

大容量ガスしゃ断器

High Voltage Large Capacity Puffer Type SF₆ Gas Circuit Breakers

電力系統の増大に伴い高信頼度の大容量しゃ断器が要求されているが、日立製作所はこのたび従来の50kAシリーズに加え、しゃ断電流63kAシリーズを系列化するとともに、送電容量の増大に対処するため定格電流8,000～12,000Aの大電流ガスしゃ断器の系列化も合わせて実施し、大容量パッファ形ガスしゃ断器のシリーズを完成した。

本稿は、大容量パッファ形ガスしゃ断器の構造、特長及び大電流しゃ断、大電流通電の技術開発について述べる。

佐々木幸司* Kôji Sasaki
竹内茂隆* Shigetaka Takeuchi
佐藤 稔** Minoru Satô

1 緒 言

近年、電力系統の増大及び電源立地条件の制約に伴い、高度の信頼性をもつ小形・軽量の超高压、超々高压大容量ガスしゃ断器が要求されている。

図1にパッファ形ガスしゃ断器の高電圧、大容量化の経緯について示すが、しゃ断容量、通電容量ともその大容量化の進歩には著しいものがあり、既に定格電圧550kV、しゃ断電流63kA、定格電流12,000Aまで製品化されている。

パッファ形ガスしゃ断器は、従来の空気しゃ断器、二重圧力形ガスしゃ断器に比較し、小形・軽量で部品点数が少ないなどの利点をもっているほか、製造・品質管理技術の向上とあいまって、長寿命・高信頼度のしゃ断器として評価され、高電圧電力用しゃ断器の主流となっている。

このような背景から、日立パッファ形ガスしゃ断器の製作・納入実績は既に2,500台を超えており、240～550kV超高压、超々高压ガスしゃ断器でも500台を超える実績がある。今回新たに系列化したしゃ断電流63kAシリーズ及び定格電流8,000～12,000Aシリーズは、いずれもこれら製作・納入実績をベースに開発したものであり、信頼性、保守性、経済性などの面からも優れた特長をもっている。

2 大容量パッファ形ガスしゃ断器の系列

表1に超高压、超々高压パッファ形ガスしゃ断器の定格表を示す。図2は、168kV、50kA、1しゃ断点構成ガスしゃ断器の外観を、図3は、550kV、50kA、4しゃ断点構成ガスしゃ断器の外観を示すものである。

構造はいずれも接地タンク形を採用しており、断路器、接地装置などと組み合わせた複合開閉器、ガス絶縁開閉装置への適用が容易である。また、重心位置を低くし、耐震性を改善するとともに、低位置に設けられた点検窓部から内部の点検作業が容易にできるよう配慮するなど、実用性を重視した構造・構成となっている。

3 大容量パッファ形ガスしゃ断器の技術開発

パッファ形ガスしゃ断器は、SF₆ガスの優れた消弧性能により接触子の寿命が長く、ガス中部分については保守点検周期を従来機器に比べ大幅に延長できる見通しである。しかし、パッファ形ガスしゃ断器は自力消弧方式のため操作駆動力が大きく、機械系の信頼性向上が保守省力化の要求に対して重要な課題となっている。

表2に大容量パッファ形ガスしゃ断器の問題点とそれらの

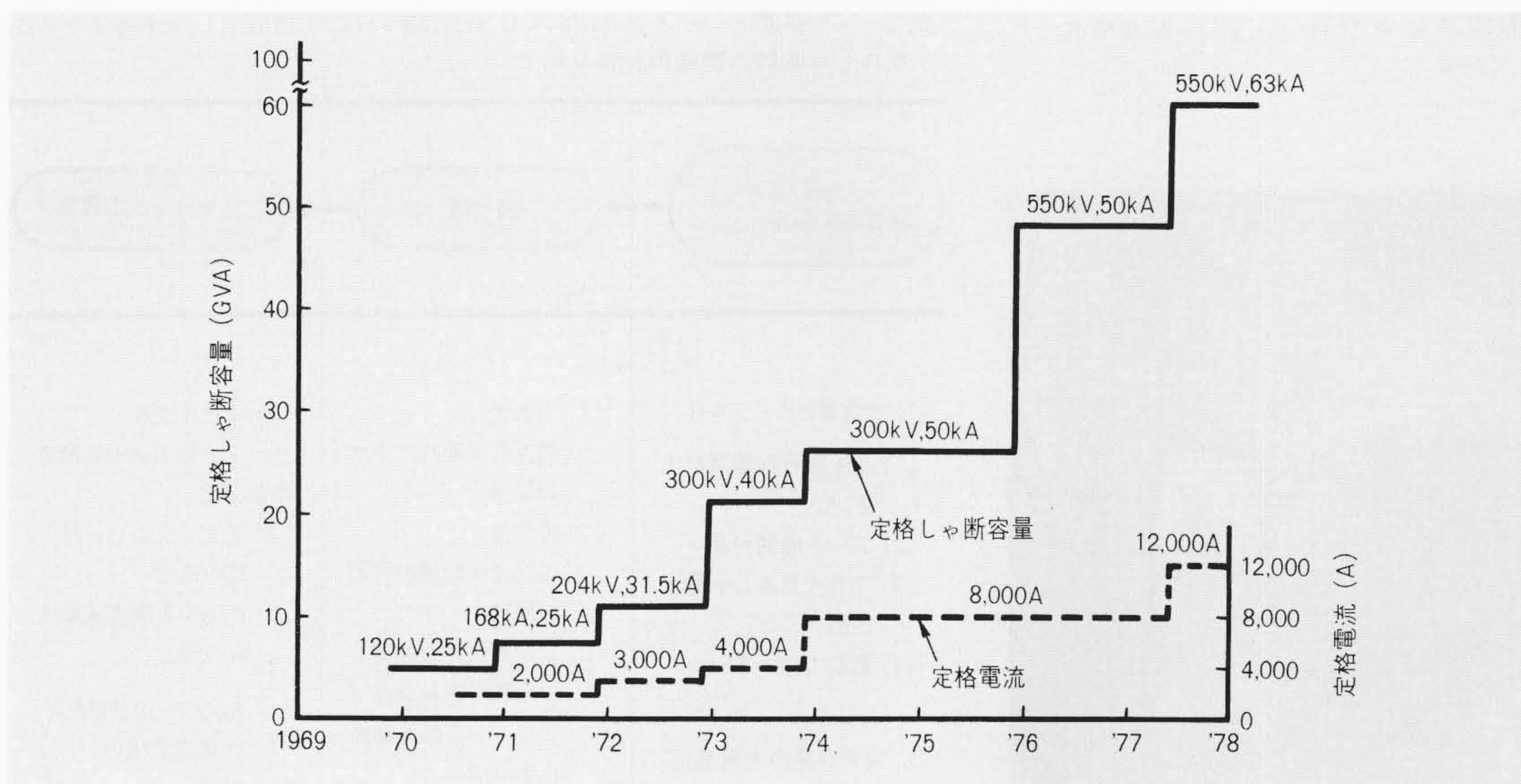


図1 日立パッファ形ガスしゃ断器の高電圧化、大容量化の経緯 定格電圧で550kV、しゃ断電流63kA、定格電流12,000Aまで系列化を完了し、製品化されている。

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所

表1 大容量パuffa形ガスしゃ断器の定格表 168kV, 50kA(1しゃ断点構成)から550kV, 63kA(4しゃ断点構成)まで接地タンク形で系列化を完了している。

定 格	機 種	1	2	3	4	5	6	7*	8*
定 格 電 圧(kV)		168	240	240	300	420	550	800	1,100/1,200
定 格 電 流(A)		2,000~6,000	2,000~8,000	2,000~8,000	2,000~8,000	2,000~8,000	2,000~12,000	2,000~12,000	2,000~12,000
定格しゃ断電流(kA)		40/50	40	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63
定格しゃ断時間(サイクル)		3	2/3	2/3	2/3	2	2	2	2
しゃ断点数(点/相)		1	1	2	2	2	4	4	6

注：*は、開発中を示す。

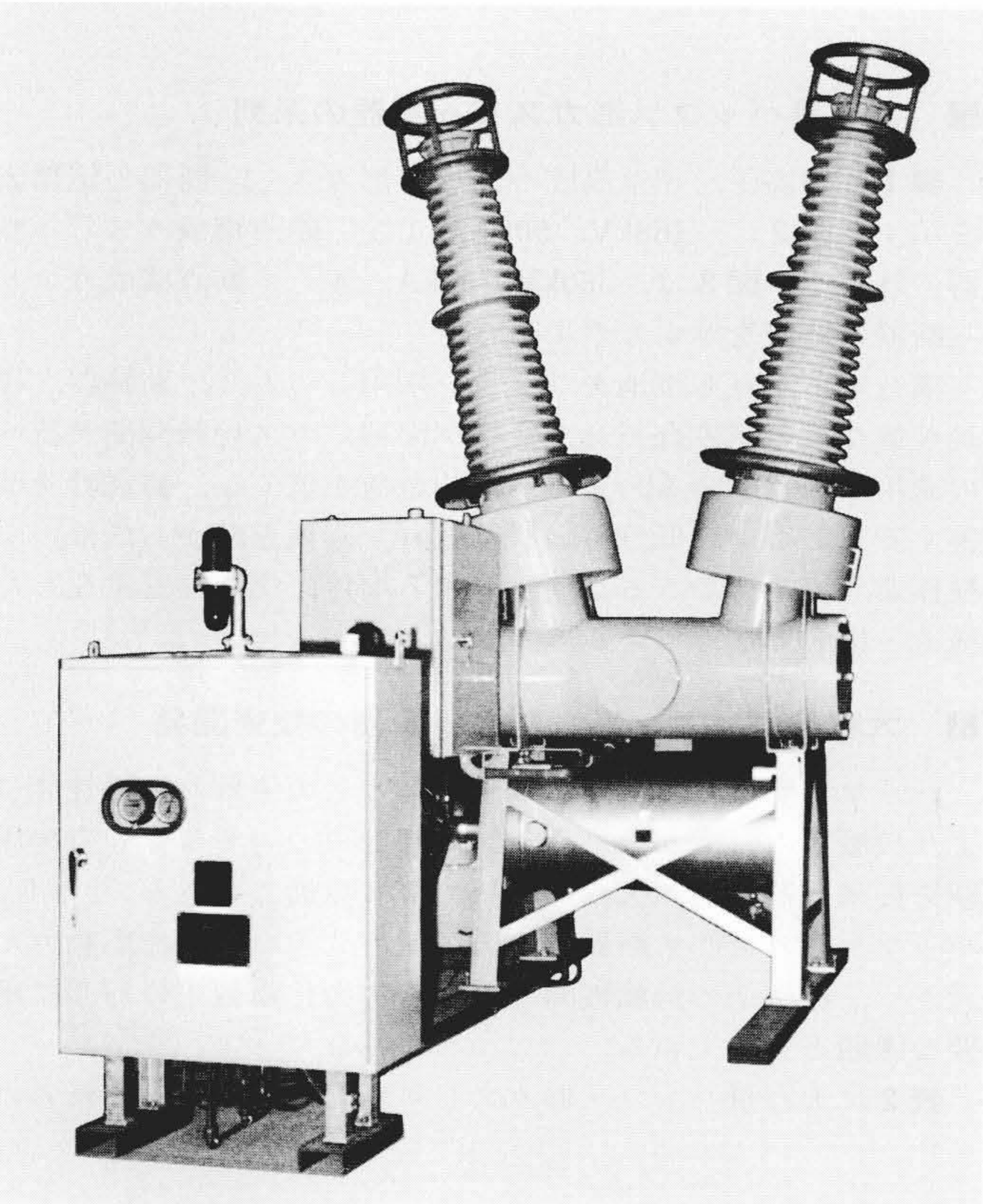


図2 168kV, 50kAパuffa形ガスしゃ断器 1しゃ断点構成のため寸法、重量とも小形・軽量化されている。

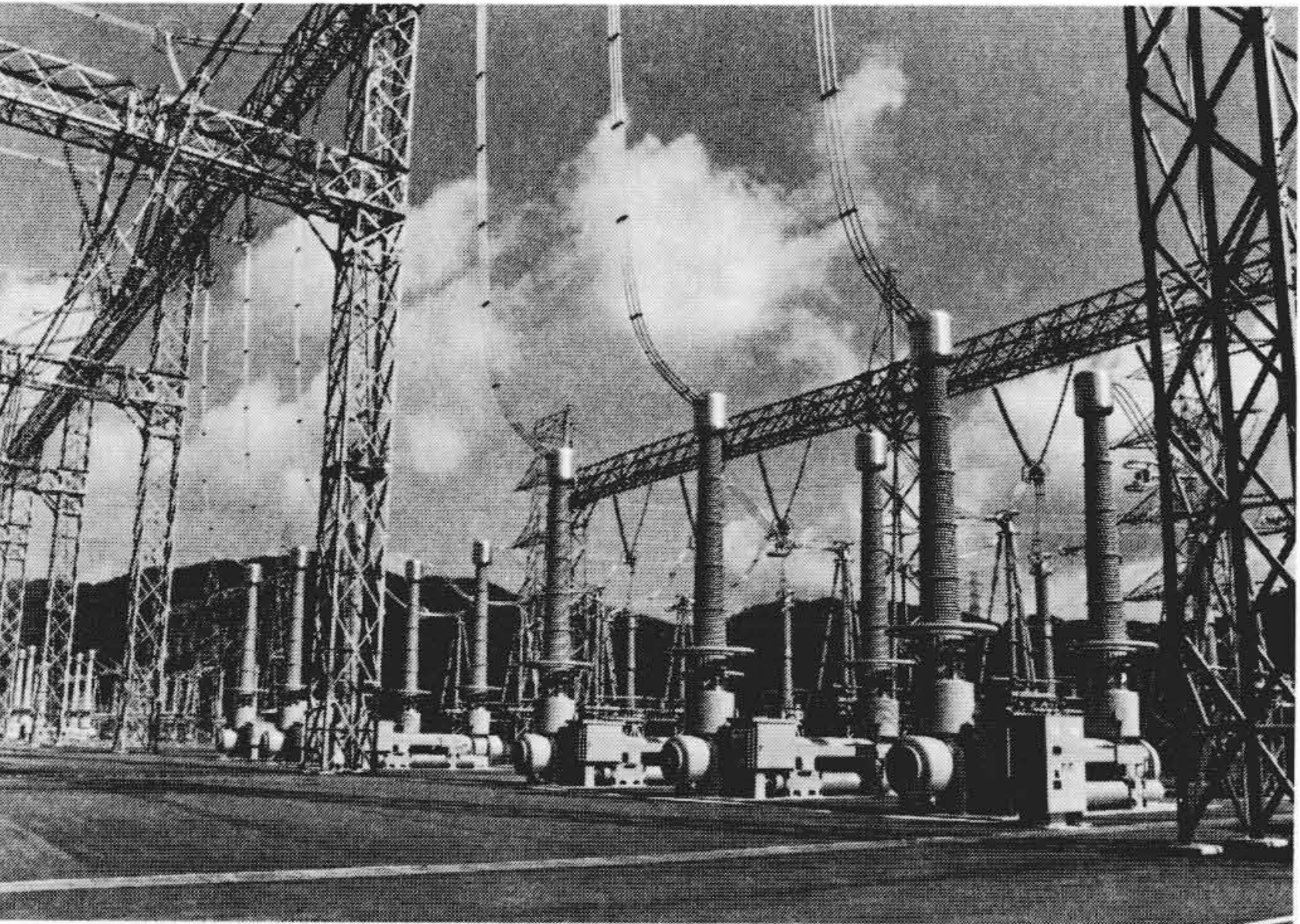


図3 550kV, 50kAパuffa形ガスしゃ断器 4しゃ断点構成で、重心位置が低く、タンク側面の点検窓から保守点検ができる。

技術開発の内容を要約したが¹⁾、大容量化に際し機械系の信頼性確保が重要である。このため、63kAシリーズの開発に際し、消弧性能の向上を図る一方、並列コンデンサによりしゃ断責務を軽減し、操作駆動力が増大しないよう配慮している。以下に大電流しゃ断、大電流通電の技術開発の概要について述べる。

3.1 大電流しゃ断の技術

SF₆ガスは、油、圧縮空気に比べ消弧性能、絶縁性能とも格段に優れているが、小形・高信頼度のパuffa形ガスしゃ断器の開発に際し次のような技術開発上の問題がある。

- (1) 自力消弧方式のため、大電流アークエネルギーの冷却処理にパuffaシリンダの大きな吹付力が必要となる。
- (2) 小形化のためしゃ断点数を少なく、ユニット当たりの電圧を大きくとっているため、ユニット当たりの再起電圧上昇率が高い。

このため、特に再起電圧上昇率の過酷な近距離線路故障(SLF)しゃ断が問題となるほか、機械系の信頼性確保が重要な課題となる。

(a) 短絡電流しゃ断性能

SF₆アークは、図4に示すようにアーク中心近傍の導電率の大きい弧心部と、導電率は小さいが熱伝導率の大きな外炎部から成り、弧心部と外炎部の境界近傍で急激な温度変化

表2 大容量パuffa形ガスしゃ断器の技術開発 大容量2サイクルガスしゃ断器の開発の経緯を示す。

パuffa形ガスしゃ断器の問題点	技 術 開 発	超々高圧大容量化
1. 大容量2サイクル化 (1) しゃ断可能電流が小さい。 (2) アーク時間が長い。 (3) 2サイクルしゃ断が困難。 (4) 駆動力が大きい。 2. 通電容量の大電流化 定格電流が小さい。	(1) 消弧室 軸方向同期吹付方式の開発。 (2) 操作器 高速度大容量操作器の開発。 (3) 自冷式大電流通電しゃ断部、タンク及びブッシングの大電流構造の開発	63kA2サイクル パuffa形ガスしゃ断器の製品化 (1) 2サイクルしゃ断方式の確立 (2) 自冷式大電流通電技術の確立 (8,000~12,000A) 大電流定格の製品化

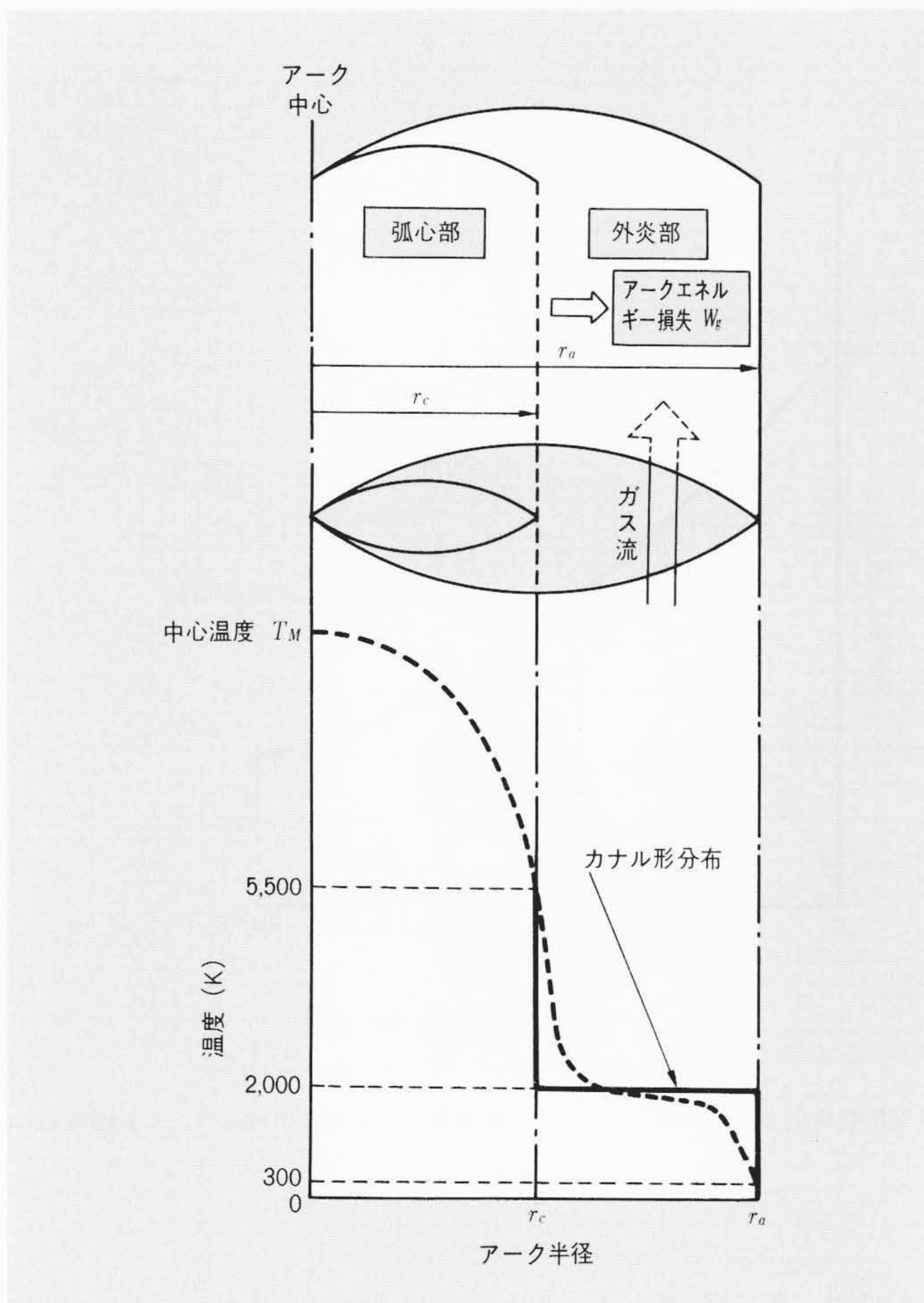


図4 SF₆アークモデル SF₆アークの半径方向温度分布を示す。アーク半径 $r_c \sim r_a$ 間の温度分布を台形で近似(カナル形)することにより解析解が得られる。

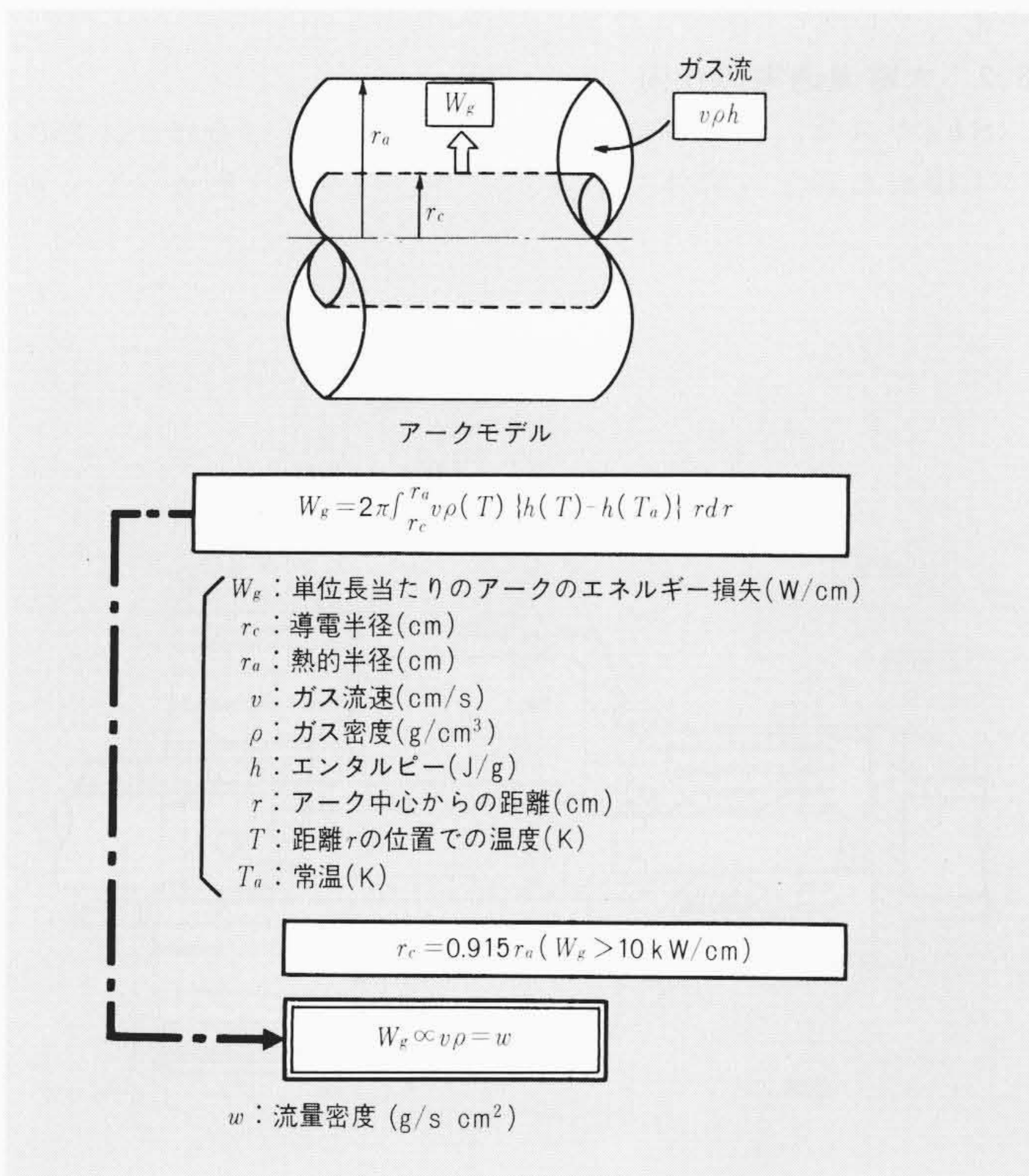


図5 アークのエネルギー損失と流量密度 ガス吹付けによるアークのエネルギー損失 W_g は、アークに吹き付けられるガス流速 v と密度 ρ に比例する。

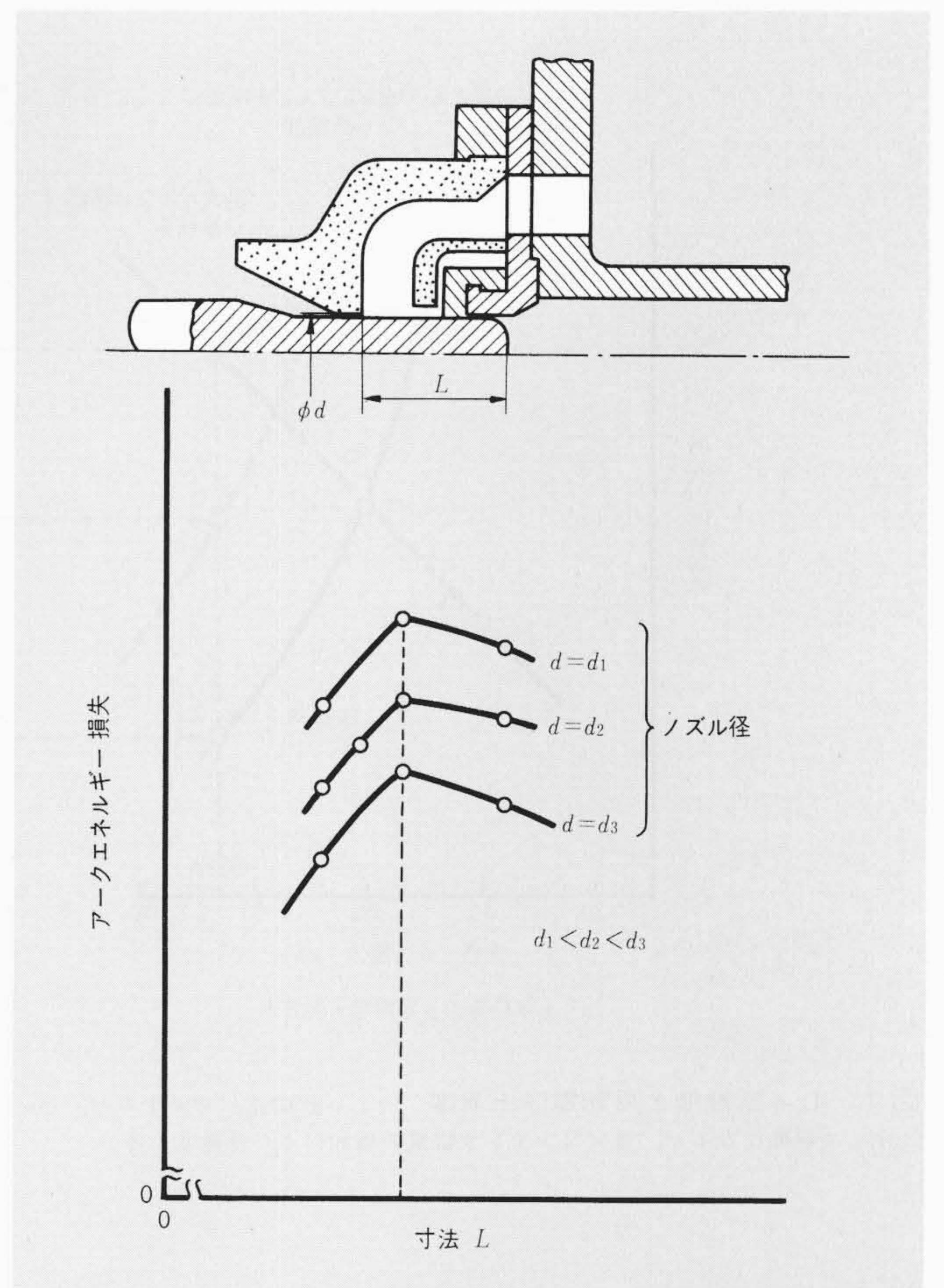


図6 アークエネルギー損失の解析結果 ノズル径 d 、寸法 L を適当に設定すれば、アークエネルギー損失(アーク冷却特性)を改善できる。

のことが特徴である。このアーク柱の半径方向の温度分布をカナル形で近似することで、ガス吹付けによるアークの冷却を定量的に求めることができる²⁾。

図5に示すように、しゃ断性能の向上にはアークに吹き付けるガス流速 v とガス密度 ρ を、いかに大きくするかということが基本になり、この $(v \cdot \rho)$ の値を最大とする消弧室諸元を解析し、大容量消弧室の設計を行なっている²⁾。図6に解析結果の一例を示す。

(b) しゃ断性能と再起電圧上昇率

300～550kV、63kA定格ガスしゃ断器では、再起電圧上昇率の大きい近距離線路故障しゃ断が最も過酷になる。

しゃ断器のしゃ断性能は、一般に図7(a)に示すようにしゃ断する電流が増大するとしゃ断可能な再起電圧上昇率は低下する²⁾。一方、系統条件で決まるしゃ断責務はしゃ断電流に比例して過酷となるため、63kA定格では従来の50kA定格のしゃ断器に比べ、大幅な性能向上が必要となる。このような大幅な性能向上を達成するには、消弧室構造の改善に加え、操作駆動力の増大が必要となり機械系の信頼性が問題となる。

図7(b)は、並列コンデンサによるしゃ断責務の再起電圧上昇率低減効果を示したもので³⁾、このほか並列抵抗により再起電圧上昇率を軽減する方法もある。しかし、超高压以上のしゃ断器では多点切りとなり、各しゃ断点の電圧分担を均等化する目的で従来から並列コンデンサが用いられている。この並列コンデンサ容量を増加させ、再起電圧上昇率を軽減する一方、パuffer部の吹付効率の改善により、操作器は多数

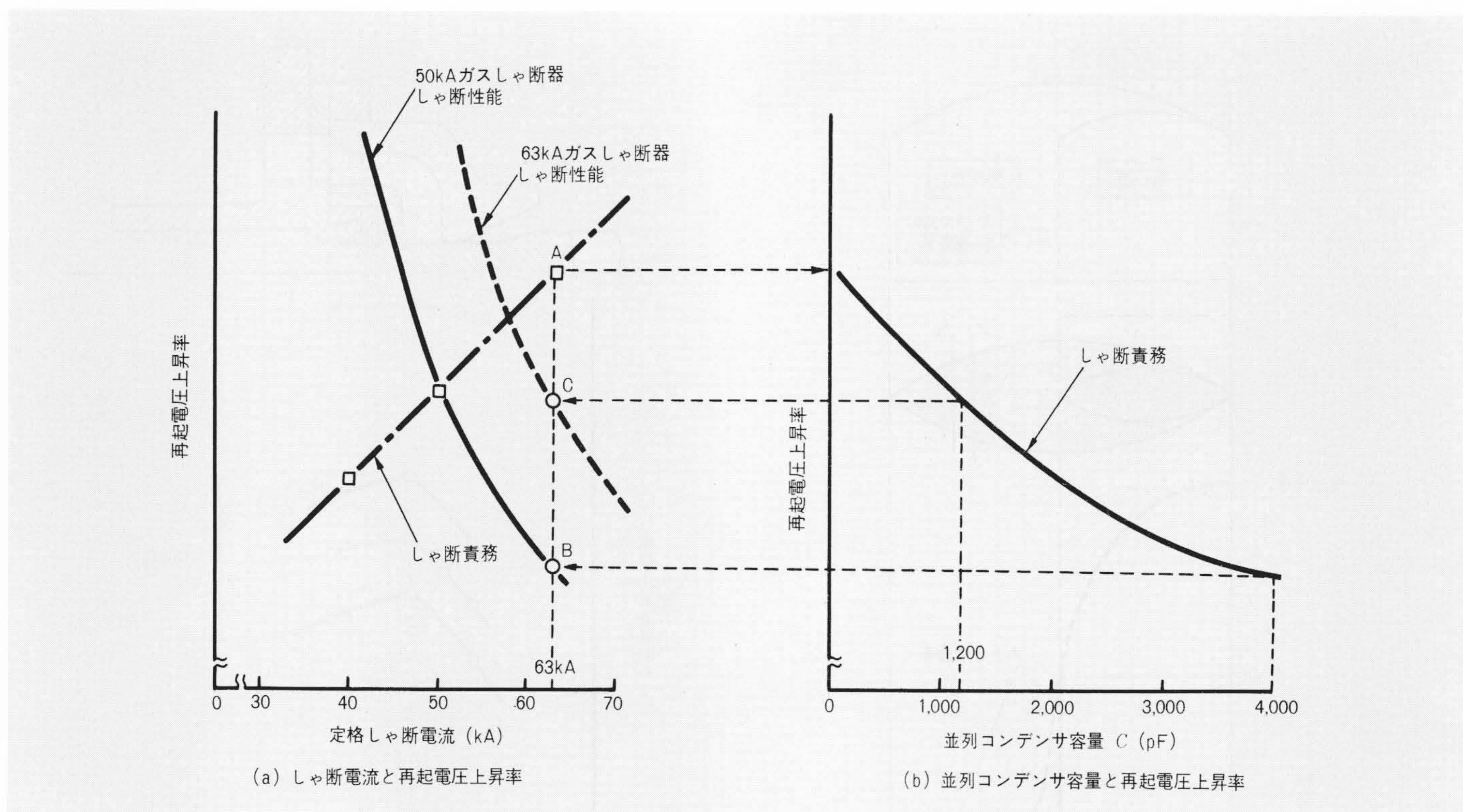


図7 シャ断性能と再起電圧上昇率 シャ断電流が増大すると、しゃ断可能な再起電圧上昇率は低下する。しゃ断責務の再起電圧上昇率は、しゃ断電流に比例して過酷になるが、並列コンデンサ容量の増加により低減される。

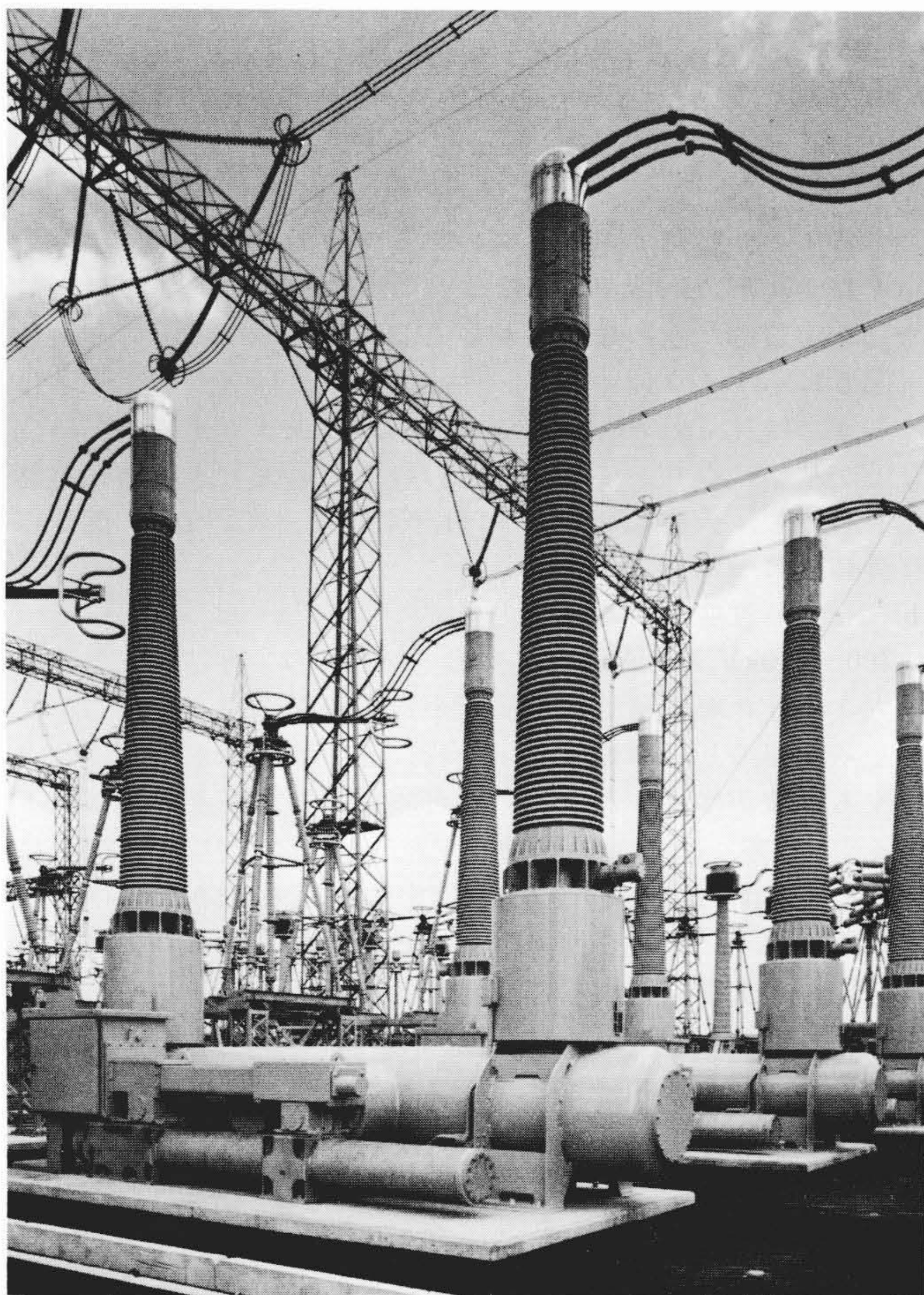


図8 550kV, 50kA 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器 並列コンデンサ容量の追加だけで63kAへ格上げできるため、現地改造が容易である。

の製作・納入実績のある50kAシリーズと共用することで63kAシリーズを系列化している。図8は550kV, 50kA, 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器の外観を示すものであるが、並列コンデンサ容量の追加だけで63kA定格へ格上げが可能となっており、将来の短絡容量の増大に対し容易に対処できる特長をもっている。

3.2 大電流通電の技術

SF₆ガスは、消弧性能、絶縁性能が優れているほか、熱的にも優れた熱伝達媒体である。一方、パッファ形ガスしゃ断

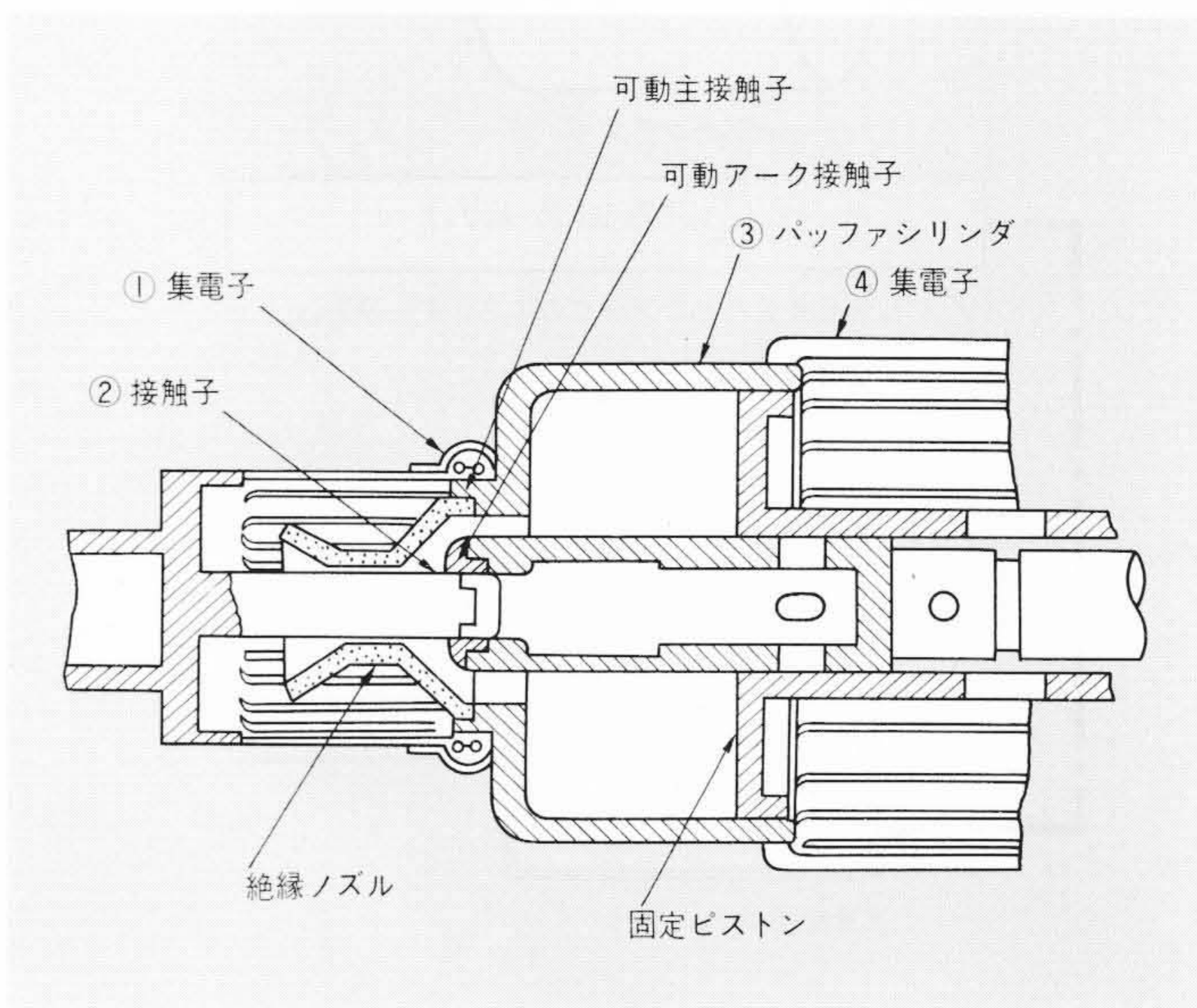


図9 8,000～12,000A大電流消弧室の構造 パッファシリンダ③の外周に有効に通電するため、集電子①、④を配置してある。

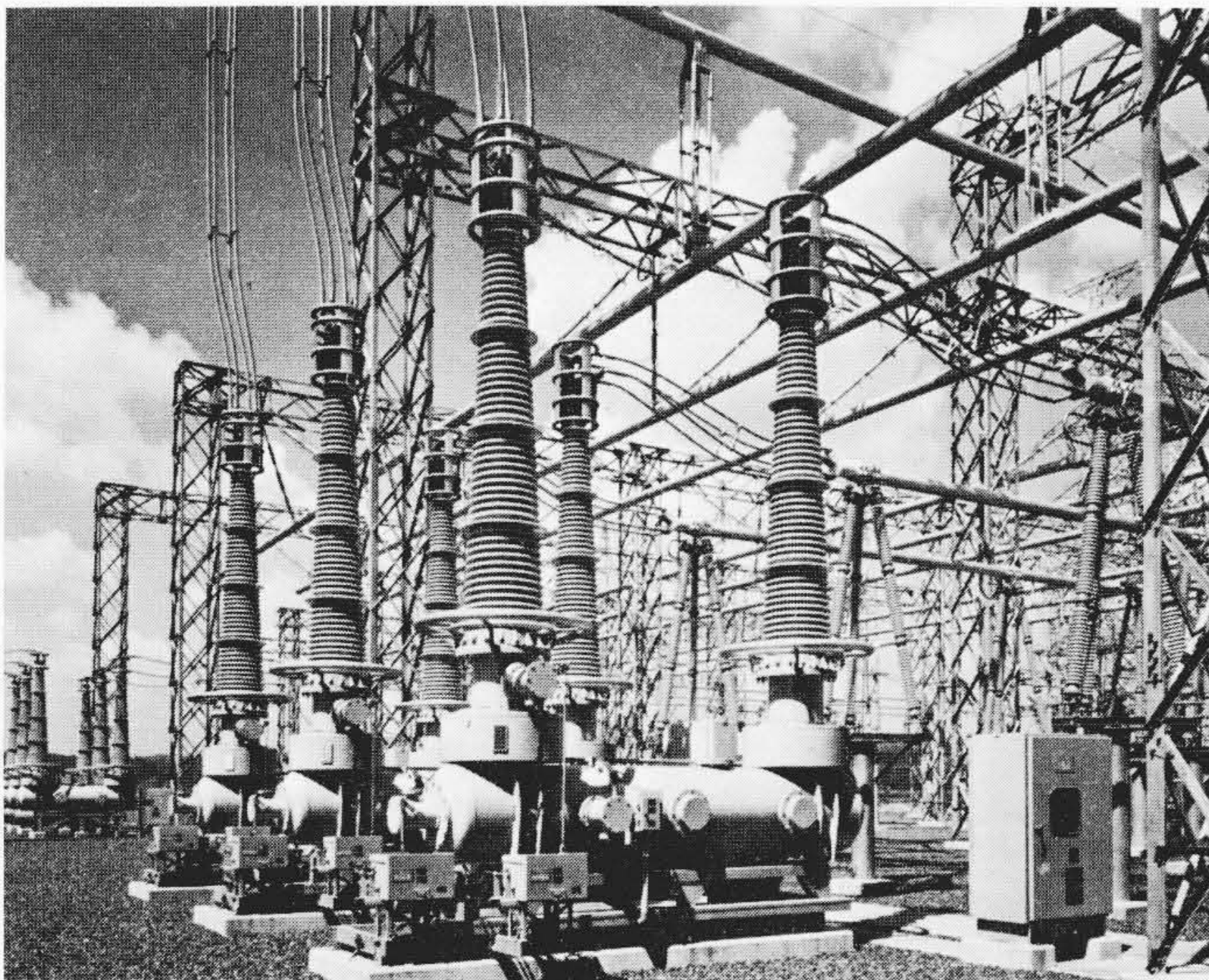


図10 275kV, 8,000A複合開閉器 断路器, 接地装置をパッファ形ガスしゃ断器と組み合わせ, 据付面積の大幅縮小を図っている。

器は, パッファシリンダの通電面積が大きく, これを有効に通電導体として利用すれば, 消弧室を大形化することなく自然冷却方式で8,000~12,000Aの大電流通電が可能となる。

図9に8,000~12,000Aの大電流消弧室構造を示す。固定側外部集電子①, 集電子④を設けることにより, パッファシリンダ③の側壁を通電導体として有効に利用している。図10に, この大電流消弧室を採用した275kV, 8,000A複合開閉器の外観を, 図11にその内部構造図を示す。8,000A, 12,000A定格とも操作系を含めて可動部分は共用とし, 機械系の信頼性確保を図っている。

図12に温度上昇の理論解析法を示す。パッファ形ガスしゃ断器は構造が簡単のため, 理論解析は単純化された同心円筒軸対称三次元モデルで取り扱っても, 精度の高い解析解が得られる。図13に解析結果の一例を示す。図14は, 500kV, 12,000A複合開閉器の各部温度上昇値を示すものであるが, 容器の温度上昇は保守点検時の安全性, ガス気密用パッキンの寿命などを考慮して, 規格で定められた温度上昇の上限値より低く制限している。

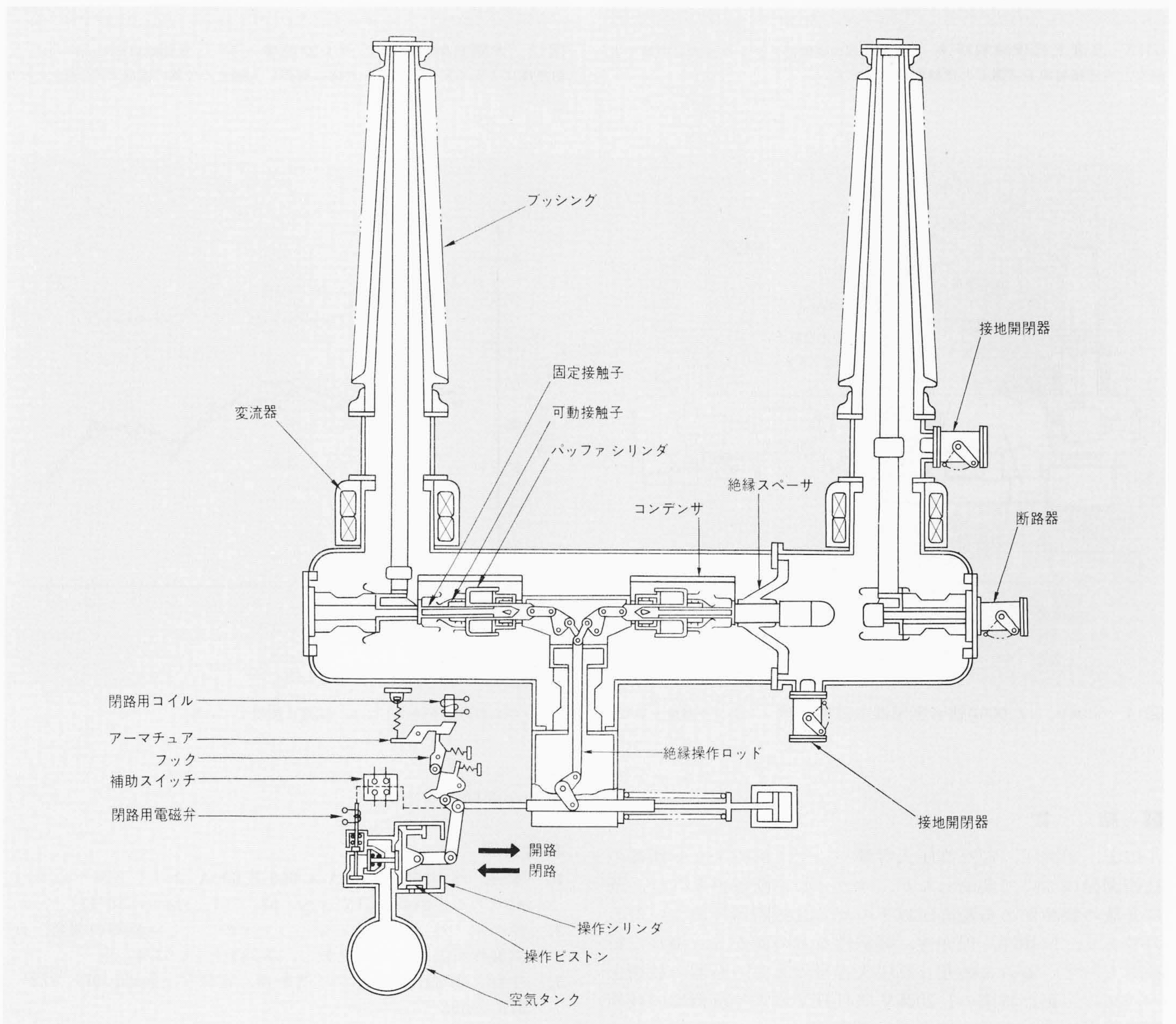


図11 275kV複合開閉器内部構造図 2サイクルパッファ形ガスしゃ断器と断路器を組み合わせた全体構造を表わす断面図を示す。

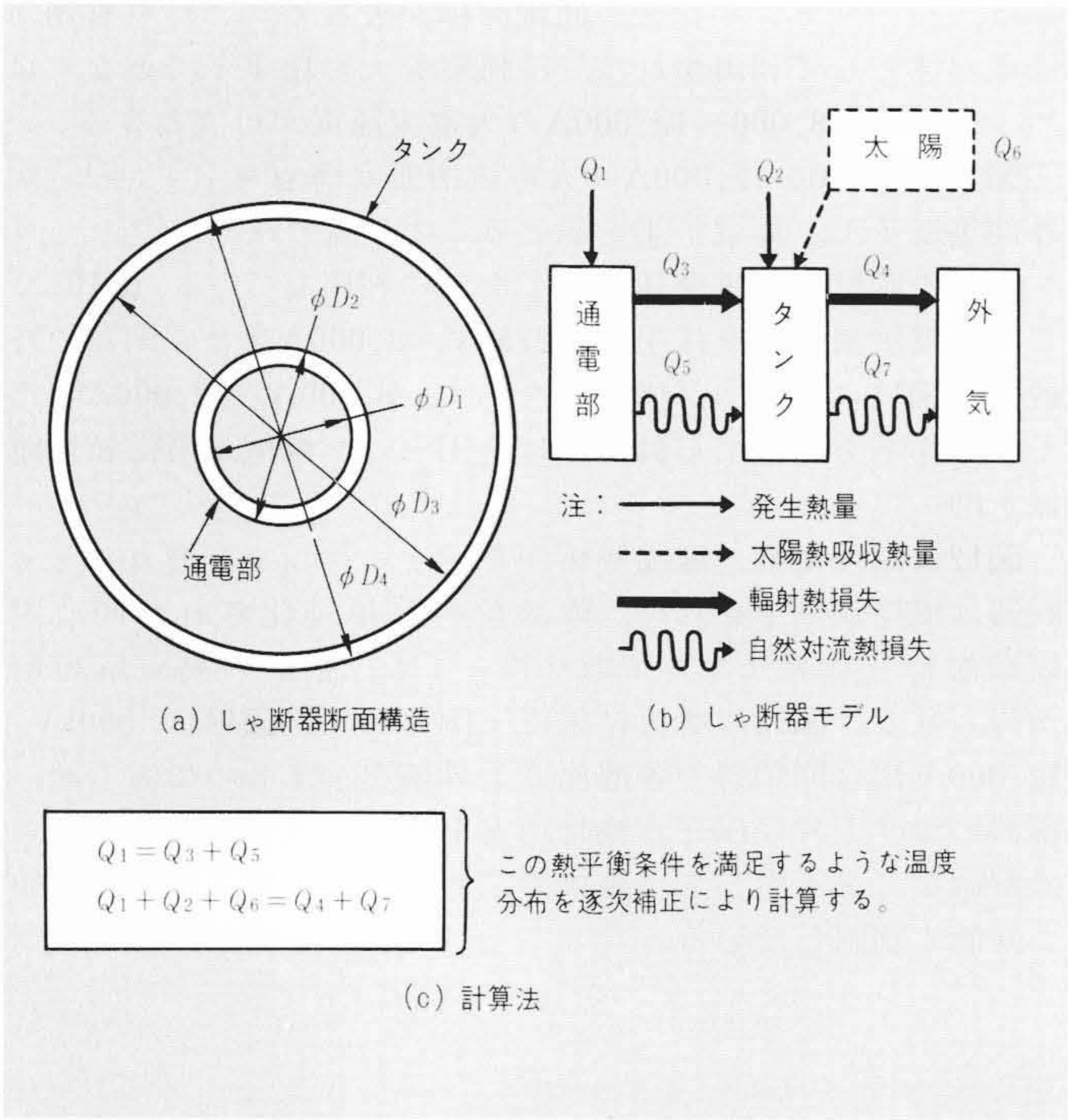


図12 温度上昇理論解析法 しゃ断器の通電部とタンクを同心円筒で近似し、太陽輻射熱を考慮した理論解析法を示す。

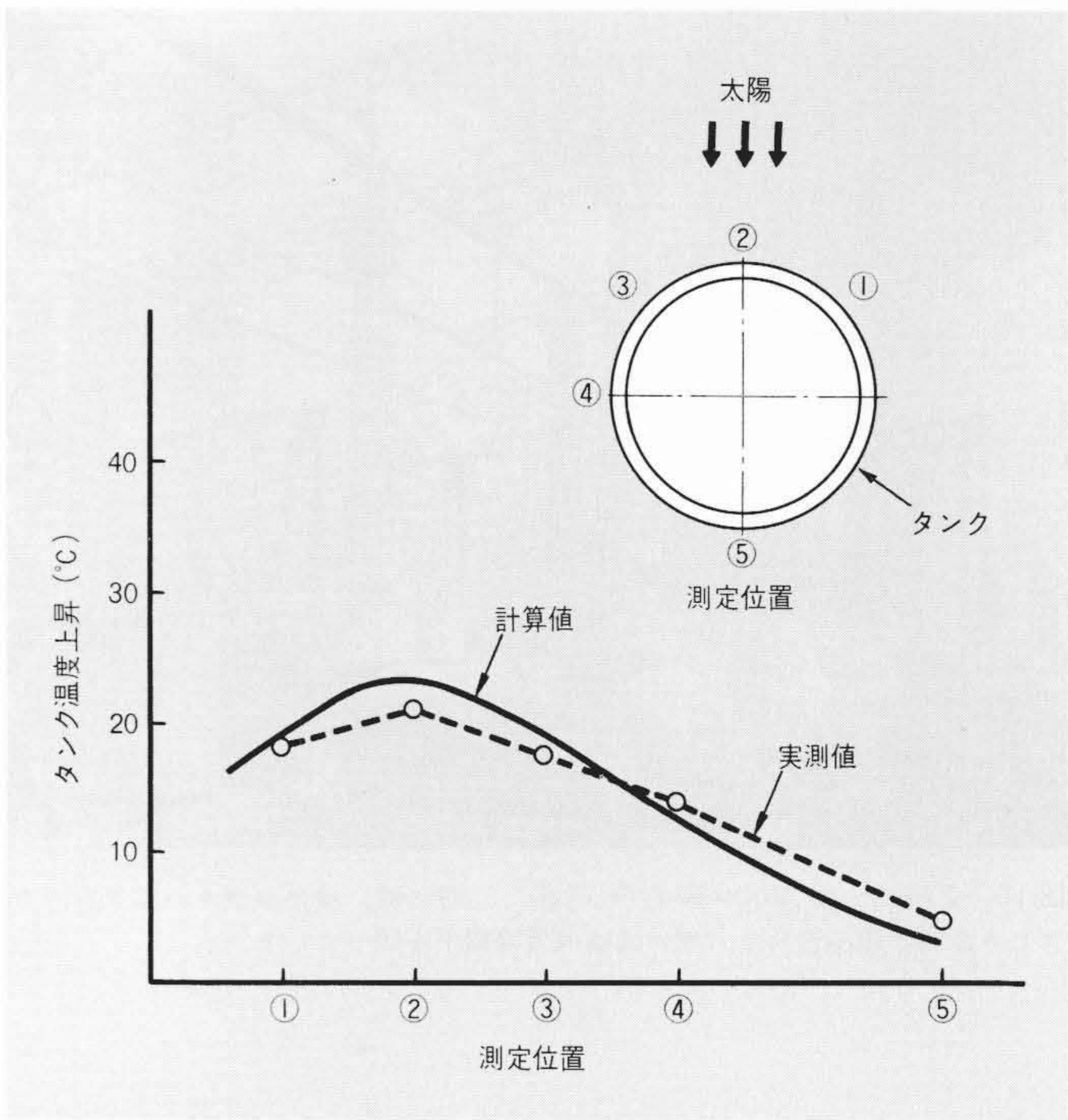


図13 太陽直射熱によるタンク温度上昇 太陽輻射エネルギーは、入射角度によって変化し、タンク面に垂直に入射する位置で温度上昇は最大となる。

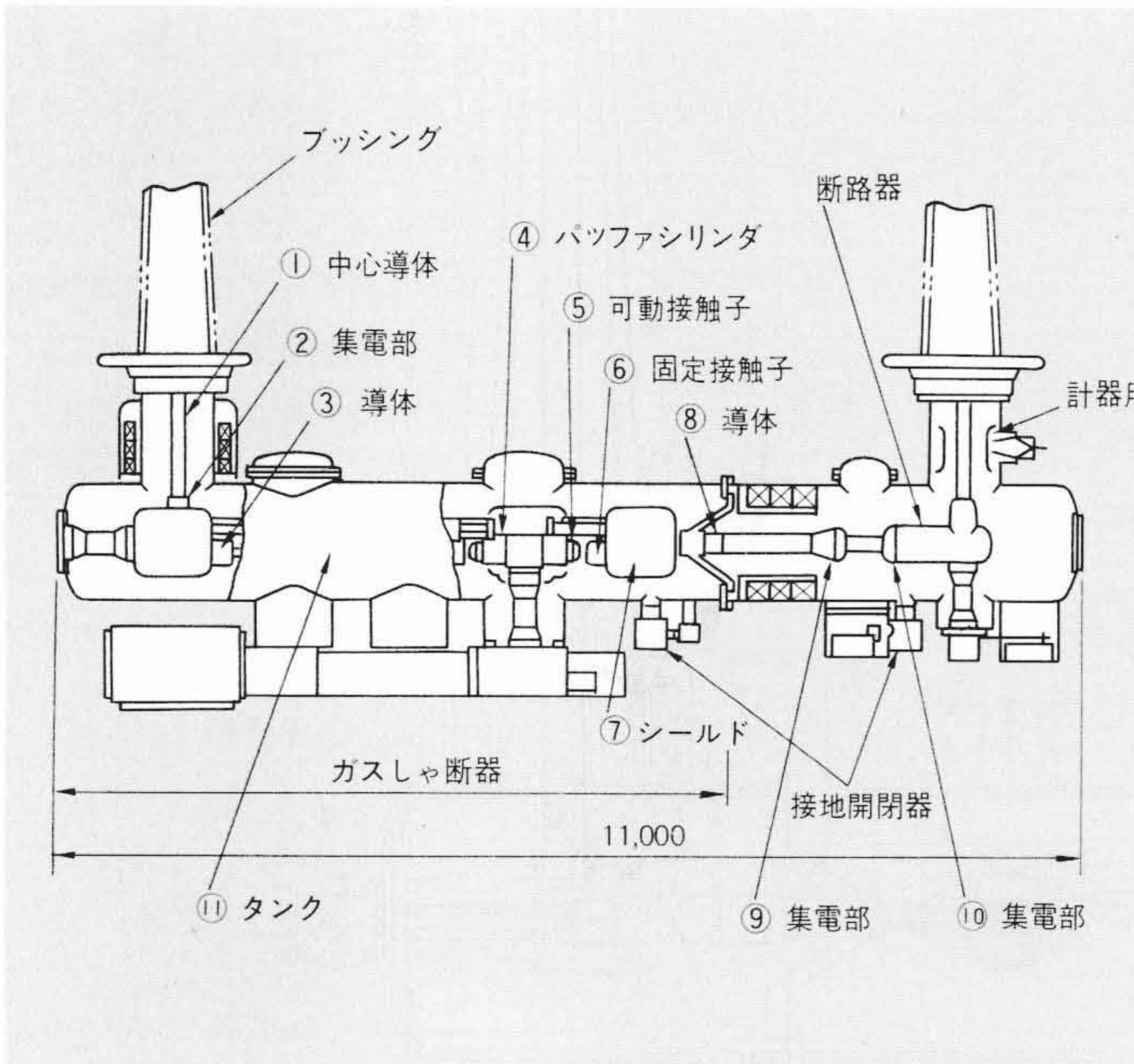


図14 500kV、12,000A複合開閉器の温度上昇 タンク温度上昇は安全性、パッキンの寿命を考慮して低い温度に制限している。

4 結 言

以上、超高压、超々高压大容量パツファ形ガスしゃ断器の技術開発について要約したが、本ガスしゃ断器の系列は、既に多数の実績がある超高压以下のガスしゃ断器に基づいたものであり、信頼性、保守性、経済性などの面からも優れた特長をもっている。この超々高压大容量ガスしゃ断器の技術をベースに、更に将来の1,200kV級UHVガス絶縁機器の技術開発を進めているが、据付面積の縮小、輸送、現地据付の簡素化などの要求から、いっそう小形・軽量化、高信頼度化が

重要な課題となる。

参考文献

- 1) 本田，外：550kV 50kA 4,000/8,000A 2サイクルパツファ形ガスしゃ断器，日立評論，57，911～916（昭50-11）
- 2) 佐々木，外：63kA大容量パツファ形ガスしゃ断器の開発，日立製作所国分工場研究報告，第933号（昭53-4）
- 3) 中野：高电压大容量ガス遮断器，電気学会雑誌，97，372～375（昭52-5）
- 4) 大石，外：500kVガス絶縁開閉装置，日立評論，57，917～922（昭50-11）