

# 最近の送変電技術とその将来展望

## Recent Substation Technology and Its Future Prospects

近年の高度成長社会から安定成長社会への変化に伴い、電力の質の向上、総合経済性の向上及び環境との調和ある設備の形成がますます重要な課題となっている。日立製作所ではこのような背景のもとに、送変電機器の高信頼度化、コンパクト化の技術開発とともに、機器の予測保全技術、監視制御技術、運転保守支援をはじめとする各種エキスパートシステムなどによって、トータルシステムの信頼性と経済性の向上を指向した開発を積極的に推進している。更に、より多機能の次世代変電所を目指した系統安定化装置、電力貯蔵設備などを開発中である。本稿では、日立製作所の送変電技術に対する基本的な考え方、及び開発の動向について概説する。

福田輝夫\* Teruo Fukuda  
 木村昇一\* Shōichi Kimura  
 富田繁信\* Shigenobu Tomita  
 村岡泰夫\*\* Yasuo Muraoka

### 1 緒言

最近の電力事業を取り巻く環境を考えてみると、高度成長社会から安定成長社会、高度情報化社会への変化及び社会生活での電気への依存度の増大によって、従来以上に電力供給信頼度の向上、供給電力の質的向上が望まれている。一方、安定した電力供給のため、総合経済性の向上、地域環境との調和のある設備形成がますます重要な課題となっている。

日立製作所ではこのような背景のもとに、高電圧技術、大電力技術及び高精度解析技術によって機器の高信頼度化を進めるほか、送変電設備の予測保全技術、監視制御技術及び運転保守支援をはじめとする各種エキスパートシステムの開発を推進している。更に、経済性向上のため、ガス絶縁開閉装置の三相一括化をはじめとする小形・軽量化、複合化の推進、防災性・安全性に優れた不燃変圧器などの開発に努めている。

また、静止形無効電力補償装置などの系統安定化機能を持つ設備の開発や新形二次電池の開発、超電導利用技術の研究など、今後ますます重要性を増すと考えられる送変電技術の開発を進めている。

以下、日立製作所での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

送変電技術の特長と将来展望を考えるに当たり、その前提となる社会情勢の変化と送変電技術に対するニーズの変化を図1に、またこれらのニーズに対する課題を表1に示す<sup>1)</sup>。

日立製作所は、このような社会的ニーズにこたえるため、これらの課題を解決するのに必要な解析技術、新素材の開発、情報処理、知識工学などの先端技術の研究開発とその適用を積極的に進めている。

以下、これらの概要について述べる。

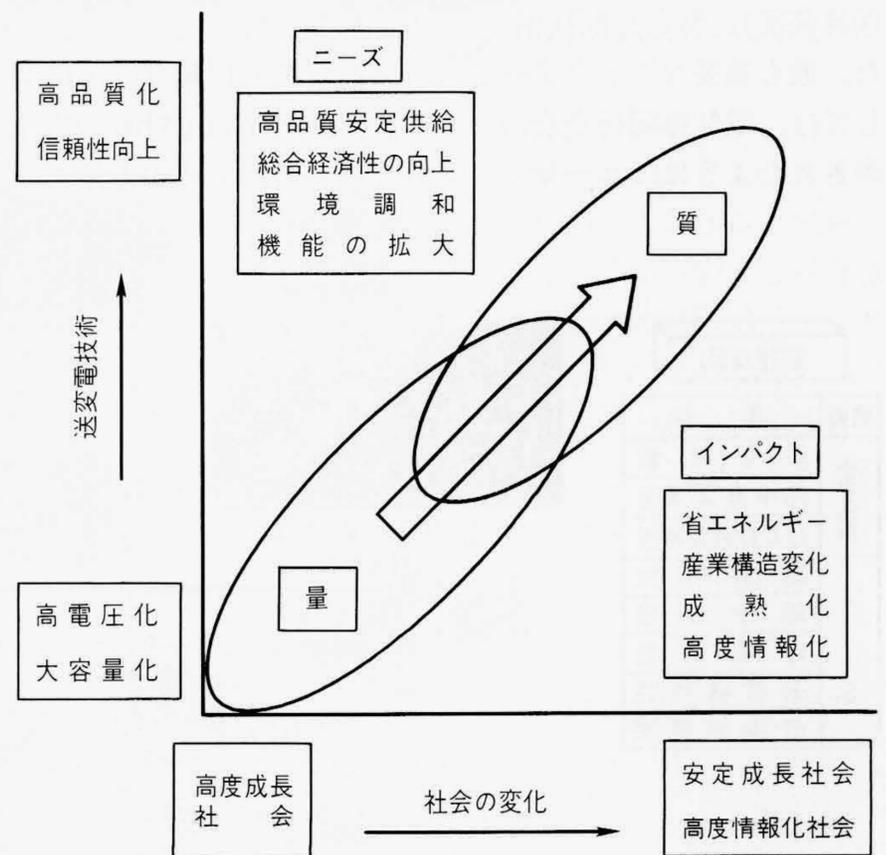


図1 社会構造の変化と送変電技術の対応 量とともに質の重視の時代への変革とともに、送変電技術の目標は高電圧、大容量化から高品質安定供給へと変化している。

### 3 供給信頼度の向上 —設備の信頼度の向上—

送変電設備の信頼度向上策としては、電力会社で変圧器バンクの複数化、多回線化、多ルート化、自動化、老朽更新など設備の拡充整備が推進されている。日立製作所でも、これらの推進のツールとなる機器、装置の小形化、合理化(例：縮小形ガス絶縁開閉装置)、自動化機器(例：デジタル制御、

\* 日立製作所電力事業部送変電技術本部 \*\* 日立製作所電力事業部電力情報制御技術本部

表1 送変電技術に対するニーズと課題 量から質への変化に伴い、送変電技術の課題も高度化、多様化している。

No.	ニーズ	課題
1	供給信頼度の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>●設備の拡充・整備</li> <li>●設備の信頼性向上</li> <li>●系統安定度向上</li> </ul>
2	良質の電力の供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>●電圧・周波数変動抑制</li> <li>●瞬時電圧低下防止</li> <li>●高調波抑制</li> </ul>
3	供給コストの低減 (総合経済性の向上)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●設備の合理化</li> <li>●省エネルギー・省力化</li> </ul>
4	環境調和形設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>●小形・軽量化, 騒音・振動低減</li> <li>●防災性の向上</li> </ul>
5	変電所機能の拡大 (インテリジェント化)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●系統安定化機能の拡大</li> <li>●分散形電源・電力貯蔵</li> <li>●電力システムを活用した情報システムの構築</li> </ul>

保護装置), 寿命診断技術などの研究開発を推進中である。また, 最も重要なファクターである機器装置の信頼度向上に関しては, 電気協同研究会の「変電設備信頼度向上対策」<sup>2)</sup>で報告されたように, ユーザーとメーカーが共同でその方策を調

査・研究し, 更に現在, 電気協同研究会の「ガス絶縁機器信頼性向上専門委員会」で主に最近急速に普及してきたガス絶縁開閉装置の信頼性向上について調査研究が行われている。日立製作所でも, 製品信頼性の確保を最重点に, 次のような体制の整備, 研究開発の推進を図っている。

(1) 品質保証体制の確立

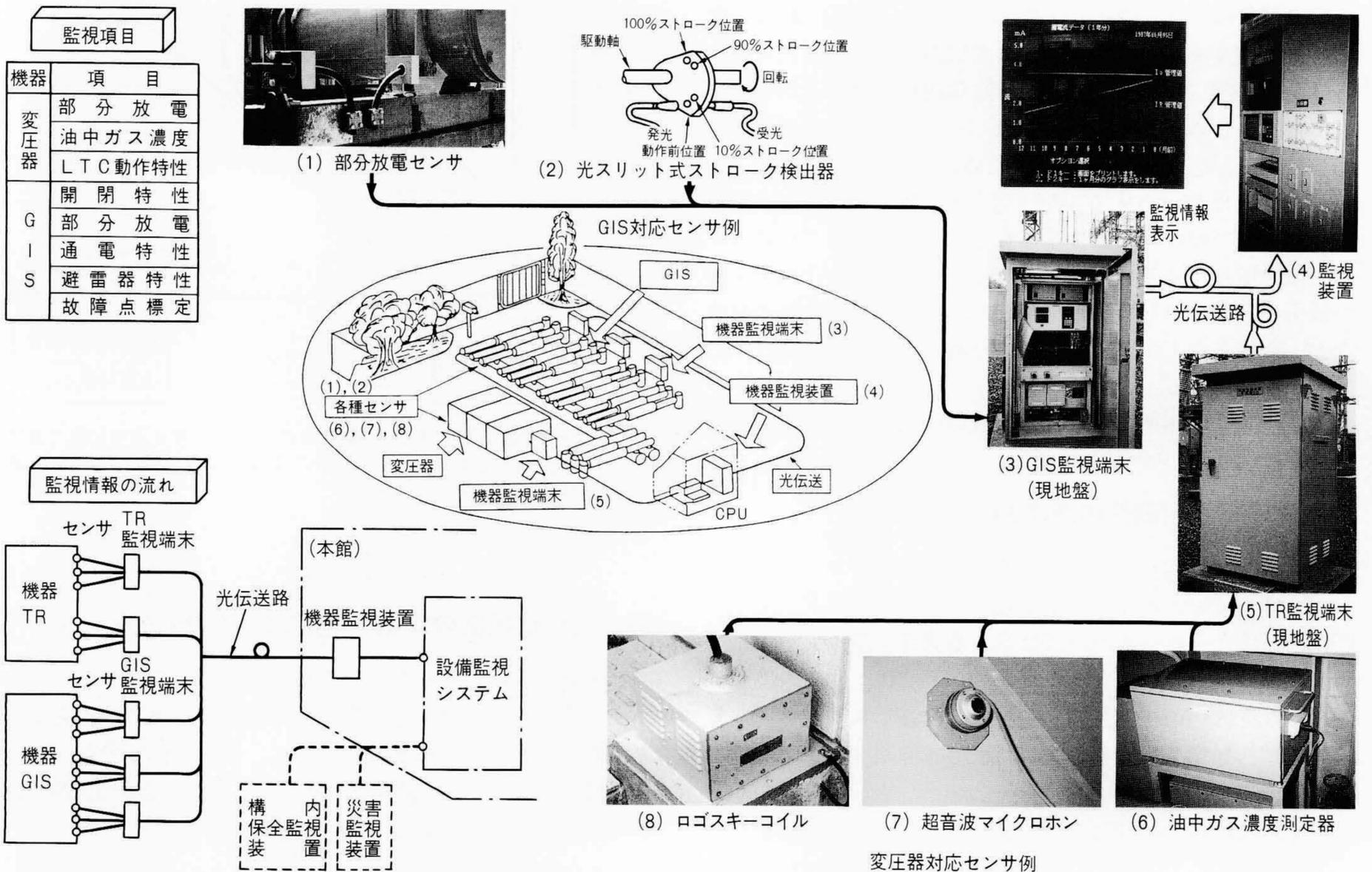
設計段階でのデザインレビューから据付け・運転に至るまでの徹底した品質管理と品質保証活動を行っている。

(2) 予測保全活動の充実

社内組織として予測保全サービス本部を設置し, 全社的な予測保全活動の推進指導を行うとともに, 各工場に予測保全サービスセンタを設置し, 定期点検に対するきめ細かな対応と既納品の健全性点検を推進している。

(3) 予測保全装置などの開発

電力流通設備のかなめとしての変電所, 開閉所では, 高信頼度化, 高機能化及び運用効率向上を指向した無人化, 監視・制御の集中化の推進が図られている。これらを実現するため, 設備の状態をより正確に把握し運転・保守の支援ツールとしての最新のセンシング技術を駆使した各種の予測保全装置, 及び緊急時対応エキスパートシステムの開発を推進している。これらを取り入れた変電所機器監視システムの構成を図2に示す。このシステムによりガス絶縁開閉装置の接地線の電流パルスの波形分析による内部異常の判別や変圧器の油中溶解



注: 略語説明 LTC (負荷時タップ切換装置), GIS (ガス絶縁開閉装置), TR (変圧器), CPU (中央処理装置)

図2 変電所機器監視システムの構成 高性能のセンサ, 処理システム及び光伝送技術を使用した変電所機器監視システムの例を示す。

ガス分析、トレンドデータの分析による状態監視及び寿命診断を行うことができる。更に、最近の高度に発達した電力系統に対応した系統安定化装置として静止形無効電力補償装置、デジタル技術応用系統安定化装置、超電導応用系統安定化装置などの研究開発及び製品化を推進している。図3は静止形無効電力補償装置の例で電源開発株式会社函館変換所納め32 MVAの設備を示す。今後、電力系統の負荷特性の定電力特性化、多様化などの進展に伴い大容量の静止形無効電力補償装置の適用が期待される。

#### 4 良質の電力の供給

良質の電力供給の条件には、供給支障がないこと、電圧周波数変動の少ないことは当然であるが、最近のOA(オフィスオートメーション)、FA(ファクトリオートメーション)、HA(ホームオートメーション)などの普及に伴い、瞬時電圧低下が、また半導体デバイス応用機器の増加から電力系統に含まれる高調波が重要な問題として下記の点がクローズアップされている。

(1) 電力系統での瞬時電圧低下現象は、その大半が架空送電線への雷撃時によるもので、事故点検出除去に要する時間(0.07秒ないし2秒)の瞬時電圧低下については現実的には対策が困難であることから、これにより障害が発生する場合は、当該機器(負荷機器)自身で、あるいは対策機器(例：無停電電源装置)、を用いて対策する方向で検討が進められている。

(2) 電力系統での高調波は、時間的・場所的に非常に流動的であり、その大半は半導体デバイス応用負荷機器から発生するものであり、負荷機器側で適当な抑制が必要であろう。

現在、この二つの問題については電気協同研究会内に設けられた「瞬時電圧低下対策専門委員会」及び「高調波専門委員会」で、より具体的な調査研究が進められている。

瞬時電圧低下の原因の大半は架空送電線への雷撃であることから、日立製作所では酸化亜鉛形避雷器の続流遮断性能などの優れた特性に着目した送電鉄塔用避雷器の開発を推進し

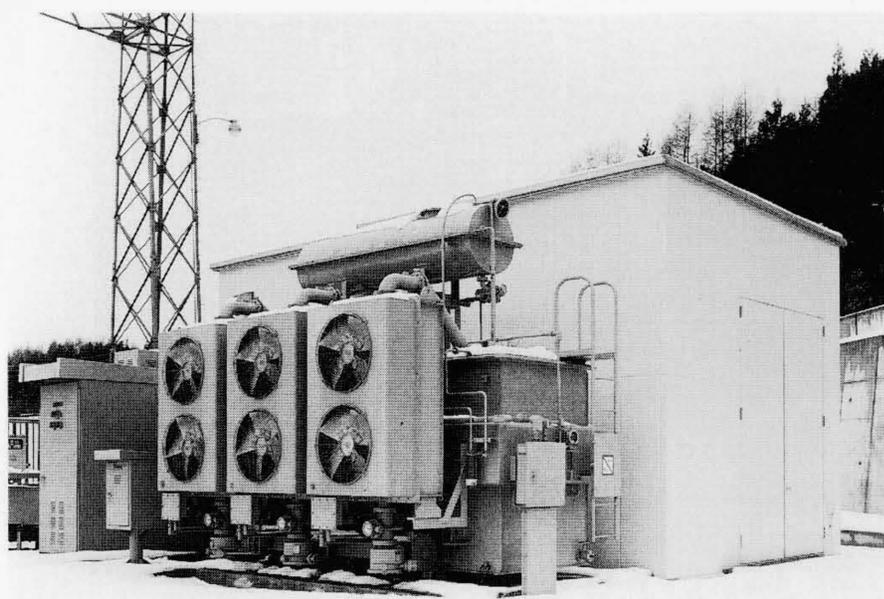


図3 静止形無効電力補償装置の外観 電源開発株式会社納め32 MVA静止形無効電力補償装置の高インピーダンス変圧器(手前)とバルブホールの外観を示す。

ている。110 kV系統に接続された逆フラッシュオーバー防止用送電線用避雷器の例を図4に示す。この避雷器は、雷サージ保護特性が優れ、かつ複数の送電鉄塔への設置による動作責務の低減が期待できることからギャップなしとしたものである。

#### 5 総合経済性の向上

送変電システムの総合的経済性を図るためには、機器の経済性の向上と同時に、運転経費をも含めた生涯費用を最小とする必要がある。日立製作所では、送変電機器の合理的な小形・軽量化とともに、運転経費の経済性向上のための省エネルギー化、無人化及び自動化を可能とするシステムの開発を進めている。

##### (1) 送変電機器の経済性向上

近年の酸化亜鉛形避雷器の進歩と解析技術の進歩によって、送変電設備のより合理的な絶縁協調が可能となった。このような背景のもとに電気協同研究会に「絶縁設計合理化専門委員会」が設けられ、主に187 kV以上の送変電設備の絶縁試験電圧の合理的な低減が検討された。日立製作所でも、これまでに蓄積してきた基礎データ、解析技術をもってこれに積極的に参加し、変圧器、ガス絶縁開閉装置の合理化の検討を進めた。ガス絶縁開閉装置については、温度定格の見直し、三相一括化、複合化によるいっそうのコンパクト化を進めてい

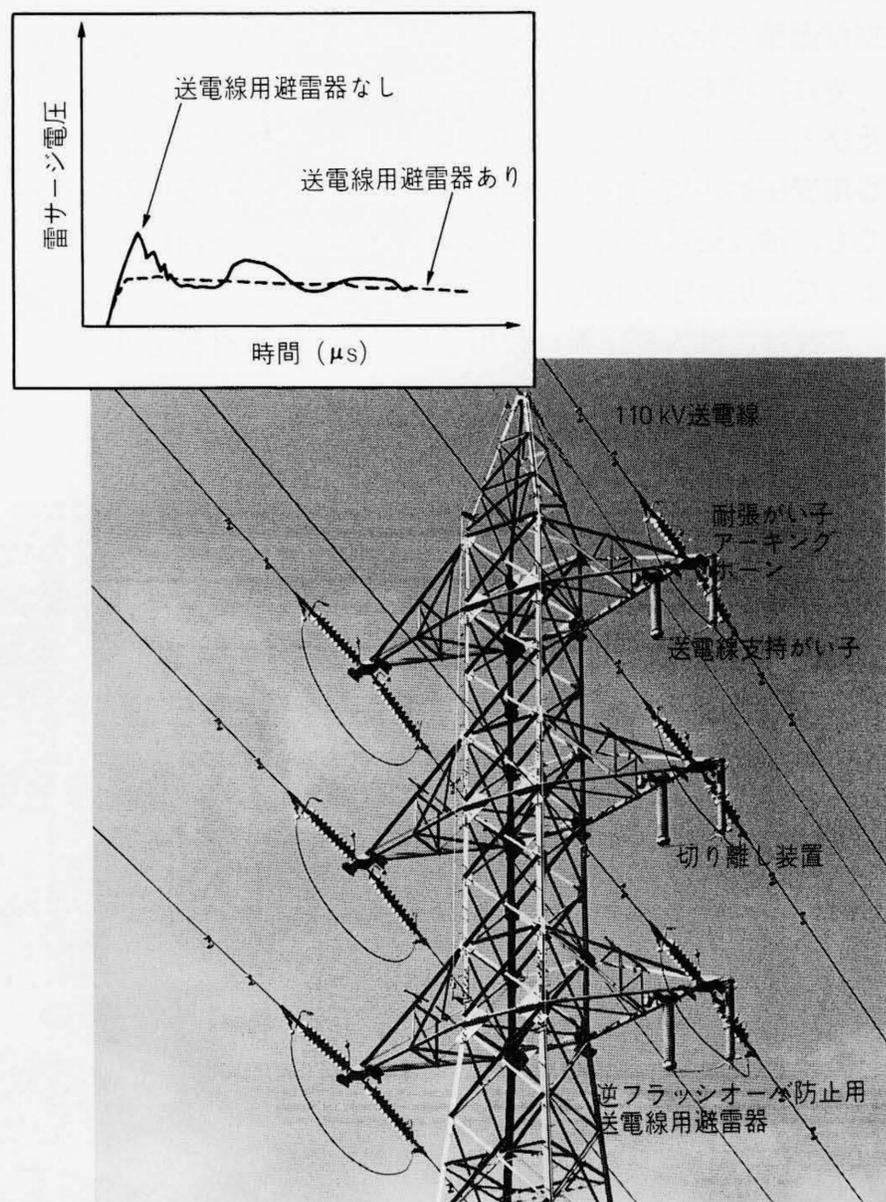


図4 送電線用避雷器の適用状況と効果 中国電力株式会社と共同開発した110 kV系統用の送電線用避雷器を示す。

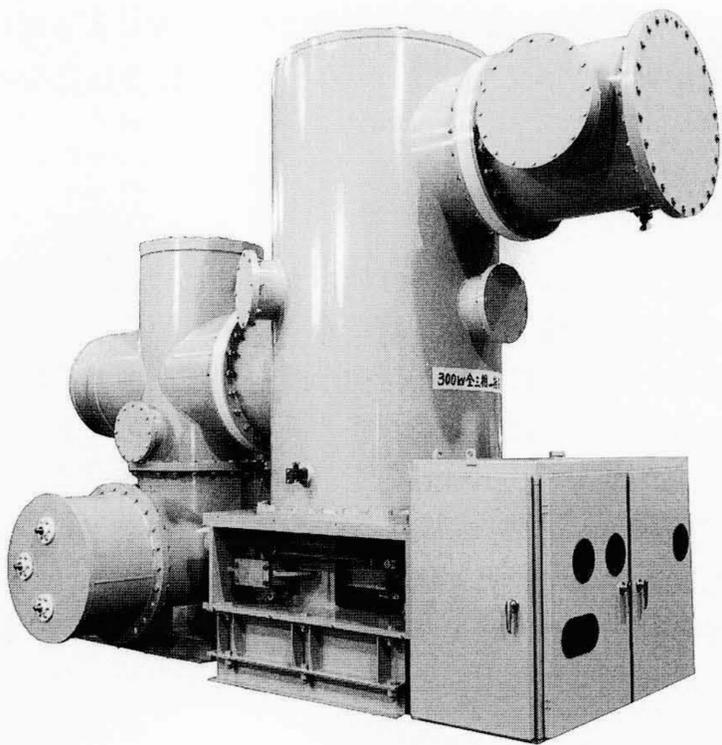


図5 300 kV三相一括形ガス絶縁開閉装置用ガス遮断器の外観  
モデル試験及び最新の解析技術(3次元気流温度, 絶縁)を駆使して、高信頼性の三相一括形ガス絶縁開閉装置用ガス遮断器を開発した。

る。図5は300 kV三相一括形ガス絶縁開閉装置用のガス遮断器を示す。これらによって500 kVガス絶縁開閉装置の例では、据付面積を約25%低減することが可能である。

更に、将来のガス絶縁開閉装置のいっそうのコンパクト化及びトータルシステムの合理化を目指して、光変流器、光計器用変圧器の実用化技術の開発を進めている。変圧器についても、油浸絶縁の究極の課題である誘電率整合絶縁の開発によって、更に小形化を図っている。

これは、油入変圧器に使用される固体絶縁材料を低誘電率

化することにより電界集中を緩和するもので、モデル実験結果によれば絶縁破壊電圧を約30%向上することができ、実用化を推進中である。

## (2) 運転経費の低減

電力需要の増大とともに、変電所や開閉所の数が増え、複雑、高度化しているが、運転・保守要員の確保は困難化する状況であるため、電力会社では変電所の無人化・保守の省力化が進められてきた。日立製作所ではこれにこたえるため、光LAN(Local Area Network)を用いた変電所全デジタル制御保護システムを電力会社と共同で開発し、また知識工学を用いた運転支援エキスパートシステム、計画・設計・解析のための各種エキスパートシステムを開発している。図6は、関西電力株式会社と共同開発した500 kV関西電力株式会社新生駒変電所での事故対応に知識処理を応用した運転支援システムである。

## 6 環境調和形設備

最近の都市化指向、設備用地難及び社会生活環境の高級化指向によって、送変電設備についてもこれへの適合性が要求されている。すなわち、都心では送変電設備を地下設備として建設することが多くなり、特に防災性、安全性への要求がますます高まっている。また山岳地、大容量変電所などでも現地形をなるべく変えない環境調和形の変電所とする配慮がされている。日立製作所では、これらにこたえるため、低騒音化、低振動化、ロープロファイル(低層)形機器の開発や防災の面から、難燃化、不燃化及び防爆化を目指したガス絶縁変圧器や大容量不燃変圧器実用化への技術開発を進めている。図7は、中部電力株式会社と共同開発中の275 kV 100 MVA三相不燃変圧器で、絶縁特性の優れたSF<sub>6</sub>ガスと冷却、絶縁の機能を持つパーフルオロカーボン液を使用した実規模試作器である。

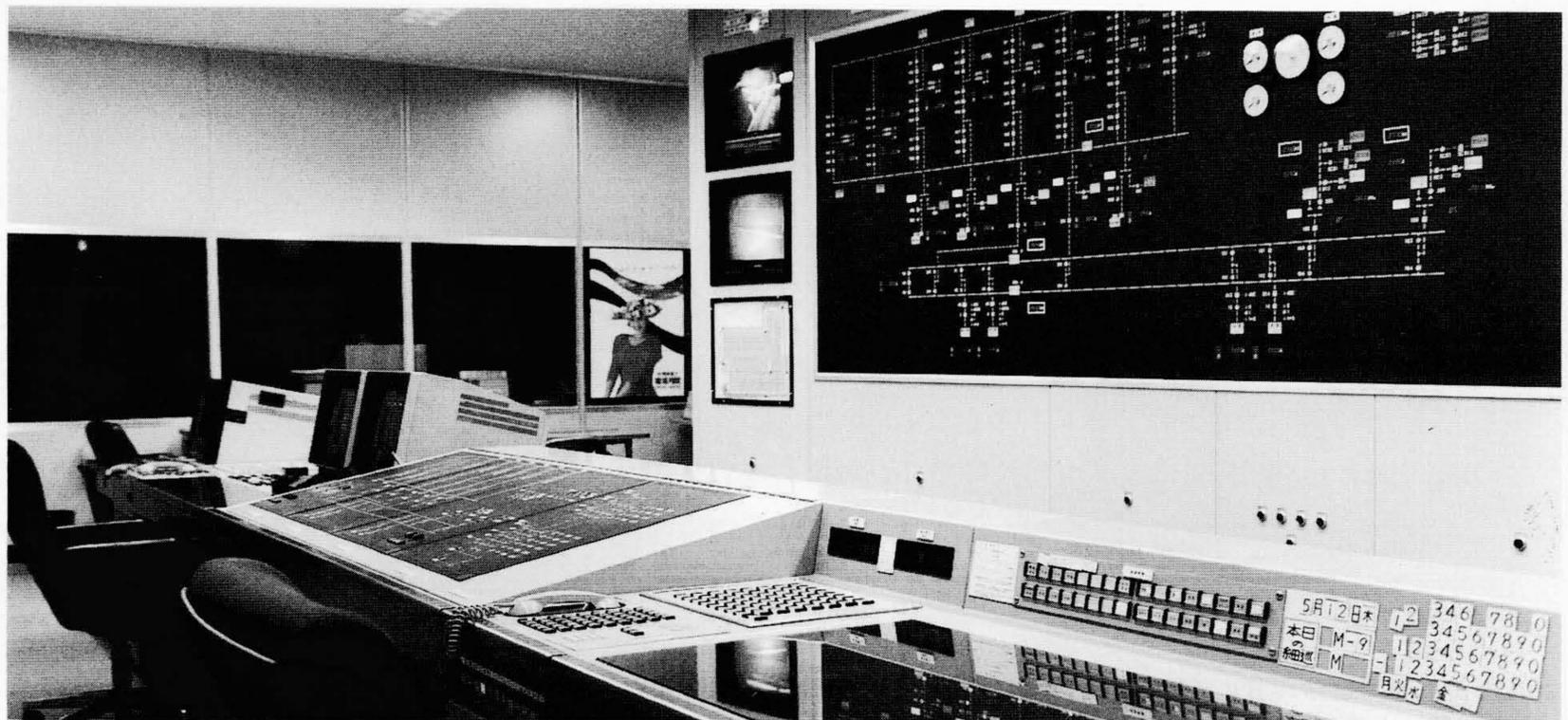


図6 AI応用変電所運転支援システム 500 kV変電所における事故対応に知識処理を応用した運転支援システムを示す。

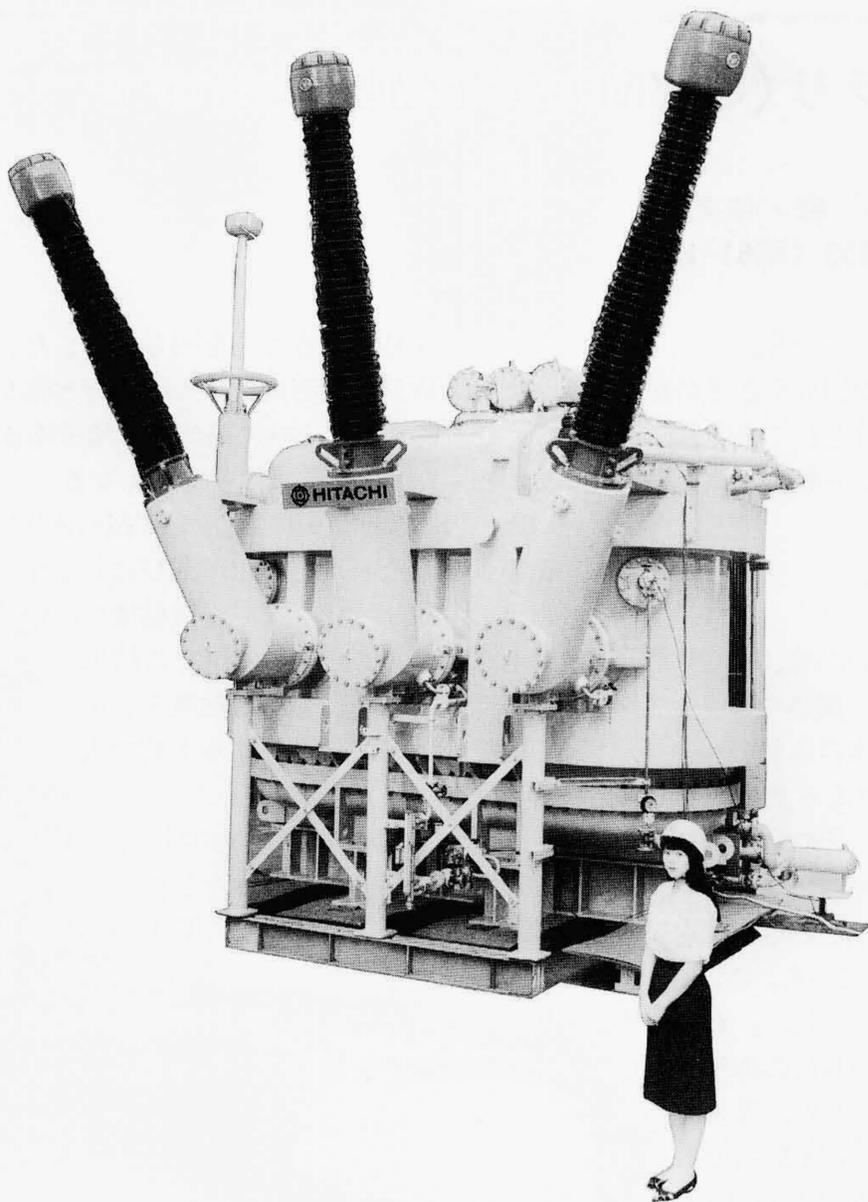


図7 不燃変圧器 SF<sub>6</sub>ガスとパーフルオロカーボン液を使用した275 kV, 100 MVA不燃変圧器の実規模試作器の外観を示す。

## 7 変電所機能の拡大と送変電技術の展望

次世代変電設備の概念を図8に示す。次世代変電所では系統安定化などの機能の拡大による電力の品質の高度化、分散形電源や負荷端の近傍での電力貯蔵設備の設置によって送電損失の低減と総合経済性の向上が期待できる。更に、電力系統を活用した情報伝送技術の進歩によって監視制御の高信頼度化、無人化及び自動化を更に推進することが可能となる。

日立製作所でも、以上の技術開発を積極的に進めている。系統安定化装置としては、静止形無効電力補償装置の製作実績を持つほか、フライホイール発電機、可変速機を利用した系統安定化装置などの検討を進めている。

揚水発電に代わるロードレベリング用として期待されている電力貯蔵システムとしては、ナトリウム硫黄電池によるシステムの開発を東京電力株式会社と共同で進めているほか、

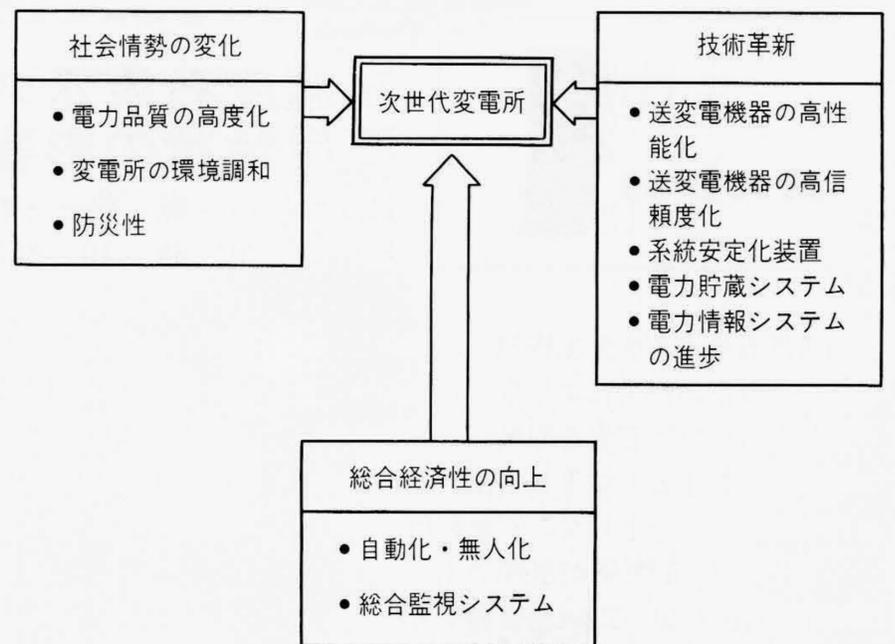


図8 次世代変電所の概念 多様化、高度化していく社会の進歩を支える信頼性の高い次世代変電所にふさわしい技術開発を進めている。

超電導コイルの豊富な製作実績をもとに、SMES(超電導電力貯蔵システム)の基礎研究を行っている。また、これらはいずれも直流を介して貯蔵するものであるため、大容量・高速・高性能・交直変換装置の開発も重要課題であり、高電圧・大容量サイリスタの開発も推進中である。

## 8 結 言

高度成長社会から安定成長社会へ移行してから既に10年余となるが、エネルギーの電力への依存度は依然として増加の傾向にある。今後とも電力の安定供給が社会の維持のために極めて重要であることは言うまでもない。電力の流通を支える送変電設備に課せられた役割はますます重要となりつつある。21世紀に向けての人類の進歩を支える大きな柱である電力事業の一翼を担うものとして、信頼度の高い、かつ創造的な送変電技術の開発に製作者の使命を果たしていく考えである。

終わりに、今後とも各電力会社及び関連機関各位の変わらぬ御指導、御支援をお願いする次第である。

## 参考文献

- 1) 電気協同研究会：変電技術の動向と将来展望，電気協同研究，第41巻，第1号，48～49(昭60-7)
- 2) 電気協同研究会：変電設備信頼度向上対策，電気協同研究，第41巻，第5号，(昭61-2)

## 高濃度石炭水スラリー(CWM)の流動性に及ぼす石炭性状の影響

日立製作所 梶 隆一・村中 廉・他2名  
燃料協会誌 65—10, 847—853 (昭61-10)

高濃度石炭水スラリー(CWM)は、粉碎した石炭を分散剤の作用により少量の水の中に分散したもので、石炭を取扱いの容易な流体燃料に変換する方法として注目され、石油代替エネルギーとしての石炭利用技術の一つとして研究開発が展開されている。CWMは石炭を60~75wt%含有する粘ちゅう(稠)なスラリーで、あらかじめ脱水処理することなく直接噴霧し燃焼させることができる。ボイラでCWMを効率よく燃焼するためには、流体燃料として取り扱える程度の流動性を保ちながら極力石炭濃度を高める必要があるが、CWMの流動性は使用する石炭の種類により大きく異なる。石炭は炭質分と灰分の複雑な混合物で、その表面性状を規定することが難しく、CWMの流動性に及ぼす影響も非常に複雑である。しかし、我が国では石炭の大部分を輸入に頼っており、その性状も多岐にわたっているため、石炭性状に応じたCWM製造技術を確立し

ておくことが重要となっている。

一般に、CWMのような固液分散系の粘度は固体の体積濃度の関数として表され、高濃度域まで実験値とよく一致する式として次式が知られている。

$$\eta = \eta_0 \left[ 1 - \frac{\phi}{\phi_c} \right]^{-[\eta]\phi_c}$$

ここに、 $\eta$ ：固液分散系の粘度、 $\eta_0$ ：分散媒の粘度、 $[\eta]$ ：定数、 $\phi$ ：固体の体積濃度、 $\phi_c$ ：最密充てん時の固体の体積分率

本論文では、性状の異なる数種類の石炭を用いてCWMを調製し、その粘度と石炭濃度との関係について検討した。

石炭は多孔質の物質で、その細孔内に水を吸収することが知られている。ここでは、石炭の吸水性に着目し検討した。石炭が水を吸収すると、CWM中の石炭の体積濃度は見掛け上増加する。このため、吸水性の大きい石炭ほど低濃度でもCWM粘度は高くなり、吸水性の小さい石炭ほど高濃度CWM

の調製が容易であることを明らかにした。

また、CWM中の石炭粒子の粒径分布幅が広いほど最密充てん時の固体の体積分率 $\phi_c$ が大きくなり、CWM粘度は低くなる。

以上のことから、調製したCWMの $\phi$ 及び $\phi_c$ を使用した石炭の吸水率並びに比重から算出し、各石炭濃度でのCWM粘度の測定値を上式によって検討した。その結果、大多数の石炭について、CWM粘度と石炭濃度との関係が $[\eta] = 3.8$ とする上式で表されることを明らかにした。

これらの結果から、石炭の吸水性がCWMの高濃度低粘性化の指標となることを示し、CWM粘度と石炭濃度との関係を予測することを可能とした。また、実用面では、使用炭種の吸水性からCWM製造条件をあらかじめ決定できるようになった。

## 画像認識によるフロック監視に関する研究 (I) —フロックのオンライン画像認識法に関する検討—

久留米広域上水道企業団 一木博幸・日立製作所 馬場研二  
水道協会雑誌 56—7, 13—23 (昭62-7)

現代の浄水プロセスは、流入懸濁質の凝集・沈殿処理を基本原理としている。すなわち、原水中に存在する1~10 $\mu$ の懸濁微粒子に対して凝集剤注入により0.2~5.0 mmの凝集粒子(これを「フロック」と言う。)を形成させ、これを沈殿濾過して水を浄化している。凝集処理の効率はプロセス全体の処理性能に強く影響するため、凝集状態の適切な監視と制御が必要である。

これまで、凝集状態(フロック形成状態)を直接監視可能な方法は未開発であったため、プロセスの維持管理はフロック形成状態の目視観察及び原水採取による凝集試験に依存していた。

本論文では、フロック形成状態を直接監視するための具体的方法を提案した。すなわち、水中で流動するフロックを定量的かつ連続的に計測するために、専用の水中カメラと独自の画像認識方法を考案した。

水中カメラ内部に固定した工業用テレビジョンカメラでフロック混合液を撮像した。水中カメラケースから16 mmの距離にバックスクリーンを設置し、両者の間げき(隙)をフロック混合液が連続的に交換するようにした。更に、カメラケースとバックスクリーンとを同時に清掃するダブルワイパーを設置して藻の発生を防止した。

得られたフロック映像をデジタル画像に変換して解析した結果、フロックの輝度が各々異なり、しかも背景との境界が不鮮明であるという特徴を見いだした。また、背景には撮像系のノイズが存在した。そこで、このような複雑な画像からフロックだけを選択的に抽出できる画像認識方法として、(1)可変2値化法及び(2)広域フィルタ法を新たに考案した。

(1)の可変2値化法では、画像の微分操作によりあらかじめ輝度変化点を見いだすと

ともに、輝度の変化割合からフロックとノイズとを識別した。本法は、背景のノイズを除去しながらフロックの輝度に応じて2値化のしきい値を自動的に可変設定できる。(2)の広域フィルタ法では、空間フィルタリングの加重係数としてフロックに固有の2次元輝度分布を模擬し、しかもノイズを平滑化できるような係数パターンを選んだ。本法は、フロックの輝度だけを選択的に強調できる。

実測値と画像計測値との比較により、両方法は実用上十分な精度を持っていることを確認した。これらのことから、画像認識によるフロックの定量的な監視は可能であると結論され、凝集状態の直接的な計測技術を提案できたものと考えられる。

なお、フロックを連続的に監視するための諸条件及びフロック形成特性の評価については続報で報告する。