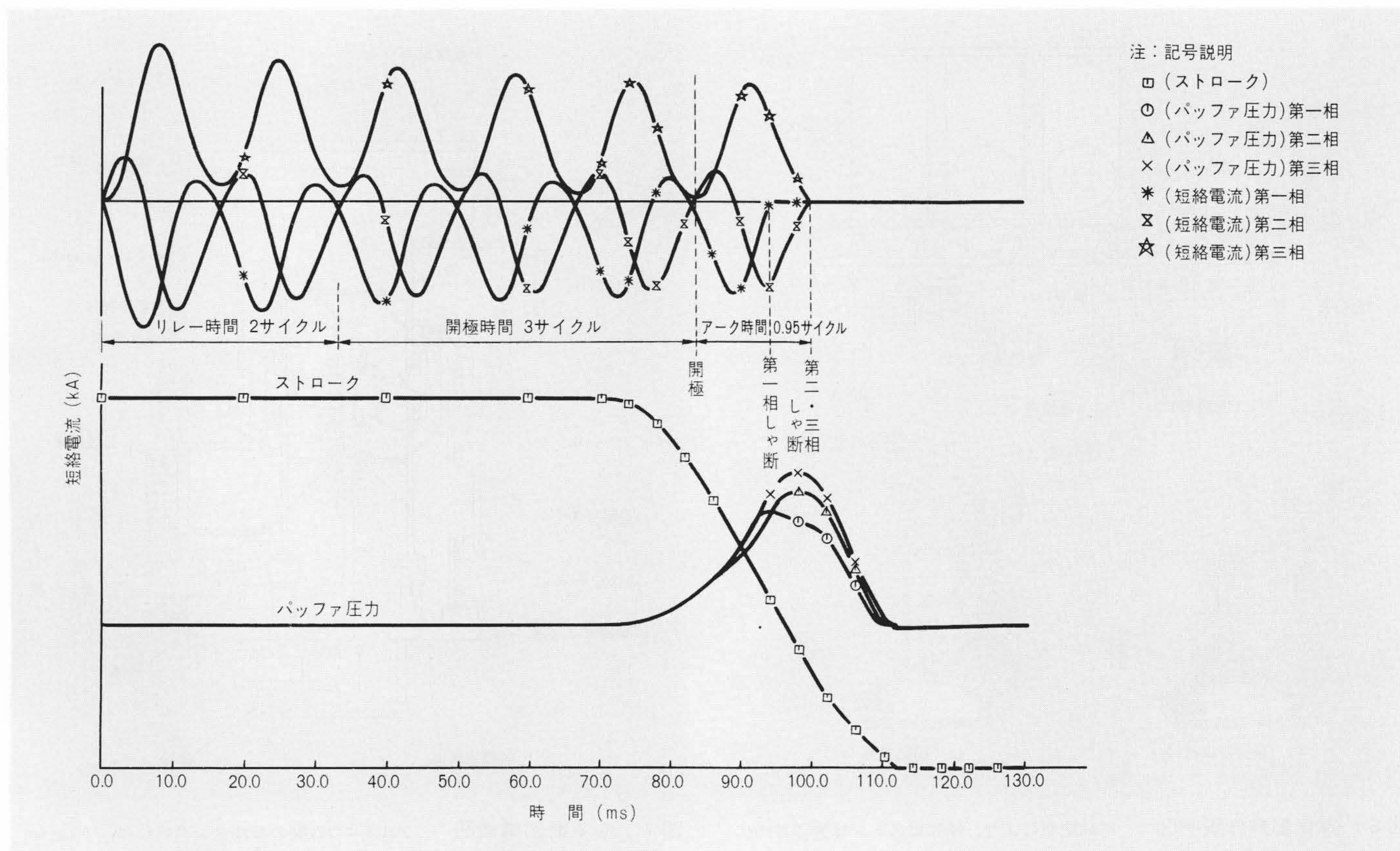


図9 発電機主回路短絡電流、パッファ圧力の計算結果 発電機定格16.5kV, 130MVA, 60Hz, 短絡位相30度, アーク抵抗を考慮しない場合を示す。

クが発生する。

このアークは、パッファシリンダの下降動作でシリンダ内で圧縮されたSF₆ガスにより、ノズルの部分、中空軸端の排気口の二方向に吹付けを受けて消弧される。

定格電流10kA器と16kA器は円筒状の主接触子の寸法、フィンガー状の固定接触子の員数が異なるだけで、アーク接触子、パッファの構造は同一であるため、しゃ断性能は両者とも同一である。

5 発電機主回路短絡電流の解析

パッファ形ガスしゃ断器では、短絡電流しゃ断可能な条件として、しゃ断アーク電流に電流零点が生ずること、その時点でパッファ圧力がしゃ断可能圧力値以上であることなどが必要である。発電機主回路に短絡事故が発生した場合、発電機側から供給される非対称短絡電流は交流分が直流分より早く減衰する場合があり、直流分が最大に入った相は数サイクルの間電流零点を通過しない現象が生ずることがある。このため、120～900MVAの各種発電機定数を使用して、短絡電流波形、パッファ圧力の解析を行なった結果、しゃ断器のアーク抵抗5 mΩ(アーク電流60kAでの実測値の下限)を考慮することにより、開極後最初の零点通過相がしゃ断完了すれば、残りの相も速やかに零点を通過し、しゃ断可能なパッファ圧力値が十分な時間持続することが明らかとなった。図9に短絡位相が最悪で30度のときのアーク抵抗を考慮しない場合の計算結果を示す。実際には、しゃ断器のアーク抵抗、短絡点のアーク抵抗が存在するため、これを考慮すると直流分は更に早く減衰し、電流零点は得やすくしゃ断容易となる。

表 2 開閉特性試験結果 開閉特性は10kA器、16kA器とも同一である。

試 験	空気操作 圧 力 (kg/cm ²)	制御電圧 (V)	投 入 時 間		開 極 時 間	
			投入時間 (s)	接触差 (s)	開極時間 (s)	開離差 (s)
投 入 操 作	—	75	0.146	0.001	—	—
	—	100	0.127	"	—	—
	—	125	0.118	"	—	—
引外し操作	12.5	60	—	—	0.051	0
	15	100	—	—	0.043	"
	16.5	125	—	—	0.041	"
	"	60	—	—	0.048	"
引外し自由	13	75	0.147	0.001	0.049	0
	15	100	0.127	"	0.042	"
	16.5	125	0.118	"	0.041	"
	"	75	0.153	"	0.049	"

表 3 温度試験結果 ガスしゃ断器定格24kV、10,000A、63kA、通電電流10,000A、周波数60Hzでの温度試験結果を示す。

No.	測 定 箇 所	温度上昇値(deg)			温度上昇 限度(deg)	接 触 材 料
		A相	B相	C相		
①	主回路接続導体	60	61	61	65	銀-銀
②	シース端子	24	24	23	40	アルミニウム-アルミウム
③	主回路端子	60	61	62	65	銀-銀
④	ブッシング接触子	59	60	60	65	銀-銀
⑤	タンクカバー	29	27	28	40	—
⑥	主導体	54	56	55	65	—
⑦	タンク外面	17	19	19	40	—
⑧	主固定接触子(上)	51	50	54	65	銀-銀
⑨	主可動接触子	50	51	55	"	銀-銀
⑩	主固定接触子(下)	50	48	52	"	銀-銀
⑪	主回路端子	58	59	59	"	銀-銀

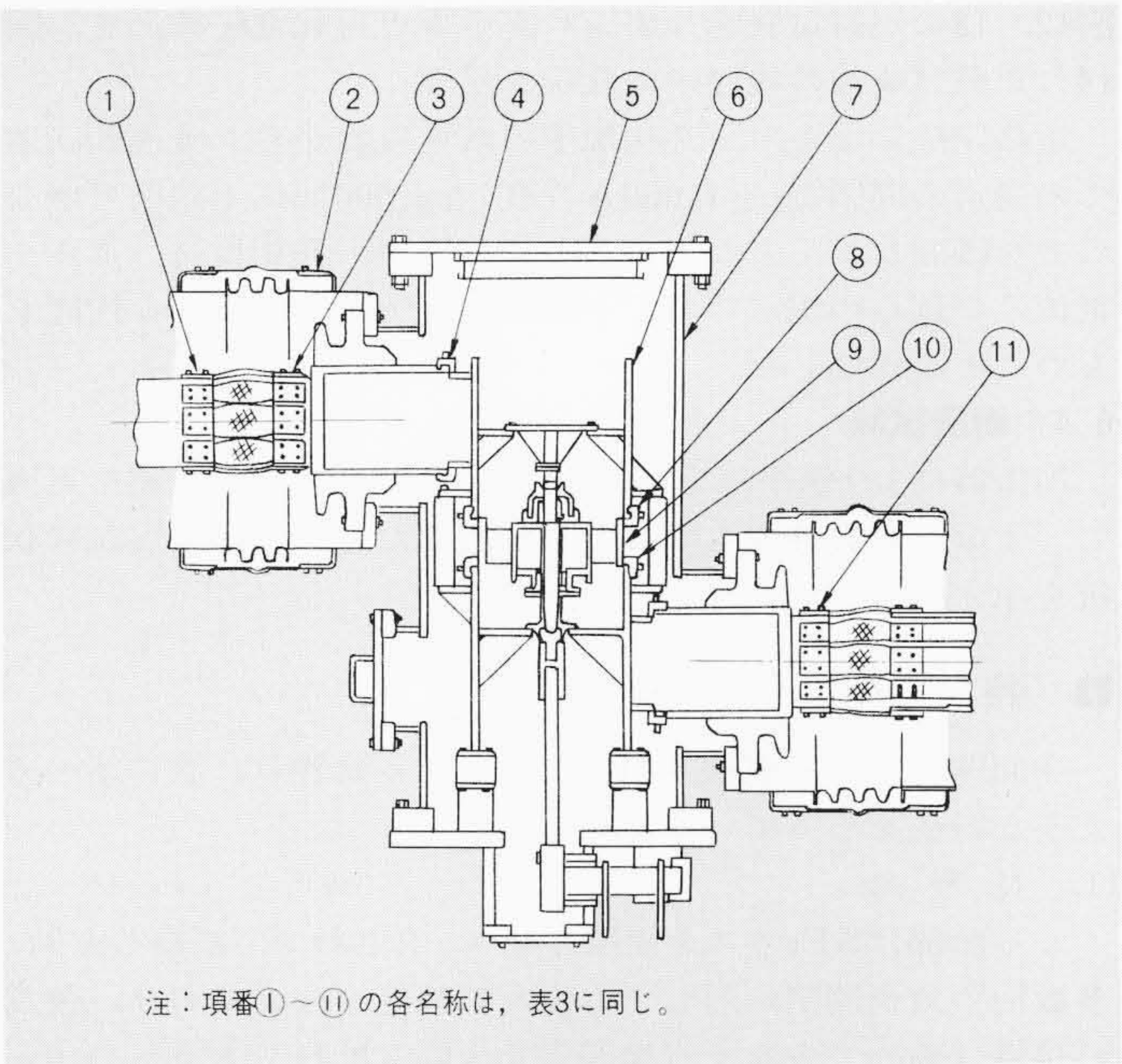


図10 温度測定箇所 相分離母線、相反転断路器と組み合わせ、三相連続シース方式を模擬した構造で、温度試験を実施した。

6 試験結果

JEC-181(電気学会電気規格調査会標準規格)、B-125(電力用規格)に規定されている項目につき参考試験も含めて各種の試験を実施した。

6.1 開閉特性試験

表2に開閉特性試験結果の一例を示す。更に2万回連続開閉試験を実施したが、部品の摩耗やガス漏れなどは認められなかった。

6.2 温度試験

相分離母線、相反転断路器と組み合わせ、三相連続シース方式を模擬した構造で温度試験を実施した。

表3に試験結果を、図10に測定位置の一例を、また図11に試験状況を示す。

6.3 短絡試験

ワイル合成試験により20.8kV、63kAの短絡試験を実施した。

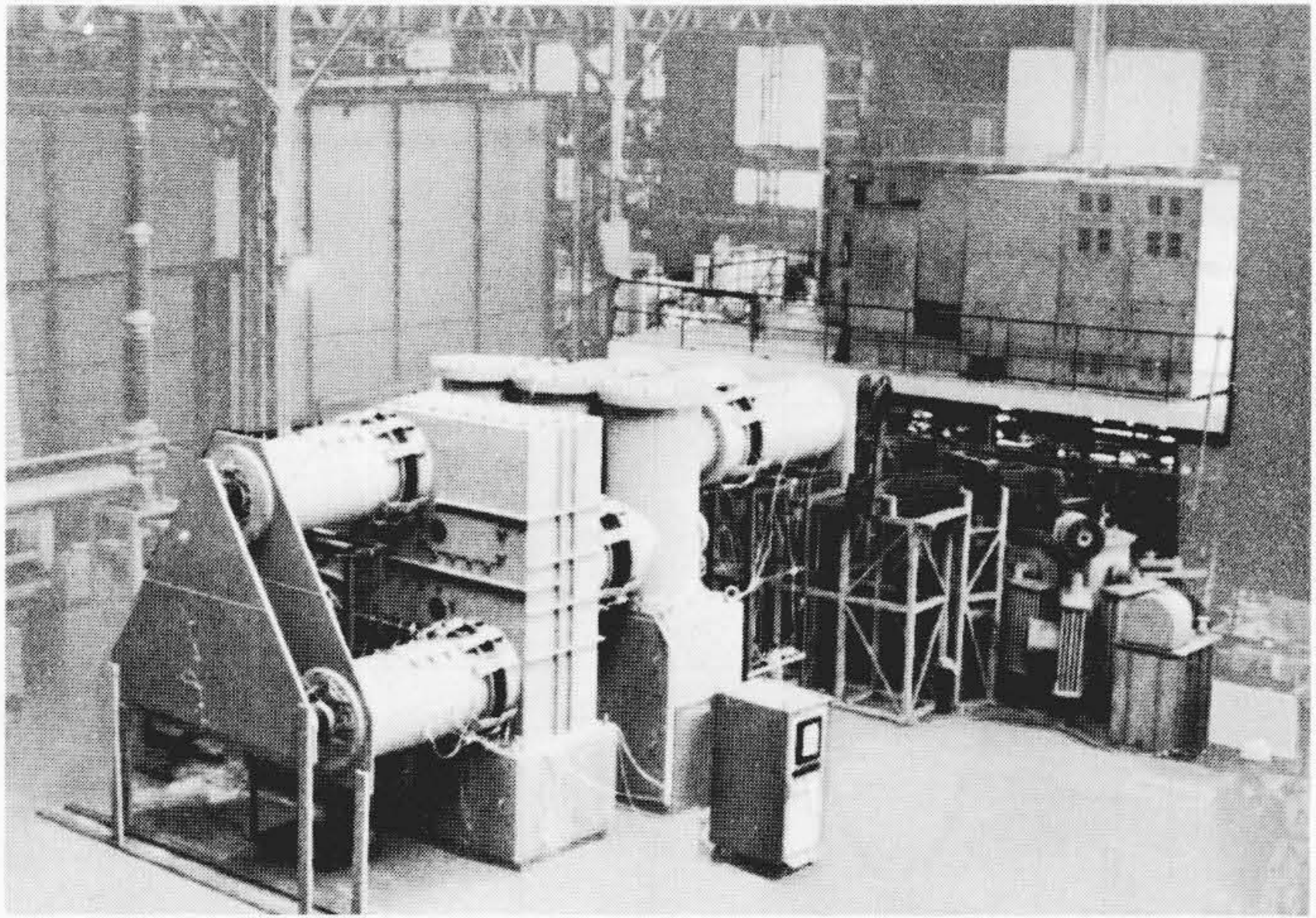


図11 温度試験状況 左側から短絡板、相分離母線、相反転断路器、供試ガスしゃ断器及び相分離母線を示す。

図12、13に短絡試験時のオシログラムと再起電圧波形を、図14に短絡試験後の接触子の状況を示す。

短絡試験によるアーク接触子の消耗程度から、実運転状態での通常の開閉電流(1,000 A程度)を8,000回以上開閉可能なことを確認した。またこのほかに、脱調、異相地絡、進み小電流及び遅れ小電流の各しゃ断試験を実施し、十分な性能をもつことを確認した。

6.4 耐震試験

加振器により水平二方向0.3g 共振正弦3波加振試験を実施し、十分な耐震性をもつことを確認した。図15に耐震試験状況を示す。

7 特 長

今回開発した発電機主回路用ガスしゃ断器は、次に述べるような特長をもっている。

(1) 長 寿 命

しゃ断部はSF₆ガスを使用したパッファ形で、短絡しゃ断、多数回の負荷開閉に対しても優れた性能をもっており、接点の損傷は極めて少なく点検間隔を大幅に延長できる。

(2) 保守、点検が容易

しゃ断部は縦形構造のため上部から容易に点検でき、部品の交換も短時間に実施できる。

(3) 構造が簡単

しゃ断部タンクには5 kg/cm²のSF₆ガスが封入され、しゃ断の際には単にピストンでSF₆ガスを圧縮して接触子間に吹き付けるパッファ(ふいご)方式であるため、構造が簡単で小形・軽量となり、また保守、点検の省力化が図れる。

(4) 相分離母線と直結構造

しゃ断器は相分離母線と容易に直結でき、しゃ断器を収納

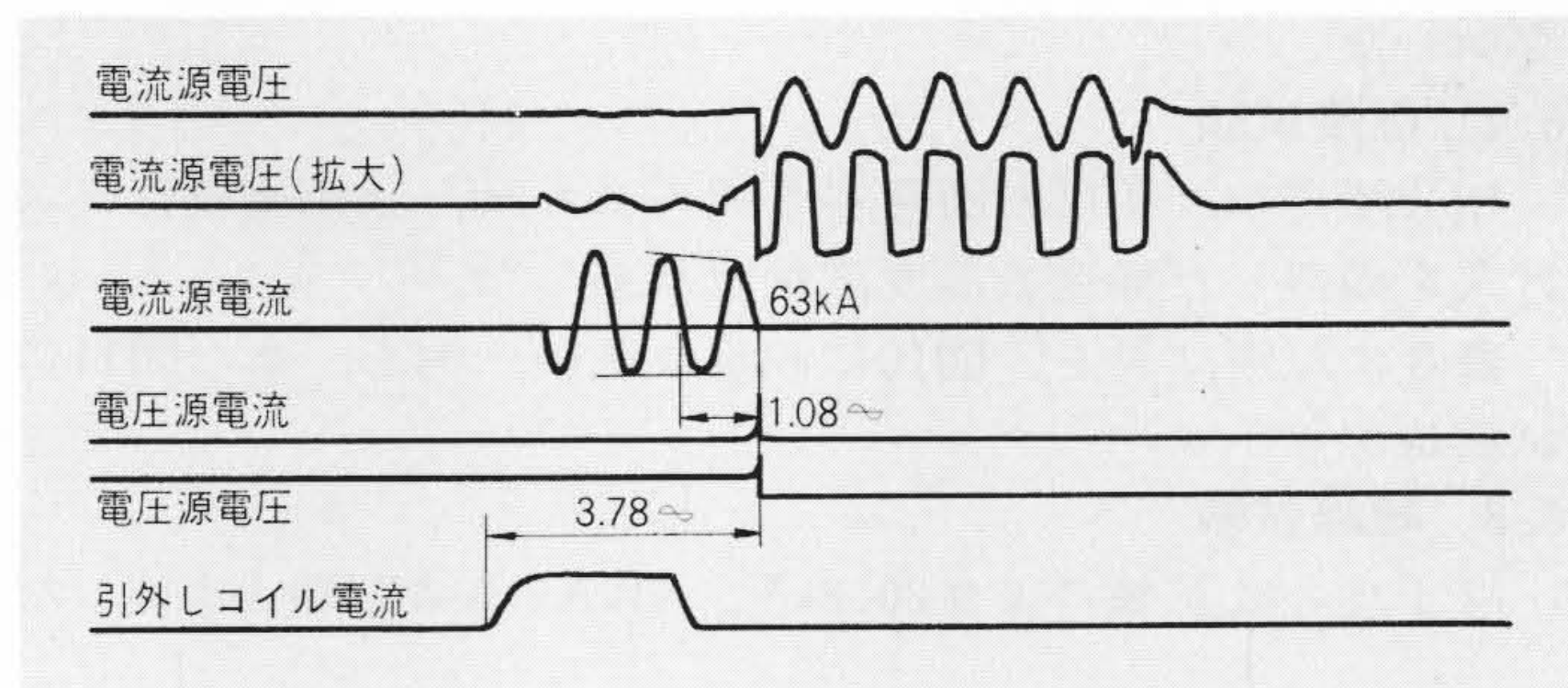


図12 短絡試験オシログラム 20.8kV, 63kA合成短絡試験時のオシログラムである。

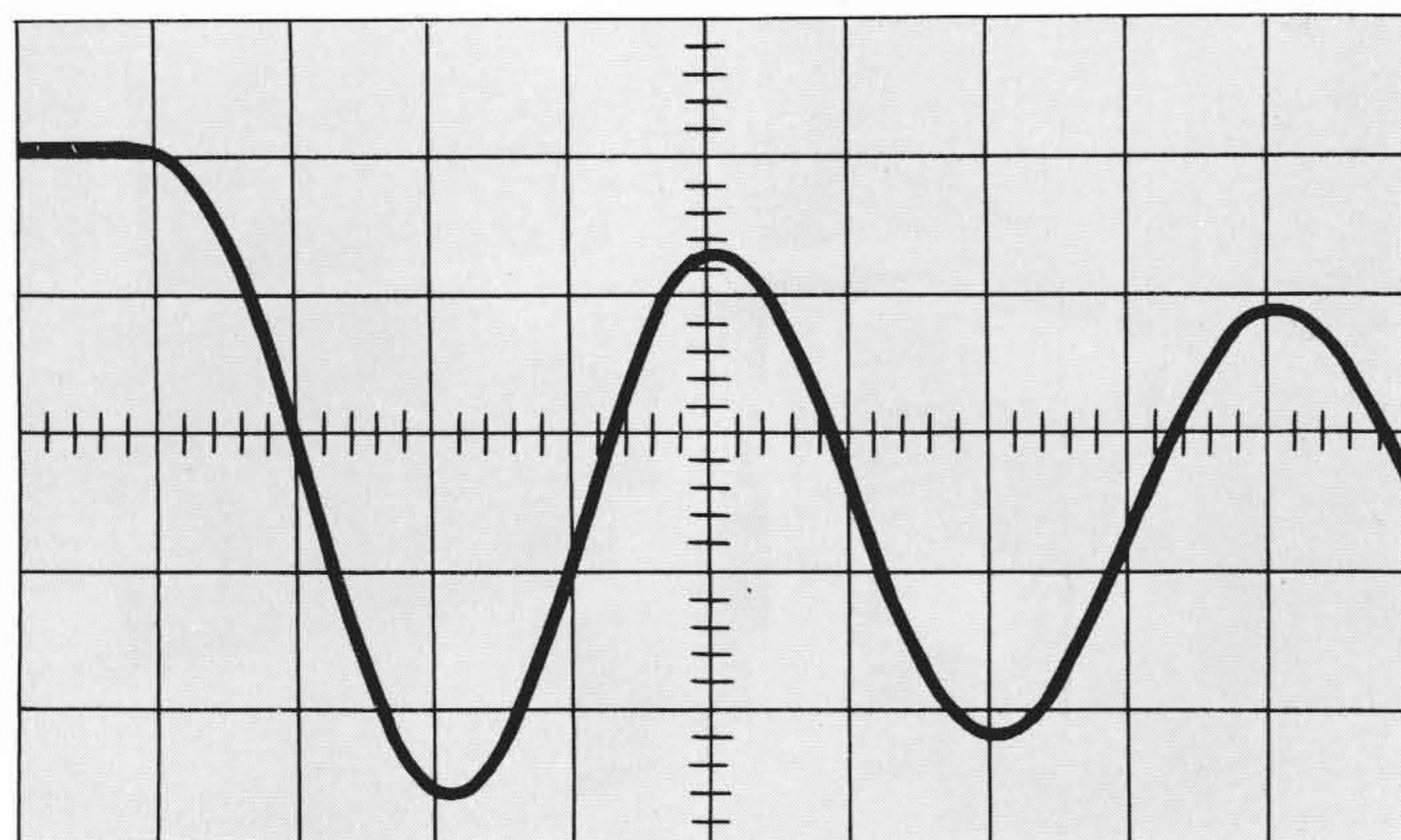


図13 短絡試験時の再起電圧波形 20.8kV, 63kA合成短絡試験時の再起電圧波形で、再起電圧波高値51kV, 上昇率1.5kV/μsを示す。

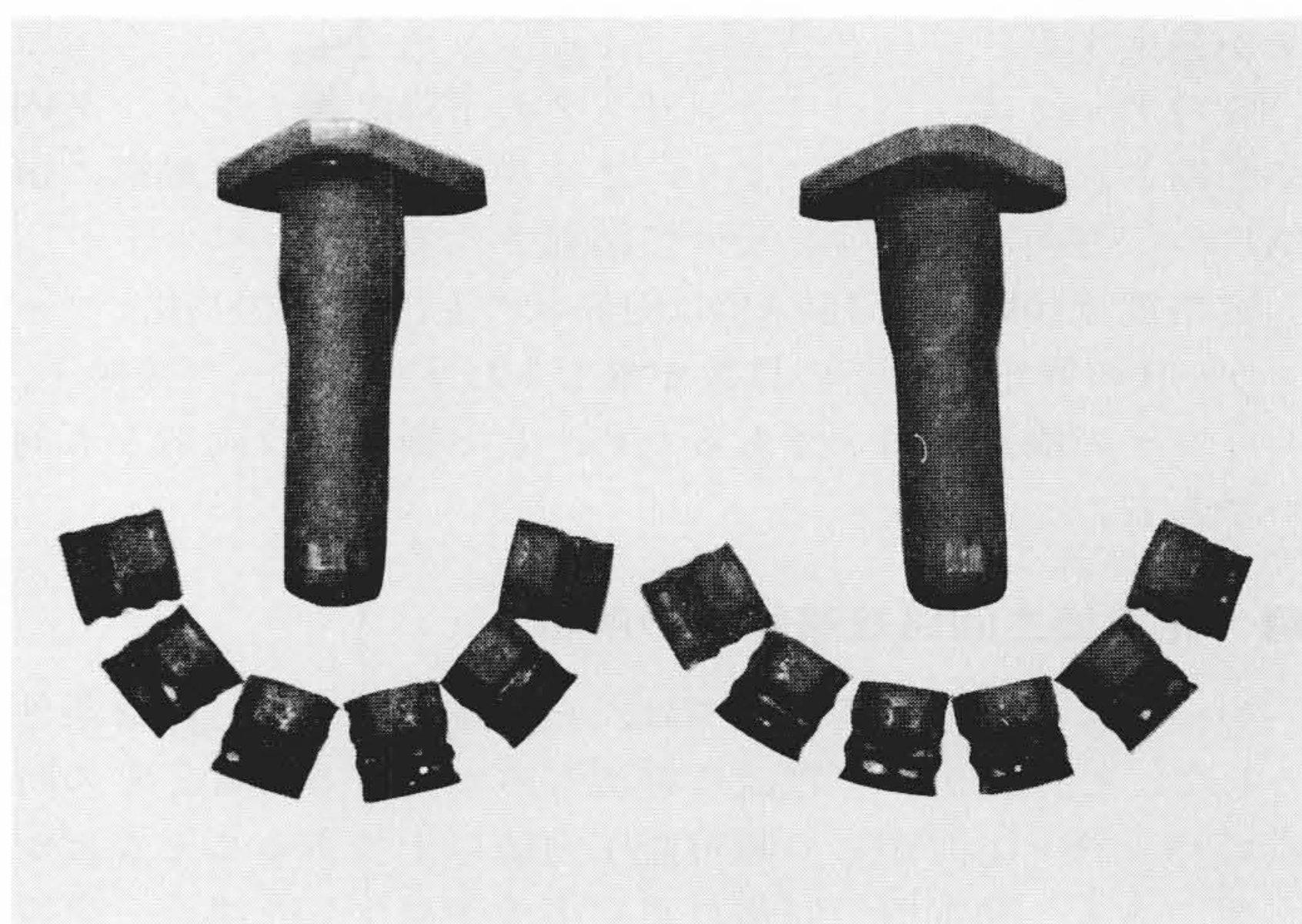


図14 短絡試験後の接触子の状況 定格電圧で63kA(100%) 7回, 38kA(60%)10回しゃ断後の接触子状況である。

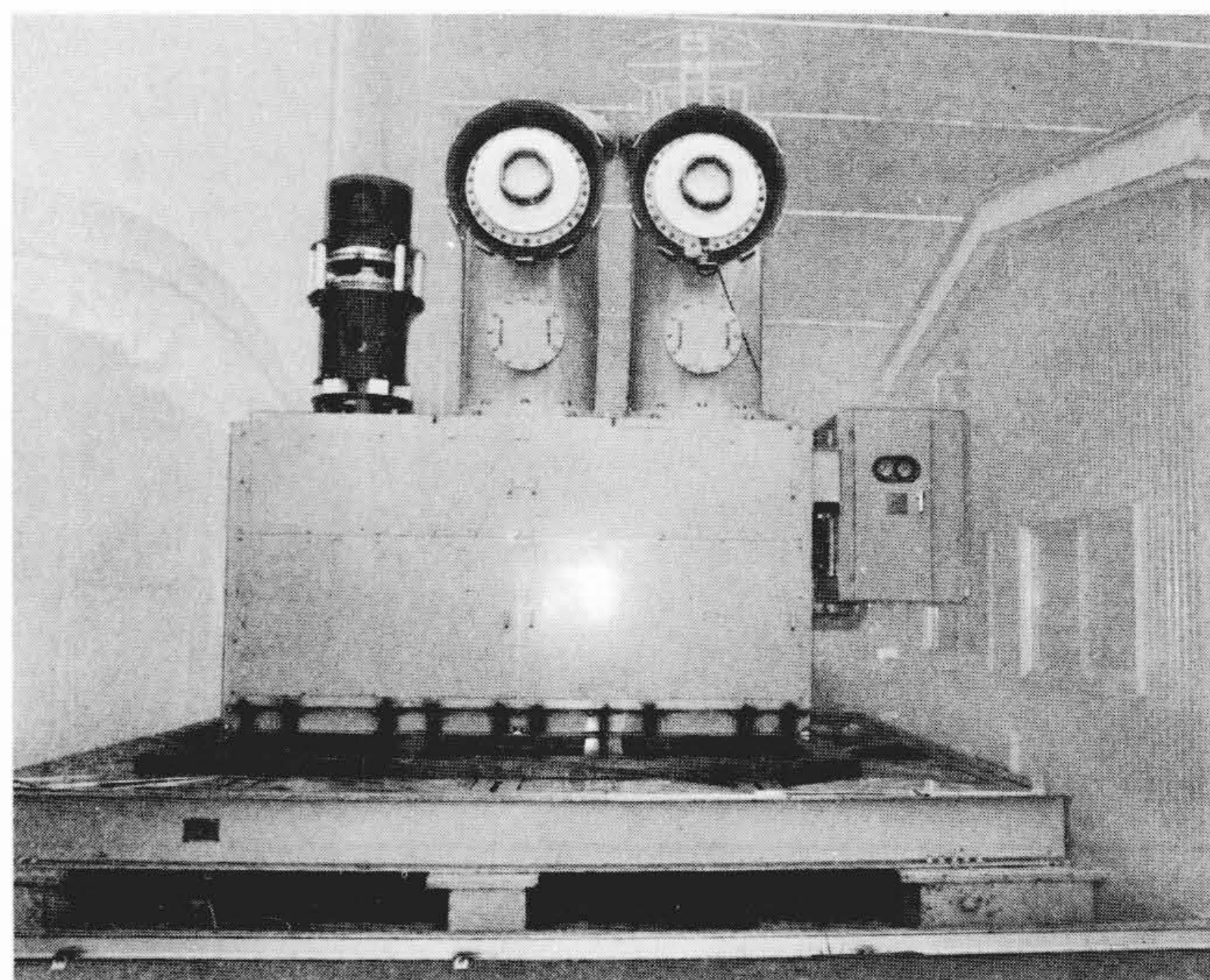


図15 耐震試験状況 水平二方向に、0.3g正弦共振三波加振試験を行なった。

するキュービクルは不要となり、機器の据付空間を大幅に節約することができるとともに、連続シース方式の相分離が可能となる。

(5) 据付面積が小

しゃ断部は縦形構造で三相一括操作方式のため、据付面積が小さく、機器据付面積が局限される発電機主回路機器の配置が容易になる。

8 結 言

以上、今回開発を行なった大容量発電機主回路用ガスしゃ断器の定格、構造、性能などについて述べた。

今後、発電機主回路用ガスしゃ断器の容量増大により、低圧同期方式の適用が拡大すると確信する。

最後に本器の開発に際し、多くの御意見、御助言をいただいた電力会社の関係各位に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 中野、外：大容量単一圧力パッファ形ガスしゃ断器の開発、日立評論、54、1071～1076(昭47-12)
- 2) 吉岡：パッファ形ガスしゃ断器の進歩、電気学会雑誌、96、211～214(昭51-3)