

大容量単一圧力パッファ形ガスしゃ断器の開発

Development of High Power Puffer Type Gas Circuit Breakers

中野清蔵*
Seizô Nakano

榎徹*
Tohru Tsubaki

石川皓*
Hiroshi Ishikawa

後藤登喜雄**
Tokio Gôtô

The SF₆ gas circuit breaker has earned a fast-growing popularity thanks to its excellent operating characteristics and various advantages in the applications. Hitachi has recently developed a new line of 120 kV~300 kV 40 kA high capacity single pressure puffer type gas circuit breakers to be added to the preceding 84 kV~204 kV, 25 kA and 30 kA lines. The improved interrupting capability of the 40 kA breakers has been attained by the adoption of a synchronized axial blast method in which the interrupter orifices and gas vents have been improved.

1. 緒言

系統容量の増大，機器の近代化などの要求に対処できるしゃ断器として，SF₆ガスを使用したガスしゃ断器が急速に普及しつつある。さらに導電部を，SF₆ガスを封入した密閉金属容器に内蔵し超小形化を図ったコンパクト変電所の信頼性も検証されてきており，すでにガスしゃ断器を適用したコンパクト変電所も実用化の時代を迎えたと言える。

このような背景のもとに，構造の簡単な単一圧力パッファ形ガスしゃ断器の超高压・大容量化をめざし開発を推進してきたが，今回しゃ断電流40kAを対象とした，120~300kV接地タンク形大容量単一圧力パッファ形ガスしゃ断器を系列化した。

今回開発した40kAシリーズパッファ形ガスしゃ断器は従来の30kAシリーズを改良したものであり，しゃ断部のガス排気方式およびノズル形状を改造した軸方向同期吹付方式により性能向上を図ったものである。しゃ断部以外の操作機構およびしゃ断器の構成は既開発品の25kAシリーズと同一である。小形軽量であるため据付面積を縮小できるほか，消弧性能が良好なために接点の消耗が

少なく保守点検の周期が長いのみでなく，操作音が小さいなどの実用上の長所を有している。

今回の40kAシリーズの完成によりすでに開発を完了している25kAおよび30kAシリーズに加え，パッファ形ガスしゃ断器による25kA，30kA，40kAの3系列のシリーズを完成した。

2. 定格・系列

表1は従来のパッファ形ガスしゃ断器25kAおよび30kAシリーズに，今回開発した40kAシリーズを含めた日立ガスしゃ断器の定格一覧表を示したものである。25kAおよび30kAシリーズで定格電圧204kVまでは1しゃ断点構成，定格電圧120~300kV40kAシリーズは2しゃ断点構成で，電圧分担を均等にするためしゃ断点に並列コンデンサを用いている。

図1は40kAシリーズ中の240/300kVガスしゃ断器の外観を，図2は120~300kV 40kAガスしゃ断器の外形寸法図を，また表2は既開発の25kAおよび30kAシリーズを含めた系列表を示すものである。表中太わくの部分が今回開発の40kAシリーズである。

表1 日立パッファ形SF₆ガスしゃ断器定格表

形 式	1 OFPT- ⁶⁰ / ₇₀ -25L PA(R)	2 OFPT-100-25L PA(R)	3 OFPT-100-40L PA(R)	4 OFPT- ¹⁴⁰ / ₁₇₀ -25L PA(R)	5 OFPT- ¹⁴⁰ / ₁₇₀ -31L PA(R)	6 OFPT- ¹⁴⁰ / ₁₇₀ -40L PA(R)	7 OFPT-200-40L PA(R)	8 OFPT-250-40L PA(R)
定 格 電 圧 (kV)	72/84	120	120	168/204	168/204	168/204	240	300
定 格 電 流 (A)	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	1,200 2,000 3,000	2,000 3,000 4,000	2,000 3,000 4,000	2,000 3,000 4,000
参考しゃ断容量 (MVA)	3,100/3,600	5,200	8,300	7,300/8,400	9,200/11,100	12,000/14,100	17,000	21,000
定格しゃ断電流 (kA)	25	25	40	25	31.5	40	40	40
定格投入電流 (kA)	63	63	100	63	80	100	100	100
定格短時間電流 (kA)	25	25	40	25	31.5	40	40	40
定格しゃ断時間 (サイクル)	3/5	3/5	3	3	3	3	3	3
絶 縁 階 級 (号)	60/70	100	100	140	140	140	170	200
SF ₆ ガス圧力 (kg/cm ² at 20°C)	5	5	5	5	5	5	5	5
操作空気圧力 (kg/cm ²)	15	15	15	15	15	15	15	15
しゃ断点数	1	1	2	1	1	2	2	2

* 日立製作所国分工場
** 日立製作所日立研究所

表2 日立パuffa形ガスしゃ断器系列表

(JEC-181適用)

電圧(kV)	20	25	31.5	40
72	OFPT- $\frac{60}{70}$ -20L-PA(R)	OFPT- $\frac{60}{70}$ -25L-PA(R)		
84	1	1		
	1	5		
	1969	1969		
120	OFPT-100-20L-PA(R)	OFPT-100-25L-PA(R)	OFPT-100-31L-PA(R)	OFPT-100-40L-PA(R)
	1	1	1	2(C)
	2	6	9	12
	1969	1969	1971	1972
168	OFPT-140-20L-PA(R)	OFPT-140-25L-PA(R)	OFPT-140-31L-PA(R)	OFPT-140-40L-PA(R)
	1	1	1	2(C)
	3	7	10	13
	1970	1970	1971	1972
204	OFPT-170-20L-PA(R)	OFPT-170-25L-PA(R)	OFPT-170-31L-PA(R)	OFPT-170-40L-PA(R)
	1	1	1	2(C)
	4	8	11	14
	1970	1970	1971	1972
240	注： 形 式 しゃ断点数(・) 構 成 開 発 時 期			OFPT-200-40L-PA(R)
				2(C)
				15
				1972
				OFPT-250-40L-PA(R)
				2(C)
				16
				1972

括弧内

C コンデンサ付

注：

形 式
しゃ断点数(・)
構 成
開 発 時 期

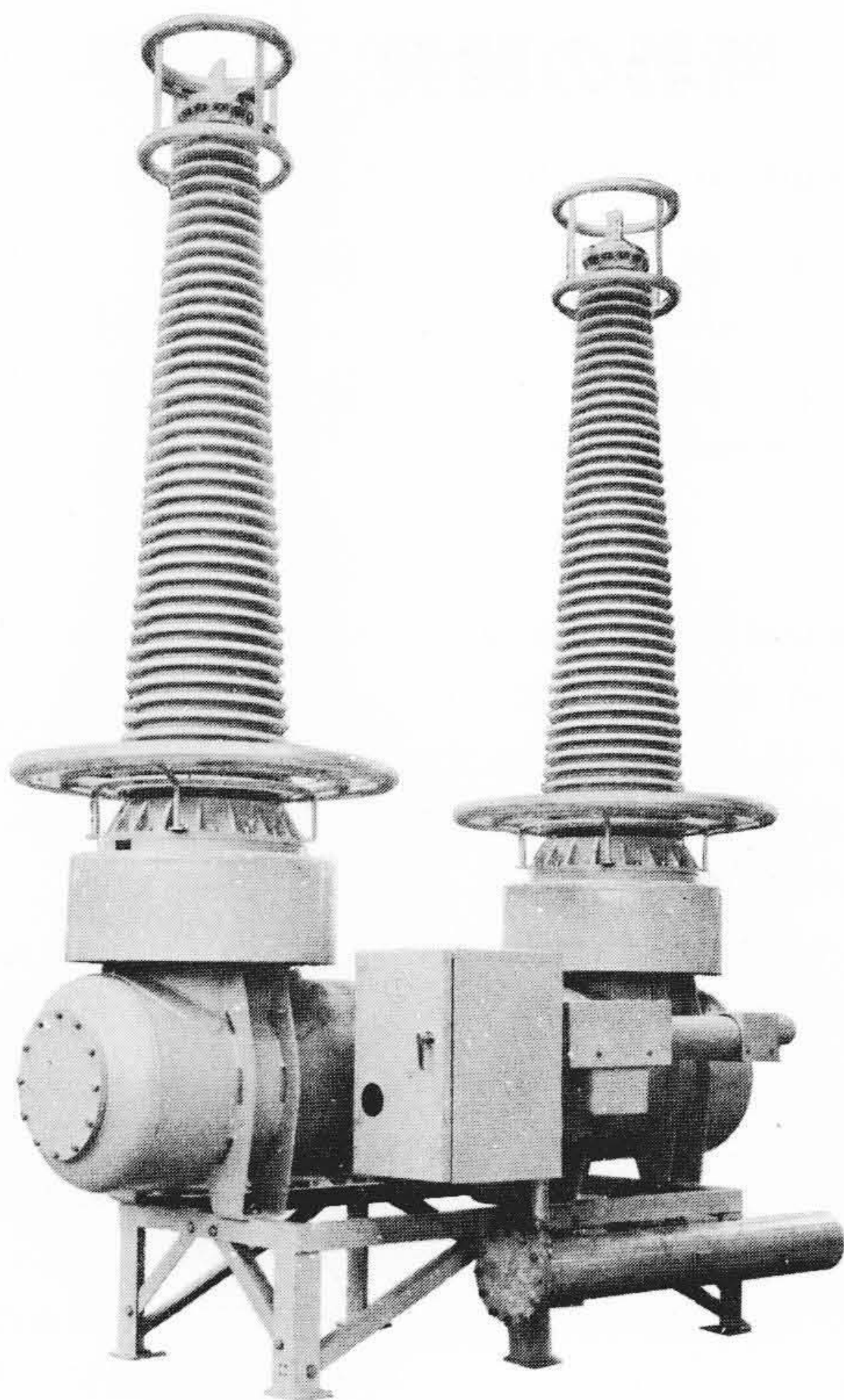
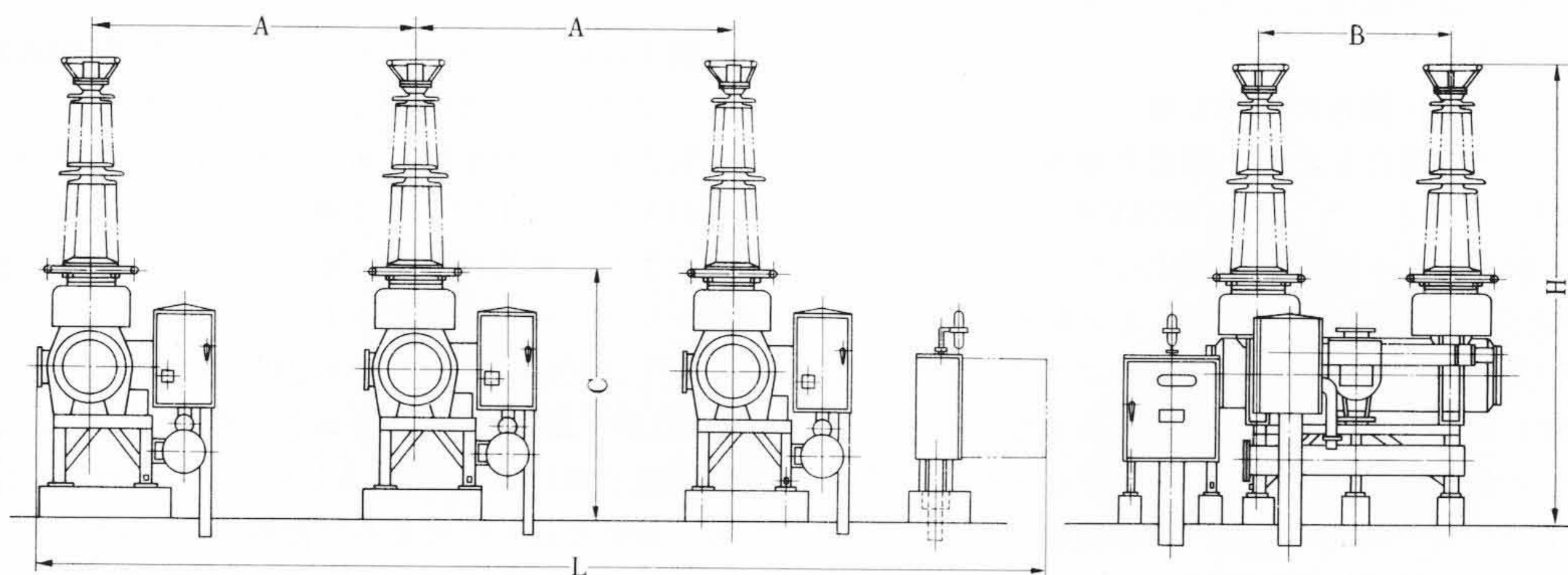


図1 40kAシリーズ240/300kVガスしゃ断器



形 式	電 圧 (kV)	定 格 電 流 (A)	しゃ断電流 (kA)	寸 法 (mm)					* 重 量(kg)
				A	B	C	H	L	
OFPT-100-40L PA(R)	120	1,200/2,000	40	1,600	1,600	2,300	3,700	6,700	6,950
OFPT-140-40L PA(R)	168	2,000/3,000/4,000	"	3,000	1,800	2,300	4,250	10,000	9,100
OFPT-170-40L PA(R)	204	2,000/3,000/4,000	"	3,000	1,800	2,300	4,250	10,000	9,100
OFPT-200-40L PAR	240	2,000/3,000/4,000	"	4,000	2,500	2,800	5,500	12,000	14,500
OFPT-250-40L PAR	300	2,000/3,000/4,000	40	5,000	2,700	2,800	6,000	14,000	15,800

注：* CT重量含む。

図2 大容量パuffa形ガスしゃ断器外形寸法図(120~300kV 40kA)

3. 構造および動作

3.1 全 体 構 造

図3は今回開発した40kAパuffa形ガスしゃ断器の全体構造を示したものである。

本器の構造は、ブッシングCT内蔵接地タンク方式であり、ブッシングを取りはずすことにより内部構造はそのままコンパクト用しゃ断器にも適用できる。

屋外用パuffa形ガスしゃ断器の一相分はガスブッシング、ブッシングCT、しゃ断部内蔵接地タンク、操作器、操作用空気タンクより構成されている。

しゃ断部タンクおよびブッシング内部には5 kg/cm²のSF₆ガスが密封されており、しゃ断部内は2しゃ断点構成のためしゃ断部の固定子部分は両端の絶縁筒で支持され、可動部分を含むリンク機構内蔵の中央ブラケットは中央の絶縁筒により支持されている。電圧分担改善用コンデンサは各しゃ断点に並列に配置されている。

電流通路は一方のブッシング端子より入りブッシング中心導体、接触子、パuffaシリンダ、集電子を経て対向するブッシングへと流れる。

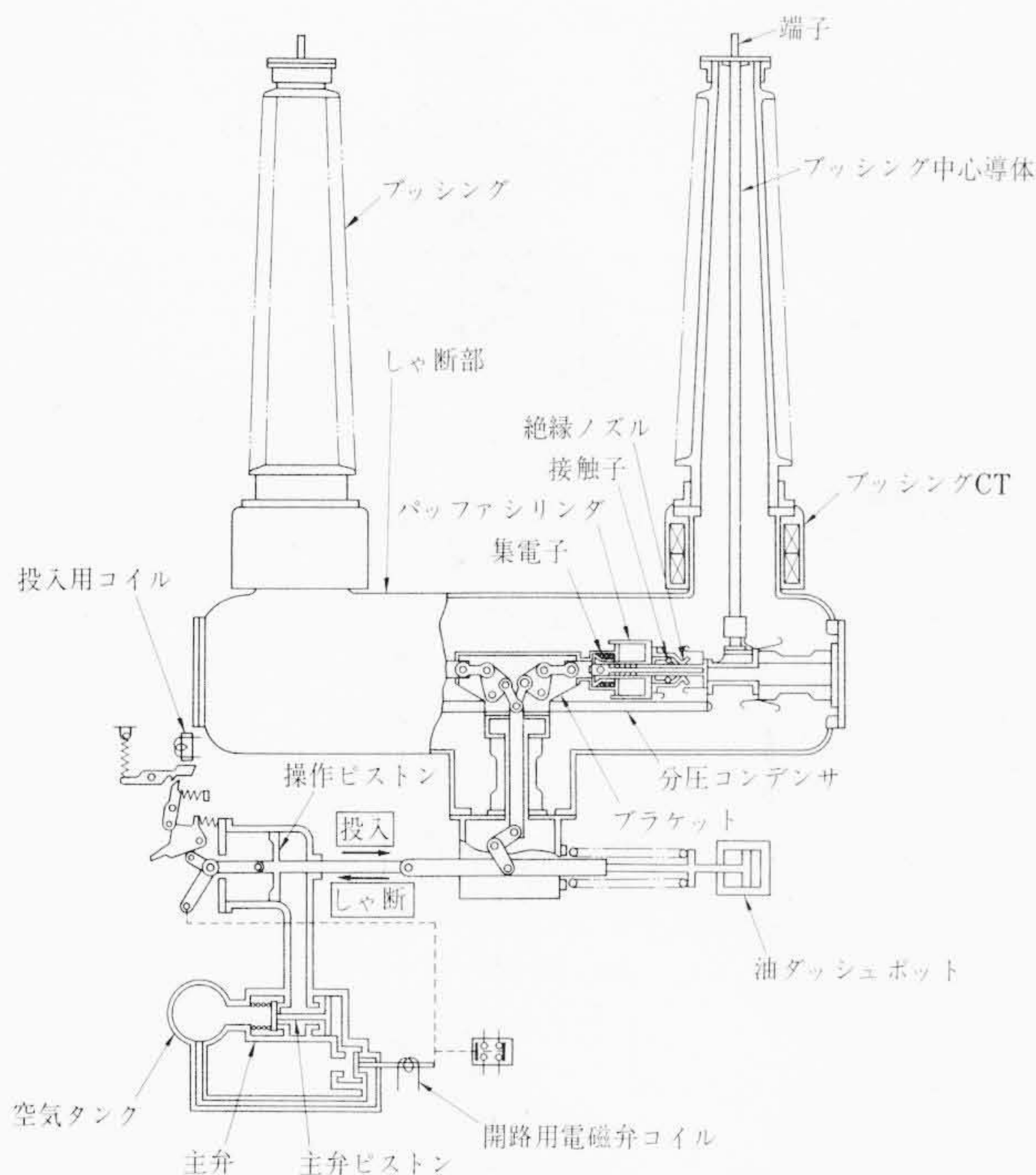


図3 168/204kV, 2,000/3,000Aパuffa形ガスしゃ断器

3.2 操作方式

図4～図6は操作系の動作を示したものである。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、主弁ピストンは図5の位置に移動する。空気タンクの圧縮空気は操作シリンダB室に充気され、操作ピストンは投入ばねを圧縮しながら急速に駆動される。操作ピストンに連結されている操作ロッドは矢印開路方向に、引張力を受け、しゃ断部内の絶縁操作ロッドを介してパuffaシリンダが高速で駆動されるため、パuffaシリンダ内のSF₆ガスが圧縮され接触子間に発生したアークはSF₆ガスの吹付けにより消弧される。しゃ断動作と同時にリセット用レバーが回転し、動作完了後、開路用電磁弁は図6の位置に復帰する。

この結果A室の圧縮空気は大気へ放出され、主弁ピストンは元の位置に復帰し同時にB室の圧縮空気も大気中へ排出され、操作ピストンの先端に設けたリンク機構により開路状態が保持される。

投入動作は次の順序で行なわれる。まず図6の投入コイルを励磁するとアーマチュアが吸引され、同図に示した矢印方向に回転し、フックがはずれ掛金が矢印の投入方向に駆動される。投入動作完了後、リンク機構は図4の状態に保持され、次のしゃ断動作に備える。

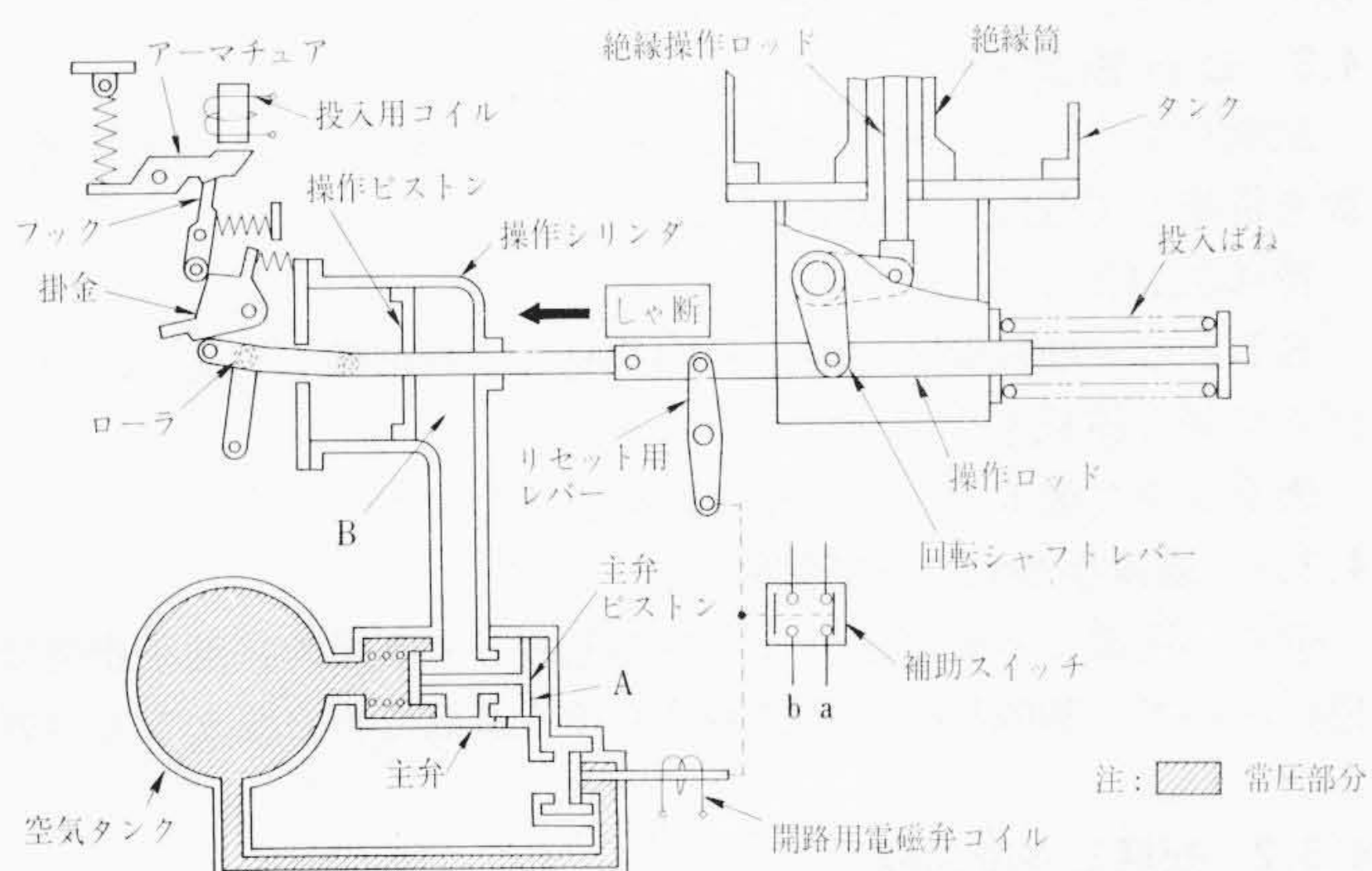


図4 操作部動作図(投入状態)

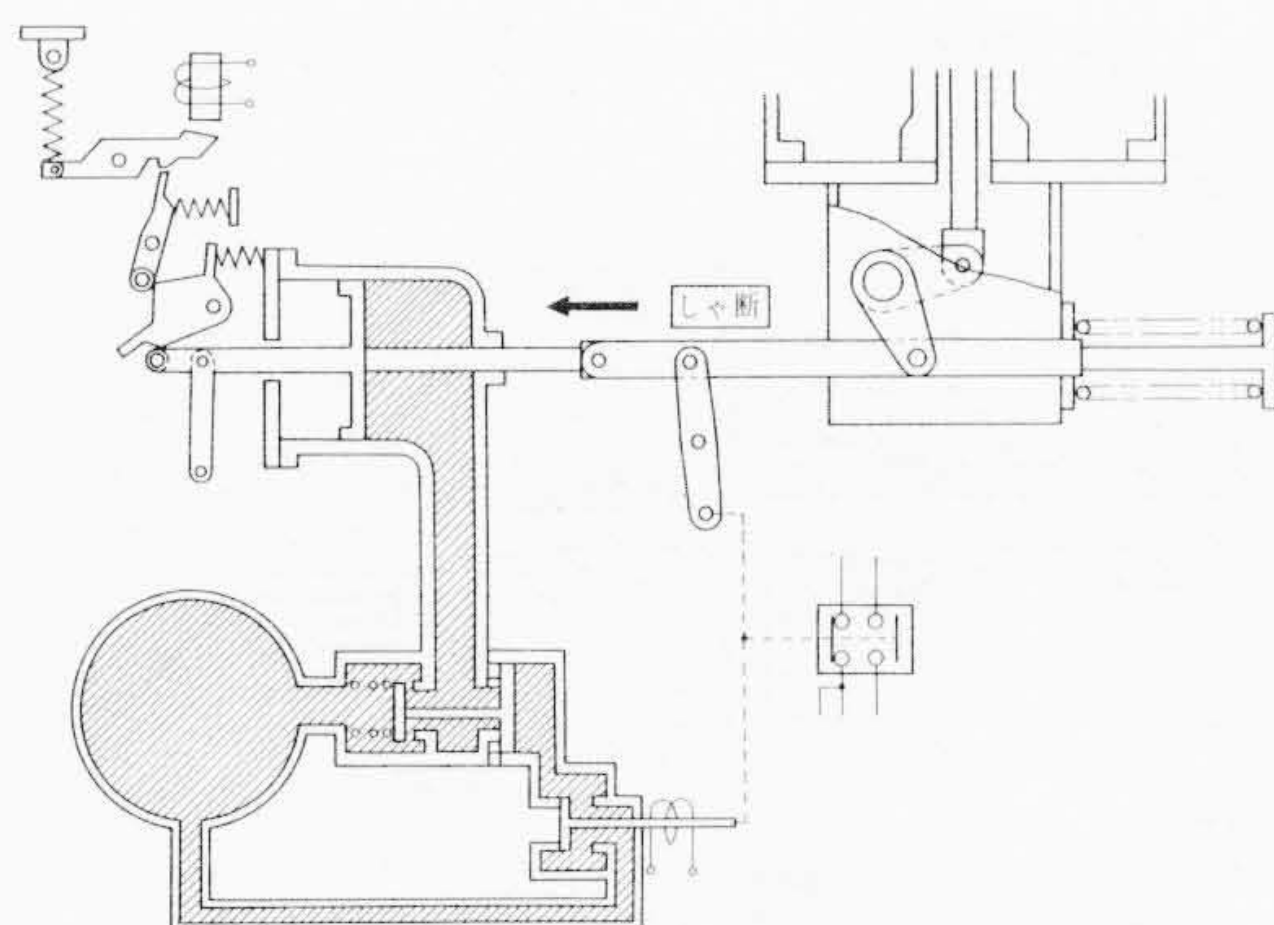


図5 操作部動作図(開路初期行程)

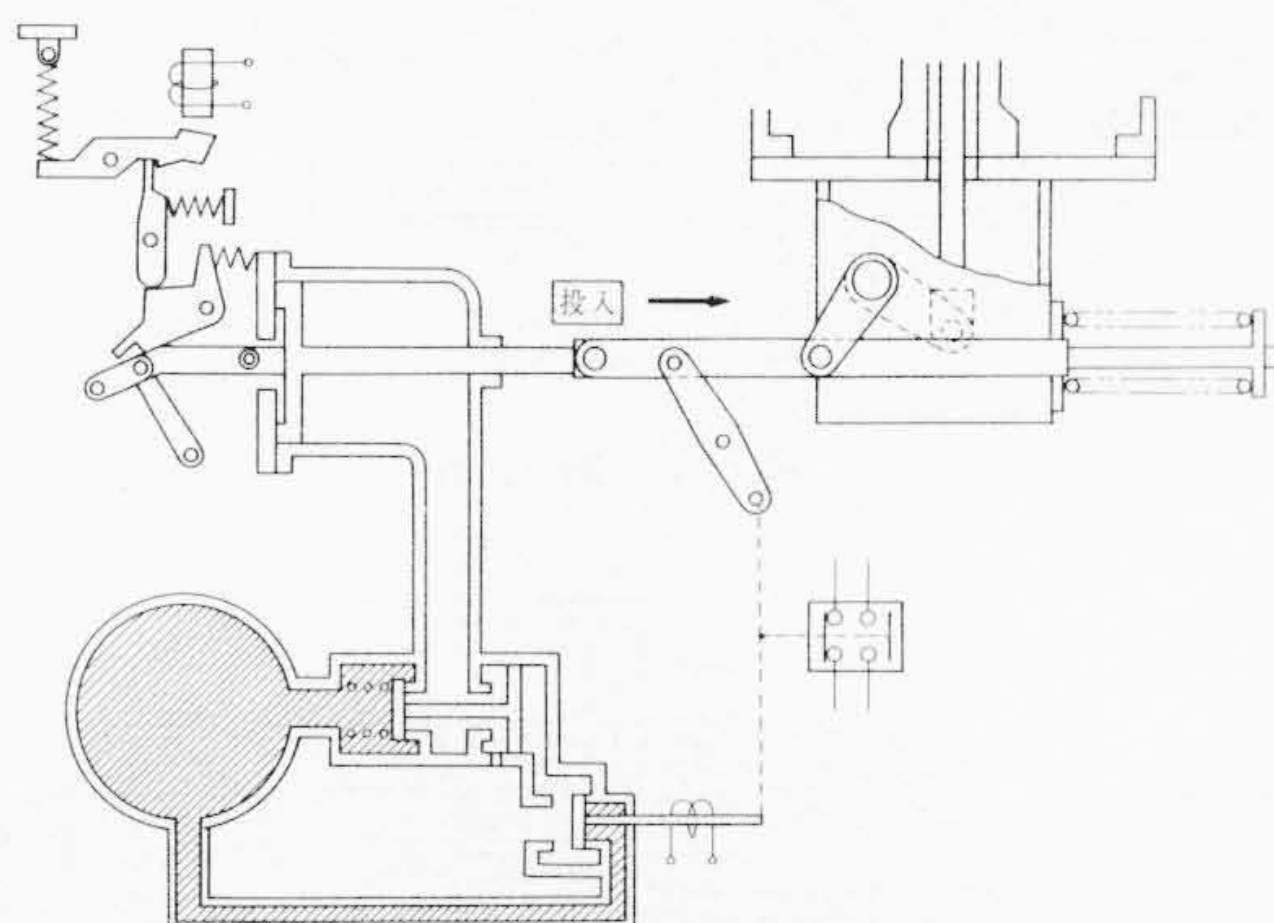


図6 操作部動作図(開路状態)

3.3 しゃ断部構造および動作

(1) 構造および動作

動作原理は図7に、消弧原理は図8に示すとおりである。コンタクト部分は、主接触子とアーク接触子から成り、しゃ断動作の場合、まず主接触子が離れ、しばらくしてワイブ構造の接触子が離れる。可動部分の主接触子、アーク接触子および絶縁ノズルはパuffaシリンダに取り付けられ、パuffaシリンダは中央のブラケット内のリンク機構に連結し、絶縁操作ロッドを介して回転レバーに接続され、操作機構により駆動される。

しゃ断指令によりパuffaシリンダが図7の矢印方向に動かされると、シリンダ内のガスが圧縮され、圧縮されたガスはノズルを通して左方に、また一方は可動コンタクトおよびパuffaシリンダの中空軸の内部を通して右方に排気される。このとき可動コンタクトと固定コンタクトの間に発生したアークは2方向の吹付けを受け消弧される。

(2) 軸方向同期吹付方式

図8は今回開発した40kAシリーズの消弧原理を示すものである。図8(a)は、しゃ断の初期行程を、また(b)は中期行程を示している。(a)に示すように初期行程では可動コンタクトと固定コンタクトが互いに開離しても外部へガスを吹き出さないようにし、シリンダ内の圧力を有効に高めている。その後(b)に示すように中期行程においてシリンダ内のガス圧力が上昇し固定コンタクトが絶縁ノズルから抜け出すとき、それと同期して可動コンタクト側にも排気孔が形成され絶縁ノズルから吹き出すガス流と、一方、可動コンタクトの中空軸を通して排気されるガス流を同時に引き起こす同期吹付方式とし、これによりシリンダ内の圧縮ガスの吹付作用を効果的に利用するとともに中空軸排気によりアークの高速冷却をねらっている。軸方向同期吹付方式により25kAシリーズのパuffaシリンダ諸元と同一でしゃ断性能を大幅に向上している。

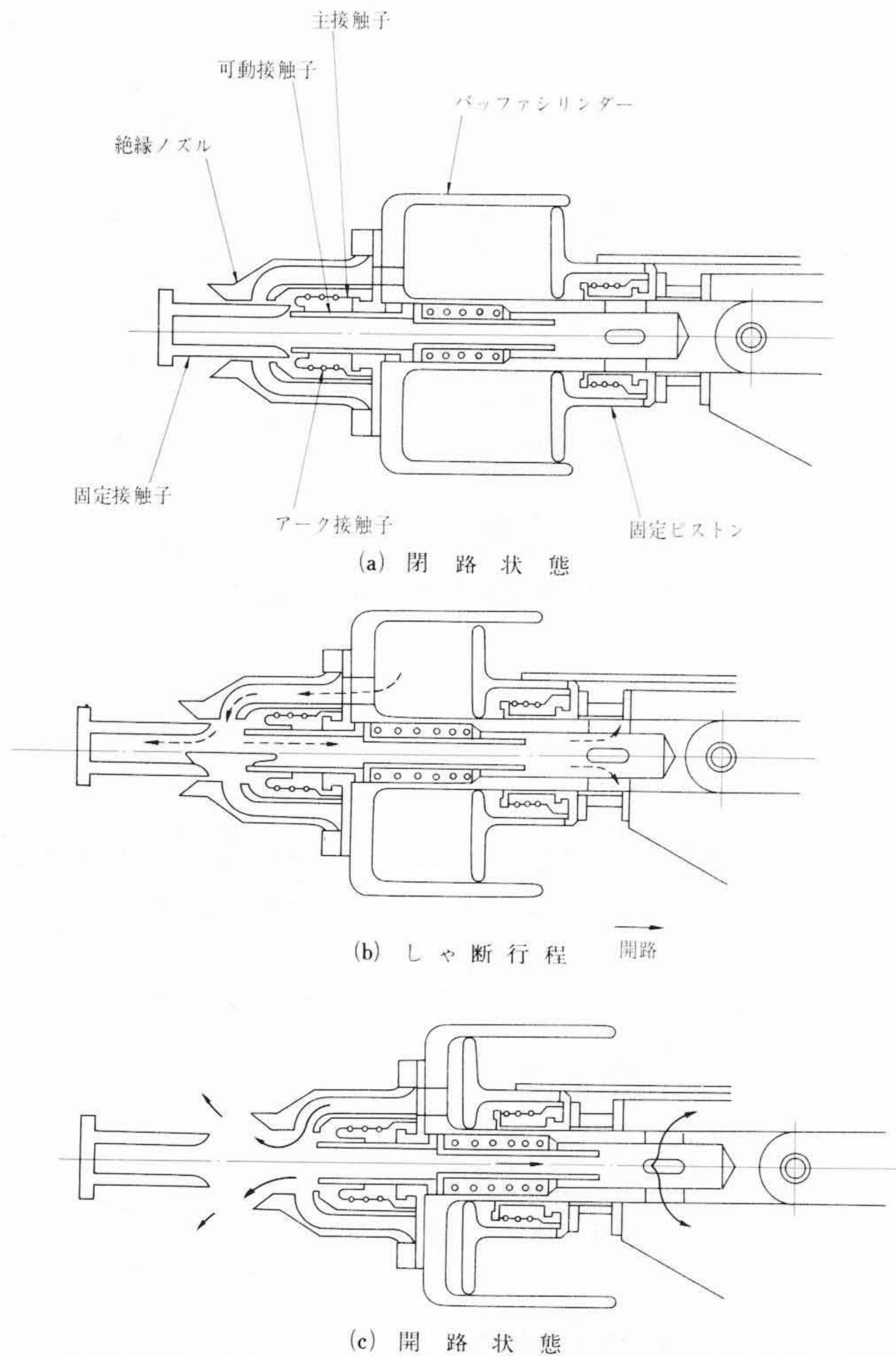


図7 40kAパッファ形ガスしゃ断器原理図

4. 試 験

新たに制定されたしゃ断器規格 (JEC-181), 電力規格 (B-112) に規定されている項目につき参考試験を含めて各種の試験を実施した。さらにケーブル回路の投入—しゃ断を模擬した“C O”試験を多数回実施し、特性の検証を行なった。このほか各種過酷試験をはじめ各コンポーネントごとに検証試験を行なった。

表3 開閉特性試験結果

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	13.0	75	0.116	0.000	—	—
	15.0	100	0.121	0.0005	—	—
	16.5	125	0.110	0.000	—	—
	16.5	75	0.114	0.000	—	—
引はずし操作	12.0	60	—	—	0.036	0.0005
	15.0	100	—	—	0.0285	〃
	16.5	125	—	—	0.028	〃
	16.5	60	—	—	0.034	0.0005
引はずし自由	13.0	75	0.110	0.0005	0.0325	0.0005
	15.0	100	0.110	0.0005	0.0295	〃
	16.5	125	0.105	0.000	0.028	〃
	16.5	75	0.116	0.000	0.032	0.0005

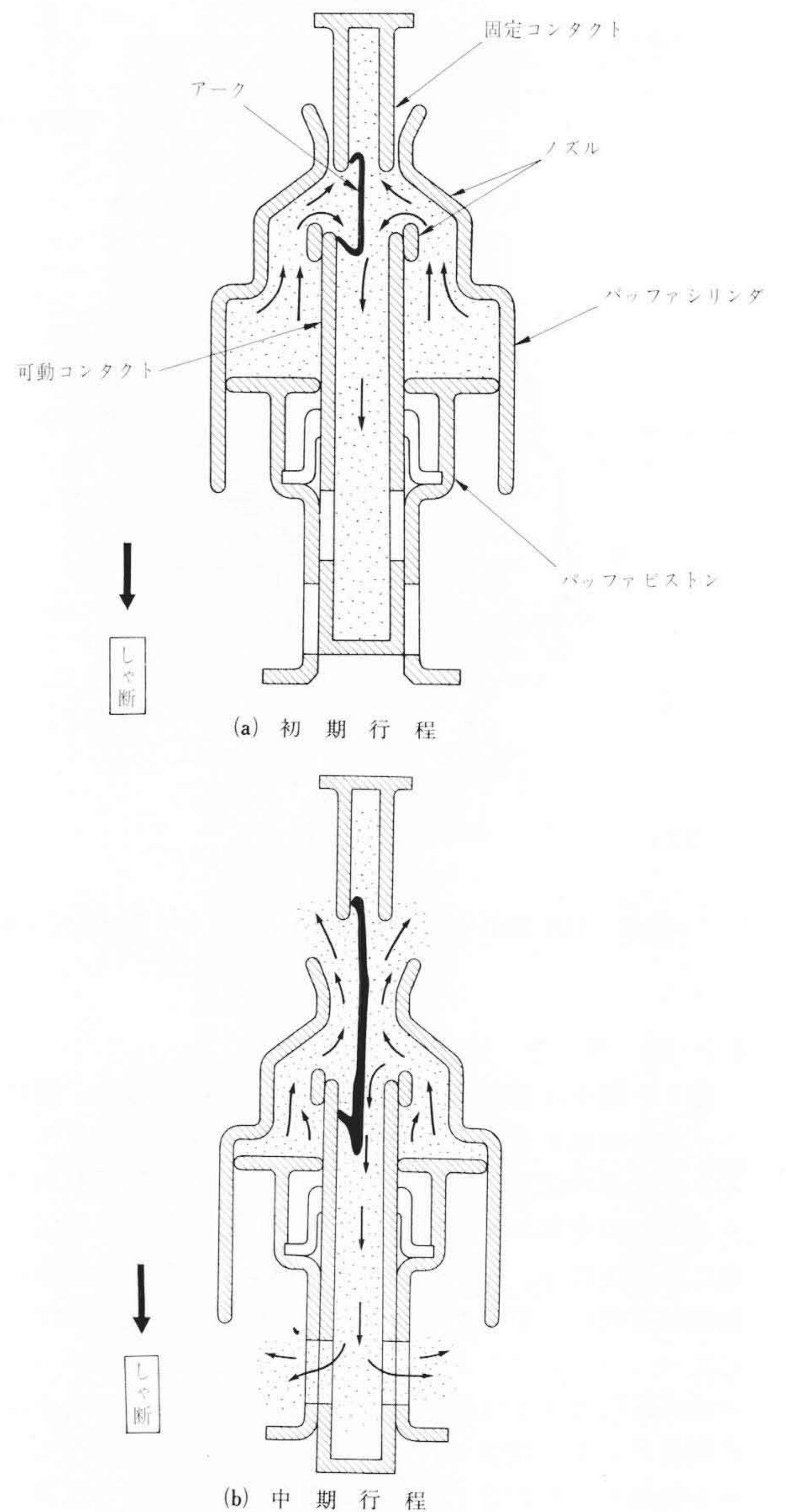


図8 消弧原理(軸方向同期吹付方式)

4.1 開閉特性試験

開閉特性試験結果の一例は表3に示すとおりである。操作圧力16.5kg/cm²で10,000回連続開閉試験を実施したが部品の摩耗およびガス漏れなどなく結果は良好であった。

4.2 温度試験

表4および図9は3,000A通電時の試験結果ならびに測定位置を示している。この結果は規格を十分に満足している。

4.3 しゃ断試験

試験にあたってはJEC-181に基づき実負荷試験とワイル等価試験を併用して性能の検証を行なった。

特殊試験としては、

S L Fしゃ断試験, 脱調, 異相地絡しゃ断試験を実施し、いずれも良好な結果を得ている。

表5および表6はしゃ断試験結果を示したものである。

4.3.1 進み小電流しゃ断試験

進み小電流しゃ断試験では、短絡電流しゃ断後の接触子損傷状態においても300kV級の規格値における試験で再点弧がなく良好であった。

4.3.2 短絡しゃ断試験

通常短絡, 脱調, 異相地絡しゃ断時のしゃ断試験結果は表5お

表4 温度上昇試験結果

測定箇所		測定値 (℃)	上昇値 (deg)	規格値 (deg)
1	端子	53	28	65
2	中心導体(中央)	80	55	70
3	がい管	39	14	"
4	がい管縮金具	39	"	"
5	タンクラウン	39	14	"
6	タンク首下	47	22	"
7	タンク胴首下	47	22	70
8	固定接触子	65	40	65
9	可動接触子	69	44	"
10	連結導体	60	35	65
11	カバー(上)	60	35	70
12	タンク(上)	45	20	"
13	タンク(下)	45	20	"
14	中央金具(上)	55	30	"
15	中央金具(下)	55	30	70
16	可動接触子	69	44	65
17	固定接触子	65	40	"
18	コンタクト	38	33	"
19	チューリップコンタクト	70	45	65
20	タンク胴首下	47	22	70
21	タンク首下	47	22	"
22	タンクフランジ	39	14	"
23	がい管縮金具	40	15	"
24	がい管	36	11	"
25	中心導体(中央)	82	57	70
26	端子	53	28	65
27	C T カバー	33	8	70
28	C T カバー	34	9	"
29	通電用導体	72	47	"
30	通電用導体	76	51	70
周囲温度(℃)		25		
封入ガス圧		4.0kg/cm ² g(20℃にて)		

注：供試器：168kV 40kA 3,000A ガスしゃ断器
通電電流：3,000A
試験周波数：60Hz
測定器：熱電対自動記録温度計
接続導体：800mm²×2 銅板

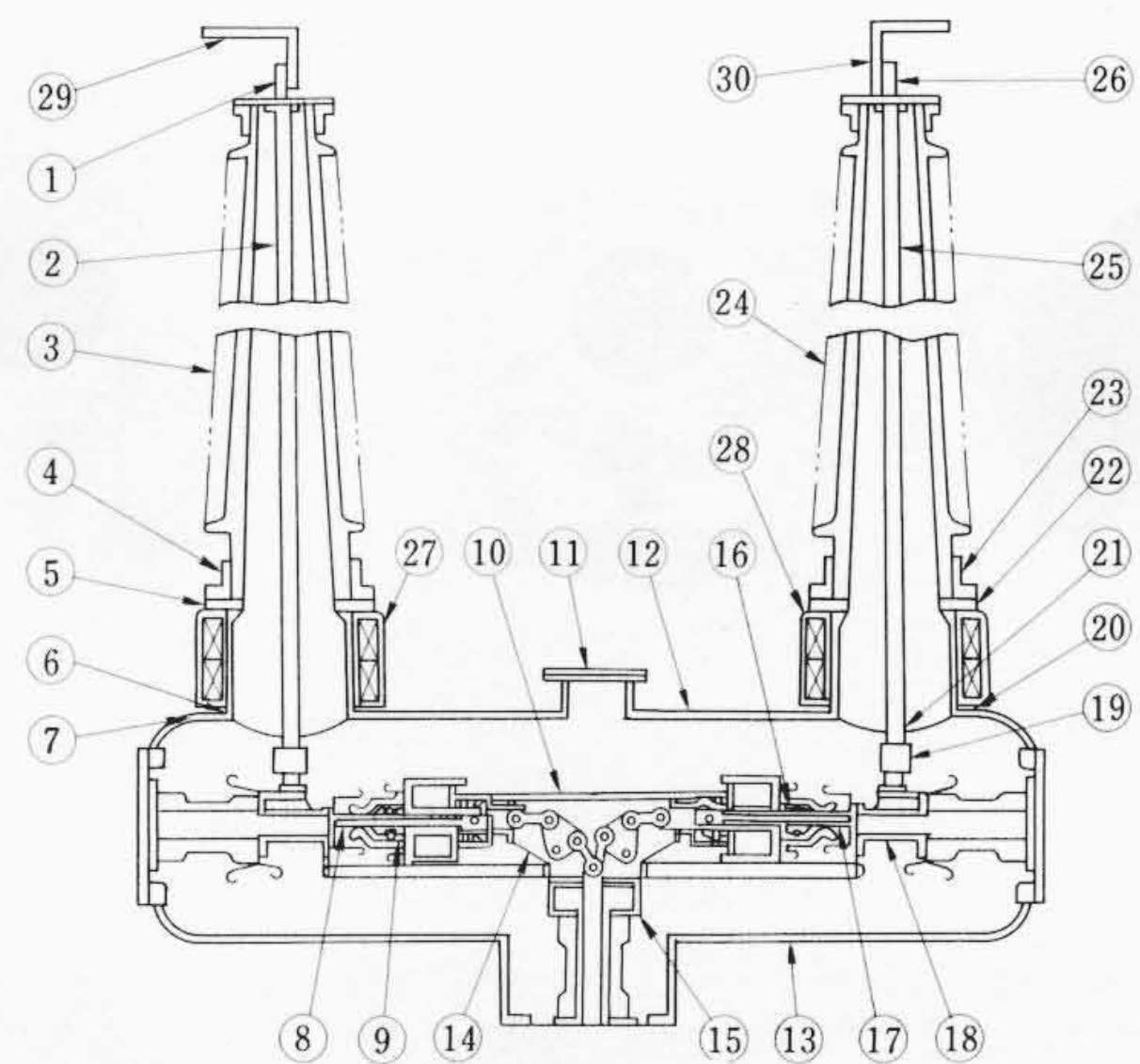


図9 温度測定箇所

よび表6に示すとおりである。再起電圧波形についてはJEC-181の規定を満足することを確認した。これらの各種の試験後の接触子の状況は図10に示すとおりであるが損傷は軽微である。

また JEC-181 に基づきワイル等価試験により性能の検証を行なった場合のオシログラムおよび再起電圧波形の一例は図11に示すとおりである。

4.3.3 ケーブル回路の“CO”試験

ケーブル回路への充電電流の投入，しゃ断試験の検証を実施した。その試験回路は図12に，試験結果は表7に，また試験結果のオシログラムは図13に示すとおりである。

この結果，ケーブル回路の投入，しゃ断の際にもパツファ形ガスしゃ断器は，短絡電流しゃ断後の接触子の損傷状態においてもなお高い絶縁耐力を有しており，進み小電流試験でも無再点弧で開閉できることを確認した。

表5 168kVしゃ断試験結果

試験種類		SF ₆ ガス圧 (kg/cm ² G)	試験方法	動作責務	試験電圧 (kV)	しゃ断電流		アーク時間 (s)	再起電圧			試験回数
						対称分 (kA)	直流分 (%)		上昇率	第1波 波高値	周波数 (kHz)	
*1 進み小電流	短絡試験前	4	実負荷	“O”	122	17A~34A	—	0.09~0.36	—	—	—	15
	短絡試験後	4	実負荷	”	122~190	17A~34A	—	0.05~0.47	—	—	—	”
*1	遅れ小電流	6	実負荷	”	146	20A	—	0.06~0.47	—	—	—	19
*2	BTFしゃ断	4	ワイル	”	110	40	0~58	0.4~1.04	1.4	142~152	2.5	10
*2	脱調	”	”	”	243	14	—	0.68~0.77	0.55	187	1.6	2
*2	異相地絡	”	”	”	168	29.6~31	—	0.94~1.00	0.46	150	2.2	2
*2	S L F	”	ワイル	“O”	58	35.8~37	—	0.6~1.1	5.5	142~15	155.0	6
短時間電流		4	実負荷	—	—	—	—	—	—	—	—	1

注：*1は一相試験結果を示し，*2は二分の一相試験結果を示す。

表6 300kVしゃ断試験結果

試験種類		SF ₆ ガス圧 (kg/cm ² G)	試験方法	動作責務	試験電圧 (kV)	しゃ断電流		アーク時間 (s)	再起電圧			試験回数
						対称分 (kA)	直流分 (%)		上昇率	第1波 波高値	周波数 (kHz)	
*1 進み小電流	短絡試験前	4	実負荷	“O”	190	12.8A	—	0.02~0.15	—	—	—	12
	短絡試験後	4	実負荷	”	190	12.8A	—	0.02~0.15	—	—	—	”
*1	遅れ小電流	6	実負荷	”	173	20A	—	0.06~0.55	—	—	—	12
*2	BTFしゃ断	4	ワイル	”	161	40	0~25	0.73~1.1	0.55	180	—	8
*2	脱調	”	”	”	191	10	—	0.81	0.43	270	—	2
*2	S L F	4	ワイル	“O”	135	35.8~36.3	—	0.7~1.2	4.4	31.5	—	8

*1は一相試験結果を示し，*2は二分の一相試験結果を示す。

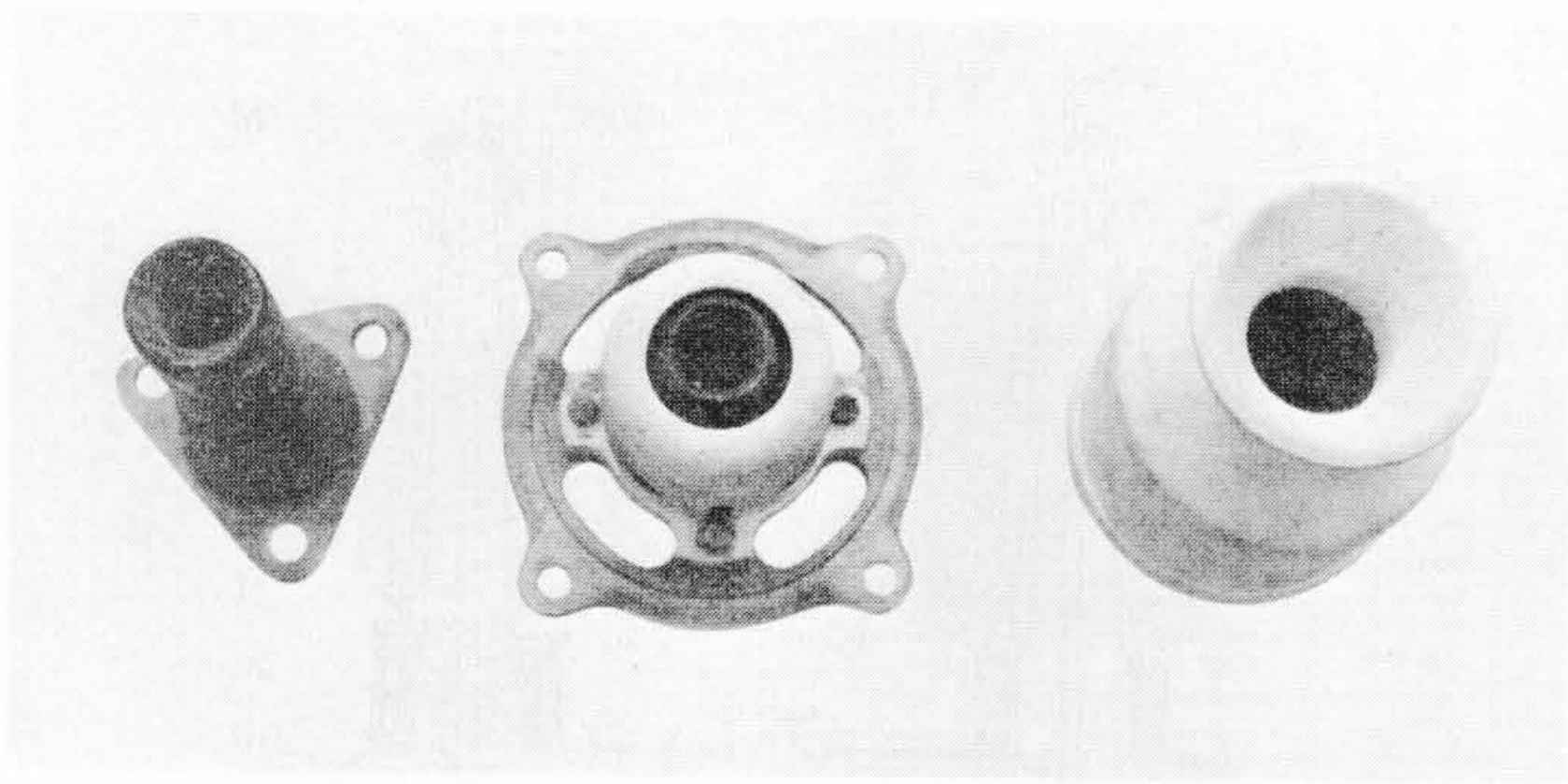
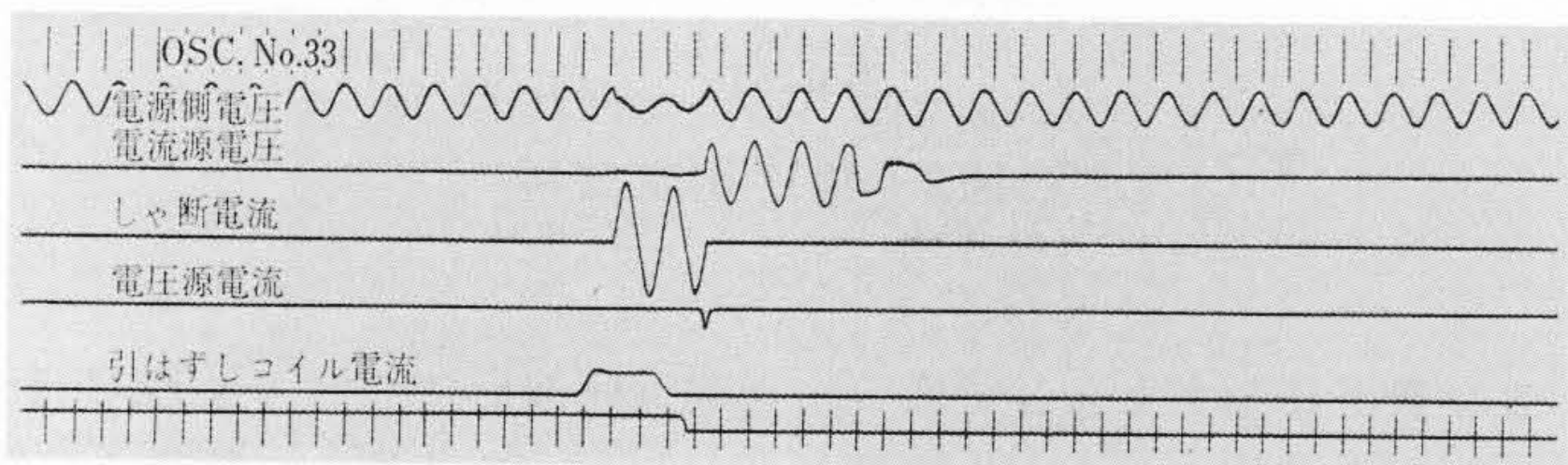
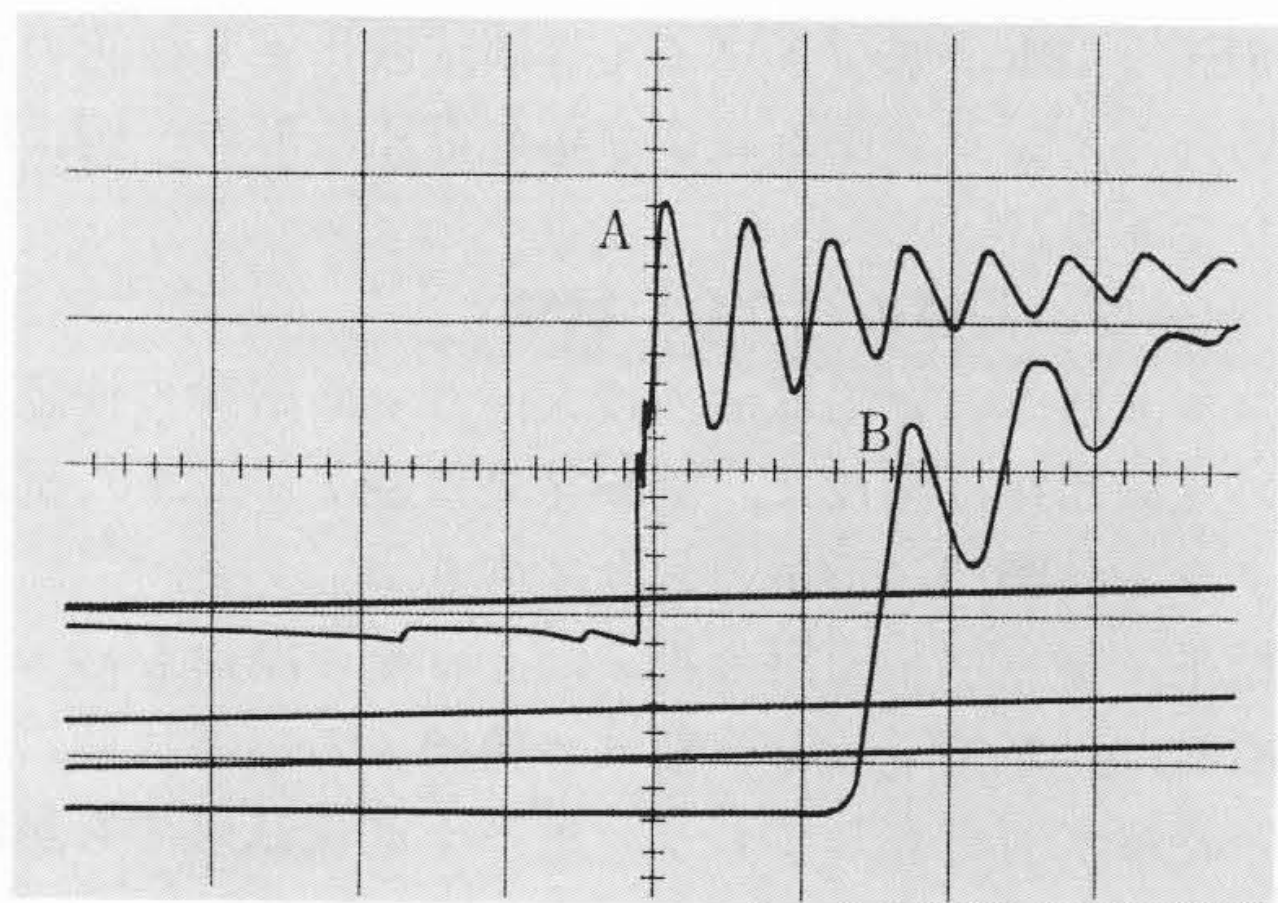


図10 短絡試験後の接触子の状況



(a) しゃ断試験オシログラムの一例(90%SLF)



(b) SLF条件再起電圧波形

図11 しゃ断試験オシログラム

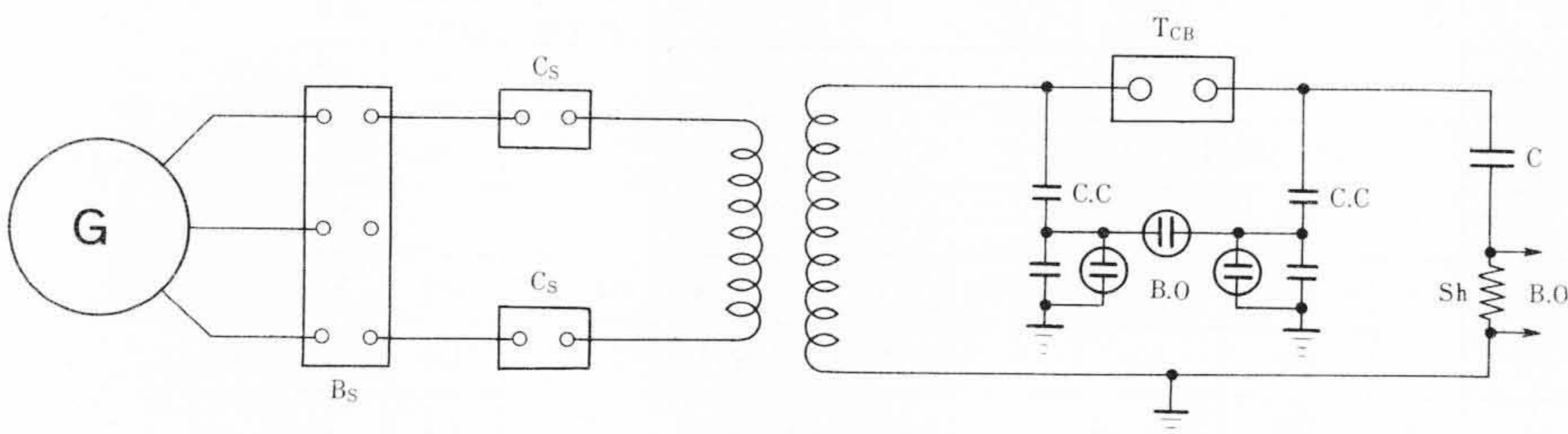


図12 試験回路

表7 試験結果

SF ₆ ガス圧 (kg/cm ²)	操作気圧 (kg/cm ²)	動作 責務	電圧 (kV)	電流 (A)	周波 数 (Hz)	アーク時間 (s)	電圧印 加時間 (s)	再発 点弧 回数	試 回 数	験 数
5	15	"O"	70	99.5	50	0.05~0.40	0.3	0	12	
4	12.5	"O"	"	"	"	0.07~0.48	"	"	48	
		"Co"	"	"	"	0.15~0.50	0.3	"	34	46
		"	70	99.5	"	0.04~0.37	10~15	"	12	
2	10	"	68	90.5	"	0.17~0.61	0.3	"	52	58
		"Co"	68	90.5	50	0.10~0.45	10~15	0	6	

注：本試験点相当の試験を実施

5. 特 長

以上、述べた40kAシリーズパuffa形ガスしゃ断器は次のような特長を有している。

(1) しゃ断性能がすぐれている。

SF₆ガスのすぐれた消弧能力のため、近距離線路故障(SLF)のような過酷な再起条件のもとでも良好な性能を示し、また異相地絡、脱調などの事故に対しても、十分なしゃ断性能を有している。

(2) 小電流開閉性能がすぐれている。

小電流しゃ断性能もすぐれており、遅れ小電流開閉時の過電圧は2倍以下であり、また進み小電流に対しても無再点弧でしゃ断が可能である。

(3) ブッシングCTが内蔵できる。

ブッシングCTを内蔵することができるため据付スペースが小さくてすみ、また両側ブッシングCTの配置により盲点故障を防止することができる。

(4) 耐震性能がすぐれている。

接地タンク形を採用しているため、がい管でしゃ断部を支持する必要がなく、0.5g 4波共振に対しても耐えることができ、耐震性にすぐれている。

(5) 極間汚損による性能低下がない。

汚損によりしゃ断部の電圧分担が変化しないためしゃ断性能の低下の危険性がない。

(6) 保守点検の省力化ができる。

接触子の損傷が少ないこと、構造が簡単のため保守点検が簡単でかつ点検周期が長く、保守点検の省力化を推進できる。

6. 結 言

簡単な構造のパuffa形ガスしゃ断器40kAシリーズについてその構成、構造および性能などについて述べた。

この40kAシリーズの完成によってパuffa形ガスしゃ断器の超高压、大容量化が実現できたとと言える。

最後に、本開発にあたりご指導いただいた日立製作所桑山技師長、細包次長、国分工場G開発部山崎部長以下関係各位に感謝する。

G : 150MVA短絡発電機 C : 充電用コンデンサ
Bs : 保護用しゃ断器 C.C : 結合コンデンサ
Cs : 投入スイッチ Sh : シェント
TCB : 供試しゃ断器 B.O : 電磁オシログラム

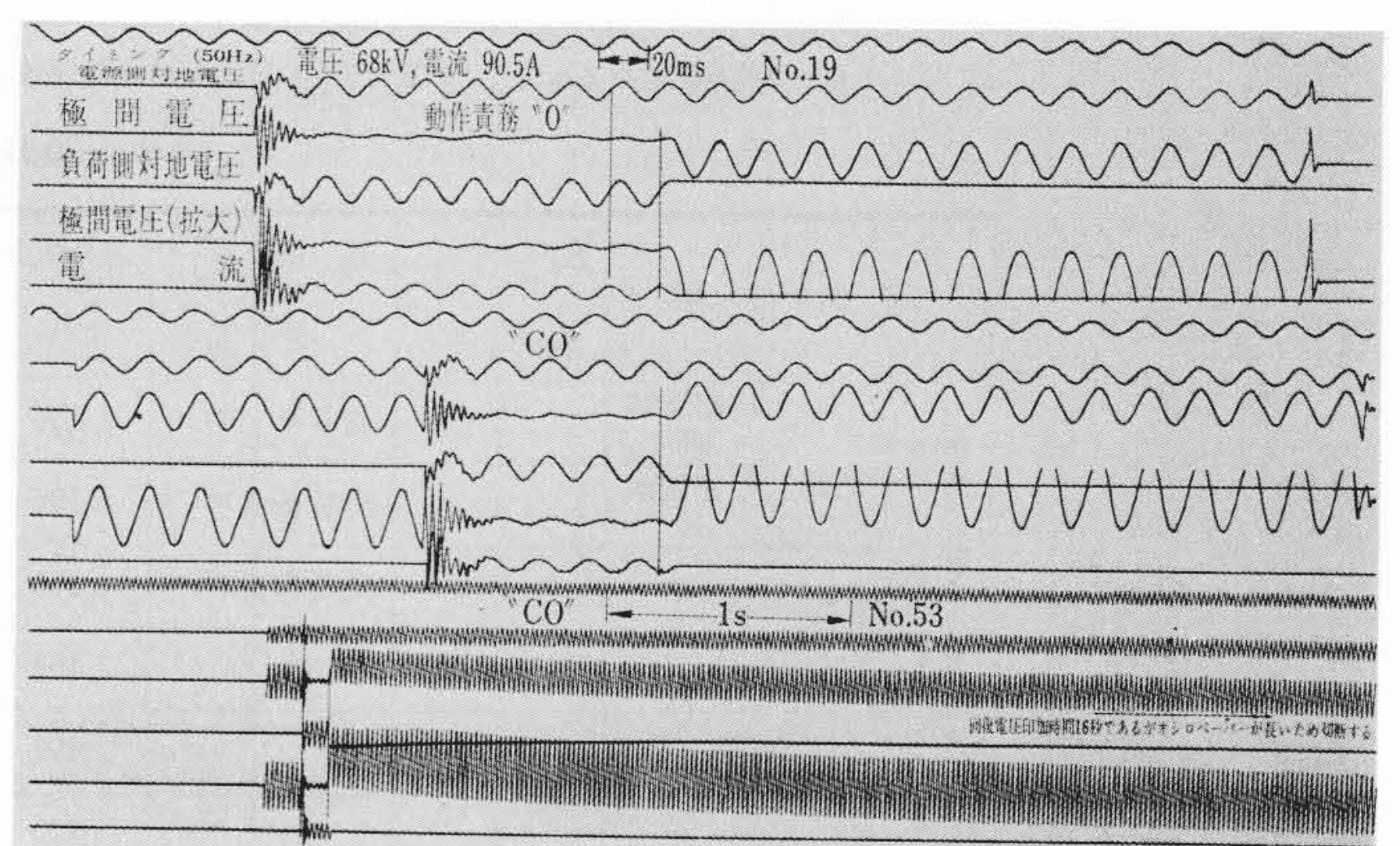


図13 試験結果オシログラム