

最近の電力流通技術とその将来展望

Recent Substation Technology and Its Future Prospects

社会構造の高度情報化あるいは快適性重視形への移行に伴い、社会生活での電気エネルギーへの依存度がますます増大している。このため、電力の量的確保とともに質的向上および供給信頼度向上に対する要求が高まり、また設備の環境との調和も重要な課題となっている。このような背景のもと、日立製作所では電力流通設備の高信頼度・小形・軽量化の技術開発を進める一方、設備の診断・予測保全技術、保護・制御技術、監視制御技術の実用化開発、さらには運転保守支援、監視制御支援エキスパートシステムなどのAI技術を応用したトータルシステムなど、信頼性向上を目指した技術開発も推進している。変電所は、将来、高機能化された機器に加え、系統連系、安定化など、いっそうの機能拡充のためのシステム、装置を統合した次世代変電所の方向に進展していくものと考えられ、これに関する研究開発も行っている。

久和伸一* *Shin'ichi Kuwa*
村岡泰夫* *Yasuo Muraoka*
富田繁信* *Shigenobu Tomita*
加藤 寧* *Yasushi Katō*

1 緒 言

電力需要の動向は社会経済の基調に左右されるが、総エネルギー需要に占める電力エネルギーの比率は、社会活動全般での電力への依存度の上昇に伴い、今後とも増大傾向を示すものと考えられている。

電力需要の増大に対処するため、従来から電力系統の高電圧・大容量化が進められてきている。すでにUHV送電に対応する多くの技術開発が実施され、その成果が現在の500 kV送変電設備に生かされるとともに、近い将来のUHV送電計画に対応すべく新たな技術開発が行われている。

また、高度情報化社会、快適性重視形社会への移行に伴って、電力供給信頼度の向上や供給電力の質的向上に対する要望が高まってきている。すなわち、瞬時電圧低下に対する対策や、供給支障事故の撲滅、事故発生時の早期復旧などが強く要望されている。

わが国の電力系統は、このような社会情勢に加えて、ますます遠隔・偏在化する電源基地から大都市一極集中負荷地域に電力を輸送するという使命を担っており、高い信頼性が要求される。また、人口密集地近辺の用地取得難などの社会環境条件に対しても十分な配慮が必要である。変電所の騒音・振動レベルの低減、小形・軽量化、さらに不燃化・難燃化などの安全性・防災性が要求される。加えて、わが国特有の問題である地震・塩害などの厳しい自然環境に対する配慮も必

要である。

日立製作所ではこのような背景のもとに、種々の送変電技術を開発し対応してきている。以下に最近の送変電技術の概要と将来展望について述べる。

2 送変電技術開発の基本的考え方

わが国の電力系統は、大電力を高い供給信頼度で安定に、電源から負荷へ輸送する使命を担っている。したがって、電力系統を構成する送変電設備に対しても、個々の構成機器の信頼度を高めることはもちろん、システムとしての信頼度の向上、さらには交・直変換装置や電圧安定化装置などの新しい技術を含めた技術開発が要望されている。

また、機器の小形・軽量化、複合化などによる設備の合理化や、省エネルギー化・運転自動化・保守点検支援など運用経費の合理化による経済性の向上、さらにコンパクト化・低騒音・防災性の向上など周囲環境との調和などのニーズも考慮しなければならない。

このようなニーズや課題に対応して、変圧器やガス絶縁開閉装置などの機器、保護・制御や予防保全などの装置の機能を向上するための技術開発をはじめ、ニーズに応じた新しい機能を持つ装置の開発などを推進する必要がある。表1は、これらのニーズと課題および対応技術をまとめたものである。

* 日立製作所 電力事業本部

表1 最近の送変電技術に対するニーズと課題および対応技術 社会的なニーズの変化に伴い、課題、対応技術が多様化している。

No.	ニ ー ズ	課 題	対 応 技 術 な ど				
			変 圧 器	G I S	保 護 ・ 制 御	シ ス テ ム	予 防 保 全
1	供給信頼度の向上	●設備の拡充・整備 ●設備の信頼性向上 ●系統安定度向上	●設計、製造、組立技術の向上 ●高・低インピーダンス変圧器	●設計、製造、組立技術の向上 ●高速度遮断	●各種保護継電装置 ●系統安定化制御装置	●直流連系装置 ●静止形無効電力補償装置 ●同期調相機	●予防保全活動 ●予測保全装置 ●設備診断装置
2	良質な電力の供給	●電圧・周波数変動抑制 ●瞬時電圧低下防止	—	●逆せん絡防止用送電線用避雷器	●電圧無効電力制御装置 ●各種保護継電装置	●直流連系装置 ●静止形無効電力補償装置 ●同期調相機	—
3	総合経済性の向上	●設備形成の合理化 ●小形・軽量化 ●省エネルギー化 ●保守点検の合理化 ●運転の自動化	●絶縁設計合理化 ●誘電率整合絶縁 ●低損失鉄心技術 ●クーラのインバータ運転	●絶縁設計合理化 ●全三相一括化 ●複合化 ●光変成器(光PT、CT)	●屋外分散配置(構内光LANの適用)	—	●運転保守の省力化
4	環境調和形設備	●小形・軽量化 ●低騒音・低振動化 ●防災性の向上	●高効率遮音板 ●不燃変圧器	●ガス絶縁セラミック抵抗式 ●中性点接地抵抗器	—	—	—
5	変電所機能の拡充	●系統安定化機能の拡大 ●分散形電源・電力貯蔵 ●多機能化	—	—	●総合監視制御システム(構内光LANの適用)	●運転・保守支援システム	●予測保全エキスパートシステム

注：略語説明 GIS(ガス絶縁開閉装置)，PT(計器用変圧器)，CT(変流器)

日立製作所では、表1に示す対応技術を実用化するために必要な新素材の開発や解析技術をはじめ、情報処理、知識工学など広範な先端技術の研究開発を積極的に推進しており、その適用にあたっては、過去に蓄積された技術実績をもとに、要素試作や実規模試作を通してあらゆる角度からの試験・検証を行い、製品の性能・信頼性に万全を期すことを基本としている。

3 最近の技術開発の概要

3.1 供給信頼度の向上

供給信頼度の向上策として、電力会社では、系統計画に基づく電力系統の拡充や電力系統間の連系、電圧安定化対策としての静止形無効電力補償装置や同期調相機などの設置、デジタル保護制御装置の採用、現有設備の整備や経年設備の更新などが逐次実施されている。

これらの施策に対応すべく、電力系統間の連系設備として300 MW周波数変換装置(図1)や直流連系装置、電圧安定化装置として100 MVA静止形無効電力補償装置(図2)、200 MVA同期調相機(図3)などの開発および製品化を推進している。

また、電力の安定供給のためには、設備事故・障害の未然防止が重要である。過去の不具合事例を反映した適切な点検内容の確立・実施、および設備改善のための予防保全活動の

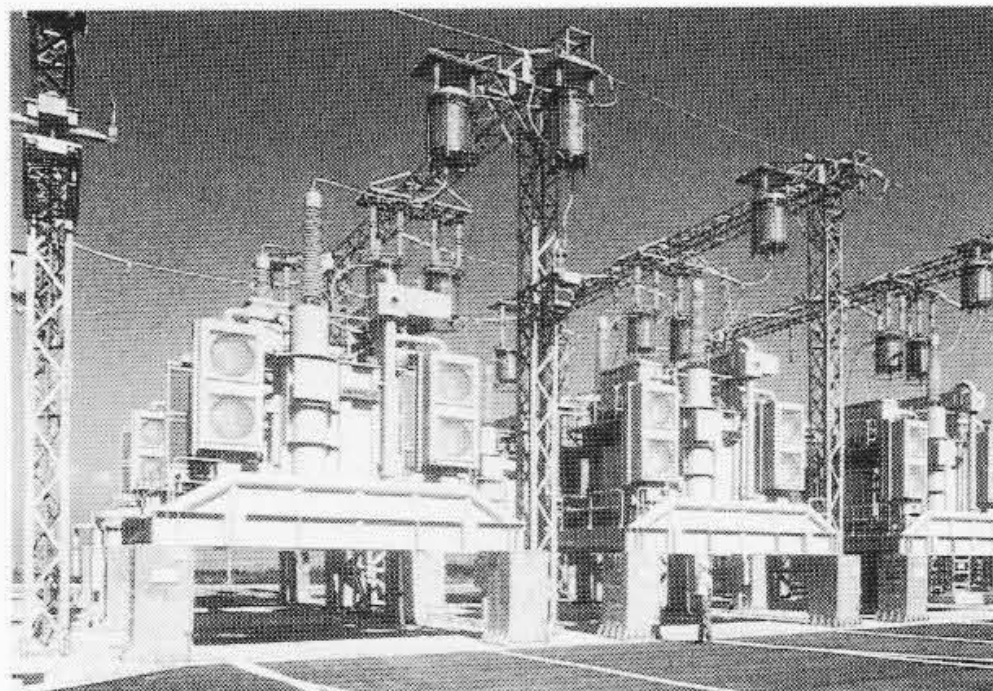
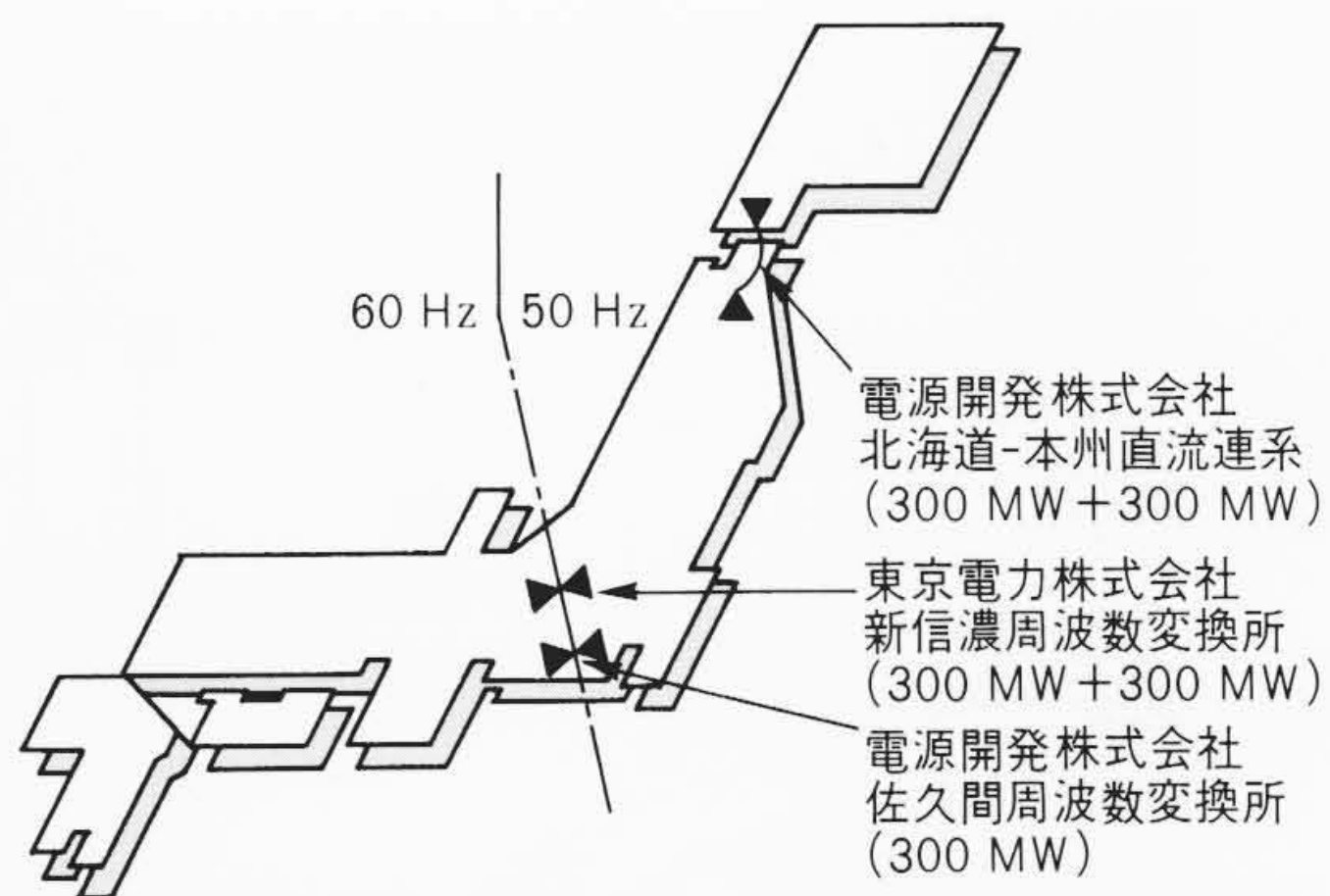
推進(図4)をはじめ、設備の状態をより正確に把握するためのセンシング技術を開発し、各種の予測保全装置およびそれらをベースにデジタル保護制御技術、AI技術を組み合わせた運転保守支援システムの実用化を推進している。

電力流通設備を構成する機器の信頼性が高いことが最も大切である。そのため、送変電機器の製作にあたって、適宜最新技術を導入して信頼性の向上を図ってきている。特にUHV技術開発に際して得られた絶縁設計、製造、品質保証技術は、500 kV以下の実運用機器に適用することにより、信頼性の向上に貢献している。一例としてガス絶縁開閉装置の場合を示すと、設計段階では高精度三次元解析を用いて電磁界や温度分布などの確認を行い、また現地組立段階ではエアシェルトを使用して防塵(じん)に万全を期すなど、設計段階から現地完成まで一貫した信頼性向上策を実施している。

3.2 良質な電力の供給

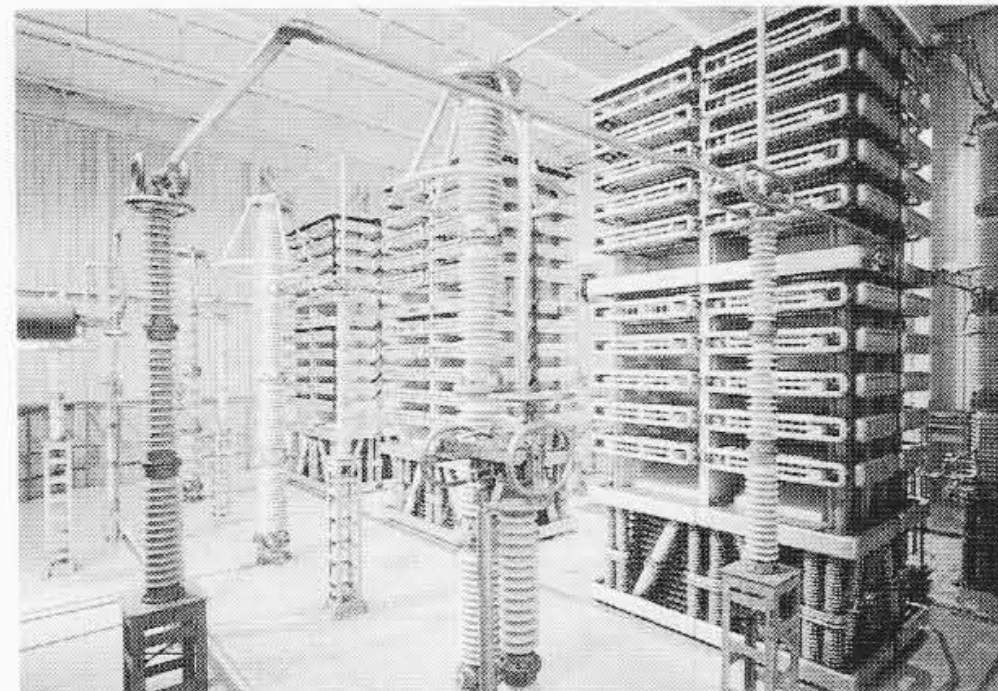
良質な電力供給の条件として、従来、供給支障がないこと、周波数・電圧変動が少ないことが求められている。周波数や電圧を安定に保つには、有効電力、無効電力の需給のバランスを図らなければならない。

このようなニーズに対応するものとして、系統連系装置による有効電力の供給力増強、静止形無効電力補償装置、同期調相機などの装置による無効電力の供給やオンラインVQC



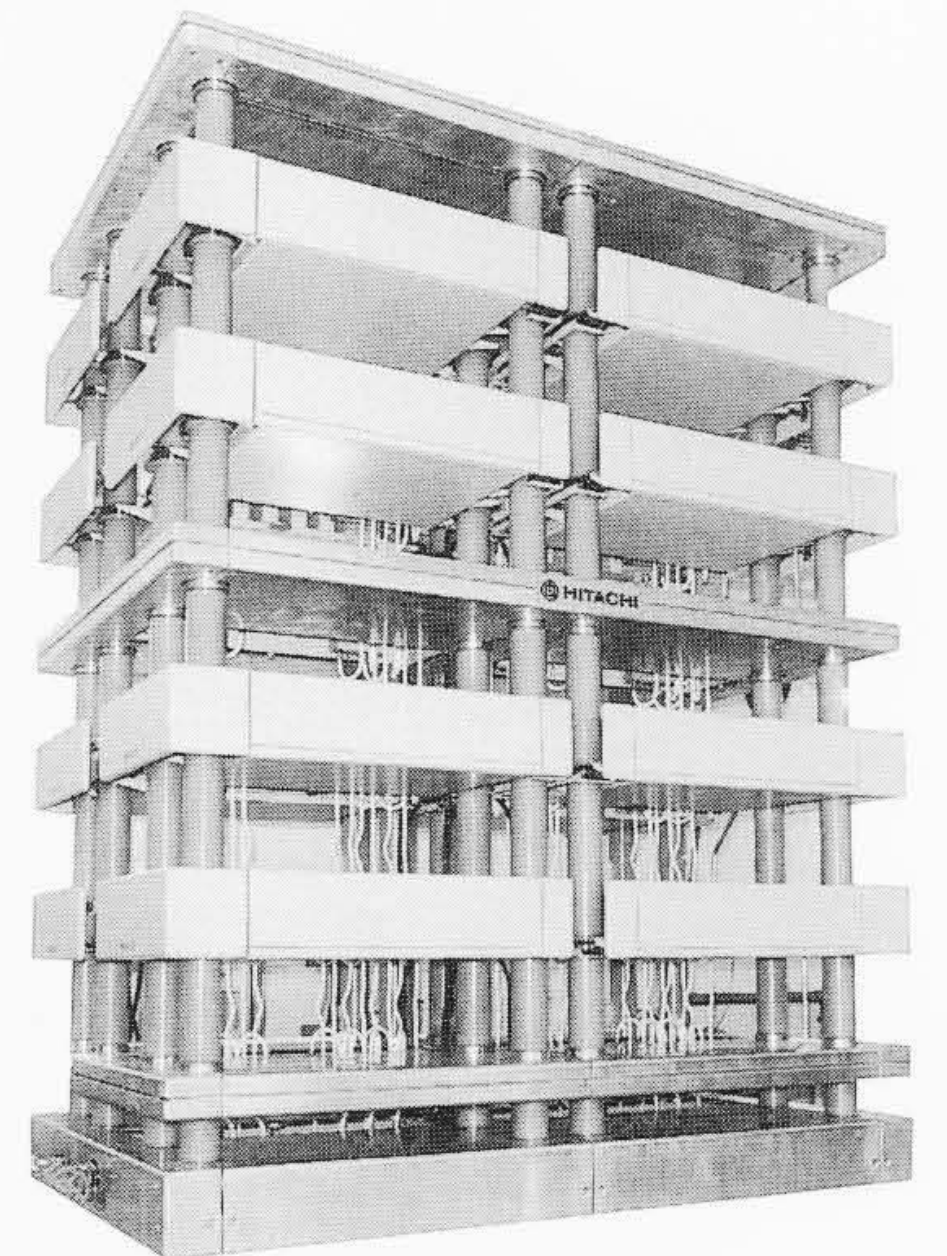
東京電力株式会社
新信濃周波数変換所用サイリスタバルブ
(既設)

- 定格容量：300 MW
- 定格直流電圧：125 kV
- 油絶縁油冷式
- 電磁点弧方式
- 運転開始：1977 年



電源開発株式会社
北海道-本州直流連系函館変換所用サイリスタバルブ
(既設)

- 定格容量：300 MW
- 定格直流電圧：250 kV
- 空気絶縁風冷式
- 光間接点弧方式
- 運転開始：1980 年



東京電力株式会社
新信濃周波数変換所用(増設用)
サイリスタバルブ(4段積1相分)

- 定格容量：300 MW
- 定格直流電圧：125 kV
- 空気絶縁水冷式
- 光直接点弧方式
- 運転開始：1992 年

図1 交直流変換装置 電力系統間の広域運用のかなめとして、直流送電や非同期連系の大容量交直流変換装置が注目されている。

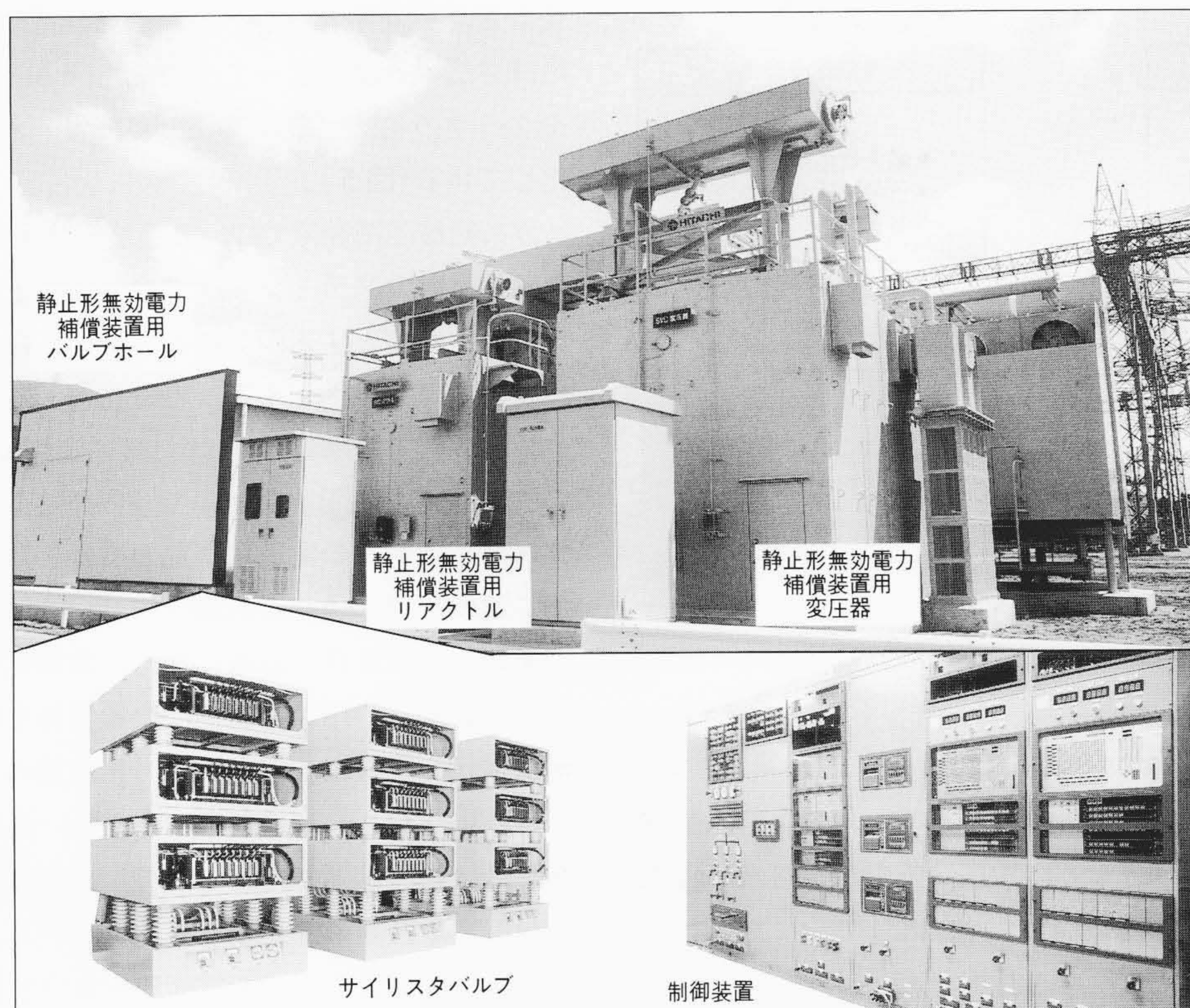


図2 東京電力株式会社 新富士変電所用100 MVA静止形無効電力補償装置 無効電力を高速かつ連続的に制御し、電力系統の電圧を安定に維持する装置である。

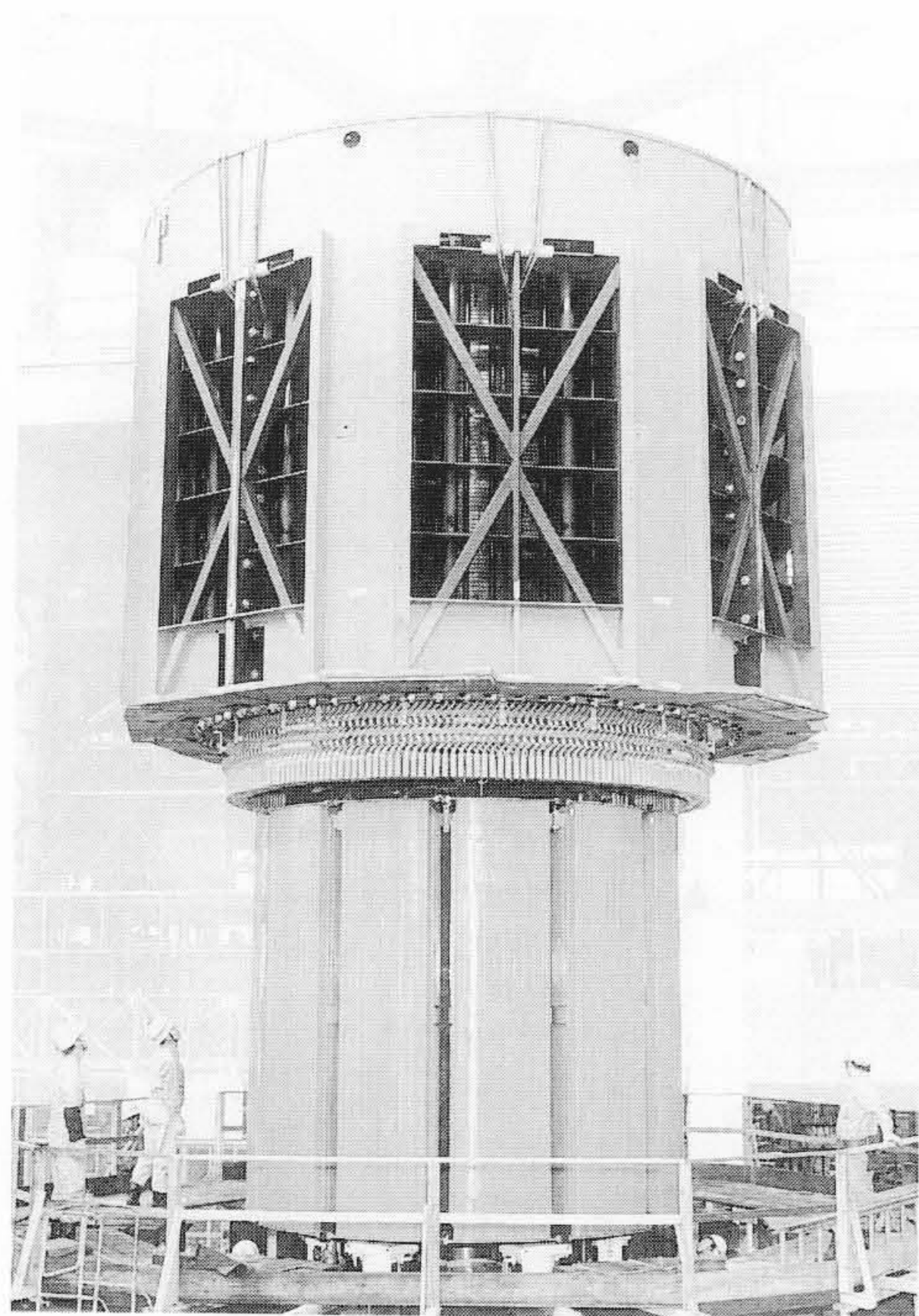


図3 200 MVA立軸同期調相機 電圧安定化装置として起電力を持った同期調相機が見直されている。図は回転子と固定子を組み合わせ作業中の状態を示す。

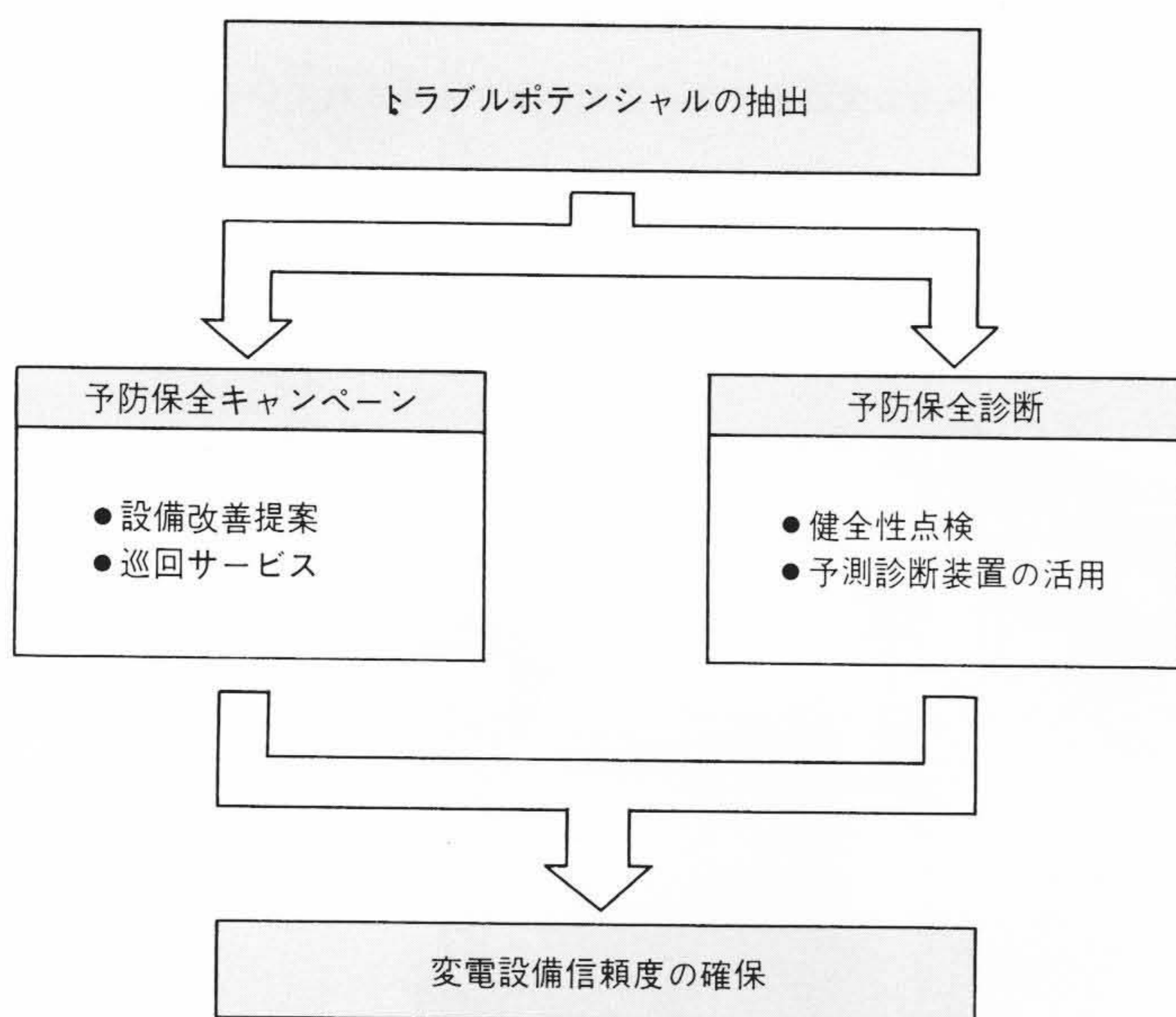


図4 予防保全活動 運用中の設備を定期的に点検し、予兆の段階で対策を講じ事故を未然に防止する活動を進めている。

(Voltage and Reactive Power Control: 電圧無効電力制御) による無効電力のバランス制御が行われている。また、事故発生などの緊急時に、事故などに即応してこれを遮断し停電区域を局限する高速の保護リレーや、保護リレーに連動して事故遮断後の系統の安定化制御を行うSSC(System Stabilizing Controller: 系統安定化制御装置)などの系統安定化装置や周波数分離リレーなどを、電力会社と共同で開発している。

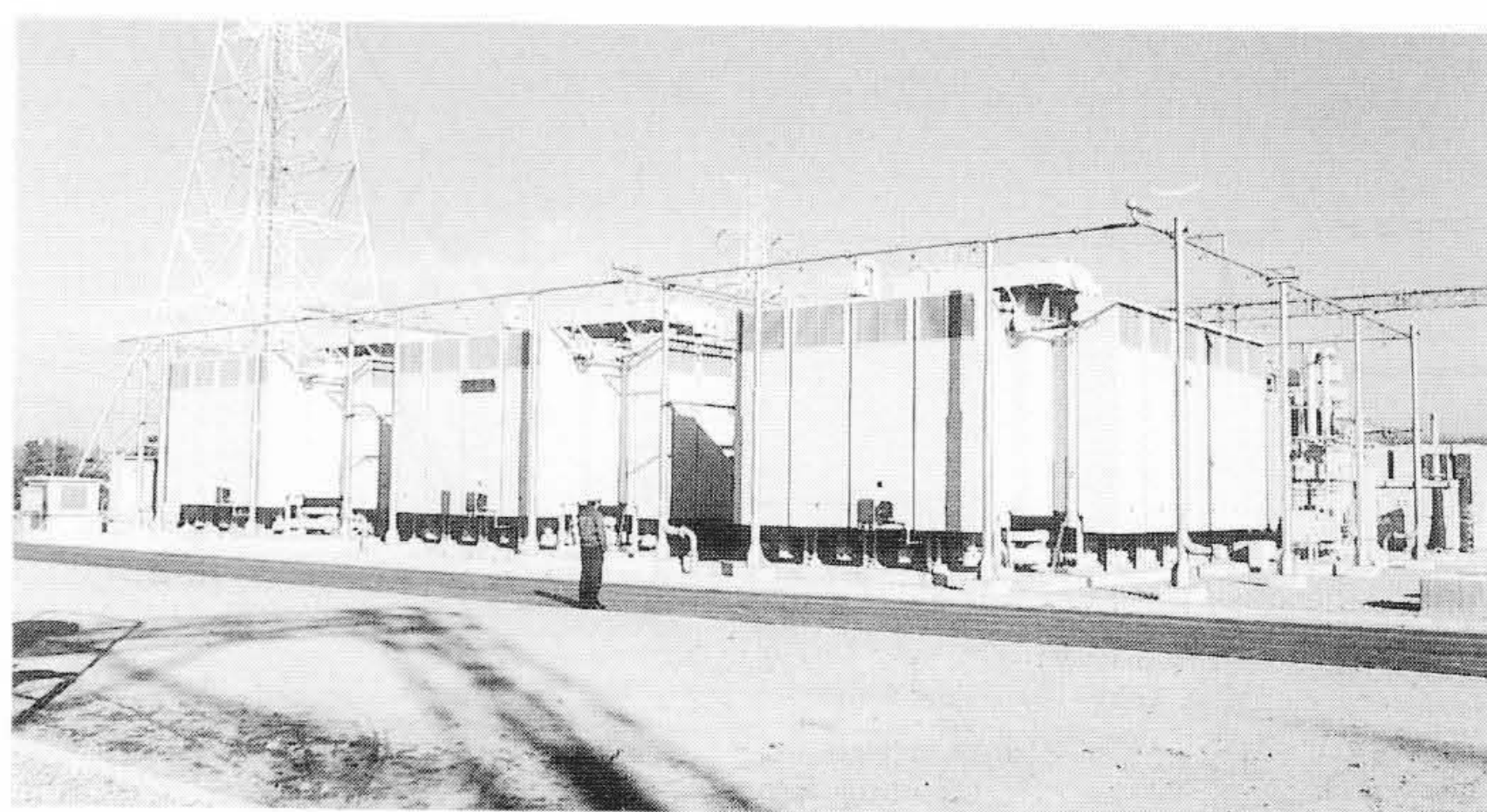


図5 東京電力株式会社 新京葉変電所用500 kV 1,500 MVA(バンク容量)変圧器 高インピーダンス仕様に対し、磁気シールド技術を適用して低損失を実現している。

3.3 総合経済性の向上

総合経済性を向上するには、設備の初期投資とともに運転・保守経費を含めた生涯費用を低減する必要がある。送変電設備の合理的なコスト低減、小形・軽量化とともに、運転経費節減のための省エネルギー化技術、自動化・省人化を可能とするシステムの開発が必要である。

(1) 送変電設備の経済性向上

近年の酸化亜鉛避雷器の進歩と過渡現象解析技術の向上は合理的な絶縁協調を可能とし、変圧器およびガス絶縁開閉装置の小形・軽量化およびコスト低減に寄与している。

変圧器については、油浸絶縁の絶縁油と絶縁紙の誘電率を整合させ、電界分布を平均化した誘電率整合絶縁を開発し、絶縁寸法の低減によって小形化を図るとともに、低損失鉄心やクーラのインバータ運転などの省エネルギー化技術も実用化している(図5)。

ガス絶縁開閉装置では、高精度三次元解析技術を駆使して、電磁界・熱ガス流・気流・温度分布などを合理化し、遮断点数を1遮断点とする開発を行うとともに、三相一括化および複合化などを推進し小形・軽量化を図っている(図6)。

また、制御保護装置では、光LANを採用し、建物ケーブルの物量、施工時間を合理化できる屋外分散形全デジタル制御保護システムの実用化を電力会社と共同で推進している。

(2) 運転・保守経費の低減

運転・保守経費の低減に加え、高齢化社会を控えて今後運転・保守要員の確保が困難になる情勢を踏まえ、変電所の運転自動化・無人化、保守の省力化が進められている。

このようなニーズに対応するため、光通信技術、デジタル制御技術、AI技術などを駆使し、変電所の自動化・無人化に対応する技術の開発に取り組んでいる。分散形全デジタル保護制御システムや変電所運転保守支援システムなどは、電力会社と共同で開発を推進し実用化されたシステムである。



図6 東京電力株式会社 新山梨変電所用550 kV絶縁合理化形ガス絶縁開閉装置 三相一括化、複合化により小形・軽量化を図っている。

3.4 環境調和形設備

電源立地の遠隔・偏在化、電力需要の大都市一極集中の傾向は今後も続くと考えられており、送変電設備についても、このような状況に対応した設備開発が求められている。すなわち、大都市部では用地取得難に対処するため、地下式や屋内式となる場合が多く、小形・軽量化、騒音・振動の低減と同時に、特に安全性や防災性が要求される。

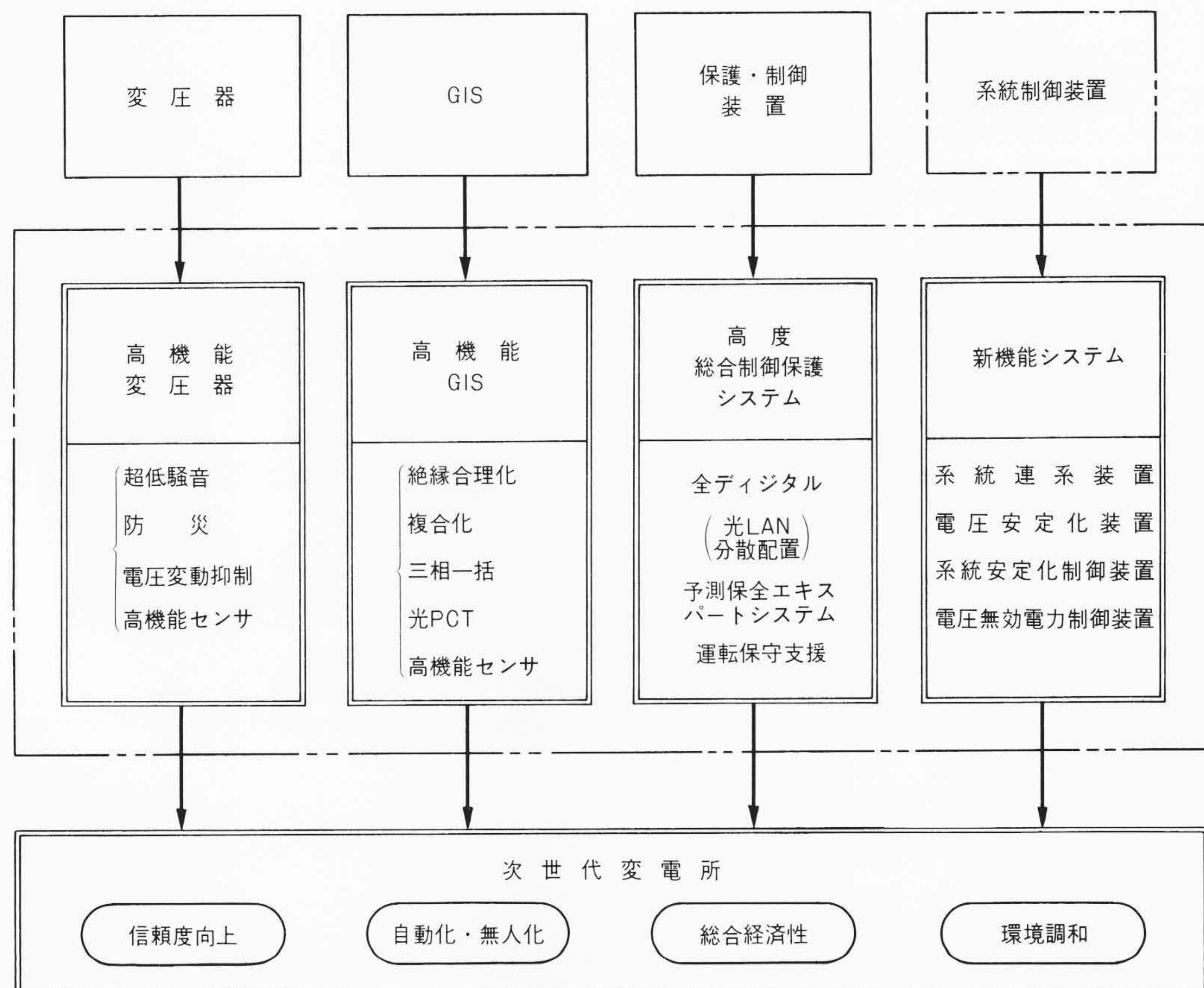
このような要求にこたえるため、高効率遮音板の適用による低騒音変圧器、ロープロフィール(低層)形機器、SF₆ガスとパーフルオロカーボン液を用いた複合ガス絶縁変圧器など環境調和形の機器の開発や実用化を図っている。

3.5 変電所機能の向上と送変電技術の展望

電力系統の拡大に伴って送変電設備のいっそうの性能改善、機能向上の努力が続けられている。

その一つの方向が機能の統合である。従来、保護制御システム、監視制御システム、運転保守支援システムなどがそれぞれ個別に開発、運用されてきたが、これらのシステムを統合し、総合的な見地から機能を見直し再配分して、運用の合理化を指向した高度総合制御保護システムの開発を進めている。

もう一つの方向は新しい装置の開発である。パワーエレクトロニクス技術を駆使し、交流送電線の利用率向上を図るFACTS(Flexible AC Transmission System)の構想が注目されている。ソリッドステート位相調整装置、サイリスタ制御直列コンデンサ、アドバンスド静止形無効電力補償装置などが提案されており、それらを展開していく上で有効と考えられるGTO(Gate Turn Off)サイリスタおよび適用システムの開発を進めている。また、将来の系統負荷平準化に期待さ



注：略語説明 PCT (計器用変成器)

図7 次世代変電所に至る技術的変遷の概念の開発・実用化が今後の方向と考えられる。

多様化、高度化する社会的ニーズに対応した次世代変電所

れるシステム技術として、NaS(ナトリウム硫黄)電池やSMES(超電導エネルギー貯蔵)装置などの基礎研究も進めている。

これからの変電所は高機能化した変圧器やガス絶縁開閉装置と上述のシステムや装置を統合した次世代変電所の方
向に
向かうものと考えられている。次世代変電所に至る技術的変遷の概念を図7に示す。

4 結 言

送変電技術開発への取り組みおよび今後の展開を中心に概説した。

高度情報化社会の進展とともに、電力需要は着実に増加してきており、今後も電力の安定供給がその重要性を高めるも

のと考えられている。このような状況のもと、送変電設備・システムの信頼性と経済性を追求し、送変電技術の進歩と調和にたゆまぬ努力を続けていく考えである。

今後とも、電力会社および関係機関各位の変わらぬご指導、ご鞭撻(べんたつ)をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 電気学会：電力系統の安定化技術，電気学会技術報告(II部)第238号(昭61-12)
- 2) 福田，外：最近の送変電技術とその将来展望，日立評論，70，8，833～837(昭63-8)