昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 17 年 11 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 78 巻　第 6 号（通巻第 835 号）　ISSN 0367-3332

e-Front runners

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

11
Nov. 2005

Vol. 78 No. 6

特集1　エネルギーソリューション
特集2　クリーンシステム技術

富士電機グループ

富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

11
Nov. 2005
Vol. 78 No. 6

特集1 エネルギーソリューション
特集2 クリーンシステム技術

目 次

特集1 エネルギーソリューション

エネルギーソリューション特集に寄せて 403（1）
大山 力

エネルギーソリューションの現状と展望 404（2）
大橋 一弘

電力系統制御システムの最新技術 409（7）
高橋 省 ・ 吉田 高 ・ 池内 一志

エネルギー総合管理システム「Spectrum PowerCC」 414（12）
宮村 尚孝 ・ 中村 正雄 ・ 林 巨己

電力小売自由化に対応した自動検針と電力量計 419（17）
長島 優 ・ 上條 雅之 ・ 清水 康司

分散型エネルギーシステムを支える技術 423（21）
伊原木永二朗 ・ 鈴木 智宏 ・ 仁井 真介

アモルファスシリコン太陽電池の現状と開発動向 431（29）
桜井 正博 ・ 酒井 利明

燃料電池の現状と開発状況 435（33）
堀内 義実 ・ 西垣 英雄 ・ 黒田 健一

風力発電の系統連系システム 439（37）
矢後 賢次 ・ 腰 一昭

省エネルギーソリューションとしての ESCO 事業の実際 446（44）
福田 英治 ・ 上村 猛 ・ 佐藤 進

電機設備アフターサービスにおける予知保全技術 451（49）
西山 和男 ・ 一石 健三 ・ 福島 宗次

特集2 クリーンシステム技術

半導体ガスセンサの高機能化とクリーンルームへの応用 456（54）
片田 直伸

クリーンシステム技術の現状と展望 457（55）
横幕 博行 ・ 澤田 朋之

最新鋭液晶パネル工場向けクリーンルームシステム 462（60）
高松 武史 ・ 松木 幹夫 ・ 奥田 耕士

海外の大型液晶パネル工場向けクリーンルームシステム 467（65）
峰岸裕一郎 ・ 藤瀬 成己 ・ 川又 修三

医薬品製造ライン用クリーンシステム 471（69）
松埜周一郎 ・ 矢嶋 良一

クリーンルーム用機器の新製品 474（72）
日下 豊 ・ 岩田 英之 ・ 岡垣 良隆

クリーンルーム環境を定量化する環境センサと環境監視システム 479（77）
中村 貴之 ・ 平本 伸一 ・ 小泉 和裕

富士時報 VOL. 78 2005（平成 17 年）総目次 （巻末 3 ページ）

表紙写真

地球規模の環境問題が深刻化している。このため，風力，太陽光に代表される自然エネルギーの活用，燃料電池などによる水素エネルギーの利用，需要地へのエネルギーの効率的な輸送･供給，そして供給されたエネルギーの無駄のない利用など，多様なエネルギーの導入や使い方などについて緊急な対策が求められている。

表紙写真は，上記の対策として富士電機が提供するエネルギーソリューションの中から，風力発電，フィルム型太陽電池，りん酸形燃料電池，さらに電力の高信頼度かつ効率的な流通に貢献する電力系統監視制御システムをとりあげている。

エネルギーソリューション特集に寄せて

大山　　力（おおやま　つとむ）
横浜国立大学大学院工学研究院教授 工学博士

エネルギー供給事業（特に電気エネルギー供給事業）は転換の時期を迎えている。その大きな要因は，電気事業の自由化と分散電源の普及にあるということができる。

従来，電気エネルギー供給は，規模の経済性（大きいものほど経済性に優れる）が支配的であると考えられており，大規模集中型電源の開発が進められてきた。そのような状況では，多数の事業者が競争するような状況は考えられず，発電・送電・配電のすべてを統合〈いわゆる垂直統合〉した電気事業者が独占的に供給するという形態がとられてきた。そして，規制を受けながら，コスト最小化と供給信頼度の維持との調和をとりながら電力システムの計画・運用を図ってきた。

しかし，近年，世界的に規制緩和・自由化の流れが主流になってきている。諸外国では電気事業は垂直統合体制から発電部門，送・配電部門，小売供給部門のアンバンドリング（機能的アンバンドリングを含む）へと変化しつつある。日本においても，2000（平成 12）年 3 月に小売部門の部分自由化が始まり，段階を経つつ自由化範囲が広まってきている。そして，今年（2005 年）の 4 月には小売部門の自由化範囲が需要規模 50 kW 以上にまで拡大され，日本卸電力取引所での電力取引が開始されるなど，本格的な競争環境が整いつつある。

しかしながら，米国・カリフォルニア州の電力危機，イギリスでの強制プール型卸電力市場の廃止等に見られるように，各国とも電気事業の位置付けやエネルギー基盤など固有の要素に基づき，電力自由化に伴う事業環境の変化に応じたあるべき姿を模索しているところである。また，因果関係を特定することは難しいが，自由化実施後に各地で停電が起きていることもあり，信頼度維持への要求も高まっている。

一方，コジェネレーションや新エネルギー電源についても技術開発が進展してきている。地球環境問題への対応のためにもエネルギー資源の有効活用や再生可能エネルギーの利用は不可欠であり，新しい分散電源の導入量は今後増加することが想定されている。

分散電源は小規模，短リードタイムであるため，需要予測や燃料価格等の不確実性に対処しやすく，資金リスクマネージメントの上からも果たす役割が大きい。これらの特徴は，新規参入事業者の参入障壁を低くする方向であり，規制緩和の推進にも一役買っている。さらに，コジェネレーションを積極的に活用すれば，電気エネルギーだけでなく熱エネルギー（温熱・冷熱）も含めた新しいエネルギー供給システムが構成でき，環境面にも良い影響を与えることができる可能性がある。

しかし，従来の配電系統では分散電源の大量導入には対処できないことが危惧されている。分散電源の導入によって，電圧，高調波等の常時運用に関する問題や，事故時の短絡電流や単独運転などの問題が生じることが予想されているのである。

また，代表的な再生可能エネルギーである風力発電や太陽光発電は，風況，日射といった自然状態の影響を強く受けるため，電気エネルギーの安定供給の上からは注意が必要である。

そこで，分散電源の導入可能量を増大させるための様々な新しいネットワーク技術が考案されている。ただ，新しいネットワークは，どうしてもコスト面では従来型のネットワークより高価になってしまうこともあり，実用段階までにはもう少し時間が必要な状況である。

最後に，自由化，分散電源の普及といったエネルギー供給の多様化状況においては，顧客の満足度が重要な要因となってくることを指摘しておきたい。今後は，個々の顧客のニーズに合わせたオーダーメードのエネルギー供給を指向して技術開発を行っていくことが重要になるものと想定される。地道な活動だが，エネルギー・資源問題と向き合って将来を築くためには必須の課題である。

今回の「エネルギーソリューション特集」では，上記のような背景をうけて検討が行われている新技術がまとめられており，大変興味深い特集と言うことができる。

エネルギーソリューションの現状と展望

大橋　一弘（おおはし　かずひろ）

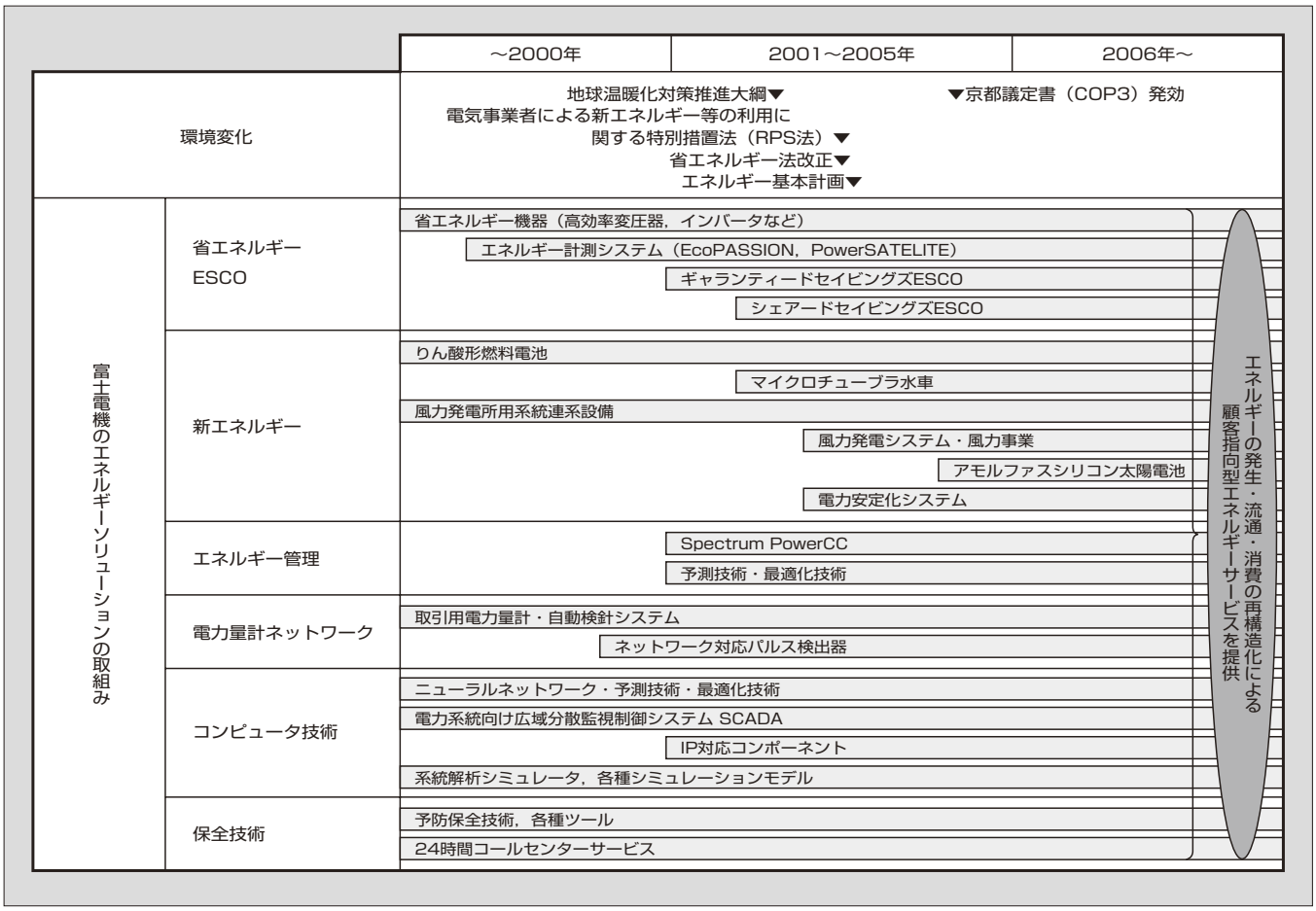
1　まえがき

地球温暖化，酸性雨，オゾン層破壊，熱帯雨林の減少，砂漠化など国境を越えた地球規模の環境問題が深刻化している中，2005年2月，京都議定書が発効した。わが国でもエネルギーセキュリティ，環境適合，市場原理の活用の視点に立った中長期的なエネルギー政策「エネルギー基本計画」が公表され，エネルギー源代替（脱石油），省エネルギー，さらに電力取引市場の開設に代表されるエネルギー分野への市場原理の導入などが示されている。

富士電機は1992年に「環境保護基本方針」を制定し，ISO14001認証取得，生産プロセスにおける省エネルギーの推進，徹底した3R（Reduce, Reuse, Recycle）によるごみゼロエミッション化を展開するとともに，エネルギー，発送配電，水処理，産業・交通，情報，生活など各分野にソリューションを通して地球環境保護・保全活動に取り組んできた。

エネルギー分野では，省エネルギー・ESCO（Energy

図1　環境の変化とエネルギーソリューションにおける富士電機の取組み



大橋　一弘

エネルギーソリューションシステムの技術企画，システムエンジニアリングに従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部長。電気学会会員。

Service Company），新エネルギー，エネルギーマネジメントシステム，電力品質対策，保全などの技術を集約し，「エネルギーソリューション」として，地球環境問題への対応，エネルギーセキュリティの確保およびエネルギーコスト低減に貢献してきた。**図1**に環境変化とエネルギーソリューションにおける富士電機の取組みを示す。以下に富士電機のエネルギーソリューションの概要を紹介する。

2　エネルギーソリューション技術の現状と展望

2003年10月に「エネルギー基本計画」が閣議決定・国会報告された。この計画において，電力の需要にかかわる基本的な方向性は下記に要約できる。

(1)　エネルギーの需給に関する施策
　①　市場原理に任せていては十分な取組みが期待できない研究開発に関する支援
　②　国民全体の利益や安全確保のための公的規制
(2)　エネルギー需要対策
　①　資源節約型経済，社会構造の構築
　②　負荷平準化
(3)　多様なエネルギーの開発導入
　①　原子力の開発，導入および利用：安全確保を大前提に基幹電源として推進
　②　新エネルギー開発，導入および利用：自給率向上，地球温暖化対策に資するとともに，分散型エネルギーシステムとしても期待

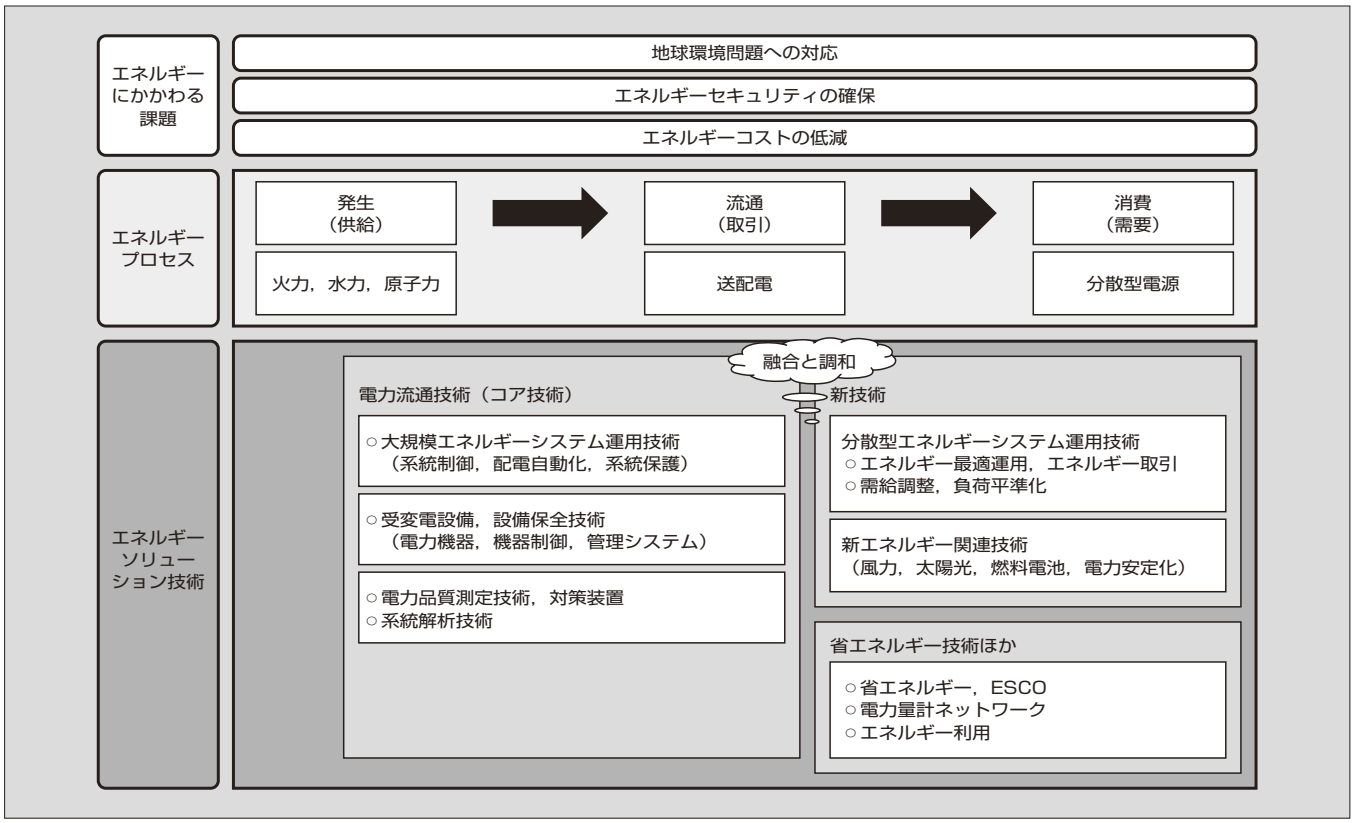
これは，中長期的には省エネルギー，原子力発電を基盤とし，新エネルギーの分散型電源としての活用により，セキュリティ，環境への適合を確保していこうというものである。エネルギーシステムの観点から見ると，原子力発電を中心とする既存の大規模エネルギーシステムを基盤に，新エネルギーなどを取り込んだ分散型エネルギーシステムを調和させたネットワークの構築が，今後の課題と考えられる。

これらはさらに環境整備面，制度面，技術面での課題を明らかにされ，進められていくと考えるが，技術面では以下の課題を解決することが重要ととらえている。

○需要家の省エネルギー対策やエネルギー管理の支援を行う技術，ESCO事業による支援
○燃料電池，太陽光発電，風力発電，小水力発電などの新エネルギーなどにおける機器技術，系統連系技術
○分散型電源による電力品質の悪化を改善するための電力品質計測・状態把握・対策技術および系統解析技術，安定化制御技術
○既存の大規模なエネルギーシステムと分散型のエネルギーシステムの調和を目指して，分散型エネルギーの貯蔵システムを含めた運用制御技術
○IT（Information Technology）活用によるバーチャルマイクログリッドシステムの構築技術
○熱を含むエネルギーの発生と消費に対する需給一体制御や市場取引支援などの機能を有するエネルギー管理技術

富士電機は以上の課題解決に対し，**図2**の富士電機のエネルギーソリューション技術に示すように，エネルギーの発生，流通，消費の一連のサイクルに対し，電力の「流

図2　富士電機のエネルギーソリューション技術



通」技術を核として，既存の大規模なエネルギーシステムと新エネルギーなどを取り込んだ分散型のエネルギーシステムとの調和を目指したエネルギーソリューション技術の再構造化を進め，省エネルギー，ESCO，電力量計ネットワーク，設備保全までを含めたより顧客指向型の総合的なエネルギーソリューションを展開している。

3　富士電機の取組み

表1に富士電機のエネルギーソリューション技術の概要と主な商品・サービスを示す。これらの主な取組み事例としては，地域エネルギーシステム（マイクログリッド），ESCOサービスを含む需給一体制御システム，出力変動抑制設備を含む風力発電設備と風力事業，軽くて柔軟なフィルム基板型アモルファスシリコン太陽電池などがある。また，産学官協同研究や海外（中国）との共同開発など，国家プロジェクトへの参画や外部機関との協力による新しい技術や製品の開発にも鋭意取り組んでいる。以下に各ソリューション技術について紹介する。

3.1　省エネルギー ESCO ソリューション

省エネルギー対策は，最終消費エネルギーを削減することによりエネルギー消費を起源とする二酸化炭素（CO_2）の発生を抑制し，温暖化防止に寄与することが狙いであり，新エネルギーなどの導入と並んで環境対策の柱として重要なものの一つである。「エネルギー使用の合理化に関する法律」（省エネルギー法）の理念に示されているとおり，省エネルギー対策とはエネルギーを合理的に使用することであり，むだを省いてエネルギーを有効に使用することが基本となる。節約・我慢だけの省エネルギーでは持続性がなく効果も限られるため，生産性，快適性などを損なわずに効果的な省エネルギーを実現するためにシステムの見直しを含めた根本的な対策が求められる。そのためには創意・工夫と専門的な知見が必要である。

富士電機は高効率機器や省エネルギー対策機器の開発とともに，各種プラントの制御技術を応用した省エネルギーエンジニアリングにも積極的に取り組んでおり，幅広い視点で省エネルギーソリューションを提供してきた。特に自治体向けの業務用ビルのESCO事業で効果を上げており，計測・制御技術を生かしたBEMS（Building Energy Management System）の構築など省エネルギー技術の高度化に注力し，今後も各方面の省エネルギー対策に貢献していきたいと考えている。

3.2　新エネルギーソリューション

富士電機では早くから燃料電池やアモルファスシリコン太陽電池の技術開発を行うとともに，風力，小水力，波力，地熱といった新エネルギー・再生可能エネルギーにも取り組み，多くの経験を有している。

現在，国内で唯一商品化されているりん酸形燃料電池において，富士電機は電池寿命を4万時間から6万時間に延長した100 kW機を市場投入した。さらに，用途拡大のために水素供給機能を付加した機種の開発や家庭用固体高分子形燃料電池の開発を強力に進めている。

2004年10月に販売開始したフィルム基板型アモルファスシリコン太陽電池は，軽く，柔軟であるという特長から太陽電池の可能性を大きく広げられる製品として注目されている。加えて，従来の結晶系の太陽電池と比較しエネル

表1　エネルギーソリューション技術と商品

セグメント	内　容	商品・サービス	備考（今後の展開）
省エネルギー ESCO	お客様のエネルギーコスト削減に関するコンサルティング，施策実施	○省エネルギー計測 ○省エネルギーコンサルティング ○インバータによるESCO ○コージェネレーションによるESCO	○新エネルギーとの融合による環境対策推進
新エネルギー	新エネルギー，再生可能エネルギー利用のため設備供給，エンジニアリングサービスの提供	○風力発電，風力発電事業 ○太陽光発電 ○マイクロ水力 ○燃料電池（バイオマス発電）	○自然エネルギー出力安定化推進
エネルギー管理 分散型エネルギーシステム	お客様のエネルギー利用状況の把握，運用や調達の合理化，最適化のためのソリューション，サービスの提供	○電力品質計測 ○電力品質対策機器 ○エネルギー管理，最適運用 ○発電機制御 ○エネルギー市場取引支援 ○系統解析技術	○総合エネルギー管理システムによる差別化アイテムをラインアップ ○広域電力品質計測システムへの展開
電力量計 ネットワーク	電力の計量にかかわる設備供給，ソリューションの提供	○電力量計 ○自動検針システム ○自動検針用通信端末 ○停止・停解装置	○ネットワーク化による計量データ処理範囲の拡大
コンピュータ技術	信頼性の高いエネルギー流通のための設備供給，ソリューション，サービスの提供	○系統監視システム ○配電自動化システム ○情報共有化システム ○テレコン・テレメータ ○保護リレー	○IP対応コンポーネント化
保全技術	エネルギー設備の保守，運用受託，予防保全のためのサービス提供	○保守ネットワーク活用 ○コールセンター ○運転・調達，保守委託	○廃棄物，HACCPなどのメニュー拡大によるトータルサービスの実現

図3　フィルム基板型アモルファスシリコン太陽電池モジュール

ギーペイバックタイム（製造に使ったエネルギーを製品自体が発電して回収する期間）が短く，製造時の環境負荷が少ないという特長もある。**図3**に柔軟に曲がるフィルム基板型アモルファスシリコン太陽電池モジュールを示す。

風力発電は，初期コストおよびランニングコストの低減を目的とし，単機出力の大型化や大規模なウィンドファーム化が進んでいる。一方，風力発電は計画的な出力制御が困難なことなどから，系統連系に際して種々の制約を受ける場合がある。富士電機は，豊富な経験を有する発変電システムの監視制御技術，系統解析技術などを活用した電力安定化装置も提供し，風力発電システムと電力系統との融和にも努めている。

3.3　分散型エネルギーシステム

風力発電や太陽光発電などの自然エネルギー発電は，出力が自然条件に左右されるため不安定であり，電力系統の周波数や電圧の安定のため連系には限界がある。自然エネルギー発電を含む分散型電源を，電力系統への影響を最小限に連系させる手段として，種々の分散型エネルギーシステムが提唱されており，その中の一つとしてマイクログリッドが注目されている。

マイクログリッドは，複数の需要家が存在する特定の地域に，コージェネレーションや太陽光発電，風力発電などの分散型電源を設置して電力を自給するオンサイト型電力供給システムで，グリッド（系統）内のエネルギー需給バランスを保ち，系統連系点での電力潮流を安定化させるために同時同量制御が必要となる。富士電機は，発電機，インバータなどの機器技術，計測・情報処理技術，システムの監視・制御・保護技術，電力系統安定化対策技術など広範な技術の集積によりシステムの構築を推進している。

3.4　エネルギー管理「Spectrum PowerCC〈注1〉」

富士電機は熱を含むエネルギーの発生と消費に対する需給一体制御に最適なエネルギー管理システム「Spectrum PowerCC」の適用を進めている。

Spectrum PowerCCは，SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）をはじめ，需要予測，発電計画，発電機制御などの標準機能や，各種データ連係，システム構築，メンテナンスの容易なエンジニアリングツール，データ連係を容易にする各種標準規格，Windows〈注2〉やWebなどの最新のITを取り込んだ標準ソフトウェアパッケージである。さらにSpectrum PowerCCをプラットフォームとし，従来の電力監視制御システムで培ってきた技術・ノウハウを生かして，例えば卸電力取引に対応した需要家側における取引支援機能などの富士電機独自のアプリケーションと組み合わせることにより，日本市場に適合したエネルギー総合管理システムとして提供を進めている。

3.5　電力量計ネットワークシステム

電気料金取引用の法定計量器である電力量計とその計量データを処理する自動検針システムの導入は以前から進められており，500 kW以上の大口需要家についてはほぼ一巡し，高圧需要家については電力小売自由化の進展により，急速にニーズが高まり，導入も加速している。また，一般の低圧電灯需要家については，難検針地域を対象に一部導入が図られており，電源の負荷側の入切を行う，停止・停解ニーズも高まっている。

富士電機では，カレントループ方式通信機能を持つ電子式電力量計および各種通信メディアを利用した上位ネットワークと電力量計とを接続する通信端末など，電気事業者と需要家の間の適正な計量を担保することを前提として，国際規格との整合や技術進歩に即した法規制の変化，運用面の要求変化に対応した製品，システムを開発し，電力量計をコアとしたネットワークシステムの普及に取り組んでいる。今後は，電力小売自由化などの環境変化に基づく要求と技術進歩により，多機能化された電力量計の検針業務の効率化，計量データ提供などによるサービス向上，機器のトータルコスト低減や，これによる計量データ処理範囲の拡大などの検討を一層進めていく。

3.6　コンピュータ技術

電力系統の基盤となる大規模なエネルギーシステム向けの監視制御システムは，ある地域単位に集中監視制御をする形態であった。しかし，電力流通分野においても，業務の効率化，設備のスリム化の重要度が高くなってきており，監視制御システムの統廃合が進み，広域に分散配置されたシステム間の情報共有，相互バックアップ，業務の高度化などの要求が高まっている。

富士電機ではこれらの水平統合を進めた広域分散型監視制御システムの構築のための技術開発を進めている。また，現場機器に直結した保護制御装置やテレコン装置についても，IP（Internet Protocol）ネットワーク技術を適用した装置の開発が進められており，コンピュータの設置場所を意識しないシステムの構築が可能となってきた。これらの技術は分散型エネルギーシステムへの適用も可能である。

〈注1〉Spectrum PowerCC：ドイツ・シーメンス社の登録商標

〈注2〉Windows：米国Microsoft Corp.の登録商標

一方，このような状況の中で，エネルギーの効率運用や設備の長寿命化などの保守・保全業務の見直しも重要な要素となってきており，ニューラルネットワークを適用した予測技術などの応用アプリケーションの開発，設備効率運用を支援する保全技術の展開を進めている。また，情報セキュリティへの対応として，単なるユーザーID，パスワードのみでなく，ICカードによる認証や運用者レベルに合わせた運用地域，業務範囲の権限委譲を行う機能などを開発している。

3.7　保全技術

電気設備の保安規制は，1995年の「電気事業法」の改正により，事業者の自己責任重視の方向に見直されてきており，信頼度的にも，経済的にも最適な保全計画が要望される。

富士電機では，余寿命診断技術による予知保全や，リモート診断，長期保全計画最適化などの支援ツールの提供，24時間365日対応のコールセンターなどによるライフサイクルサービスを推進している。

4　あとがき

持続性のある循環型社会の形成は必須の課題である。

富士電機は今後ともグループの技術力を結集し，「環境とエネルギーの調和」を目指し引き続き努力を惜しまぬ所存である。

本特集号を発刊するにあたり，業界各位に謝意を表するとともに，今後ともご指導・ご支援をお願いする次第である。

参考文献

(1)　資源エネルギー庁．エネルギー基本計画．2003-10.

(2)　松村基史ほか．エネルギーソリューションの現状と展望．富士時報．vol.75, no.11, 2002, p.601-606.

電力系統制御システムの最新技術

高橋　省（たかはし　さとる）　吉田　高（よしだ　たかし）　池内　一志（いけうち　かずし）

1　まえがき

近年，電力系統運用業務のさらなる効率化のため，運用拠点の最適配置が進み，制御所統合などによる横方向拡大，「発電・電力流通・配電システムの統合」や「運用・保守保全業務システムの統合」などによる縦方向拡大，および「監視制御システム」と「事務系システム」との連携など，統合・集約によって電力系統の運用・保守コストを低減させる方向にある。

また，IP（Internet Protocol）ネットワーク技術の発展により，従来は地域的に独立配置されていた監視制御システムの配置の制約も解消されつつある。

IP ネットワークはオープンシステムであり，これを使用するアプリケーションは統一されたインタフェースや通信プロトコルを用いて通信を行うことができる。

このため，IP ネットワークを適用したシステムでは，システム間連携，データ共用がきわめて容易となる。

システム間連携について一例をあげれば，給電システムが保持する電力系統情報・事故情報を，配電自動化システムに提供することにより，複数の部門が協調し，より効率的な電力系統の運用が可能になる。

こうしたニーズに対応する富士電機の広域分散コンポーネントとして，広域分散型システム対応ミドルウェア，IP ネットワーク対応遠方監視制御装置および保護制御機器を紹介する。

一方，電力系統制御システムに要求される業務は，従来の電力系統の安定運用にかかわるものだけではなく，市場取引の対応，託送業務への対応など多岐にわたるものとなっている。こうしたニーズに対応した総合ソリューション技術として，ニューラルネットワーク手法を用いた予測技術，設備運用の効率化を追求する設備保全技術を紹介する。

2　電力系統監視制御システムの最新技術

2.1　広域分散型システムの構築例

電力系統の監視制御システムにおいては，ネットワーク技術の進歩により，監視制御運用箇所とコンピュータサーバ設置箇所を意識しないシステム構築が可能となってきている。複数の監視制御システムを一つの関連した統合化システムとみなし，システムや人的資源を最適に配置し，バックアップ機能も備えたシステム「広域分散型システム」を紹介する。

2.1.1　広域分散型システムのメリット

① 監視制御運転箇所（コントロールセンター）とコンピュータサーバ設置箇所（マシンセンター）を自由に配置できるようになるため，従来，各拠点に独立して設置し，個別に保守されていた監視制御システムの統合・集約が可能となる。このため，集約化による運転コスト，保守コストの削減が可能となる。

② 監視制御運転箇所がコンピュータサーバ設置箇所とくくり付けでなく全体システムの共有資源となっているため，夜間の運転箇所の切換など柔軟なシステム運用が可能となる。

図1に監視制御所から発変電所を含めた広域分散型システムのイメージを示す。

2.1.2　構築にあたっての課題

(1) 機能の広域分散配置

広域に分散して配置されたコンピュータサーバ上のアプリケーション機能は，互いの配置場所を意識せずに動作可能なことが必要である。また，機能が配置される箇所は運用に応じて柔軟に変更できなければならない。

(2) データベース方式と通信方式

広域分散型システムのデータベース方式では次の要件を具備することが必要である。

① 分散配置されたデータベースを高速にアクセス可能とする。

② 監視制御所間，異メーカー間で完全なオープン性を確保し，データベースの変更がアプリケーションプロ

高橋　省

電力系統制御システムの技術企画，開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部電力系統システム部次長。電気学会会員。

吉田　高

電力系統制御システムのエンジニアリング，企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部電力系統システム部課長。電気学会会員。

池内　一志

電力系統制御システムのエンジニアリング，企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部電力系統システム部担当課長。

図1　広域分散型システムのイメージ

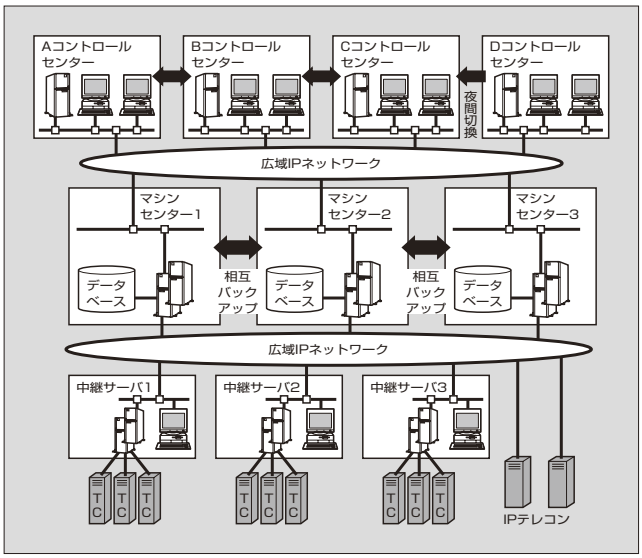
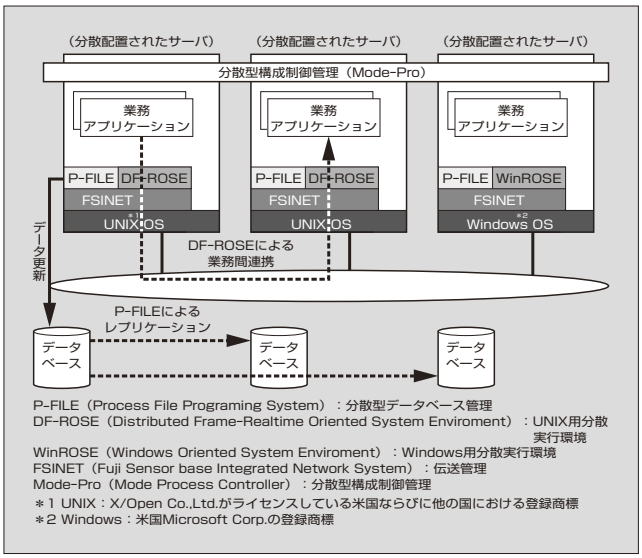


図2　広域分散型ミドルウェアの構成



グラムに直接影響を及ぼさない。

③　分散配置されたデータベースを等価にするためWAN（Wide Area Network）経由のデータ転送が必要になるが，必要以上の負荷を占有させない。

(3)　分散配置されたシステム構成装置の管理

広域分散型システムにおいては，従来のPIO装置を介したシステム構成装置の管理方式は不可能となる。そのため，ネットワーク上の通信手段により，ハードウェアやソフトウェアの状態監視を常に行い，分散配置されたシステムの構成制御管理を行う必要がある。

2.2　広域分散型ミドルウェア

広域分散型システムの構築にあたっての課題を解決するためには，アプリケーションから見て，分散されたハードウェア構成を極力意識させないシステムの構築手法が重要となる。そのためには，次に述べる広域分散型ミドルウェアの整備が必要となる。富士電機ではオープン分散型システムの構築で培ったシステム内の分散化システム構築技術と，進歩したIPネットワーク技術を利用した広域分散型ミドルウェアを提供する。**図2**に富士電機の広域分散型ミドルウェアの構成を示す。

(1)　分散プロセス管理

分散されたハードウェアの配置に関係なく論理的にアプリケーションの起動・応答確認ができるミドルウェア，DF-ROSE（Distributed Frame Real-time Oriented System Environment）を提供する。伝送，監視，制御，画面といった各業務をカプセルという殻で包み，各カプセル間の起動関係だけでシステム構築が可能となる。また，分散型システム構成をアプリケーションが意識する必要がないことから，アプリケーションの開発効率が向上する。

(2)　分散型データベース管理

分散配置されたコンピュータ上に，差分等価方式や随時等価方式，蓄積型等価方式などにより最新のデータベースマスタとレプリケーションを持ち，どのコンピュータからでも高速にアクセスできるミドルウェア，P-FILE（Process-File Programming System）を提供する。データベースの配置をアプリケーションから意識する必要がなく，また，分散配置されたデータベースにどこからアクセスしても，ネットワーク負荷を増大させることなく，高速アクセスが可能となる。

(3)　分散型構成制御管理

分散されたコンピュータシステム群の状態を常に監視し，必要に応じたコンピュータの切換処理やバックアップ処理を行うミドルウェア，Mode-Pro（Mode-Process Controller）を提供する。一つのコンピュータの異常が他のコンピュータに波及することを防ぎ，システム全体に与える影響を最小限に抑えることが可能となる。

(4)　伝送管理

ミッションクリティカルな監視制御システムにおいて信頼性とリアルタイム性を十分確保し，かつ，異メーカー間でも接続できる標準的なプロトコルを採用したミドルウェア，FSINET（Fuji Sensor base Integrated Network System）を提供する。二重化伝送路管理機能により，アプリケーションが意識することなく，二重化された伝送路の状態監視，主－従切換の実施が可能となる。

2.3　IPネットワーク対応プロトコルとIPネットワーク端末

電力系統制御システムにおける通信に要求される機能は，システム間連携，データ共用などが容易であること，データの信頼性を保証できることが必須の要件である。この要件はIPネットワークに適用した場合でも同様である。

具体的には，下記などである。

①　データの順序性・連続性

②　リアルタイム性（許容される時間内での通信完了）

③　二重帰属への対応（通信の2系列化）

④　1：N通信への対応（マルチキャスト通信）

富士電機は，各電気所に設置するIP方式遠方監視制御

装置，IP 変換装置として使用するコンパクト，高信頼度な IP ネットワーク端末を開発・製品化した。演算部，入出力インタフェース（I/F），モデム I/F，ネットワーク I/F などを 1 ユニットに収納しコンパクト化を図っている。また TCP/IP（Transmission Control Protocol/IP），UDP/IP（User Datagram Protocol/IP），ファイルシステムなどに汎用のミドルウェアを採用可能としシステムの拡張性を容易としている。

2. 4　保護制御機器のネットワーク結合

電力流通分野の，より合理的かつ経済的な監視・制御・保守を志向し，IP ネットワークの適用が進んでいる。ネットワークの末端は電気所配電盤室の機器にまで届き，今後さらに屋外現場機器にまで及びつつある（**図 3**）。保護制御機器については，従来の第二世代ディジタルリレーは Ethernet〈注〉インタフェースを有し遠隔保守・整定を実現していたが，専用プロトコル，専用ブラウザによるものであった。最近は経済性，互換性を目的に，汎用的な伝送プロトコル（HTTP：Hyper Text Transfer Protocol），汎用ブラウザとクライアント・サーバ構成のインタフェースを求められている。こうした状況下，富士電機においても保護制御機器のネットワーク結合端末（Web ボード）を開発しており，保護制御端末としてサーバ機能を有し，ネットワーク遠端の汎用ブラウザ画面からのリレー整定操作，監視情報表示を可能としている。さらに既設旧型ディジタルリレー用に，整定表示部と交換するだけでネットワーク結合を可能とするレトロフィット Web パネルを開発した（**図 4** 参照）。既設旧型リレーの遠隔整定・監視化を可能とするものであり，リレーの延命使用ニーズに対応しつつネットワーク結合ニーズにも応えようとするものである。

〈注〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図 3　IP ネットワーク構成

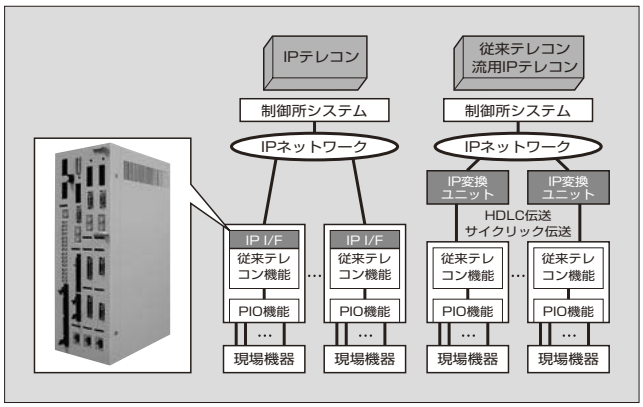
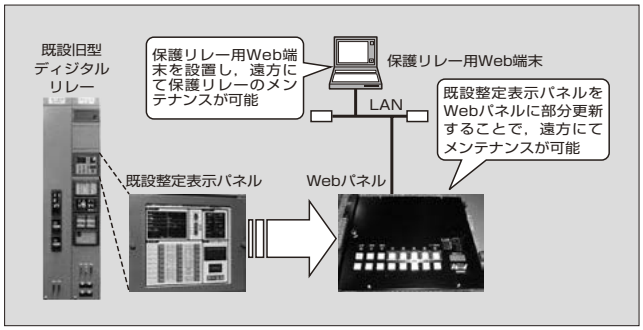


図 4　レトロフィット Web パネル



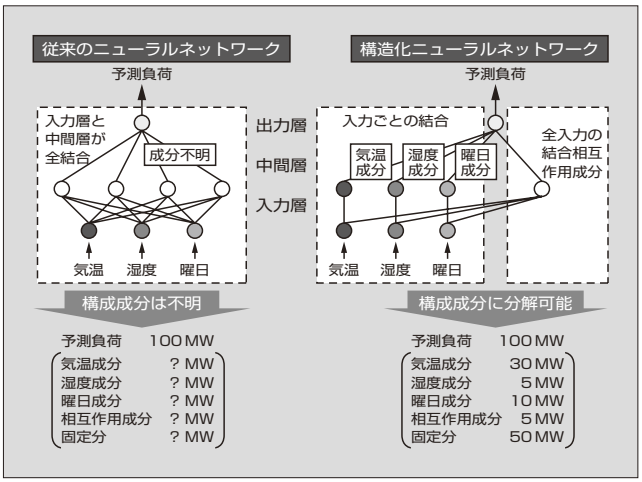
3　総合ソリューション技術

3. 1　予測技術

富士電機ではニューラルネットワークを用いた予測技術により電力会社や工場内の電力需要予測，水力発電所用のダムや下水処理施設における流量予測の分野で実績がある。この技術は，入力因子と予測対象の関係が非線形であっても高度な予測が可能であり，日々学習しているため，その関係が変化しても，変化に追従することができるという特徴を持っている。また，通常のニューラルネットワークの構造は複雑であり，予測理由が分からないという欠点があったが，富士電機は，その問題を解決できる構造化ニューラルネットワーク技術を所有している。構造化ニューラルネットワークは学習状態の良否判断が可能であり，予測結果に対し複数ある入力因子の中でどの入力因子の影響度合いが大きかったのかを把握することが可能であり，また，通常のニューラルネットワークよりも予測精度が高いという特徴を有する。**図 5** に構造化ニューラルネットワークのイメージを示す。この技術は予測対象に対する影響度合いが分かるため，影響度合いの小さい入力因子を削除し，入力因子を絞り込むことができる。これらに加えて，予測対象ごとに異なる学習傾向などを適切にチューニングするノウハウを有しており，予測精度の高い最適な予測システムを構築することが可能である。ここでいうチューニングとは，ある期間の入力データを強く学習させたり，特異なデータを学習対象データから自動的に排除したりすることを意味する。

この予測技術は，入力因子と出力間に関係が見られ，過去の実績データが残っていれば，どのようなものであって

図 5　構造化ニューラルネットワークのイメージ



も適用が可能であり，今後は予防保全などの分野への展開も期待できる技術である。

(1)　電力需要予測

電力需要予測は，発電計画立案時に必須の情報であり，発電コストのミニマム化に寄与する。予測対象は，当日や翌日の最大電力を予測するのが一般的であるが，毎正時もしくは30分ごとの電力を予測する場合や，午前中や夕方の点灯時間帯の最大電力，早朝の最低電力を予測することもできる。電力需要は，当日の気象条件との相関関係が大きいことが経験的に知られており，当日の最高気温・最低気温・湿度・天候などの気象情報を入力因子として選択するケースが多い。ただし，予測対象地域により相関関係のある気象情報が若干異なっており，画一的に入力因子を採用しても良い予測結果は得られない。また，ニューラルネットワークの学習についても，至近実績を強く学習させるなどの予測対象地域に合わせたチューニングを実施することが必要になる。富士電機では国内電力会社や製造業への適用実績により，この学習に対するチューニングの豊富なノウハウを有している。

(2)　ダム流入量予測

ダムへの水の流入量予測は，水力発電計画の最適化による発電コストのミニマム化やダム放流量制御による河川の安全に寄与する。予測対象は対象ダムにより異なるが，一般的には短時間先のダム流入量，翌日のダム流入量を予測する。入力因子は，地形，地域の天候特性，入手可能データの違いによりさまざまであるが，流域の降雨予報などの気象データと上流の雨量計データ，流量計データの計測データを入力するのが一般的である。これに地域特性，季節特性（通常期，融雪期など）を考慮してチューニングを実施して予測システムを構築している。**図6**に予測結果の例を示す。

3.2　設備保全技術

電力会社の設備投資は設備形成・安定供給中心から，設備維持・経済運用重視に軸足を移行し，電力の供給信頼度を維持しつつ，運用・保守コストを低減させることが望まれている。

以下にIT（Information Technology）を活用した設備保全業務の高度化について紹介する。

(1)　保全作業管理システム

富士電機は保全作業における信頼度を維持しつつ，運用保守の効率化を実現するものとして，**図7**に示すPOJ（Point Of Job）を商品化している。

保全現場ではインターネット技術と携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistance）の応用により，保全結果や作業実績のデータを巡視点検時点で電子データとして収集し，ペーパーレス化と定量的な管理を効率的に実現する。図中の作業プラン管理は，定型的な巡視点検や定期点検などの計画を標準化された作業形態の集合体として作成し，個々の保全作業に合わせた点検チェックシートを自動的に作成する。さらに日々の保全結果の報告承認をワークフロー化（保全業務手続きの自動化）することで，保全作業プロセスの情報管理を行い，短期的な作業進捗（しんちょく）管理から長期的な保全作業のコストダウンと保全品質向上を同時に実現する。

図6　ダム流入量予測例

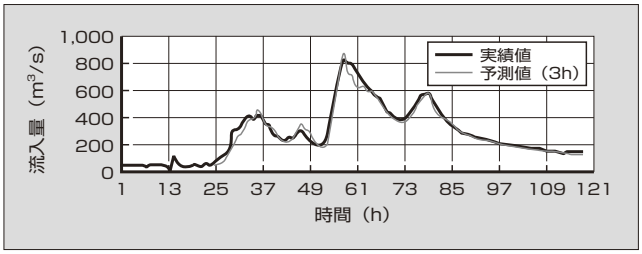
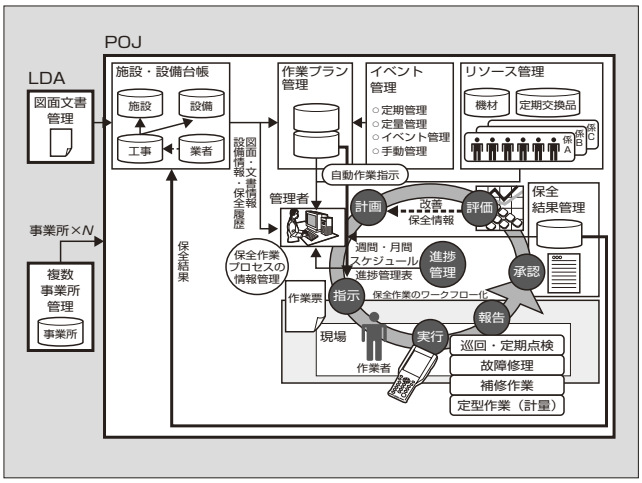


図7　設備保全システムの概要



設備管理としては，中核に設備の基本情報からライフサイクル情報，設備履歴などを備える施設・設備台帳を有し，ドキュメント管理データと作業管理の点検結果データを目的の設備にひも付け，保全結果（設備カルテ）に基づく評価，修繕や更新計画を提供する。

今後は現地保全業務にICタグ（RFID：Radio Frequency Identification）を導入し，保全対象設備に取り付けられたICタグと保全システムデータベース（DB）との連携により，現場での即時情報取得と設備状態のモニタリングを可能とすることで，安全性向上，作業省力化，ヒューマンエラー防止など，保全業務のさらなる高度化，作業プロセス改善を実現する。

(2)　設備図面管理システム

設備保全におけるさまざまな保守図面を，中核の設備台帳と相互に連携することによりドキュメントと直結した設備管理を実現している。

機器配置図，平面図，単線結線図などのCAD（Computer Aided Design）の図形位置をズーム表示することでロケーション情報を提供し，設備図形をクリックすると設備台帳を即座にポップアップ表示し，工事，設備，設備評価，作業結果，関連図面文書などの各種データを表示する。また，CAD上へのアラーム表示など監視機能との連携も可能である。これらの機能はLDA（Integrated Live

Drawings Archive System）として商品化している。

(3)　保全評価管理システム

従来の定期点検的保全から設備状態に応じた保全への見直しを支援する目的で，機種・機器ごとの保全コストとリスクの最適バランスを算出（シミュレート）し，保全業務サイクルの評価や見直しの判断材料を提供する機能を紹介する。

各設備の「設備状態（故障の起こりやすさ）」と「故障時，システムに与える影響度，被害の大きさ」からなる二次元グラフで設備ごとに保守の必要度を表現することでリスクを可視化する。また，グラフ上で保全方針を指定することにより指定保全方針の対象となる設備を全設備から抽出し，保全計画見直し結果に対する保守コストや必要となる検討項目を自動的にシミュレートする。

4　あとがき

電力系統制御分野に関する富士電機の取組みの概要を紹介した。今後検討が開始される電力完全自由化に向け，これら技術のニーズはますます高まっていくと考える。富士電機ではこれまではぐくんできた技術の維持向上に努めつつ，新たな技術の実用化に取り組み，電力会社などのニーズに応えていく所存である。

参考文献

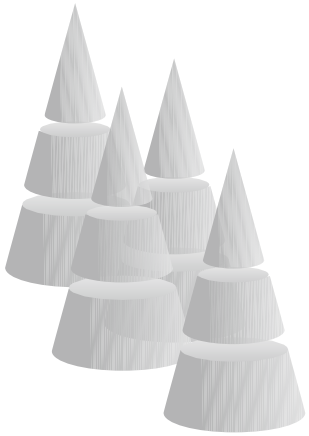
(1)　電力系統制御システム技術検討会報告書．エネルギー総合工学研究所．2004-6.

(2)　電力設備の保守・運用におけるITの活用と将来動向．電気協同研究．vol.58, no.5, 2003.

(3)　飯坂達也ほか．構造化ニューラルネットワークの新しい学習方法と最大電力需要予測への適用．平成14年電気学会電力・エネルギー部門大会．vol.124, no.3, 2002.

(4)　松井哲郎ほか．構造化ニューラルネットワークを適用した支川流量予測の検討．平成15年電気学会全国大会．no.6-015, 2003.

(5)　松井哲郎ほか．想定機能をもつ電力需要想定システムの開発．平成15年電気学会電力・エネルギー部門大会．no.PE-03-62, 2003.



エネルギー総合管理システム「Spectrum PowerCC」

宮村　尚孝（みやむら　なおたか）　中村　正雄（なかむら　まさお）　林　巨己（はやし　なおき）

1　まえがき

世界的な電力自由化の流れに伴い，日本においても既存の電気事業者と新規参入事業者による競争が激しくなり，また，エネルギー環境が変化する中で一般需要家におけるエネルギー運用に対する関心も高まってきている。このような状況の中で，エネルギーの最適運用・管理機能による運用業務の効率化，信頼性の向上，コスト削減および取引利益の最大化に対するニーズが高まっている。これらのソリューションを提供するためには，従来の顧客個別対応の監視制御システムではなく，容易に導入可能な高度に完成された標準システムとして提供できるエネルギー管理システムが必要である。

富士電機は世界に先駆けてこれらに対応したソフトウェアとして，ドイツ・シーメンス社が開発したエネルギー総合管理システム「Spectrum PowerCC〈注1〉」を導入し，開発コストの削減，早期の市場投入を図った。このソフトウェアを中心に長年培ってきた監視制御システム技術，導入ノウハウを生かしたソリューションについて紹介する。

2　Spectrum PowerCC の製品コンセプト

エネルギー管理システムとしては，従来の信頼性の確保，エネルギー運用業務（監視制御）の効率化のみならず，最新の IT（Information Technology），標準規格を採用し IT 環境へ柔軟に対応することで事務系・情報系システムとの連係を図り，顧客の全体業務効率を向上させ，しかもコスト削減を図ることが重要になってきている。Spectrum PowerCC の大きな特長はこれらに適合した製品コンセプトの下に開発されていることであり，詳細を以下に述べる。

2.1　基本仕様

表1 に基本仕様を示し，その特長を以下に述べる。

表1　基本仕様

項　目	構成内容
ハードウェア	汎用パソコン
OS（Operating System）	Windows
RDBMS（Relational DataBase Management System）	ORACLE
データベースアクセス	SQL（Structured Query Language），ODBC（Open DataBase Connectivity）
上位系インタフェース	XML（eXtensible Markup Language），OLE（Object Linking and Embedding）
下位系インタフェース	各種IEC（国際電気標準会議）標準テレコンプロトコル，OPC（OLE for Process Control）

(1)　近年，性能・信頼性が飛躍的に向上しているパソコン，Windows〈注2〉などの汎用品を採用し，豊富なサードパーティ製品を有効に活用している。
(2)　国際標準・業界標準適用によるオープン性の向上を図り，他システムと容易に連係できる。
(3)　Windows と同様な操作性により，使い勝手のよいユーザーインタフェースを実現している。

2.2　トータルコストの削減

システム導入，運転，メンテナンス，機能追加といったシステムのライフサイクルを通して，以下に示す特長によりトータルコストの削減が図れる。
(1)　標準ソフトウェアパッケージによるソフトウェア資産の活用，汎用品の採用
(2)　インストールツールなどの各種ツールによるシステム構築時のエンジニアリング業務の効率化
(3)　自動化，システム連係による運用，業務の効率化
(4)　エンジニアリングツールによるメンテナンス業務の効率化
(5)　モジュール追加，アップグレードによる機能向上・拡張が容易

〈注1〉Spectrum PowerCC：ドイツ・シーメンス社の登録商標

〈注2〉Windows：米国 Microsoft Corp. の登録商標

宮村　尚孝

エネルギー管理システムの開発，技術企画に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部 EM システム一部担当課長。電気学会会員。

中村　正雄

電力システム分野における情報処理システムのシステムエンジニアリング業務に従事。現在，株式会社エフ・エフ・シー社会ソリューション部。

林　巨己

数理アルゴリズムを利用した顧客ソリューション研究開発業務に従事。現在，富士電機アドバンストテノロジー株式会社情報通信制御部。電気学会会員。

2.3　エンジニアリングツール

オブジェクト指向のエンジニアリングツールにより，すべての設備データ，システム構築情報が一元管理され，対応する一つのソースの設定・変更を行うことで，すべての関連機能へ反映させることができ，大幅なエンジニアリング業務の効率化を実現した。以下に特長を述べる。

(1)　オブジェクト指向で，エクスプローラと同様な操作性を実現（画面例を**図1**に示す。）

(2)　国際標準の電力設備データベースCIM（Common Information Model）に準拠し，顧客固有ニーズによるデータモデルのカスタマイズ（新しい属性の追加など）が容易

(3)　グラフィック機能を組み込み，シンボル作成を含む作画が容易，トポロジー（電気的接続）による自動作画が可能

(4)　XML（eXtensible Markup Language）によるデータ連係（大量のインポート，エキスポートが容易）

(5)　オンライン業務に影響なくデータの作成，活性化，復元，有効化が可能

図1　エンジニアリングツール

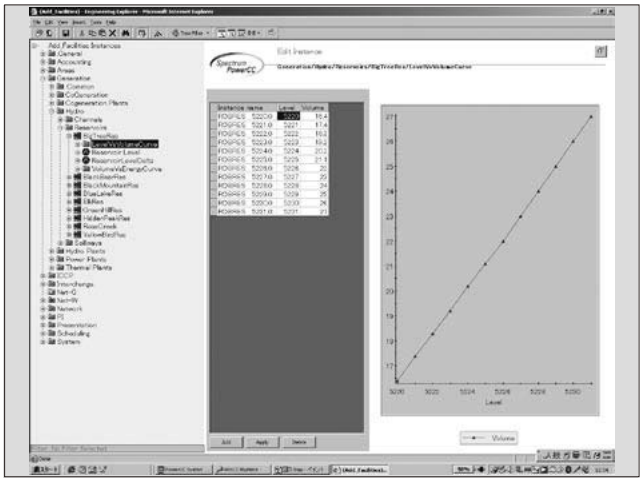
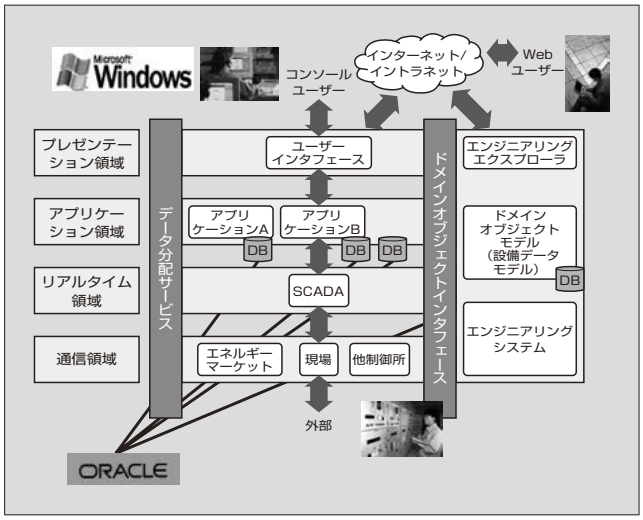


図2　ソフトウェアアーキテクチャ



2.4　ソフトウェアアーキテクチャ

図2に示すとおり，ソフトウェアは四つに階層化され，設備データおよびアプリケーションデータはORACLE〈注3〉で管理されている。内部インタフェースは標準インタフェースとして規定されており，各アプリケーションはこれらの規定に従い，機能ごとにモジュール化されている。そのため，システム構築時は必要なモジュールのみ選択して組み込み，機能拡張時も必要な機能を追加することが可能である。

2.5　富士電機独自のソリューション

標準のアプリケーションインタフェースおよび開発環境が提供されており，各ユーザー向けの個別対応もしくは富士電機の独自アプリケーションの追加が容易にできる構造となっている。独自技術である構造化ニューラルネットワークによる需要予測[1]や，メタヒューリスティックによる最適化計画機能[1]などの高度な技術が組込み可能である。

3　機　能

Spectrum PowerCCはエネルギー管理に必要な機能を取りそろえており，各機能は**図3**に示すアプリケーションツールバーから呼び出すことができる。全体機能一覧を**表2**に示すが，これらを標準機能として容易に導入可能な形で提供していることが大きな特長である。特に電力設備運用管理向けに拡張されたSCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）機能およびエネルギー取引に対応した発電機運用管理機能について以下に述べる。

3.1　SCADA

一般的に広く使用されているSCADAとしては多くの標準パッケージが市販されているが，Spectrum PowerCCは電力監視制御をするうえで必要となる以下の機能を加え，標準機能として提供している。

(1)　複数電気所の監視制御に適した遠方監視制御装置とのインタフェース

(2)　開閉器などの機器に対する信頼性の高い2挙動操作（選択，実行）

(3)　制御操作の安全性確保のためのトポロジー（電気的接続状態）を考慮したインタロックチェック

(4)　電力系統状態の的確な把握のための充停電表示（画面例を**図4**に示す。）

(5)　通常の電力設備の安全な作業に必要となる操作禁止，

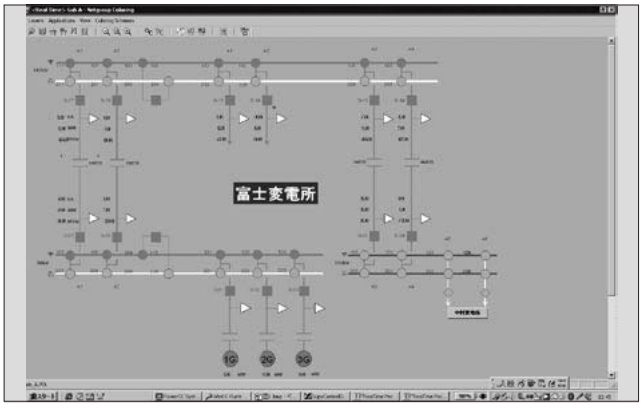
〈注3〉ORACLE：米国Oracle Corp.の登録商標

図3　アプリケーションツールバー

表2　機能一覧

区　分	項　目	機能内容
長期運用計画	資源最適化	1年までの長期計画のシナリオ評価
予　測	長期需要予測	1年までの長期の需要を予測
	需要予測	翌日から7日間先までの需要予測
	価格予測	翌日から7日間先までの価格予測
エネルギーデータ管理	取引管理	各種相対・市場取引の管理
計　画	水力発電計画	水力発電設備の最適計画
	水力火力計画	水力および火力発電設備の最適計画
	発電計画	火力発電設備の最適計画
	取引最適化計画	市場取引の最適取引量の計画
電力制御	経済負荷配分	リアルタイム発電機経済負荷配分制御
	周波数制御	リアルタイム発電機周波数制御
	生産コスト監視	リアルタイム生産コスト監視
	予備力監視	リアルタイム予備力監視
負荷側管理	負荷管理（電力）	電力負荷の管理，需給バランス制御
	負荷管理（ガス）	ガス負荷の管理，需給バランス制御
	供給管理（水）	水の供給管理
配電網分析	配電潮流計算	配電網向け潮流計算
	故障点切離し・復旧	故障点の自動切離しと自動復旧
	故障点検索	故障点の検索
実績情報システム	基本機能	実績データの各種管理
	エネルギー課金	課金情報の計算，管理
SCADA		電力系統監視制御
通　信		テレコン入出力，OPC，制御所間通信
冗長化		ホットスタンバイによる二重化構成制御
システム管理		各種運用モード，システム状態管理
メンテナンス		エンジニアリングツールによるメンテナンス

図4　単線結線図（充停電表示，制御ダイアログ）



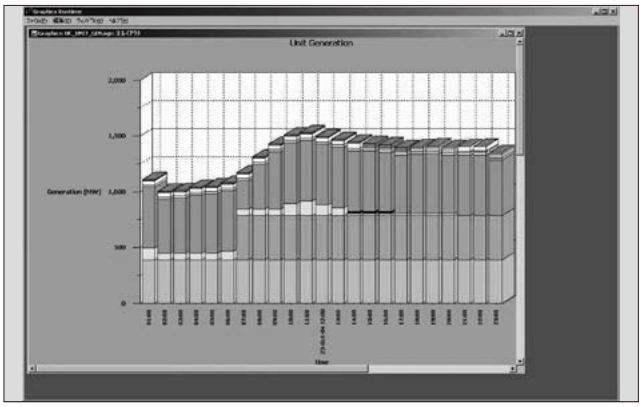
警報ロックなどのマーキング，タギング

(6)　系統切換などの系統操作を効率よく安全に実施するための操作手順機能

3.2　発電機運用管理

発電機運用管理機能は，需要予測，取引管理，発電計画，

図5　発電計画



発電機自動制御などの機能で構成され，特長を以下に述べる。

(1)　需要予測は事前入力したパターンによる類似日予測，実績データと気象予測データの比較によるパターンマッチング予測および気象データを基に重回帰分析を行う回帰分析予測の三つの方法を提供する。

(2)　取引管理は，各種電力取引を電力会社管轄（需給調整が必要な単位）ごとに管理する。また，電力購入料金を設定し，発電計画計算に合わせ，最適な電力購入量の算出ができる。

(3)　発電計画は，需要予測・取引量に合わせて各種システム制約を考慮し，コスト最小化を目的関数として発電機ごとの出力を最適化計算する。**図5**はコスト最小となる発電機ごとの各時間帯における発電量を示した発電計画結果である。発電機の起動・停止条件を扱うことができる混合整数計画法により，発電機の最適計画を提供し，計画業務を大幅に削減できる。

(4)　コージェネレーションプラント向けには，電力のみでなく，ボイラなどの熱ユニット特性，ゾーンごとの熱負荷，蓄熱設備，ゾーン間の熱輸送を考慮できる。

(5)　エネルギー取引（購入・販売）の申入れがあった場合（または申込みをする前に），その取引実施時のコストを事前に計算し，経済性評価を行う。

(6)　発電計画などの機能に調整予備力に対する考慮ができる。

4　適用分野

Spectrum PowerCC は，電力・熱などのエネルギーを扱うあらゆる顧客に適用可能であり，標準システムとして提供することで信頼性，コスト削減を実現する。具体的には以下の分野が考えられる。

(1)　需給バランスを要求される特定規模電気事業者（PPS：Power Producer and Supplier），地域需給調整システム

(2)　電力設備運用管理が必要な電気事業者，大規模需要家

(3)　発電機運用を行う独立電気事業者（IPP：Independent Power Supplier），オンサイト電源会社

(4)　自家発保有事業者

これらの適用分野に対し，特に有効な適用対象および適用事例を以下に述べる。

4.1　適用対象

電力設備運用管理として，以下の場合に有効である。

(1)　遠隔設置された電力設備がある。

(2)　電力系統の諸条件を考慮して運用する。

(3)　頻繁に系統操作を行う。

(4)　頻繁に電力設備をメンテナンスする。

発電機運用管理としては，以下の場合に有効である。

(5)　エネルギー取引を含めた最適運用を図る。

(6)　特性の違う複数の発電機を対象とする。

(7)　コージェネレーションによる熱の運用を含む。

4.2　同時同量システム適用事例

PPS 向けシステムの構成を**図 6** に示す。遠隔地にあるサイト側とは公衆回線を介してデータ連係をしており，冗長化構成である。標準の SCADA 機能を中心に高い信頼性，運用の効率化を確保し，以下の機能がある。

(1)　PPS の需要家に設置した端末から，使用電力量を収集する電力量収集機能

(2)　発電所の監視制御機能

(3)　需要量および供給量をリアルタイムに監視し，需要の変動に見合うよう供給量の制御を行う同時同量制御機能（この機能は，日本における詳細な要求仕様に適合するように富士電機が開発した。）

4.3　発電機最適運用システム適用事例

某住宅施設向けエネルギー管理システムの構成を**図 7** に示す。住宅，学校，病院などの施設に熱と電力を供給するコージェネレーションシステムに対し，電力会社からの電力購入料金と発電コストを考慮し，エネルギーコストが最小となる計画を作成し，運用業務の効率化，コスト削減を図っている。

5　電力取引市場支援機能への対応

日本における電力取引市場は，有限責任中間法人日本卸電力取引所（JEPX）により，2005 年 4 月から行われている。現状の市場取引は発電設備の運用を主業務としている事業者を対象にしており，富士電機はこれらの事業者向けに実際の発電計画を考慮した取引支援機能を独自アプリケーションにより開発している。

電力取引市場は，中長期の相対取引を対象とする先渡定型市場と翌日のスポット市場が中心である。先渡定型市場向け支援機能は，取引量をキーに取引価格の指標を提供するもので，顧客は市場で公開される売買情報を踏まえ取引戦略を決定する。また，スポット市場向け支援機能の概要を**図 8** に示し，各機能の特徴を以下に述べる。

(1)　価格予測機能

過去の電力価格や気象情報などから，富士電機の独自技術である構造化ニューラルネットワークを用いて取引価格を予測する（**図 8 ①**）。米国東地域の電力市場（PJM Interconnection）の実績価格を基に検証を行い，良好な

図 6　某特定規模電気事業者向け電力小売監視制御システム

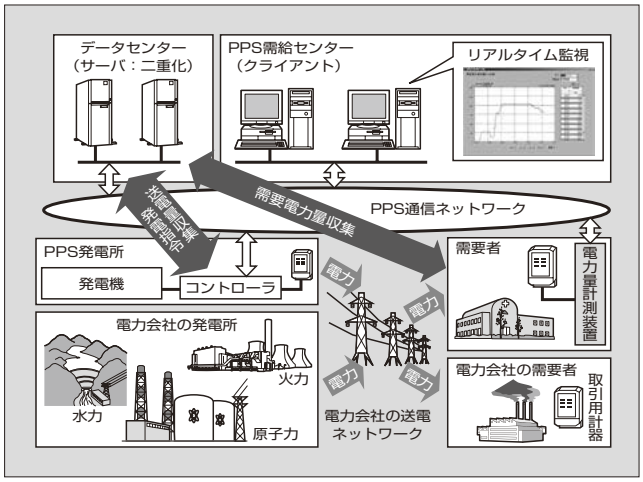


図 7　エネルギー管理システムの構成

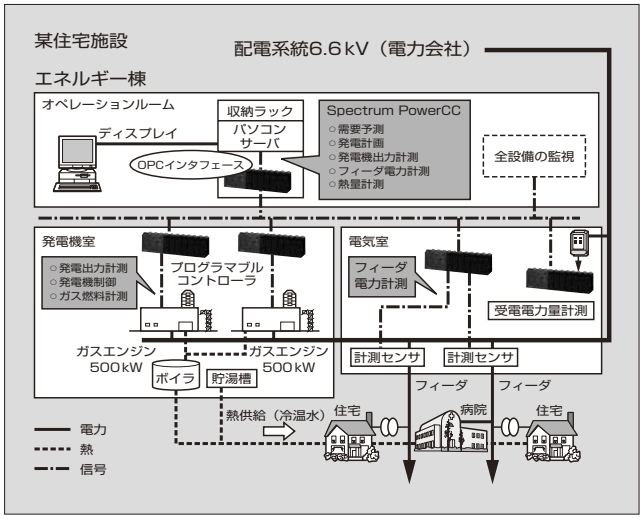
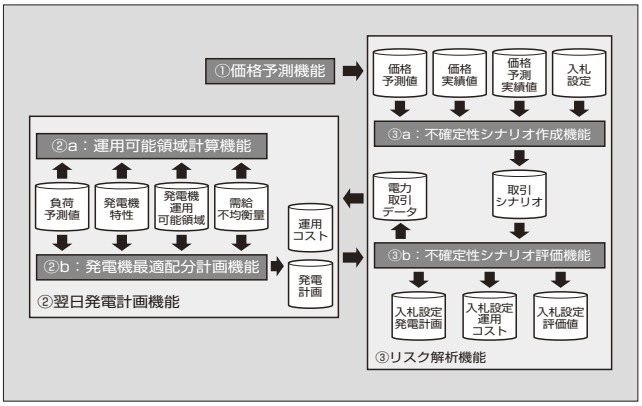


図 8　スポット市場向け支援機能の概要



結果を得た。日本市場は米国に比べ投機性が少ないため，十分な精度が期待できると考える。

(2)　翌日発電計画機能

電力取引を考慮したうえで最も経済的な発電計画を求める（**図 8** ② b）。また，スポット市場取引では各取引時間ごとに約定可否が決まるため，約定結果により発電機で追従できなくなる可能性がある。いかなる約定結果でも実際に運用可能な領域を計算し，安全な取引範囲を示す（**図 8** ② a）。

(3)　リスク解析機能

電力取引における取引価格や取引量といった不確定性を考慮して，実績データの分布から不確定性シナリオを作成する（**図 8** ③ a）。このシナリオを基にモンテカルロシミュレーションを行い，設定した電力取引戦略を評価するための情報を提供する（**図 8** ③ b）。これにより，さまざまに設定した電力取引戦略の優劣を把握することができる。

6　あとがき

エネルギーを取り巻く状況としては，2005 年 2 月の京都議定書発効，2005 年 4 月の JEPX 開設および 50 kW 以上の高圧需要家までの電力小売自由化範囲の拡大などを背景として，エネルギー運用の効率化・高度化に対する要求はますます高まっていくものと考えられる。エネルギー管理システムにより，顧客のエネルギー問題へのソリューションを提供し，Spectrum PowerCC を富士電機の戦略機種として位置づけ日本市場への展開に一層注力していく所存である。

参考文献

(1)　北川慎治ほか．エネルギープラント最適運用ツール．富士時報．vol.75, no.11, 2002, p.625-629.

電力小売自由化に対応した自動検針と電力量計

長島　優（ながしま　まさる）　上條　雅之（かみじょう　まさゆき）　清水　康司（しみず　やすじ）

1　まえがき

1999年に「電気事業法」が改正され，2000年3月から契約電力2,000 kW以上の特別高圧需要家を対象として電力の小売自由化が開始された。その後，2004年4月から契約電力500 kW以上，2005年4月から契約電力50 kW以上と自由化範囲が高圧電力需要家すべてに拡大された。2007年4月からは契約電力50 kW未満の低圧電力需要家の自由化が検討される予定である。**図1**に電力小売自由化の進展と電力量計の導入状況，自動検針の実施動向を示す。

電力小売自由化に対応して，法定計量器である電力量計と自動検針システムに求められる役目は主に次の二つがある。

(1)　電気事業者と需要家間および電気事業者と電気事業者間の適正な計量を担保すること

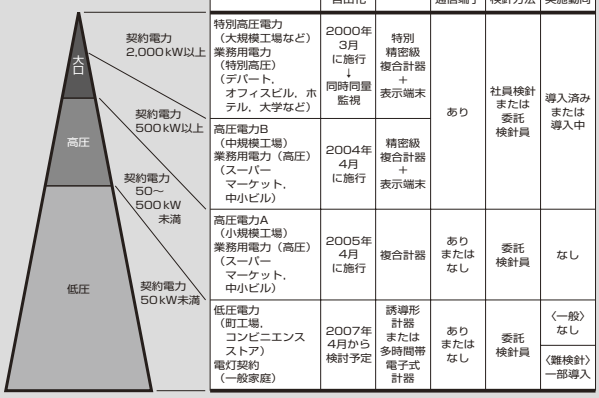
自由化に伴う同時同量計量の必要性から，電力量計に必要な計量機能とその法的な扱いが資源エネルギー庁主催の電気計器の計量問題検討会にて検討された。電力量計で一定時間ごと（主に30分）の指針値を記憶し，データ伝送して使用電力量表示端末で表示するとともに，上位システムに伝送する方法が特定計量器検定検査規則第12条2項の「分離することができる表示機構」に該当するとして，1999年に試験規格などが制定され，2000年に製品が導入された。**図2**にシステムの概要を示す。

(2)　電気事業者から需要家に対するサービス向上のための電気料金メニューの多様化に対応した計量機能の拡充

電気料金メニューの多様化は主に季節別，時間帯別の料金設定の細分化により行われている。電力量計は時間帯ごとの料金算定の基となる時間帯ごとの電力使用量を需要場所で計測し表示部で確認できる必要があり，そのため，電力量を時間帯ごとに仕分けする機能を持つ必要がある。したがって，時間帯別料金メニューが細分化されれば電力量計の仕分けも細分化されることになり，この時間帯別仕分け機能を拡充し仕分け方法を通信により設定できる電力量計が主流となっている。

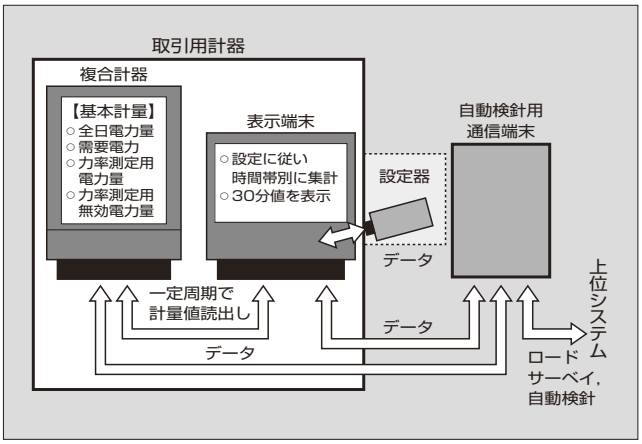
次章以降で自動検針システム，通信機能を持った電力量計について紹介する。

図1　自由化の進展と電力量計導入状況，自動検針実施動向



主な契約種別	電力自由化	計器	計器の通信端子	従来の検針方法	自動検針実施動向
特別高圧電力（大規模工場など） 業務用電力（特別高圧）（デパート，オフィスビル，ホテル，大学など）	2000年3月に施行 ↓ 同時同量監視	特別精密級複合計器＋表示端末	あり	社員検針または委託検針員	導入済みまたは導入中
高圧電力B（中規模工場） 業務用電力（高圧）（スーパーマーケット，中小ビル）	2004年4月に施行	精密級複合計器＋表示端末			
高圧電力A（小規模工場） 業務用電力（高圧）（スーパーマーケット，中小ビル）	2005年4月に施行	複合計器	ありまたはなし	委託検針員	なし
低圧電力（町工場，コンビニエンスストア） 電灯契約（一般家庭）	2007年4月から検討予定	誘導形計器または多時間帯電子式計器	ありまたはなし	委託検針員	〈一般〉なし 〈難検針〉一部導入

図2　使用電力量表示端末を用いたシステムの概要



2　自動検針システム

2.1　自動検針システムの現状

自動検針は，委託検針員または電力会社の社員が電力量

長島　優

電子式電力量計と関連機器の開発，設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部計量システム統括部安曇野工場技術部長。

上條　雅之

電力量計の設計・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部計量システム統括部安曇野工場技術部グループリーダー。

清水　康司

自動検針システムの開発，技術企画に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部計量システム統括部安曇野工場技術部（東京分室）グループリーダー。

計の設置されている場所に出向き，検針値を読み取り記録する人手検針の作業を自動化するものである。電力会社の本店，支店，営業所に設置された親局装置から，需要家に設置された電力量計が保持する計量データを，各種通信メディアを用いて遠隔で収集する。大口需要家および高圧需要家の電力量計は，受電室やキュービクル内に設置されているため，自動検針を行うことにより，需要家設備内への立入りが不要で，電力会社，需要家双方にメリットがある。

自動検針システムの導入は，以前から進められており，電気料金も高く費用対効果も見込める500 kW以上の大口需要家についてはほぼ一巡している。次の高圧需要家については，電力小売自由化の進展により，急速にニーズが高まってきている。PPS（Power Produce and Supply：特定規模電気事業者）が電気を供給する需要家に対しては，電力会社，PPS双方で30分同時同量監視のための自動検針システム・同時同量監視システムの導入が必要となる。

また，一般の低圧電灯需要家については，山間部やオートロックマンションなど難検針地域を対象に一部導入が図られているが，今後の電力自由化の進展によって，導入が進んでいくと思われる。

表1に自動検針システムの目的と機能を示す。

2.2　システム構成

大口需要家および高圧需要家向けの自動検針システムの構成を**図3**に示す。

電力会社は，電力量計の収納される計器箱内に電力会社用の自動検針用通信端末を設置し，電力量計に蓄積された各種計量データを，各種通信メディア経由で自動検針親局から収集する。このデータは，親局側にてPCT比〔PT（Potential Transformer）比×CT（Current Transformer）比〕に応じて電力量（kWh）に換算される。データ収集の頻度としては，一般的に，30分値データは毎日収集され，確定値検針データは月に1回月初に収集される。

一方，PPSは，PPS用同時同量端末を設置し，電力量計のパルス出力を蓄積し，このデータを各PPSの事業所に設置された同時同量監視親局から，通信メディア経由で収集する。このデータは，センタ側にてパルス定数およびPCT比に応じてkWhに換算される。

2.3　通信メディア

自動検針用の通信メディアとしては，多種多様なものが研究・開発されてきた。通信メディアは，通信回線使用料，伝送速度，レスポンス時間などの各回線の特性をもとに，需要家状況，適用場所により，最適なものが選択される。自動検針用として導入されている，主な通信メディアの特長を以下に述べる。

(1)　電話回線（ノーリンギング通信）

新規敷設が不要で低コストで導入可能なことから，大口需要家の自動検針用として広く利用されている方式である。需要家の既設の電話回線を使用し，ベルを鳴らさず通信を行う方式のため，ノーリンギング通信と呼ばれる。日本電信電話株式会社（NTT）の需要家側交換機の特定の電話番号にダイヤルした後，再度需要家の電話にダイヤルすることにより，この通信が可能となる。ただし，需要家がISDN（Integrated Services Digital Network）やADSL（Asymmetric Digital Subscriber Line）に契約変更を行うと，通信不可となる場合もある。

(2)　専用通信線

専用通信線を広く敷設している電力会社で採用されている方式である。各通信端末は，支店または営業所に設置された伝送装置にマルチドロップ方式で接続されるため，一斉指令に適する反面，端末からの発呼を考慮した場合は信号の衝突の回避が必要となり，通信端末側でランダム応答をするなどの対応がなされている。

(3)　光回線

電力会社で広く敷設した，光ケーブルを利用する方式である。自動検針用通信端末に固有アドレスを割り振り，自動検針用親局から直接，検針データを収集する。需要家の構内に引き込む光ケーブルの敷設コストは必要であるが，回線の使用料金がかからないこと，外部システムから侵入できないため，セキュリティに有利であるなどのメリットがある。

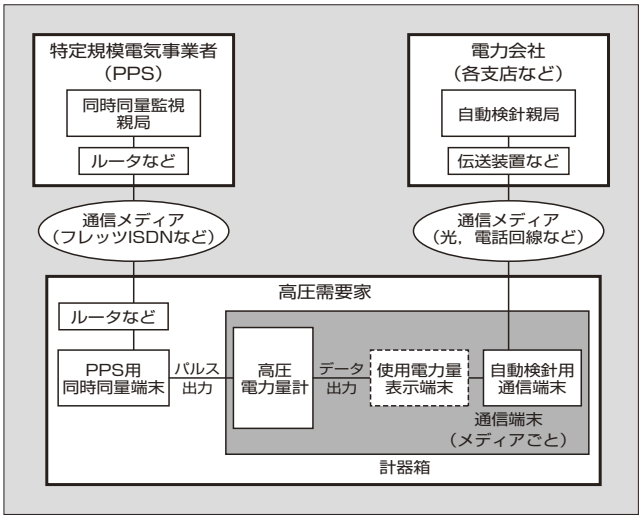
(4)　携帯電話

携帯電話事業者のパケット通信方式を用いて通信を行う方式である。自動検針用通信端末に携帯電話用の通信モジュールを取り付け，自動検針用親局から電話番号または

表1　自動検針システムの目的と機能

対　象	事業者	目　的	主な機能
大口需要家 高圧需要家	電力会社	○同時同量監視 ○検針業務の効率化	○30分値収集 ○検針（1回/月） ○各種設定・確認
	特定規模電気事業者	○同時同量監視	○5分値収集 ○30分値収集
低圧需要家	電力会社	○検針困難地域対応（山間部，オートロックマンションなど） ○遠隔異動処理	○検針（1回/月） ○引込口の停止・停解

図3　大口・高圧需要家向け自動検針システムの構成



IP（Internet Protocol）アドレスを指定することにより通信を行う。通信維持費（月額基本料金，通信料金）はかかるが，通信メディアの敷設が必要なく，手軽に導入できるのがメリットである。電力量計の設置場所によっては，電波が届かない場合もあるが，延長アンテナで対応する。

2.4　自動検針以外の対応

(1)　現地での検針作業の省力化

通信メディアが敷設されていない需要家のデータ回収や，需要家の面前で行うことが望ましい需給パターン設定作業については，自動検針以外の対応もとられており，以下に紹介する。

①　携帯情報端末方式

計器用設定，回収プログラムを実装した携帯情報端末を需要家に持参し，電力量計の通信端子とインタフェース装置経由で有線で接続し，需給パターンの設定，30分値のデータ回収などを行う。設定・収集したデータは電力会社に持ち帰り，簡単にパソコンとの連携が可能である。

②　パソコン方式

計器用設定，回収プログラムを実装した小型のノートパソコンを需要家に持参し，上記と同様の作業を行う。パソコン上で設定・収集したデータをすべて確認できるメリットがある。

図4に画面例を示す。

(2)　遠隔検針

検針業務においては，ある程度近くまでは行けるが障害物があったり危険が伴い電力量計の設置箇所まで行きづらい場合，キュービクルの開閉など作業時間がかかる場合などがあり，これを改善するために検討されているのが遠隔検針である。無線方式の自動検針用通信端末を設置し，ハンディターミナルなどでデータを収集する。最近の無線技術の進歩により，特定小電力無線，ブルートゥース，無線LAN（Local Area Network），ジグビーなどいろいろな規格が広まり，チップの低コスト化が見られる。現在，導入事例は少ないが，今後広まっていくものと思われる。

3　新型電力量計

3.1　高圧用電力量計

2005年4月にすべての高圧需要家まで電力小売自由化の対象範囲が拡大したことに伴い，国内の電力会社10社は自由化に対応できる高圧用電力量計の導入を進めており，富士電機はそれに対し，次のような開発を行っている。

(1)　高圧一体型計器

電力量計1台で多様な電力会社の料金メニューと自由化への対応が可能である。主な仕様を**表2**に示す。

電力会社により仕様の細部は異なるが，自由化対応として必要な機能である30分値の記憶・表示機能は共通である。自動検針機能としては，現在主流である2線式カレントループ方式により自動検針用通信端末などとデータ通信を行うことができる。

外観上は大きく分けて2種類の仕様がある。外観と各部の名称を**図5**に示す。

表示部は1枚の液晶パネルを使用して各種の電力量データを自動的にサイクリック表示する。端子部には需要家に電力量に比例したパルスを提供するためのサービス用パ

表2　高圧一体型計器の仕様

項　目	仕　様
階　級	特別精密級，精密級，普通級
乗　率	合成変成比倍，合成変成比の1/10倍，10の整数べき倍
電気方式	三相3線式
定格電圧	110V
定格電流	5A
定格周波数	50Hzまたは60Hz
計器定数	1,000パルス/kWs，1,000パルス/kvars
計量項目	全日電力量，時間帯別電力量，力率測定用電力量，最大需要電力，時間帯別最大需要電力，全日無効電力量（遅れ・進み），力率測定用無効電力量（遅れ・進み）
サービスパルス	50,000パルス/kWh，2,000パルス/kWh（※）
通　信	2線式カレントループ，RS-232C（※）
計量値記憶	30分値44日分

（※：電力会社により仕様は異なる。）

図4　パソコン方式設定用ソフトウェア画面例

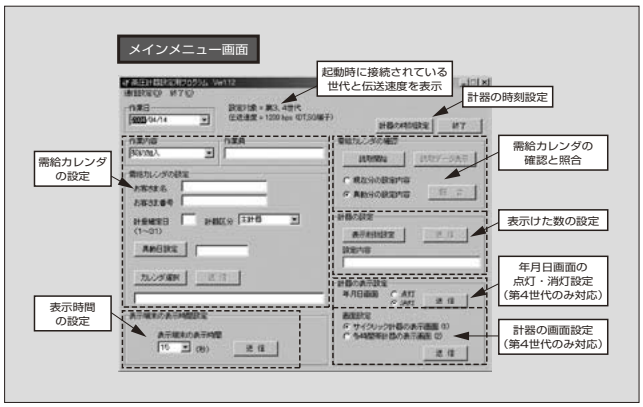


図5　高圧一体型計器の外観と各部の名称

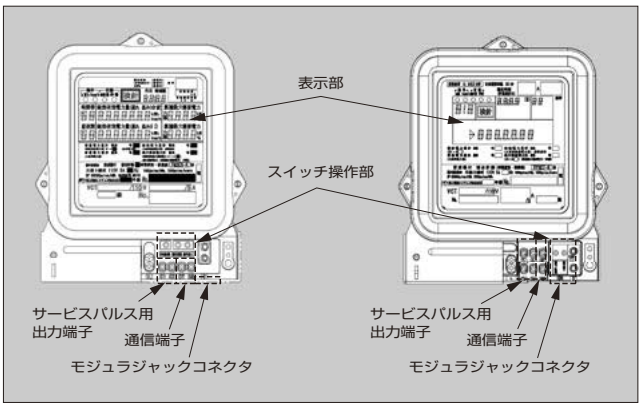
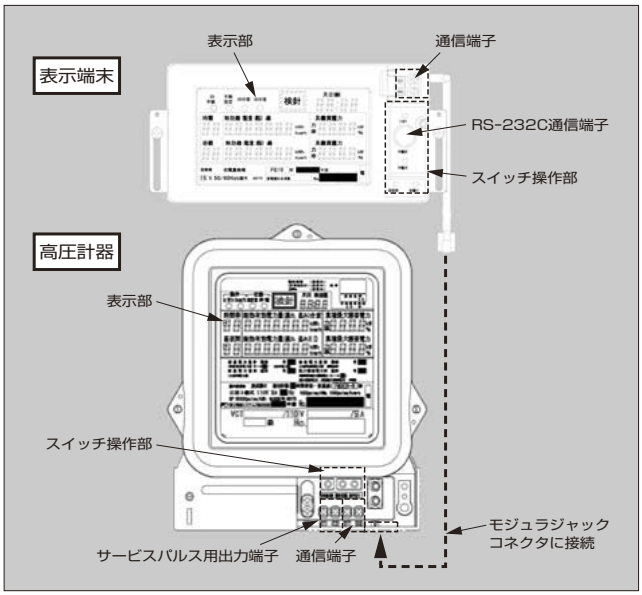


表3　高圧計器と表示端末の仕様

項　目	仕　様	
	高圧計器	表示端末
階　級	特別精密級，精密級，普通級	—
乗　率	合成変成比倍，合成変成比の1/10倍，10の整数べき倍	—
電気方式	三相3線式	—
定格電圧	110V	15V
定格電流	5A	—
定格周波数	50Hzまたは60Hz	
計器定数	1,000パルス/kWs, 1,000パルス/kvars	—
計量項目	全日電力量，力率測定用電力量，最大需要電力，全日無効電力量（遅れ・進み），力率測定用無効電力量（遅れ・進み）	時間帯別電力量， 力率測定用電力量， 時間帯別最大需要電力， 力率測定用無効電力量（遅れ・進み）
サービスパルス	50,000パルス/kWh	—
通　信	2線式カレントループ	2線式カレントループ，RS-232C
計量値記録	30分値44日分	30分値44日分

図6　高圧計器と表示端末の外観および各部の名称



ルス出力端子と通信端子，また過去の30分値データを画面で表示させるために操作スイッチを接続するモジュラジャックコネクタを備えている。

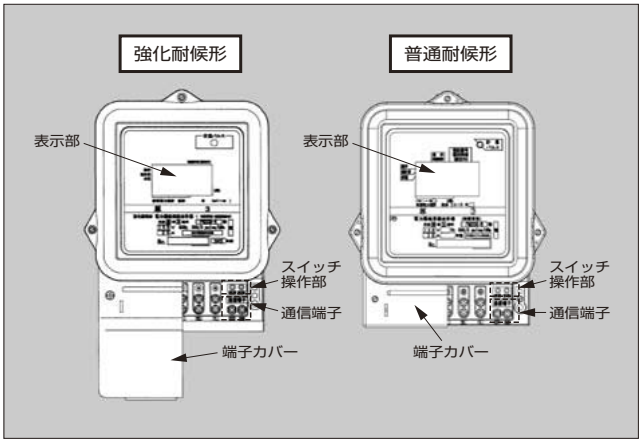
(2)　高圧計器と表示端末の分離型

高圧計器では全日電力量，需要電力などの計量と記憶を行い，高圧計器のデータを表示端末が通信により読み取り，多様な料金メニューと自由化対応のためのデータ加工と表示を表示端末で行う方式である。2000年3月の部分自由化導入当初はこの方式が主流であった。現在は，先に紹介した高圧一体型計器の検定時間帯数を超えて時間帯別計量をする場合に表示端末を追加して超過分を含めた時間帯別計量値を表示するなど，補助的な役割として使用されている。主な仕様を**表3**に，外観と各部の名称を**図6**に示す。

表4　低圧用計器の仕様

項　目	仕　様			
電気方式	単相2線式	単相3線式	三相3線式	
定格電圧	100V，200V	100V	200V	110V
定格電流	30A，120A，5A	30A，120A，5A	30A，120A	5A
定格周波数	50Hzまたは60Hz			
計量項目	全日電力量または時間帯別電力量			
耐候性能	強化耐候形または普通耐候形			
通　信	2線式カレントループ			
計量値記憶	30分ごとに計量データを記憶			

図7　低圧用計器の外観と各部の名称



3.2　低圧用電力量計

低圧需要家への自由化拡大は2007年から検討が開始される。このため，現時点で低圧用電力量計に必要となる自由化対応の機能は明確でないが，国内の電力会社の多くは高圧用と同等の機能を盛り込んだ低圧用電力量計の導入を進めている。主な仕様を**表4**に示す。

高圧用と同様に，電力会社により仕様の細部は異なるが時間帯別電力量の計量を基本機能として持つことは共通であり，30分値についても記憶方法，日数などに違いがあるものの記憶可能である。また，自動検針の機能も高圧用と同様に2線式カレントループ方式による通信機能を備えている。低圧用計器の外観と各部の名称を**図7**に示す。

4　あとがき

電気料金取引用の電力量計とその計量データを処理する自動検針システムの現状について概要を紹介した。電力小売自由化などの環境変化による要求と技術進歩により多機能化が進み，運用面の効率化や製品コスト低減などの要求から自動検針システムによる計量データ処理範囲の拡大などの検討も進んでいる。電気事業者と需要家の間の適正な計量を担保することを前提として，計量法の制約の範囲で，国際規格との整合や技術進歩に即した法規制の変化，運用面の要求変化に対応した製品開発を行っていく所存である。

分散型エネルギーシステムを支える技術

伊原木 永二朗（いばらぎ　えいじろう）　鈴木　智宏（すずき　ともひろ）　仁井　真介（にい　しんすけ）

1　まえがき

世界的な環境問題への意識の高まりを受け，再生エネルギーや自然エネルギーの利用が促進されているが，一般にこれらの電源は発電コストが高く，また発電量が自然条件に影響されやすいなど安定性の面での課題もあり，既存の系統に電力品質をある程度維持しながら連系するには容量の限界がある。

一方，日本における電力品質は世界中で最も高い部類に属するが，コストも高いと言われており，国際社会で競争するグローバル企業などを中心にした海外進出（国内産業の空洞化）の一因ともなっている。このような背景から消費財としての電力にも市場経済の原理を適用すべく自由化が進められてきており，一定の成果をあげてきている。

市場原理を有効に活用しつつ，環境問題に対応する手段の一つとして，分散型エネルギーシステムが提案されている。分散型エネルギーシステムは，新エネルギー発電を含む分散型電源，需要家（負荷），エネルギー貯蔵装置，監視制御装置などで構成される。エネルギーの需給バランス調整を行うことで，安定したエネルギー供給の実現を図るものである。

本稿では，分散型エネルギーシステムの動向と富士電機の取組みについて紹介する。

2　分散型エネルギーシステムに関する各種構想

日本では電力の信頼性や品質が高いことを前提として，社会インフラストラクチャー（インフラ）が整備されてきたが，特に最近の電子通信技術の進歩や情報化社会の到来で停電時における生活，セキュリティ面での影響は従来に比べて格段に大きく，信頼性と品質が高いことはますます重要となっている。一方，前章で述べたように環境問題への対応と電力事業への市場原理の導入は社会的要請として積極的に促進されており，電力品質を維持したまま，環境に優しく，低コストの電力供給が求められるようになってきている。このような社会的要請は，世界各国で共通しており，世界各地でこれを解決すべく種々の試みが行われている。

バーチャルパワープラントは，法令で設置が義務づけられている工場や病院の非常用発電機を有効に利用するため，通信ネットワーク経由で一括管理および制御するシステムで，需要の多い時期などにこれらの非常用発電機を運転して電力を自給するとともに，余剰があればそれを売電して需要家の維持費の負担を軽減し，さらに地域系統の安定化に寄与するようにしたプラントで，米国ではソフトウェア会社が新たなビジネスモデルとして事業化を行っている。

パワーパークは限定された地域で電力を品質別に供給する試みで，負荷の必要性により電力品質を変えて供給するシステムである。このシステムは現状の配電系統に比較的容量の大きな分散型発電設備を併設し，さらに電力品質のコントロールセンターを経由して品質別に値段の異なる電力に改質して供給するものである。

FRIENDS（Flexible Reliable and Intelligent Elecrtical eNergy Delivery System：高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム）は，規制緩和後のさまざまな要求に応え得る新しい電気エネルギー流通システムの一形態として日本で研究されているものである。FRIENDS の目的は，多くの分散型電源や電力貯蔵装置を利用して高信頼度電力供給や省エネルギーを実現し，また，高機能な情報ネットワークを駆使して，高度な需要家サービスを実現することにある。FRIENDS では配電用変電所と需要家との間に電力品質を管理する「電力改質センター（QCC：Quality Control Center）」を設置することにより，多様な品質の電力を供給する。また，電力供給者と需要家との間の強力な情報・通信ネットワークを使用し，電力供給に関する情報伝送や顧客への電力情報提供だけでなく，さまざまな多目的情報・通信サービスを提供する（**図 1**）。

マイクログリッドは複数の需要家が存在する特定の地域に，コージェネレーションや太陽光発電，風力発電などの分散型電源を設置して電力を自給するオンサイト型電力供給システムである。自営線などにより小規模電力系統を構築し，電力系統とは 1，2 点で連系する。グリッド内の需

伊原木 永二朗

電力用機器，送配電系統の保護制御システムの研究開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社技術開発室担当部長。電気学会会員，IEEE 会員。

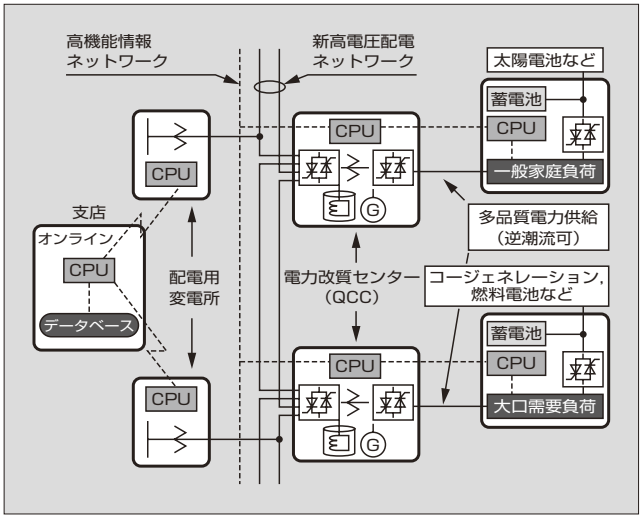
鈴木　智宏

分散型エネルギーシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部 EM システム一部担当部長。電気学会会員。

仁井　真介

分散型エネルギーシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社 e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部 EM システム一部担当課長。電気学会会員。

図1　FRIENDSの概念図



給バランスを制御することで連系潮流を安定化させ，自立運転と連系運転との切換を容易にする。既存の電力系統と連系して非常時の電力供給を受ける形態や，複数のマイクログリッドを連系して負荷や電源の平準化を行うことでマイクログリッドの安定的な運用を図るシステムなどが提唱されている。

このような分散型エネルギーシステムの研究は，日本では独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO技術開発機構）が中心になって研究を進めており，集中連系型太陽光発電システム実証研究，新エネルギー等地域集中実証研究，新電力ネットワークシステム実証研究などが実施されている。

3　分散型エネルギーシステムの技術課題

表1に分散型エネルギーシステムを構築する場合の主な技術的課題をまとめる。ネットワークを構成する機器固有の課題，ネットワークを構成するための課題，および系統に連系する場合の課題に分けられる。また，そのおのおのについて定常時と緊急時に分けられる。

機器固有の課題としては，負荷追従性能，効率，耐久性の向上などがある。また，緊急時の問題としては過渡的な状況に対して機器の運転維持能力を向上させることが課題である。

システム構築においては，計画手法，システムの監視方法および制御・保護方法が課題となる。その中で計画については，最適な電源の種類と容量の組合せ手法や電力貯蔵装置仕様決定方法，各機器の系統上の配置手法などが課題である。システムの監視については，定常時と緊急時のおのおのの監視項目，要求精度，データサンプリング周期と，それらを実現するための通信方法を含めたシステムの構築が課題である。保護・制御に関しては，新エネルギー発電による不安定な出力を安定化させる技術やネットワーク内の需給バランスを保つ制御技術が課題である。

系統連系に関しては，系統からどの程度の電力融通を受

表1　分散型エネルギーシステム構築における技術課題

区分	系統連系	システム			機器
		計　画	計　測	保護・制御	
定常時	アンシラリーサービス 単独運転検出	電源（容量・種別・組合せ） 電力貯蔵装置（容量・種類・設置箇所） 連系点	定時計測（項目，精度，サンプリング時間）	需給バランス制御 出力安定化制御	応答速度 効率 耐久性
緊急時	緊急融通	バックアップ電源 DSM	波形計測（記録時間，精度，サンプリング時間）	緊急制御 リレー保護方式	運転可能範囲

けるか，緊急時の電力補給をどのように確保するかが検討課題となる。ネットワークの信頼性や緊急時のシステムの運用方法により，系統から受けるサービスの内容が変わってくるが，経済性を加味したシステム構築の手法が課題となる。

本稿では，分散型エネルギーシステムを構築する技術のうち，**表1**の網かけ部に関係するネットワークの計測・情報処理技術，同時同量制御技術，安定化対策技術および計量システムについて述べる。また，配線系統に分散型エネルギーシステムが接続される場合，配電系統の電力品質管理が問題になることが予想されるが，その対応策の一つとして，広域電力品質計測システム〔広域PQ（Power Quality）計測システム〕を紹介する。

4　富士電機の分散型エネルギーシステム技術

4.1　計測・情報処理技術

図2に同時同量システム構成例を示す。現場に計測・制御端末を設置し，ネットワークで監視制御センターと接続する。監視センターではデータ収集サーバにより各端末の情報を収集し，監視制御パソコンで負荷予測，最適運転計画，需給制御などを行う。計測・制御端末の外観を**図3**に示す。

計測・制御端末は多機能かつ低価格であり，以下の特徴を有している。

(1)　各チャネル単位に電圧・電流を切り換えての設定が可能（ユニバーサル入力）
(2)　電気量，熱，気象情報など各種物理量の状況を1台でモニタリングが可能
(3)　TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）接続によるパソコンとのアナログ，ディジタル入出力制御信号の受渡しが可能
(4)　デマンド監視・警報機能
(5)　計測値のしきい値オーバーや外部トリガによる瞬時波形記録
(6)　GPS（Global Positioning System）時刻同期により多点同時計測が可能
(7)　各種通信インタフェースを装備

同時同量システムにおける計測情報は，後述の5分同時

図２　同時同量システムの構成例

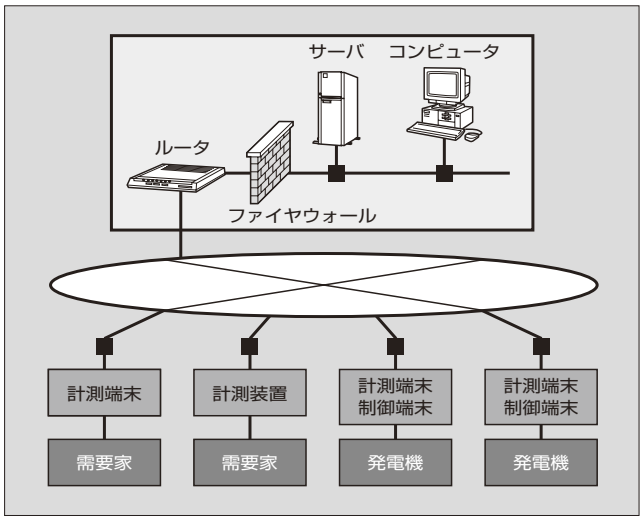
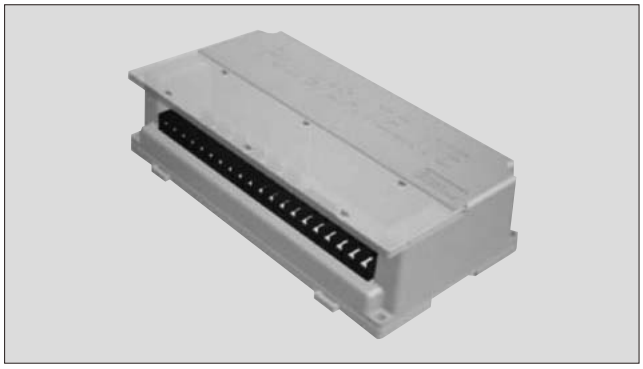


図３　計測・制御端末の外観



同量制御を実現するために使用されるほか，翌日負荷予測，および最適運転計画のためのデータとしても使用される。

同時同量システムにおいては，計測装置で実効値に変換されたデータがセンターへ一定時間間隔で伝送される。電圧，電流，有効電力，無効電力などの計測データと翌日需要予測のための気象条件を計測すれば需給バランス調整の目的は達成できるが，分散型エネルギーシステムにおいては電力品質の低下を防止するために通常の電力監視以外に，電力品質確認のためのデータの計測が必要である。**表２**に分散型エネルギーシステムの計測項目（例）を示す。また定時計測データだけでなく，事故時の原因究明と一般電気事業者との責任分界点の明確化のために，瞬時値（過渡変動）計測も必要である。計測・制御端末は，大容量メモリの搭載による波形記録機能とGPS時刻同期による多地点同時計測機能により，事故現象の把握と事故点の特定ができるので，このような用途にも適用可能である。

データは，通常１分周期でサーバに収集されるが，自然エネルギー発電を含む分散型エネルギーシステムで要求される短時間同時同量制御においては，１分周期という短周期データ収集が必須である。

現場端末と監視制御システム間のデータ伝送は，光ファイバ網などによる専用LAN（Local Area Network）を利用する場合と広域通信ネットワークを利用する場合がある。

表２　分散型エネルギーシステムにおける計測項目（例）

計測項目		種　別	計測点		目　的		
			各負荷点・発電点	受電点・線路	予測最適化	同時同量制御	電力品質
有効電力	P		◎	◎	◎	◎	◎
無効電力	Q		◎	◎	◎		◎
電　圧	V	三相実効値	◎	◎	◎	◎	◎
	v	瞬時値	○	○			○
電　流	I	三相実効値	◎	◎	◎	◎	◎
	i	瞬時値	○	○			○
周波数	f		◎	◎			◎
高調波電圧	$V_{(nf)}$	（含有率）	◎	◎			◎
フリッカ	ΔV_{10}	10Hzデータ	◎	◎			◎
熱流量			◎		◎		◎
熱温度			◎		◎		◎
気　温			◎		◎		
日射量			◎		◎		
風　力			◎		◎		

◎：常時データ　○：一時的データ

専用LANは信頼性やセキュリティが高く，高速な通信が実現できるが，建設費や維持費などの費用がかかるのが難点であり，マイクログリッドにおいて経済的に見合うかどうかが課題である。

広域通信ネットワークを利用する場合は，ダイヤルアップ，携帯電話などの移動通信，あるいは，インターネット常時接続サービスであるADSL（Asymmetric Digital Subscriber Line），ISDN（Integrated Services Digital Network），FTTH（Fiber To The Home）など公衆回線網を利用した種々のサービスがある。一般にこのようなサービスでは，セキュリティや通信速度を上げるとコストが大きくなるので，通信仕様に対するコストを比較検討して目的に合った通信方法を選定する必要がある。

4.2　安定化制御技術

分散型エネルギーシステムは，地域あるいは需要地において，需要と供給のバランスをできるだけ保つための同時同量制御や，電力貯蔵装置を利用して新エネルギーの出力を安定化させる制御により，系統に対して影響の少ないシステムを構築する必要がある。

4.2.1　同時同量制御技術

同時同量制御は，一定時間内における発電電力量と消費電力量とを等しくする制御である。PPS（Power Producer and Supplier）事業者により行われる30分同時同量制御は，安定出力電源を所有するPPS事業者が電力供給契約を遵守することを目的としたものである。これに対し，分散電源ネットワークにおける同時同量は，非安定出力分散型電源による既存電気事業者電源への影響を回避することが目的である。そのため，PPSの同時同量に比べるとより短い時間での同時同量制御が必要であり，精度

の高い予測や最適化の技術が必要となる（**図 4**）。

最適運転計画では，変動電源である太陽光・風力発電などの自然エネルギー発電設備に，出力調整可能なコージェネレーション，蓄電池，蒸気ボイラ，蓄熱槽などの電力・熱供給設備，および外部購入電力を最適に組み合わせ，電熱需給バランスを満足しつつ最適な運用プランを計算する。具体的には，まず，電熱需給バランスを設定するために，構造化ニューラルネット，カルマンフィルタなどの予測手法を用いて，過去の実績値や気象予報から，設定した時間間隔（30 分ごとなど）での電力負荷予測，熱負荷予測，太陽光・風力発電電力予測を行う。次に，電熱予測から計算された需給バランスと各設備の運転制約・出力余裕・負荷変動電力対応料金を考慮しながら，運転費用や二酸化炭素（CO_2）排出量などの評価指標（目的関数）を最小化するような運転状態や発電出力，熱供給量，蓄電・蓄熱量，外部電力の購入量を決定する。

需給制御機能では，最適運転計画で設定されたコスト最小運転則に基づき発電機の運転・停止，出力配分を行うとともに，カルマンフィルタなどの逐次予測平滑化アルゴリズムを用いて，同時同量を達成するようにオンライン制御を行う。

4.2.2　自然エネルギー発電出力安定化対策技術

太陽光，風力などの自然エネルギー利用発電は，出力変動が大きいため，これらの分散電源の出力変動を抑制する技術が重要となる。特に電力貯蔵装置を用いて，分散電源側の出力変動を抑制する技術は，発電側制御のみならず，今後マイクログリッドの系統連系点の安定化にも展開できる技術となる。富士電機では，フライホイール，二次電池などの電力貯蔵装置を用いた発電出力の安定化技術を開発し，自然エネルギーの活用に努めている。

これまで，離島や系統末端などの脆弱（ぜいじゃく）な系統に対して，風力発電設備の設置を可能とするために，風力変動などに伴う有効電力変動を吸収する「電力安定化装置」を製作している。隠岐の島では，世界初の「超高速フライホイール電力安定化装置を併設した風力発電システム」を製作し，島根県と富士電機は財団法人新エネルギー財団会長賞を受賞している。

電力貯蔵装置などの電力安定化における技術課題として，

(1)　貯蔵容量の決定

(2)　安定化する出力変動周期の決定

(3)　効果分析方法

などが挙げられる。

電力貯蔵装置を利用して系統連系点の出力電力変動を安定化する場合，さまざまな変動周期が含まれた風力の変動に対し，抑制したい対象変動周期成分を抽出し，その変動分の逆位相を電力貯蔵で補完する。この際，限られた貯蔵容量の中で充放電を繰り返すことになり，その可能容量を超えないように，また超えた場合には，系統にショックを与えないように適切な制限を加える必要がある。充放電可能容量を考慮した電力貯蔵による平滑化制御として，充放電指令の出力制限，出力変動抽出部におけるフィルタ時定数制御などを採用している（**図 5**）。

風力発電機出力変動の実測データに対し，電力貯蔵装置の出力変動抽出部のフィルタ時定数制御（可変平滑化時定

図 4　予測機能・最適化制御機能

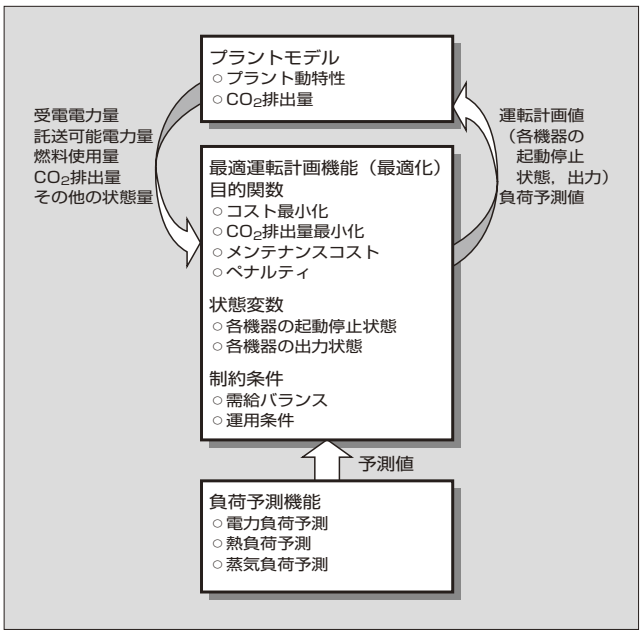


図 5　充放電可能容量を考慮した平滑化制御

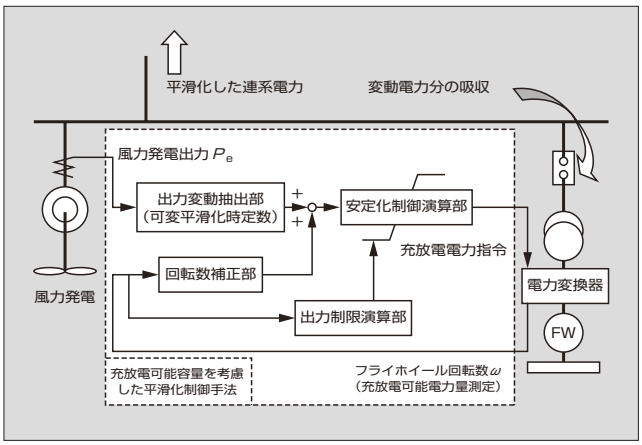
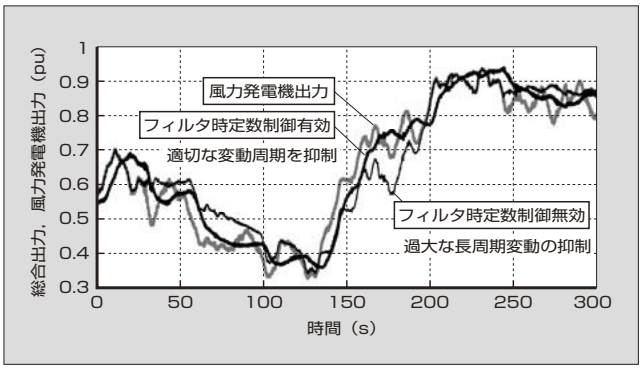


図 6　電力貯蔵装置のフィルタ制御効果有無の比較



数）の効果を比較した結果を**図 6** に示す。フィルタ時定数制御を無効とした場合，過大な長周期変動を抑制しようとして，貯蔵容量を超えてしまい，結果として全体の風力変動の抑制が達成できないことが示されている。

また，実地試験では，それらの制御設計の効果として，

(1)　最大出力変動幅の縮小率
(2)　パワースペクトル密度比
(3)　変動幅分布（変動量のその発生頻度）
(4)　出力変動速度（変化率）

などを指標として評価している。

4.3　計量システム

分散型エネルギーシステムにおいては，内部で需給されるエネルギーの計量・課金業務を公正に，かつ合理的に実施する必要がある。

分散型エネルギーシステム内では，電力や熱エネルギーの計量のほかに，天然ガスや水素などの燃料の計量，バックアップ電力調達や自己託送電力計量など多種の計量を行わなければならない。さらに，課金にあたっては地域の環境活動に対応したインセンティブの付与やエコマネーとの連動も今後必要になってくるであろう。

表 3 に分散型エネルギーシステムにおける計量項目の概要を示す。

分散型エネルギーシステムにおける計量・課金業務を公正かつ効率的に実施するうえで，計量システムの構築は必須な手段である。**図 7** に計量システムの概要を示す。端末装置で各メータのサービスパルスを検出し，通信インフラを介してセンター装置で遠隔検針を行うことにより検針業務の合理化も併せて実現可能である。

図 8 に需要家側に設置する計量端末の例を示す。端末装

表 3　分散型エネルギーシステム計量項目例

分　類	項　目		計量項目	備　考
課　金	電気	販売電力	電力量，電力，無効電力	需要家への課金
		発電電力	電力量	
		売電電力	電力量	余剰分の売電
	熱	蒸気	温度，圧力，流量	
		温水	温度，流量	
		冷水	温度，流量	
調　達	燃料	ガス	流量，（圧力）	
		重油，軽油	質量	
		水素	流量，圧力	
流　通	電力託送		電力量	30分値
その他	省エネルギー評価		電力量，CO_2換算	
	環境計測		大気，水質，土壌	
	廃棄物計量		種類，容積	
	各種サービス		利用回数，時間など	付加価値サービス

図 7　計量システムの概要

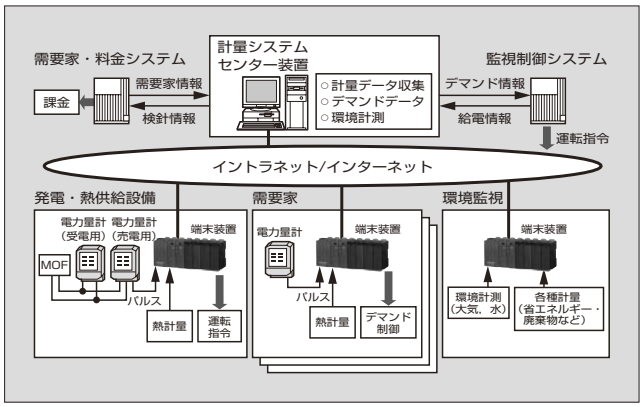


図 8　計量端末の外観

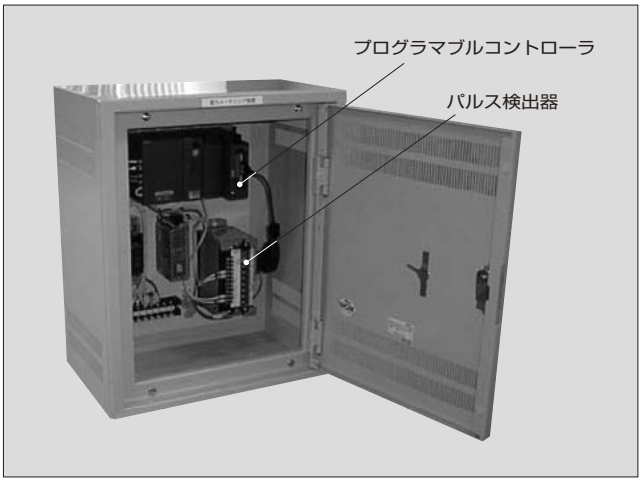
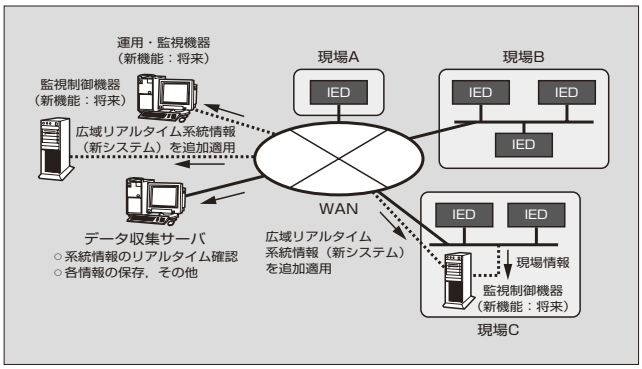


表 4　広域電力品質計測システムの機能ならびに目的

項　目	機　能	目　的	備　考
状況把握	事故波及範囲調査	系統事故時の電圧低下などの波及範囲の特定 障害発生時の障害発生源（責任）の明確化	瞬時電圧低下，電圧不平衡，数次～20次程度の高調波計測
安定度監視	系統電圧・周波数などのトレンド監視	系統周波数・電圧などを監視し，分散型電源・マイクログリッド系統を含めた発電システムの安定度低下予兆を検出し，必要な対抗策を講じるトリガとする。	（将来）
最適運用	系統潮流モニタ（V，Q，位相差など）	系統潮流状態，負荷状態をリアルタイムに計測し，最適運転・需要予測に使用する。	既存システムの安価なバックアップ手段
事故復旧	系統事故時の機器動作監視	系統事故時のリアルタイムの電圧電流状態および（テレコンなどからの）機器情報から，事故区間（事故点）標定，保護システムの振舞いを迅速に把握し，適切な系統復旧が行われたかをリアルタイムに遠隔監視する（系統操作のヒューマンエラーバックアップも兼ねる）。	
設備保守	機器異常・寿命などの監視	機器の漏れ電流トレンドなどをリアルタイム監視することで，機器の異常・機能低下を監視し，設備の状態監視・保守（計画あるいは保安の省力化）・設備更新計画を行う。	

図9　広域電力品質計測システムの概要



置のプログラマブルコントローラにより，デマンド制御やオフピーク運用などの自律制御も可能となる。

4.4　広域電力品質計測システム

分散電源の導入には利点もあるが，分散電源の系統連系による電力品質低下の懸念もある。これに適切に対応する技術の確立が今後の重要なテーマである。特に需要家側における発電事業者の存在は，障害発生源の特定と責任の明確化を難しくするため，系統状態を常時監視し，情報を記録しておく必要がある。広域電力品質計測システム（広域PQ計測システム）は，系統広域・多地点に分散配置された計測端末（IED：Intelligent Electrical Device）により，系統情報をリアルタイムに収集するシステムを実現し，系統運用における諸問題のソリューションを図るものである。**表4**に広域PQ計測システムの機能ならびに目的を示す。また，**図9**にシステム構成の概要を示す。

広域PQ計測システムは，現場のIEDと通信回線ならびにデータ収集サーバにより構成されている。将来的には，広域PQ計測システムの情報を用いて監視制御する機能を追加することも可能である。計測対象である現場設備に，データ収集用のIEDを設置し，データ収集サーバによりIED基本データとして，各相V・各相I・V_0・I_0ベクトル値（大きさ・位相）計8チャネル（IED 1台）を電力通信網やWAN（Wide Area Network）経由で収集し分析する。収集は100 msサンプリングによりリアルタイムに行われ，各IEDは，GPSアンテナを使用し，±10 μs精度で同期計測が可能である。

5　分散型エネルギーシステムの事例

分散型エネルギーシステムの事例として，「京都エコエネルギープロジェクト（KEEP）」を取り上げる。「新エネルギー等地域集中実証研究」はNEDO技術開発機構による委託事業であり，変動電源である風力発電および太陽光発電とそのほかの新エネルギーなどを適正に組み合わせ，これらを制御するシステムを構築する。この実証研究地域内で安定した電力・熱供給を行うと同時に，連系する電力系統へ極力影響を与えず，かつコスト的にも適正な「新エネルギーによる分散型エネルギー供給システム」を構築し，供給電力などの品質，コスト，その他のデータを収集・分析を実施する。電力の供給形態の違いにより三つのプロジェクトを実施している[(4)]が，その中の一つがKEEPである。KEEPは，京都府北部の丹後半島中央部に位置する京丹後市で行われ，参加事業者は，富士電機，京都府，京丹後市，アミタ株式会社，株式会社大林組，日新電機株式会社，株式会社野村総合研究所の7事業者である。富士電機は同時同量システムの構築，研究統括などを担当している。

この実証研究では，導入する風力発電，太陽光発電やバイオガス発電（ガスエンジン式発電装置と燃料電池），二次電池のエネルギー供給設備と選択された既設需要家との間で一般電気事業者の電力網を介した「仮想マイクログリッド」を形成する。その中で同時同量システムを構築し，電力品質などを検証することが重要な課題である。

この実証研究で解決すべき研究課題は次のとおりである。

(1)　自然エネルギー発電に起因する電力変動と時々刻々と変動する負荷変動に対し，導入されるエネルギー供給設備による需給バランスの確保

(2)　特性の異なる新エネルギー設備（分散型電源）を組み合わせた需給制御実施時での安定な電力および熱の供給

(3)　電力品質の評価項目（停電，電圧変動，周波数変動など）において，一般電気事業者と同程度の電力品質の確保

(4)　風力発電，太陽光発電，バイオガス発電の各施設における必要費用（初期投資費用，ランニング費用，その他）の整理・分析による，システム全体としての経済性の分析

この実証研究の発電施設および需要家を含む実証研究の全体概要を**図10**，導入設備一覧を**表5**に示す。

富士電機が担当する制御センターでは，風力発電や太陽光発電などの電力変動と時々刻々と変動する負荷変動を，バイオガス発電や二次電池の出力制御により吸収して同時同量を達成する。

システムとしては，各需要家の負荷電力と自然エネルギー発電電力をオンラインで計測するための計測装置を各設備に設置する。その計測データを汎用公衆回線（ADSL，ISDN）を介してバイオガス発電所内の制御センターに収集し，バイオガス発電所内の燃料電池（一定運転），ガスエンジン式発電装置（台数制御および出力設定値制御），および二次電池（短周期の発電および負荷変動吸収制御）の組合せにより，同時同量制御を実施する。

制御目標は系統への影響度を低減するために，5分同時同量の実現であり，2005年度末には5分8%を，その後の高精度化で2007年度末には5分3%を目指す。

また，バイオガス発電施設は食品工場残査を原料とし，発生したバイオガスはガスエンジン式発電装置および燃料電池に供給される。燃料電池はベース電源として一定量で発電し，需要量に合わせた発電量調整はガスエンジン式発電装置の台数制御運転により行う。また，単独運転検出装置を設置して，電力会社へ売電できる仕様（逆潮流ありの

図10　京都エコエネルギープロジェクトの全体概要

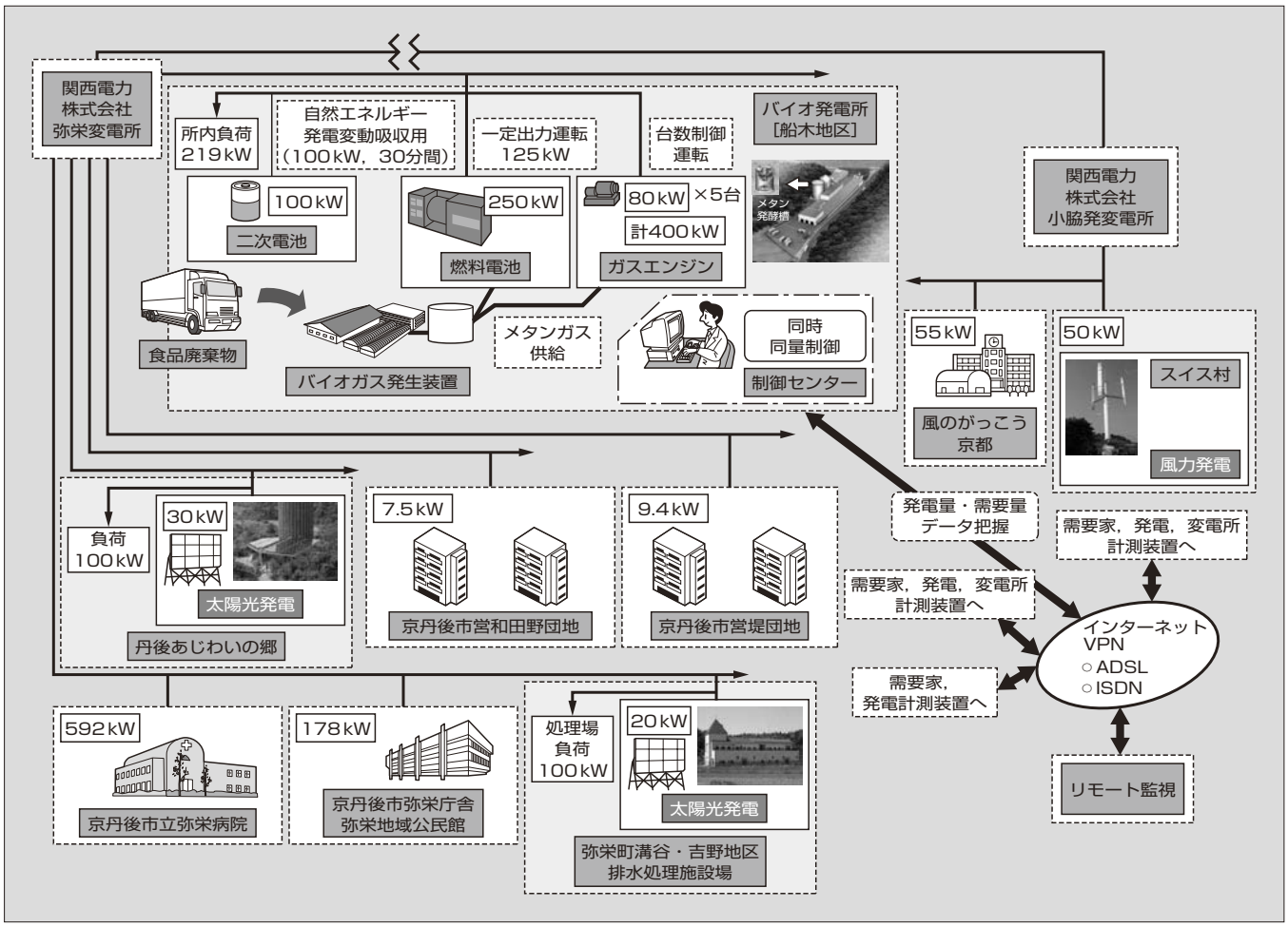


表5　京都エコエネルギープロジェクトの導入設備一覧

導入場所	機　器	発電出力（kW）	熱出力（MJ/h）
バイオガス発電所	バイオガス発生設備	—	—
	ガスエンジン式発電装置	80×5	2,243（最大）
	燃料電池	250	308（最大）
	二次電池（鉛蓄電池＋双方向インバータ）	100	—
	計測装置	—	—
制御センター（バイオガス発電所内）	サーバ	—	—
	パソコン	—	—
	その他ファイアウォールなど	—	—
スイス村（太鼓山）	風力発電装置（直線翼垂直軸型風車）	50	—
	計測装置	—	—
丹後あじわいの郷	太陽光発電装置（ハイブリッド）	30	—
	計測装置	—	—
溝谷・吉野地区排水処理施設	太陽光発電装置（多結晶）	20	—
	計測装置	—	—
各需要家	各需要家ごとに計測装置	—	—

系統連系方式）となっている。さらに発電装置から回収した温水は，メタン発酵槽の加温，管理室の給湯や暖房などに使用する予定である。

この実証研究ではバイオガス発電の安定・高効率発電のため，原料調査（品目，成分，性状，量，発生頻度など），原料サンプルのメタン発酵試験など，原料調達マネジメントに必要な調査・研究を実施している。

そのほか，異なる特性の太陽電池を採用した発電施設2か所，山岳地域特有の複雑な風力変動に対して，高効率で変換できる無指向性の風車「直線翼垂直水平軸型風車」を採用した風力発電施設を導入している。

現在，2005年12月の本格研究開始を目指して各設備を立ち上げている。新エネルギーなど発電施設の実機を使用して，地域的特性やシステム特性を踏まえた電力の安定供給を行うことができる同時同量システムの開発を行うとともに，電力供給システムの品質，実用性・汎用性，経済性の評価を行う。また，導入設備における熱利用などを通じて新エネルギーの普及に向けた成果を上げていきたいと考えている。

加えて，丹後地域での研究をきっかけとし，地域社会のよりよい発展のために，環境教育・環境学習の促進，地域経済の活性化・雇用創出，観光の振興，循環型社会の形成

などの観点からの検討も行う予定である。

6　あとがき

新エネルギー発電は，「エネルギーセキュリティの確保」および「地球温暖化対策」として期待されている反面，電力系統から見ると不安定で扱いにくい電源である。その欠点を補う手段の一つとして分散型エネルギーシステムが注目されている。

本稿では富士電機がかかわった分散型エネルギーシステムの一方式であるマイクログリッドを取り上げた。分散型エネルギーシステムは電力系統の新しい時代を開く可能性を持つが，技術的にはまだ多くの課題を抱えている。分散型エネルギーシステムの構築には，ここに述べた項目以外にも多くの技術が必要であり，それらの技術の集積によりシステムの構築が可能となる。富士電機では，今後とも分散型エネルギーシステムの実現を推進していく所存である。

参考文献

(1)　大山力ほか．高柔軟性・高信頼電気エネルギー流通システム（FRIENDS）．電気学会誌．vol.125, no.3, 2005, p.159–164.

(2)　奈良宏一，長谷川淳．新しい柔軟な電気エネルギー流通システム．電気学会誌．vol.117, no.1, 1997, p.47–53.

(3)　Lasseter, R. H. MicroGrids. IEEE Power Eng. Soc. Meet. 2002, Winter Meeting, vol.1, p.305–308.

(4)　高野浩二．新たな電力供給システムの実証プロジェクト–1．電気学会誌．vol.125, no.3, 2005, p.153–155.

アモルファスシリコン太陽電池の現状と開発動向

桜井　正博（さくらい　まさひろ）　　酒井　利明（さかい　としあき）

1　まえがき

1997年12月に京都で開催された「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」（COP3）において，地球温暖化防止に関する京都議定書が採択された。この議定書には2010年における先進国の温室効果ガス排出量削減について，各国ごとに数値目標値が定められた。2005年2月に京都議定書が発効し，二酸化炭素（CO_2）削減に向けた本格的な動きが始まろうとしており，今後，環境への負担が少ない新エネルギーの導入に向けた活動が活発になるものと思われる。

新エネルギーの中で太陽光発電システムは発電時にCO_2の排出がまったくない発電装置として，その普及に大きな期待が寄せられている。政府は，総合資源エネルギー調査会需給部会によって設定された2010年度の新エネルギー導入の見通し達成のために，

(1)　発電分野における措置（①公共分野への導入拡大，②低コスト化・高効率化を促進する技術開発など）

(2)　熱分野における措置（①自治体による新エネルギー導入の総合的計画策定，②バイオマスニッポン総合戦略の推進，③輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料の導入促進など）

などの施策を行い，新エネルギー導入の促進に努めている。

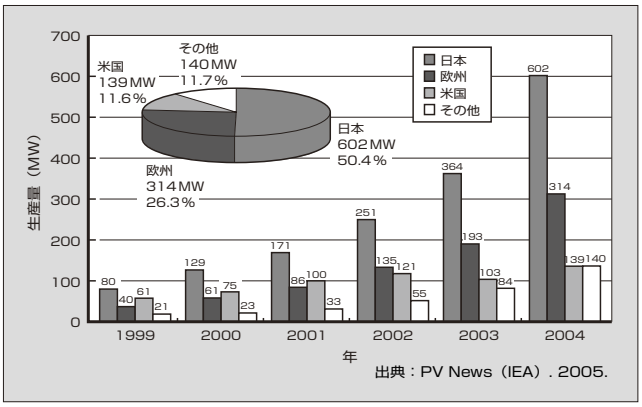
特に，太陽光発電においては2010年に482万kWの導入を目指し，各種補助事業（住宅用太陽光発電システム導入基盤整備事業，産業等用太陽光発電フィールドテスト事業など）や優遇措置により普及促進がなされてきている。また，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO技術開発機構）は，2004年に2030年までの長期視野に立った技術開発戦略「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）」を策定した。ここでは，2030年ごろまでに家庭用電力の1/2程度（太陽光発電システムとして100GW程度）を太陽光発電で賄うことを想定し，このために必要な太陽光発電の経済性改善や適用性拡大に向けた技術革新とシステム利用の方向について検討を行った。

一方，太陽電池の生産量について見た場合，1997年以降は大きな拡大を示しており，2000年には288MWであったものが2004年には1,195MWと4倍以上となっている。この生産量のうち，日本は602MWで約50％を占めている。**図1**に太陽電池生産量シェアを示す。2004年に生産された太陽電池の中で結晶系シリコン（Si）太陽電池が90％以上を占め，薄膜系Siは8％程度であるが，Si原料の枯渇問題により，アモルファスシリコン（a-Si）やCIS（Copper-Indium-Selenium）系太陽電池のシェアが拡大していくものと期待されている。

富士電機は，1978年にa-Si太陽電池の研究開発に着手した。1980年にはa-Siとして世界で初めて商品となる電卓用太陽電池の開発に成功し，販売を行った。1980年からは通商産業省工業技術院が実施した「サンシャイン計画」のもとで研究を受託し，電力用a-Si太陽電池の開発を行い，1993年にはガラス基板を用いたa-Si太陽電池において世界に先駆けて大面積太陽電池（30cm × 40cm）で9％の変換効率を達成した[(1)]。

しかし，a-Si太陽電池の商品化を考えた場合，ガラス基板の太陽電池ではバッチ処理を基本としたプロセスとなるため，大面積基板（1m^2程度を想定）を真空装置で大量に処理するには製造時間の短縮，基板の搬送，ハンドリングの点で問題があり，大量生産には不向きであった。そ

図1　太陽電池生産量シェア



桜井　正博

太陽光発電システムの設計プロジェクト企画に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部営業技術部マネージャー。電気学会会員。

酒井　利明

半導体圧力センサの開発，太陽電池の開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部太陽電池統括部営業部長。

こで，これまで蓄積してきた技術を基に1994年から高い生産性と低コスト化が同時に達成できる製造プロセスの開発に着手し，プラスチックフィルムを基板とした新しいa-Si太陽電池を開発し，2004年10月に販売を開始した。

2　フィルム基板a-Si太陽電池

2.1　プラスチックフィルム基板セル構造

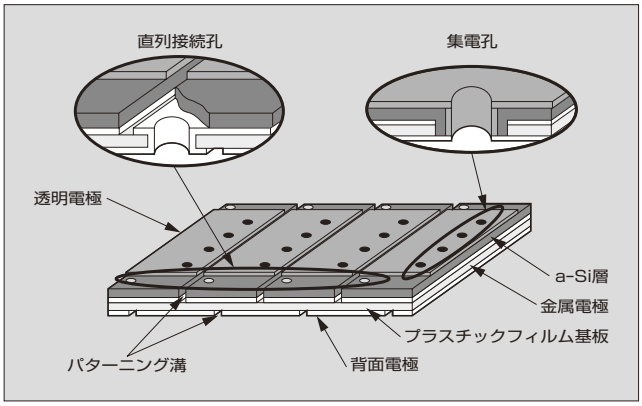
プラスチックフィルムのようなフレキシブル基板を用いることの最大の利点は，ロールツーロールプロセスが適用できることである。ロールごと真空装置の中に基板をセットすることにより基板搬送にかかわる問題を避けることができ，自動化も容易となり，商品化に向けた大規模量産化に適したプロセスを構築することが可能となった。[2]

プラスチックフィルムは絶縁性があるため集積型直列接続構造を形成することが可能であるが，耐熱性が低い，基板の伸縮が大きいなどの問題があり，接続構造やプロセスに工夫が必要となる。富士電機はプラスチックフィルム基板材として耐熱性の高い特殊なフィルムを使用しており，その上に金属電極，a-Si層，透明電極を形成させることでセルを作製している。

富士電機ではSCAF（Series-Connection through Apertures formed on Film）と名づけた新しい太陽電池構造[3]を開発した。隣り合う電池を直列に接続させるためモジュールの端部に直列接続用のホールを形成し，このホールを介してプラスチックフィルム基板の両面に形成した金属電極が直列接続できるような構造を形成させた。**図2**にa-Si太陽電池の直列接続構造を示す。

SCAF構造フィルム基板セルはユニットセルと呼ばれる複数の短冊状の太陽電池に分割されており，モジュールの出力電圧を実用的な電圧にするためには，これらユニットセルを直列に接続する必要があるが，フィルム基板に設けた直列ホールを通して隣り合うユニットセルの金属電極に接続させることにより直列接続構造を実現させた。SCAF構造では，ユニットセルに発生した電流は高い抵抗を有する透明電極での電圧損失を避けるため複数の集電ホールを形成し，抵抗の小さな金属電極に電流を流すとともにセル端部に形成された直列ホールを介して隣接するユニットセルの金属電極に接続させている。この構造では，パターンを変更させることにより直列接続数を変えることができ，1枚の太陽電池から用途に見合った電圧を取り出すことが可能となる。

図2　SCAF方式直列接続構造



2.2　製造プロセス技術

SCAF構造太陽電池製造プロセスはロールツーロール方式を基本としている。そのプロセスは，①基板前処理装置によりロール状フィルム基板上にパンチ方式で機械的に穴あけ，②スパッタ法により電極形成装置を用いてフィルム上に金属電極の形成，③ステッピングロール方式と呼ばれる製膜装置でa-Si層（プラズマCVD：化学真空蒸着法），透明電極層（スパッタ法），背面電極層（スパッタ法）の一連の工程を採用している。特に③の工程では，一つの真空容器の中に複数の製膜室を持ち，基板をステップ送りし製膜中に基板を止めることで各製膜室が独立したチェンバとなるように工夫されている。

図3に，SCAF構造a-Si太陽電池の製造プロセスおよびステッピングロール製膜装置の外観を示す。

3　太陽光発電システムへの適用

3.1　フィルム型太陽電池モジュールの特長

プラスチックフィルムを基板としたSCAF構造セルを用いた太陽電池モジュールには以下のような特長がある。

(1)　軽い：フィルム型太陽電池の重さは1 kg/m^{2}であり，従来品の1/10以下の軽量化を実現した。

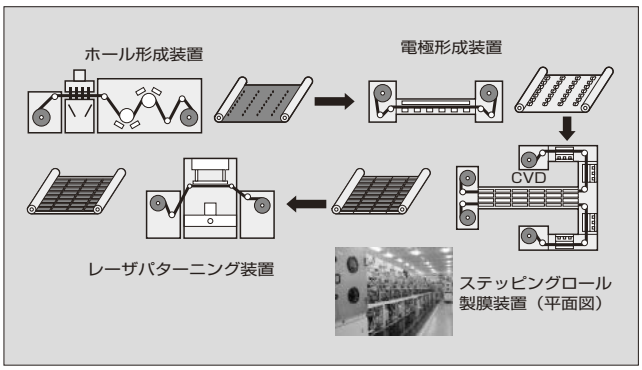
(2)　曲がる：ガラスを使用していない構造のため，曲面上にも設置が可能でありデザイン性に優れている。

(3)　出力電圧が高い：独自の直列接続構造の採用により，インバータに直接接続可能な高い出力電圧が容易に得られる。

このため太陽電池間の外部接続はすべて並列に接続できるので，結晶系モジュールを使用した場合に行われる直並列接続によるアレイ形成時に生じる誤配線の危険性がなくシステムの信頼性を上げることが可能となった。

富士電機が開発した太陽電池は，a-Siを基本としたa-Si/a-SiGeタンデム型太陽電池で，結晶系Si太陽電池に比べて次のような特長を有している。

図3　SCAF構造のa-Si太陽電池製造プロセス



(1)　年間発電量が多い：a-Si 太陽電池は温度係数が小さいため夏場の効率低下が少なく，同一定格容量では年間発電量が結晶系 Si に比べ 10％程度多くなる（社内比較データによる）。

(2)　製造時のエネルギー消費量が少ない：a-Si 太陽電池は従来の結晶系 Si 太陽電池に比べ製造に要するエネルギー消費量が少なく，環境に優しい太陽電池である。

図 4 には富士電機の横須賀地区で行った a-Si/a-SiGe タンデム型太陽電池のフィールドテスト結果を示す。図中の効率は太陽電池が常に標準条件のエネルギー変換効率で動作したと仮定した場合の発電量と実際の屋外環境での発電量との比率である。なお，図中に記載されている安定化効率とは，48 時間ごとに光照射を複数回繰り返し行い，そのときの効率の変動幅が 2％以内になったときの値である。

3. 2　商品形態

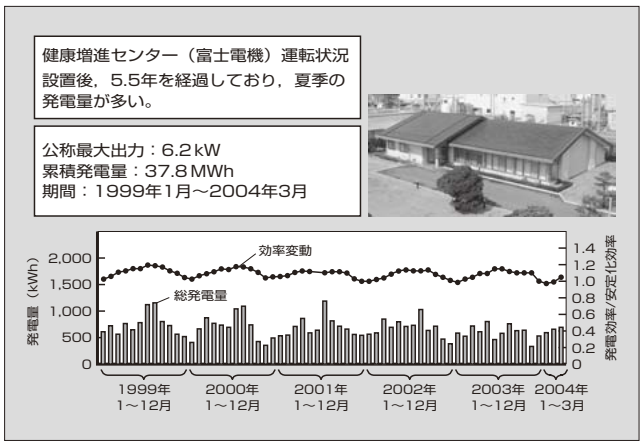
富士電機は 2004 年 10 月から鋼板一体型太陽電池モジュールとフィルム型太陽電池の販売を開始した。

(1)　鋼板一体型太陽電池モジュール

これまで市販されてきた建材一体型太陽電池モジュールは，ガラスでカバーされたものが主体であった。ガラスでカバーされた建材一体型のモジュールは面積あたりの質量が重くなり，屋根材として高所において設置作業する場合には，安全性の面から屋根材としてのサイズに制限を受けてきた。富士電機では，大きな需要が見込める建物，特に大型の公共・産業用建物の屋根への適用を目的としてフィルム型太陽電池モジュールを直接，鋼板にラミネートした軽量な鋼板一体型太陽電池モジュールを開発した。

鋼板一体型太陽電池モジュールは鋼板部分を除く太陽電池モジュールの質量が約 1 kg/m^2 であり，鋼板を含めても総質量は 4 ～ 8 kg/m^2 程度となり，従来の据置型と比較して約半分の質量である。したがって，太陽電池を搭載した場合でも，構造物の耐荷重設計を大きく見直す必要も少なく，しかも通常の鋼板屋根と同じ方法で施工できるため低コストで意匠性に優れた太陽電池付き鋼板屋根が実現できる。**図 5** には鋼板一体型太陽電池モジュールおよびその仕様を示す。

図 4　a-Si 太陽電池のフィールドテスト結果



(2)　フレキシブルフィルム型太陽電池

フレキシブルなプラスチックフィルムを基板として用いており，ガラスカバーやフレームなどの形状を拘束する部材を使用していないため曲面に対応してモジュールを設置することができる。デザイン性を優先するような建物や軽量さを追求する携帯用電気機器の電源などの分野への用途開発を進めている。さらに，省エネルギー機器用電源，独

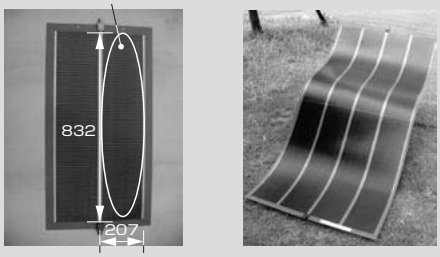
図 5　鋼板一体型太陽電池モジュールおよび仕様

体育館などのアーチ屋根に最適

		鋼板一体型
公称最大出力		96 W
公称最大出力電圧		DC320 V
公称最大出力電流		0.3 A
公称開放電圧		DC435 V
公称短絡電流		0.35 A
寸　法		525×3,881×13（mm）
最大システム電圧		600 V
質　量	（鋼板0.8 t含む）	16 kg
	（モジュールのみ）	2 kg

図 6　フレキシブル a-Si 太陽電池モジュールおよび仕様

	単位モジュール	2並列	2直列2並列	4直列2並列
公称最大出力	12 W	24 W	48 W	96 W
公称最大出力電圧	DC80 V	DC80 V	DC160 V	DC320 V
公称最大出力電流	0.15 A	0.3 A	0.3 A	0.3 A
公称開放電圧	DC108.8 V	DC108.8 V	DC217.5 V	DC435 V
公称短絡電流	0.175 A	0.35 A	0.35 A	0.35 A
寸　法（暫定）	250×935 (mm)	460×935 (mm)	460×1,770 (mm)	460×3,440 (mm)
質　量	260 g	460 g	0.82 kg	1.6 kg
モジュール構成	ETFE/EVA/セル/EVA/ETFE（全体の厚さ約1 mm），端子高さ13 mm			



2並列 24 W　　2直列4並列 96 W〔（2直列2並列 48 W）×2〕

図7　設置事例

BIPV：Building Integrated Photovoltaic

立電源，防災用電源など多くの用途へ適用可能な太陽電池モジュールとして，12 W を単位としたサブモジュールを基本にして直並列接続構成ができるフィルム型太陽電池モジュールの開発を行った。**図 6** にはフレキシブル a–Si 太陽電池モジュールの外観と仕様を示す。

3. 3　設置事例

図 7 には，鋼板一体型 a–Si 太陽電池モジュールおよびフレキシブル a–Si 太陽電池モジュールの特長を生かした設置事例を示す。

4　あとがき

太陽電池の生産量は年率 50％を超える割合で増加を続けており，2010 年には累積で 482 万 kW，2020 年には 34 GW となることが予想されており，2020 年には市場規模が 1 兆円に達するものと考えられている。このような追い風の中で，今後，大きくマーケットシェアが伸びるであろうと期待されている薄膜太陽電池の一つとして富士電機は，フィルム基板としたフレキシブル a–Si 太陽電池を用いた二つのタイプの太陽電池モジュールの販売を開始した。今後は，さらなるコストダウンおよび効率向上の研究開発を行うとともに，「軽い」「曲がる」などの特長を生かした新規用途開発を進めていく所存である。

参考文献

(1)　Ichikawa, Y. et al. Large–Area Amorphous Silicon Solar Cells with High Stabilized Efficiency and their Fabrication Technology. Proc. of 23rd PV Specialist Conf. USA. 1993, p.27.

(2)　Ichikawa, Y. et al. Production Technology for Amorphous Silicon Based Flexible Solar Cells. 11th Int'l Photovoltaic Science and Engineering Conference. Sapporo, Japan, 1999, p.49.

(3)　Ichikawa, Y. et al. Large–Area Amorphous Silicon Solar Cells with High Stabilized Efficiency and their Fabrication Technology. Proc. of 23rd PV Specialist Conf. USA. 1993, p.27.

燃料電池の現状と開発状況

堀内　義実（ほりうち　よしみ）　西垣　英雄（にしがき　ひでお）　黒田　健一（くろだ　けんいち）

1　まえがき

京都議定書が2005年2月に発効したことを受け，わが国でも温暖化ガスである二酸化炭素（CO_2）の削減への本格的な取組みが求められている。2005年4月に閣議決定された京都議定書目標達成計画によると，燃料電池は2010年で約220万kW，このうち業務用は約100万kWの導入が見込まれている。このような状況の中，富士電機では市場投入している100kWりん酸形燃料電池（PAFC）のさらなる普及を目指し，低コスト化，用途拡大の開発を進めている。また，PAFCの開発で培った技術を適用し，1989年から固体高分子形燃料電池（PEFC）の開発を行ってきた。

本稿では，PAFCの現状とその適用分野拡大のための水素供給システムの開発状況，およびPEFCの開発状況について述べる。

2　PAFCの導入状況

2.1　納入実績，用途別導入先の運用状況の概要

商品機の導入実績とその累積運転時間を**表1**に示す。1998年から出荷を開始した第一次商品機は，病院，スーパーマーケット，ホテル，オフィスビルなどに導入され，累積運転時間も約5万6,000時間を超えたものもあり，順調に運転を継続している。また，2001年から出荷を開始している低コストタイプの第二次商品機においても，累積運転時間が2万8,000時間を超え，低コスト化を実現しつつ高信頼性を維持した商品機となっている。第一次・第二次商品機ともに，稼動率は95％を超え，耐久性，信頼性ともに高いレベルを実現している。

表1　PAFC商用機の導入実績

	設置場所	用途目的	納入時期	燃　料	運転時間（h）
第一次商品機	日本赤十字姫路病院	病院	1998年8月	都市ガス	44,265
	名古屋栄ワシントンホテルプラザ	ホテル	1999年3月	都市ガス	56,637
	コープこうべ姫路白浜店	商業施設	1999年3月	都市ガス	運転終了
	慶応義塾大学湘南藤沢キャンパス	大学	2000年4月	都市ガス	41,687
	西日本電信電話株式会社広島支店袋町ビル	オフィス	2001年3月	都市ガス	38,230
	西日本電信電話株式会社広島支店基町ビル	オフィス	2001年3月	都市ガス	39,541
	東京ガス株式会社田町基礎技術研究所17号	オフィス	2000年7月	都市ガス	42,666
	東京ガス株式会社田町基礎技術研究所18号	オフィス	2000年7月	都市ガス	44,638
	環境省地球温暖化対策実施事業	実験施設	2001年1月	消化ガス	運転終了
第二次商品機	株式会社富士電機能力開発センター	研修所	2001年12月	都市ガス	30,311
	山形市浄化センターNo.1	下水処理場	2002年3月	消化ガス	29,780
	山形市浄化センターNo.2	下水処理場	2002年3月	消化ガス	30,080
	医療法人宏潤会大同病院	病院	2003年7月	都市ガス	19,851
	日本赤十字豊田看護大学	大学	2003年10月	都市ガス	11,650
	東京ガス株式会社環境エネルギー館	展示施設	2003年11月	都市ガス	14,666
	岡崎信用金庫本部ビル	オフィス	2004年1月	都市ガス	13,296
	草加市立病院	病院	2004年3月	都市ガス	10,557

運転時間は2005年10月19日現在

堀内　義実

燃料電池および新エネルギー発電システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部EMシステム二部マネージャー。

西垣　英雄

加圧・大型の燃料電池発電装置および水素製造装置の開発・エンジニアリング業務に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社燃料電池部。

黒田　健一

りん酸形燃料電池のプラントエンジニアリング，固体高分子形燃料電池の開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社燃料電池部マネージャー。電気化学会会員。

開発目標であった寿命4万時間（約5年間）の運転実績を持つ機種も増えてきており，**表2**のように商品機以前の機種を含めると11台を超えている。今後，商品機の運転が順調に推移すれば，4万時間を超える機種が続々と現れ，オーバホール（燃料電池本体や改質系機器などの主機の交換）を実施しながら，より長時間運転する機種が増えていくものと考えられる。

2.2　今後の導入計画

富士電機では，商品機での4万時間運転実績をベースに，燃料電池本体や改質系機器に改良を加えた6万時間対応機種を2005年度から出荷する。出荷予定となっている機種は展示施設に1台，病院に2台，下水処理場に4台がある。寿命を6万時間（おおむね7年半）とすることで，オーバホール回数を低減でき，設備回収コストを低減することができる。

今後は，これまでの信頼性実績をPRし，さらなる低コスト化を推進し普及拡大を図っていく。一方，PAFCは都市ガスだけではなく，消化ガス，バイオガスといった再生エネルギーを燃料として利用するなど，その適用範囲は広がってきている。

3　定置用燃料電池を利用した水素供給システム

富士電機は，PAFCの原燃料として都市ガスのほかに，生ごみを発酵して得られるバイオガス，下水消化ガスを利用した実績を有し，燃料電池の適用分野の拡大に努めてきた。定置用燃料電池を利用した水素供給システムは発電と排熱利用のコージェネレーションと同時に高純度水素の製造・供給ができ，燃料電池の適用分野のさらなる拡大を目指して開発を進めている。

3.1　システムの概要

定置用燃料電池を利用した水素供給システムは，富士電機が製造・販売している100 kWりん酸形燃料電池発電装置から，発電の燃料である水素リッチな改質ガスの一部を装置外へ取り出し，圧縮機，PSA（Pressure Swing Adsorption）を利用して99.99％以上の高純度水素を製造する。すなわち，発電とともに高純度水素を併せて製造できるシステムである。

このシステムは東京ガス株式会社からの委託により開発しており，富士電機はりん酸形燃料電池発電装置および取り出した改質ガスから余剰な水分を除去するための改質ガス冷却器（バッファタンクの機能も併せ持つ）の設計，製作および全系の制御を担当している。システムの概略構成を**図1**に示す。

表2　PAFC累積運転時間4万時間以上の台数

累積運転時間（h）	台　数
40,000～45,000未満	9
45,000～50,000未満	0
50,000以上	2
合　計	11

（商用機以前の試作機も含む）

3.2　開発の概要

このシステムは，2006年度の市場投入を目指して2003年度下期に開発を開始した。

(1)　2003年度：基本設計の検討実施

既存の燃料電池発電装置の主要機器の変更を要さない条件で，どれだけの改質ガスを発電装置外へ取り出せるか検討した。基礎検討の結果，取出し可能な改質ガスの流量と発電負荷の関係を**図2**に示す。

(2)　2004年度：詳細設計，既設機の改造

改質ガスを取り出すための既設機の改造，改質ガス冷却器および制御装置の設計・製作・設置を実施した。

(3)　2005年度：商用機の仕様を検討

実証試験と試験結果に基づき商用機の仕様を検討する。

基本設計の検討結果から，高純度水素の製造・供給能力として小容量（8.5 Nm^3/h）と大容量（20 Nm^3/h）を開発対象として設定したが，それぞれ次の供給能力に相当する。

○小容量供給：燃料電池自動車5台/日（バス1台/日）の水素需要に対応可能

○大容量供給：燃料電池自動車12台/日（バス2～3台/日）の水素需要に対応可能

なお，水素の製造・供給能力8.5 Nm^3/hと20 Nm^3/hは，改質ガス取出し量としてそれぞれ20 Nm^3/h，50 Nm^3/hに対応する。

図1　定置用燃料電池を利用した水素供給システムの概略構成

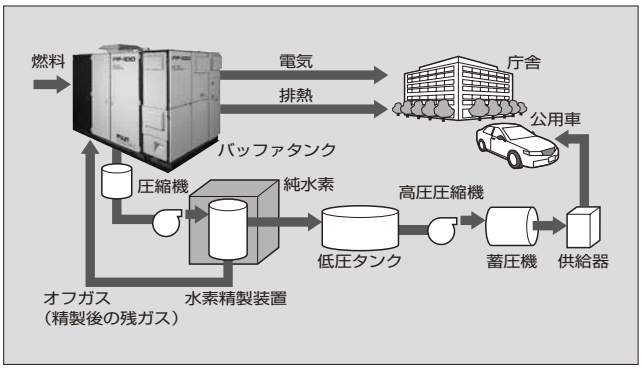
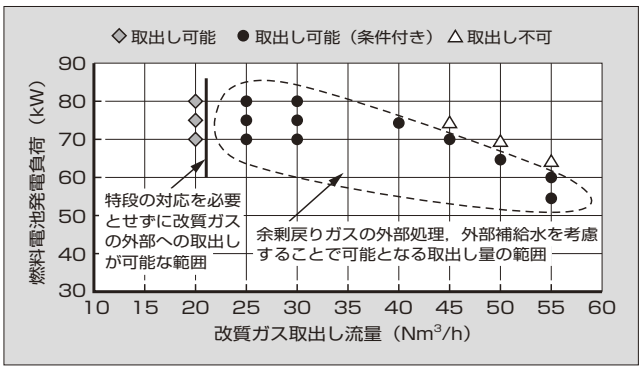


図2　取出し可能な改質ガス流量



3.3　期待される効果

近い将来に水素を燃料として利用する時代の到来が期待されている。その際には，高純度水素を大量に製造し，末端の需要家へ安価に供給されるものと予想される。今回の開発で狙いとしているのは，このような本格的な水素燃料時代までの橋渡し的な役割を担うものであり，次のような効果が期待できる。

(1)　高純度水素の製造・供給の必要のない場合でも，コージェネレーション設備として運用でき，常に高効率なシステムとして環境負荷の低減に寄与する。

(2)　夜間などにおける電力負荷の減少時に生じる，改質ガスの余剰製造能力で水素を製造でき，設備の稼動率向上に寄与する。

(3)　電力，熱の供給メリットを得られることから，初期の導入段階においても低コストの水素供給，もしくは早期の投資回収といった経済性の創出が期待できる。

(4)　燃料電池車の導入に先駆けて定置用燃料電池を設置し，コージェネレーション設備として使用しながら，将来の燃料電池車の導入時に水素供給システム部分を追加設置して水素の供給に対応することも可能である。

4　PEFC の開発

富士電機では 1989 年から固体高分子形燃料電池本体の開発に取り組み，2002 年からは 1 kW 級固体高分子形燃料電池発電装置のシステム開発を進めてきた。一次・二次試作機にて家庭用定置型のシステム実証と課題抽出，容量最適化検討および基礎データの蓄積・評価を行い，改良を重ねてきた。2004 年度に製作した三次試作機と三重県燃料電池実証試験機（以下，三重県フィールドテスト機と称す）の運転状況と 2005 年度開発機の四次試作機の概要について述べる。

図 3　PEFC 三次試作機の運転状況

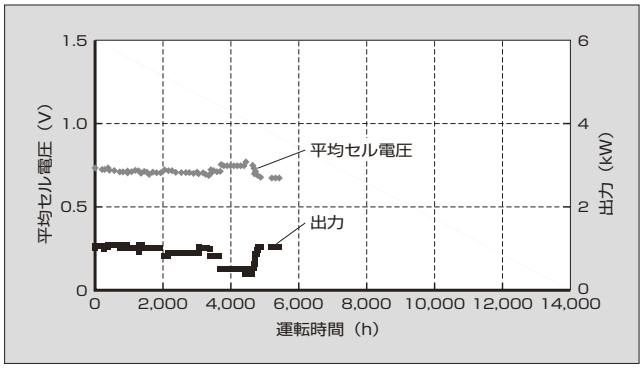
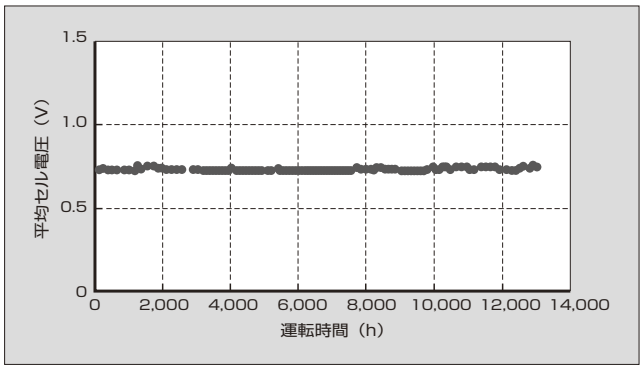


図 4　PEFC 評価用電池スタックの運転状況



4.1　三次試作機の運転状況

この発電装置は三世代目のもので，燃料電池本体の MEA（膜電極接合体）の製法を最適化し，耐久性と信頼性を向上させたセルを採用している。**図 3** に三次試作機の運転状況，**図 4** に三次試作機と同仕様の評価用電池スタックの運転状況を示す（2005 年 7 月現在）。三次試作機で発電装置として 5,500 時間の実績を得ている。電池スタック単体では 1 万 2,700 時間の運転で目標を上回る電圧低下率（2 μV/h 以下）を達成し，セルの改良の効果を確認することができた。

4.2　三重県フィールドテスト機の運転状況

三重県，三重県四日市市，三重県鈴鹿市が実施する「燃料電池実証試験事業」の補助を受けて，2005 年 4 月から四日市市と鈴鹿市の 2 サイトでフィールドテストを開始した。

図 5 に四日市市，**図 6** に鈴鹿市の設置状況を示す。四日

図 5　四日市市フィールドテスト機の設置外観

図 6　鈴鹿市フィールドテスト機の設置外観

図7　四日市市フィールドテスト機の運転状況

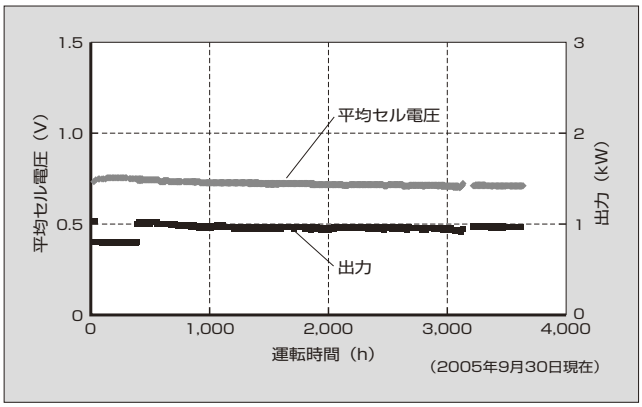
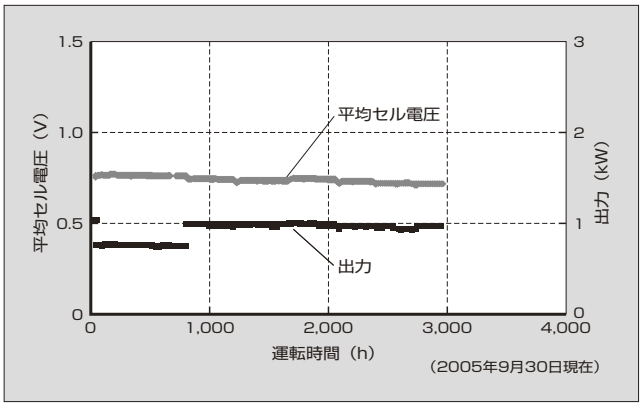


図8　鈴鹿市フィールドテスト機の運転状況



市市は，コンビニエンスストア（ファミリーマート四日市高浜町店）に設置し，発生した温水は地域の訪問介護入浴サービスに提供している。鈴鹿市では，一般家庭（鈴鹿工業高等専門学校の官舎）に設置し，家庭の電気と給湯に利用している。**図7**と**図8**に，四日市市と鈴鹿市での運転状況を示す。2005年9月30日現在で，運転時間はそれぞれ約3,600時間と約3,000時間である。

4.3　四次試作機の開発状況

現在，電池スタックの大幅なコストダウンを図った四次試作機の製作，評価を進めている。四次試作機の基本仕様を**表3**に，装置の外観を**図9**に示す。発電効率と排熱回収効率の向上を図るとともに，起動停止時のパージ用窒素が不要な仕様となっている。今後，社内で評価を開始し，連続運転と起動停止運転における信頼性と耐久性を確認する予定である。さらに，耐久性向上と量産を目指した開発を進め，商品化を加速する予定である。

5　あとがき

水素は利用段階でCO_2を排出しないエネルギー媒体であり，かつ非化石燃料からの製造も可能であることから，

表3　四次試作機の基本仕様

電気出力	1kW（AC送電端）
出力方式	200V 単相3線式
発電効率	32％ HHV（定格時）
排熱温度	約60℃
排熱回収効率	42％ HHV（定格時）
燃料	都市ガス（13A）
運転方式	全自動
主要寸法	W920×D370×H895（mm）

図9　PEFC四次試作機の装置外観

エネルギーセキュリティ上も望ましいエネルギーである。この水素を活用した水素社会の実現のため，キーテクノロジーである燃料電池の早期の普及拡大が望まれている。今後も富士電機は，燃料電池をエネルギー，環境分野でのキーコンポーネントと位置づけ，りん酸形燃料電池の普及拡大と固体高分子形燃料電池の開発を強力に進め，来るべき水素社会への貢献を目指していく所存である。

これまでの関係機関およびユーザー各位のご指導・ご協力に感謝するとともに，今後もなお一層のご理解とご支援をお願いする次第である。

参考文献

(1)　池田洋一ほか．富士電機アドバンストテクノロジー（株）における固体高分子形燃料電池の開発状況．第11回燃料電池シンポシウム講演予稿集．2004, p.65-68.
(2)　小池拓人ほか．富士電機アドバンストテクノロジー（株）における固体高分子形燃料電池の開発状況．第12回燃料電池シンポシウム講演予稿集．2005, p.16-19.
(3)　長谷川雅一ほか．りん酸形燃料電池発電技術の開発と納入状況．富士時報．vol.75, no.5, 2002, p.288-290.
(4)　瀬谷彰利ほか．固体高分子形燃料電池の開発．富士時報．vol.75, no.5, 2002, p.291-294.

風力発電の系統連系システム

矢後　賢次（やご　けんじ）　　腰　　一昭（こし　かずあき）

1　まえがき

風力発電は自然エネルギーを利用しており，地球環境に優しいことなどから年々導入量が増加している。一方，風力発電は，計画的に発電電力を制御することが困難であることから，電力系統へ連系する風力発電設備容量が増大するにつれて電圧安定度や周波数安定度に関する電力品質の維持に支障をきたす可能性がある。必要対策の筆頭に挙げられるのが，時々刻々変化する発電電力を併設した蓄電設備へ充電または蓄電設備から放電することにより，風力発電所系統連系点の電力を平滑化する「風力発電電力安定化装置」である。

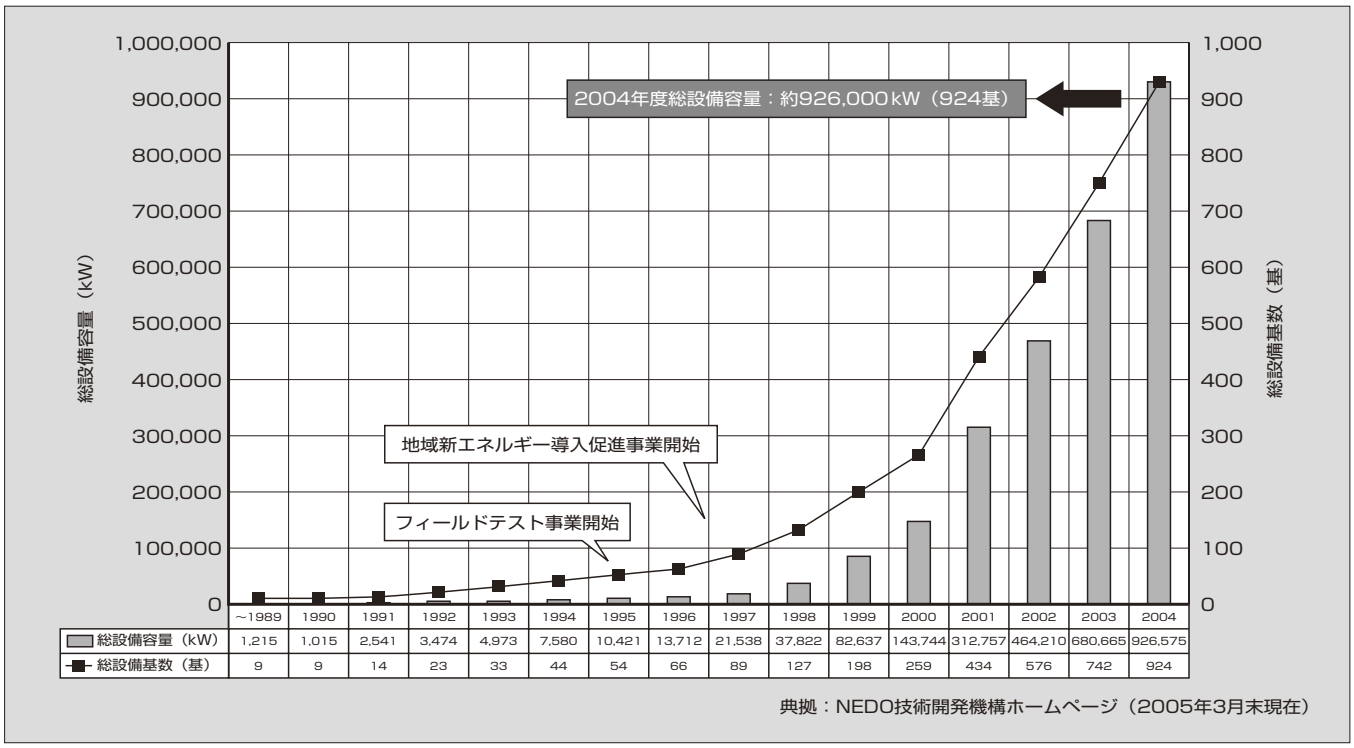
本稿では富士電機の風力発電へのかかわり，風力発電システム用の電力安定化装置に関して述べる。

1.1　風力発電の国内動向

日本の風力発電導入量の推移を**図1**に示す。1995年から国による風力開発フィールドテスト事業補助制度，新エネルギー導入促進対策補助制度が実施され，さらに電力会社が事業用風力購入メニューを開発したことなどにより，2000年以降急速に導入量が増加している。2005年3月末時点の導入量は約92.6万kW，924基であり，国の新エネルギー導入目標（うち，風力発電の2010年度における導入目標は300万kW）に対して約1/3を達成している。

1基あたりの平均出力を1,000kWと仮定すると，今後5年間に2,000基を新たに建設する必要がある。しかしながら系統連系にかかわる問題が顕在化しつつあり，目標達成には何らかの対策が必要となってきている。このため経済産業省，学識経験者，電力会社，風力発電事業者などか

図1　日本における風力発電導入量の推移



	~1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
総設備容量（kW）	1,215	1,015	2,541	3,474	4,973	7,580	10,421	13,712	21,538	37,822	82,637	143,744	312,757	464,210	680,665	926,575
総設備基数（基）	9	9	14	23	33	44	54	66	89	127	198	259	434	576	742	924

典拠：NEDO技術開発機構ホームページ（2005年3月末現在）

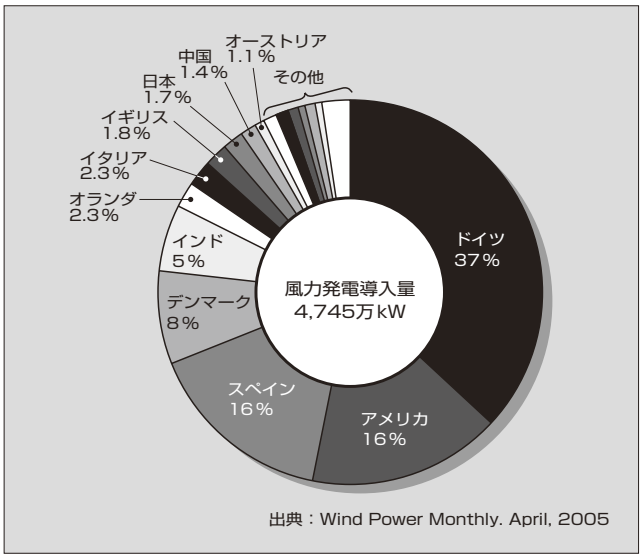
矢後　賢次

水力発電修繕および消化ガス燃料電池の環境技術を経て新エネルギーの技術業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部EMシステム二部主任。

腰　　一昭

変電システムの技術・企画，ESCO事業の企画・技術を経て新エネルギーの技術業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部EMシステム二部長。

図2　風力発電導入量国際比較



ら構成される「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会風力発電系統連系対策小委員会」が設置され，2004年7月27日に中間報告書（案）を発行，さらに2005年6月23日に中間報告書に盛り込まれた対策のレビュー結果を公表している。その後も，2010年導入目標量の達成に向けて関係者間で具体的な対策実施方法などに関して検討を継続している。

1.2　世界の風力発電導入量

世界の風力発電導入量と導入国比を**図2**に示す。

2005年3月末時点の導入量は，約4,745万kWであり，1位のドイツは，単年度で日本の2010年度までの導入目標量である300万kW以上の建設が行われている。日本は，前述のとおり2000年から導入量が急増し，2004年から世界のベストテン入りを果たしているが，ベストファイブの国々と比べると，まだまだ導入量が少ないといえる。これは欧米諸国との政策の違いに加えて，日本は平坦（へいたん）地が少なく風の乱れが大きいこと，風況が良い地点は北海道・東北・九州に集中していること，台風や落雷対策が必要であることなどが要因である。

2　富士電機における風力発電への取組み

富士電機は，豊富な経験を有する発電・変電・系統制御分野の製品群と技術力，プラント取りまとめ力および系統解析技術力などを基に，積極的に風力発電システムに取り組んでいる。主な実績を以下に述べる。

1993年に国内初の本格的風力発電設備を導入した山形県立川町（100kW × 3基）へ，また1999年には国内初の本格的ウインドファームである株式会社ユーラスエナジー苫前の苫前グリーンヒルウインドパーク（1,000kW × 20基）へ，さらに2001年には当時の国内最大容量である株式会社ユーラスエナジー岩屋の岩屋ウインドファーム（1,300kW × 25基）へ系統連系設備を納入した。これらの国内の記録的風力発電所を含めて，2004年度までに納入した風力発電設備用系統連系設備の合計値は，出力で163,150kW，基数で106基である。

また，2003年には岩谷産業株式会社が受注した島根県企業局隠岐大峯山風力発電所（600kW × 3基）において，系統連系設備を含むプラント建設を実施した。大峯山風力発電所は，離島のため系統容量が小さく風速や風向変動に起因する風車の有効電力変動により系統の周波数変動許容値を超過することが想定された。この対策として，単位時間あたりの風力発電所出力変動量を抑制する世界初の「超高速フライホイール電力安定化装置」も納入した。この風力発電システムは，島根県企業局とともに，平成15年度新エネルギー大賞「新エネルギー財団会長賞」を受賞した。

さらに，2003年12月には富士電機システムズ株式会社100％出資の株式会社ウインパワーを設立し，風力発電の適地開発，風況精査（445ページの「解説」参照），環境調査，システム設計などを行い，西目風力発電所（1,250kW × 1基，600kW × 1基）のフルターンキージョブを実施した。

これらの実績により，系統連系設備のみならず風車を含む風力発電システムすべてを，各風力発電事業者に対して，安心と満足をともに提供することができると確信している。

なお西目風力発電所は，2005年3月から順調に風力発電事業を実施している。

3　系統連系に係る問題点と対策

風力発電機の発電電力は，風速の3乗に比例するので，わずかな風速変動も大きな発電電力変動につながる。また風速は，周期・量ともにランダムに変動するので風力発電導入量が増加し，発電電力の変動量が増大すると，電力系統の電圧変動や周波数変動を引き起こし電力品質の低下を招く場合もある。

電圧変動に対しては，他の発変電設備と同様に風力発電機の運転力率を適正値に保つことや無効電力補償装置を併設することなど，局地的対策が可能であるが，周波数安定は系統全体の問題となる。

前述の風力発電系統連系対策小委員会では，周波数安定対策の具体的な手段として，以下を提示している。

① 風況予測に基づく風力発電量予測システムの構築
② 解列・出力制御方式の検討
③ 蓄電設備などの導入による風力発電の出力変動平滑化
④ 電力会社間連系線の活用

また経済産業者は，具体的な対策実施に係る支援制度および技術面の調査・検討に着手している。

以下に，周波数変動の発生要因とその対策，特に「電力安定化装置」に関して述べる。

3.1　周波数変動発生要因

周波数変動は系統全体に生じる問題であり，系統連系中

の発電設備による合計発電電力と消費電力とのバランスが崩れることにより発生する。電力会社では，時々刻々変化する消費電力の変動に応じて常に発電電力をバランスするように該当発電所の発電電力制御を実施している。その概念を**図 3** に示す。

(1)　微小変動分

ガバナフリー（水力や火力発電所の調速機が有する自動制御機能）機能により対応する。

(2)　短周期成分

LFC（中央給電指令所にて，周波数偏差に応じて行う水力や火力発電所の出力制御）機能により対応する。

(3)　長周期成分

EDC（中央給電指令所にて需給予測を行い，水力や火力発電所の運転・停止を含め出力制御）により対応する。

3. 2　風力発電システムの発電電力変動

風力発電機の発電電力変動例を**図 4** に示す。風速や風向変動に伴い，数十秒周期，数分周期，数十分周期，数時間周期の発電電力変動がランダムに組み合わされていることが分かる。風速変動の影響を抑制する方法として，風速変動を発電電力変動ではなく回転速度変動にて吸収する可変速度機の採用が挙げられるが，可変速度範囲の制約などにより数秒周期以上の変動は吸収することができない。すなわち，固定速度機の場合は，さらに数秒周期の変動成分が加わることになる。

風力発電機の発電電力変動と負荷変動（消費電力変動）が互いに相殺されるケースでは問題ないが，最悪のケースでは，両方の変動値が加算されることになり，ガバナフリーや LFC による周波数調整容量が不足し，周波数を系統運用目標値内に保つことができなくなる可能性がある。これが，離島など系統容量が小さい地点に風力発電設備を設置する場合や，系統容量が大きくても系統容量に対して一定比率以上の風力発電設備を集中して多数導入する場合の問題点となる。

さらに台風などにより，風速が 20 ～ 25 m/s 以上に達すると風車はカットアウト（停止）するが，これは風車の発電電力を定格値から短時間でゼロに減じることから，電力系統の動態および過渡安定領域での問題も引き起こす可能性がある。

3. 3　周波数変動（有効電力変動）抑制策

電力会社の LFC 調整力（量と応答速度），負荷変動量，許容風力発電変動量の関係を**図 5** に示す。

図 5 に示すように風力発電導入量を増加させる手段としては，次の 4 方式がある。

①　所要 LFC 調整量を増加する。

②　LFC 制御遅れ角を小さくする。

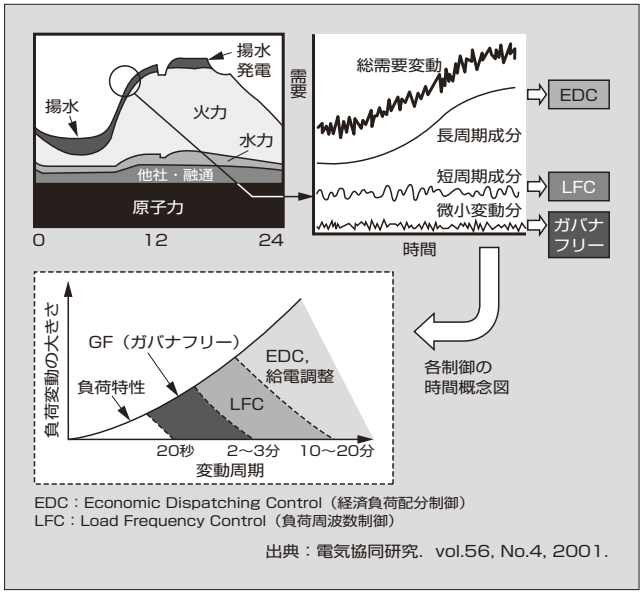
③　負荷変動量を少なくする。

④　風車出力変動率（ε）を小さくする。

しかしながら，①および②は，各電力会社の設備構成などにより決定されているので，風力発電のために短期間で設備構成などを変更・新増設することは困難である。また，③は需要家の消費電力変動であり，これを抑制するのは不可能である。

したがって，風力発電導入量を増加させるためには，当該系統における LFC 調整力，あるいはガバナフリー調整

図 3　需要変動に対する周波数制御



出典：電気協同研究．vol.56, No.4, 2001.

図 4　可変速度機の発電電力変動例

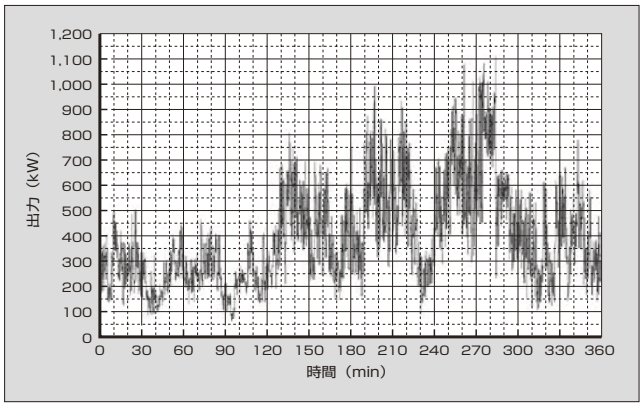
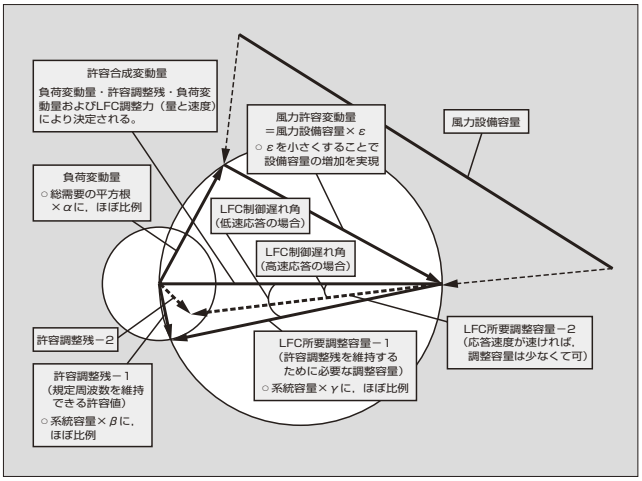


図 5　負荷，風力発電変動抑制と LFC 調整の関係



能力に応じて，風力発電機の合計発電電力変動量を，風車許容変動量以下に保つ必要がある。これを実現する手段が，時々刻々変化する発電電力を蓄電設備へ充電，または蓄電設備から放電することにより風力発電所系統連系点の電力を平滑化する「電力安定化装置」である。

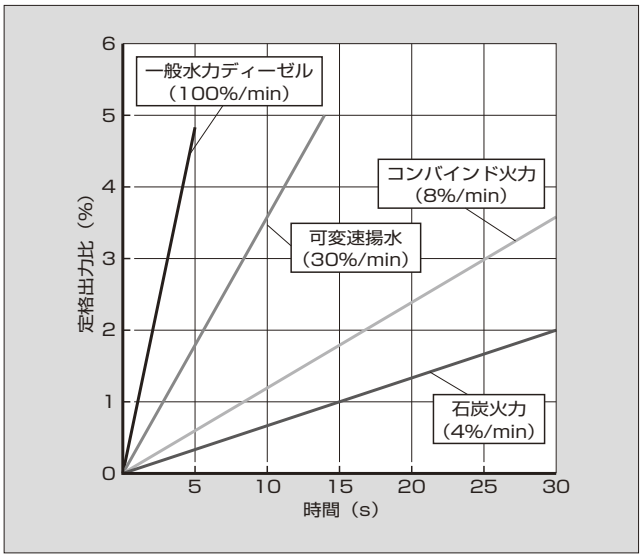
離島など単独系統においては，ディーゼル発電設備を主体に電力供給を行っている。ディーゼル発電機は，約1分間で最大出力から最低出力まで制御することが可能であり，比較的短い変動周期の消費電力変動および風力発電機の発電電力変動を吸収・制御することが可能である。ただし，頻繁な出力制御はディーゼル発電設備の寿命面に悪影響を与える可能性があり，調速装置の高感度化には制約がある。したがって，離島など単独系統においては，**図3**のガバナフリー領域に属する周期が数分以下の微小変動分発電電力変動量を抑制することが必要である。

一方，基幹の電力系統は，主に火力発電所の運転・停止を含む発電電力制御により，消費電力変動や風力発電設備の発電電力変動を吸収し，発電電力と消費電力とのバランスを保つことにより周波数を規定値に維持している。しかしながら火力発電所の発電出力制御速度は，ディーゼルや水力発電所に比して遅く，十数分から数十分を必要とし，かつ最低出力制限や制御可能幅制限などがある。

したがって，多数（大容量）の風力発電設備を基幹の電力系統に連系するには，ガバナフリー周波数領域の負荷変動抑制に加え，LFC領域の短周期変動，つまり周期が数十分以下の発電電力変動量を抑制することが必要である。各種発電設備の出力調整可能率の例を**図6**に示す。

なお，本稿では詳細な記述を省略するが，**図3**に示したとおり夜間は需要電力が少ないため，EDCにより運転している発電所数が少なくなる。このため，電力系統の調整力も少なくなっているので，夜間に風力発電許容変動値を保つには，さらに平滑可能力の大きな蓄電設備の設置または風力発電機の停止が必要となる場合もある。

図6　発電設備の出力調整可能率



3.4　電力貯蔵装置の種類と特徴

風力発電設備を系統連系するためには何らかの電力貯蔵装置との組合せが必要であることを述べたが，その種類と特徴を**表1**に，各電力貯蔵装置の実用的な最大電力と貯蔵電力量との関係を**図7**に示す。また代表的な方式について

図7　電力貯蔵装置の最大電力と貯蔵電力量

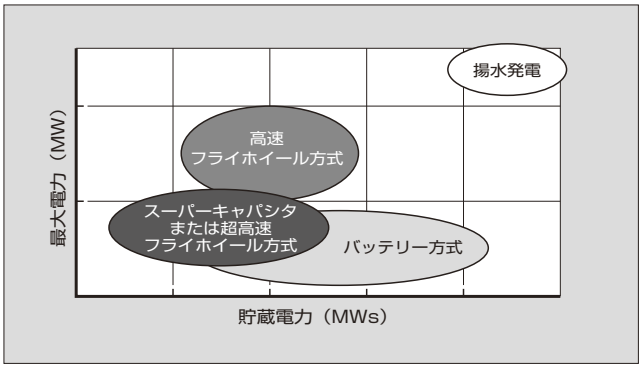


表1　電力貯蔵装置の種類と特徴（1）

（出典：電気協同研究．vol.56, no.4, 2001.）

	新型電池	超電導コイル	フライホイール	キャパシタ	圧縮空気貯蔵	揚水発電	超高速フライホール〈注2〉
特　　徴	高密度，分散適合	長寿命，高速応答	長寿命，高速応答	高速応答，長寿命，分散適合	大容量，長寿命	大容量，長寿命	高速応答，長寿命，分散適合
貯蔵効率	70～80％	70％	80％（目標）	80％（目標）	70％	70％	90％
応答速度	～数秒	～1秒	～1秒	～1秒	～数分	～数分	～0.2秒
寿　　命	10～15年 毎日フル充放電時	30年 毎日フル充放電時	30年 毎日フル充放電時	20年 毎日フル充放電時	30年 毎日フル充放電時	30年 毎日フル充放電時	20年 毎分フル充放電時
開発状況	一部は実用化段階	要素技術開発	要素技術開発〈注1〉	基礎研究モデル実証	パイロット機開発段階	実用化済み	一部は実用化済み
課　　題	低コスト化，高効率化	低コスト化，高超電導技術開発	大型化，高速回転化	高密度化，低コスト化	低コスト化	環境調和，用地確保	低コスト化
コスト							
現状（万円）	60～150				300	15～20	5～10
目標（万円）	15～25	10～30	～35	20	15～20	15～20	～5

〈注1〉沖縄電力株式会社にて，26.5MVA　210MJ機が運転中
〈注2〉出典には記載なし（最近の調査結果を記載）：100kW 30秒機および200kW 45秒機が実用化済み

説明する。

(1)　電気エネルギー（各種蓄電池，電気二重層キャパシタ）活用方式

各種蓄電池は静止型であり必要容量の蓄電池を自由に配置できるが，高サイクルの充放電回数に制約があるので，**図 3** に示す短周期および長周期成分の抑制に適している。また，蓄電池を高サイクル微小変動分の抑制に使用するためには，kWh 容量を大きくし放電深度を考慮する，または充放電制御量シフト方式の採用などにより，蓄電池長寿命化を図る必要がある。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）では，長周期変動抑制をも考慮した風力発電所出力平準化システムの実証試験を実施しており，蓄電池の種類として，レドックスフロー電池，ナトリウム・硫黄（NaS）電池および鉛電池が適用されているが，今後はニッケル水素蓄電池なども登場すると思われる。

また，化学反応を介さずイオン移動で電力を貯蔵する電気二重層キャパシタは，補機が不要であること，高効率であること，フル充放電サイクル寿命が長いことなどから今後の活用が期待されている。ただし単位体積あたりの蓄積エネルギー量の面からは，後述の超高速フライホイールと同様に，変動周期が早い微小変動成分の抑制に最適な機種である。

(2)　運動エネルギー（フライホイール）活用方式

フライホイール方式には，高速フライホイール方式と超高速フライホイール方式とがある。回転体の蓄積エネルギー量は回転速度の 2 乗に比例する。超高速フライホイールは，定格回転速度を高速フライホイールの 10 倍以上の 40,000 min^{-1} 程度とし，同一質量の回転体蓄積エネルギーを 100 倍以上に増加させた方式である。

この方式は，発電機の外形寸法を小さくできるとともに，即応性が高く，高効率でかつフル充放電回数にほぼ制約がないという特徴があるが，エネルギー蓄積量に制約があることから，微小変動分の抑制に最適である。

また，回転速度を検出することにより蓄積エネルギー量を正確に把握できるので，適切な制御方式を適用することにより，電力安定化装置の kWh 容量を低減することが可能である。

3. 5　風力発電所用電力安定化装置

ここでは電力安定化装置として電気エネルギー活用または運動エネルギー活用方式について述べる。電力安定化装置の構成例を**図 8** に，適用する蓄電装置の種類と特徴を**表 2** に示す。

この方式は，双方向インバータを使用しているので，入出力電流位相角の制御が可能である。したがって有効電力制御に加えて無効電力も同時に制御することが可能であるので，風力発電システムの電力系統連系に際して，もう一つの検討課題である電圧変動問題に関する対策装置の機能を兼ね備えている。

超高速フライホイール電力安定化装置の実動作結果の一

図 8　電力安定化装置の構成例

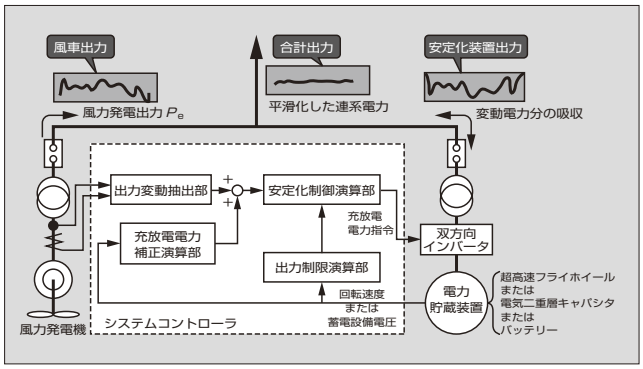


図 9　有効電力インディシャル応答特性例

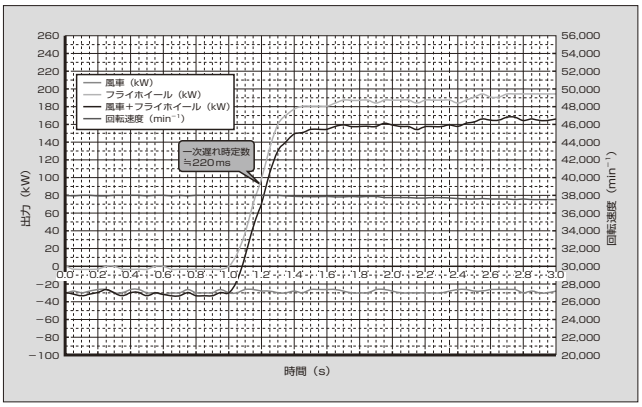


表 2　電力貯蔵装置の種類と特徴（2）

（出典：電気協同研究．vol.56, no.4, 2001.）

	超高速フライホイール（FFW-300S）		電気二重層キャパシタ（スーパーパワーキャパシタ）		二次電池（鉛，NaS，レドックスフロー）	
蓄電方法	○	運動エネルギー	◎	物理的なイオン移動（電気を電気で直接充放電）	○	化学反応
蓄電量の把握	◎	回転速度（2乗に比例）	◎	電圧（2乗に比例）	△	電圧（非線形：正確な把握困難）
最大電力	○	インバータ容量で決定（蓄電装置の直並列接続）	○	インバータ容量で決定（蓄電装置の直並列接続）	○	インバータ容量で決定（蓄電装置の直並列接続）
応答速度	○	100ms以下	◎	10ms以下	△	1,000ms以下
繰返し頻度（寿命）	◎	短周期繰返し可能（特性劣化なし）	○	短周期繰返し可能（若干の特性劣化あり）	×	短周期繰返し困難（特性劣化あり）
補機	△	フライホイール用コンバータ，真空ポンプ，チラー（冷却機）	○	冷却用ファン	△	鉛電池：なし 他電池：循環ポンプ，ヒータ，その他

図 10　有効電力変動抑制特性例

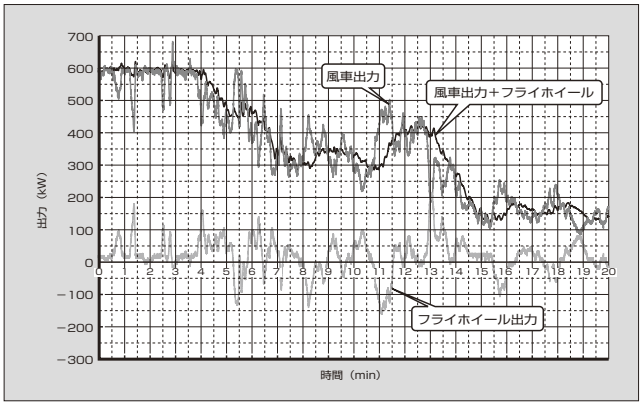
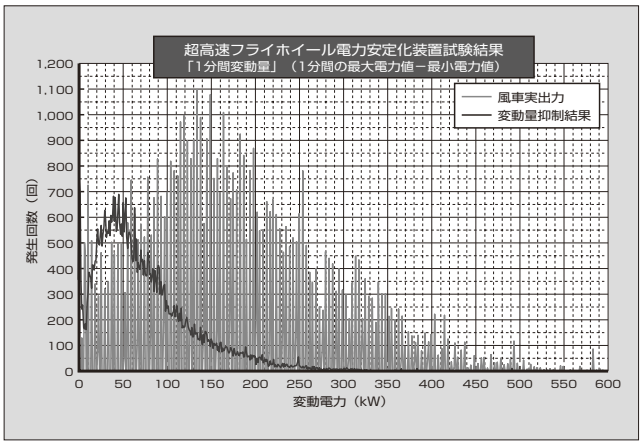


図 11　有効電力変動値と発生頻度例



部を以下に述べる。電力安定化装置に要求される応答速度，制御対象となる変動周期，必要最大電力および必要電力量などは，各種蓄電池や電気二重層キャパシタなどほかの電力貯蔵手段を用いた場合も同じである。

(1)　超高速フライホイール方式のインディシャル応答特性

超高速フライホイール方式の有効電力インディシャル応答特性例を**図 9** に示す。この電力安定化装置は，微小変動分の変動周期も制御対象としているので，応答速度は一次遅れ時定数換算で数百 ms 以下が望ましい。インディシャル応答試験結果では，有効電力変換器の遅れ時間を含めて，一次遅れ換算時定数は約 220 ms であり，無効電力制御回路の一次遅れ換算時定数は 38 ms であった。

(2)　超高速フライホイール方式の有効電力変動抑制特性

システムコントローラの制御定数設定値の最適設定化により，超高速フライホイールが吸収・放出するエネルギーの周波数領域（有効電力変動周期）を任意に変更できることを確認している。最大出力，貯蔵電力量などの関係から，微小変動分のみを抑制の対象とする場合は，電力安定化装置の応答領域を変動周期で 10 ～ 100 秒程度に設定することが望ましい。また，最大出力および貯蔵電力量を増加することにより短周期成分も変動抑制の対象とすることが可能であるので，この場合は電力安定化装置の応答領域を変動周期で 10 ～ 1,000 秒程度に設定することが望ましい。

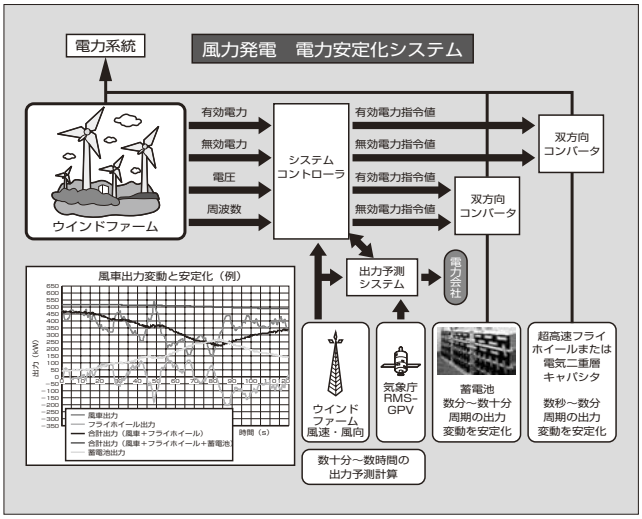
離島の微小変動分を抑制対象とした超高速フライホイール電力安定化装置の有効電力変動抑制特性例を**図10**に示す。風力発電機からの発電電力は数秒から数分周期で 100 kW から 300 kW の範囲で有効電力の変動が認められるが，超高速フライホイール電力安定化装置は，上記値を 100 kW 以下に低減していることが分かる。

この離島の発電設備は，合計容量 31,000 kW のディーゼル発電機であり，2000 年度における最大需要は 24,900 kW，夜間の最小需要は 8,500 kW，昼間の最小需要は 12,400 kW であった。この電力系統に 600 kW の風車 3 台を連系し，数分以内の有効電力変動量を規定値以下に抑制するとともに電圧変動値も規定値以内とすべく，有効電力抑制範囲± 0 ～ 200 kW，貯蔵電力量± 9,000 kWs，無効電力制御範囲± 0 ～ 200 kvar の超高速フライホイール電力安定化装置を採用した。

採用した超高速フライホイールは回転速度（エネルギー貯蔵量）を規定値以内に保ちつつ，有効電力変動量を規定値以下とすべく，制御定数の最適化を図っている。

1 分間における発電電力の変動値（最大値 – 最小値）とその発生頻度および電力安定化装置を併設したことによる変動抑制結果を**図11**に示す。電力安定化装置の効果により，100 kW 以上の変動発生頻度が大幅に低減されていることが分かる。

図 12　ハイブリッドシステムの構成例



3. 6　ハイブリッド電力安定化システム

3. 5 節で紹介した風力発電設備用超高速フライホイール電力安定化装置は，微小変動成分および短周期成分の電力変動を抑制する場合に適したシステムである。同様に電気二重層キャパシタ電力安定化装置も，この領域での電力変動抑制用として適用することが可能である。

さらに長周期成分をも対応するには，気象予測にも対応できる各種電力貯蔵装置からなるハイブリッド電力安定化システムが有効である。

なお，気象予測に関しては，すでに資源エネルギー庁および NEDO 技術開発機構により調査・研究が進められている。ハイブリッドシステムの構成例を**図12**に示す。

4　あとがき

風力発電は，地球温暖化などの環境問題対策に大いに寄与するが，電力品質を維持するための系統連系制約や建設・運用にかかわる関係機関の規制などにより，政府の導入目標値達成に対するハードルは高いものとなっている。このため「風力発電系統連系対策小委員会」では，2010年度までに300万kWを達成すべく，種々の対策方式を提示するとともに，対策の実施状況などの把握に努めており，必要に応じて，さらなる対策の立案・推進を行うことも明言している。

富士電機は，風力発電システムの性能・信頼性の向上に努力し，各風力発電事業者および電力会社へ安心と満足を提供するとともに，風力発電関連団体，委員会との連携協力により，着実な風力発電推進に対して積極的に取り組んでいく所存である。

また電力安定化装置に関しては，ライフサイクルコストダウンを図るために，用途に応じた適切な電力貯蔵装置の選択または組合せの研究，kW容量およびkWh容量を必要最低限とすべく各種制御方式の研究・開発・実証を継続して推進していく。

関係各位のさらなるご協力・ご指導をお願いする次第である。

参考文献

(1)　斉藤哲夫ほか．新エネルギーソリューション．富士時報．vol.75, no.11, 2002, p.615–620.

(2)　足利工業大学総合研究センター．第5回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト．2004.

(3)　Wind Power Monthly. April, 2005.

(4)　電力品質に関する動向と将来展望．電気協同研究．vol.55, no.3, 2000.

(5)　分散型電源技術と電力系統の将来展望．電気協同研究．vol.56, no.4, 2001.

(6)　電力系統の電圧・無効電力制御．電気学会技術報告．no.743, 1999.

(7)　電力系統の標準モデル．電気学会技術報告．no.754, 1999.

(8)　斉藤哲夫．電力貯蔵技術風力発電システムへの適用．太陽エネルギー．vol.28, no.1, 2002.

(9)　風力発電電力系統安定化等調査（NEDO技術開発機構）．2000.

(10)　蓄電池併設風力発電導入可能性調査（NEDO技術開発機構）．2001.

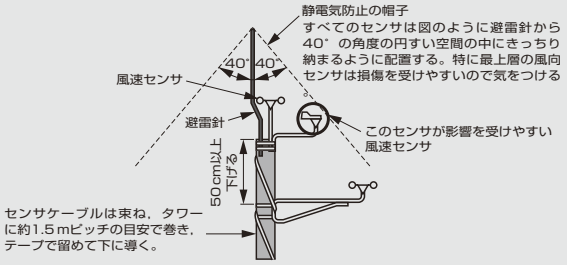
解　説　風況精査

風況とは，風の状態，性質のことを示す。広い意味では，風の状況を表すすべての特性（平均風速の状況，瞬間風速の状況，風向の出現率・状況，風速の出現率・状況，風の乱れなど）を評して風況と呼ぶが，狭い意味では，これらの特性のうち一つの量の状態を指して風況と呼ぶこともある。風力発電導入の検討は，良好な風況が期待される地域を風況データから抽出し，その地域の周辺環境条件の調査に基づき設置候補地点の選定を行わなければならない。その地点における詳細な風況を調査することを風況精査という。

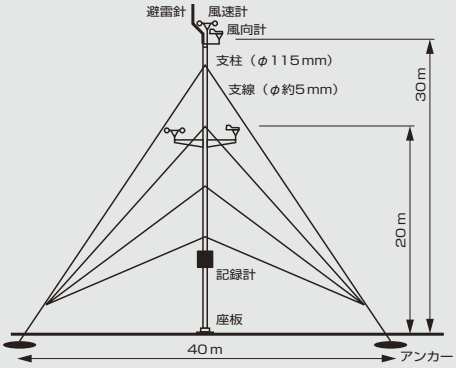
この測定を実施することにより，発電できる電力量および発電した電力を売電し，事業採算性を想定する。測定は1年間をかけて実施し，季節による変動を見込む。

測定にかかわる詳細は，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO技術開発機構）からマニュアルが発行されているのでそちらを参照いただきたい。

受風面積が40 m^{2}以下（直径約7 m以下）の小型風車の建設は，費用の面から実施されないことが多い。また，風車の性能確認には，JIS C 1400–12（IEC 61400–12）による計測方法が必要となる。



(a) 測定部詳細



(b) 風況測定ポール全景

省エネルギーソリューションとしてのESCO事業の実際

福田　英治（ふくだ　えいじ）　上村　猛（うえむら　たけし）　佐藤　進（さとう　すすむ）

1　まえがき

気候変動枠組み条約第3回締約国会議（COP3）における京都議定書の批准以来，二酸化炭素（CO_2）削減の有力な手段の一つとしてESCO（Energy Service Company）事業が注目されているが，その背景には「削減効果を確実に検証」し，計画したエネルギー削減量やCO_2削減量を保証することが重要となっていることが挙げられる。従来から実施されてきた通常の省エネルギー対策では確実な削減量が必ずしも保証されないことから，ESCO事業の拡大は当然であるといえる。優良なESCO事業を実現するためには高いレベルの省エネルギー手法やデータベース構築が必須であるため，本稿ではESCO事業自体の紹介とそれをサポートするデータベース構築の手法・システムについて紹介する。

2　通常の省エネルギー対策とESCO事業導入との違い

省エネルギーとは本来地道な活動であり，実施者の努力と英知で無駄な運用を改善し，効果を出すことである。しかし，十分な経験がなければ，どうしても調査・対策立案に限界があり，省エネルギー対策を実施しても実際の投資対効果が期待したほど大きくならないことも多い。それは省エネルギー対策の検討対象が狭かったり，分析検討が浅いことにより，抽出した省エネルギーアイテムを対策・実施しても期待したほど大きな効果が得られないからである。また，検証手法についても問題のあることが多い。そのような省エネルギー対策の問題点を解消させる有力な手段がESCO事業である。**表1**からも明らかなように，ESCO事業を導入するとESCO事業者の実施経験，ノウハウ，検討力，補助金申請の対応などの付帯的な業務を含めて，ESCO事業者の力をフルに活用できるので，頻雑な業務もすべてアウトソーシングできるメリットがある。ESCO事業は，上述したESCO事業者の力を活用して，省エネルギー対策の企画立案からエネルギー削減量，エネルギー削減金額，CO_2削減量の保証までを包括的に行う最も有効な省エネルギー対策の手法であり，その普及を国も促進していることから政策的省エネルギー対策ということができる。

表1　ESCO事業導入の効果

比較項目	ESCO事業の導入	通常の省エネルギー対策	ESCO事業のメリットまたはデメリット
技術力の活用	○	△	ESCO事業者の専門技術力をフルに活用できる。
総合的な対策	○	△	ESCO事業者の経験，ノウハウを利用して包括的な幅広い省エネルギー対策が実現できる。
経　済　性	○	△	ESCO事業者が効果保障を行うので確実に投資回収ができる。
補助金対応	○	△	ESCO事業は政策的省エネルギー対策と定義されているので，国の補助金が獲得しやすい。
検証フォロー	○	△	ESCO事業者が対策結果の検証も責任を持つので，省エネルギー効果の把握・報告が容易である。
施設の運用	×	○	ESCO契約は対象施設を契約期間中稼動し続けることが前提となるため，移転，休止などの運用自由度が損なわれる。
総合評価	○	△	施設運用上の問題がない場合には，ESCO導入のメリットが大きい。

ただし，ESCO事業者を選定する場合には，実績，技術力，製品供給能力，与信などを十分に考慮することが重要である。

3　データベース構築の重要性

一つの設備機械を例に挙げると，現在稼動しているか否かは目で見て分かるが，その機械がどのような条件で稼動し，どの程度の能力（負荷率）で運転しているのかというところまでは目で見ただけでは判断できない。しかし，その機械の制御盤に設置してある電流計を見れば，その瞬間にどの程度の負荷率で稼動しているかが大まかに判断できる。このような簡単なデータでも実際に役立つが，この機械が日，月，年間にどのような負荷率で稼動しているのかを知ることによってさらに定量的な状況把握が可能となる。

福田　英治

ビル用電気設備のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部営業技術部担当部長。

上村　猛

エネルギーマネジメントシステム業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部EMシステム一部担当課長。

佐藤　進

エネルギーマネジメントシステム業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社e-ソリューション本部エネルギーソリューション統括部EMシステム一部担当課長。

人手によって年間のデータを収集することは現実には時間的・マンパワー的に困難であり，場合によっては不可能に近いことである。そのため，自動的にそのデータを集計し，ある「決まりを決めて」データを解析・加工し，省エネルギー対策を実施する人達が容易に状況把握できるデータベースを構築することが重要となる。その一つの手法であるDSM（Demand Side Management）について述べる。

3.1　DSMの考え方

従来のエネルギー管理では，稼動・操業の確保を重視する観点から供給量の管理が主体の場合が多く，運用実態に見合った合理的なエネルギー管理という観点では不十分な面も多かった。エネルギーの合理的使用という観点で一つの代表的な例は固定エネルギーの削減である。工場などでのエネルギー使用量は生産性（工場の場合，生産量）に比例して変動することが望ましい。例えば，生産量が半減すれば使用エネルギーも半減するのが理想的である。そのためには生産性に関係なく消費される固定エネルギーを削減することが重要である。固定エネルギーの削減を検討する一つの手段として，DSMを活用することができる。**図1**に示すようなプロセスにおいて，上位から下位に向かって，部門，職場，設備単位などのプロセスごとの使用エネルギーと運用実態を管理することがDSMの基本であり，その運用実態が生産性にどうリンクしているのかを分析することで改善策の検討が進められる。もし，使用エネルギーが生産性にリンクしていない場合には，不要な固定エネルギー消費をしている可能性があり，その原因を究明し，エネルギーの使用量や生産の運用形態を改善する必要がある。そうすれば，エネルギー使用量を生産性にリンクさせる方向へ改善することができる。プロセスごとにデータ（電力量，必要に応じて圧力，流量，温度など）を収集してデータベースを構築し，そのデータベースを活用して使用エネルギーの分析を行い，改善アイテムを抽出するという活動を実行していくことで，省エネルギー対策が実現されていくはずである。もし，諸般の事情で下位の細かなデータが収集できない場合には1段上位のデータだけでもよい。

3.2　原単位管理への活用

「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネルギー法）でも規定されているが，エネルギー使用量の推移をよりよく把握するためにはエネルギーの原単位管理という手法を使用することになる。原単位は，エネルギー使用量を需要家が決めた量（例えば，工場の場合：生産量，製品個数，事務所の場合：床面積，人数，売上高など）で除した値である。この分子のエネルギー使用量に，前節で述べたDSMで構築したデータベースを活用することで，設備単位，プロセス単位の原単位を把握するとともに，過去の原単位との比較，分析を行い，そのうえで原単位の増減理由を解析し，効果的な省エネルギー対策アイテムを絞りこんでいくことが可能となる。

4　ESCO事業に適合したデータベース構築システム

省エネルギー管理を行うためには用途，設備ごとのエネルギー使用量の把握が不可欠である。建物，工場全体の使用エネルギーは何らかの形で管理されているはずであるが，そのデータだけでは省エネルギー管理を行うことはできない。省エネルギー管理では，末端でのエネルギー消費量をできるだけきめ細かく把握し，そのデータを分析することから改善策の検討が進められる。用途，設備ごとの使用エネルギーの計測，記録に基づいてエネルギー使用状況を分析し省エネルギー対策の検討を行うためには，取扱いが容易でフレキシブルなデータベース構築システムが求められる。**図2**に無線を用いて簡便にデータ収集し，パソコンでデータ処理を行うエコモニタリングシステムの構成を示す。また，その基本仕様を**表2**に示す。通信線の敷設が不要な

〈注〉Excel：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図1　DSMのイメージ

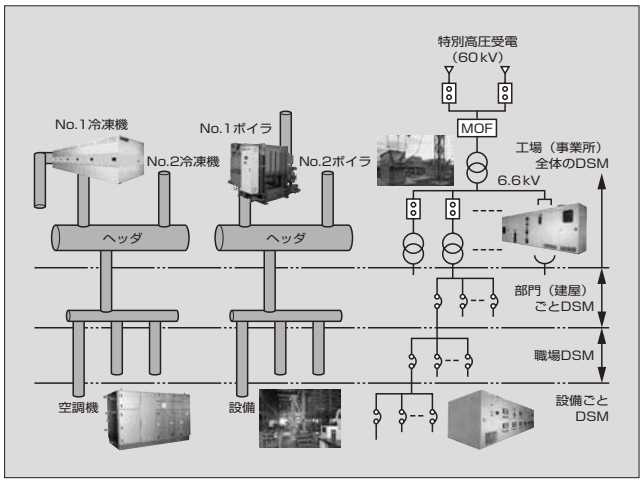


図2　エコモニタリングシステムの構成

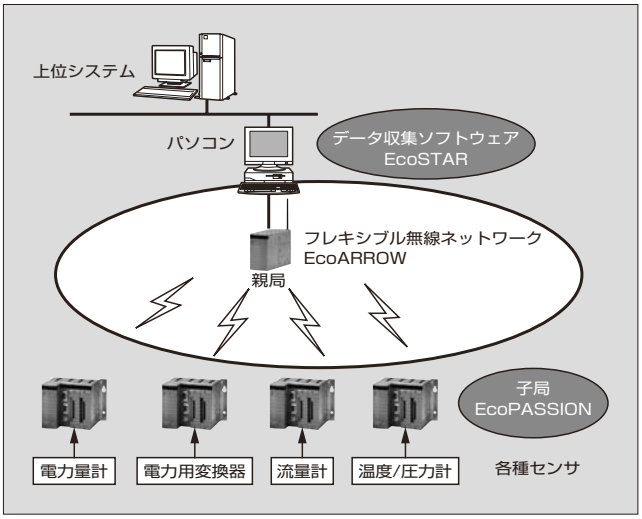


表2　エコモニタリングシステムの基本仕様

項　目	仕　様
通信手段	SS無線（2.4GHz帯）
通信局数	最大100局（親局＋子局＋中継局）
通信距離	局間500m（ただし障害物なしとする）
計測点数	1局あたり32点または16点
パソコンソフトウェア（標準）	○データ収集，保存，帳票化，システム構成定義 ○データ保存形式（Excel，CSV対応） ○処理点数1,536点（32局×48点/システム）

図3　エネルギー使用量トレンド表示

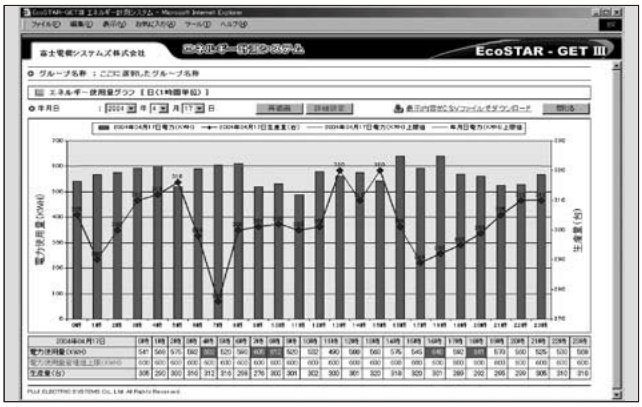
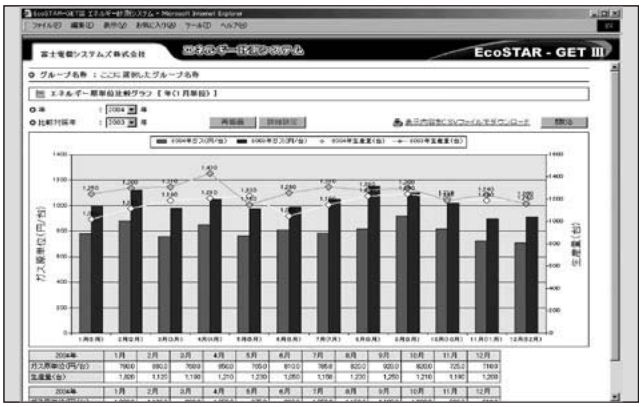


図4　エネルギー使用量ランキング表示

図5　エネルギー原単位表示



ため子局の増設・移設が容易であり，パソコン上でExcel〈注〉形式のデータ保存が可能なためユーザーが生のデータを任意に加工・分析することも可能である。また，収集したデータを分かりやすい形に加工するための監視支援ソフトウェアも用意されている。**図3**～**5**にその代表的メニューを示す。このようなデータベースを利用することで定量的な省エネルギー管理が実現できる。また，このシステムを建物の使用エネルギー分析に応用するとBEMS（Building Energy Management System）の構築も可能である。

5　ESCO事業導入の条件と導入メリット

ESCO事業導入を推進するためには，まず現状のデータ，ドキュメント類を活用し，実際の対策にどう生かせるかを考えることが必要である。この際に上述のようなデータベースが利用できれば，現地調査対象の的を絞り，限られた時間を有効に使ってより充実した調査を行い，現場の状況をより正確に把握できるようになる。ESCO事業導入に際しては，削減効果を検証する必要があるため，データの把握，現地調査が重要であり，対象とする省エネルギーアイテムは**図6**に示すとおり，電気設備，熱源設備，空調設備，空調動力，照明設備，衛生・排水設備，搬送設備と広範囲にわたるのが一般的である。**図7**に示すとおり，光熱水費の削減金額内の費用で省エネルギー対策を実施することがESCO事業の前提になるので，基本的には施主（ESCO事業導入者）にはリスクのない省エネルギー対策である。また，ESCO事業導入により2章で述べたメリットのほかに下記のようなメリットもある。

(1)　従業員の啓発
(2)　設備更新費用の捻出
(3)　更新設備の保守点検費の捻出
(4)　消耗品の長寿命化（交換頻度軽減）
(5)　場合によってはESCO設備運用管理者の常駐化

6　最近のESCO事業の事例

富士電機は2005年4月から「マイドームおおさか」でESCO事業を開始したので，その事例について紹介する。この施設は大阪府が出資している財団法人大阪産業振興機構の施設で，用途は展示場である。展示場のエネルギー消費は，展示会を開催する日とそうでない日とでは大きく異なるが，下記の7アイテムを検討し，“まめな”対策を積み上げることにより，30％程度のエネルギー削減が可能となった。

(1)　空調負荷が時間的にどのように推移しているか
(2)　外気導入量をどの程度削減できるか
(3)　冷温水をどの程度削減できるか
(4)　変圧器などの需要率がどの程度か
(5)　照明設備は高効率になっているか

図 6　建物における省エネルギーアイテム

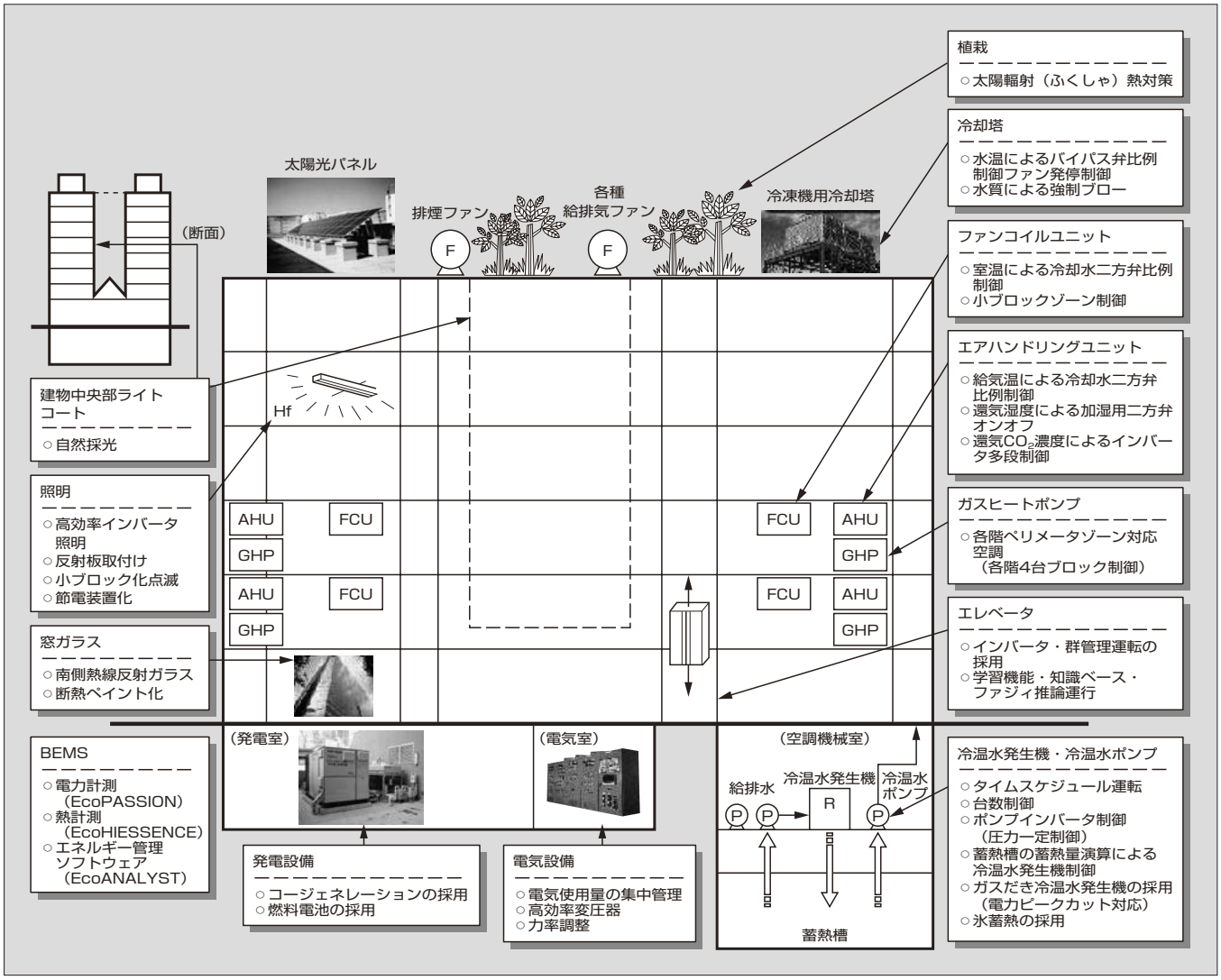


図 7　ESCO 事業の概要

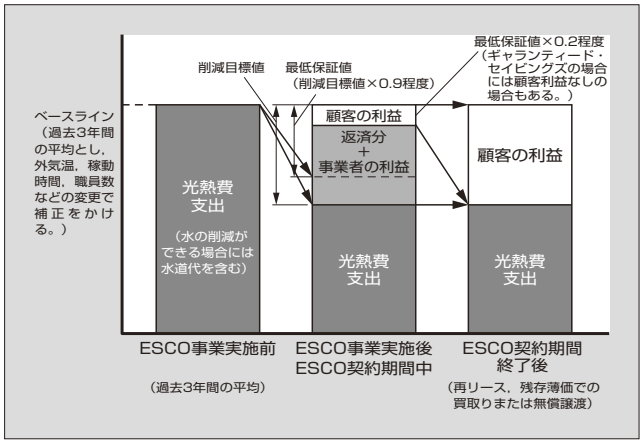


図 8　マイドームおおさかの外観

(6)　地下水が有効に活用されているか

(7)　熱源にどの程度余力があるか，また更新により効率が大幅にアップするか

である。その施設の外観を**図 8** に，その対策の一例を**図 9**，**図10**に示す。

図 9　省エネルギー手法（1）

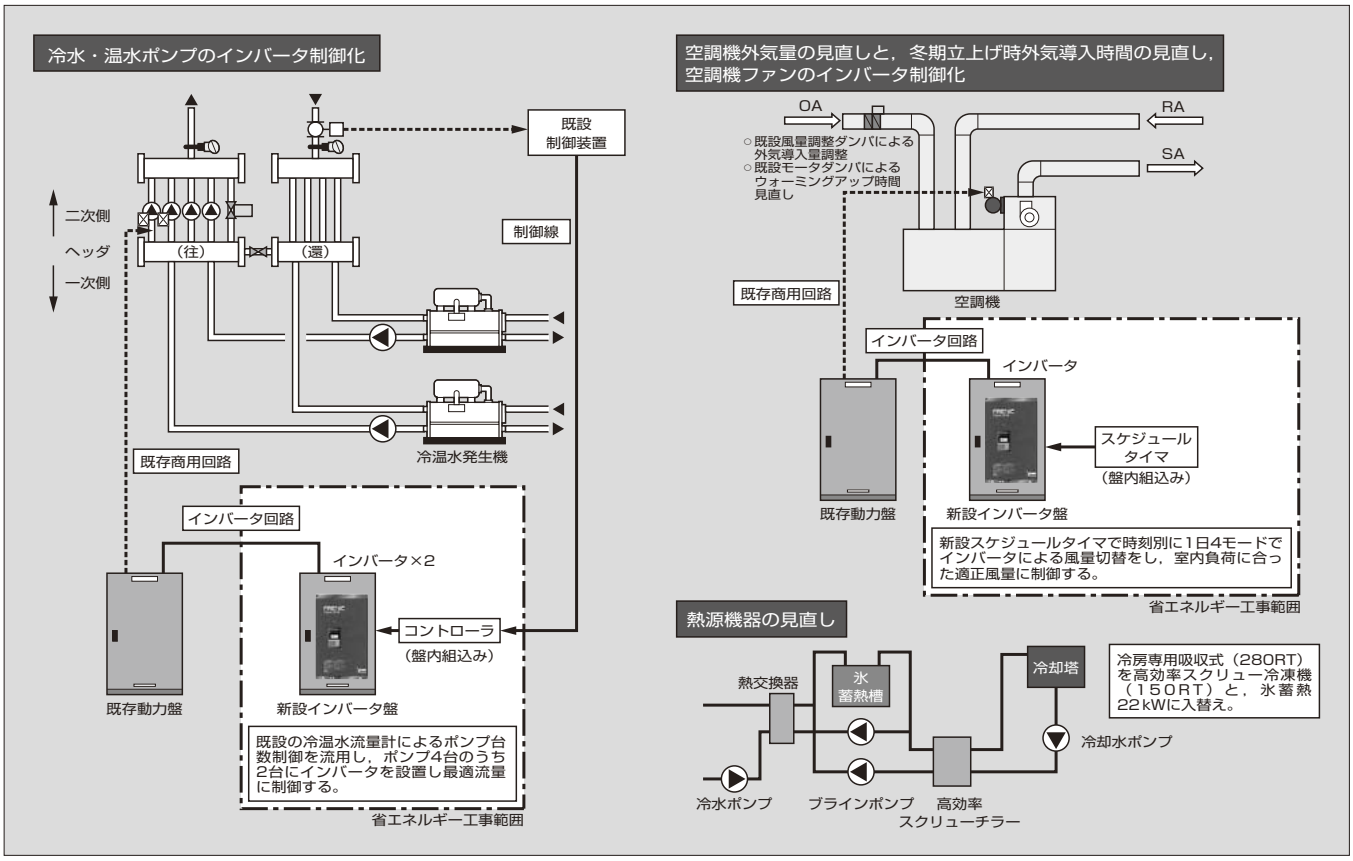
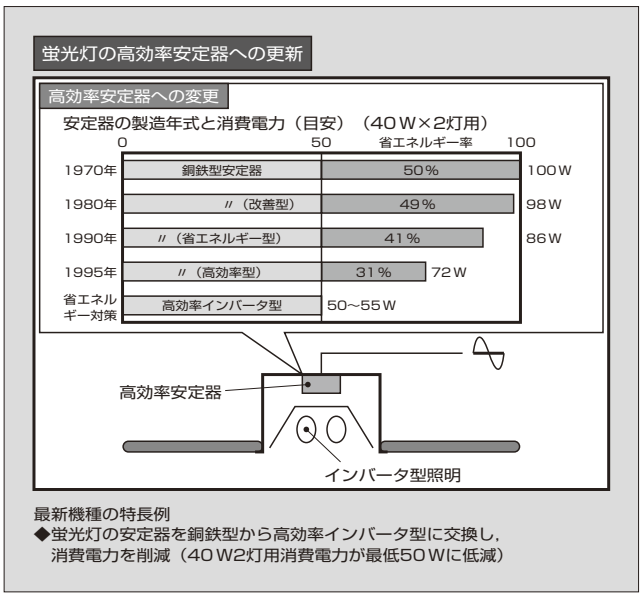


図 10　省エネルギー手法（2）



7　あとがき

省エネルギー対策による CO_2 削減が環境負荷軽減の重要な柱の一つとして期待されていることから，その有力な手段として ESCO 事業は今後とも広範囲に浸透していくものと思われる。データベースの構築を推進するとともに省エネルギー技術の高度化を図り，さらなる省エネルギー実現に貢献していきたいと考えている。

電機設備アフターサービスにおける予知保全技術

西山　和男（にしやま　かずお）　一石　健三（いちいし　けんぞう）　福島　宗次（ふくしま　そうじ）

1　まえがき

電力系統の監視制御装置から新エネルギーの発電装置まで多種にわたる電機設備が電力・産業など各分野で運用されている。設備運用にあたっては，ライフサイクルの長期にわたる安定的かつ低コストでの維持管理が不可欠である。富士電機では，これらの要求に応えるべく予知保全技術とその支援ツールを開発するとともに，24時間365日にわたったサポート体制を強化してきた。その取組みを紹介する。

2　予防保全技術の体系と最近の予知保全技術

2.1　予防保全技術の体系

富士電機は電機設備のライフサイクルにわたる円滑な運用や信頼性向上のため，フィールドデータの蓄積や研究開発を行い，異常・劣化診断技術および余寿命診断技術を数多く確立してきた。最近では新しい手法により余寿命推定の精度向上を図るとともに，対象範囲の拡大にも取り組んできた。油入変圧器では油中ガス分析診断法を早くから確立し，余寿命まで予測できるようになった。回転機では高圧巻線絶縁について装置を停止した状態で行う非破壊での絶縁診断試験やオンラインでの部分放電測定を行ってきた。情報機器では半導体素子などの腐食劣化調査，IC開封調査による劣化診断法を実用化するとともに，プリント基板洗浄による延命化策も実施してきた。電機設備における代表的な診断技術を**表1**に示す。

表1　電機設備予知保全技術の体系

	変電所	配電盤 コントロールセンタ バッテリー	情報制御装置 可変速制御装置	回転機
劣化診断	油入変圧器 劣化診断 ○油中水分 ○全酸価 ○絶縁破壊電圧 ○ガス分析 モールド変圧器 診断 ○部分放電 開閉装置診断 ○開閉特性 ○最低動作電圧 ○主回路抵抗 測定 ケーブル診断 ○活線直流重畳	遮断器 劣化診断 開閉器 劣化診断 コントロールセンタ 劣化診断 環境診断	半導体劣化診断 （漏れ電流） 電子部品 劣化診断 プリント基板 洗浄・コーディングサービス RAS解析	電気的絶縁診断 ○直流試験 ○tanδ試験 ○交流電流試験 ○部分放電試験 高圧回転機の 信頼性評価法
	オンライン診断・リモートメンテナンス			
	中長期保全計画			
余寿命診断	絶縁紙重合度 $CO+CO_2$, フルフラール 油入変圧器の 余寿命診断 （構造化 ニューラル）	配電盤, 制御装置の 余寿命診断	Webリモート メンテナンス	物理化学的絶縁 劣化診断法 高圧回転機の 余寿命診断

2.2　最近の予知保全技術

代表例として，油入変圧器の余寿命予測と回転機の高圧巻線絶縁余寿命推定の最新技術を紹介する。

(1)　構造化ニューラルネットワークによる油入変圧器の高精度余寿命診断技術

油入変圧器の寿命は主として巻線絶縁紙の機械的強度の低下により決まり，絶縁紙の平均重合度で評価される。平均重合度とは絶縁紙の主成分であるセルロースの結合具合の指標であり，それを推定する代表的な方法として絶縁紙からの生成物であるフルフラール量を測定する方法がある。しかしながらこの方法は，寿命推定の精度が低く，正確な予防保全の課題となっていた。このために，最新でかつ富士電機独自の解析技術である構造化ニューラルネットワーク（構造化NN）とアンサンブル手法（455ページの「解説」参照）を適用した高精度な余寿命推定技術を開発した（特許出願中）。開発手法はフルフラールを含む複数の，その他の油中成分，運転状況や設計諸元などを入力し平均

西山　和男

電力系統，電機設備のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社サービス本部ライフサイクル技術センターカスタマーサポート部マネージャー。電気学会会員。

一石　健三

電機設備のエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社サービス本部ライフサイクル技術センターカスタマーサポート部主任技師。

福島　宗次

計装制御システムの試験，保守，技術支援および保守用情報支援システム構築に従事。現在，富士電機システムズ株式会社サービス本部ライフサイクル技術センターコールセンター部長。

図1　構造化 NN 適用変圧器の余寿命予測

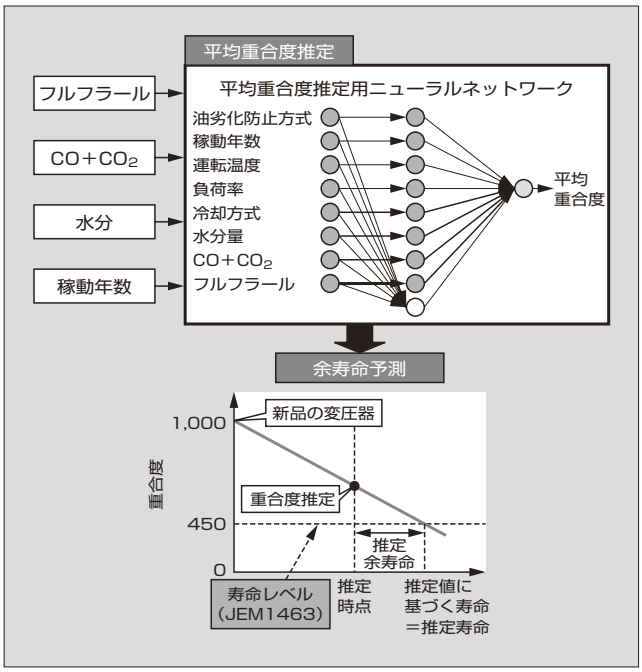
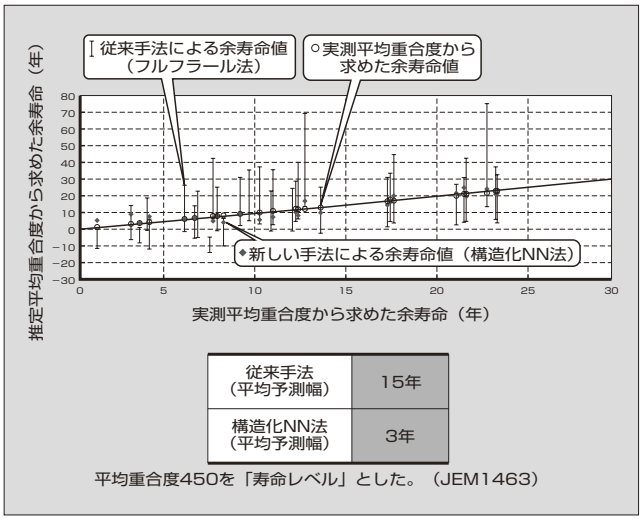


図2　変圧器余寿命予測の比較

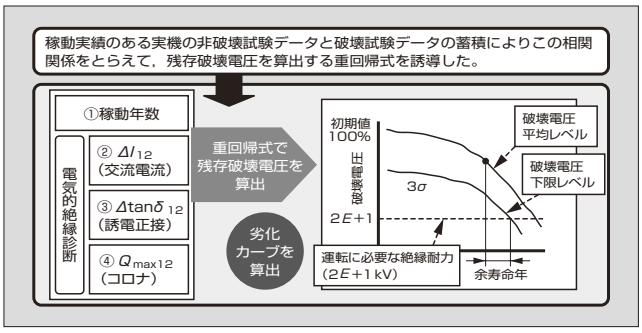


重合度を推定し，それを基に余寿命を推定する。**図1**に予測の流れ図を示す。39台の変圧器を解体して平均重合度を実測しシステムを構築するとともに，開発手法の評価を行った。その結果，従来のフルフラール法推定精度15年に対して，開発手法では誤差3年で推定できた。**図2**に比較結果を示す。高精度な寿命予測により，最適な延命化対策と更新計画ができる。

(2)　高圧回転機の余寿命診断

固定子巻線の非破壊絶縁診断データから残存絶縁破壊電圧を推定し，余寿命を求める方法がある。富士電機は余寿命を高精度で予測するために，稼動実績のある実機での非破壊試験データや破壊電圧などのマスターデータを蓄積してきた。この非破壊データと破壊電圧の統計的な相関関係を算出し，この関係から余寿命を予測する方法を開発してきた。**図3**に余寿命推定流れ図を示す。1999年にコイル

図3　高圧回転機の余寿命予測



単体真空含浸絶縁（Fレジン/F絶縁）方式の回転機でこの方式による余寿命予測法を確立し，多数の診断実績を上げている。さらに近年は対象を広げ，レジンリッチ絶縁（Fレジン/S絶縁）方式の回転機でも30台以上の回転機の蓄積データからこの方式による余寿命予測法を確立した。これらの寿命予測により高圧回転機での適正な更新時期を明示することができる。

長期稼動する設備の老朽化が進む中，ライフサイクルにわたる保全も時間計画保全から状態監視保全が重要になる。今後，さらなる劣化データの蓄積と最新技術の活用により予知診断技術の向上と対象機種の拡充を図っていく。

3　アフターサービスの支援ツール

設備の経年劣化に伴う効率低下を最小限に抑え，長期にわたり安定運用させるためには，設備診断結果に基づく最適な保全計画とメンテナンスが必要である。それを支えるための支援ツールは重要であり，最近の自動診断装置や支援システムを紹介する。

3.1　受変電設備劣化診断装置

受変電設備は第一に安定性，信頼性が求められる一方，高稼動化による停止時間の減少，点検間隔の延長が進んでいる。上記の課題を解決するための2例を紹介する。

(1)　受変電開閉器用劣化診断装置

遮断器・開閉器の劣化診断用に開発した「CB-DEC」とコントロールセンタ用の「CC-DEC」がある。開閉動作特性（速度・波形），絶縁特性，接触抵抗の各値の傾向管理により劣化診断を行う。試験用電流発生，測定・結果判定，報告書作成までが自動で行われ，従来と比較して1/2～1/3の時間で診断でき，点検時間の短縮に寄与する。保全計画者はこの結果を中期保全計画立案時に容易に反映することができる。装置の構成を**図4**に示す。

(2)　受配電設備診断機能付自動試験システム

あらかじめ受配電設備に点検回路を組み込み，停電条件などを判断して，安全に受電回路から点検回路へ切り換える。2系統受電では受電を停止させる必要がなく，1系統受電でも試験準備が不要となり，点検時間は従来の1/7と大幅に短縮できた。試験結果は履歴トレンドとしてデータベース化し，劣化具合いの傾向管理により精密点検対象機

器の絞込みと精密点検実施周期の最適化を可能とした。

なお，自家発電設備制御装置のシミュレーション試験機能も装備している。システム構成を**図 5** に示す。

3. 2　リモート診断システム

設備故障時の復旧時間の短縮と故障予知の要求に応えるため，遠隔から予防保全と異常監視ができるリモート診断システムの充実を図ってきた。富士電機では，無停電電源装置（UPS），DCS（Distributed Control System）装置，燃料電池などを対象に，これまでに 200 システムの実績を持つ。なかでも燃料電池発電装置のリモート診断システムは，主にガス会社，電力会社に 20 システムを提供し，安定運用，トラブルの波及の未然防止に寄与し，高い信頼を得てきた。以下に特長を述べる。

(1)　運転データは装置側とサーバ側で二重に保持され，サーバダウンなどの不測事態にも対応でき，ユーティリティ設備に要求される高い信頼性の維持に応えている。

(2)　運転データや異常情報は電子メールで通知されるとともに，リモートメンテナンスセンターで履歴管理され，保全計画の見直し，最新の保全計画の策定に反映される。システム構成を**図 6** に示す。

3. 3　長期保全計画最適化支援システム

長期にわたり，より経済的で信頼性の高い設備運用を図るためには，機器の劣化度，重要度，設置環境，運用状態，予算計画などを総合的に考慮した最適な長期メンテナンス計画が必要となる。富士電機では，これまで開発してきた余寿命予測などの設備診断技術と，予算計画などの資産管理情報とを融合させた，新たな視点の「長期保全計画」を構築するための最適化支援システムを改良・開発中である。

この最適化支援システムにより，

(1)　今後の予算計画，運用計画に基づく，最適な更新計画の提案（繰上損失，事故損失の防止）

(2)　最適な保全方案とその実施時期の提案ができ，安定運用を維持すること，各年度でのコストの平準化，ライフサイクルコストの最小化が可能となる。新たな視点の「長期保全計画」のイメージ図を**図 7** に示す。

4　ライフサイクルサービスを支える基盤整備

4. 1　サービス基盤の概要

富士電機は以下の三大サービス基盤を整備してきた。サービス基盤構成を**図 8** に示す。

(1)　お客様からの問合せや，障害支援を受け付け 24 時間 365 日稼動するコールセンター

図 4　受変電開閉器用劣化診断装置

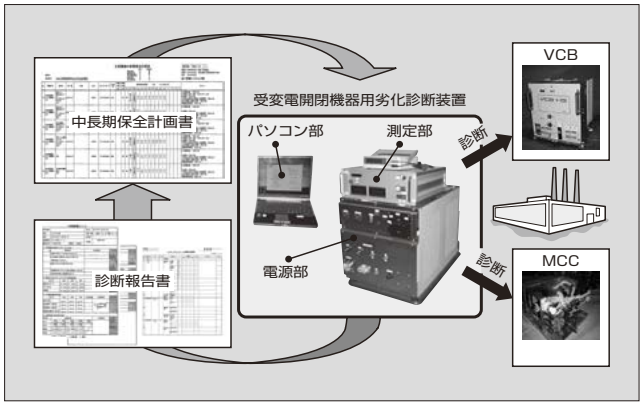


図 5　受配電設備自動試験システム

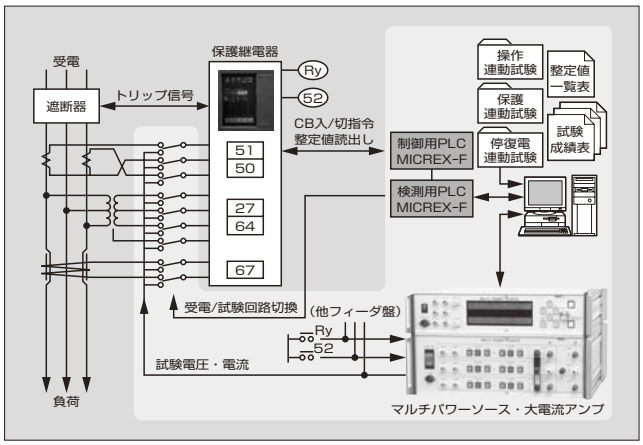


図 6　燃料電池発電装置リモート診断システム

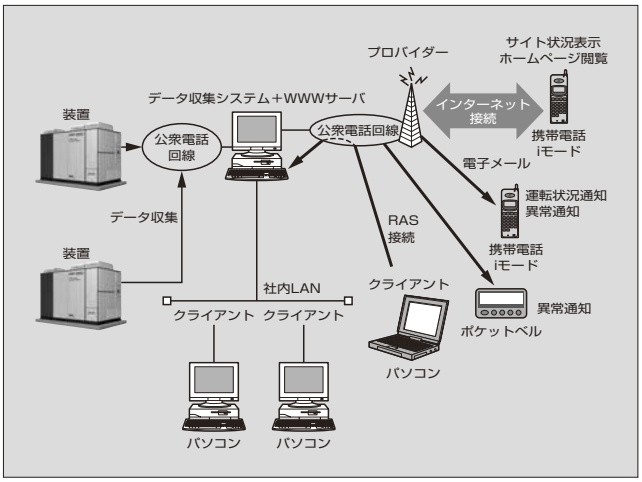
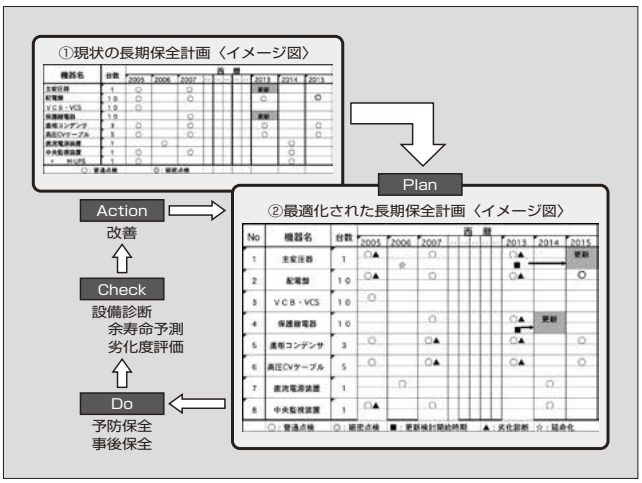


図 7　長期保全計画のイメージ図



(2)　障害修復用緊急部品を供給するために，東京と大阪に配置した部品ロジスティクスセンター

(3)　全国約 80 の拠点と約 800 人の保全サービスマン

サービスマンはお客様設備の主治医として，稼動状況に合わせた最適な保全計画を立案し，設備の安定稼動のために 24 時間対応の保全サービスを提供する。

コールセンターは，サービスのシンボル的位置づけにあり，①お客様問合せ窓口となるコールセンター機能，②データセンター機能，③リモートメンテナンスセンター機能を有する。**図 9** にコールセンターの機能を示す。自社製品にとどまらず，コール受付代行サービスも提供している。データセンターではコールセンター支援情報システムの運用から得たノウハウを生かし，インターネット接続サービス，ハウジングサービス，リモート運用監視サービスなど多様化するニーズに応えるために機能の充実を図っている。

ロジスティクスセンターは富士電機が納入したシステムの長期安定稼動の実現に向けて，24 時間出庫体制で運営

図 8　サービス基盤

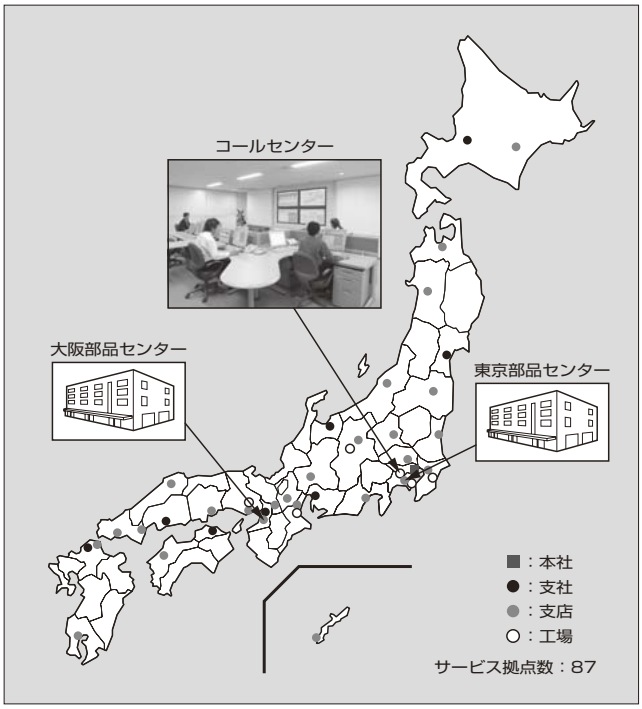


図 9　コールセンターの機能

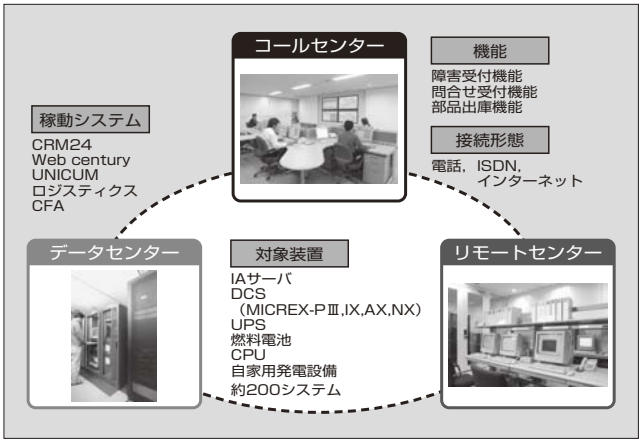
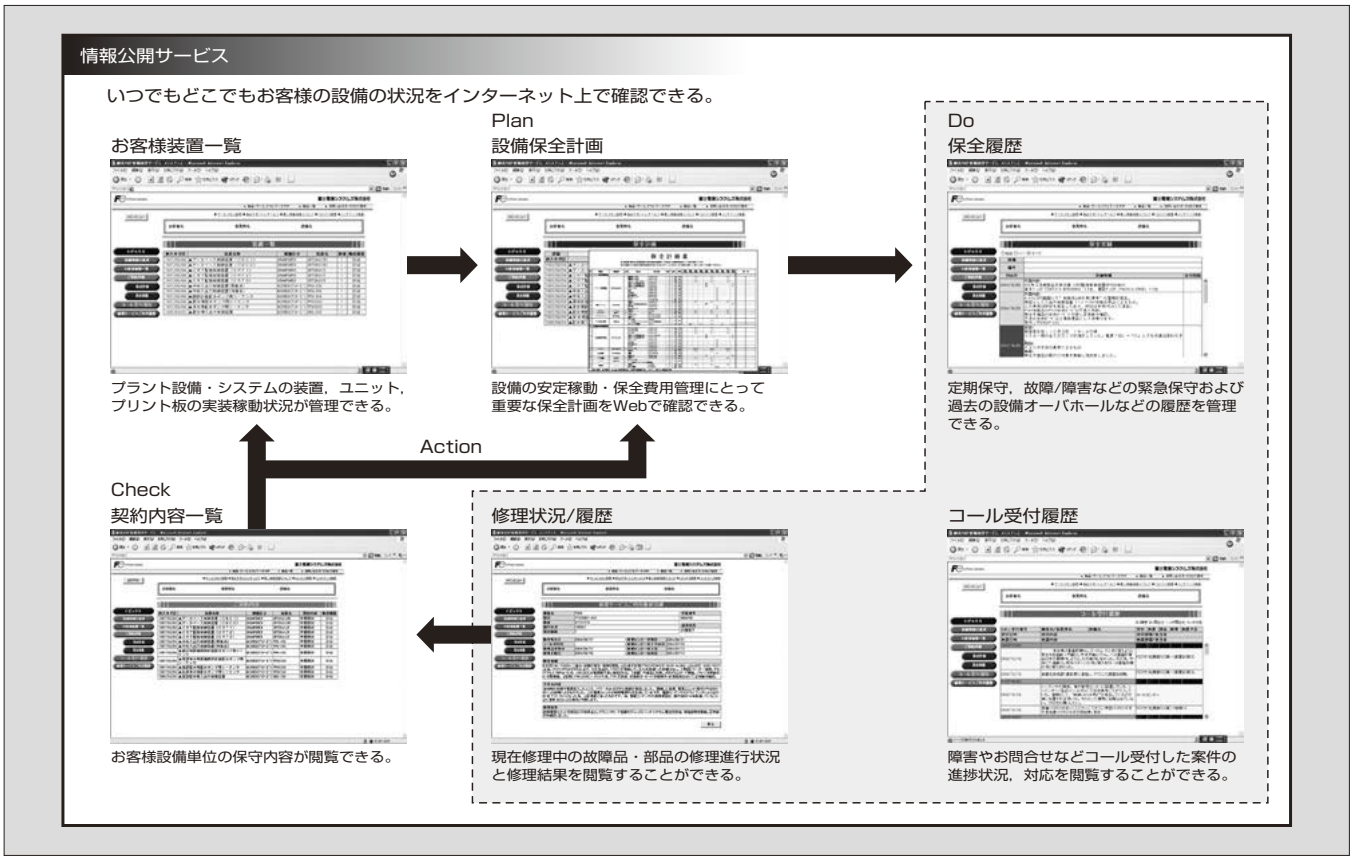


図 10　保全情報提供サービス



している。緊急対応用部品とメンテナンス用部品はロジスティクス支援システムにより製品稼動状況のタイムリーな調査と，生産終了部品も含めて適正在庫運用を行っている。

サービス拠点での活動では，コール受付情報，ロジスティクスの部品在庫状況確認，製品品質などの情報が不可欠であり，サービス部門情報ネットワークシステムによって高品質なサービスを実現している。

4.2　コールセンターの高機能化

保全情報提供サービス（F-Mains）は，インターネットの普及に対応した新しいサービスである。内容は，①お客様に納入した設備仕様や保全サービス利用履歴などをWebサイトから閲覧できる情報公開サービスと，②富士電機の「サービスキャンペーン」や「保守に関する情報」などを電子メールにより通知する情報配信サービスがある。

図10にF-Mainsの情報公開サービスの一例を示す。保全計画とその保全実績から，保全計画をブラッシュアップすることでPDCA（Plan-Do-Check-Action）を回し，最適な設備保全を実現する。Webサイトでお客様と情報を共有することで保全効果の確認がタイムリーとなり，修理の進捗（しんちょく）状況が閲覧できるなどニーズに応えたきめ細かいサービス向上を図った。

コールセンターではお客様の設備情報を扱うことから情報セキュリティの強化は必須であり，財団法人日本情報処理開発協会の情報セキュリティマネジメントシステム適合性評価制度の認証取得により，万全な情報セキュリティマネジメントを実施している。

今後とも変化するニーズと技術進歩に合わせ，インターネット利用サービスの拡大などサービス基盤の充実を進めていく。

5　あとがき

電機設備アフターサービスを支える予知保全技術とその支援ツールならびにそれを支えるサービス基盤を紹介した。設備の安定稼動と運用費の低減は永遠のテーマであり，今後とも技術開発と基盤整備の充実を図り，ライフサイクルにわたったサービス品質の向上を追求していく所存である。

参考文献

(1)　松井哲郎ほか．構造化ニューラルネットワークを適用した油入変圧器劣化診断方法の検討．電気学会全国大会．no.4-208, 2005.

(2)　梶原浩行ほか．遮断器，保護継電器の自動点検・診断ツールの紹介．産業と電気．no.635, 2005, p.7-14.

解　説　**アンサンブル手法**

予測精度を向上させる手法の一つである。複数の予測結果を加重平均し，最終的な結果を算出する。平均化により誤差のばらつきを少なくし，予測精度を向上させる手法であり，予測モデルを作るためのデータが少量の場合でも精度向上の効果が期待できる。

半導体ガスセンサの高機能化とクリーンルームへの応用

片田　直伸（かただ　なおのぶ）
鳥取大学工学部助教授 博士（工学）

筆者は鳥取大学にて研究・教育に従事している。鳥取は人口最少県だが，自然が豊かで食べ物がおいしく，基礎研究に没頭するに最適の環境である。筆者の研究は固体触媒を主な課題とし，ここに示すように半導体ガスセンサも扱っている。本稿では有機物（可燃物）を検出する半導体ガスセンサについての近年の研究と，そのクリーンルームの自動監視システムへの応用可能性を論じたい。

クリーンルームを維持・管理するためには，各種センサによる自動監視が不可欠である。パーティクルセンサ，温湿度センサ，静電気センサなどさまざまなセンサが実用化されている。

一方，半導体，液晶製造工程等においては，クリーンルーム空気中の化学汚染物質が製品の品質に悪影響を及ぼすことが明らかになってきた。SO_x，NO_x，NH_3 等の無機成分の一部に対しては，化学センサが実用化され自動計測が可能である。しかし有機物に関しては，GC–MS を用いてサンプリングから分析結果判明まで数日以上をかけて行っているのが実情で，自動計測が可能なガスセンサの要求が高まっている。

有機物を検出する酸化スズ半導体ガスセンサについては，検出限界が低く反応が速いものの，原理としては全ての有機物を検出するものであって選択性をほとんど有しない。しかしクリーンルームでは DOP 等の特定成分の検出が求められる。そこで，半導体ガスセンサに選択性を付与することが一つのアイデアとして提案される。

酸化スズなどの酸化物半導体の電気抵抗から，有機物の組成を測定するセンサは，ガス漏れ警報機，アルコールチェッカー，自動車の空気／燃料比のモニタなどに広く利用されている。他の化学物質センサ，例えば吸着による重量変化を利用した QCM（Qualtz Crystal Microbalance）センサなどに比べて，還元性物質に敏感で酸化性物質の影響を受けないという，基本的な選択性を有する。半導体ガスセンサは清山らによって 1962 年に提案され，わずか数十年の間にさまざまなセンサが実用化された。日本の産んだ貴重な技術と言ってよい。

さて，清山らは固体触媒化学の研究者で，また半導体ガスセンサは後述のように固体触媒反応を利用するものである。現在でも筆者を含む多くの半導体ガスセンサの研究者は固体触媒化学の研究者を兼ねている。酸化スズによる有機物の検出の原理はつぎのようなものである。酸化スズは高温・低酸素分圧で酸素の一部を失い，これを補償するために Sn^{4+} の一部が Sn^{2+} となる。Sn カチオンは結晶格子内で固定されているが電子は容易に動くことができるので，Sn^{2+} と Sn^{4+} の入れ替わりを通じて Sn^{2+} 部分（ホール）が動き，導電性が生まれる。したがって，ある一定温度（例えば 200 ℃）の空気中で酸化スズはある一定の抵抗を示し，有機物と接触すると酸化触媒作用によって酸化スズ表面から酸素が奪われ，特に電気抵抗の高い粒界部分でしばらくのあいだ電気抵抗が減少して電流が流れる。

このような原理から，センサの改良に対するアイデアが生まれる。例えば，貴金属は非常に高い酸化触媒活性を持つことが知られているので，酸化スズに白金を加える。すると感度は飛躍的に高くなる。ただし，感度を高める研究は意外に簡単であって，触媒開発において酸化反応に対する触媒活性を高める研究と同様，盲目的になされてきたのが実態で，またそれで充分であったことも確かである。

一方，前述のように有機物用半導体ガスセンサは原則として全ての可燃性物質に応答してしまう。ガス漏れ警報機が殺虫剤や酒蒸しのアルコールに応答してしまう経験を持つ方も多いであろう。これらの誤作動のためにガス漏れ警報機は単なる警報機であって，スプリンクラーやガス栓と連動させることが難しい。選択性を有しないセンサをクリーンルームに取り付けても，おそらく無意味であろう。そこで選択性を与える試みがなされている。感度の向上とは異なり，選択性を与えるには合理的な戦略が必要である。例えば，酸性の気体に対する感度を高めるために塩基性金属酸化物を加えるなどの試みが従来からなされている。これに加え，固体触媒の世界では近年，原子レベルでの精密な表面構造の構築がなされるようになってきた。筆者らは酸化スズ表面にシリコンと酸素原子を並べて特定の形を持つ細孔を作り，細孔に入ることのできる分子だけを 100％の選択性で吸着できる手法を開発した。これらの成果を取り入れることで選択的な半導体ガスセンサの開発が可能となり，クリーンルームにおいて化学汚染物質のモニタと管理を簡便に行うシステムも現実となるであろう。

他分野の技術の進歩もクリーンシステムの高機能化や効率化に向けて近年取り入れられており，本号「クリーンシステム技術特集」ではその一端に触れることができる。

クリーンシステム技術の現状と展望

横幕　博行（よこまく　ひろゆき）　　澤田　朋之（さわだ　ともゆき）

1　まえがき

近代産業が生み出す数々の製品は，高精細，高精度，高信頼性を最大限に引き出し，より速く，より美しく，より小さくその姿を変化させ，急速な進歩を遂げている。この進歩を生産現場での空気清浄を主体とした環境確保において貢献しているのがクリーンルームである。古くは精密工業が空気の清らかなスイスなどで発展したように，伝統的産業において「生産現場の空気清浄化」は，経験的に取り入れられていた歴史ある技術ともいえる。その後，第二次大戦中の原子爆弾開発時に放射性浮遊微粒子の封じ込めのために開発されたHEPA（High Efficiency Particulate Air）フィルタの出現により，積極的な空気浄化の手法が可能となり，空気清浄の考え方は大きく変わることになった。

わが国では1960年代から，主として精密機器組立ラインにおいてクリーンルームの導入が始まり，その後，半導体を中心とする電子・精密工業，食品工業，薬品工業，医療分野へと広がった。今日では，クリーンルームは液晶工場，ナノテクノロジー分野などの成長産業の生産環境をサポートする共通の基盤技術となっている。

クリーンルームを取り巻く市場環境はこの十数年間で大きく変化した。1980年代の国内半導体産業はメモリのDRAM（Dynamic Random Access Memory）を中心に工場の建設が相次いだ。しかし，1990年代に入ると日米貿易摩擦，円高，バブル崩壊などにより国内半導体産業は勢いを失い，代わって台湾，韓国が業績を拡大し現在に至っている。一方，1990年代に入りクリーンルーム市場に大きな変化を与えたのがFPD（Flat Panel Display）産業である。なかでも液晶産業はFPDを代表する製品としてパソコン，大型テレビ，モバイル機器，車載用など多くの分野で利用されており，とりわけ高機能品における国内製品の優位性は顕著である。しかしながら，半導体と同様，台湾，韓国の積極的な大規模設備投資が継続中であり，今後ますます激しい競争が予想される。**図1**に国内半導体メーカー，**図2**に国内液晶関連メーカーの設備投資トレンドを示す。

富士電機では，これまで取り扱ってきたクリーンルームおよびクリーン機器の供給に加え，液晶産業向け大型クリーンルームのエンジニアリング技術，クリーンルーム環

図1　国内半導体メーカーの設備投資推移および生産高

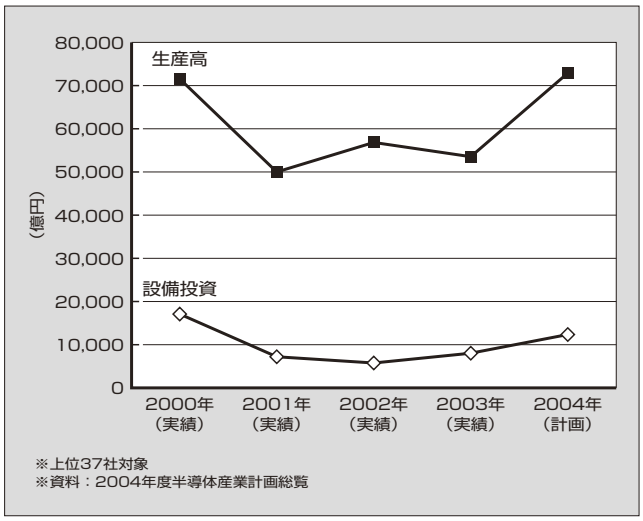
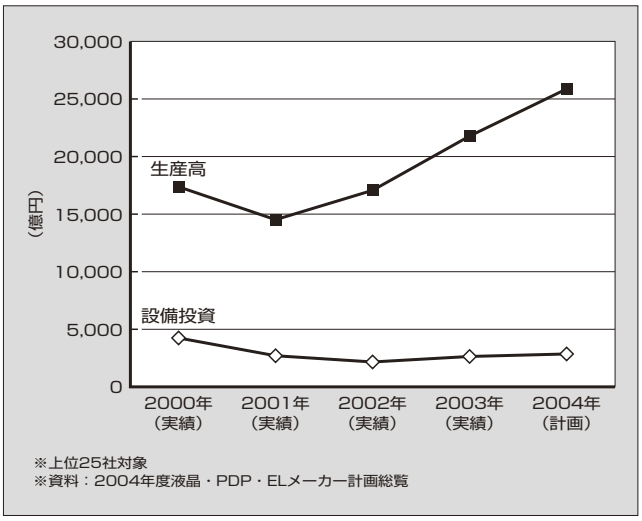


図2　国内液晶関連メーカーの設備投資推移および生産高



横幕　博行

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部長。電気設備学会会員，空気調和・衛生工学会会員。

澤田　朋之

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部長。

表1　世界のクリーンルーム規格

	ISO	米　国	米　国	日　本	英　国	ドイツ	フランス	オーストラリア	韓　国	中　国
規　格	FDIS 14644-1	FED.ST. 209D	FED.ST. 209E	JIS B 9920	BS 5295	VDI 2083	NEX 44101	AS 1386	KS	QJ2214
年　度	1997	1988	1992	1989	1989	1990	1981	1989	1991	1991
基準粒子（μm）	0.1	0.5	0.5	0.1	0.5	1	0.5	0.5	0.3	0.10.5
単　位	10^n個/m^3	個/ft^3	個/m^3	10^n個/m^3		10^n個/m^3	個/m^3	個/m^3	個/m^3	個/m^3
クラス	1		M1（10/m^3）	1					M1	
	2			2		0			M10	
	3	1	M1.5	3	C	1		0.035	M100	1
	4	10	M2.5	4	D	2		0.35	M1,000	10
	5	100	M3.5	5	E or F	3	4,000	3.5	M10,000	100
	6	1,000	M4.5	6	G or H	4		35	M100,000	1,000
	7	10,000	M5.5	7	I	5	400,000	350	M1,000,000	10,000
	8	100,000	M6.5	8	J	6	4,000,000	3,500	M10,000,000	100,000
	9		M7		K	7				
					L					

出典：菊地正典ほか．半導体用語がわかる辞典．日本実業出版社．2001-05.

境のトレーサビリティを行う計測・センサ技術などにも取り組んできている。

本稿ではクリーンルームを取り巻く動向，富士電機の取組み状況と今後の展望について述べる。

2　クリーンルームの規格

クリーンルームにおける清浄度の規格は，ISO（International Standard Organization）において清浄度に関する規格 ISO14644-1 が 1999 年に成立した。しかしながら，**表1**に示すように世界各国の規格状況を見ると，米国連邦規格（FED.ST.209：廃止），英国規格協会規格（BS5295-1），ドイツ規格（VDI2083），日本工業規格（JIS B 9920）など，さまざまな規格が存在することが分かる。特に長年にわたって使用されてきた米国連邦規格は ISO の成立に伴い 2001 年に廃止されたものの，1 ft^3 中に存在する粒子数で表現し感覚的に理解しやすかったことから，実際の現場においては現在でもクラス 100（at 0.1 μm）といった使われ方が一般化している。このため ISO 規格との併用をせざるを得ず，統一にはもうしばらく時間がかかることが予想される。

バイオロジカルクリーンルーム（BCR）における規格の動向は，**表2**の世界保健機構（WHO），**表3**の米国航空宇宙局（NASA），**表4**の米国食品医薬品局（FDA）などによりクリーンルームの規格化が図られている。また，2005 年 4 月の改定「薬事法」により医療機器にかかわる品質保証システムが ISO13485 に準じたバリデーションを実施することになるため，クリーンルームの環境条件としても**表5**に示すように設計段階からプロセス稼動時までの適格性についての体系化されたドキュメントがますます重要となってきている。

表2　WHO GMP

グレード	粒子濃度（個/m^3）		浮遊菌濃度（CFU/m^3）
	0.5～5 μm	5 μm	
A	3,500	0	1>
B	3,500	0	5
C	350,000	2,000	100
D	3,500,000	20,000	500

3　クリーンルームシステムの現状と展望

クリーンルームは大別するとインダストリアルクリーンルーム（ICR）と BCR に分類される。ICR は液晶分野，半導体分野などを対象とし，BCR は医薬分野，食品分野などを対象としている。ここでは，それぞれの代表分野におけるクリーンルームの現状と展望について述べる。

3.1　液晶（LCD）分野

液晶分野は大型テレビを筆頭に年々価格が低下しており，ここ数年で一般消費者の間へも普及し始めたところである。この低価格化を可能とした最も大きな要因として挙げられるのが，ガラス基板の大型化による生産効率の向上である。第 8 世代ではいよいよ 2.2 m × 2.4 m と 2 m を超えるため，生産装置も工場も巨大化してきており，最新鋭工場の設備投資額は 1,500 ～ 2,000 億円という巨額なものとなっている。

3.1.1　液晶分野の現状と課題

最新鋭液晶工場の最大の特徴は前述のとおり巨大化であり，これまでのクリーンルーム設計手法では解決できない部分が発生していることである。一例として従来の半導体クリーンルームと比較したときの規模の違いを以下に示す。

表3　NASAバイオクリーンルーム規格

	0.5 μm以上の微粒子数		5 μm		微生物数		一週間の落下細菌数	
クラス	個/ft^3	個/m^3	個/ft^3	個/m^3	個/ft^3	個/m^3	個/ft^3	個/m^3
100	100以下	3,500			0.1	3.5	1,200	12,900
10,000	10,000以下	350,000	65	2,300	0.5	17.5	6,000	64,600
100,000	100,000以下	3,500,000	700	25,000	2.5	87.5	30,000	323,000

表4　FDA規格

	粒子濃度	浮遊菌濃度（個/ft^3）
重要区域	クラス100	0.1
管理区域	クラス100,000	2.5

表5　バリデーションの手順

工　程	バリデーションの項目	
基本計画	DQ（Design Qualification）	設計の科学的根拠・妥当性と適格性
基本設計		
詳細設計		
発注・施工	IQ（Installation Qualification）	据付け時適格性の確認
試運転・調整	CAL（Calibration）	キャリブレーション
	OQ（Operation Qualification）	稼動時性能適格性の判断
生　産	PQ（Process performance Qualification）	工程稼動適格性
	体系化されたドキュメント	バリデーションドキュメント

(1)　クリーン面積の超大型化（従来：数万 m^2→ 最新鋭：十数万 m^2）

(2)　天井高の高さ拡大（従来：5 m → 最新鋭：10 m）

このことにより，清浄度の確保と換気回数の関係，安全対策，耐震対策，気流制御，室圧制御，空調制御方式，照明計画，清浄度監視などにおいて，さまざまな新手法の導入が必要となっている。とりわけ，ガラス基板の搬送やストックヤードおよび生産装置投入部におけるクリーン化は生産歩留りに直結する部分であることから，富士電機では自社で所有する大規模研究棟での実機検証試験やシミュレーション，ベクトル表示式気流可視化などの解析により最新鋭液晶工場に最適なクリーン環境を検証し実用化に結びつけている。

3.1.2　今後の液晶分野

液晶分野では歩留りの向上，イニシャルコストの低減，ランニングコストの低減，短工期対応に対する要求の度合いは年々強まっており，今後もこの傾向は続くものと思われる。

これまでは，生産効率の向上を目的にガラス基板を大型化してきたが，単純なガラス基板の大型化だけでは単位面積あたりの投資採算性はすでに限界にきているとの報告もあり，今後は量産予定の大型テレビの大きさが最も効率的に生産できるサイズを基準として決定していくようである。このガラス基板サイズは搬送方式に大きな影響があり，カセット収納によるバッチ方式から基板を1枚ずつ流す枚葉式への移行や，製造装置間を行き来するジョブショップ方式からプロセスの順に流すフローショップ方式への移行などが考えられている。クリーンルームはこれらの生産方式に適したシステム構築が求められており，特に今後は液晶分野におけるミニエンバイロメントをいかにしてシステム化していくかが重要な課題といえよう。

3.2　半導体（LSI）分野

半導体分野は，年々加工精度の微細化が進み，現在では量産レベルで90 nm程度にまで達しており，研究レベルでは45～65 nmにまで達している。また，最先端の量産工場ではウェーハサイズが300 mm（12 in）の採用が進んでいる。ここでは，微細化を続ける半導体分野におけるクリーンシステムの動向について記述する。

3.2.1　半導体分野の現状と課題

半導体分野におけるクリーンルームの構成はおおむねクリーンブース方式（1970年代）→ クリーントンネル方式（1980年代）→ ファンフィルタユニット（FFU）方式（1990年代）→ ミニエンバイロメント方式（2000年代）といった変遷をたどり現在に至っている。ウェーハをオープンカセットで搬送していた1990年代は，FFU方式によりクリーンルームを全面層流型クリーンルームとし，清浄度クラス1（JIS）前後を確保していた。ウェーハは基本的に高清浄度のクリーンルーム空気に暴露されることで汚染から守られていた。しかし，イニシャルコストやランニングコストが問題となり，局所クリーン化であるミニエンバイロメント方式が取り入れられるようになった（**図3**）。この方式は200 mm（8 in）ウェーハプロセスから検討が始まった方式で，密閉容器を用い容器からウェーハが出されるエリアのみをクラス1（JIS）とする方式のため，密閉容器が搬送されるエリアはクラス2～3（JIS）あるいはそれ以下の低清浄度でも運用が可能であるといわれている。200 mmウェーハ用の密閉容器はSMIF-Pod（Standerd Mechanical InterFace-Pod），300 mmウェーハ用はFOUP（Front Opening Unified Pod）と呼ばれ，同じ密閉容器ではあるもののまったく機構が異なった方式となっている。高清浄度の空間を大幅に削減できることから，省エネルギー，イニシャル，ランニングともにコストダウン可能な方式といえる。しかし，実際には清浄度確保

のための循環風量は削減可能ではあるものの，生産装置などからの発熱による室内温度上昇を抑えるために必要な風量が削減できず，結果的に清浄度レベルは期待値ほどには低減できていないのが現状である。

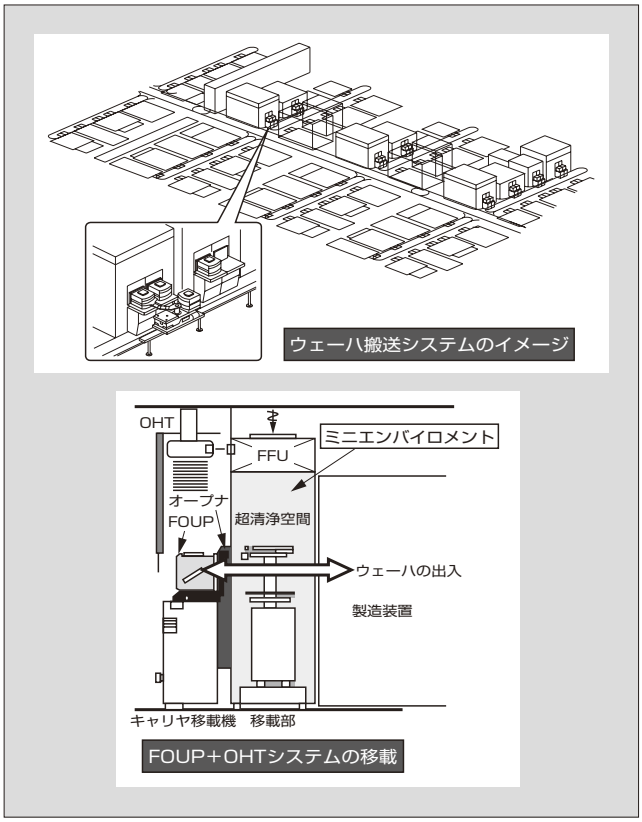
半導体の配線パターンが微細化するに伴い歩留り悪化要因も多様化し，クリーンルームに要求されるコンタミネーションコントロールの対象も変化してきている。制御対象は，従来から管理してきた金属汚染，パーティクル汚染に加え，分子状汚染物質（AMC：Airborne Molecular Contaminant）で定義される酸性物質（Acids），塩基性物質（Bases），凝縮性有機物質（Condensables），およびドーパント（Dopants）が挙げられる。近年になりAMCの評価技術が進歩したこともあり，デバイスへの影響，工程不良などのメカニズムの解明が進み，汚染の発生源対策，除去技術によるクリーン化で効果的な対策が可能となってきている。

3.2.2　今後の半導体分野

FOUP方式は日本のSEMI主導のもと，各装置メーカーとの連携で標準化し世界的に活用されているシステムである。しかし，海外の受託生産会社（ファンドリー）が標準化によるコストメリットを先行して利用しており，国内メーカーはようやく300 mmへの移行を始めたところである。

今後はさらなる微細化による新たな汚染物質の出現や濃度面での低濃度化など管理基準が一層厳しくなることが予想され，評価技術をさらに高めていく必要があると考えられる。ミニエンバイロメントの推進によりクリーン機器1台あたりの重要性が一段と向上し，故障した際のリスク管理は重要性を増している。また，クリーンルームの大型化により生産ラインでの環境異常へ迅速に対応することが困難になっていることもあり，パーティクルやAMCのリアルタイムの連続モニタリングにより歩留り悪化要因を早期発見するなどのリスク管理はこれまで以上の強化が必要と考えられる。

図3　ミニエンバイロメント



これまで生産装置は生産のための条件を出すことが最優先され，エネルギー管理は後回しとなっていたのが実態といえる。今後は，装置排熱の削減，排気量の削減など生産装置まで踏み込んだ対策が不可欠であり，このことなしでのスリム化には限界があると思われる。

さらには，国内半導体各社は高付加価値，多品種少量の製品を扱うメーカーが多数あり，旧式の生産ラインを利用し今後は，既設工場や既設設備の有効利用と新型設備へのスムーズな改修もこれから増加していくことが予想される。

3.3　医薬分野

医薬品は，厚生労働省管轄の薬事法により規制され，その中で「医薬品の製造管理と品質管理の基準」としてGMP（Good Manufacturing Practice）があり，その満たすべき要件は次の3点となっている。

(1)　人為的な誤りを最小限にする。
(2)　医薬品に対する汚染および品質変化を防止する。
(3)　高度な品質を保証するシステムを設計する。

従来の法規制は，よりよい安全な医薬品を供給するための規制は，なく不良品の取締りのための規制であった。

今回の改定薬事法（2005年4月施行）は，「医薬品の安全に対する行政コントロールの強化」「国際的な基準と日本の基準の適合」を狙いとしており，その具体策として「良質な医薬品を製造で管理するのではなく販売で管理する」ところにある。従来は製販一体での製造承認および製造業許可が必要であったものが，改定薬事法では「製造販売業」と「製造業」に分離し，医薬品承認は製造販売業にのみ付与することに改正された。このことにより，人件費抑制を目的とした海外への製造委託，製造統合によるスケールメリットを目的とした国内への製造委託が活発化することが予想され，医薬業界では研究開発力の強化を視野に入れた企業規模拡大，M&A（Merger and Acquisition）が進行中である。このため，製薬業にも半導体と同様に工場のファンドリー化が予想され，これに伴いクリーンルームのサイト数も減少するであろうと推測される。

また，改定薬事法の医薬品の承認書の記載内容が，原薬や製造方法を含めた品質の担保となり，従来のように規格適合型の品質担保から大きく内容が変わることになる。したがって，原薬変更や製造方法変更が困難となり，GMPで義務づけられている品質管理方法である「バリデーション」の一層の強化が要求されることになる。

富士電機では医薬業界向けにクリーンルーム，クリーン機器，シリンジ充填（じゅうてん）装置，放射線対応機器に加えパーティクルセンサや気流可視化などのバリデー

ション向けの機器などさまざまなシステム，機器を提供してきている。

4　今後のクリーンルームシステム

現在，各種生産工場では「環境」へ配慮した工場計画が義務づけられており，省エネルギー，リサイクル，地球温暖化ガス排出削減，LCA（Life Cycles Assessment）が重要テーマとなっている。一方で液晶・半導体分野における歩留りの向上，医薬業界におけるバリデーションの強化，さらにはイニシャルコストを削減するという経営課題に応えるクリーンルーム，クリーン機器などがこれまで以上に求められている。

(1)　大空間のクリーン化システム

液晶用クリーンルームの大型化は今後しばらくは継続するものと思われる。大空間のクリーン化の維持，リターンシャフトの効率的配置，FFU サイズと吹出し風速の最適化，装置発熱の効率的除去，などを生産装置の稼動状況と熱源の運転管理を総合的に制御する，これまでにない最適制御システムの導入が進むものと思われる。

(2)　LCD ラインのミニエンバイロメント

大型化するクリーンルームにおいて半導体，医薬分野においてはミニエンバイロメントを達成し大きな成果を上げている。今後，液晶分野においても何らかの手法においてミニエンバイロメント化が進むことが予想される。

(3)　FFU の多様化

FFU は低コストで高効率なクリーンエア供給装置として最も一般的に採用されているクリーン機器である。今後はさらに用途によりさまざまな機能・形状・低コスト化が要求されるものと思われる。

現在主流の省エネルギータイプの DC ブラシレスモータでは，モータ１台ごとに制御用プリント基板が搭載されてきたが，モータ複数台を１枚の制御基板でコントロールするなど，低コスト化対応も進められている。以下に FFU の多様化する機能について記載する。

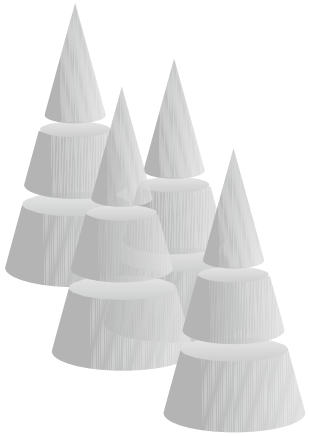
①　大型・多風量
②　高効率
③　薄型
④　生産装置対応
⑤　温度調節機能付き

(4)　環境監視システムとセンサ技術応用

クリーンルーム内で発生しているさまざまな事象を検出するためのセンサは，これまでにも温度や湿度など一般的に用いられている。今後は高コストなどで導入しきれなかったパーティクル，分子状汚染物質，静電気，などの多点モニタリングについても技術革新が進みクリーンルームあるいは各装置に設置され，生産ラインのリアルタイム監視や医薬分野のバリデーションでの導入が期待される。

5　あとがき

富士電機では日本国内だけにとどまらず，海外のクリーンルーム一括取りまとめも通じ，グローバルな対応を行ってきた。富士電機グループの総力を結集した取組みでさまざまなシステム・機器の提供を行ってきており，今後も富士電機の保有技術とクリーンルーム事業での活用に積極的にチャレンジし「環境」「歩留り」「バリデーション」などの顧客要望に応えていく所存である。今回の特集では富士電機のクリーンシステムの一端をご紹介する。今後，各位のクリーンルーム計画などにおける一助となれば幸いである。



最新鋭液晶パネル工場向けクリーンルームシステム

高松　武史（たかまつ　たけし）　松木　幹夫（まつき　みきお）　奥田　耕士（おくだ　こうじ）

1　まえがき

クリーンルームは，半導体・液晶表示パネル（以下，LCDという）・電子部品・精密機器などの工業分野および医薬・食品などのバイオテクノロジー分野などに幅広く利用されている。

富士電機は，日本国内および台湾向けLCD工場用クリーンルームシステムとエアシャワー，パスボックス，スモック用クリーンロッカーなどのクリーン機器も提供しており，システム構築者の立場で機器の開発を行い顧客のニーズに対応している。

最近のLCD市場はパソコン，モバイル（携帯電話など）関係の表示装置からテレビ向けに大きくシフトしている。30インチ以上はプラズマテレビで，それ以下はLCDテレビとのすみ分けが一時期なされてきたが，技術の進歩で日本のメーカーから最近65インチの大型LCDテレビが発売されてから，韓国・台湾のLCDメーカーも追随する形で，LCDテレビの大型化に一段と拍車がかかっている。テレビの大型化に伴い，その基幹部品であるガラス基板も大型化され，工場の規模，建物の高さ，装置質量も拡大傾向で，クリーンルームを清浄空間に維持するファンフィルタユニット（FFU）の高風速化など，過去のクリーンルームにはないニーズが高まっている。

本稿では過去のLCD工場向けクリーンルームの技術トレンドから，最新鋭クリーンルームについての顧客ニーズとそれに対応したシステムを紹介する。

2　LCD工場向けクリーンルーム設備のトレンド

図1に富士電機が納入したLCD工場向けクリーンルーム設備のトレンド，**図2**にTFT（Thin Film Transistor）型LCDのガラス基板サイズの変遷を示す。

富士電機のLCD工場向けクリーンルーム設備の歴史は，LCDガラス基板の変遷とともにある。日本でCRTに替わる表示装置としてのLCDが本格的に生産され出したのは1991年ごろからである。

図1は某LCDメーカーへの納入実績に基づくものである。

2.1　第1世代

LCD工場向けクリーンルームでは，当初第1世代と呼ばれる320 mm × 400 mmサイズのガラス基板の生産に際し，初めての生産ラインを構築するうえで，半導体向けの仕様を踏襲した形で，清浄度，対象粒径，温度，湿度，騒音などを決定してきた。また，装置も新規開発される中で，生産レイアウトも試行を繰り返しながら，設備を決定していった。その構成は生産装置の上部に必要とする清浄度を達成するためのクリーンエアを供給する，いわゆる装置組込み型クリーンベンチを配置するものであった。現在では1～2 m級のガラス基板が一般的だが，半導体に比較すれば，第1世代の基板サイズでさえ大型な製品であった。クリーンルーム設備も，鋼板製の構造体で任意にFFUを配置して，それから供給されるクリーンエアの吹出し風速は大きく，清浄空間の平面面積に対するFFUの占有率も比較的高かった。

2.2　第2世代

LCDの用途がパソコンにシフトしていく過程で，第2世代と呼ばれる360 mm × 465 mmのガラス基板が1993年ごろから登場した。

第1世代のクリーンルーム設備と比較して，LCD生産ノウハウが顧客によって高まっていく中で，過剰と思われる仕様を徹底的に排除したものとなった。すなわち，FFUの占有率は第1世代用のそれと比べ約30％減，それを補う形でクリーンエアの吹出し部には拡散用としてのパンチング板が設けられ，準層流システムと呼ばれるクリーンベンチ設備が開発された。

クリーンルーム設備の中で最も高価であるFFUの占有率を少なくすることで，設備のコストダウンを図った。LCDの歩留りが同じと仮定した場合，1枚のガラス基板から取れるパネル枚数を多くすることで，顧客はコストダウンが図れた。

高松　武史

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部担当部長。電気学会会員。

松木　幹夫

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部課長補佐。

奥田　耕士

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部課長補佐。

図1　LCD 工場向けクリーンルーム設備のトレンド

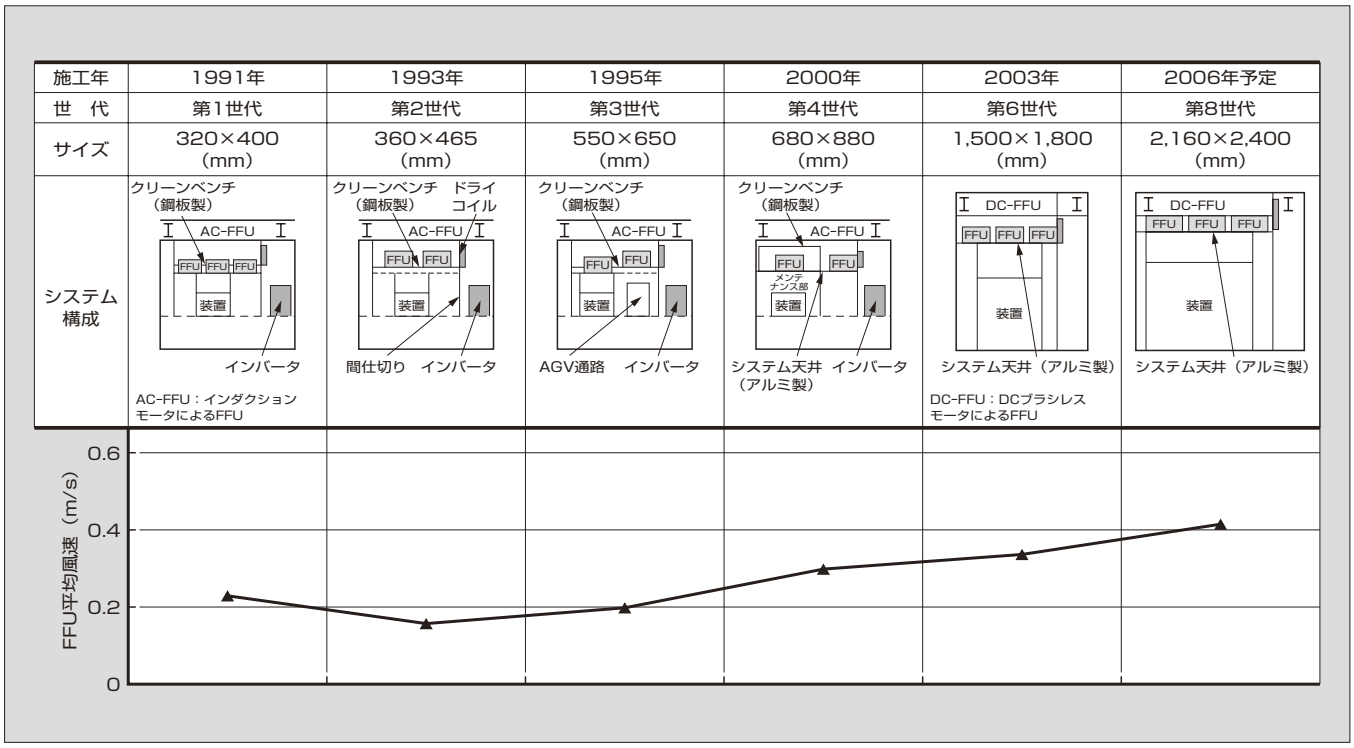


図2　TFT 型 LCD のガラス基板サイズの変遷

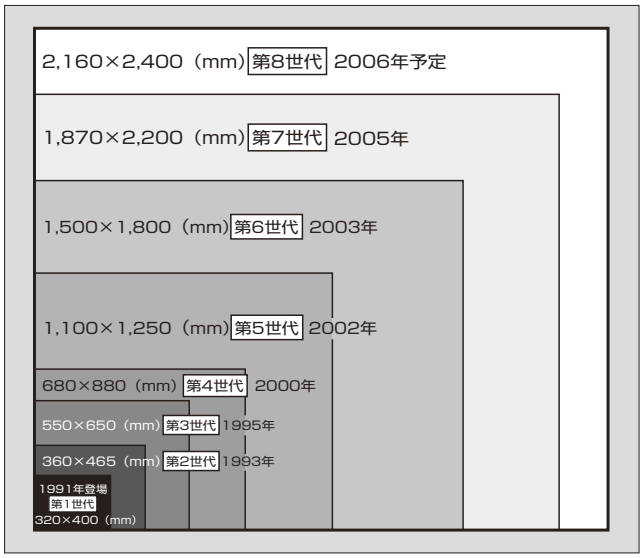
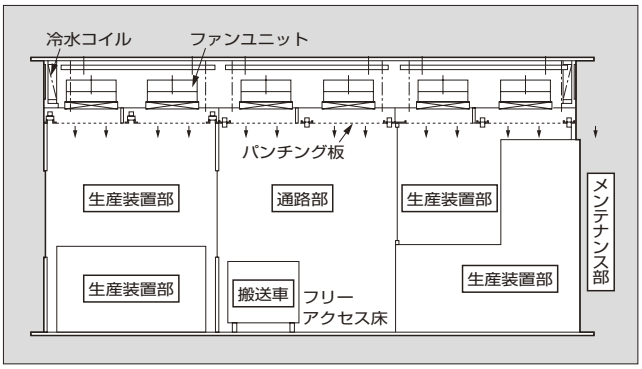


図3　準層流クリーンベンチ設備



2. 3　第3～4世代

第 3 世代と呼ばれる 550 mm × 650 mm サイズのガラス基板は 1995 年ごろから，第 4 世代と呼ばれる 680 mm × 880 mm サイズのガラス基板は 2000 年から登場した。

クリーンエアの吹出し風速や FFU の占有率も拡大の一途をたどることになる。韓国・台湾製の LCD や STN（Super Twisted Nematic）といわれる安価な LCD が市場に台頭する中，設備のコストダウンとして，標準化推進のために，臭気対策部，LCD 搬送・保管部および作業者が介在するメンテナンス部とにゾーニングし，そのほかはシステム天井と呼ばれるアルミの引抜き材で構築したフレームグリッド上に，FFU とすきまを埋めるブランクパネルを配置した設備とし，生産規模の拡大に対応した。この設備構成を**図 3** に示す。

3　最新鋭 LCD 工場向けクリーンルームの課題と対応

大画面テレビの需要に牽引（けんいん）され，急速にガラス基板の大型化が進み，2003 年には第 6 世代のものが登場した。この世代以降の大画面化に伴う諸課題とその対応について述べる。

3. 1　大規模化に伴う課題

生産ラインのガラス基板の搬送・保管部に要求される典型的なクリーンルーム環境は以下のようなものである。

○清浄度：ISO クラス 2 ～ 4
○温度：23 ± 2℃
○湿度：45 ± 10% RH
○騒音：65 dB（A）以下
○振動：2 μm（嫌振架台，床レベル）

清浄度の面では，ガラス基板の大型化に伴って搬送時の発じん・じんあい巻上げが従来に比べ増加することが懸念され，搬送装置が移動する大空間で効果的な清浄度確保を行うことは無論であるが，工場そのものの大規模化で今までにはなかった課題への対応が求められている。

すなわち，次のような課題がある。

(1)　生産装置の荷重増大
(2)　生産装置の大型化に伴う建物高さの増大
(3)　生産装置・空調設備の搬入制約
(4)　建設総投資額の増加

このほかにも生産タクトの短縮，生産装置の価格上昇などがあげられる。

3. 2　課題への対応

(1)　生産装置の荷重増大

生産装置の質量は，1 工程で約 180 t にもなる装置がある。装置メーカーの製作工場から LCD 生産工場までの輸送を考慮し装置の分割はされているものの，その質量は 20 ～ 30 t にもなる。このため，高清浄空間を維持しているクリーンルームの床構造として一般的なグレーチング（床パネルに丸穴または長穴が施され，パーティクルの堆積（たいせき）防止とクリーンエアを床まで層流に保つもの）方式に替わり，耐荷重向上から床スラブ方式が採用されている。床がスラブの場合，床の開口率を変えることはできないため，富士電機では任意の位置でダクトへ強制的にエアを吸い込み排気するファンを開発して，生産装置が稼動している状態で，0.1 μm 以上・ISO クラス 2 の顧客要求仕様をクリアした。

(2)　生産装置の大型化に伴う建物高さの増大

ガラス基板を搬送・保管させる工程以外で，作業者がいるメンテナンス部でクリーンルーム内の階高は，7 ～ 8.5 m にもなる。そのため，以下の課題があった。

○高清浄空間を維持するために換気回数が低下
○高所メンテナンス作業中の安全確保
○照明灯ランプ交換のしづらさ

これらに対し富士電機では，世界最速の吹出し風速 0.8 m/s（通常は 0.4 m/s）の FFU を開発し採用した。これにより FFU の台数を増やすことなく，安価なクリーンルームを提供できた。また，装置のメンテナンス作業中に今までは高所作業にもかかわらず，安全帯を施すフックがクリーンルームの天井面にはなかったが，清浄空間の一部にあるデッドスペースの天井アルミフレームを利用してアイボルトを付けた。作業者はそこに親綱を通し，安全帯を引っかけて安全を確保したうえで，安心して作業することが可能になった。さらに，照明灯のランプ交換のような日常作業にも高所作業車などの重機が必要になるため，安全ルートで移動した後クリーンルーム天井裏から照明器具ごと取り外し，安全にランプを交換できる照明付天井パネルを開発したことなどで，建物の高さに起因する諸問題をクリアした。

(3)　生産装置・空調設備の搬入制約

大型の LCD 工場建設現場では，建築工事，土木工事，空調設備工事と輻輳（ふくそう）しながらクリーンルームの設備工事が進む。その工事現場において，組み立てる部品・部材をジャストインタイムで搬入することが要求される。

富士電機では大型 10 t トラックの荷台スペースを 2 分割にした巨大なパレットに機材を積載し，100 t クラスのクレーンで揚重を行い，搬入の合理化を図っている。

工事建屋内では，機材搬入ルートとその方法に制約を受けており，装置の質量と寸法に応じたクリーンルーム床荷重と天井高を決定した。

(4)　建設総投資額の増加

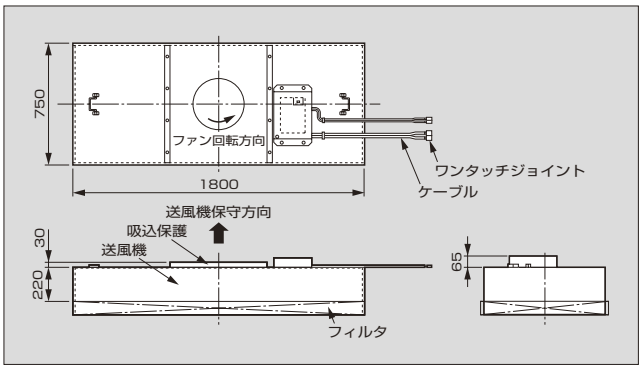
ガラス基板の拡大に伴い生産装置・建築付帯設備にかかるコストも増大している。顧客からのクリーンルーム設備のコストダウン要求に対しては，

○コストパフォーマンスの高い FFU を 20 %（当社従来比）大型化して台数削減（大型化した FFU の外形を**図 4** に示す。）
○シミュレーションを使用した気流解析によるシステムの最適化
○安価な新型表面処理鋼板を内装材として採用

し，清浄度を確保したうえで，この要求に応えるシステムを見いだした。これらを富士電機の工場内に実際のクリーンルームのカットモデルとして構築し，タイプテスト設備とした。

実際のクリーンルームの運用に限りなく近い構成とするために，ローダロボットメーカーともタイアップし，タイプテスト設備内にローダロボットも配置した。ローダロボットは自らパーティクルを発生しやすく，かつ露出した基板を取り扱うため，この稼動状態での発じん・じんあい巻上げ状態での清浄度検証が必要なためである。この設備で事前検証テストを繰り返し，顧客要求仕様である清浄度（0.1 μm 以上・ISO クラス 2）に支障のない範囲で FFU の占有率を低減したクリーンルーム設備の構築が可能となった。

図 4　大型化 FFU の外形



4　クリーンルーム用統合監視制御システム

4.1　クリーンルーム内環境監視制御の動向

クリーンルームには，搬送，空調，電気，特殊ガス，薬液，生産設備などさまざまな監視・制御システムが導入されている。その中のクリーンルーム内環境を監視・制御するシステムは，清浄度監視，FFU 監視制御，空調監視制御とに分けられてきた。清浄度監視，FFU 監視制御については市場のニーズはあるものの費用が高く採用されることが少なかった。そのため，クリーンルーム内の環境監視制御についてはほとんどの工場が空調分野（温度，湿度，気圧）に限定されていた。しかし，交流インバータと AC-FFU の組合せよりも低コストな通信機能付き DC ブラシレスモータ FFU とパーティクルセンサの開発により，FFU 監視制御や清浄度監視システムの採用が容易になってきた。FFU 監視制御システムにおいては，従来とは比較にならないほど機能が細分化され，リアルタイムに FFU 個々の運転状態を知ることができ，クリーンルーム空間の要求に応じ FFU の回転数を任意に設定し，運転することにより約 15％の省エネルギー（当社比）が可能

図 5　統合監視制御システムの全体構成

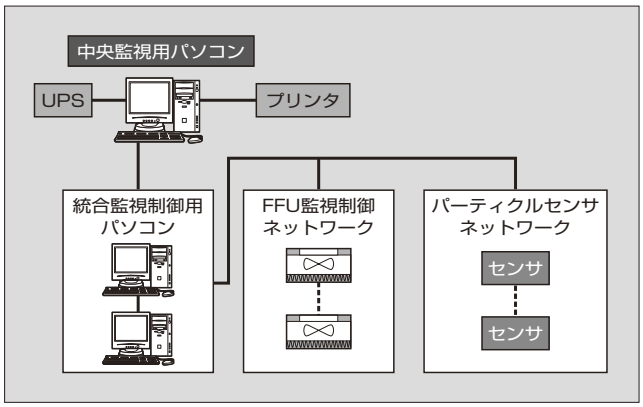


図 6　統合監視制御システムのローカル機器構成

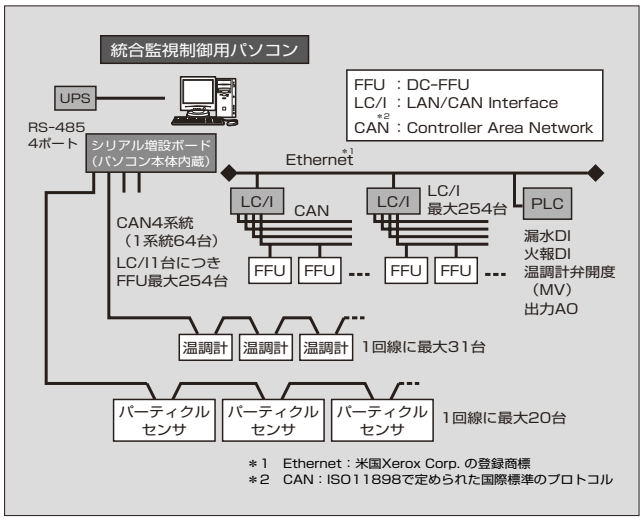


図 7　統合監視制御システムの画面イメージ

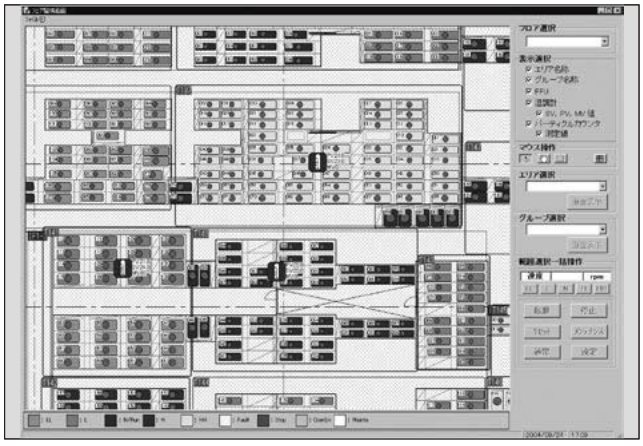


表 1　統合監視制御システムの機能構成一覧

機能分類	機能名称	機能概要
監視表示	システム系統監視画面	LC/I，FFUの接続・故障・動作台数および接続状態を表示 温調計からの温度を表示 パーティクルカウンタからの清浄度を表示
	FFUグラフィック表示	フロア/エリア/グループをグラフィック形式にて表示 運転，停止，故障，速度，保守を色替え表示 FFUの回転数・温度を表示
制　御	発停操作	FFUリスト表示画面から，FFUを「個別」「複数一括指定」「グループ一括」「エリア一括」「フロア一括」「全体一括」で，回転数を指定して発停操作
	温調計操作	温調計のリモート設定
	温調計弁開度出力	温調計の弁開度出力をPLC経由でAO出力
アラーム履歴表示	警報履歴	最大1万件表示，最大3年分保存（発生中警報からグラフィック画面遷移）
	操作履歴	機器を操作したユーザー名とともに，操作履歴を最大3,000件保存・表示
	警報音	警報の発生にて，アラーム音鳴動（故障ランクごとに鳴動パターン設定）。出力デバイスは「内蔵ブザー」「サウンドカード」のいずれか
設　定	ユーザーパスワード設定または変更	「管理者」「オペレーター」「ユーザー」の各種権限を持ったユーザーの登録または削除と，パスワード（半角8文字以内）の設定または変更
トレンドグラフ	清浄度，温度，回転数のトレンドグラフ	「温調計SV値，PV値，弁開度値」「清浄度」のトレンドグラフ表示〔中速（5分）：1,000点，低速（10分）：2,000点〕
そ の 他	漏水アラーム	漏水検知にて警報発生
	フロア，エリア，グループの設定	CADで作成した図面を背景にして，フロア，エリア，グループをグラフィカルに設定 各デバイス（FFU，温調計，パーティクルカウンタ）の設定位置の変更，削除，追加 FFU回転数の警報しきい値の設定と保存 清浄度の警報しきい値設定と保存 温度の警報しきい値設定と保存
	警報通知ロック	「統合監視制御用パソコン」から「中央監視用パソコン」への，警報通知の一時ロック・解除
	画面ハードコピー印字	画面のハードコピーを印字
連動制御	火災連動制御	火災報知器からの信号にて「火報連動設定されたFFU」を自動停止
	UPS連動制御	UPSからの停電信号に連動してパソコンを安全にシャットダウン

となった。清浄度監視においては，製品歩留りに直結するパーティクルを常時監視することにより，製品歩留りとの関連性を把握することが可能となってきた。また，顧客の品質管理（清浄度をどのように管理しているのか→従来は係員が測定器を使い，そのつど計測）を担う役目を果たすようになってきている。

4.2　富士電機の統合監視制御システムの特徴

富士電機のクリーンルーム用統合監視システムの構成を**図5**，**図6**に，画面イメージを**図7**に，機能一覧を**表1**に示す。

このシステムの大きな特徴は下記の2点である。

(1)　従来，別々であったFFU監視制御機能，清浄度監視機能，空調監視制御機能を集約した統合監視システムで提供することにより，運用管理の向上，機器・配線費用の低減を可能にした。

(2)　クリーンルームの装置レイアウト変更は非常に多い。従来はその変更に伴いソフトウェアの変更を要したが，マウス操作により簡単に機器の追加・削除を可能とし，また，監視画面上の配置図にはクリーンルームの配置CAD（Computer Aided Design）図面を用いることができ，ソフトウェアの作成・変更作業を大幅に低減させた。

4.3　監視制御システムによる省エネルギー対策

クリーンルームは，一般の工場と比べて多大なエネルギーを消費しており，そのエネルギーを大幅に削減しなければならない。そこで，清浄度と温度を監視してFFUの回転数や冷水量などをフィードバック制御するシステムの開発に取り組んでいる。

今後さらに省エネルギー化したクリーンルームを構築し，顧客の期待に応えることを目指している。

5　あとがき

2003年には，LCDがテレビ用として急速に拡大している。テレビ用途としてのLCDは，単に文字・画素を表示しているパソコンと比べ，ドット不良も許されず，技術的にはるかに難しい。大規模LCD工場向けクリーンルームはイニシャルコスト，ランニングコストの大幅な低減を求められる中，富士電機はガラス基板へのパーティクル付着防止を主としたクリーンルームの技術開発を長年にわたり進め，その構築に企画段階から参画して顧客のニーズに合わせたクリーンルームシステムを設計・製作・施工・保守管理まで一貫して担当している。富士電機のクリーンルーム技術は，製品歩留りに直結する生産条件ノウハウという重要なポジションにあり，さらなる進化を目指して技術開発を進め，LCDを含む電子産業の発展に寄与していきたい。

参考文献

(1)　峰岸裕一郎ほか．製薬関連クリーンルームシステム．富士時報．vol.70, no.8, 1997, p.412–417.

海外の大型液晶パネル工場向けクリーンルームシステム

峰岸 裕一郎（みねぎし　ゆういちろう）　藤瀬　成己（ふじせ　なるみ）　川又　修三（かわまた　しゅうぞう）

1　まえがき

パソコンのモニタやテレビのディスプレイとして広く普及している液晶ディスプレイ（LCD）は，2枚のガラス基板に液晶を挟んだ構造で，液晶に電圧をかけると分子配列が変化し，光を透過したり遮ったりすることで映像を表示するもので，サブミクロン単位のじんあいが製品の歩留りに影響するため，じんあいのない清浄空間で，かつ温度，湿度が一定条件に制御管理されているクリーンルームで生産される。

近年，世界中でディジタル放送の普及が進んでおり，薄型テレビの生産増加およびテレビ画面の大型化が活発化している。LCD業界では製造コストを低減するために，ガラス基板サイズを大きくし，切り出すパネル枚数を増やすことによる増産，かつ大画面対応を図っている。

ガラス基板の大型化に伴い，製造装置，それに付随する各設備も大型化するため，必然的に大空間のクリーンルームが必要となり，現在，国内外で大型クリーンルームの建設が盛んに進められている。

富士電機は，台湾にて2000年以降第3.5世代，第5.5世代，第6世代ガラス基板サイズのLCD工場向けクリーンルームの建設を手がけてきた。

本稿では，第6世代の最新LCD工場建設の取組みについて紹介する。

2　エンジニアリングの取組み

2.1　工場建設における役割と施工概要

工場建設に際し，建設全般のスケジュール調整，スペースマネジメント（SM），共通仮設などの施工業者間を調整する役割をクリーンルーム工事開始時点から担った。また，LCDの生産工程は，アレイ工程，カラーフィルタ（CF）工程，セル工程，モジュール工程で構成され，アレイ＆CF棟を担当した。工場の概要は次のとおりである。

○建屋：300 m × 200 m，4階（地下1階，地上3階）
○清浄度：ISOクラス2～5
○温度，湿度：23 ± 2℃，45 ± 10% RH
○施工範囲：システム天井工事，内装工事，電気工事，自動制御工事，機器搬入据付け工事，消防工事，共通仮設工事

2.2　コンサルティング

2.2.1　工場全体のコンセプトデザイン

富士電機は，クリーンルームだけではなく，工場敷地計画から生産するために必要な特殊ユーティリティまで含めた，工場全体のコンセプトデザインを提供した。世界最大規模のLCD工場のコンセプトは，「高生産性」「無人化」「短工期」「低コスト」「生産の早期立上げ」である。

2.2.2　建築のコンサルティング

工場建設にあたって，立地条件の検討やクリーンルームシステムに合った建屋の階層および構造について検討した。建築設計は，下記に注力してコンサルティングした。

○生産装置およびユーティリティスペースの最適化
○クリーンルームとユーティリティ設備（補機，配管など）の輻輳（ふくそう）作業の回避
○耐荷重・微振動対策

これらについて以下に述べる。

(1)　スペースの最適化へのメガトラスの採用

生産装置の配置検討においては，生産装置が大型になるほど建築柱と生産装置が干渉する場合が多く発生するため，建築柱をできるだけ少なくすることが要求される。しかし，従来の建築構造では，建築柱を少なくすると建築はりが大きくなり，建築コストが増大する。このため，柱レスで生産装置レイアウトの自由度が大きい，**図1**に示すメガトラス方式を採用した。

メガトラス方式は，トラス部分の高さがはりより大きくなるが，全体の鉄骨の使用量が低減でき，コストダウンとなる。また，トラス部分は，次項のサブファブリック（以下，サブファブという）として有効利用できる。

(2)　クリーンルームとユーティリティ設備との輻輳対策としてのサブファブの採用

従来のクリーンルームでは，生産装置に付属する補機や，

峰岸 裕一郎

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第二部長。

藤瀬　成己

クリーンルーム用機器の開発およびクリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第二部。

川又　修三

クリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第二部。

ユーティリティ配管などが生産装置と同じフロアに配置されるケースが多く，生産装置スペースが制約され，配置設計が複雑となり，メンテナンス性が悪くなる。また，施工面においても，配管，ダクト工事とシステム天井工事やファンフィルタユニット（FFU）などの取付け作業が輻輳するため，施工取合いによるロスが発生する。このような問題を解決するためにクリーンルーム下層階に配管，ダクト，補機などの設置スペースとして**図2**に示すサブファブを設けた。

(3)　耐荷重および微振動対策としてのチーズスラブ（コンクリートの床に丸い穴がチーズ状にあいたものをいう）の採用

従来のクリーンルームの床は，グレーチングを敷き，振動を嫌う生産装置のエリアだけを独立基礎にしていた。

大型生産装置の耐荷重対策，微振動対策に優れた構造を検討した結果，**図1**に示すチーズスラブを採用することにした。チーズスラブの穴の個数については，クリーンルームの気流制御を考慮し決定した。

2.3　クリーンルームシステムの開発

2.3.1　大型バッファとクリーンルームの一体化

従来は，RGV（Rail Guided Vehicle），AGV（Auto Guided Vehicle）により生産装置とバッファの受渡しを行っていた。また，クリーンルームとバッファ間での気流制御と調整に多大な時間を要していた。さらに，ガラス基板の大型化により，ガラス基板をストックするためのバッファの面積も広くなってきた。

インラインバッファ（バッファ内に，生産装置間のガラス基板受渡し機能を有したバッファをいう）とすることにより，下記の効果が得られた。

○バッファとクリーンルームの一体化により，スペースの減少

○基板受渡しの一体化により，搬送時間の短縮

2.3.2　クリーンルームの気流制御

クリーンルームを構築するうえで，清浄度とともに気流制御の重要度が増している。その内容を以下に述べる。

(1)　クロスコンタミネーション（以下，クロスコンタミという）の防止

製品であるガラス基板が通過するエリアは0.1 μm ISOクラス2の高清浄度が必要である。生産装置のメンテナンスエリアは，ISOクラス4～5の比較的低い清浄度でよい。清浄度の異なる生産装置とバッファ間のロード・アンロード部分には，製品受渡し用の開口があり，この境界でクロスコンタミが発生するため，室圧制御および気流制御が必要となる。この製品受渡し用の開口は比較的大きいため，圧力センサで検知することが困難であり，人間の視覚により気流方向を確認しながら気流調整を行っていた。このため，風向風速センサを新たに開発し，気流方向が常時監視できるシステムを構築した。なお，気流の制御は，FFUの回転数を変えて風速調整が可能なものとした。

(2)　搬送装置稼動時のじんあい拡散防止

スタッカクレーンやローダロボットの搬送装置は駆動部が存在するため，駆動部からの発じんや稼動に伴う巻上げによるじんあい発生が避けられない。この発生したじんあいが製品であるガラス基板に付着しないように，気流調整することが求められる。従来よりも基板サイズの大型化により，搬送装置稼動時のじんあいの影響が大きくなった。そこで，三次元気流シミュレーションを用いてクリーンルームの気流のあり方を絞り込み，実機を稼動させた場合の清浄度を確認し，駆動部からのじんあいや巻上げによるじんあいがガラス基板に付着しないことを確認した。以下に，その取組みについて述べる。

○三次元気流シミュレーションの活用

三次元気流シミュレーションは，搬送ロボットの稼動状態において，気流巻上げ，気流のベクトルや圧力分布をグラフィック表示することができ，じんあいの挙動を動画で見ることができる。気流調整用抵抗板の位置，形状，開口率などのパラメータを自由に変更し，最適な気流形成を生み出すパラメータの算出ができる。

○実機による気流検証

次に，実機による気流検証は，シミュレーションで算出したパラメータを用いて，モデルシステムを構築し気流の

図1　建築断面図（メガトラスとチーズスラブ）

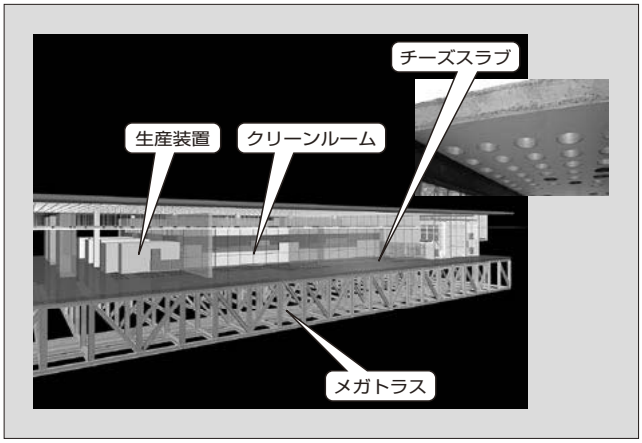
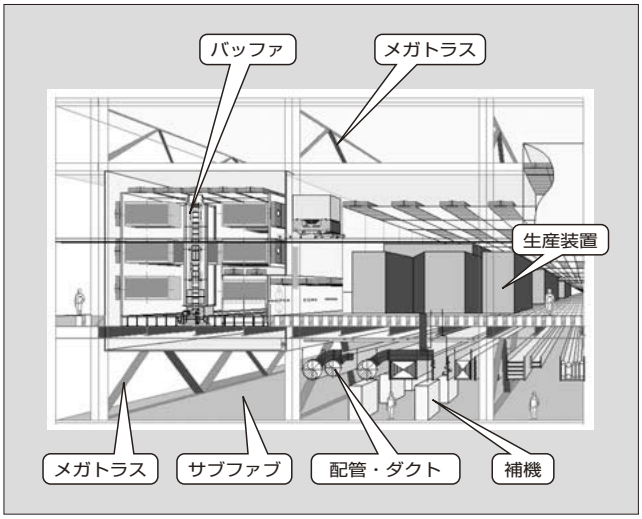


図2　クリーンルーム断面図



ベクトル解析ができる**図 3** に示す気流可視化装置を用いて行った。気流可視化装置は，純水のミストを発生させ，ミストの挙動を高速度ビデオで撮影し，コンピュータで時間ごとの気流ベクトルを画面に表示することができる。また，清浄度の確認は，パーティクルカウンタを用いて行った。この結果，三次元気流シミュレーションと実機検証の結果がほぼ一致し，三次元気流シミュレーションの妥当性が確認でき，最適なパラメータを決定した。

2.3.3　ケミカルガス対策

液晶工程では処理工程上，いろいろな薬品を使用するため，ある処理工程で発生したケミカルガスが，他の処理工程に影響を及ぼす場合がある。この対策として，気流制御による方法と，ケミカルフィルタによりケミカルガスを吸収する方法を併用した。外気取入れ口および循環系にケミカルフィルタを設置した。循環系に設置した FFU 搭載ケミカルフィルタは従来の単板方式からハニカム構造方式にすることにより，ケミカルフィルタの寿命は，3 年の長寿命となった（当社従来比約 1.5 倍）。

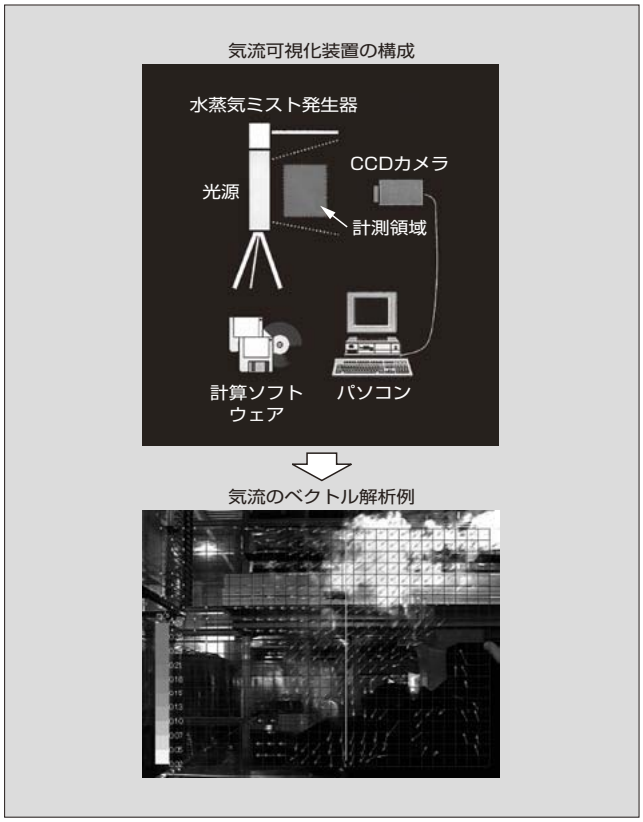
2.3.4　エンジニアリング支援ツールの活用

(1)　三次元コンピュータグラフィック（以下，三次元 CG という）による設計支援

クリーンルーム内の動線やゾーニング，基本コンセプト，内装仕上げなどを検討する場合，図面だけではイメージが伝わらない。そこで，三次元 CG を利用して，クリーンルームの完成予想状態をビジュアル化した。三次元 CG による作図例を**図 4** に示す。

(2)　三次元 CAD による設計支援

図 3　気流可視化装置



クリーンルーム設備および生産装置の配管，ダクト，ケーブルラック，ユーティリティなどは複雑に輻輳し，それらのルートを確保するスペースマネジメント（SM）が重要である。これまでの二次元 CAD（Computer Aided Design）に替わり三次元 CAD を活用し，作図時間と確認作業時間の短縮やヒューマンエラーの低減を図った。

三次元 CAD の作図例を**図 5** に示す。

2.4　クリーンルーム機器の特長

システム構築にあたっては，富士電機のクリーンルーム機器を数多く採用し，性能確保に大いに貢献した。

納入した代表例として以下に紹介する。

(1)　FFU

気流制御を必要とする高清浄度エリアには，回転数の可変が容易に可能な DC-FFU を採用している。クリーンルームの大規模化に伴い DC-FFU の運転方式は，個別運転方式から複数台運転方式とし 1 台のコントロール基板で，複数台の FFU を制御できる製品を新たに開発した。これにより，コストは個別運転の FFU 方式と比較して約 20% 削減することができた（当社従来比）。複数台運転方式 FFU の主な特長を以下に示す。

①　1 台のコントローラで最大 4 台の FFU が接続可能で，故障が発生した場合は，対象 FFU のみ停止し，

図 4　三次元 CG による作図例

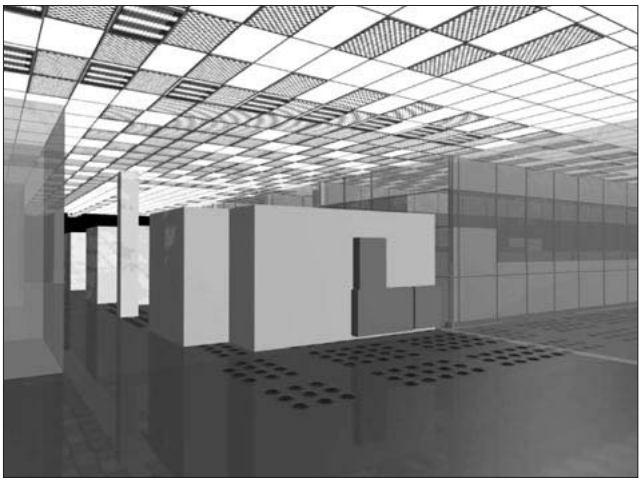
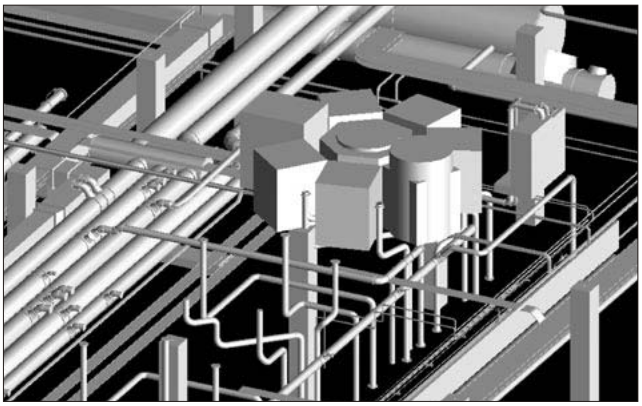


図 5　三次元 CAD の作図例



その他は正常運転を継続できる。

② FFU 1台ごとの故障表示ができる。

③ FFU 一次側の電源および通信の配線本数が低減した。

(2) 環境センサ

従来は，清浄度をオンラインで常時監視していないためにガラス基板にごみが付着する問題が発生した場合は，どこに問題があるか原因と場所を特定するのが困難で時間を要していた。

その対策として，パーティクル，温度・湿度をリアルタイムに監視できる新規開発の環境センサをクリーンルーム内の必要箇所に複数台設置し，測定データをオンラインで監視システムに取り込んでいる。監視システムでのデータトレンドから，いつ，どこで異常が発生したかが分かるため，問題発生の原因究明と対策が迅速に対応できるようになった。

(3) FFU および各種センサ統合監視システム

監視システムは，クリーンルームエリアを管理するクリーンルーム用とバッファエリアを管理する自動搬送用の二つのシステムで構成している。クリーンルーム用，自動搬送用ともに，主制御室だけではなく副制御室でも監視ができる仕組みとなっている。上位ネットワークは光Ethernet〈注〉を使用したループバック構成とし，安全性を高めている。自動搬送用ではFFUの監視制御だけでなくDCC（Dry Cooling Coil）を含めた温湿度，風向風速，パーティクル，漏水の各センサの監視制御を行い，統合管理システムとなっている。

(4) アクティブフィルタ

クリーンルームでは，可変速機器が多用化され高調波対策が必要となっている。また，電力会社の規制によれば，THD（Total Harmonic Distortion）を12％以下に抑える必要がある。このため，DC-FFUの制御基板に高調波フィルタを付加するとともに，電源ラインにはアクティブフィルタを設置し高調波対策を図っている。

〈注〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

3 あとがき

LCDは，今後もますます大幅な需要増大が見込まれる中，価格競争の激化，大型化および製品の早期投入が求められている。設備投資やランニングコストの安価な海外，特に市場規模の大きい中国への生産拠点の移行が予想される。

こうしたニーズに対応したクリーンルームを提供するために，海外展開およびクリーンルームシステム・機器の技術開発を積極的に展開していく所存である。

参考文献

(1) クリーンルームシステム特集．富士時報．vol.70, no.8, 1997, p.400-437.

医薬品製造ライン用クリーンシステム

松埜 周一郎（まつの　しゅういちろう）　　矢嶋　良一（やじま　りょういち）

1　まえがき

近年，医薬品業界を取り巻く環境は，医薬品会社のM&A（Marger and Acquisition），2005年4月の薬事法改正による医薬品の承認・許可・製造など，大きく変化している。

医薬品の製造環境におけるクリーンルームは，一般工業用クリーンルームと異なり医薬品の品質を確保するため，交差汚染，異物・微生物等混入，作業者に対する保護などを考慮した気流方向・室圧などを検討し，清浄度，無菌性，温湿度条件を含めた適切な製造環境に設定する必要がある。医療技術の進歩と新薬の開発で難病の治療や腫瘍（しゅよう）の早期発見ができ，治癒率が飛躍的に向上している。その新薬製造にはクリーンな製造環境が要求され，製造ラインのクリーン化が進められている。

本稿では，医薬品業界向けクリーンルーム機器の中でも特色ある超高温乾燥クリーンベンチ，放射性医薬品自動充填（じゅうてん）装置について紹介する。

2　超高温乾燥クリーンベンチ

超高温乾燥クリーンベンチ（HT-CB）は，ガラス製注射容器（以下，シリンジという）製造設備の製造ラインに使用され，清浄度はISOクラス4を構成するものである。

表1　超高温乾燥クリーンベンチの仕様

項　目	仕　様
型　　式	CB-06-23-Z
電　　源	三相200V　50Hz　約92kVA
外形寸法	W1,919×L5,220×H2,200（mm）
炉体寸法	W1,835×L2,850×H1,300（mm）
清 浄 度	ISOクラス4（0.3 μm以上）
使用温度	280±15℃
昇温時間	40分以内（ヒータ電源投入後）

2.1　装置の概要

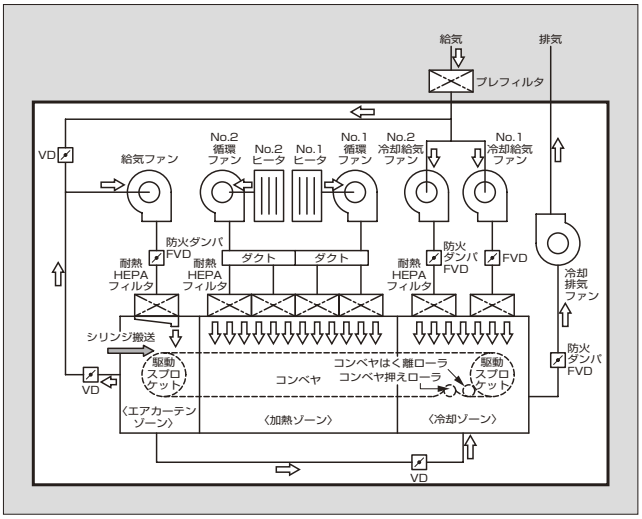
この製造工程は，洗浄済みシリンジ内部に滑剤としてシリコンを焼き付け，各種検査工程を経て梱包（こんぽう）に至る設備である。したがって，クリーンベンチ内の作業工程には，清浄な状態での焼付けと乾熱による滅菌のため高温（約280℃）でクリーンな環境が必要である。このHT-CBの詳細を**表1**に示す。

2.2　HT-CBの特徴

HT-CBは，エアカーテンゾーン，加熱ゾーン，冷却ゾーンの三つのゾーンから構成されている。システム構成を**図1**に示す。シリコンを塗布されたシリンジはエアカーテンゾーンから搬送され，クリーンベンチ内のコンベヤ上を，加熱ゾーン，冷却ゾーンの順に搬送され，シリコンの焼付けおよび乾熱滅菌処理が行われたのち，HT-CBから検査工程へ搬出される。

エアカーテンゾーンは，加熱ゾーンとの境に高風速エアを吹き出すことにより加熱ゾーンからクリーンベンチ外部へ熱風が吹き出すことを防止している。

図1　超高温乾燥クリーンベンチの機器構成



松埜 周一郎

クリーンルーム用機器・システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部。

矢嶋　良一

クリーンルーム用機器・システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部。

毎朝の生産開始までのウォームアップ時間短縮のために，280℃までの昇温時間は，40分以内が要求されている。そのため，加熱ゾーンには，ヒータと温度調節計が設置されている。加熱工程では，温度調節計の測定温度が210℃になるまでは，ヒータは100％出力で昇温を続ける。210℃以上に昇温後は，温度調節計により加熱ゾーンの熱風が280℃になるようヒータ出力をPID（Proportional, Integral, Derivative）制御する。この2段階制御の採用によりヒータ電源投入から280℃までの昇温時間は40分以内を可能とした。**図2**はこの昇温温度の測定結果を表したものであり，ヒータ電源投入後約40分で約280℃の熱風を安定的に吹き出す。また，熱風の温度ばらつきについても±15℃以内に入っていることが分かる。この熱風は特殊な耐熱HEPA（High Efficiency Particulate Air）フィルタを通って除じんされたクリーンエアで，シリンジに塗布されたシリコンの焼付けおよび乾熱滅菌処理を行う。

冷却ゾーンは，冷却給気ファンにより加熱ゾーンで熱せられたシリンジを40℃程度に冷却している。

HT-CBは，熱風を吹き出す特殊な装置であるため，構造および安全性において以下の特色がある。

2.3　構造上の課題

①　バッチ運転のため，1日の間に約255degもの温度変化により，構造体に発生する熱伸縮

②　超高温に耐えるクリーン機器の選定

③　HT-CB外部表面温度の低減と安全性

これらの課題に対し，以下の工夫・対策を行った。

(1)　熱伸縮の対策

①　ベンチ筐体（きょうたい）の熱伸縮

HT-CB内の温度は，昼間（8時間）の稼動時には約280℃に昇温されるが，夜間から翌朝の非稼動時にかけて常温（約25℃）に戻るため，1日の間に約255degもの温度変化が生じる。この温度変化の影響による熱伸縮を逃すため，加熱ゾーンの内部のコーナ部すべてを薄板で円弧状にし，熱伸縮を吸収する構造にした。

②　搬送コンベヤの熱伸縮対策

シリンジを搬送するコンベヤは，両側に取り付けたチェーンを駆動スプロケット（鎖歯車）で駆動している。コンベヤも，熱伸縮によりコンベヤ幅の伸びと搬送方向のチェーン緩みが発生する。幅方向の伸びによりチェーンが回転する駆動スプロケットから外れにくくなるためコンベヤはく離ローラを設置し，また，チェーンの緩みに対してはコンベヤ押えローラを設置して緩みを取ってやり，スムーズな運転を実現した。

(2)　耐熱機器の選定・使用

HT-CBは約280℃の高温状態で使用するため，標準的なファンやHEPAフィルタでは焼損する。このため，この高温使用状態で対応しうる耐熱ファン，特殊な耐熱HEPAフィルタを選定・使用している。

①　耐熱ファン

羽根はステンレス鋼製とし，軸受は耐熱シリコーングリースを使用した特殊な耐熱仕様のファンを採用した。

②　耐熱HEPAフィルタ

フレームはステンレス鋼製である。ろ材はステンレス鋼製の金網で挟持した耐熱性特殊ガラス綿で構成している。

耐熱温度：500℃

捕集効率：99.97％，0.3μm

(3)　HT-CB外部表面温度の低減による安全性の確保

①　HT-CB外部表面温度の低減による作業者のやけど防止

筐体の基本構造は，フレーム構造に内壁と外壁をはり付けた二重構造とし，この間に断熱材を挟み込み熱伝導を抑えた構造としている。外壁の外側には断熱材をはった化粧パネルをもう一段設け，全体を3層の断熱構造に工夫している。さらにクリーンベンチ本体からの熱伝導を極力抑えるため化粧パネルの筐体への取付けは点接触により固定し，クリーンベンチの表面温度を40℃程度に抑えて作業者の安全を確保している。

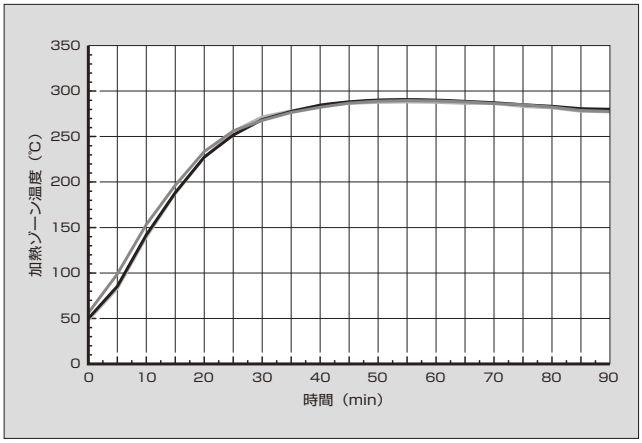
②　建屋の火災防止

停電時にはエアカーテンファン，冷却給気ファンが停止するため，クリーンベンチ内の熱風が給気ダクトを伝って建屋側への逆流や，熱風が冷却されず排気ダクトから外部へ排出するおそれがあり，火災防止およびファンの焼損防止のためクリーンベンチの給排気系統に防火ダンパを取り付けた。

2.4　今後の取組み

HT-CBで，280℃と高温を扱う技術が確立できた。今後は，この技術を基に滅菌，乾燥，クリーンベーク炉などへの用途拡大を図りたい。

図2　超高温乾燥クリーンベンチの昇温特性



3　放射性医薬品自動充填装置

最先端医療分野において放射性医薬品の使用が増加している。放射性医薬品の製造・取扱いにおいては，安全面で人体への放射線被ばくを防止することが最優先課題である。

3.1　装置の概要

富士電機は，放射性医薬品（以下，薬液という）をシリンジに自動充填する装置を 20 台以上納入している。この装置は自動充填装置と放射線を遮へいする鉛クリーンベンチ（以下，Pb-CB という）から構成される。

3.2　装置の特徴

薬液の充填方式は，使い捨て注射器を使用した分注機で高精度に注入し，シリンジ上部へゴム栓を自動的に移載後真空を利用した独自の打栓方式を特徴としている。

薬液中の気泡の残存を解消する有力な手段として，真空中で行う装置として開発した。

これは，薬液充填したシリンジにゴム栓を押し込んで密封する工程を真空槽で行うものである。真空槽内を真空引きしておいて，薬液およびシリンジ内の空気をあらかじめ排除しておき，次いでゴム栓をシリンジの口元に挿入したうえで真空を大気圧まで戻す。これにより，ゴム栓を大気圧と真空の圧力差で薬液の液面まで押し込むことで，薬液中の気泡を実質的に皆無とすることができる。

なお，前記の工程において，無菌状態を保つために清浄度は GMP（Good Manufacturing Practices）のグレード A のクリーンベンチが必要となる。

3.3　Pb-CB の機能

内部は，0.3 μm DOP（フタル酸ジオクチル）で 99.97％以上の捕集効率を有する HEPA フィルタを通過したクリーンエアで清浄度を確保している。

この内部にある医薬品から発生する放射線から，作業者の被ばくを防ぐためにクリーンベンチ上下面，両側面の周囲すべてに鉛板を取り付け遮へいしている。鉛板の厚みは，使用される医薬品の放射線の強さにより 20 ～ 60 mm を採用するが，作業者のアクセスサイドである前面を厚くし安全を図っている。さらに，放射性医薬品の微粒子がクリーンベンチ外に出ないように，排気システムを備えている。

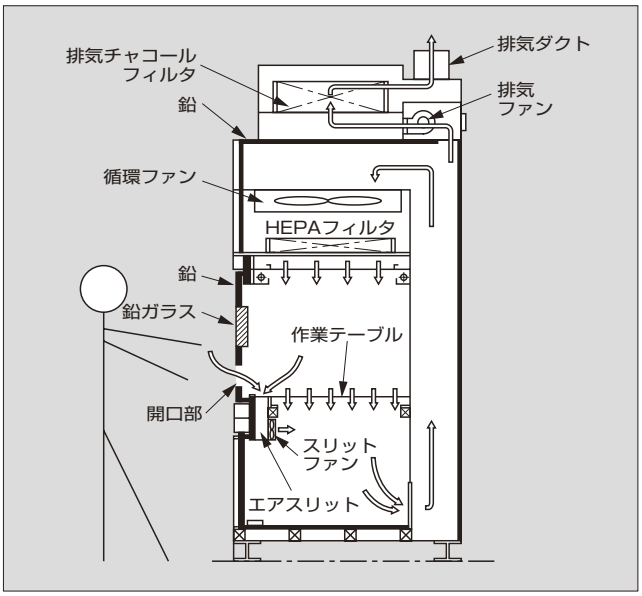
また，クリーンベンチ内の温度が高いと薬液が沸騰し，温度が低いと凍る危険があるため，内部は 21 ± 3 ℃に自動温度制御している。

3.4　Pb-CB の特徴

(1)　内部の陰圧制御

通常のクリーンベンチでは，内部を加圧して陽圧とし外部からのじんあいの進入を抑えるが，このクリーンベンチでは内部に放射性物質があるため，陰圧にしなければならない。この陰圧を保ちながら清浄度を確保できるように内部エア循環量と排気エア量をインバータにより風量制御している。

図 3　鉛遮へいクリーンベンチの断面イメージ



(2)　クリーンベンチ開口部からのじんあい侵入防止

クリーンベンチは，自動充填装置の点検扉や製品出し入れ用開口部からのじんあい侵入を防止するために，開口部の下部にエアスリットを設けて外部からのエアを強制的に作業テーブル下部に送り込む気流制御を行っている。**図 3** に Pb-CB の断面イメージを示す。

(3)　鉛板遮へい・加工技術

鉛は重くかつ軟らかいという性質を持ち，機械加工・組立・輸送などで取扱いが難しい面がある。

Pb-CB は，概略外形寸法 W4.8 m × D2 m の例で，総質量は約 8 t にも及び，遮へい体である数十 mm 厚みの鉛は約 4 t あり，例えば，鉛板を取り付けた点検扉は，数十 kg と重い構造体である。このため，周囲の壁面・天井面は，鉛板を鋼板で挟込み構造とし，質量に耐えかつ組立が容易な構造，鉛板の接合部から放射線が漏れない遮へい構造などの工夫をしている。点検扉は開閉時の質量に耐える構造，運送のための分割，組立手順などの特殊技術が必要である。

3.5　今後の取組み

シリンジ対応自動充填装置を紹介したが，シリンジ以外の放射性医薬品を扱う製造装置にも拡大し，搬送とクリーンを一体化した装置に今後も注力して取り組みたい。

4　あとがき

医薬品への今後の取組みとしては，クリーンベンチ内の清浄度・温度・湿度を測定する環境センサ，各エリア間の風向・風速を常時監視するセンサ，監視システムを構築し，バリデーションの向上に寄与したいと考えている。

クリーンルーム用機器の新製品

日下　豊（ひした　ゆたか）　岩田　英之（いわた　ひでゆき）　岡垣　良隆（おかがき　よしたか）

1　まえがき

クリーンルームは，半導体，液晶表示パネル（LCD），電子部品，精密機器などの工業分野および医薬品・食品などのバイオテクノロジー分野などに幅広く利用されている。

クリーンルームは高清浄度化に伴ってエネルギー消費が増大するため，省エネルギーへの取組みが強化されている。また，歩留り向上，作業効率向上に向けたさまざまな工夫が現場に導入されている。半導体・LCD 工程の高集積化・高精密化に伴い，分子状汚染対策が歩留り向上に重要である。

富士電機は，ファンフィルタユニット（FFU），クリーンブース，サーマルブース，エアシャワー，ケミカルフィルタなどの幅広いクリーンルーム用機器を取りそろえている

本稿では，最近のクリーンルーム用機器の新製品の中から，分子状汚染対策機器，手袋装着装置，高風速エアシャワーについて紹介する。

2　分子状汚染対策機器

半導体，LCD 製造工程などの加工密度の微細化により，粒子状物質（パーティクル）による物理的な汚染にとどまらず，有機物，イオン類，金属元素などの分子状汚染物質（AMC：Airborne Molecular Contaminations）が問題視されるようになってきた。本章では AMC 対策について紹介する。

2.1　AMC 対策

基本的にはパーティクルの汚染対策と同じであり，①侵入防止，②発生防止，③除去，④拡散防止などが原則となる。具体的な施策の実施には，総合的な技術が必要である。**図 1** に富士電機が提供している AMC 対策のフローを示す。ここで特に重要な技術は，低濃度の AMC 濃度測定である。富士電機は社内で分析機器を有し，現地サンプリングから分析，顧客へのコンサルティングを含む報告まで，一貫体制を整えて提供している。

2.2　エアウォッシャによる侵入防止

エアウォッシャは，外気中に含まれる水溶性の AMC である，アンモニア（NH_3），硫黄酸化物（SO_x），窒素酸化物（NO_x）などを，純水中に溶け込ませて除去するシステムである。一般的には外調機に設置するが，プロセスで発生した物質を除去するため，循環系の空調ダクトに設置する例もある。

従来は純水を霧状に噴霧するシステムが主流であった。富士電機は除去性能が高く，省エネルギーを両立させた，繊維質セラミックをろ材に用いた「ハニカムウォッシャ」を展開している。吸水性の高い繊維質セラミックでできた斜行ハニカムの上部から純水を滴下し，ハニカム表面に水の膜を形成させ，導入空気と接触させることにより空気中に含まれる汚染物質を除去させる。**図 2** に，ハニカムウォッシャの構造と外調機への設置概要を示す。

2.3　クリーンルーム構成材料の評価（発生防止）

クリーンルームの構成材料（塗料，床材，シール材，ケーブルなど）からは，シリコンウェーハやガラス基板へ吸着しやすいシロキサンや DOP（フタル酸ジオクチル）などのアウトガスが発生する。これらは低濃度でも，表面に選択的に吸着することから，アウトガスの少ない構成材料を評価し選定することが重要である。近年はクリーンルーム用に低アウトガスをうたった構成材料が数多く開発されるようになった。

富士電機は 1997 年に自社のクリーンルームを建設した時期から，これらの構成材料の評価を行っている。常に新しい材料を測定し，評価結果を「材料アウトガスデータベース」として構築して活用している。また，特に当社施工の FFU 方式クリーンルームシステムは，シール材を使用しないノンシール施工を基本としており，アウトガス発生の抑制に一役買っている。

日下　豊

クリーンルーム用機器・システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部グループマネージャー。

岩田　英之

クリーンルーム用機器の開発およびクリーンルームシステムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第二部。

岡垣　良隆

クリーンルーム機器の設計・開発に従事。現在，鳥取電機製造株式会社技術部。課長。

2. 4　ケミカルフィルタによる除去

(1)　ケミカルフィルタの構造と除去原理

ケミカルフィルタは，外気からの侵入やクリーンルーム中で発生したAMCの除去に使用する。粒状，プリーツ状，ハニカム状などの構造があり，また除去原理は物理吸着，化学吸着，イオン交換反応などを利用する。それぞれに特長があり，除去したい成分や設置する場所によって使い分ける。富士電機はハニカム形状の「FRNケミカルフィルタ」を商品化開発し展開している。構造と除去原理を**図3**に示す。AMCがハニカム状の穴を通過する際に働く物理吸着作用と，ハニカム表面の吸着剤またはイオン交換基による化学吸着作用を併用して除去する。

(2)　ケミカルフィルタの設置場所

ケミカルフィルタの設置場所としては，外調機，（リターン）ダクト，天井，クリーンブース，装置などがある。近年は工程，装置ごとに汚染のメカニズムが解明されつつある。そこで外調機や天井に設置した方式から，装置や装置周辺にケミカルフィルタを搭載したクリーンブースを設置し，局所的に対策するニーズが増えている。**図4**に富士電機が施工したケミカルフィルタの設置例を示す。

(3)　ケミカルフィルタ搭載用FFU

ケミカルフィルタはAMCが含まれた空気を通気して除去するため，FFUと組み合わせて使用されることが多い。富士電機はFFUメーカーの強みを生かして，顧客のニーズにあったケミカルフィルタ搭載用FFUを開発している。**図5**に示すように，ケミカルフィルタを，上部，内部，下部に設置する3タイプがある。ケミカルフィルタは交換頻度が高いので，交換が容易なFFU上部に設置される場合が多い。

図6は最近開発したケミカルフィルタ8枚搭載型FFUである。FFU 1台に対して8枚のケミカルフィルタを設置できる。FFU 1台あたりの除去効率が高く，長寿命で

図1　分子状汚染対策

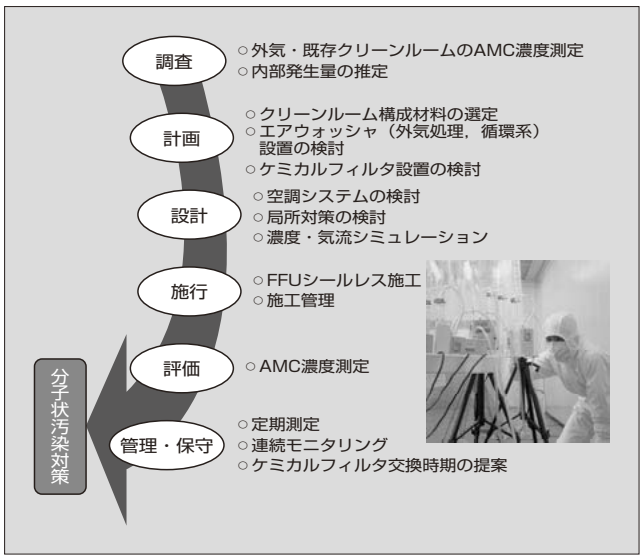


図2　ハニカムウォッシャの構造と設置概要

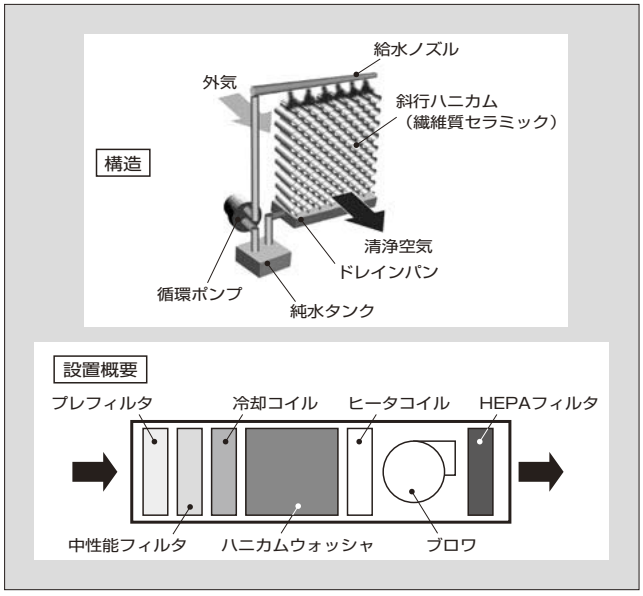


図3　ケミカルフィルタの構造と除去原理

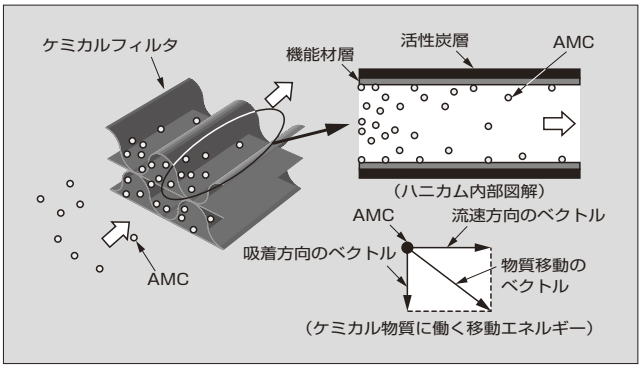


図4　ケミカルフィルタの設置場所の例

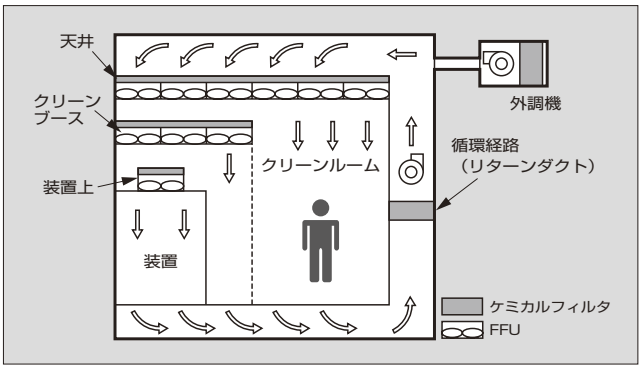
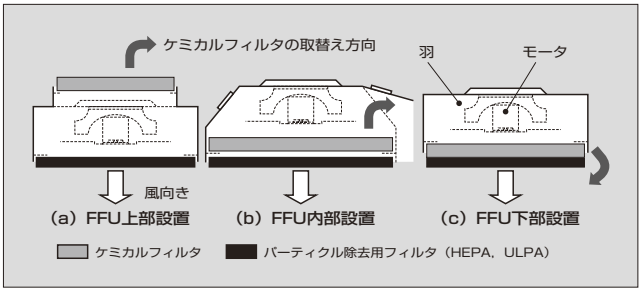


図5　ケミカルフィルタ搭載用FFU



ありコストパフォーマンスに優れている。天井やリターンダクトばかりでなく，クリーンブースや装置にも設置が可能であり，ミニエンバイロメントへの応用が期待される。

今後も顧客の要求に応じて，FFU とケミカルフィルタを組み合わせた，トータルシステムとして提供をしていく所存である。

2.5　今後の取組み

近年，AMC の常時監視が求められている。簡便で高感度な常時監視システムの開発が急務であり，AMC ガスセンサなどの開発に取り組んでいく。

3　手袋装着装置「F-Glove」

無菌対応，品質向上，歩留り向上のための汚染防止，衛生管理，感染防止に向けたクリーンルーム入室前の手洗いと手袋装着が重要となっている。

手袋の中でもラテックス，ニトリルなどのゴム製手袋は装着に手間取り交代時間に渋滞を生じることもある。特に無菌手袋の場合には，煩雑な無菌操作手順に従って装着しなければならず，改善策を望む声は強かった。

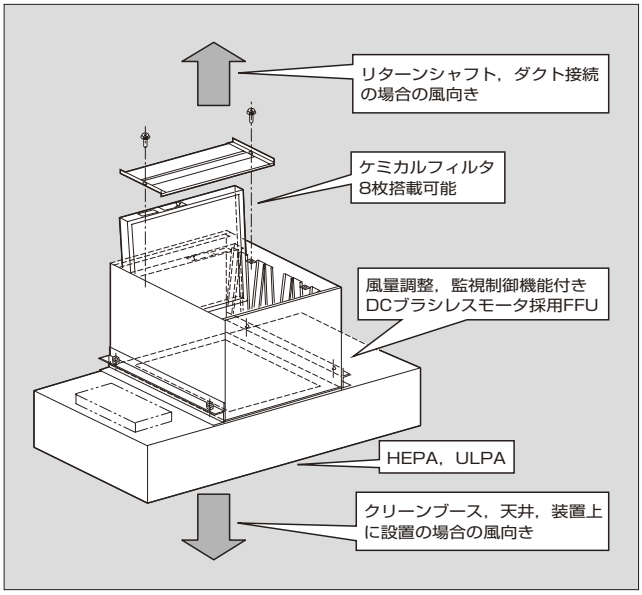
本章では，富士電機が製品化した，ゴム製手袋の装着を効率化するとともに，無菌手袋の装着も容易に行える手袋装着装置について述べる。

3.1　概　要

原理は，セットした手袋内部にエアを吹き込んで膨らませることで，装着しやすくするものである。

チャック部に手袋をセットし，ペダルを踏むと押え金具などが動作して手袋を固定する。手袋に手を入れることで光電センサが働きエアブローが開始され，手袋が膨らんで装着が容易に行える。装着後にペダルを操作すればエアブローが停止し，押え金具が引き込まれるので，取り外して手袋装着完了となる。製品仕様を**表 1** に示す。

図 6　ケミカルフィルタ 8 枚搭載用 FFU



3.2　特　長

(1)　作業効率の向上

エアブロー機能により手袋装着がスムーズかつスピーディに行え，従来の平均 13 秒から 6 秒へ（当社実測）装着時間を大幅に短縮可能となり作業効率がアップする。

(2)　クリーンなエアでじんあいの拡散を防止

エアブローを行う送風機には，高効率 DC ブラシレスモータを採用し，高風速を確保しつつコンパクト化，省エネルギー，低騒音を実現している。HEPA（High Efficiency Particulate Air）フィルタを内蔵させることで，吹出しエアの清浄度を ISO クラス 5 とすることも可能であり，クリーンなブローエアとしじんあいの拡散を防止している。

(3)　設置が容易

高風量送風機の採用により，圧縮エア用配管は不要であり，電源は単相 100 V とし，クリーンルーム前室や更衣室に手軽に設置することができる。

(4)　操作の容易さ

手袋装着装置の外観を**図 7** に示す。

表 1　手袋装着装置の製品仕様

型　　式	POG300
種　　別	送風機内蔵，半自動式
対象手袋	ラテックス，ニトリルなど
電　　源	単相　100 V　50/60 Hz
消費電力	約570 W*1
外形寸法	W550×D460×H995（mm）
質　　量	約50 kg
騒　　音	約72 dB（A）*2
標準付属品	転倒防止金具，接地アダプタ

＊1：消費電力はエアブロー時の値
＊2：無響室にて測定（前方200 mm，高さ1,500 mm）

図 7　手袋装着装置の外観

装置上面には操作方法を表示するとともに，動作に応じたLED表示灯（手袋セット，装着，終了）が点灯して，取扱いをサポートしている。また，サイズ切換スイッチにより，手袋セット時のチャック部開度を手袋サイズに合わせて変更することができる。

(5)　安全対策

手袋をしっかりと固定する機構とすると同時に，指などの挟込みによる事故を防止する安全対策を万全にすることが製品化にあたっての重要ポイントであった。

安全対策は，光電センサを使用した異物侵入検知と，機構部の工夫による挟まれ防止対策の両面から行った。

光電センサは，機構部の上部および下部に設置して，機構部の動作時には安全センサとして働き，指などを感知すれば非常停止する。

機構部の工夫としては，チャックと押え金具の間隔が常に5mm以下となるように動作させ，指などの挟込みを防止する。また，押え金具の前進とチャック部の戻り方向の動作はスプリングで行っているので，指や手が入れば停止する。

電源部には漏電遮断器を採用するとともに，電源プラグは接地付きとした。また，コンセント差込み部のほこりがたまりやすい部分に絶縁コーティングを施した耐トラッキング電源プラグを採用し，ほこりがたまることで発熱・発火する火災事故を防止している。さらに，地震などでの転倒を防止するための転倒防止固定金具を標準付属品としている。

3.3　今後の取組み

手袋装着装置は，本格的に製品化された前例はなく，新製品としてPR活動を展開中である。市場のニーズに応じた改良や，簡易型，全自動型といった新シリーズの開発など，クリーンルーム機器としてさらに進化させていく。

4　エアシャワー

本章では，DCブラシレスモータを採用し開発した新型エアシャワーの特長を述べる。

4.1　エアシャワーに求められる性能

エアシャワーはクリーンルームの入り口や，清浄度が異なる部屋間に設置する。清浄度の低い部屋から高い部屋に入室する際に，人の衣服に付着したじんあいを，高速のジェットエアで吹き飛ばして除去し，じんあいの持込みを防止する。

また，人が通過した後に除去されたじんあいが発生しているので，内部循環ファンにより，速やかにこのじんあいを捕集する構造になっている。この要求を満たすためには，人が不快と感じない程度まで，高風速のジェットエアを吹き出すために，風速を高める必要がある。

4.2　新製品の開発コンセプト

新製品の開発コンセプトとして，上記のエアシャワーに要求される高風速化を達成し，かつ近年顧客の要求の高い，省エネルギー，省スペース，低騒音，低アウトガスなどを満たすこととした。また，エアシャワーはクリーンルームの玄関に相当する機器なので，扉や操作パネルは美観を考慮したデザインとした。

上記の要求を満たすために，ファンとモータの組合せを従来タイプから変更し対応した。従来はシロッコファンとACモータの組合せであったが，FFUで採用している組合せであるターボファンとDCブラシレスモータを採用し開発を進めた。

表2　エアシャワーの従来機種と新機種の比較

項目＼分類			高速ジェット型 従来機種	高速ジェット型 新機種	省エネルギー薄型
型式			WLSS302M	WLSHS402M	WLSW402M
構造	ファン		シロッコファン	ターボファン	ターボファン
	モータ		ACモータ	DCブラシレスモータ	ACモータ
	フィルタ		75mmセパレート	45mmミニプリーツ	45mmミニプリーツ
	構造		一体型シール	ユニット型ノンシール	ユニット型ノンシール
	吹出し口の数（個）		12	16	16
	外形（m）		1.5	1.3	1.2
	質量（kg）		400	300	290
性能	風速（m/s）	50Hz	25	25～35可変	20
		60Hz	30		24
	ジェット時電力（W）	50Hz	800	320	400
		60Hz	1,200		500
	循環時電力（W）	50Hz	200	140	100
		60Hz	320		125
	騒音（dB）距離1m		85	60	―

図8　新型エアシャワーの外観

4.3　高風速化

従来のACモータでは，ファンの回転数が電源周波数とモータの極数に依存していたため，高風速の要求に対しては大型のファンを選定せざるを得なかった。しかしDCブラシレスモータを採用することにより，ファン回転数の可変制御ができ，風速を設計値どおりに設定できるようになった。低風速（25 m/s）から高風速（35 m/s）まで，電源周波数に依存することなくジェットエアの風速制御が可能となった。従来機種と新機種の比較を**表2**に示す。

4.4　省エネルギー

省エネルギーをメインコンセプトとした省エネルギー薄型エアシャワーを1999年にラインアップしている。新機種はこの省エネルギー薄型と遜色（そんしょく）ないレベルまで省エネルギーを達成している。また，DCブラシレスモータは可変速が容易なため，「省エネルギーモード」を新たな機能とし，顧客が運用面で省エネルギーに対応できるようにした。高風速と省エネルギーという相反する命題をクリアした。

4.5　その他の特長

その他の特長として，省スペース，低騒音も従来機種より優位性を持たせた。また，半導体や液晶クリーンルームではシール材などからのアウトガスの低減要求があり，これはシールをしない構造に変更し達成した。

美観は特に扉がデザインで重要になる。しかしコストとの兼合いがあるので，オプションとして顧客が選択できるようにした。新型エアシャワーの外観を**図8**に示す。

5　あとがき

クリーン機器の基本構成要素は，黎明（れいめい）期から現代に至るまで「送風機」「フィルタ」「構造部材」であり続けている。この構成は，清浄空間を要求されなくなるか，画期的なイノベーションがない限り続くものと思われるが，運用管理，歩留り向上，省エネルギーなどの観点からの最適制御，高効率化といった付加価値の向上の取組みが重要と考えている。市場ニーズにマッチしたクリーン機器の開発を進め，産業の発展に寄与していく。

参考文献

(1)　高橋秀人．空調設備計画とケミカル汚染対策．シンポジウム：半導体・新素材工場におけるケミカル汚染の現状と対策．2003, p.20–26.

(2)　佐渡直彦ほか．クリーンルーム内の化学汚染物質の分析評価技術．富士時報．vol.70, no.8, 1997, p.423–426.

(3)　岩田英之．クリーンルーム構成材の選定による有機汚染物質の抑制．第17回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集．1999, p.197–199.

クリーンルーム環境を定量化する環境センサと環境監視システム

中村　貴之（なかむら　たかゆき）　平本　伸一（ひらもと　しんいち）　小泉　和裕（こいずみ　かずひろ）

1　まえがき

半導体製造分野における微細化・高集積化，液晶分野における高精細化・大型化，医薬品製造分野のGMP（Good Manufacturing Practices），食品製造分野のHACCP（Hazard Analysis Critical Control Point）などに従った品質管理の浸透に伴い，クリーンルームの製造環境管理ニーズが拡大している。なかでも清浄度管理は製品の品質向上，歩留り向上においてきわめて重要な管理項目である。しかし，従来は清浄度をオンラインで常時監視していないために微粒子（パーティクル）が発生した場合，どこで発生したかを特定するのが困難であった。また，測定器においても**表1**に示すような課題があった。

このたび，清浄度，温度，湿度，差圧（オプション）をリアルタイムに監視でき，従来測定器の課題を解決する「クリーンルーム環境センサ」「クリーンルーム環境監視システム」を新規に開発・製品化したので紹介する。

表1　クリーンルーム環境管理の課題と対策

	従来測定器の課題	「クリーンルーム環境監視システム」による対策
測定対象	パーティクルのみ	多機能（パーティクル，温度，湿度，差圧）
価格	高価	安価
測定方法	人が測定器を移動し測定	センサを設置し無人で計測
機器形状	測定器	センサ
測定頻度	バッチ処理測定	連続計測（最小1分単位のリアルタイム計測）
使用方法	スタンドアロンが中心	ネットワーク化しパソコンで一元管理
データの記録	手書き，レシートプリンタ	パソコンに自動記録
データの表示	テキスト，数字	トレンドグラフ
データの保存	紙	電子データ（CSVファイル形式）
データの評価	瞬時値による評価	傾向による評価
データの加工	不可	パソコン，表計算ソフトウェアによって加工可能

2　クリーンルーム環境センサ

2.1　特　長

富士電機は，水処理分野向けに液中パーティクルカウンタ（高感度濁度計，ハイブリッド微粒子カウンタ）を製品化し，水質監視で多くの納入実績を持っている。今回は液中用で得たパーティクル検出技術およびノウハウを気中パーティクルセンサに応用し，クリーンルーム環境計測に必要な，温度，湿度，差圧のセンサと複合化しクリーンルーム環境センサ（以下，環境センサという）として完成させた。

以下に環境センサの特長と主要な開発要素であったパーティクルセンサ部について，測定原理と性能評価結果を紹介する。

環境センサは他の類似センサに対して次の特長を持っている。

(1)　多機能性

①パーティクル，②温度，③湿度，④差圧（オプション），⑤外部アナログ信号の五つを同時に計測できるため，クリーンルーム環境を効率よく測定・定量化できる。

(2)　高精度

パーティクルの計測に必要な光源に半導体レーザを採用した。このレーザビームの最適化によるパーティクルの全数計測と，流量センサによる吸引エア流量の制御によって，JIS B 9921（光散乱式自動粒子計数器）に準拠した精度で最小可測粒子0.3 μmの検出を実現している。

(3)　常時モニタリング

従来，パーティクルカウンタでは，エアの吸引機構としてポンプを使用していたが，寿命が短く（2,000～3,000時間）メンテナンス性に問題があり，常時モニタリングには適していなかった。そこで，寿命の長い（約10万時間）ファンモータを採用し，常時モニタリングを実現した。

(4)　自己診断機能

自己診断機能を搭載しており，ファン異常，レーザ出力低下，回路異常などの異常をリアルタイムで発見し早期にメンテナンスが可能である。

中村　貴之

クリーンルーム用機器の開発およびエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部クリーンシステム統括部技術第一部課長補佐。

平本　伸一

情報通信機器およびシステムの開発，設計業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社機器本部東京工場ファインテック機器部主任。

小泉　和裕

光応用センサの研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社機器技術研究所。電気学会会員。

環境センサの外観を**図 1** に，仕様を**表 2** に示す。

2. 2　測定原理

図 2 にパーティクルセンサの原理構成を示す。半導体レーザから射出されるレーザビームは，レンズによってノズル位置に集光される。レーザビームの光パワー密度およびビームの形状は，パーティクルセンサの粒子検出性能を決定する重要な要素である。そこで，光学系の設計には光学シミュレータを使用して，①ノズルから吐出される吸引エア全量にビームを照射できること，②最小可測粒子 0.3 μm を検出できる光パワー密度を得ること，を実現できるレーザビームを設計した。その結果，**図 2** に示すようにレーザビームを偏平形状にすることで目標仕様を達成した。

吸引エアにパーティクルが含まれている場合には，パーティクルにより散乱光が発生する。この散乱は Mie 散乱〈注 1〉と呼ばれ，レーザ波長と粒径が同程度のときに発生する。

この散乱光を凹面ミラーによってホトダイオードに集光させ，ホトダイオードで散乱光を電気信号に変換する。1 個の粒子がレーザビームを通過するたびに 1 個のパルス状の電気信号が観測される。散乱光パルスの波高値は粒径と一定の関係があることから，計数と同時に粒径判定を行うことができる。

〈注 1〉Mie 散乱：光の波長と同程度以上の大きさの粒子による光の散乱現象

2. 3　評価結果

(1)　パーティクル検出信号

パーティクルセンサの評価・校正には，粒径のそろっている PSL（ポリスチレンラテックス）粒子が一般的に使用されている。**図 3** に，PSL 0.3 μm 粒子を検出したときの散乱光パルス波形を示す。**図 4** に，パルス波高の度数分布グラフを示す。**図 4** から，0.3 μm 粒子の波高分布がノイズの分布から完全に分離できていることが分かる。

パルスの波高値はパーティクルの粒径に対応しているので各粒径に応じたしきい値を設けることで，粒径区分ごとにパーティクルの個数を計数することが可能となる。**図 4** から，粒径 0.3 μm の検出しきい値はパルス波高分布の 50％計数位置（**図 4** の P 点）に設定する（JIS B 9921 準拠）。

図 1　環境センサの外観

表 2　環境センサの仕様

項　目		仕　様
パーティクルカウンタ	方　式	光散乱検出方式（JIS B 9921準拠）
	粒径区分	0.3/1.0 μmまたは0.5/1.0 μm
	最大可測濃度	70,000個/L
	サンプリング流量	0.283L/min（0.01CF/min）
温度センサ	測定範囲	0～40℃
湿度センサ	測定範囲	35～80％RH
差圧センサ（オプション）	測定範囲	0～50 Pa
アナログ入力	入力範囲	DC4～20 mA
通　信	電気仕様	RS-485準拠
	通信速度	9,600ビット/秒
電　源		AC100 V 50/60 Hz
外形寸法		W236×H169×D60（mm）
取付け寸法		DINレール取付け，引掛式取付け

図 2　パーティクルセンサの原理構成

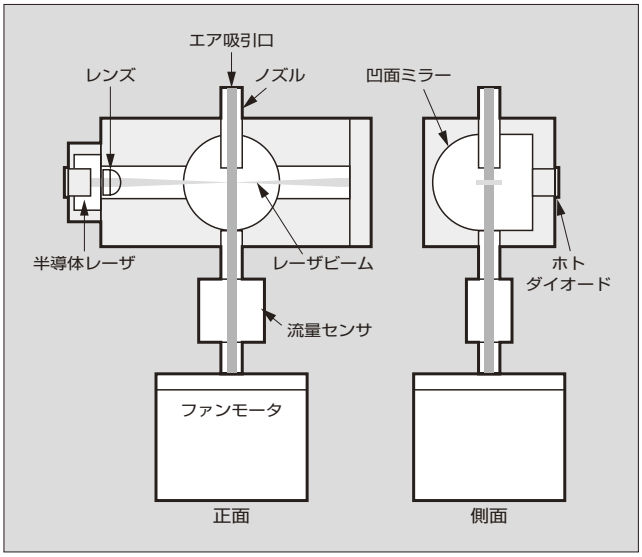
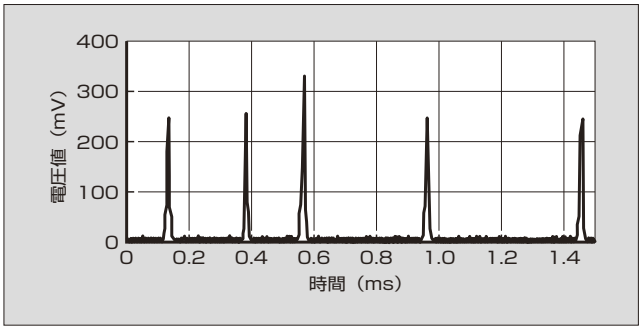


図 3　散乱光パルス波形（粒径 0.3 μm）



(2)　粒子計数効率

パーティクルセンサの粒子計数精度（計数効率）は，**図5**に示す構成で実施し，基準パーティクルセンサとの計数比較によって評価する。基準センサには，財団法人日本品質保証機構（JQA）で校正したパーティクルセンサを原器として，測定のトレーサビリティを確保している。

表3に，計数効率の評価結果を示す。最小可測粒子（0.3 μm）の計数効率は56～62％，最小可測粒子径の1.5～2倍粒子（0.5 μm）の計数効率は95～102％であり，JISの仕様値を満たしている。

(3)　偽計数

パーティクルセンサの重要な評価項目として偽計数がある。偽計数とは粒子以外の電気ノイズ，光ノイズなどによって発生する誤計数のことである。評価時はパーティクルセンサの吸引口にエアフィルタを設置して評価する。

表3に示す評価結果のとおり，評価時間60分で偽計数は1～3個であり，JISの仕様値を満たしている。

図4　パルス波高分布（粒径0.3 μm）

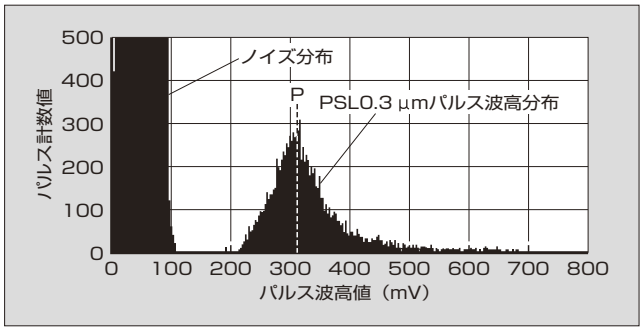


図5　計数効率の評価構成

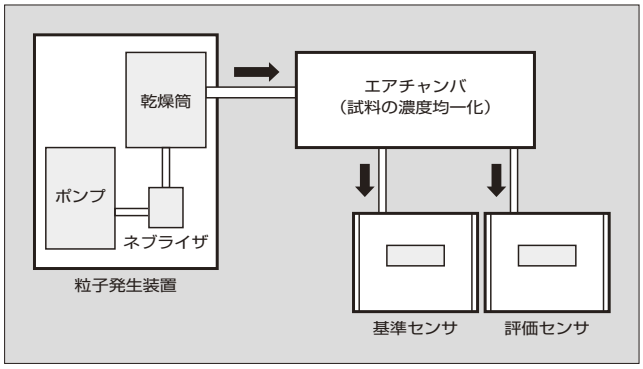


表3　計数効率と偽計数の評価結果

項　目	仕様（JIS B 9921）	評価結果
計数効率	最小可測粒子（0.3 μm）で30～70％	56～62％
	最小可測粒子の1.5～2倍の粒子（0.5 μm）で90～110％	95～102％
偽 計 数	5分間に1個以下	60分間で1～3個（5分間で約0.2個）

3　クリーンルーム環境監視システム

3.1　概　要

クリーンルーム環境監視システム（以下，環境監視システムという）は，上位側では「Webサーバ」「自動メール発信」「Ethernet〈注2〉」など汎用IT（Information Technology），下位側では富士電機の得意とする「センサ」「フィールドネットワーク」など専用技術を採用している。監視用パソコン，小型Webサーバ〔以下，F-Site（エフサイト）という〕，環境センサで構成され，クリーンルーム環境データの「監視」「保存」「管理」が容易に実現できるシステムである。そのシステム構成を**図6**に示す。

3.2　特　長

(1)　F-Siteの採用

F-Siteは富士電機のIMM（Intelligent Micro Module）技術でコンパクト化されたハードウェアに，以下の多彩なIT機能を搭載した小型Webサーバである。

①　Webサーバ機能
②　ダウンロード機能
③　データ自動保存機能
④　データ連携機能
⑤　計測データのメール発信機能
⑥　アラームのメール発信機能

環境監視システムは，これらF-Siteの機能を活用したアプリケーションソフトウェアを搭載している。F-Siteは環境センサの計測データをネットワークで収集し，Webデータに変換できるので監視パソコンはブラウザのみで監視できる。F-Siteの外観を**図7**に，仕様を**表4**に示す。

(2)　ユーザーによるシステム構築と運用

環境監視システムはセンサ1台から導入でき，必要に応じてセンサを増設し，システムを拡張できる。センサの

〈注2〉Ethernet：米国Xerox Corp.の登録商標

図6　システム構成

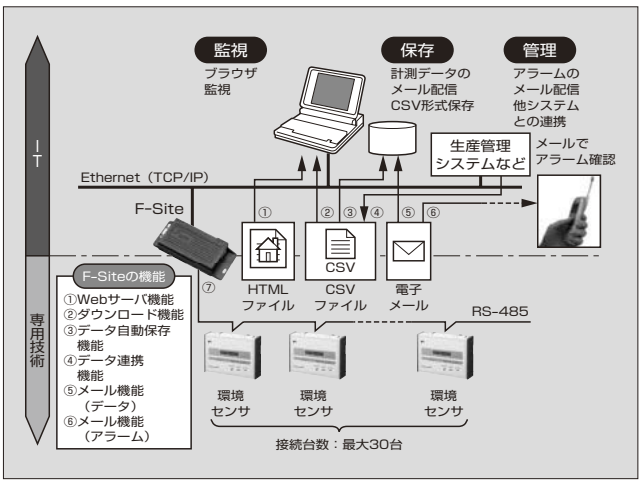


図7　F-Site の外観と IMM 基板

表4　F-Siteの仕様

項　目		仕　様
CPU		RISC型CPU（富士電機IMM-Cモジュール）
インタフェース	上位側（パソコンなど）	Ethernet 10BASE-T（RJ-45）
		TCP/IP，UDP/IP，FTP（クライアント），HTTP，SMTP，ICMP，ARP/RARP，DHCP（クライアント）
	下位側（環境センサ）	RS-485（RJ-45：汎用LANケーブル使用）
		環境センサ専用プロトコル
電　源		AC100V，50/60Hz，5W（ACアダプタ）
外形寸法		W68×D150×H24（mm）

図8　データ監視画面

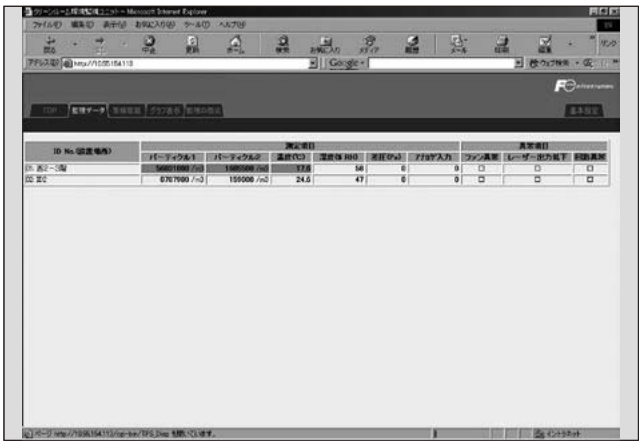
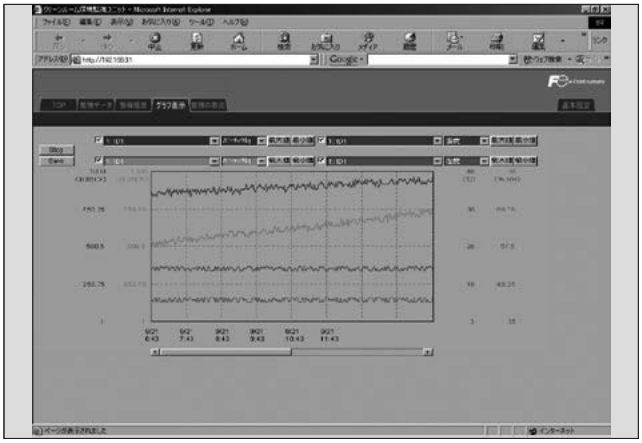


図9　トレンド監視画面



増設も ID 設定だけなのでユーザー自身で実施でき，メーカーエンジニアによるソフトウェアの改造が不要である。したがって，少ないコストで導入でき，運用コストも低く抑えることができる。

(3)　拡張性と多様性

環境監視システムは，汎用的な IT を応用し，運用上の利便性を高めている。LAN（Local Area Network）が Ethernet（TCP/IP）環境であるため，イントラネットに接続し情報共有が促進できる。また，インターネットに接続し外部からのデータ管理が容易で遠隔管理が可能である。

遠距離，ノイズ環境には「光 LAN」が有効で，ノイズがなく見通しのきく環境では「無線 LAN」も期待できる。また，ソフトウェアについては，計測データに CSV（Comma Separated Value）形式ファイルを採用しているため，ユーザー自身が加工できることはもちろん，他システムとデータ連携する場合にも汎用的なインタフェースとして有効である。

3.3　機　能

(1)　データ監視機能

標準仕様として，次の監視画面を搭載している。

①　データ監視画面

データ監視画面は，各センサの計測データ（パーティクル，温度，湿度，差圧，外部アナログ入力信号）現在値とセンサの自己診断データ（ファン異常，レーザ出力低下，回路異常）を Web ブラウザでリアルタイムに監視できる。また，計測データが設定値に対して異常になった場合や自己診断データが異常になった場合は，表示データ背景を色替えして通知する。データ監視画面を**図 8** に示す。

②　トレンド監視画面

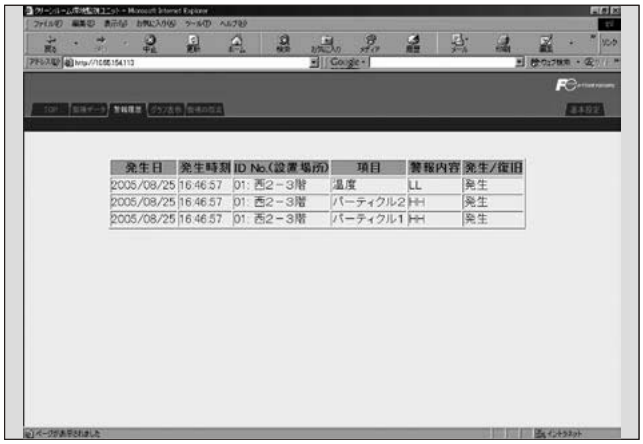
トレンド監視画面は，計測データのすべてをトレンドで表示し，データの変化・傾向を一目で把握できる。また，トレンドデータは同時に 4 点のグラフを画面に表示でき，設置場所単位，計測データ単位にグラフを選択表示できるので関連データの比較が容易である。トレンド監視画面を**図 9** に示す。

③　アラーム履歴画面

アラーム履歴画面は，計測データの設定値に対する異常や故障発生を一覧表形式で表示する。アラームの各データは発生時間，異常データ箇所，異常データ，警報内容，発生・復旧区分を表示できるので異常事象の特定が容易になる。トレンドと一緒に使用すれば時間軸による異常傾向の把握が容易である。アラーム履歴画面を**図 10**に示す。

(2)　データ保存機能

図 10　アラーム履歴画面



計測データは次の二つの方法で保存できる。

①　所定フォルダへの自動保存

パソコンの所定フォルダに保存することができる。CSV 形式のファイルで保存されているので Excel〈注3〉など表計算ソフトウェアでユーザーが自由に加工できる。トレンドグラフ，帳票などとして参照することが容易にできる。

また，F-Site に標準付属するトレンドビュア（専用ソフトウェア）を利用すれば加工の手間がなくトレンドとして参照することもできる。

②　指定メールアドレスへの自動保存

計測した環境データの CSV 形式ファイルを添付した電子メールを指定したメールアドレスに配信できる。イントラネットなど電子メールが利用できる環境であれば通常業務用のパソコンでも管理でき，監視システムのために専用のパソコンを設置しない運用も可能である。

(3)　データ管理機能

①　異常アラームのメール配信

異常アラームは，F-Site のメール機能を利用して配信できる。携帯電話へのメールを活用し，モバイル環境で異常アラームを知ることができるので迅速に対処できる（**図 6** の⑥参照）。

②　他システムとのデータ連携

環境センサの計測したデータを既設の生産管理システムなど上位システムで一括して管理したい場合は，F-Site の「データ連携機能」を利用する。上位システムは F-Site で計測したデータを CSV 形式ファイルでインタフェースできる。（**図 6** の④参照）。

4　あとがき

クリーンルーム内の環境は非常に微細で目に見えない部分が多いため，その環境を把握するうえでセンサは欠かせない。今後とも，0.1 μm 粒径計測をはじめとした環境センサの性能アップ，風速，静電気，ケミカルガスなど微細な現象をリアルタイムで計測できるセンサのラインアップを拡充していく計画である。クリーンルーム環境の定量化を促進し，「オペレーショナル（通常運転時）状態でのクリーンルーム性能の確保」を実現していく所存である。

〈注 3〉Excel：米国 Microsoft Corp. の登録商標

主要営業品目

富士電機システムズ株式会社

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム，UPS，ミニ UPS

富士電機機器制御株式会社

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，ネットワーク機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，クーラントポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ

富士電機デバイステクノロジー株式会社

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシック IC，ハイブリッド IC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体，画像周辺機器

富士電機リテイルシステムズ株式会社

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，カードシステム

富士時報	第 78 巻 第 6 号	平成 17 年 10 月 30 日 印刷 平成 17 年 11 月 10 日 発行 定価 735 円（本体 700 円・送料別）
編集兼発行人	原嶋孝一	
発行所	富士電機ホールディングス株式会社 技術企画部	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号 （ゲートシティ大崎イーストタワー）
編集室	富士電機情報サービス株式会社内 「富士時報」編集室	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話（03）5388 − 7826 FAX（03）5388 − 7988
印刷所	富士電機情報サービス株式会社	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話（03）5388 − 8241
発売元	株式会社オーム社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電話（03）3233 − 0641 振替口座 東京 6 − 20018

© 2005 Fuji Electric Holdings Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

富士時報 VOL.78 2005（平成17年）総目次

No.1　技術成果と展望

新しい年を迎えて …… 2
ハイライト …… 4
富士電機システムズ株式会社
　商品作りに邁進 …… 12
　e-ソリューション …… 13
　環境システム …… 23
　産業・交通システム …… 29
　発電プラント …… 42
　サービス …… 47
　機　器 …… 52
富士電機機器制御株式会社
　「技術立社」を目指して …… 58
　システムコンポーネント …… 59
富士電機デバイステクノロジー株式会社
　技術をコンピタンスとしてグローバルトップへ …… 68
　情報機器関連コンポーネント …… 69
　電子デバイス・半導体 …… 72
富士電機リテイルシステムズ株式会社
　快適商空間の創造 …… 77
　流通機器システム …… 78
富士電機アドバンストテクノロジー株式会社
　富士電機グループへの貢献と継続的発展のための技術力強化 …… 83
　技術開発・生産技術 …… 84

No.2　特集 火力発電

火力発電と地球環境 …… 高久　啓 101（1）
火力発電設備の動向と展望 …… 西垣　博志 102（2）
海外における火力発電設備の動向 …… 藤原　正洋 106（6）
中国における火力発電設備の実績 …… 浅利　茂 110（10）
コンバインドサイクル発電設備 …… 池田　忠司　武田淳一郎　山本　隆夫 116（16）
富士電機の標準中容量蒸気タービン「FET シリーズ」 …… 吉江　耕也　安部　道雄　小嶋　裕之 121（21）
富士電機におけるタービン発電機の開発の現状 …… 日和佐寛道　長谷　徹　芳賀　弘二 126（26）
地熱発電設備の現状と動向 …… 稲垣正太郎 131（31）
小型地熱バイナリー発電システム …… 山田　茂登　小山　弘 136（36）
地熱タービンの最新技術 …… 酒井　吉弘　中村　憲司　塩川　国夫 140（40）
最近の経年火力発電ユニット再生技術 …… 加藤　雅喜　浅野　誠一　福田　昌介 146（46）
発電所設備情報総合管理システム …… 加藤　俊和 152（52）

No.3　特集 流通機器システム

流通機器システムの展望 …… 梁根　操 159（1）
自動販売機の動向と展望 …… 小野田　誠　平松　純一 160（2）
F シリーズ缶・ボトル飲料自動販売機 …… 八井　弘二　斉藤　嘉一　前川　智律 163（5）
飲料自動販売機の省エネルギー技術 …… 岩崎　正道　滝口　浩司　近藤　悟 167（9）
新型 View 自動販売機 …… 西　正博　矢坂　義男　渡辺　博 172（14）
カップミキシング方式の新カップ飲料自動販売機 …… 濱本　賢一　峯崎　秀之　上野　学 177（19）
自動販売機の環境適合技術 …… 木村　幸雄　篠原　淳　土屋　敏章 181（23）
自動販売機制御ソフトウェアの生産技術 …… 中野　竹夫　繁田　雅信　渡辺　哲仁 186（28）
自動販売機の IT 適用技術 …… 宮田　泰彦　特手　義信　武田　久孝 190（32）
販売促進機能強化型自動販売機への取組み …… 窪田　亘一 194（36）
フードサービス機器の動向と展望 …… 中原　常行　子安　雅彦 198（40）
スープディスペンサー「スープ・デリ」 …… 神部　和彦　長崎　正　加藤　雅博 201（43）
小型卓上アイスコーヒーディスペンサー …… 持田　幸秀　畔柳　靖彦　強瀬　俊祐 205（47）
新流量センサ搭載定量自動式ビールディスペンサー …… 河村　正志　中島　一秀　松本　雅弘 208（50）
快適商空間に向けて（STPP） …… 矢野　賢司 212（54）
店舗総合省エネルギー制御システム …… 須藤　晴彦　竹中　道夫　坂井　一博 215（57）
環境評価試験室 …… 遠藤　行雄　中山　伸一　松本　悟史 220（62）
スーパーマーケット向け次世代ショーケース …… 渡邊　健　中山　和哉　平野　孝 224（66）
コンビニエンスストア向け次世代オープンショーケース …… 前川　勝彦　安藤　豊　矢野　隆幸 228（70）
コンビニエンスストア向け店舗ユニットシステム …… 川井　義人 232（74）
決済処理自動化の動向と展望 …… 山本　斉 234（76）
埋込取付型紙幣識別機 …… 宮坂　和好　中澤　拓　榎本　和巳 236（78）
現金式小型電子マネーチャージ機 …… 清沢　久　板敷　穎二　中村　善宏 240（82）
セルフサービスステーション向け小型つり銭機 …… 伊藤　義矩　大江　勝己　清水　敏直 243（85）

No.4　特集 半導体

システム LSI 時代においてますます重要なアナログ技術 …… 兵庫　明 249（1）
半導体の現状と展望 …… 藤平　龍彦　金田　裕和　久祢田修一郎 250（2）
U4 シリーズ IGBT モジュール …… 原口　浩一　宮下　秀仁　小野澤勇一 256（8）
小容量 IGBT モジュール …… 小松　康佑　早乙女全紀　井川　修 260（12）
産業用大容量 IGBT モジュール …… 西村　孝司　柿木　秀昭　小林　孝敏 264（16）
鉛フリー IGBT モジュール …… 西村　芳孝　大西　一永　望月　英司 269（21）
自動車用ワンチップイグナイタ …… 逸見　徳幸　高橋　作栄　山本　毅 273（25）
超小型インテリジェントパワースイッチ …… 木内　伸　吉田　泰樹　岩水　守生 277（29）
ショットキーバリヤダイオード …… 森本　哲弘　一ノ瀬正樹　掛布　光泰 282（34）
マイクロ電源 …… 佐野　功　林　善智　江戸　雅晴 286（38）
2 チャネル電流モード同期整流降圧電源 IC …… 中森　昭　野中　智己　一岡　明 290（42）
擬似共振電源制御 IC …… 丸山　宏志　城山　博伸　打田　高章 294（46）
PDP アドレスドライバ IC …… 川村　一裕　福知　輝洋　野口　晴司 299（51）
PDP スキャンドライバ IC …… 小林　英登　多田　元　澄田　仁志 303（55）
マルチラインセンサモジュール …… 泉　晶雄　榎本　良成　山本　敏男 307（59）
プラズマ CVD 窒化膜の組成制御技術 …… 成田　政隆　横山　拓也　市川　幸美 312（64）
パワー CSP バンプ設計のシミュレーション技術 …… 桐畑　文明　安部　信一　吉田　泰樹 316（68）

No.5　特集 最新のシステム制御機器

発展するシステム制御技術 …… 藤本　康孝 321（1）
システム制御機器の現状と展望 …… 福住　光記　藤田　光悦 322（2）
シーケンス制御とデータ処理とを融合させる新 CPU「SPH2000」…… 小高　秀之　下川　孝幸　須長　祐悟 328（8）
コントローラ支援ツールの進化 …… 中間　倫之　福島　幸治　若井　大資 333（13）
XML による PLC ソフトウェア流通の試み …… 松本　雅好　福島　幸治 337（17）
統合コントローラ「MICREX-SX」コンポーネントの拡充 …… 八ツ田　豊　斉藤　豊　大原　浩一 342（22）
統合コントローラ「MICREX-SX」の冗長化システム …… 藤川　泰孝　徳間　英人 346（26）
統合コントローラ「MICREX-SX」の空調・省エネルギー分野への適用 …… 伊藤二三夫 350（30）
統合コントローラ「MICREX-SX」と AS-i によるフレキシブルなシステム構築事例 …… 伊藤　潤　藤川　泰孝 355（35）
統合コントローラ「MICREX-SX」の鉄鋼プロセスラインへの適用 …… 堤　泰伸　杉元　貞博　佐藤　芳巳 359（39）
高性能・コンパクト型インバータ「FRENIC-Multi シリーズ」…… 塩川　治　平井　規雄　伊東　稔弥 364（44）
ファン・ポンプ用インバータ「FRENIC-Eco シリーズ」 …… 中西　孝司　近藤　靖　水野　修 368（48）
エレベータ用インバータ「FRENIC-Lift シリーズ」 …… 野村　哲也　加藤　宏明　佐藤　政寛 373（53）
大容量電力変換器 …… 望月　昌人　青山　昌弘　山田　達也 377（57）
汎用インバータの適用事例 …… 福島　雄次　大山　勉　南　昌宏 381（61）
業務用 IH インバータ（3 kW/5 kW） …… 角垣　隆宣　中井　勝　玉手　道雄 385（65）
新型サーボシステム「FALDIC-W シリーズ」 …… 伊藤　彰浩　津崎　加代　成田　篤史 389（69）
サーボの多軸同期システムへの適用 …… 相田　忠勝　丸林　雅美 393（73）
高性能ベクトルインバータの同期制御システムへの適用 …… 井田　貴士　相田　忠勝　喜納　政宏 397（77）

No.6　特集1 エネルギーソリューション／特集2 クリーンシステム技術

特集1 エネルギーソリューション

エネルギーソリューション特集に寄せて …… 大山　力 403（1）
エネルギーソリューションの現状と展望 …… 大橋　一弘 404（2）
電力系統制御システムの最新技術 …… 高橋　省　吉田　高　池内　一志 409（7）
エネルギー総合管理システム「Spectrum PowerCC」…… 宮村　尚孝　中村　正雄　林　巨己 414（12）
電力小売自由化に対応した自動検針と電力量計 …… 長島　優　上條　雅之　清水　康司 419（17）
分散型エネルギーシステムを支える技術 …… 伊原木永二朗　鈴木　智宏　仁井　真介 423（21）
アモルファスシリコン太陽電池の現状と開発動向 …… 桜井　正博　酒井　利明 431（29）
燃料電池の現状と開発状況 …… 堀内　義実　西垣　英雄　黒田　健一 435（33）
風力発電の系統連系システム …… 矢後　賢次　腰　一昭 439（37）
省エネルギーソリューションとしての ESCO 事業の実際 …… 福田　英治　上村　猛　佐藤　進 446（44）
電機設備アフターサービスにおける予知保全技術 …… 西山　和男　一石　健三　福島　宗次 451（49）

特集2 クリーンシステム技術

半導体ガスセンサの高機能化とクリーンルームへの応用 …… 片田　直伸 456（54）
クリーンシステム技術の現状と展望 …… 横幕　博行　澤田　朋之 457（55）
最新鋭液晶パネル工場向けクリーンルームシステム …… 高松　武史　松木　幹夫　奥田　耕士 462（60）
海外の大型液晶パネル工場向けクリーンルームシステム …… 峰岸裕一郎　藤瀬　成己　川又　修三 467（65）
医薬品製造ライン用クリーンシステム …… 松埜周一郎　矢嶋　良一 471（69）
クリーンルーム用機器の新製品 …… 日下　豊　岩田　英之　岡垣　良隆 474（72）
クリーンルーム環境を定量化する環境センサと環境監視システム …… 中村　貴之　平本　伸一　小泉　和裕 479（77）

富士時報論文抄録

エネルギーソリューションの現状と展望

大橋　一弘
富士時報　Vol.78 No.6 p.404–408（2005）

地球温暖化など環境問題が深刻化している中，京都議定書が発効し，それを受け，かつ世界経済のグローバル化を考慮したエネルギー基本計画が公表され，課題解決のための方策が示され進められつつある。富士電機はエネルギーの発生，流通，消費の一連のサイクルにおいて，電力の「流通」技術を核に，既存の大規模なエネルギーシステムと新エネルギーなど，分散型のエネルギーシステムの調和を目指し，省エネルギー，ESCO をも含めた顧客指向型の総合的なエネルギーソリューションを展開している。

エネルギー総合管理システム「Spectrum PowerCC」

宮村　尚孝　　中村　正雄　　林　　巨己
富士時報　Vol.78 No.6 p.414–418（2005）

Spectrum PowerCC は電力自由化によるエネルギー環境の変化と IT 社会へ適合したもので，モジュール化されたソフトウェア，エンジニアリングツール，柔軟なプラットフォームなどによりトータルコストダウンを実現している。また，電気事業者，一般需要家に対し電力設備運用管理，エネルギー取引を含む発電機運用管理の機能を提供する。本稿ではこのシステムの特長と適用分野を示すとともに，日本卸電力市場に対応した取引支援機能などの富士電機が独自に開発したアプリケーションと合わせたソリューションについて紹介する。

分散型エネルギーシステムを支える技術

伊原木 永二朗　　鈴木　智宏　　仁井　真介
富士時報　Vol.78 No.6 p.423–430（2005）

分散型エネルギーシステムは，新エネルギーを含めた地域エネルギー供給の安定化を図るもので，電力自由化と環境問題へ対応するための手段として注目されている。本稿では，分散型エネルギーシステムの一つであるマイクログリッドを中心として，富士電機の計測・情報処理技術，同時同量制御技術，安定化対策技術，計量システムおよび配電系統における広域 PQ 計測システムを紹介する。また，事例として，「京都エコエネルギープロジェクト（KEEP）」を取り上げる。

燃料電池の現状と開発状況

堀内　義実　　西垣　英雄　　黒田　健一
富士時報　Vol.78 No.6 p.435–438（2005）

富士電機が市場投入しているりん酸形燃料電池（PAFC）の現状，燃料電池を利用した水素供給システム，固体高分子形燃料電池（PEFC）の開発状況について述べる。PAFC は 1998 年から商品機を納入しており，累積運転時間も開発目標の寿命（4 万時間）を超えるサイトも増えてきた。近い将来の水素社会に向けて，燃料電池を利用した水素供給システムの開発も手がけている。PEFC は，フィールドテストへ参画し，実サイトでの評価を進め，コストダウンと耐久性向上，量産を目指した開発を加速している。

電力系統制御システムの最新技術

高橋　　省　　吉田　　高　　池内　一志
富士時報　Vol.78 No.6 p.409–413（2005）

電力系統の監視制御システムにおいては，LAN，WAN の技術の進歩により，コンピュータの設置場所を意識しないシステムの構築が可能となっている。これらのニーズに対応した，広域分散型監視制御システム構築のための技術として，広域分散型ミドルウェア，IP ネットワーク対応型コンポーネントを紹介する。また，電力の効率運用に寄与する技術として，ニューラルネットワークを適用した予測技術と，設備効率運用を支援する保全技術を紹介する。

電力小売自由化に対応した自動検針と電力量計

長島　　優　　上條　雅之　　清水　康司
富士時報　Vol.78 No.6 p.419–422（2005）

2000 年 3 月以降の電力小売自由化の進展ならびに電力量計および自動検針の導入状況の概要を紹介し，電力量計と自動検針システムに求められる役目を説明する。自動検針システムについては現状と大口および高圧需要家向けシステム構成を紹介し，導入されている主な通信メディアを説明する。さらに高圧用と低圧用の新型電力量計を紹介する。

アモルファスシリコン太陽電池の現状と開発動向

桜井　正博　　酒井　利明
富士時報　Vol.78 No.6 p.431–434（2005）

ガラスに代わりプラスチックフィルムを基板として，ロールツーロール方式を採用し，量産性に優れたアモルファスシリコン太陽電池を開発したのでその構造（SCAF 構造）と製造プロセスを紹介する。また，フレキシブル太陽電池モジュールの特長とフィールド試験結果，および 2004 年 10 月に販売を開始した鋼板一体型太陽電池モジュールとフレキシブル太陽電池モジュールの商品形態と仕様，ならびにこれらのモジュールを使用したシステムの設置事例を紹介する。

風力発電の系統連系システム

矢後　賢次　　腰　　一昭
富士時報　Vol.78 No.6 p.439–445（2005）

風力発電は環境負荷がないことから積極的な導入が期待されており，2010 年度における国家の導入目標は 300 万 kW である。しかし，2005 年 3 月時点では 93 万 kW にとどまっている。大きな原因の一つは風力発電の気象依存性による出力変動であり，出力変動による系統連系時の周波数問題，電圧問題の発生が懸念されている。本稿では特に系統連系における周波数問題に焦点をあて，風力発電設備と電力貯蔵装置の組合せによりこの問題を解決できることを，富士電機の実績を含めて紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

The Latest Power System Control Technology

Satoru Takahashi Takashi Yoshida Kazushi Ikeuchi
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.409–413 (2005)

Advances in LAN and WAN technology have enabled the configuration of power monitoring and control systems in which the systems need not be aware of the location of installed computers. As technology for configuring wide-area distributed monitoring and control systems, this paper introduces wide-area distributed middleware and components that support an IP network. Prediction techniques that utilize neural networks and maintenance techniques that support the efficient use of facilities are also introduced as techniques that contribute to the more efficient use of power.

Automatied Meter Reading and Electricity Meters in Response to Electric Power Retail Deregulation

Masaru Nagashima Masayuki Kamijyou Yasuji Shimizu
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.419–422 (2005)

This paper presents an overview of the progress in electric power retail deregulation and the status of adoption of electricity meters and automated meter reading since March 2003, and describes the desired role for electricity meters and automated meter reading. Automated meter reading system configurations are presented, both in their current state and as configurations for large and high-voltage customers, and the main types of communication media in use are described. New high-voltage and low-voltage electricity meters are also introduced.

Current Status and Future Trends of Amorphous Silicon Solar Cells

Masahiro Sakurai Toshiaki Sakai
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.431–434 (2005)

Fuji Electric has developed an amorphous silicon solar cell module supported with plastic thin film instead of plate glass. This paper describes the structure (SCAF structure) and production process for this solar cell module which uses a roll-to-roll system and is well-suited for mass production. Characteristics and field test results of flexible solar cell modules, specifications of the steel plate-integrated solar cell module and the flexible solar cell module that were brought to market in October 2004, and examples of system installations that use these modules are also presented.

Connecting Wind Power to the Grids

Kenji Yago Kazuaki Koshi
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.439–445 (2005)

The full-scale adoption of wind power, which does not burden the environment, is highly anticipated and Japan's targeted adoption by FY2010 is 3,000 MW. However, as of March 2005, this adoption has remained at 930 MW. A major cause of the lower than anticipated power output is the fluctuation in power output due to the climate dependency of wind power, and there is concern that frequency and voltage-related problems will occur when connected to a grid. This paper focuses on frequency-related problems when a wind power generation plant is connected to a grid, and explains, with reference to Fuji Electric's successful experience, that this problem can be solved through the combination of a wind power generation plant and a power storage facility.

Overview of Fuji Electric's Energy Solutions

Kazuhiro Oohashi
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.404–408 (2005)

Amid the ever-increasing severity of environmental problems such as global warming, the Kyoto protocol has been enacted, and in response, basic energy plans that take into account the globalization of the world economy have been announced publicly and policies that promote solutions to environmental problems are being advanced. By focusing on energy (distribution) technology within the energy generation-distribution-consumption cycle, Fuji Electric aims to achieve harmony between existing large-scale energy systems and distributed energy systems that use new types of energy and the like, and to realize energy savings. Fuji Electric has also been working to develop comprehensive energy solutions for its customers, which include ESCOs.

The "Spectrum PowerCC" Energy Management System

Naotaka Miyamura Masao Nakamura Naoki Hayashi
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.414–418 (2005)

Well suited for an energy environment that changes in response to deregulation and the shift toward an IT-oriented society, Spectrum PowerCC enables a reduction in the total cost of ownership through modular software, engineering tools, flexible platforms, and the like. Spectrum PowerCC is also able to provide energy control and generation management functionality, including the capability to manage energy transactions for electric utilities and industries. This paper describes the features and the fields of application of the Spectrum PowerCC system, and also presents such solutions as Fuji Electric's independently developed applications which include a transaction support function compatible with the Japan Electric Power Exchange.

Technology for Distributed Energy Systems

Eijiro Ibaragi Tomohiro Suzuki Shinsuke Nii
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.423–430 (2005)

Distributed energy systems attempt to stabilize the supply of local energy, including new energy, and are in the spotlight as a means for supporting power utility deregulation and responding to environmental problems. This paper focuses on micro-grids, which are a form of a distributed energy systems, and introduces Fuji Electric's measuring and information processing technology, power balancing control technology, power grid stabilization technology, measuring system and wide-area PQ measuring system for distribution system. The Kyoto Eco-Energy Project (KEEP) is presented as an example.

The Present Status of Fuel Cells and Outlook for Development

Yoshimi Horiuchi Hideo Nishigaki Kenichi Kuroda
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.435–438 (2005)

This paper describes the present status of a phosphoric acid fuel cell (PAFC) that Fuji Electric has introduced to the marketplace, a hydrogen supply system that uses fuel cells, and the development status of polymer electrolyte fuel cells (PEFC). Commercial PAFCs have been supplied since 1998, and the number of sites at which their cumulative operation time has exceeded the targeted service life of 40,000 hours is increasing. Also, in consideration of the transition to a hydrogen-oriented society in the near future, Fuji Electric is working to develop a hydrogen supply system that uses fuel cells. In preparation, Fuji Electric is advancing PEFC technology by planning field tests, promoting evaluation at actual sites, and accelerating development aimed at achieving lower cost, and improved durability and mass-producibility.

省エネルギーソリューションとしての ESCO 事業の実際

福田　英治　　上村　猛　　佐藤　進
富士時報　Vol.78 No.6 p.446–450（2005）

省エネルギー対策として ESCO（Energy Service Company）事業が注目されている。計画したエネルギー削減量や CO_2 削減量が保証されるところにその理由がある。優良な ESCO 事業を実現するためには，高レベルの省エネルギー手法や省エネルギー・ESCO 事業に適合したデータベース構築が必須である。ESCO 事業の実際と，それをサポートするデータベース構築手法やシステム事例について紹介する。

電機設備アフターサービスにおける予知保全技術

西山　和男　　一石　健三　　福島　宗次
富士時報　Vol.78 No.6 p.451–455（2005）

電力・産業など各分野で，多種にわたる電機設備が使用されており，設備納入後は長期にわたる安定的かつ低コストの維持管理が要求される。これらに応える予知保全技術とその支援ツールの開発を行うとともに，24 時間 365 日にわたるサービス基盤を強化してきた。その取組みを紹介する。その中でも，「構造化ニューラルネットワークとアンサンブル手法」を適用した「油入変圧器高精度余寿命予測システム」は従来手法の精度幅 15 年を 3 年にまで縮め，ライフサイクルにわたる最適運用に大きく貢献する。

クリーンシステム技術の現状と展望

横幕　博行　　澤田　朋之
富士時報　Vol.78 No.6 p.457–461（2005）

半導体・液晶・医薬品分野の生産工場における歩留り向上，品質確保のために導入されているクリーンルームは，環境対策，イニシャルコスト低減への要求が著しいことに加え，液晶分野では大規模化，半導体分野ではミニエンバイロメント化，医薬分野では薬事法の改正によるバリデーションの強化というように業種別の特徴が顕著になってきている。ここでは業種別の現状と課題，および富士電機のクリーンルーム関連への取組みと今後の展望について述べる。

最新鋭液晶パネル工場向けクリーンルームシステム

高松　武史　　松木　幹夫　　奥田　耕士
富士時報　Vol.78 No.6 p.462–466（2005）

液晶テレビの普及と大型化に伴い，その基幹部品である表示用ガラス基板も大型化の一途をたどっている。そのため，工場の規模・建屋の高さも拡大傾向で，基板の生産空間を清浄化するファンフィルタユニット（FFU）の大型化，吹出し風速の高速化などのニーズが高まっている。本稿では，液晶パネル工場向けクリーンルームの設備構成の技術変遷を紹介し，最新の大規模工場への技術対応やその生産環境を遠隔で監視・制御する統合型システムの動向と開発したシステムの構成，諸機能について述べる。

海外の大型液晶パネル工場向けクリーンルームシステム

峰岸 裕一郎　　藤瀬　成己　　川又　修三
富士時報　Vol.78 No.6 p.467–470（2005）

世界中でディジタル放送の普及が進んでいることもあり，液晶テレビの生産増加およびテレビ画面の大型化が活発化しつつある。製造コストを低減するためにガラス基板の大型化が図られているが，これに伴い，製造装置とそれに付随する各設備も大型化するため，必然的に大空間のクリーンルーム工場が必要となり，国内外で大型クリーンルームの建設が盛んに進められている。本稿では，台湾での TFT-LCD 工場の実績と現在建設中である第 6 世代基板サイズの工場建設の概要や富士電機の取組みについて紹介する。

医薬品製造ライン用クリーンシステム

松埜 周一郎　　矢嶋　良一
富士時報　Vol.78 No.6 p.471–473（2005）

医薬品の製造環境におけるクリーンルーム（BCR）は，医薬品の品質を確保するため，交差汚染，異物・微生物等混入，作業者に対する保護などを考慮した気流方向・室圧などを検討し，清浄度，無菌性，温湿度条件を含めた適切な製造環境を構成することが求められる。本稿では，医薬品業界向けクリーンルーム機器の中でも特色ある高温乾燥クリーンベンチ，鉛遮へいクリーンベンチについて紹介する。

クリーンルーム用機器の新製品

日下　豊　　岩田　英之　　岡垣　義隆
富士時報　Vol.78 No.6 p.474–478（2005）

クリーンルームは高清浄度化に伴ってエネルギー消費が増大するため，省エネルギーへの取組みが強化されている。また，歩留り向上，作業効率向上に向けたさまざまな工夫が現場に導入されている。半導体 LCD 工程の高集積化・高精密化に伴いケミカルガス対策が歩留り向上に重要である。本稿では，最近のクリーンルーム用機器の新製品の中から，ケミカル汚染対策機器，手袋装着装置，高風速エアシャワーについて紹介する。

クリーンルーム環境を定量化する環境センサと環境監視システム

中村　貴之　　平本　伸一　　小泉　和裕
富士時報　Vol.78 No.6 p.479–483（2005）

半導体製造分野における微細化・高集積化，液晶製造分野における高精細化・大型化，医薬品製造分野の GMP，食品製造分野の HACCP などに従った品質管理の浸透に伴い，クリーンルームの製造環境管理ニーズが拡大している。なかでも清浄度管理は製品の品質向上，歩留り向上においてきわめて重要な管理項目である。本稿では，クリーンルームを常時監視し，パーティクルほかの環境データをトレンド表示で可視化可能にしたクリーンルーム環境センサおよびクリーンルーム環境監視システムを製品化したので紹介する。

Predictive Maintenance Technology for Electric Equipment Maintenance

Kazuo Nishiyama Kenzou Ichiishi Souji Fukushima

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.451–455 (2005)

Various types of electric equipment are used in the power generation and industrial fields, and after equipment has been delivered, maintenance management that is stable and low-cost over the long-term is needed. In response to this need, Fuji Electric has worked to develop predictive maintenance technology and support tools, and to strengthen a 24-hour-per-day 365-day-per-year service infrastructure. This paper describes Fuji's efforts in this regard, including the use of a "high-precision system for predicting the remaining life in an oil transformer" utilizing a "structured neural network and ensemble method" to reduce the 15 years of precision margin for the conventional method to 3 years, and to contribute greatly to optimal operation throughout the lifecycle.

Application of ESCO and Energy-saving Technology

Eiji Fukuda Takeshi Uemura Susumu Sato

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.446–450 (2005)

As an energy savings measure, ESCO (energy service company) businesses are attracting attention because of their ability to ensure a planned reduction in energy consumption and/or CO_2 emission. To realize a healthy ESCO business, high-level energy savings techniques are essential and a database suited for the energy-saving ESCO business must be created. This paper describes an actual ESCO business and presents techniques for establishing a database that supports this ESCO business and examples of systems.

Clean Room Systems for Advanced LCD Factories

Takeshi Takamatsu Mikio Matsuki Kouji Okuda

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.462–466 (2005)

Accompanying the popularization and trend toward larger-sized LCD televisions, the glass substrate, which is a key component for displays, has also trending to larger sizes. Consequently, factories are being expanded and taller buildings are being built, and there is an increasing need for larger-sized fine filter units (FFU) and faster air velocity to clean the substrate production space. This paper describes the technical changes that have occurred in clean room equipment for LCD panel factories, and also describes technology for the latest large-scale factories, trends in integrated systems that remotely monitor and control the production environment at those latest factories, and the configuration and various functions of developed systems.

Present Status and Future Outlook for Clean System Technology

Hiroyuki Yokomaku Tomoyuki Sawada

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.457–461 (2005)

In addition to strong demand for the adoption of environmental protection measures and lower initial cost, the clean rooms installed to improve yields and to guarantee quality at production plants in the semiconductor, LCD and medical product fields have become more varied due to the trend toward larger sizes in the LCD field, the trend toward mini-environment technology in the semiconductor field, and compliance with revisions to the Japanese Pharmaceutical Law in the medical field. Consequently, the distinguishing characteristics of clean rooms for each industry have become more conspicuous. This paper discusses the current status and challenges facing each industry, Fuji Electric's efforts concerning clean room technology, and the outlook for the future.

Clean Systems for Medical Production Lines

Syuuichirou Matsuno Ryouichi Yajima

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.471–473 (2005)

A clean room (BCR) in an environment for the production of medical products is required to provide a suitable production environment that satisfies cleanliness, sterility, temperature and humidity conditions in consideration of the direction of airflow, room air pressure and the like to protect against cross-contamination, contamination from impurities, microorganisms and workers in order to ensure the quality of the medical products. This paper describes a hot and dry clean bench, lead-shielded clean bench, which are distinctive clean room equipment for the medical production industry.

Clean Room Systems for Overseas Large-screen LCD Panel Factories

Yuichirou Minegishi Narumi Fujise Syuzou Kawamata

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.467–470 (2005)

With the increasing popularity of digital television throughout the world, the production of LCD televisions is ramping up and television screen sizes are becoming larger and larger. In order to reduce the cost of manufacturing, glass substrates are being made larger, but because the manufacturing equipment and ancillary facilities also become bigger, larger clean room facilities inevitably become necessary, and the construction of large clean rooms is actively being promoted both in Japan and overseas. This paper presents the results of a TFT-LCD plant in Taiwan, an overview of a 6 th generation substrate size plant currently under construction, and Fuji Electric's efforts in this field.

Quantified Systems and Sensors for a Clean Room Environment

Takayuki Nakamura Shinichi Hiramoto Kazuhiro Koizumi

Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.479–483 (2005)

With the increasingly expanding scope of quality control associated with the trends toward finer line widths and higher integration in the semiconductor manufacturing field, getting higher resolution and larger size in the LCD manufacturing fields and GMP in the medical product manufacturing fields, and HACCP in the food production field, and so on, there is a growing need for clean room manufacturing environment control, and amongst which, cleanliness control is extremely important for improving product quality and yield. This paper describes a clean room environment sensor and monitoring system that have been put on the market and are capable of continuously monitoring a clean room and visually displaying environmental data trends such as particle counts.

New Products for the Clean Room

Yutaka Hishita Hideyuki Iwata Yoshitaka Okagaki

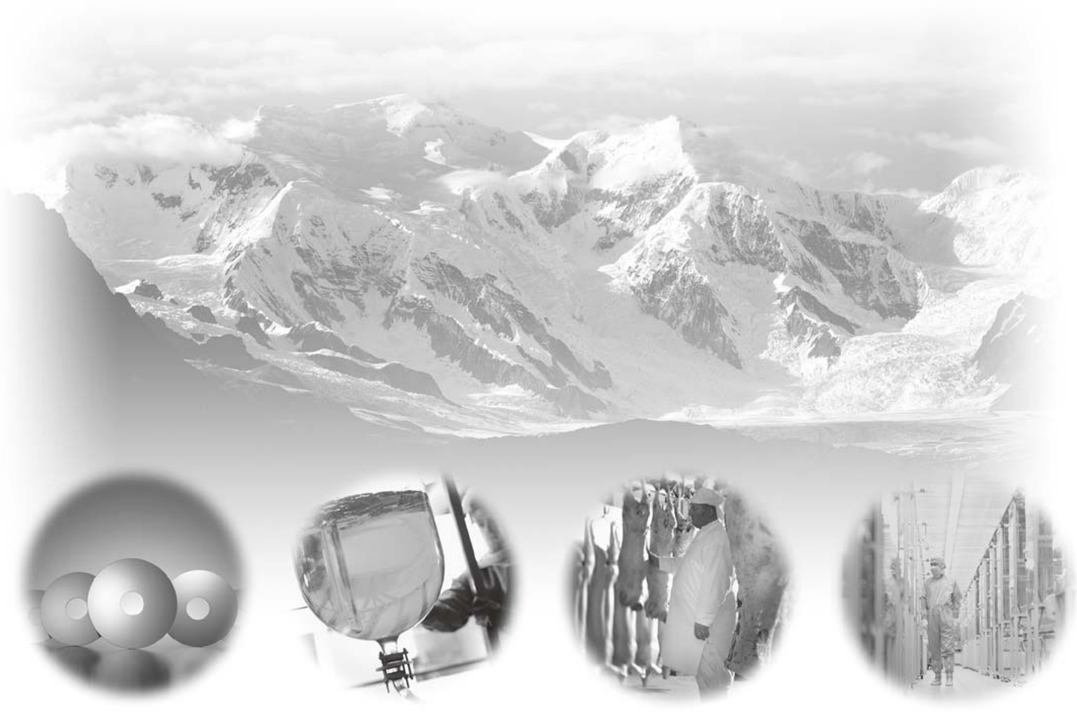
Fuji Electric Journal Vol.78 No.6 p.474–478 (2005)

As clean rooms achieve higher levels of cleanliness, greater amounts of energy are consumed, and consequently companies are stepping up their efforts to reduce energy consumption. Various innovations are also introduced onsite to boost yields and to increase work efficiency. As semiconductor LCDs become more highly integrated and denser, measures against chemical gas are also important to increase the yield. This paper introduces equipment used to prevent chemical contamination, a glove fitter, and a high-velocity air shower as examples of recent clean room equipment.

e-Front runners

電子・精密・薬品などの分野に
欠かせない超清浄空間。
トータルシステムで実現します。

半導体・電子部品においては超精密度が,また医薬品・食品分野においても高品質が要求されています。
これらに対応するため,クリーンルームはいまや必要不可欠なものとなっています。
富士電機は,クリーンルームをトータルシステムとしてとらえ,豊富なノウハウの下に高い信頼性を実現しています。
超清浄・無塵・無菌・無ガス(ケミカルフリー)をテーマに取り組む,クリーンシステムのフロントランナー,富士電機です。



富士電機のクリーンシステム

お問合せ先：富士電機システムズ株式会社 産業・交通システム本部 クリーンシステム統括部 電話(042)585-6163

昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 17 年 11 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 78 巻　第 6 号（通巻第 835 号）

e-Front runners

本紙は再生紙を使用しています。

雑誌コード 07797-11　　定価 735 円（本体 700 円）