

最近の日立空気しゃ断器

Latest Hitachi Air-Blast Circuit Breaker

仲 野 善 一* 田 村 昌 興*
Zen'ichi Nakano Masaoki Tamura
竹 内 茂 隆* 細 川 正 男**
Shigetaka Takeuchi Masao Hosokawa

要 旨

高電圧しゃ断器に対する技術的要求は、電力系統の高信頼性に対する要求が高くなるに伴い、ますます高度なものとなっている。日立製作所では、これらの問題に対し、ふだんの研究開発に努めているが、本稿では空気しゃ断器についての最近の技術的進歩を紹介する。

1. 緒 言

近年、電力需要の増加は著しいものがあり、特にその需要は都会地周辺に集中する傾向がある。このため、電力機器の単機容量も著しく大容量化され、これら電力機器の保護装置として使用されるしゃ断器も、大容量のものが用いられる。この反面、実用性能面でも高い信頼性を持つものが要求されている。

日立製作所では、これら諸問題についての研究開発に努め、その成果として、日立独自の技術による新鋭器を発表してきた。本稿では、最近のしゃ断器に関する諸問題に触れ、あわせて日立製作所における開発状況について述べる。

2. しゃ断器に要求される諸特性

2.1 定格電流およびしゃ断容量

大都市の負荷密度が高まるにつれて、大電力を供給するため都市周辺に発電所が建設されているが、これらの単機容量は 600 MW ないし 1,000 MW にも達しようとしている。また送電線は、海岸地区の火力発電所から都市までの距離が短いため、大電流送電が可能である。このためわが国では、超高圧系統でも、定格電流 3,000～4,000 A 級のものが要求され、近い将来には 5,000 A を越える機器も要求されようとしている。

一方、系統の短絡容量も著しく増加し、300 kV 系統で 25 GVA、近く実施される 500 kV 超々高圧系統では 38～45 GVA が必要となる見通しである。また 10～20 kV 用しゃ断器についても、揚水発電所の発電機容量の飛躍的増大に伴い、定格電流 6,000 A、短絡容量 3 GVA (短絡電流 100 kA) 程度のしゃ断器が使用されている。

2.2 再起電圧

一般に空気しゃ断器のような他力消弧形しゃ断器では、アーク消滅後の極間の絶縁耐力回復特性と再起電圧との相克によりしゃ断の成否が決定されるため、回路の再起電圧はしゃ断器の短絡性能を決定する重要な因子となる。絶縁耐力回復特性はしゃ断器自体の設計により決定されるが、再起電圧はそれぞれの系統の諸定数により決まる。わが国においては、現在、JEC-145 により各電圧階級に応じた再起電圧が規定されているが、近年、系統の短絡容量増大と、系統構成、単機容量の増大などから、高い再起電圧条件に遭遇する機会が増してきた。現在電気学会のしゃ断器標準特別委員会において JEC-145 の改訂審議が進められているが、この案によれば、再起電圧周波数として現行の 2.5 倍 (定格しゃ断電流において) が規定されようとしている。

さらに過酷な再起電圧条件として、近距離線路故障 (SLF) しゃ

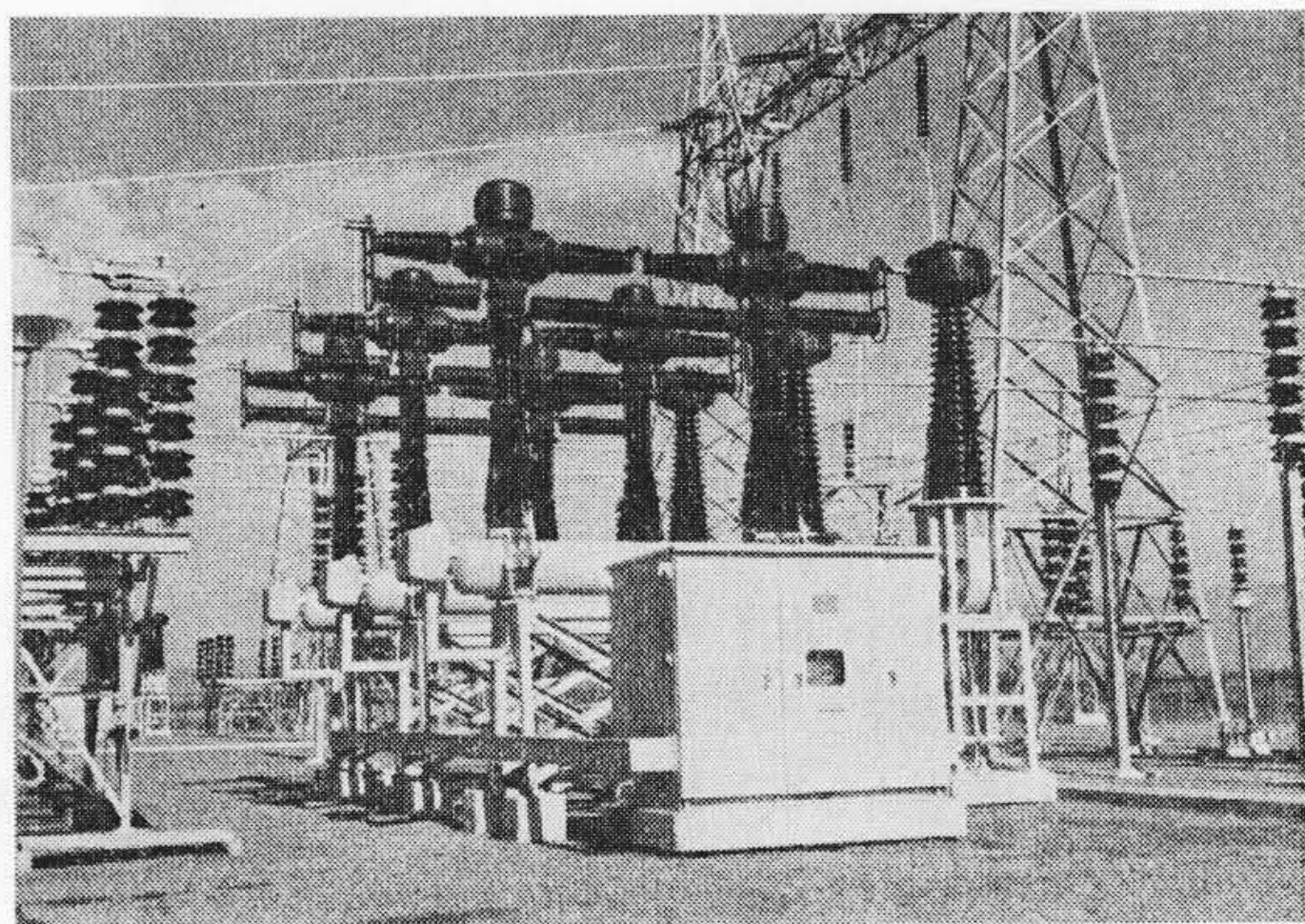


図1 OPG-1,000 C-PAR, 242 kV, 1,600 A, 10,000 MVA
空気しゃ断器

断がある。SLF しゃ断時の再起電圧上昇率は、線路のサージインピーダンス、電源周波数、しゃ断電流波高値の三つの積で表わされ通常の端子短絡しゃ断時の 10～20 倍の峻度(しゅんど)となる。一方、再起電圧波高値は、しゃ断器端子と故障点間を残留電荷が往復反射する時間によって決まり、故障点の近いほど(しゃ断電流の大きいほど)立上がりは速いが波高値が小さく、故障点が遠方になり、しゃ断電流が小さくなるに従い、立上がりは遅いが波高値の高い再起電圧となる。

これらの条件を考慮して、端子短絡しゃ断の 70～80% しゃ断電流となる SLF が、空気しゃ断器に対して最も過酷な再起電圧を与える故障条件であると考えられる。超高圧系統では一般に、3～4 本の複導体を使用されていて、サージインピーダンスが 300 Ω 前後と低く、使用されるしゃ断器のしゃ断点数も多いため、各しゃ断点当たりの再起電圧条件が緩和される。むしろ 60～70 kV 系統で、サージインピーダンスが大きく、しゃ断器のしゃ断点数の少ない場合が過酷な条件になる。

しかし最近の空気しゃ断器は、過酷な再起電圧に対処するため、操作圧力の昇圧や、低抵抗しゃ断方式の開発が行なわれ、SLF しゃ断にもじゅうぶんな検討が加えられている。

2.3 しゃ断器の絶縁耐力と絶縁協調

現在しゃ断器の国内規格では、極間、対地についての、標準波形による衝撃波耐電圧が規定されている。しかし、しゃ断器が山間の発電所に設置され、近接地で送電線に落雷があった場合には逆せん絡によって峻度の高い衝撃電圧が侵入し、しゃ断器の絶縁をおびやかす場合がある。これは、一般にしゃ断器極間は平等電界になるよう設計されるため、ほぼ平坦な V-t 特性を示すが、対地間は大気中の絶縁で、仮に保護ギャップが取り付けられていても、不平等電界となって、V-t 特性が時間の短い領域で立ち上がる。この

* 日立製作所国分工場

** 日立製作所日立研究所

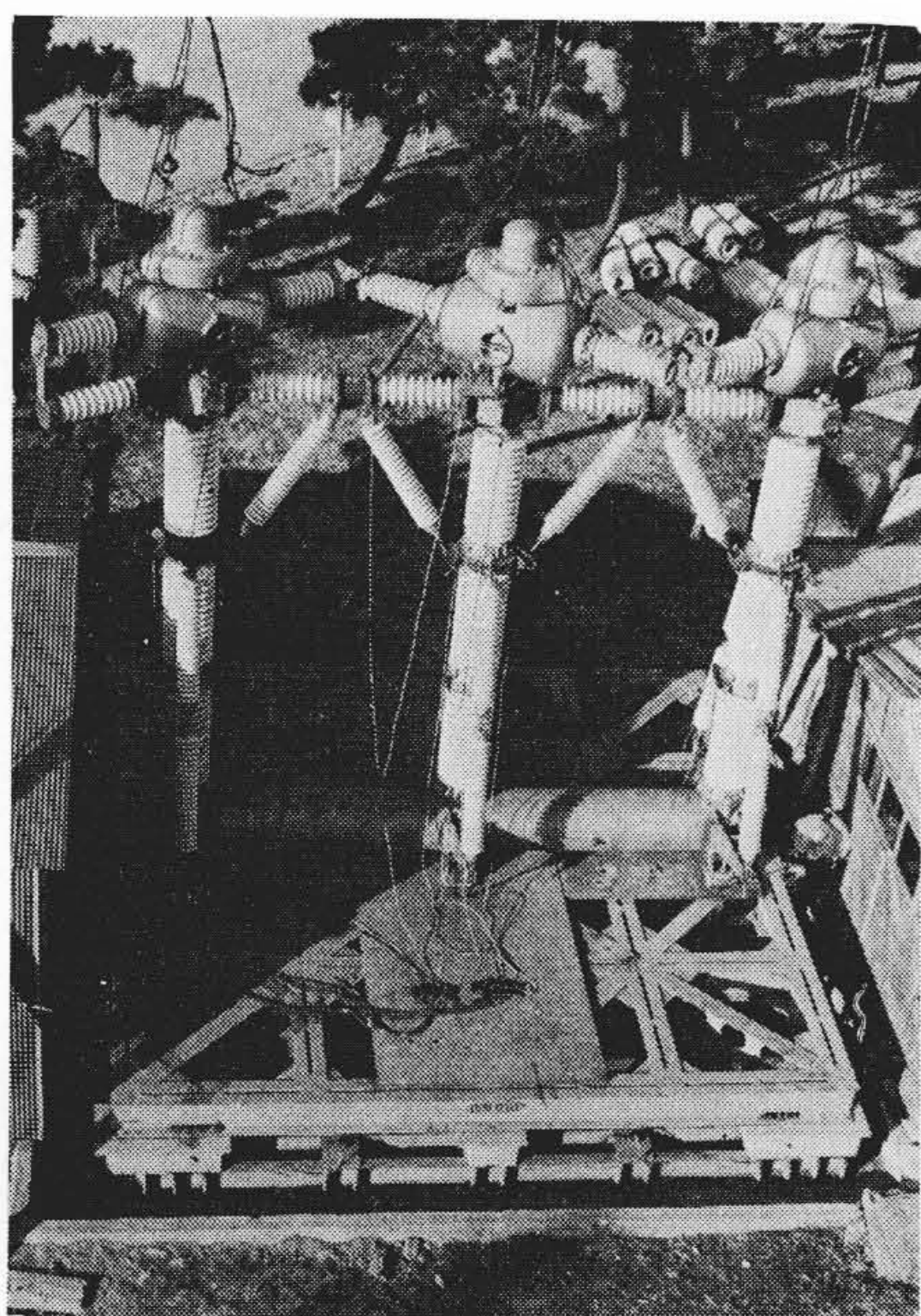


図2 OPG形300 kV 空気しゃ断器の振動試験状況

ため、両者は波頭長数 μs 以下で交差し、急峻波頭の衝撃波に対して、しゃ断器極間が破壊される恐れがある。これらは、電力系統全体の絶縁協調にも関連するが、特に雷撃の多い系統には、線路側にアレスタを入れるか、あるいは、一段絶縁耐力の高いしゃ断器を設置することが望ましい。後述の OPG-C 形 ABB では、このような場合に使用されてもじゅうぶんな絶縁耐力を持つことが確認されている。

2.4 シャ断器の実用性能

2.4.1 耐震強度

従来、しゃ断器、断路器など変電機器に対しての耐震強度は、水平加速度 $0.5g$ に耐えることを目標として設計されてきた。しかし近年、高電圧変電機器の地震による被災の例も出ており、その原因究明の研究が進められた結果⁽¹⁾、機器の固有振動数と地震波との共振現象により、支持がい管などに $10 \sim 20$ 倍の応力が生ずる場合のあることが判明した。特に $168 kV$ 以上のしゃ断器では、しゃ断容量の増大に伴い充電部にあるユニットしゃ断部が大形となり大地からの隔絶距離が増す結果、いっそう過酷な条件となる。

これらのしゃ断器は一つの振動系と見なせるため、計算あるいは実機をとう載できる振動機により加振し、各部の応力や周波数特性が調べられている。この結果、しゃ断器の耐震構造としては、振動系の減衰成分を増す意味で防震ゴムを使用し、各しゃ断部ユニット間をがい子でラーメン構造に近くするよう補強するなどの対策がとられている。図2は実機による振動試験状況を示したものである。なお $500 kV$ 空気しゃ断器では、実機寸法が大きいため、 $1/4$ モデル器による耐震試験⁽²⁾が行なわれている。

2.4.2 操作音対策

空気しゃ断器は性能のすぐれている反面、激しい操作音を発することが難点とされてきた。日立製作所では昭和32年から空気しゃ断器の低騒音化に対する基礎研究⁽³⁾を行ない、騒音発生メカニズムを解明し、昭和38年から本格的に低騒音形空気しゃ断器を納入してきた。消音器の方式としては、(1)排気ガスを直接大気中に放出しないチャージタンク式、(2)多数の小孔を利用し、排気ガスの流速を低下させる細孔式、(3)多段の容積と絞り孔を応用した多段排気容積形などがある。(1)の方式は東海道新

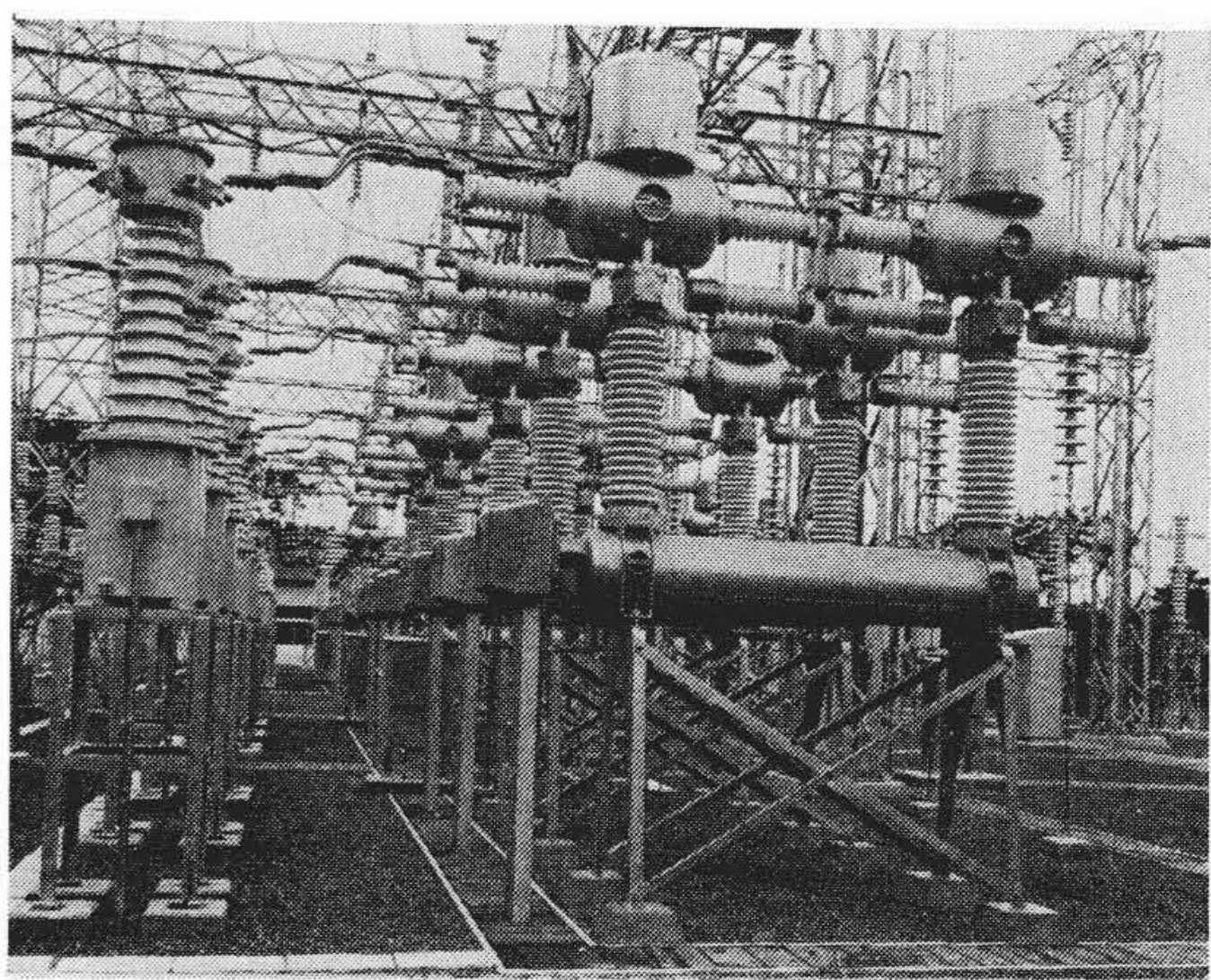


図3 OPG-500A-PARS, 120 kV, 2,000 A, 5,000 MVA 低騒音形空気しゃ断器

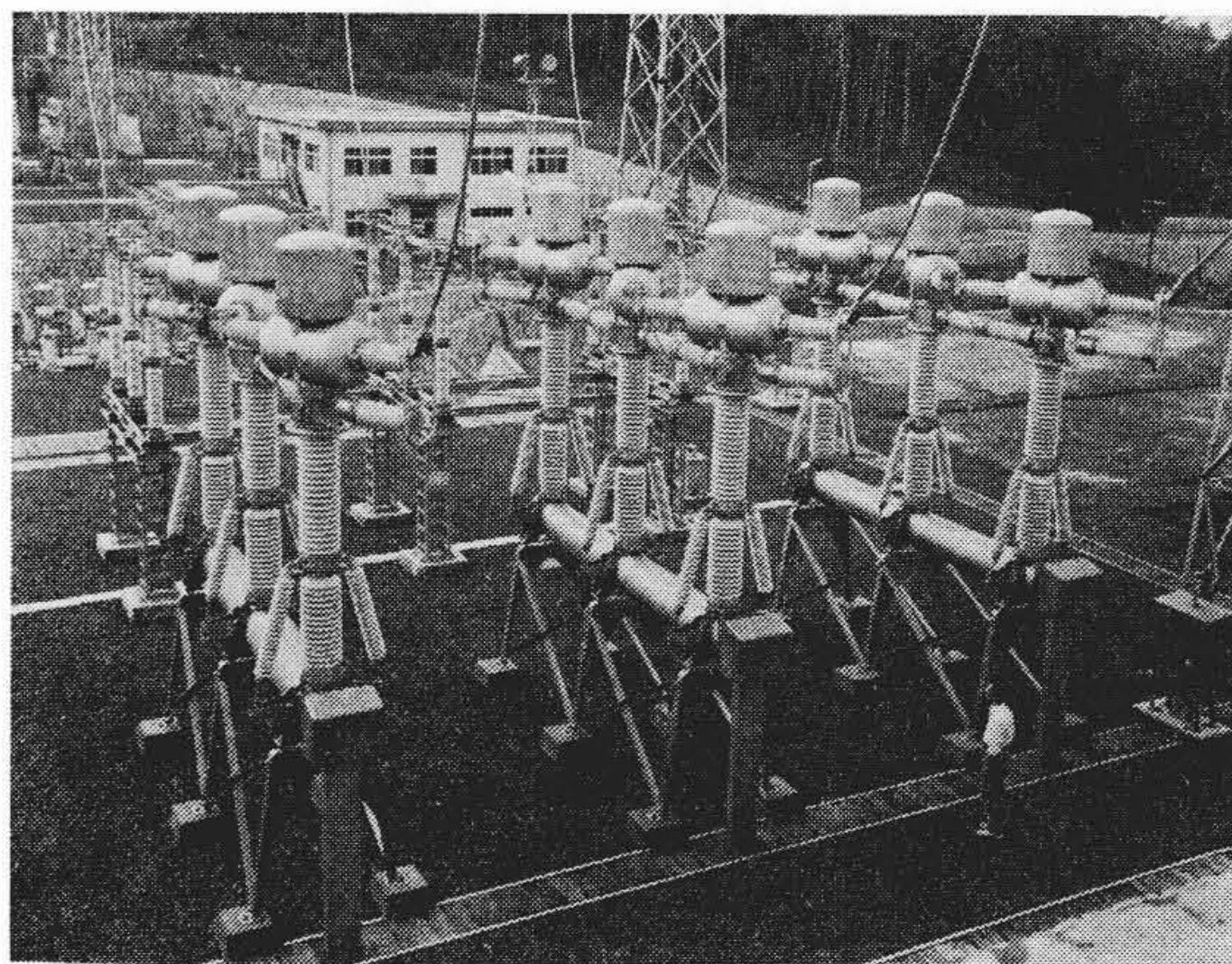


図4 OPG-1,000A-PARS, 240 kV, 2,000 A, 10,000 MVA 低騒音形空気しゃ断器

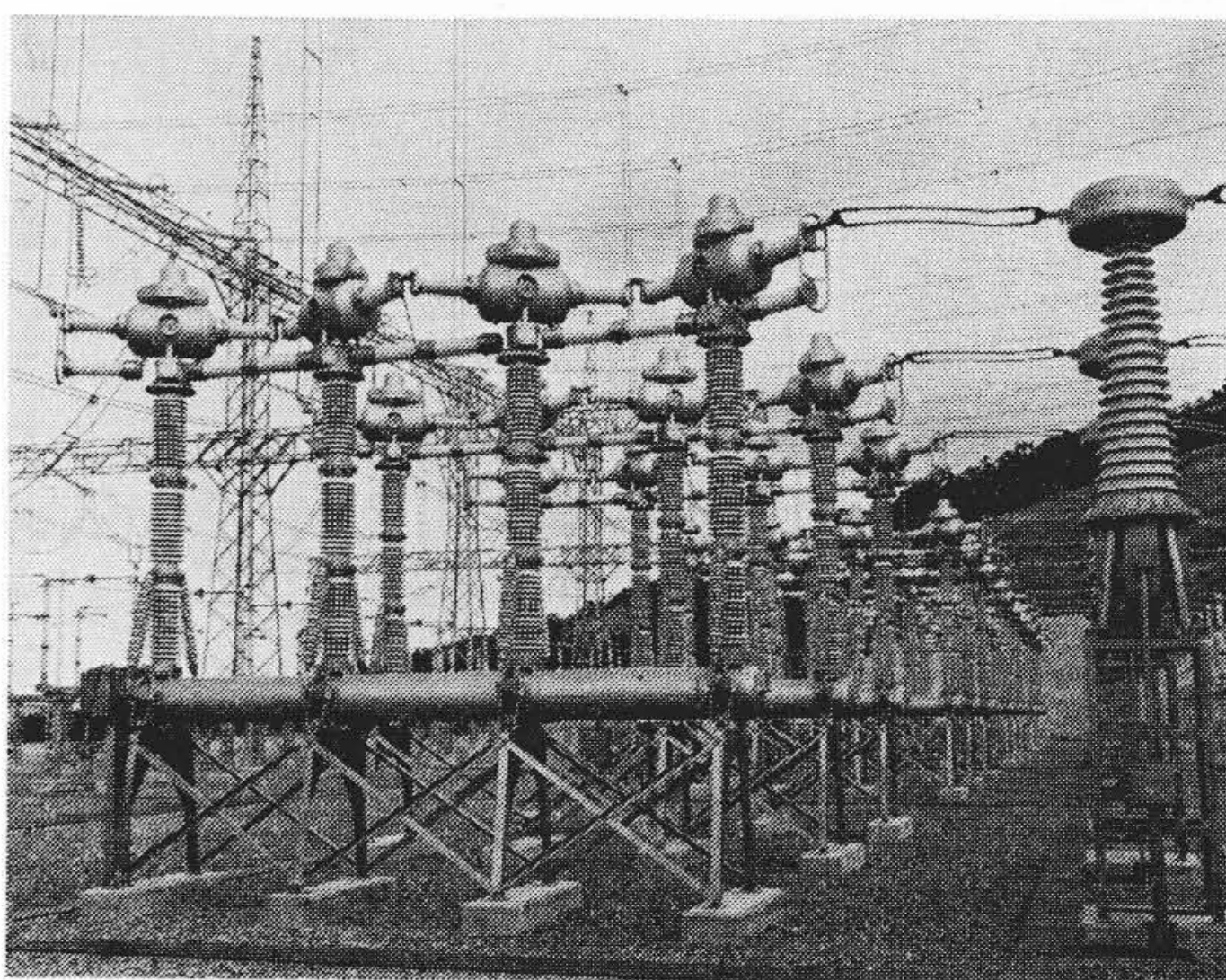


図5 OPG-1,500A-PAR, 300 kV, 2,000 A, 15,000 MVA 空気しゃ断器

幹線用空気しゃ断器に採用され、(2)の方式は甲号など動作責務の比較的ゆっくりした条件で使用される $20 \sim 30 kV$ 級屋内用空気しゃ断器に使用されている。また、(3)の方式は、日立製作所で多数納入している常時充気式内部断路形 (OPF, OPG, OPH 形) のしゃ断器に適用されている⁽⁴⁾。 $84 kV$ しゃ断器の例では、 $40 m$ 地点で 86 ホンと、従来形に比較して約 20 ホン近く低くなり、油しゃ断器とほぼ同じレベルになっている。

3. 日立空気しゃ断器の系列

3.1 OPG 形系列

OPG 形系列⁽⁵⁾は多数の納入実績と安定した運転実績をもつ、日

表1 日立空気しゃ断器定格一覧表

形 式	電 圧 (kV)	電 流 (A)	しゃ断 容量 (kVA)	短時間 電 流 (kA)	投 入 電 流 (kA)	絶 縁 階 級 (号)	しゃ断 時 間 (cycles)	投 入 時 間 (s)	操 作 圧 力 (kg/ cm ²)	空気消費量 (大気圧換算) (<i>l</i>)		空気溜 容 (しゃ断 室を含む) (<i>l</i>)	重 量 (t)	動 作 責 務	備 考
										投 入	引はずし				
OPG- 250A-PA	72/84	1,200 2,000 (3,000)	2,500	20.1	54.8	70	5	0.1	15	800	1,300	1,100	2.8	甲号または乙号	
OPG- 350A-PA	72/84	1,200 2,000 (3,000)	3,500	28.1	76.5	70	5	0.1	15	800	1,300	1,100	2.8	甲号または乙号	
OPG- 500B-PA	84	2,000 (3,000)	5,000	34.4	93.7	70	5	0.1	15	850	1,500	1,600	2.8	甲号または乙号	
OPG- 350A-PAR	120	1,200 2,000 (3,000)	3,500	16.8	46.0	100	3	0.1	15	1,300	2,800	2,500	6.6	再 投 入	
OPG- 500A-PAR	120	1,200 2,000 (3,000)	5,000	24.0	65.8	100	3	0.1	15	1,300	2,800	2,500	6.6	再 投 入	
OPG- 750B-PAR	120	2,000 (3,000)	7,500	36.1	98.6	100	3	0.1	15	1,500	3,500	3,700	6.6	再 投 入	
OPG- 500A-PAR	168	1,200 2,000 (3,000)	5,000	17.2	47.0	140	3	0.1	15	1,300	2,800	2,500	6.8	再 投 入	
OPG- 750A-PAR	168/204	1,200 2,000 (3,000)	7,500	25.8	70.3	140	3	0.1	15	1,300	2,800	2,500	6.8	再 投 入	
OPG-1000B-PAR	168/204	2,000 (3,000)	10,000	34.4	93.7	140	3	0.1	15	1,500	3,500	3,700	6.8	再 投 入	
OPG-1000A-PAR	240	1,200 2,000 (3,000)	10,000	24.0	65.8	170	3	0.1	15	2,000	4,000	3,900	10.5	再 投 入	
OPG-1500B-PAR	240	2,000 (3,000)	15,000	36.1	98.6	170	3	0.1	15	2,500	5,200	5,500	10.5	再 投 入	
OPG-1000A-PAR	300	1,200 2,000 (3,000)	10,000	19.3	52.5	200	3	0.1	15	2,000	4,000	4,000	12.0	再 投 入	
OPG-1500A-PAR	300	1,200 2,000 (3,000)	15,000	28.9	78.8	200	3	0.1	15	2,700	5,400	5,400	16.0	再 投 入	
OPG-2000B-PAR	300	2,000 (3,000)	20,000	38.5	105.0	200	3	0.1	15	3,800	7,000	7,500	16.0	再 投 入	
OPG- 350C-PA	72	1,200 2,000 3,000	3,500	28.1	76.5	60	3	0.1	20	1,400	2,400	1,900	3.6	甲号または乙号	高再起電圧用 (並列抵抗付)
OPG- 500C-PA	72	1,200 2,000 3,000	5,000	40.1	109.0	60	3	0.1	20	1,700	2,900	2,300	4.5	甲号または乙号	一般用または 高再起電圧用 (並列抵抗付)
OPG- 500C-PAR	120/121*	1,600 2,000 3,000	5,000	24.0	65.5	100	3	0.1	20	1,400	2,400	1,900	3.5	再 投 入	*USAS 準拠
OPG-1000C-PAR	240/242*	1,600 2,000 3,000	10,000	24.0	65.5	170	3	0.1	20	2,800	4,800	3,800	7.7	再 投 入	*USAS 準拠
OPG-1000C-PAR	362*	1,600 2,000 3,000	15,000	24.0	65.5	1,300 (kV)	3	0.1	20	4,200	7,200	5,700	11.5	再 投 入	*USAS 準拠
OPH-2000B-PAR	300	2,000 4,000	20,000	38.5	100.5	200	3	0.1	30	7,500	10,500	7,500	24.0	再 投 入	
OPH-2500B-PAR	300	2,000 4,000	25,000	48.0	131.0	200	3	0.1	30	7,500	10,500	7,500	24.3	再 投 入	並列抵抗付
PBC- 75-PAS	12	1,200 2,000 3,000	750	36.1	98.5	10号 (B)	3	0.1	15	50	650	100	0.5/1.2	甲号または乙号	3,000Aは1.2t
PBC-100-PAS	24	600 1,200 2,000	1,000	24.1	65.5	20号 (B)	3	0.1	15	50	650	90	0.5	甲号または乙号	
PBC-150-PAS	36	600 1,200 2,000	1,500	24.1	65.5	30号 (B)	3	0.1	15	50	760	175	0.65	甲号または乙号	
PBC-300-PA	24	5,000	3,000	100.0	250.0	20号 (A)	3	0.15	15	150	3,800	1,070	4.6	甲号または乙号	

立空気しゃ断器の代表的機種で、定格電流 1,200～3,000 A をカバーし、しゃ断電流 30 kA の OPG-A 形と 40 kA の OPG-B 形とがある。本系列機種は実用性能面にも特に重点を置いて設計されており、(1) 別個に管理されたしゃ断器の各ユニットを単に積み重ねるだけで、機械的、空気の連結をも合わせて 1 台のしゃ断器が完成するユニットシステム、(2) 2 個のしゃ断点を 1 個の操作弁で操作し、点検の手数を半減させたしゃ断部の構造、(3) 簡単確実に高速操作に適した機械的引張り操作棒を用いた操作機構、などの特長は、現在に至る日立空気しゃ断器の基本構造を決定したものである。

本系列器は、支持がい管のひだ数を増した多ひだがい管を、また深ひだ形のブッシングがい子、コンデンサがい子を用いることによって耐塩害形を構成する。また前述のように、標準カバーを消音カバーに交換するのみで低騒音形となる。図 5 は 300 kV、OPG 形空

気しゃ断器の外観、図 3 は 120 kV、図 4 は 240 kV、OPG 低騒音形空気しゃ断器の外観を示したものである。

3.2 OPH 形 系 列

OPH 形系列⁽⁶⁾は、定格電圧 300 kV 以上の超高压系統に使用される大容量形空気しゃ断器で、定格電流 2,000 A、4,000 A の 2 定格がある。操作圧力に 30 kg/cm² を採用し、しゃ断性能、絶縁性能を向上させて、300 kV を 4 点で構成しているの、大容量形にもかかわらず、据付面積などかえって小形となっている。構造の基本原理は OPG 形と同一で、ユニットシステム、簡潔なしゃ断部構成、確実に高速操作に適するよう機械的に連結された操作機構などの特長がそのまま適用されている。図 6 は 300 kV、25,000 MVA、OPH 形空気しゃ断器の外観である。

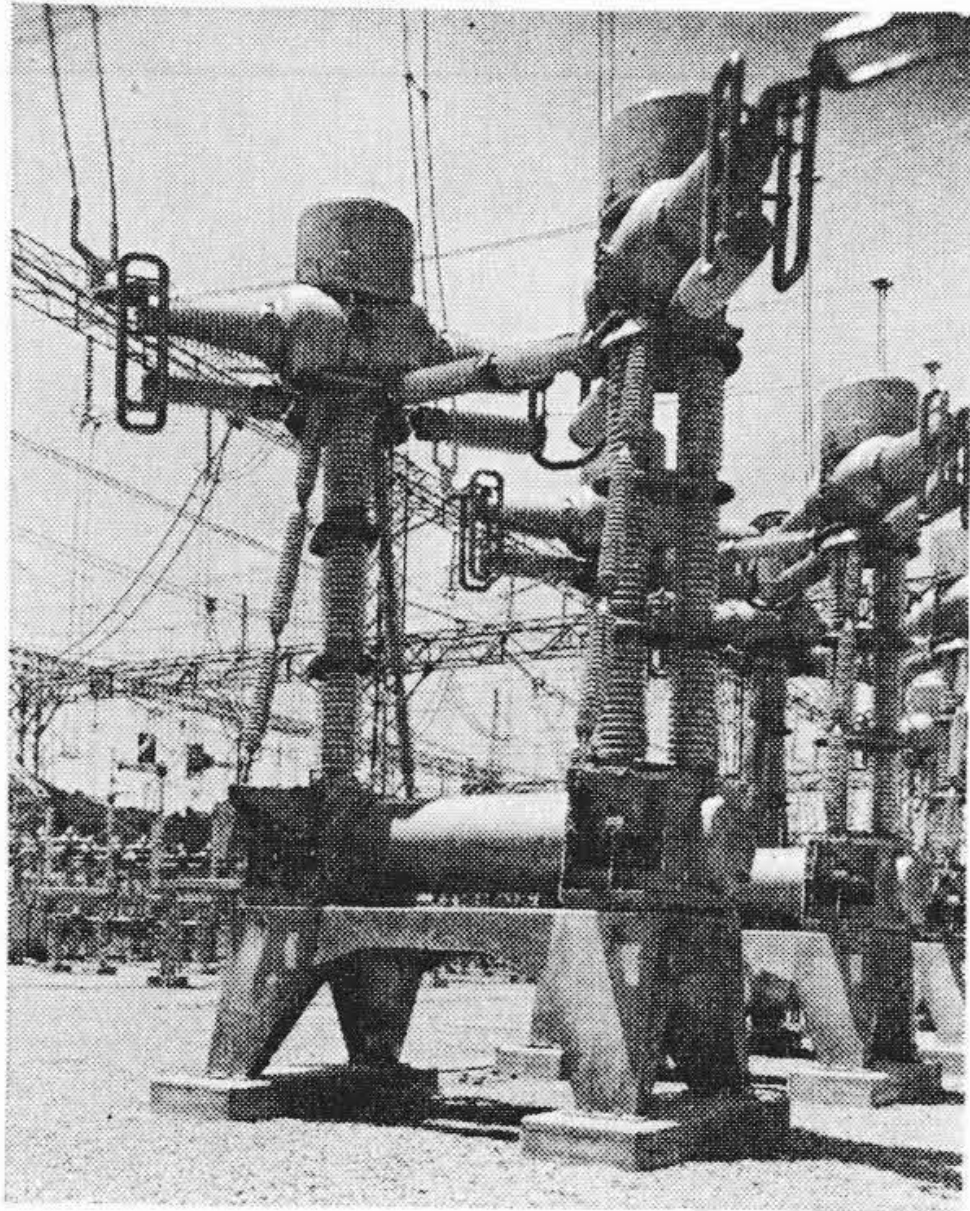


図6 OPH-2,500B-PAR
300 kV, 4,000 A, 25,000 MVA
空気しゃ断器

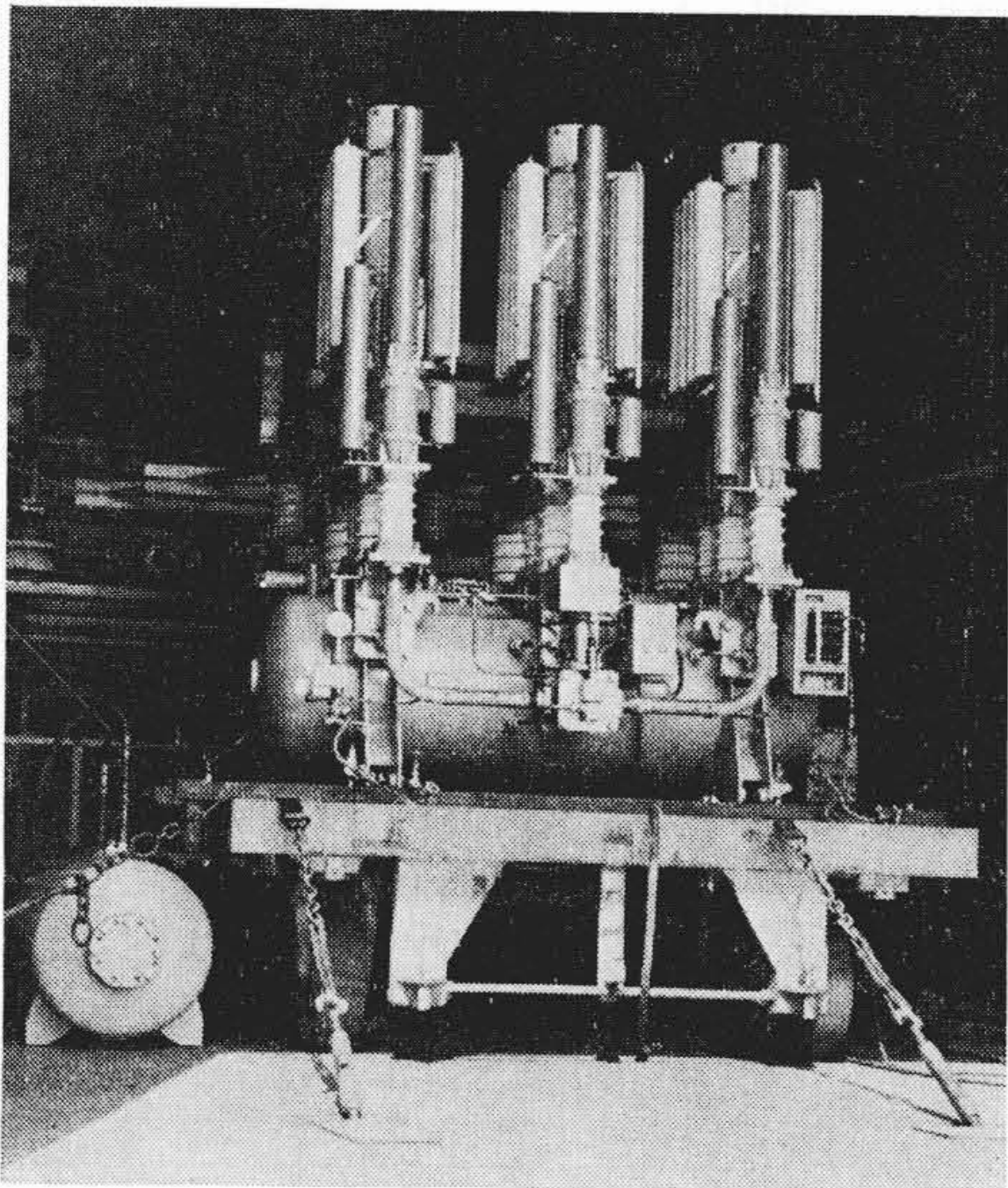


図8 24 kV, 6,000 A, 2,700 MVA (at 15.7 kV)
PBCR-270 PA 屋内用大容量空気しゃ断器

3.3 OPG-C形系列

OPG-C形系列空気しゃ断器⁽⁷⁾は、多数の納入実績をもつOPG形を基礎とし、基本構造を変えなすにユニット容量を大きくしたものである。たとえばOPG形のしゃ断部ユニットとOPG-C形のしゃ断部ユニットをそっくり交換しても、しゃ断器の動作、性能上、支障なく動作する。本系列機種は表1のように、国外の115 kV, 230 kV系列をも考慮して製作され、既にアメリカ、オーストラリア、ベネズエラなどへの輸出実績がある。図1はアメリカ内務省開拓局納入の230 kV空気しゃ断器である。

図7は、しゃ断器の基本構造説明図で、OPG形の方式をそのまま継承しているが、固定子部分は、しゃ断部タンク内部に突き出したブッシングがい子により支持される方式に代わって、固定子支持がい子により支持され、絶縁耐力を増強している。

OPG-C形系列の電流定格には、1,200 A, 1,600 A, 2,000 A, 3,000 Aの4定格があり、各定格に応じた通電試験結果が、接触子の最高温度上昇39℃と、銀接触の規格の許容値に対し、じゅうぶん余裕ある結果を得ている。また耐電圧特性は、121 kV, 242 kV両定格とも、USAS, C37.09による耐電圧試験に合格している。

短絡試験は、昭和42年12月、超高研武山研究所において、BSおよびASTAに基づいて行なわれ、110 kV, 5,000 MVA 定格に対

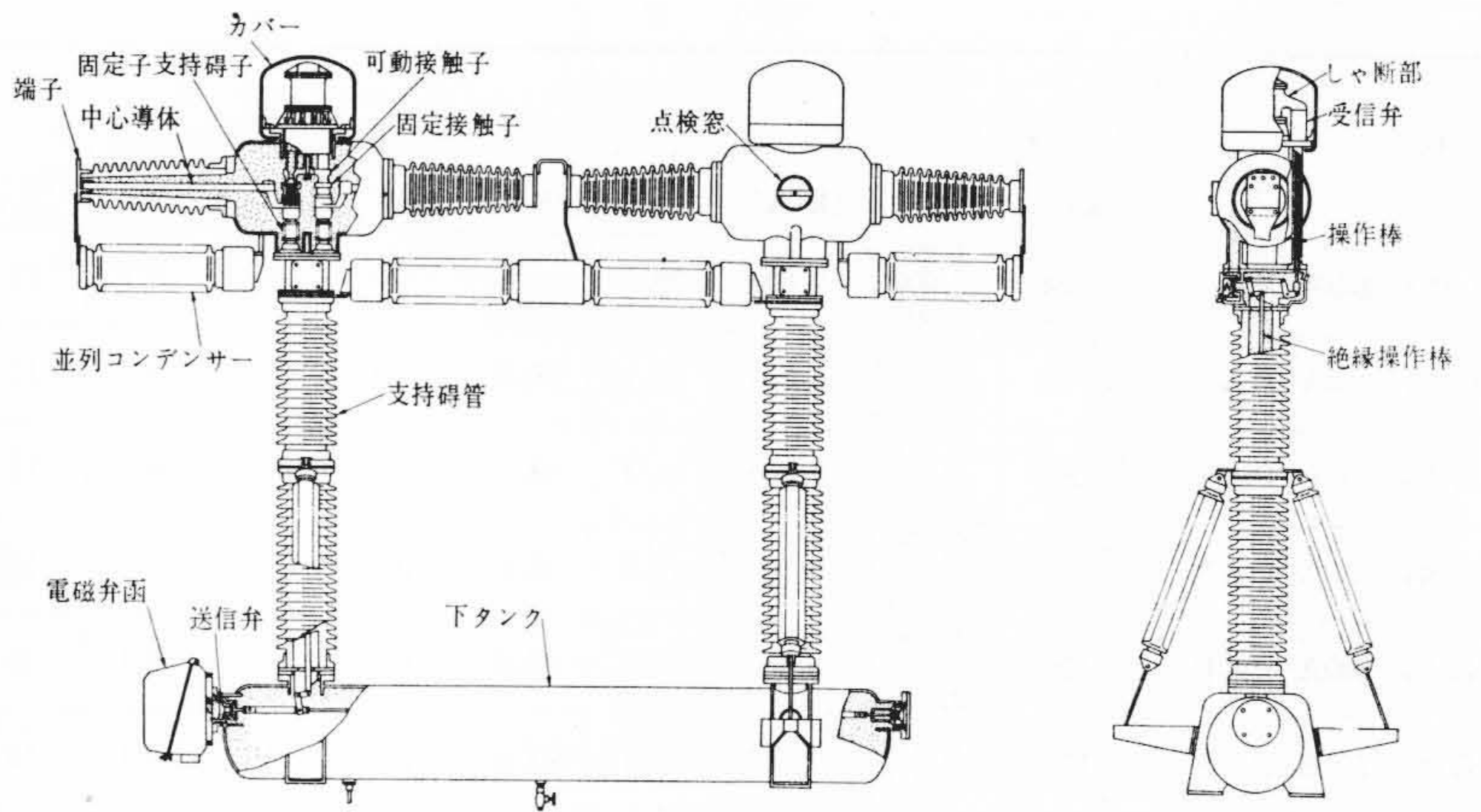


図7 OPG-C形系列空気しゃ断器基本構造説明図

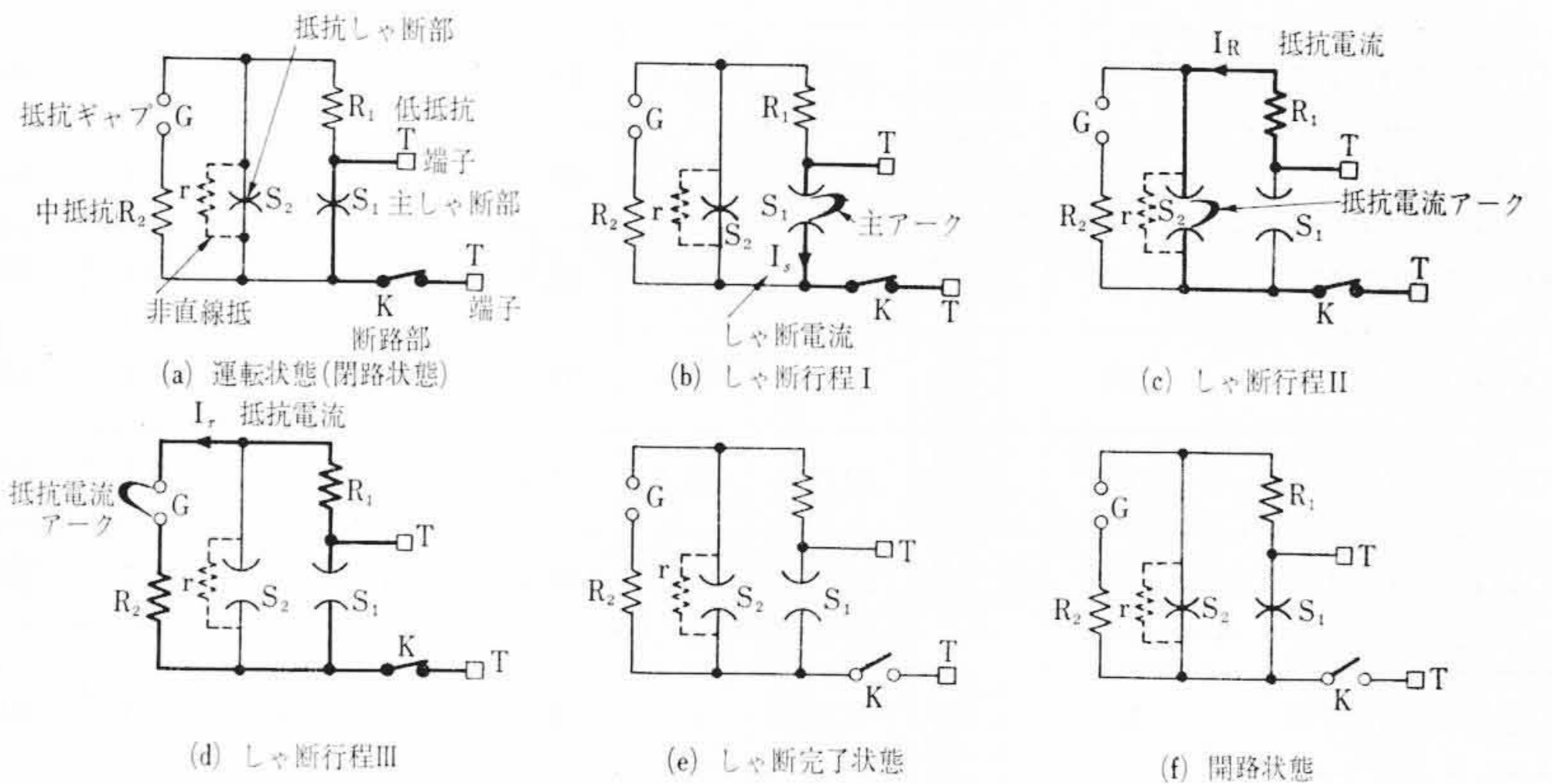


図9 屋内大容量空気しゃ断器のしゃ断行程

し、単位しゃ断対象で2,500 MVAの直接試験を行ない100%の短絡性能が検証された。

3.4 屋内用空気しゃ断器

日立製作所の標準屋内用空気しゃ断器としては、表1のようにPBC-75, PBC-100, PBC-150があるが、近年の揚水発電所の大容量化に伴い、これに使用されるしゃ断器として、24 kV, 5,000 A, 3,000 MVA (しゃ断電流100 kA)といった大容量形が要求されるようになった。日立製作所では、これらの仕様を満たす屋内用大容量形空気しゃ断器⁽⁸⁾を開発、超高研武山研究所においてわが国最大級の三相実負荷短絡試験を行ない、100%の短絡性能が検証された。図8は短絡試験中の外観を示したものである。しゃ断器は主しゃ断部、抵抗しゃ断部、抵抗接点、抵抗ギャップ、断路部をもち、図9に示すしゃ断行程により電流しゃ断が行なわれる。(a)の閉路状態から主しゃ断部S1が閉極する。主アークが消弧され、短絡電流が低抵抗R1を流れる抵抗電流に移行したのち、抵抗しゃ断部S2が開極し、さらに中抵抗R2, 抵抗ギャップG, 低抵抗R1を経た抵抗電流に移行し、ギャップGで抵抗電流をしゃ断する。電流しゃ断後、断路部Kが開極してしゃ断完了する。主しゃ断部S1, 抵抗しゃ断部S2は、断路部Kの開極後、投入位置に復帰する。投入動作は断路部Kを投入することで行なわれる。

4. 新しい抵抗しゃ断方式による高再起電圧用空気しゃ断器

4.1 高再起電圧用空気しゃ断器

発電所の局所電力が大きくなるに従い、再起電圧がJEC-145Ⅱ号の範囲を越える高いものになる場合が出ているが、この場合通常のしゃ断器ではしゃ断困難となる。日立製作所では新しい抵抗しゃ

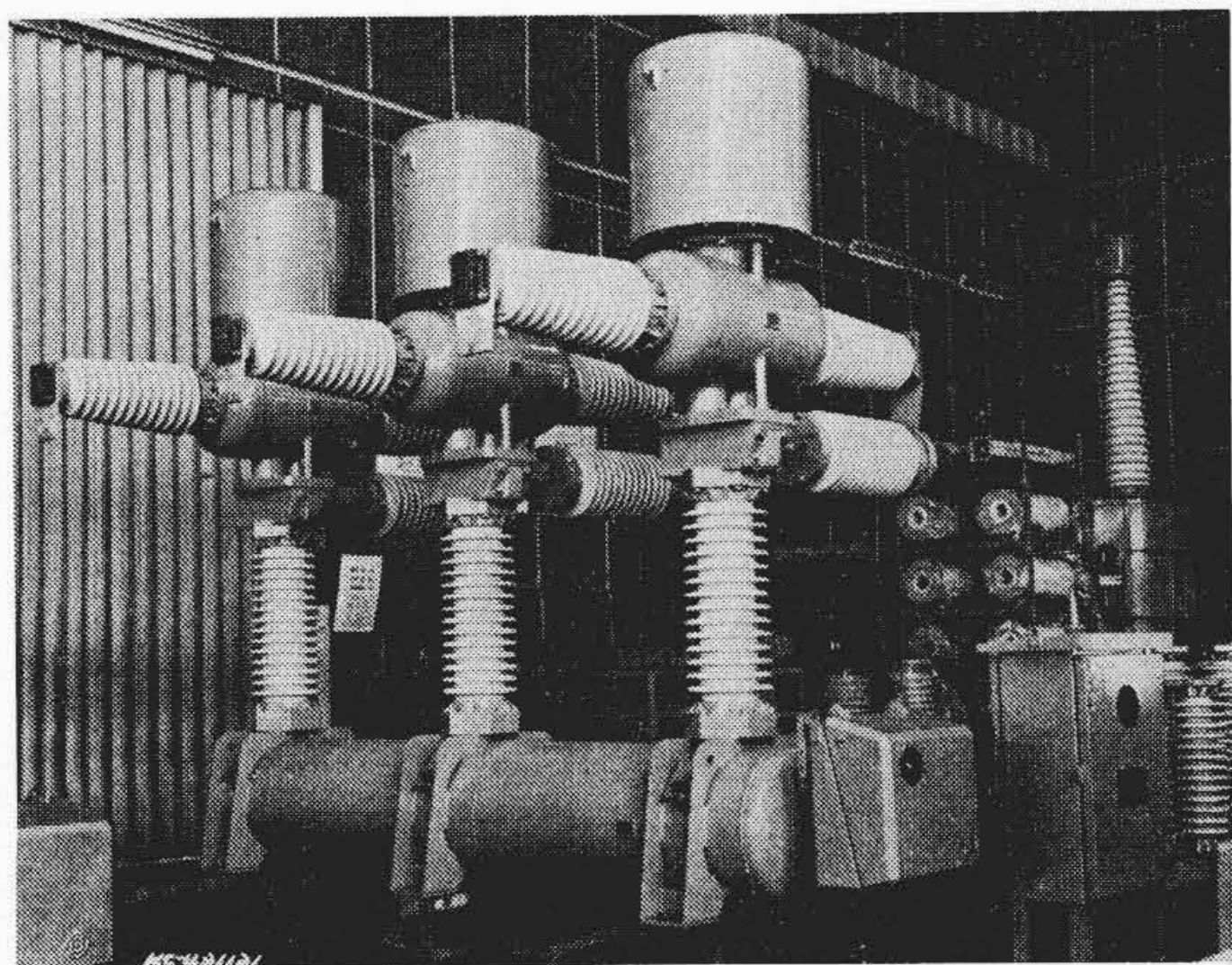


図 10 OPG-350C-PAS, 72 kV, 3,000 A, 3,500 MVA
低騒音形空気しゃ断器 高再起電圧用

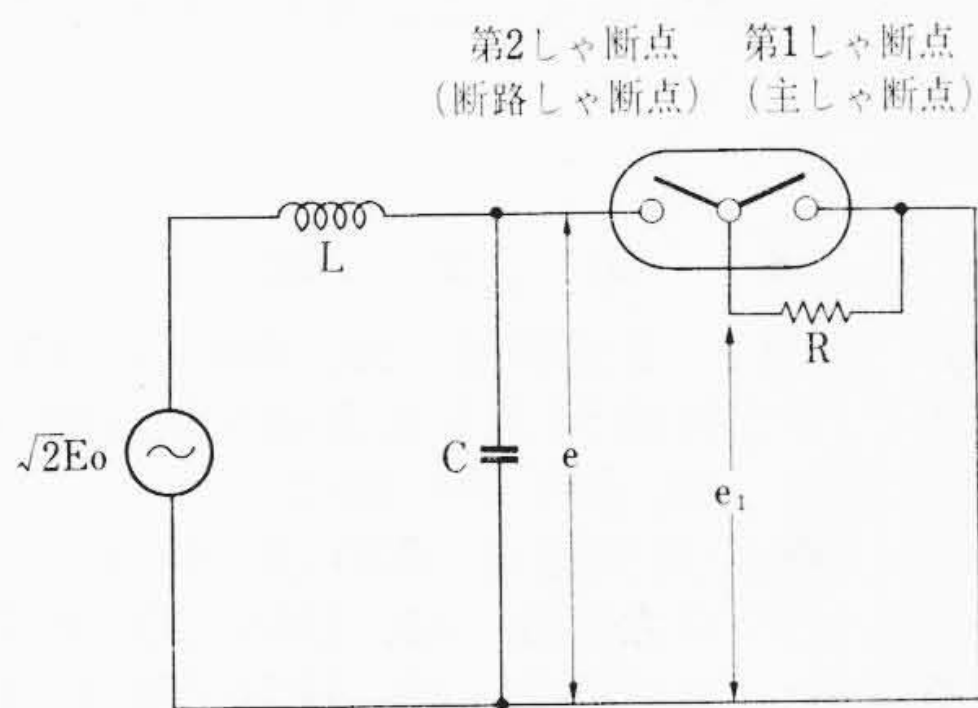


図 11 並列抵抗付しゃ断器の
構成と等価回路

断方式を開発し、前節で述べた OPG-C 形しゃ断器に適用して、高再起電圧用空気しゃ断器⁽⁹⁾とした。図 10 は 72 kV, 3,500 MVA 定格の製品外観である。外観から明らかなように 2 しゃ断点のうち 1 点のみに並列抵抗を付した構造で、しゃ断部、操作機構などいっさいが OPG-C 形の構造と同一である。表 1 の定格一覧表に示すように 72 kV, 5,000 MVA までの製作納入実績がある。

4.2 抵抗しゃ断方式としゃ断現象

図 11 は並列抵抗付しゃ断器による短絡電流しゃ断時の等価回路を示したものである。しゃ断器は、並列抵抗を持った主しゃ断点と、抵抗のない断路しゃ断点から成り、これらしゃ断点は同一の構造としゃ断特性を持ち、同時に開極される。充電電流、励磁電流、負荷電流などの小電流しゃ断や、短絡電流しゃ断でも再起電圧上昇率の低い場合には、断路しゃ断点のみでしゃ断が行なわれ、抵抗電流への移行はない。短絡電流しゃ断で再起電圧上昇率が、断路しゃ断点の絶縁耐力回復特性を上回る場合、抵抗電流への移行が起こり、抵抗しゃ断となる。

図 12 は抵抗しゃ断となった場合のオシログラムである。2 しゃ断点が同時に開極し ($t=t_0$) 電流アークが両しゃ断点直列に発生するが、最初の電流零点 ($t=t_1$) で、再起電圧をほとんど分担させられた断路しゃ断点が初期上昇部分で再点弧し、抵抗により制限された再起電圧を受ける主しゃ断点が容易に絶縁耐力を回復するため、短絡電流は断路しゃ断点、並列抵抗を経た抵抗電流に移行する。抵抗電流に移された短絡電流は位相が進み、ほぼ 1/4 サイクル後に次の電流零点 ($t=t_2$) に至り、断路しゃ断点でしゃ断されてしゃ断完了する。

最初の電流零点 ($t=t_1$) 直後に並列抵抗を持った主しゃ断点に加わる再起電圧は、図 11 の回路において、

$$R \ll \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ とすると、}$$

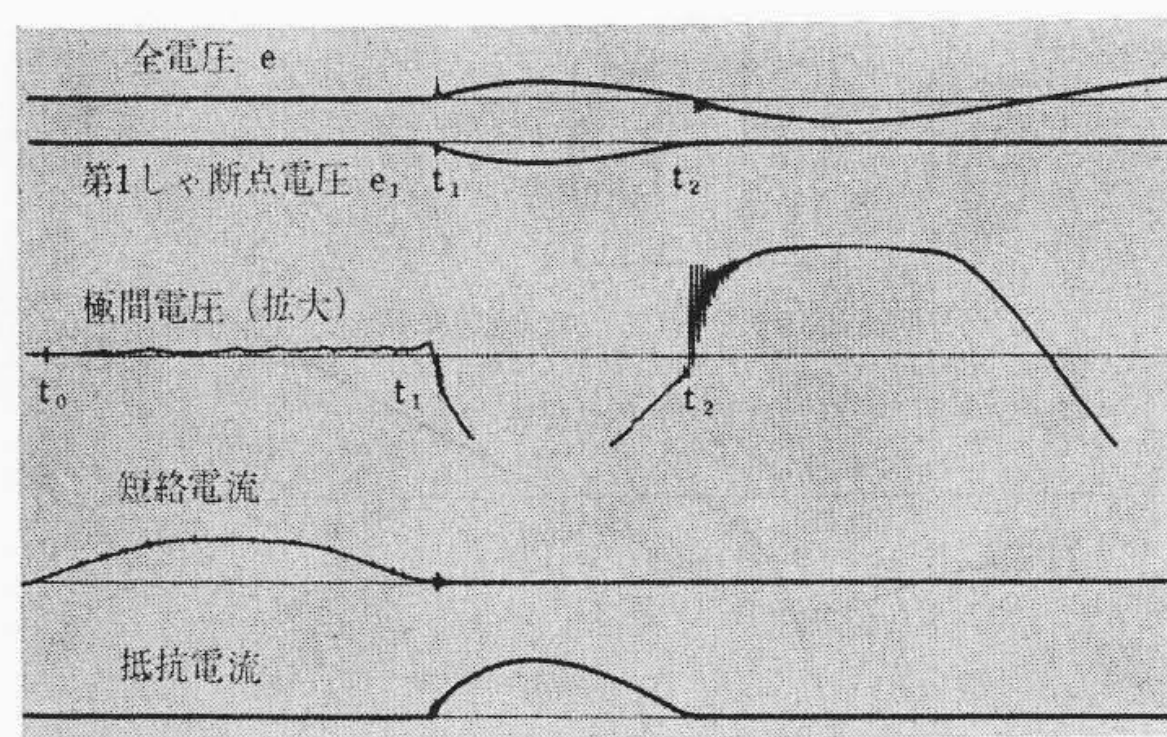


図 12 短絡電流しゃ断時のオシログラム

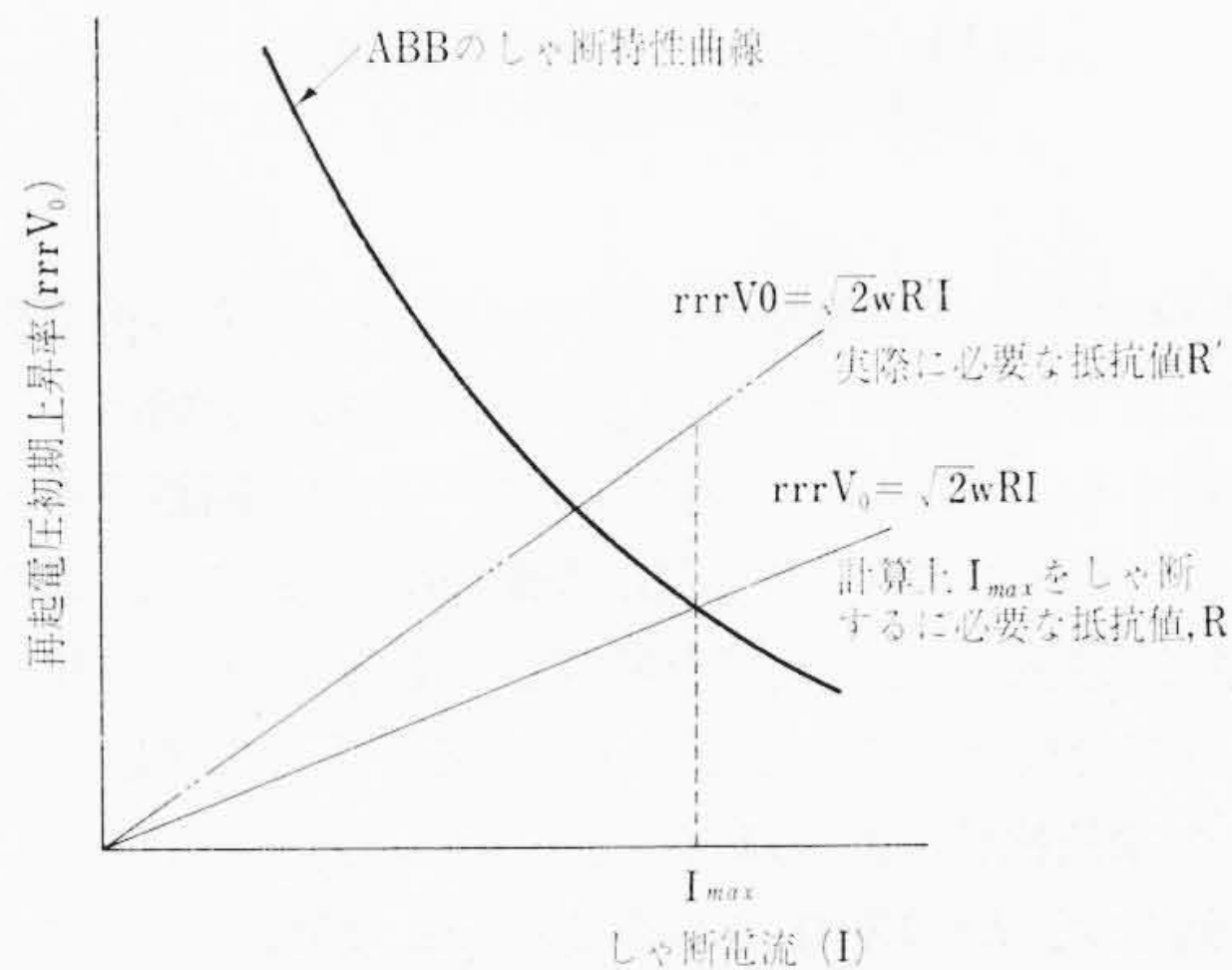


図 13 空気しゃ断器のしゃ断特性曲線と
並列抵抗により制限される再起電圧初期
上昇率との関係

$$e \doteq \sqrt{2} E_0 (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{de}{dt} \doteq \sqrt{2} E_0 \frac{R}{L} e^{-\frac{R}{L}t}$$

再起電圧初期上昇率 $rrrV_0$ は

$$rrrV_0 = \left(\frac{de}{dt} \right)_{t=0} = \sqrt{2} E_0 \frac{R}{L} = \sqrt{2} \frac{E_0}{\omega L} \omega R \\ = \sqrt{2} \omega R I_0 \dots\dots\dots (2)$$

次に第 2 の電流零点 ($t=t_2$) 後に断路しゃ断点に加わる電圧は、

$$e = \sqrt{2} E_0 \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$

抵抗電流の通電時間 T_R は、

$$T_R = \left(0.25 + \frac{\theta}{360} \right) \text{ (cycles)} \dots\dots\dots (4)$$

となる。

ここで (2) 式によると、再起電圧初期上昇率は、並列抵抗値 (R) と、しゃ断電流 (I_0) との積に比例する。これから、しゃ断点のしゃ断性能と、並列抵抗により制限される再起電圧とを図 13 のようにプロットすると、所要の最大しゃ断電流 I_{max} をしゃ断するのに必要な抵抗値 (R) を算出することができる。

しかるに、実際の短絡試験を行なった結果、こうして求めた抵抗値よりも高い抵抗値でもしゃ断可能になることが判明した。この原因に関して、零点近傍における抵抗しゃ断現象の計算と観測を行ない、次のような結論に達した。

抵抗しゃ断方式における並列抵抗の役割は、単に再起電圧を抑制することのみではなく、電流零点近傍に重要な影響をもたらすものである⁽¹⁰⁾。すなわち、電流零直前には、主接点間のアーク抵抗が高まり、並列抵抗値に近づくため、両者が並列回路を形成することに

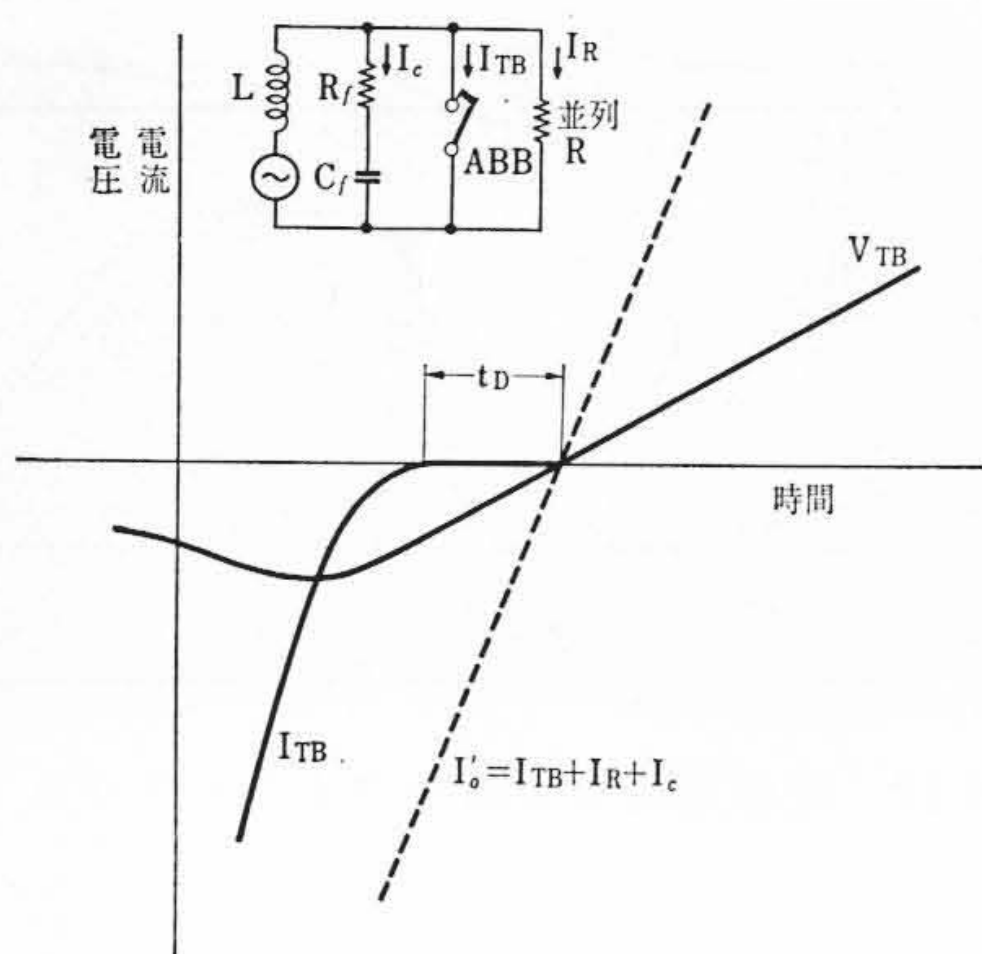


図 14 並列抵抗しゃ断時における電流零近傍の現象

なる。図 14 はこの間の模様を示しているが、前者が後者を無視できない値にまで高くなると電流は並列抵抗へ移行を始め、ついには完全に移行する。すなわち主接点間のアークは、回路電流零以前に消滅する。“アーク電流零”から、回路電流零までの、電流休止期間 t_0 の存在は主接点間の責務を軽減し、しゃ断点の再起電圧特性を上げる役割を果たしていると考えられる。上記の推論から、電流休止期間 t_0 は抵抗値が低いほど大きくなると考えられるが、われわれの試験例では、 $R=150\Omega$ の場合 $2\sim 3\mu s$ 、 15Ω の場合には $25\mu s$ になることが観測されている。

以上、新開発の抵抗しゃ断方式と、しゃ断現象について述べたが、本方式の特長として、

- (1) 同一構造を持った直列しゃ断点の一部に単に並列抵抗を接続するのみでよく、機械的抵抗接点が必要なので簡単確実な動作をする。



特許 第 501045 号 (特公 昭 42-3644 号)

特許の紹介



紛 沢 秀 夫・細 貝 隆
高 島 恒 夫

サ ー ボ モ ー タ 二 段 閉 鎖 装 置

この発明は変落差のもとで運転される水車あるいはポンプ水車の運転時、水流しゃ断装置（案内羽根、制水弁など）が急閉鎖しようとする場合、その閉鎖速度を落差および開度に応じて回転数と水圧の両者の変動を制御、抑制するものである。

水流しゃ断装置が急閉鎖する場合、水車の回転数、鉄管等水圧を制御、抑制するためには図 1 に示すように落差 H_1 、 H_2 、 H_3 に応じて、またそのときの案内羽根開度に応じて案内羽根の操作速度を変える点を変えなければならない。この速度制限点は案内羽根の無負荷開度すなわち負荷の入切点でもある。

図 2 は図 1 に示すこの発明の特性を得るための装置であり、切換弁 1 のパイロット弁 2 が動作することによりピストン 3 が動作し分

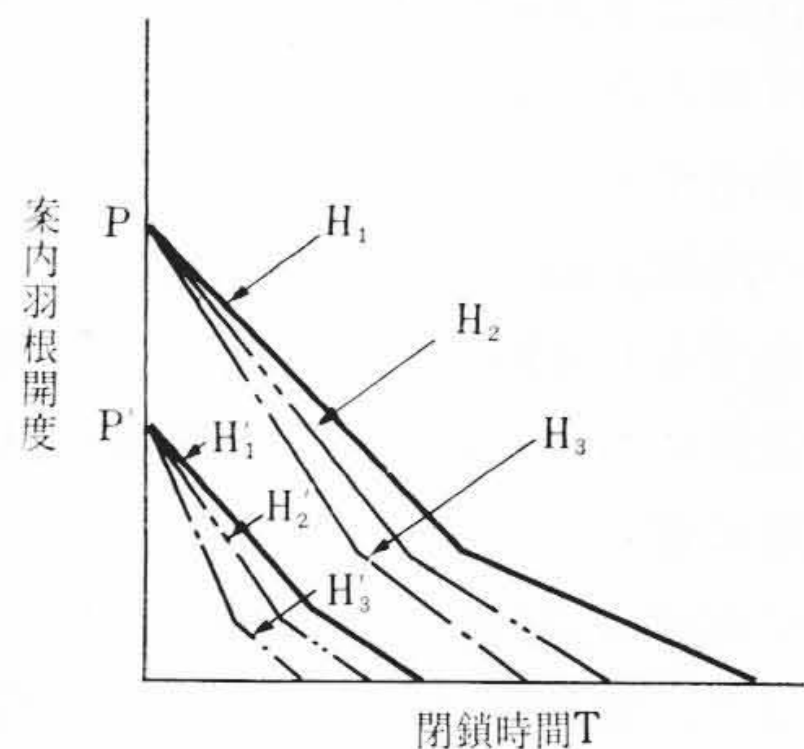


図 1

配弁 4 からの圧油流量を規制して案内羽根開閉用サーボモータ 5 の移行速度を制御する。パイロット弁 2 は、落差応動装置 6 により上下動する桿（かん）7 とサーボモータ 5 が移動することにより上下動する桿 8 との合成位置を示す水平レバー 9 のツメ 10 により制御される。すなわち落差と案内羽根開度との合成位置により速度制限点が与えられるわけで、このようにすることにより落差および案内羽根開度に応じた閉鎖特性が得られ、しかも速度制限点のは握も容易となり、同期起動の際も安定した運転が可能となる。（野口）

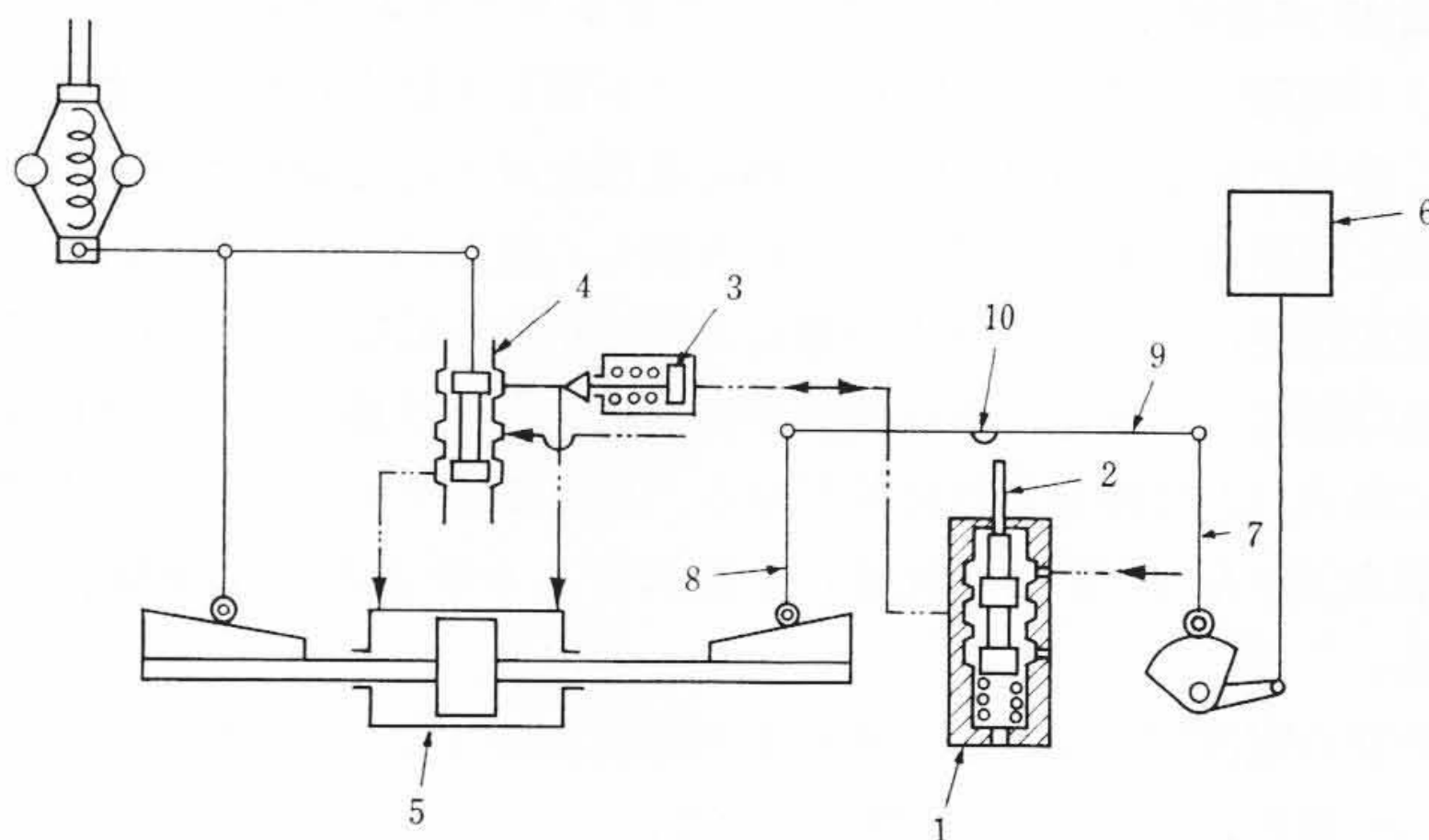


図 2