

# ガスしゃ断器の技術動向と開発技術

## Trends and New Techniques in Development of Gas Circuit Breakers

優れた絶縁、消弧性能をもち、構造、動作原理とも簡単なパuffァ形SF<sub>6</sub>ガスしゃ断器は、超高压、超々高压系統で従来のしゃ断器に代わって大幅に普及している。ユニット当たりのしゃ断容量は既に20GVAに達し、更に1,200kV級6しゃ断点構成の製品化が進められ、これをもとに550kV定格で2しゃ断点構成の開発も進められてユニット容量は30GVAに迫るものと考えられる。ここでは、パuffァ形ガスしゃ断器の技術動向と関連する新しい技術について、高电压化、大電流化、大容量化、高速しゃ断、開閉サージの抑制など、それぞれの技術分類ごとに概要を説明する。

細川正男\* Masao Hosokawa  
 中野清蔵\* Seizō Nakano  
 平沢邦夫\*\* Kunio Hirasawa  
 吉岡芳夫\*\*\* Yoshio Yoshioka

### 1 緒言

消弧性能、絶縁性能ともに優れたSF<sub>6</sub>ガスを使用した超高压ガスしゃ断器は、当初は空気しゃ断器と同じく、高压ガスを吹き付ける二圧式ガスしゃ断器が使用されたが、最近では使用ガス圧力が低く、構造、動作原理とも簡単な一圧式パuffァ形ガスしゃ断器が主流を占めつつある。

技術開発によるパuffァ形ガスしゃ断器のユニット当たりのしゃ断容量の推移を図1に示す。550kVガスしゃ断器の普及により一段落したかにみえた大容量化のすう勢も、UHV(超々高压)送電や海外需要への適用のために、再び飛躍的な改良進歩が行なわれており、ユニット容量は既に20GVAに達している。更に、1,200kV級6しゃ断点構成などの開発も進められており、これをもとに550kV2しゃ断点構成の開発も推進されると思われる、ユニット容量が30GVAに達するものと想定される。

この論文では、パuffァ形ガスしゃ断器でのこのような著しい進歩をもたらしている技術的な背景と、電力系統の多様化に呼応する新しい技術について紹介する。

### 2 高电压化の技術開発

#### 2.1 直列ユニット数の低減

しゃ断器部品数の低減による信頼性の向上<sup>1)</sup>、ガス絶縁変電所の敷地面積削減などの要請にこたえるため、直列ユニット数低減の努力が絶えず行なわれている。SF<sub>6</sub>ガスの絶縁、消弧性能の優秀性は、一相当たりの直列ユニット数が少ない点に最も端的に現われるが、特にパuffァ形ガスしゃ断器の進歩は著しい。表1に超高压、超々高压パuffァ形ガスしゃ断器の各电压階級に対する直列ユニット数の動向を示す。240kV1点切、420kV2点切は既に製品化され、1,200kV級6点切の開発が進められている。更にこれらをもとに550kV2点切、300kV1点切などの開発が進められるであろう。

#### 2.2 ユニット高电压化の技術

ユニット高电压化に対する技術は種々あるが、その一例として、近年の電子計算機の発達により、複雑な形状を対象に短時間で各部の電界を求める解析手法が開発され、設計に広く活用されていることが挙げられる。図2にパuffァ形しゃ断部の接触子近傍の電界解析結果の一例を示す。しゃ断部を

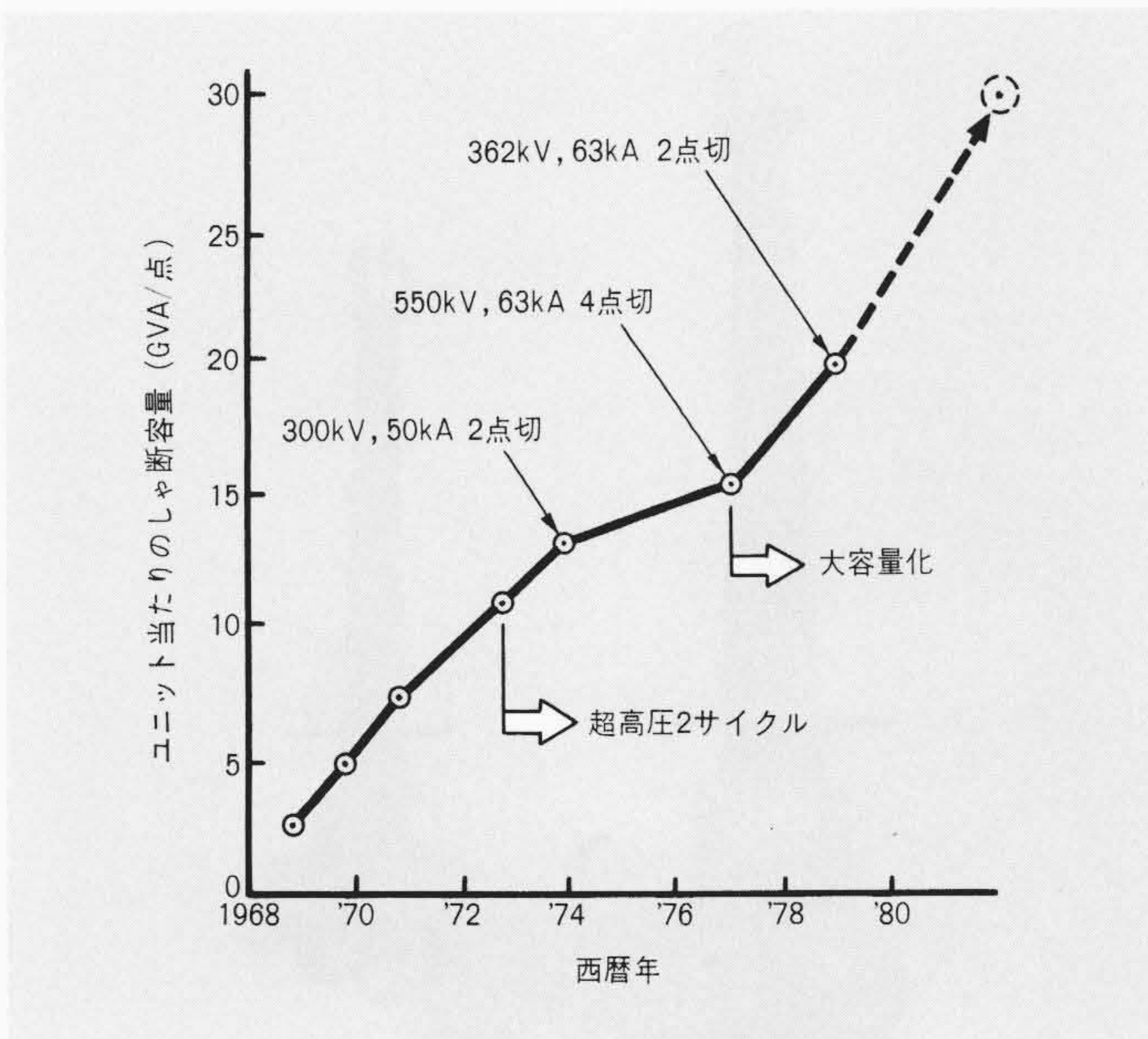


図1 パuffァ形ガスしゃ断器のユニット容量の推移 海外向けを中心に、ユニット当たりのしゃ断容量は再び飛躍的に増大しつつある。

表1 パuffァ形ガスしゃ断器の一相当たりの直列ユニット数の動向 破線は開発中又は開発動向を示す。300kVまで1点切、550kVまで2点切で系列化されるものと想定される。

しゃ断電流 (kA)	40	50	63
242			
300			
362			
420			
550			
800			
1,200			

\* 日立製作所国分工場 \*\* 日立製作所日立研究所 \*\*\* 日立製作所日立研究所 工学博士



取り囲むように設けられた電界緩和用のシールドにより、接触子先端の電界が効果的に弱められている。このような解析が、絶縁設計ではもちろん、進み小電流しゃ断や脱調しゃ断など、高い回復電圧が要求されるしゃ断責務に対する設計にも適用され、無再点弧の高信頼度しゃ断部が製品化されている。

なお、ユニット当たりの電圧が前述のように高くなると、短絡電流を多数回しゃ断した後にも、絶縁性能や進み小電流しゃ断性能が低下しないような工夫が必要である。すなわち、SF<sub>6</sub>ガスは平等電界の条件では優れた絶縁特性を示すが、不平等電界の条件では絶縁性能が低下する欠点があり、短絡電流により接触子が損傷して電界が変化するのを抑える必要がある。図3は、短絡電流を多数回しゃ断して接触子が損傷しても極間の電界が変わらぬよう、可動接触子の先端に金属シールドを設け、かつ耐アーク性の絶縁物で覆って絶縁性能や進み小電流しゃ断の性能低下を防止した例を示すものである。

### 3 大容量化の開発技術

#### 3.1 大電流通電の技術

電力系統の増大に伴って負荷電流はますます大きくなり、通電電流が8,000~12,000Aのしゃ断器が要求されている。パuffers形ガスしゃ断器でも大電流通電の技術開発が行なわれ、既に通電電流12,000Aのガスしゃ断器が開発されている。

図4に定格電圧550kV、通電電流12,000A、しゃ断電流63kAのガスしゃ断器の外観を、また図5にそのしゃ断部消弧室の構造を示す。接触子は外部固定主接触子①と内部固定アーク

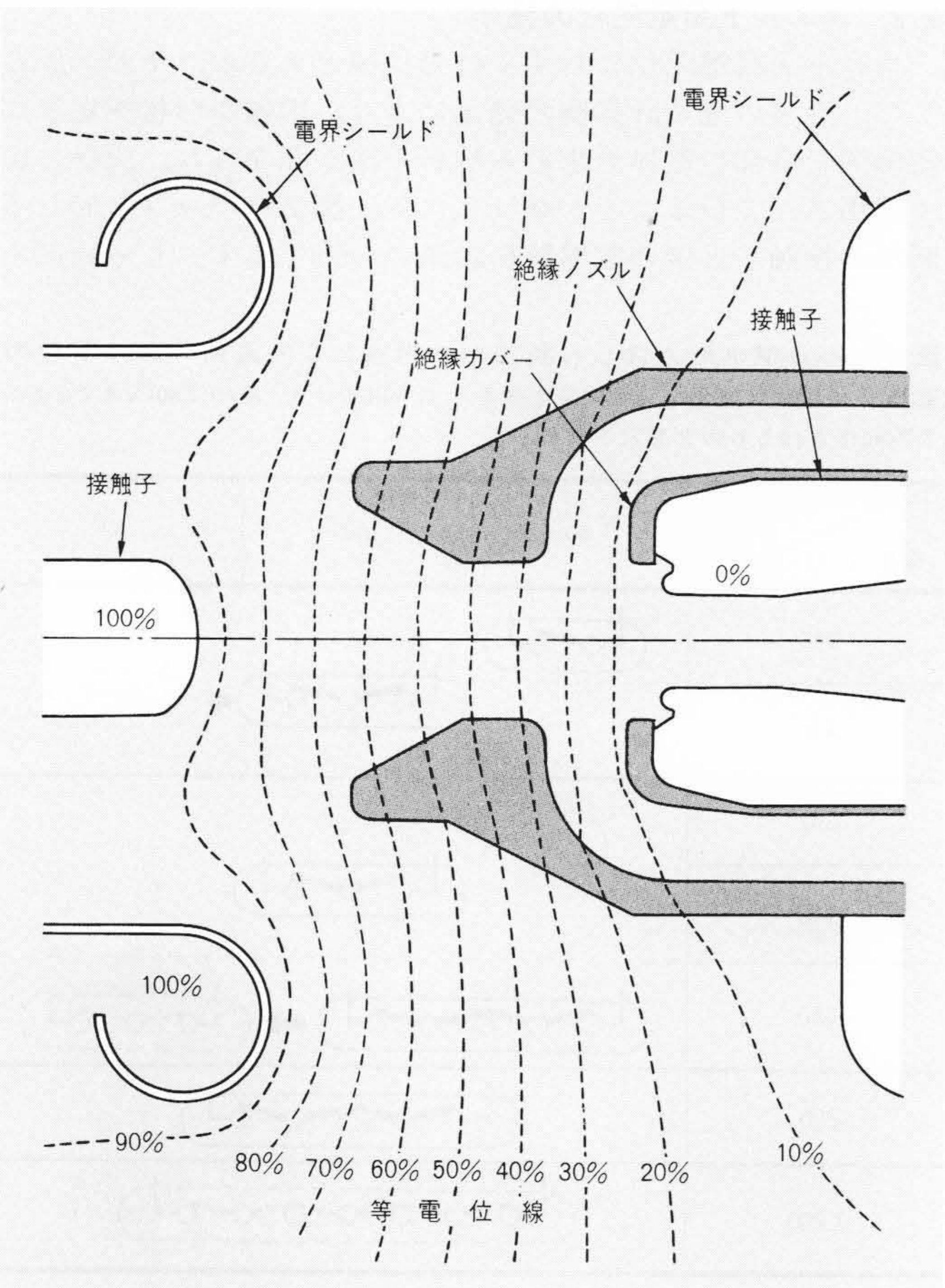


図2 極間電界解析例 絶縁設計はもちろん、進み小電流しゃ断や脱調しゃ断など、高回復電圧責務に対する設計にも電界解析手法が常用されるようになってきている。

接触子②の両者から成り、通電電流は固定主接触子①からパuffersシリング③の外周を流れ、その外周に設けられた集電子④に通電される。いずれも電流経路の直径が大きいため、特に強制冷却装置を付けることなく、12,000Aの大電流が通電できる。

#### 3.2 大電流しゃ断の技術

通電電流の増大とともに、系統の短絡容量も増大の一途をたどり、定格しゃ断電流の大きいしゃ断器が要求されている。

パuffers形ガスしゃ断器は、パuffers室のSF<sub>6</sub>ガスを圧縮して消弧に必要な吹付圧力を得る方式のため、開発当初はしゃ断電流が30kA程度までの中容量器に適用が限られるものと考えられてきた。しかし、SF<sub>6</sub>ガスが圧縮性に富むガスであり、

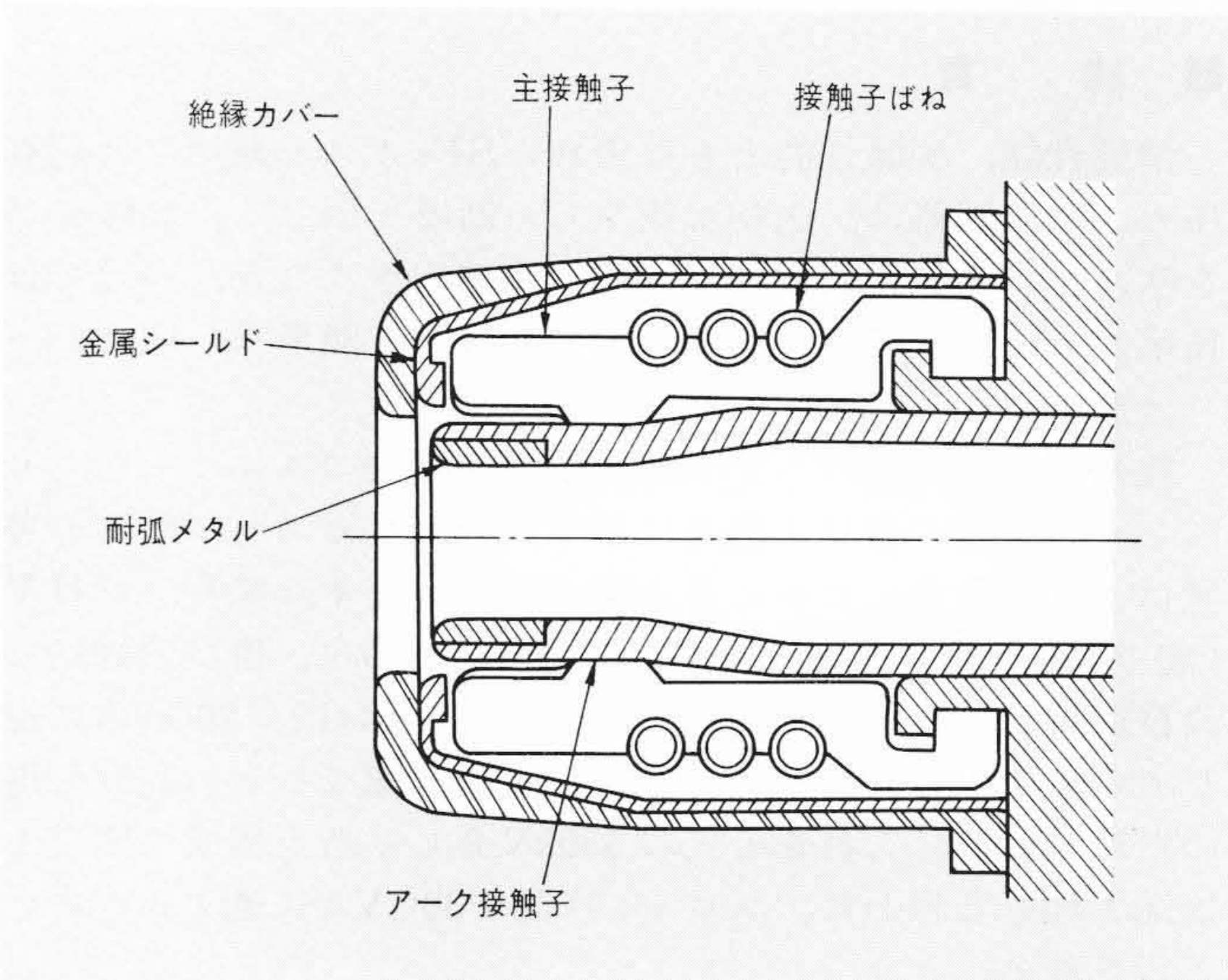


図3 接触子構造 接触子を保護する絶縁カバーと金属シールドが、高電圧無再点弧しゃ断を可能にしている。

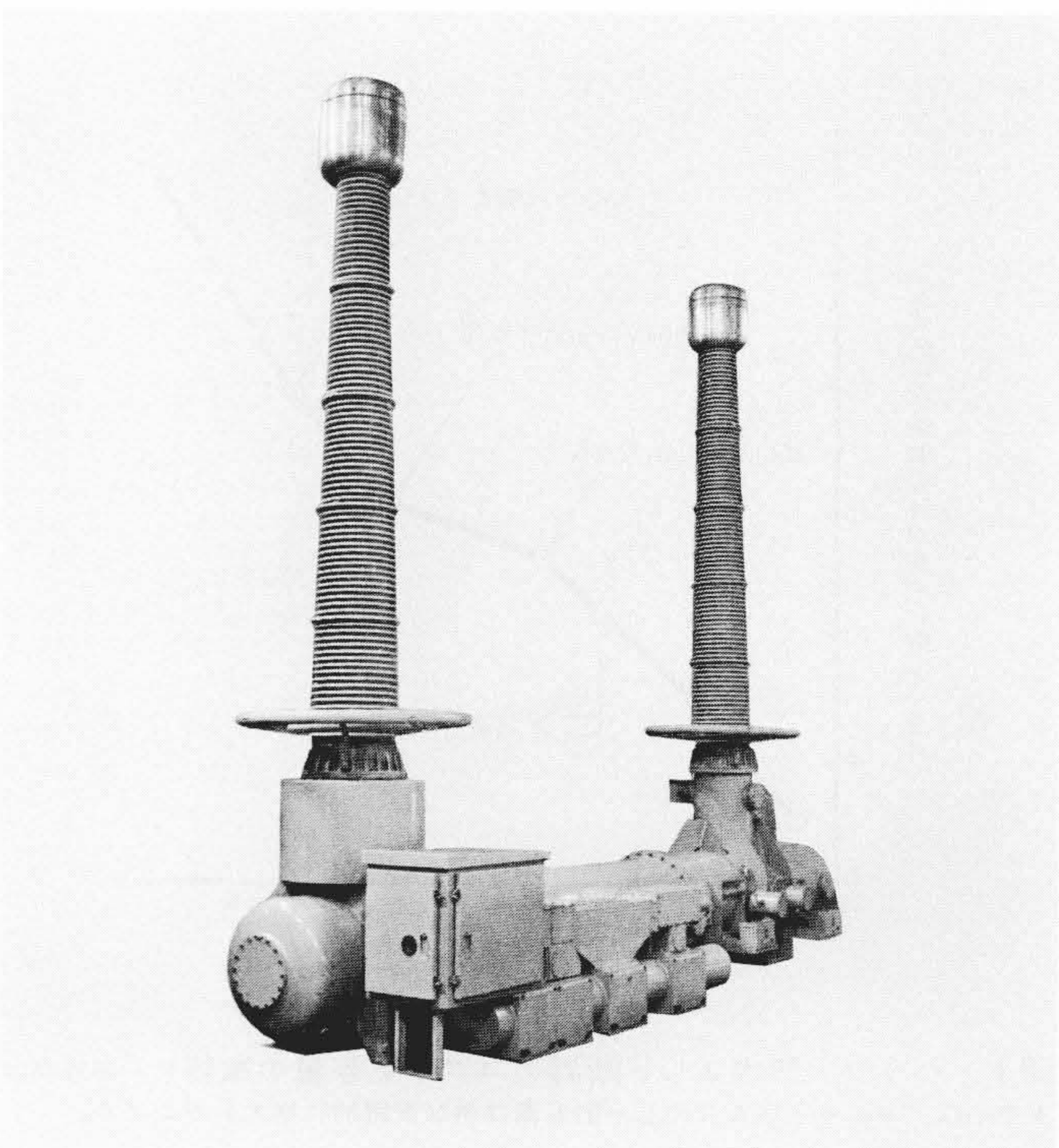


図4 550kV、63kA、12,000Aガスしゃ断器 通電電流12,000Aは、発生熱量の低減と効果的な熱放散を図ることにより自冷式で開発されている。



しかも電流しゃ断時に圧力が上昇する現象をうまく利用して、既に定格しゃ断電流63kAのパウファ形ガスしゃ断器が製品化され<sup>2)</sup>、空気しゃ断器や二圧式ガスしゃ断器と肩を並べ、更に80~100kAしゃ断部の開発も行なわれている。

3.2.1 軸方向同期吹付式消弧室

大電流しゃ断の技術として、しゃ断性能を改善するためにふいご(パウファ)を利用した効果的な吹付方式に関して種々の工夫が行なわれている。図6にその一例を示すが、シリンダ動作の初期行程は圧力上昇が小さいためガス吹付を行わず、しゃ断可能圧力に上昇し、かつ両接触子がしゃ断可能開離距離に達して初めて両側にガス吹付を行なわせるように配慮した軸方向同期吹付方式<sup>3)</sup>を採用している。

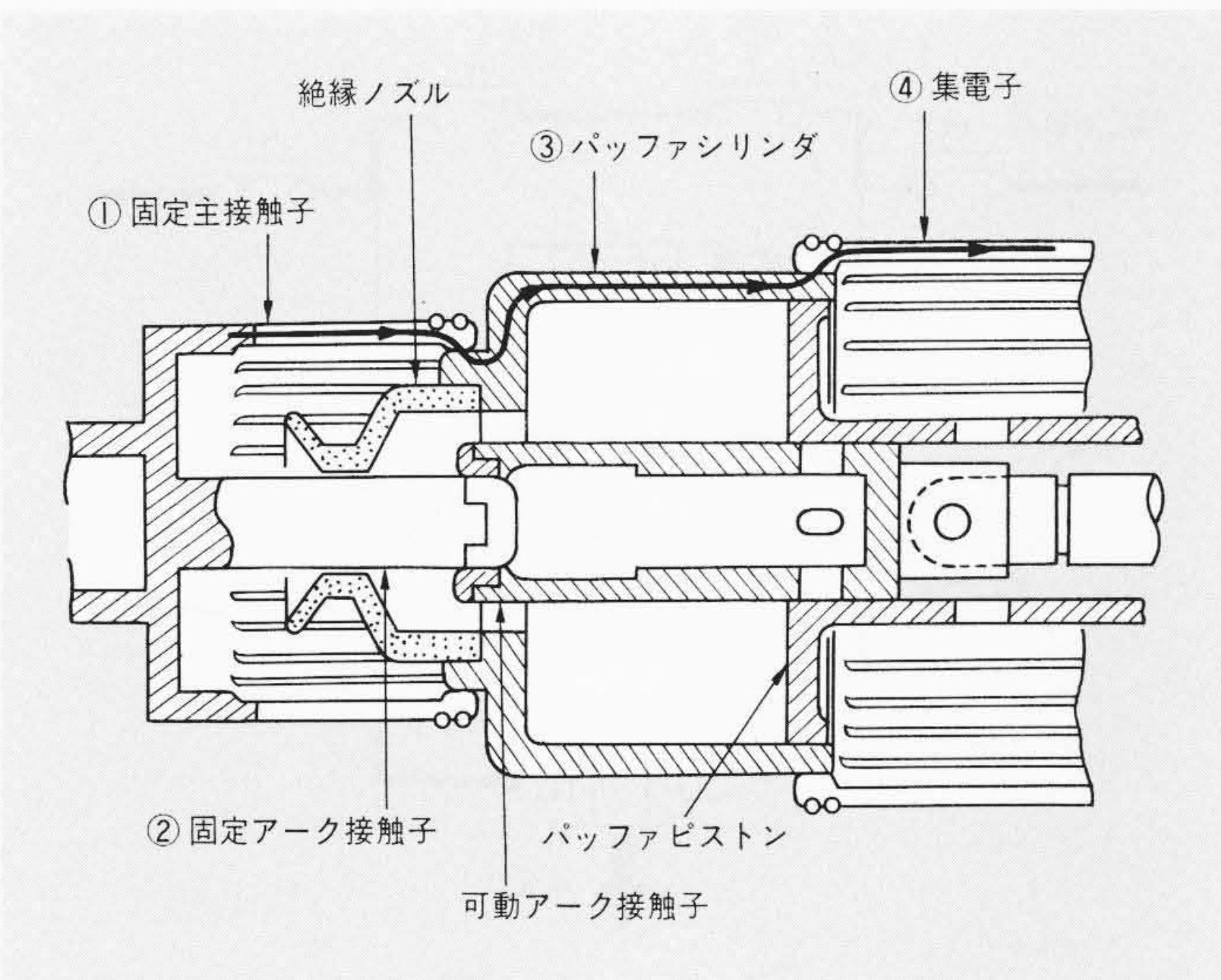


図5 消弧室構造 通電専用の主接触子や集電子の直径は大きく、特に強制冷却装置は不要である。

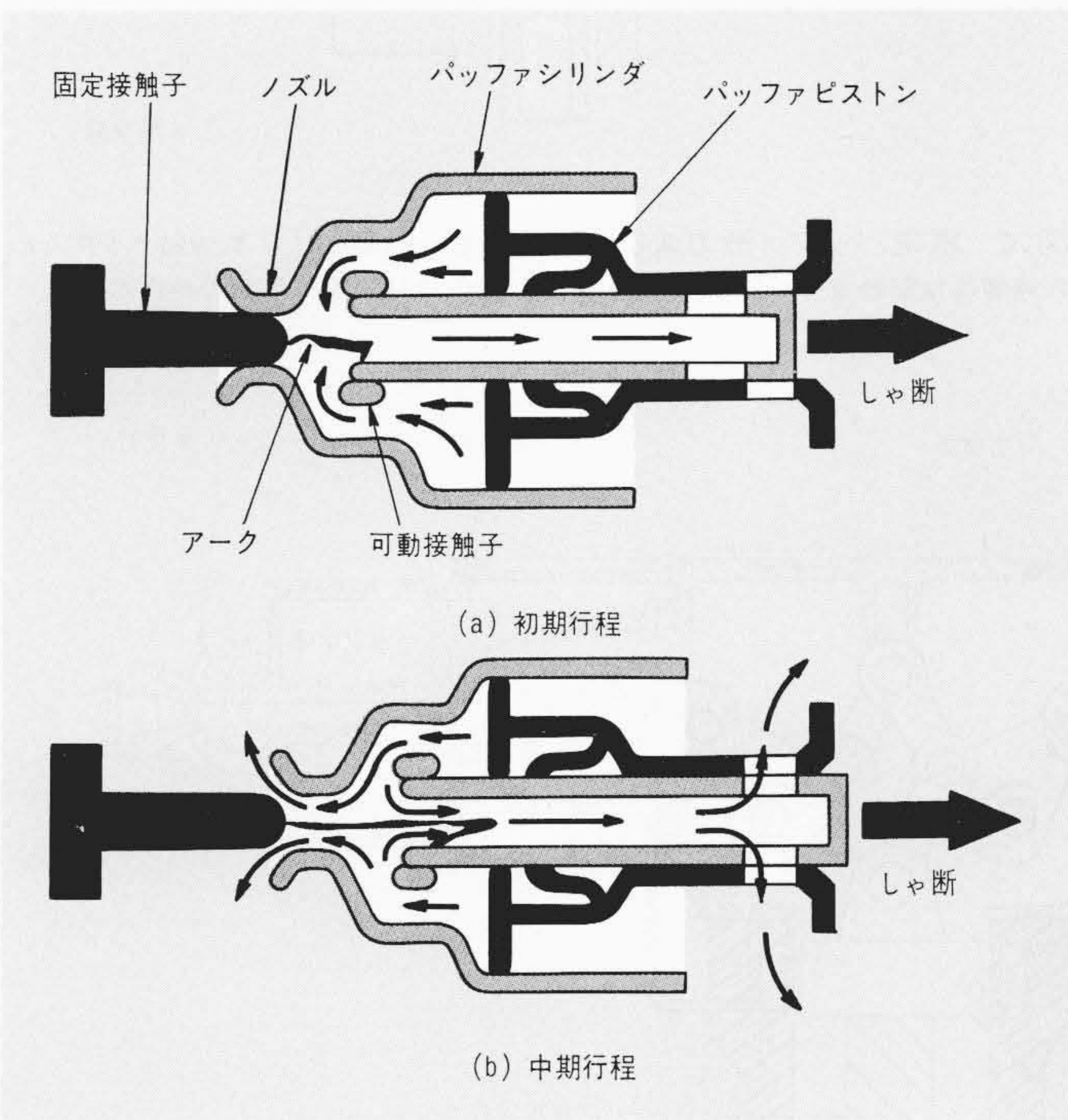


図6 軸方向同期吹付方式の消弧原理 圧力上昇が十分高くなり、かつしゃ断可能開離距離に達して初めてガス吹付を行なわせ、吹付効率を高めている。

図7に軸方向同期吹付方式と中実固定接触子を採用した製品のパウファ室圧力特性を、従来しゃ断部の圧力特性と比較して示す。パウファ室圧力は、エンタルピーフローアークモデルを導入した解析理論に基づき計算可能<sup>4)</sup>で、実測とよく一致する結果を得ているが、特にしゃ断電流の零点に同期して高い吹付圧力が得られる点が同期吹付方式しゃ断部の特長で、高い再起電圧上昇率と十分なしゃ断可能時間幅を確保している。

3.2.2 再起電圧責務の軽減

一方、空気しゃ断器では、再起電圧上昇率の最も高いSLF(近距離線路故障)しゃ断対策として、しゃ断器に並列に低抵抗を配置して、図8破線C)に示すように再起電圧波形全体を低減させる方法を用いている。しかし、ガスしゃ断器ではSF<sub>6</sub>ガスの絶縁回復速度が速いため、しゃ断の成否は再起電圧の初期部分で決まってしまうため並列抵抗は特に必要とせず、代わって小容量の並列コンデンサの設置で対処できる。同図鎖線B)に示すように小容量の並列コンデンサは、再起電圧波形の初期部分に効果的に作用するので、電圧分担用に従来から設置しているコンデンサとの兼用でしゃ断可能電流の増大が図られている。

3.2.3 電磁パウファ式ガスしゃ断器

以上述べたように、パウファ形ガスしゃ断器は現在の電力系統からのニーズに十分応じられる容量をもつに至ったが、将来はしゃ断電流80~100kAの要求もあり得るため、種々の開発が続けられている。例えば、パウファ形ガスしゃ断器は大きな駆動操作力が必要であるという欠点を補うために、しゃ断すべき短絡電流自身のエネルギーを駆動力として利用する電磁パウファ形ガスしゃ断器<sup>5)</sup>はその一つである。

図9に、2点切構成のしゃ断部に電磁駆動装置を設けた新しいタイプのガスしゃ断器の構造を示す。二つのユニットに共通した操作ロッド①の近傍に、短絡電流を通す駆動コイル②と円筒形のショートリング③を備えている。通電電流は常時は従来しゃ断部と同様に流れるが、電流しゃ断時には図10(b)に示すように転流接点T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>が開いて短絡電流が駆動コイルに流入する。これにより、円筒状のショートリング内にはう

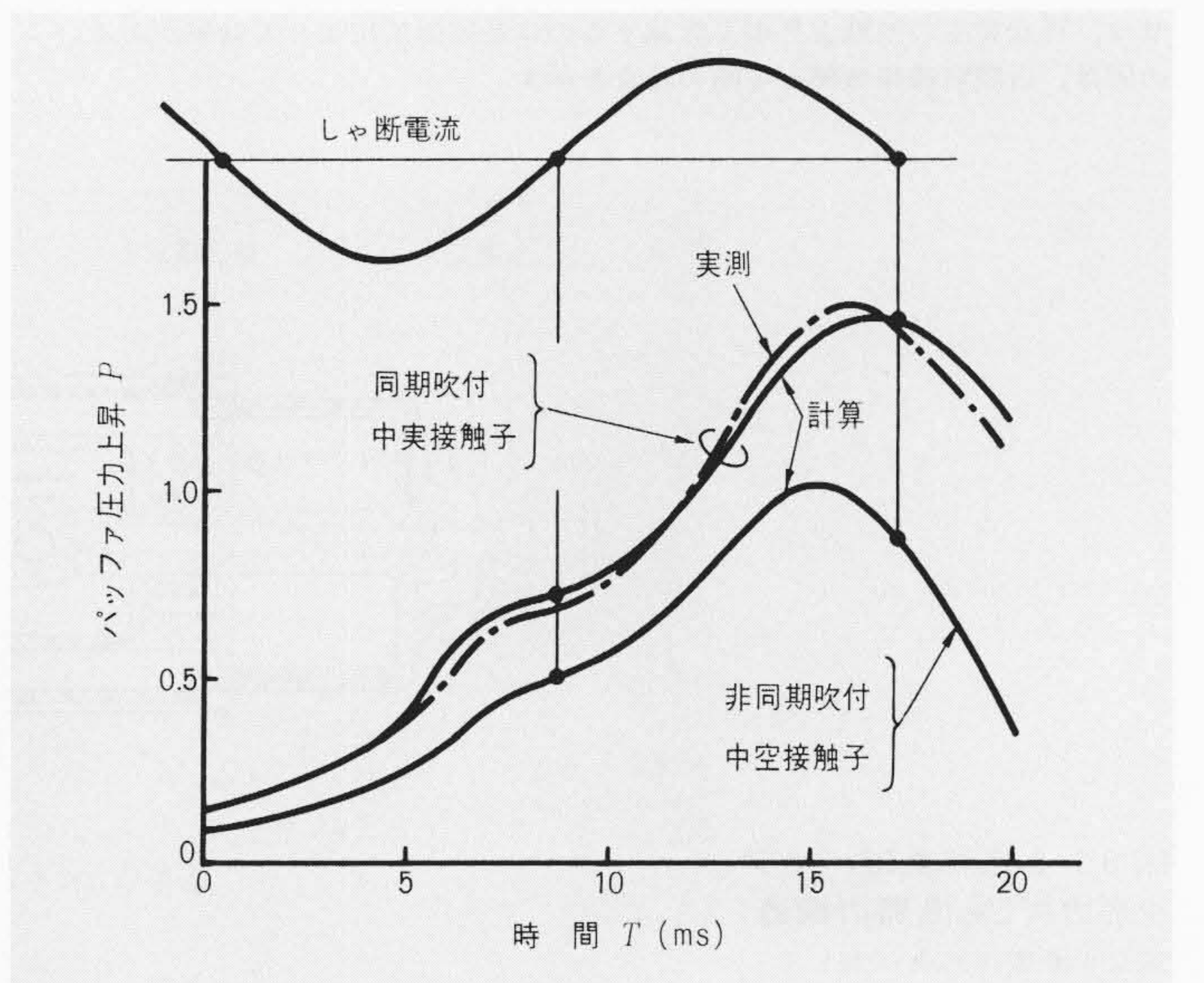


図7 圧力波形の改善 軸方向同期吹付方式と中実アーク接触子により圧力波形は著しく改善され、大電流しゃ断が可能になる。



ず電流が誘起され、駆動コイルとの間に電磁反発力が発生する。  
 この電磁駆動装置によれば、数トンないし数十トンの駆動力が容易に得られ、操作器の駆動力とあい加わってしゃ断部を高速に駆動できる。しかも、電磁力は短絡電流の大きさに応じて変化するので、負荷電流や小電流のしゃ断では電磁力の作用は無視できるほど小さく、合理的な設計が可能である。

**4 しゃ断時間短縮の開発技術**

電力系統の過渡安定度の向上や、大容量変圧器など主要機器に対する短絡電流のストレスを軽減するために、しゃ断時間短縮の要求が高まりつつある。更に、短絡電流による接触子の損傷を最小限に抑え、しゃ断器のメンテナンスフリーを指向することも重要な課題となっている。

パuffa形ガスしゃ断器のアーク時間は、パuffa室の圧力を上昇しながらしゃ断するために、従来の空気しゃ断器や二圧式ガスしゃ断器の最大アーク時間0.6~0.7サイクルに比較して約1サイクルと長く、2サイクル以下の高速しゃ断には不向きと考えられていた。しかし、開極時間1サイクル以下の高速度操作器の開発により、パuffa形ガスしゃ断器による2サイクルしゃ断の技術は確立され<sup>3)</sup>、製品納入台数は既に製作中を含め約300台に達し、フィールドでの運転実績も着着と累積されている。

一方、パuffa形ガスしゃ断器のアーク時間そのものを大

幅に短縮して、1サイクル級のしゃ断とともに、接触子の損傷を最小限に抑えようとする試みも行なわれている<sup>6)</sup>。

図11に、パuffa形1サイクルガスしゃ断器試作器の構造と動作を示す。パuffa室の後ろに吸込室を設けている点が特徴で、パuffa室のガスを圧縮すると同時に吸込室のガスを膨張させ、高圧力と低圧力の差を利用して短時間に強力なガス吹付を得て消弧するものである。図12にその圧力特性を示すように、最小しゃ断時間は1サイクル近く短縮され、アーク時間も0.3~0.4サイクル短縮されている。図13に、240kV、40kA 1点切を対象とした代表的なしゃ断オシログラムを示す。

この試作器では、1サイクル級しゃ断のために、SF<sub>6</sub>ガス

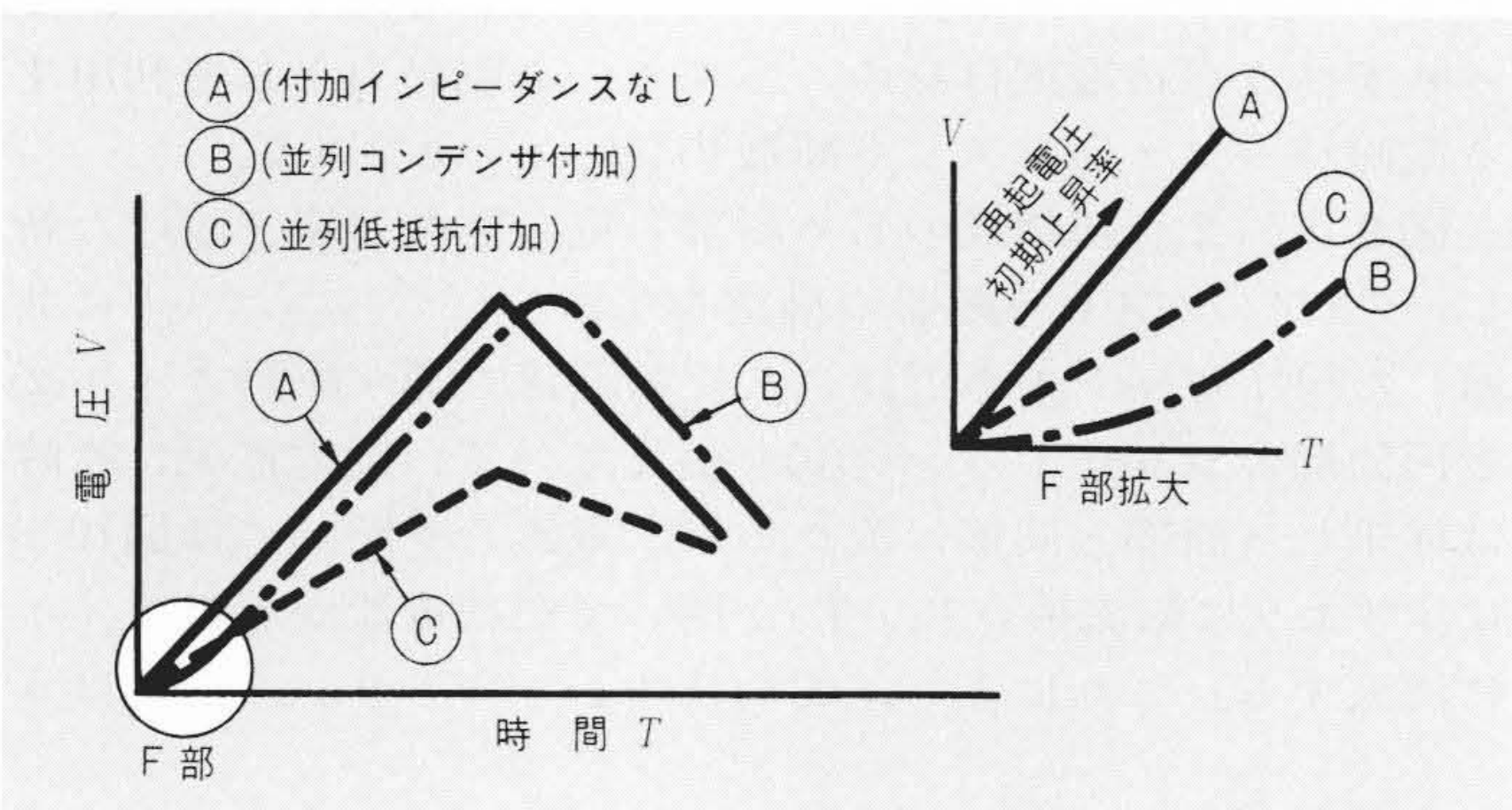


図8 並列コンデンサの再起電圧波形に及ぼす効果 並列コンデンサは、再起電圧の初期上昇率を低減するのに並列低抵抗よりも効果がある。この図は、近距離線路故障しゃ断の場合を示す。

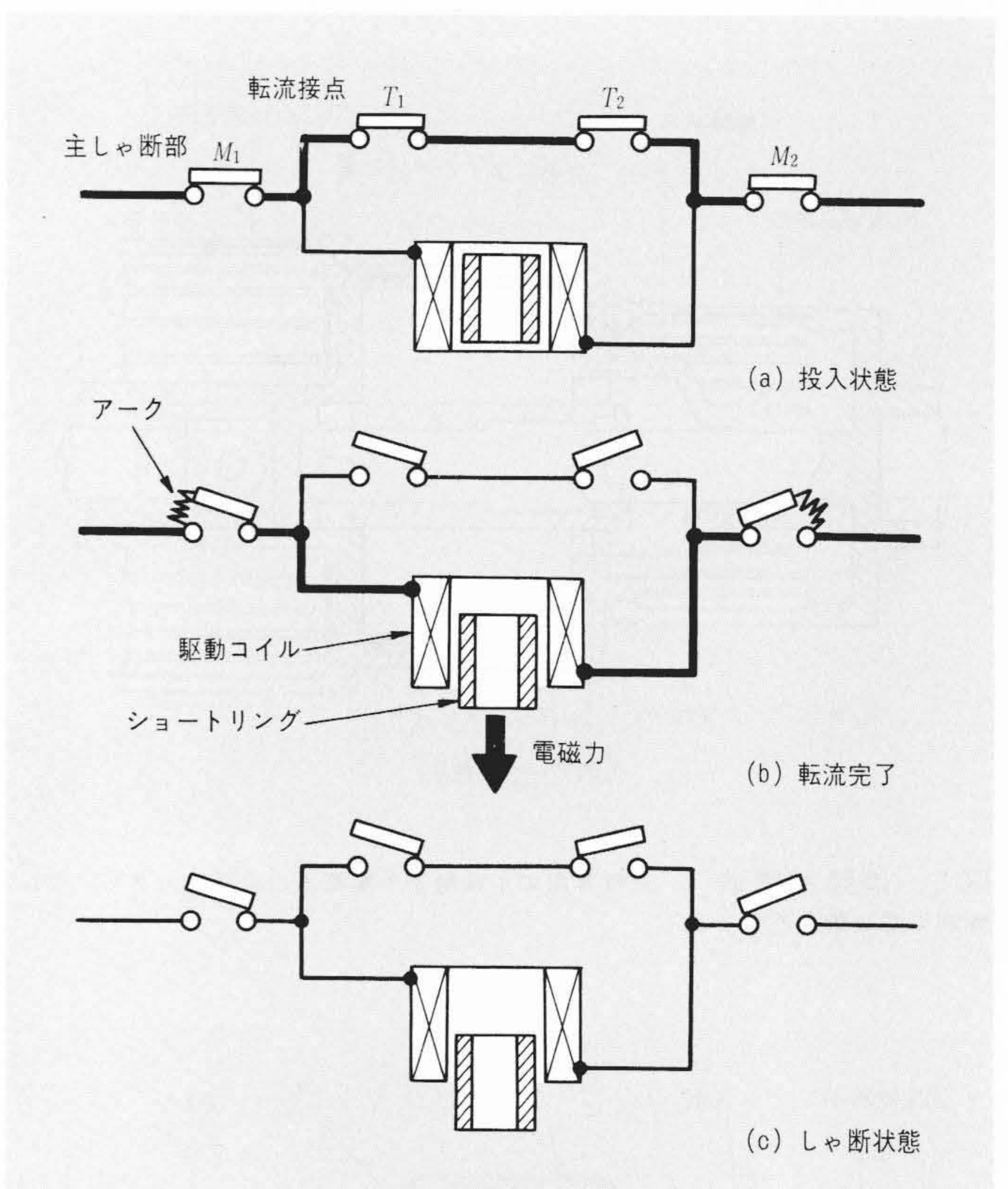


図10 電磁パuffa形ガスしゃ断器のしゃ断動作 転流接点が開くと、短絡電流は駆動コイルに移り、ショートリングには強い電磁反発力が作用する。

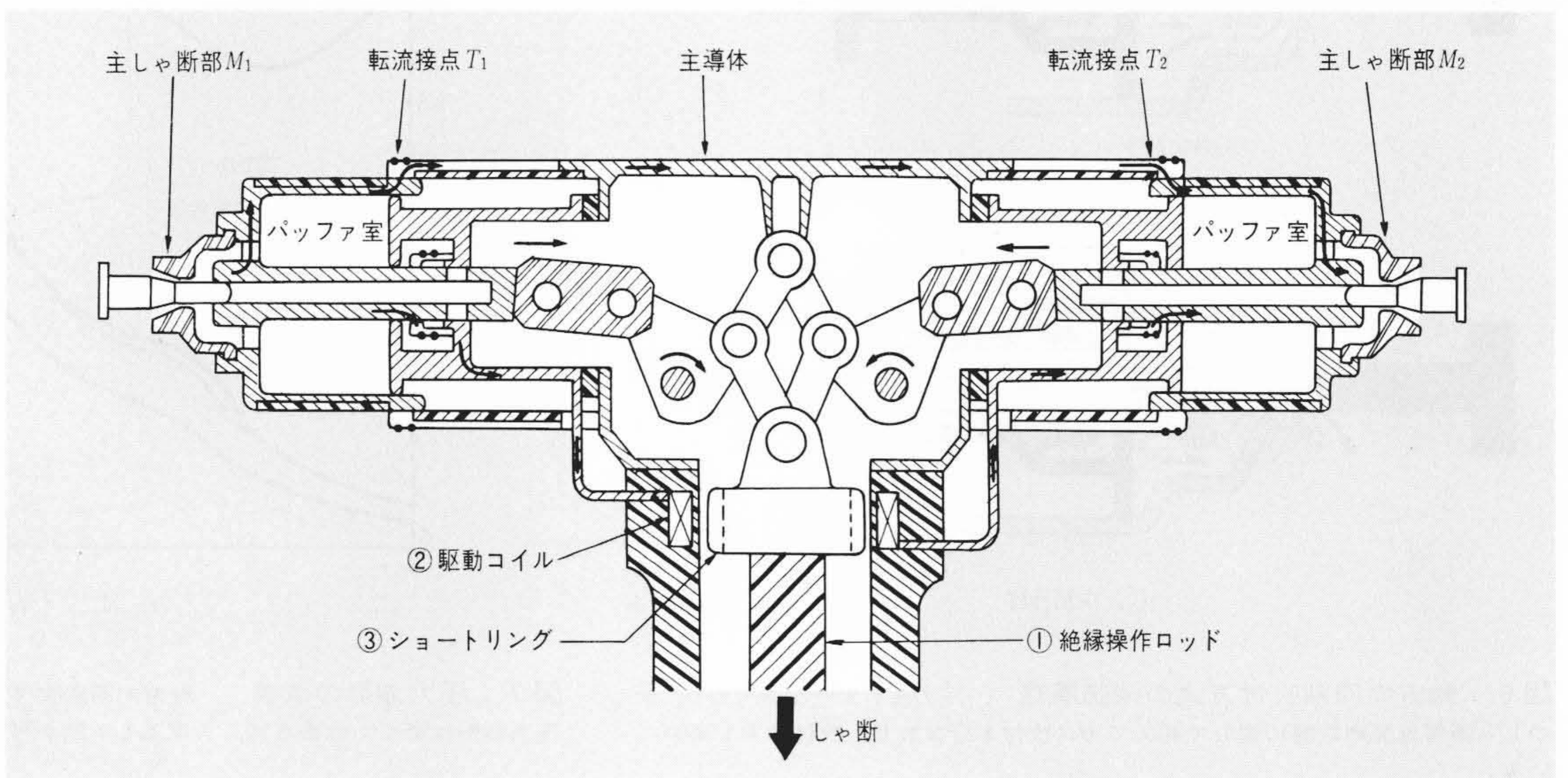


図9 2点切電磁パuffa形ガスしゃ断器の構造 主しゃ断部二組みに対して、一組みの電磁反発機構を設けた構成を示す。短絡電流のエネルギーを利用するため、操作力が小さくて済む。



充填圧力を高く設定しており、かつ開極時間の短い高速操作器を用いている。しゃ断電流の50~63kA以上への格上げや、ガス圧力の低減など引続き改良が試みられており、多様化する電力系統の新しいニーズに呼応する将来の適用が待たれる。

**5 開閉サージ抑制の技術**

500kVないし1,000kV級の超々高压系統では、経済的な絶縁設計のために開閉サージの抑制は不可欠の技術であり、我が国の500kV系統でも1段抵抗投入方式が採用されて、サージ倍数を2倍以下に抑制する技術は定着した。

しかし、1,000kV級送電になると更に低い倍数に抑える必要があり、各種の技術的可能性が追究されている。

図14に、パuffa形ガスしゃ断器に初めて2段抵抗投入方式を採用した複合開閉装置<sup>7)</sup>を示す。最大サージ倍数は1.5倍以下と500kV系統では異例の低レベルに抑制する過酷な仕様に合致するよう開発されたものである。そのため、図15に示すように、従来の第1段投入抵抗接点R<sub>1</sub>に更に同様な構造の第2段投入抵抗接点R<sub>2</sub>を並列に設け、主接点投入に先立って、これら二組みの抵抗値の異なる投入抵抗を順次回路に挿入する構成としている。この2段投入抵抗による投入サージの抑制効果は、アメリカのボンネビル電力庁が行なった現地試験によって確認された。図16にその代表的オシログラムを示す。

この複合開閉装置には、ガス絶縁計器用変圧器が内蔵されており、これによる送電線路上の残留電荷の放電も期待どおりのものであったが、同図の場合には100%以上の残留電荷が

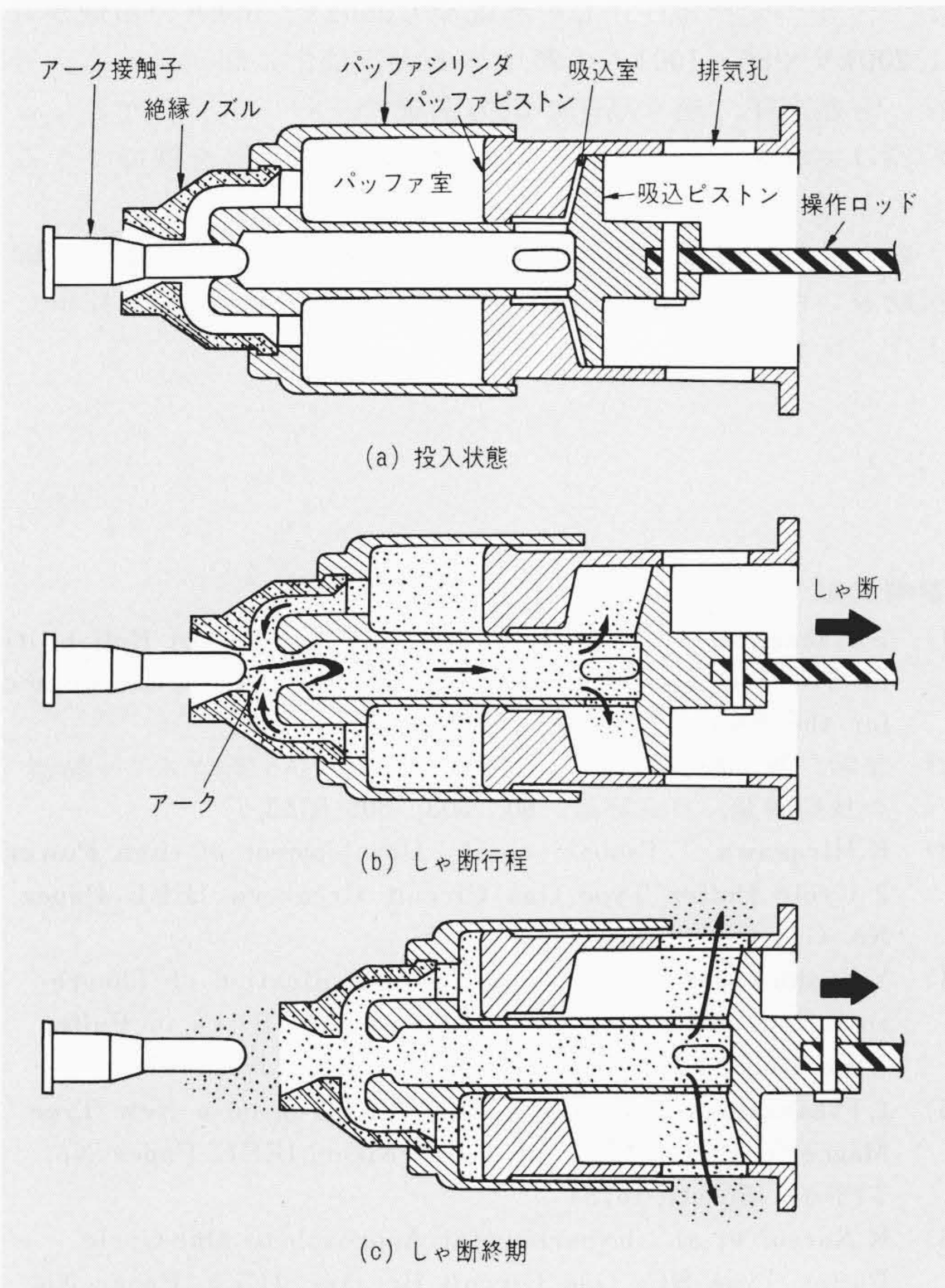


図11 パuffa形1サイクル級ガスしゃ断器の構造と動作 パuffa室のガスを圧縮すると同時に吸込室のガスを膨張させ、それらの差圧により短時間に強力なガス吹付を得て消弧する。

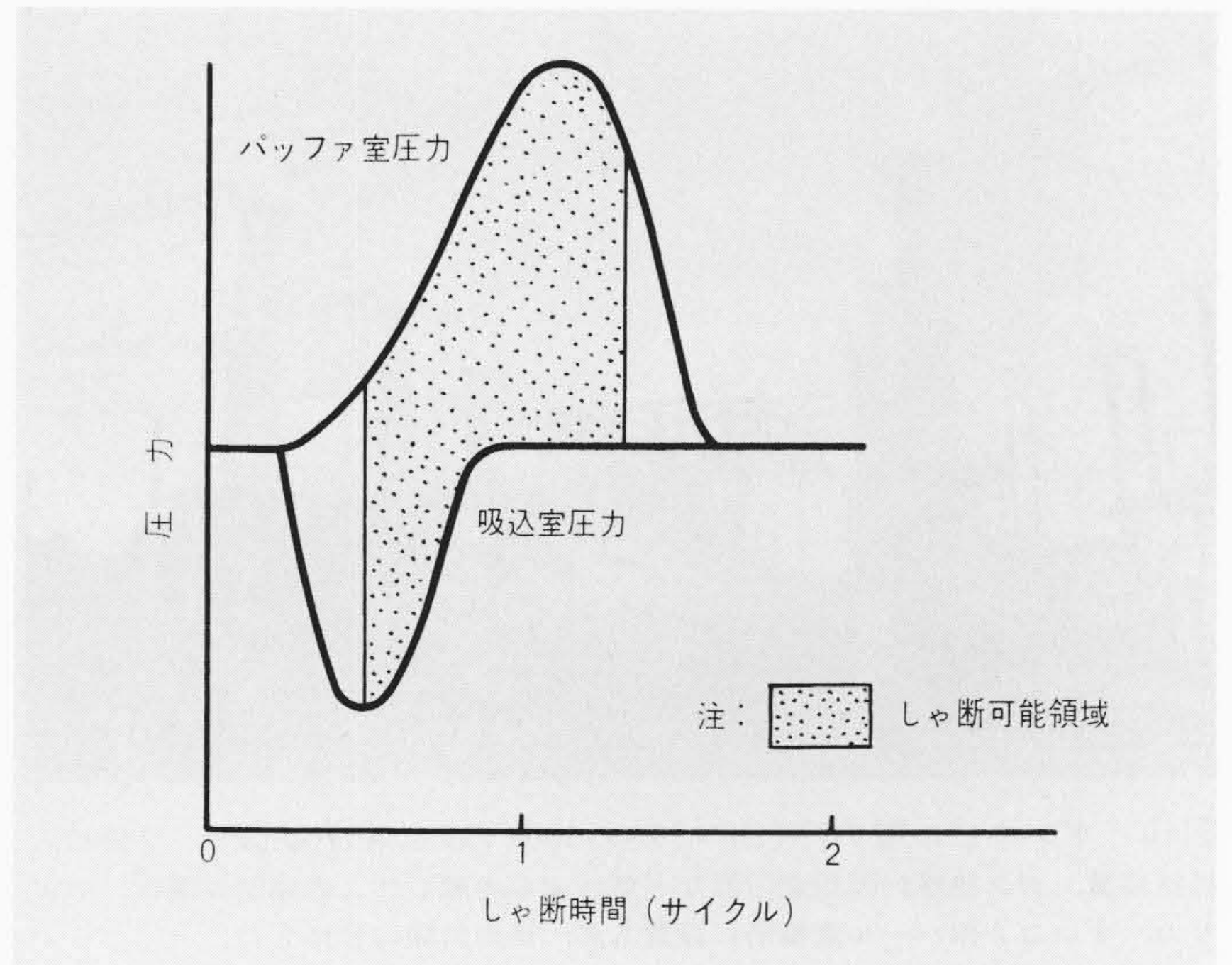


図12 パuffa形1サイクル級ガスしゃ断器のしゃ断原理 消弧に必要な圧力差は、従来の2サイクルしゃ断に比べ約1サイクル早く得られる。

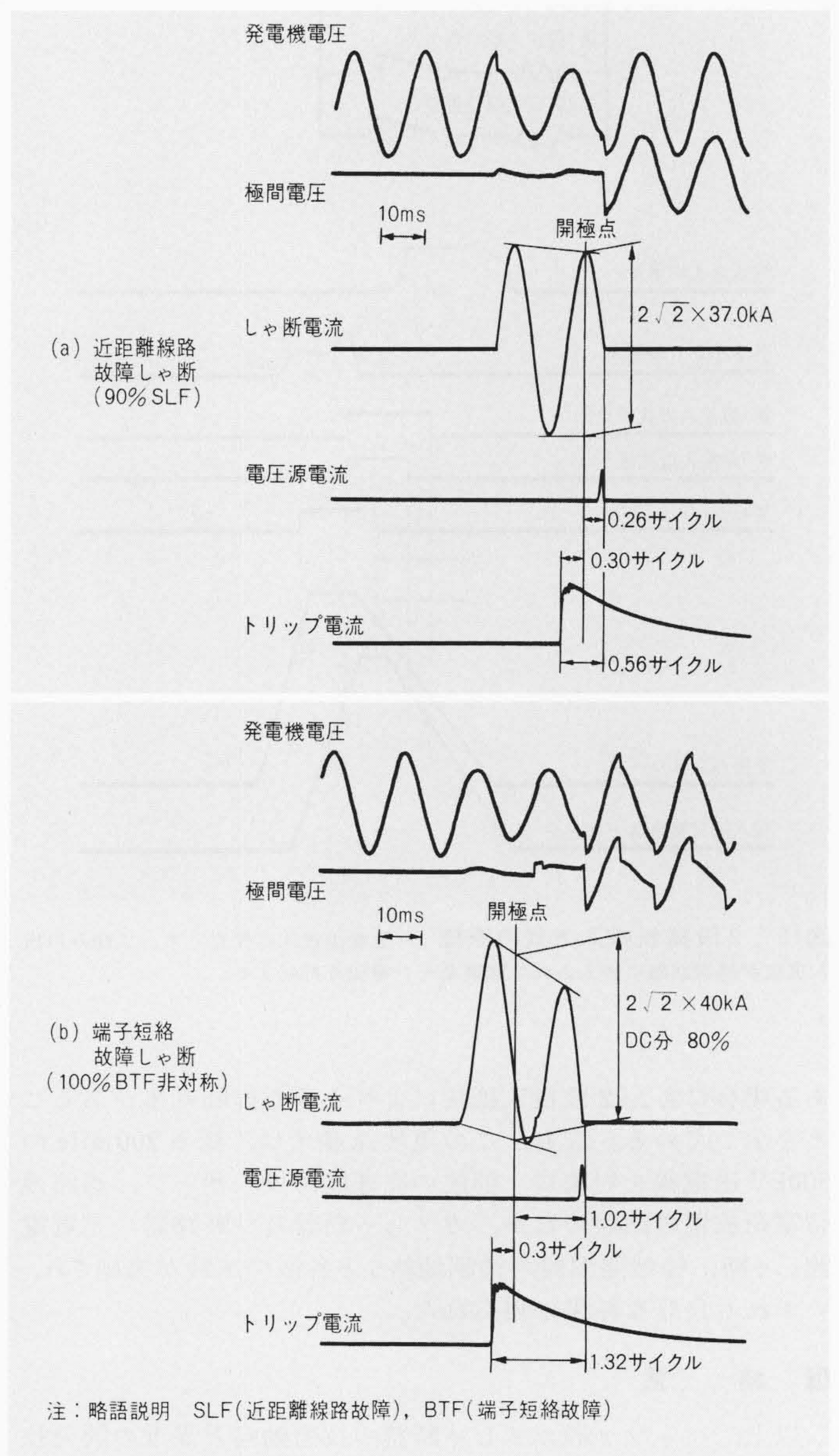


図13 しゃ断試験オシログラム例 開極時間0.3サイクル、最小アーク時間0.2サイクルで、しゃ断時間は1.2サイクルになる。図の(b)は強制アーク延長によりしゃ断の裕度を示したもので、240kV、40kA1点切対象の試験である。



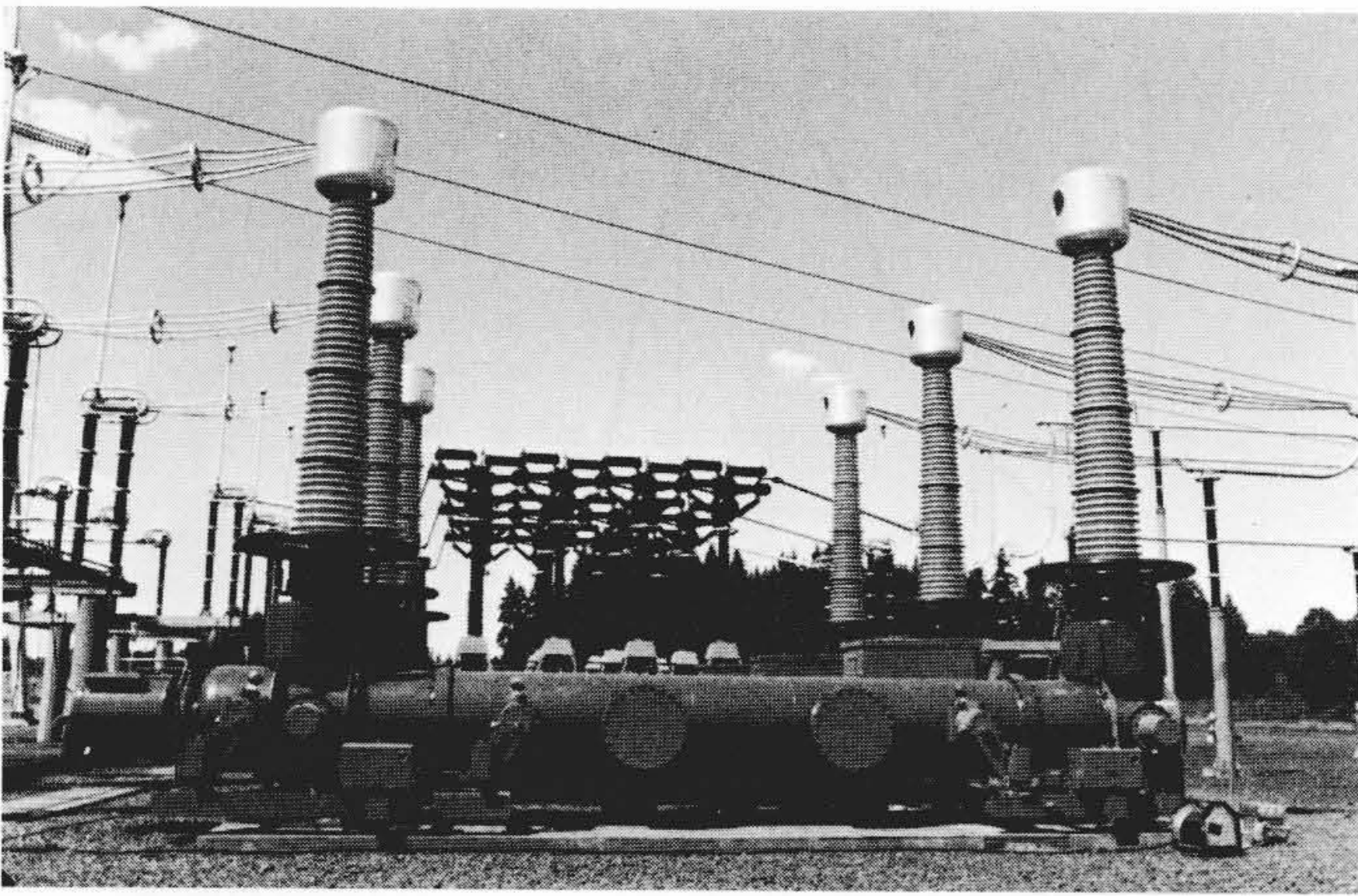


図14 ボンネビル電力庁(BPA)納め500kV複合開閉装置 2段投入抵抗装置、ガス絶縁計器用変圧器など新技术を内蔵したこの開閉装置は、アメリカ、オレゴン州パール変電所に設置され、現地試験に合格した。

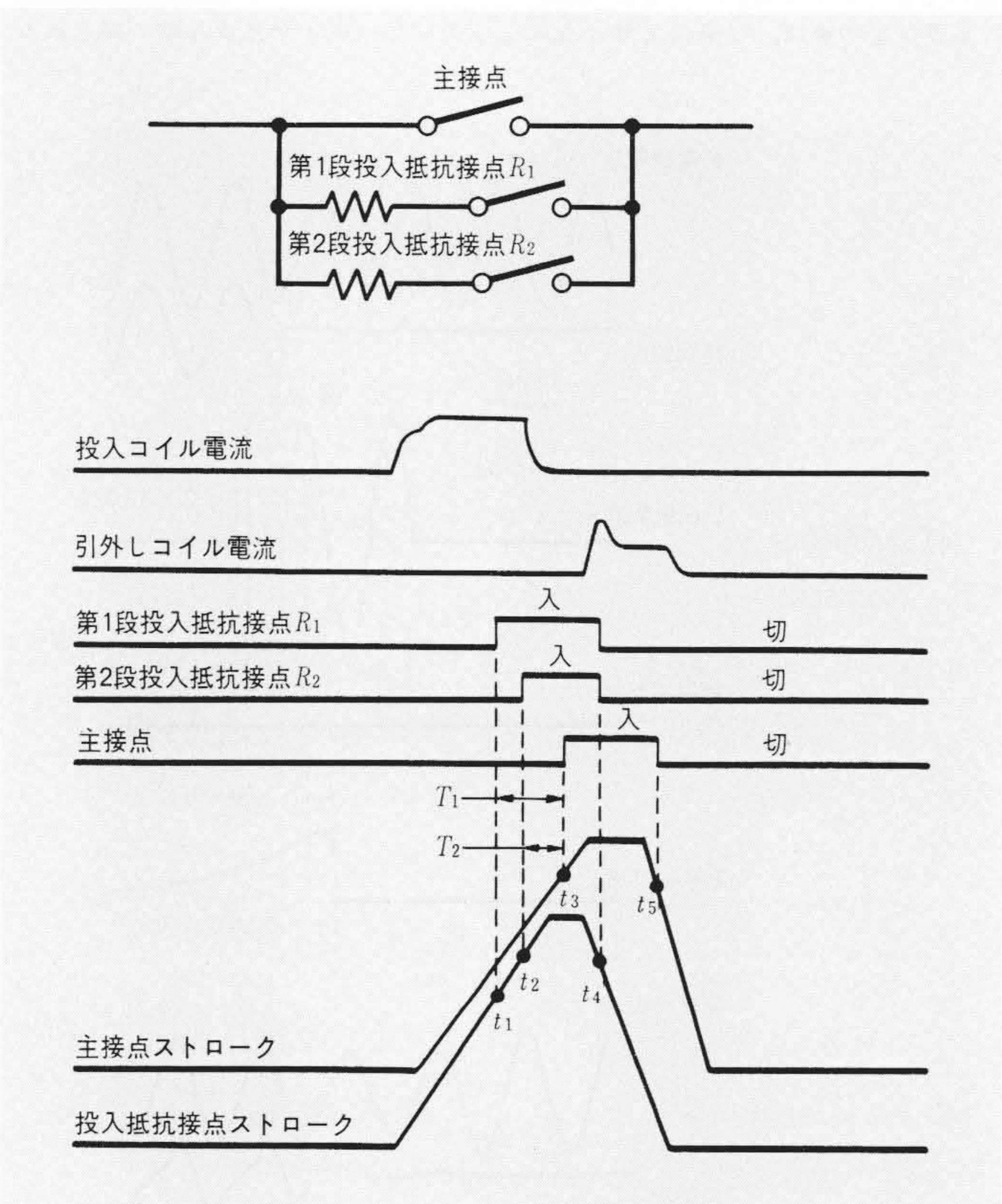


図15 2段抵抗投入方式の原理 主接点投入に先立って、二組みの投入抵抗が順次回路に挿入されて過渡サージ電圧を抑制する。

ある場合にも、2段投入抵抗により十分な抑制効果があることを示している。なお、この現地試験では、長さ200mileの500kV送電線を対象に、前述の高速再投入サージ、線路残留電荷放電の試験のほか、ガスしゃ断器及び断路器の充電電流しゃ断、接地開閉器の強制地絡など各種の試験が実施され、いずれも良好な結果が得られた。

## 6 結 言

以上、パuffers形ガスしゃ断器の技術動向と最近の開発技術の概要について論述したが、構造、動作原理とも簡単で優れた絶縁及び消弧性能をもつパuffers形ガスしゃ断器は、その信頼度も従来のしゃ断器に比較して大幅に向上されてきて

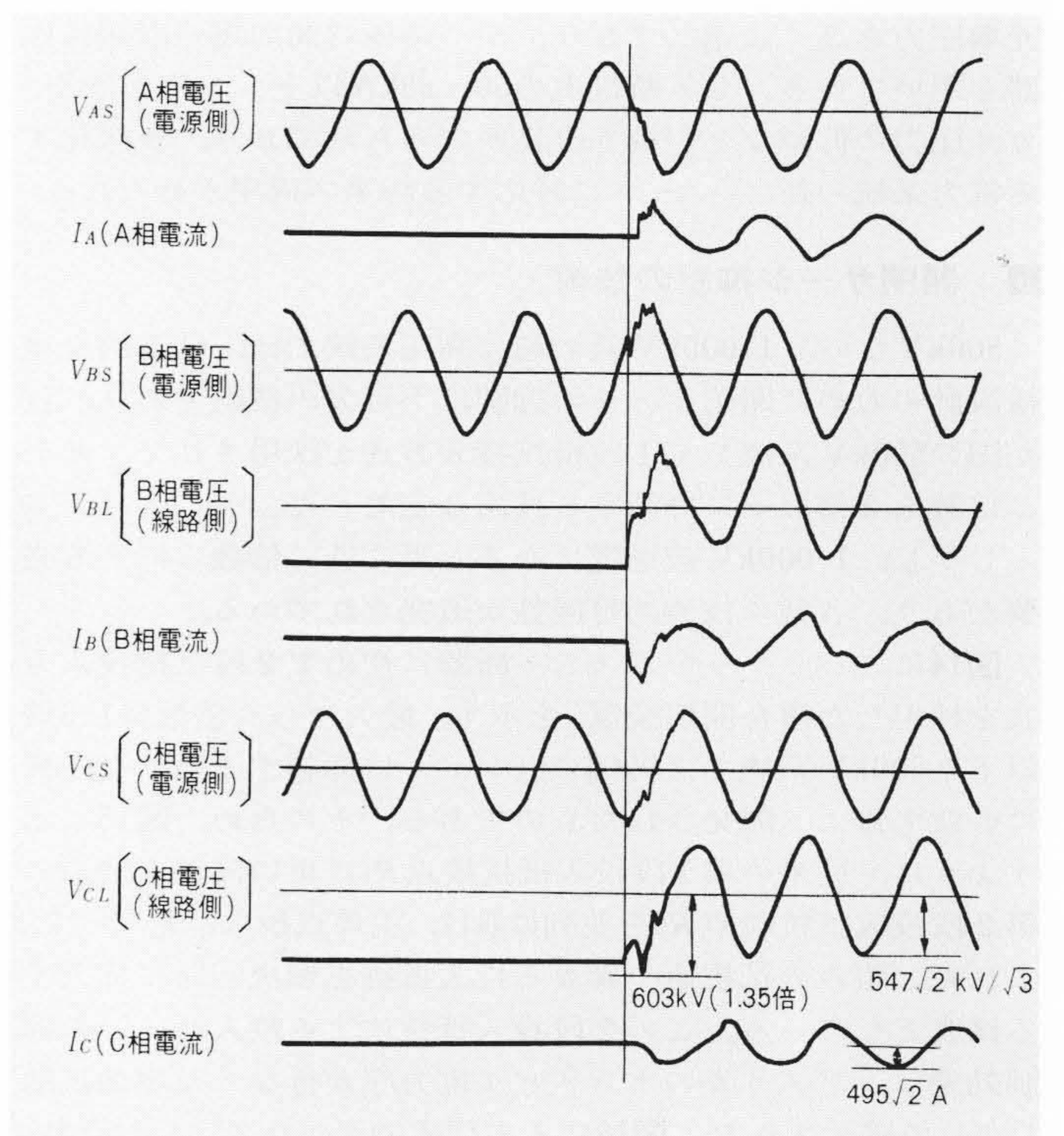


図16 投入サージ現地試験オシログラム例(部分) 110%の電荷が残る長さ200mileの500kV送電線を投入した。観測されたサージ倍数は最大1.35倍と低く、2段抵抗投入の効果を確認された。

おり、かつ定格電圧、しゃ断電流も550kV、63kAの領域から1,200kVや80~100kAの領域へと大容量化の傾向にある。今後とも超高压、超々高压の電力系統で、パuffers形ガスしゃ断器は主流を占めるとともに、更に新しい発展を期待できるものと考えられる。

終わりに、これら新技术の開発に当たり、終始御指導と御援助をいただいた電力会社の関係各位に対し、厚く御礼申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) S.Nakano et al.: The Puffer Breaker, Improved Reliability in SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breakers, 1978 Reliability Conference for the Electric Power Industry(Australia)
- 2) 築紫, 外: 超高压・超々高压用63kAパuffers形ガスしゃ断器の技術開発, 日立評論, 60, 503~508(昭53-7)
- 3) K.Hirasawa, T.Tsubaki et al.: Development of High Power 2 Cycle Puffer Type Gas Circuit Breakers, IEEE Paper No. C74-089-9(Jan. 1974)
- 4) Y.Yoshioka et al.: A Method and Application of Theoretical Calculation for On-Load Pressure Rises in Puffer Type GCB, IEEE Paper No. F78-682-7(July, 1978)
- 5) I.Takahashi, Y.Yoshioka et al.: Research on a New Type Magnetic Puffer Gas Circuit Breaker, IEEE Paper No. T73-341-5(July, 1973)
- 6) K.Natsui et al.: Experimental Approach to One-Cycle Puffer Type SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breaker, IEEE Paper No. F79-759-2(July, 1979)
- 7) K.Ôishi et al.: 500kV Gas-Insulated Combined Switchgear, Hitachi Review, 27, 243~249(1978)