

最近のガス絶縁開閉装置

Recent Aspects of SF₆ Gas Insulated Switchgear

ガス絶縁開閉装置は小形・軽量で、高信頼性、保守点検の省力など数多くの特長をもち、近年急速に普及してきている。

一方、電力需要の都市部集中化の傾向から、変電所建設はよりいっそう都市部近郊へ集中する方向にあり、特に環境調和及び建設コスト低減の観点から、更に大幅なガス絶縁開閉装置の小形・軽量化が要求されてきている。

このような要求に対応するため、ガス遮断器の遮断点数低減、三相一括化、配置構成の合理化などの技術開発を推進し、ガス絶縁開閉装置の大幅な縮小化を図るとともに、更に信頼性改善のため、外部診断、予防保全技術などの技術開発が進められている。以下、これらの概要について述べる。

佐々木幸司* Kôji Sasaki
青山高庸* Takanobu Aoyama
平沢邦夫** Kunio Hirasawa
小沢 淳** Jun Ozawa

1 緒 言

SF₆ガスの優れた絶縁性能、消弧能力を電力用機器に適用する研究が開始されて既に約40年が経過しているが、特にここ10余年間でのSF₆ガス絶縁開閉装置の進歩発展は目覚ましいものがある。現在では、66～800kV機器まで実用化されるに至っており、更に1,100kV級超高压ガス絶縁開閉装置の研究開発が進められている。

図1に世界及び日本でのガス絶縁開閉装置変電所の稼働実績推移を示すが^{1), 2)}、このように短期間のうちに急速に進歩

発展してきた背景として、(1)変電所建設用地の確保難及び地価の高騰、(2)高電圧部が接地金属容器内に密閉されているため、信頼性、安全性の向上及び保守の省力化が図れる、(3)地域社会との環境調和、耐環境性改善の要求から変電所の小形化・密閉化の要求が強まってきているなどの理由が挙げられる。

ガス絶縁開閉装置は据付面積、容積の大幅な縮小、高信頼性、保守点検の省力化など電力環境のニーズに合致した数多くの特長をもち、反面変電所建設費の初期投資面からは必ずしも経済的とはいえない点もあり、更に大幅な小形・軽量化による機器コスト及び用地費、建設コスト低減が強く望まれている。このような要望に対処するため、ガス遮断器の遮断点数低減、配置構成の合理化などの技術開発を推進し、ガス絶縁開閉装置の小形・軽量化を図ってきたが、次にこれらの技術開発の概要を要約して述べる。

2 ガス絶縁開閉装置の小形・軽量化へのアプローチ

変電所建設に対する社会環境の変化から、今後のガス絶縁開閉装置の設計に対し、次のような仕様が強く要求されてきている。

(1) 据付所要面積の最小化

建設用地確保難、立地条件の制約から最小据付面積で、かつ屋内、屋上、地下など多様化する立地条件に柔軟に対応できる設計が基本となる。また、地価、建屋建設費の高騰から、据付面積及び空間占積率の改善が建設費低減の目的で重要な設計条件となっている。

(2) 経済性の改善

据付所要面積の最小化による経済性の改善に加え、配置構成の合理化による母線長の短縮、架構・点検歩廊類の簡素化、保守・点検余地の省略などの総合経済性の改善が使用者及び製作者の両方で積極的に検討されている。このため従来、多種多様であった仕様標準化の推進とともに縮小形ガス絶縁開閉装置開発計画の中にこれらの要望事項を十分織り込んでおく必要がある。

(3) 信頼性の向上

ガス絶縁開閉装置は従来の気中絶縁変電所に比較し、その信頼性が大幅に改善されていることは過去の運転実績から証

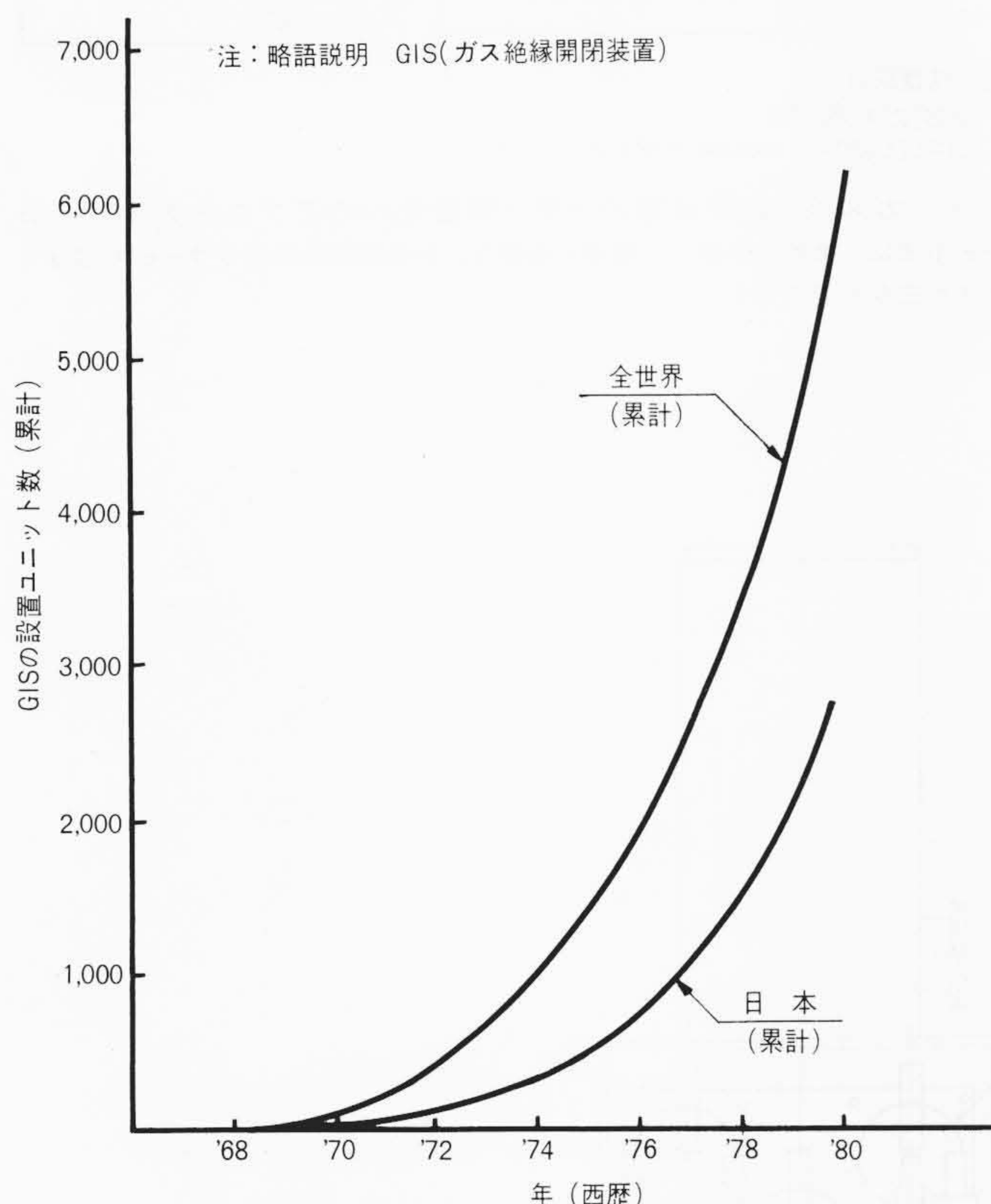


図1 ガス絶縁開閉装置設置ユニット数の推移
ガス絶縁開閉装置の採用は世界的な傾向で、急激に増加してきている。

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所

明されており、事故率では約 $\frac{1}{16}$ 程度に低減されている。しかし反面、いったん内部故障が発生すると図2に示すようにダウンタイムが非常に長い欠点がある³⁾。このためガス絶縁開閉装置の信頼性は単に事故率だけでなく、事故波及の範囲、ダウンタイムの長さも含めた条件で評価されるべきである。

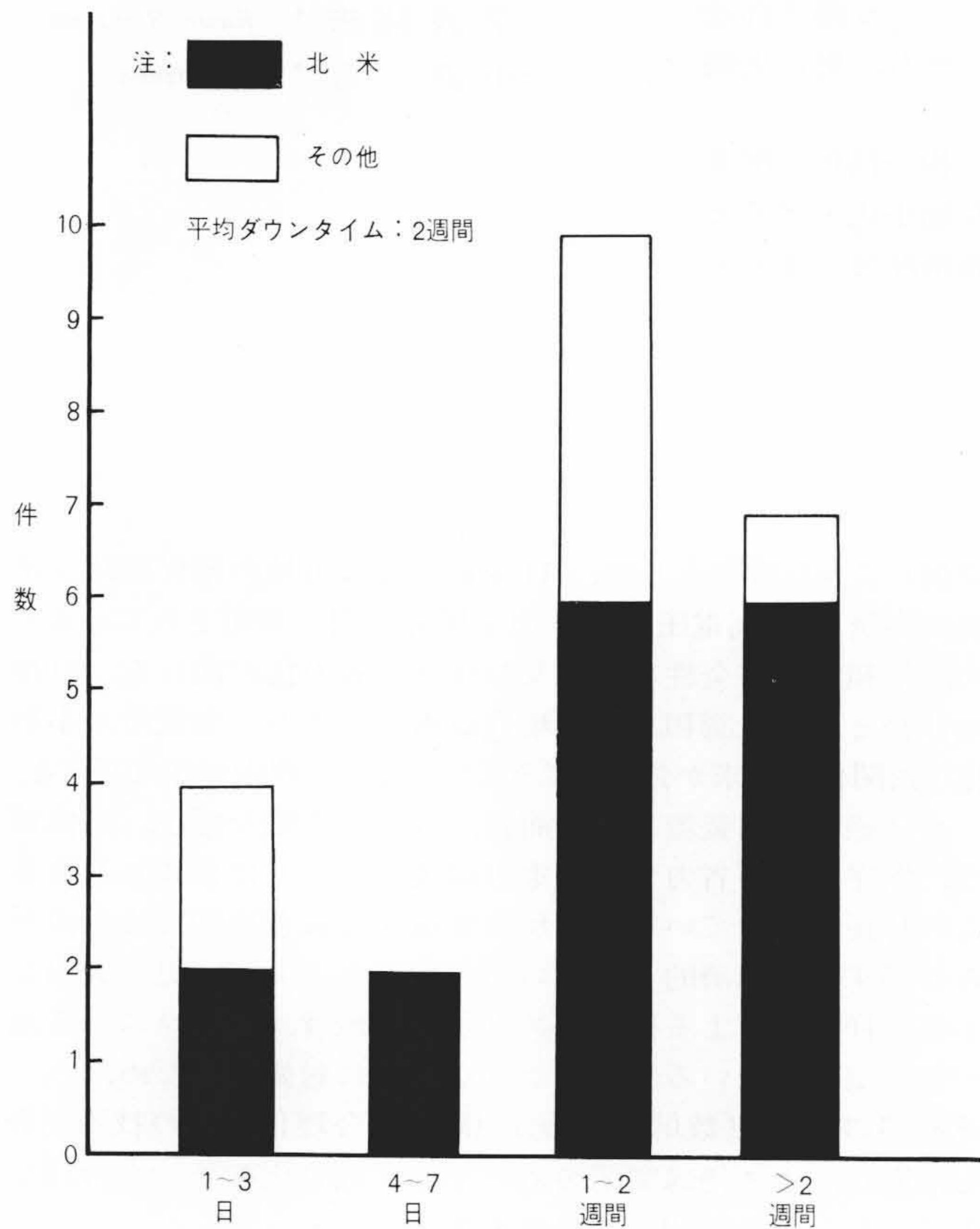


図2 北米のガス絶縁開閉装置故障時の平均ダウンタイム〔出典：F.Y.CHU GIS FAULT SURVEY (1980 IEEE)〕 ガス絶縁開閉装置事故時の平均ダウンタイムは1~2週間を超える場合が大半であることが、調査の結果から明らかにされている。

このような観点から再吟味されたガス絶縁開閉装置の評価は必ずしも十分なものとは言えない。

ガス絶縁開閉装置はその構成上、変電所のシステム機能を金属容器内に密閉化したものであり、系統故障率の低減及び故障波及度の低減、すなわちサービス クォリティ改善の観点からの技術開発が必要とされる。

以上述べた要求条件を踏まえたガス絶縁開閉装置の小形・軽量化へのアプローチの手法及び技術開発の主な項目を図3に示す。

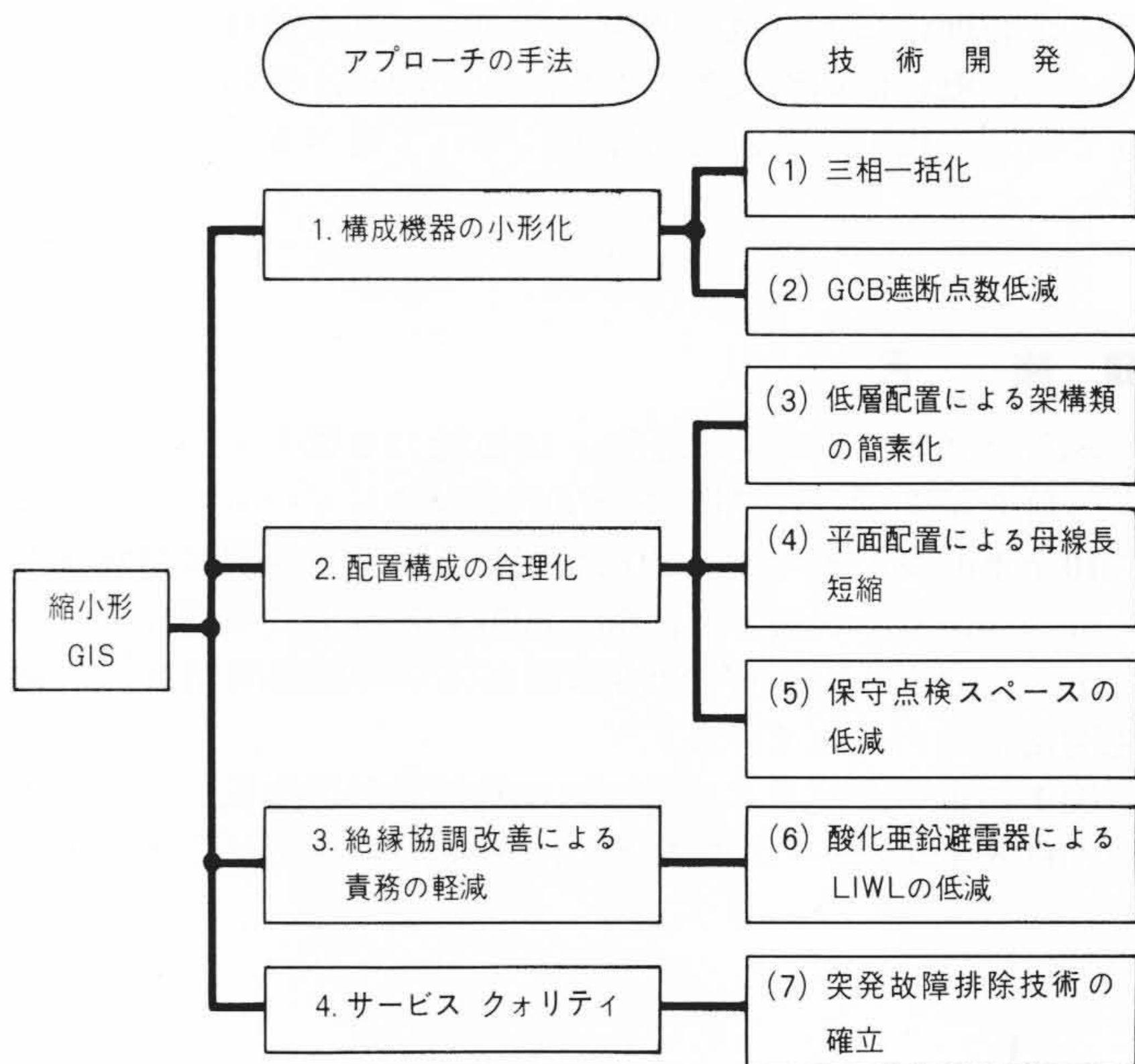


図3 ガス絶縁開閉装置の小形・軽量化へのアプローチ アプローチ手法は、機器の小形化、構成の合理化、絶縁協調改善及びサービス クォリティが主なものである。

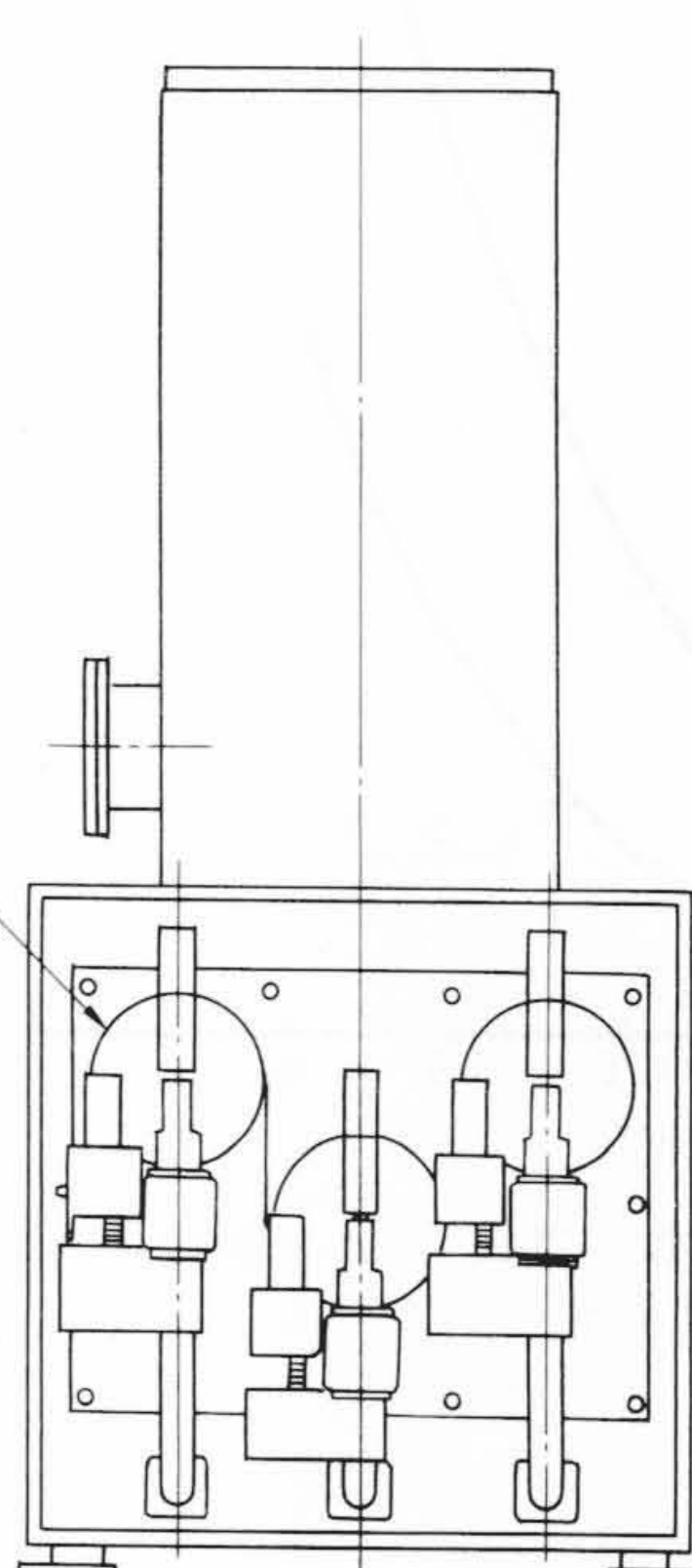
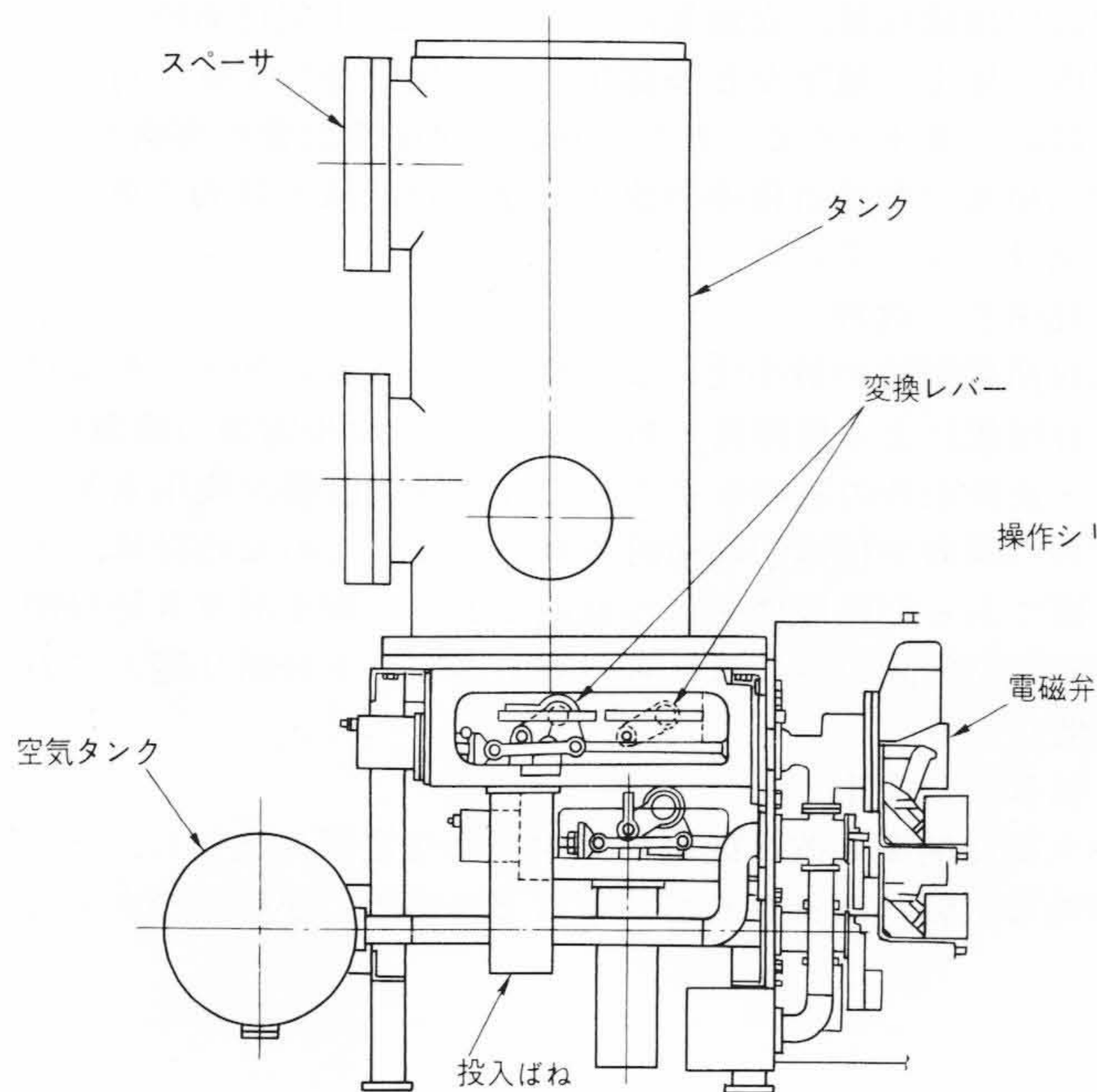


図4 単相再開路方式の三相一括形ガス遮断器 三相一括形で、かつ単相再開路方式のため超高压系統でも三相一括形ガス絶縁開閉装置が適用できる。

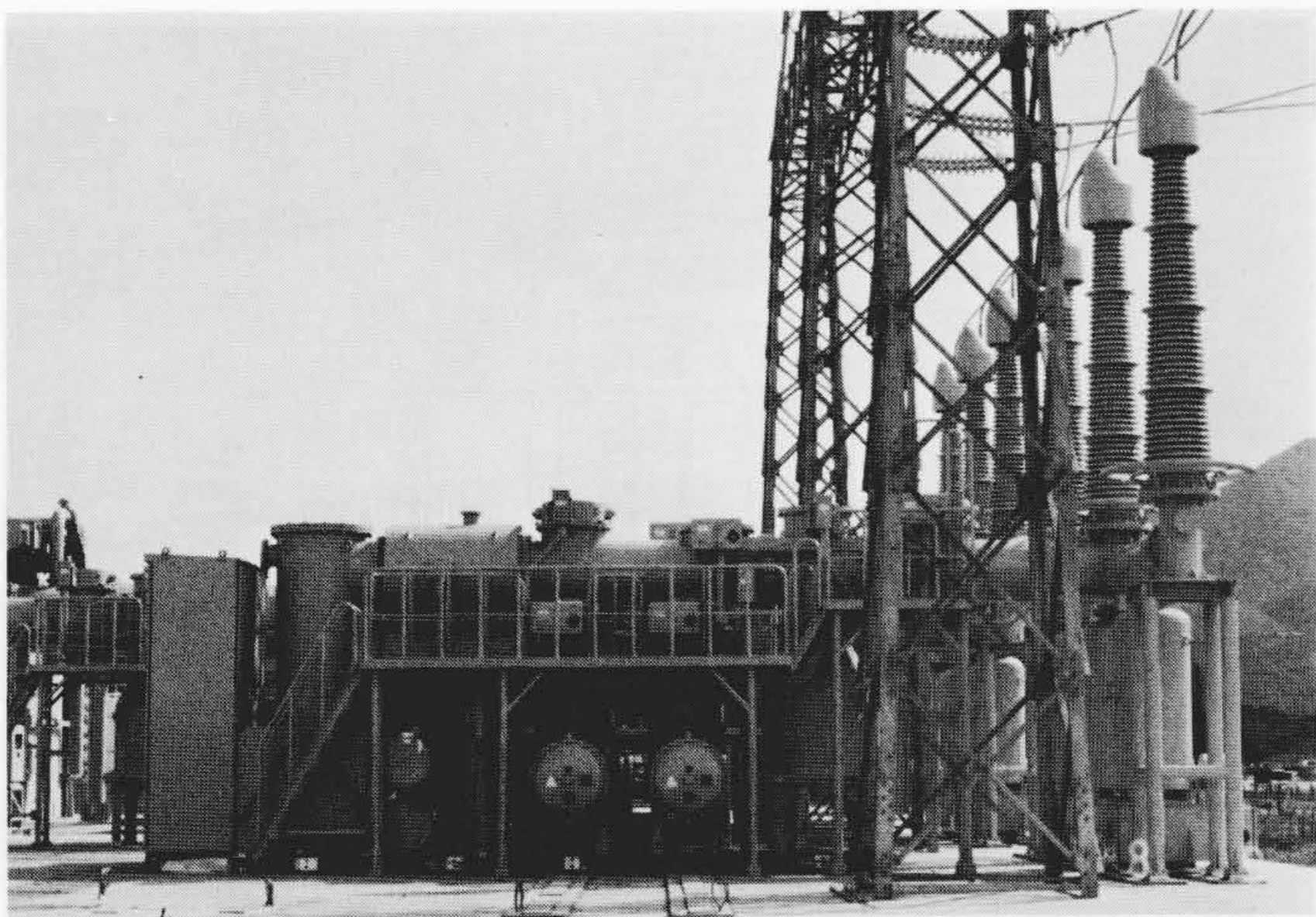


図5 187kV全三相一括形ガス絶縁開閉装置 単相再閉路方式のGCBを採用した187kV全三相一括形ガス絶縁開閉装置の外観を示す。据付スペースの大幅な縮小化が可能となっている。

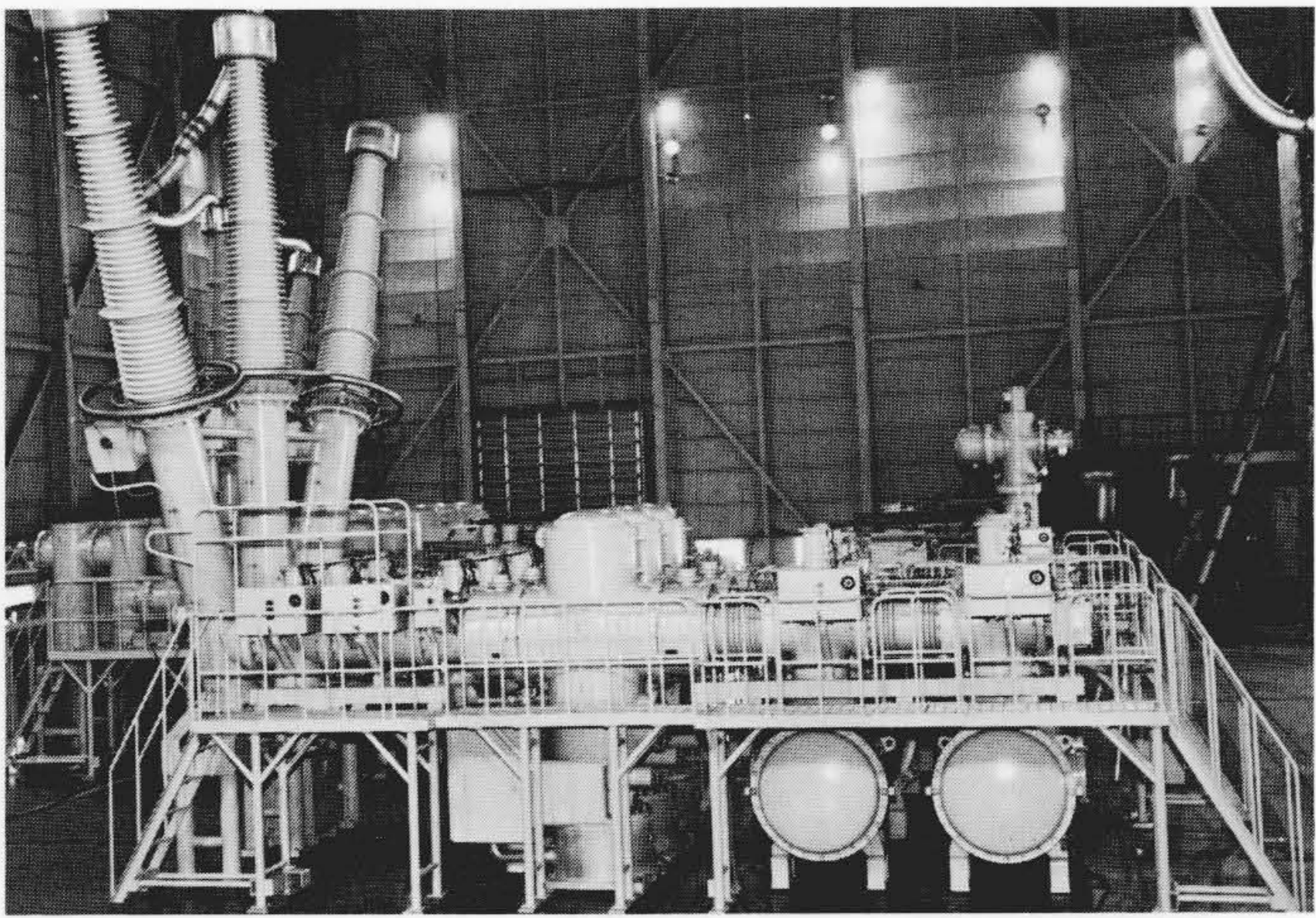


図6 275kV縮小形ガス絶縁開閉装置 1点切ガス遮断器を縦置構成とし、かつ平面配置を採用して据付スペースの縮小とともに低層化を図っている。

3 ガス絶縁開閉装置の小形・軽量化

3.1 三相一括化の技術開発

ガス絶縁開閉装置構成機器の三相一括化は、ガス絶縁開閉装置の据付所要面積の最小化の効果に加え、輸送・据付を容易にする利点があり、既に500kV級まで技術開発が進められている⁴⁾が、縮小化の効果は遮断器、断路器などを含めた全三相一括形ガス絶縁開閉装置の場合に最も大きくなることは言うまでもない。しかし、線路ユニットに使用される遮断器は系統安定度の点から単相再閉路機能が要求される場合が多く、超高压ガス絶縁開閉装置の全三相一括化にとって大きな技術的課題となっていた。これに対し、新しく三相一括形ガス絶縁開閉装置用単相再閉路操作機構を開発し、187～275kV

級の超高压ガス絶縁開閉装置の三相一括化を可能とした。図4に単相再閉路用三相一括ガス遮断器の基本構成を、図5にこれを採用した全三相一括ガス絶縁開閉装置の外観を示す。この超高压全三相一括ガス絶縁開閉装置は据付所要面積を従来比の40%以上に低減することが可能であり、変電所設計の自由度が拡大できる。

3.2 ガス遮断器の遮断点数低減とガス絶縁開閉装置の縮小化

パフファ形ガス遮断器の高電圧・大容量化の技術開発には近年特に目覚ましいものがあり、解析技術の向上、耐アーク材料の開発などの技術開発を基に、既に300kV、50kAまでを1点切で、550kV、63kAまでを2点切で製品化されている⁵⁾。これら遮断点数半減の技術的成果を、より効果的にガス絶縁開閉装置の縮小化に反映するため、配置構成を含めた技術開発が推進されている。表1に500～800kV級ガス絶縁開閉装

表1 500kVガス絶縁開閉装置配置構成の比較 主母線に直交する平面に遮断器、分岐母線などを直線的に配置した二平面直線配置構成が、総合経済性では有利となる。

タイプ 項目	A	B	C	D
スケルトン				
シース員数 (個/ユニット)	17 (45%)	38 (100%)	26 (68%)	17 (45%)
分岐母線長 (m/ユニット)	1.5 (9%)	16 (100%)	11 (69%)	2.7 (17%)
据付面積 (m ² /ユニット)	83 (80%)	104 (100%)	68 (65%)	68 (65%)

注：略語説明 DS(断路器), CB(遮断器), CT(変流器), LA(避雷器), BUS(母線)

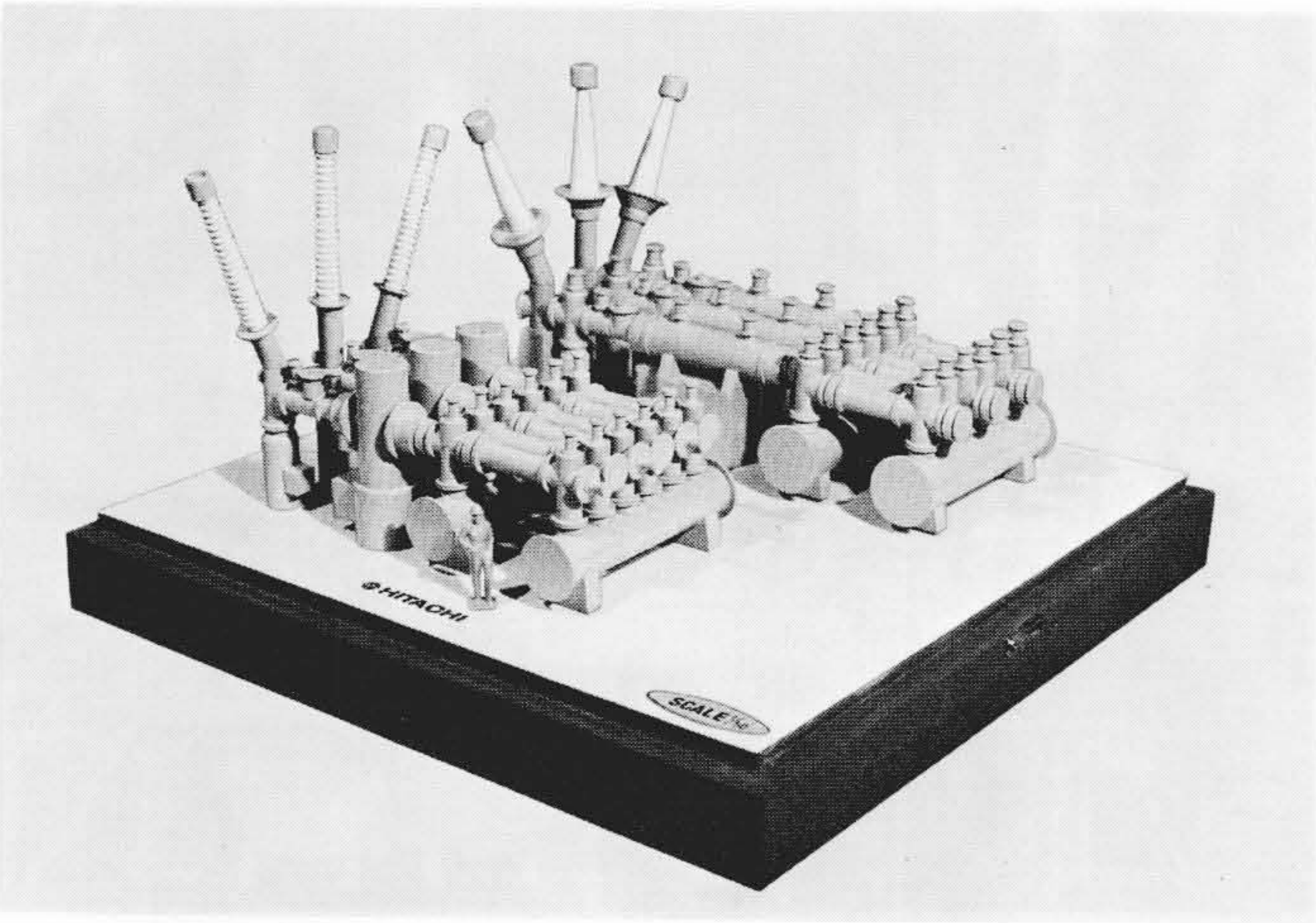


図7 220～345kVガス絶縁開閉装置の比較モデル 1点切ガス遮断器の採用と平面配置の組合せにより、従来のガス絶縁開閉装置と比較して大幅に小形化されている。

表2 500kVガス絶縁開閉装置の縮小化 2点切縦形ガス遮断器の採用により、従来に比較して据付所要面積が半減している。

タイプ 項目	A (従来形GIS)	B (縮小形GIS)
配置		
据付面積 (m ²)	104(100%)	68(65%)
据付容積 (m ³)	416(100%)	270(65%)

置での配置構成を比較検討した例を示す⁶⁾。ガス絶縁開閉装置の経済性の観点では、容器数、架構類の低減が図れる直線配置構成が有利となり、また据付スペースの点では、ガス遮断器の縦置構成が有利となる。このように各種ガス絶縁開閉装置の配置構成について検討を加えると、将来のガス絶縁開閉装置に要求される各種条件に対しては、直線配置構成で、かつガス遮断器の縦形配置が最も有利であると判断できる。図6に、新しく開発された275kV縮小形ガス絶縁開閉装置の外観を示す。図7は220～345kVガス絶縁開閉装置の従来設計と縮小形同装置とをモデルで比較した例であるが、従来の直線配置構成による低層化配置の特長を生かし、かつ1点切縦形ガス遮断器を採用することによって据付所要面積を20%以上低減している。更に、同一の配置構成を採用した500kV縮小形ガス絶縁開閉装置では、表2に示すように据付所要面積、容積とも約65%と大幅な縮小化が達成できる。このように、ガス絶縁開閉装置の縮小化を目的としたガス絶縁開閉装置用ガス遮断器の技術開発によって、大幅な小形・軽量化が達成されている。

3.3 屋内変電所の縮小化

電力需要の都市部集中に伴い超高压変電所の都心部建設が

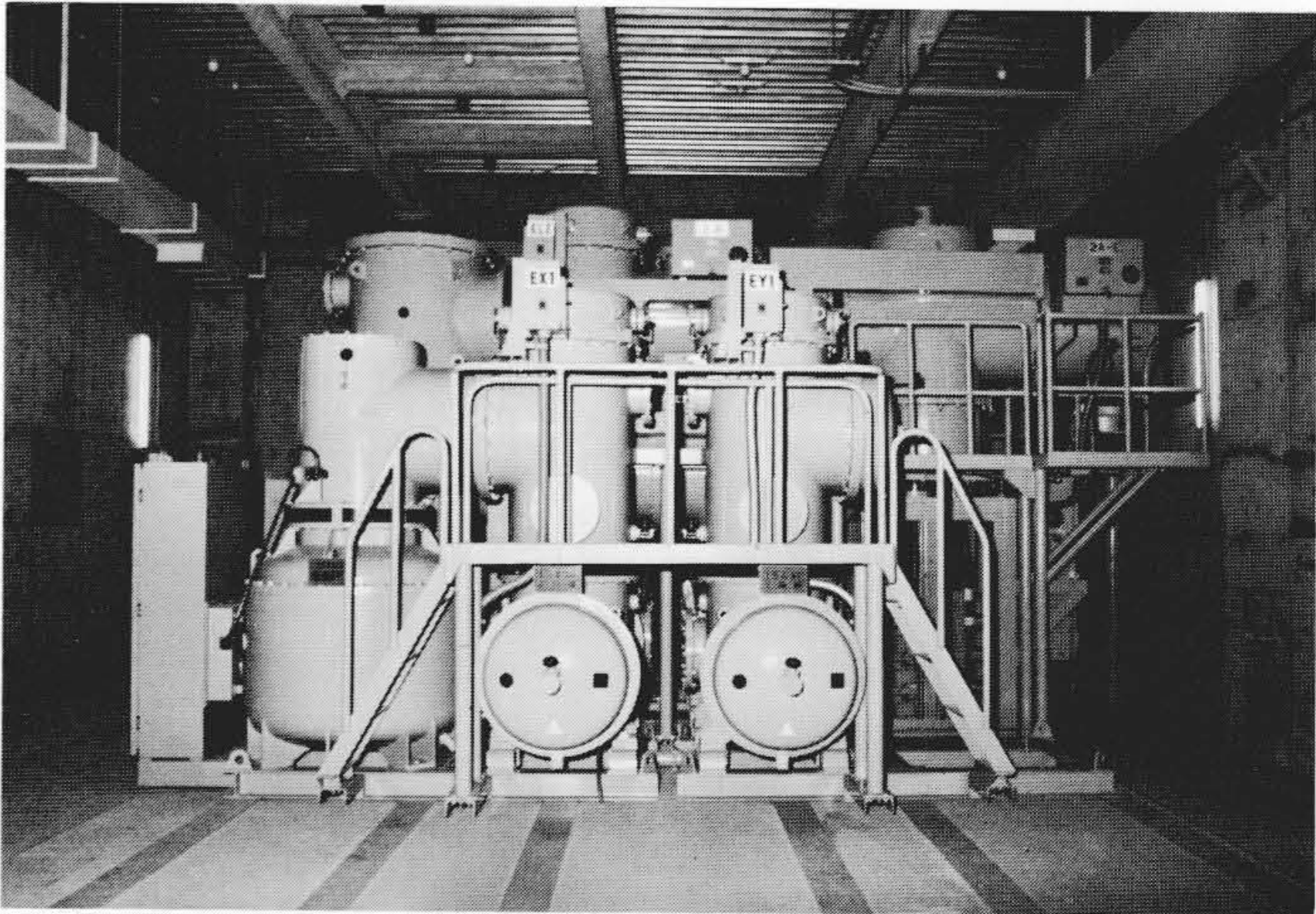


図8 地下変電所用ガス絶縁開閉装置 全三相一括ガス絶縁開閉装置の採用により、空間占積率を大幅に改善している。

表3 屋内変電所の縮小化 ガス絶縁開閉装置を平面配置とし、据付、解体方法を合理化することで建屋高さを半減している。

タイプ 項目	従来形	改良形
構造		
高さ(m)	9(100%)	4.5(50%)
容積(m ³)	267(100%)	151(57%)

増加の傾向にあるが、これらは、用地、環境調和、安全性の問題が一般に地下変電所などの屋内変電所の形態が採用される。図8に地下変電所ガス絶縁開閉装置の例を示す。屋内変電所は特に空間の有効利用が強く要求されるため、建屋容積を最小とするガス絶縁開閉装置の縮小化が検討されている。屋内変電所の建屋容積はガス絶縁開閉装置の容積と据付・点検余地によって決まるため、ガス絶縁開閉装置の小形化に加え、据付・点検の合理化を図る必要がある。表3に220～345kVガス絶縁開閉装置での建屋容積の最小化を図った一例を示すが、従来、天上クレーンなどでユニットをつり上げ、据付・解体していた方式を、図9に示すような据付・解体可能な設計構造に改善することによって建屋容積を半減したものである。このような据付・解体の合理化を図るためには、ガス絶縁開閉装置の配置構成を簡素化し、特にユニットを多層配置しない構成が有利となり、屋内用ガス絶縁開閉装置としても平面配置が総合経済的に有利であると考えられる。

4 サービス クォリティの改善

ガス絶縁開閉装置は高電圧部分が接地金属容器内に密閉されているため、大気雰囲気起因する故障の多くが排除でき

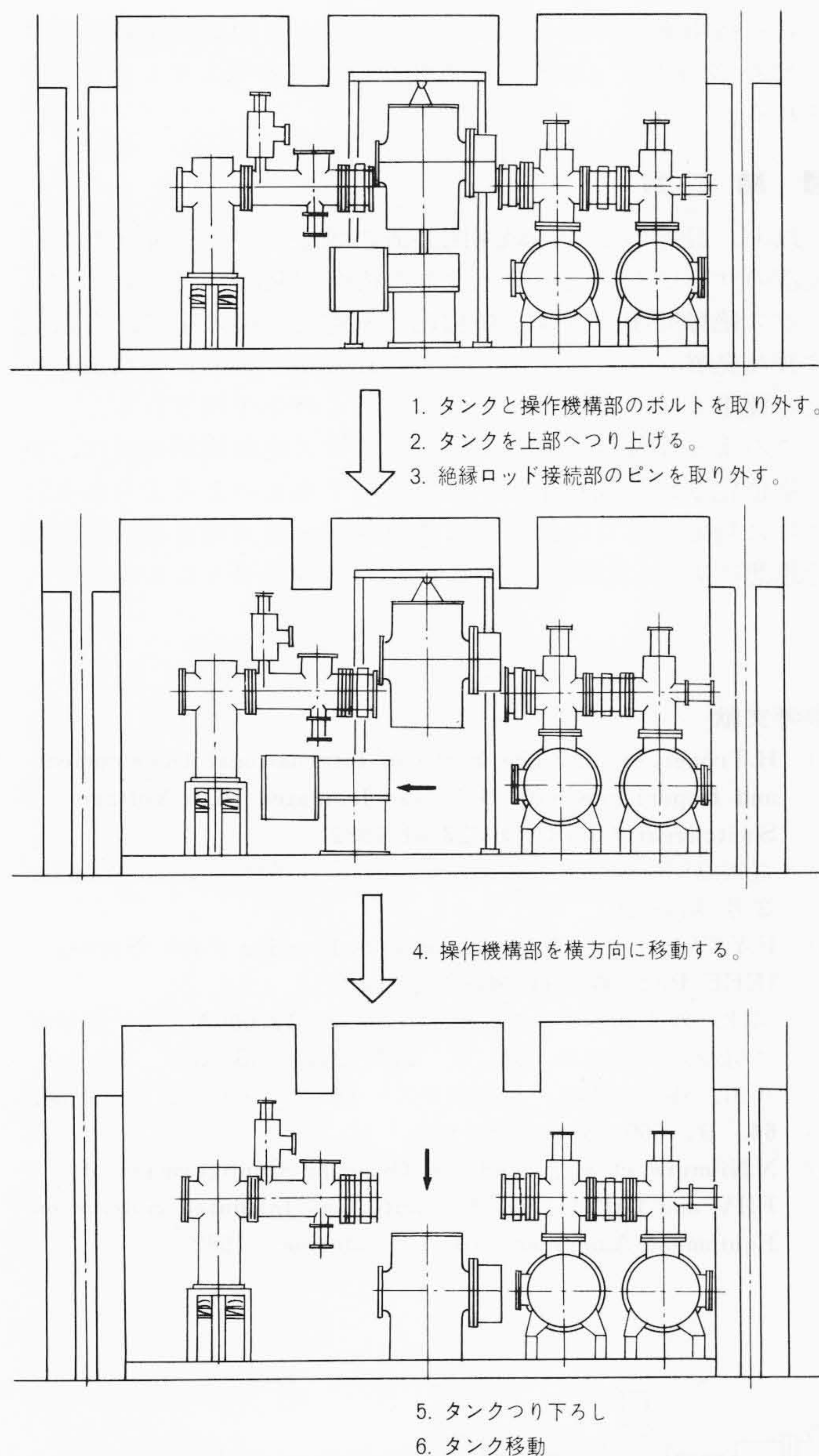


図9 屋内設置用ガス絶縁開閉装置の解体方法の合理化 ガス絶縁開閉装置を分割して据付解体できるため、天井クレーンが省略可能で、また据付、解体所要面積が不要なため、建屋高さが低くできる。

る。また、実系統での運転実績のフィードバックによる品質改善とあいまって、その事故率は気中絶縁変電所の $\frac{1}{10}$ 以下に改善されている。しかし、前述したようにガス絶縁開閉装置は事故時の波及範囲が広く、ダウンタイムが長い欠点がある。このため、ガス絶縁開閉装置の信頼性は、従来のように事故率としての評価ではなく、系統のサービス品質の観点から評価する必要がある。

送変電系統は、その重要度に応じた冗長性が与えられているため、サービス品質の改善には、突発故障の排除が最も重要な課題となる。図10に、ガス絶縁開閉装置の電氣的突発故障の要因と対策の流れ図を示す。要因は、内的要因と外的要因に大別される。外的要因としては、雷サージ、開閉サージなどの過電圧の侵入があるが、これらは、近年急速に進歩してきた絶縁協調解析技術及び酸化亜鉛避雷器や遮断器の2段投入抵抗方式などのサージ電圧抑制技術によって、十分対応できるようになってきている。内的要因としては、ガス絶縁開閉装置の内部故障は絶縁破壊事故に進展しやすく、

広範囲にわたりやすいが、特に、金属パーティクルや絶縁物の微小クラックなどのコロナ放電を引き起こすものとなるものが大きな要因となる。これら内的要因に対する対策としては、絶縁裕度の改善、パーティクルの除去、制御などの技術開発が進められているが、内部故障の早期発見による突発故障の排除のための外部診断技術が急速に進歩してきている。

図11に、各種診断センサをガス絶縁開閉装置に適用した外部診断装置の概念図を示す。ガス絶縁開閉装置内部の異常を早期に発見するためのセンシング技術は、現在、実使用試験の段階にまできており、これらはポータブル型装置として、運転状態の検知に容易に使用できるように小形化されている。また、内部点検も図12に示すように、X線を利用し、テレビジョン画像で検知できる技術が開発されており、将来はガス絶縁開閉装置の解体点検を省略できる見通しである。このようなガス絶縁開閉装置の突発故障排除のための予防保全技術、外部診断技術は、現在開発発展過程中の技術ではあるが、こ

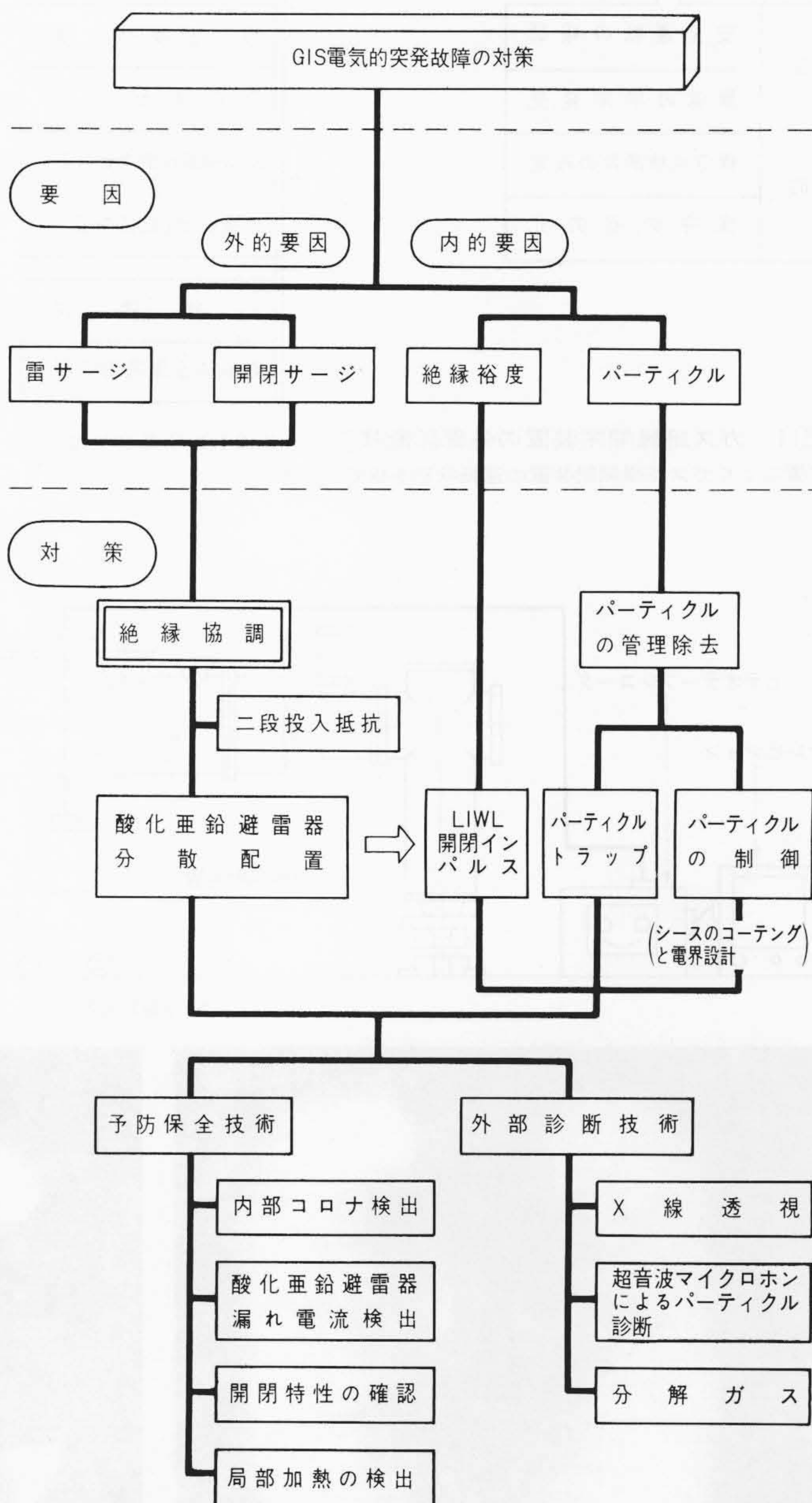


図10 ガス絶縁開閉装置の電氣的突発故障の要因と対策 電氣的突発故障に対する対策は、絶縁協調、パーティクルの管理のほかに予防保全技術や外部診断技術がある。

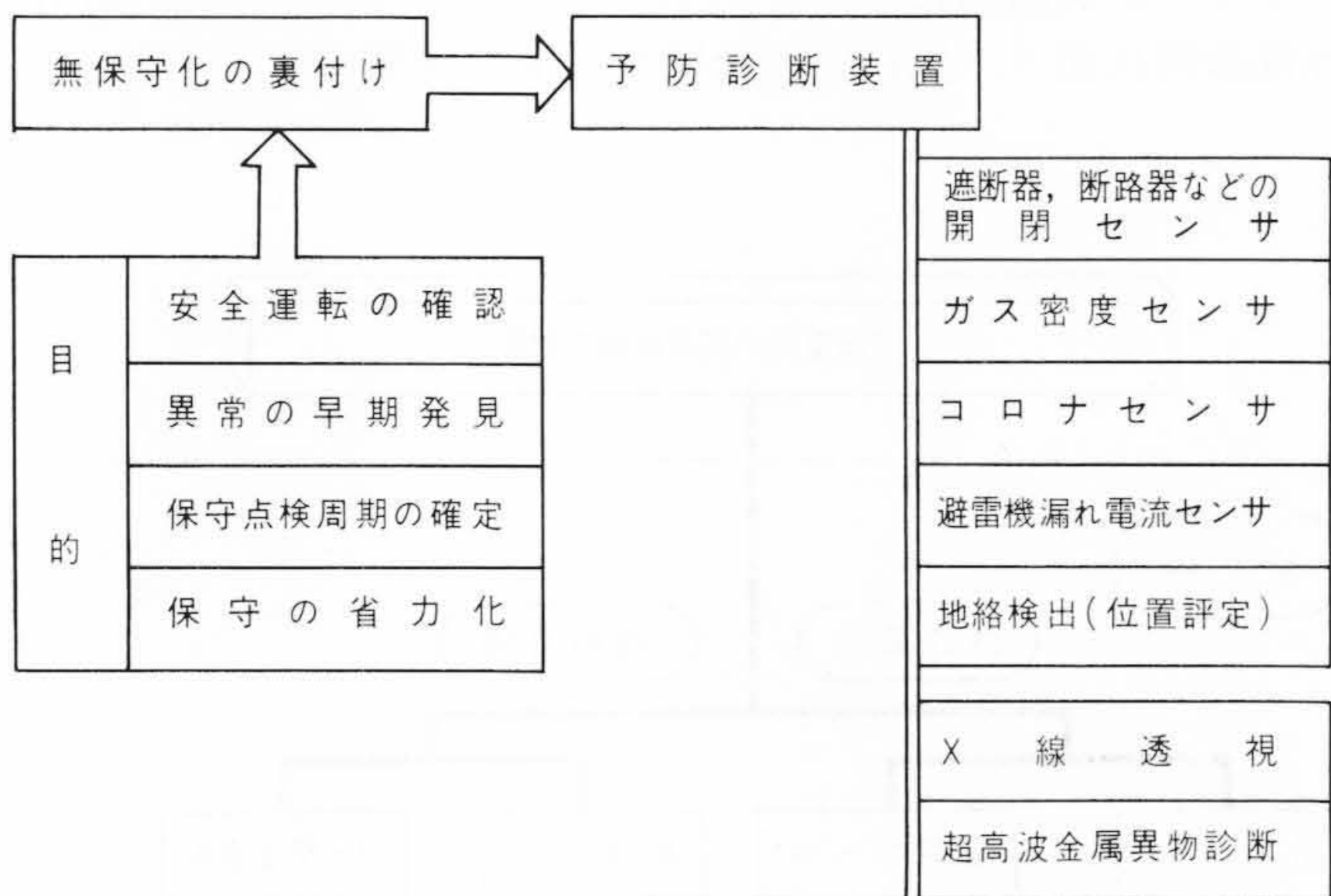
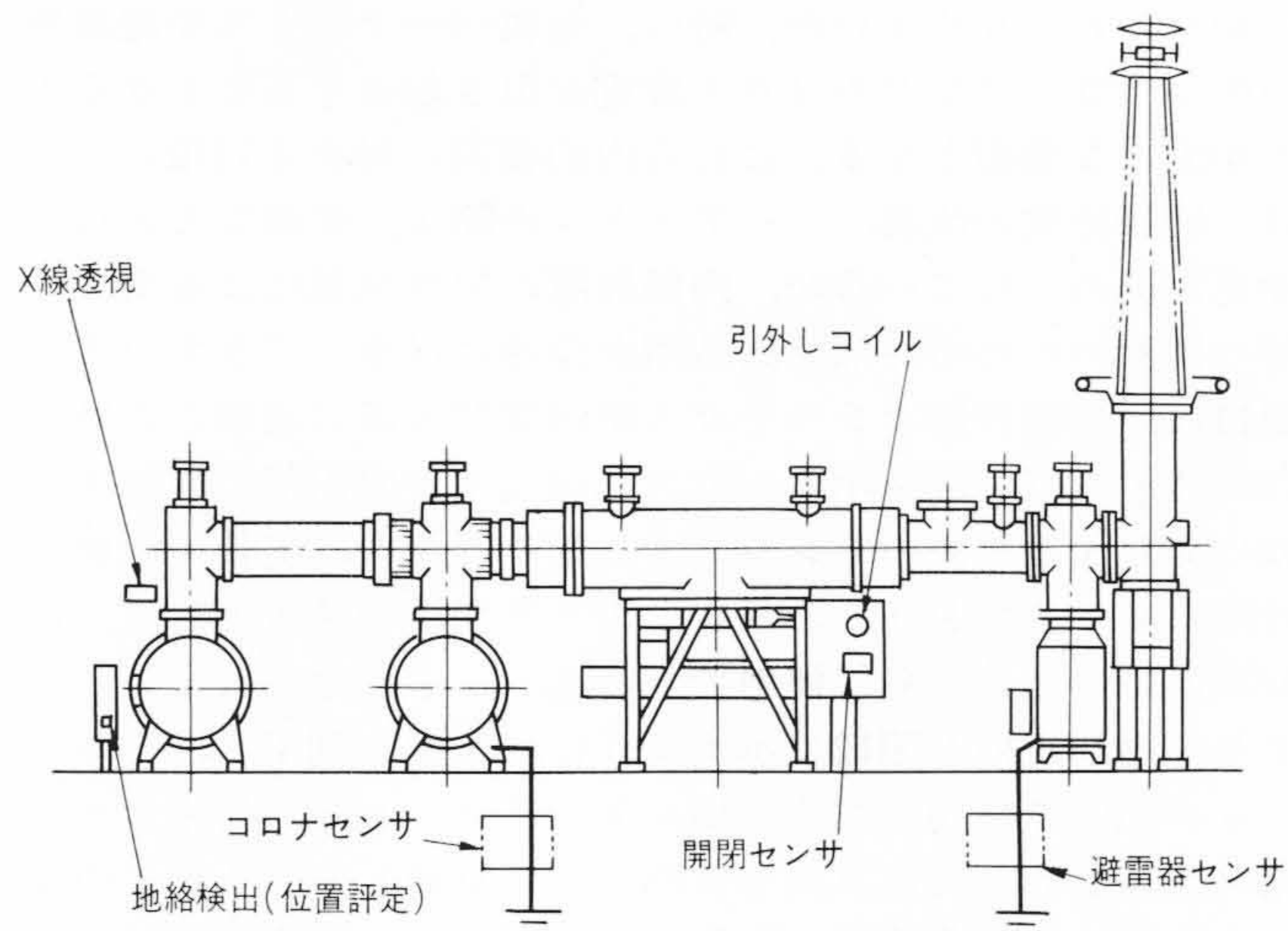


図11 ガス絶縁開閉装置の外部診断技術 各種センサ及び外部診断装置によりガス絶縁開閉装置の運転状態を検知できる。

これらの技術進歩は著しいものがあり、ガス絶縁開閉装置のサービス・クォリティの改善に重要な役割りを果たすものと期待される。

5 結 言

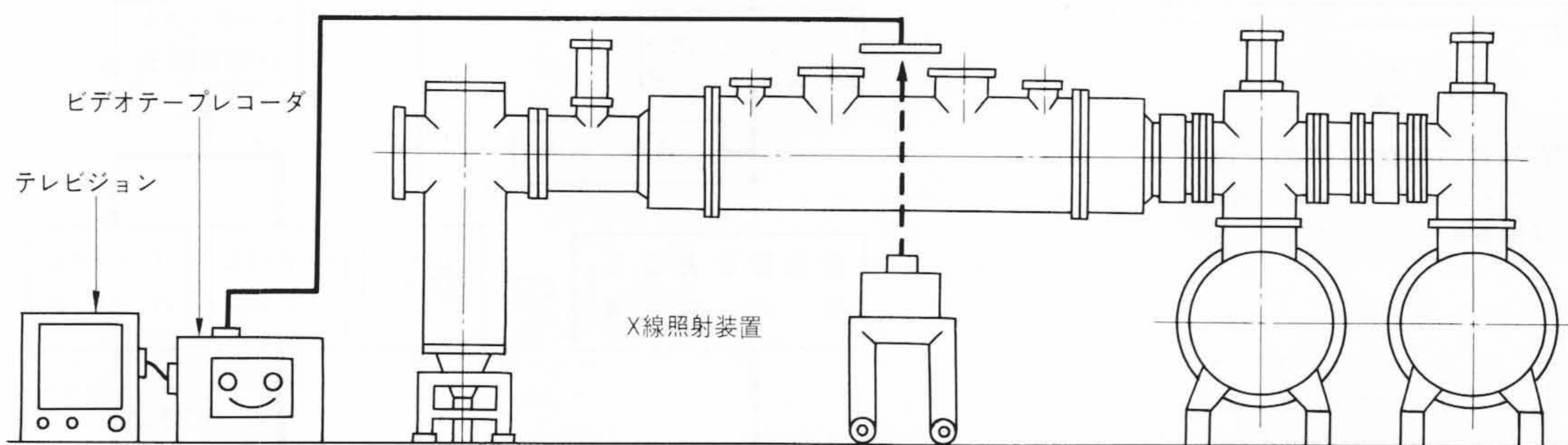
以上、最近のガス絶縁開閉装置の縮小化の技術開発及び同装置のサービス・クォリティ改善の技術開発について紹介した。

ガス絶縁開閉装置は、多様化する電力環境の中で、今後更に普及発展していくものと考えられるが、小形化、高信頼度化の要求もますます強くなっていくものと予測される。

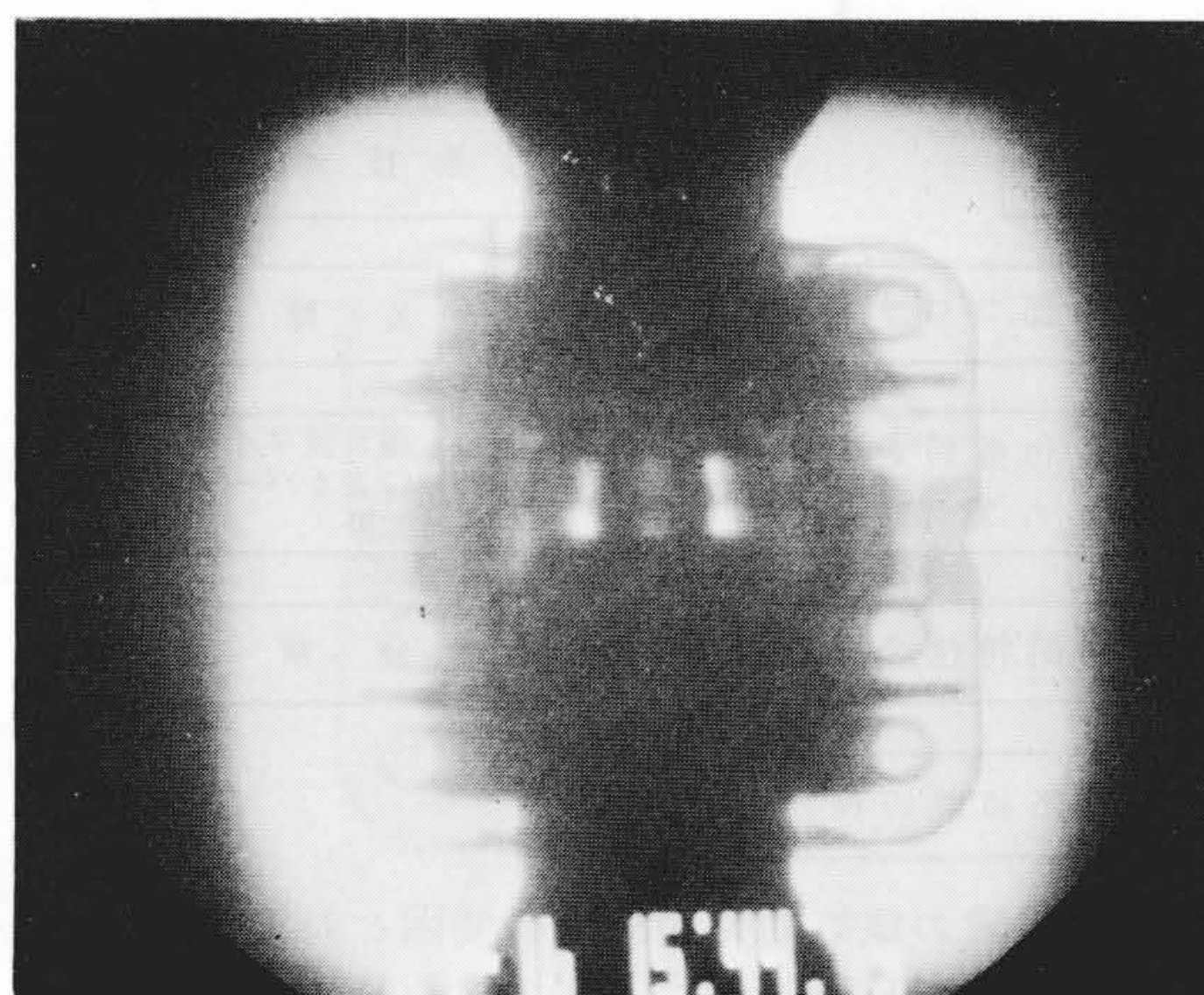
このような背景のもとで、将来のガス絶縁開閉装置は、更に集積化され、高技術レベルに移行するものと考えられる。これに対応するには、徹底して無保守・無点検を指向した設計思想に基づく技術開発の推進がますます重要となるであろう。

参考文献

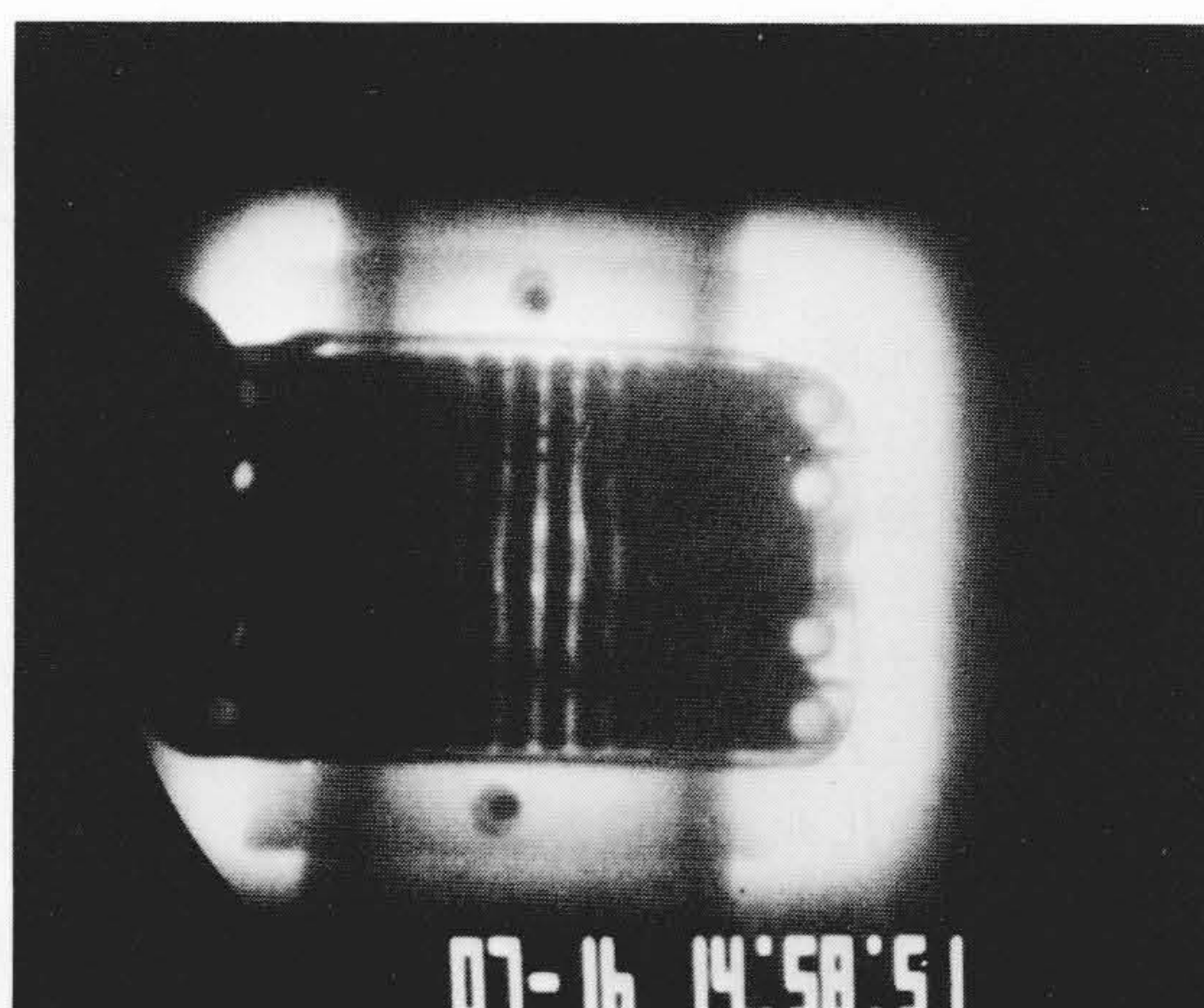
- 1) H.Troger, et al.: The State of International Development and Experience with SF₆ Gas Insulated High Voltage Switchgear, CIGRE SC23-01(1982)
- 2) 電気協同研究会: ガス絶縁変電技術, 電気協同研究, 第36巻, 3号(昭55-10)
- 3) F.Y.Chu, et al.: Gas Insulated Substation Fault Survey, IEEE PES Winter Meeting(1980)
- 4) 河津, 外: 500kVガス絶縁開閉装置用12,000A三相一括形ガス母線, 日立評論, 64, 3, 207~211(昭57-3)
- 5) 西田, 外: 高電圧・大容量ガスしゃ断器の縮小化, 日立評論, 64, 9, 669~674(昭57-9)
- 6) N.Niimura, et al.: Study on Optimum Configuration of EHV and UHV Large Capacity Gas Insulated Substation Equipment, American Power Conference 1982.



(a) GISのX線照射例



(b) 接地開閉器接触子



(c) 導体接続部

図12 X線透視による外部診断 ガス絶縁開閉装置の内部をX線で透視できるため、解体せずに内部の状態を検知できる。