

ガス絶縁開閉装置用ガスしゃ断器の開発

SF₆ Gas Circuit Breakers for Gas Insulated Metal-clad Switchgear

中 野 清 蔵* 薮 野 光 平*
Seizo Nakano Kōhei Yabuno
辻 政 彦* 細 川 正 男**
Masahiko Tsuji Masao Hosokawa

要 旨

SF₆ ガスのすぐれた絶縁特性と消弧特性を利用した超小形ガス絶縁開閉装置（ミニクラッド）を開発しているが、今回これに使用する 84～120 kV 定格のガスしゃ断器を完成した。

本器の消弧方式には、動作原理および構造とも簡単で、かつ中容量しゃ断器として経済的な単一圧力パッファ（ふいご）形を採用した。本稿では、今回開発したガスしゃ断器の構造、開発上の問題点とその対策、ならびに各種試験結果などをあわせて報告する。

1. 緒 言

都市電力供給の過密化対策として、受変電機器の超小形化が要求されている。今回、超小形ガス絶縁開閉装置用 84～120 kV、2,500～5,000 MVA、1,200～2,000 A 定格のガスしゃ断器の系列を完成した⁽¹⁾。

ガスしゃ断器の消弧方式には、高压ガスを低压ガス室に吹き付け消弧する二重圧力式と、SF₆ ガス封じ切りの容器内で消弧する単一圧力パッファ（ふいご）方式の両者があるが、本器は動作原理および構造とも簡単で、かつ中容量しゃ断器として経済的な単一圧力パッファ式を採用した。

SF₆ ガスは、従来の消弧媒質の油、空気などと異なり、一段とすぐれた消弧力と絶縁耐力を有しているが、反面しゃ断時に発生する SF₆ 分解ガスに対して強い材料の適用、あるいは水分管理などガスしゃ断器特有の問題点を有している。

今回、これらの問題点については、長期間の基礎研究を積み重ね究明した。また部品個々の過酷試験あるいは、長期課電試験などの各種実用化試験を行ない、徹底した品質管理のもとにガスしゃ断器を製作した。このほか、実用性能としてもっとも重要なガス漏れに対しては、二重パッキング方式などを適用し、ガス漏れ防止に留意した。材料ならびに分解ガスなどに関する基礎研究内容については、別稿で報告されているのでこれを省略し、今回開発したガスしゃ断器の設計および構造、各種試験結果などを中心に報告する。

2. ガスしゃ断器の定格・仕様

表 1 は今回開発した 84～120 kV ガスしゃ断器の定格・仕様の一覧表である。

3. 構造および動作

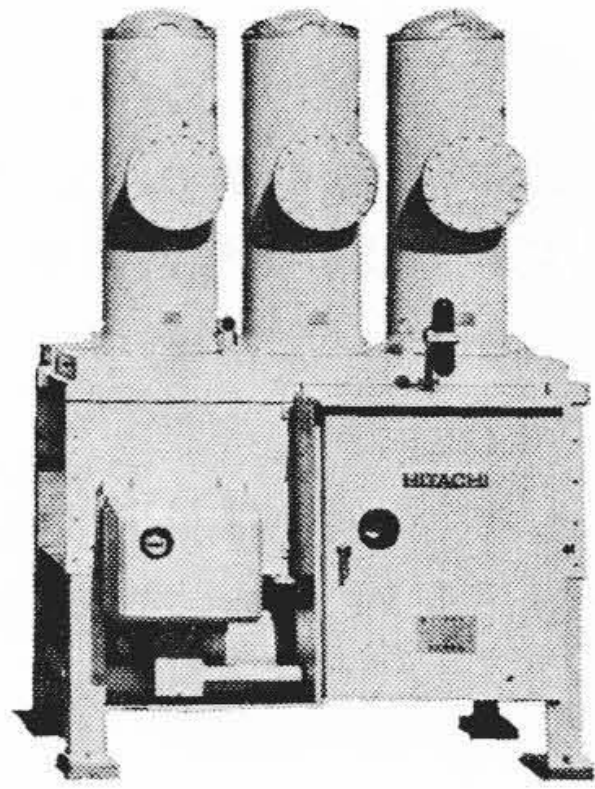
図 1 にしゃ断器の外観、図 2 に構造、図 3 にしゃ断部の内部構造を示す。本器は 5.0 kg/cm² の SF₆ ガスが充てんされた三つの接地タンク内に、各相しゃ断部が内蔵されている三相一括操作方式のしゃ断器である。しゃ断部は絶縁操作ロッドを介して操作部の水平ロッドと機械的に連絡されており、操作ピストンが動作すると、三相のパッファ・シリンダは同時に駆動される構造になっている。

3.1 し ゃ 断 動 作

図 2 の開路用電磁弁を動作すると、圧縮空気が操作弁の動作により操作シリンダ内に充気され、操作ピストンが駆動し、水平ロッド

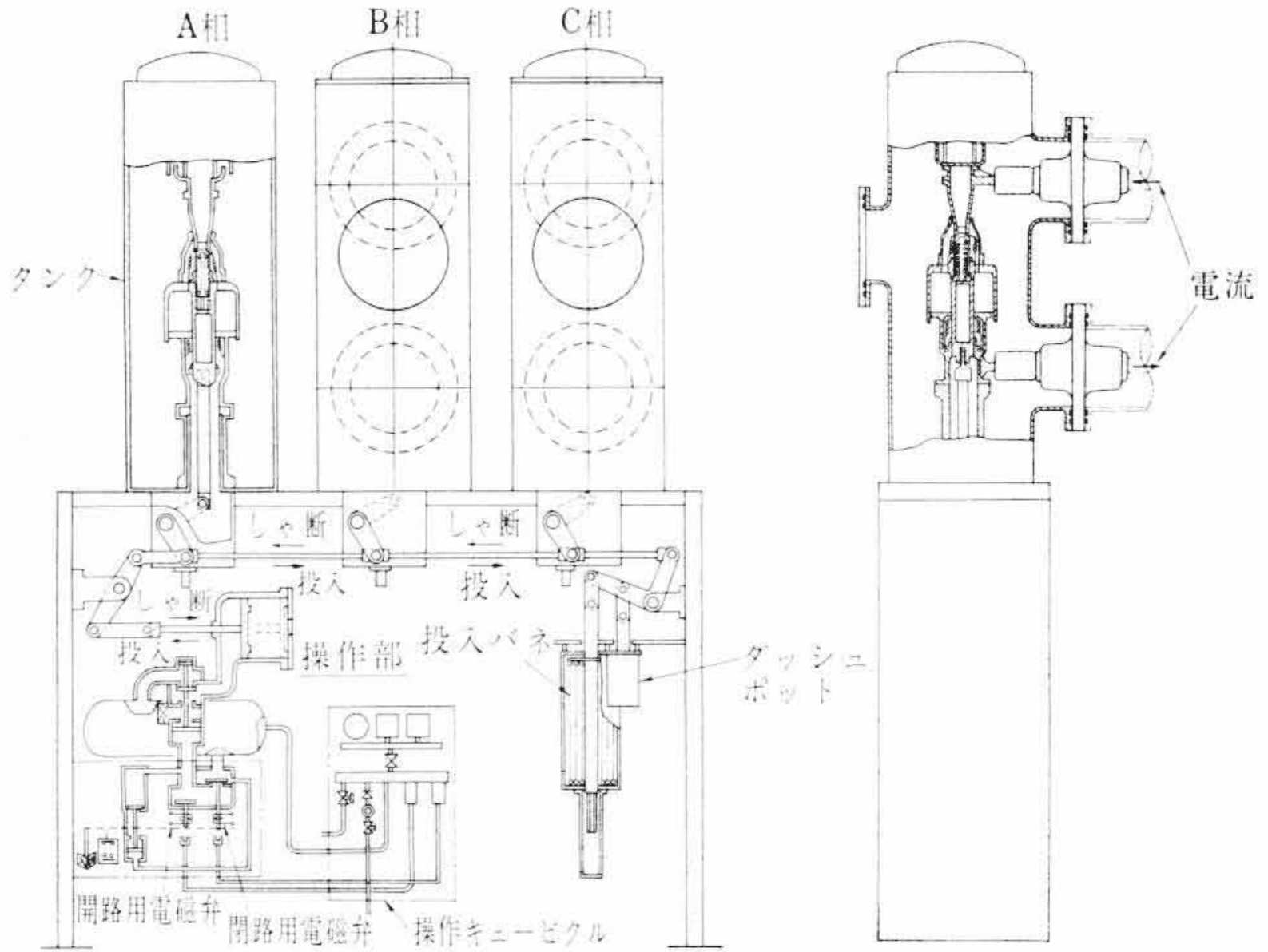
表 1 MFB 形ガスしゃ断器の定格仕様

形 式	MFB-250-PA	MFB-350-PA	MFB-350-PA	MFB-500-PA
規 格	JEC-145	JEC-145	JEC-145	JEC-145
定 格 電 圧 (kV)	72/84	72/84	120	120
定 格 電 流 (A)	1,200/2,000	1,200/2,000	1,200/2,000	1,200/2,000
定格しゃ断容量 (MVA)	2,500	3,500	3,500	5,000
定格しゃ断電流 (kA)	20.1	28.1	16.8	24.1
定格短時間電流 (kA)	20.1	28.1	16.8	24.1
定 格 投 入 電 流	54.8	76.5	46.6	65.5
絶 縁	衝 撃 波	400	400	550
	商 用 周 波	160	160	230
定格再起電圧周波数 (kHz)	4.5 (Ⅱ号)	4.5 (Ⅱ号)	3.0	3.0
定 格 開 極 時 間 (s)	0.03	0.03	0.03	0.03
定格しゃ断時間 (s)	5.0	5.0	3.0	3.0
無負荷投入時間 (s)	0.16	0.16	0.16	0.16
定 格 ガ ス 圧 力 (kg/cm ²)	5.0	5.0	5.0	5.0
動 作 責 務	O-1分-CO-3分-CO	O-1分-CO-3分-CO	O-0.35秒-CO-1分-CO	O-0.35秒-CO-1分-CO



← 図 1 MFB 形ガスしゃ断器

図 2 MFB 形ガスしゃ断器の構造 ↓



* 日立製作所国分工場
** 日立製作所日立研究所

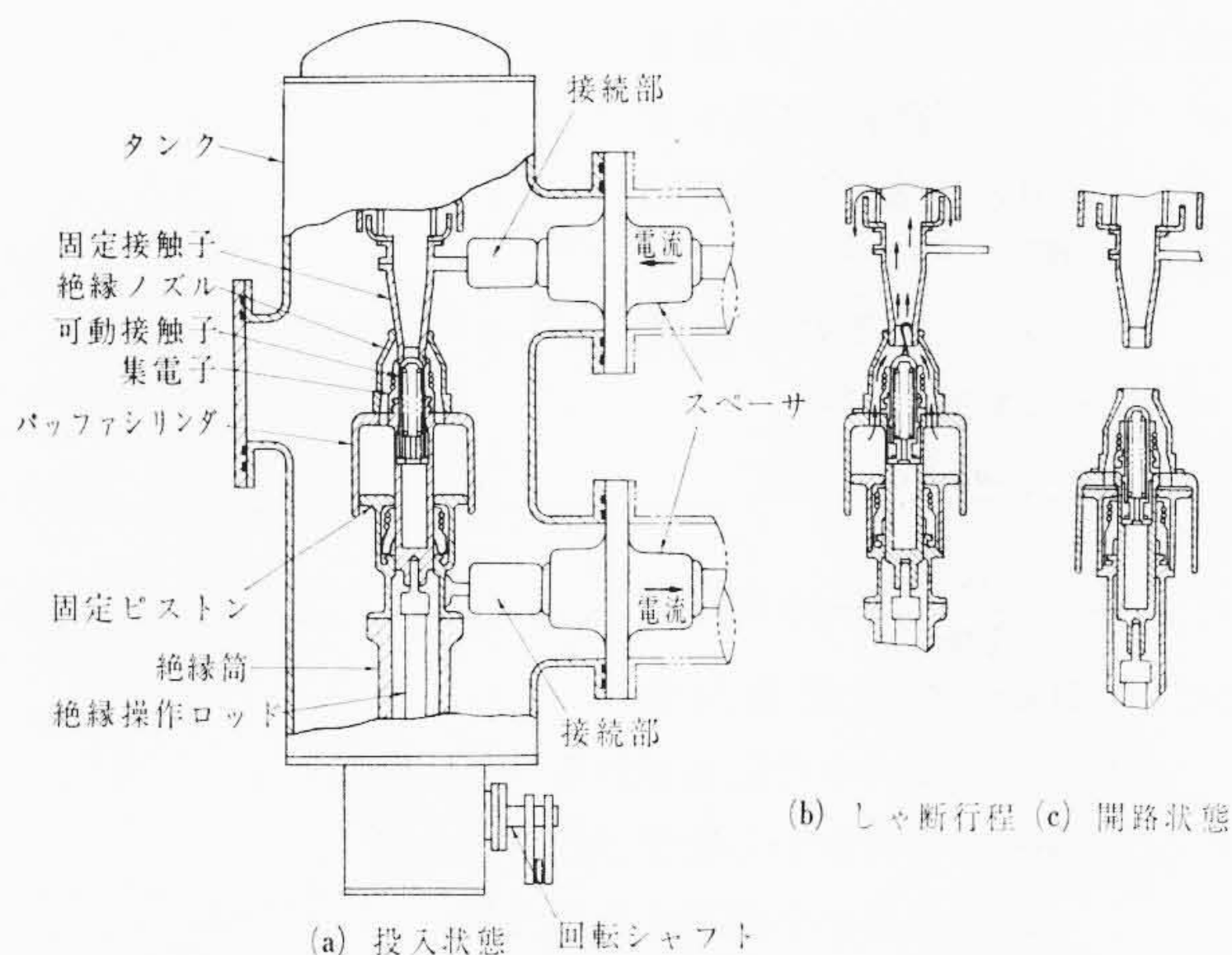


図3 シャ断部構造および動作説明図

を介してパッファ・シリンダが駆動され、パッファ・シリンダ内のガスが高速度で圧縮される。接触子間に発生したアークは、圧縮ガスの吹き付けにより消弧される。

3.2 投入動作

投入の際には、閉路用電磁弁が動作し、操作シリンダ内に充気されていた圧縮空気が排気され、可動接触子は投入パネによって高速度で投入される。

4. パッファ・シリンダの圧力特性

パッファ形しゃ断器の吹付け圧力は、パッファ・シリンダの圧力上昇によって決まるため、しゃ断性能はしゃ断時の圧力上昇特性によって決まる。高い吹付け圧力が、開極後の電流ゼロ点付近に作用すれば、消弧作用は有効に行なわれる。したがって、パッファ圧力上昇一時間特性が設計の基本となる。パッファ圧力時間特性は、ノズル径、パッファ・シリンダ径、ストローク、パッファ駆動速度（開極速度）および駆動力、可動部質量、初期SF₆ガス圧力などの多くのパラメータによって決まる⁽²⁾。これらの相互関係は次式に示すとおりで、Rung-Kutta-Gill法により電子計算機で解析してしゃ断部の各諸元を決定した。

図4よりパッファ室内圧力 P は、パッファ室の容積 V とガス量 G によって決まるので

$$P = P_0 \left(\frac{G}{V} \cdot \frac{V_0}{G_0} \right)^K \quad \dots\dots\dots (1)$$

が成り立つ。

- ただし、 G : パッファ室内ガス量
 G_0 : パッファ室内ガス初期量
 V : パッファ室内容積
 V_0 : パッファ室内初期容積
 K : 比熱比 (SF₆ガスは1.07)

また面積 S_n のノズルより単位時間に流出するガス量は、パッファ室内の圧力差によって異なるため

$$P_0 \leq P < \left(\frac{K+1}{2} \right)^{\frac{1}{K-1}} \cdot P_0 \text{ の時}$$

$$\frac{dG}{dt} = S_n \frac{G}{V} \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{K}} \sqrt{\frac{2K}{K-1} \cdot \frac{PV}{G} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$P \geq \left(\frac{K+1}{2} \right)^{\frac{1}{K-1}} \cdot P_0 \text{ の時}$$

$$\frac{dG}{dt} = S_n \frac{G}{V} \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{1}{K-1}} \sqrt{\frac{2K}{K+1} \cdot \frac{PV}{G}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

が成り立つ。

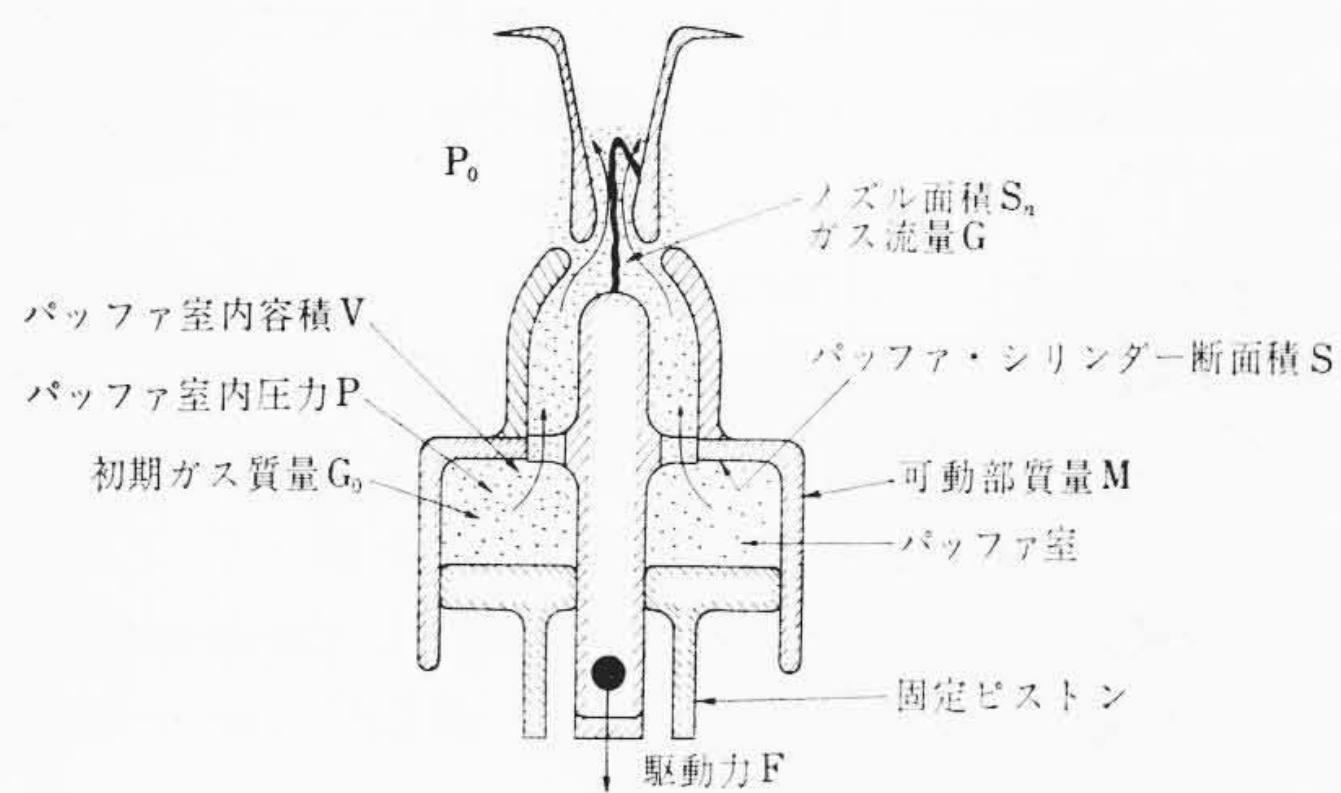


図4 計算対象のモデル・パッファしゃ断部

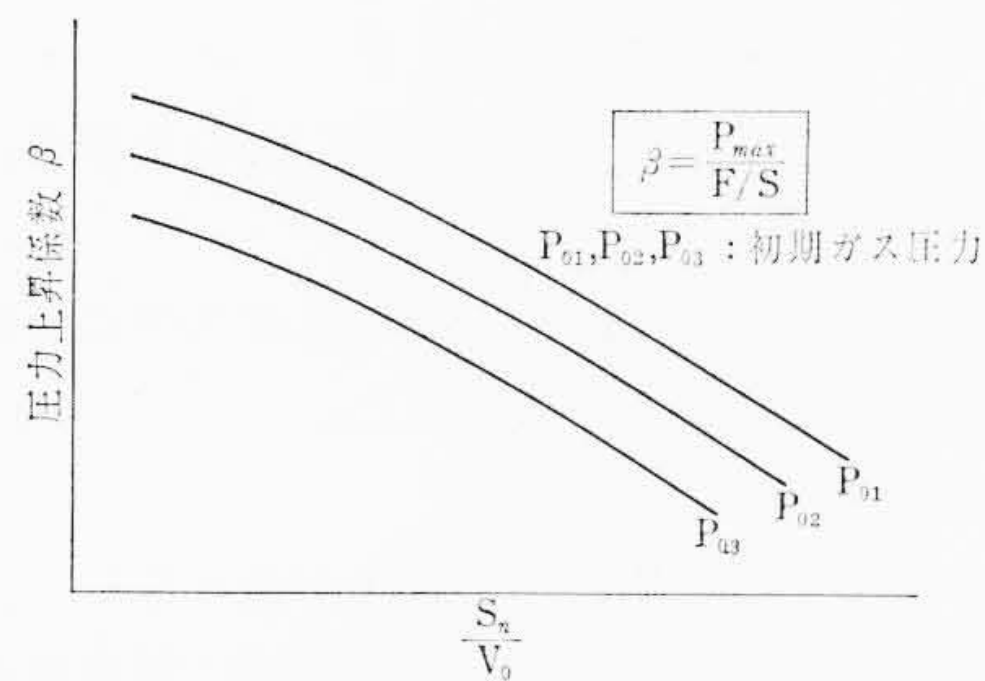


図5 圧力上昇係数と S_n/V_0 の関係

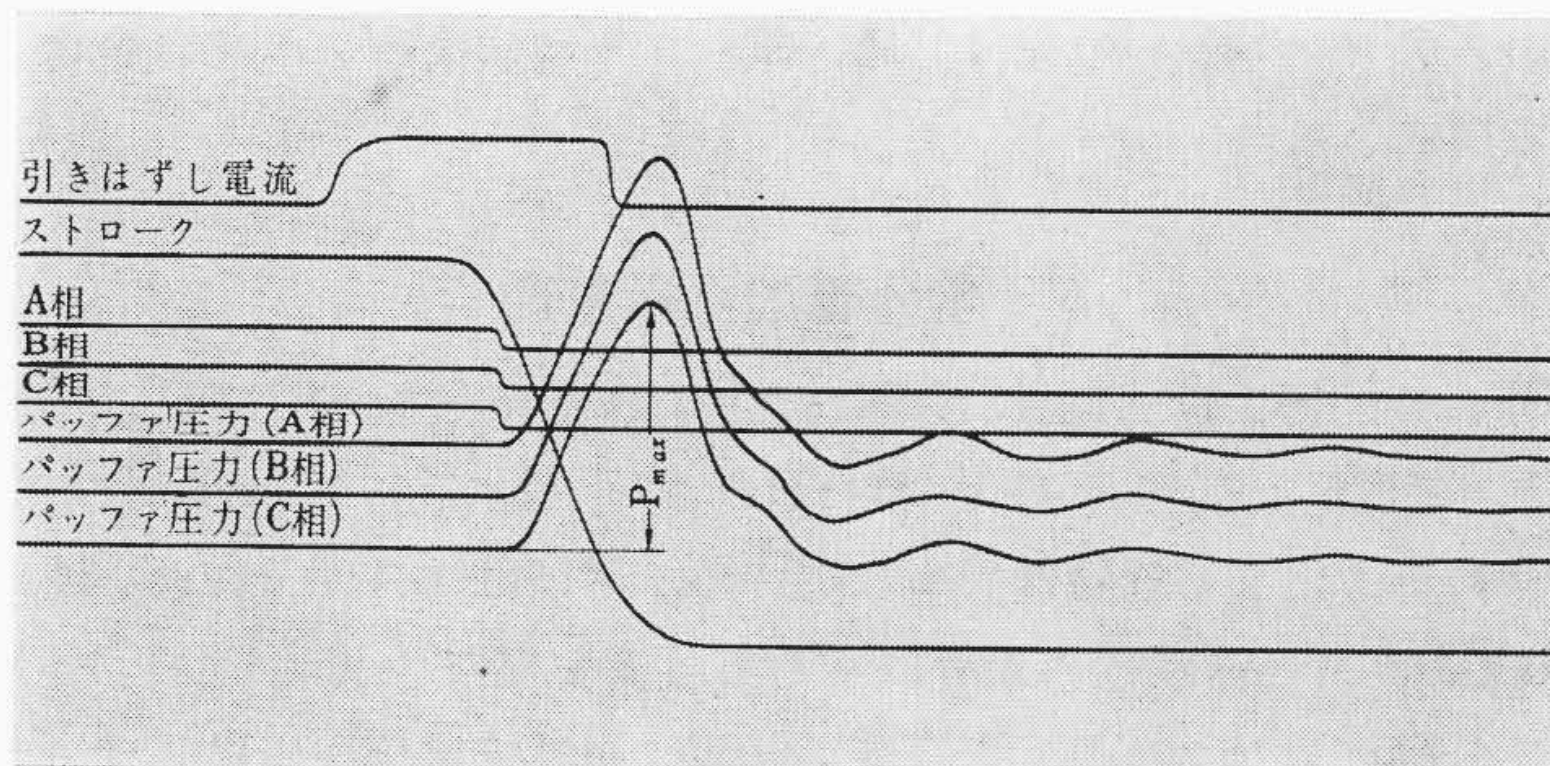


図6 パッファ圧力上昇一時間特性

さらにパッファ・シリンダの運動方程式は

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = F - S \cdot P \quad \dots\dots\dots (4)$$

パッファ・シリンダの内容積 V は

$$V = V_0 - S \cdot x \quad \dots\dots\dots (5)$$

で表わされる。

- ただし、 M : 可動部質量 F : 駆動力
 S : パッファ・シリンダの断面積
 x : ストローク

以上各方程式の理論計算で、最大パッファ上昇圧力 P_{max} は駆動力とパッファ・シリンダ面積との比 F/S に比例し、かつその比例定数 $\beta \left(\frac{P_{max}}{F/S} \right)$ は S_n/V_0 によって図5のように変化する。したがって、駆動力を有効に利用するには、流量を考慮し最適の S_n/V_0 値を選ばなければならない。

本器のパッファ圧力上昇特性は図6に示すとおりで、理想的な圧力上昇一時間特性が得られている。

5. 耐SF₆ガス用材料の選定および開発

SF₆ガスは常温では安定しているが、大電流高温アークにさらされるとSとFとに解離し、大部分は再結合してSF₆ガスに戻るが、一部金属蒸気と反応して低弗化物（分解ガス）を発生する⁽³⁾。このためしゃ断器の構成材料には、とくにSF₆分解ガスにより侵食または劣化しない絶縁材料、潤滑剤、シール材、金属材料などを選定する必要がある。

(1) エポキシモールド材料

従来のSiO₂を充てん材に使ったエポキシ樹脂は、分解ガスによ

って侵食され絶縁抵抗が低下する⁽⁴⁾。特殊な充てん材を使ったエポキシ樹脂を開発し、これをしゃ断器のスペーサ、絶縁筒などに適用した。

(2) 絶縁操作ロッド (FRP)

従来の FRP は、沿層方向耐電圧特性が悪いためしゃ断器の操作ロッドには採用できなかった。今回あらたに真空含浸加圧モールド法を適用し、耐電圧特性を大幅に改善する一方、FRP にはガラス繊維を使用しているため、分解ガスによる絶縁劣化対策として FRP の表面を特殊な基材で被覆し、耐 SF₆ 分解ガス特性を改善した。

(3) 潤滑剤およびシール材

従来のリチウム・グリースおよびシリコン・グリースなどは、分解ガスにより変質するので耐 SF₆ 性の長寿命、潤滑剤 (Hi-Lube 280G) を開発した。

またシール材については、長期間分解ガス中に放置し変質を検討し、その材質および配合を決定した。

(4) 金属材料

分解ガス中では、けい素鋼板の劣化が最も激しく、軟鋼がこれに次ぎ、銅、アルミ、銀、ステンレスの順に耐食性が良くなる。このため分解ガスを発生するしゃ断器内部の材料は、耐食性の強いステンレス (パネ) をはじめ、銅、アルミおよびアルミ合金などで構成した。

6. 水分管理と吸着剤

SF₆ ガス中の水分は、放電時に発生する分解ガス (SF₄, SF₂, SOF₂ など) と反応し活性の弗化水素 (HF) を発生する。この HF は有害で材料を劣化する危険性を有している。すでにアメリカにおいては 500 kV ガスしゃ断器の水分による事故例も報告されている。これらの分解ガスおよび温度低下時の結露による絶縁低下を防止するため、SF₆ ガス中の水分管理が要求される。

購入時の SF₆ ガスの水分含有量は、メーカーによってその仕様は異なるが、65~120 ppm (by Vol.) の水分量を有しており 100 ppm 程度に管理するには、特殊吸着剤にたよるのみでなく組立前にあらかじめ部品内に含まれる水分の除去が必要である。

(1) 水分の除去

しゃ断器内部に残存する水分の大半は、エポキシ樹脂などの有機材料に含まれ、ガス中で表面より水分を放出するため長年月では漸次水分含有量が増加する。この対策として、各部品の特殊乾燥処理を行ない、あらかじめ水分除去を行なったうえで組み立てを行なう工程にしている。

(2) 水分の透過

しゃ断器内部が高圧の SF₆ ガスで充てんされていても、内部の水蒸気圧は大気中に比較して無視できるほどに小さいため、シール部分から透過する水分をあらかじめ考慮して吸着剤を決定する必要がある。

(3) 吸着剤

吸着剤は分解ガスおよびガス中の水分を吸着する目的で使用するが、吸着特性は吸着剤の種類によって大幅に異なるので、良質の吸着剤を選定する必要がある⁽⁵⁾。本器は水分吸着特性の良い合成ゼオライトおよび分解ガス吸着特性のすぐれている活性アルミナを併用した 2 機能吸着方式を採用している。所要吸着剤の量の決定は次式で示される。

<分解ガスの吸着>

$$W_A \geq \frac{\omega_d}{q} \dots\dots\dots (6)$$

$$\omega_d = f \cdot W_g \dots\dots\dots (7)$$

ただし、W_A: 所要吸着剤量
ω_d: 分解ガス発生量
q: 分解ガス吸着能
W_g: SF₆ ガス量
f: 分解ガス濃度

<水分の吸着>

$$W_B \geq \frac{\omega_g + \omega_s + \omega_L}{C} \dots\dots\dots (8)$$

$$\omega_g = \frac{18}{146} (p_0 - p) W_g \dots\dots\dots (9)$$

ただし、W_B: 所要吸着剤量
ω_g: ガス中の除去されるべき水分量
ω_s: 有機物から放出される水分量
ω_L: 外部から透過する水分量
C: 水分吸着能
p₀: ガス中の初期水分濃度
p: 目標水分濃度
W_g: SF₆ ガス量

7. 試験結果

性能検証試験としては JEC-145、電力規格 B-112 をはじめ部品単体試験、各種特殊試験および実用性能試験などを実施し、製品の信頼性を検証した。

7.1 操作試験

代表的な試験結果を表 2 に示す。連続開閉試験は 30,000 回実施したが、部品の摩耗およびガス漏れなどもなく良好であった。連続開閉試験結果は表 3 に示すとおりである。

7.2 温度試験

1,200 A および 2,000 A を通電し、各部の温度上昇値を測定した。測定点を図 7 に、温度上昇測定結果を表 4 に示す。また 2,200 A の過電流通電試験時の温度上昇値は、銀接触で 41℃ であり規格値 55℃ に対しじゅうぶん余裕がある。

表 2 操作試験結果

試 験	空気操作圧力 (kg/cm ²)	制御電圧 (V)	投 入 時 間		引きはずし時間	
			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	0.159	0.0005	—	—
	15.0	100	0.155	0.0005	—	—
	16.5	125	0.156	0.0005	—	—
	16.5	75	0.160	0.0005	—	—
引きはずし 操 作	12.5	60	—	—	0.0380	0.0000
	15.0	100	—	—	0.0310	0.0005
	16.5	125	—	—	0.0310	0.0005
	16.5	60	—	—	0.0355	0.0005
引きはずし 自 由	13.0	75	0.157	0.0000	0.0325	0.0000
	15.0	100	0.156	0.0005	0.0310	0.0000
	16.5	125	0.158	0.0005	0.0305	0.0005
	16.5	75	0.162	0.0005	0.0335	0.0005

注：ガス圧力：5 kg/cm²

表 3 連続開閉試験結果

操作回数 (回)	空気操作圧力 (kg/cm ²)	制御電圧 (V)	操 作	投 入 時 間		引きはずし時間	
				投入時間 (s)	接 触 差 (s)	開極時間 (s)	開 離 差 (s)
500	15	100	O	—	—	0.031	0.0005
			C	0.155	0.0005	—	—
			CO	0.155	0.0005	0.030	0.0000
10,000	15	100	O	—	—	0.030	0.0004
			C	0.160	0.0005	—	—
			CO	0.156	0.0005	0.030	0.0000
30,000	15	100	O	—	—	0.030	0.0004
			C	0.160	0.0005	—	—
			CO	0.156	0.0004	0.030	0.0000

注：ガス圧力：5 kg/cm²

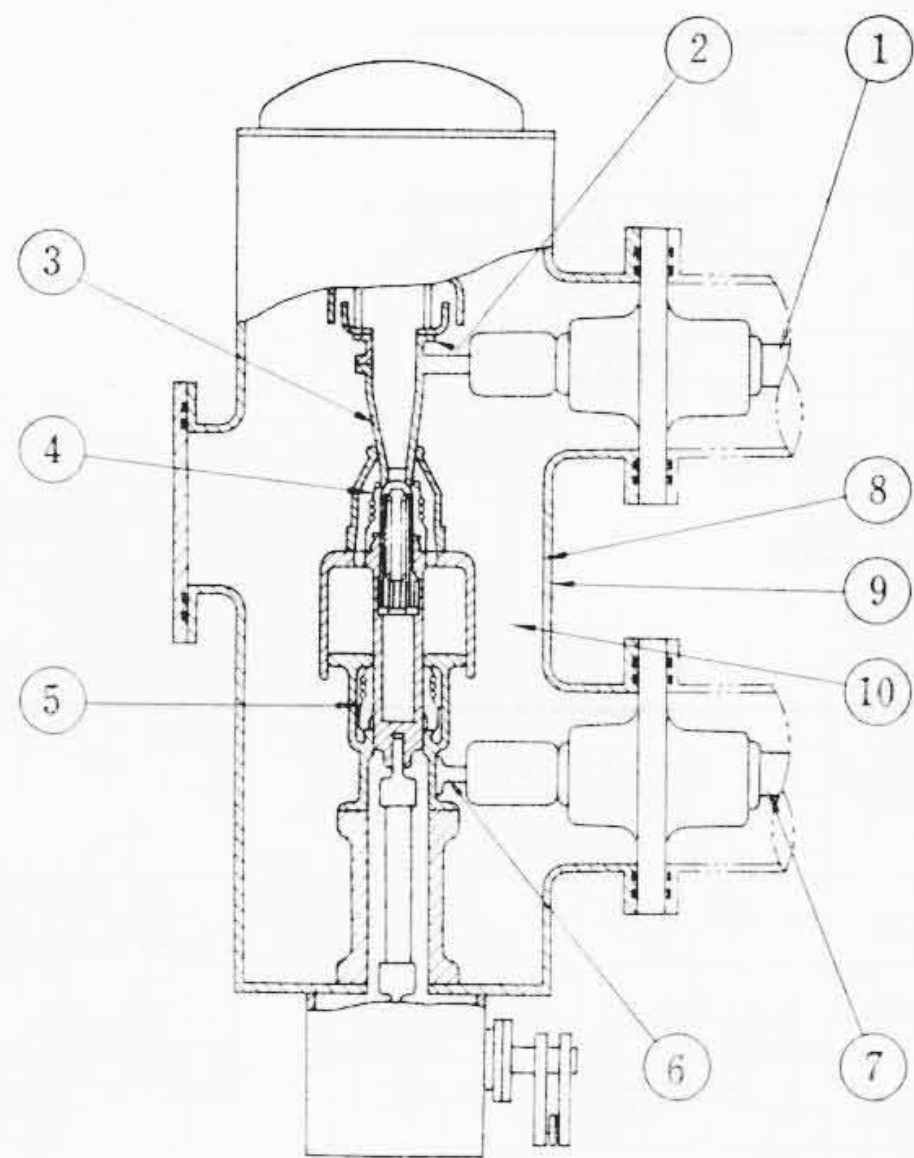


図7 温度試験測定点

表4 温度試験結果

充填ガス圧力 (kg/cm ²)		2.5*		接 触 子 表 面	温度上昇 規格値 (°C)
通 電 電 流 (A)		1,200	2,000		
測 定 個 所		温 度 上 昇 値			JEC-145
接 触 部 お よ び 導 電 部	① スペーサ中心導体(固定側)	11.5	29.0	—	55
	② 接 続 部 (固定側)	13.5	33.0	銀—銀	
	③ 固 定 接 触 子	14.0	31.0	銀—銀	
	④ 可 動 接 触 子	14.0	30.0	銀—銀	
	⑤ 集 電 接 触 子	12.5	30.0	銀—銀	
	⑥ 接 続 部 (可動側)	12.5	29.5	銀—銀	
	⑦ スペーサ中心導体(可動側)	12.0	27.5	—	
機 構 造 的 部	⑧ タ ン ク 内 面	6.5	14.0	—	70
	⑨ タ ン ク 外 面	4.5	12.0	—	
	⑩ ガ ス 温 度	2.5	14.0	—	

注 * 圧力は母線の最低保証圧力に合わせた。

表5 耐電圧試験結果

	印 加 部 位	ガス圧力 (kg/cm ²)	衝 撃 波		商 用 周 波		結 果
			耐電圧値 (kV)	極 性	(kV)	印加時間 (s)	
極 間	固定接触子側端子	4.0	660	正 負	275	60	良
	可動接触子側端子	4.0	660	正 負	275	60	良
対地間	しゃ断部側	4.0	660	正 負	275	60	良

表6 短時間電流試験結果

項番	試験電流 (kA)	第1波高値 (Ap)	周 波 数 (Hz)	通電時間 (s)	結 果
1	29.8	69.7	62.5	2	接触子および接続部に 溶こんなし。 試験前後の接触抵抗の 変化なし。
2	31.4	62.9	62.5	2	
*3	32.8	83.8	62.5	2	

* オシログラム参照

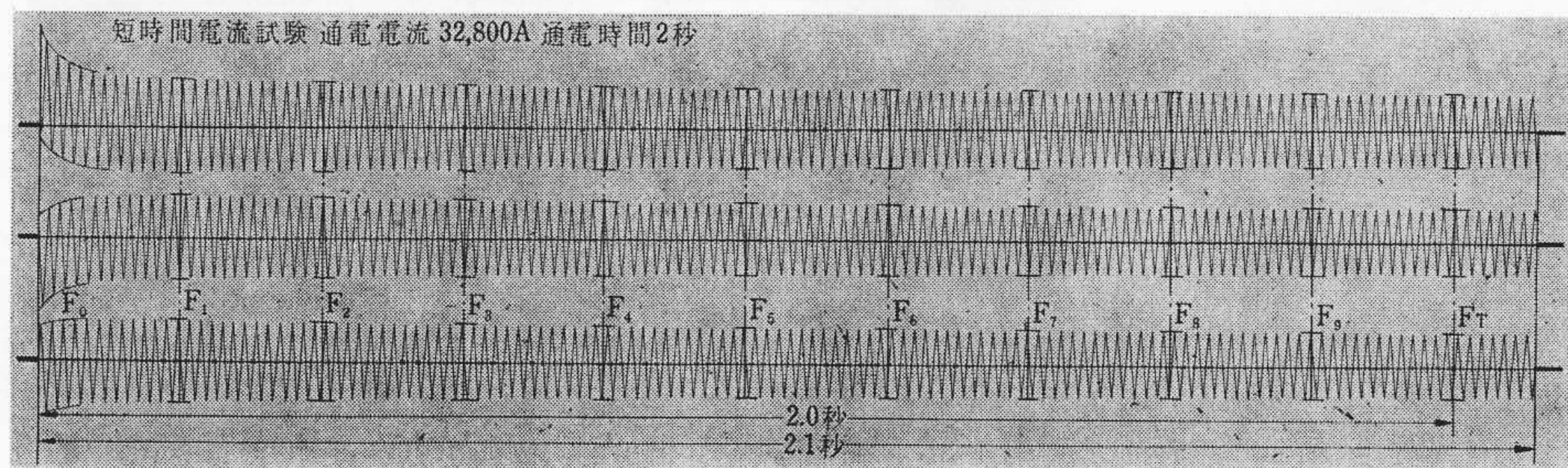


図8 短時間電流試験オシログラム

表7 充電電流しゃ断試験結果

しゃ断器形式	ガス 圧力 (kg/cm ²)	空 気 操作圧力	動作 責務	試験 電圧 (kV)	電 流 (A)	アーク時間 (~)	再 発 弧	再 点 弧	*1 試験 回数 (回)	備 考
72/84 kV MFB-350	4.0*2	12.2*3	"O"	84	20	0.01~0.46	0	0	12	$84\text{kV} = \frac{84\text{kV}}{\sqrt{3}} \times \sqrt{3}$
	4.0	12.5	"O"	84	80	0.02~0.45	0	0	12	
120 kV MFB-500*4	4.0	12.5	"O"	120	20	0.05~0.42	0	0	12	$120\text{kV} = \frac{120\text{kV}}{\sqrt{3}} \times \sqrt{3}$
	4.0	12.5	"O"	120	41	0.03~0.44	0	0	12	

注：*1 しゃ断位相は 30° 間隔で位相制御した。

*2 最低保証ガス圧力

*3 最低保証空気操作圧力

*4 オシログラム参照 (図 9-(a))

(a) 充電電流しゃ断試験 試験電圧 120 kV 充電電流 41A 動作責務 "O"

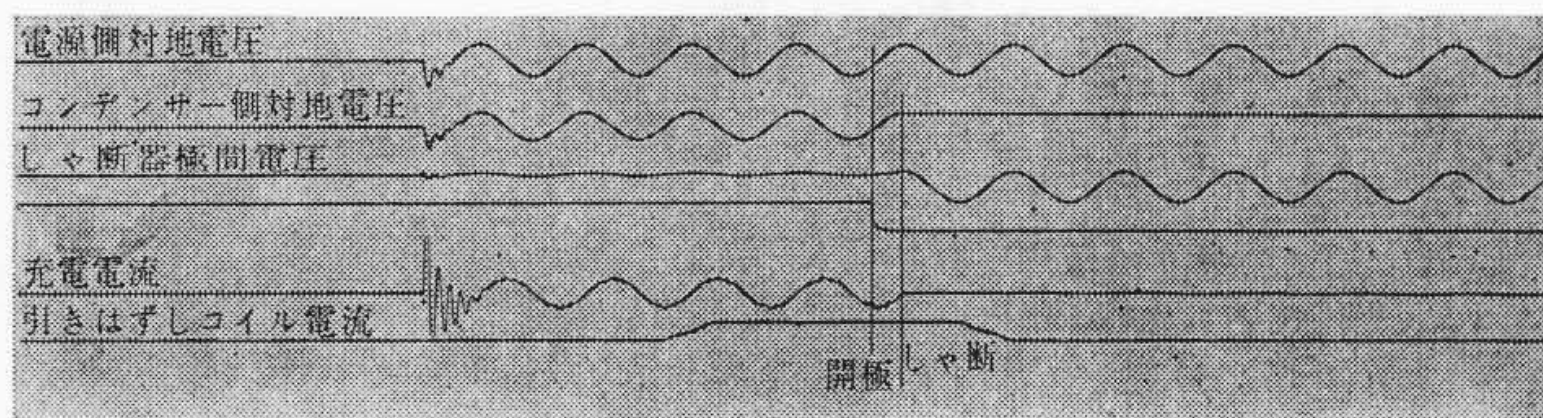


図9 しゃ断試験オシログラム

7.3 絶縁試験

衝撃波および商用周波による耐電圧試験に対しては、最低保証ガス圧力 4.0 kg/cm² で絶縁階級 100 号を余裕をもって満足した。さらに JEC-145 に規定された動作責務によるしゃ断試験を実施した後においても、SF₆ ガスおよび絶縁物の絶縁耐力の低下がないことを確認した。

絶縁試験結果を表 5 に示す。なおガス圧力が大気圧に低下した場合においても、常規対地電圧に耐えることを確認した。

7.4 コロナ試験

電圧は固定接触子側端子および可動接触子側端子の両側からそれぞれ印加し、コロナ開始電圧を測定した。その結果コロナ開始電圧は 120 kV 以上であり良好な結果を示した。

7.5 短時間電流試験

母線と組合せて試験を行なった。試験は JEC-165 の断路器規格値 (32 kA) および JEC-145 の 72 kV 規格値 (28.1 kA) 相当で行なわれた。試験結果は表 6 に、オシログラムは図 8 に示すとおりである。通電前後における端子間の接触抵抗の変化もなく、接触部の溶着こん跡も認められなかった。

7.6 しゃ断試験

しゃ断性能は、充電電流しゃ断試験、励磁電流しゃ断試験などの小電流開閉試験、ならびに短絡電流しゃ断試験および近距離線路故障 (SLF)、脱調、異相地絡などの特殊条件下のしゃ断試験により検証した。

7.6.1 充電電流しゃ断試験

試験は一線地絡時の健全相しゃ断を考慮して線間電圧相当で行なわれた。試験結果は表 7 に、代表的オシログラムは図 9 (a) に示すとおりで、しゃ断直後のガスの絶縁回復特性が良好であるため、すべて無再点弧であった。

7.6.2 励磁電流しゃ断試験

試験電圧としては相電圧の 1.5 倍の電圧を適用した。ガス特有の消弧機構によって、励磁電流しゃ断の際の異常電圧倍数は低く、1.9 以下であった。試験結果は表 8 に、代表的オシログラムは図 9 (b) に示すとおりである。

7.6.3 短絡電流しゃ断試験

しゃ断性能は超高研武山研究所および日立製作所における単相実負荷試験、Weil 等価試験などによって検証した。

表8 励磁電流しゃ断試験結果

しゃ断器形式	ガス 圧力 (kg/ cm ²)	空 操 作 圧 力 (kg/ cm ²)	動 作 責 務	試験 電 圧 (kV)	電 流 (A)	アーク時間 (〜)	固有周 波数 (Hz)	異常電 圧係 数	*1 試験 回数 (回)	備 考
72/84 kV MFB-350	*2 5.5	*3 16.5	"O"	73	15.0	0.11~0.48	670	1.1~1.9	12	$73\text{ kV} = \frac{84\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
120 kV*4 MFB-500	5.5	16.5	"O"	104	12.5	0.06~0.50	460	1.0~1.7	12	$104\text{ kV} = \frac{120\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$

注：*1 しゃ断位相は30°間隔で位相制御した。

*2 最大ガス圧力

*3 最大空気操作圧力

*4 オシログラム参照(図9-(b))

表9 実負荷試験結果(単相試験)

しゃ断器形式	試験条件	ガス圧力 (kg/ cm ²)	空 操 作 圧 力 (kg/ cm ²)	動 作 責 務	試験電圧 (kV)	しゃ断電流 (kA)	再 起 電 圧 周 波 数 (kHz)	振 幅 率	アーク時間 (〜)	投入電流 (kAp)	備 考
72/84 kV MFB-350	通常短絡 (超高研 武 山)*4	4.0*1	12.5*2	"O"	63	19.5~21.3	5.70	1.86	0.51~0.99	—	$63\text{ kV} = \frac{72\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
		4.0	13.0*3	O-1分-CO-3分-CO	73	15.5~15.6	5.45	1.87	0.46~0.89	29.3~41.8	$73\text{ kV} = \frac{84\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
		4.0	13.0	O-1分-CO-3分-CO	36	27.6~28.8	9.60	1.88	0.57~0.83	75.2~82.4	
		4.0	13.0	O-1分-CO-3分-CO	36	31.0~32.2	9.64	1.77	0.89~1.06	65.8~95.2	
	通常短絡 (社 内)	4.0	13.0	O-1分-CO-3分-CO	73	11.5	4.5	1.70	0.37~0.80	8.6~14.0	$73\text{ kV} = \frac{84\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
		4.0	13.0	O-1分-CO-3分-CO	40	26.5	10.0	1.70	0.85~1.26	42~70	
		4.0	13.0	O-1分-CO-3分-CO	20	32.0	16.0	1.70	1.00~1.50	52~85	
	SLF *4	4.0	12.5	"O"	40	22.5	—	1.80	1.00~1.50	—	$\sqrt{\frac{L}{C}} = 486\Omega, L_l = 0.65\text{ mH}$
		4.0	12.5	"O"	40	19.2	—	1.80	0.88~1.40	—	$\sqrt{\frac{L}{C}} = 486\Omega, L_l = 1.3\text{ mH}$
	脱 調	4.0	12.5	"O"	97	1.6	5.0	1.70	0.48~0.75	—	$97\text{ kV} = \frac{84\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 2.0$
120 kV MFB-500	通常短絡	4.0	13.0	O-0.35秒-CO-3分-CO	80	12.8	4.5	1.70	0.40~0.92	8.8~16.0	
		4.0	13.0	O-0.35秒-CO-3分-CO	40	26.5	10.0	1.70	0.84~1.31	42~78	
	SLF	4.0	12.5	"O"	40	22.5	—	—	1.05~1.45	—	$\sqrt{\frac{L}{C}} = 486\Omega, L_e = 0.65\text{ mH}$
		4.0	12.5	"O"	40	19.2	—	—	0.90~1.39	—	$\sqrt{\frac{L}{C}} = 486\Omega, L_e = 1.3\text{ mH}$
	脱 調 *4	4.0	12.5	"O"	139	2.3	5.0	1.70	0.45~0.82	—	$139\text{ kV} = \frac{120\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 2.0$

(注) *1 最低保証ガス圧力

*2 最低保証空気操作圧力

*3 最低保証投入圧力

*4 オシログラム参照(図9-(c),(e),(f))

表10 Weil 等 価 試 験 結 果

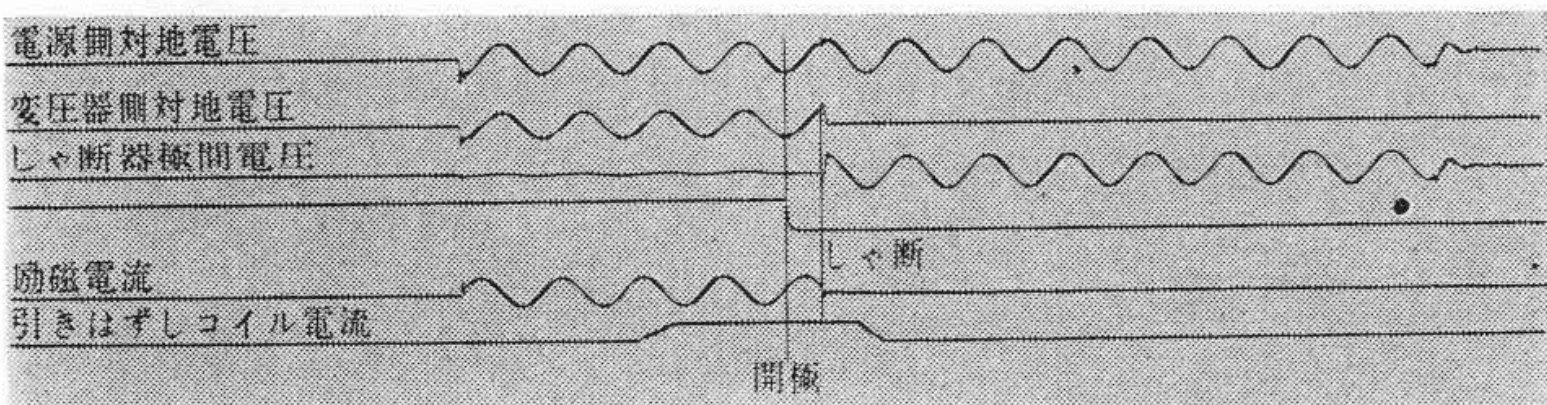
しゃ断器形式	試験条件	ガス圧力 (kg/cm ²)	空気操作圧力 (kg/cm ²)	動作責務	試験電圧 (kV)	しゃ断電流 (kA)	再起電圧 周波数 (kHz)	振 幅 率	アーク時間 (〜)	備 考
72/84 kV MFB-350	通常短絡	*1 4.0	*2 12.5	"O"	73	27.0	4.5	1.60	1.00~1.25	$73\text{ kV} = \frac{84\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
		4.0	12.5	"O"	62	32.0	4.5	1.60	1.00~1.25	$62\text{ kV} = \frac{72\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
	脱 調	4.0	12.5	"O"	97	15.0	4.5	1.40	1.00	$97\text{ kV} = \frac{84\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 2.0$
120 kV *3 MFB-500	通常短絡	4.0	12.5	"O"	104	27.0	3.2	1.60	1.10~1.15	$104\text{ kV} = \frac{120\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 1.5$
	脱 調	4.0	12.5	"O"	139	13.0	3.2	1.40	1.00	$139\text{ kV} = \frac{120\text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 2.0$

注：*1 最低保証ガス圧力

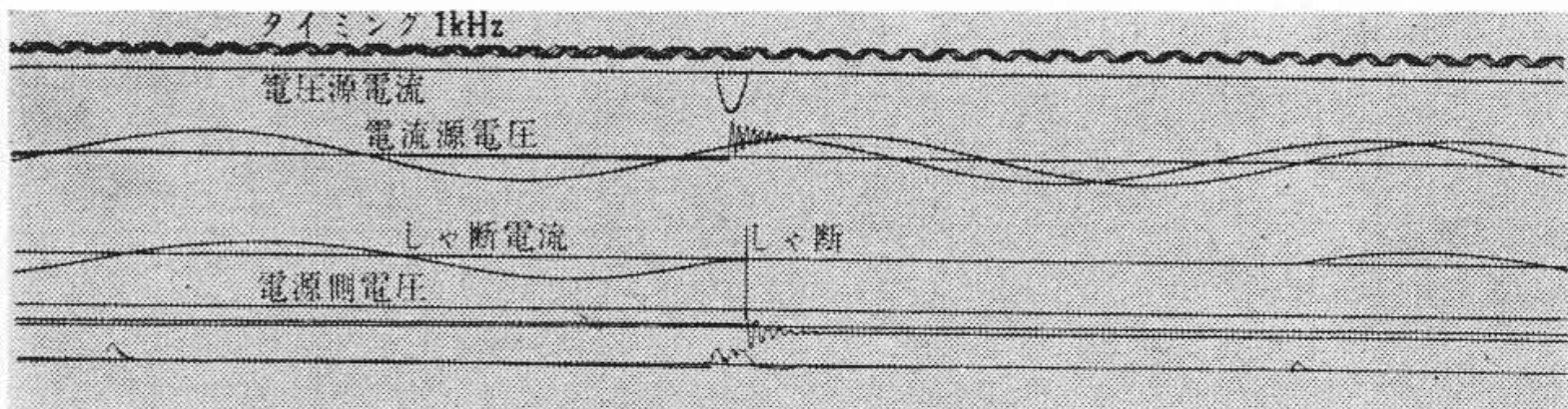
*2 最低保証空気操作圧力

*3 オシログラム参照(図9-(d))

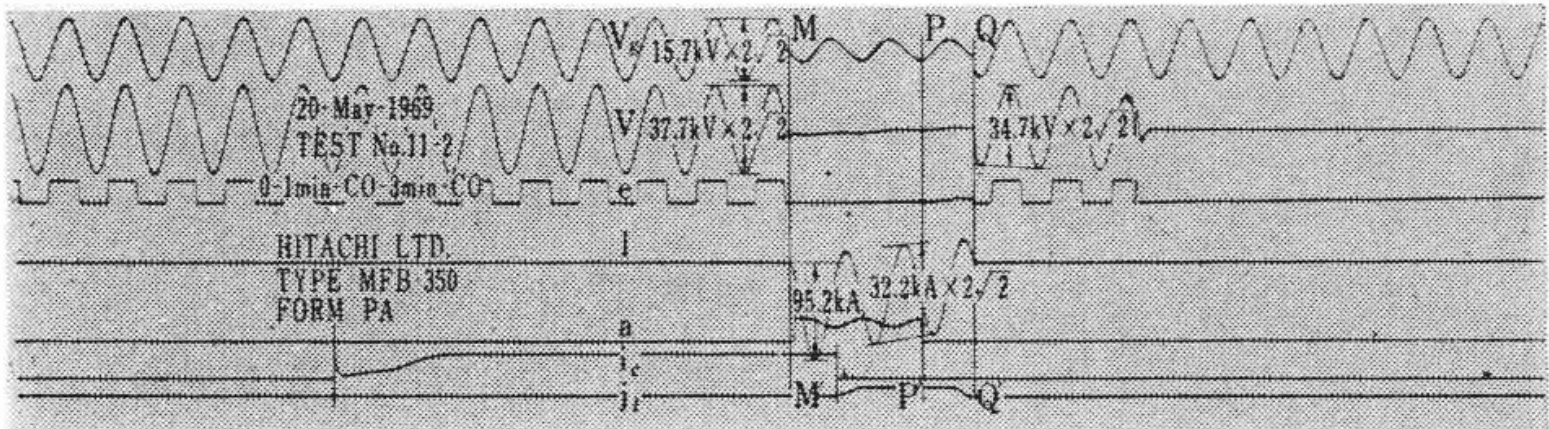
(b) 励磁電流しゃ断試験 試験電圧104 kV 励磁電流12.5 A 動作責務"O"



(d) 短絡電流しゃ断試験(Weil等価試験)
試験電圧104 kV しゃ断電流27.0 kA 動作責務"O"



(c) 短絡電流しゃ断試験(実負荷試験)



(e) 脱調しゃ断試験(実負荷試験)
試験電圧139 kV 試験電流2.3 kA 動作責務"O"

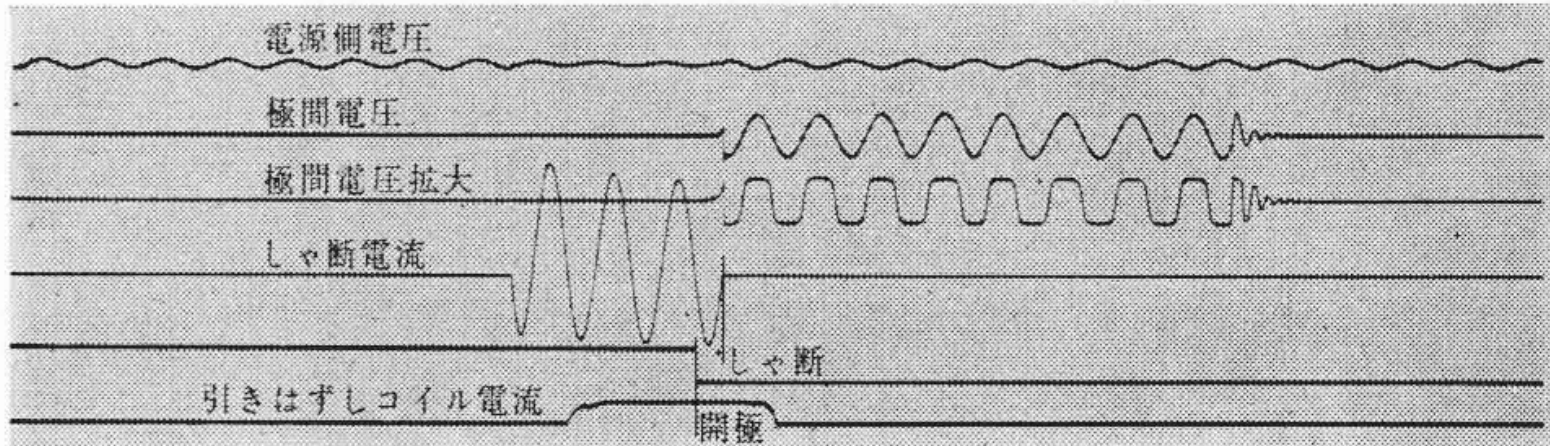


図9 しゃ断試験オシログラム

(f) 近距離線路故障しゃ断試験
試験電圧 40 kV 試験電流 22.5 kA 動作責務 "O"

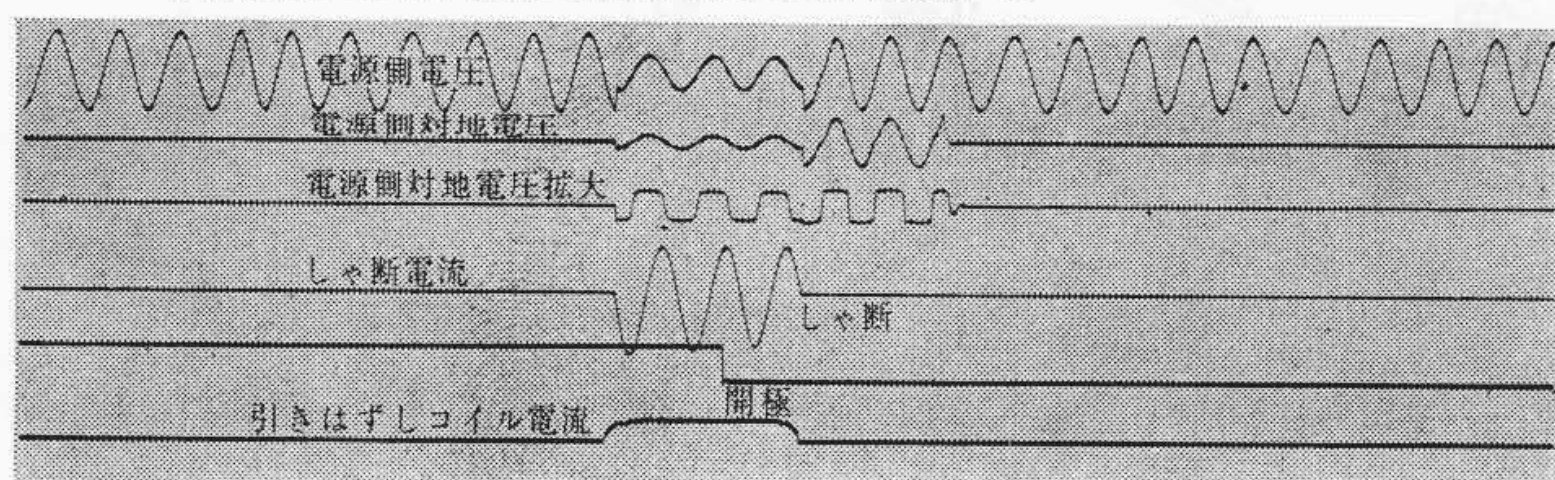


図9 シャ断試験オシログラム

試験結果は表9, 表10に, 代表的オシログラムは図9(c), (d)に示すとおりである。また通常短絡電流しゃ断性能は, 84 kV では JEC-145 の再起電圧周波数の規格値 II 号 (4 kHz), 120 kV では II 号相当 (0.6 kHz) に対しじゅうぶんな性能を有している。

ガスしゃ断器は近距離線路故障 (SLF) のような過酷な再起電圧条件に対してもしゃ断性能がすぐれており, 最低保証ガス圧力 4.0 kg/cm^2 でも良好な結果を得た。代表的なオシログラムは図9(f)に示すとおりである。

また過電圧条件下の脱調および異相地絡しゃ断試験においてもすぐれたしゃ断性能を示した(図9(e))。

また図10は本器のしゃ断試験後の接触子の損傷状況をに示したものであるが, しゃ断性能がすぐれているためアークによる損傷はきわめて軽微である。

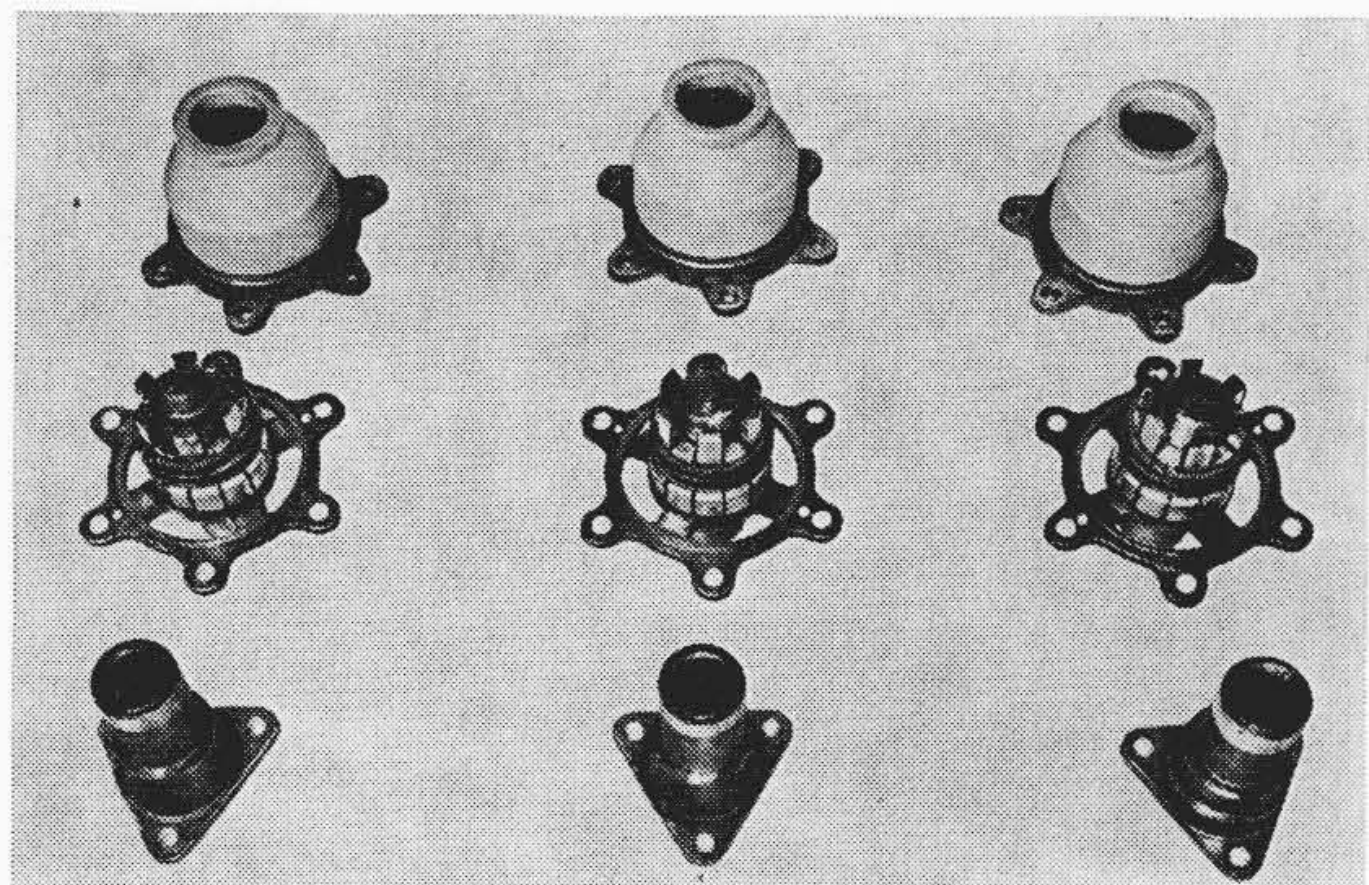
7.7 特殊試験

(1) V-t 特性試験

ガス圧力 2.5 kg/cm^2 で極間の V-t 特性を測定したが, 避雷器とじゅうぶんな協調がとれていることを確認した。

(2) 振動試験

耐振性能を検討するために振動試験を実施したが, 試験は共振周波数 (正弦波) において加速度 0.5 G で加振した。締付部のゆるみおよびガス漏れなどなく良好な結果を得た。



(32 kA 6 回しゃ断)

図10 短電流しゃ断試験後の接触子

このほか注水試験, 長期課電試験, 冷熱試験, 部品単体の過酷試験を行ない実用性能を検証した。なお, ガスしゃ断器の騒音は非常に小さく従来の油しゃ断器と同程度であった。

8. 結 言

以上 84~120 kV 級のガスしゃ断器の開発試験の概略を述べたが, ガスしゃ断器はしゃ断性能および絶縁性能ともすぐれた特性を示した。すでに 84 kV, 2,500 MVA, 1,200 A 定格のガス絶縁開閉装置用ガスしゃ断器は中部電力守山変電所において運転されているが, これらの機器の実用性能をじゅうぶんな検証して今後経済的で高信頼度の超小形変電機器の開発に努力していきたいと考える。

最後にご指導いただいた中部電力株式会社の関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 中野ほか: 昭和44年電気学会東京支部大会 No. 160
- (2) 吉岡ほか: 昭和44年電四学会連大 No. 755
- (3) 有川ほか: 昭和44年電気学会東京支部大会 No. 152
- (4) 紫藤ほか: 昭和44年電気学会東京支部大会 No. 155
- (5) 中島ほか: 昭和44年電気学会東京支部大会 No. 151



特 許 の 紹 介



特許第509382号 (特公昭42-14899号)

是 石 安 喜

巻 取 機 の ス ト ッ プ か み 込 み 方 法

従来の圧延設備におけるストリップのかみ込み方法はストリップを巻取機のかみ込み部にそう入後, 巻取機を回転してその押付力と摩擦力によって支持している。このためストリップかみ込み部に相当する位置に凹凸を付与したりして押付力および摩擦係数を大きくしている。しかしこれによっても満足な張力が得られず, また図2に鎖線で示すように厚物のストリップを取り扱う場合には, 巻取機の曲率半径 r を有するかみ込み部に, そう入させることが困難であった。またたとえそう入できても巻取機のドラムとストリップとの間に巻取径の急激な変化を生じ, この結果圧延精度の低下とかストリップへの損傷およびバックリングなどの悪影響を及ぼす欠陥があった。

この発明は, ストリップ端部を巻取機のかみ部にそう入する以前にあらかじめ曲率半径 r にほぼ合致させるよう曲げておき, その曲げられたストリップ端部自身にて全張力あるいはその一部を負荷するようにしたことを特長とするものである。

図1は一実施例を示すもので, 1は巻出機, 2はデフレクターローラ, 3はストリップ4の前後端を切断するシャー, 5はスリッタ, 6はストリップ4を幅方向に分割切断するシャー, 7はデフレクターローラ, 8は巻取機, 9はスプリングバックを防止するよう巻取機8に付勢された押えローラである。

そして前記のストリップ端部の曲げ作業は, 上記シャー6のところで切断作業と同一工程で行なわれる。
(山元)

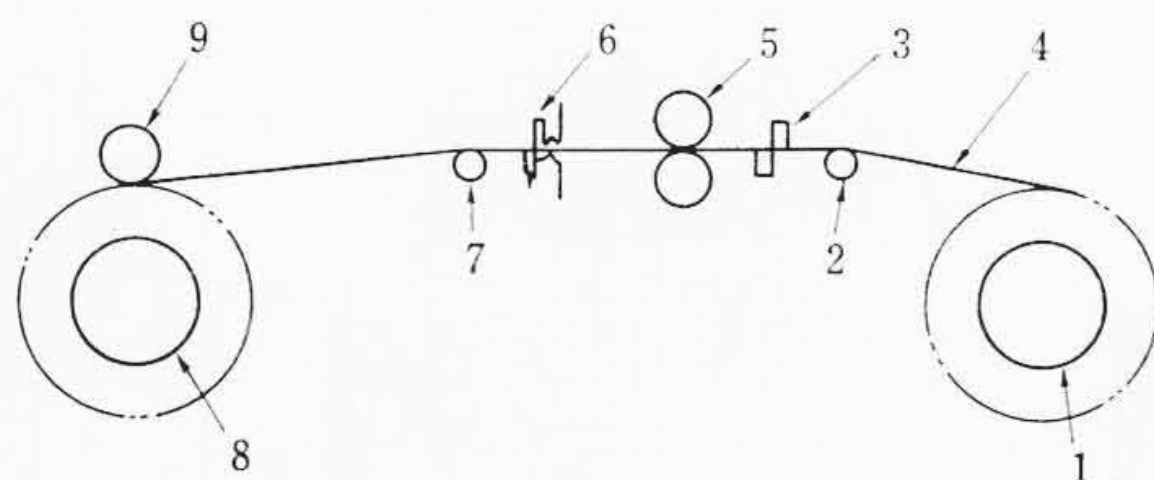


図 1

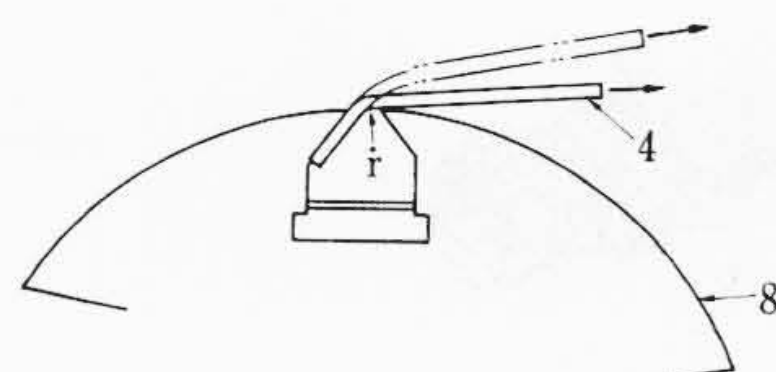


図 2