

ガス絶縁開閉装置の電力流通技術への対応

Improvement of SF₆ GIS to Cope with the Progressing Transmission Technology

GIS(ガス絶縁開閉装置)は、小形・軽量、高信頼、保守点検の省力化など数多くの利点を持っているため、現在では開閉機器の主流となっている。GISの技術開発は、小形・軽量化のニーズのもとにガス遮断器の遮断点数低減を含む縮小化を主眼に行われてきた。近年、電力需要の増大の傾向により、都市部での高電圧・大容量変電所の建設が行われるようになっており、環境調和・建設コスト低減の観点から、超高压以上の高電圧機器でも、さらに大幅な小形・軽量化が要求されている。これらの要求に対応するため、300 kV全三相一括化や550 kV主母線三相一括化などの縮小化を図るとともに、各種センサによる外部診断技術など高信頼化、インテリジェント化の技術開発も進めている。

西田 功* Isao Nishida
 大野政智* Masatomo Ôno
 黒沢幸夫** Yukio Kurosawa
 大下陽一** Yôichi Ôshita

1 緒 言

SF₆ガスの優れた絶縁性能、消弧能力を利用したガス遮断器およびGIS(ガス絶縁開閉装置)が実用化されて以来約20年を経過している。この間、技術の進歩は著しく、ガス遮断器の遮断部ユニット当たりの性能向上によって、一相当たりの遮断点数は定格電圧550 kVクラスで当初4点であったものが、現在では2点に半減している。また、GISの小形・軽量化が進められ、平成元年には300 kVまで全三相一括化を達成した。

さらに、近年ではコンピュータなどの情報機器の普及による高度情報化社会への推移により、電力供給に対して瞬時電圧低下防止や電圧変動の抑制、高調波の抑制など電力の質的向上に対する要求が高まっている。一方、都市部での電力需要が急速に増大しており、密集地域での高電圧・大容量変電所の建設の必要性から高電圧系統が都市部に導入され、高電圧地下変電所の建設も行われている。また、500 kV基幹変電所の建設は、用地確保がしだいに困難な情勢にあり、山岳地域への立地が図られている。このような社会的背景の中で、GISに対する技術開発の要求は、構成機器の小形・軽量化による経済性の追求と、電力安定供給のための信頼性向上である。GISの技術開発の動向を図1に示す。

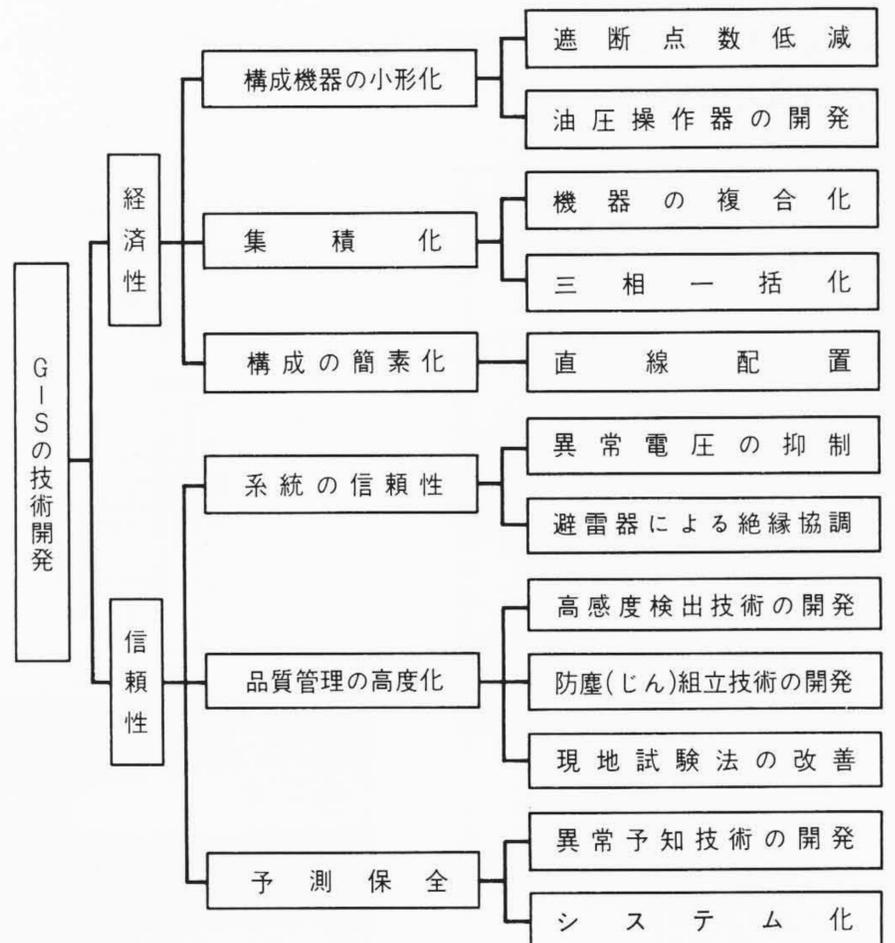
2 GIS小形・軽量化の動向

2.1 縮小形72~204 kV GIS

昭和50年に84 kV全三相一括形GISが製品化されて以来、全三相一括GISの適用は大幅に拡大しており、72~204 kVクラスのGISは全三相一括形が主流となっている。現在このクラスでは、さらに小形化への技術開発が進められている。

(1) 低操作力ガス遮断器の開発

現在ガス遮断器は、操作器の駆動エネルギーによって遮断部の可動接触子を開極すると同時に、パッファシリンダとパッファピストンによって囲まれたパッファ室内のSF₆ガスを圧



注：略語説明 GIS(ガス絶縁開閉装置)

図1 GISの技術動向 GISの技術開発は、経済性の追求と信頼性向上である。

* 日立製作所 国分工場 ** 日立製作所 日立研究所

縮して、消弧に必要な吹付力を得るパuffァ方式を採用している。パuffァ方式は、接点の駆動エネルギーと消弧エネルギーが共通の機構によって得られるため、構造が簡単である一方おのおの独立の機構によって吹付力を得る空気遮断器や二重圧力形ガス遮断器と比較し大きな駆動エネルギーを必要とする。ガス遮断器の操作方式は、低騒音、メンテナンスフリー化の要求のもとに、空気操作方式から油圧操作やばね操作方式へとエアレス化が進められている。72~204 kVクラスでは、ばね操作方式が多用されているが、この方式は駆動エネルギーをばねの蓄積エネルギーによって得る構造であるため、空気操作や油圧操作と比較して大出力を得ることは困難である。開発品は、パuffァ方式に加え、**図2**に示すように遮断時のアークエネルギーを利用して貯留室内のガス圧力を高め、有効な吹付力を得る自力消弧方式を併用することによって操作器の所要駆動力が従来品に対し30%以下に低減した。

(2) 構成機器の複合化

従来、GISを構成するガス遮断器、変流器、母線、断路器などの構成要素はそれぞれ異なる容器に収納される構成であった。しかし、上述の低操作力ガス遮断器の採用によってガス遮断器の小形化が達成されたため、ガス遮断器容器内に変流器や分岐導体を集約することが可能となり、さらに母線と断路器を一体構造とする構成機器の複合化によって、いっそうの小形化が可能となった。これにより、72/84 kV GISで従来構造に対し容器数65%、据付け面積73%、容積64%の小形化を達成した(**図3**)。

2.2 300 kVの全三相一括化

204 kVクラスでの全三相一括GISの運転実績や機器の絶縁仕様合理化などを背景に、300 kV GISについても従来主母線だけ三相一括でガス遮断器など引出し部は相分離構成であったものが、全三相一括化への検討が進められた。全三相一括化の実現に向けて技術的に課題となるのは、小形・軽量な三相一括ガス遮断器の開発である。定格電圧300 kVで定格遮断電流50 kAのように高電圧・大容量になると、事故電流遮断時の極間アークエネルギーによる高温ガスが極間や対地間のほかに相間絶縁に及ぼす影響が無視できなくなる。このため、極間・対地間・相間の絶縁特性は、高温によるガス密度の低下を考慮し、遮断過程のどのような時点でも、相間>対地間>極間となるように、熱気流解析や温度分布解析など最新解析技術を用いて諸元決定を行った(**図4**)。

また配置構成については、主母線と断路器の一体構造などによって低層化が達成されこれらの設計合理化により、300 kV GISは従来と比較し据付け面積で62%に縮小化された(**図5**)。

2.3 550 kV GISの縮小化

LIWL(雷インパルス絶縁レベル)は、GISの諸元を決定する因子の中で最も重要なものの一つである。変電所に侵入する雷サージ電圧は、避雷器によってLIWL以下に抑制される。したがって、避雷器の保護特性の向上、すなわち制限電圧を低減することにより、GISなどの機器のLIWLを低減することが可能となり、小形化が図れる(**図6**)。避雷器の制限電圧の低

項目 \ 機器	従来形ガス遮断器	低操作力ガス遮断器
方式	パuffァ室	パuffァ方式+自力消弧方式
構造		
特徴	パuffァ室の圧縮ガスを利用	パuffァ室の圧縮ガスに加えアーク熱による膨張ガスを利用
駆動力	100%	30%

図2 低操作力ガス遮断器の消弧方式 低操作力ガス遮断器は、パuffァ室の圧縮ガスに加え遮断時のアーク熱による膨張ガスを利用して吹付力を得る方式であるため、駆動力を30%に低減可能である。

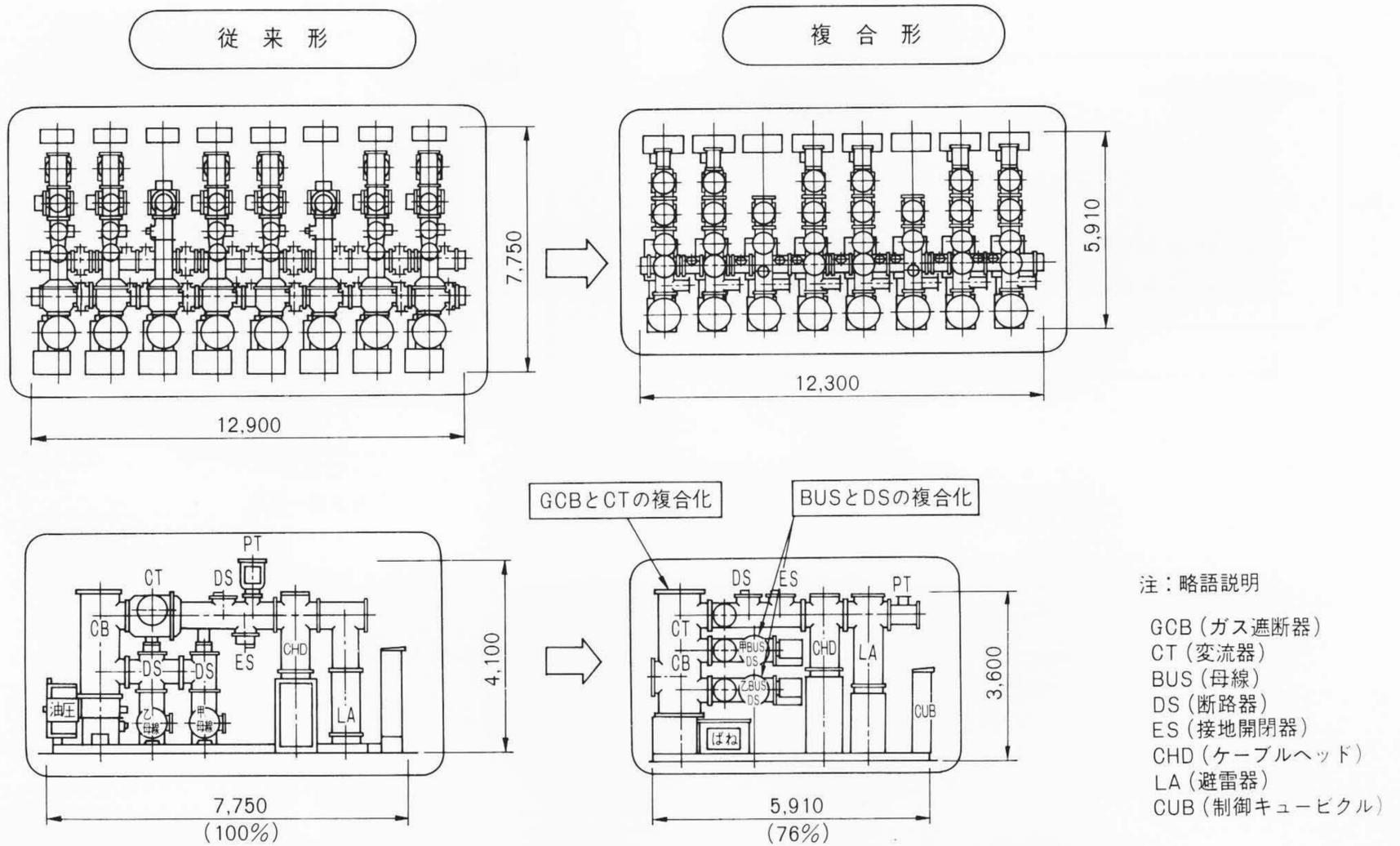


図3 72/84 kV GIS複合化の効果 低操作力ガス遮断器の適用と構成機器の複合化により、据付け面積を73%に縮小した。

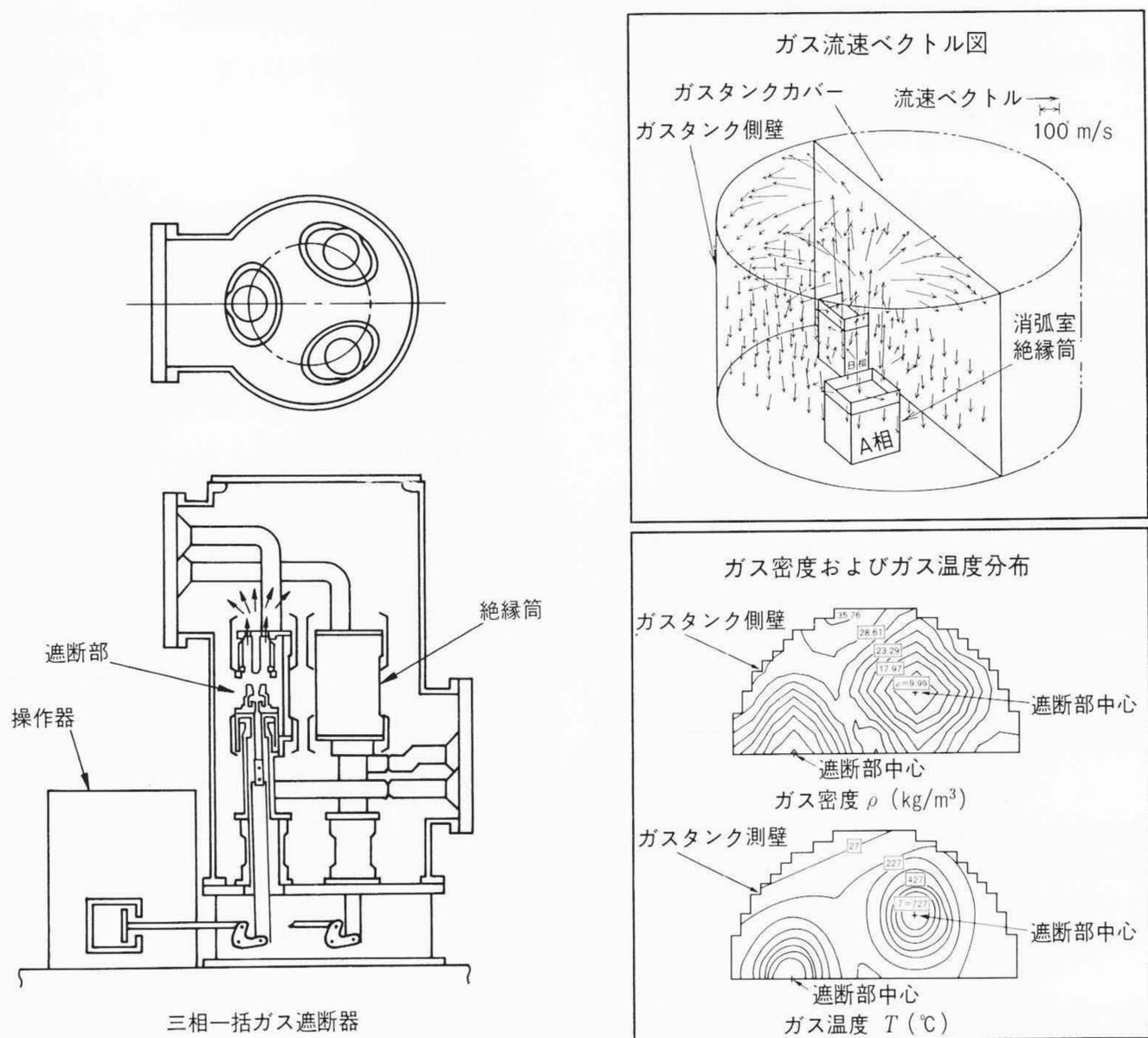
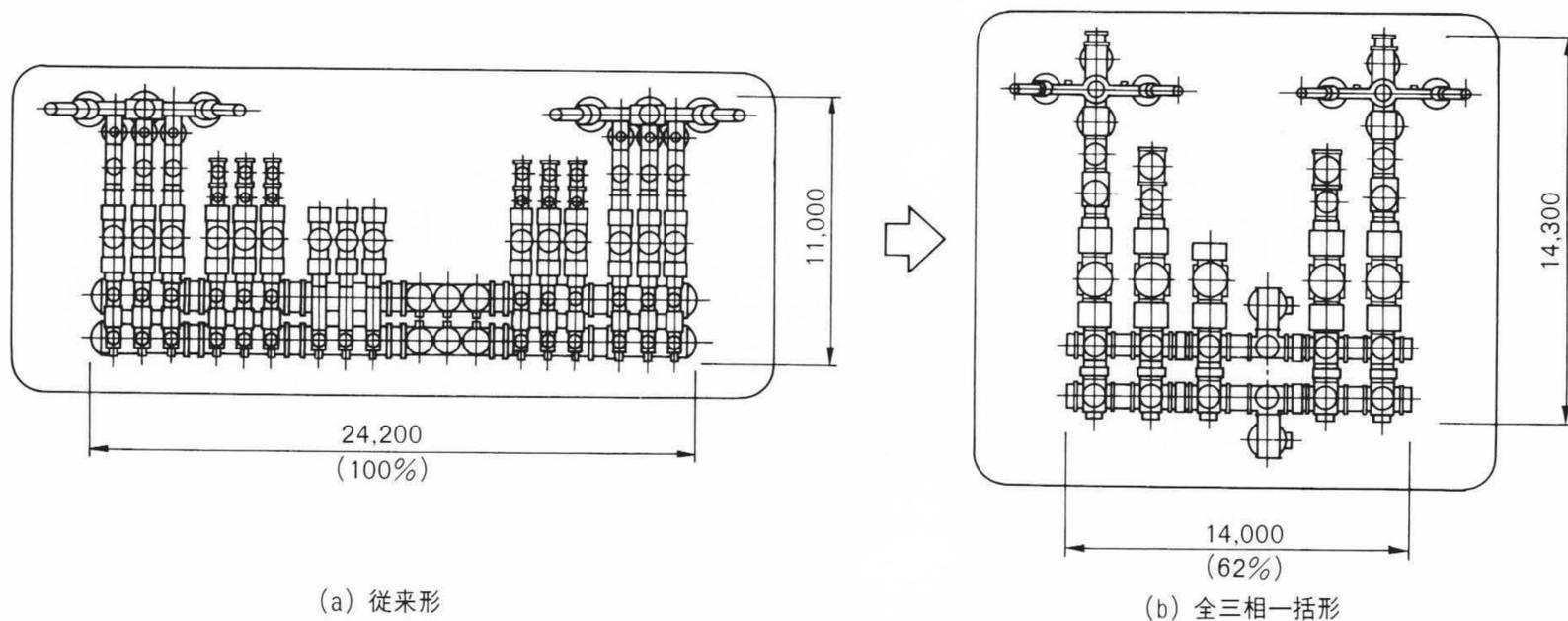


図4 三次元高温ガス流解析例(300 kV三相一括ガス遮断器) 熱気流解析や温度分布解析など、最新解析技術を用いて諸元を決定した。



(a) 従来形

(b) 全三相一括形



図5 300 kV GIS全三相一括化の効果 全三相一括化により、据付け面積を62%に縮小化した。

現行避雷器に対し約30%保護特性低減
(LIWL1,800 kV→LIWL1,425 kV低減可能)

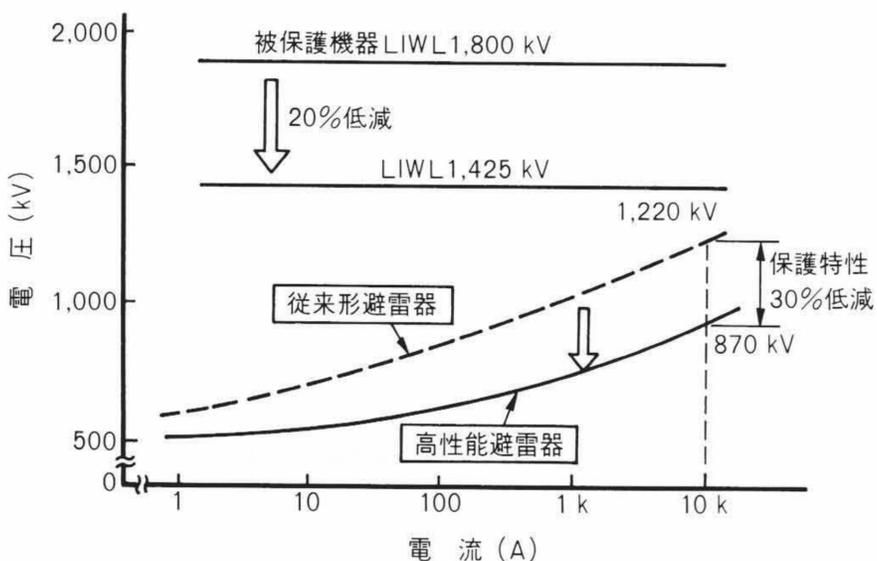
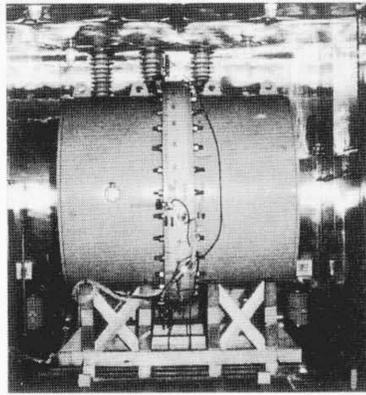


図6 避雷器の電圧-電流特性(550 kV系統用の例) 避雷器の素子の特性改善により、制限電圧を約30%低減した。

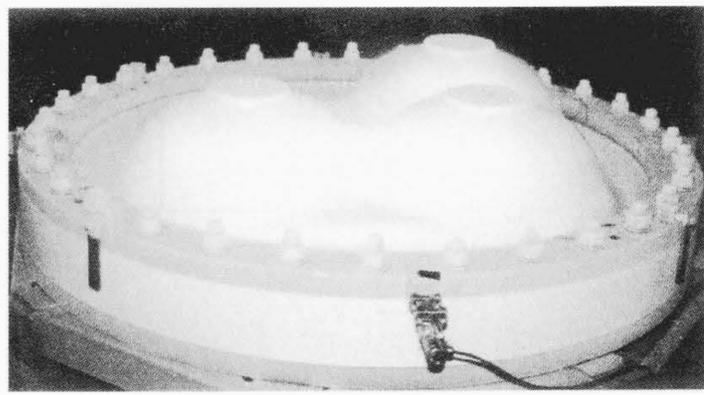
厚さを均質化し、電流分布を均一化することにより、素子の寿命およびエネルギー耐量の向上を図り、避雷器の高性能化を達成した。

この高性能避雷器適用による絶縁仕様合理化により、1,800 kVであったLIWLを、1,425 kVに低減することによって主母線直径は約15%縮小可能となった。従来、550 kV GISの主母線三相一括化は大口径となるため、三相一括スペーサの製造技術などの点から実用化が困難であったが、母線直径縮小化によって三相一括スペーサの製作が可能となったため、主母線三相一括化が実現した。スペーサはエポキシ樹脂成形品であるため、大口径となった場合、注形時の樹脂硬化を均等にさせる技術が課題となる(図7)。このため、最適硬化温度分布を得るための温度制御方法の確立と、樹脂の適正粘度、適正注入速度の管理など製造技術の確立を行い、大口径三相一括スペーサの製作を可能とした。主母線三相一括化によって据付け面積が75%に低減された。

配置構成については、直線配置構成を採用することにより、主母線を架構上に配置する積層配置構成のような大規模な架構類が不要となる。さらに、断路器や接地開閉器の操作器を地上から操作可能な位置に配置することにより、点検タラッ

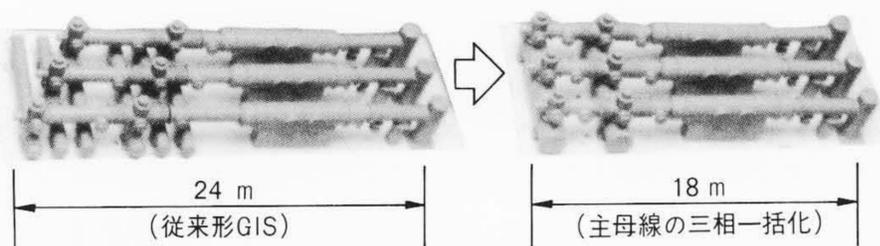


(a) 三相一括スペーサヒートサイクル試験
($\ominus 30^{\circ}\text{C} \sim 115^{\circ}\text{C}$, 30サイクル)

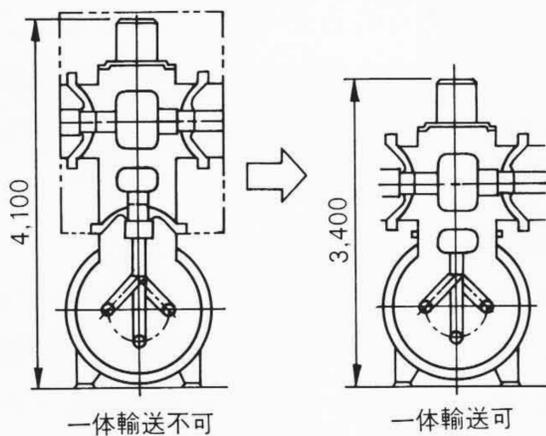


(b) 三相一括スペーサ氷結試験

図7 550 kV三相一括スペーサ各種試験状況 大口径スペーサは注形時の樹脂硬化を均等にし、ヒートサイクルなどによる機械的ストレスを低減することが重要である。



(a) 三相一括母線の採用



(b) 母線・断路器の一体輸送化

図8 550 kV GIS主母線三相一括化の効果 主母線三相一括化と母線断路器一体構造化により、構成を簡素化した。

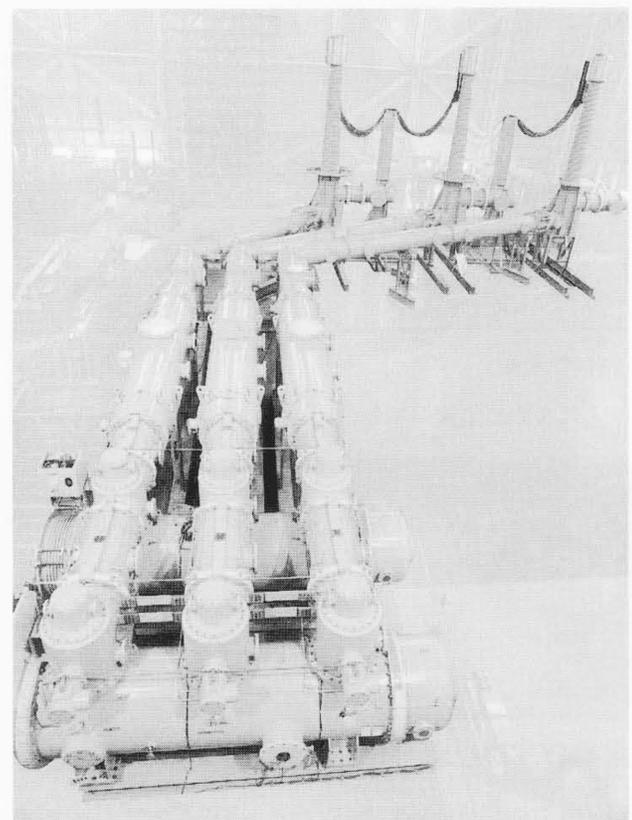


図9 主母線三相一括形550 kV GIS 主母線三相一括化により、据付け面積の低減を図っている。

プを省略できるため、構成の簡素化が図れる。また、図8(b)のように、主母線内に断路器を収納し一体構造とすることによって、機器の低層化・輸送分割数の低減など、GISの小形化と構造の簡素化を進めている(図8, 9)。

2.4 大容量ガス遮断器の遮断点数低減

遮断部ユニット当たりの高電圧化の経緯を図10に示す。550 kVガス遮断器は、当初一相当たり4遮断点構成で製品化されたが、昭和58年2遮断点化が達成された。さらに、遮断部ユニットの高電圧化を推進して、昭和61年には420 kVガス遮断器を1遮断点構成で開発完了した。さらに現在、550 kV 1点遮断ガス遮断器の開発を進めている。遮断部ユニットの高電圧・大容量化の技術は、パuffァ室内のSF₆ガスを効率よく吹き付ける軸方向同期吹付方式や、遮断器極間に設けた並列コンデンサによるrrrV(過渡回復電圧上昇率)の抑制など大電流

遮断技術の向上に加え、ユニットの高電圧化のためには、短絡電流多数回遮断後の極間絶縁、および進み小電流遮断性能が課題となる。これに対処するため、極間の電界解析技術に加え、短絡電流を多数回遮断後もアークによる損傷のない、絶縁性能の低下のない新しいノズル材料を開発し適用してきた。550 kV 1点遮断に向けて、さらにコンピュータを用いたノズル内の気流・圧力解析によってノズル下流部形状の改良を行い、開極途中での極間絶縁回復特性低下の防止を図り、進み小電流遮断性能を向上させた(図11)。また、小電流開閉時には、電流遮断後に主接触子極間で絶縁破壊しないように、主接触子とアーク接触子の絶縁協調が重要であるが、50%破壊電圧の3 σ のばらつきを考慮して、ストロークのどの範囲でも主接触子がアーク接触子の破壊電圧を下回らないように配慮している。

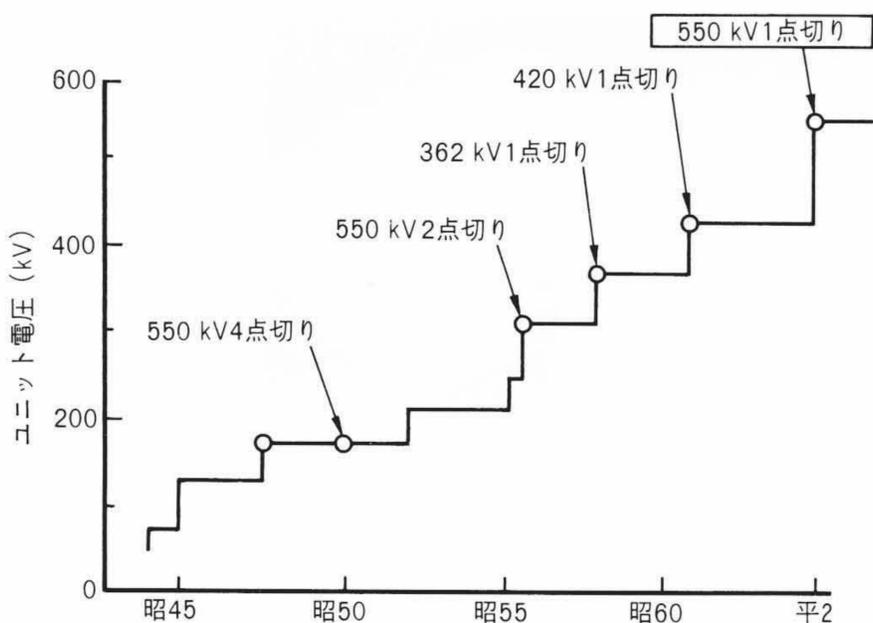
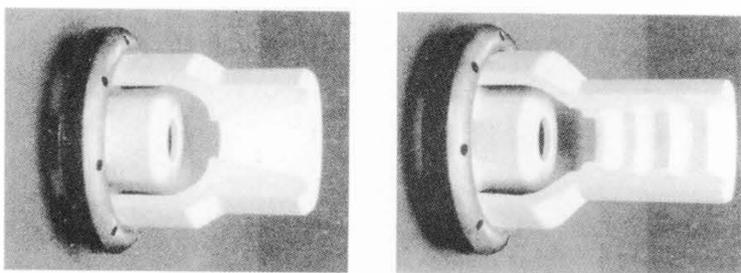
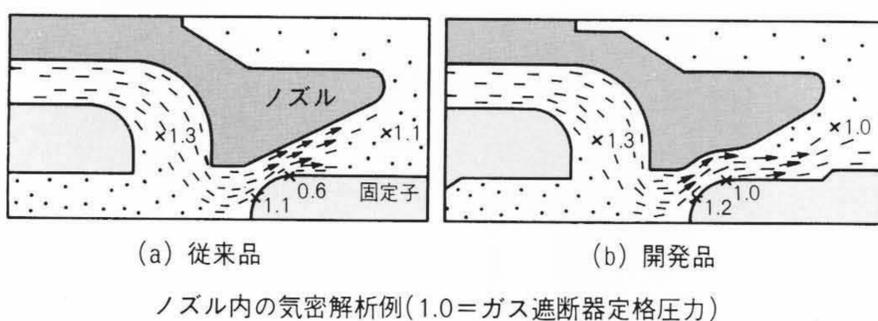


図10 ガス遮断器のユニット遮断部高電圧化の経緯 ガス遮断器はユニット遮断部の性能向上により遮断点数の低減が進められ、現在550 kV 1点遮断が実用化されようとしている。



550 kV 2点遮断ガス遮断器ノズル 550 kV 1点遮断ガス遮断器ノズル

図11 550 kVガス遮断器の遮断部ノズル形状改良 1点遮断ガス遮断器はノズル下流部の形状を改善し、進み小電流遮断性能を向上させた。

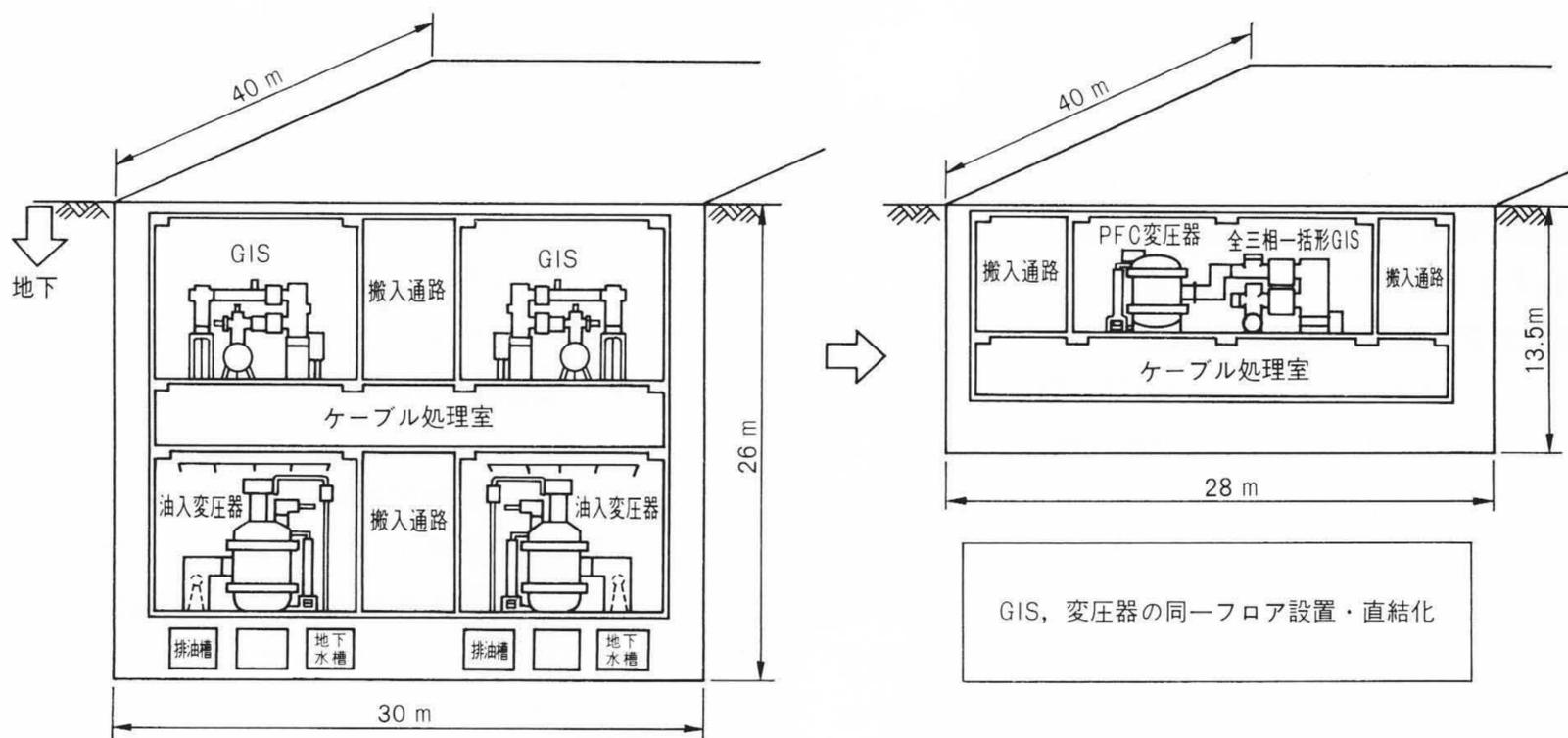


図12 高電圧地下変電所の構成 縮小形GISとPFC(Perfluoro Carbon)変圧器(絶縁媒質にSF₆ガスとPFC液を使用)の適用により、高電圧地下変電所の1フロア化が可能である。

2.5 高電圧縮小形GISの適用

300 kV全三相一括GIS, さらには550 kV 1点遮断ガス遮断器を適用した縮小形GISと, SF₆ガスとPFC(Perfluoro Carbon)液の難燃性絶縁媒質を用いたPFC変圧器を組み合わせることにより, 従来, ビル地下変電所が通常2フロア構成であるものが, 1フロアで構成できるため, 変電所容積の大幅な縮小化が可能となる(図12)。

また, 現在西暦2000年ごろの運転開始に向けて, 1,100 kV UHV変電機器の開発が進められている。UHV GCBは当初一相当たり6遮断点構成で考えられていたが, ユニット遮断部高電圧化の技術によって4遮断点構成が可能となった。さらに, 550 kV 1点遮断GCBの開発により, UHV GCBの2遮断点化の見通しが得られた。

3 GISの信頼性向上策

最近の電力の利用環境は, 高度情報化社会の進展, 生活環境・社会機能の電力依存の増大により, 供給信頼度および質的改善に対する要請がますます高くなっており, 稼働中の設備事故の未然防止や万一の事故時の処置などの保全技術に関し新たな対応が求められるようになってきた。これにこたえるものとして, 運転中の機器を監視・診断し, 細密点検の要否や寿命の予測などを自動的に行うオンラインシステムが研究されている。

3.1 センサ技術

図13は, GISの異常監視項目とセンサについて示したものである。従来のセンシング技術は, ある検出量が設定基準値を超えた場合に異常と判定する方式が主流であったが, 最近では検出量の物理的特性, 例えば周波数特性に着目して分析を

行うことにより、検出精度を向上している。

その一例を次に述べる。

(1) 周波数解析による微小部分放電検出法

図14に示すように、GIS内部に設けた検出部からの信号をスペクトラムアナライザによって周波数解析すると、GIS外の大気中で発生した部分放電は約500 MHz以下の帯域に現れるのに対し、GIS内部で発生する部分放電は750~1,500 MHz帯に現れる。したがって、GIS内部の部分放電電荷量を数ピコクーロンまで精度よく検出可能である。

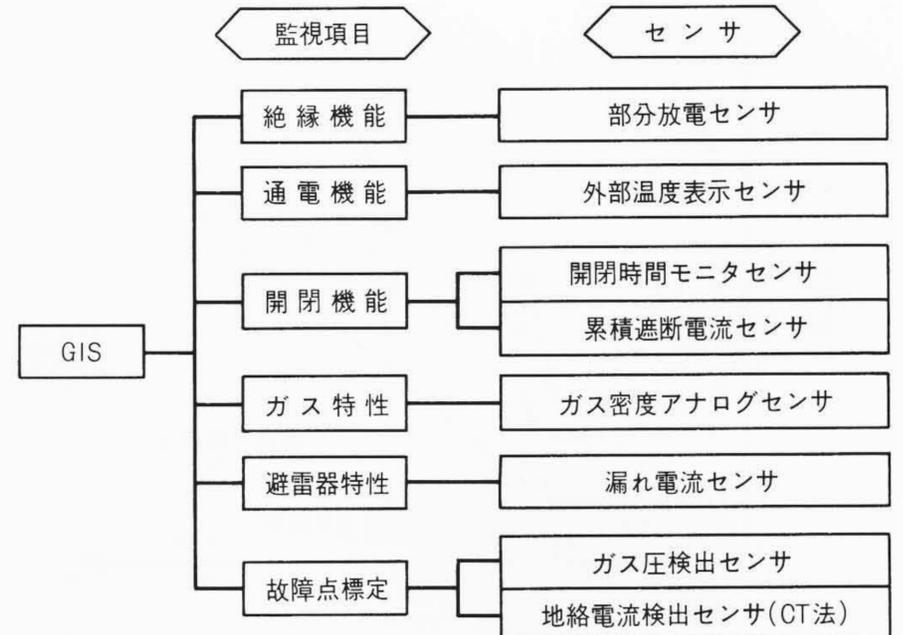
(2) 振動測定による通電異常検出法

図15に示すように、タンク外壁に設置した加速度センサを用いて、通電時のタンクの振動を測定し振動波形を周波数解析すると、正常時は比較的低い周波数成分の振動成分だけであるが、通電異常時には比較的高い周波数領域まで検出される。これにより、従来のタンク表面温度検出とは異なり、周囲環境からの影響を大幅に軽減することができるため、精度よく検出ができる。

(3) 微小異物検出法

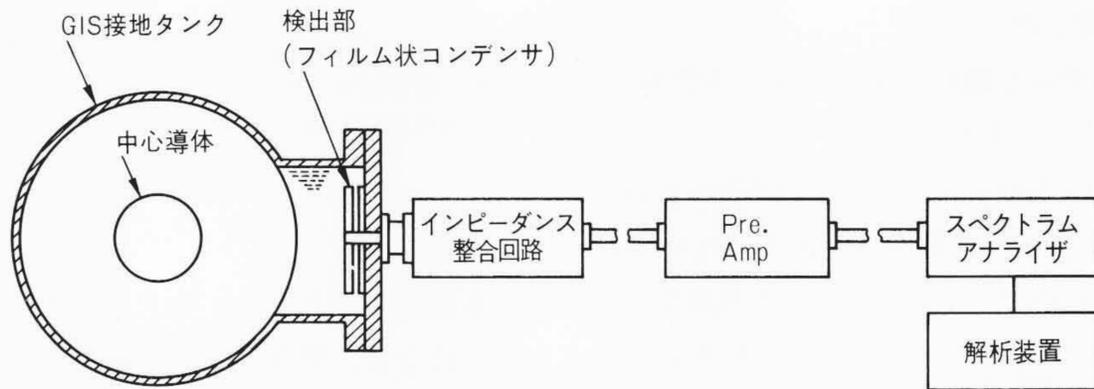
物質によって衝突音の周波数スペクトラムが異なることに着目し、図16に示すように、タンク外壁に検出周波数帯域の異なる超音波センサと加速度センサを設置し、その出力比を

求めることによって、異物の種類を判別することが可能である。GISの内部に金属異物が存在すると、静電力によって浮上し絶縁性能を低下させる原因となる。現地耐電圧試験時にこの異物検出法を併用することにより、内部の金属異物の有無



注：略語説明 CT (変流器)

図13 GISの異常監視項目とセンサ 各種センサを用いたGISのオンライン監視により、保守・点検のインテリジェント化が進められている。



測定条件	周波数スペクトラム	特徴
① 外部部分放電 (印加線) Q = 400 pC		GIS外で発生する部分放電は、レベルが大きいても周波数が500 MHz以上の成分は少ない。
② 内部部分放電 Q = 8 pC		GIS内で発生する部分放電は、750~1,500 MHz帯に現れる。
③ ①+② 外部と内部部分放電が重畳		GIS内外で同時に発生してもGIS内部分放電を区別して検出することが可能である。

注：略語説明 Pre. Amp (前置増幅器)

図14 周波数解析による微小部分放電検出法 内部部分放電と外部部分放電の周波数帯域が異なるため、周波数解析によって精度よく検出可能である。

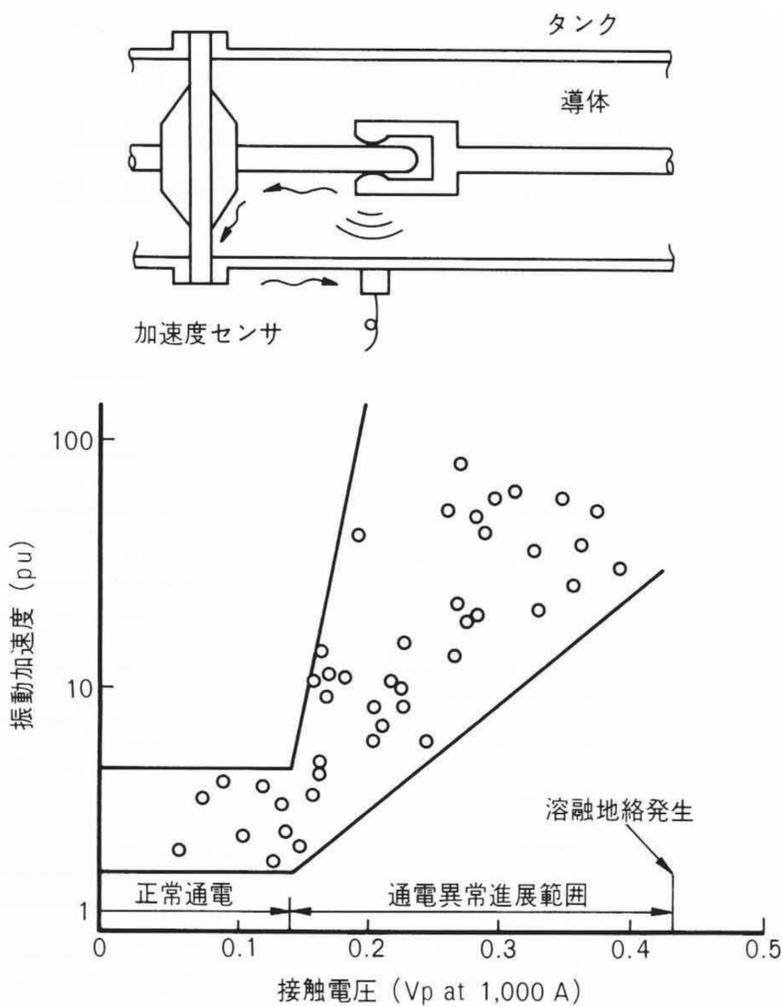


図15 振動測定による通電異常検出法 通電異常時、タンクの振動加速度が比較的高い周波数領域まで検出されるため、通電異常を精度よく検出可能である。

を確認できるので信頼性向上が図れる。

3.2 オンライン監視システムと運転・保守支援システム

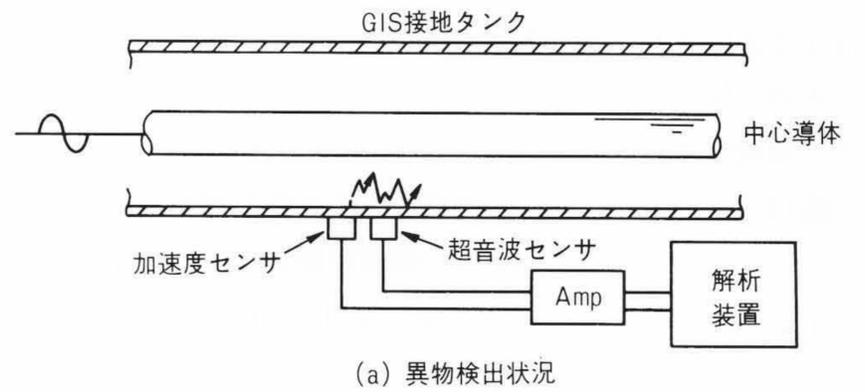
センサを用いた診断技術は可搬形、移動形のオフライン診断装置から設備の信頼度化(事故の未然防止)と保守の省力化を目指したオンラインシステムへの適用が進められている。各種センサからの信号は、GISヤードに設置された現地盤でデジタル信号化され光ケーブルによって本館内の監視箱に伝送され、機器の異常兆候の監視に用いられる。

変電設備を取り巻く諸環境の変化に伴い、機器のオンライン監視・診断システムに対するニーズは、より高感度化・多機能化が望まれている。そこで各種センサの情報を総合的に判定し、事故時の対応はもとより平常時の運転に関し整理された情報を供給する運転・保守支援システムが導入されつつある。

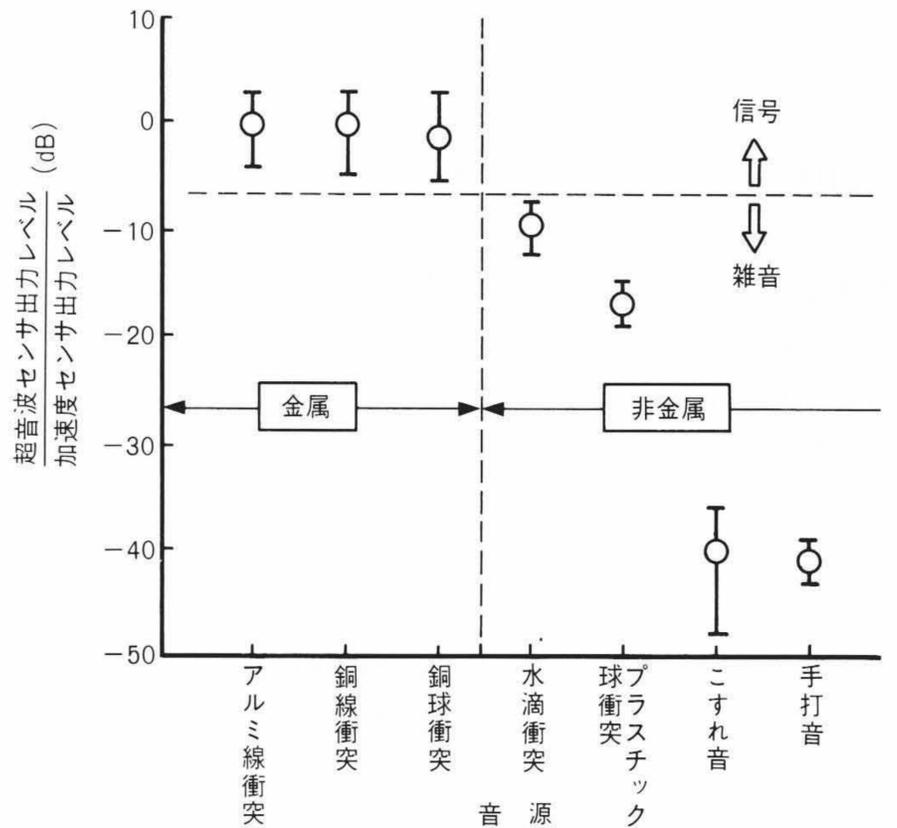
4 結 言

以上、最近のGISの電力流通技術への対応について述べた。GISの技術動向は、多様化する設置環境と電力系統の高信頼度化の中で、小形・軽量化と信頼性向上の要求が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、GISはさらに高度技術の裏付けに



(a) 異物検出状況



(b) 異物の種類の判別例

図16 微小異物検出法 物質によって衝突音の周波数帯域が異なるため、超音波センサと加速度センサの出力比により、金属異物を精度よく検出可能である。

よる集積化とともに、センサ技術の進歩によるインテリジェント化など、無保守・無点検を目指した技術開発が行われていくものと思われる。

参考文献

- 1) 河津, 外: 500 kVガス絶縁開閉装置用12,000 A三相一括形ガス母線, 日立評論, 64, 3, 207~211(昭57-3)
- 2) 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)
- 3) 佐々木, 外: 最近のガス絶縁開閉装置, 日立評論, 65, 5, 321~326(昭58-5)
- 4) ガス絶縁機器の信頼性向上策, 電気協同研究, 44巻, 2号(昭63-10)
- 5) 中野, 外: 最近の酸化亜鉛避雷器と絶縁協調, 日立評論, 65, 5, 327~332(昭58-5)
- 6) 川田, 外: 送変電設備の予防保全システム, 日立評論, 72, 8, 799~806(平2-8)