

34.5 kV 空気遮断器の遮断特性

The Rupturing Characteristics of 34.5kV Air Blast Circuit Breaker

收 元* 鴨志田 実*

内 容 梗 概

34.5 kV 600 A 1,500 MVA 空気遮断器の遮断特性についてその概略を記述した。

遮断部構造の決定にあたっては数種のモデルについて主接点および補助電極附近の気流の状況をシュリーレン法で観測し最も良好な構造が採用された。

つぎに短絡遮断性能は部分試験法によりまづ二点遮断で試験を行い、ついで遮断点を一箇にしかつ並列直線抵抗を除去した苛酷な条件下において 30~6 kV, 400~30,000 A が良好に遮断された、補助間隙は短絡電流の遮断が並列抵抗の挿入を必要とするときは確実に放電してその責を果しかつ抵抗電流の遮断も容易に行われていることが判明した。中部電力株式会社山口町変電所納入後の現地試験において 31 kV, 5~30 A のケーブル回路充電電流の遮断が無再点弧であり、30 kV, 0.9~3.2 A の変圧器励磁電流の遮断において異常電圧倍率が 2.5 以下の好成績をおさめた。

〔I〕 緒 言

空気遮断器は従来使用されてきた油入遮断器に比して火災の危険少くかつ接点の消耗が少ない等種々の利点を持っているがこの遮断器は他力消弧型であるからノズルの構造、圧力特性、並列抵抗による電圧分布均一化、再起電圧の調整による遮断容量の増加、充電電流の無再点弧遮断、励磁電流遮断における電流遮断による異常電圧の抑制など種々検討すべき点が多い。ここでは中部電力株式会社山口町変電所に納入した下記の遮断器の遮断特性につき報告する次第である。

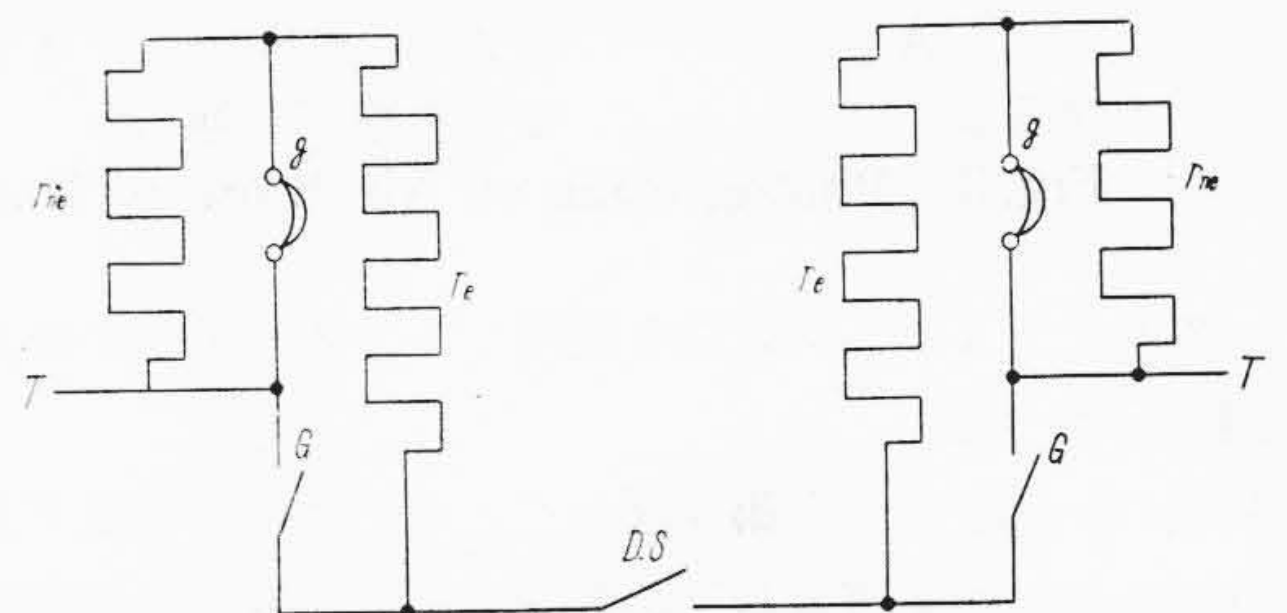
型 式	 PB-150-PA
定 格 電 圧	 34.5 kV 600 A
定格遮断容量	 1,500 MVA
遮 断 時 間	 0.08 s
操 作 気 圧	 15 kg/cm ²
操 作 電 圧	 D.C. 100V

本遮断器の遮断特性は工場短絡実験設備による試験結果とほかに昭和29年6月末中部電力株式会社山口町変電所における充電電流遮断試験ならびに変圧器励磁電流遮断試験結果よりえられたものである。

〔II〕 遮断部の構造とその気流

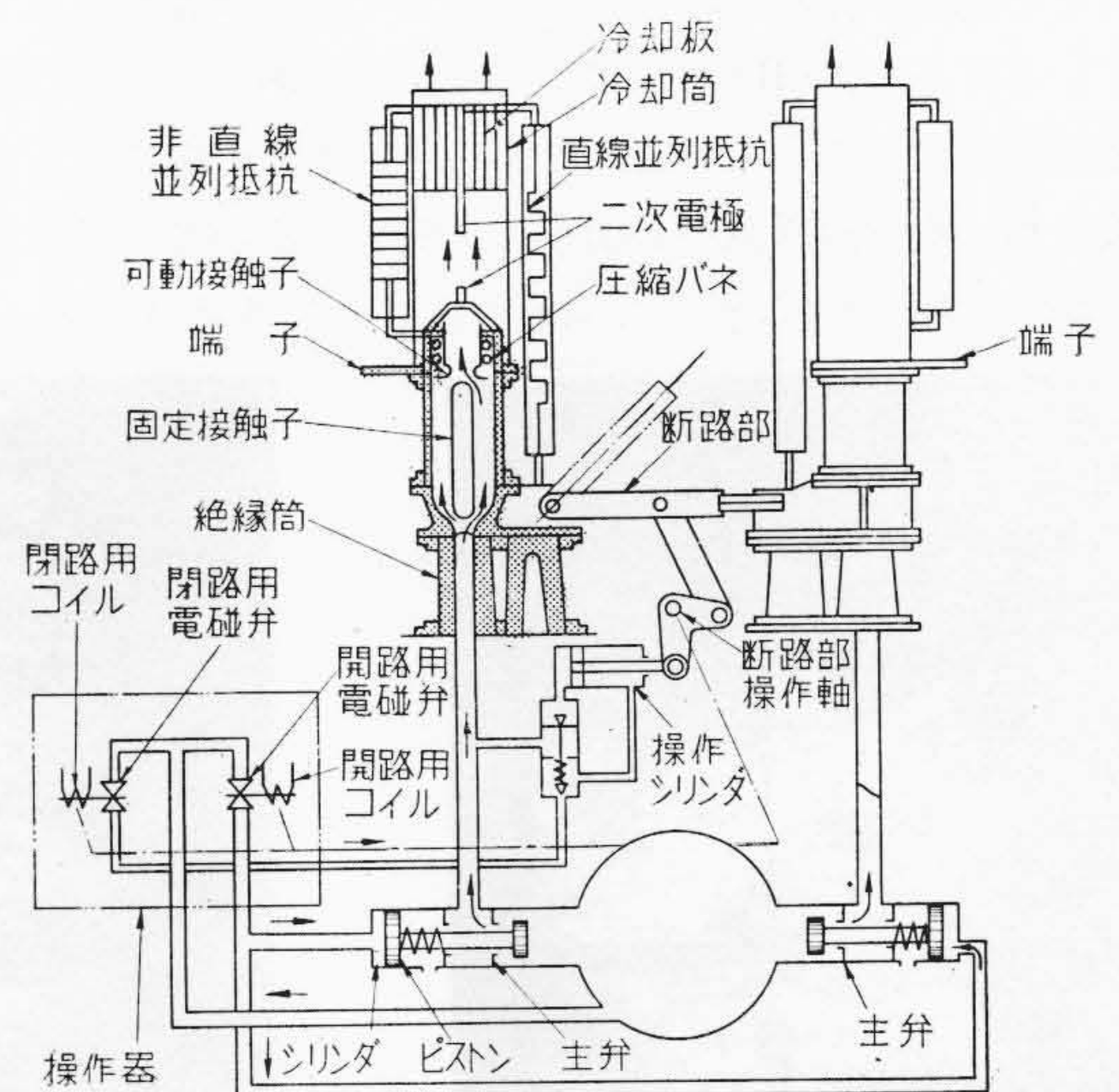
本器の構造については日立評論 Vol. 36 No. 8⁽¹⁾ に詳細に述べられているのでここでは遮断特性に関する部分のみを記述する。第1図は空気遮断器の回路を示し、第2図は空気遮断器の構造説明図を示す。

遮断部は二点遮断方式を採用し、一遮断点は主間隙と補助間隙に分れ、空気の吹付方式は同軸吹付けである。直線および非直線の二種の並列抵抗を使用し、直線抵抗は再起電圧抑制に使用し、非直線抵抗は二遮断点の電位分布改善と変圧器励磁電流遮断の際の遮断電流による異



r_{ne} : 非直線抵抗 G : 主接点 g : 二次電極
 r_e : 直線抵抗 $D.S$: 断路部 T : 端子

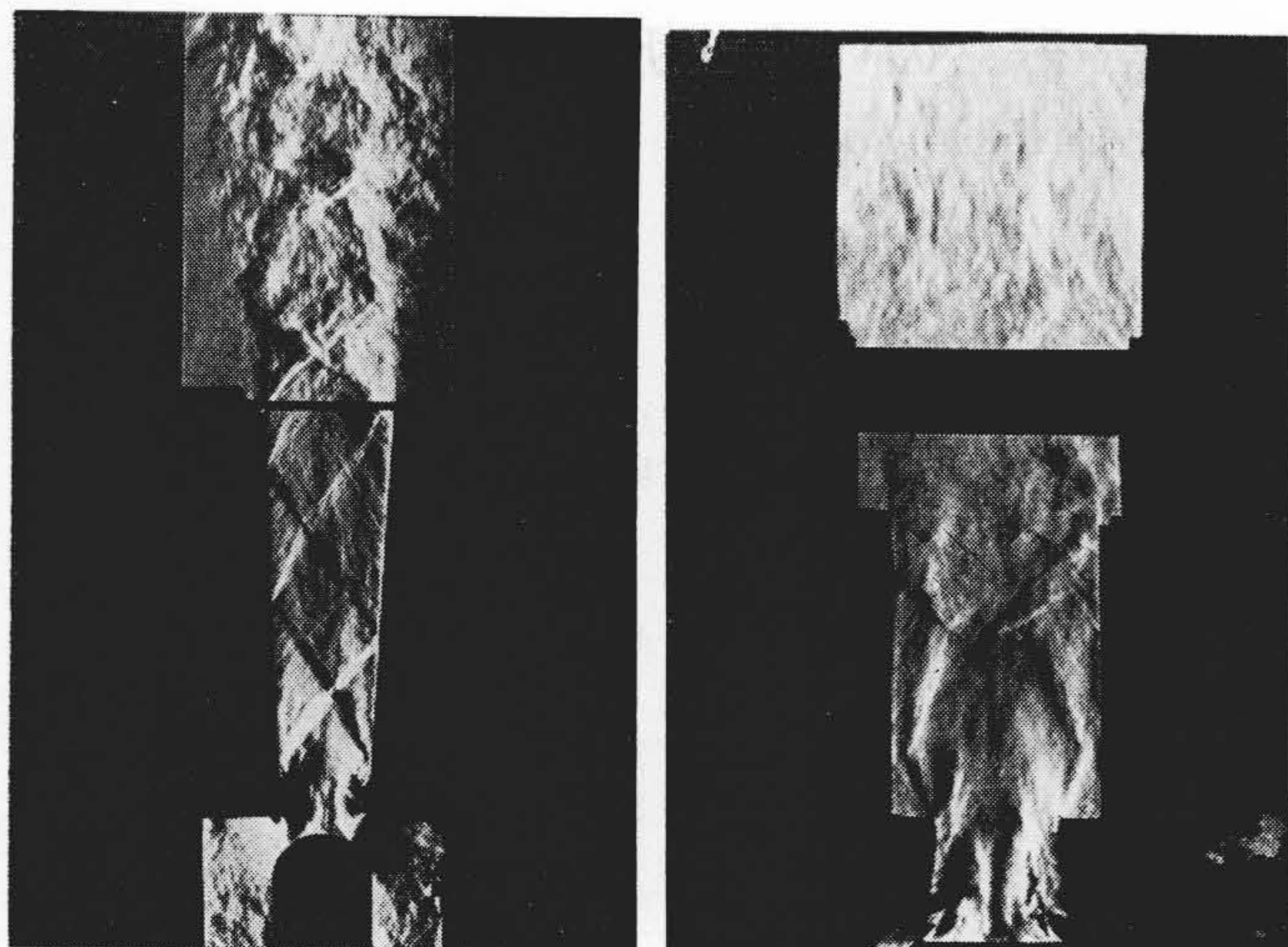
第1図 空気遮断器内の主回路
Fig. 1. Main Circuit Diagram of Air Blast Circuit Breaker



第2図 空気遮断器の構造説明図
Fig. 2. Schematic Arrangement of Air Blast Circuit Breaker

常電圧防止を目的として挿入されている。空気遮断器の遮断部で重要なことはノズルの構造と遮断時の気流の状態である。この遮断器の設計に当っては二次元のモデ

* 日立製作所日立研究所



〔A〕

〔B〕

第3図 ノズルの気流観測写真

Fig. 3. Photographs of Air Flow in Nozzle

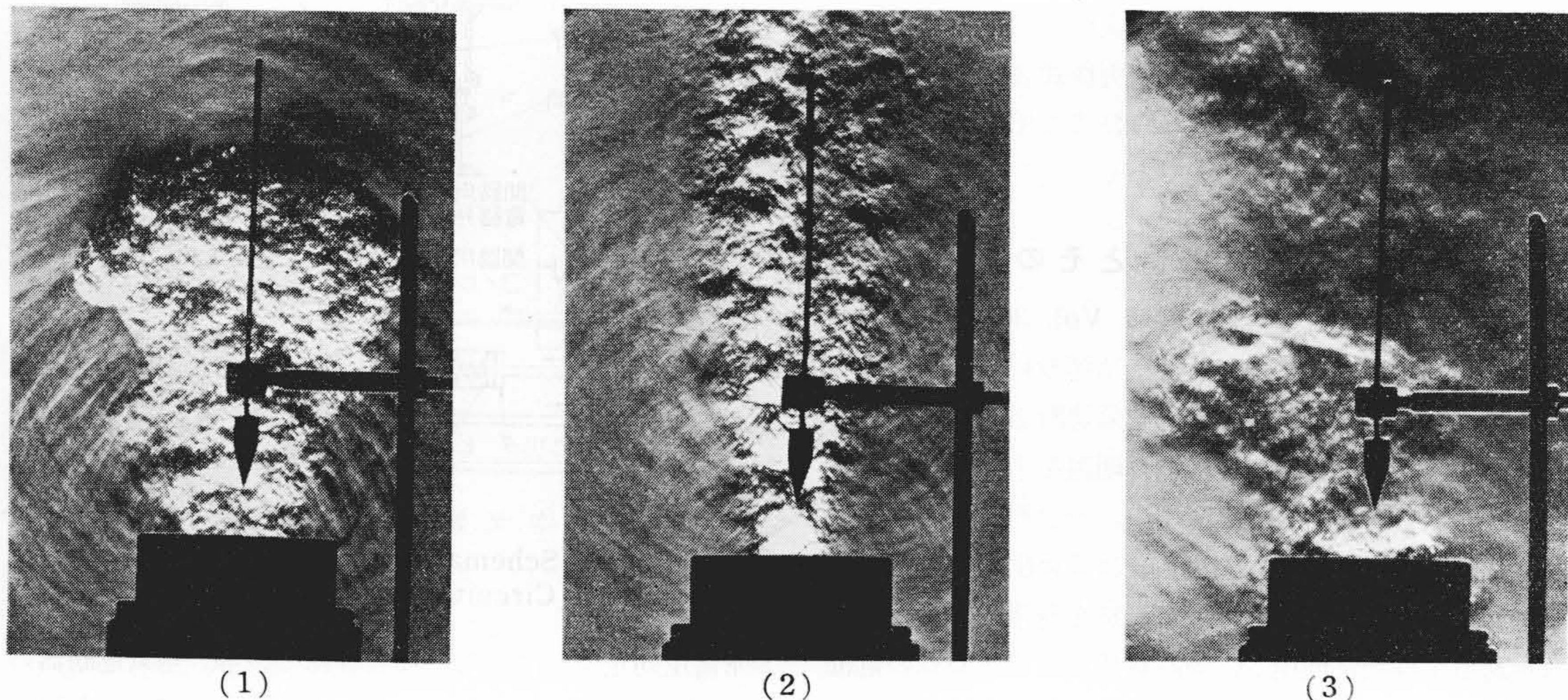
ルノズルでシュリーレン法を使用してノズル附近の気流の観測を行った。

観測の一例を示すと第3図のごとくである。写真下部中央にあるのが主接点の可動電極で圧縮空気はこの両側から上部ノズルに噴出する、アークの発生するのは可動電極とその直上の構造物の間でこのアークは気流に吹き消される。〔A〕〔B〕の二つの模型で著しく相異なるのはノズルの形状で〔A〕はノズルの径が小であると同時にその断面が流れにそつて逐次拡大する拡散管型になっているに反し、〔B〕はノズルの径が大であるとともに拡散管型になっていないためである。いずれの場合でも主接点部は空気流通路の最狭小部を形成するので空気溜圧力が十分高ければ、そこで気流ははじめて音速(1マッハ)

に達し、その下流では超音速気流となる。最狭小部ではじめて流速が音速に達することは、その部分で流れに垂直にマッハ波が発生し、かつ急激な圧力変化を伴うのが強いシュリーレンとして撮影されることから知られる。また最狭小部の上流ではマッハ波や、衝撃波を発生していないが下流ではそれらを認めることから知られる。

圧力計を用いた測定によると最狭小部直前の圧力は空気溜圧力の $1/2$ にきわめて近い値を示す。これは超音速気流の一般的性質として理論的に予期されていることとよく一致している。ノズルの径が増加するにしたがつて流速を増しある条件では1.8マッハ程度になっていることが、衝撃波角度その他から計算されている。たゞし開放端より下流では再び減速されている。

〔A〕〔B〕いずれの型が遮断部として適当しているかはこの観測結果と遮断試験結果と合せ考えて決定すべきである。補助間隙附近の気流を〔A〕型ノズルについて観測した結果は第4図のごとくである。(1)は主接点开離後0.28サイクル、(2)は定常状態、(3)は再閉直後の状況である。写真中のクサビは流速を調べるため挿入したものである。補助電極はほぼこのクサビの位置にあるが、その附近の気体密度は斜間隙シュリーレン法で調べた。この詳細については別に報告するが結果を要約すると気体密度は中心で最大で周辺に向つて逐次低下し、噴流外では一定値となる。この形状につき種々のモデルが考えられるが軸から r だけ離れた点の密度 $D(r)$ が次式で与えられるとするのが観測結果に最も近い。



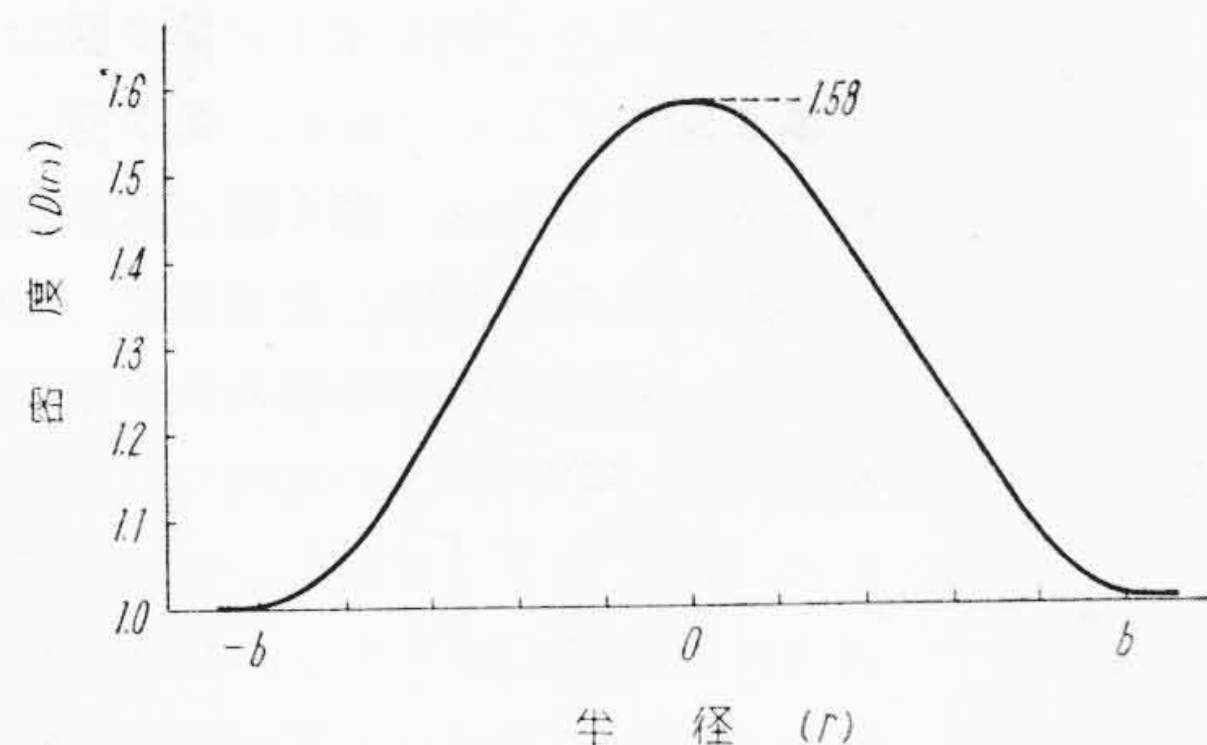
(1)

(2)

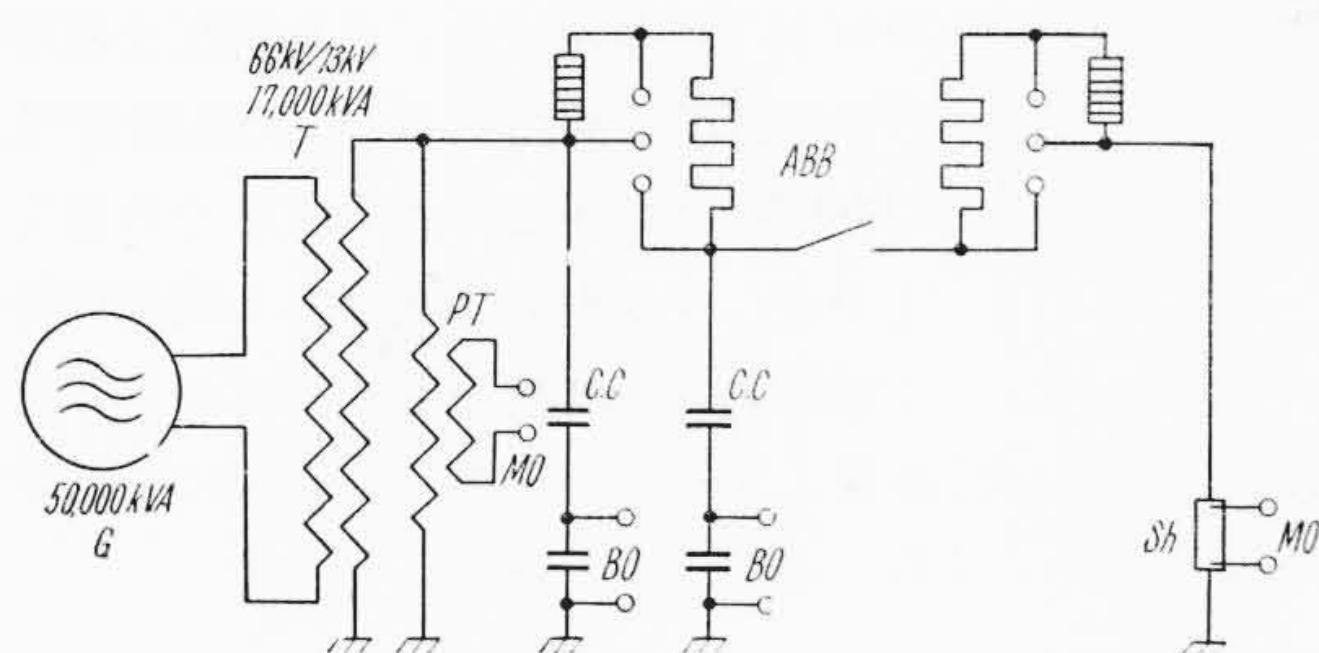
(3)

第4図 補助間隙の気流観測写真

Fig. 4. Photographs of Air Flow Neighbouring Auxiliary Gap



第5図 噴流中の密度分布の一例
Fig.5. A Example of Density Distribution in Jet Flow



第6図 電圧分布測定回路
Fig.6. Measuring Circuit of Voltage Distribution

$$D(r) = 1 + \frac{h}{n_0 - 1} \left(1 - 3 \frac{r^2}{b^2} + 2 \frac{r^3}{b^3} \right) \dots (r \leq b)$$

$$= 1 + \frac{h}{n_0 - 1} \dots (r = 0)$$

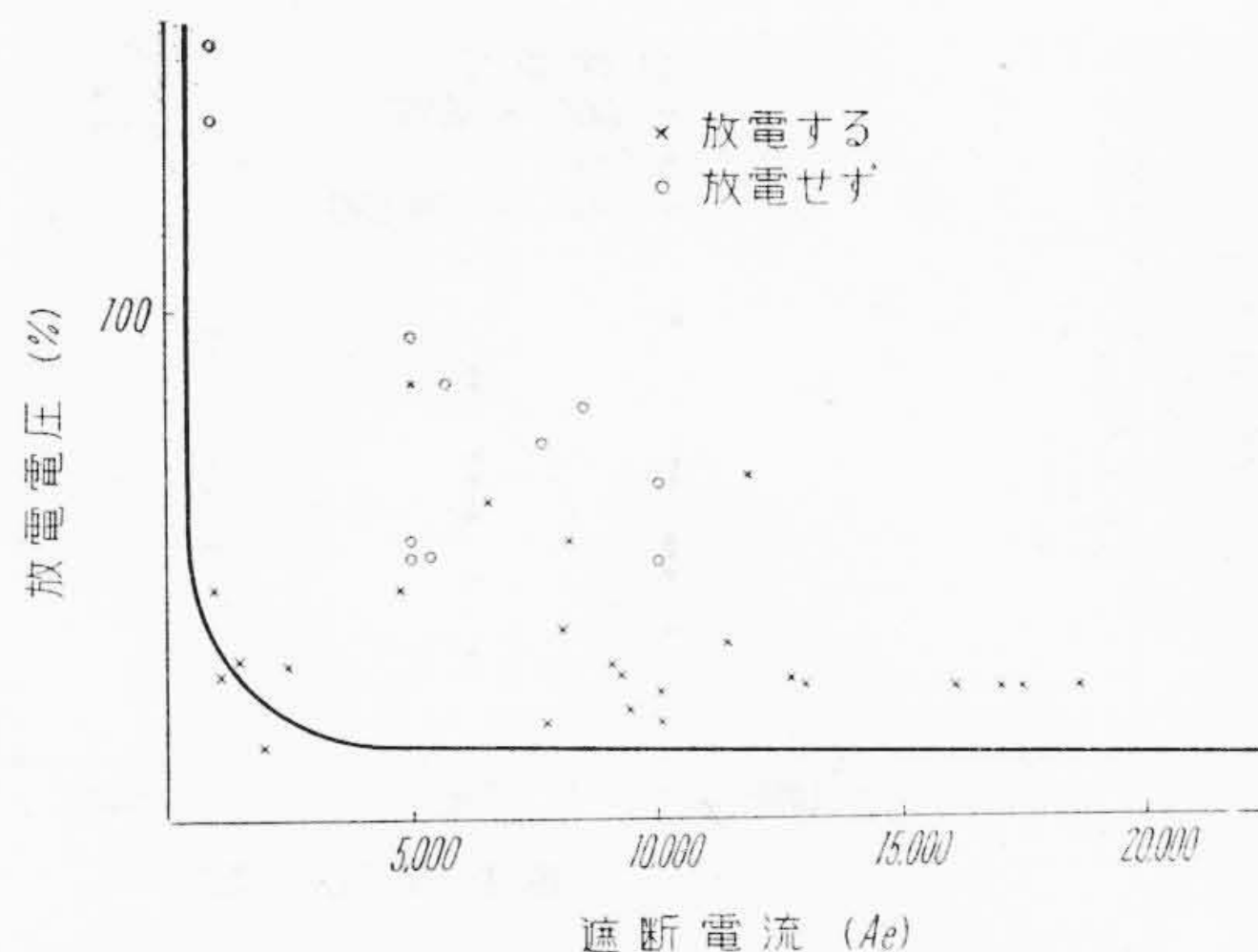
$$= 1 \dots (r \geq b)$$

ここに b は噴流の半径, h は常数, n_0 は周囲気体の屈折率である。ここに h は斜塔子シュリーレン法による観測から決定され n_0 は表から求める。その実測結果の一例は第5図のようになる。

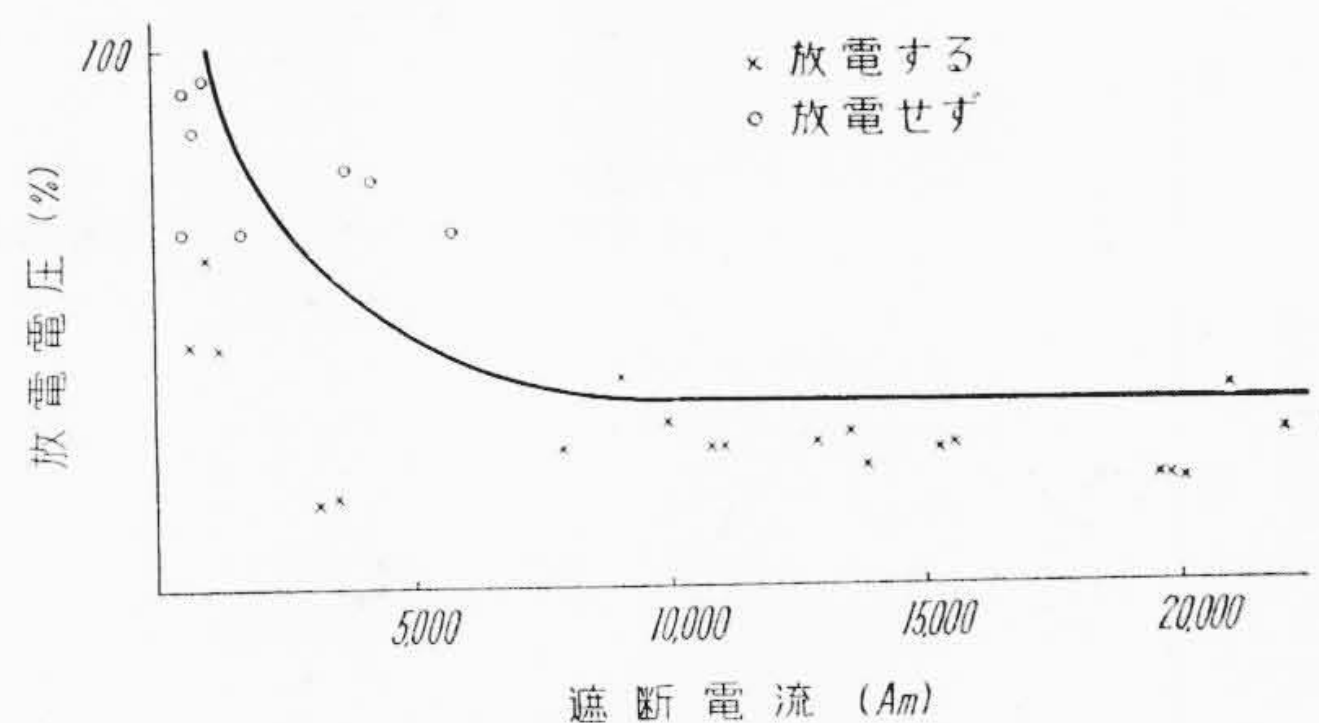
〔III〕 遮断点間の電位分布

遮断電流の大なる場合は補助間隙が放電し低抵抗が並列に挿入され電圧分布の均一化と再起電圧の制御が行われ遮断を容易にする。遮断電流が小で補助間隙が放電しにくい場合、また充電電流遮断の際の回復電圧に対しては非直線抵抗によって電圧分布が均一化される。

一線接地の条件にて一相分の二遮断点の電圧分布を容量計で容量を測定した結果から求めると、静電的には 77:23 である。第6図のごとき試験回路にて単相 30 kV 400 A, 30 kV 1,200 A の遮断を行い二点間の電圧分布をブラウン管のオシログラフにて測定した結果⁽²⁾, 高压側 55~41%, 接地側 59~45% で残留抵抗などの影響で結果にはバラツキがあるが電圧分布は均一化されていることがわかる。



第7図 補助間隙の放電特性
(遮断電流と放電電圧の関係)
Fig.7. Discharge Characteristics of Auxiliary Gaps

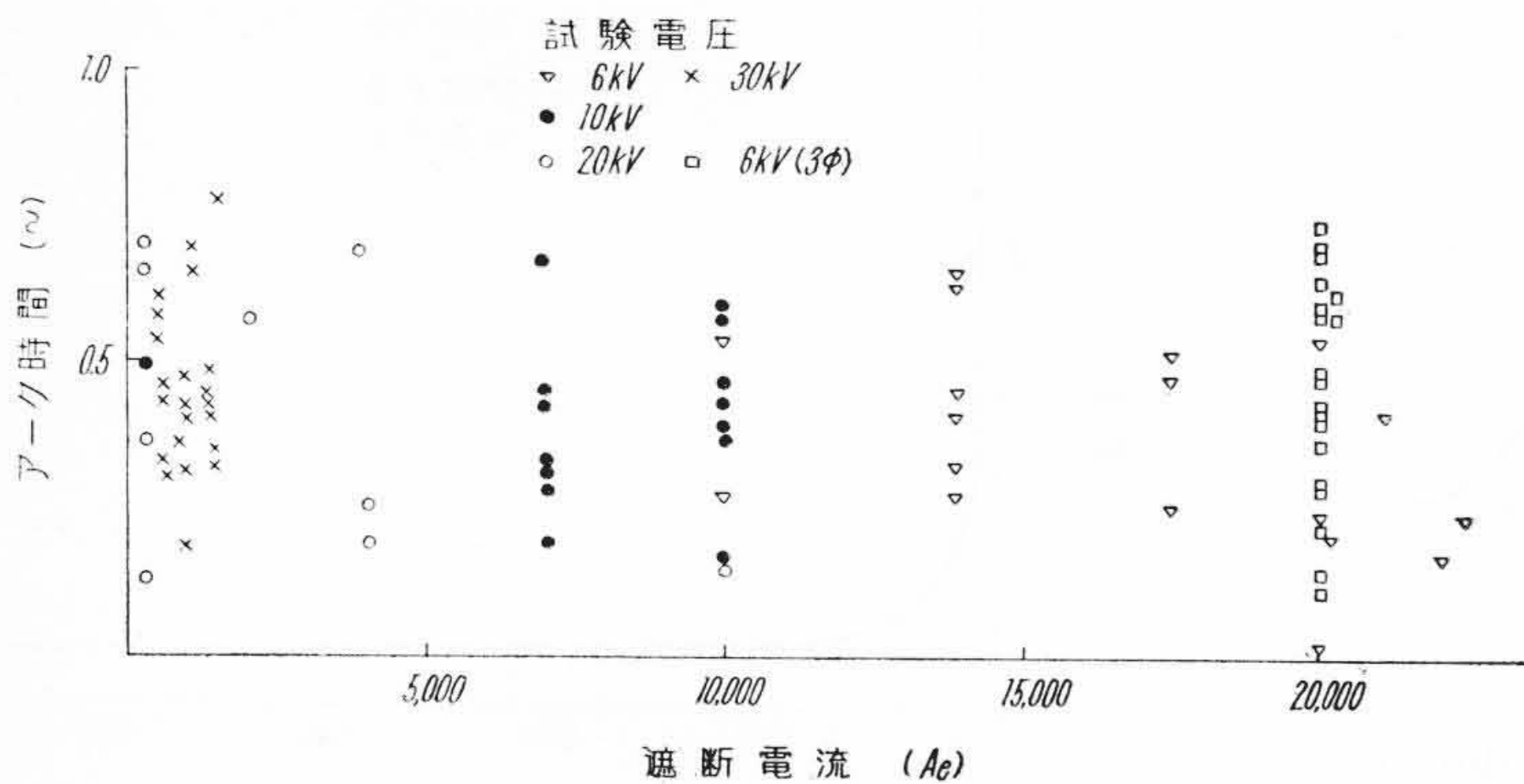


第8図 補助間隙の放電特性
Fig.8. Discharge Characteristics of Auxiliary Gaps

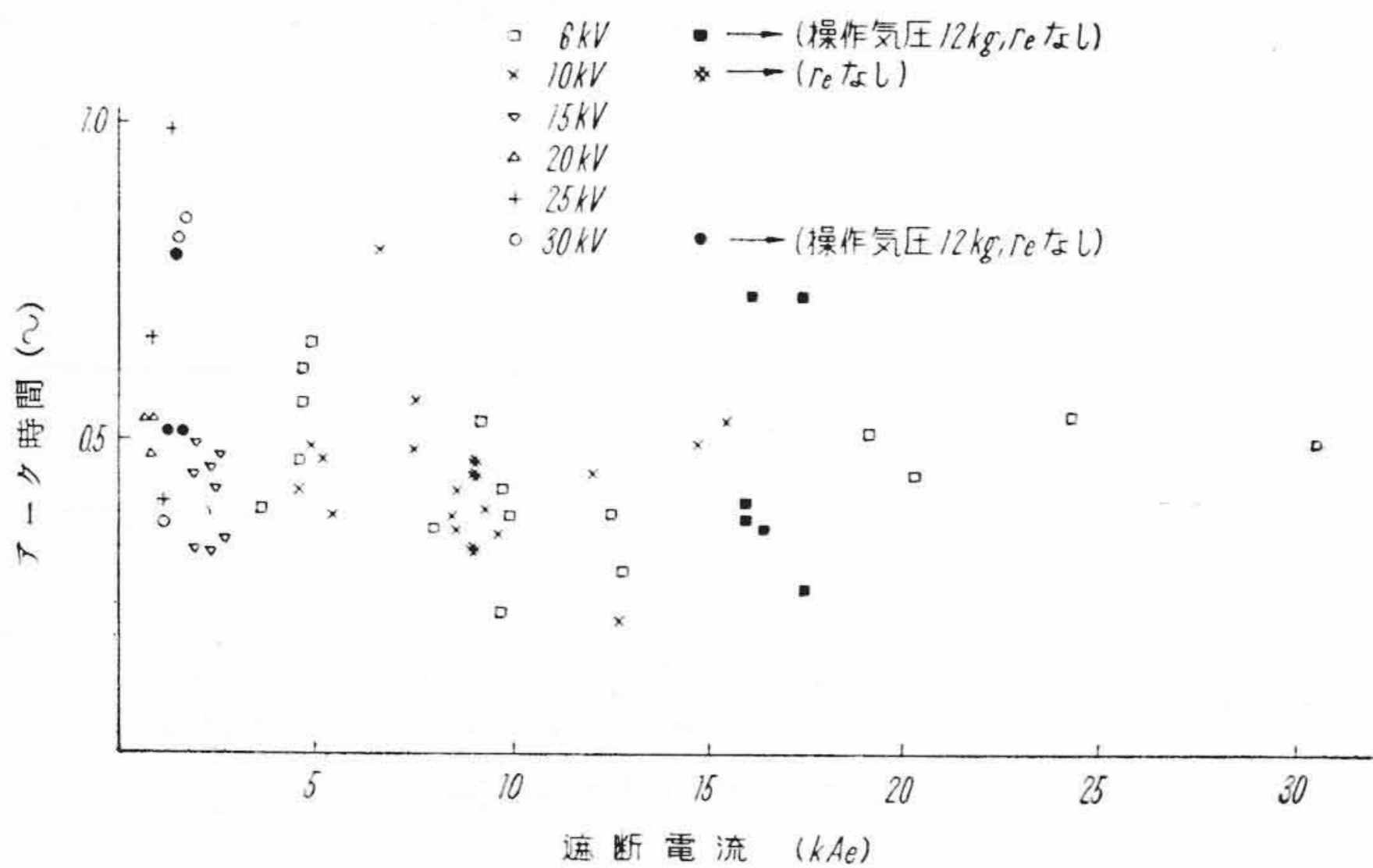
〔IV〕 補助間隙の放電特性

補助間隙は短絡電流遮断時主間隙によつて生ずる遮断ガスで速やかに放電し主間隙に並列抵抗を挿入し再起電圧を制御して遮断を容易にするので遮断電流の大なる場合この放電特性は重要である。この放電特性は短絡電流遮断時ブラウン管オシログラフにて再起電圧を測定して求めた、その結果⁽³⁾を要約するとつぎのごとくである。

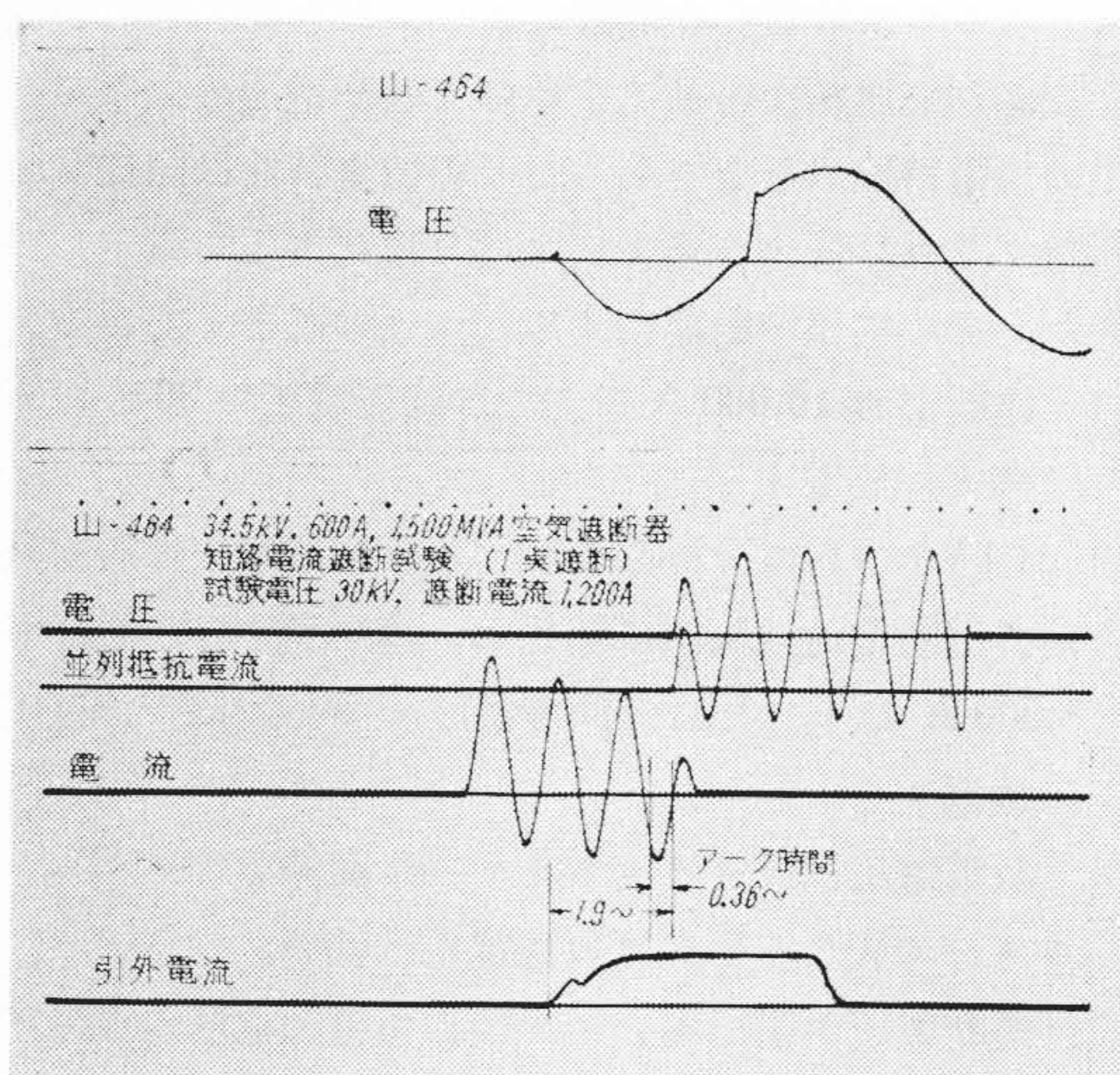
- (1) 遮断電流 10,000 A 以上では回復電圧の 30% 以下で確実に放電する。
- (2) (1)をさらに分析して調べると放電電圧は放電直前の遮断電流波高値に関係し、遮断電流波高値が 8,000 A 以上になれば回復電圧の 30% 以下で確実に放電する。
- (3) 放電電圧はアークエネルギーに関係しアークエネルギーの大なるときは放電電圧は低い。
- (4) 遮断電圧が高い場合、すなわち再起電圧の上昇率が高い場合は遮断電流 2,000 A 以上では回復電圧の 30% 以下で放電する。
- (5) 補助間隙の放電不能は 1,000 A 以下でおこる。



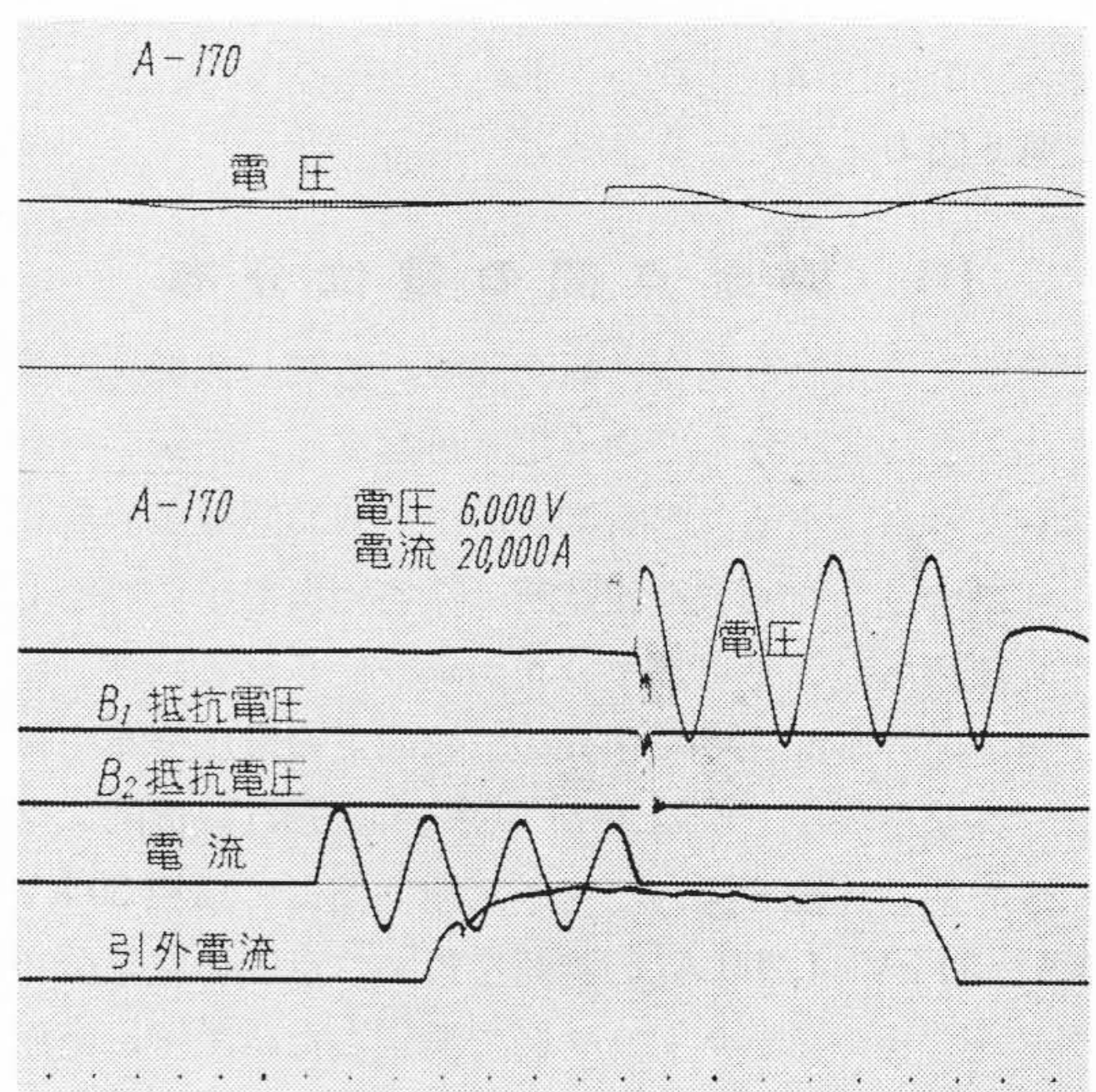
第9図 空気遮断器の遮断特性
Fig.9. Rupturing Characteristics of Air Blast Circuit Breaker



第10図 空気遮断器の遮断特性
Fig.10. Rupturing Characteristics of Air Blast Circuit Breaker, Single Break



第11図 30 kV 1,200 A 遮断のオシログラム
Fig.11. Oscillograms of Rupturing Test 30 kV 1,200 A



第12図 6 kV 20,000 A 遮断のオシログラム
Fig.12. Oscillograms of Short Circuit Current Interrupting Test, 6kV 20,000 A, Single Break

実験結果の一例を示すと第7図および第8図のごとくである。第7図は遮断電流と放電電圧、第8図は遮断直前の遮断電流の波高値と放電電圧の関係を示す。補助間隙の放電特性は定格遮断電流の40%以上の電流では回復電圧の30%以下で放電し、並列抵抗を確実に主間隙に挿入する。定格遮断電流の40%以下では不斉が認められるが、これは遮断電流の波高値の不斉に原因し遮断電流に直流分が含まれて大なる場合8,000 A以上では回復電圧の30%以下で放電する。再起電圧上昇率の高い苛酷な回路条件では遮断電流2,000 Aでも上記の低い電圧で放電を生ずる。すなわち本遮断器の補助間隙は短絡電流の遮断が並列抵抗の挿入を必要とするとき場合は確実に放電することを示している。

〔V〕 短絡遮断特性

空気遮断器は他力消弧型であるから遮断容量の検証には部分試験法によるのが適当であるが、実験設備の容量の関係から完全な部分試験を行うことができないので延伸法的考えをも加味した。試験は単相にて、遮断電圧6.0~30 kV、遮断電流400~20,000 Aの試

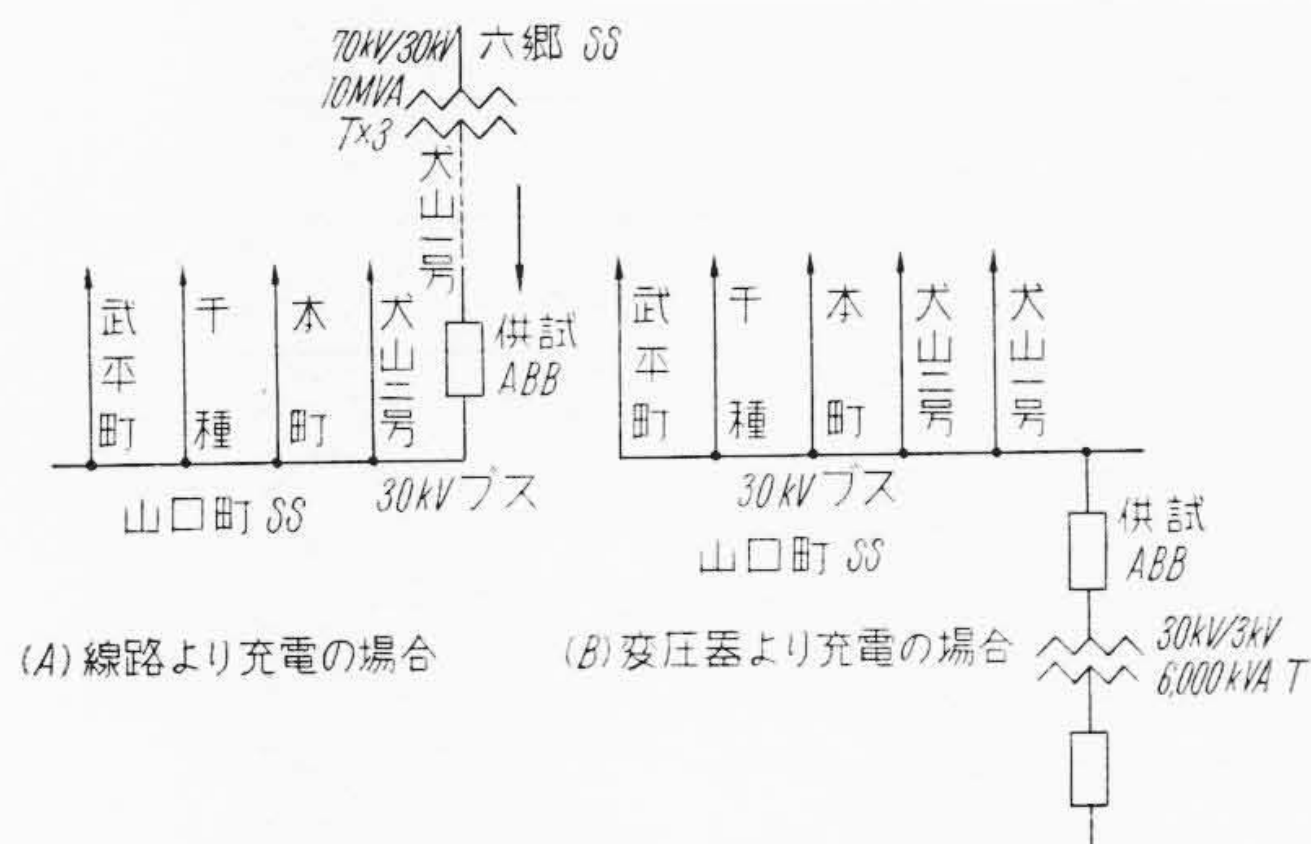
第 1 表 工場試験回路の再起電圧上昇率
Table 1. Increase Ratio of Re-generated Voltage in Experimental Circuit

試験電圧 (kV)	遮断電流 (A)	再起電圧上昇率 (二点換算) (V/ μ s)
30	1,400	1,540
20	2,500	2,200
10	10,000	480
11	15,000	510
6.0	20,000	530
6.6	30,000	880

験を行い、つぎに一遮断点にて同様の試験を行つた。さらに一点遮断で並列抵抗を除き再起電圧上昇率を高くし単相で、遮断電圧 6.0~30kV 400~20,000A, 三相で 11kV 15,000A, 6.6kV 30,000A の試験を行つた、操作気圧は 12~15 kg/cm² とした。これらの試験結果より短絡電流遮断特性を求めると第 9 図および第 10 図のごとくで電弧時間は全試験を通じ半周波前後である。この遮断器の定格遮断電流は 25,000A で、これに対して 6.6kV 20,000~30,000A は異常なく遮断し電弧時間などより遮断電流による電弧の塞流現象は認められなかつた。第 11 図および第 12 図は遮断試験のオッシログラフの例である。

一方再起電圧小委員会により推奨されている JEC 規程案では定格遮断容量における再起電圧周波数は 1,400~で、本遮断器に附属する直線抵抗が挿入されると臨界制動をうけ再起電圧上昇率は 240 V/ μ s 程度となる。

今回の試験回路における再起電圧上昇率は第 1 表のごとくである、たとえば一点遮断で並列抵抗のないとき 11kV 15,000A の遮断の上昇率は 255 V/ μ s でこれを二点遮断に換算すると、遮断電圧 22kV, 上昇率は 510 V/ μ s となる。空気遮断器においては遮断可能電流と再起電圧上昇率の間には一般に逆比例に近い関係が存在する⁽⁴⁾ ので今回の試験結果より定格遮断容量 (34.5 kV 25,000 A) を十分保有していると考えられるがさらに新短絡実験設備で十分なる検証を行う予定である。



第 13 図 現地充電々流試験系統図
Fig. 13. Schematic Diagram of Charging Current Test at Field

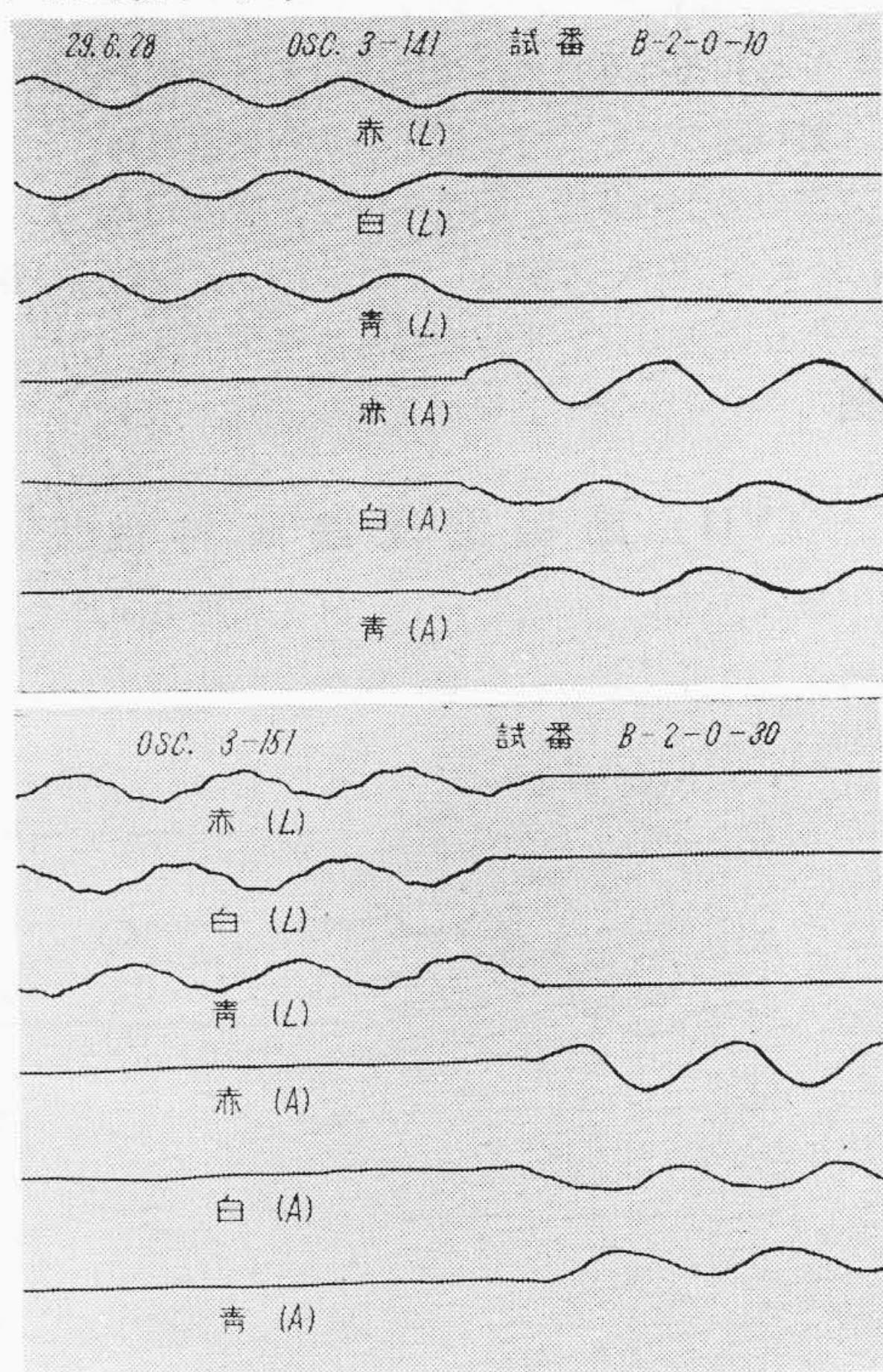
第 2 表 工場充電々流遮断試験結果
Table 2. Results of Charging Current Breaking Test (at Factory)

電圧 (kV)	電流 (A)	電弧時間 (s)	再点弧数	異常電圧倍数	遮断点
25	5	0.63	0		
30	6	0.40~0.74	0		
35	7	0.42~0.67	0		
40	8	0.50~0.70	0		
30	14	0.33~0.58	0		2
35	16	0.24~0.36	0		
13	26	0.15~0.36	0		
15	29	0.04~0.33	0		1

第 3 表 充電々流現地試験結果
Table 3. Result of Charging Current Breaking Test (at Installation Site)

電圧 (kV)	電流 (A)	再発弧回数	再点弧回数	異常電圧倍数	試験回数	動作責務	充電法
33	4	0~2	0	1 以下	5	各 { O 2回 CO 3回	線路から充電
32	10	0~3	0	1 以下	5		
33	22	0~2	0	1 以下	5		
31	4	0	0	1.5 以下*	5	各 { O 2回 CO 3回	変圧器から充電
33	10	0~1	0	1.6 以下*	5		
31	18	0	0	1.5 以下*	5		
31	30	0	0	1.4 以下*	5		

(* 印は投入時のもの)



第 14 図 現地充電々流試験オッシログラム
Fig. 14. Oscillograms of Charging Current Test at Field

第 4 表 工場励磁電流遮断試験結果

Table 4. Result of Exciting Current Breaking Test (at Factory)

電 圧 (kV)	電 流 (A)	電弧時間 (~)	電源側対地異常 電 圧 倍 数	遮断点数
20	8.6	0.36~0.64	1.0~2.5	2
30	0.6	0.35~0.38	1.0~1.1	2

第 5 表 山口町変電所における励磁電流遮断試験結果
Table 5. Result of Exciting Current Breaking Test (at Yamaguchi-machi Substation)

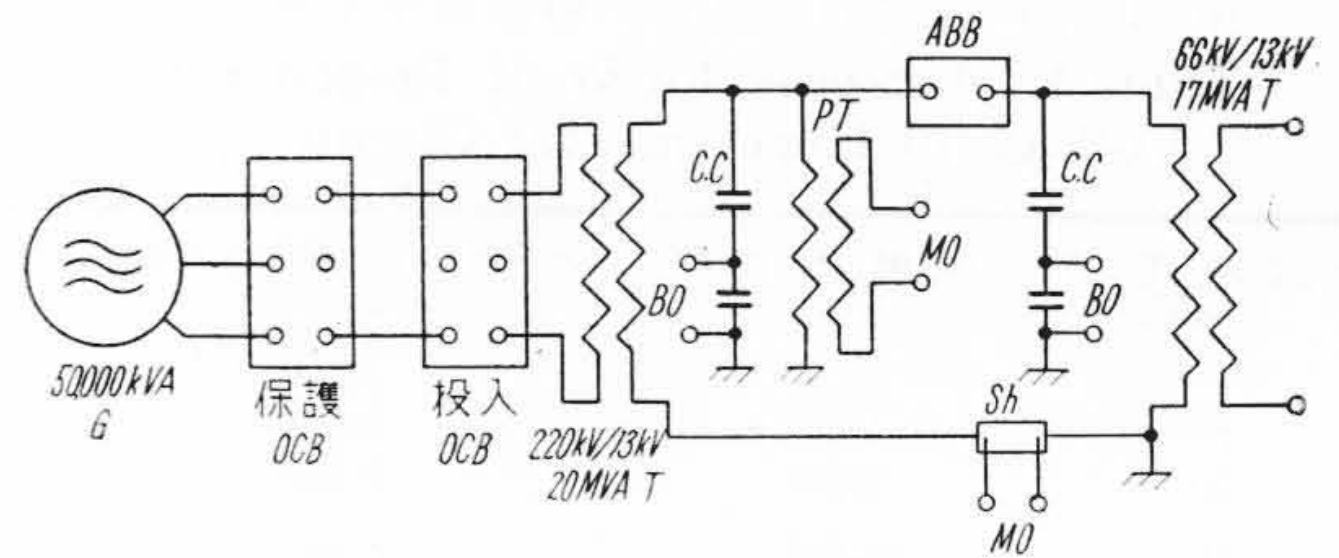
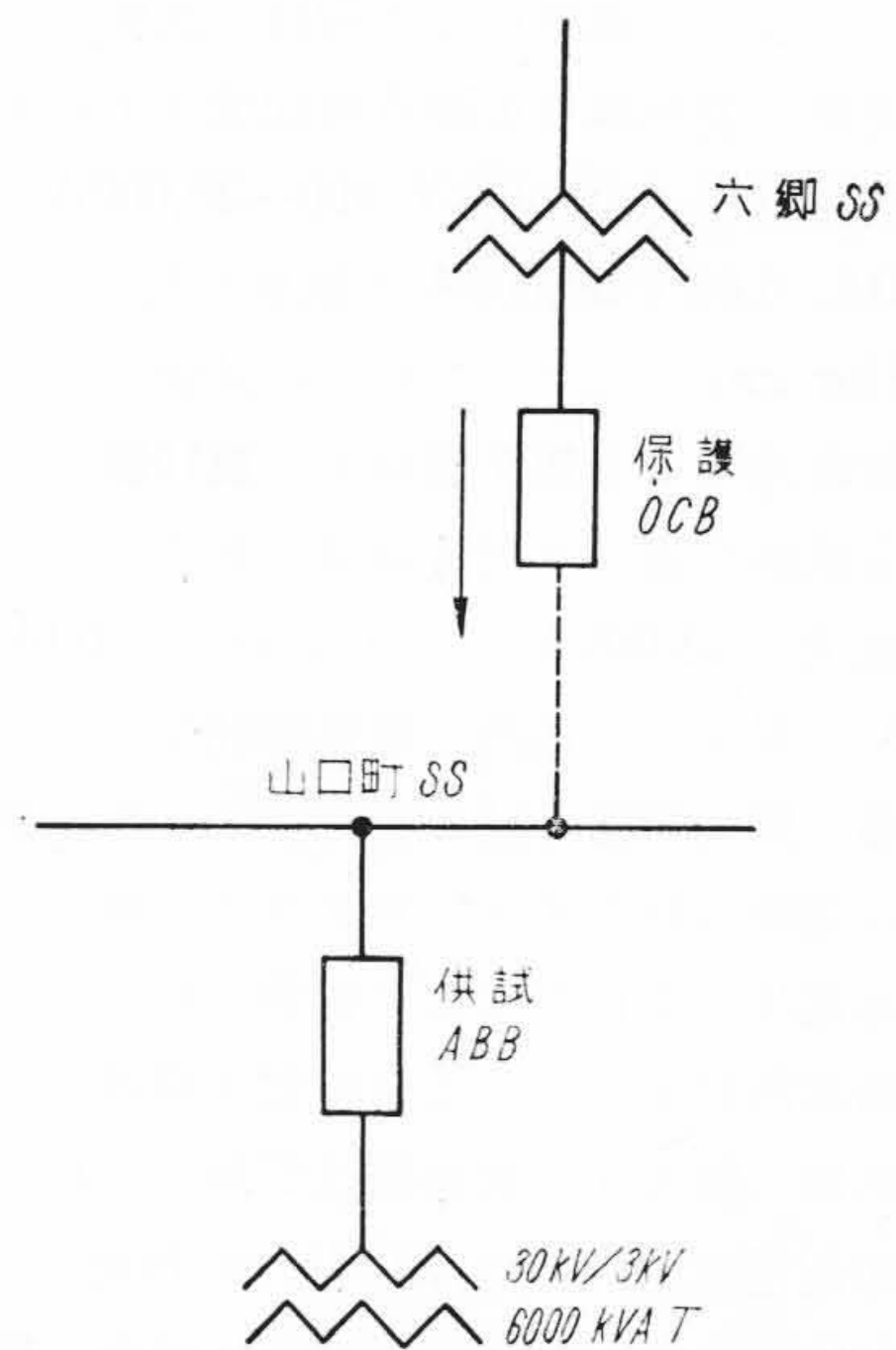
電 圧 (kV)	電 流 (A)	異常電圧 倍 数	動作責務
30	0.9	0.5~1.6	O
30	3.2	0.6~2.0	O
30	1.8 (定常値)	2.5	CO

〔VI〕 充電電流遮断特性

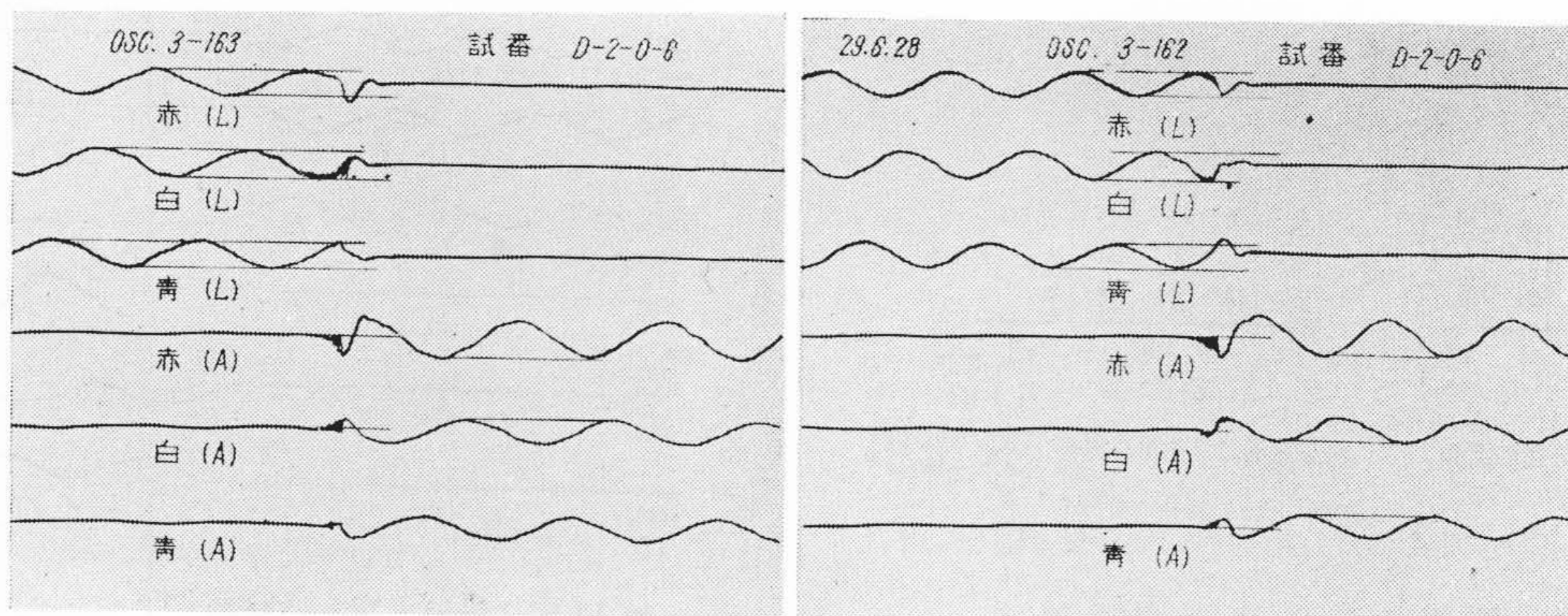
この遮断器は中部電力山口町変電所にて 30 kV ケーブル回路に使用されるため充電電流遮断特性を重視し工場では等価試験回路で無再点弧特性であることを確認した⁽²⁾、すなわち単相二点遮断では 30~40 kV 5~16 A、一点遮断では 15 kV 20~30 A の試験を行つた。試験結果は第 2 表のごとくである。また中部電力株式会社、名古屋市内 30 kV ケーブル委員会主催にて山口町変電所において昭和 29 年 6 月末、現地試験が行われた。試験系統図は第 13 図のごとくで、変圧器から充電の場合と線路から充電の場合の 2 種の回路条件で、電流 5 A, 10 A, 20 A および 30 A に変化して行つた。試験結果は第 3 表のごとくである。いずれの場合も無再点弧であつた、第 14 図はブラウン管オシログラムの一例を示す。

〔VII〕 励磁電流遮断特性

変圧器の励磁電流遮断に対しては工場等価回路における試験と山口町変電所の現地試験が行われた。工場等価

第 15 図 励磁電流工場等価試験回路
Fig. 15. Equivalent Test Circuit of Exciting Current at Factory第 16 図 現地励磁電流試験系統図
Fig. 16. Schematic Diagram of Exciting Current Test at Field

回路は第 15 図のごとく、単相 66 kV 17,000 kVA 変圧器を 220 kV 20,000 kVA 変圧器で励磁しその励磁電流の遮断試験を行つた。山口町変電所では第 16 図のごとき系統図で単相 30 kV 6,000 kVA 変圧器二台を線路より励磁してこの遮断器で遮断を行つた、第 4 表は工場等価

第 17 図 現地励磁電流試験オシログラム
Fig. 17. Oscillograms of Exciting Current Interrupting Test at Field

試験の結果、第5表は現地試験結果である。

いずれの場合も遮断電流による異常電圧は2.5倍以下で機器絶縁上問題となる異常電圧は発生していない。第17図は励磁電流遮断の際のブラウン管オシログラムの一例である。

遮断電流による異常電圧は簡単には次式で表わされる。

$$V = yi\sqrt{\frac{L}{C}}$$

ここに、 i ：遮断電流

$\sqrt{\frac{L}{C}}$ ：サージインピーダンス

y ：減衰係数

この異常電圧は遮断部に並列に挿入されている非直線抵抗と遮断間隙の絶縁耐力、変圧器の減衰抵抗などによって抑制される、今回の試験結果では遮断間隙の絶縁破壊によって異常電圧が抑制されている。第17図のオシログラムよりあきらかなごとく、遮断の際は多重遮断、すなわち電流遮断が起つて異常電圧が発生すると遮断間隙の絶縁破壊を起しこれを多数回繰返し、電流の自然零値付近で完全遮断が起つている場合が多い、したがって異常電圧値は小さい。遮断器の絶縁耐力が高くなつたところで大きい遮断電流で遮断される場合は高い異常電圧が発生する可能性を生ずるのであるが、この場合は並列の非直線抵抗によって異常電圧は抑制される。今回の試験結果では上記の理由でこの効果が明瞭に認められるほど大きい異常電圧は発生していない。遮断電流値を仮定し変圧器の減衰係数を無視して図示解法⁽⁵⁾により異常電圧を計算すると第6表のごとくである。実験の結果では異常電圧は2.5倍以下であり最も悪い条件を仮定した計算結果においても3.5倍以下に抑制されることを示している。

第6表 遮断電流による異常電圧値(計算値)
Table 6. Abnormal Voltage Values in Relation to the Broken Current

変圧器容量 (kVA)	電 圧 (kV)	励磁電流 (A)	回路周波数 (~)	遮断電流値 (A)	異常電 圧倍数
6,000	31.5	3.2	360	$\sqrt{2} \times 3$	3.5
6,000	31.5	0.9	360	$\sqrt{2} \times 0.9$	2.6

〔VIII〕 結 言

(1) 短絡電流遮断特性

単相で遮断電圧 6.0~30 kV 遮断電流 400~2,000 A、また一遮断点につき、並列抵抗を除き再起電圧上昇率を高くし 6.0~30 kV 400~30,000 A の試験を行い、いずれも良好なる遮断性能を示した。

(2) 充電電流遮断特性

31 kV 5~30 A のケーブル回路の遮断で無再点弧である。

(3) 励磁電流遮断特性

工場試験および山口町変電所現地試験において異常電圧は2.5倍以下である。

本遮断器の開発ならびに現地試験においては中部電力株式会社大塚課長より種々御指導ならびに御援助を賜ったこと深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 小林，額田：日立評論 36 8 (昭29-8)
- (2) 鴨志田，早瀬，小林：電気三学会大会予稿 (昭29-10)
- (3) 牧，鴨志田：電気三学会大会予稿 (昭30-5)
- (4) E. B. Rietz, J. W. Beatty: AIEE Tech. Paper 53-47
- (5) 中西：電気学会誌 29-12



新 案 の 紹 介



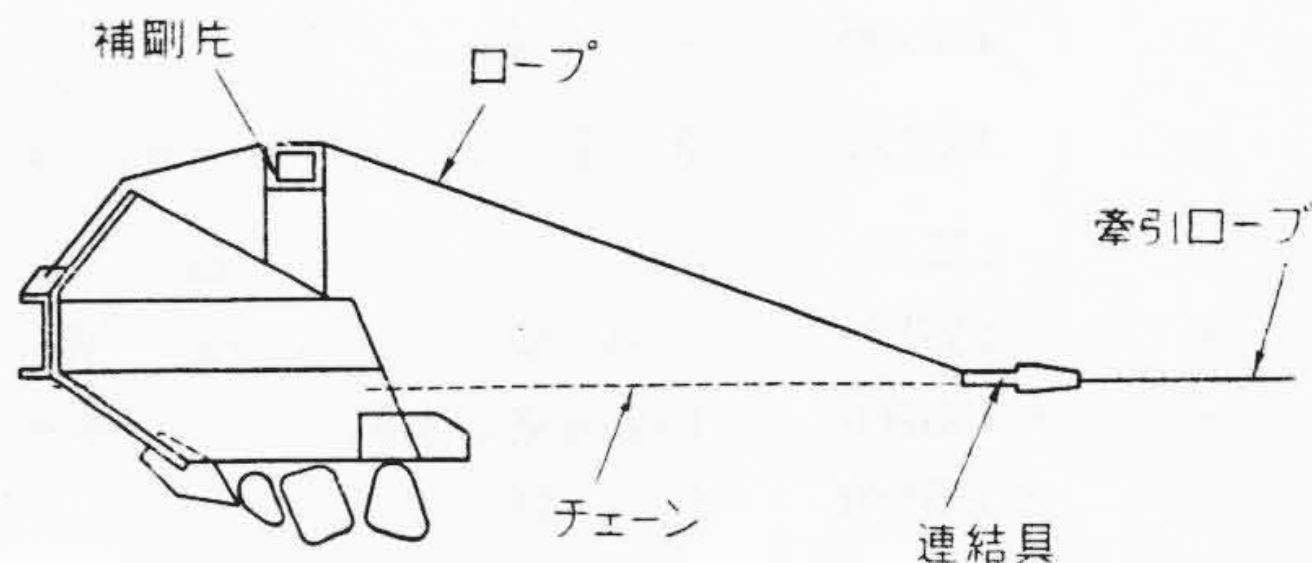
実用新案第423354号

阿 部 哲 義

掘 削 用 バ ケ ッ ト

この考案は、けん引ロープに連結するバケットの連結具に、連結具とバケットとをつなぐ通常のチェーンのほかにロープを固定し、そのロープの他端をバケット前面の補剛片中央上部かまたはそこを経てバケットの後尾に連結したことを特徴とするものである。

この考案によれば、きわめて簡単に掘削中におけるバケットの安定度を高めるとともに爪のくい込みを良くすることができる。(富 田)





最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その 4)

(第 54 頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	217185	変 圧 器 分 割 油 槽 の 熔 接 方 法	日立工場	阿 部 春 雄	30.10.29
"	217207	小 水 車 制 速 装 置	日立工場	鯨 沢 秀 夫	"
"	217208	高 圧 高 温 用 蒸 気 タ ー ビ ン	日立工場	郡 司 五 郎	"
"	217209	回 転 電 機 の 励 磁 度 自 動 調 整 装 置	日立工場	前 加 藤 正 敏	"
"	217211	電 磁 式 流 量 測 定 装 置	日立工場	齋 藤 良 平	"
"	217219	流 量 計 測 装 置	日立工場	岩 淵 芳 男	"
"	217213	過制動時における巻上機のブレーキハンドル復帰装置	亀有工場	井 上 昌 啓	"
"	217216	巻 上 機 な ど の 制 動 機	亀有工場	小 林 喜 八 郎	"
"	217217	巻上機の非常制動作用重畳防止装置	亀有工場	井 上 啓	"
"	217220	巻上機のブレーキハンドルによる制動確認装置	亀有工場	神 尾 昌 史	"
"	217221	冷凍機用ロータリー圧縮機の軽起動装置	栃木工場	楠 本 陽 一 郎	"
"	217184	気 化 器	多賀工場	藤 原 連 次	"
"	217212	ホ イ ス ト な ど の 制 動 装 置	多賀工場	横 内 直 中	"
"	217218	角 度 指 示 装 置	多賀工場	宗 像 晋 介	"
"	217183	イ ン ハ ル ス 発 生 装 置	戸塚工場	軽 部 政 雄	"
"	217186	炭 素 粉 充 填 法	戸塚工場	池 田 国 治	"
"	217205	衝 流 式 遠 隔 測 定 装 置	戸塚工場	三 木 正 一	"
"	217210	幅を変化させる三角波、梯形波、矩形波ハルスの発生方式	戸塚工場	波 多 野 泰 吉	"
"	217215	積 算 量 遠 隔 測 定 方 式	戸塚工場	田 島 巖	"
"	217206	螢 光 体	中央研究所	青 木 米 作	"
特 許	217214	共 振 式 指 示 厚 み 計	中央研究所	安 藤 文 雄	30.10.29
実用新案	435149	同 期 機 の 力 率 自 動 制 御 装 置	日立工場	今 尾 隆	30.10.21
"	435150	大 型 回 転 機 の 始 動 安 全 装 置	日立工場	大 里 幸 男	"
"	435151	高 速 度 遮 断 器	日立工場	平 川 克 己	"
"	435152	電気車の発電制動における界磁他励磁装置	日立工場	合 田 義 勇	"
"	435153	電気車の電気制動自動制御装置	日立工場	合 田 義 勇	"
"	435154	電気車電気制動自動制御装置	日立工場	平 田 憲 一	"
"	435155	豎 軸 回 転 電 気 の 制 動 装 置	日立工場	長 尾 善 右 衛 門	"
"	435156	豎 軸 水 車 電 機	日立工場	滑 川 清	"
"	435157	水 車 用 調 速 機 操 作 装 置	日立工場	鯨 外 沢 秀 夫	"
"	435158	電 動 界 磁 調 整 器	日立工場	豊 田 隆 太 郎	"
"	435159	直 接 操 作 制 御 器 の 発 電 制 動 装 置	日立工場	高 村 正 夫	"
"	435160	車輛用発電制動における界磁他励磁装置	日立工場	古 山 義 雄	"
"	435169	水 平 切 三 相 断 路 器 操 作 装 置	日立工場	滑 川 清	"
実用新案	435171	吐 出 弁	日立工場	安 兼 島 子 賢 二	30.10.21

(第 62 頁へ続く)