

空 気 遮 断 器

小 林 哲 郎* 額 田 啓 三**

Air Blast Circuit Breakers

By Tetsurō Kobayashi and Keizō Nukada
Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The air blast circuit breakers have taken large stride in progress in these years, and because of such advantages as the freedom from fire hazard, the small rate of damage of contact point, etc. have been rapidly taking the place of oil circuit breakers in many applications.

Hitachi, Ltd., having been engaged in the comprehensive study on the air blast circuit breakers for more than a decade, has manufactured on trial this type of breakers rated at 6.9 kV 800 A 250 MVA and 34.5 kV 800 A 1,000 MVA. And on the basis of this research work, Hitachi has designed and manufactured this time four sets of 34.5 kV 600 A 1,500 MVA air blast circuit breakers to the order of Yamaguchi-chō Substation, Chubu Electric Power Co.

These breakers are of axial flow type double breaking system and are provided with linear resistors and non-linear resistors.

Prior to the shipment, the completed products were subjected to a series of tests according to JEC-57, in which they attained excellent results. In the interrupting test, for instance, they were functioned to interrupt 6—30 kV 20,000—1,000 A short circuit current, 10—40 kV charging current, and 10—30 kV exciting current, and it performed the interrupting in 2.2—2.7 cycles with arcing time of 0.2—0.7 cycles and allowed no restriking.

〔I〕 緒 言

交流遮断器として長年王座をしめてきた油入遮断器に対して、近年火災の危険少く、接点の消耗なく、油の炭化を伴わぬことなどの利点のために、空気遮断器が急速に普及する気運にあり、すでに欧州においては 380 kV までのすべての電圧階級に実用され、米国においても屋内用遮断器として広く用いられるようになった。

日立製作所においては十数年前から空気遮断器の研究に着手し、昭和 14 年より 6.9 kV 負荷遮断器、6.9 kV 空気遮断器、161 kV 空気遮断器などの試作を相ついで行つたが戦災のため研究を中断するやむなきに至つた。戦後研究を再開して 6.9 kV, 800 A, 250 MVA 空気遮

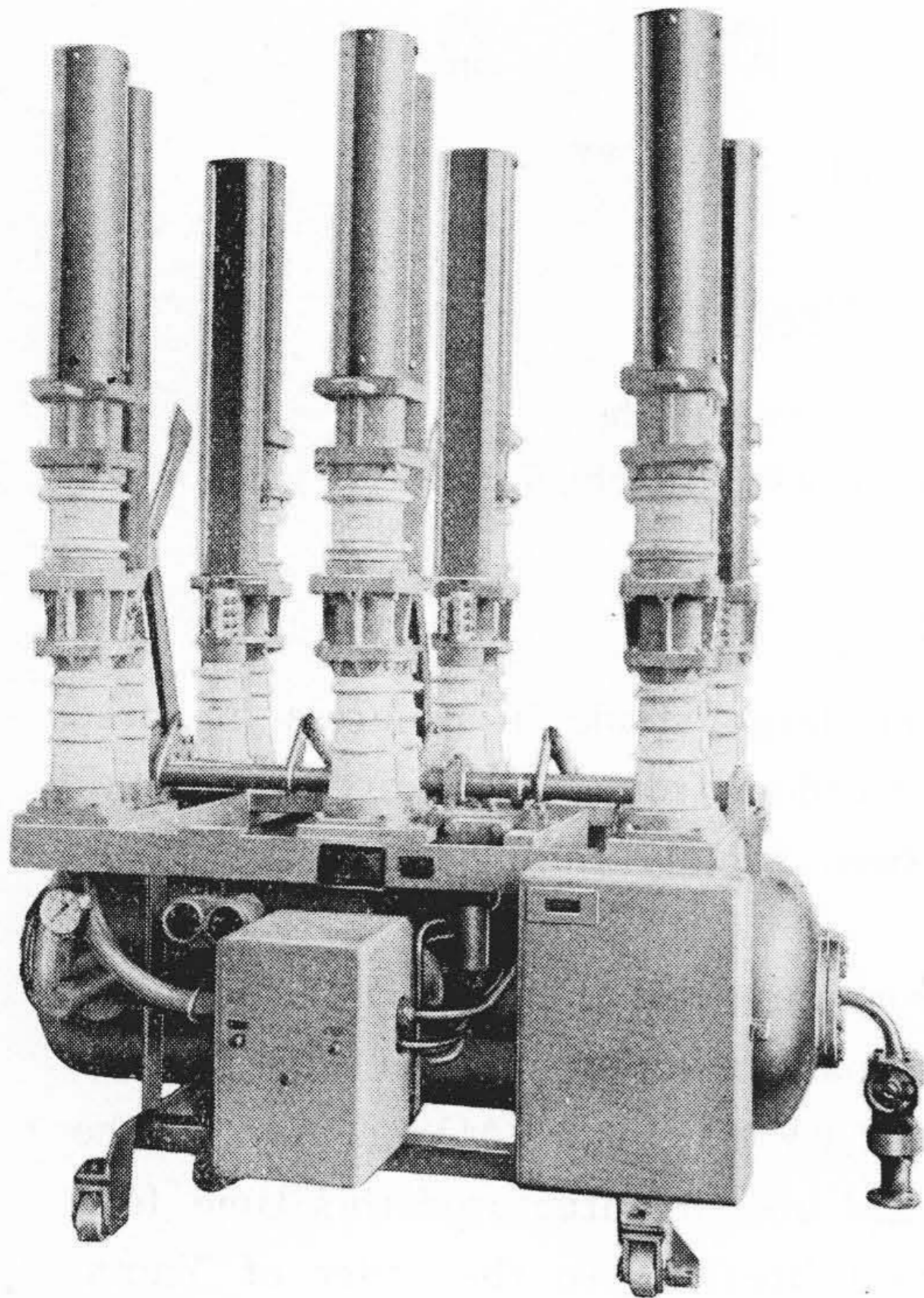
断器および 34.5 kV, 800 A, 1,000 MVA 空気遮断器を開発した。⁽¹⁾

このほど、これら試作研究に基いて 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA 空気遮断器 4 台を完成し、中部電力株式会社山口町変電所に納入した。本遮断器は 34.5 kV 級としては遮断容量において本邦の記録品であつて、その仕様は下記の通りである。

型 式.....	PB-150-PA
定 格.....	34.5 kV, 600 A
遮 断 容 量.....	1,500 MVA
遮 断 時 間.....	0.08 s
操 作 気 圧.....	15 kg/cm ²
操 作 電 圧.....	D.C. 100 V

以下にその構造および試験結果などの概要を紹介する。

* ** 日立製作所日立国分分工場



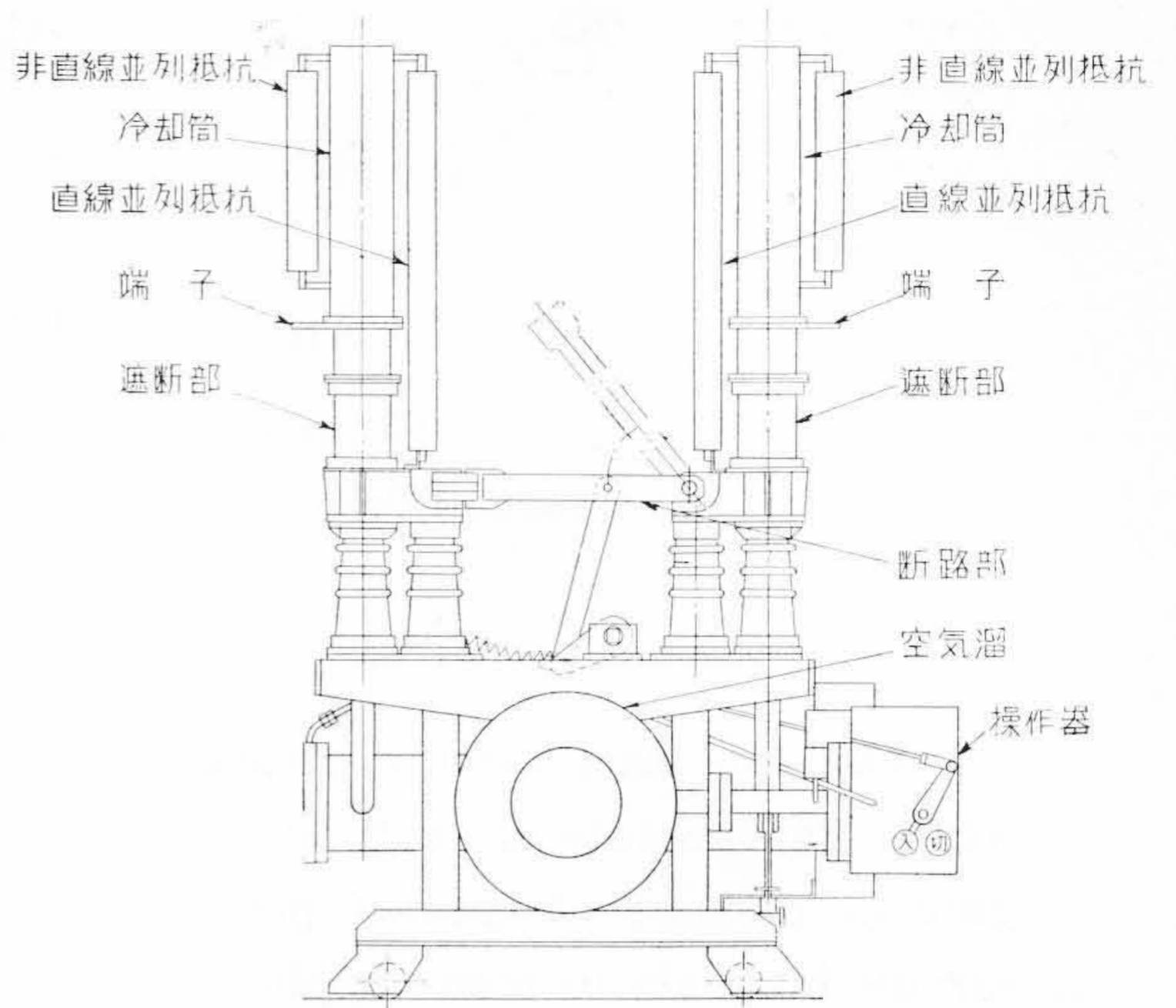
第 1 図 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA 空気遮断器
 Fig.1. 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA Air Blast
 Circuit Breaker

〔II〕 構造および消弧方式

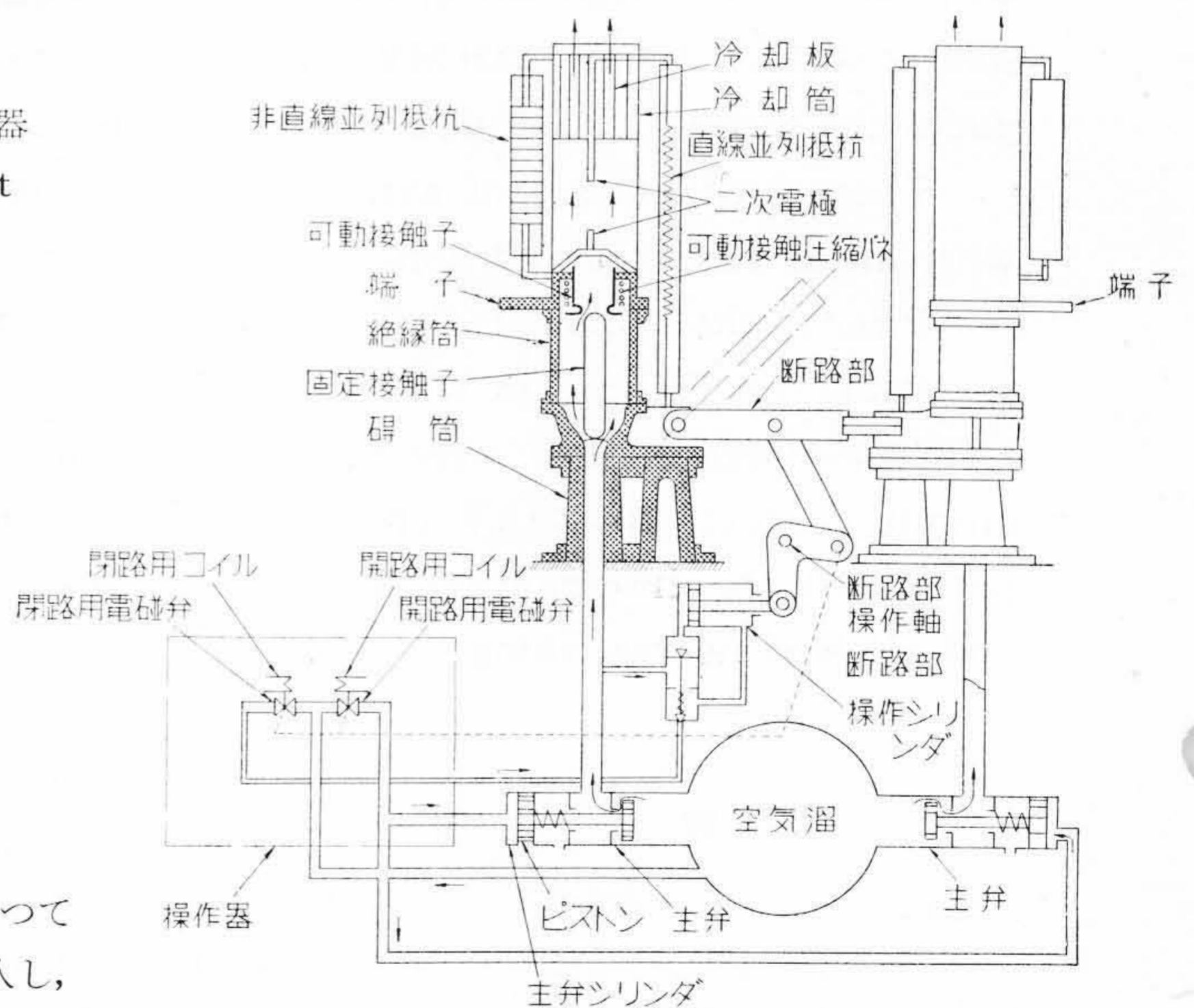
(1) 構造

第 1 図および第 2 図は本遮断器の外観を示す。空気溜は架台と一体をなし、その上部に三相の遮断部と断路部が取り付けられている。遮断部は 2 点遮断方式を採用している。空気溜の前方には操作器があり、電磁弁その他操作に必要な一切の器具類をおさめている。第 3 図はその構造説明図である。開路用コイルを励磁すると開路用電磁弁が開き主弁シリンダーへ空気を送る。主弁ピストンによつて主弁が開かれると、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いて冷却筒内に噴出し、二次電極冷却板を経て外部に放出される。主弁が開くと圧縮空気の一部は断路部操作シリンダー内に流入し、可動接触子の開極後一定の時差をもつて断路部を開路する。断路部の開路動作によつて開路用電磁弁は閉位置に復帰し主弁を元に戻すので、空気の噴出は停止し可動接触子はバネの力で閉路位置に戻る。

閉路用コイルを励磁すると、開路の場合と同様に閉路用電磁弁が開き、空気は断路部操作シリンダー内に流入して断路部を閉路する。断路部の閉路動作によつて閉路用電磁弁は元に戻る。



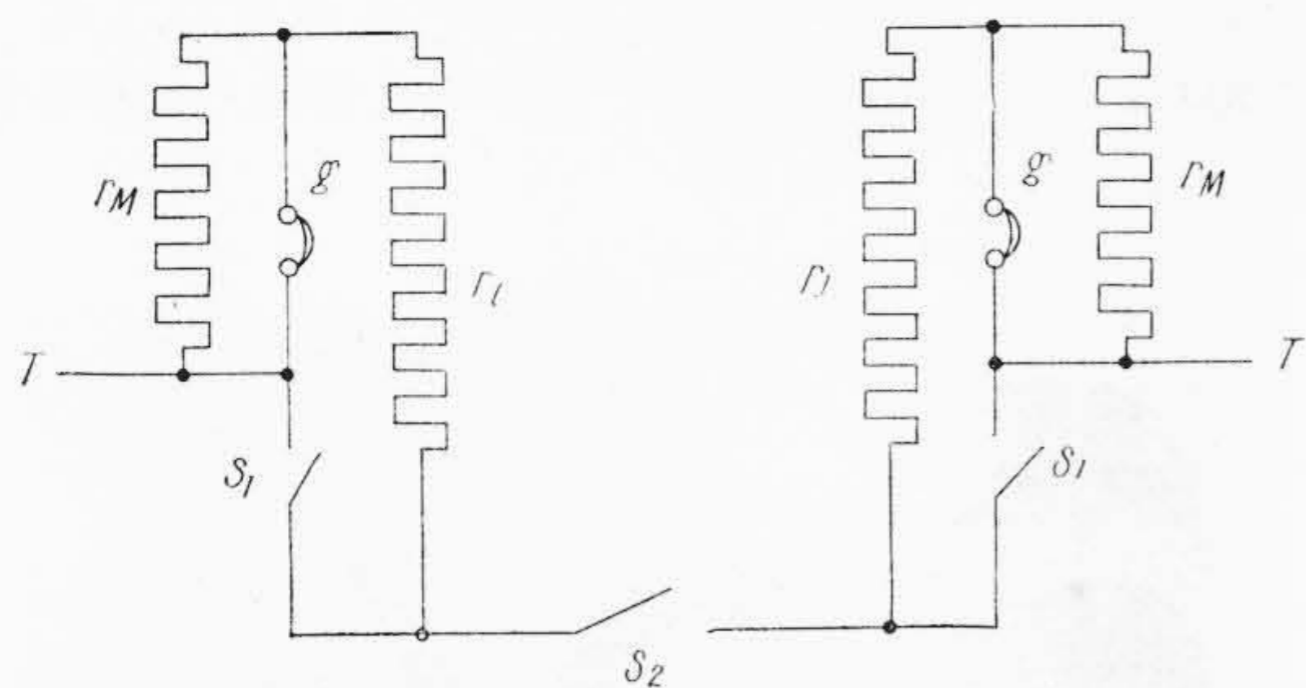
第 2 図 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA 空気遮断器
 Fig.2. 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA Air Blast
 Circuit Breaker



第 3 図 空気遮断器構造説明図
 Fig.3. Schematic Arrangement of Air Blast
 Circuit Breaker

金属抵抗を使用した直線抵抗と非直線抵抗体を使用した高抵抗が冷却筒の外側に取り付けられている。これは第 4 図に示すように、前者は二次電極を経て遮断部主接触子間に並列に、後者は二次電極に並列に接続されている。

直線抵抗は消弧後の再起電圧の上昇を抑制し、非直線抵抗は各遮断点にかゝる電圧分布を均等化し遮断容量を増加させる目的で設けられている。



r_l : 直線抵抗 S_1 : 主接触部 g : 二次電極
 r_m : 非直線抵抗 S_2 : 断路部 T : 端子

第4図 空気遮断器の回路

Fig.4. Circuit Diagram of Air Blast Circuit Breaker

本遮断器は上述のごとく操作機構部および遮断部の構造が簡単であるので同じ仕様の油入遮断器に比べて床面積は90%、重量は40%の小型軽量であるので据付に便利である。

(2) 消弧方式

本遮断器は同軸吹付型で遮断容量が大きいために2点遮断方式をとっている。同軸吹付型は直角吹付型に比べて構造が簡単で、アークを絶縁物にふれさせないので遮断部焼損の心配がない。

第5図は大電流遮断の場合の等価回路と電圧電流波形である。遮断部に空気が送られると可動接触子は押し上げられ、主アークはノズル内に引き込まれ、強い消弧作用をうける。ノズル上方の二次電極の間隙はこのときイオン化した空気によつて絶縁耐力が著しく低下している。したがつて主アーク消弧後の再起電圧によつて二次

電極の間隙に二次アークを生じ、遮断電流 i_s は直線並列抵抗に移行する。直線抵抗電流 i_l はほぼ回路電圧と同相となり約1/4〜後電流零値に達し消弧する。二次アークの消弧後はさらに非直線抵抗電流 i_m に移行するが、非直線抵抗電流は微小であつて断路部開路により遮断される。

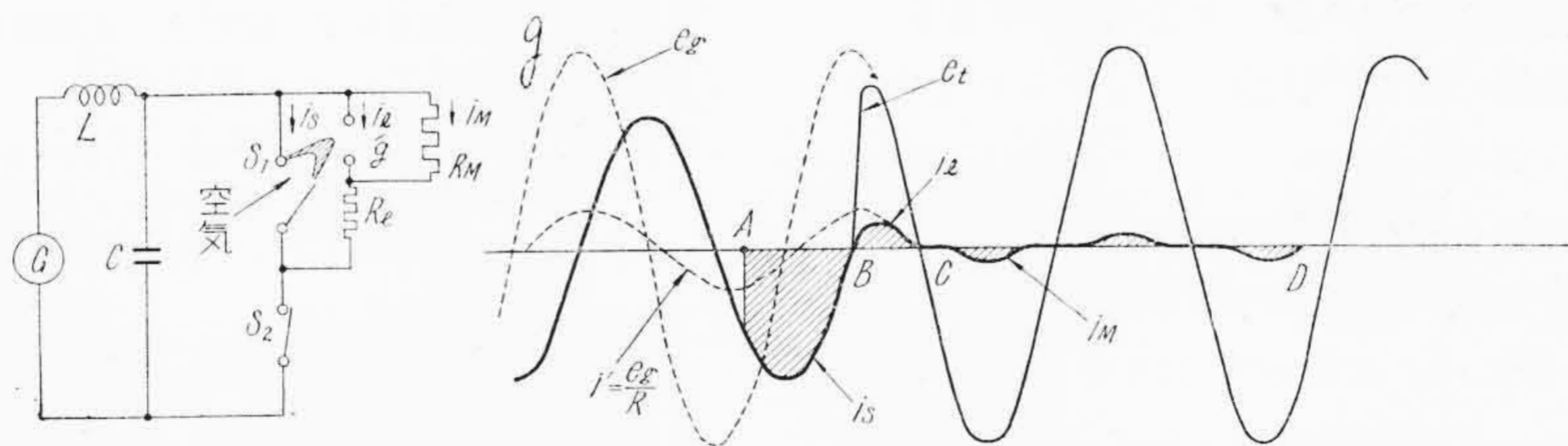
直線抵抗値 R_l を回路のサーヂインピーダンス $\sqrt{L/C}$ の1/2以下とすることによつて非振動型となしうる。 R_l の値は少なる程、再起電圧上昇率抑制効果は大で遮断容量を増すが、その反面二次電極に移行した電流 i_e が大となり二次アークの消弧が困難になるので適当な限度がある。

非直線抗体は上述の通り各遮断点の電圧分布を均等化し全体の遮断容量を増加させることを主目的として設けられている。しかし本抗体は小電流遮断の際にも効果を発揮する。すなわち、小電流遮断の場合は直線抵抗は抵抗値が低いのであまり効果はない。また直線抵抗に直列の二次電極の絶縁耐力は主アークによる空気のイオン化が十分でないため大電流の場合程低下しない。したがつて励磁電流遮断のチョッピング現象による過電圧あるいは充電電流遮断の再点弧などを抑制する効果はほとんどない。これに対して非直線抵抗は二次電極と並列に配置されているのでこのような過電圧、再点弧などの発生を抑制することにも顕著な効果がある。(2)(3)

[III] 試 験 結 果

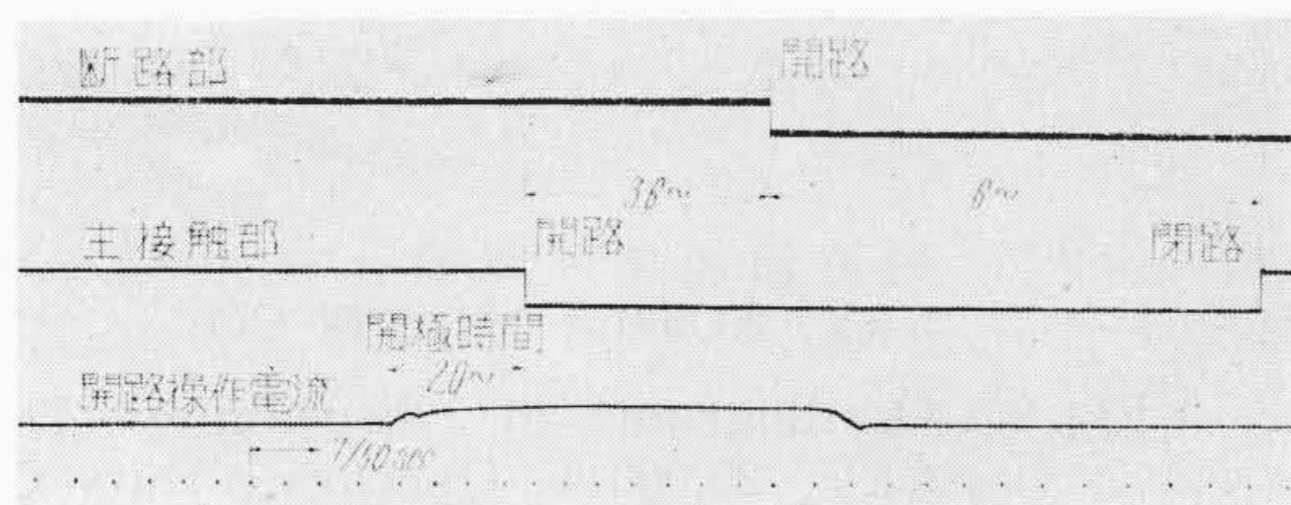
(1) 開閉特性

本遮断器の可動部は小型軽量で開閉の際のストローク



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

第5図 抵抗遮断における等価回路と電圧電流波形
 Fig.5. Transient-Recovery Voltage Control with Resister



第6図 開路操作試験オシログラム
 Fig.6. Oscillogram of Operating Test -0-

も少ないので、油入遮断器にくらべると開路動作はきわめて早い。第 6 図は開路操作のオシログラムである。開極時間は操作電圧 D.C. 100 V, 操作電流 4 A で 0.04 s (50 \sim において 2.0 \sim) の短時間である。本遮断器の 6 箇の遮断部の可動接触子の開極動作は機械的に連結されず、吹付空気の圧力によつて行われるが、定格操作圧力 15 kg/cm² の 75 \sim 120% の範囲において開極時間の不揃いは最大 0.003 s (50 \sim において 0.15 \sim) 以下である。断路部は主接触子の開路より約 3 \sim 4 \sim おくれて、主アークが完全に消弧した後に開く。したがつて断路部で大電流を遮断するおそれはない。主接触子は断路部の開路より約 6 \sim 遅れ、すでにブレードが全開し終つた後に閉路する。

投入時間は定格値 0.4 s に対し 0.19 s の短時間である。

開路時の空気消費量は定格圧力 15 kg/cm² で約 1,300 l (自由大気に換算) で 1 回の 0 動作で空気溜圧力は約 3.0 kg/cm² 降下する。投入時の消費量はきわめて少く、空気溜の圧力降下は圧力計にほとんど感じない。したがつて CO 動作による圧力降下も 0 動作と同じく、1 回の操作で定格値から 12/kg/cm² に下る。本遮断器の遮断容量保証最低圧力は 12 kg/cm² であるから、配管を通して主空気溜から空気を補給することなく 2 回の CO 動作を行うことができる。

(2) 寿命試験

機構各部の強度、耐摩耗性をたしかめるために 2,000 回連続開閉試験を行つた。500 回目毎にオシログラムをとり動作特性をしらべたがほとんど変化なく、試験後の解体点検において各動作部分に全く異常を認めなかつた。第 7 図は本試験後の主弁の状態でパッキングその他の部分の損傷は全く認められない。

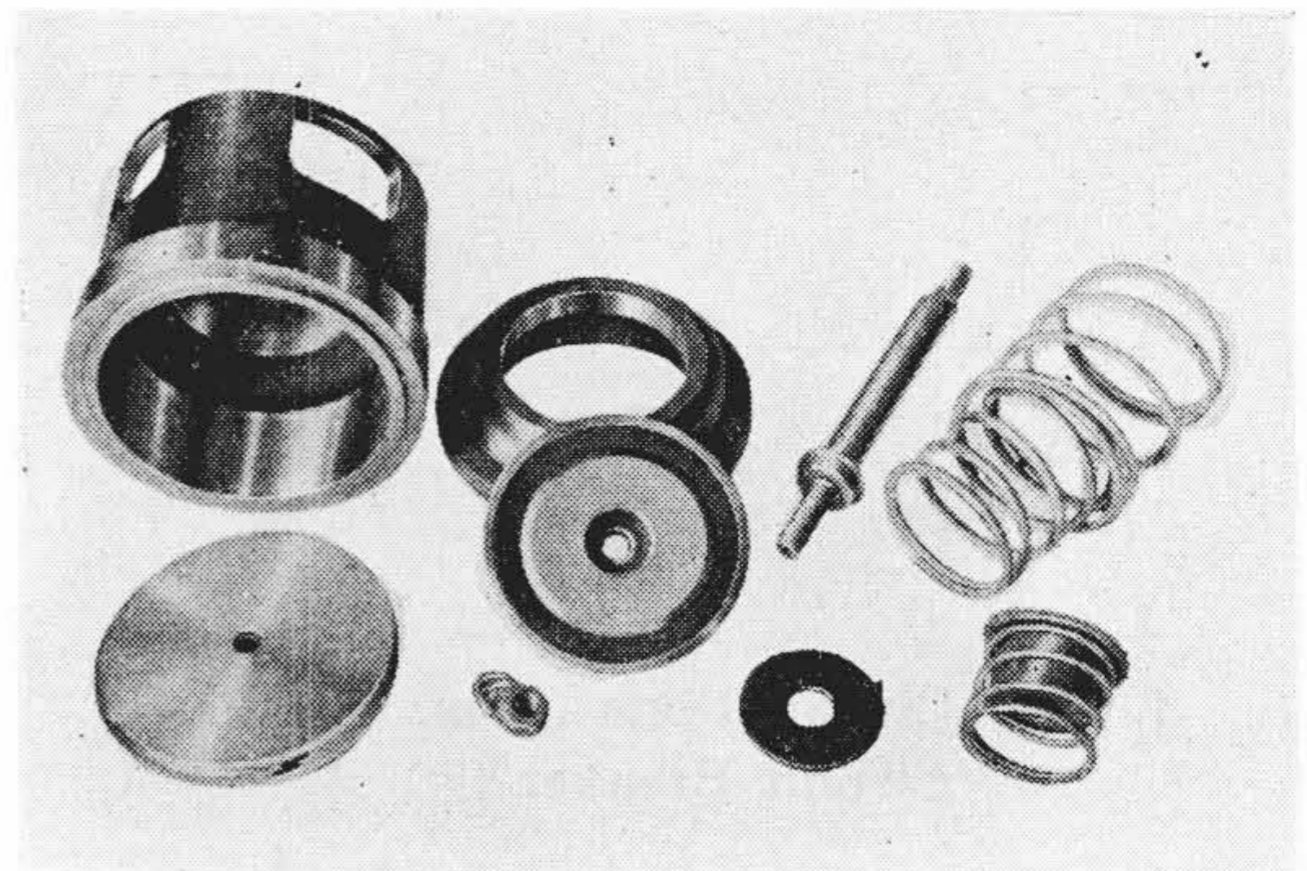
(3) 温度上昇試験と短時間電流試験

第 1 表は温度上昇試験および短時間電流試験の結果を示す。温度上昇は JEC-57 に規定する限度 40 $^{\circ}$ C に対していずれも十分低い。短時間電流試験は JEC-57 の規

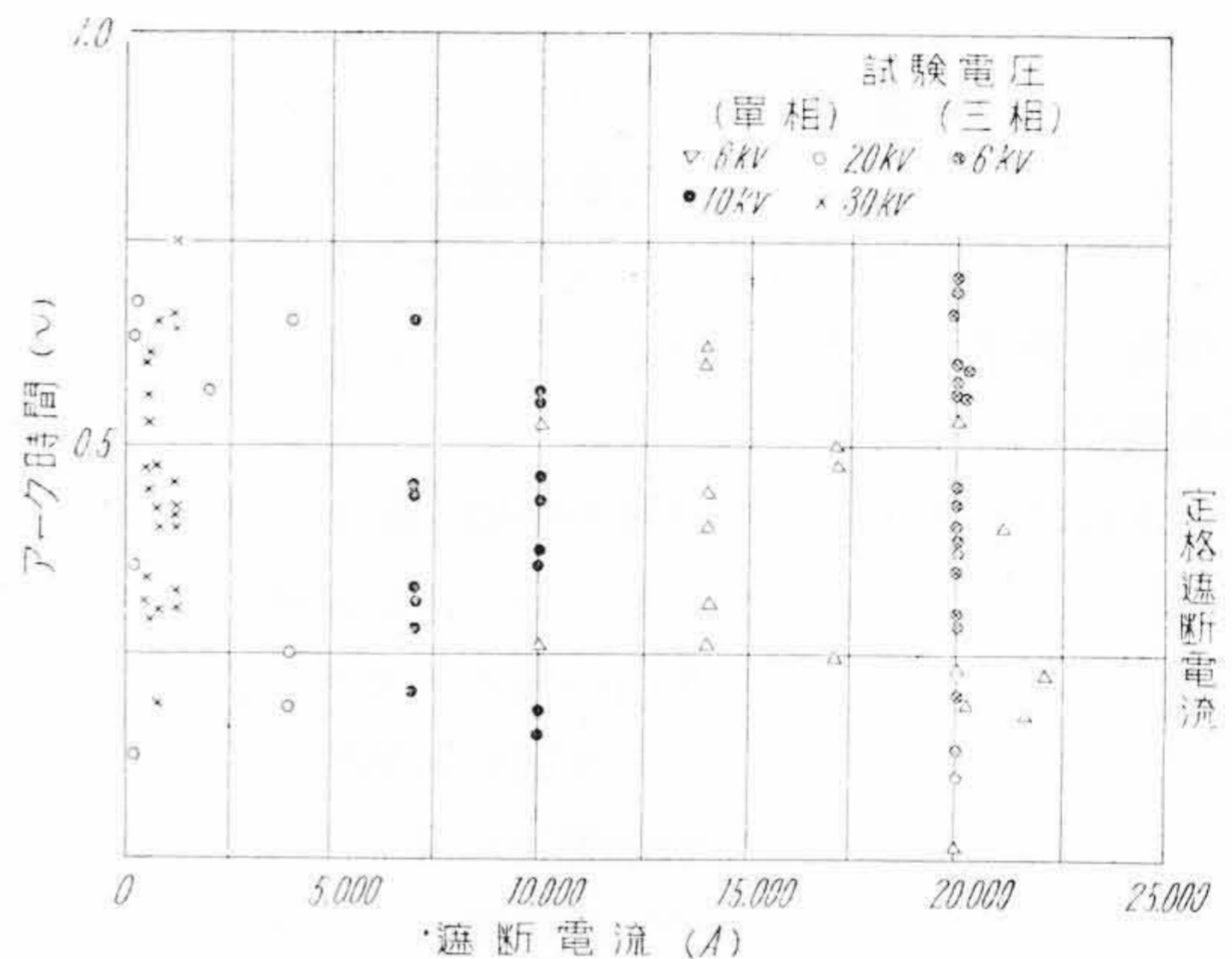
第 1 表 温度上昇試験および短時間電流試験結果
Table 1. Results of Heat Rum Test and Short Period Current Test

		温度上昇試験		短時間電流試験
		遮断試験前	遮断試験後	遮断試験前
電	流(A)	600	600	37,500
通	電時間(s)	連 続	連 続	1.22
温 度 上 昇 ($^{\circ}$ C)	可動接触子	8.5	14	18
	固定接触子	11	15	12.5
	断 路 部 ク リ ッ プ	7	7	7

定によれば 25,000 A, 1s であるが、本遮断器は特に 37,500 A (規定値の 1.5 倍), 1.22 s で実施したが異常なかつた。

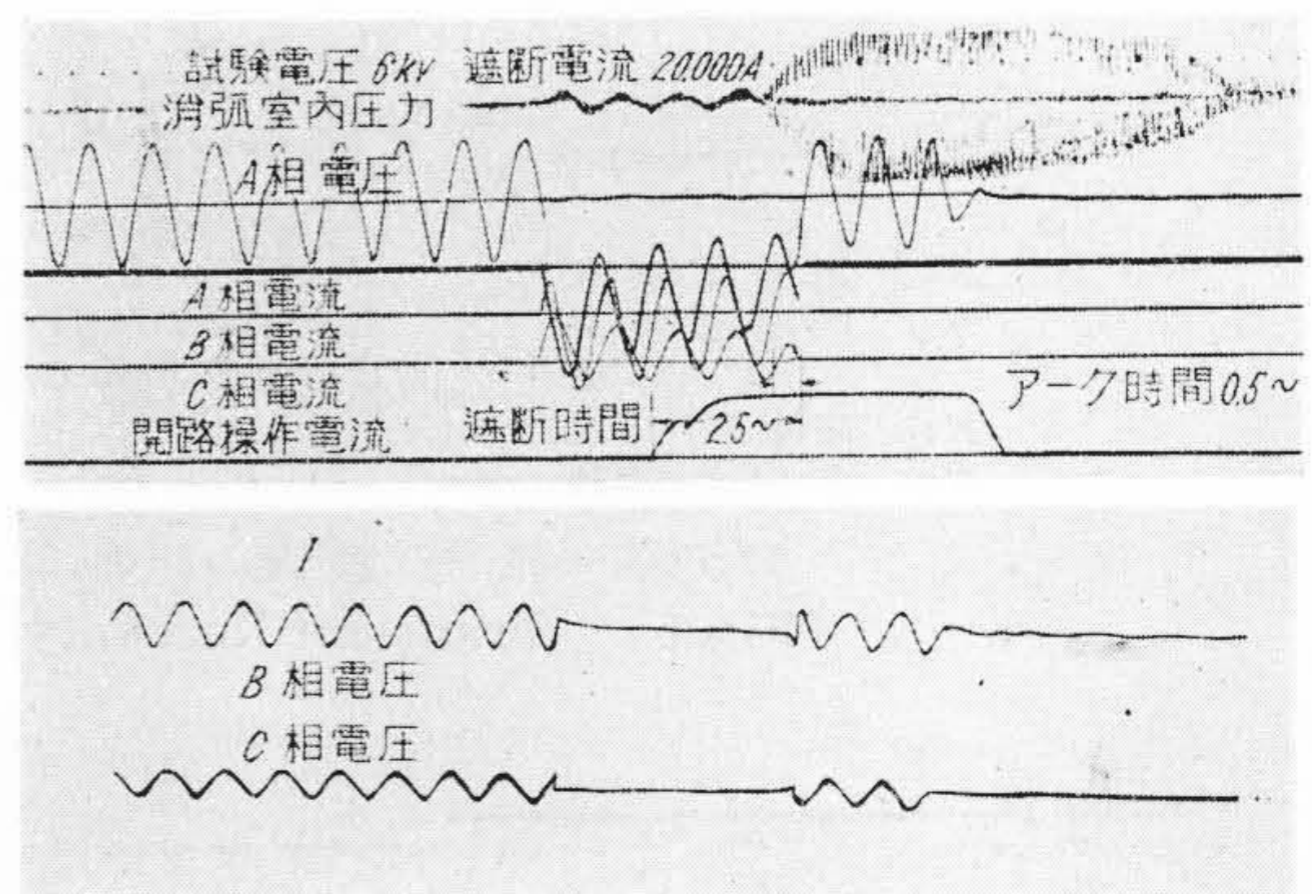


第 7 図 2,000 回開閉試験後の主弁部分
Fig.7. Main Valve Parts after 2,000-Operating Tests



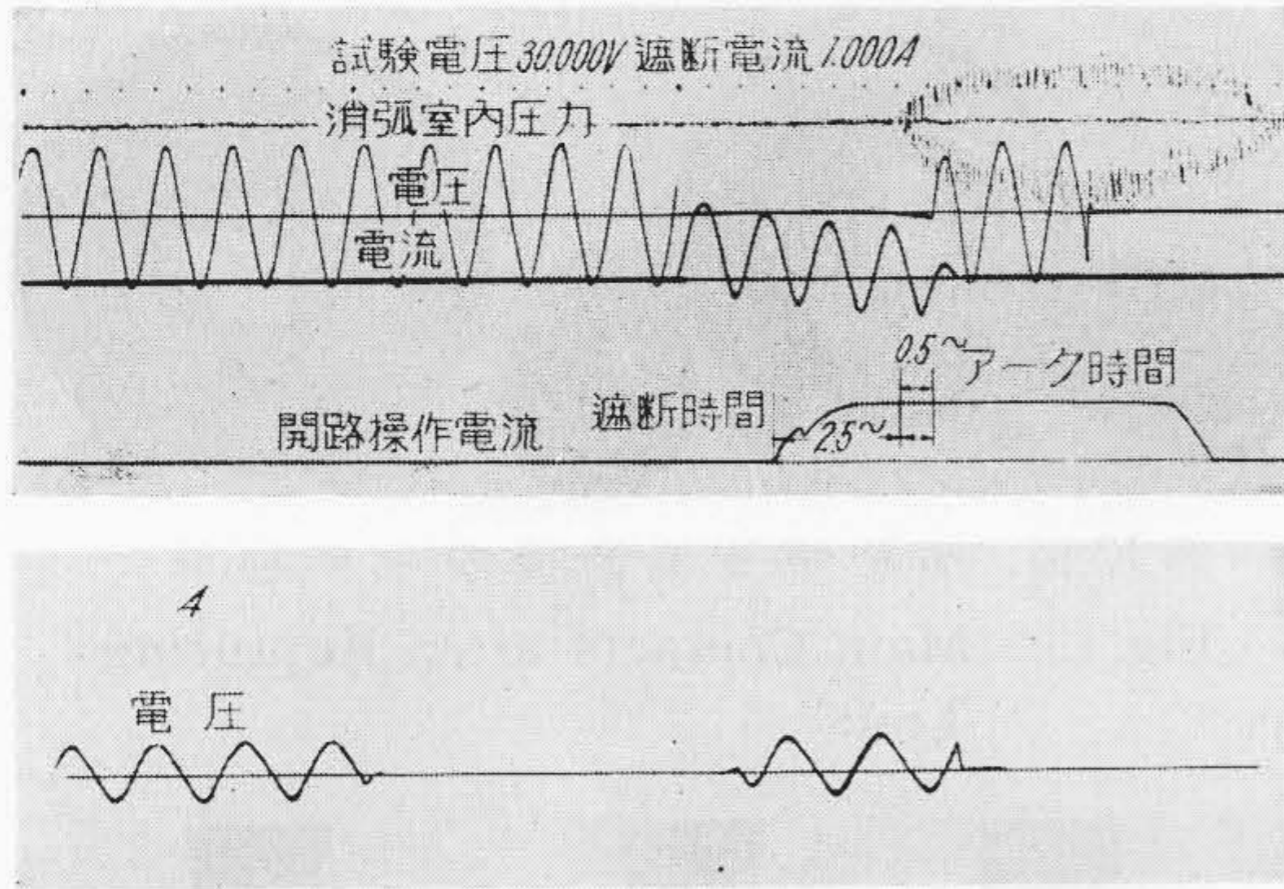
第 8 図 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA 空気遮断器遮断試験結果

Fig.8. Arcing Time Characteristics of 34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA Air Blast Circuit Breaker



第 9 図 短絡電流遮断試験オシログラム
6 kV, 20,000 A 動作責務 CO

Fig.9. Oscillogram of Rupturing Test 6 kV, 20,000 A, Operating Duty CO



第10図 短絡電流遮断試験オシログラム
30 kV, 1,000 A 動作責務 CO

Fig. 10. Oscillogram of Rupturing Test
30 kV, 1,000 A, Operating Duty CO

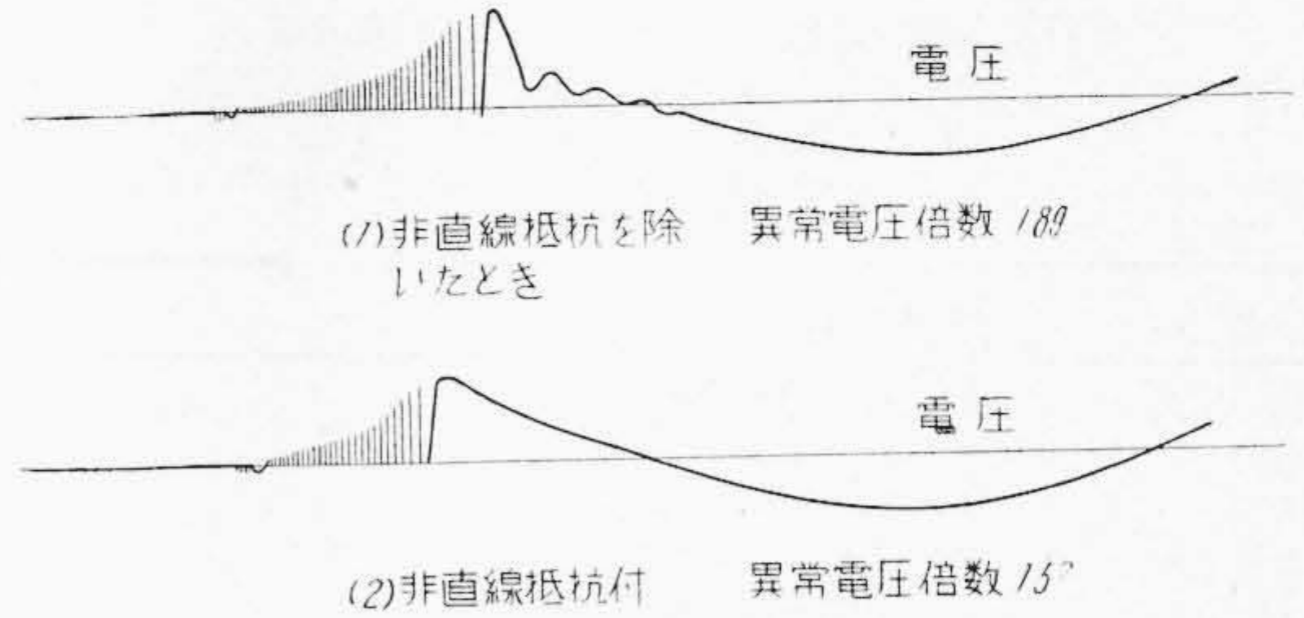
(4) 絶縁耐力試験

商用周波絶縁耐力試験 (80 kV, 1 分間) および衝撃電圧試験 (170 kV, 1.5/40 μs) を対地, 相間, 同相端子間に実施していずれも異常がなかった。

(5) 遮断試験

短絡電流遮断試験は試験電圧 6~30 kV, 短絡電流 250~22,000 A の範囲で約 120 回行った。第2表に短絡電流遮断試験結果を示す。第8図はそのアーク時間特性であつて, 第9図および第10図はオシログラムの一例である。

第3表は励磁電流遮断試験結果である。空気遮断器は



第11図 励磁電流遮断試験のブラウン管オシログラム 15 kV, 3.5 A, 1/2 相 (一点遮断)

Fig. 11. Oscillogram of Exciting Current Interrupting Test
15 kV, 3.5 A, Single Breaker

- (1) Without Non-linear Resistor
- (2) With Non-linear Resistor

消弧力が強いので励磁電流のような誘導負荷の小電流を遮断する場合には, 電流零値になる前に電流を吹き消そうとしていわゆる Chopping 現象を起し, 過電圧を生ずる傾向がある。(4)(5)

第3表において同じ回路条件で非直線抵抗を取除くと 1.52 倍のものが 1.89 倍に達することから非直線抵抗の抑制効果が認められる。第11図にこれらの場合のブラウン管オシログラムの比較を示す。

充電電流遮断試験結果は第4表 (次頁参照) である。試験電圧 40 kV (定格相電圧の 200%) において再点弧しない。第12図 (次頁参照) はそのオシログラムの一例であるが, 非直線抵抗を通して負荷側の電荷が放電して

第2表 短絡電流遮断試験結果

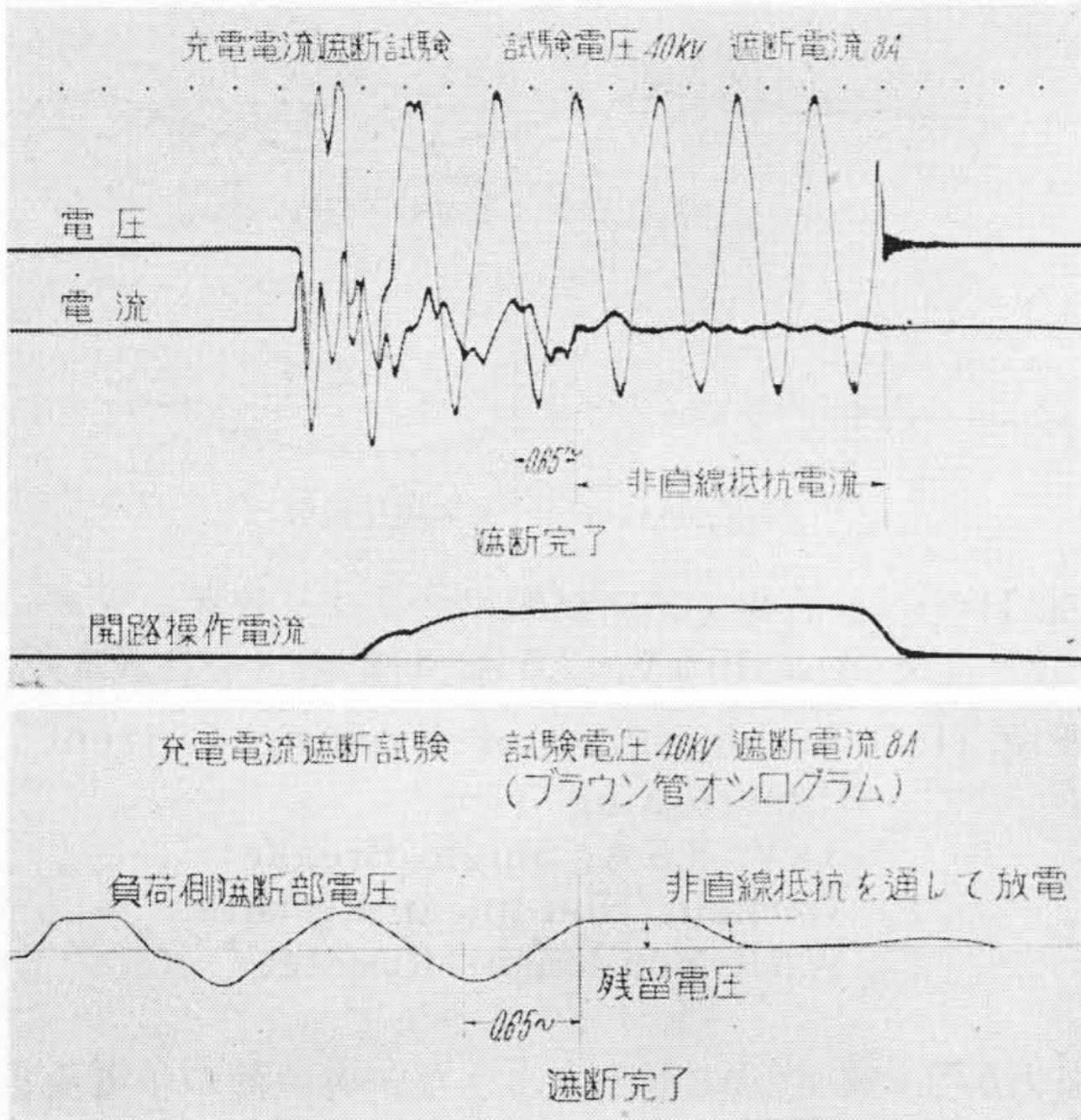
Table 2. Result of Rupturing Test

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)	アーク勢力 (kWs)	試験回数
単相 -O-	6	—	7,000~20,000	0.07~0.6	15~125	13
	10	—	250~10,000	0.12~0.67	13~118	19
	20	—	500~4,000	0.17~0.65	0.4~98	8
	30	—	500~1,200	0.29~0.75	3.5~27	47
3相 -O-	6	—	14,400~24,500	0.16~0.62	47~104	17
3相 -CO-	6	19,100~67,000	20,000	0.13~0.56	47~150	10
単相-CO-15s-CO	6.6	52,000~69,000	20,000~22,000	0.18~0.56	57~85	10
	30	2,600~3,000	750~1,320	0.35~0.50	27~40	1

第3表 励磁電流遮断試験結果

Table 3. Result of Exciting Current Interrupting Test

動作責務	試験電圧 (kV)	遮断電流 (A)	非直線抵抗あり			非直線抵抗なし		
			アーク時間 (s)	異常電圧倍数	試験回数	アーク時間 (s)	異常電圧倍数	試験回数
1/2 相 (1点遮断) -O-	15	3.5	0.29~0.35	0.44~1.52	4	0.38~0.46	1.09~1.89	5
単相 (2点遮断) -O-	20	7.5~8.6	0.36~0.64	1.02~1.56	10	—	—	—
	30	0.6	0.36~0.38	1.09~1.13	3	—	—	—



第 12 図 充電電流遮断試験のオシログラム 40 kV, 8 A, 単相 (2 点遮断)

Fig.12. Oscillogram of Charging Current Interrupting Test 40 kV, 8A

第 4 表 充電電流遮断試験結果

Table 4. Result of Charging Current Interrupting Test

動作責務	試験電圧 (kV)	遮断電流 (A)	アーク時間	再点弧	試験回数
単相 (2 点遮断) -O-	10	2~4.5	0.2 ~ 0.33	なし	2
	15~22	3~9	0.25~0.63	なし	6
	25~30	5~13.5	0.33~0.63	なし	11
	35~40	7~16	0.24~0.70	なし	8

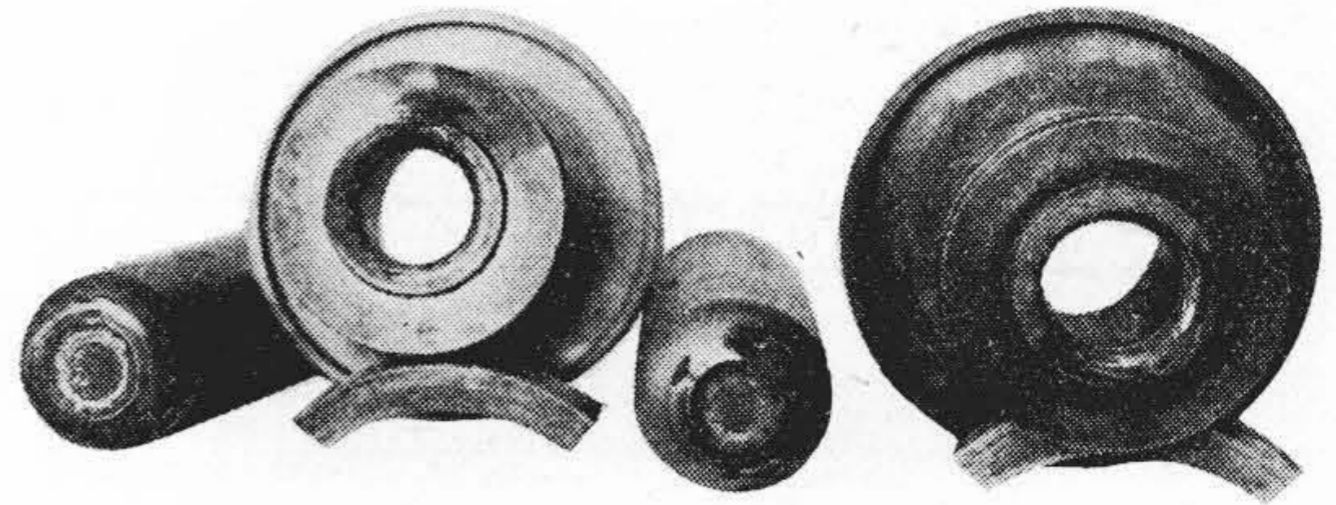
端子電圧の上昇が抑制され、再点弧が有効に防止されていることが認められる。

遮断時の接触子の損傷は油中におけるごとき異常消耗現象がなく、アーク時間も 0.5 前後の短時間であるためきわめて軽微である。

第 13 図は 6.6 kV, 18,000~22,000 A および 30 kV, 500~1,200 A を各 5 回遮断後の主接触子の損傷を示している。本接触子はこの試験後さらに同様の遮断試験を十数回繰返し行つたが、なお継続使用に耐える程軽微な損傷であつた。断路部は閉路時に投入電流により多少の損傷をうけるが、投入速度が早いので第 14 図に示すごとく短絡電流 65,000 A を 5 回投入した場合でもその損傷は至つて少く、何等補修を要せぬ程度である。第 13 図および第 14 図の状態における温度上昇試験結果はすでに第 1 表に示したごとく、遮断部主接触子が 4~6°C の上昇を示し断路部はほとんど変化していない。

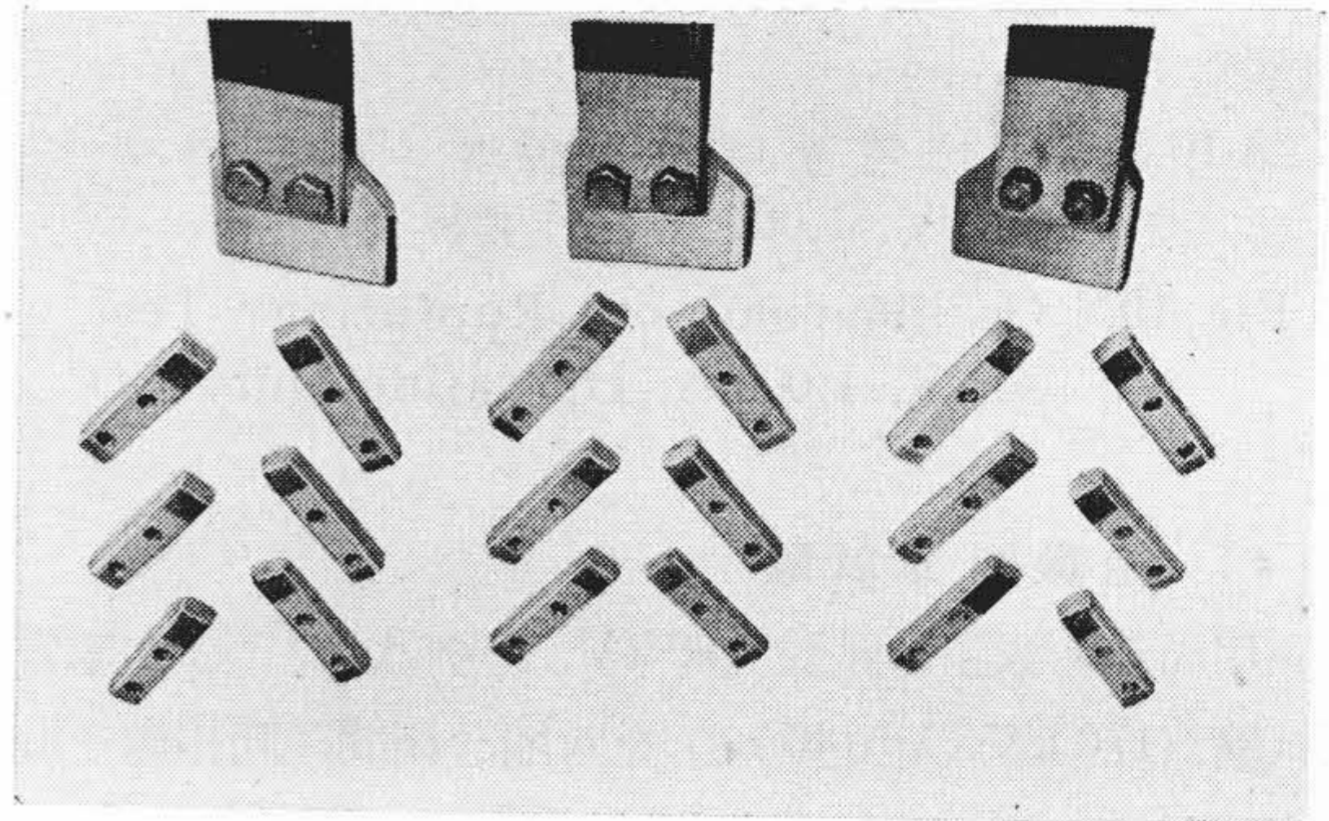
[IV] 結 言

以上、34.5 kV, 600 A, 1,500 MVA 空気遮断器の概要



第 13 図 短絡電流遮断後の主接触部

Fig.13. Main Contacts after Rupturing Tests



第 14 図 CO 試験後の断路部

Fig.14. Disconnecting Parts after CO Tests

を紹介したが、本器の特長を要約すると

- (1) 油を使用しないため火災の危険がなく、油の劣化による保守の手数が省ける。
- (2) アーク時間が 0.5 前後の短時間で、かつ気中で開閉するため接点の損耗がきわめて微量である。したがって頻繁な開閉に耐える。
- (3) 同軸吹付方式を採っているので、絶縁物のアークによる損傷劣化がない。
- (4) 直線ならびに非直線抵抗の併用によりいかなる電流の遮断に対しても異常電圧の発生を抑制している。
- (5) 軽量で床面積も少く遮断容量が大きい。

など多くの特長を有している。したがって開閉頻度の高い場合、大なる遮断容量を必要とする場合などには特に好適である。

終りに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次第である。

参 考 文 献

- (1) 安藤, 小林, 額田: 日立評論 35 7, P. 53 (昭 28-7)
- (2) 中西: 電学会誌 73 8 P. 850 (昭 28-8)
- (3) 山崎: 電学会誌 73 12 P. 1,350 (28-12)
- (4) T.W. Wilcox: J.I.E.E. P. 483 (1944)
- (5) P. Baltensperger: B.B.C. Rev. P. 391 (1951)