

# 屋内型空気遮断器

## Indoor Type Air-Blast Circuit Breakers

額 田 啓 三\*

### 内 容 概 梗

空気遮断器はそのすぐれた特性のために最近ひろく用いられつつある。日立製作所では昭29年11.5～34.5 kV, 600～4,000A, 750～1,500MVA 屋内型空気遮断器を製品化し、その後さらに性能向上、小型軽量化の研究を行い、このほど新型の34.5kV, 800A, 1,500MVA 空気遮断器13台を中部電力株式会社数個所の変電所に納入した。この新型は、重量および床面積において旧型の1/3となった。また、部品各部の治工具作業を徹底した結果、部品互換性が完全となり、点検手入が簡易化され電磁弁、遮断部などの組立部分は無調整で交換可能となった。JEC-57による各種の試験を行い異常なく、遮断試験においては、10～30kV, 3,600～29,500Aの短絡電流、24kV 6～50Aの充電電流および20kV, 3.8～9.7Aの励磁電流をいずれもアーク時間0.76～以下、全遮断時間2.3～(50～において)以下で遮断した。また遮断に際してはいかなる有害な異常電圧の発生も見ず、充電電流遮断においては無再点弧であった。

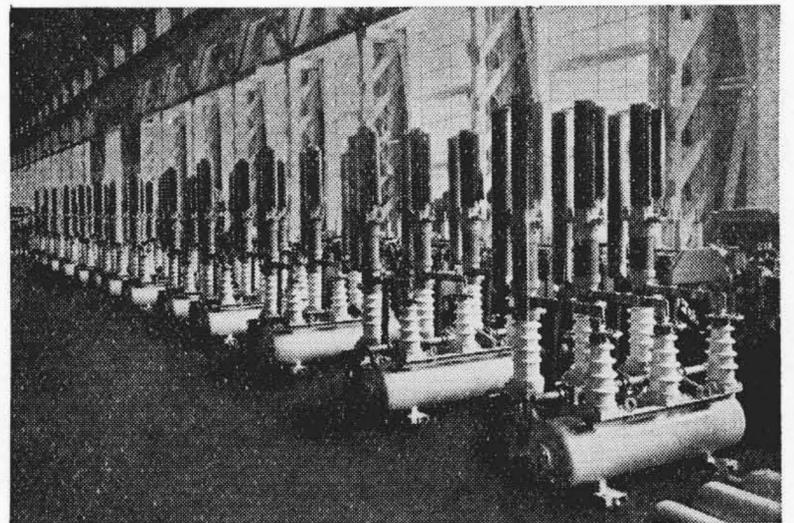
### 〔I〕 緒 言

空気遮断器は火災の危険が少く、保守点検も容易であり、かつ遮断性能がすぐれているため、在来の油入遮断器にかわつて広範囲に用いられるようになった。日立製作所は昭和29年に34.5kV, 600A, 1,500MVA 空気遮断器を中部電力株式会社山口町変電所に納入<sup>(1)</sup>以来、10～30 kV, 600～4,000A, 750～1,500 MVA 各種屋内用空気遮断器をすでに数十台納入し、良好な使用実績を示している。開発以来、多数の強度試験、寿命試験を行ってきたが、特に昨年150,000kVA 短絡発電機による大容量遮断試験設備の完成を機に遮断性能に対する徹底的な検討を加え各部の小型軽量化および特性改善を実施した。たとえば、34.5 kV, 800A, 1,500 MVA 空気遮断器は2点遮断方式を1点遮断方式とし、各部の構造もはなはだ簡潔になり、重量は約1/3に小型軽量化された。また、遮断、操作特性もいちじるしく向上した。すべての部品は治工具作業によつて製作し、単に組立上の互換性のみならず、性能的にも無調整交換を行うことができるようにした。さらに、遮断部および断路部の各接触子、電磁弁、主弁などの部品は各種定格に対して大部分共通になっているので電圧電流のことなる遮断器に対しても予備品を共用することができる。これら遮断器はすでに多数製作中であるが、以下中部電力株式会社鳥森、金山、八熊、御器所の各変電所に納入した34.5kV 新型遮断器について概要を紹介する。

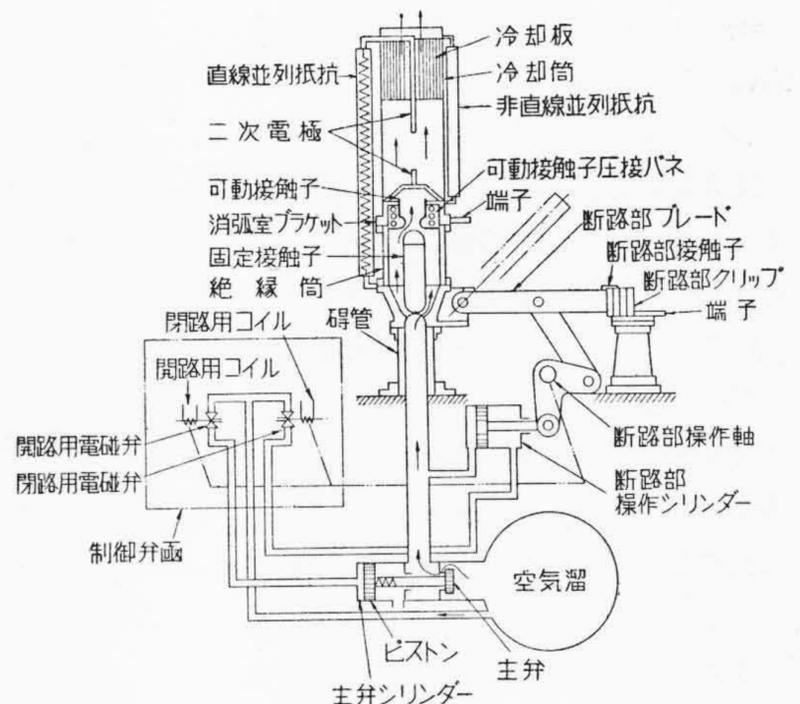
本器の仕様は下記のとおりである。

型 式 .....	PB-150-PA
定 格 .....	34.5 kV, 800 A
遮断容量.....	1,500 MVA
全遮断時間.....	0.08 秒

\* 日立製作所国分工場



第1図 型PB-150 式PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA 日立空気遮断器  
Fig. 1. Type PB-150 Form PA, 34.5 kV, 800A, 1,500MVA Hitachi Air-Blast Circuit Breakers



第2図 空気遮断器構造説明図  
Fig. 2. Schematic Diagram of Hitachi Air-Blast Circuit Breaker

操作気圧 .....15kg/cm<sup>2</sup>

### 〔II〕 構造および消弧方式

#### (1) 構造

第1図は本遮断器の外観を示す。空気溜は架台の主要部を形成し、その上に三相の遮断部および断路部が取り付けられる。空気溜の前面には、電磁弁、制御回路用端子盤、圧力計など操作に必要な一切の器具が取付けられる。第2図は構造説明図である。開路用コイルを励磁すると、開路用電磁弁が動作し、主弁シリンダへ空気を送る。ピストンによつて主弁が開くと空気溜の空気は各相遮断部に流入し、ノズル状の可動接触子を上方に開き、冷却筒をとおり外部に放出される。主弁から遮断部へ送られる空気の一部は分岐して断路部操作シリンダにいたり、可動接触子開極後一定の時差をもつて断路部ブレードを開極させる。断路部の運動にともない、電磁弁は閉じられ、遮断用空気の吹付は停止し、可動接触子は可動接触子圧接バネの力で閉位置に復する。閉路用コイルを励磁すると、閉路用電磁弁から断路部操作シリンダに空気が送られ断路部は閉路する。遮断部冷却筒の外側に金属抵抗を使用した直線抵抗が第2図に示すように二次電極を経て、主接触部に並列に取り付けられている。

直線抵抗は主アーク遮断の際生ずる再起電圧の上昇を抑制し、遮断容量を増加させている。また使用回路の特性に応じては、非直線並列抵抗を並用する。非直線並列抵抗は、励磁電流遮断のさい、電流遮断現象（チョッピング現象）による異常電圧を抑制する。第1表は、小型化された新型と旧型の空気遮断器の比較を示す。

#### (2) 消弧方式

第3図は本遮断器の等価回路を示す。遮断部  $S_1$  と並列に二次電極  $g$  を介して直線並列抵抗  $R_L$  が挿入されている。吹付空気によつて可動接触子が開くと接触子間に主アークが生じ、ノズル内に流入する気流によつて強い消弧作用をうける。このときイオン化した空気によつて二次電極間の絶縁耐力は低下しているので、主アークが消弧すると再起電圧  $e_t$  によつて二次電極が放電し遮断電流は直線並列抵抗  $R_L$  に移行する。並列抵抗に移行することによつて再起電圧の上昇は抑制され、

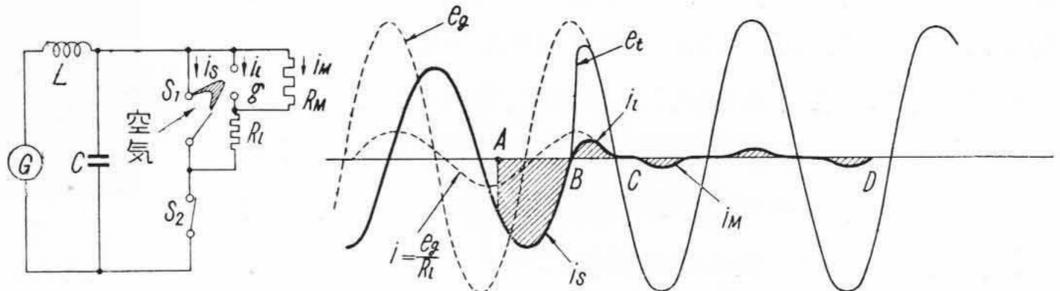
主アーク遮断にともなう異常電圧をふせぐ。回路の条件によつては、二次電極に並列に非直線抵抗を挿入する。非直線抵抗に流れる電流は断路部の開路により遮断されるが、この電流は数 mA 程度であるから断路部がアーク

第1表 新型旧型空気遮断器の比較  
Table 1. Comparison of New Type and Old Type Air-blast Circuit Breakers

定 格	23kV, 800A, 1,000MVA		34.5kV, 800A, 1,500MVA	
	旧 型 空気遮断器	新 型 空気遮断器	旧 型 空気遮断器	新 型 空気遮断器
重 量 (%)	100	44	100	30
床面積 (%)	100	57	100	38

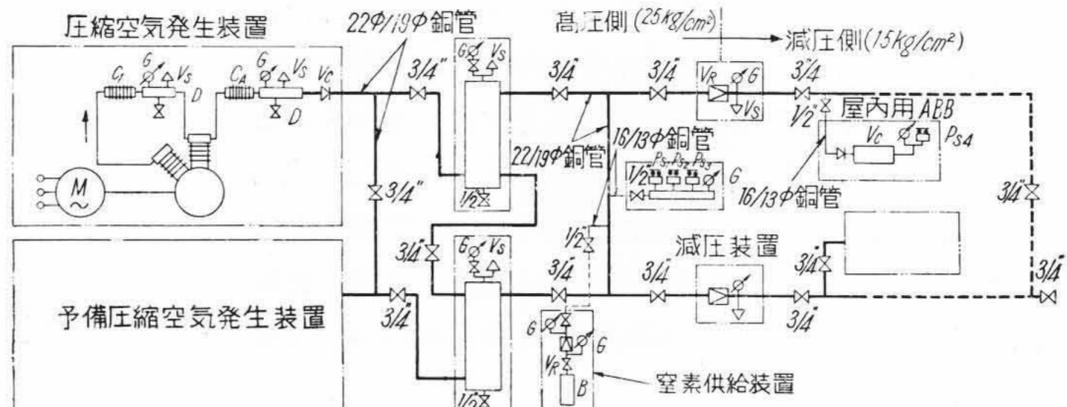
第2表 点検手入所要時間  
Table 2. Time Required for Overhauling

作 業 部 分	作 業 内 容	所要時間(min)
遮断部 1相	接触部点検	7
	接触子交換再組立	8
断路部 1相	断路部接触子交換	6
	断路部クリップ交換	14
電 磁 弁	パッキング点検(交換)再組立	12
主 弁	パッキング点検(交換)再組立	40



- $S_1$ : 遮断部接点
- $S_2$ : 断路部接点
- $g$ : 二次電極
- $R_L$ : 直線並列抵抗
- $R_M$ : 非直線並列抵抗
- $G$ : 発電機
- $L$ : 回路リアクタンス
- $C$ : 回路静電容量
- $e_g$ : 電源電圧
- $e_t$ : 遮断器端子電圧
- $i_s$ : 短絡電流
- $i_l$ : 直線抵抗電流
- $i_M$ : 非直線抵抗電流
- $A$ : 遮断器開極
- $B$ : 主アーク遮断
- $C$ : 抵抗電流遮断
- $D$ : 断路部開路

第3図 抵抗遮断における等価回路と電圧電流波形  
Fig. 3. Transient-Recovery Voltage Control with Resistor



- $M$ : 電動機
- $C_I$ : 中間冷却器
- $C_A$ : 後部冷却器
- $D$ : 排水溜
- $V_C$ : 逆止弁
- $T$ : 主空気溜
- $V_S$ : 安全弁
- $G$ : 圧力計
- $V_R$ : 減圧弁
- $B$ : 窒素ポンプ
- $PS_1$ : 圧力開閉器(高压側低圧警報用)
- $PS_2$ : 圧力開閉器(圧縮機制御用)
- $PS_3$ : 圧力開閉器(予備圧縮機制御用)
- $PS_4$ : 圧力開閉器(減圧側低圧警報用)

第4図 空気遮断器の空気系統  
Fig. 4. Skeleton Diagram of Compressed Air for Air-Blast Circuit Breaker

により損傷することはない。このように抵抗遮断を行うので、常規電流はもちろん、短絡電流、充電電流、励磁電流などすべての電流を異常電圧の発生なく遮断することができる。

(3) 点 検 手 入

本器は点検手入が従来の遮断器に比較してはなはだ容易である。冷却筒取付金具の4本のボルトをゆるめればただちに遮断部の可動接触子を取り出し、同時に固定接触子の損傷をも点検できる。固定接触子はボックススパナにより簡単に予備品と交換される。断路部分は外部に露出しているの、点検修理はさらに容易である。電磁弁、主弁なども4本のボルトをゆるめることにより簡単に点検交換が行えるよう配慮してある。しかもすべての部品は治工具作業によつて製作し、手仕上げによる合せ作業を一切行っていないので、いかなる部分にも互換性を持っている。第2表は未経験者の行つた点検所要時間であるが、接触子一相分の交換時間はわずかに15分である。

〔III〕 空 気 系 統

第4図は空気系統の一例を示す。圧縮機によつて  $25 \text{ kg/cm}^2$  に圧縮された空気は、中間および後部冷却器によつて十分冷却され、ドレンを除去させたのち、主空気溜にたくわえられる。

主空気溜出口側には減圧弁があり、 $25 \text{ kg/cm}^2$  より  $15 \text{ kg/cm}^2$  に減圧膨脹させ、相対湿度は62%以下に低下し、各遮断器に供給される。したがつて、季節、天候に関せず、遮断器に供給される空気の湿度はほぼ一定である。

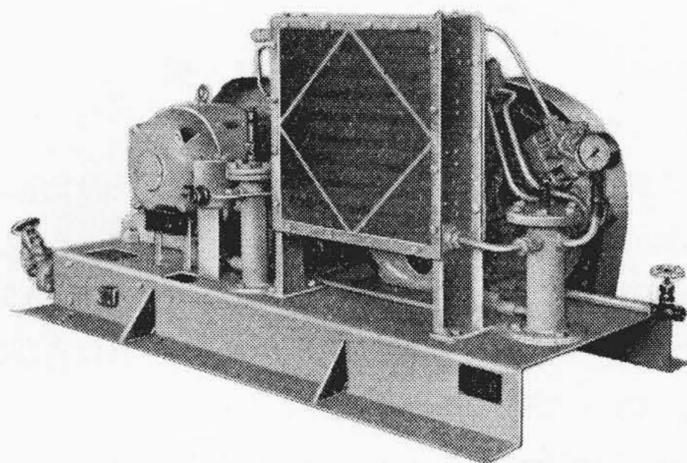
空気圧縮機は定期的に分解点検を必要とするので、予備圧縮機をもつことが望ましい。しかし後述するように遮断器自身の空気漏れはきわめて少ないので窒素の入手容易な所で、頻繁な開閉を行わない場合は、第4図に例示したように予備機のかわりに窒素ポンペを用いる方法も行はれる。

第5図は圧縮空気発生装置の外観を示す。

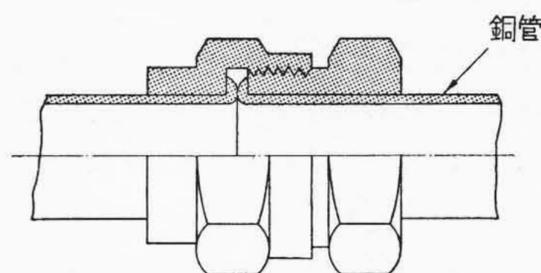
第6図は配管の接手部分を示す。図のような形に銅管の端末を専用工具によつて仕上げ、パッキングを用いずにユニオンナットによつて締付け、技倆の巧拙の差なく良好な気密をうる。第7図は配管に使用する継手、弁類を示す。

銅管を曲げるには、附属の専用工具により、砂詰めなどの面倒なく、きわめて簡単に正しい形をえられる。これら空気管路を形成する材料は発錆による弁類の故障をふせぐため、すべて銅、銅合金または、不銹鋼をもちいてある。

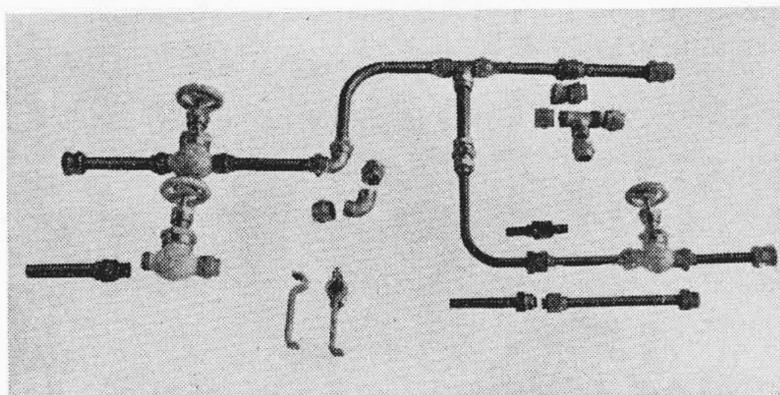
空気系全体の動的特性は、遮断器群と圧縮機との距離、管路屈折個所の多少によつて差があるが、一例をあげれ



第5図 型WTS式FRC日立7.5HP空冷2段圧縮空気圧縮機  
圧縮機本体、中間および後部冷却器、排水溜  
行程容積  $0.563 \text{ m}^3/\text{min}$   
Fig. 5. Type WTS Form FRC 7.5 HP Hitachi Air Compressor



第6図 圧縮空気配管接続部  
Fig. 6. Union Joint of Air Pipe



第7図 圧縮空気配管用品  
Fig. 7. Piping Accessories for Compressed Air

ばつぎのとおりである。

圧 縮 機.....	7.5HP, WTS-FRC 圧縮機 1 台
遮 断 器.....	34.5 kV, 800A, 1,500MVA 5 台
主空気溜.....	500l 1 台
遮断器群と主空気溜の距離.....	30m
圧縮機が運転を開始して、全系が定格圧力に達するまでの時間.....	80分以内
全系の自然の漏洩によつて圧縮機が運転する間隔.....	15時間以上
漏洩を補充するための一回の圧縮機運転時間.....	8分以内
一台の遮断器が、CO動作1回行つたのち空気が補給され圧力が回復する時間	
12kg/cm <sup>2</sup> (CO動作保証最低圧力) まで.....	3秒
15kg/cm <sup>2</sup> (定格圧力) まで.....	13秒

〔IV〕 試 験 結 果

(1) 開閉操作試験

第3表は開閉操作試験結果を示す。旧型では開極時間は15kg/cm<sup>2</sup>において、0.040 (2/50) 秒を要したが、これを0.031 (1.57/50) 秒に縮少し、投入時間は0.19 (9.5/50) 秒が0.077 (3.85/50) 秒に短縮された。これは各部構造を高速動作に適するように改良したからである。

開路用電磁弁を励磁すると約0.031 (1.55/50) 秒で可動接触子は開極し、さらに約0.031 (1.55/50) 秒後断路部が開極しはじめる。主アークは開極後長くて0.015 (0.75/50) 秒、二次アークはその後0.05 (0.25/50) 秒で消弧するので、断路部が開極するときすでに主アークは完全に遮断されているので、断路部で主電流を遮断することはない。

空気消費量は、投入の場合はきわめてわずかで、ほとんど圧力計に感じない程度である。遮断の場合は、6 kg/cm<sup>2</sup> 圧力が降下するが〔II〕に述べたように、外部より迅速に補給されて回復する。

〔II〕(3) にのべたように、構成各部分の互換性と同様に電磁弁、遮断部については組立てたブロックとして、寸法上および性能上の互換性が必要とされる。第4表は任意にえらんだ3個の電磁弁および、3組の遮断部、2台の操作部をまったく調整を加えることなく組合せた場合の開極時間、投入時間をしめす。組合せによる変化はきわめてわずかで、十分互換性がある。このほか、現在までに約10,000回にわたる連続操作試験を行い異常なく、さらに充気した状態に保持しつつ1日10~20回操作を行い、寿命試験を続行中である。

(2) 空気漏れ試験

第5表は遮断部の空気漏れ試験結果である。特殊パッキング材の使用によりきわめて良好な結果である。この結果より遮断部の動作保証最低圧力は12kg/cm<sup>2</sup> であるから、遮断部が15kg/cm<sup>2</sup> に充気され、配管の圧力が零になった場合、気温下降による圧力低下を考慮に入れても100時間以上、動作可能な状態をたもつわけである。また、500回連続試験後の空気漏れも同様の範囲に納まる。

(3) 温度上昇試験および短時間電流試験

第6表は温度上昇試験および短時間電流試験結果を示す。遮断試験後とあるのは10kV, 16,600~26,400Aの短絡遮断5回を行つたもので、僅かに表面が損傷し新品の接触子の場合にくらべて多少の増加を見るが、なお通電になんら支障なくJEC 57 規定を満足する。第8図はその状態を示す。

(4) 絶縁耐力試験

衝撃電圧試験 (170kV, 1.5/40μs), 商用周波絶縁耐力

第 3 表 開閉操作試験結果  
Table 3. Results of Operating Tests

動作責務	操作電圧 (V)	75	100 *	110
	操作気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	12	15 *	18
-O-	開極時間 (s)	0.038	0.031	0.029
	開極後断路部開路まで (s)	0.026	0.031	0.029
	一回の操作による圧力降下 (kg/cm <sup>2</sup> )	5.8	6.0	6.2
-C-	投入時間 (s)	0.085	0.077	0.073
	一回の操作による圧力降下 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.05	0.05	0.05

(注) \* 定格値

第 4 表 組立部分の互換性試験結果  
Table 4. Results of Operating Tests on Combinations of Magnetic Valves, and Arc Extinguishing Chambers

操作部	遮断部	開極時間 (s) の比較			投入時間 (s) の比較		
		電磁弁 A	電磁弁 B	電磁弁 C	電磁弁 A	電磁弁 B	電磁弁 C
操作部 A	遮断部 A	0.030	0.030	0.030	0.073	0.075	0.069
	遮断部 C	0.034			0.067		
操作部 B	遮断部 B	0.033	0.031		0.077	0.083	

第 5 表 空気漏れ試験結果  
Table 5. Results of Air-leak Test

試験開始圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	保持時間 (hr)	試験中気温降下 (C°)	圧力降下 (kg/cm <sup>2</sup> )	圧力降下 (kg/cm <sup>2</sup> /hr) (温度補正)	備考
15	15	1.0~1.5	0.2~0.3	0.0016~0.0008	13台について 500回連続操作後
		1.5	0.3	0.0016	

第 6 表 温度上昇試験および短時間電流試験結果

Table 6. Results of Heat Run Test and Short Time Current Test

条 件	温度上昇試験			短時間電流試験	
	組立直後	500回連続操作後	遮断試験後 *	組立直後	
電 流 (A)	800	800	800	36,700	
通電時間 (s)	連 続	連 続	連 続	2.12	
温 度 上 昇 (C°)	可動接触子	16.5	18.5	22.5	9.0
	断路部クリップ	10.0	11.0	11.0	11.0
	上部端子	13.0	13.0	13.0	—
	下部端子	8.5	11.0	12.0	—

(注) \* 10 kV, 20 kA 5回遮断後, 第8図の状態

試験 (70kV, 1 分間) を対地, 相間および, 同相端子間を実施し, 異常がなかつた。

(5) 遮断試験

第7表は短絡電流遮断試験結果を示す。第9図および第10図はそのオシログラムの一例を示す。冷却筒上部270 mm の位置に接地電位の棒電極を設け、遮断試験を行つたが、地絡はまったくなく、排気は冷却筒によつて十分冷却され、絶縁耐力を回復していることが証せられた。第8表は充電電流遮断試験結果, 第11図はそのオシロ

第7表 短絡電流遮断試験結果  
Table 7. Results of Rupturing Test

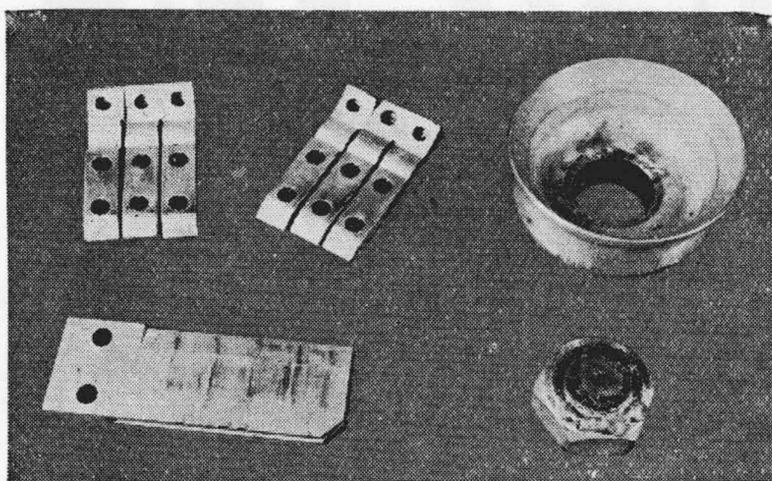
操作気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	動作責務	試験電圧 (kV)	投入電流 (A)	遮断電流 (A)	アーク時間 (s)	試験回数
15	-O- 1φ	30	—	3,600~5,100	0.35~0.73	6
		20	—	7,650~10,300	0.29~0.6	6
		10	—	16,600~26,400	0.39~0.45	5
	-CO- 1φ	30	12,300~17,300	5,300~6,100	0.45~0.66	3
		10	42,000~83,000	24,000~29,500	0.33~0.56	6
		30	6,800~1,0500 46,000~ 58,000	4,100~4,500	0.55~0.76	3
12	-O- 1φ	30	—	3,900~4,800	0.35~0.75	5
		20	—	10,300~12,500	0.51~0.73	10
		10	—	17,900~21,900	0.36~0.69	7
	-CO- 1φ	30	6,800~1,0500 46,000~ 58,000	4,100~4,500	0.55~0.76	3
		10	—	22,300~24,700	0.57~0.60	3
		30	—	—	—	—

第8表 充電電流遮断試験結果  
Table 8. Results of Charging Current Interrupting Test

操作気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	試験電圧 (kV)	遮断電流 (A)	アーク時間 (s)	再点弧回数	異常電圧倍数	試験回数
12	24	6	0.1~0.25	0	1.4以下	5
		36	0.17~0.39	0	1.7以下	3
		50	0.21~0.59	0	2.0以下	22

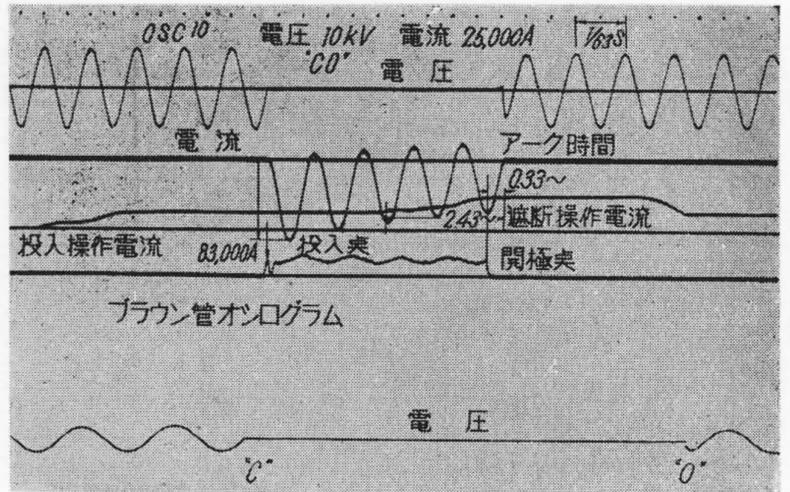
第9表 励磁電流遮断試験結果  
Table 9. Results of Extig Current Interrupting Test

操作気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	試験電圧 (kV)	遮断電流 (A)	アーク時間 (s)	異常電圧倍数			試験回数
				変圧器側	遮断器相互間	電源側	
15	20	2.9~9.7	0.18~0.44	1.5以下	1.5以下	1.3以下	7

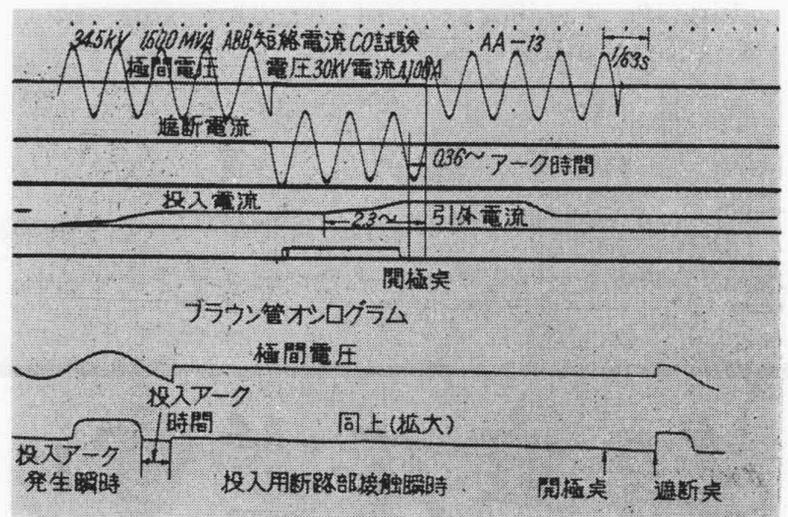


第8図 遮断試験後の主接触部  
Fig. 8. Main Contact after Rupturing Test

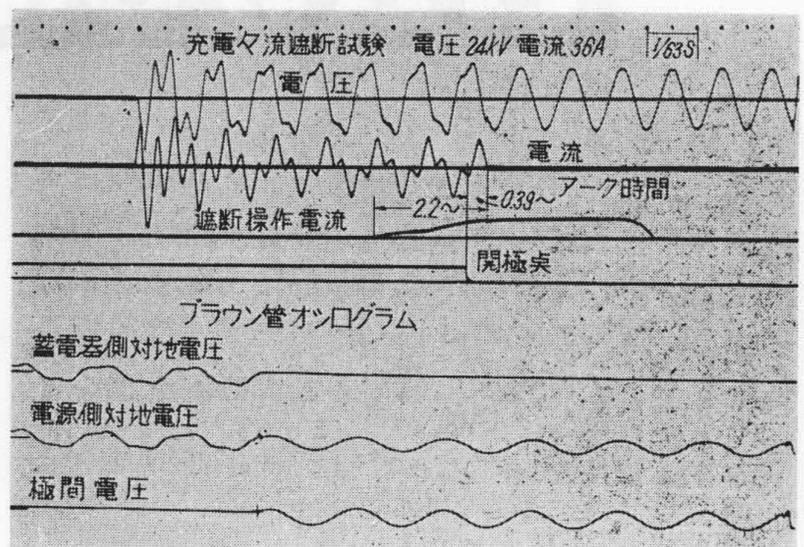
グラムの一例を示す。50A までの試験において、再点弧を認めずケーブル回路の使用に適していることを示している。第9表は励磁電流遮断試験結果、第12図は励磁電流遮断試験結果を示す。いずれの場合も、有害な異常電圧を発生しなかつた。



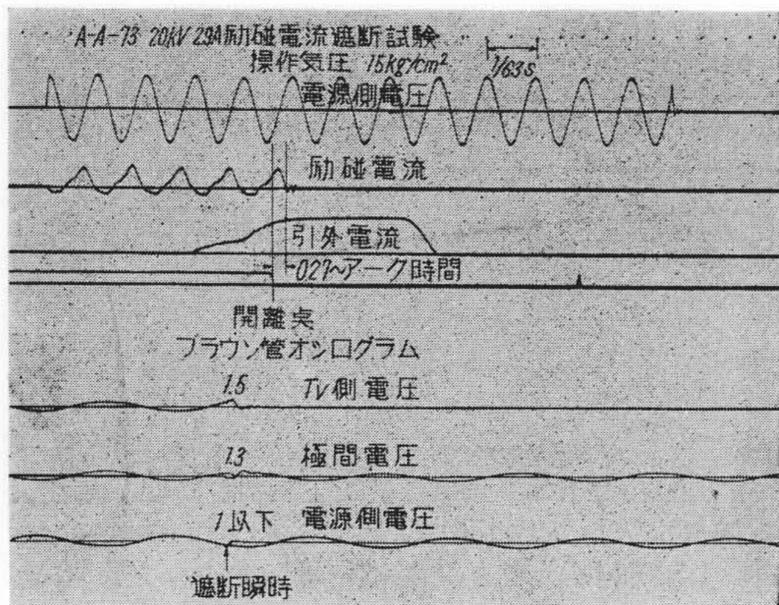
第9図 型 PB-150 式 PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA 短絡電流遮断試験オシログラム 1-φ, 試験電圧 10 kV, 遮断電流 25,000 A 操作気圧 15 kg/cm<sup>2</sup>, 動作責務 -CO-  
Fig. 9. Oscillogram of Rupturing Test on Type PB-150 Form PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA Air-Blast Circuit Breaker



第10図 型 PB-150 式 PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA 短絡電流遮断試験オシログラム 1-φ, 試験電圧 30 kV 遮断電流 4,100 A 操作気圧 15 kg/cm<sup>2</sup>, 動作責務 -CO-  
Fig. 10. Oscillogram of Rupturing Test on Type PB-150 Form PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA



第11図 型 PB-150 式 PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA 充電電流遮断試験オシログラム 1-φ, 試験電圧 24 kV, 遮断電流 36 A, 操作気圧 12 kg/cm<sup>2</sup>  
Fig. 11. Oscillogram of Charging Current Interrupting Test on Type PB-150 Form PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA Air-Blast Circuit Breaker



第 12 図 型 PB-150 式 PA, 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA 励磁電流遮断試験オシログラム  
試験電圧 20 kV, 遮断電流 2.9 A 操作気圧 15 kg/cm<sup>2</sup>

Fig. 12. Oscillogram of Exciting Current Interrupting Test

〔V〕 結 言

以上、新型 34.5 kV, 800 A, 1,500 MVA 屋内型空気遮断器の概要を紹介したが、本器の特長を要約すると、

- (1) 油なしであるため、火災の危険なく、保守作業が清潔に行える。
- (2) アーク時間が 0.5 ～ 前後の短時間で接点の損耗がきわめて少く、頻繁な開閉にたえる。
- (3) 並列抵抗の使用により、いかなる電流の遮断にさいしても有害な異常電圧を発生しない。
- (4) 旧型に比較して、いちじるしく床面積、重量を減少した。
- (5) 部品の互換性が完全となり、また無調整で電磁弁、遮断部などを交換できる。
- (6) 点検手入がさらに簡単に行えるようになった。

これらの特長により、保守に必要な労力が節減され、予備品の準備も少なくなつてその管理が容易になり、合理的な運営を行うことができる。

終りにあたり本遮断器の製作に終始熱心な御援助をいただいた中部電力株式会社の各位に厚く感謝申上げるしだいである。

参 考 文 献

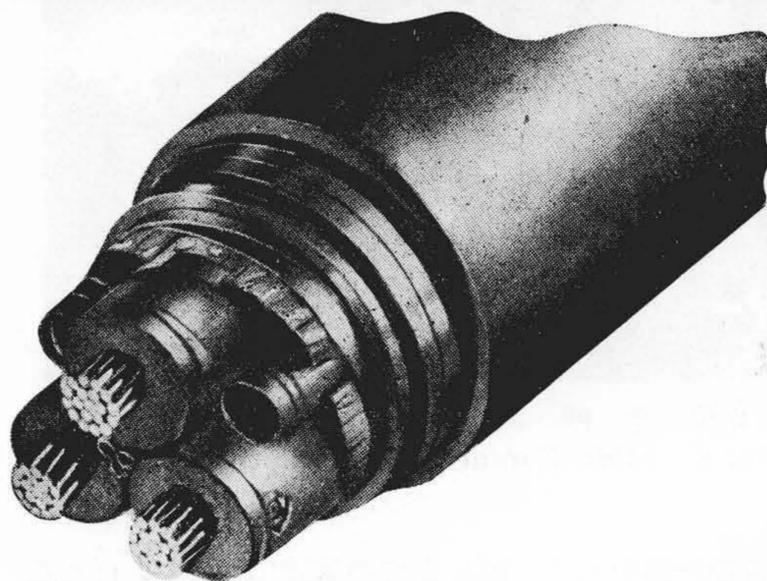
- (1) 小林, 額田: 日立評論 36 8 P. 1205 (昭 29-8)

超高压送電に  
信頼を以て使用される



日立の3心OFケーブル

近年電力需要の激増に伴い高圧の送・受電施設が広く要望されています。超高压電力を末端にまで能率よく伝える電線として弊社の3心OFケーブルは信頼をもつて各方面で使用され御好評を頂いております。



東京・大阪・福岡・名古屋

日立電線株式会社