昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成15年9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76巻　第9号（通巻第822号）　ISSN 0367-3332

e-Front runners

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

9
Sept. 2003
Vol. 76 No. 9

特集1　新時代の情報・計測制御システム
特集2　水力発電

FUJI ELECTRIC 富士電機

富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

9
Sept. 2003
Vol. 76 No. 9

特集1 新時代の情報・計測制御システム
特集2 水力発電

目 次

特集1 新時代の情報・計測制御システム

計測制御の新たな展開 507（1）
香川 利春

情報・計測制御システムの現状と展望 508（2）
松浦 由武 ・ 黒江 潤一 ・ 湯原 忠徳

食品分野における情報制御システム 513（7）
菅沼 利昭 ・ 津田 宗 ・ 東谷 直紀

Webによる配送計画システムの開発とASPへの適用 520（14）
福島 康博 ・ 佐藤 宏文 ・ 村上 賢哉

空港の環境保全と港湾の保安対策における新展開 524（18）
井上 芳範 ・ 紺野 章子

ハイブリッド制御システム「Jupiter」 527（21）
吉野 稔 ・ 石野 浩二 ・ 西脇 敏之

火力発電所のボイラ制御システム 532（26）
稲村 康男

LNG受入基地の計測制御システム 536（30）
中山 敬一 ・ 三井 章人 ・ 小林 益之

生産計画に影響を与えない「MICREX-PII」更新手法 541（35）
佐藤 宏和 ・ 坂本 英輝

温度調節計「PXRシリーズ」 545（39）
萩岡 信和

シングルビーム式プロセス用4成分赤外線ガス分析計とその用途 549（43）
中村 裕介 ・ 赤尾 幸造

下水道用光式水位計と光計装システムの拡充 553（47）
伊藤 悦郎

特集2 水力発電

Environmentally Acceptable Hydro-Power Generation 557（51）
――地球環境にやさしい水力発電――
古川 明徳

東北電力(株)第二上野尻発電所納入立軸バルブ水車・発電機 558（52）
高橋 正宏

中国・泰安揚水発電所向け揚水発電機器 563（57）
戸崎 尚 ・ 衛藤 浩史 ・ 小林 秀樹

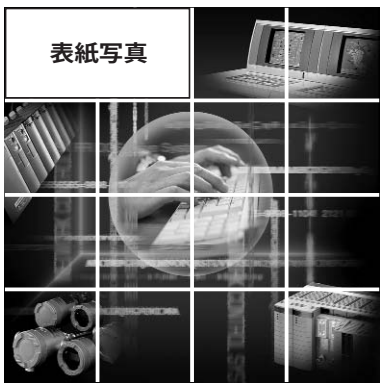
フランシス水車ランナの更新技術 568（62）
塚本 直史 ・ 稲垣 正洋

ハイブリッドサーボシステム 572（66）
早馬 弘 ・ 大隈 謙二 ・ 磯野与志雄

広帯域マイクロチューブラ水車の開発 577（71）
塚本 直史 ・ 井筒 研吾

これからの小水力発電 581（75）
板倉 正和 ・ 佐藤 雅之 ・ 大和 昌一

表紙写真



厳しい経営環境の中で製造業が生き残っていくためには，市場の変化に柔軟かつ迅速に対応していくことができる生産の仕組みが求められている。そのためには経営管理層から生産現場までの垂直統合システム，および意思決定に必要な情報を集約するための水平統合システムが必要となる。

富士電機はこれに応えて，企業情報システムや生産情報システムなどのソリューションパッケージの提供，制御システムのオープン化，フィールド機器のインテリジェント化などによりトータルな対応を進めている。

表紙写真は情報システムやエンジニアリングツールを象徴するキーボード操作，計測制御システム，PLCベースハイブリッドコントローラ，光フィールドバス対応計測機器，さらにオープン化対応PIOにより，垂直・水平統合システムをイメージ的に表現している。

お知らせ

『富士時報』は誌面の充実を目指し，本号（Vol.76 No.9）以降，隔月（奇数月）発行に変わります。また，はなはだ勝手ながらVol.76 No.9から定価を735円（本体価格700円＋税）に改定させていただきます。

計測制御の新たな展開

香川　利春（かがわ　としはる）
東京工業大学精密工学研究所高機能化システム部門教授
工学博士

計測無くして制御なしと言われるが，今日において，計測制御は我々の日常生活に欠くべからざる存在となっている。学問領域の分類で見れば，基礎的な数学理論と，多くの物理現象の情報変換，すなわちセンサテクノロジーからなるため，極めて横断型の技術と言える。産業界では既にFMS や FA として計測制御が用いられ，また研究分野では LA として，昨今では HA として防犯技術を含めるような新たな展開となっている。

今日，環境とエネルギー問題が大きく取り上げられている。1997 年の京都会議でいわゆる省エネ法が採択され，省エネの目標値が設定された。しかし，なかなか実績が上がらないため，2003 年 4 月の税制調査会においては，2006 年を目標に，二酸化炭素排出量に対しての課税を実施すると発表している。

これらの技術的ハードルに対して，計測制御の果たすべき役割は重要である。エネルギー機器として，開発技術の中心となっている燃料電池が代表例である。脱硫装置のための水素製造プラントに関わったことがかなり昔にあるが，現在開発中の家庭用燃料電池では，供給される燃料，例えば都市ガスを原料として，純度の高い水素を作り出す必要がある。これを改質装置と呼ぶが，数百分の 1 の大きさで，かつまた，純度が要求され，一酸化炭素の含有もかなり厳しい数値となる。改質反応はかなりデリケートな側面もあるため，計測制御には高度にその機能が要求される。フィードバック，フィードフォワード制御が適切に構成される必要がある。しかし制御のためにはまず適切な計測が重要であり，各種ガス流量，圧力，温度などの状態量のセンサが求められる。特に過渡的変化に追従するシステムが必要とされるため，動特性の検討が重要となる。またシミュレーション技術も十分に活用する必要がある。

車両用の燃料電池では水素がスタンドで供給される。この設備が技術的にローテクノロジーと見なされているが，実は大変重要である。燃料電池車では水素を高圧タンクで格納する必要があり，現在では 20 MPa が採用されている。しかし航続距離が伸びないため，100 MPa を求める声もあり，これは大変な圧力である。水素は分子が他のガスに比較し，小さいため，シールも大変である。

計測制御装置の変遷を省みれば，原理的な部分は，一部を除き，それほど大きな変化は無いといえる。しかしながら，パネル計装から始まった制御システムの形態は大きな変化をしてきた。最も大きな変化の要因はマイクロプロセッサ技術である。大きな制御装置を使わずとも，PC で十分，システム構築が可能となっている。

制御のルーツを考えると，制御偏差に対して，微積分を行い，出力するいわゆる古典制御がスタートである。自然界にも巧妙な制御系が組まれていて，目を見張ることがある。PID 制御のパラメータを如何に決めるかが，黎明期すなわち約 40 年前から議論されてきた。現代制御理論が提案され，既に 30 数年経っているものの，現実の制御系の 98 %は PID の調整で事足りるとの話も出されている。しかし，H ∞制御理論も出され，これらの制御理論に向いている応用例も出てくると考えられる。実際のプラントではその制御対象のモデルが不明もしくは計測しにくい場合も多く，パラメータを如何に短時間に正確に計測するかがキーポイントとなる。

環境と省エネがさらに重きをおかれる時代になり，計測制御技術が重要性を増すと考えられる。国際化の波も急激で，対応を誤ることは許されない。現実に即したセンサ技術の開発とシステム設計がキーポイントと考える。

情報・計測制御システムの現状と展望

特集1

松浦　由武（まつうら　よしたけ）　黒江　潤一（くろえ　じゅんいち）　湯原　忠徳（ゆはら　ただのり）

1　まえがき

厳しい経営環境が続く中で，製造業は低成長時代でも生き残れる体質改善を余儀なくされている。近年重視されていることは顧客志向の経営であり，顧客が望むものを望むタイミングで届けるための仕組みが必要となる。しかし，現在は投資額が抑えられ，少しでも無駄をなくしコストを削減しなければならない。

一方，グローバル化の波は，日本の製造業の海外進出を促し，近年では北米，欧州から，アジア，とりわけ中国へと拡大している。現地での部品調達先の発掘，生産拠点の構築，販売網の立上げが急速に進行している。しかし，日本国内同様，シェア獲得の戦いは熾烈（しれつ）を極め，いかに短期間でニーズに合った製品を開発し，量産できる体制を作れるかが勝ち残りの条件となっている。

このような状況のもとで，製造業は実行系である生産システムの統廃合，効率化，安定化，品質向上などプロセスオートメーション技術と，計画・管理系である情報システムの調達・生産・物流・販売の最適化を図るため，IT（情報技術）を活用した工場全体の統合に取り組んでいる。

本稿では，このような時代における情報・計測制御システムの現状を踏まえ，**図1**に示す経営層から生産現場までの垂直統合，ならびに意志決定に必要な情報を集約するための水平統合を実現する富士電機の取組みについて述べる。[(1), (2)]

2　生産現場の情報システム

グローバル時代における生産システムの大きな課題として，以下があげられる。

(1)　設計の標準化
(2)　生産設備の汎用化
(3)　設備設計期間の短縮
(4)　需給調整における工場間の生産量バランス

これらは後述するMES（Manufacturing Execution System）の領域の課題といってもよい。机上では，日本国内で競争力のある工場と同じ環境を海外拠点で作ればよいのだが，仮に，同じ設備を導入し，同じデータを与えたとしても，装置の個体差や微妙な設定条件，操作員の熟練度などの違いから，実際にできあがる製品の精度や仕上りに差が出るのである。

一部の大手家電メーカーでは，高付加価値製品や，低コスト製品を，あえてコストの高い日本の工場で生産する例もある。これは国内工場の潜在能力の高さと，作業者の技術習熟が，市場における競争力となることを示している。

2.1　製造実行管理システム（MES）

MESは生産の現場で，計測制御システムと直接連携する情報システムである。MESは，1990年にBruce Richardsonによって提唱され，1992年にはMESAインターナショナル（MES Association International）が以下のとおり定義している。[(3)]

「MESは受注から製品の完成までの生産活動を最適化するために必要な情報を伝えるもので，現時点の正確なデータによって工場の活動をリアルタイムで制御し，報告する。結果として企業は付加価値を生み出さない活動をなくすことに集中でき，状況の変化に素早く対応できるようになるため，在庫圧縮と納期遵守の両立が図れ，工場の業務や生産工程を効率的に運用できる。これにより，設備投資の回収，棚卸資産回収率，現金収支を改善することができる。MESは双方向に情報を伝達することで，企業の内部とサプライチェーン全般にわたって，生産活動に欠かせない情報を供給する。」（MESA International White Paper）

つまり，MESは，ERP（Enterprise Resource Planning）のような基幹業務システムと計測制御システムの中間にあり，生産現場のシステム，業務，リソース（人や設備）を最適化する役割を果たすのである。

MESは，工程管理，仕掛管理，進捗（しんちょく）管理，実績管理，生産設備管理，品質管理などの機能を持っている。SFC（Shop Floor Control）やPOP（Point of Production：生産時点情報管理）などが基本的な機能である。

松浦　由武

情報システム分野におけるソリューション事業全般の企画開発業務に従事。現在，電機システムカンパニー情報システム事業部長。

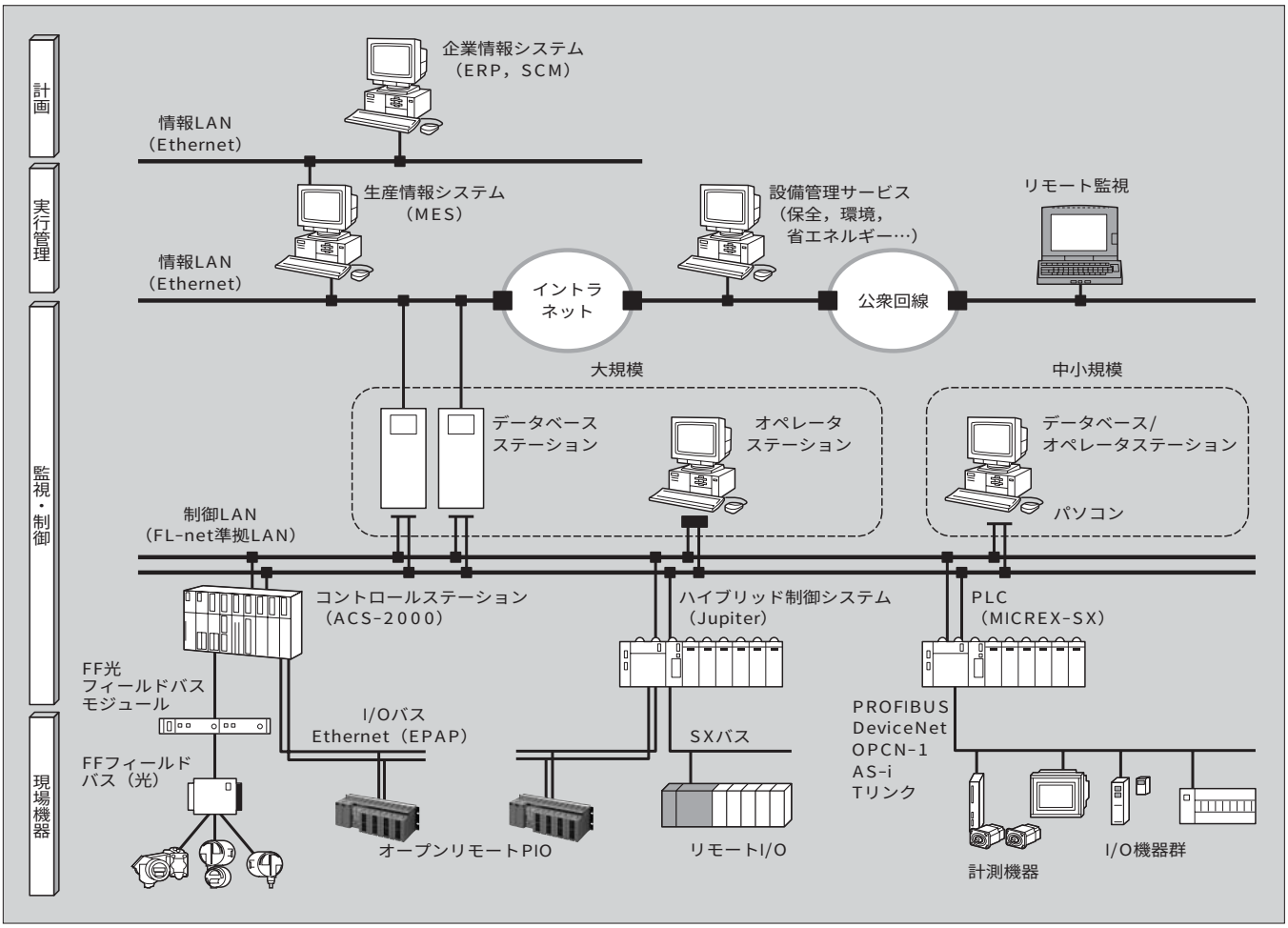
黒江　潤一

計測制御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)エンジニアリング本部計測システム統括部長。

湯原　忠徳

計測機器の開発，設計に従事。現在，富士電機インスツルメンツ(株)技術本部長。

図１　情報制御統合システム構成



MES は上位系である基幹業務システムが立てた１か月，１週間単位のマクロな生産計画を，小日程生産計画に落とし込み，レシピ，作業指示，NC（Numerical Control）装置用の加工プログラムなど，実際の生産管理，品質管理に必要な情報を現場の作業者や制御システムに流す。また，生産設備や付帯装置の保守管理に関する情報も併せて現場に伝え，予防保全の支援も行う。

一方で，MES の下位にある CNC（Computer Numerical Control）や PLC（Programmable Logic Controller）などの自動化装置や，それらを監視制御する DCS（Distributed Control System）や SCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）などから各工程の進捗状況やバッチ記録など，現場の状況を表すデータをリアルタイムに吸い上げ，基幹業務システムにフィードバックする。

このように生産現場の日々の運用を支える情報システムである MES も，今日では積極的な工程改善や，その改善効果の解析など，プロセスコストやプロセスリードタイムといった経営判断に直接かかわるデータを収集するシステムとして活用され始めている。また，経営環境の変化に短期間で対応するため，生産体制を再構築するうえで不可欠なシステムとして着目されている。

2.2　生産情報システムの取組み

前述の課題を解決するためには，生産技術情報や生産管理情報を国内工場で細部にわたって蓄積し，オペレーターの知識，ノウハウも再利用可能な形で蓄積する必要がある。

つまり，他の拠点に展開することを前提とした「モデル工場」を構築することである。ここでの情報システムの役割は，MES を活用し，「いかに生産の現状を把握できるか」と，業務プロセスや知識・ノウハウをこれにひも付け，開発・設計工程にフィードバックすることで，最終的に，「市場ニーズにどれだけ素早く対応できるか」である。

また，製品自体をモジュール化する取組みも盛んに行われている。「モジュール化」とは，「それぞれ独立に設計可能で，かつ，全体として統一的に機能するより小さなサブシステムによって複雑な製品や業務プロセスを構築すること」と定義される[4]。具体的には，複雑でランダムな工程が管理可能になり，結果，以下のような利点が得られる。

(1)　並行作業が調節可能になる。

(2)　下位システムの「不確実性」に強い。

しかし，同時に従来の生産管理方式を大幅に変更することになる。ここで MES に求められる新たな機能は，フレキシブルに，しかも短期間で業務プロセスを変更すること

が可能なエンジニアリングの仕組みを持つことである。

富士電機ではこれらの課題，動向を踏まえて，食品飲料製造業向け（DCSによるプロセス計測制御システムと連携）ならびに自動車部品加工組立業向け（PLCによるディスクリート制御と連携）を主体としたMESソリューションを提供している。

また，製品企画・設計から生産開始までにおけるさまざまな活動を総合的に支援する情報システム環境「デジタルファクトリーソリューション」を提供している。[5]

3　進化する計測制御システム

オフィスから生産現場までのシームレスな垂直統合を目指し，計画系と実行系を融合して生産システムを最適化していくためには，生産システムの中核である計測制御システムはオープン化，ネットワーク化によりフィールドから基幹情報システムまでの垂直統合およびフィールド全体を含む水平統合が求められている。

3.1　プラント監視制御システムの進化と継承

1990年前後に多数納入されたDCSを含めた生産システムの効率的な再構築のために，富士電機は数年前から「進化と継承」をコンセプトにしたオープン統合化分散制御システム「MICREX-AX」を提供している。すなわち，進化とはSCM（Supply Chain Management），ERP，MESとのIT統合化であり，継承とは既存システムの延命化による部分更新に伴う新旧混在システムの実現である。

経営層から現場までの垂直統合を実現するため，MICREX-AXでは次のような点が強化されている。

(1)　上位システム連携

スケジューリング，運転管理，品質管理システムなど，MESとの機能連携を行うための上位インタフェース（Ethernet〈注〉）を持つ。

(2)　オープン化

DCSのオープンプラットフォームへの移行がこの10年ほどの傾向であるが，昨今の経営層から現場までの垂直統合のニーズ，現場のサブシステム間のデータ連携（水平統合）のニーズの高まりの中で，「オープン化」の意義はより高いものとなってきた。

垂直統合システムの中でDCSは現場のデータを集約して上位に渡す役割を担っている。特に最近は分野によってトレーサビリティが重要視されており，現場のデータを確実に管理する意味から，現場のさまざまな機器との連携が必要となる。このため，LANとして長年実績のある専用データウェイ（DPCS-F）とオープンなEthernetベースのFL-net準拠LAN（UDP/IP）の両方（混在可）を用意している。さらにはFL-net準拠LANに情報系（TCP/IP）の重畳を可能とした制御系ネットワークと情報系ネットワークとの融合を実現している。

〈注〉Ethernet：米国Xerox Corp.の登録商標

コントローラとしてDCS専用コントローラのみならず，PLCをベースにしたハイブリッド制御システム（「Jupiter」）をラインアップに加えた。これによりフィールドネットワークが広がり，ファクトリーオートメーション（ディスクリート制御）との水平統合が容易に実現できる。一方，PLCベースコントローラは汎用PLCから完全二重化対応と用途に応じて使い分けができる。また，FL-net準拠LANも必要に応じて二重化が可能である。汎用機器を適用しながらも，システムの信頼性は確保できるようにしている。

また，Web対応により，イントラネット，インターネットを介して，通常（事務用）のパソコンを監視端末として利用することも可能となった。

(3)　市場環境の変化に柔軟に対応できるシステム

新製品の投入，生産設備の変更に迅速に対応できるよう以下の点を考慮している。

(a)　汎用機器を使ったシステム

汎用機器を使用することにより，以下のメリットを持ち，システムの増設・変更が行いやすい。

○低コスト

○汎用ネットワークのため，新しい装置や機器との接続が容易

○HCIは汎用のパソコンをベースとしているため，設置場所を選ばず，増設が容易で必要な部門に配置可能

(b)　エンジニアリング革命ツール

計測制御システムにおけるエンジニアリングおよびソフトウェアの製作・試験業務の課題を同時に解決するコンセプトとして，エンジニアリング革命ツール「HEART シリーズ」を開発し，多くのユーザーに好評をいただいている。すなわち，制御仕様書からDCSやPLCの制御ソフトウェアを自動生成することができるため，エンジニアリング期間を大幅に短縮できるとともに，アプリケーションソフトウェアの信頼性が向上する。

HEARTシリーズは制御仕様書として，SCF（Sequential Function Chart），タイムチャート，FB（Function Block）図，条件テーブル，計装フロー図，IBD（Interlock Block Diagram）などを汎用OAソフトウェアにより図表で作成し，コントローラで動作する制御ソフトウェアを自動生成させるものである。国際規格IEC61131-3に準拠したSFC，FB図を採用し，制御プログラミング言語のオープン化を図っている。

3.2　プラントアドバンスト制御システム

富士電機ではアドバンスト制御技術の産業応用に早くから取り組み，多くの実用的な成果をあげてきた。

ファジィ技術では，応用開発を1980年に開始し，1985年に世界に先駆けて汎用ファジィコントローラ「FRUITAX」を商品化した。その適用範囲は水処理，化学，セメント，鉄鋼，土木，クレーンなどのプラントから温度調節計，自動販売機，オープンショーケースなど幅広い範囲にわたり，制御性の向上，自動化範囲の拡大，製品

品質の向上などを実現し，多くの実用化ノウハウを蓄積してきた。

ニューロ技術においては，電力などの需要予測，ダムや下水の流入量予測，ごみ焼却炉の予測制御，工場エネルギー設備の運用支援などへの適用を進めてきた。

制御理論においてはプロセス制御分野を中心に，最適レギュレータやモデル予測制御，H∞制御，簡易適応制御などの適用を図ってきた。応用例として，例えば，水道分野では需要予測と数理計画手法を核技術とした水運用制御や配水制御を数多くの事業体に納入している。

プラント制御分野での設備投資需要の低迷と低コスト要求により，これらの技術の積極的な適用は手控えられている感があるが，今後，省エネルギーや環境負荷の軽減など社会的にも大きな貢献が期待できるので，富士電機では継続的な技術開発に取り組んでいる。

3.3　光フィールドバス（FF，New-FFI）

フィールドネットワークの先駆けであり，しかも計測制御のフィールドに光の特徴を生かした世界初の光ファイバ式フィールド計装システム「FFI」を 1985 年に発表以来，製油所，石油備蓄基地，LPG（Liquefied Petroleum Gas）備蓄基地，空港給油設備など数多くの重要設備に納入してきた。

さらには国際標準 FF（Field Foundation）対応の光フィールドバスシステム「FFX」を 1999 年に製品発表し，光フィールドバス技術の発展に貢献している。

フィールドバスに代表されるインテリジェントな計測機器を導入することにより，システム変更の柔軟性という観点から次のような効果が得られる。

(1)　信号ケーブルの省線化により，ケーブル布設工事が簡素化される。

(2)　設定変更がオペレータステーションの画面上からリモートで行えるため，変更にかかる工数を抑えることができる。

4　計測機器の動向と展望

計測は，そのデータを基にあるべき状態に制御する，あるいはそのデータを加工し，価値ある情報として提供する「制御」「情報」の源であり，生産性の向上，品質の向上，予防保全などの面で重要な役目を担っている。

4.1　素材産業・公共分野

海外への生産シフトが急増している素材産業，あるいは公共分野における設備投資需要は，当面大きな回復が期待できないが，一方でグローバル化が加速している昨今，海外市場が素材産業を中心に拡大してきている。この市場では既存設備の部分更新とともに，IT の導入により，生産現場が情報ネットワークと結合され，より高度なマネジメントが展開されつつある。このことは，計測機器にも，多様なフィールドバスへの対応とフィールド情報端末としてのインテリジェント化が求められることとなる。

富士電機グループでは，独自の光フィールドバスシステム（FFI）として展開してきた機器のリニューアル化を完成させた。上位システム（制御 LAN）とのインタフェースに Ethernet を採用し，新規システムとの融合性を高めるとともに，耐ノイズ性，耐雷性，本質安全性などの特徴が十分生かされる分野での更新需要にも対応できる。

電源分散の代名詞でもある電池駆動式フィールド機器では，電池の長寿命化（電池寿命：2 年→4 ～ 10 年）を達成し，メンテナンス性を向上させた。また，各自治体が情報インフラストラクチャーとして下水道中に布設している光ファイバを利用した光水位計システムを開発し，災害検知用のセンサとしての適用も進めている。

4.2　環境・省エネルギー分野

地球温暖化に対する関心が高まるにつれ，グローバルな規模での環境対策が求められ，環境負荷の小さい代替エネルギー，省エネルギーについての技術開発が加速されている。また，大気環境，水環境，土壌環境の維持・改善に向けて，廃棄物，排出物についてのさまざまな規制が実施されつつある。このような社会的な動きが計測機器にも新たなニーズを喚起してきており，今後の市場拡大が期待されている。

富士電機グループでは，環境分野向けとして，廃棄物焼却炉のダイオキシン類排出規制用の多成分ガス分析計，自動車排出ガス測定用分析計，上水用の油膜センサ，毒物検知センサなどを市場に投入してきた。

今後も，赤外線センサ，バイオセンサ，光散乱応用センサなどの技術をベースに法規制などに対応し，タイムリーに商品化をしていく。また，当然のことながら，広域監視が進行していくものと考えられ，システム化によるポイントからエリアへの展開を図っていく。

新エネルギー，代替エネルギー分野においても，天然ガス，バイオマス，燃料電池向けに高感度ガスセンサ，圧力センサ，流量センサなどの適用拡大が考えられ，MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術を取り込み，小型・軽量化を進めていく。

4.3　装置分野

素材産業など大規模プラント・システムの対極にある，比較的小規模な装置・機器へ組み込む計測機器の市場は，半導体関連産業の動向を中心に，景気に連動する要素が強く，現在は低迷しているが，中期的にみれば計測機器の需要増が期待される。

富士電機グループでは，コンタミネーションを嫌う半導体製造プロセス用純水製造装置の流量計測に超音波流量計を提供している。プロセスと非接触で，配管の外側から流量を測定できる超音波流量計のメリットが生かされる応用例である。同様に，流量計とプロセスとの接触を嫌う食品・薬品分野への適用が期待されている。

徐々に市場浸透が始まっているペーパーレス記録計につ

いても，米国食品薬品局（FDA）から電子記録・署名に関する規定（FDA，21CFR PART11）が発行され，医薬品や食品・飲料製造プロセスではそれに対応したソフトウェアの搭載が必要となり，需要の増大が期待できる。

この分野で使用されている調節計に温度調節計があるが，小型化とともに機能向上も顕著であり，ファジィ PID，ランプソーク機能を備えたタイプを富士電機グループでは提供しており，簡易プログラムコントローラとして使用することもできる。今後は PLC と融合させるモジュラータイプや通信機能の強化により，システム化への展開を図っていく。

5　あとがき

情報・計測制御システムの動向と富士電機の取組みについて，その概要を述べた。今後，さらなるお客様満足度向上に向けて，これらを融合した形でのソリューション提供を進めていく所存である。

参考文献

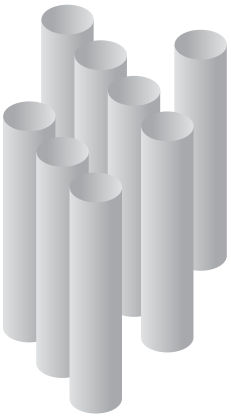
(1)　横田四郎ほか．情報システム事業の展望．富士時報．vol.76, no.5, 2003, p.249-252.

(2)　松浦由武．新製品投入期間を短縮する「デジタルファクトリーソリューション」．富士時報．vol.76, no.7, 2003, p.439-442.

(3)　中村実，正田耕一．MES 入門．工業調査会．2000-4.

(4)　青木昌彦，安藤晴彦．モジュール化．東洋経済新報社．2002-2.

(5)　東谷直紀ほか．デジタルファクトリーソリューション．富士時報．vol.76, no.5, 2003, p.258-265.



食品分野における情報制御システム

菅沼　利昭（すがぬま　としあき）　津田　宗（つだ　たかし）　東谷　直紀（あずまや　なおき）

1　まえがき

食品分野では生産設備の効率化，安定操業，安全な食品製造に対するHACCP（Hazard Analysis Critical Control Point：危害分析・重要管理点）に対応する生産システムが求められている。さらに，調達・生産・物流・販売の全体最適化を図る情報システムとして，製造管理システムMES（Manufacturing Execution System）が重要な機能となってきている（**図1**）。

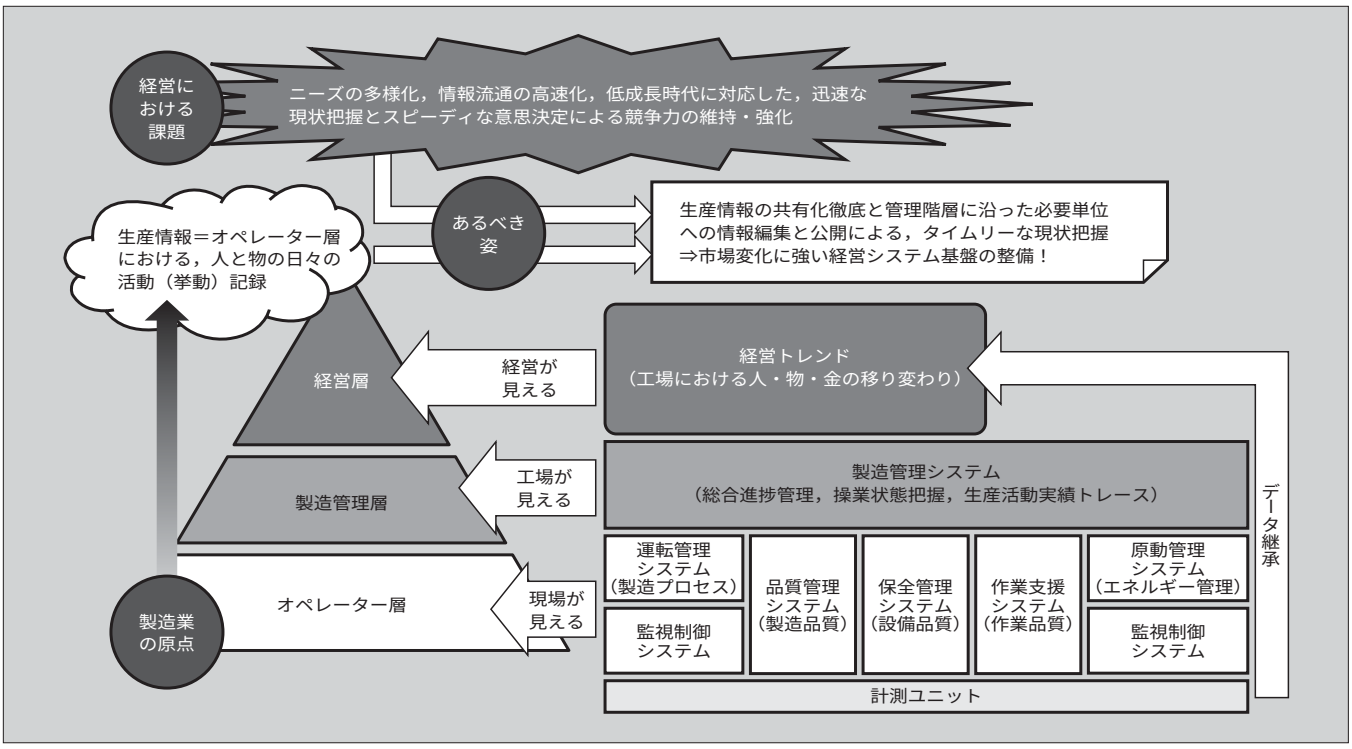
一方，製造現場である工場には以下の課題がある。

○品質保証レベルの向上（安定操業の実現）
○製造技術，ノウハウの共有化・蓄積
○キャッシュフローの改善
○セキュリティの強化
○省エネルギー化の推進

これらの要求に対応するため，生産設備の監視制御システムと製造管理・エネルギー管理などの情報・管理システムを融合した情報制御システムの構築が必要となってきている。

富士電機では，これまでセンサ技術，DCS（Distributed Control System），PLC（Programmable Logic Controller），コンピュータなどをベースに現場での製造活動の効率化，安全・安定操業を実現する情報制御システムを数多く提供してきている（**図2**）。これらで培ってきた各分野のノウハウを基に食品分野向けに，ソリューションとして**図3**に示す体系化を行い提供している。

図1　情報制御システムのコンピュータ



菅沼　利昭

食品，化学，石油プラントなどの計測制御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)エンジニアリング本部計測システム統括部計測技術第一部マネージャー。

津田　宗

民需分野向け情報・制御システムの企画・開発に従事。現在，電機システムカンパニー情報システム事業部中日本ソリューション部長。

東谷　直紀

食品分野の情報システムのエンジニアリングに従事。現在，電機システムカンパニー情報システム事業部中日本ソリューション部主任。

図２　食品分野向け商品メニュー

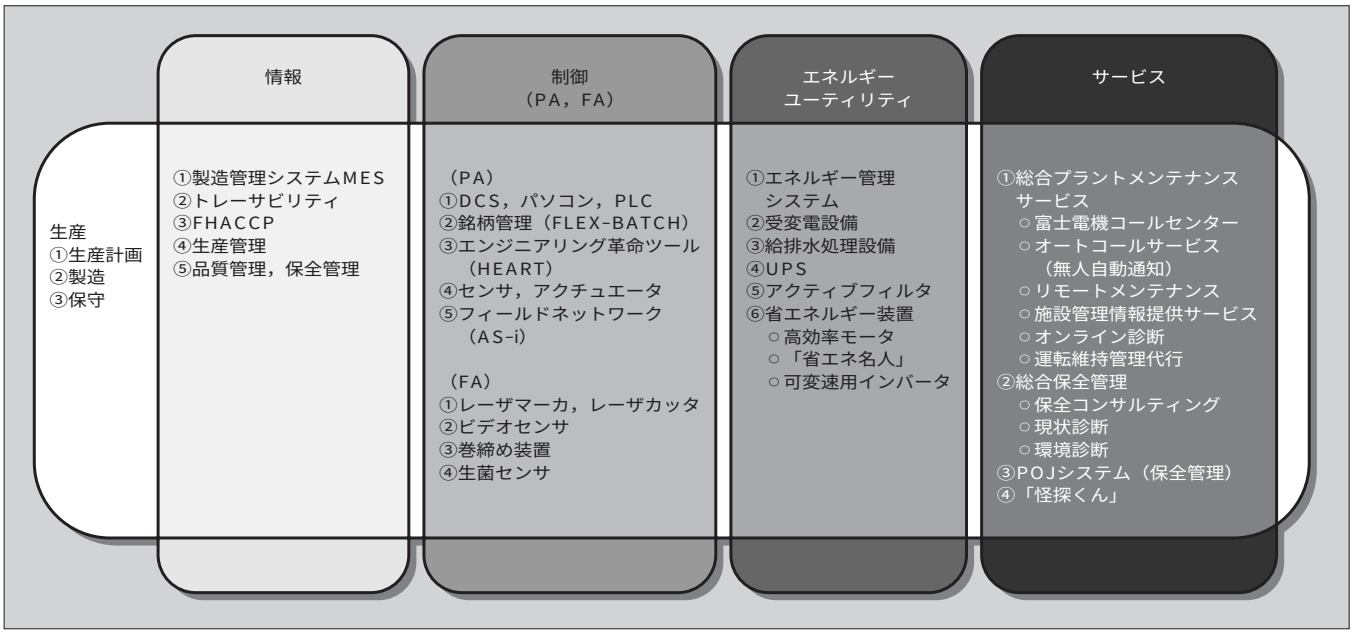
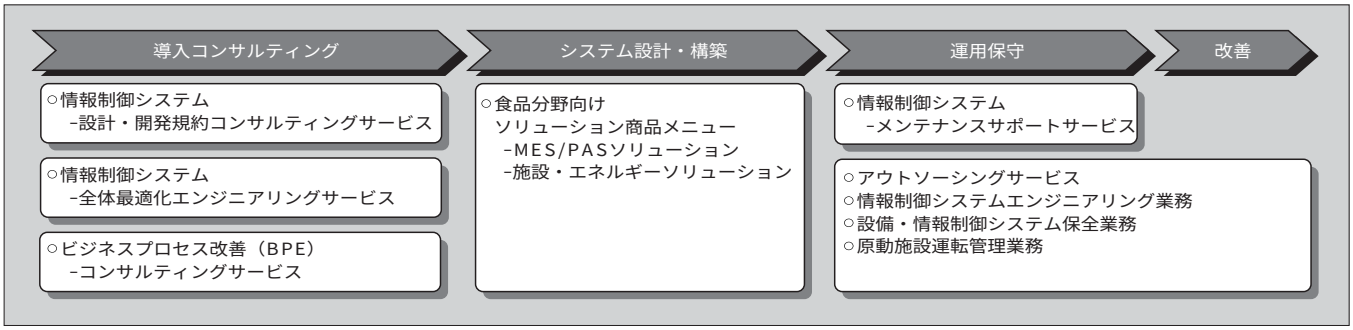


図３　食品分野向けソリューション体系



本稿では富士電機の食品分野向け情報制御システムとして，計測制御，製造管理システムの概要，取組みについて紹介する。

2　システムの特徴

食品分野における情報制御システムの狙いとして，各種規則厳守への対応，製品製造バッチ情報のトラッキング，トレーサビリティ，設備装置割当て，処方管理，品質管理，プロセス管理，エネルギー管理，設備保全，電子履歴記録などに重点を置いている。

このため情報層としての製造管理システムと制御層であるDCSとを密結合させ，計画ID，イベントID（工程の開始，完了）をキーにシームレスなデータ連携を行うことにより，製造工程における精度の高いトレーサビリティの確保を実現している。

また，食品工場では複数ベンダーの設備，システムで構築されているのが一般的であるため，マルチベンダーに対応した，情報層，制御層ともにオープン性を実現している。

(1)　オープン化システム

従来の専用機によるDCSではなく，オープンな素材としての汎用パソコン，PLC，Ethernet〈注1〉，各種フィールドLANを応用した先進性とコストパフォーマンスの高いシステムである。

システムの構成を**図4**に示す。

(2)　フレキシブルな銘柄管理システム

変種変量生産に対応したフレキシブルなスケジューリング機能，銘柄管理機能を実現している。製品切換を短時間で行えるフレキシブルなシステムである。

(3)　開発効率・保守性のよいシステム

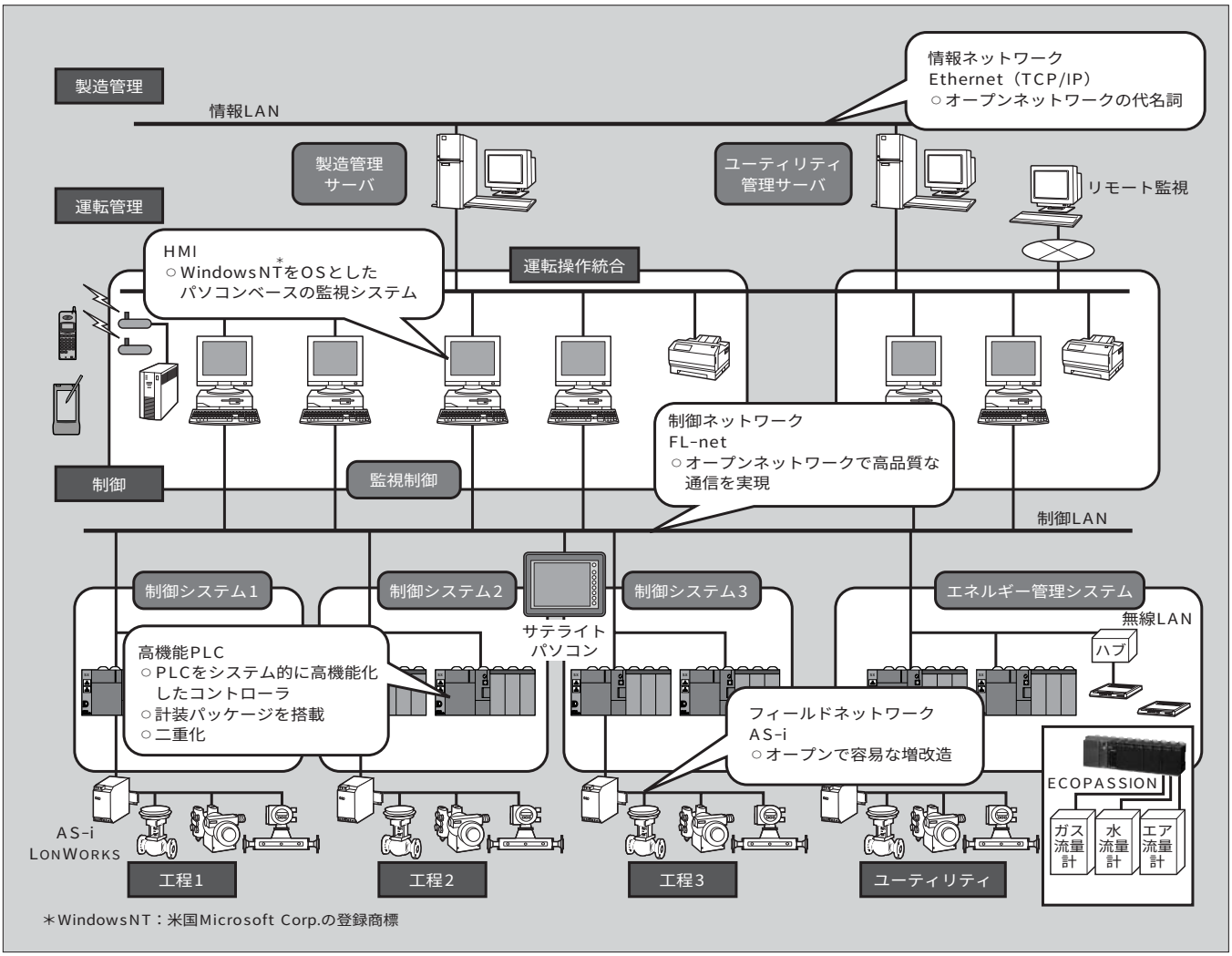
設計・試験効率および保守性を向上させるエンジニアリング革命ツールにより，コンカレントなエンジニアリング作業，ビジュアルな工程進捗（しんちょく）の管理が行え，エンジニアリング効率・保守性向上を実現している。

(4)　製造管理システム

計画，調達，製造，包装，出荷実績などの人，物，情報

〈注1〉Ethernet：米国Xerox Corp.の登録商標

図４　システム構成



の統合データベース（DB）構築による「活動の見える化」の実現および各工程をまたがった進捗実績管理・分析環境による「活動実績のトレーサビリティ確保」を実現している。

3　システムの機能

3.1　計測制御システム

(1)　オープンネットワークの採用

制御 LAN には Ethernet ベースの FL-net〔(社)日本電機工業会規格 JEM1479 FA コントロールネットワーク FL-net（OPCN-2）プロトコル仕様〕を採用している。オープン性と制御向けのリアルタイム性を実現した制御 LAN である。

フィールド LAN として，AS-i（interface）を採用し，検出端，操作端ケーブルの省配線，増設改造の容易性を実現している。

(2)　先進性のあるハードウェア

コントローラは PLC をベースに PA（Process Automation）用の計装パッケージを搭載した高機能 PLC である。FL-net 準拠 LAN，二重化対応が可能であり，高信頼性と PLC の汎用性を両立させながら PA/FA 融合を実現している。

(3)　フレキシブルな銘柄管理機能

バッチ銘柄管理システムは，IEC 規格（IEC61512-1），ISA S88.01 に準拠したバッチプラント向けのパッケージである。変種変量生産の処方作成，ロット・バッチ監視，プラント監視・設備監視，バッチ生産制御，実績データ収集・管理，バッチ帳票の印字などの多彩な機能がある（**図5**）。

特徴を以下に述べる。

(a)　設備の監視・設定機能

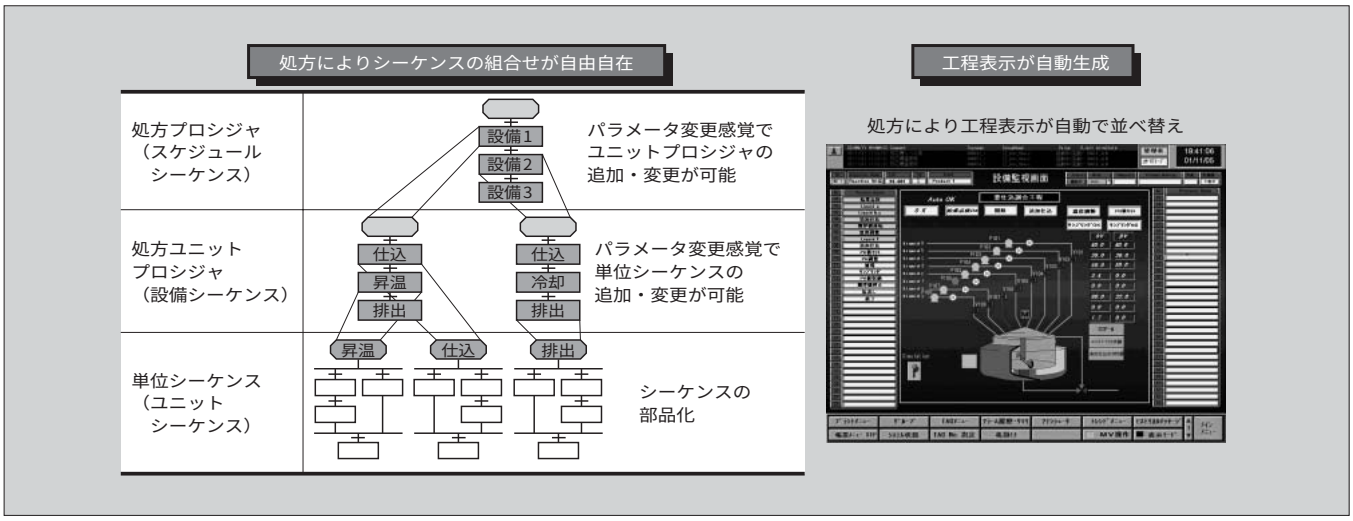
各設備内の工程進捗を処方により自動で並べ替え，表示する。また，一時停止，再開始などの操作ができる。

品種追加などによりシーケンスの工程の順番が変わってもパラメータの変更と同様な感覚で簡単に対応できるようになっている。

(b)　バッチスケジューリング機能

バッチスケジューリングとリンクして，月間・週間スケジュール運転が可能である。

図５　銘柄管理パッケージ（FLEX-BATCH）



(c)　実績データ収集機能

運転した各設備の実績データをロット（順号）ごとに収集し格納する。収集されたデータは，帳票出力または上位伝送データとして使用している。

(4)　高効率なエンジニアリング機能

普段使っているOA用ソフトウェア（Excel〈注2〉，Visio〈注3〉）を使用したエンジニアリング革命ツール「HEART」（High Efficient Advanced engineering Tool）を採用し，エンジニアリング業務，メンテナンス業務の高効率化と制御ソフトウェアの高品質化を実現している（**図６**）。

特徴を以下に述べる。

(a)　パソコン＋Excel，Visioを使用した，オープンな動作環境である。

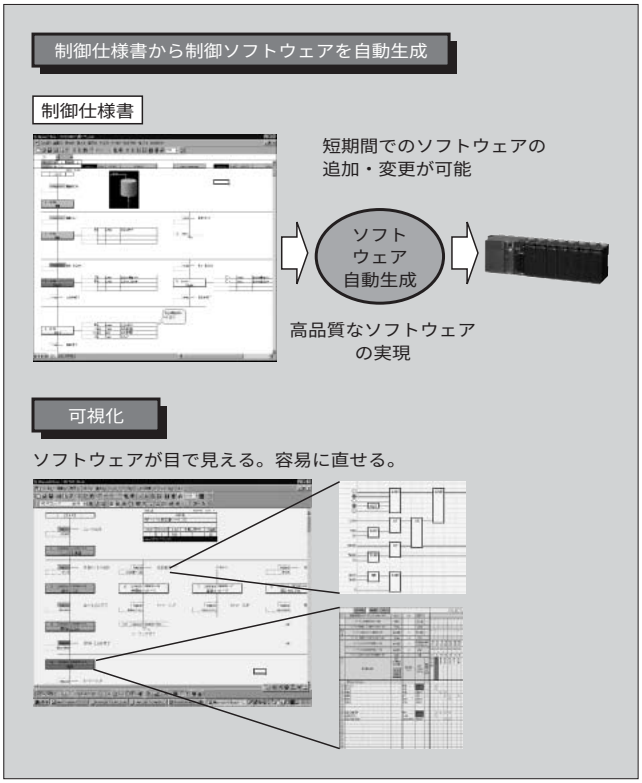
(b)　ファイルは，Excel，Visio形式のオープンなものである。しかも，小さなサイズなので電子メールでのやり取りが容易である。

(c)　仕様書から制御ソフトウェアを自動生成する。

(d)　Excelの仕様書上でのモニタがHMI（Human Machine Interface）でも可能である。実行工程，出力信号，インタロック信号の状態を色替えができる。

(e)　Excel，Visioの優れた編集機能（複写，置換，検索など）と表示機能（拡大，縮小）および印刷機能が利用でき，しかも簡単である。

図６　エンジニアリング革命ツール（HEART）



3.2　製造管理システム

本システムは，「活動の見える化」「活動実績のトレーサビリティ確保」を実現するために大きく以下の二つのコンセプトから成り立っている。

(1)　もの作りの見える化

製造管理を行うための製造情報は，そのフェーズにより必要となる情報が異なる。本システムは，計画，製造，分析の各フェーズに合わせ，製造計画立案情報の閲覧，製造状況のリアルタイムな進捗把握および製造後の実績情報の多角的な分析が行える，総合製造情報閲覧環境を提供する。また，計画立案時に発番する計画IDをキーとし，製造工程をまたがった製造予定実績のトレーサビリティを確保するとともに，製造イベントの開始・終了をキーとして，製造実績情報の編集を行う，実績締め処理の自動化機能も実現する。製造進捗については，各製造工程をWebベースの統一環境で監視を行える，総合進捗監視機能を用意し，「いつでも，どこでも，今が見える」環境を提供する。

〈注２〉Excel：米国Microsoft Corp.の登録商標

〈注３〉Visio：米国Microsoft Corp.の登録商標

(2)　ユニバーサルデザイン

通常，各工程の運転・監視を行うサブシステム（運転管理・監視制御システム）は，工程ごとにベンダーが異なる場合が多々ある。本システムは，下位システムとのインタフェースについて統一環境を提供するとともに，製造進捗管理（状況判断，実行指示，進捗把握）についても，工程に依存せず同じツールで可能とすることで，下位の運転管理・監視制御システムに依存しない，ユニバーサルな仕組みを構築する。また，全社系，工場管理系，設備運転系にて必要となるマスタ情報を統合・階層管理することで，マスタメンテナンスの一元化を実現する。

以下に計画系，実行系，実績系としてのトレーサビリティに分けて機能を説明する。**図7**に製造管理システムの概要を示す。

3.3　計画系機能の構成要素と役割

計画系は以下の二つの機能から構成される。

(1)　製造計画立案機能

需給バランスから必要となる生産量を，工場の状況を踏まえて，生産可能とするための設備利用計画（製造計画）の立案を行う。

(2)　製造指図展開機能

製造計画を基に，製造処方，作業手順，検査手順，設備運転に必要なパラメータなどを展開し，各工程にて作業を行うための作業計画（製造指図データ）を作成する。

3.4　実行系機能の構成要素と役割

実行系は，以下の三つの機能から構成される。

(1)　製造指図機能

製造指図データを基に，運転管理システム，作業支援システム，品質管理システムなど，製造支援系システムへ指図予約・確定指図を行う。

(2)　製造進捗管理機能（製造ワークフロー）

工程内，工程間の製造・作業実行状況を把握し，進捗を管理するとともに，工程間をまたがる作業インタロック情報に従い，次作業（運転）の実行タイミングを製造指図システムに通知する。

(3)　運転管理機能

(a)　品質管理

製造指図データを基に，製造ロット・イベントごとの品質分析の実行支援および製品の品質管理データを記録することで，品質情報のトレーサビリティの確保，品質検査実績の分析を支援する。

(b)　作業支援

作業忘れ，作業遅れ防止のために，構内 PHS を利用し，現場に対し作業予告の通知，作業ガイダンスの表示を行う。また，作業開始・終了実績を収集することで，作業履歴のトレースを可能とする。

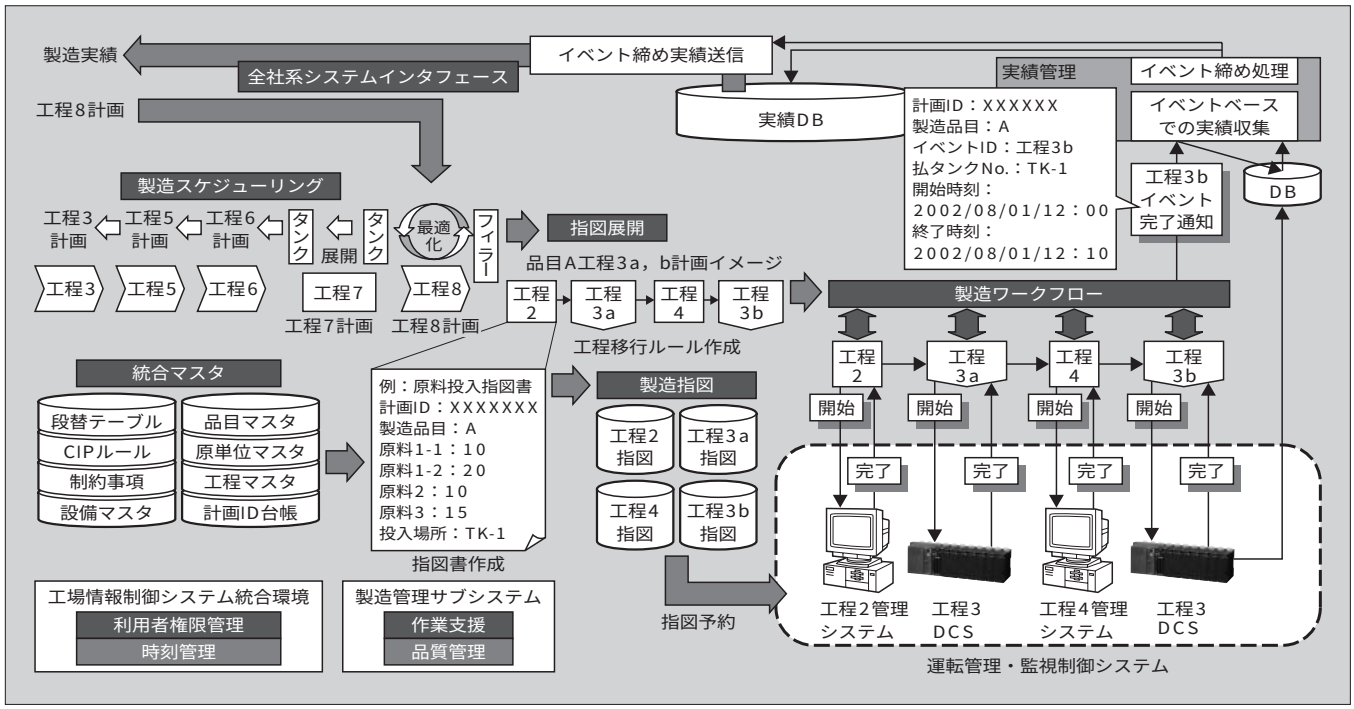
(c)　保全管理

あらかじめ設定された保全周期や生産イベントの予定をトリガーとした保全計画に対し，設備台帳および作業標準の組合せにより，保全実行指示および実行結果の収集を行う機能および設備異常アラームと連動し，点検日報の自動起票を行う機能により，保全情報のトレーサビリティ確保，実績分析支援を行う。

3.5　トレーサビリティ機能の構成要素と役割

原料・製造・物流の各段階において製品の生い立ち履歴，

図7　製造管理システムの概要



生産プロセス稼動状態を管理・分析できるように記録に残す必要がある（**図8**，**図9**）。

以下の機能は，データの性質，利用目的に合わせ，ロット，製造イベント，一定時間単位ごとなどを切り口とした

図8　トレーサビリティの全体像

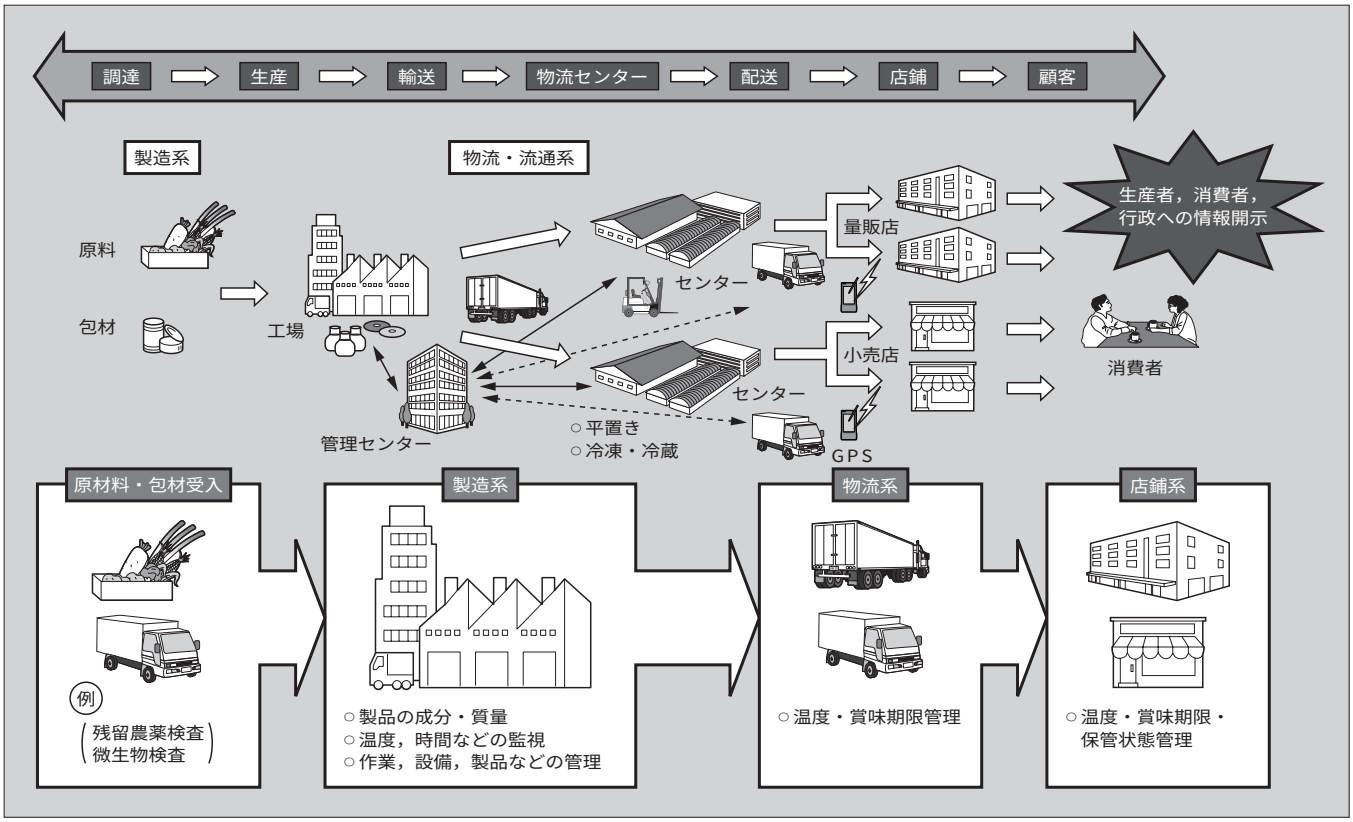
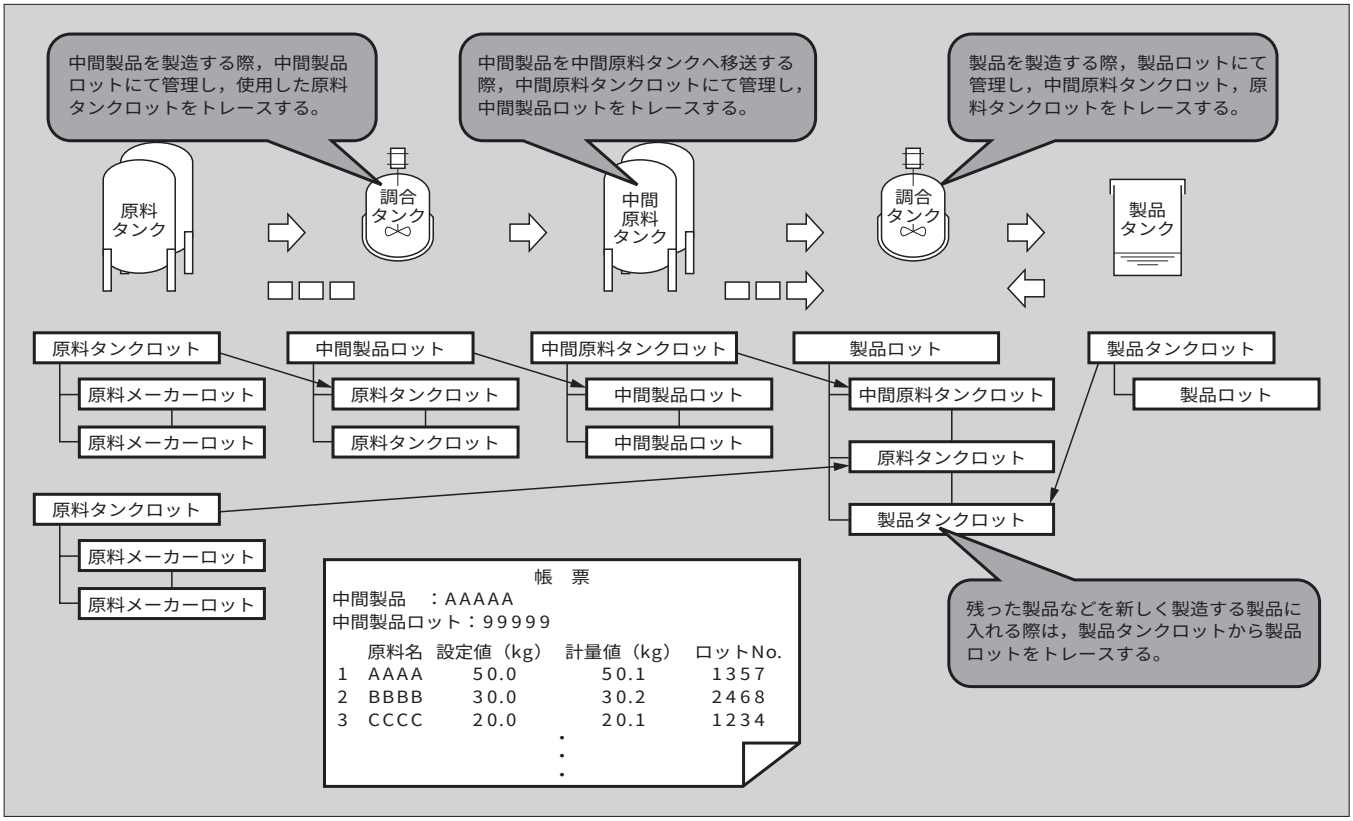


図9　ロットトレース例



生産情報を迅速に追跡し，情報の開示，製品品質管理を行うことを可能とするものである。

(1)　イベント型データ編集・保持

製造作業，品質検査活動などの実績情報を製造実行イベントに沿って収集・編集・格納し，製品，中間品，原料の各製造（作業）イベント時点での製造状態を把握することを可能とする。

(2)　トレンド型データ編集・保持

設備の挙動，エネルギーの消費推移など，傾向管理の必要な情報をリアルタイムトレンドとして収集・格納し，製品品質，設備品質，省エネルギーなどの観点からデータ分析を支援する。

4　あとがき

食品分野は市場ニーズが多様化している中，変種変量生産型のバッチ運転に対する短納期・低コスト操業を実現するためには製造計画，銘柄管理，トレーサビリティなどのMES機能をカバーする情報制御システムがますます重要になってきている。製造設備の計測制御から，製造部門と管理部門を融合し全体最適化を図る情報制御システムへの需要拡大を推進していく所存である。

参考文献

(1)　菅沼利昭ほか．マルチベンダー製品で構築する食品プラント向け総合生産管理システム．富士時報．vol.74, no.9, 2001, p.517-521.

(2)　菅沼利昭ほか．食品分野における情報制御システムの展開，計装．vol.46, no.1, 2003, p.50-55.

(3)　高橋一仁，東谷直紀．食品製造業向けソリューション．富士時報．vol.76, no.5, 2003, p.271-276.

Web による配送計画システムの開発と ASP への適用

福島　康博（ふくしま　やすひろ）　佐藤　宏文（さとう　ひろふみ）　村上　賢哉（むらかみ　けんや）

1　まえがき

企業活動の中で，これまで製造，販売においては「乾いたタオルを絞る」と言われたように省力化・合理化が徹底的に図られてきた。

これに対して物流分野においても省力化・合理化が進み，従来の現場改善の取組みだけでなく配送を含めた効率化が求められるようになり，その一例として共同配送などが行われるようになってきている。

そのような背景により，各企業では頻繁な配送ルートの変更・追加が発生するようになってきており，それに素早く対応して配送コストを抑制することが重要なテーマとなっている。

富士電機では，5年前にいち早く配送計画の支援システムの構築に着手し，改善を図ってきた。その中で，このたび Web 版の配送計画システムの開発を行い，それを日商岩井(株)に納入した。日商岩井(株)では本システムを核として配送計画 ASP（Application Service Provider）サービスを行っている。

本稿では，このシステムの概要を紹介する。

2　配送計画

配送計画とは物流の重要な役割を果たすものであり，**図1**に示すように，一つの配送拠点から，指定された車両を用いて指定された複数の配送先に荷物の配送を行う際の最適なルートを計画することである。ここで，配送拠点，配送先，車両にはそれぞれ制約条件があるため，ルートはこれらを満たしたうえでの最適ルートである必要がある。

現状の配送および配送計画業務における課題として以下のようなものがある。

(1)　配送コスト削減

経費に対する配送コストの占める割合が大きく，削減要求が高まっている。

(2)　手作業での計画立案による非効率

配送計画が，複数の専門の計画要員の勘と経験に頼って行われていることが多い。特に配送先が多く，配送先の配送時間帯などに関する条件が厳しい場合には，それらの多くの条件を考慮して人手で計画を立てるのは非常に煩雑な作業であり，非効率である。人の勘と経験だけでなく，こうした各種条件に関するデータに基づいた科学的なアプローチが求められる。

(3)　配送先の増減への対応

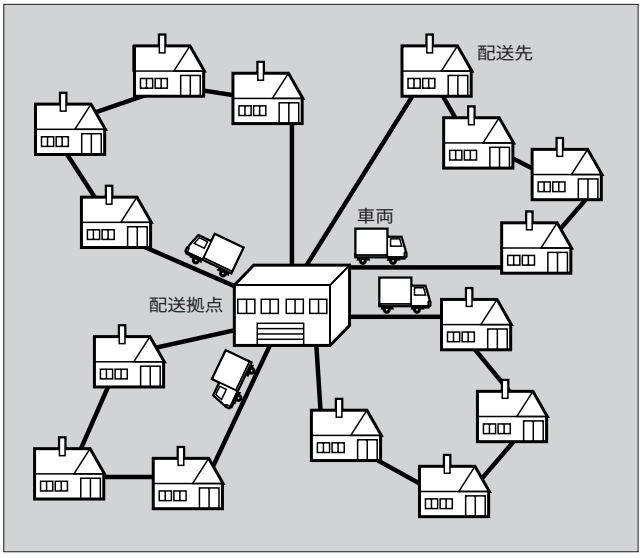
計画が人手に依存しているため，配送先の変更（増減）に対して迅速な対応ができない。特に近年の共同配送（複数の配送先を管轄するセンターなどへ一括納品する）化の流れにより配送先の大規模な変更が頻繁に発生している状況があるが，対応が十分に行われていない。

(4)　システム管理，運用コスト

上記のような課題の一方で，システム導入のために多くのコストはかけたくないという要求も大きい。

以上のような背景から，経験の少ない人でも効率的に配送計画業務を行えるような支援システムに対する潜在的要求は高い一方で，自社でのシステム導入には消極的な場合が多い。

図1　配送計画問題（イメージ）



福島　康博

民需分野向けソリューション営業に従事。現在，電機システムカンパニー情報システム事業部ソリューション営業第三部課長。

佐藤　宏文

民需分野向け生産・物流システムのソリューション営業に従事。現在，電機システムカンパニー情報システム事業部ソリューション営業第三部課長補佐。

村上　賢哉

制御・情報システムの研究開発および設計に従事。現在，事業開発室 IT ソリューション部。

3　配送計画システムの機能と特徴

富士電機では従来から配送計画業務を支援するパッケージソフトウェアとして「輸配送計画立案支援システム」を開発し，物流ソリューションとして展開している。これは基本的にパソコン上でスタンドアロンで動作するものであった。今回われわれは，これをベースとし，「配送計画システム」を Web によるサーバシステムとして構築した。

以下では配送計画の作業フローを示し，その中で本システムの機能について説明する。

3.1　配送計画の流れ

本システムを使用した配送計画のフローを**図 2** に示す。これは基本的に業種・業界を問わない作業フローとなっており，システムとしても汎用的に適用できる設計となっている。

このフローに対応したシステムの機能を次に説明する。

(1)　マスタデータ管理機能

配送計画の基となる基本情報である「配送拠点」「配送先」「車両」に関するデータを登録・管理する。マスタデータは配送計画エンジンが扱う制約条件に直接対応しており，詳細は4章で説明する。

マスタデータは，ユーザーが CSV ファイルとして作成し，それをネットワーク経由でサーバにアップロードすることで登録することができる。

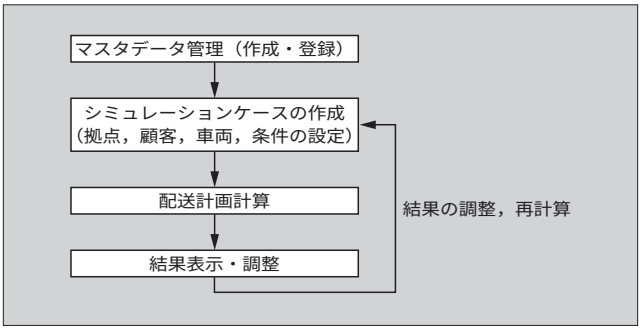
配送拠点，配送先に関してはユーザーから住所を入力されたシステムにより緯度経度情報に自動変換し，位置情報として管理する。

図 3 はマスタ管理画面例であり，ブラウザ上に表示されている。右に拠点・配送先に関するデータが表示され，左にはそれに対応する地図が表示されている。地図上で具体的な拠点・配送先の位置を確認，補正することができる。

(2)　シミュレーションケース作成

マスタに登録されたデータから，シミュレーションを行う拠点・配送先・車両を選択し，それぞれの詳細条件を設定する。これをシミュレーションケースといい，シミュレーションの単位となる。条件を変えての再計画や，計画結果の手動調整によりケーススタディを行った結果を別のケースとして管理できる。

図 2　配送計画立案の流れ



(3)　配送計画計算

「シミュレーションケース」として設定された条件を基に配送計画シミュレーション計算を行う。これによりほぼ自動的に配送計画結果を得ることができる。詳細は4章で説明する。

(4)　結果表示・調整

「配送計画計算」によって計算された配送ルートを表形式，地図上のルート，ガントチャートなどにより表示し，確認することができる。また，配送計画結果を手動で調整することができる。結果表示画面例を**図 4** に示す。

(5)　最適拠点配置

付属機能として，配送先の位置（地理的分布）が先に与えられたとき，これからどの地点に配送拠点を置いたら効率的かの候補を出力する機能である。具体的には拠点から配送先までの直線距離の総和が最小になるような位置を出力する。また，複数の拠点候補の位置を求めることもできる。最適拠点配置画面例を**図 5** に示す。

3.2　システム構成

本システムのシステム構成例を**図 6** に示す。

センター側は Web システムであり，Web ・アプリケーションサーバ，データベースサーバにて構築している。ク

図 3　マスタ管理画面例

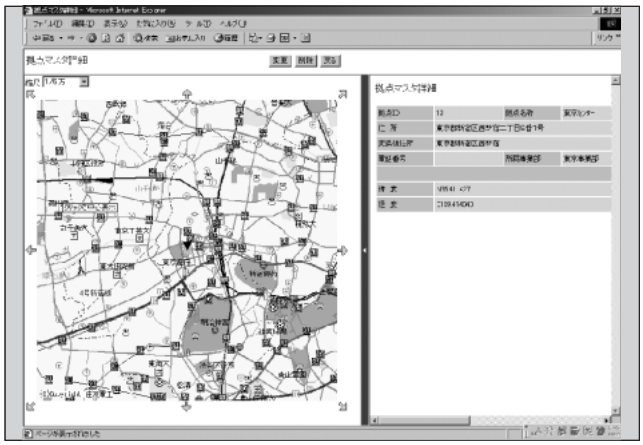
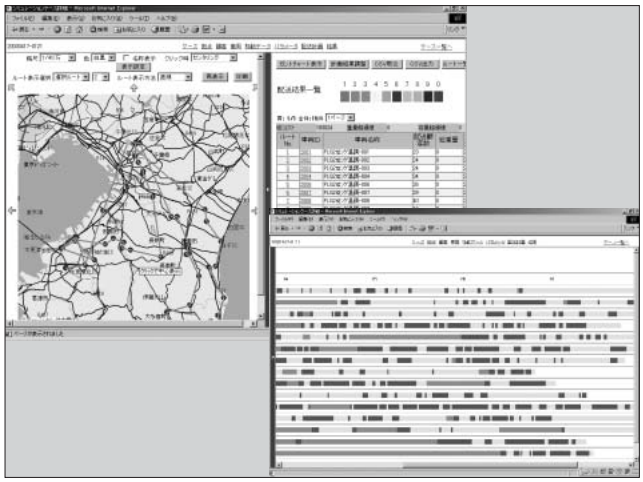


図 4　結果表示画面例



ライアント側は標準インターネットブラウザ（Microsoft Internet Explorer）があればネットワーク（イントラネット，インターネット）経由で Web ・アプリケーションサーバにアクセスしてログインすることにより本システムを利用することができる。

従来，このようなシステムはスタンドアロンまたはクライアントサーバの形態で動作するものが多かった。その場合，端末ごとにシステムをインストールするイニシャルコストが必要である。また，各端末にはシステム本体，地図ソフトウェアなど複数の関連ソフトウェアをインストールしなければならない場合が多く，かなり手間のかかる作業となっている。本システムはそれらの作業が一切不要であることが大きな特徴である。

一方で，ユーザーインタフェース（UI）についてはすべてブラウザを通して画面操作を行うため，例えばスタンドアロンシステムなどに比べてある程度制約を受けるが，UI 設計においてはインタラクティブに操作が行えることに留意した。特に地図に関しては画像データとしてダウンロードする形としているが，地図と他の詳細情報との表示連携，地図の移動，縮尺の変更，地図上の拠点・配送先情報表示などの面での工夫によりインタラクティブな操作方法を実現している。

配送計画の入力としてのマスタデータは SSL により暗号化された CSV ファイルによりネットワーク経由でアップロードして使用することができる。また出力としての計画結果のルートデータも，CSV ファイルとしてネットワーク経由でクライアントにダウンロードして自由に加工して利用することができる。システム形態としては，今回の日商岩井(株)においてはインターネット経由での ASP であるが，社内にサーバを構築し，イントラネットでのアプリケーション提供も可能である。

図５　最適拠点配置画面例

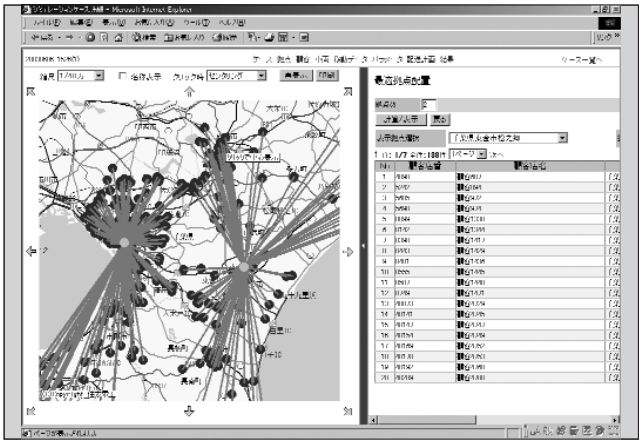
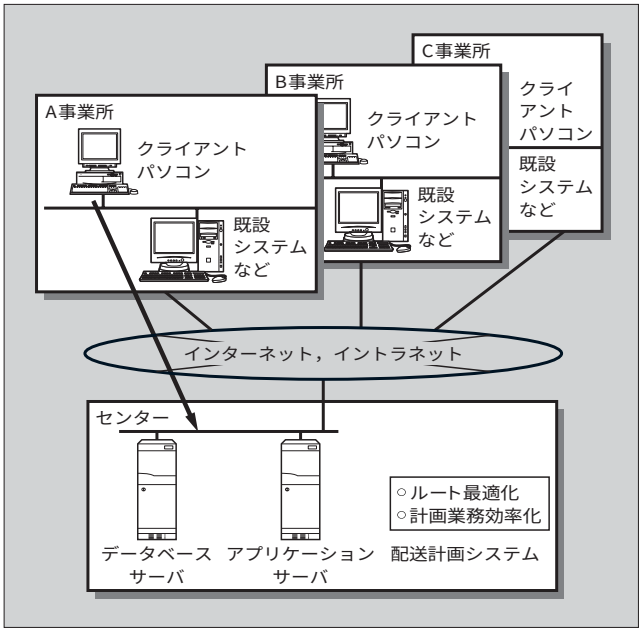


図６　システム構成例



4　配送計画エンジン

図２に示したフローの中で，「配送計画計算」を行う核になる部分が配送計画エンジンである。

本システムの配送計画エンジンは，東京商船大学の久保幹雄助教授が開発したコアのロジックをベースとしている。

配送計画問題は，車両が１台で制約条件がない場合にはいわゆる巡回セールスマン問題であり，これを解くためのアルゴリズムは今までに多数研究されている[(1), (2)]。これに対し，現実の配送計画問題では車両が複数であり，各種制約条件もあって非常に複雑な問題である。そのため厳密な最適解を見いだすことはほぼ不可能であるが，近年非常によい近似準最適解を与える手法が開発されてきており[(3), (4)]，本システムに使用しているアルゴリズムもその一つである。

4.1　エンジンの基本機能

本システムの計画エンジンでは配送先，車両に関する**表１**の条件をすべて満たしつつコストを最小にするルートを探索する。

ここで，車両については１台１台に対して個別に上記の各条件を設定できる。

最小化する「コスト」としては，車両別走行距離に車両別の距離単価を乗じた和を用いる。走行距離はルートに応じて車両別に経由する配送拠点と配送先，および配送先同士の間の距離データから算出される。

結果的に上記の制約を満たしつつ，車両別に重み付けさ

表１　計画エンジンで考慮できる条件

データ	内　容
配送先	荷量（質量，容量）
	荷降し時間
	配送指定時間（開始時刻ー終了時刻）
	入庫可能最大車両（車両の最大積載質量）
車　両	最大積載量（容量，質量）
	最大稼動時間（開始時刻ー終了時刻）
	走行費用距離単価（制約条件ではないが，各車両に対して設定でき，これを基にシミュレーションでの配送コストが計算される。）

れた走行距離の合計を最小化するルートが探索されるわけである。

4.2　解法アルゴリズム

一般にこのような最適化問題ではルートに対してコストの分布が単調でないため，ローカルミニマム（局所的にコスト最小な解）にとらわれて大域的な最適解にたどりつけずにコストや車両台数が減少しない場合が多い。これに対して本計画エンジンでは誘導局所探索法（Guided Local Search）という手法[(5),(6)]を用いることでローカルミニマムから脱出し，より大域的な最適解の探索を可能にしている。またこの手法によれば，よりよいルートを探してずっと探索（計画計算）を続けることができる。この特徴を生かして，本システムでは計画計算を途中で中断，再開する機能を持たせている。これにより，例えば改善計算を中断してルートの途中経過を確認しつつ，そこから計算を再開して探索を続けることにより，さらに最適に近いルートを得ることが期待できる。

配送計画問題においては**4.1**節に示したような配送先や車両に関する制約条件が設定されるが，厳しい制約が与えられていると，制約条件を満たす解の領域は細かい領域が点々と散らばるような形となり，良好な解が得にくい。これに対応するために，本システムではコストと，配送時刻についての制約条件とのトレードオフを効率的に扱える独自の手法を用いている。

5　今後の課題

今後の課題としてはGPS（Global Positioning System）との連携などを考えている。カーナビゲーションシステムなどのGPSと連携することにより以下のような機能が可能となる。

(1)　移動データの学習機能

配送計画は基本的に拠点と配送先および配送先同士の移動時間，移動距離などのデータを基にして計算される。これらは現在，地図ソフトウェアまたは直線近似で主に得ているが，GPSなどにより実際の車両の運行状況が正確に把握できればこれを用いてより正確な配送計画が可能となるものと期待できる。

(2)　リアルタイム配送（配車）計画

カーナビゲーションシステムなどにより，車両の正確な位置情報や渋滞などの交通情報が把握できるため，これを用いて実際の車両運行と連動した配送（配車）計画が可能となる。

6　あとがき

本稿では今回開発した，「配送計画システム」の概要を説明した。本システムは，汎用的に利用することができる設計となっているため，今後さまざまな分野への適用を図っていく予定である。

最後に，開発にあたってご協力いただいた日商岩井(株)殿に対しお礼申し上げる次第である。

参考文献

(1)　山本芳嗣，久保幹雄．巡回セールスマン問題への招待．朝倉書店．1997.

(2)　久保幹雄．組合せ最適化とアルゴリズム．共立出版．2000, p.123–131.

(3)　久保幹雄．ロジスティクス工学．朝倉書店．2001, p.104–108.

(4)　柳浦睦憲，茨木俊秀．組合せ最適化―メタ戦略を中心として．経営科学のニューフロンティア2．朝倉書店．2001.

(5)　久保幹雄．巡回セールスマン問題に対するLin-Kernighan近傍を用いGuided Local Search.〈http://www.ipc.tosho-u.ac.jp/~kubo/presen.htm〉.

(6)　Voudouris, C. ; Tsang, E. Guided Local Search（GLS）Project.〈http://cswww.essex.ac.uk/CSP/gls.html〉.

空港の環境保全と港湾の保安対策における新展開

井上　芳範（いのうえ　よしのり）　　紺野　章子（こんの　あきこ）

1　まえがき

近年における経済・社会活動のグローバル化・ボーダレス化の一層の進展，APEC（Asia-Pacific Economic Cooperation conference）加盟諸国の経済発展などにより，わが国の経済活動は大きな影響を受けている。経済活動と連動して，人の移動，物の移動が活発化する。これに伴い，航空需要増大と，航空機のジェット化・大型化が進んでいる。空港においては，航空機自体から発する騒音，排ガスに加え，旅客や貨物の移動に伴う車両の混雑，騒音，排ガス汚染などにより，周辺住民の環境は脅威にさらされることになり，健全な環境維持保全に向けた配慮が期待される。その中で空港と周辺環境との共生を目指すエコエアポートへの取組みに熱い視線が注がれている。

本稿前半では，「エコエアポート」の実現に向けた現状把握，環境計画策定，環境施策具体化のための環境情報管理システムについて紹介する。

空港以外に経済のグローバル化の影響を受ける分野として港湾がある。グローバルなSCM（Supply Chain Management）の連鎖の中で，IT（Information Technology）化によるロジスティクス機能の強化を目指す「スーパー中枢港湾」育成が立ち上げられている。一方で，港湾を舞台とした国際的犯罪組織によって引き起こされるコンテナ密航や不正輸出など犯罪の増加，2001年9月の米国同時多発テロ発生以後の国際的な保安強化の動きの中で，国際航路の船舶や港湾施設のセキュリティレベルの向上が要請されている。

2002年12月に国際海事機関（IMO：International Maritime Organaization）で改正されたSOLAS条約（The International Convention for the Safety of Life at Sea）によると，セキュリティに不安のある港湾からの船舶は相手方が入港禁止しても文句を言えなくなることが予想される。この改正SOLAS条約が2004年7月に発効し，各国はこれに対応した制度・組織整備を義務づけられ，その下で各港湾管理者は港湾施設保安計画の策定・推進義務を負うことになる。

本稿後半では，港湾施設の保安に対する考え方と，対応した具体的な保安対策の概要を述べる。

2　エコエアポート支援システム

空港は，設置される地域に対して大きな経済効果を及ぼすとともに，騒音をはじめとする環境への多大な負荷を与えてきた。技術開発などにより，旅客一人あたりの環境負荷は軽減されてきているが，昨今，増加の一途をたどる航空機需要を満足するためには，空港自体が環境への負荷を抑制しながら，地域との共生を図ることが必要である。

世界的な温暖化防止，持続可能な循環型社会の実現を背景として，空港やその周辺地域において，空港管理者，空港関連事業者全体が協力して，環境への配慮，環境との共存を図るための計画を策定し，それに沿った活動をする空港を「エコエアポート」と呼ぶ。

空港内では多くの関連事業者が営業を行っている。各事業者では個別に環境対策を実施しているが，「エコエアポート」の趣旨に沿って環境対策を進めるには，横断的な観点からの取組みが求められる。また，空港を取り巻く環境としても，自治体，各種団体，地域住民など，多様な立場の関係者が存在する。これらの関係者をまとめて「エコエアポート」を推進するため，具体的には，空港管理者，自治体，関連事業者，団体などが協議する場を設置し，その中で，空港全体の「空港環境計画」策定，実施，評価，見直しを行い，環境に優しい空港を実現することになる。

空港環境情報管理システムの概要を**図1**に示す。本システムは，多数の関係者間で情報を共有しながら，協力してデータ収集，分析，施策検討，評価を行う仕組みを提供し，「エコエアポート」実現を側面から支援するものである。

システムは空港環境情報データベースを核として，以下の機能を持つ。

(1)　各種データ属性設定・管理機能
(2)　環境情報データ収集機能
(3)　環境情報データ分析，環境施策検討支援機能
(4)　情報共有・情報公開機能

井上　芳範

プロセスオートメーション技術に従事。現在，電機システムカンパニー社会システム事業部技術第一部担当部長。技術士（電気・電子）。電気設備学会会員。

紺野　章子

画像処理，パターン認識技術，ならびに応用製品の研究開発に従事。現在，電機システムカンパニー社会システム事業部技術第一部。情報処理学会会員。

さらに，計測，観測された環境負荷の排出源推定，各排出源の環境施策の列挙，各環境施策を実施した場合の環境負荷改善度の予測を行うことで，有効な環境施策決定を支援する。また，環境評価では，例えば，環境側面と環境影響評価の重み付けに従って，環境情報データを評価し，その結果を**図２**のようなパレート図にして表示する。

もちろん，これらの環境情報データベースは，必要に応じて，利用者に分かりやすい形に編集して，ホームページ上で公開し，関係者や周辺住民と共通の意識を持ち，共生を進めることができる。

「エネルギーの使用の合理化に関する法律」の改正により，第１種または第２種エネルギー管理指定工場の指定を受けるターミナルもあり，エネルギー削減計画や報告が義務づけられる。環境情報管理システムでは，無線 LAN を用いたエネルギー，各種センサデータ収集システムと連携可能である。無線 LAN 使用により，配線工事に多大な費用をかけることなく，一定期間の電力使用量，環境計測値を観測し，現状を踏まえた，きめ細かい環境施策を実現することができる。

環境情報管理システムを中心として，燃料電池，バイオマス，太陽光発電などの新エネルギーの導入と，各種省エネルギー施策を組み合わせ，環境保全，PDCA（Plan-Do-Check-Action）サイクルの充実に役立てるものと確信しており，「エコエアポート」実現の支援を進めたいと考える。

図１　環境情報管理システムの構成

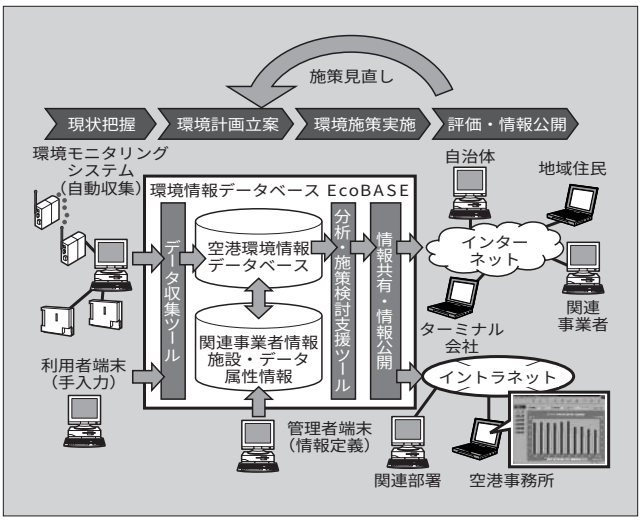
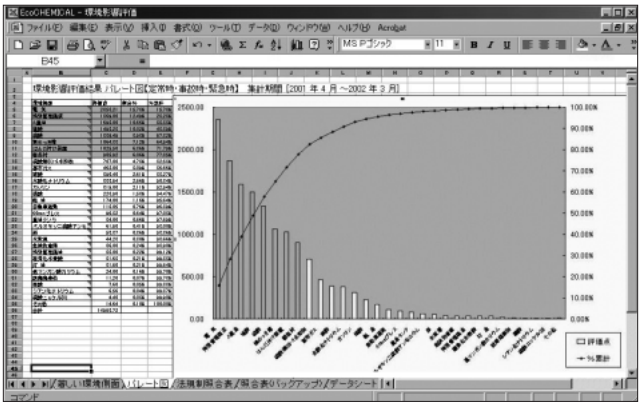


図２　環境影響評価結果の画面例



③　港湾施設保安対策システム

港湾施設の保安については，まず，施設内での爆発・火災，コンテナ密航，爆発物を搭載したコンテナの通過，人質・殺人などの発生しうる脅威のシナリオを想定する。そのうえで，重要性の高い施設について，現状で，これらの脅威に対する抑止効果がどの程度あるかという脆弱（ぜいじゃく）性評価を実施する。重要性が高く，かつ，脆弱性の大きい施設や項目から優先的に，対抗措置としての保安対策を実施していくことになるが，港湾施設は空間的な広がりを持っており，どの施設，どの区域を脅威から守るかは，各港湾の状況を勘案したうえで決定する必要がある。

図３に港湾施設における保安対策のイメージを示す。ここに列挙した対策は，標準的な港湾施設において，前述の脅威に対抗するための基本的な項目である。港湾施設の脅威と脆弱性，抑止効果を持つ対抗措置，具体的システムの一例を**表１**にまとめた。

表１の中で，どこでも，あらゆる場面に対して共通に有効と考えられる教育・訓練支援システムの主な機能を以下に述べる。

(1)　保安体制，組織，職員 ID，各職員役割登録管理
(2)　関連諸機関，連絡体制の登録管理
(3)　施設配置とその重要性の登録管理
(4)　想定される脅威シナリオの登録管理
(5)　脅威発生時の対処方策のデータベース化とシミュレーション
(6)　緊急時の通報体制のシミュレーション
(7)　事後で必要とされる記録，文書の作成支援

脅威発生時の対処方策については，いつ，どこで，誰が，どのような脅威に遭遇した場合に，どのような対処により，被害を最小に抑えるかをデータベースとして整理する。実際の緊急時に，訓練と同様に事態が進むばかりではないこ

図３　港湾施設の主な保安対策

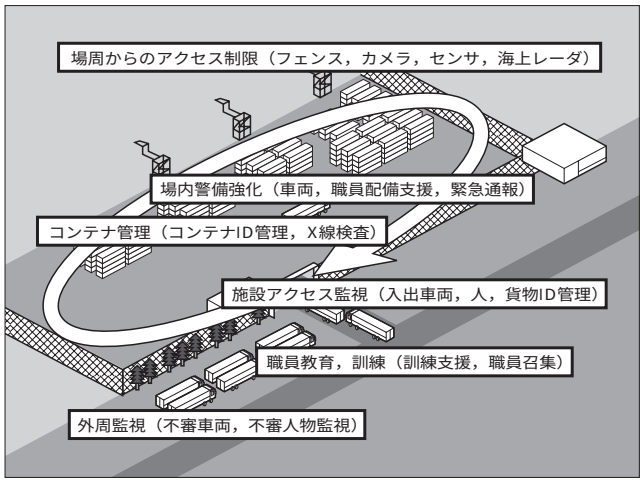


表１　港湾施設の脅威と脆弱性，対抗措置，具体的システムの一例

脅　威	脆弱性	対抗措置	具体的なシステム
○施設内への不正侵入（危険物持込み，自爆テロなど）	○外部との境界保護や監視が不十分	○制限区域の設定	―
		○場周からのアクセス制限	○フェンス，カメラ，場周センサ，海上レーダ
		○外周部の監視	○不審車両・不審人物監視システム
		○施設アクセス管理の強化	○入退場車両・人物管理システム
	○場内警備や監視が漏れなく実施されていない	○場内警備の強化	○場内監視カメラ ○不審人物監視システム（侵入者・密航者検知） ○車両・職員配備支援，緊急通報システム
○コンテナ密航密輸出入 ○爆発物など搭載コンテナ搬入・積込み	○第三者によるコンテナ工作 ○偽装コンテナ	○コンテナ管理の強化 ○コンテナ内部検査の強化	○コンテナID管理システム ○コンテナX線検査装置
○保安システムの機能停止	○受電所・電気室などの破壊，給電停止	○重要施設の警戒強化	○受電所・電気室の施錠管理システム ○受電所・電気室のドア・シャッタ・窓ガラスセンサ
	○保安システムへの工作	○監視センターの警戒強化 ○保安システムのセキュリティ強化	○監視センター入退場者管理システム ○ネットワーク・保安システム不正侵入検知システム
○全脅威	○緊急時判断の遅れ ○通報体制不備 ○関係者の認識不足	○職員や関係者の教育，訓練，演習の実施 ○関連機関などとの連携強化	○訓練支援システム ○緊急時職員召集システム ○関係者通報・情報共有システム

とは十分予想されるが，関係者全員が共通の情報と意識を持ち，事態にあたることは有効な被害抑止手段と考える。今後，各港湾施設では，港湾保安職員のもと関連組織が連携して保安対策を実施していくことになる。各種ハードウェア対策，ソフトウェア対策はもちろん，これらを運用していく職員や関係者の保安に対する意識を一層向上させていくことが必要とされる。

4　あとがき

国際的な拠点としての空港，港湾についての課題と対策について紹介した。環境対策，保安対策は，今後，アジア地域の中での国際的拠点として生き残りをかけた競争力強化のために，空港・港湾に共通してクリアすべきテーマである。

富士電機は，エコエアポート，港湾施設保安対策とも，空港や港湾の将来の全体を考慮した有効な手段を提供していく所存である。

参考文献

(1)　水口弘一．スーパー中枢港湾育成の意義．港湾．vol.80, no.6, 2003, p.8–13.

(2)　難波喬司．国際的枠組みの下での港湾施設のセキュリティ対策の早急かつ的確な実施に向けて．港湾荷役．vol.48, no.3, 2003, p.308–314.

(3)　松本祥一ほか．環境経営を目指すエネルギー管理システム．富士時報．vol.75, no.11, 2002, p.621–624.

(4)　浅賀廣ほか．特集 セキュリティ技術・設備（ビル・公共施設・工場等）．電気設備学会誌．vol.23, no.4, 2003, p.238–275.

ハイブリッド制御システム「Jupiter」

吉野　稔（よしの　みのる）　石野　浩二（いしの　こうじ）　西脇　敏之（にしわき　としゆき）

1　まえがき

分散制御システム（DCS：Distributed Control System）は，1975年ごろに誕生し，石油・化学・鉄鋼・水処理を中心とするPA（Process Automation）分野のメインシステムとして長年使用されてきた。一方，プログラマブルコントローラ（PLC）は，自動車・食品・電機を中心とする加工，組立，梱包（こんぽう），出荷などのFA（Factory Automation）分野で長年使用されている。

この住み分けが，最近は急速に崩れつつあり，パソコン＋PLC計装の登場と相まってユーザーはどのシステムを選択してよいのか判断に迷うケースが見受けられるようになった。

プロセス制御とディスクリート制御のハイブリッド化されている産業の伸張率が高い昨今，制御システムも広く情報技術（IT）からPA分野，FA分野まで含めた自由度の高いハイブリッド制御システムを要求されている。

この要求を実現するために，ハイブリッド制御システム「Jupiter」を開発した。本稿では，Jupiterのアーキテクチャー，特徴，機能について述べる。

2　制御システムの動向

2.1　FA制御（PLC）とPA制御（DCS）の統合

PLCは，加工，組立，梱包，出荷などのFA分野でラダーを中心とした高速シーケンス制御を主体にしてきたが，PLCの高機能化・大容量化に伴い複雑な演算もできるようになってきた。

DCSは，石油・化学・鉄鋼・水処理を中心とするPA分野でプロセス制御を主体に利用されてきたが，EI（Electric Instrumentation）統合により高速シーケンス制御も可能になっている。

醸造産業のように，バッチシーケンス制御，プロセス制御が必要な醸造プロセスとパッケージング，ボトリングなどの高速ディスクリート制御が必要なハイブリッドプロセスでは，すべての制御をDCSまたはPLCで行えるようになってきている。

2.2　専用DCSからPLC計装へ

石油・化学・鉄鋼・水処理を中心とするPA分野では，従来からメーカー独自開発の専用DCSが主流を占めてきた。しかし，DCSには，ユーザーにとって下記の懸念事項がある。

① メーカー専用品が多く，ユーザーでのメンテナンスが難しい。
② メーカー専用品は市場に流通していないため，部品をユーザーが簡単に入手できない。
③ エンジニアリングもメーカー色が強く，各社ばらばらの状態である。
④ PIDなどの計測制御は得意であるが，数十ms以下の高速シーケンス制御は苦手である。
⑤ ハードウェア価格が比較的高価である。

上記はユーザーのイメージによる部分が多いが，それらの理由によりPA分野であっても食品，薬品，化学などの中小規模プラントでは，パソコン＋PLC計装にシフトしてきている。今後他の分野に関しても更新時に専用DCSからPLC計装にシフトしていくことが予想される。パソコン＋PLC計装の導入に対するユーザーのイメージを以下に記す。

① 汎用品が多く，ユーザーでのメンテナンスがしやすい。
② 汎用品は市場に流通しているため，部品をユーザーが簡単に入手できる。
③ エンジニアリングは，ラダーが中心なので各社の差は少ない。また，IEC61131-3準拠のコントローラが増えてきているので，各社統一した環境になりつつある。
④ PIDなどの計測制御は苦手であるが，数十ms以下の高速シーケンス制御は得意である。
⑤ ハードウェア価格が比較的安価である。

一方，パソコン＋PLC計装には以下のデメリットがある。

吉野　稔

化学・食品・薬品プラント計測制御システムのシステム設計および開発企画業務に従事。現在，東京システム製作所産業システム装置部担当課長。

石野　浩二

環境プラントのエンジニアリング・アプリケーションソフトウェアの設計に従事。現在，東京システム製作所産業システム装置部課長補佐。

西脇　敏之

分散制御システム，プログラマブルコントローラの開発に従事。現在，事業開発室コンポーネントソリューション部主任。

(1)　エンジニアリング効率の低下

FA 分野はラダーでもよいが，PA 分野ではバッチプラントのステップシーケンスや連続プラントの自動立上げ・自動立下げシーケンスが多い。この場合，タイムチャートや SFC でソフトウェアを作成するのが効率的で，ラダーで作成すると極端に効率が低下する。また，PID などの計装制御はファンクションブロック図（FBD），またはファンクションモジュール（FM）で作成することになるが，回路が計装フロー図とかけ離れたプログラム的表現になってしまい，DCS のように簡単には作成できない。シーケンス制御，計装制御のいずれにしてもドキュメント性も悪く，アプリケーションソフトウェアを作成した人以外が見てもすぐには理解できず，増設・改造などのメンテナンス時に非常に苦労することになる。

(2)　冗長化が不完全

PLC には冗長化可能なものもあるが，CPU のみの冗長化で，しかもコールドスタンバイのものが多く，DCS と同等な完全二重化を構築できるものはほとんどない。

(3)　HMI，MES 系との連携が不十分

PLC はもともとリレーの置換えから進化したものであるから HMI（Human Machine Interface），MES（Manufacturing Execution System）系との連携はほとんど考慮されていない。また汎用 SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）も FA 分野を主体としているので，PID などの計装制御との連携が不十分である。

2.3　市場の要求から出たハイブリッド制御システム

このような状況のもとに，市場は DCS の得意な PA 分野と PLC の得意な FA 分野，さらに HMI，MES も含めた情報分野と融合したハイブリッドなシステムを望んでいる。制御システムの集大成ともいえるこのアーキテクチャーには，市場からの非常に高く厳しい要求を満足していることが条件である。

以下にハイブリッド制御システムに対する市場の要件を述べる。

(1)　専用 DCS と同等な信頼性，エンジニアリング効率，機能，性能であること。

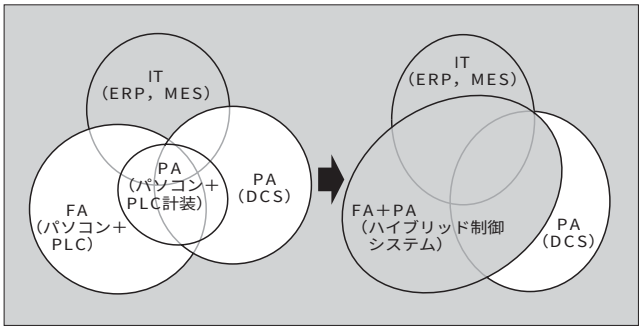
(2)　汎用 PLC と同等な価格，汎用性，高速性，小型，取扱い容易であること。

(3)　過去の専用 DCS の資産，汎用 PLC の資産を継承できること。

(4)　HMI，MES 系との連携が十分であること。

図1 に制御システムの動向とハイブリッド制御システムの位置づけを示す。

図1　ハイブリッド制御システムの位置づけ



3　ハイブリッド制御システム「Jupiter」の概要

3.1　アーキテクチャー

富士電機が開発した Jupiter は，まさに市場のハイブリッド制御システムに対する要件をすべて満足した制御システムである。ハードウェア素材としては汎用 PLC を可能な限り活用しつつも冗長化機能を専用 DCS と同等まで強化し，ソフトウェアは，専用 DCS の機能，性能，エンジニアリング環境を継承し進化させている。また，市場で広く使われているオープンで信頼性の高いハードウェア素材，ソフトウェアパッケージを可能な限り受け入れ，それをシステムインテグレートする SI 商品的な位置づけも持つまさに市場にマッチしたアーキテクチャーである。

Jupiter は，FA 分野では従来と同様に汎用 PLC としてまったく同一環境で使用することができ，PA 分野でも専用 DCS を使用している感覚でエンジニアリングができる。さらに，専用 DCS の HMI 系，MES 系のパッケージが使用できるので，情報系との連携も十分であり，パソコン＋PLC 計装で限界を感じていたユーザーにも十分満足いただけるものである。

3.2　システム構成

図2 にオープン AX の HMI パッケージを採用した「MICREX-Jupiter」，**図3** に FOCUS のパッケージを採用した「FOCUS-Jupiter」のシステム構成を示す。

(1)　HMI

MICREX-Jupiter 構成時はオープン AX と同等の ADS/AOS-PC2000J を，FOCUS-Jupiter 構成時は FOCUS を HMI として使用する。

(2)　制御 LAN

Jupiter は，Ethernet〈注1〉ベースの FL-net 準拠 LAN を採用している。この FL-net 準拠 LAN は，FL-net プロトコルと TCP/IP プロトコルの重畳機能を有しており，FOCUS パッケージや MES パッケージとの接続を実現している。また，外付けの制御 LAN 回線二重化ユニットがなくても，制御 LAN の回線二重化ができコストの削減となる。また，部品点数の削減により，回線の信頼性がさらに向上した。

(3)　コントローラ

コントローラ MICREX-SX117H は，汎用 PLC の MICREX-SX の高性能 CPU をベースに DCS と同等な二重化機能と制御機能を実現したものであり，PLC の扱いやすさと DCS の高信頼性を併せ持っている。内部計器は最大 288 個，シーケンスは最大 256 本をそれぞれ 1 ステーショ

〈注1〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図２　MICREX-Jupiter のシステム構成

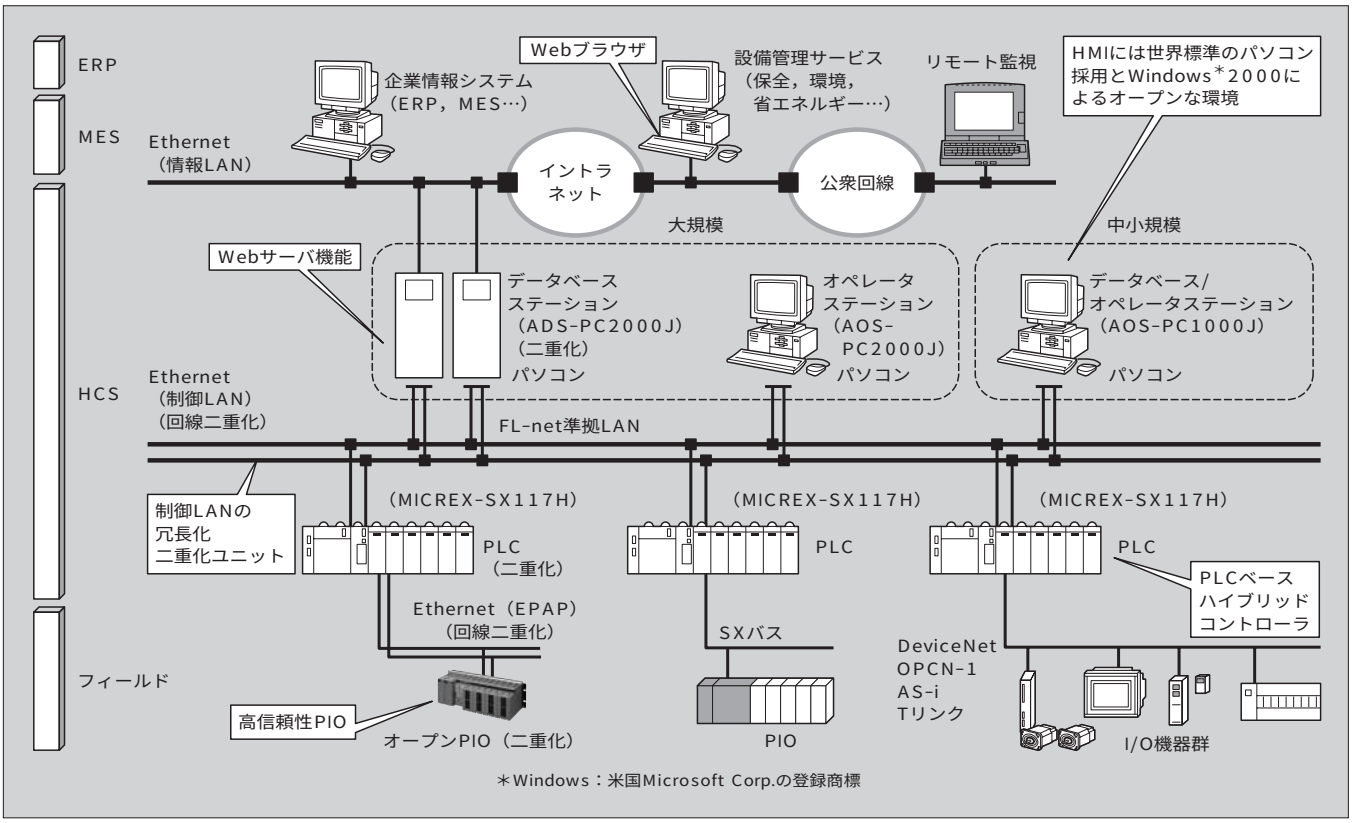
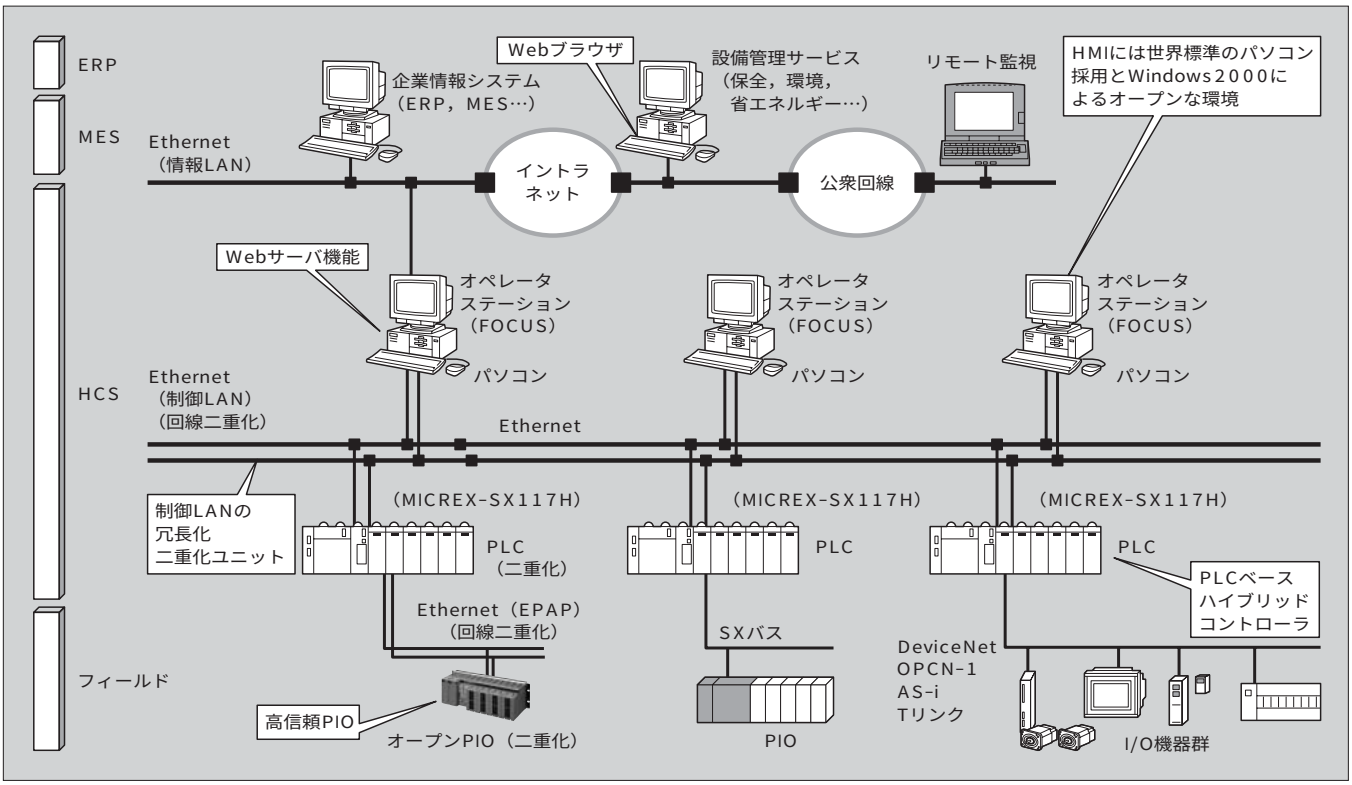


図３　FOCUS-Jupiter のシステム構成



ンに入れることができる。

(4)　PIO

汎用 PLC である MICREX-SX の PIO（プロセス入出力）や T リンク，AS-i（interface）などがシングル時や一般二重化時に使用できる。絶縁タイプや発信器電源供給タイプの AI が必要な場合は，オープン PIO を使用する。

(5)　支援ツール

IEC61131-3（JIS B 3503）準拠プログラミング支援ツー

ル D300win が標準の支援ツールである。また，仕様書から IEC 準拠のプログラムに自動変換するエンジニアリング革命ツール「HEART シリーズ」を使用することも可能である。

3.3　特徴と主な機能

(1)　フレキシブルでオープンなシステム構成

Jupiter は，汎用 PLC の MICREX-SX のハードウェア，ファームソフトウェア，ソフトウェア，エンジニアリング機能を強化したコントローラを核としたインテグレーションシステムである。したがって，MES，HMI，LAN，PIO は，目的に合わせて選択し組合せができるフレキシブルなシステム構成である。

(2)　目的に合わせて選べる HMI パッケージ

Jupiter は，富士電機の専用 DCS であるオープン AX の監視パッケージ（ADS，AOS 用システムソフトウェア）と汎用 SCADA の InTouch〈注2〉を採用している FOCUS の監視パッケージ（FOCUS 用システムソフトウェア）を選択することができる。規模とオープン化の度合いによって，最適な HMI パッケージの導入が可能である。

(3)　ERP，MES との連携が容易

Jupiter は，情報系システムの ERP（Enterprise Resource Planning）や MES との連携が容易である。製造ワークフロー，自動スケジューリング，IEC61512-1（S88）準拠バッチパッケージの FLEX-BATCH と組み合わせて使用することができる。

(4)　Web 機能

コントローラに直接実装する PIO-Web サーバモジュールを使用して，PLC を Web サーバとして機能させることも可能である。

(5)　多彩なネットワークに接続可能

MICREX-SX117H は，Ethernet，FL-net，DeviceNet，PROFIBUS，AS-i，OPCN-1，P/PE リンク，T リンクなど多くのネットワークと接続することができる。

(6)　コントローラの冗長化

MICREX-SX117H は，稼動系と待機系のバスが完全に独立した完全二重化システム（**図4**）を構築することができる。二重化対象は，CPU モジュール，FL-net 準拠 LAN モジュール，オープン PIO マスタ，PE モジュール，電源，SX バスである。1：1 のウォームスタンバイ方式で，稼動系から待機系へ全領域のデータが常に等値化されており，二重化部分に異常が発生した場合でもシステムを停止させることなく運転を継続できる。

(7)　制御 LAN の二重化

Ethernet ベースの制御 LAN は，回線の二重化が可能である。コントローラに実装する二重化 LAN モジュールとパソコンに実装する PCI バス LAN モジュールは，一つのモジュールから標準で 2 回線接続でき，外付けの回線二重化ユニットが不要である。また，プロトコルは，FL-net の Ver.2 と TCP/IP をサポートしており，同時に使用する重畳化が可能である。

(8)　フィールドネットワークの冗長化

オープンリモート PIO（IPUⅡ）を接続する Ethernet ベースの I/O バスは，回線の二重化が可能である。1 回線 8 ノードで，約 60 ms の高速応答性能（データ更新周期）を実現している。

(9)　PIO の冗長化

オープンリモート PIO（IPUⅡ）（**図5**）は，電源モジュール，内部バス，バスインタフェースモジュール，I/O モジュールの完全な二重化が可能である。

(10)　国際規格 IEC61131-3 準拠のプログラミング

標準の支援ツール D300win（**図6**）は，国際規格 IEC 61131-3（JIS B 3503）に準拠したプログラミング支援ツールである。このツールは，変数名（ラベル）によるプログラミング，言語の混在記述，卓越したドキュメント機能など使いやすさを徹底追究しており，数々の特徴を持っている。

ユーザーオリジナル回路の FB 化，エラー＆ジャンプ機能，命令入力ガイド，マルチウィンドウ機能など，快適なプログラミング環境を実現する機能もふんだんに盛り込まれている。

〈注2〉InTouch：米国 Wonderware. 社の登録商標

図4　完全二重化システム

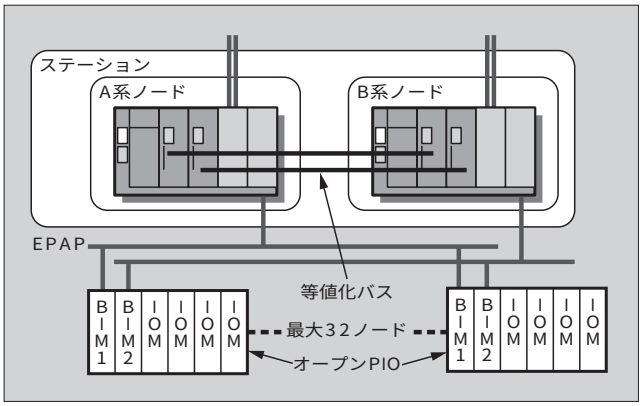


図5　オープン PIO

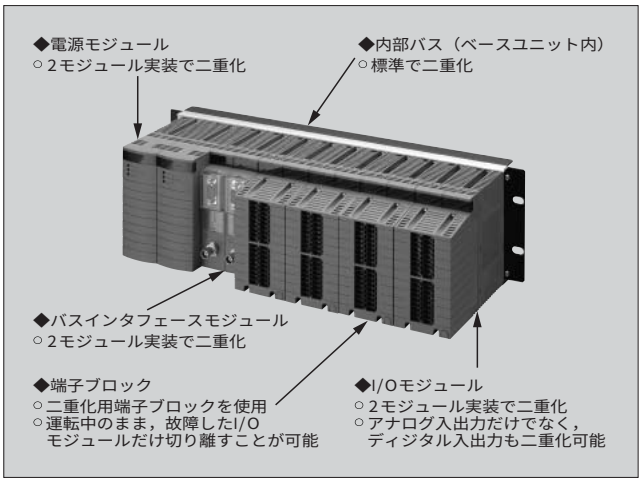


図６　IEC 準拠支援ツール D300win

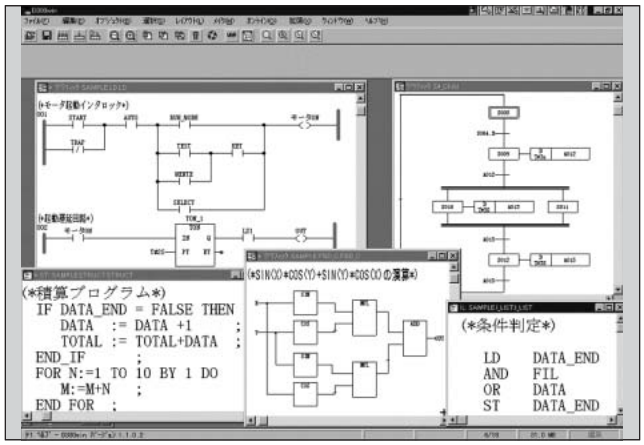
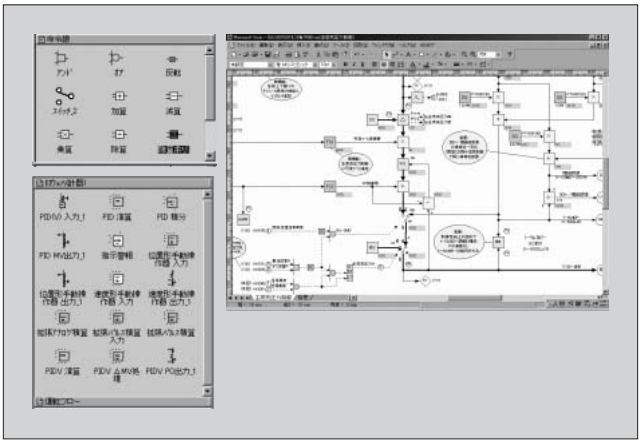


図７　エンジニアリング革命ツール（HEART-BELIEVE）



(11)　制御仕様書から IEC61131-3 準拠プログラムに自動変換

エンジニアリング革命ツール HEART シリーズ（**図７**）は，日常使っている OA ソフトウェア（Visio〈注３〉，Excel〈注４〉）を使って，エンジニアリングすることができ，制御仕様書から IEC61131-3（JIS B 3503）準拠のプログラムに自動変換される。制御仕様書を書いて，これをプログラム支援ツールに入力する必要がないので，エンジニアリングの効率化と，高品質なアプリケーションソフトウェアが実現できる。HEART シリーズは，専用 DCS にいち早く採用され，今では汎用 PLC と専用 DCS の共通ツールとして利用されている。

(12)　言語の混在記述が可能

IEC61131-3 規格で制定されている 5 種類のプログラム表現をすべてサポートしており，さらに仕様書表現の HEART シリーズの表現と組み合わせられるので，制御内容に合わせて最適なプログラムを効率よく作成することができる。

(13)　シミュレーション機能

シミュレーション機能が用意されており，実機を使用しないでもプログラムの動作テストが可能である。また，任意信号の強制オンオフができるので，プログラミングやデバッグ作業の効率を大きく改善することができる。

4　あとがき

Jupiter は，前述したように時代の背景，制御システムの動向，市場の要求から生まれたハイブリッド制御システムである。制御システムの大きな転換期を迎えた今日，ユーザーが望むシステムを提供できなければ，メーカーはどんなに機能，性能，価格に自信を持ったシステムを提案しても，市場では生き残れないであろう。今後もユーザー各位のご意見を賜りつつ，よりよいシステムをご提供すべくさらに尽力していく所存である。

〈注３〉Visio ：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注４〉Excel ：米国 Microsoft Corp. の登録商標

参考文献

(1)　赤松和彦ほか．オープン統合化分散監視制御システム．富士時報．vol.72, no.9, 1999, p.476-481.

(2)　吉野稔ほか．生産性と品質を向上させるエンジニアリング支援ツール．富士時報．vol.74, no.9, 2001, p.511-516.

火力発電所のボイラ制御システム

稲村　康男（いなむら　やすお）

1　まえがき

事業用火力発電は，電力供給の中間負荷運用設備として，最近再び注目が集まっている。

また，自家用火力発電では，規制緩和に伴う電力卸売事業（IPP）に関連した設備投資が活発化している。

一方，制御装置については，大容量化・高速化・高信頼化とハードウェアやデータ通信のオープン化など機能・性能の向上が著しい。このような中，富士電機はこれまでに発電設備の主要制御装置であるボイラ制御システムを700缶以上納入してきた。

本稿では，最近の火力発電所のボイラ制御システムの概要と技術動向について述べる。

2　事業用火力発電所のボイラ制御システム

2.1　システム構成

事業用火力発電所向けボイラ制御システムの代表的な構成を**図1**に示す。

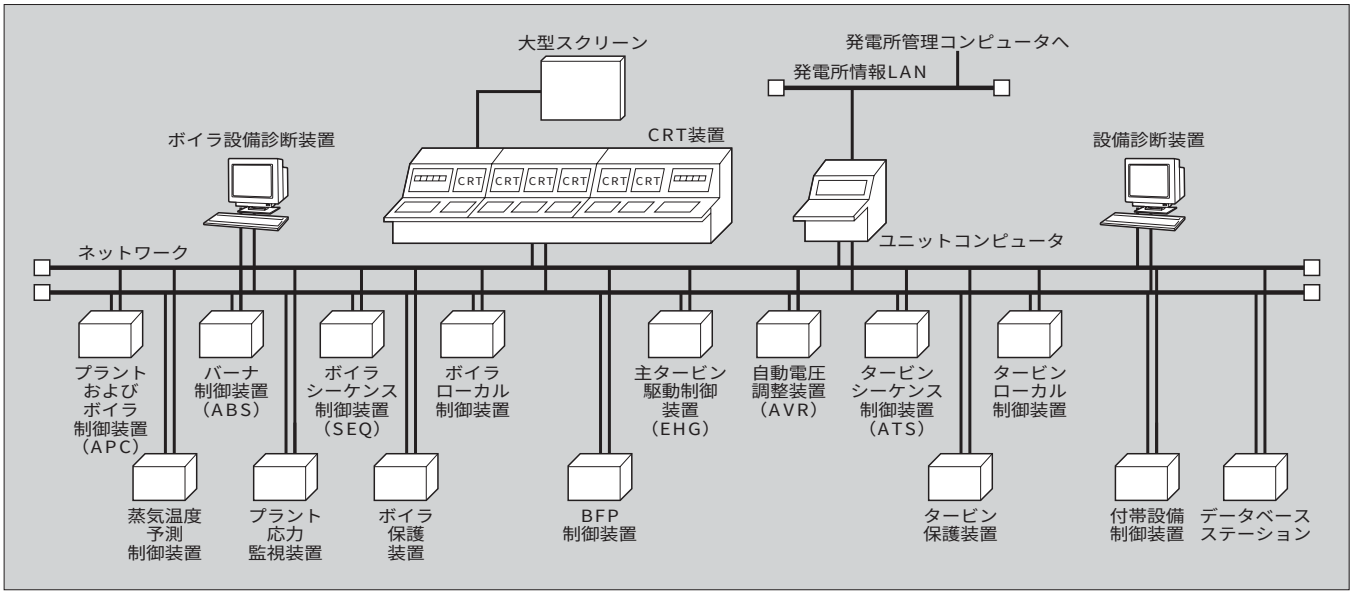
ボイラ制御装置は，中央給電所からの負荷要求指令に基づき，主タービン制御装置（EHG）へのガバナ開度指令やボイラの各種調節弁を操作する役目を持っており，APC（Automatic Power Plant Control）装置と呼ばれる。また，バーナ制御装置は，ボイラの負荷とバーナの油圧を基にバーナを自動的に点消火する機能を持っており，ABS（Automatic Burner Control）と呼ばれる。

ボイラ制御は，主制御であるAPC，ABSのほか，シーケンス制御装置（SEQ），ローカル制御装置などから構成される。これらの制御装置は，タービン側制御装置である主タービン駆動制御装置（EHG），タービンシーケンス制御装置（ATS），自動電圧調整装置（AVR）などと同一のネットワーク上に接続され，すべての装置が伝送により密結合されると同時に，CRTから監視操作できる。

2.2　主要制御機能

図2にAPC主制御系統の概要を示す。この制御方式は

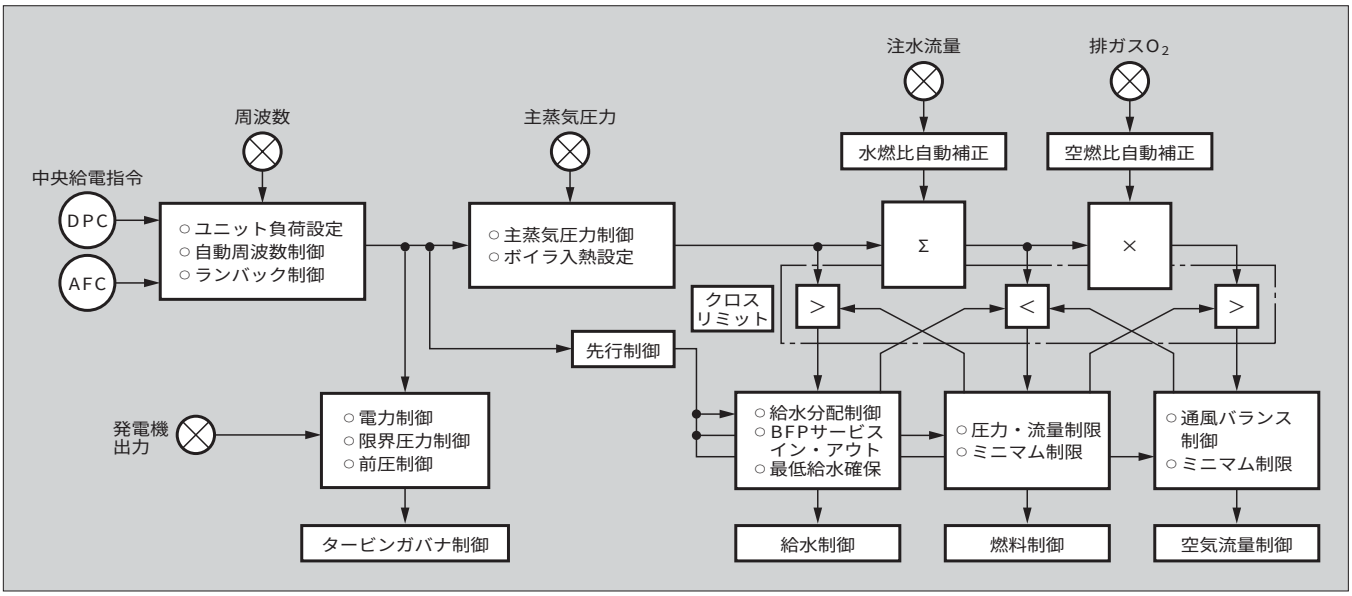
図1　事業用火力発電所向けボイラ制御システム



稲村　康男

エネルギー・原子力分野の計測制御技術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)エンジニアリング本部計測システム統括部計測技術第一部担当課長。

図２　APC 主制御系統の概要



ボイラ・タービン協調制御方式であり，中央給電指令に基づき主タービンおよびボイラの給水，燃料，空気がエネルギーバランスをとりながら目標値に高速に追従する。

2.3　システムの特徴

(1)　制御用コントローラ

制御用コントローラとしては，分散制御システム「MICREX」を用い，制御部，電源部，伝送部，入出力部を冗長化して高信頼化を図っている。また，基本的に一般民需用と同一のハードウェアを使用しているが，電源系統を含めた電源装置の冗長化など，一部事業用火力発電所用としての要求を満たす仕様となっている。

(2)　CRT 装置

パソコンの能力，容量，信頼性の向上から，CRT 装置としてはパソコンをベースとしたシステムが主流となっている。また，従来はボイラ・タービン発電機監視盤（BTG 盤）から監視・操作していた各操作スイッチ・監視機能の多くが CRT 装置に機能移植され，BTG 盤は大幅に小型化される傾向にある。

(3)　保守ツール

これまで事業用火力発電所用制御装置の保守ツールは，コンピュータを使用した専用の可視化ツールが使用されていた。しかし，現在では MICREX のエンジニアリングツールが飛躍的に機能・性能アップしたため，これを火力発電所制御装置の保守ツールとして採用している（ツール名：「HEART」）。これについては，別途4章に概要を記載する。

3　自家用火力発電所のボイラ制御システム

3.1　システム構成

自家用火力発電所（自家発）制御装置は，事業用火力発電所と類似の形態をとるが，制御装置の入出力点数や自動化範囲が小規模となるため，APC，ABS，ATS などを１～２台程度のコントローラに集約し，低価格・高機能と省スペース化を図っている。

図３は，複数のボイラを持っている自家発向け統合化システムの例である。本システムでは，すべての発電所のボイラ制御装置と，純水設備，ユーティリティ設備，受変電設備，エネルギー管理用コンピュータおよび CRT 装置を結合し，中央からの集中制御・管理・操作により省エネルギーと省力化を実現している。

3.2　主要制御機能

自家発の制御システムは，ボイラ・タービン，受変電設備を最適に監視制御することのほか，設備投資額ミニマムで自動化範囲を拡大したり，業務支援を提供することが重要である。**図４**に自家発統合化システムの機能構成を示す。

3.3　システムの特徴

自家発ボイラ制御システムの特徴を以下に述べる。

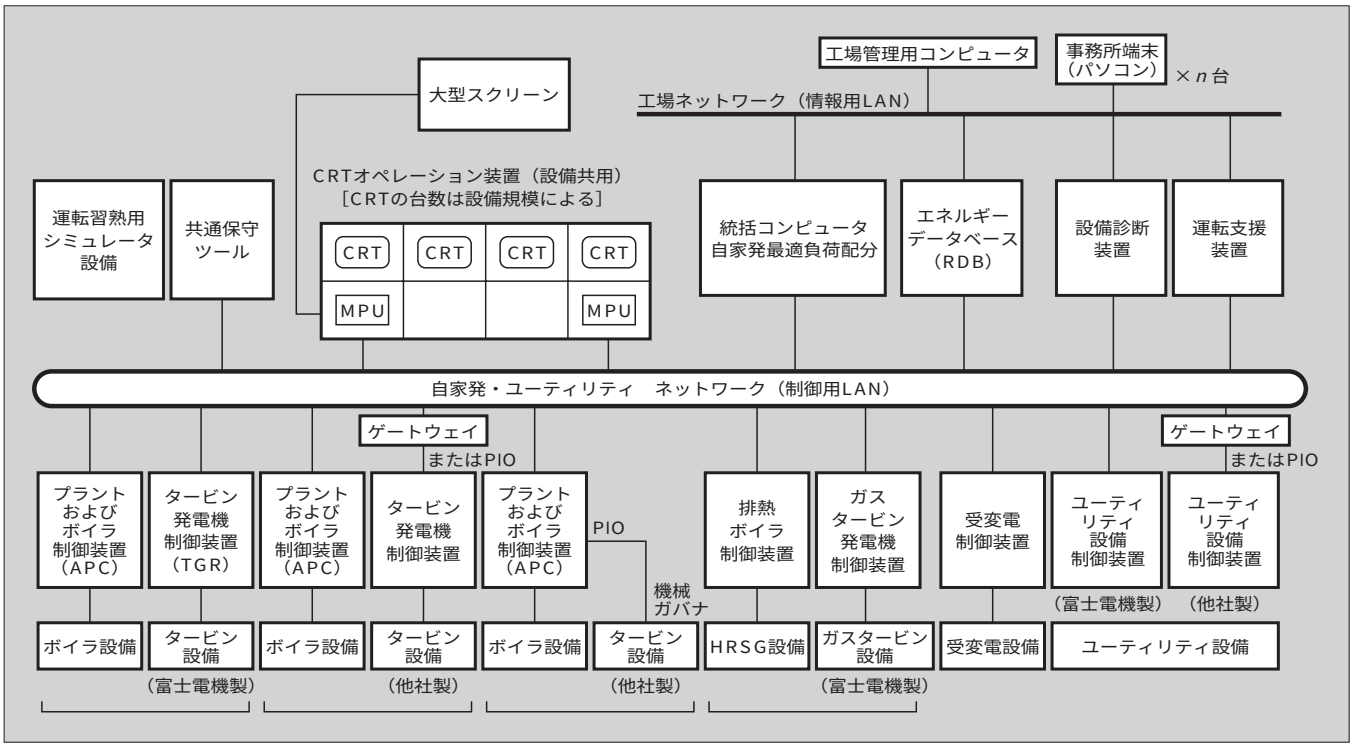
(1)　自家発の最適負荷配分

最適負荷配分システムは，生産計画やプラントモデル解析から工場内の各種エネルギー（副生ガス・油，電力，工場内蒸気負荷など）の需要変化量を予測し，コストミニマムとなるように各ボイラや各種燃料への最適負荷配分を自動的に行うものである。このシステムにより，優先使用燃料の調整やボイラ効率が最適な負荷領域での運用が可能となり，エネルギー損失の発生を抑制することができる。

(2)　自家発ボイラの自動化

IPP 用ボイラ制御装置では，起動から定格負荷までの操作を自動化し，運転員の負担を軽減しているケースが多い。事業所内に電力・蒸気を供給するための一般的な自家発では，ボイラ起動停止を１年以上のインターバルで行うため，設備投資に対する省力化の効果が出にくく，現場の操作端をすべて遠隔自動化するのが難しい。その場合は，運転員

図３　自家発向け統合化システム



が中央操作室で遠隔操作・監視している項目（ボイラの昇温昇圧，緊急操作など）を制御装置により自動化し，コストミニマムで最大限の効果を提供している。

(3)　業務支援

自家発の場合は，特に少人数で発電所を運転・管理するケースが多い。また，発電所の起動停止回数も少なく経験豊富な運転員が不足することも懸念されるので，少人数で安全に操業するために運転支援や保守支援，設備診断が導入されるようになった。例えば，インテリジェントアラームは，ベテラン運転員のノウハウを搭載した制御装置が警報発生の予測や発生した複数の警報から第一原因を解析判断するものである。

① 複数の瞬時プロセスデータの相関関係から逸脱した異常を通知する。

② 複数発生した警報内容から第一原因を推定判断する。

4　エンジニアリング機能

高効率型エンジニアリング用パッケージソフトウェアであるHEARTは，MICREXのエンジニアリングワークステーション（AES）に搭載される。ボイラ制御は，複雑なアナログ演算などからなる多変数制御系であり，各設備の制御方法は，制御仕様書（計装フロー図，ロジック図）にて取り決める。したがって，制御仕様書からソフトウェアを自動生成したり，仕様書をCRT装置で表示しながら試験ができるHEARTは，ボイラ向けのエンジニアリングツールとして適している。以下に特徴を述べる。

(1)　制御仕様書から制御ソフトウェアを自動作成

制御仕様書からコントローラのプログラムを自動生成する機能を持っている。すなわち，汎用ソフトウェアであるVisio〈注〉を使用し，このステンシルを結線することにより制御仕様書を作成するのと同時にプログラムを自動生成する。したがって仕様書とプログラムは完全に整合されるので，プログラムの漏れやコーディングミスが生じない。**図5**にHEARTの制御仕様書例を示す。

(2)　ソフトウェアのパッケージ化が容易

ボイラ制御を各制御ブロックごとに標準化した制御仕様書は再利用が容易であるため，品質向上とエンジニアリング費の低減が実現できる。

(3)　試験の効率化

HEARTにて作成したプログラムは，制御仕様書から自動生成されているため，コーディングチェックが不要である。また，HEARTはモニタ機能を使用し，AES画面に表示した制御仕様書上でコントローラの内部演算各データ（アナログ，ディジタル，パラメータなど）をリアルタイムで分かりやすく表現することができる。したがって，工場試験や現地試験・試運転調整を効率的に行える。また，社内や現地でのソフトウェア変更作業も，HEARTの制御仕様書を修正することにより容易である。

(4)　制御仕様書上の演算結果を運転用CRTに表示

前述のコントローラ内部演算結果を制御仕様書の形で表現するAES画面は，運転用CRT装置にも表示できる。したがって，CRT装置の画面ソフトウェアを作ることなく，運転員にAPCの演算上のデータやSEQのインタロック条件成立状態などをオンラインにて提供できる。

〈注〉Visio：米国Microsoft Corp.の登録商標

図４　自家発統合化システムの機能構成

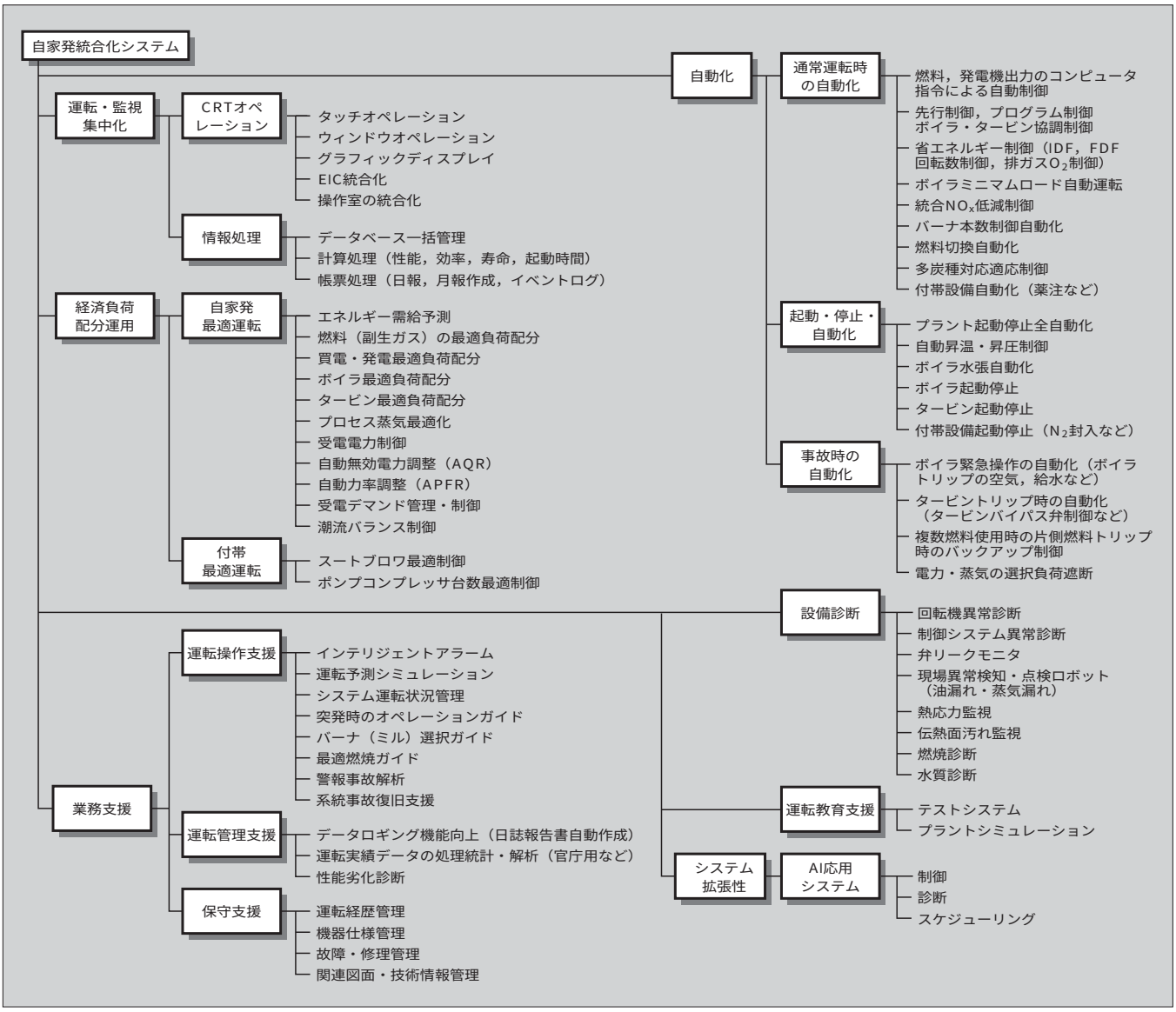
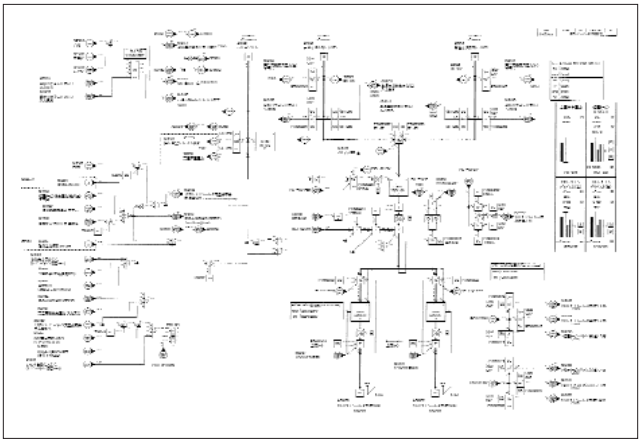


図５　HEARTの制御仕様書の例



5　あとがき

以上，最近の火力発電所のボイラ制御システムについて述べた。これからもユーザーの多様なニーズに的確に応え，「価値」の高い高機能・高品質のボイラ制御システムを開発・提供していく所存である。

参考文献

(1)　火力発電所の運転支援システム．火力原子力発電．vol.54, no.561, 2003, p.69–78.

(2)　火力原子力発電〈創立 50 周年記念〉50 年のあゆみ，Ⅳ．技術のあゆみ（5. 制御）．火力原子力発電技術協会．2000–10.

(3)　ボイラ（6 章ボイラの自動制御）．火力原子力発電技術協会講座．1988.

(4)　井上芳範ほか．火力発電所の計測技術．富士時報．vol.68, no.9, 1995, p.532–535.

(5)　若杉繁実．火力発電所のボイラ制御システム．富士時報．vol.70, no.7, 1997, p.359–363.

LNG 受入基地の計測制御システム

中山　敬一（なかやま　けいいち）　三井　章人（みつい　あきひと）　小林　益之（こばやし　ますゆき）

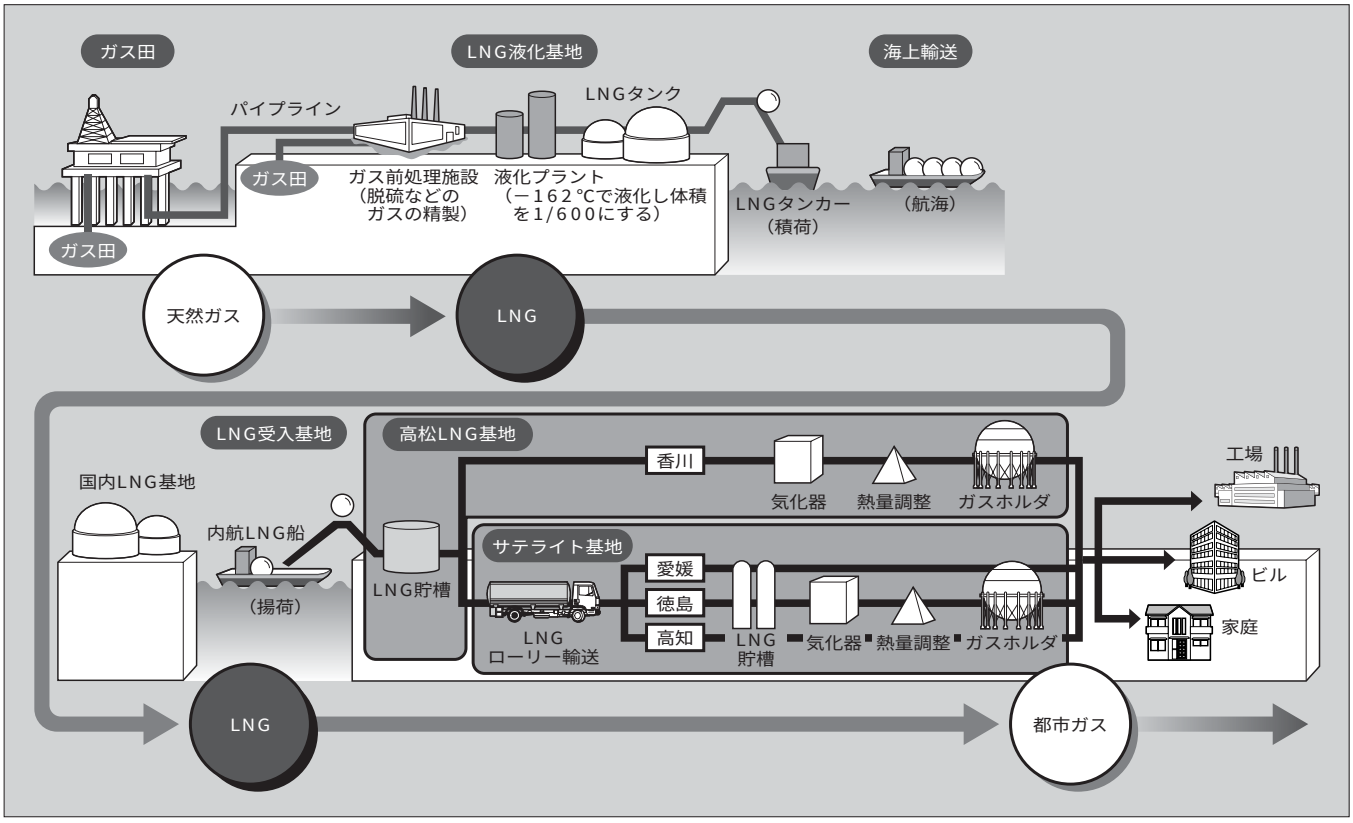
1　まえがき

液化天然ガス（LNG）（540 ページの「解説」参照）は，人と地球に優しいクリーンエネルギーであり，長期安定供給を確実にする 21 世紀の基幹エネルギーである。このため，都市ガス製造の主原料として大都市圏から中都市圏へと導入が進んでおり，都市ガス原料の約 86 %がすでに天然ガス（NG）になっている。

四国ガス(株)では，従来からのガスの安定供給を確保するとともに，27 万戸を超える四国のお客様に，より一層の利便性向上を図るために新しく NG の供給を 2002 年 9 月から開始した。**図 1** に四国ガス(株)における天然ガス供給の流れを示す。内航 LNG 船で運ばれてきた LNG は，LNG 基地の貯槽に約－160 ℃の超低温のまま移され，このあと気化させ，熱量調整や付臭などの工程を経てクリーンな都市ガスとなり，ガス導管を通じてお客様のもとへ届けられる。

本稿では，新日本製鐵(株)が基本設計から建設までを担当した最新鋭の四国ガス(株)高松工場のうち，計測制御システム（オープン統合化制御システム「FOCUS」で構築）について紹介する。

図 1　四国ガス(株)における天然ガス供給の流れ



中山　敬一

四国ガス(株)松山本社生産本部高松工場電気主任技術者。

三井　章人

新日本製鐵(株)エネルギエンジニアリング事業部エネルギープラント設計技術部電気計装設計グループ グループリーダー。

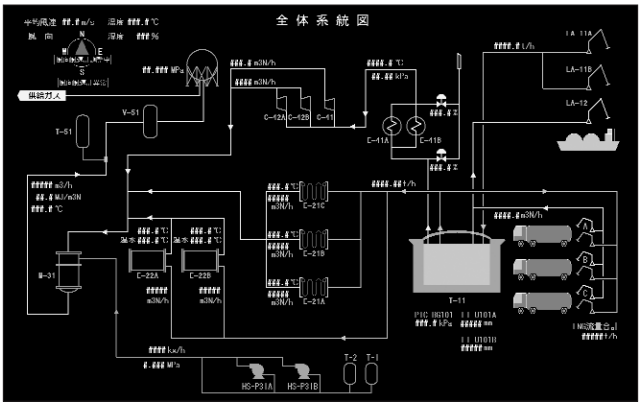
小林　益之

鉄鋼，火力発電，石油，ガス分野計測制御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)エンジニアリング本部計測システム統括部計測技術第一部担当課長。

2　四国ガス(株)高松工場の概要

高松工場は，2003 年 7 月に完工し，その後 LNG 第一船受入，ローリー出荷試運転調整を経て営業運転を開始し，現在順調に都市ガスを製造している。都市ガス製造と近隣サテライト基地へのローリーによる LNG 出荷機能を持ち，13A ガス約 35 万 m³/日の送出能力を持っている。高松工場のプロセスフロー（FOCUS プラント画面）を**図 2** に示す。主要設備は，LNG 船受入設備，LNG 貯蔵・払出設備，LNG 気化器設備（温水，空温），熱量調整設備，付臭設備，貯槽から発生するボイルオフガス（BOG）を処理する BOG 処理設備，LNG ローリー出荷設備，ユーティリティ設備（LNG 貯層ヒータ設備，温水設備，冷却水設備，計装空気設備，窒素設備，消火設備）に分けられる。

図 2　高松基地のプロセスフロー（FOCUS プラント画面）



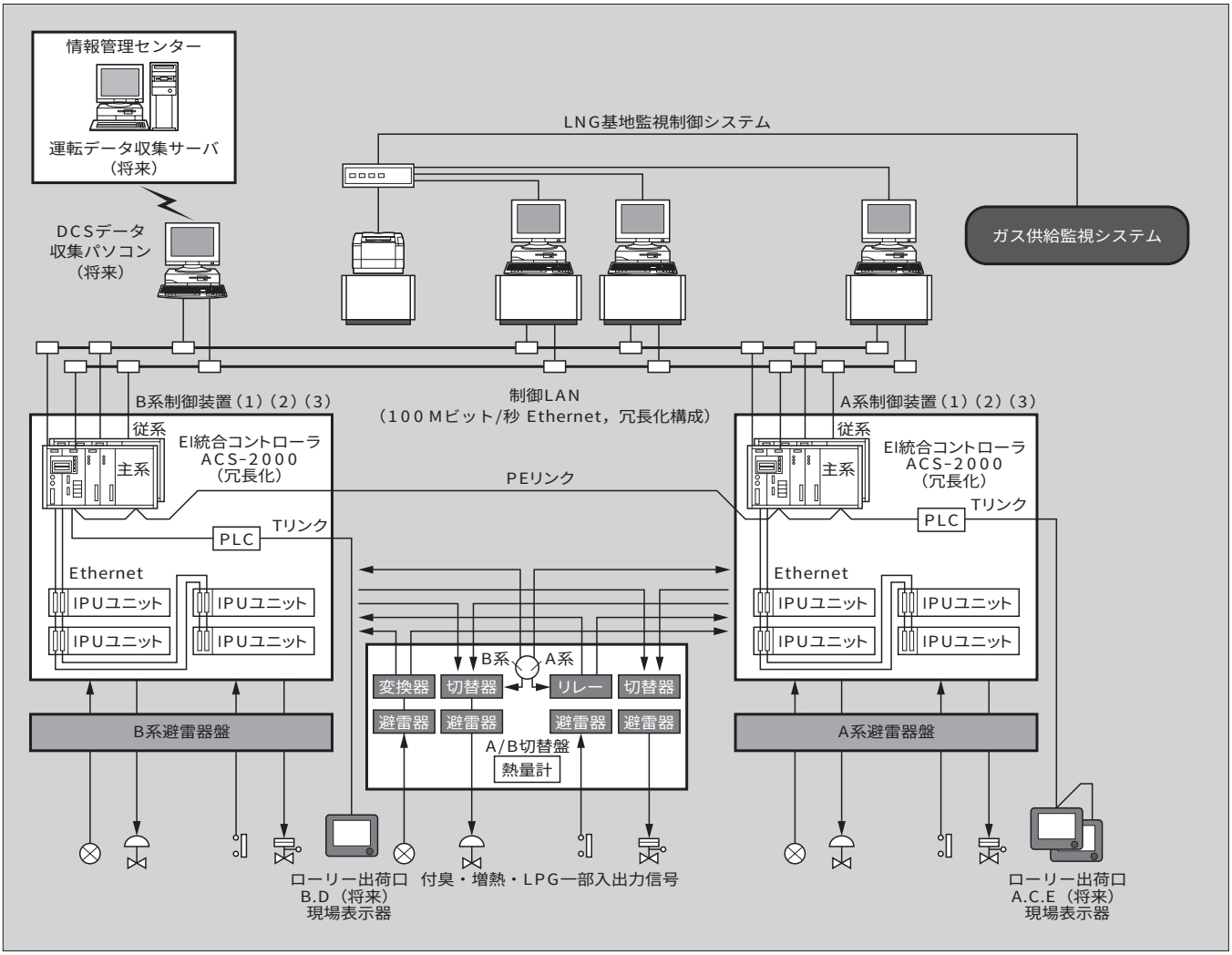
3　計測制御システムの概要

3.1　基地監視制御システム

(1)　システム構成

本設備は公共性の高い設備であり，設備停止は絶対に許されない。このため，分散型制御システム（DCS）を冗長化するとともに，DCS 保守の場合も設備全体を停止することなくガス製造能力の 50 %以上で運転継続できるようにシステム構成が考慮されている。システム構成を**図 3** に示す。制御ステーションは，A 系・B 系の二つの制御ステーションで構成され，気化器や LNG ポンプなど複数ある設備は各制御ステーションに分散して割り付けられている。一方，熱量調整設備，付臭設備などの共通設備は切換

図 3　高松基地計測制御システムの構成



盤を使ってA系・B系どちらの制御ステーションでも切り換えて運転できるようになっている。また，100 M ビット/秒の Ethernet〈注1〉制御 LAN および制御ステーション ACS-2000 の MPU，I/O バス，電源については冗長化構成となっている。オペレータステーション FOCUS は，同等の運転監視機能を持つ 3 台から構成されている。基地の運転データ管理，帳票印字およびローリー出荷管理機能，伝票印字も，FOCUS により行っている。

(2)　エンジニアリング革命ツール「HEART シリーズ」

オペレータステーションのうち 1 台はエンジニアリングステーション機能も持っている。エンジニアリングツールは，制御ステーション ACS-2000 用としてエンジニアリング革命ツール HEART シリーズを使用している。HEART シリーズは，日常使っている OA ソフトウェア（Visio〈注2〉，Excel〈注3〉）を使ってエンジニアリングすることができ，その制御仕様書が制御ステーション ACS-2000 のプログラムに自動変換される。制御仕様書を書いて，これをプログラム支援ツールに入力する必要がないので，エンジニアリングの効率化と高品質なアプリケーションソフトウェアが実現できる。また，オペレータステーション FOCUS 上に表示した制御仕様書にオンラインモニタ機能があり，「HEART-BELIEVE」では作成した制御仕様書上で，入力データの監視，演算データの監視，論理回路監視，出力状態監視が行え，データの設定も行える。また，「HEART-ESPER」「HEART-SELECT」では，工程の進捗（しんちょく）監視，移行条件監視，出力状態監視が行え，また，一時停止，再開，1 ステップずつ工程を進める工程歩進，強制終了などの操作も行える。

〈注1〉Ethernet ：米国 Xerox Corp. の登録商標

〈注2〉Visio ：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注3〉Excel ：米国 Microsoft Corp. の登録商標

3.2　供給監視システム

工場にて製造した都市ガスはガスホルダに蓄えられ，需要に応じてお客様に送り出される。すなわち，需要の少ない深夜には貯蔵し，消費が急速に増加する朝や夕方には送出する。この供給量を調整する機能により，製造と輸送の効率化が適切に行われている。

供給監視システム構成を**図 4** に，監視画面を**図 5** に示す。オペレータステーションは，工場監視制御システムと同様に FOCUS を使用している。高松工場と各供給所をつなぐネットワークシステムは IP-VPN 網を使っている。IP-VPN 網とは，通信プロトコルとして IP を利用し，インターネットやデータ通信網上で実現される仮想的なユーザー専用のプライベートネットワークである。今回は，エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ(株)から提供されているシステムを採用している。なお，高松工場以外の各供給所監視制御装置（MICREX-SX，IP ルータ）は，これから順次既設更新設備として導入される予定となってい

図 4　供給監視システムの構成

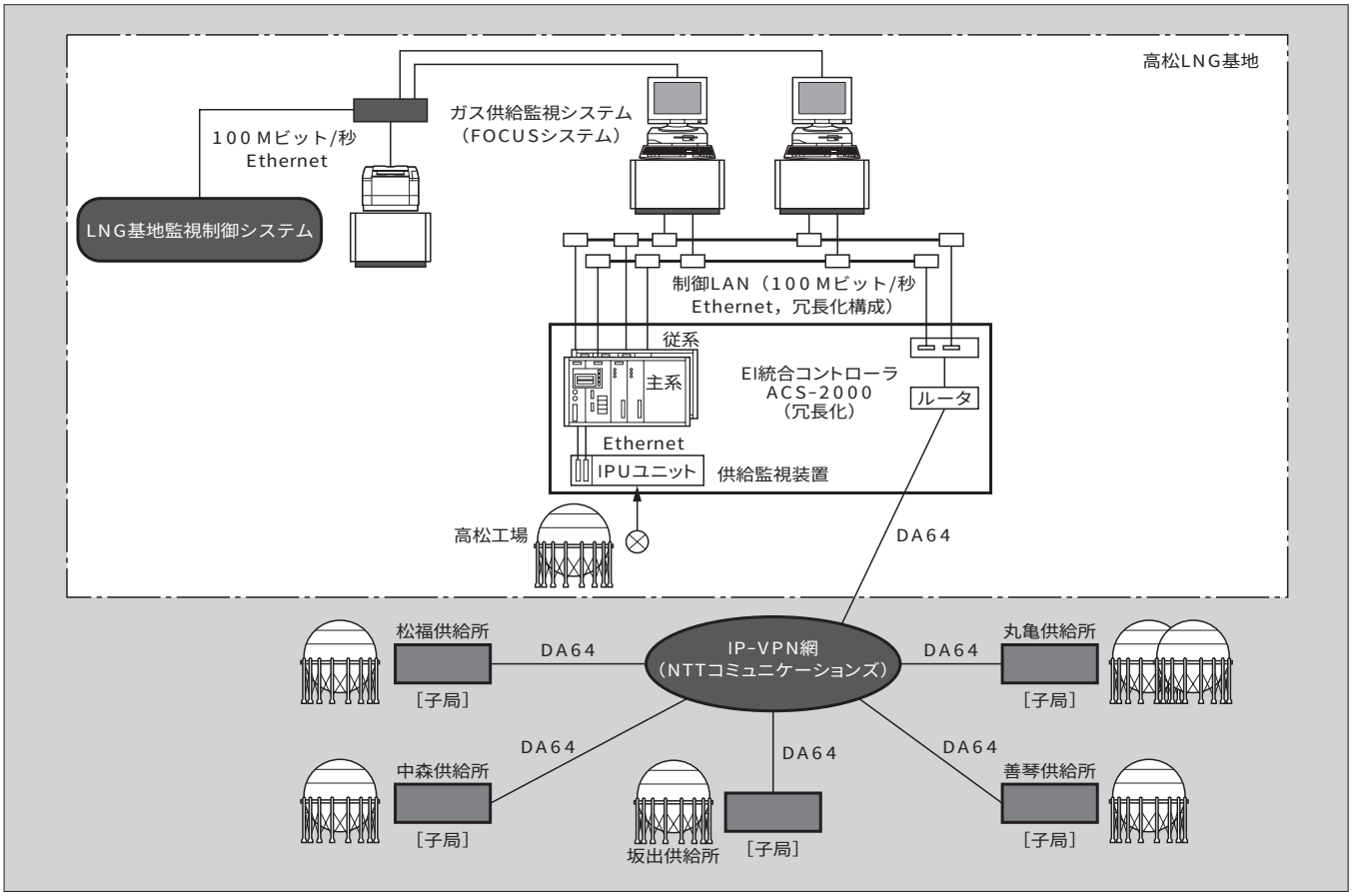


図５　供給監視システムの運転画面

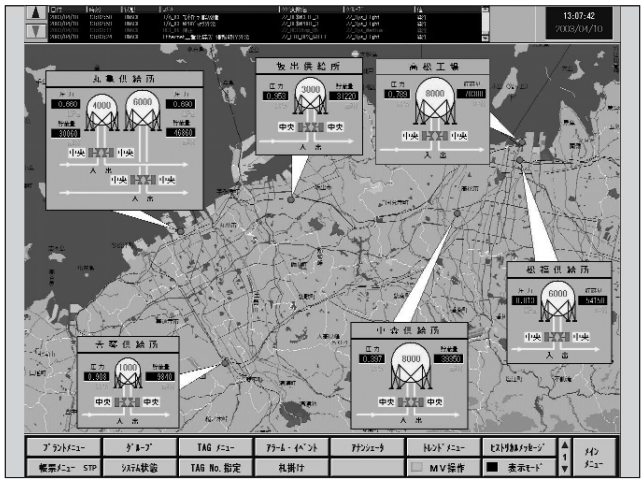


図６　空温式気化器設備の外観

る。

4　工場監視制御システムの主な機能

LNG 基地は，受入・ローリー出荷などのバッチ操作を除いては自動運転が基本となる。主な制御機能には次のようなものがある。

① BOG 圧縮機の制御
② LNG 気化設備の制御
③ 熱量調整設備の制御
④ ローリー出荷設備の制御

4.1　BOG 圧縮機の制御

BOG 処理設備は，LNG 地上式貯槽から発生する低温 BOG を BOG ヒータで加温し，常用 BOG 圧縮機（電動，小容量）および受入用 BOG 圧縮機（ガスエンジン駆動，大容量）により吸引することにより貯槽圧力を一定値以下に保持する。発生する BOG 量は工場運用状態により大きく異なり，また BOG 圧縮機は異なる容量・駆動方式の複数台数で構成されている。このため，BOG 圧縮機の台数制御運転を行うにあたっては，BOG 圧縮機の起動優先順位や１番機の制御方法の異なる運転モード（常用，受入１台，受入２台 A，受入２台 B）が用意してあり，オペレーターが選択できるようになっている。また，貯槽圧力の異常上昇時には BOG 放散弁により圧力の異常上昇を回避する。

処理された BOG は，常用および受入用 BOG 圧縮機により所定の圧力まで昇圧され増熱器へ送出する。

(1)　常用モードでの運転

ローリー出荷や LNG 受入を行わない場合に選択するモードである。気化器運転時は，増熱器へ送出する BOG 量に制約がないので常時定圧制御を行う。気化器停止時には増熱器の処理する BOG 量に下限制約があるため，定圧・アンロード運転を行う。

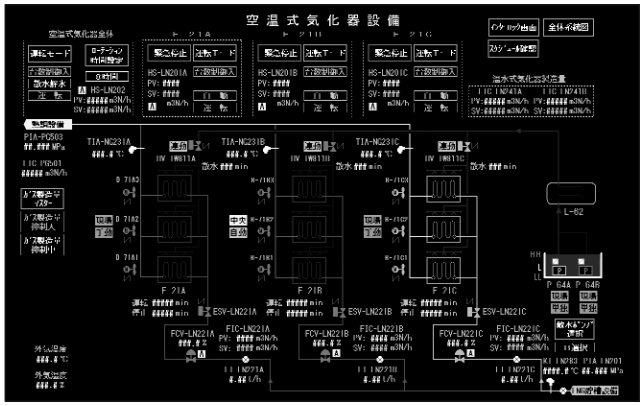
(2)　受入１台モードでの運転

ローリー出荷・ LNG 受入前の LNG 受入管再クールダウン・液張中に選択するモードである。気化器運転時は常時定圧制御，気化器停止時には定圧・アンロード運転を行う。

(3)　受入２台 A，受入２台 B モードでの運転

LNG 受入時に選択するモードであり，常時定圧制御で運転する。

図７　空温式気化器設備の運転画面



4.2　LNG 気化設備の制御

LNG 気化設備は，LNG 地上式貯槽から送出された LNG を空温式気化器と温水式気化器にて気化・加温し NG として増熱器に送出する設備である。通常の運用では空温式気化器をベースロード運転とし，温水式気化器はピークカット運転する。

(1)　空温式気化器の制御

図６に空温式気化器の外観を示す。気化器本体と消霧装置３台のセットを１基（1 系列）として３基（3 系列）の気化器から構成されており，制御モード自動かつローテーション制御入りを選択すると，自動シーケンスにより各気化器を立上げ・立下げし設定値に従い LNG 流量および遮断弁を開閉する。また，設定された負荷・タイムサイクル（4，6，8 時間から気化運転時間を選択）・散水解氷実施の有無に従い運転基数を制御する。**図７**に運転画面を示す。

(2)　温水式気化器の制御

停止モードから運転モードへの移行は，①温水系の立上げ，② LNG 系の立上げの順で行い，逆に運転モードから停止モードへの移行は，① LNG 系の立下げ，②温水系の立下げの順で実施する。

4.3　熱量調整設備の制御

熱量調整設備は，気化器から送出された NG または LNG 貯槽から BOG 圧縮機にて排出された BOG を液化石油ガス（LPG）を導入することによって 13A（46 MJ/m^{3}N）に熱量調整するとともに，温水で加熱することで 0 ℃以上のガスとして送出する設備である。熱量調整設備の運転は自動運転を基本とし，13A ガス製造流量が規定値 a 以上となれば運転し，規定値 b 以下で停止する。

(1)　増熱器ガス熱量制御

原料ガス流量は，LNG 気化器 LNG 流量と BOG 圧縮機吐出量とを産気係数を考慮して合算し，その値から製造ガス熱量を 46 MJ/m^{3}N に増熱するための理論 LPG 量を算出して LPG 流量制御ループの設定値とする。増熱器出口ガス熱量によるフィードバック制御ループは，理論熱量とのずれを補正する目的で設置するが，熱量計測の応答遅れが大きいため移動平均，むだ時間補償をかけている。

また，本熱量調整制御を難しくしているのは送出ガスのターンダウン比が大きいことである。このレンジアビリティをカバーするために，LPG 流量調節弁は親子（大小）の切換方式となっている。

(2)　増熱器ガス温度制御

製造ガス温度によるフィードバック制御と製造ガス流量によるフィードフォワード制御により温水流量を調節している。また，冬期の増熱器停止中に内部の温水凍結を招かないよう温度調節弁開度に下限リミッタを設けている。

4.4　ローリー出荷設備の制御

出荷要員とローリー運転手は現場 LCD（Liquid Crystal Display）表示器に表示される作業ガイダンスに従って作業を行い，確認ボタンを押すことによりシーケンスステップを進めて，タンクローリーへの積込作業を行う。ローリー出荷要員は，現場 LCD 表示器からローリーの確認およびローリー積載量出荷伝票のデータ入力を行う。また，積込作業はアームの接続，パージなどは手動操作であるが，ローリークールダウン，LNG 積込量制御，出荷伝票発行は自動である。

5　あとがき

新日本製鐵(株)経由で四国ガス(株)高松工場へ納入した LNG 受入基地計測制御システムについてその概要を紹介した。今後も各位のご意見を賜りつつ，本システムをよりよいシステムとすべく一層尽力していく所存である。

最後に，本システムの完成にあたりご指導・ご協力いただいた関係各位に感謝する次第である。

参考文献

(1)　吉野稔ほか．生産性と品質を向上させるエンジニアリング支援ツール．富士時報．vol.74, no.9, 2001, p.511–516.

(2)　東京ガス(株)扇島プロジェクトグループ編．環境に優しい最新 LNG 基地の大規模計装．オートメーション．vol.44, no.1, 1999, p.70–90.

解　説　液化天然ガス（LNG ： Liquefied Natural Gas）

メタンを主成分とする天然ガスを－162 ℃に冷却して液化させたもので，体積が気体のときの約 600 分の 1 になる。このため，効率的なタンカー輸送やタンク貯蔵が可能になる。

LNG は，無色・無臭の液体で，液化の際に硫黄分などの不純物が取り除かれており，また，燃焼時の二酸化炭素（CO_2）発生量も石油や石炭に比べ大幅に少ないなど，環境に優しいクリーンなエネルギーである。

LNG 輸出国が地域的に分散していることや埋蔵量も豊富なことから，長期的に安定した供給が可能である。

生産計画に影響を与えない「MICREX-PⅡ」更新手法

佐藤　宏和（さとう　ひろかず）　　坂本　英輝（さかもと　ひでき）

1　まえがき

初期の分散制御システム（DCS：Distributed Control System）は使用部品が枯渇し，保守することが難しくなってきている。そのため，新しい制御装置への更新が必要となるが，近年のユーザーの設備集約などにより設備の稼動率が高く，従来のように長期間の設備停止ができず，単純更新でも実施しにくくなってきている。

富士電機では，既設DCSの制御装置を，有効的に活用しながら分割更新する手法で，老朽化したDCSの更新を実施している。入出力点数約1,000点規模のDCS更新で，通常1～2か月の設備停止期間を要するところを，この手法にて短期間の定期修理（以下，定修と略す）を数回利用し更新切換を実施した。ここでは，鉄鋼プラントにおける制御装置「MICREX-PⅡ」の更新実例をもとに，更新手法を紹介する。

2　制御装置更新の課題

制御装置の更新においては，幾つかの課題が伴うのでそれらについて述べる。

(1)　設備停止期間の短縮

更新は設備規模により異なるが，通常1～2か月かかる。その間，設備を連続停止できればよいのだが，生産計画に影響を及ぼすので，定修日などを利用した更新とし，生産に影響が出ないように配慮する必要がある。

(2)　制御装置の据付けスペース確保

切換のリスク回避のために，新旧制御装置を容易に切換可能な構成とするためには，新しい制御装置と切換盤の据付けスペースを新たに確保しておく必要がある。

(3)　制御機能の確認

設備更新時に，既設制御装置から新しい制御装置へのソフトウェアの完全自動コンバートが可能であれば問題ないが，新旧コントローラ間でアーキテクチャが異なるため，既設ソフトウェアの一部命令語が新コントローラでは使用できない。その際，新コントローラで既設機能を実現するために，既設機能の確認および調査，既設ソフトウェアの解読を行い，新制御システムへソフトウェア移植を行う。しかし，既設のソフトウェアを解読しただけでは，実際の動きが読み取れないのと，新旧ソフトウェア構造の違いなどにより，人的作業によるソフトウェア移植では，必然的にミスを発生する危険性がある。

(4)　新設制御装置のバックアップ

新設制御装置のハードウェアおよびソフトウェアの不具合が原因で，生産設備を稼動できない場合は，その原因が解決するまでの間，設備を稼動することができない。原因解決のめどがたたない場合は，既設制御装置に戻し，早急に生産が可能となるようにしなければならない。

3　制御装置更新の手法

制御装置更新に伴う課題を考慮した更新手法について述べる。

3.1　既設制御装置流用更新の手法

既設の制御装置収納ロッカーおよび外線コネクタを流用する手法である。この手法は，更新に伴う費用のうち建築費，外線工事費などの削減が可能となる。

(1)　制御装置収納ロッカーの流用

既設制御装置収納ロッカーの筐体（きょうたい）を，新しい制御装置の収納ロッカーとして流用する。新規ロッカーの設置スペースを確保する必要がなく，空スペースのない設備でも制御装置の更新が可能となる。

新しい制御装置は，可動式の簡易ラックに実装し，試運転調整を行う。既設ロッカー内の制御装置は，試運転調整完了後に取り外し，簡易ラック実装品の新しい制御装置を既設ロッカー内に移設し，簡易ラックは撤去する。これにより，既設の設置スペースだけでの更新が可能となる。

(2)　外線コネクタの流用

MICREX-PⅡは，コネクタ構造のねじ端子ユニットに，外線ケーブルが接続されている。更新時は切換盤を設置するのが一般的であるが，コネクタ構造のねじ端子ユニット

佐藤　宏和

鉄鋼プラント計測制御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)エンジニアリング本部計測システム統括部計測技術第一部。

坂本　英輝

民需プラント計測制御システムの制御盤実装設計業務に従事。現在，富士電機システムズ(株)エンジニアリング本部計測システム統括部計測技術第二部。

を新旧制御装置に差し替える方式により，切換盤が不要になる。

このねじ端子ユニットを，外線接続したまま流用することにより，外線工事を不要にすることができる。また，外線接続を現状のままで流用することにより，更新によるトラブル発生時に既設制御装置に容易に戻すことができ，長期間の生産設備停止のリスク回避が可能である。

3.2　制御装置部分更新の手法

大規模設備の場合は，リスク回避や予算などの理由から，一度にすべての制御装置更新ができない場合が多い。その際の制御装置を部分的に更新していく手法を以下に述べる。

(1)　オペレータステーションの更新

既設 MICREX-PⅡ と最新機種 MICREX-AX 間をゲートウェイシステムで接続することで，オペレータステーションのみを最新機種に更新することができる。このシステムは，最新機種のオペレータステーション（AOS-2000, AOS-PC2000）から，既設 MICREX-PⅡ コントローラの操作・監視が可能となる（**図1**）。

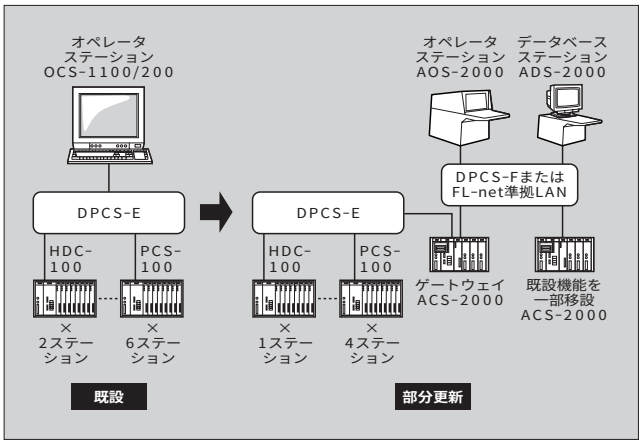
このシステムでは，オペレータステーションから更新していき，次に既設コントローラを順次更新していく部分更新を行うことが可能である。ゲートウェイシステムは，制御用コントローラと同一のハードウェアアーキテクチャを採用しており，最終的には更新対象用のコントローラに転用することが可能であり，重複投資とならない更新手法である。

(2)　ゲートウェイシステム

ゲートウェイシステムは，容易に新旧の制御ネットワーク接続を可能にし，既設と新設間の制御装置をシームレスに使用できる。そのシステム仕様を以下に記載する。

○MICREX-PⅡ コントローラ接続可能台数：8 台/1 ゲートウェイ
○接続可能ネットワーク：DPCS-F，FL-net
（いずれかの 1 回線接続可能）
○計器点数：288 計器（標準）/1 ゲートウェイ
416 計器（拡張）/1 ゲートウェイ
○マルチポイント点数：1,024 点/1 ゲートウェイ

図1　MICREX-PⅡ ゲートウェイシステム



○アプリケーションプログラムの実行が可能

3.3　機能確認の手法

新しい制御装置に置き換えて操業を行うには，十分な機能確認が必要である。その手法について述べる。

(1)　定修時入出力信号接続方式

定修日を利用し，現場機器が接続されている外線コネクタを，既設制御装置から新しい制御装置に差し替えて，更新後の機能確認を行う。機能確認後は，外線コネクタを元の既設制御装置に接続を戻して，既設制御装置で生産を行う。数回の定修での機能確認完了後に，新しい制御装置で生産を開始し，問題なければ新しい制御装置を既設ロッカー制御装置と入れ替えて，更新を行う方式である。

概要およびスケジュールを**図2**に示す。

第 1 回定修：現場取合試験
（現場機器－制御装置間の接続試験）
第 2 回定修：単独機能試験
第 3 回定修：連動機能試験
試験完了後から既設制御装置を残したまま，
新しい制御装置で操業開始
第 4 回定修：ロッカー内制御装置の入替え

(a)　メリット
○試験ごとに現場機器と接続し動作確認を行うので，各定修日に問題抽出が可能である。
○既設制御装置を残したうえで，新しい制御装置で操業を行うので，すぐに手直しできない事象が出た場合は，外線コネクタの差替えで既設制御装置の操業に戻せる。
○外線コネクタ差替え方式のため，信号切換盤の製作が不要である。

(b)　デメリット
○各定修日における作業時間が限られるので，不測の問題が出た場合は，解析時間が十分に取れない。その場で解決できない場合は，次回の定修作業に持ち越し動作確認をすることになる。

(2)　常時入力信号接続方式

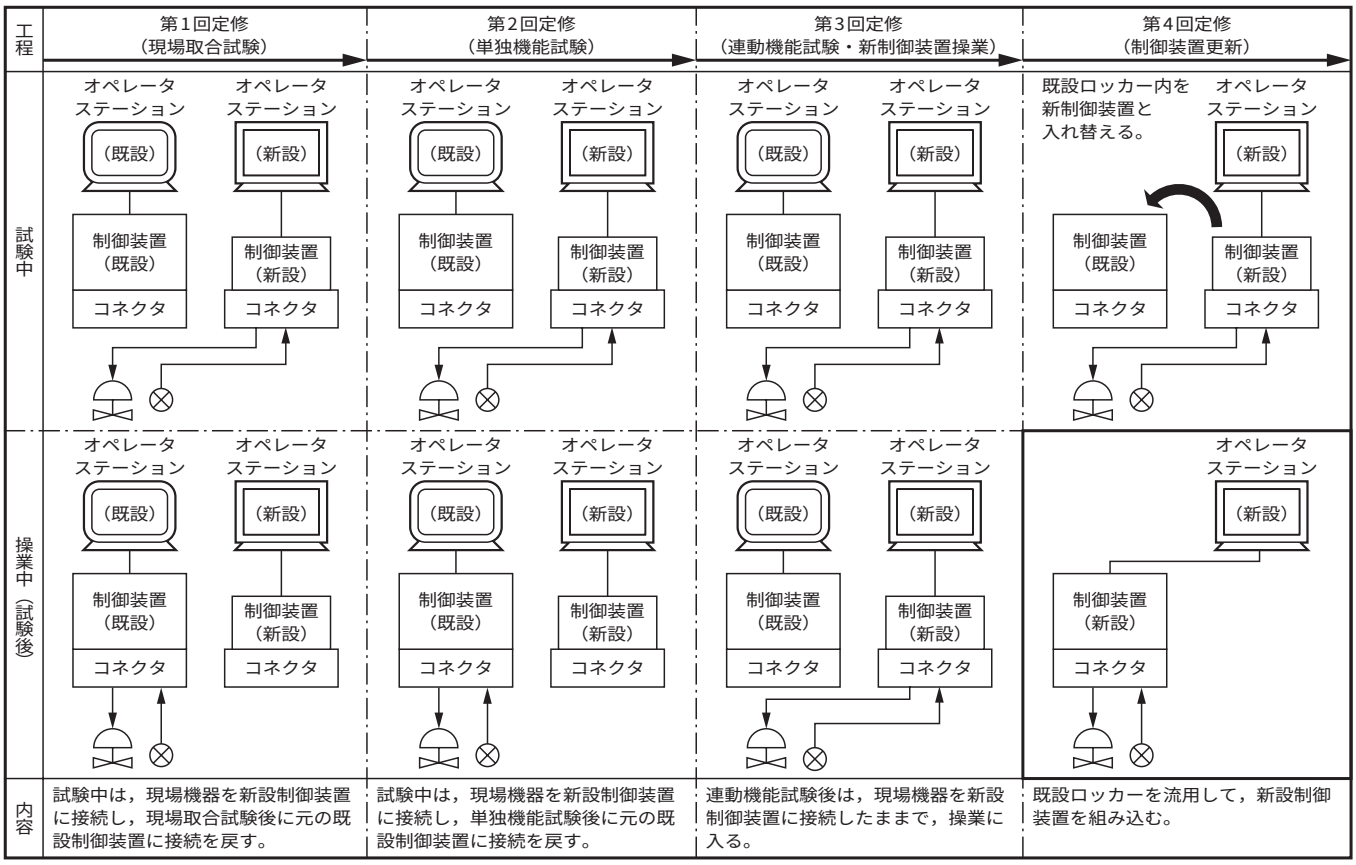
定修日だけでなく常時，新しい制御装置に現場機器の入力信号を取り込んで機能確認を行う。

これは，信号分配ユニットを用いて現場信号を既設制御装置と新しい制御装置に並列に接続し，既設制御装置にて操業中でも，新しい制御装置で現場の入力信号を用いた機能確認が実施できる。これにより，新旧制御装置の入出力をデータレコーダに記録し見比べての動作確認が可能となり，新しい制御装置での機能検証が完了する。新しい制御装置にて操業を開始し，問題がなければ新しい制御装置を既設ロッカー制御装置と入れ替えて，更新を行う方式である。

概要およびスケジュールを**図3**に示す。

第 1 回定修：信号分配ユニットの設置
信号分配後，単独・連動の機能確認を行う。
第 2 回定修：現場取合試験
（現場機器－制御装置間の接続試験）

図２　定修時入力信号接続方式



試験完了後から既設制御装置を残したまま，新制御装置で操業開始

第３回定修：ロッカー内制御装置の入替え

(a)　メリット

○前項の制御装置更新と比較して定修１回分の工期短縮が可能である。

○既設制御装置の動作と，新しい制御装置の動作が比較できる。

○１回目から２回目定修日までの間，現場入力信号による機能確認が可能（出力はデータレコーダにて確認する）である。

○既設制御装置を残したうえで，新しい制御装置で操業を行うので，すぐに手直しできない事象が出た場合は，外線コネクタの差替えで既設制御装置の操業に戻せる。

(b)　デメリット

○信号分配ユニットのコストがかかる。

「定修時入出力信号接続方式」と「常時入力信号接続方式」について，それぞれの特徴を述べたが，前者は更新費用低減を重視した手法，後者は更新工期の短縮を重視した手法である。

4　制御装置更新のドキュメント

既設のドキュメントは，納入以降の改造による，変更記載が未フォローのままとなっている場合があり，現状機能と不整合を生じている場合がある。また，仕様記述箇所が各ドキュメントに点在していて機能のつながりが分からないなどの問題もある。

過去における機能仕様書作成は，詳細記述に応じて，機能仕様書，ゼネラルフローチャートなどの図面作成を行っていたが，現在はそれらの図面統合を可能にした，エンジニアリング革命ツール「HEART」（High Efficient Advanced engineeRing Tool）シリーズの「BELIEVE」（BEautifuL InstrumEntflow Visual Editor）を積極的に適用している。これは，Microsoft Office のグラフィックスソフトウェアである Visio〈注〉を使用したツールで，Visio で作成した仕様書からソフトウェア生成が可能な，優れたオートプログラミングツールである。このツールを使用することにより，「仕様書＝ソフトウェア」となり仕様記述が漏れることなくドキュメントに残る。また，その図面でコントローラ内部データのオンラインモニタリングも可能なため，試運転調整，不具合調査の保守にまで利用可能である（**図４**）。

5　制御装置更新の展望

現行の設備更新を確実に行うのは当然であるが，ここで得た教訓を生かし，次期更新も想定した手法が適用できれば理想的である。今後も設備を存続させ生産を継続するためには，安易に更新手法を選択するのではなく，将来の更

〈注〉Visio：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図3　常時入力信号接続方式

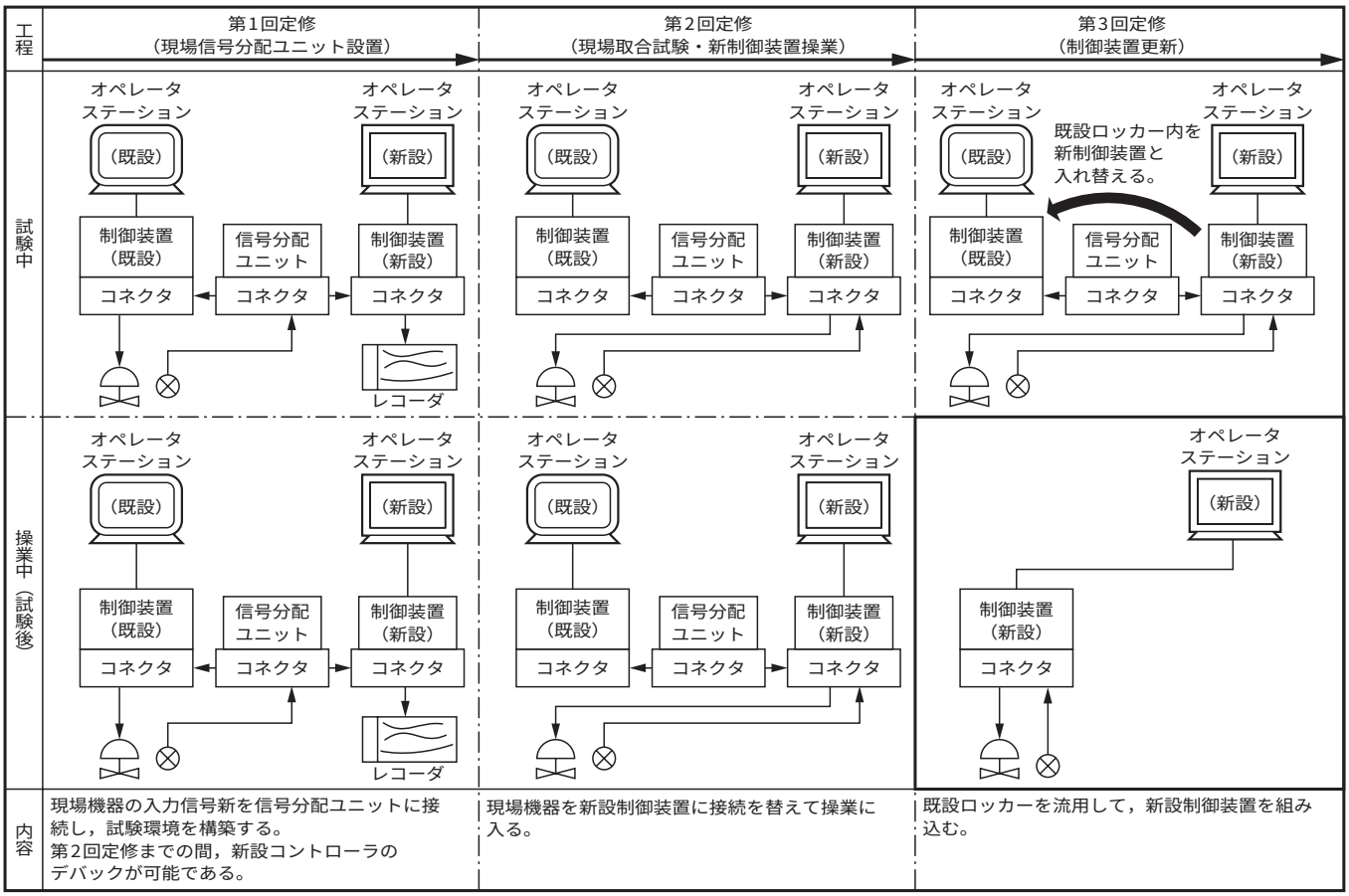
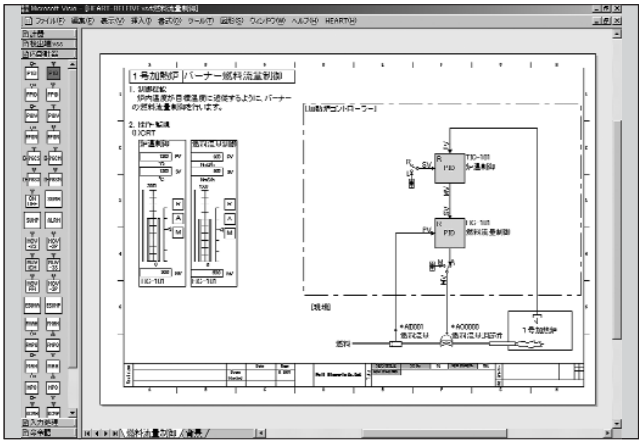


図4　HEART-BELIEVE で作成した計装フロー



新負担を減らすことを考慮することも必要である。

前述の BELIEVE ツールは，仕様書からのソフトウェア生成において，ターゲットコントローラに応じた，ソフトウェア生成コンバータを選択することが可能である。十数年先に再度更新時期を迎えることになるが，更新対象となる制御装置がどのようなコントローラになっていても，コンバータを載せかえるだけでソフトウェア生成が可能である。これは，更新する際に BELIEVE ツールで作成した機能仕様書が，将来の更新時にも使用可能であり，次回の更新負担を大幅に軽減できる。

6　あとがき

制御装置の更新は，機能アップの実現，保守部品枯渇の点から今後も必ず必要となる工事計画である。ハードウェア，ソフトウェアとも，さらに確実で効率のよい更新手法の考案が必要である。

本稿は，更新時期を迎えた MICREX-PII を主体に述べたが，今後更新していく MICREX-PIII，MICREX-IX については，参考文献(1)，(2)を参照いただきたい。

今後もより一層，ユーザーの立場となり更新手法の提案および実現に尽力していく所存である。

参考文献

(1)　笹谷俊幸．顧客レガシー（設備財産）を継承する分散制御システム．富士時報．vol.74, no.9, 2001, p.502-506.

(2)　早川広明ほか．分散形制御システム「MICREX」における R ビジネスの展開．富士時報．vol.72, no.9, 1999, p.482-484.

(3)　吉野稔ほか．生産性と品質を向上させるエンジニアリング支援ツール．富士時報．vol.74, no.9, 2001, p.511-516.

(4)　吉野稔，北村純郎．OA ソフトウェアを用いたエンジニアリング支援ツール．計装．vol.44, no.7, 2001, p.65-70.

温度調節計「PXR シリーズ」

萩岡　信和（はぎおか　のぶかず）

1　まえがき

ひと昔前，温度制御や機械制御の分野では，ファジィ制御や PID（Proportional，Integral，Derivative）制御を核としたアドバンスト制御技術の応用が盛んであった。その流れの中で 1993 年，富士電機においてもファジィアルゴリズムを応用し，装置立上げ時のオーバシュートおよび外乱応答特性を改善した温度調節計「PYX シリーズ」を市場に投入してきた。

近年，生産現場では現場従事者の高齢化・多能工化，製造装置の小型化・低価格化が進んできた。このように生産現場の事情が変化してきたことで，現場計器である温度調節計にもこれまでの小型・多機能という特徴だけでなく，幅広い年齢層のユーザーにも使いやすく親しみが持てることが求められている。

この要求に対して本稿で紹介する温度調節計 PXR シリーズでは，「表示を大きく見やすくしたこと」「操作キーの数を三つに限定したこと」「セルフチューニング機能を搭載しチューニングレスで使えるようにしたこと」で使いやすく親しみやすい製品を実現した。

もちろん，奥行寸法の小型化やシステム化を容易にするための多くの周辺機能も同時に盛り込んでいる。

2　PXR シリーズの概要

図 1 に示すのが，今回新たに開発したセルフチューニング機能付き多機能温度調節計（PXR シリーズ）である。

PXR シリーズは「表示が大きい」「コンパクト」「多機能」の三つの大きな特徴を持った温度調節計である。

前面の温度表示器に既製品の 7 セグメント LED（Light Emitting Diode）を使用せず，筐体（きょうたい）の一部としてモールド化することで大型表示を実現した。

また，回路設計段階では小型パッケージ部品を積極的に採用し，基板サイズを縮小することで奥行サイズの短縮（従来比約 78 %）を実現した。

そのほか，従来機種 PXZ，PXW，PXV シリーズおよび PYX シリーズで補完し合っていた機能を PXR シリーズに実装し，1 台ですべての用途に使えるように機能の集約を行った。

図 1　PXR シリーズの外観

図 2　富士電機の温度調節計ファミリー

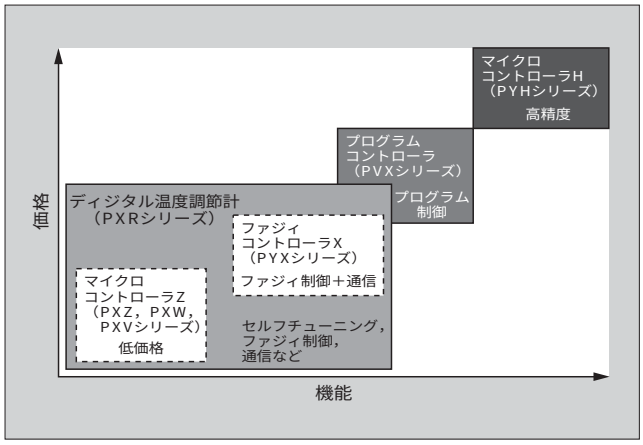


図 2 に示すように PXR シリーズは中級機 PYX シリーズの機能を網羅しつつ低価格機種 PXZ シリーズの価格を実現したコストパフォーマンスが高く，対応力のある製品となっている。

また，PXR シリーズは用途に応じ 4 種の前面サイズ，PXR3（24 × 48 mm），PXR4（48 × 48 mm），PXR5（48 × 96 mm），PXR9（96 × 96 mm）を用意しており，これらすべてのサイズにセルフチューニング制御，ファ

萩岡　信和

温度調節計，プロセス調節計，電力モニタなどの開発・設計に従事。現在，富士電機インスツルメンツ（株）技術本部電子機器技術部主任。

ジィ制御，PID 制御の 3 制御方式を標準で実装している。

このほか，加熱冷却制御機能，最大 2 パターンに分割して使用できる 8 セグメント・ランプソーク機能（簡易プログラム制御機能），プログラマブルコントローラ（PLC）との接続を意識した Modbus〈注1〉（RTU）/ASCII（独自プロトコル）2 種類のプロトコルを実装した通信機能（RS-485），4 ～ 20 mA アナログ転送出力機能，外部接点入力機能（最大 2 点），31 種類の警報接点出力機能（最大 3 点），3 種類のオンオフタイマ機能，ヒータ断線検知機能，前面防水（IP66・NEMA4X 相当）も実装できる多機能な製品である。

3　セルフチューニングとファジィ制御

3.1　セルフチューニング

PXR シリーズでは兼ねてから調節計が課題としてきた制御定数チューニングの自動化という課題をセルフチューニングエンジンを搭載することで解決した。

このセルフチューニングエンジンは温度調節計に特化したものとなっており，**図 3** に示す構成となっている。

温度調節計においてチューニングが必要な条件は以下の三つのケースにまとめることができる。

(1)　システム電源投入によるプロセス立上げ時

(2)　SV（設定値）変更時

(3)　プロセス定数の変化による制御乱れ時

PXR シリーズのセルフチューニングエンジンは(1)，(2)の条件をトリガとして，制御対象の特性を自動的に判別し，ステップ応答法またはリミットサイクル法のいずれかを適用し制御定数の同定を行っている（**図 4**）。

また，(3)のケースについては MV（操作量）のハンチングをトリガとしてリミットサイクル法で制御定数の同定を行っている（**図 5**）。

〈注 1〉Modbus ： Gould Modicon 社の登録商標

図 3　セルフチューニング機能ブロック

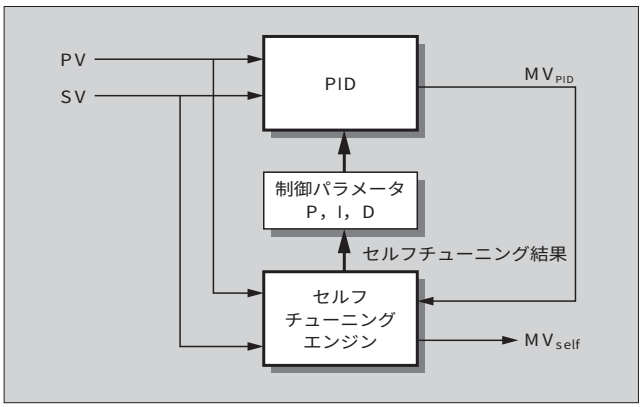
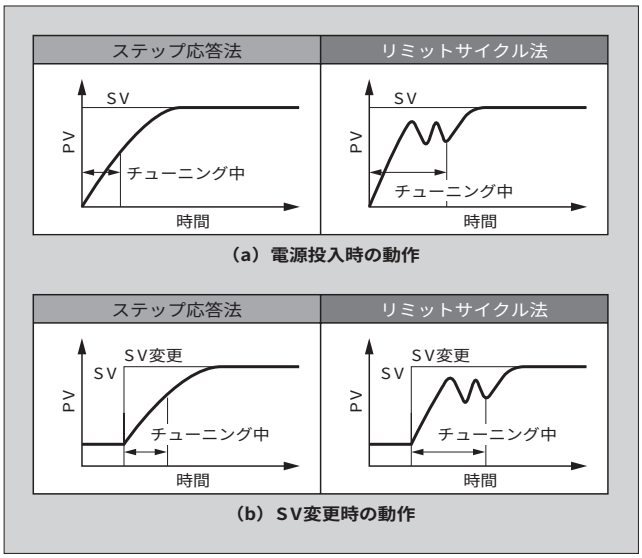


図 4　電源投入時および SV 変更時のセルフチューニング



3.2　ファジィ制御

従来の PID 制御理論では，オーバシュート抑制と外乱

図 5　制御乱れ時のセルフチューニング

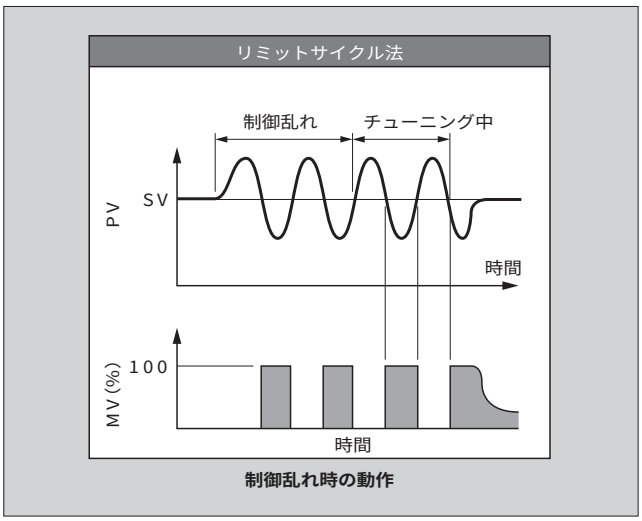


図 6　ファジィ機能ブロック

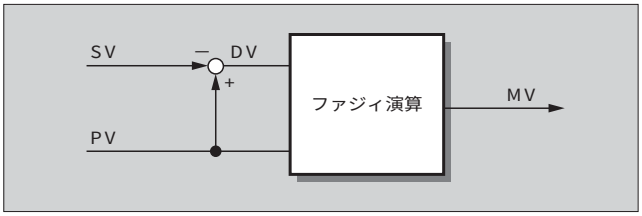
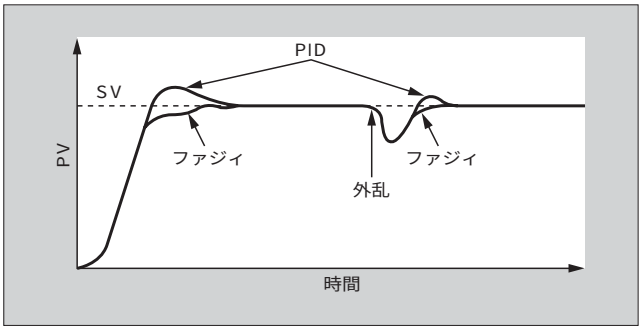


図 7　ファジィ制御の例



抑制という二つの相反する問題を解決することができないことは周知のことである。これらの相反する課題を解決するため PXR シリーズではファジィ推論を用いた制御機能を実装することとした。この機能ブロックを**図6**に示す。

PXR シリーズのファジィエンジンには温度調節計用にチューニングされたファジィルールを実装しており，入力された PV（測定値）および DV（偏差値）をもとにメンバシップ関数を用いた大小比較を行い，オーバシュート抑制および外乱抑制の両方に有効となる非線形な MV（操作量）を出力する仕組みとなっている。**図7**に制御例を示す。

ファジィ制御による制御結果はオーバシュートがなく整定時間も PID 制御に比べ速い。

4　PXR シリーズのその他の機能

本章では PXR シリーズのその他の機能について説明する。**表1**に PXR シリーズの仕様一覧を示す。

表1　PXRシリーズの仕様一覧

機　能	仕　様
測定値入力	熱電対（9種），測温抵抗体（Pt，JPt），サーミスタ（2種），電圧
制御出力	リレー接点出力，SSR駆動出力（電圧パルス），4～20 mA電流出力
制御演算機能	PID，ファジィ，セルフチューニング
加熱・冷却制御	可　能*
通信機能	Modbus（RTU）・ASCII（独自プロトコル）選択式 RS-485*
簡易プログラム機能	最大2パターン　8セグメント*
設定値切換	最大4設定まで（ディジタル入力2点の場合）*
タイマ機能	オンディレイ・オフディレイ・オンオフディレイ*
警報機能	31種類（ラッチ，励磁/非励磁，オンディレイも可能）*
警報出力	最大3点*
ヒータ断線検知	1点まで可能*
アナログ転送出力	1点（PV，SV，MV，DVを転送可能）*
ディジタル入力	最大2点*
入力精度	±0.5 %FS（±0.5 %FS±1℃：熱電対入力の場合）
制御演算周期	500 ms
メモリ保護	不揮発性メモリ
電源電圧	AC100～240 V，AC/DC24 V
防　水	前面防水（IP66・NEMA4X相当）
外形寸法（高さ×幅×奥行）	○24×48×97 mm（PXR3） ○48×48×78.8 mm（PXR4） ○48×96×78 mm（PXR5） ○96×96×79.5 mm（PXR9）
ケース色	黒（前面枠・ケース）
質　量	○約150 g（PXR3）○約200 g（PXR4） ○約300 g（PXR5）○約300 g（PXR9）
外部端子	M3ねじ端子（PXR4/5/9），差込端子（PXR3）

＊：オプション

4.1　2 プロトコル通信機能（RS-485）

PXR シリーズの通信は温度調節計分野では標準となりつつある Modbus（RTU）プロトコルに対応しており，富士電機のプログラマブル操作表示器（UG シリーズ）や Citect5〈注2〉（SCADA パッケージ）に容易に接続できるため，ユーザーはプログラムレスで温度監視システムを構築することができる。電気的仕様は RS-485 仕様となっており最大 31 台，総延長 500 m までの通信接続が可能である（**図8**）。

また，射出成形機など PLC を上位とした ASCII プロトコル通信システムへの対応も視野に入れ，ASCII プロトコル（PXR シリーズ独自）も同時に実装し切換可能とした。

4.2　簡易プログラム機能（8 ランプソーク機能）

最大容量 8 ステップのランプソーク機能を搭載しており，8 ステップ× 1 パターンまたは 4 ステップ× 2 パターンのプログラム温度制御を可能とした。

このプログラム制御のスタート・ストップ信号は前面のキー操作のみでなく，外部接点によるディジタル入力からも操作することができる（**図9**）。

また，プログラム運転の繰返し指定や，プログラム終了後の制御続行・停止などの設定もできるようにした。

4.3　4 ～ 20 mA 転送出力機能

DC4 ～ 20 mA 統一信号出力によるアナログ転送出力ユニットを実装可能で，記録計などの外部計器に PV，SV，MV，DV から 1 種類の信号を選択して転送することができる。

温度測定の際に，従来は，温度調節計と外部計器におの

〈注2〉Citect5：オーストラリア・サイテクト社が開発した SCADA ソフトウェア

図8　温度監視システム例

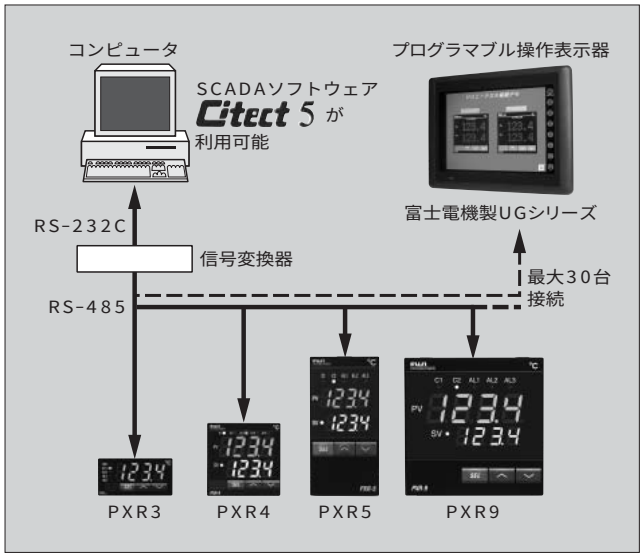


図9　簡易プログラム機能

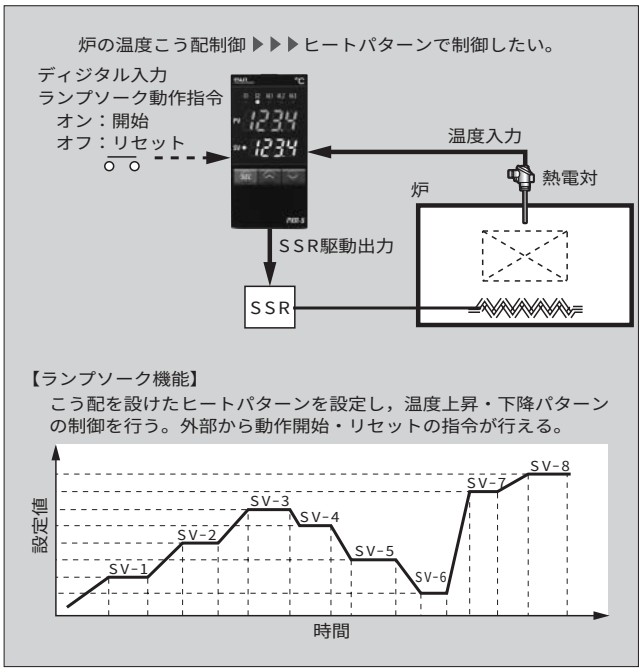


図10　4～20 mA 転送出力機能

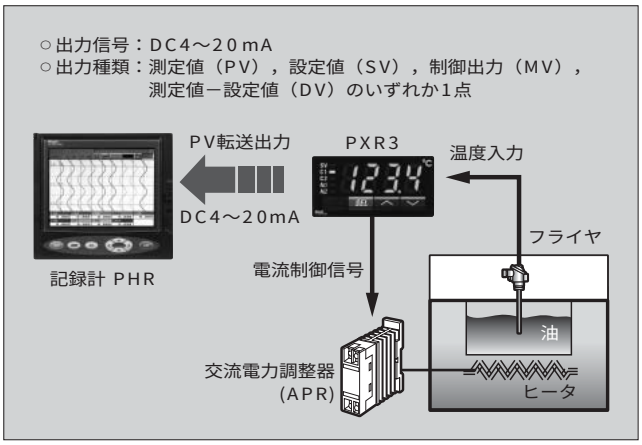
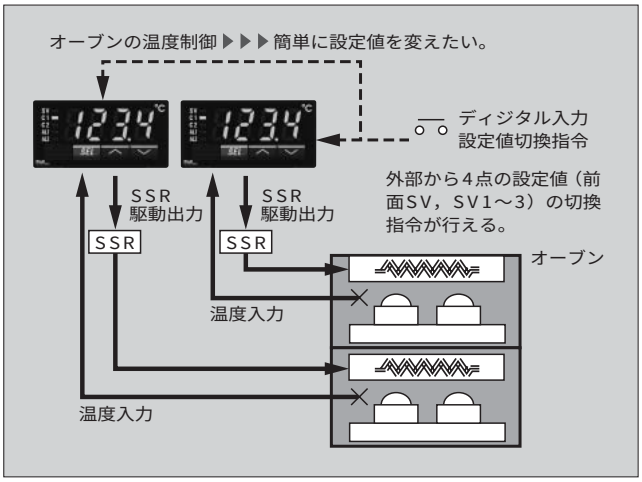


図11　SV 選択機能



おの一つずつ温度センサを設置していたが，温度調節計のセンサで温度を測定し転送することで簡単に誤差なく記録計でも制御結果を記録することができる（**図10**）。

4.4　SV 選択機能

最大 4 設定の SV 選択機能を実装可能で，2 点の外部接点からのディジタル入力で SV を 4 種類まで切り換えることができる。

複数ゾーンの温度制御など運転中に複数台の設定温度を一斉に変更する必要があるアプリケーションにおいて，1 か所の接点を操作することで一斉に温度設定を変更することができる（**図11**）。

4.5　タイマ機能

警報接点出力をオンディレイ・オフディレイのタイマ出力として使用可能で，スペース上の理由で別途タイマを設けることが困難な小規模アプリケーションでの使用に有効である。

4.6　前面防水構造

前面パネル部は IP66・NEMA4X 相当の防水仕様となっており，食品加工機など衛生上の理由で水洗いが必要な用途にも十分耐えうる仕様となっている。

5　あとがき

温度調節計 PXR シリーズについて紹介した。

今日，射出成形機や食品機械・半導体製造装置などの温度調節計アプリケーションにおいて小型化・高機能化・低価格化の要求が高まっていくだけでなく，使いやすさの面でもオペレーターを選ばず簡単にチューニングレスで使えるような調節計の要求がますます増加すると考えられる。

本稿で紹介した PXR シリーズはセルフチューニングでのチューニングレスを実現し，コンパクトサイズながら多種多様な機能を搭載し，従来の低価格機種群の価格を実現したという意味では市場の要求にマッチした製品といえる。

今後，温度調節計によるシステム構築に際し，本稿が参考になれば幸いである。

参考文献

(1)　Kakizakai, K. et al. New Compact Temperature Controller with Fuzzy Logic. FUJI ELECTRIC REVIEW. vol.39, no.3, 1993, p.99-102.

シングルビーム式プロセス用 4 成分赤外線ガス分析計とその用途

中村　裕介（なかむら　ゆうすけ）　　赤尾　幸造（あかお　こうぞう）

1　まえがき

富士電機は，プロセス用の赤外線ガス分析計を発売して約 50 年の歴史がある。この間，ボイラ制御，鉄鋼や熱処理工業炉内雰囲気制御，ダイオキシン類対策用一酸化炭素（CO）計を含む固定発生源用窒素酸化物（NOx）計，二酸化硫黄（SO_2）計，自動車排ガステスタなどその時代のプロセス制御や環境対策用途に応じたガス分析計を開発しお客様にご使用いただいている。シングルビーム式の赤外線ガス分析計は，比較のための光路および測定室（セル）が不要で構造がシンプルなために一般工業プロセス用として 1 万台以上の実績がある。

本稿では，従来の 2 成分測定シングルビーム式赤外線ガス分析計に対して 1 台の分析計で酸素（O_2）を含む最大 4 成分のガスを同時測定可能とし，操作性および各種機能を向上させたシングルビーム式赤外線ガス分析計（型式：ZRJ）の仕様，特徴および最近の用途について紹介する。

2　特　徴

(1)　最大 4 成分の同時測定

CO_2，CO，メタン（CH_4），SO_2 の中から最大 3 成分および O_2 を加えて 4 成分の同時測定が可能である。O_2 計は測定ガス中に可燃性ガスが存在しても測定可能な精度のよいダンベル形磁気力式を採用している。また，富士電機のジルコニア酸素計を含む外部設置の O_2 計信号入力で測定値表示が可能である。

(2)　長期安定性

独自の長寿命光源，測定部を持つ安定した光学系は，測定セルの汚れに起因するドリフトが少ない。また，熱線風速型のマスフローセンサを採用した検出器は，信頼性が高く長寿命でノイズが少なく耐震性にも優れている。

(3)　少ない他ガスの干渉影響

ユニークな透過型直列二層構造の検出器により他ガスの干渉影響が非常に小さい。

(4)　メンテナンスが容易

図 1　シングルビーム式 4 成分赤外線ガス分析計

ダブルビーム式の光学系に比べて光学バランス調整が不要で，シンプルな測定部ユニット構成のため保守性に優れている。

(5)　分かりやすい操作性

大型液晶画面の採用により対話形式の操作が可能となり，初めてでも使いやすく操作性がよい。

(6)　豊富な機能

ゼロスパン自動校正，測定値 O_2 換算出力および移動平均出力，上下限警報出力，自己診断機能，各種リモート入力，RS-232C（Modbus〈注〉）通信など豊富な機能を持つ。

3　外観および主な仕様

シングルビーム式赤外線ガス分析計の外観を**図 1** に，主な仕様を**表 1** に示す。

4　測定原理

4.1　シングルビーム式赤外線ガス分析計

図 2 にシングルビーム式赤外線ガス分析計の構成を示す。単光源，単光路の非常にシンプルな構造である。光源から放射された赤外線はチョッパによって一定周期で断続され

〈注〉Modbus ： Gould Modicon 社の登録商標

中村　裕介

水質計，ガス分析計の設計開発，およびエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機インスツルメンツ(株)技術本部環境機器技術部主査。

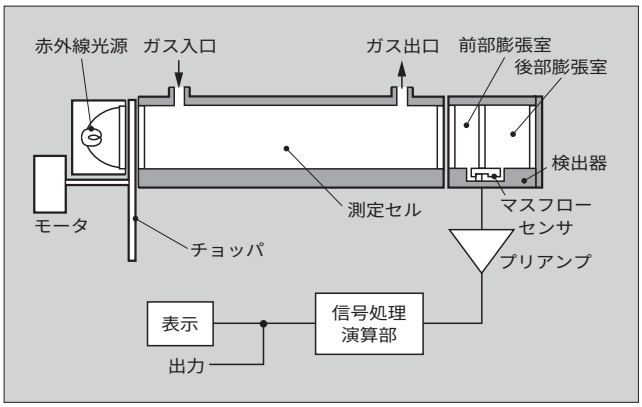
赤尾　幸造

ガス分析計の設計開発，およびエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機インスツルメンツ(株)技術本部環境機器技術部主任。

表１　主な仕様

測定方式	CO_2，CO，CH_4，SO_2：非分散型赤外線吸収法（シングルビーム式） O_2：ダンベル形磁気力式
測定成分および測定範囲	CO_2：0～500 ppm…100 vol% CO：0～200 ppm…100 vol% CH_4：0～1,000 ppm…100 vol% SO_2：0～1,000 ppm…5,000 ppm O_2：0～5 vol%…100 vol%
性　能	繰返し性　：フルスケールの±0.5％ 直線性　：フルスケールの±1％ ドリフト　：フルスケールの±2％／週 応　答　：15秒（90％応答）
アナログ出力 通信機能	DC4～20 mAまたはDC0～1 V RS-232C（Modbusプロトコル）
接点出力	計器異常，レンジ識別，上下限濃度警報など
接点入力	レンジ切換，自動校正スタートなど
電源，消費電力	AC100～240 V，70 VA
周囲温度，湿度	－5～＋45℃，95％RH以下
外形寸法	177（H）×483（W）×493（D）mm
取付け	19インチラック取付け
ケース材質，色	鋼板，オフホワイト
測定ガス出入口	Rc1/4 またはNPT1/4
標準測定ガス条件	流　量：1±0.5 L/min 温　度：0～50℃ 圧　力：10 kPa ダスト，ミストないこと

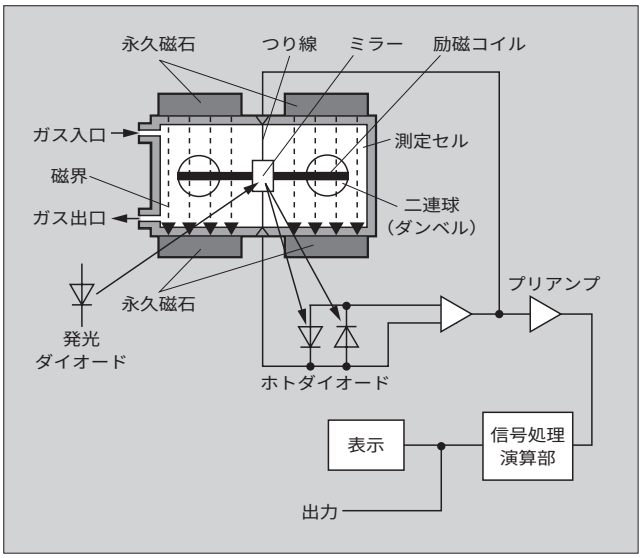
図２　シングルビーム式赤外線ガス分析計の構成



た後，測定セル中の測定成分によりその一部が吸収され検出器に到達する。

検出器は前部膨張室および後部膨張室からなり，通常測定成分ガスと同種のガスが封入されている。また，両室は細い通路で結ばれ，その中間にマスフローセンサが設けられている。検出器に到達した赤外線は，前室でその一部が吸収された後，後室で残りを吸収する。この赤外線吸収により両室の圧力上昇量に差が生じるように設計されているために，両室を結ぶ通路に微少なガスの流れが発生する。この微少な流れはマスフローセンサにより検知され，電気信号に変換される。検出器に到達する赤外線は，前述のようにチョッパにより周期的に断続されるので検出器出力は交流となる。検出器信号はゼロガス流通時に最大となり，測定ガスの濃度が増加するに従って小さくなる。

図３　ダンベル形磁気力式酸素計の構成



測定ガス中に測定成分ガスと赤外線吸収波長帯が一部重なる干渉成分がある場合，同様に検出器の両室で圧力上昇を生じるが，この場合，ほとんど同程度の圧力上昇となるように設計されているので互いに打ち消し合ってその影響は非常に少なくなっている。

4.2　内蔵ダンベル形磁気力式酸素計

図３にシングルビーム式プロセス用４成分赤外線ガス分析計に内蔵するダンベル形磁気力式酸素計の原理図を示す。この方式は，他の共存する測定成分に比べて大きな常磁性を持つ酸素の物理的性質を利用している。

磁界の中に非磁性体の二連球（ダンベル形状）が励磁コイルとともに金属線でつるされている。ゼロガスを測定するとき，二連球は中央に固定されている反射鏡でセンサブロック内に設置された発光ダイオードからの光を反射し，２個のホトダイオードが受光した信号の差を感知して励磁コイルに電流を流しバランスした状態にある。

酸素を含む測定ガスを二連球の周囲に導くと酸素が球体を押しのけて磁界の最も強い部分に近づこうとするため，球体を磁界の外に押し出そうとする力が働き，つり線はねじられる。このねじれは二連球中央の反射鏡により光量のバランス変化として各ホトダイオードで検出され，ねじれを元に戻すように電流を励磁コイルに流す仕組みとなっている。この電流の大きさが酸素濃度に比例しているのでこの値から酸素濃度を測定する。

5　プロセスへの適用例

図４に本分析計の基本的なサンプリングシステムを示す。吸引された測定ガスは一次フィルタで除じん，ガスクーラにより除湿，流量調節，二次フィルタを通過して前処理後分析計に導入される。ジルコニア酸素計などの外部設置のO_2計は，分析計の後段に接続する。分析計は排出口の圧力の影響を受けるので大気開放での使用を前提としている。

プラント設備のガス条件に合わせてサンプリングシステムにガス洗浄器，除湿の強化など各種補器類が追加される。本分析計の測定範囲に合致した適用例と特徴を次下に述べる。

5.1　製鉄・精錬分野

高炉，転炉，コークス炉など各種炉の燃焼管理および排ガスの回収のための CO ガスの濃度測定，爆発防止のための O_2 測定など CO，CO_2，O_2 濃度が監視されている。測定範囲は，CO：0 ～ 100 %，CO_2：0 ～ 50 %，O_2：0 ～ 5/25 %程度である。

サンプリングでは，高速応答，ダスト対策の強化，測定点の多点切換システム対応，分析計内のパージなどがポイントとなる。

5.2　熱処理炉

図 5 に金属熱処理炉における分析計の適用例を示す。

金属加工・素材熱処理産業では，金属加工製品の浸炭，焼入れ，焼なまし用の各種の熱処理炉が使用されている。金属熱処理と深い関係のある炉内ガスの炭素位〔CP（Carbon Potential）値〕は，CO_2 ガス濃度と相関があり，CO_2 測定による炭素位のコントロールは安定した製品品質の確保に重要な役割を果たしている。従来からこの分野で富士電機の赤外線分析計は多くの実績があり，本分析計では熱処理炉内の CO_2，CO，O_2 ガスと発生ガスの CO，CH_4 ガスがサンプリング切換により 1 台の分析計で測定可能となるため，分析装置の小型化，コストメリットが大きく，熱処理炉のより緻密（ちみつ）な制御に貢献する。O_2 測定は，熱処理炉のガス置換確認や爆発防止のために測定する。測定範囲は，CO_2：0 ～ 2 %，CO：0 ～ 50 %，O_2：0 ～ 25 %，CH_4：0 ～ 2 % 程度である。

測定ガスは，ダスト量，露点約 5 ℃でガスクーラによる除湿は不要となるなど良好な条件であり，前処理に問題はない。サンプリングでは高速応答，発生ガス炉と熱処理炉との切換，多点切換システムの対応および分析計内のパージを実施する。

図 4　基本的なガス分析計のサンプリングシステム構成

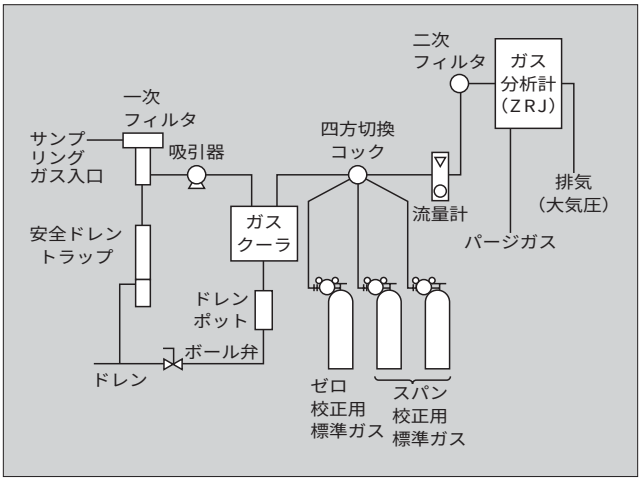
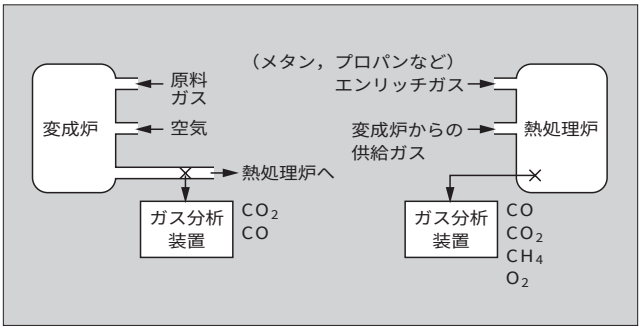


図 5　金属熱処理炉における分析計の適用例



5.3　CA 貯蔵

図 6 に CA（Controlled Atmosphere）貯蔵における分析計の適用例を示す。

CA 貯蔵とは貯蔵庫内における空気中の気体組成を人工的に変え冷蔵と組み合わせて，主に生鮮果実を貯蔵する方法で，日本ではりんごの CA 貯蔵が盛んである。これは，りんごやみかんなど果実の収穫後の呼吸活性を抑え，鮮度を保ち効率よく生鮮品を出荷するための貯蔵方法である。貯蔵庫の雰囲気は，果実の種類により異なるが，窒素（N_2）：90 ～ 96 %，O_2：2 ～ 10 %，CO_2：2 ～ 10 %，温度：0 ～ 10 ℃ に制御される。また，バナナ，かんきつ類，キウイなど生鮮果実の船舶輸送に CA 貯蔵を行うと果実の傷みが減少し，農薬の使用量も減少させることができるといわれている。CA 貯蔵庫内雰囲気の CO_2，O_2 監視制御にガス分析計が使用されており，CO_2 と O_2 を同時測定できる本分析計のメリットは大きい。サンプリングは，基本的なシステムで対応可能ある。

5.4　バイオマス，廃棄物関連発生燃料

図 7 にバイオガス，ガス化炉生成ガスにおける分析計の適用例を示す。

図 6　CA 貯蔵における分析計の適用例

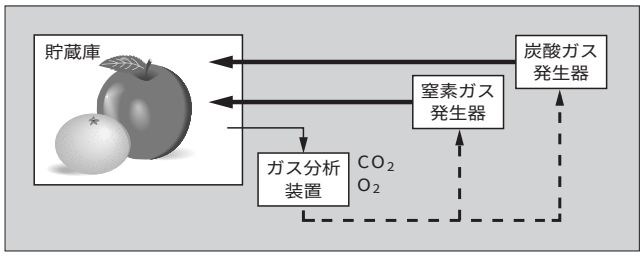
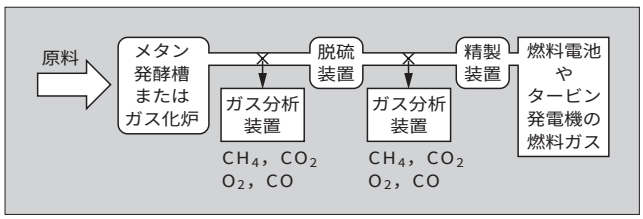


図 7　バイオガス，ガス化炉生成ガスにおける分析計の適用例



2002 年末に閣議決定した「バイオマス・ニッポン総合戦略」では，化石資源の使い捨ての社会からバイオマス（再生可能な生物由来の有機物性資源で化石資源を除いたもの）を製品，エネルギーとして総合的に活用して持続的に発展する社会を目指すことを基本方針としている。

廃棄物を単に焼却処理するだけでは，環境負荷や処分スペースの問題からすでに処理不可能な状態になっている。

例えば，食品廃棄物，家畜廃棄物，下水汚泥，製紙工場の廃パルプ，製材工場の廃材，一般厨芥（ちゅうかい），プラスチック，固形燃料化された廃棄物（RDF：Refuse Derived Fuel）などから効率的にエネルギーを取り出す方法が実稼動ベースで始まっている。食品廃棄物，家畜廃棄物，下水汚泥では，メタン菌によるバイオガス発酵プラントによるメタンガスの生成，廃パルプ，廃材，プラスチック，一般厨芥では，ガス化炉によるエネルギーガスの抽出がすでに実プラントで稼動している。

このようなプラントでは，CO_2，CH_4，O_2 を測定しメタン発酵状態の監視制御，ガス化炉運転時の CO，O_2 を測定し爆発監視，ごみの固形燃料化過程での CO，O_2 測定による爆発監視，CO，CH_4 など製造されたエネルギーガスの濃度監視など重要な場面でガス分析計が使用される用途がある。このように 4 成分同時測定可能な本分析計には最適な用途の一つである。測定範囲は，CO_2：0 ～ 20 %，CO：0 ～ 50 %，CH_4：0 ～ 100 %，O_2：0 ～ 5 %程度である。

サンプリングについてバイオガスの場合，ガスクーラによる除湿，メタン発酵の状態によっては硫化水素の発生があり，分析計内部の腐食防止のために測定ガスの水洗浄またはスクラバによる除去が必要になる。ガス化炉の生成ガスでは，ガス化炉の方式や採取点によりダスト，タール分が測定ガスに多く含まれる場合があり，その除去が大きな問題となる。ガス採取器のフィルタ洗浄機構，測定ガスの水洗浄機構などの自動前処理装置が必須となる。

また，他の用途と同様に測定ガスに可燃性ガスを含むので分析計内のパージを実施する。

5.5　燃料電池

燃料電池の燃料は水素であるが，これは上記したように発生したメタンガスなどを改質器で分解して得る。より純度の高い水素を得るために，実験設備などでは原料ガスの改質過程の確認，制御のために CO，CO_2，CH_4，O_2 を測定することがあり，測定範囲が本分析計に合致する。基本的なサンプリングシステムで対応可能だが，多点切換システムの追加や分析計内のパージを実施する。

6　あとがき

シングルビーム式赤外線ガス分析は，工業プロセス用に多くの実績を収めているが，従来の熱処理用途のほか，近年の燃料電池原料ガスやガスタービン燃料ガスとしてのバイオマスガス，ごみのガス化炉からの生成ガスの濃度監視など新しい用途も発生している。4 成分同時測定は，コスト，スペースなど多くのメリットがあるが，さらに低濃度測定の対応，測定成分の拡大などに挑戦し，富士電機の特徴である工業プロセスに適用したガス分析計の開発を進めていきたい。

参考文献

(1)　浜田敏義ほか．シングルビーム方式工業用赤外線ガス分析計．富士時報．vol.54, no10, 1981, p.699–704.

(2)　杉本啓介ほか．大気汚染監視用小型赤外線ガス分析装置．富士時報．vol.72, no.9, 1999, p.494–497.

(3)　電気学会・燃料電池発電次世代システム技術調査専門委員会編．燃料電池の技術．オーム社出版局．2002–8.

(4)　小林貞昭．ダイオキシン類抑制管理のための CO/O_2 分析計．計装．vol.43, no.2, 2000, p.56–60.

下水道用光式水位計と光計装システムの拡充

伊藤　悦郎（いとう　えつろう）

1　まえがき

近年，都市部での局所的な集中豪雨による浸水被害が多く発生しているため，浸水防止のためのより確実な雨水対策が求められている。一方，情報伝送経路として下水道管きょへの光ケーブルの布設が本格的に進められ，下水道管理の効率化，高度化を図るための光ケーブルを使用した情報伝送が模索されている。

このような背景のもと，下水道管きょ内の水位を測定し，管きょに布設した光ファイバケーブルを伝送経路として遠方の処理場やポンプ所へ伝送する光式水位計システムを開発した。

また，光計装システム（FFI システム）は，耐雷性や本質安全防爆という特徴を生かし，精油所や備蓄基地などに多くの実績を残してきたが，電池寿命などの市場からの高度化要求に応えるため，新製品としてリニューアルした。

以下に，下水道用光式水位計システムと光計装システム「FFX シリーズ」の拡充（New FFI）について紹介する。

2　下水道用光式水位計システム

2.1　システム構成

図1にシステム構成を示す。

水位計は，従来と同じマルチモード（SI）ファイバを使用した中空ケーブルを使用し，光中継器へ接続する。光中継器と上位の光電気変換器の間は，下水道内へ布設されているシングルモード（SM）ファイバのケーブルを使用し，光中継器にて SI と SM の変換を行う方式をとっている。水位計，光中継器とも内蔵のバッテリー駆動であり，外部電源不要の構成としている。

光電気変換器は，水位計から伝送された水位測定値やアラーム信号を，Ethernet〈注〉または RS-232C で上位の監視システムなどへ伝送する。

1台の光電気変換器に対して最大6台の水位計を接続しての多点計測が可能であり，6台接続での伝送距離は最大10 km である。接続台数が少なければ，それに見合って伝送距離を延ばすことが可能となる。

主な特徴を以下に記す。

(1)　光ファイバ式で，誘導雷，電源ノイズの影響なし
(2)　実績のある静電容量式圧力センサによる高精度測定
(3)　リアルタイム計測・伝送
(4)　既存の光ファイバ網の1心に複数の水位計を接続して多点計測が可能
(5)　長寿命バッテリー駆動により電源引込みが不要

図2に水位計，光中継器，光電気変換器の外観を示す。

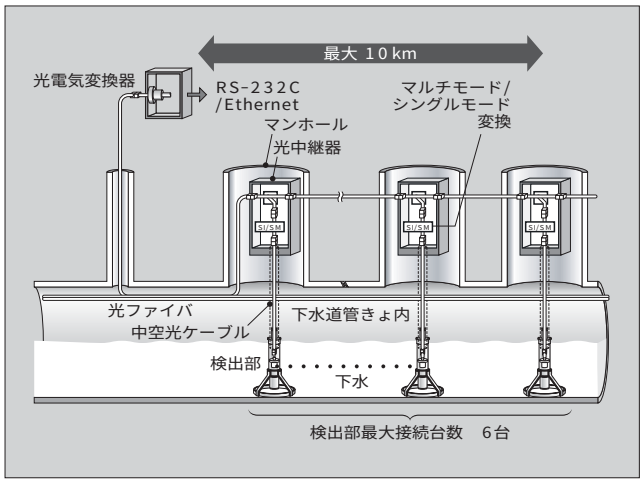
2.2　システムの仕様

表1に主な仕様を示す。

光電気変換器ー光中継器間の光ファイバは，コア/クラッド径が 9.5/125 μm の SM ファイバを使用し，サンプリング周期（各水位計の計測周期）は，従来の光式水位計と同じく2秒とした。

下水設置用の汚泥保護対策として，水位計の検出部は汚泥保護用のダイアフラムとフィルタの二重構造とした。バッテリー寿命は水位計が8年，光中継器は新たに SM

図1　光式水位計のシステム構成



〈注〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

伊藤　悦郎

光計装システムおよびアクチュエータの開発，設計に従事。現在，富士電機インスツルメンツ(株)技術本部センサ機器技術部主任。

図２　構成機器の外観

表１　光式水位計システムの仕様

項　目	機能・性能
測定範囲	0～1.5～最大50ｍまで可能
サンプリング周期	2秒
バッテリー寿命	水位計：8年，光中継器：5年
精　度	±0.3％
材　質	外筒：SUS316
汚泥保護構造	保護ダイアフラムとフィルタの二重構造
伝送距離	10 km（最大）　台数によりさらに長距離化が可能
接続台数	最大6台
伝送信号	光ディジタル信号
適用光ファイバ	SMファイバ，コア/クラッド径：9.5/125 μm（光中継器ー光電気変換器間）
光電気変換器出力	RS-232C/Ethernet

ファイバ用のレーザダイオード（LD）を使用した光ユニット（E/O，O/E）の関係で５年と，水位計よりは若干短くなった。

2.3　光中継器

光中継器は，本システムにおいて特徴的な機器であるので，その詳細を紹介する。

2.3.1　SI/SM 変換

図３に光中継器の内部構成ブロック図を示す。

光電気変換器ー光中継器間の幹線の SM 用光信号から水位計用の SI 用光信号への変換と，多点化用幹線への信号の分岐・結合を行っており，詳細は以下のとおりである。

(1)　信号の流れ

①　幹線の上位側から SM ファイバを通って入射した光信号（レーザ光）は，２分岐によって下位側の SM ファイバと水位計側の支線ファイバとに分岐される。

②　支線に分岐された光信号は LD 光ユニット（SM 用 E/O，O/E）によってディジタル電気信号に変換される。

③　この電気信号は中継回路を介して発光ダイオード（LED）光ユニット（SI 用 E/O，O/E）で電気→光信号変換され，水位計側の SI 光ファイバに光信号（LED 光）として送出される。結果として，上位から入射したレーザ光は光中継器の中で SM/SI 変換され，SI 用の LED 光として水位計へ出力される。

④　水位計側から LED 光の光信号が SI ファイバを通して光中継器へ入射した場合は，逆のルートで信号変換され，LD 光ユニットからレーザ光が出力されて，２分岐を経由して上位側の SM ファイバに出力される。

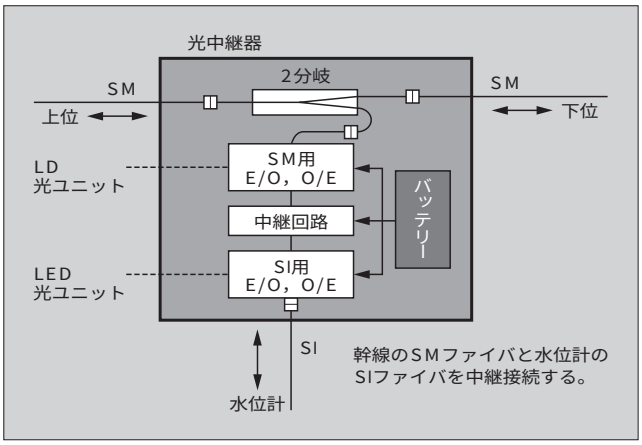
(2)　中継回路の機能

中継回路は，上記の信号伝達のほかに以下の機能を有している。

①　先行優先回路により，上位側からのレーザ光または水位計側からの LED 光のうち先に信号が到着した方向のみ信号伝達を行い，反射光による誤動作を防止する働きを持っている。

②　多点システムを構成しているので，各光中継器はおのおの異なるステーション番号を持っており，上位の光電気変換器から送信された信号のうち，自局のステーション番号の信号のみ受信し，他局あての信号は無視している。

図３　光中継器の内部構成ブロック図



2.3.2　大気圧補償チューブ

下水道内の水位測定を行う場合，前述の光中継器はマンホール内へ設置することが必要とされる（地上へ出せる場所がないので）。

その場合，できるだけ地上近くへ設置しても大雨のときには冠水してしまうことが予想されるので，このときに考慮しなければならないのは，水位計本体へ大気圧を導入する手段である。水位計に接続する中空光ケーブルの中に，大気圧を導入するための中空パイプが入っているが，防水構造とするためにこれを密閉してしまうと水位計への大気圧導入ができなくなるので，防水と大気圧変化への追従の両者を満たすことが必要である。

図４に光中継器の外形図を示す。

上述の，マンホール内へ設置したときの防水と水位計へ

図４　光中継器の外形図

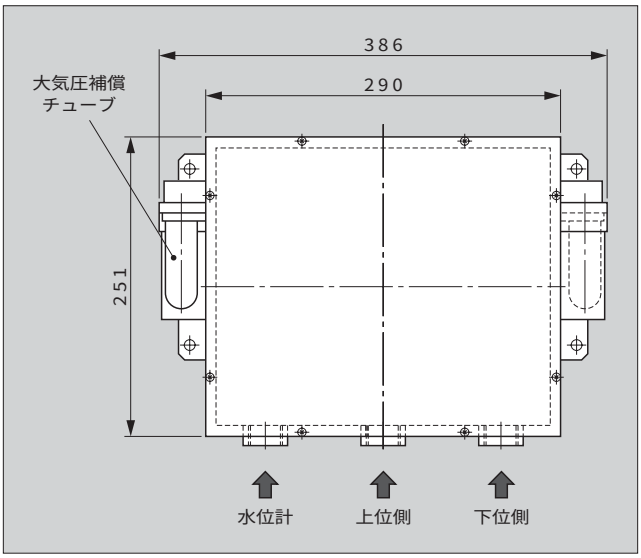
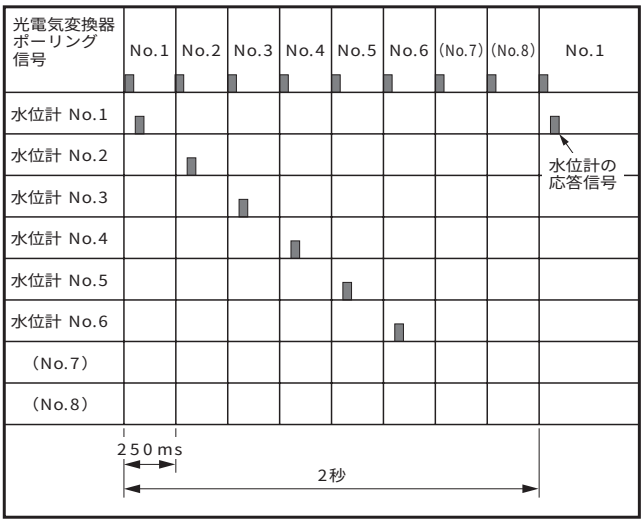


図５　伝送タイミングチャート



の大気圧導入の両者を満たす方式として，光中継器に大気圧補償チューブを設け，水位計からの中空パイプと接続して密閉する方式を導入した。

大気圧補償チューブはゴム風船状のもので，大気圧の変化に伴ってこの風船が伸縮することにより，中空パイプ内の圧力が変化して大気圧に追従する構成とし，マンホール内設置での一時的な冠水に耐えることを可能とした。

2.4　伝送仕様

多地点の水位信号を同一ファイバ心線で伝送する方式は，ファイバ心線の利用において最も効率的・経済的であり，本水位計システムでも前述のように多点計測を可能としている。

１本のファイバから分岐していく形態のマルチドロップ方式を採用しており，通信は従来の光式水位計と同様にマスタ・スレーブ方式とし，時分割で各光中継器（水位計）との通信を行う方式とした。最大６台の接続であるが，時分割はサンプリング周期２秒に対して割り切れる８分割とした。

以下に伝送仕様，**図５**に伝送のタイミングチャートを示す。

(1)　伝送方式：マスタ・スレーブ方式
(2)　伝送速度：25 k ビット/秒
(3)　サンプリング周期：２秒（各水位計とも２秒に１回測定し，データを伝送する）
(4)　警報出力：バッテリー電圧低下，水位計故障，伝送異常

図６　フィールド機器（FFI 対応）

3　光計装システム FFX シリーズの拡充（FFI 対応）

3.1　概　要

図６に新しくなった FFI 対応のフィールド機器を示す。

光フィールドバス FFX シリーズとハードウェアを統合し，インタフェースカードの交換で光フィールドバス対応も従来の FFI システムへの対応も可能とし，FFI 対応版を New FFI システムとして新たに発売した。

上位システム（制御装置）とのインタフェースに Ethernet を採用して汎用性を高めるとともに，バッテリー駆動のフィールド機器では，長年の課題であったバッテリーの長寿命化（従来の２年→4 年）を達成した。

伝送プロトコルやシステム構成は従来の FFI と同じであるが，リニューアルするにあたって以下の改善を行った。

(1)　バッテリー寿命：従来の２年から４年に長寿命化
(2)　伝送距離：従来の 1.2 km から 1.5 km に長距離化
(3)　光ケーブル，コネクタ：専用のケーブル，コネクタからコード集合形ケーブルおよび FC コネクタの汎用化
(4)　メンテナンス性：前面アクセス可能なケース構造を採用
(5)　圧力・差圧発信器：電気式発信器 FCX-AII と同じ圧力セルを使用して総合精度の向上
(6)　温度発信器：温度センサの種類拡大，２線式から３線式に改良して精度向上

図７　現場指示計

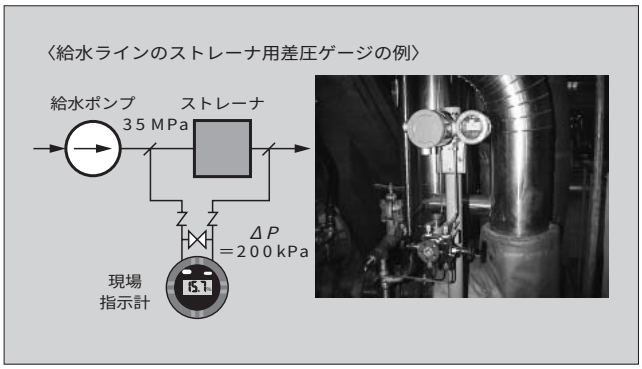
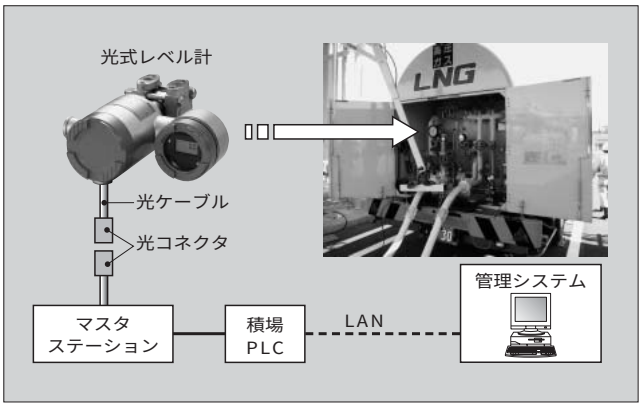


図８　タンクローリー用レベル計



3.2　新たな適用事例

3.2.1　現場指示計

バッテリーの長寿命化を達成したことにより，圧力・差圧発信器や温度発信器は，電源供給不要のバッテリー式現場指示計として，従来の光計装システムとは異なる新たな適用が期待される。

図７に適用例を示す。

単なる監視用としてブルドン管式のゲージを設置している場所などへ，長寿命，高精度の指示計として最適である。

特徴は次のとおりである。

(1)　電源供給不要

(2)　バッテリー寿命 10 年（測定周期 1 秒）

(3)　本質安全防爆で安全

3.3.2　タンクローリー用レベル計

電源供給不要のバッテリー式であることから，タンクローリーに差圧発信器を設置して液レベルを監視し，基地での管理システムと連携してタンクローリーへの自動積込みを行うことができる。

図８に適用例を示す。

発信器に車両番号を登録しておき，積込基地で光ケーブルをつなぐことによって管理システムと接続される。

特徴は次のとおりである。

(1)　バッテリー駆動式なので移動車両に搭載可能

(2)　車両番号の自動認識が可能

(3)　本質安全防爆で引火物に対しても安全

4　あとがき

光計装の新たな展開について紹介した。

下水道用光式水位計システムはすでに数例の納入実績があり，下水道の水位監視として社会に貢献している。

現場指示計やタンクローリー用レベル計も適用例に示した納入事例があり，光式水位計とともに新たな展開として今後の普及に向けた活動を展開していく。

Environmentally Acceptable Hydro-Power Generation
――地球環境にやさしい水力発電――

古川　明徳（ふるかわ　あきのり）
九州大学大学院工学研究院教授　工学博士

人類文明の発祥がナイル川，チグリス・ユーフラテス川，インダス川，黄河流域であり，そこでは既に水を動力源とし，その変換に水車を用いていた。我が国でも動力用としての水車の歴史は古い。しかし近年，電力供給網の発展とともにその利便さには抗しきれず衰退していき，水力利用も動力用から大規模発電へと移行して，1960 年代まで「水主火従」として産業の発展に尽くした。それもやがて，水力の建設や発電コスト（64 万円/kW，13 円/kWh）に比べ火力や原子力の方が 20 ～ 30 万円/kW，6 ～ 10 円/kWh と経済的なこと，そして大規模水力の適地も少なくなったことを理由に，主役を火力・原子力に譲り今日に至っている。国外においても 1950 年頃からエネルギー消費は急激に伸び，今日では，その 90 %が化石燃料で賄われ，水力はわずかに 3 %の状態である。化石燃料の 2/3 が，人口比率で全世界の 1/5 しかいない先進国で消費されていることは，先進国が地球規模でのエネルギー・環境問題に果たす責務は大きく，我が国もその役割を担っているといえる。

21 世紀の課題として「持続可能な循環型社会の構築」が世界的に叫ばれ，環境保存とリサイクル技術の開発が強く求められている。京都議定書の批准により「基準年に比べて温室効果ガス排出量 6 %削減」を国際的に約束した我が国では，その目標達成に，太陽光・風力・バイオといった新エネルギー技術の開発と普及に力が注がれている。しかし，筆者は，実効性の高い対策として「水力」の見直しを掲げたい。「水力」は，新エネルギーに比べてエネルギー密度も高く，しかも設備利用率も高く，さらに建設・製造・発電に伴う CO_2 排出量も太陽熱，風力が 16.0，33.7 g/kWh であるのに対し 4.8 g/kW と格段に低く，これを放って置くことはない。しかし「水力」は「再生可能エネルギー」として認知されてはいるものの，新エネルギー政策の枠組みからは除外されてきた。その背景は，「水力」には歴史と蓄積技術があり，新たな開発と普及は難しいとの考えに基づいている。確かにダム式大規模発電の未開発地点はわずかである。しかもダム開発は広域面積の水没や自然生態系の破壊を伴うため，地球環境を守る上からも容認は難しく，経済的投資の対象にもなり難い。したがって我が国での開発対象は「自然共生型未利用包蔵水力」が不可欠で，そうなると自ずから小（small，10 MW ～），ミニ（mini，1 MW ～），マイクロ（micro，100 kW ～）水力発電へと向けられ，地域消費型・分散型としての利用も視野に入れておく必要がある。それらの地点として，①既設ダムの維持放流水力，②中小河川や農業用水の堰堤落差，③浄水場などの遊休落差，④上水道や工場の残圧水力が考えられ，そのような地点の探査と社会への提案が迫られる。しかしそこに残るハード的問題として，小流量・低落差規模で変化に対応し得る流れ込み式や投げ込み式の簡易発電システムの開発があり，そこでは低コスト化・高効率・耐久性・操作性に優れたシステムが求められ，我々，エンジニアや研究者の能力が問われている。またソフト的には，治水には十分配慮した上で，電気事業法，森林法，河川法など許認可申請協議，権利交渉があり，地域住民への日頃からの啓蒙活動や政策的補助（太陽光や風力には考えられても水力には…）が望まれる。

地球規模で見れば，中国を始め水資源豊かな国々は多い。自然環境を保存しつつ，先進国の技術供与のもと積極的に水力開発を行って電力供給体制を確立し，国境を越えて相互に共通電力網を整備することが必要と考える。それには国際平和と国際協調が不可欠となる。我が国が国家プロジェクトとして発展途上国での開発に協力し，これまでの水車開発において蓄積した高い技術力を活かすことができれば，温室効果ガス排出量 6 %削減達成の一助となる「クリーン開発メカニズム（CDM）の推進」にもなり，また，我が国技術力の維持・継承にも繋がることとなる。ただし，発展途上国への技術供与は，高度よりも現地調達を基本としたものでなくてはならないことは申すまでも無い。

筆者らは，この約十年間，超低落差用水車の開発に従事し，構造が簡単で効率もまずまずのダリウス形について多くの設計指針を明らかにしてきた。本稿を執筆しながら，あらためて，「その実用化に向けて尚一層の研究努力を」と決意を新たにしたしだいである。

東北電力(株)第二上野尻発電所納入立軸バルブ水車・発電機

高橋　正宏（たかはし　まさひろ）

特集2

1　まえがき

富士電機は，日本国内はもちろん，海外向けにも横軸バルブ水車・発電機を数多く製作・納入している。この豊富な製作実績を基に，東北電力(株)と共同で，従来，水平方向にのみ配置されていたバルブ水車・発電機を垂直方向に配置した立軸バルブ水車・発電機の研究を行い，2002年6月に運転を開始した東北電力(株)第二上野尻発電所に適用した。同発電所はその後順調に稼動中である。

本稿では，東北電力(株)第二上野尻発電所に納入した立軸バルブ水車・発電機の概要と特徴について紹介する。

2　第二上野尻発電所の概要

第二上野尻発電所は，福島県を流れる阿賀野川に設置されている上野尻ダムの右岸に，既設上野尻発電所に併設される形で設置された，最大使用水量100 m³/s，有効落差15.54 mで最大出力13,500 kWのダム式発電所である。この仕様で機器を計画した場合，従来では横軸バルブ水車・発電機が適用されてきたが，以下の理由により立軸バルブ水車・発電機を採用することとなった。

表1　第二上野尻発電所向け立軸バルブ水車・発電機の仕様

項　目		仕　様
発電所出力		13,500 kW
水車	形　式	立軸バルブ水車
	有効落差	15.54 m
	流　量	100 m³/s
	出　力	14,000 kW
	ランナ径	3.9 m
発電機	形　式	立軸回転界磁水冷熱交換器形三相同期発電機
	出　力	14,300 kVA
	電　圧	11.0 kV
	周 波 数	50 Hz
	回転速度	167 r/min

(1)　河川護岸，道路，鉄道などの周囲条件により，発電所の所要面積確保が難しい。

(2)　ダムなどが既設構造物のため，導水路または放水路のルートが制約される。

表1に，第二上野尻発電所に納入した水車・発電機の仕様を，**図1**に発電所の構造を示す。

図1　第二上野尻発電所の建屋構造

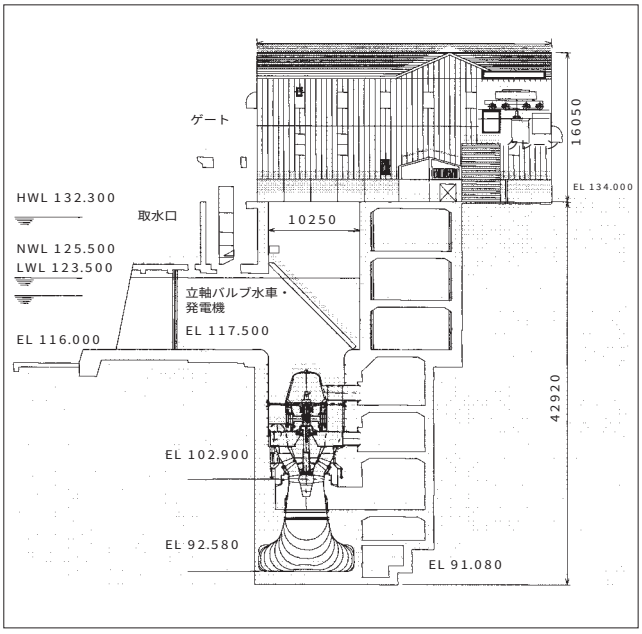
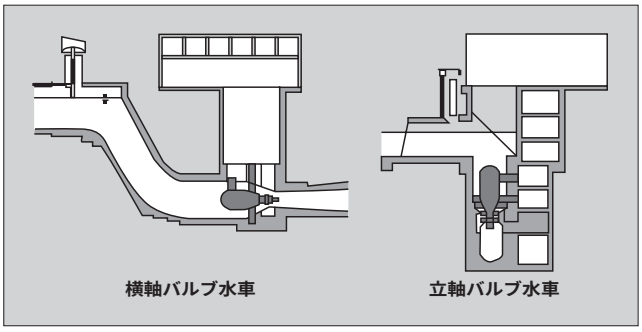


図2　横軸バルブ水車と立軸バルブ水車の建屋構造比較



高橋　正宏

水力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)技術部マネージャー。電気学会会員。

3　立軸バルブ水車・発電機の特徴

前述のとおり，立軸バルブ水車・発電機は従来の横軸バルブ水車・発電機を垂直に配置したものであり，次の特徴がある。

(1)　取水路から水圧管路，水車・発電機が垂直に配置されるため，平面スペースを縮小できるとともに，吸出し管の方向を任意に選定できるので，敷地条件の制約を受けにくい。**図2**に立軸の場合と従来の横軸の場合の構造断面の比較を示す。

(2)　水路総延長が短いため，水路の損失水頭を小さくできる。

(3)　機器を縦に設置することにより，機器搬出スペースが縮小でき建屋の合理化が図れる。

(4)　分解および組立はすべて上部からクレーンなどで行うので，据付けやオーバホール期間を従来の横軸バルブ水車・発電機に比べて短縮できる。

4　立軸バルブ水車・発電機の構造

図3に第二上野尻発電所に納入した立軸バルブ水車・発電機の断面を示す。図に示すように基本構造は横軸バルブ水車・発電機と大きく変わるところはないが，水車・発電機には以下に示す構造を採用している。

(1)　吸出し管

横軸バルブ水車は水平方向に機器が設置されるため，円すい形の直線吸出し管であったが，立軸バルブ水車では他の立軸水車と同様，曲がり吸出し管を設置する。

(2)　ランナ

本発電所の有効落差では，横軸バルブ水車の場合には，4枚羽根のランナを採用することとなるが，立軸バルブ水車の場合には，曲がり吸出し管による全負荷領域の効率低下を抑えるため，5枚羽根ランナを採用し，ランナ径を横軸バルブ水車の場合より大きくしている。

また，ランナサーボモータを発電機回転子内に設ける構造とし，ランナを下方向に引き抜ける構造を採用した。これにより，ランナを先行して取り外すことでオーバホール期間の短縮を可能とした。

(3)　バルブ支持方式

横軸バルブ水車の場合，推力荷重は2本のステーベーン，バルブ全体の自重は発電機の基礎で支持している。一方，立軸バルブ水車の場合，推力荷重とバルブ全体の自重をバルブブラケットにより支持する構造となり，バルブブラケットには横軸バルブ水車に比べ約2倍強の荷重が作用することとなる。また，バルブブラケットのたわみは，その下側に取り付けられるガイドベーンのサイドギャップに影響を与えることとなる。このため，有限要素法による解析を行い，以下の方式によりバルブを支持する構造とした。

①　バルブ全体の安定性と支持剛性を高めるため，バルブブラケットは4本のステーからなる十文字構造とした。なお，4本ステーとした場合でも水車効率に影響しないことを確認している。

②　バルブ上流部のバルブノーズには，水平方向に防振ステーを設け，水圧脈動によるバルブ全体の横振れを防止している。

上記のバルブ支持方式については，各運転状態における静的・動的解析を行い，応力，変形，振動などに対して十分な強度を有していることを確認している。**図4**に全負荷

図3　第二上野尻発電所向け立軸バルブ水車・発電機の断面

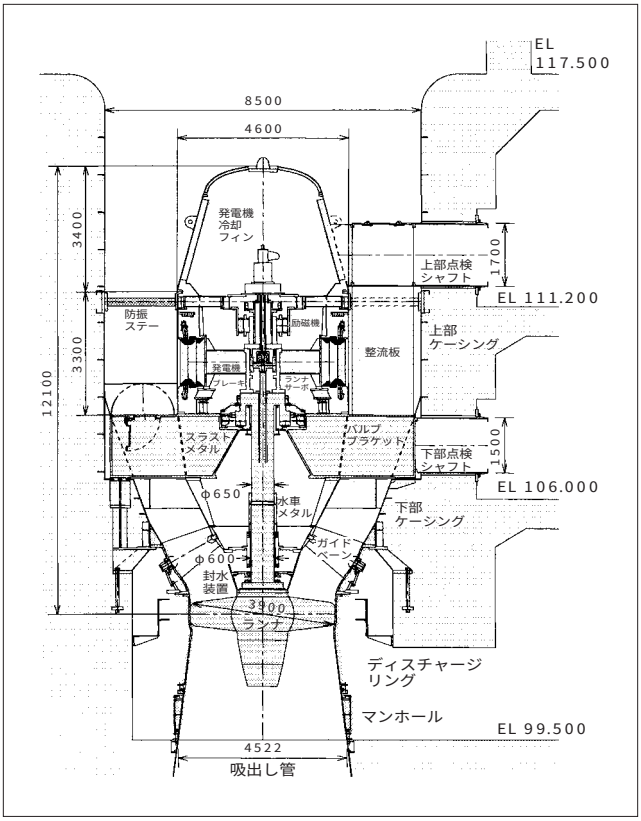
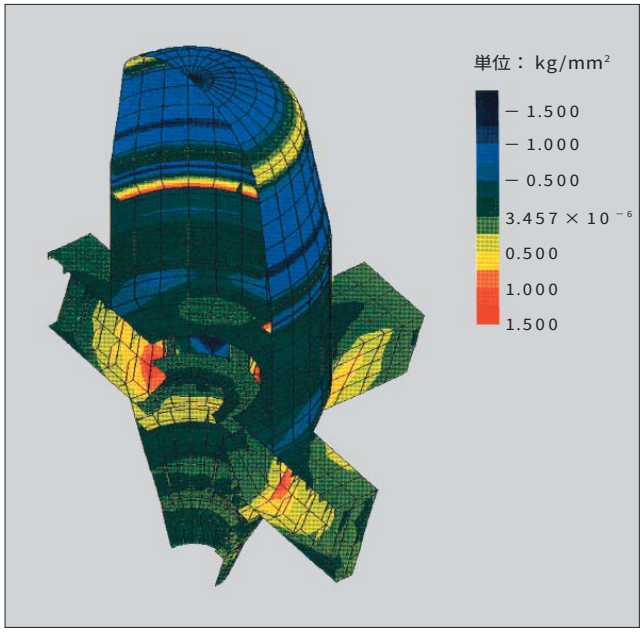


図4　全負荷運転時の応力分布解析結果



運転時の応力分布の解析結果を，**図5**にバルブ全体振動解析結果を示す。現地において，実機のバルブブラケットの変位量および固有振動数を測定し，解析値に近い結果を得ており，解析手法の精度の高さが確認された。

図6に実機のバルブブラケットおよび防振ステーの据付け状態を示す。

(4)　発電機の通風冷却技術

バルブ水車発電機は河川中に設置されたバルブ内に発電機が設置されるという特殊環境にあるため，通常の発電機に比べ，保守面で厳しい条件にある。一方，バルブが河川中に設置されていることは，発電機にとって有利な条件を示唆しており，従来から補機の簡素化を目的にとしたさまざまな通風冷却技術が開発・採用されてきた。本発電所の発電機においても以下に示す技術を採用し，発電機の通風冷却に必要な補機の省略を図った。

①　固定子鉄心の冷却

固定子鉄心の冷却方式としては外被直接冷却方式を採用した。この方式は，固定子枠を一重シェル構造として固定子鉄心を直接シェル上に配置することにより固定子鉄心で発生する熱を直接河川水中に放散させる方式であり，概要を**図7**に示す。

本発電所での採用にあたっては，有限要素法によりコイル温度や温度分布について検討を行い，許容温度内に設計できることを確認した。

②　回転子・固定子巻線のフィン冷却方式

回転子・固定子巻線の冷却方式としてはフィン冷却方式を採用した。本方式は，バルブノーズ内側に銅フィンを溶接し，回転子と固定子コイルで発生する熱をこのフィンを介して直接河川水に放散する方式であり，フィン構造を**図8**に示す。

③　通風方式

外被直接冷却方式を採用したことにより，固定子鉄心で発生する熱は固定子の外被で直接冷却されるため，発生した熱をバルブ内で冷却器へ循環させる必要がなく

図5　バルブ全体振動解析結果

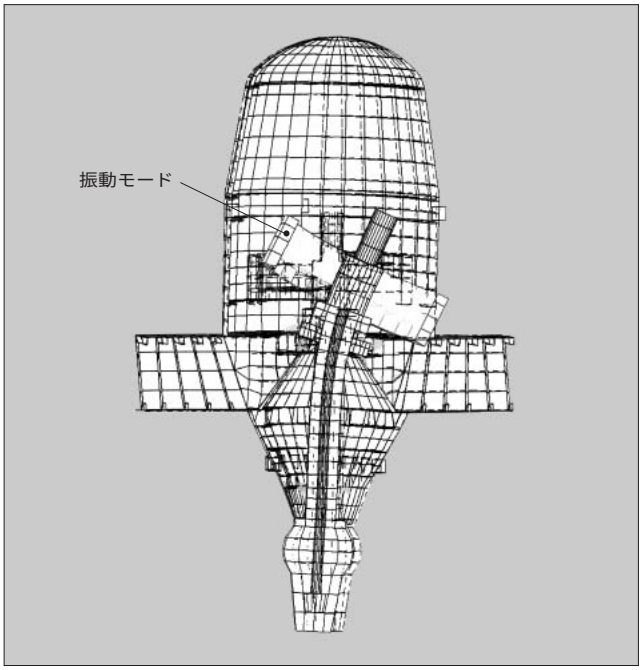


図6　バルブブラケットと防振ステーの据付け状態

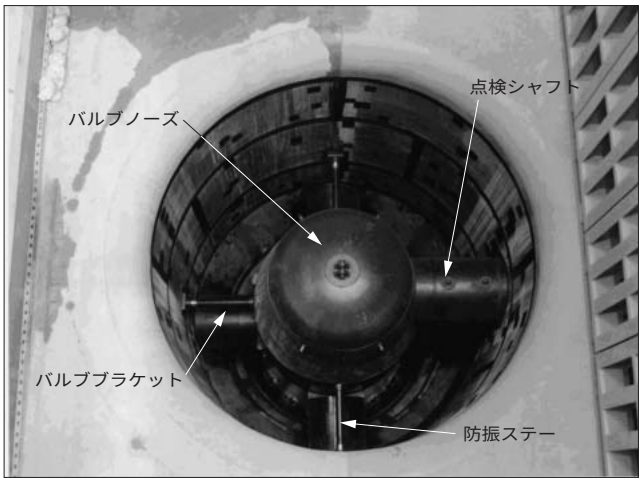


図7　固定子外被直接冷却方式

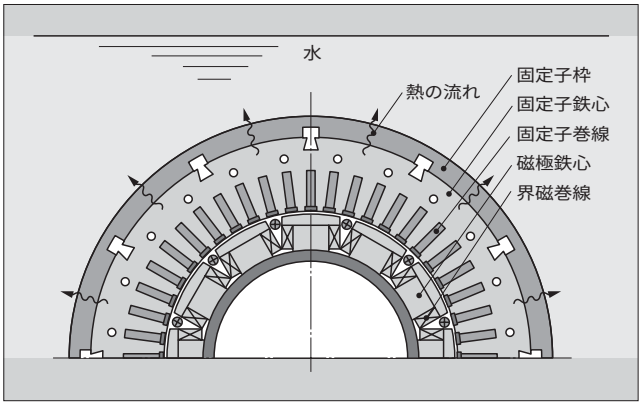
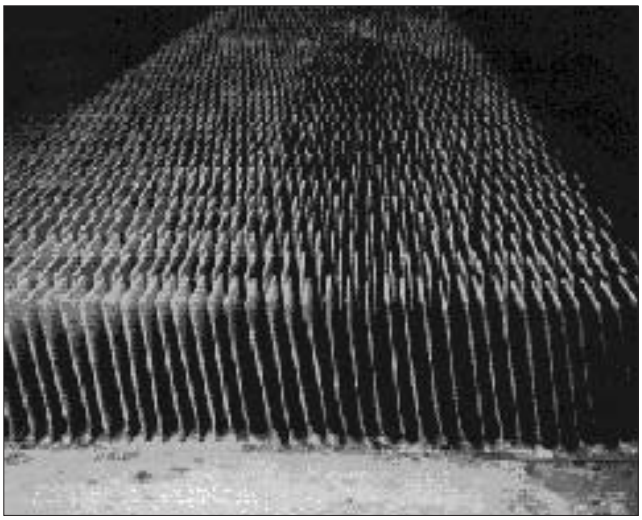


図8　フィン冷却方式



なった。これにより，フィンで冷却される回転子・固定子巻線で発生した熱を冷却させるのに必要となる風量の通風能力があればよいこととなり，冷却風量が従来の約半分に低減された。さらに，冷却フィンの構造を圧力損失の少ない構造に改造し，回転子ヨーク上に設けたファンによる自己通風方式を採用した。通風方式の概要を**図9**に示す。

以上の通風冷却方式を採用し，現地での負荷試験において固定子，回転子ともに保証値を十分満足する結果が得られた。

(5)　軸　受

①　水車軸受

水車軸受には水潤滑軸受を採用し，潤滑油に関する保守の省力化を図った。また，ランナを水ボス構造とし，ランナ加圧に従来必要であった潤滑油装置を省略した。これにより，河川への油の流出する可能性をなくすことができた。

②　発電機軸受

発電機の軸受配置は傘形とし，スラスト軸受にはPTFE（四ふっ化エチレン樹脂）を採用した。また，スラスト軸受の冷却には，バルブブラケットの壁に二重にした油室を設け，油室と油槽を配管で接続しスラストカラーの自己ポンプ作用により潤滑油を循環させ，外被を介して河川水で冷却させる方式を初めて採用した。本方式の概要を**図10**に示す。本方式を採用するにあたっては，冷却性能および圧力損失についてモデルによる試験を実施し，性能上問題ないことを確認した。また，現地での負荷試験の結果，スラスト軸受温度は河川水温度25 ℃換算で57 ℃程度であることを確認し，十分な冷却能力を有することが証明された。

5　現地工事

横軸バルブ水車・発電機の組立は，バルブ上部に設けたハッチからバルブ内へ部品をつり込んで行うため，ハッチ寸法の制約から各部品ごとにつり込み作業を行う必要がある。一方，立軸バルブ水車・発電機では，機器を流路上部からつり込めるため，各部品単位ではなく，まとまったブロック単位での作業が可能となり，組立期間を短縮できる

図9　通風冷却方式の概要

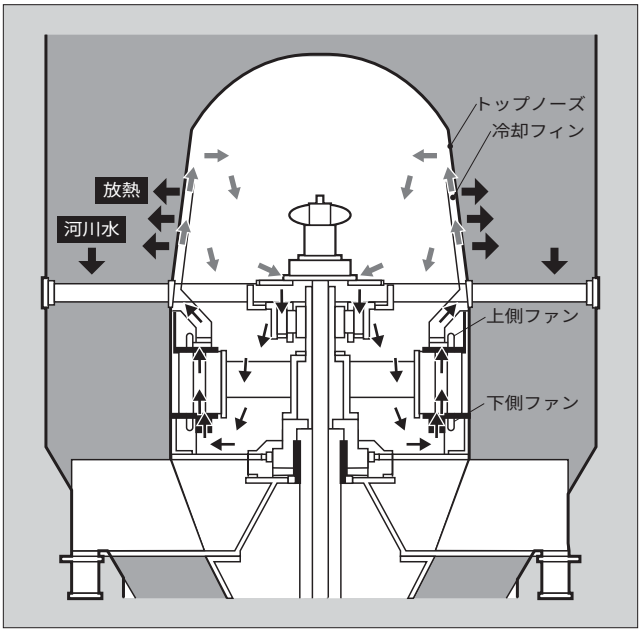


図10　軸受外被直接冷却方式

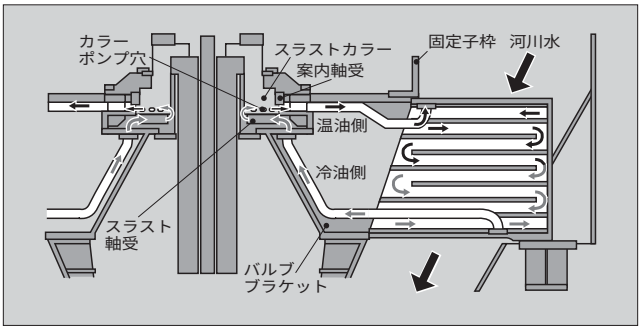


図11　据付け方式の概要

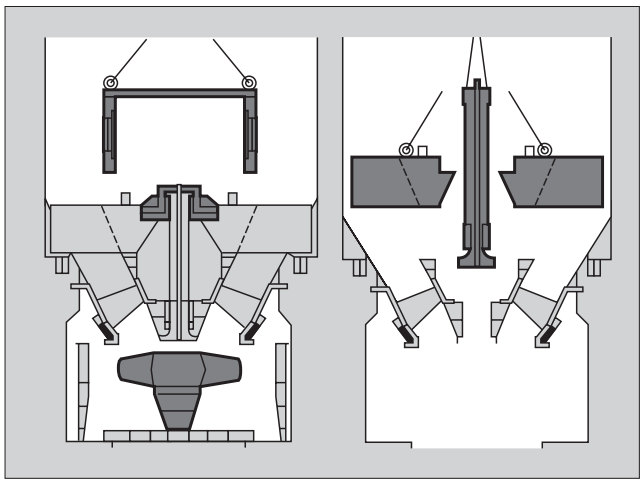


図12　ガイドベーンリンク機構つり込み状況

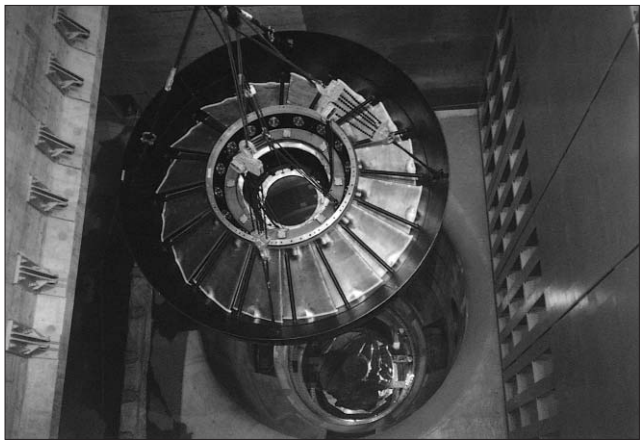
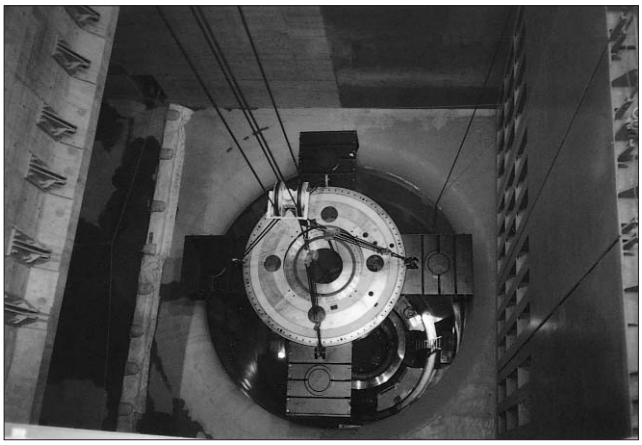


図13　バルブブラケットつり込み状況



という特徴がある。しかしながら，一度につり込む機器のブロックを多くすればするほど，据付け期間を短縮できるが，クレーン容量が大きくなり，発電所建屋のコストがかさむこととなる。

本発電所では，クレーン容量を小さくすることに重点を置き，一度につり込む機器のブロックを極力少なくした。据付け方式の概要を**図11**に，ガイドベーンリンク機構のつり込み状況を**図12**に，バルブブラケットのつり込み状況を**図13**に示す。

6　あとがき

以上，東北電力(株)第二上野尻発電所に納入した立軸バルブ水車・発電機について紹介した。

今後は，立軸バルブ水車・発電機の大きな特徴である土木費のさらなる低減が可能な構造を検討するとともに，保守点検が簡素な構造を目指して改良を行っていく所存である。

立地地点の条件に左右されない立軸バルブ水車・発電機が今後の水力開発に生かされれば幸いである。

参考文献

(1)　小泉俊夫ほか．立軸バルブ水車・発電機．富士時報．vol.72, no.10, 1999, p.558-561.

中国・泰安揚水発電所向け揚水発電機器

戸崎　尚（とざき　たかし）　衛藤　浩史（えとう　ひろふみ）　小林　秀樹（こばやし　ひでき）

1　まえがき

富士・フォイトハイドロ(株)は，中国・山東泰山抽水蓄能発電所有限責任公司（山東電力集団公司ほか政府が出資して設立した発電会社）向け泰安揚水発電設備（発電所出力 4 基× 250 MW）を受注し，2002 年 11 月 29 日に北京で契約調印を行った。

この発電所は，山東省における急速な経済成長に伴う電力需要の伸びによる，ピーク需要に対応するために計画された揚水発電所である。また，2002 年 11 月に発足した中国新体制下における日本企業による国際協力銀行円借款の電力案件受注第 1 号である。

納入機器の製作は，フォイト・シーメンスハイドロ社と協調して行い，富士・フォイトハイドロ(株)は，フォイト・シーメンスハイドログループ内のテクニカルリーダーを務め，揚水発電所全体の取りまとめならびに発電電動機，発電機遮断器をはじめとする主回路機器，サイリスタ始動装置，ディジタル継電器などの関連電気設備の製作ととりまとめを担当している。

本稿においては，プロジェクトならびに主に発電電動機および関連電気設備の概要を紹介する。

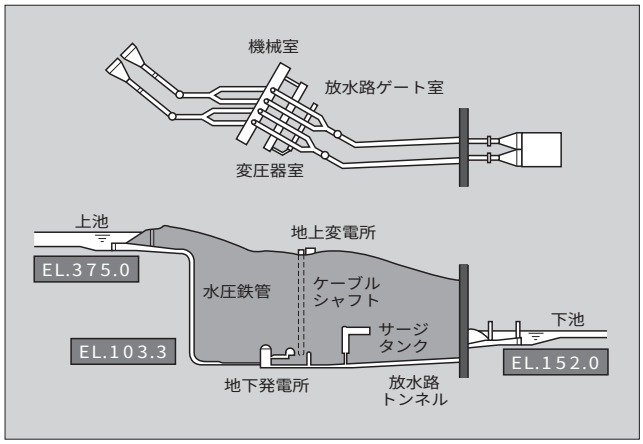
2　プロジェクトの概要

本発電所は中国・山東省済南市の南約 70 km に位置する泰安市に建設される揚水発電所である。海上輸送される主要機器は青島市で荷降ろし後，発電所まで西へ約 330 km の陸路で輸送される。

貯水池は容量約 1,130 万 m^3 の上池を建設し，下池は既設の灌漑（かんがい），洪水調整，工業用水用の貯水池を利用し，その貯水容量は約 2,230 万 m^3 の規模である。そのうち約 890 万 m^3 が発電に使用される。発電所出力は合計 1,000 MW で，主にピーク電力調整，周波数調整，無効電力調整および非常用予備電源として活用される。

発電所の概要を**図 1** に示す。水路は 2 系統から成り，2 本の水圧鉄管が地下発電所近傍で 4 本に分岐されそれぞれのポンプ水車に導かれる。4 本の放水路はサージタンクの手前で 2 本の放水路トンネルに集約され下池に放流される。地下発電所は主に主機（ポンプ水車・発電電動機）機械室，主要変圧器室とそれらを結ぶ主回路ブスバーギャラリーで構成されている。主要変圧器はケーブルシャフトに布設される 220 kV 電力ケーブルにより，地上の開閉所（GIS）に接続される。また，発電所は遠隔常時監視制御方式で地上の制御所から制御される。

図 1　発電所の概要



揚水始動は主にサイリスタ始動方式であるが，バックアップとして同期始動方式も適用可能としている。主回路は低圧同期のユニット式が採用され，220 kV の 2 回線送電線に接続されている。

3　主機の定格と仕様

主機の定格と仕様を**表 1** に示す。

4　発電電動機

4.1　基本設計

泰安揚水発電所は海外競争入札案件であるがゆえに，小型化による競争力向上と高性能の両立が要求される。

戸崎　尚

水力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)技術部リーダー。

衛藤　浩史

発電機の電気設計に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)設計部リーダー。電気学会会員。日本応用磁気学会会員。

小林　秀樹

発電機の構造設計に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)設計部リーダー。

したがって，従来にない発電電動機の体格の縮小を行う必要があった。1987 年に納入した同レベル出力のパルミエット発電電動機との比較を**表２**に示す。出力を回転速度と発電電動機の回転部の体積で除した機械定数を比較すると，パルミエット[(1)]の 7.6 に対して，泰安では 10.7 に向上している。これは約 30 %の体格の縮小を図ったことになる。

体格の縮小にあたり冷却効率を向上させる必要があり，通風解析により通風冷却の最適化を行った。

また，体格の縮小は回転部の小型化により，空気との摩擦によって発生する風損の低減を図り，発電電動機の高効率化も可能とした。

4.2　構造の概要

ポンプ水車・発電電動機の本体断面を**図２**に示す。軸受配置は回転子の下部にスラスト軸受が配置され，回転子の上部にガイド軸受を有する準傘形構造とし，放射状に配置した上部軸受ブラケットの脚部をコンクリート壁まで伸ばすことで，防振ステーの機能を兼用する構造とした。

冷却方式は間接空冷方式とし，通風方式としては，ロータリムに設けられた半径方向スリットの回転時におけるファン作用を利用したリム通風方式を採用している。

(1)　固定子

固定子鉄心は現地積み方式とし，固定子枠は製作工数の低減を図るため機械加工を省略した構造としている。この構造を採用した場合，固定子鉄心積み時の基準面の形成方法が重要となる。本機では，固定子鉄心上部に設けられているセグメント形のプレスリングを下部にも設置し，スタッドにて各プレスリングの高さを調整することで，鉄心積み時の基準面が形成可能なダブルプレスリング方式を採用した。また，固定子枠は輸送制限から二分割構造としている。

固定子巻線はレーベル転位を施した１ターン重ね巻きコイルの四重星形結線とし，絶縁は富士電機の新 F レジン/F を採用した。揚水用発電電動機の特徴である過酷なヒートサイクルの対策として，可能な限り熱膨張収縮を吸収できる構造を採用し，鉄心・巻線および固定子枠は熱応力疲労にさらされない設計としている。

(2)　回転子

回転子は鋼板溶接構造のロータセンタ，薄鋼板積層構造のロータリムおよびミカフィル形コイルを採用した磁極から構成され，ロータリムは現地にて１リングに積層された後，ロータセンタに取り付けられる。

磁極・ロータリムおよびロータセンタ部については，有限要素法（FEM）による解析を行い，応力集中を含めた応力分布と変形を求め，低サイクル疲労強度の検討を行い疲労強度に問題ないことを確認した。磁極とロータリムお

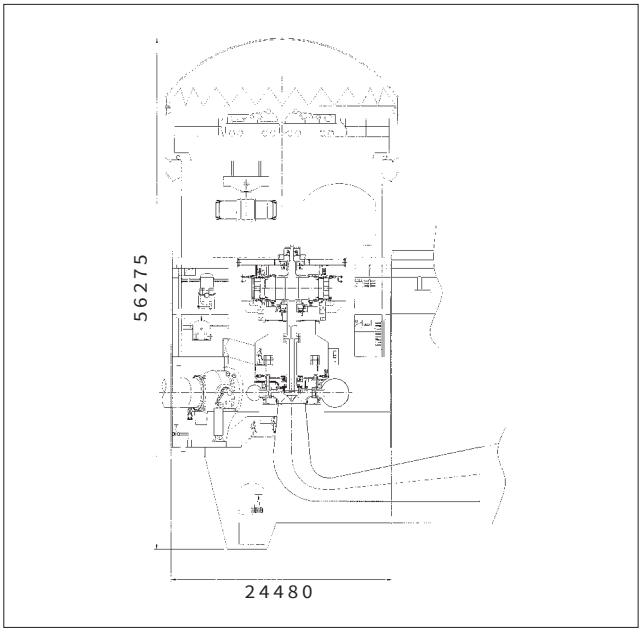
表１　主機定格と仕様

ポンプ水車	形　式		立軸フランシス形ポンプ水車
	台　数		4台
	ランナ径		4,580 mm
	水車	最大出力	280 MW
		有効落差	253/225/214 m（最高/基準/最低）
		使用水量	128.9 m^3/s
		回転速度	300 r/min
		特有速度	126.4 m-kW
	ポンプ	最大入力	274 MW
		全揚程	259.6/235.3/223.6 m（最高/基準/最低）
		揚水量	105.5 m^3/s
		回転速度	300 r/min
		特有速度	51.3 m-m^3/s
発電電動機	形　式		立軸三相同期発電電動機
	台　数		4台
	出　力		G：278（過負荷時290）MVA，M：274 MW
	電　圧		15.75 kV
	力　率		G：0.9（過負荷時0.95），M：0.975
	周波数		50 Hz
	回転速度		300 r/min
	短絡比		0.9
	はずみ車効果（GD^2）		7,700 t-m^2
	始動方式		サイリスタ始動/同期始動

表２　発電電動機の仕様比較

	泰安発電電動機	パルミエット発電電動機
定格出力	G：278 MVA M：274 MW	G：250 MVA M：200 MW
電　　圧	15.75 kV	16.5 kV
力　　率	0.9/0.975	0.8/0.8
周 波 数	50 Hz	50 Hz
回転速度	300 r/min	300 r/min
機械定数（発電機定格出力）	10.7	7.6

図２　ポンプ水車・発電電動機の断面図



よびロータセンタの解析例を**図3**，**図4**に示す。

(3)　軸 系

軸系は主軸，ロータセンタ，上部軸および補機軸から構成される。水車軸を含めた軸系全体の危険速度検討を行うとともに，ポンプ水車ランナに作用する横方向動的水スラストの周波数成分に対する振動応答解析を行い，軸系各部の振れ，軸受反力，上下軸受ブラケットの必要剛性，基礎への伝達荷重などを分析し振動対策を行った。

(4)　軸 受

スラスト軸受は10個のセグメントで構成し，各セグメントが中央で二重円板スプリングにより支持される可逆回転対応のミッチェル形軸受を採用した。始動・停止時に軸受しゅう動面に高圧油を供給するオイルリフタ装置が設けられている。また，上下ガイド軸受は剛性の高いコッタ支持方式のセグメント軸受を採用した。

油循環は上下部軸受ともセルフポンプによる自己循環方式とし，冷却方式としては，上部軸受は油槽内に設置した冷却管，下部軸受は別置式油冷却器を採用した。

4.3　通風解析

(1)　通風解析の目的

通風冷却の技術[2]は発電電動機の体格・効率といった要素に支配的な影響を与える。泰安揚水発電電動機は小型化と高効率を目指し，以下の2点を通風解析により実現した。

図3　磁極・ロータリムのFEM解析

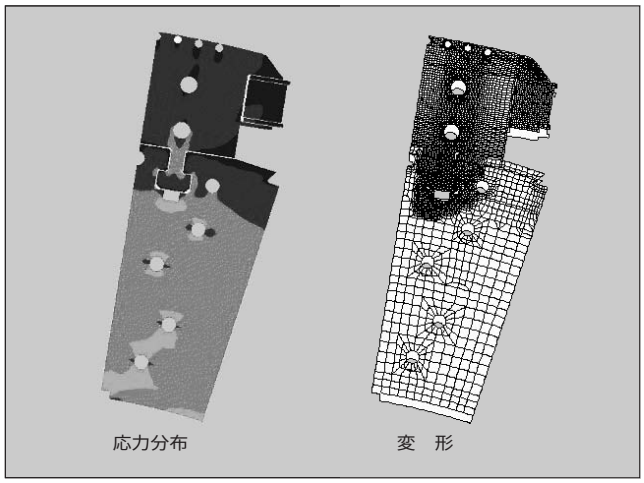
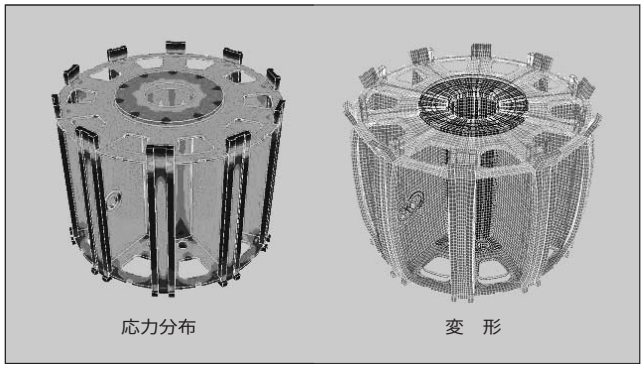


図4　ロータセンタのFEM解析



①　風量配分の均一化による冷却効果の向上

②　冷却風量低減による風損の低減

(2)　風量配分の均一化

発電電動機の固定子鉄心には冷却用のダクトが設けられており，ダクトの風量分布が軸方向に均一であると，固定子巻線に対する冷却効果も均一化される。**図5**に風量配分均一化の改善前および改善後の風速分布を示す。改善後は冷却風入口部および中心部の吹出し部の流速も下がり全体的に均一化されているのが分かる。**図6**に改善前および改善後の固定子巻線の温度分布を示す。改善後は全体に温度上昇が均一化されているのが分かる。

次に，**図7**に改善前および改善後の回転子巻線の温度分

図5　固定子鉄心通風ダクトの風速分布

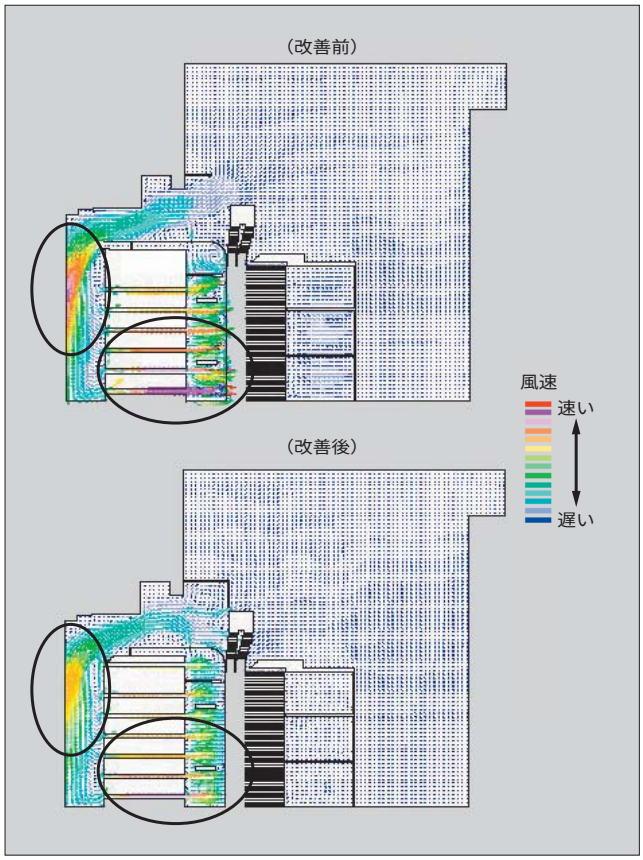
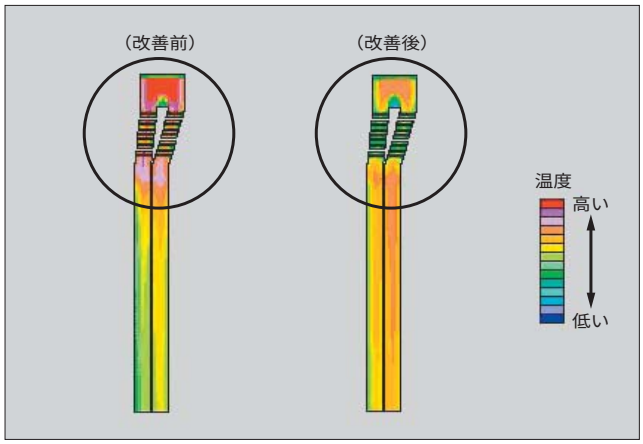


図6　固定子巻線の温度分布



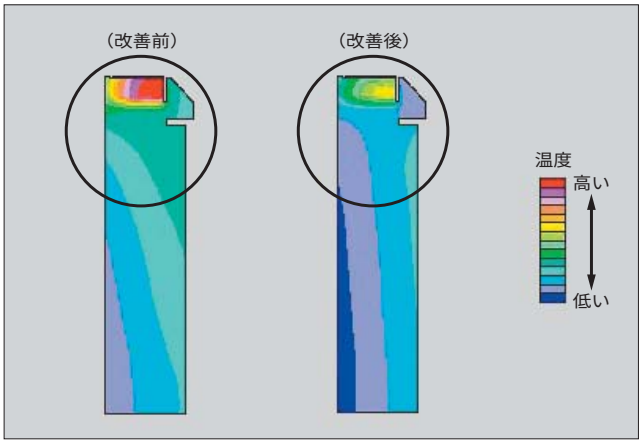
布を示す。改善前は中心部の冷却風速が改善後よりも速い分布を示していたが，回転子巻線の温度は中心部の温度がむしろ高くなっている。これは，流速が速すぎて冷却風として有効に回転子巻線に作用していないことを示している。これに比べて改善後は，固定部・回転部ともに冷却効果が優れているのが分かる。

(3)　風損の低減

高速大容量機は回転部の径が大きくかつ軸方向も長いので，自らが回転することによって空気との摩擦による損失が大きくなり，全損失の 20 %近くを占める。したがって，発電電動機の効率の向上には風量を少なくして，風損を低減することが全体の効率を有効に改善することになる。

前項の風量分布の均一化により巻線の温度上昇を均一化および冷却効率の向上により風量を大幅に低減することが可能になった。前述したパルミエット発電電動機では冷却風量が 90 m^3/s 必要であったのに対し，泰安発電電動機では 65 m^3/s の冷却風量で全体を問題なく冷却することが可能となった。これは，風損で約 30 %の損失改善となった。

図７　回転子巻線の温度分布



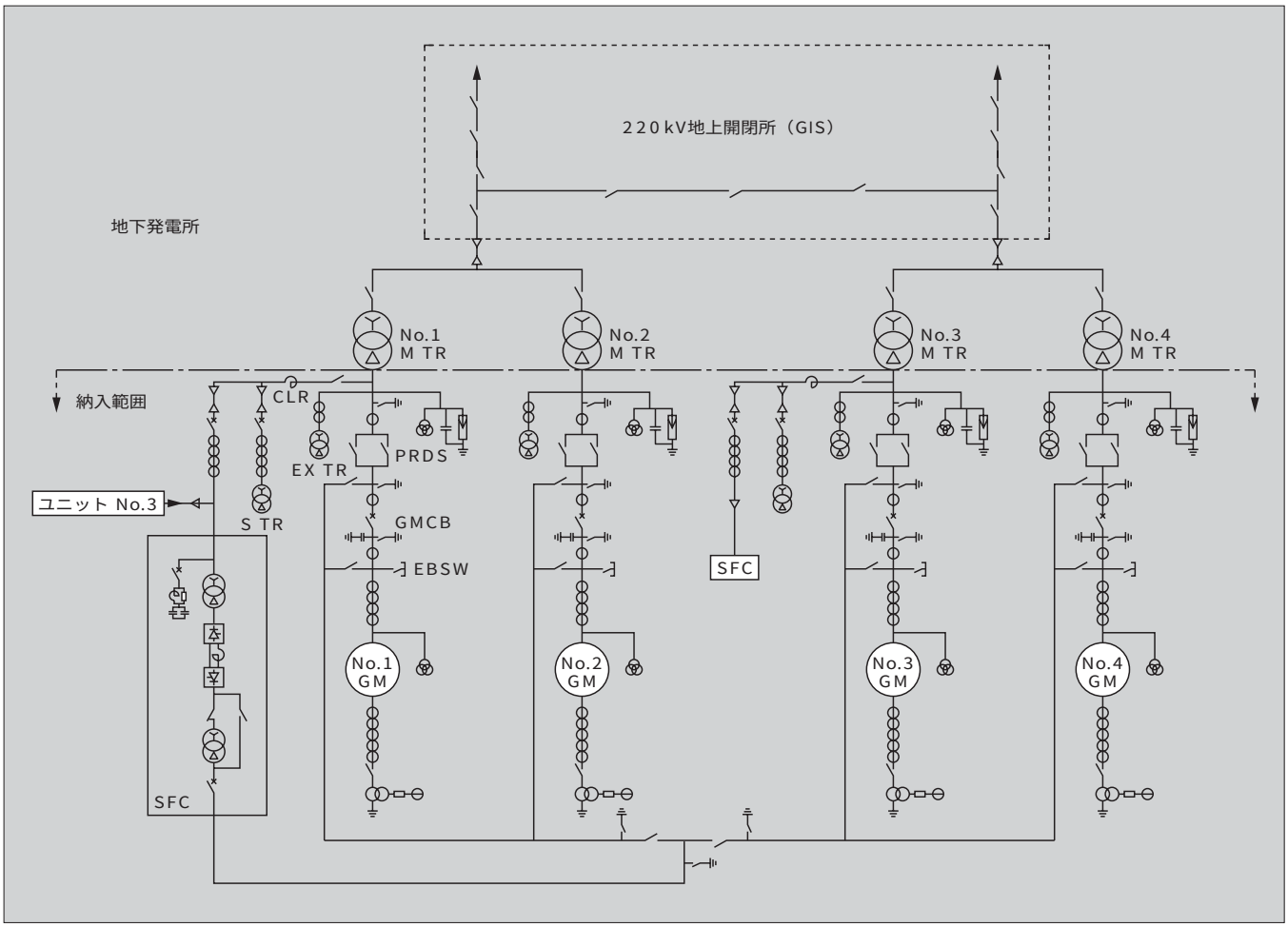
5　関連電気設備

発電電動機の関連設備として納入する電気設備は，励磁装置，サイリスタ始動装置，15.75 kV 主回路機器，発電電動機保護用および主要変圧器保護用ディジタル保護継電器である。主要な機器は契約時点で製作実績，運転実績などの資格審査条件を満足する機器となっており，ほとんどの機器は中国も含め海外調達を予定している。

ここでは，15.75 kV 主回路機器について紹介する。

図８に単線結線図を示す。発電電動機から主要変圧器まで約 50 m の相分離母線で接続する。この間の相分離母線と母線に直結して設置される主要な機器と仕様は，以下の

図８　単線結線図



とおりである。

(1)　相分離母線（IPB）　4 組
　主回路：定格電圧 18 kV，定格電流 12,500A
　分岐・始動回路：定格電圧 18 kV，定格電流 1,250 A
(2)　電気ブレーキ用断路器（EBSW）　4 組
　定格電圧 24 kV，定格電流 12,500 A（10 分定格）
(3)　発電機主回路遮断器（GMCB）　4 組
　定格電圧 24 kV，定格電流 12,000 A，遮断電流 100 kA
(4)　相反転断路器（PRDS）　4 組
　定格電圧 24 kV，定格電流 12,000 A
(5)　断路器（DS）　始動回路用 10 組＋所内回路用 2 組
　定格電圧 24 kV，定格電流 1,250 A
(6)　接地装置（ESW）　主回路用 12 組＋始動回路用 3 組
(7)　限流リアクトル（CLR）　2 組
(8)　PT，CT，サージアブソーバほか　4 組
(9)　励磁用変圧器　4 組

主回路の短絡容量は 100 kA（3 秒），ピーク 260 kA であり，主回路から分岐する回路は 150 kA（3 秒），ピーク 400 kA の仕様条件に基づき上記機器は製作される。また，サイリスタ始動装置と所内変圧器（3 台×単相 2,100 kVA）につながる所内回路は 1 号機と 3 号機の主要変圧器低圧側から分岐した回路に限流リアクトルを設置し，短絡電流を 25 kA に抑制している。

⑥　あとがき

本稿では，中国・泰安揚水発電所主要機器の概要について紹介した。現地では地下発電所などの土木工事が先行して進められており，現在，機器設計・製作を鋭意行い，2004 年早々には機器の据付けを開始し，2006 年末の発電所完成を目指している。

最後に，発電所完成に向け関係各位のさらなる協力をお願いする次第である。

参考文献

(1)　奥野貴之ほか．大容量発電電動機及びサイリスタ始動装置（パルミエット揚水発電所向け）．富士時報．vol.60, no.5, 1987, p.378–383.
(2)　氏家隆一．最近の水力発電用発電機技術．富士時報．vol.72, no.10, 1999, p.534–538.

フランシス水車ランナの更新技術

塚本　直史（つかもと　ただし）　　稲垣　正洋（いながき　まさひろ）

1　まえがき

電気は，市民生活の重要なライフラインの一つであるが，発電する際にも直接的または間接的に温室効果ガスである二酸化炭素は排出される。このため，風力，太陽光など自然エネルギーの活用が進められている。一方，環境に負荷を与えることなく発電量を増加させる手法として，既設水力発電所の高効率化がある。

水車の効率は，主にランナ形状を最適化することにより年々改善されており，1995年ごろから実用化され始めた三次元流れ解析技術の進歩とともに飛躍的に向上した。このような技術を既設の100 MW以上の発電所に当てはめると，水車効率を1％改善することで小水力発電所1か所分に相当する1,000 kWの電力が環境に負荷を与えることなく得られることになる。

既設水力発電所に最新のランナを適用する方法は，以前から行われており，大容量の水車ランナ更新時には，模型水車試験にてその性能を確認し実物水車が設計されていた。しかしながら，改修の期間短縮・費用削減を行うため，模型試験の省略が期待されている。今回水車ランナの改修を行った電源開発(株)手取川第一発電所では，三次元流れ解析（以下，CFDと称す）によるランナ設計を実施し，最終確認を現地効率試験で行う方法が採用された。

本稿では，最近のフランシス水車ランナの更新技術について報告する。

2　発電所の概要と更新計画

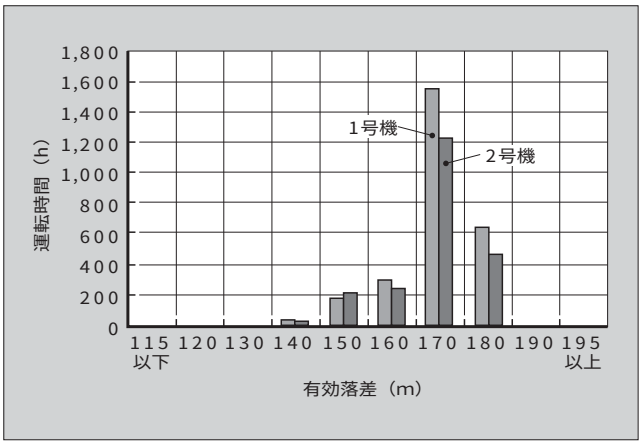
手取川第一発電所は，多目的ダムである手取川ダムに貯水された水を利用しており，最大水車出力129 MWの立軸フランシス水車2台を有している。発電所の諸元を**表1**に示す。本発電所は運転開始後20年が経過し，ランナ更新による発生電力量の増大を目的に改修工事が行われ，2002年12月に終了した。

既設水力発電所は，運転実績を調査することで年間発生電力量を最大とする設計が可能となる。**図1**は発電所の年間の運転状態を表している。この図から，高落差，大流量側での運転時間が多く，最低落差での運転はほとんど行われていないことが分かる。旧ランナの設計は，基準落差での運転を主に，最低・最高落差側での水車効率，キャビテーション発生状況を考慮して行われている。このため，変落差が大きい発電所においては，特に入口負圧側，圧力側のキャビテーション発生範囲の設定が重要となる。一方，新ランナの設計は，旧ランナに比べ最高効率を高めるとともに，**図1**の落差別運転時間より最高効率点および入口負圧側キャビテーションの発生範囲を高落差側へ移動させている。

表1　手取川第一発電所の諸元

所在地	石川県石川郡尾口村
運転開始	1979年8月
形　式	立軸単輪単流フランシス水車
認可出力	最大250,000 kW（2台合計）
最高/基準/最低有効落差	185 m/162.5 m/118 m
使用水量	最大180 m^3/s
回転速度	240 r/min

図1　落差別運転時間



塚本　直史

水車およびファンの開発に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)設計部マネージャー。

稲垣　正洋

水力発電プラントの改修工事の取りまとめに従事。　現在，富士・フォイトハイドロ(株)技術部。

3　流れ解析

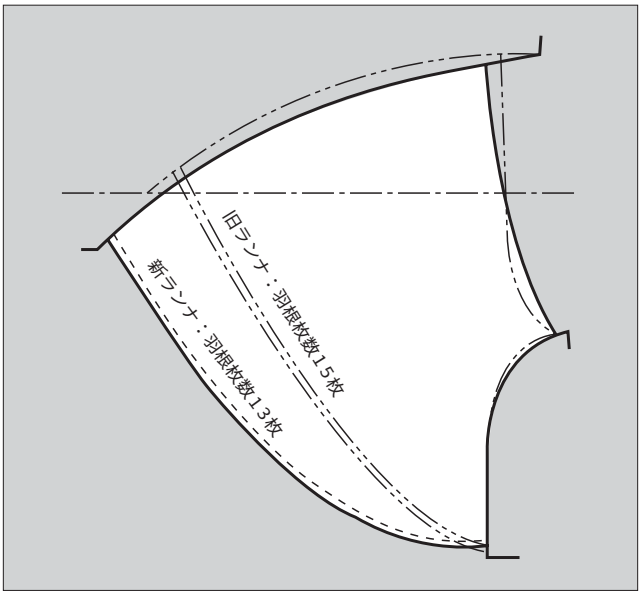
水車性能を流れ解析で把握するには，特に流量特性を正確に求める必要がある。流量特性は，主に既存の固定流路に当てはめるためのランナ形状変更による影響，およびランナへの流入角度を精度よく計算することにより求められる。このため，流れ解析はケーシング，ステーベーンおよびガイドベーンの解析を実施し，この結果をランナの入口条件として新旧ランナについて実施した。また，部分負荷運転時での吸出し管内の水圧脈動を既存水車と比較するため，ランナ出口流れを吸出し管入口の流入条件として与え吸出し管内の流れ解析を実施した。

最近では，おのおののパーツ間での流れは，時として無視できないほど相互に影響を与えることが分かっている。しかしながら，このような計算は制約のある設計時間や計算時間からすべての段階で実施することは難しく，相互に影響を及ぼす可能性がある場合には複数のパーツを組み合わせた解析手法が取り入れられている。今回行った手法は，実用的な設計時間，解析時間の中で各パーツの計算を実施し，各パーツ間の境界条件を考慮したうえで組み合わせ，最終的に水車全体の性能を把握する方法を採用した。

4　新旧ランナ形状の比較

図2に，新ランナ（実線）と旧ランナ（二点鎖線）の側面形状を比較して示す。旧ランナは羽根枚数が15枚であったが，新ランナは13枚羽根を採用している。新ランナは，すでに開発を終えた高効率ランナを手取川第一発電所の固定部に取り付けられるよう各部の寸法を変更して設計されている。このため，ベースとなったランナの羽根枚数に合わせ，新ランナの羽根枚数は13枚となっている。

図2　新旧ランナの側面形状



このため，今回採用した13枚羽根ランナは旧ランナの15枚羽根に比べ，長い翼弦長が採用されている。

旧ランナおよび新ランナの三次元形状を**図3**に示す。この図から，特にランナクラウンからバンドまでの翼出口端形状に大きな違いがあることが分かる。旧ランナは，ランナ出口端を基準にランナが設計・製作されることが多く出口端も放射状に配置されていた。一方，新ランナは三次元形状の取扱いが容易になったことから，設計上の制約を少なくした形状が採用されている。

また，各流線における翼形状は，旧ランナではほぼ肉厚が均等な形状が採用されている。一方，新ランナは翼入口側の翼厚が厚く，入口から出口に向かって翼厚が変化する形状を採用している。これにより，後述するように入口キャビテーションの大幅な改善が図られている。

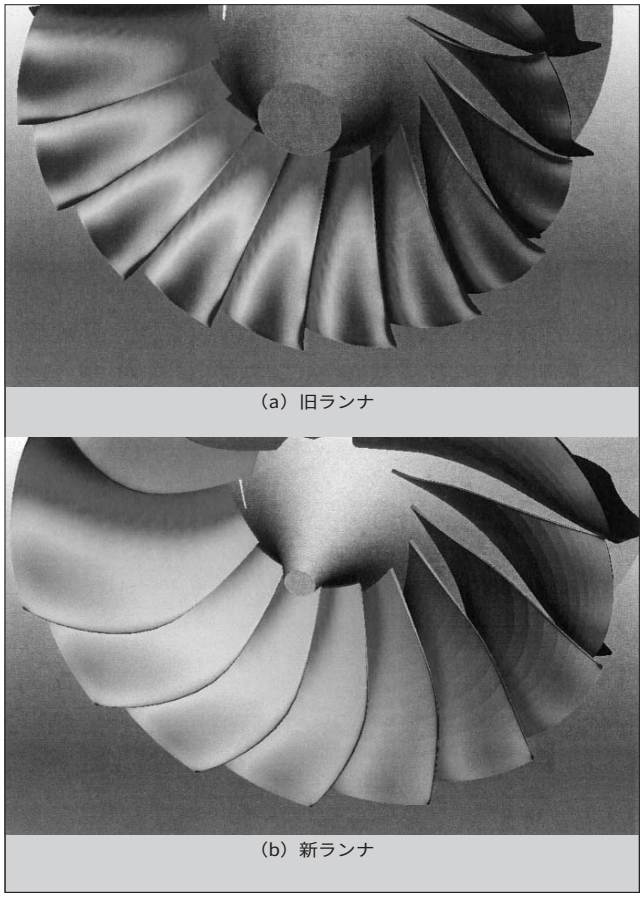
5　流れ解析結果

流れ解析は，性能比較を実施するため新旧ランナについて実施したので，以下にその概要を述べる。

(1)　損失分布

図4は，基準落差，最大流量時におけるランナ出口側の中央流線での損失分布を示す。図の上側が羽根入口，下側が羽根出口であり，向かって右側が圧力面，左側が負圧面を示している。旧ランナの出口端と負圧面に色の濃い部分

図3　新旧ランナ形状の比較


（a）旧ランナ
（b）新ランナ

が見られる。これは，損失が発生していることを表しており，新ランナにおいては色の濃い部位は見られず，ランナ出口端および負圧側で発生していた損失が改善されていることが分かる。

(2)　圧力分布

図5は最高落差時におけるランナ入口側負圧面における圧力分布を表している。旧ランナにおいては，バンド側負圧面で圧力が低下しており，この部位でキャビテーションが発生することが予想される。旧ランナは設計時に模型試験を行っており，その結果においても最高落差運転時にはバンド側負圧面で入口キャビテーションの発生が確認されている。前述のように今回の改造においては，高落差側での運転時間が長く，入口キャビテーションの改善を目的としている。このため，新ランナは解析結果から見られるように，入口キャビテーションの発生が抑えられた設計となっていることが分かる。

(3)　速度ベクトル

図6に，最高落差運転時におけるランナ入口クラウン側の速度ベクトルを示す。図の上側が羽根入口，下側が羽根出口であり，向かって右側が圧力面，左側が負圧面である。矢印の向きは流れの方向を示している。旧ランナの入口側負圧面で色の濃淡が見られるが，これは流速変化が大きくなっていることを示し，損失が発生していることが分かる。一方，新ランナにおいては，翼に沿っての流速変化は少なく，効率の改善が図られていることが分かる。

6　現地効率試験

現地効率試験は，ランナ更新前後で JEC4002-1992 に準じて絶対効率測定法である単式圧力時間法により実施した。

図4　ランナ出口部の損失分布

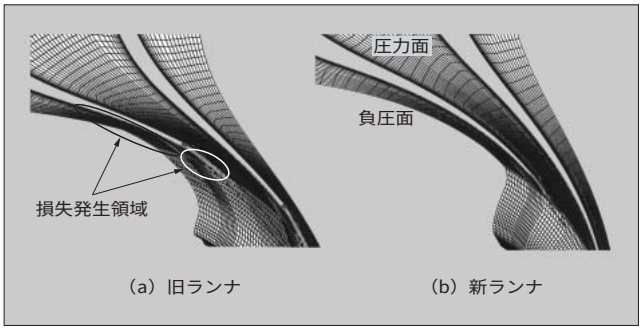


図5　ランナ入口側負圧面における圧力分布

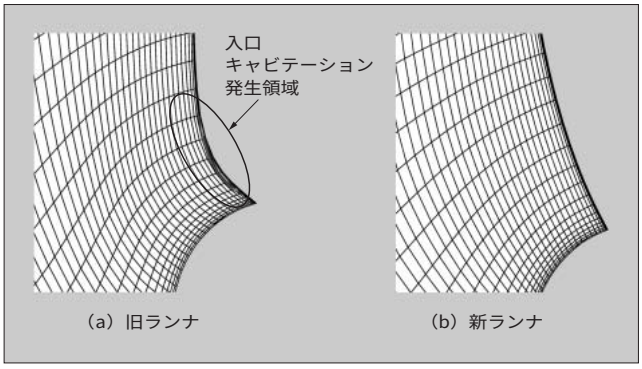


図6　ランナ入口クラウン側の速度ベクトル

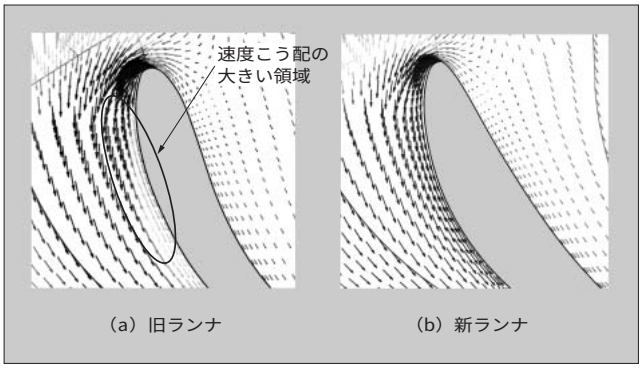


図7　測定器の配置図

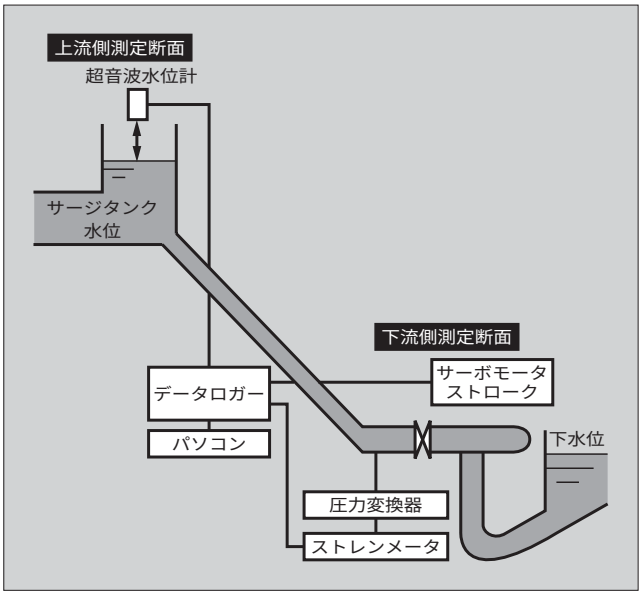


図8　現地効率試験結果

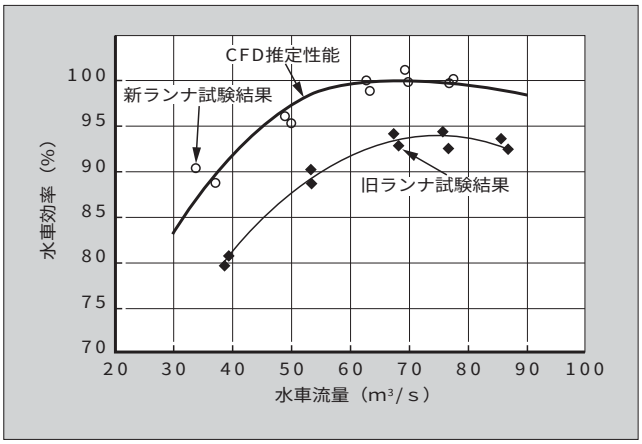


図 7 に現地効率試験時の測定器配置を示す。測定されるデータは，すべて A-D 変換器を経てパソコン内に収集され，水圧波形を面積積分することにより流量が算出される。これにより，試験点ごとに測定結果の良否が即時に判断され，測定の信頼性を高められるようなっている。

ランナ更新前後に行った効率試験結果を**図 8** に示す。横軸は水車流量，縦軸は CFD から推定される最高効率で無次元化した相対水車効率を示す。ランナ更新後の効率は，流れ解析から求められた性能とよく一致しており，高い精度の効率推定が行えたものと考える。また，経年的な効率低下はあるものの，ランナ更新前に比べ水車効率で 5 %以上の改善が図られた。

7　あとがき

本稿では，既設水力発電所の改修による高効率化への取組みについて紹介した。今後とも水車の高効率化に向けて開発を推進していく所存である。エネルギーを有効に活用する高効率化への取組みが，活発に行われ，本内容が今後の改修計画の参考になることを期待する。

参考文献

(1)　藤井恒彰ほか．水車設計における CFD 技術と活用について．ターボ機械．vol.28, no.11, 2000, p.24-28.

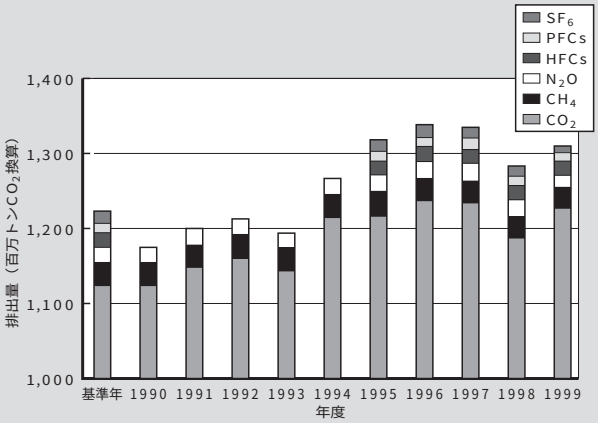
(2)　小池候朗ほか．水車ランナ更新時における CFD の活用．ターボ機械．vol.30, no.11, 2002, p.52-56.

解　説　温室効果ガス

地球温暖化の原因として二酸化炭素（CO_2）が注目されているが，1997 年 12 月の「気候変動枠組み条約第 3 回締約国会議」（COP3）において署名された京都議定書では，CO_2 だけではなく数種類の温室効果ガスの排出量削減目標が法的義務として規定されている。この温室効果ガスの中の 90 %以上が CO_2 であるが，そのほかにメタン（CH_4），一酸化二窒素（N_2O），ハイドロフロオロカーボン類（HFCs），パーフルオロカーボン類（PFCs），六ふっ化硫黄（SF_6）が含まれている。

日本における各温室効果ガス排出量の推移は，CO_2 を除き減少の傾向にあるので，CO_2 が話題の中心となっている。京都議定書の基準年は 1990 年であるが，HFCs，PFCs，SF_6 は 1995 年が基準年である。

温室効果ガス排出量の推移



ハイブリッドサーボシステム

早馬　　弘（はやま　ひろむ）　　大隈　謙二（おおくま　けんじ）　　磯野　与志雄（いその　よしお）

1　まえがき

近年，国内の主な中小水力発電所の調速機（ガバナ）において，油圧操作式サーボモータに代わり，電動操作式サーボモータが採用されている。これは電動操作式サーボモータの利点が広く認知されてきたからにほかならない。

必要操作力の面から，今まで油圧方式で検討されていた発電所においても電動化の要求が高まってきた。また，従来の電動方式の機械操作部破損などの弱点を補う新しいタイプの電動操作式サーボモータの開発要求も高まってきた。

このような背景から富士電機は，油圧方式に対する電動化のメリットを継承しつつ，従来の電動操作式サーボモータの弱点を補う新しいタイプの電動操作式サーボモータ（ハイブリッドサーボシステム）を開発したので紹介する。

2　電動サーボの変遷

富士電機では1977年に世界で初めて水車制御用電動操作式サーボモータ（電動サーボ）の1号機を米国に納入して以来，現在までに約120台を納入してきている。

(1)　第一世代（1970年代）

ボールナットを用い，モータの回転運動を直線運動に変える操作機（パワーシリンダ）に交流誘導電動機を取り付けた方式で，モータはガイドベーンを駆動させるときのみ電源を投入し，コンタクタによりオンオフ制御され，その場での位置はモータに付属されたブレーキで保持される方式である。動作時ブレーキ釈放，電源投入という手順を踏むため，電気協同研究（電協研）で要求されている不動時間を満足せず，周波数調整機能が要求されないスピーダレスガバナとして採用された。

(2)　第二世代（1980年代）

本方式は電協研の要求事項を満足するガバナとして開発された。機械部分は第一世代と基本的に変更はないが，モータは可変速制御としている。不動時間の要求を満足させるために，常時電源が入っており，モータは静止しながらも水流に対抗する静止トルクを発生させている。電気ガバナから発信される速度指令信号に従ってモータは回転する。モータは永久磁石回転子形同期電動機（SM）が採用された。

(3)　第三世代（1990年代）

電動サーボが一般的になり，より容量の大きな範囲の電動サーボが必要となってきた。第二世代のモータ制御方式は容量の限界があり，大容量用としてベクトル制御方式が採用された。

(4)　第四世代（2000年代）

第四世代の電動サーボとして今回，以下に述べるハイブリッドサーボシステムを開発し，実用化した。

富士電機は2002年3月に運転された九州電力(株)右田発電所の成功を機に，すでに4発電所に納入し，運転している。

表1にハイブリッドサーボシステムの納入実績を示す。**図1**に現在運用されている北陸電力(株)久婦須川第一発電

表1　ハイブリッドサーボシステムの納入実績

納入先	発電所名	水車形式	水車出力 (kW)	定格推力 (kN)	モータ容量 (kW)	アキュムレータ非常閉鎖装置	備　考	
北陸電力(株)	久婦須川第一発電所	HF-1RS	3,770	33	1.3	無	新設	2002年8月運転開始
九州電力(株)	右田発電所	HF-1RDS	1,640	66	2.2	有	改修	2002年3月運転開始
北陸電力(株)	白萩発電所	HF-1RDS	3,290	40	2.2	無	新設	2002年12月運転開始
九州電力(株)	石井発電所	HK	1,172	66	2.2	有	改修	2003年3月運転開始
九州電力(株)	槇之口発電所	VF-1RS	10,600	120	7.5	無	新設	製作中
九州電力(株)	下川発電所	HF-1RDS	1,640	66	2.2	無	改修	製作中

早馬　　弘

水車設計，特に計画設計と構造設計に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)設計部担当部長。ターボ機械協会会員。

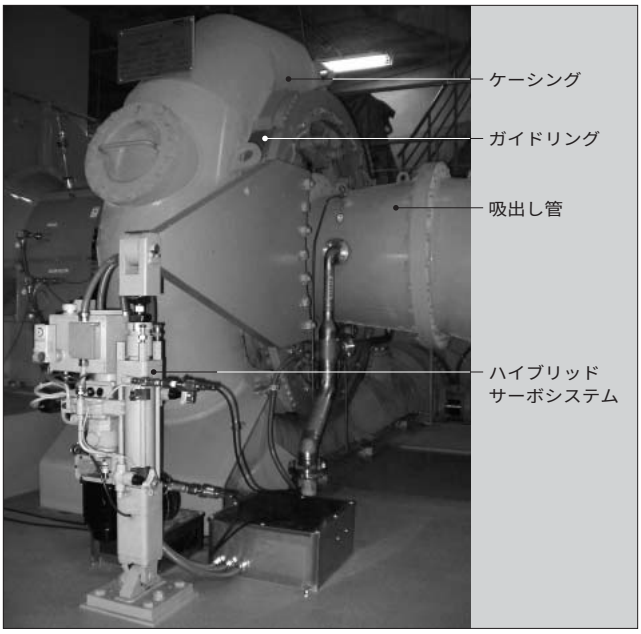
大隈　謙二

水力発電プラントのエンジニアリングに従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)技術部マネージャー。

磯野　与志雄

水力発電プラントの制御・保護システムの設計およびエンジニアリングに従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)技術部。

図１　ハイブリッドサーボシステムの現地据付け状況
〔北陸電力(株)久婦須川第一発電所〕



所におけるハイブリッドサーボシステムを現地据付けした状況を示す。

3　特　徴

電動サーボは油圧操作式サーボモータ（油圧サーボ）に比べて圧油ポンプやコンプレッサなどの周辺機器が大幅に簡素化できるため，コストやスペース，保守性に優れている半面，操作力が小さいため小容量水車にしか適用できず，さらにパワーシリンダの不具合（ボールベアリングの摩耗，リターンチューブの破損など）を低減すべく，定期的なグリースの交換や点検が強要されていた。

ハイブリッドサーボシステムは上記の欠点を踏まえて開発されており，従来の油圧サーボに比べ，分散した油圧機器が大幅に削減かつ集約され一体化されるので，コンパクトかつ簡素となり保守が容易である。

また，従来の電動サーボと異なり，操作に油を介しているので，サーボモータ・ポンプの並列化が可能となり，中容量クラスの水車の電動化が可能となる。さらにシリンダ部にベアリングがないなど，多数の機械要素が削減されるので，コンパクトかつ簡素となり，長寿命かつ保守が容易である。

表２に油圧サーボの場合と電動サーボの場合とハイブリッドサーボシステムの場合それぞれの長所，短所，適用範囲などを具体的に比較して示し，**図２**にそれぞれの場合の構成を示す。

ハイブリッドサーボシステムの主な特徴は以下のとおりである。

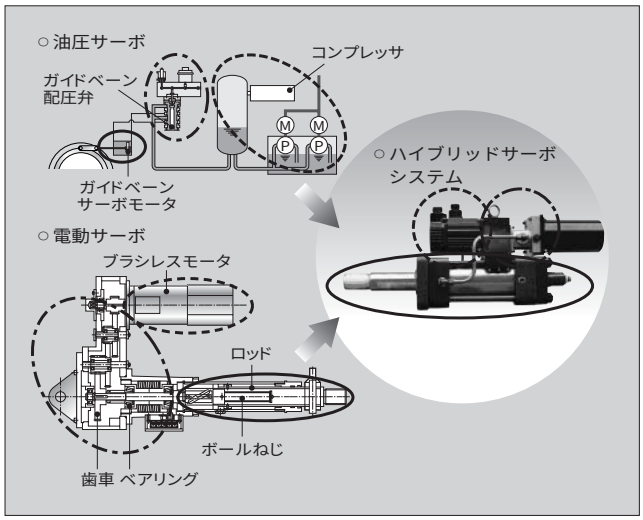
(1)　駆動部はすべての構成機器が一体構造で簡素な構造である。

(2)　高油圧化によりコンパクトな駆動部となっている。

表２　油圧サーボと電動サーボとハイブリッドサーボシステムの比較

	油圧サーボ	電動サーボ	ハイブリッドサーボシステム（新電動サーボ）
機器構成	○圧油・集油装置 ○配圧弁・電磁弁 ○油圧シリンダ ○圧油配管	○電源装置（ACモータ用） ○サーボモータ・アンプ ○パワーシリンダ	○サーボモータ・アンプ ○ハイブリッドサーボシステム
動作方式	配圧弁・電磁弁で圧油を制御し，油圧シリンダを駆動	サーボモータの回転運動を，減速機とボールねじを介してパワーシリンダの直線運動に変換	サーボモータと可逆ポンプセットから，直接油圧シリンダを駆動
適用範囲	○制限はなし	○操作力：320 kN以下 ○適用範囲の目安：水車出力 20 MW以下	○開閉速度を下げれば，操作力に制約はなし ○適用範囲の目安：水車出力 50 MW以下
長　所	○適用範囲に制約がない	○圧油・集油装置が不要で，初期コストが安価 ○圧油・集油装置がないため，メンテナンスが容易	○圧油・集油装置が不要で，初期コストが安価 ○圧油・集油装置がないため，メンテナンスが容易 ○従来電動サーボに比べ，大幅な小型化が可能
短　所	○圧油・集油装置が複雑で，初期コストが大 ○圧油・集油装置など圧油機器のメンテナンスが煩雑	○適用範囲が狭い（大容量水車には適用不可） ○パワーシリンダ機械故障時は，ガイドベーン閉鎖不可 ○油圧サーボに比べ外形寸法が大きい	
保守性	○圧油・集油装置など圧油機器の定期的な保守点検が必要	○ボールねじへの定期的（6か月ごと）なグリース給脂，排脂が必要 ○交換部品の調達納期が長い	○定期的な操作油の交換が必要 ○交換部品の調達納期が短い
価　格（当社比）	220％	100％	100％

図２　油圧サーボと電動サーボとハイブリッドサーボシステムの構成



(3)　一体構造であるので配管作業や煩雑な現地調整が不要であり，据付けが容易である。
(4)　駆動部は定期的な操作油の交換のみであり，メンテナンスが容易である。
(5)　駆動サーボ・ポンプの電気故障・機械故障に対して，バイパス閉鎖回路により完全な機械バックアップが可能である。
(6)　従来，電動サーボでは適用外の出力 50 MW クラスまで電動化が可能となり適用範囲が広がる。

4　機器構成

4.1　機械的機器構成

ハイブリッドサーボシステムは電動サーボモータで油圧シリンダを制御するシステムである。ハイブリッドサーボシステムの動作原理を表すシステム構成を**図 3** に示す。

ディジタルガバナから出力する±10 V の速度指令を DC100 V 電源のサーボアンプに入力する。サーボアンプは駆動用サーボモータを±1,500 r/min で駆動，可逆ピストンポンプを直接制御し，油圧シリンダを操作する。

油圧シリンダを開閉する際には，可逆ピストンポンプを正転・逆転させる。油圧シリンダを一定開度で保持する場合には，可逆ピストンポンプは油圧を保持しながら静止しているが，油圧シリンダ位置がずれると，位置センサで検出しその位置ずれを戻すよう可逆ピストンポンプが回転し，一定開度を保持する。

油圧回路は閉鎖回路であるため，油圧シリンダの開閉に伴いピストンロッドの体積変化が発生し，閉鎖回路内の油量が変化する。この油量変化を，シャトル弁を通して小さな油槽で吸収する。

ハイブリッドサーボシステムの心臓部である可逆ピストンポンプは，定格油圧が 10 MPa と高圧であり，かつ漏油が少ない容積型ポンプであるピストンポンプを採用している。

油圧シリンダの開閉速度は，ピストンポンプの吐出量を変えて制御する。一般にピストンポンプの吐出量制御は，斜板の角度を変えて機械的に行うが，ハイブリッドサーボシステムでは駆動用サーボモータの回転速度を変えて電気的に行う。

以上の各構成機器はすべて一体化され高圧化されているため，ハイブリッドサーボシステムの外形は非常にコンパクトで，現地での据付けも容易である。**図 4** に既設油圧サーボの発電所の電動化を，従来の電動サーボで計画した場合と，ハイブリッドサーボシステムで計画した場合を比較して示す。電動サーボの場合は外形寸法が大きく，かつガイドベーン急速閉鎖時のクッショニングのためのダッシュポットが必要なため，既設更新の場合，水車バレルの大幅な掘削が必要であったが，ハイブリッドサーボシステムは既設サーボ室にそのまま設置可能となる。

4.2　電気的機器構成

ハイブリッドサーボシステムを制御するディジタルガバナは，プログラマブルコントローラ（PLC）「MICREX-SX」を採用し，低コスト，短納期で高性能な制御を実現した。

図 5 に調速機制御盤の外観および内面を示す。

MICREX-SX は基本命令 20 ns および入出力リフレッシュ 1 ms と高速演算を実現している。ガバナの周波数検出は SSG（Speed Signal Generator）がパルスを発信し，パルスを高周波数入力のパルス入力モジュールで受信して

図３　動作原理を表すシステム構成

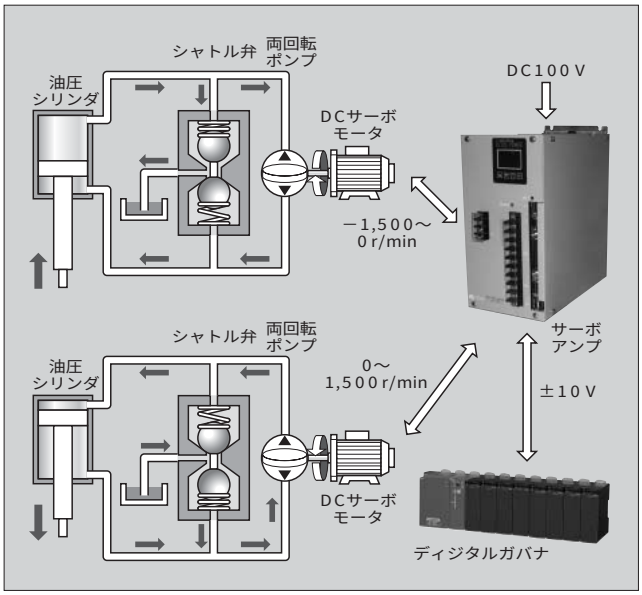


図４　既設発電所の電動化事例

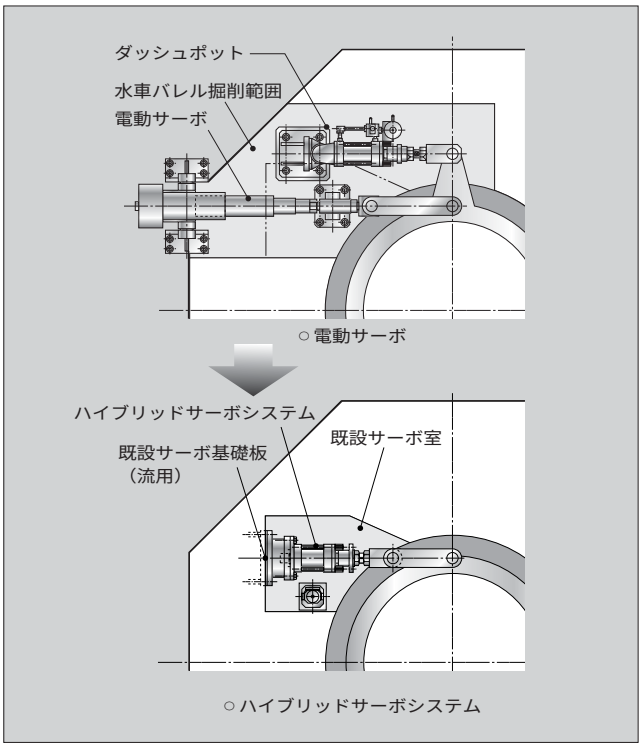
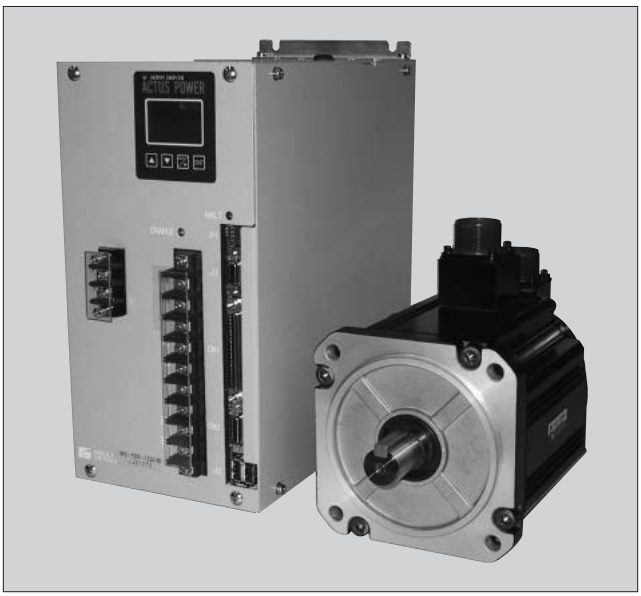


図５　調速機制御盤の外観および内面

図６　電動サーボアンプと電動サーボモータの外観



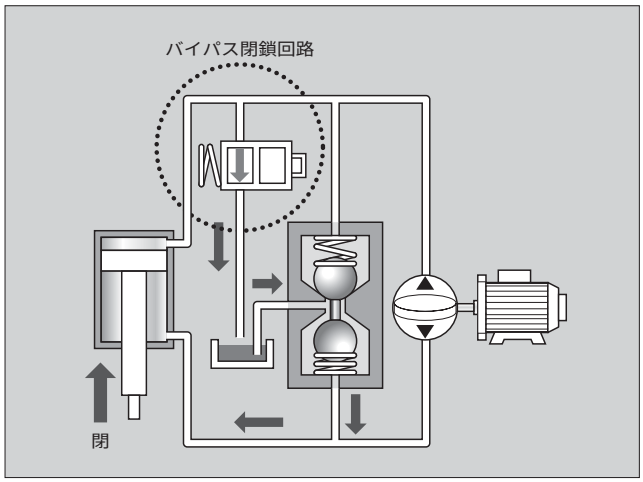
いる。これらのことによりハイブリッドサーボシステムは電協研ガバナ性能Ｘ級の実力を有する性能を実現している。

PLC の電源およびディジタルインタフェース（DIO）は DC24 V を採用し，電源には DC110/24 V コンバータを設け，DIO には補助継電器またはインタフェースターミナル（ITM）を設けることにより，商用周波耐電圧 2,000 V 1 分間を確保している。

ハイブリッドサーボシステムを駆動する電動サーボモータは，DC100 V 電源を電動サーボアンプに入力し，周波数変換し，AC 電動サーボモータを駆動する方式である。AC 電動サーボモータは小容量機に同期電動機（SM）を大容量機に誘導電動機（IM）を採用する。

図６に DC 入力電動サーボアンプと AC 電動サーボモータの外観を示す。電動サーボアンプは調速機制御盤内に設置し，電動サーボモータはピストンポンプと連結し，その間は主回路ケーブルとエンコーダケーブルで結ばれる。

図７　バイパス閉鎖回路



4.3　バックアップ装置

従来の電動サーボでは，ボールねじ損傷などの機械的故障時には閉動作ができないため，ガイドベーンを閉じることができず，主機を停止できない。ハイブリッドサーボシステムでは，電動サーボモータ・アンプの故障やガバナの異常などの電気的故障や電源喪失に加え，たとえポンプセットなどの機械的故障が発生しても，ガイドベーン自己閉鎖力があるため，**図７**に示す油圧回路に設けたバイパス閉鎖回路を作ることによりガイドベーンを閉動作させ，水車発電機を安全確実に停止できる。

また，従来の電動サーボでは電気的故障や電源喪失に備え，重錘やエアサーボを付加していたが，ハイブリッドサーボシステムではこれらの装置が不要となる。万一，ガイドベーン自己閉鎖力が不足する場合はオプションの非常閉鎖用アキュムレータで完全閉鎖が可能である。

重錘を付加すると，その重みで必要操作力が増え電動サーボモータ容量は増加するが，非常閉鎖用アキュムレータの回路と常時の正常運転中の回路は別になっているため，非常閉鎖用アキュムレータを付加することによる電動サーボモータ容量の増加はない。

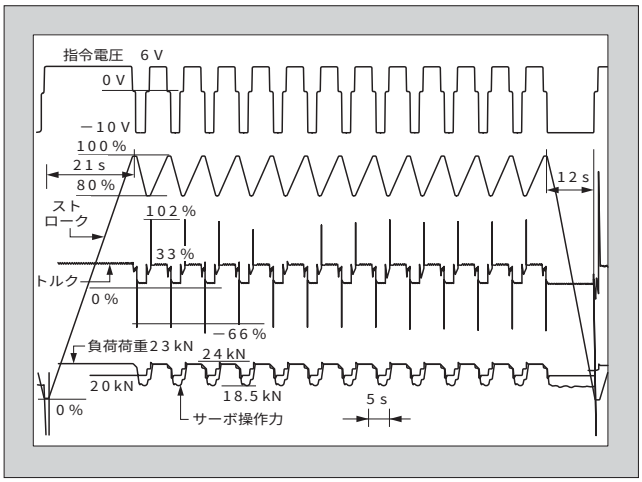
5　確認試験

以上で紹介したハイブリッドサーボシステムは，開発段階でその耐久性を確認するために，実機 25 年相当の始動停止・負荷変動を想定した加速耐久試験を実施している。**図８**にその耐久試験時のオシログラムを示す。

この加速耐久試験後に，すべての構成機器を分解点検し機能低下や許容値を上回るような摩耗がないことを確認し，ハイブリッドサーボシステムの高信頼性を確認した。

また，加速耐久試験のほかに，水力発電所の制御に必要不可欠な発電機並列時を推定した連続位置保持試験や異常停止時を推定した急速閉鎖試験を実施している。

図８　耐久試験時のオシログラム



連続位置保持試験により安定した位置保持特性や優れた直線性を確認し，急速閉鎖試験により素早い応答性や優れた直線性を確認し，ハイブリッドサーボシステムの高性能性を確認した。

6　あとがき

本稿では従来の電動操作式サーボモータの弱点を補完する新電動サーボの概要を紹介した。今後この技術を発展させ大容量水車や可動羽根水車を対象としたランナベーン操作用にも採用できる装置としていく所存である。

最後に本装置の開発にあたりご指導・ご協力をいただいた関係各位に対し，深く感謝する次第である。

参考文献

(1)　吉井清．直接加圧式圧油装置．公開特許公報．特開平 8-189452.

(2)　電気協同研究会．水車付属設備の設計指針．電気協同研究．vol.42, no.2, 1986.

広帯域マイクロチューブラ水車の開発

塚本　直史（つかもと　ただし）　　**井筒　研吾**（いづつ　けんご）

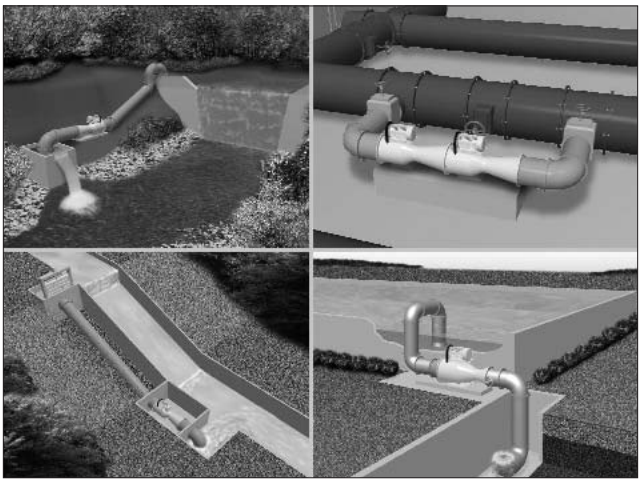
1　まえがき

近年，環境に優しいクリーンエネルギーが注目され，多くの地点でマイクロ水力発電の導入計画が進められるようになった。これらの地点の多くは，新たにエネルギーを作り出すのではなく，これまで減圧弁や落差工などにより活用されていなかったエネルギーを回収する方式である。検討されているマイクロ水車の設置例を**図1**に示す。

環境負荷の小さいこのようなミニ・マイクロ水力発電地点の開発が継続的に進められるためには，経済性が成り立つことが必要となる。経済性は，主に建設費と年間発生電力量，メンテナンス費用から求められる。特に200 kW以下のマイクロ水車では，性能や機能を抑えることによる機器のコストダウンだけを取り上げた開発が多い。しかしながら，未利用エネルギーの活用効率指標である年間発生電力量を増加させ，経済性を高めた水車開発も必要であると考える。

富士電機では，機器費用を削減するとともに未利用エネルギーを有効活用するため，変流量・変落差の対応を可能にした広帯域マイクロチューブラ水車の開発を行ったので報告する。

図1　マイクロ水車の設置例



2　適用範囲

図2に，開発したマイクロチューブラ水車を示す。また，**表1**にこの水車の適用範囲を，**図3**に水車の選定図を示す。**図3**の横軸は水車流量，縦軸は有効落差を示している。また，図中には発電機出力が示されている。水車は3種類のランナ径（290 mm，500 mm，760 mm）でシリーズ化されている。この適用落差以上の範囲においては複数台の水車の直列配置方式，適用流量以上の範囲においては並列配

図2　マイクロチューブラ水車

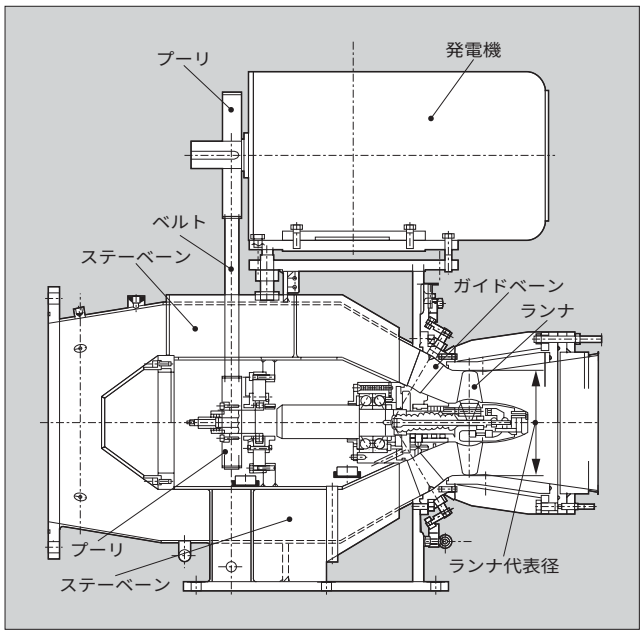


表1　マイクロチューブラ水車の適用範囲

	ランナ径	適用落差	適用出力（発電機容量）
S型	290 mm	2～20 m	90 kW以下
M型	500 mm	2～16.5 m	200 kW以下
L型	760 mm	2～15 m	250 kW以下

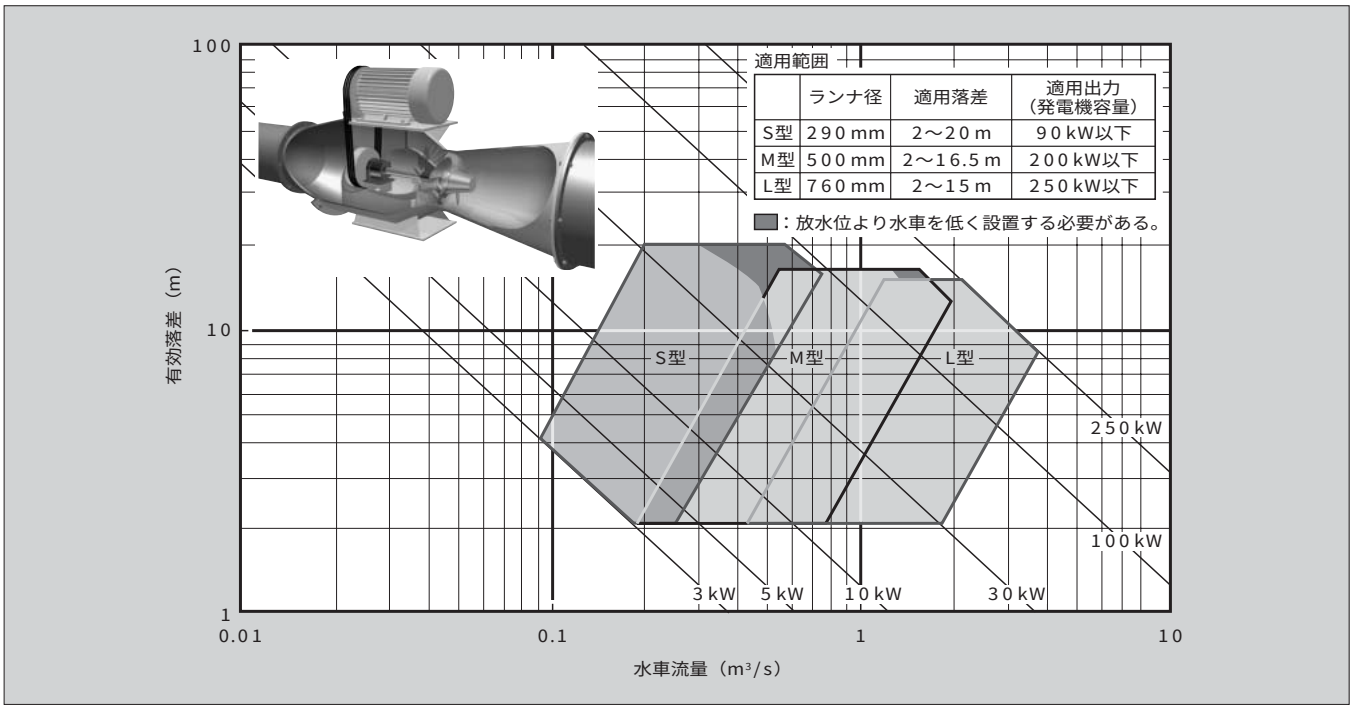
塚本　直史

水車およびファンの開発に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)設計部マネージャー。日本機械学会会員，ターボ機械協会会員。

井筒　研吾

水車の開発に従事。現在，富士・フォイトハイドロ(株)設計部。

図３　マイクロチューブラ水車の選定図



置方式が採用される。

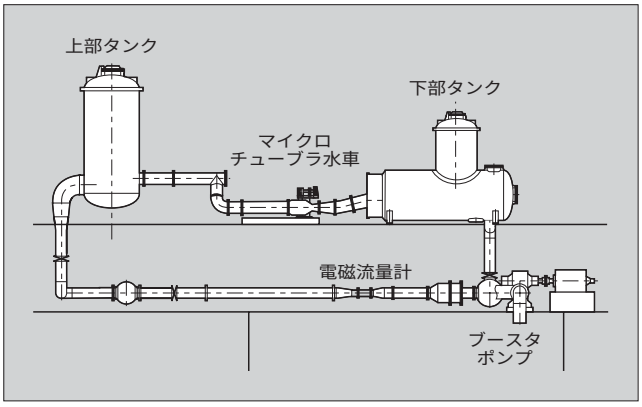
3　構　造

ランナで得られたトルクは伝達効率が高いタイミングベルトにより発電機へ伝達される。このベルトのプーリ比を変更することにより，水車の回転速度は，発電機の回転速度に関係なく最適な速度に選定することができる。また，軸受や封水部などの交換が必要な部品には，標準品を採用することで機器・メンテナンス費用の低減および部品調達期間の短縮が図られている。

4　模型試験方法

開発したマイクロチューブラ水車の性能を確認するため，JIS B 8103-1992 の規格に準拠している富士電機の流体力学研究所において性能試験を実施した。**図４**に，マイクロチューブラ水車の実験を行うテストスタンドを示す。実験は，ブースタポンプで水を循環させる閉ループで行っている。試験用のマイクロ水車は，任意の運転が行えるよう発電機の代わりに水動力計が配置されている。水車トルクは，水動力計に取り付けられたアームを，ロードセルで固定することで測定している。このため，測定されるトルクは，軸受損失とタイミングベルトの損失を含んで測定される。回転速度および水車流量は，それぞれ電磁ピックアップおよび電磁流量計で測定している。また，有効落差の測定は，水車入口と出口位置の圧力をディジタルクォーツマノメータで測定した。

図４　テストスタンド



5　変流量・変落差特性

5.1　ランナとガイドベーンの可動方式

大容量のチューブラ水車は，ランナとガイドベーンを可動にすることで，広い落差と流量範囲で高効率な運転が行える。一方，低コスト化の要求が強いマイクロ水車においては，両方の羽根を固定にした水車が多く採用されている。この固定羽根水車は流量調整を行えないことから，運転時間や定格流量に制限が必要となり，エネルギーが無効に放出されている。この対策として，ランナもしくはガイドベーンの一方を可動にすることが考えられるが，あらかじめその特性を広範囲な運転領域について明らかにしておく必要がある。

以下では，ランナベーンもしくはガイドベーンを固定とした場合の変落差，変流量の影響を検討している。

図５　マイクロチューブラ水車の変流量特性

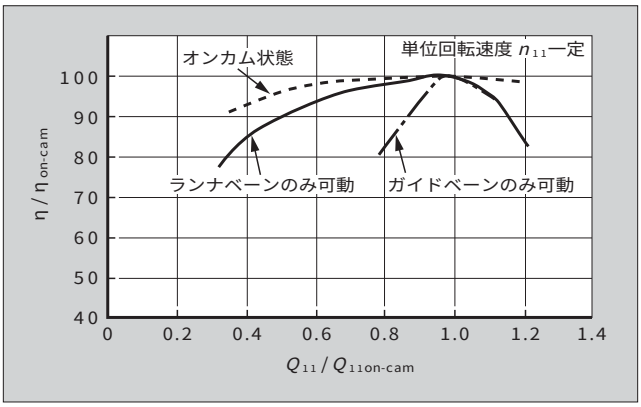


図７　マイクロチューブラ水車の変落差特性

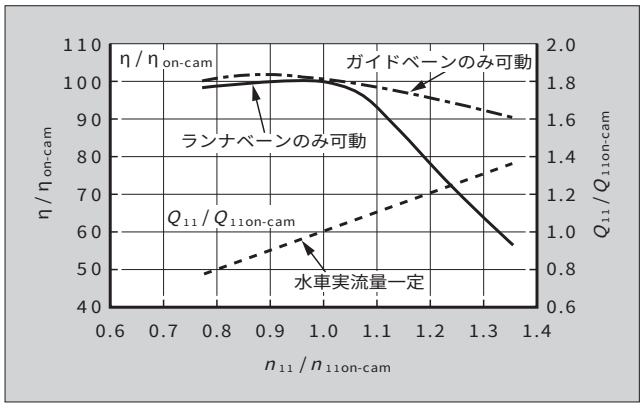
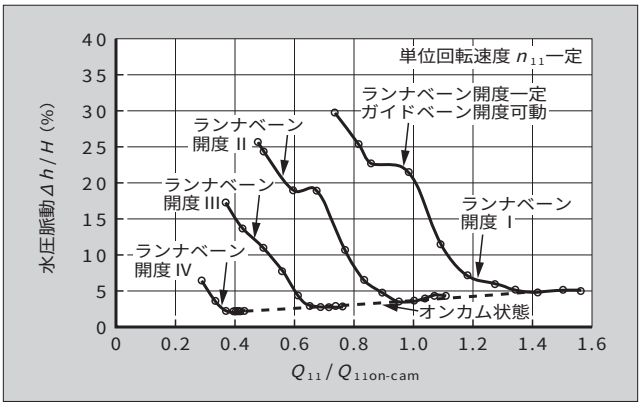


図６　マイクロチューブラ水車の脈度特性



5.2　変流量特性

図５に，ランナベーンもしくはガイドベーンの一方を固定した場合の変流量特性を示す。横軸の単位水車流量は，オンカム状態における単位水車流量で無次元化している。また，縦軸の相対水車効率はオンカム状態における水車効率で無次元化している。オンカム運転より低流量側では，ランナベーンを可動にした場合の水車効率は，オンカム運転の水車効率に対し低下量が小さい。一方，ガイドベーンを可動にした場合は，流量を変えることにより急激に水車効率が低下している。これは，ガイドベーンによる流量制御においては，周方向速度成分が大きくなることにより，ランナ効率が低下するとともに，吸出し管へ強い旋回流が流入することにより吸出し管効率が低下するためである。

次に，この旋回流れによる吸出し管内での水圧脈動を調査するため，脈動測定を実施した。**図６**は単位回転速度が一定の状態における水圧脈動特性を示したものである。横軸は，無次元化された単位水車流量を示す。縦軸は，水圧脈動を有効落差で無次元化して示す。試験は，４種類のランナベーン角度について実施した。図から，オンカム状態からガイドベーン開度のみを小さくした場合，水圧脈動は急激に大きくなる。このため，ガイドベーンのみによる流量制御は，オンカム流量の 80 %程度に抑える必要がある。一方，オンカム状態からガイドベーン開度のみを大きくした場合，水圧脈動の急激な変化は見られなかった。これは，ガイドベーン出口の周方向速度成分が小さくなり，吸出し管内へ流入する旋回流れが小さくなるためである。

以上の結果から，流量が変化する地点では，調整範囲に制限のあるガイドベーン可動方式より，ランナベーン可動方式の水車が優れていると考えられる。

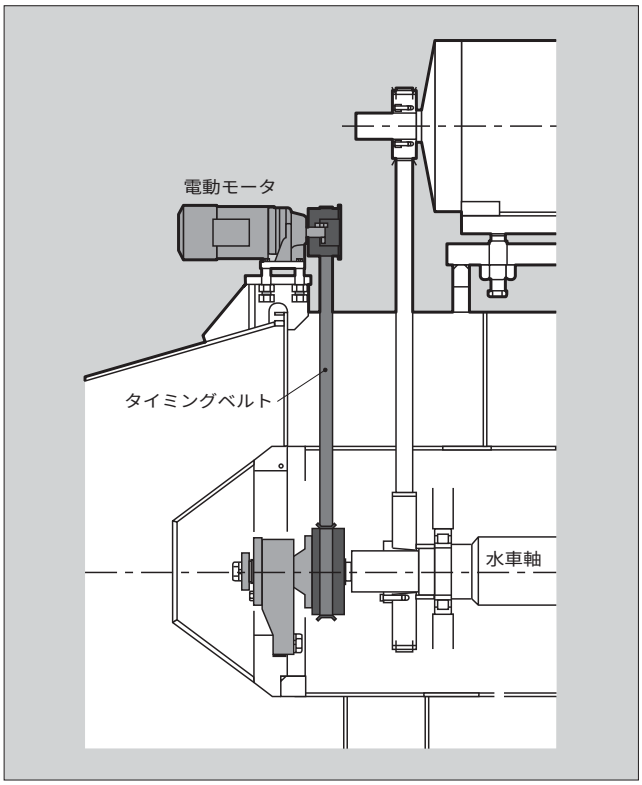
5.3　変落差特性

水車を適用する地点では，変流量とともに変落差特性についても検討が必要である。特に低落差地点に適用されるチューブラ水車では，有効落差が大きく変化することが多い。**図７**に，ランナベーンもしくはガイドベーンの片方を固定した場合の変落差特性を示す。横軸の単位回転速度は，オンカム状態における単位回転速度で無次元化している。なお，効率特性は水車の実流量が一定の条件で測定されている。この図から，単位回転速度が大きくなると（有効落差が低くなると），ランナベーン可動の水車効率は大きく低下していることが分かる。これは，オンカム状態に比べガイドベーンが小開度の状態であり，吸出し管効率の低下が主因と考えられる。また，単位回転速度が小さい領域では，両者に大きな違いは見られない。したがって，流量が一定で落差のみ変動する地点では，ガイドベーンを可動にしたほうが性能は優れている。しかし，ランナベーン可動においてもオンカムよりガイドベーン開度が大きくならないように設定することで，その効率差を小さくすることができる。

5.4　変流量・変落差地点への適用

水車が設置される地点は，変流量と変落差が存在する地点が多い。このような地点には，運転可能な流量範囲が狭いガイドベーン可動方式よりランナベーン可動方式が優れていると考えられる。なお，ランナベーンを可動とした場合のガイドベーン開度は，最も大開度となる最低有効落差，最大流量時のオンカム点で固定する。この開度設定を行うことで，変落差時の効率低下を小さくするとともに，大きな流量変化への適用が可能となる。

図８　ランナベーン稼動方式



6　実物水車への適応

以上の試験結果から，富士電機ではマイクロチューブラ水車に適用する新たなランナベーンの可動方式を開発した。可動方式は，環境に配慮するため油圧を使用していない。また，可動化によるコスト上昇を少なくするため，水車本体は固定式と同じ構造を採用している。**図８**にその構造の概要を示す。水車本体に取り付けられた電動モータの回転力は可動用タイミングベルトにより操作ボックスに伝達される。その回転力は，操作ボックス内で直線運動に変換され，操作軸を左右に動かすことでランナベーンが可動する。

7　あとがき

これまで無効なエネルギーとして取り扱われていた小水力エネルギーは，RPS（Renewable Portfolio Standard）法の施行や多くのマイクロ水車機器が開発されることにより有効なエネルギーとして再生されようとしている。この環境に優しいマイクロ水車の開発が，次世代へ安全な環境を引き継ぐための一助となることを期待する。

参考文献

(1)　稲垣守人，渡部忠彦．環境対応型マイクロ水力発電システムの開発．電気評論．vol.88, no.4, 2003, p.65–70.

(2)　Inagaki, M. et al. Development of a Broad-Band Micro Hydraulic Turbine. Proceedings of the 21st IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems. François Avellan, et al. Lausanne, 2002–09, IAHR, LMH/EPFL, 2002, vol.1, p.171–176.

これからの小水力発電

板倉　正和（いたくら　まさかず）　佐藤　雅之（さとう　まさゆき）　大和　昌一（やまと　しょういち）

1　まえがき

2002年に公布された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」〔以下，RPS（Renewable Portfolio Standard）制度という〕は，2003年4月から全面施行された。この法律で規定されている新エネルギーの対象の一つに，水力発電が含まれている。水力発電は，今から100年以上前に事業用として開発された発電システムなので，新エネルギーと定義するのは多少違和感があるが，再生可能エネルギー（renewable energy）ということで含まれたものと理解している。

国内の水力発電の歴史は，水路式を中心とした「水主火従」の時代から「火主水従」へ変わるとともにダム式やダム水路式へと移行し，1960年前後から大規模貯水池式の水力開発が全盛期を迎えた。その後，「原主火従」となると揚水発電が盛んに建設され，水力発電はピーク運転対応へと役目が変わってきた。1980～1985年に行われた第5次発電水力調査（以下，5次調という）の報告では，国内の未開発包蔵水力一地点あたりの平均出力は4,600 kWとなっており[1]，大規模揚水と小規模の一般水力の二極化現象が生じている。1990年代になると，経済の停滞とダム建設に伴う環境問題がクローズアップされ，揚水発電や一般水力の開発も難しくなってきた。

その後，1997年12月に京都で行われた「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」（COP3）にて地球温暖化防止が大きな話題となり，無電化地域を水力発電で賄おうとする動きと相まって，最近では容量の小さい水力発電が世界的に注目されている。そこで本稿では，小水力発電の現状と今後の動向を中心に述べる。

なお，国内では小型の水力に対してさまざまな名称が混在していたが，2002年に発行された「新エネルギー大事典[2]」では水力全般に関してエネルギー量，すなわち容量によって**表1**に示すような名前に分類された。

表1　水力の分類

名　称	容　量
大水力（large hydropower）	100 MW以上
中水力（medium hydropower）	100 MW～10 MW
小水力（small hydropower）	10 MW～1 MW
ミニ水力（mini hydropower）	1 MW～100 kW
マイクロ水力（micro hydropower）	100 kW以下

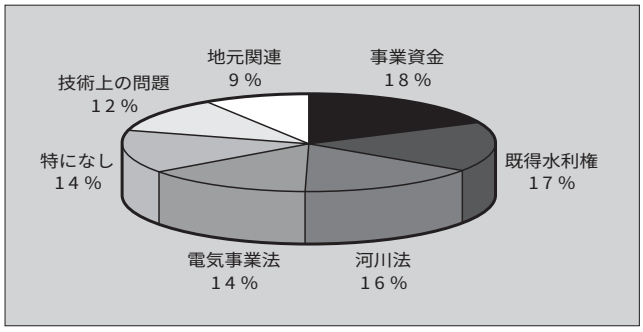
2　小水力の問題点

小水力発電は，今までの水力発電と比べるとスケールメリットがないために，その建設はなかなか進まないのが現実である。**図1**は，（財）新エネルギー財団（以下，NEFという）の報告書[3]による発電事業者からの小水力発電の問題点をアンケート調査した結果である。この中で最も多かったのは資金の問題，すなわち経済性であるが，次に水利権が挙げられている。しかし，2位以下をよく分析すると，水利権，河川法，電気事業法と続く。さらに，技術上の問題の中には諸手続きの申請も含まれていることから，小水力開発の問題点の半分以上は，規制緩和を望んでいることになる。

2.1　経済性

新エネルギーの発電機器は，出力単価（kWあたりの価格）が経済性の指標となっている。確かに，風力発電や太陽光発電は，発電機器以外の価格の割合はあまり大きくな

図1　小水力開発の問題点



板倉　正和

（財）新エネルギー財団水力本部国際部長。
土木学会会員，電力土木技術協会会員。

佐藤　雅之

（財）新エネルギー財団水力本部技術部長。
土木学会会員，電力土木技術協会会員。

大和　昌一

水車の設計・開発，水力プラントの品質保証業務に従事。現在，電機システムカンパニー エネルギーソリューション事業部営業技術部担当部長。日本機械学会会員，ターボ機械協会会員。

いので，この数値はある程度の意味を持っている。他方，水力発電は付帯設備，特に土木設備のコストもある一定の割合を占め，電気設備だけの価格で経済性は評価できない。そこで以下に基づき，ミニ・マイクロ水力の出力単価を計算してみる。

$$\text{発電原価（円/kWh）}=\frac{\text{経費率}\times\text{総工事費}}{\text{年間発生電力量}}$$

$$\text{経費率}=\frac{r}{1-(1+r)^{-n}}$$

ここで，r ：金利

n ：減価償却期間（年）

発電原価には，上式の分子に年間の維持管理費が加わるが，ここでは経費の中心となる金利償却のみを考えた。小水力やミニ・マイクロ水力発電の主要設備である水車・発電機など機械装置の減価償却期間は，通常 22 年である。金利 3 %とすると，上記の経費率は 6.3 %となる。RPS 制度の実施に伴い，水力の発電原価を 10 円/kWh と仮定する。簡単に年間発生電力量を算出する場合は，最大出力で 1 年間運転した数値に設備利用率を乗じた値となる。ミニ・マイクロ水力は一般的に設備利用率が高いことから，ここでは 80 %と仮定する。式中 P は最大出力（kW）を意味する。

$$10\text{（円/kWh）}=\frac{0.063\times\text{総工事費（円）}}{0.8\times365\times24\times P}$$

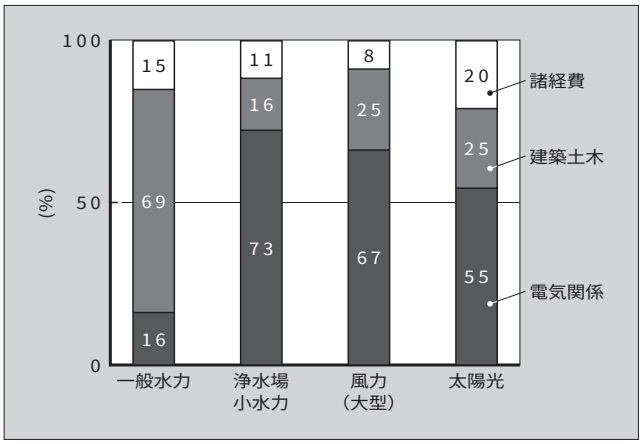
$$\text{出力単価（円/kW）}=\frac{\text{総工事費}}{P}=\frac{0.8\times365\times24\times10}{0.063}$$

$$=1{,}112{,}381\cong100\text{（万円/kW）}$$

水力発電においては，設備の構成により価格が大きく異なるので，経済性を考慮すると総工事費は 100 万円/kW の出力単価が一つの目安となる。この値は風力発電や太陽光発電に比べて高い数値だが，設備利用率が大きく異なるので，発電原価という概念で考えると 100 万円/kW で建設できれば経済性は優れているといえる。

図 2 に主な新エネルギー設備と水力の価格構成の割合を示す。

図 2　新エネルギー電源システムのコスト構成



2.2　規制緩和

図 1 から明らかなように，市場は河川法や電気事業法の緩和を望んでいる。このアンケートのコメントでは，電気事業法については近年規制緩和が進み，問題は解決されつつあるとされている。ただし，水力発電は国内において歴史が長く，各地域性をも十分配慮しておのおのの法律が制定されているので，水力開発推進だけの観点で評価することはできないのも事実である。最近では，電気事業法だけではなく河川法に関してもミニ・マイクロ水力建設促進を考慮して規制緩和の方向にあるといわれている。水利権に関しては，日本特有の問題ではなく海外でも似たような規制がある。したがって，地球環境という切り口からグローバルに考える必要があるので，外国の判例を参考にさらなる緩和を望むところである。

2.3　系統連系技術

ミニ・マイクロ水力の発電機器の出力単価が高い要因の一つに，「電力系統連系技術要件ガイドライン[(4)]」が要求する機器の設置が挙げられる。ガイドラインは分散化電源の導入促進を図る意味で 1986 年に策定されて以来，連系条件の透明性・公平性の向上や多様な電源への対応を目的として数次の改定がなされ現在に至っている。

このガイドラインによれば，同期発電機または誘導発電機を有するミニ・マイクロ水力発電設備を電力系統に連系するには以下の方法がある。

(1)　発電出力 50 kW 未満で逆潮流がない場合は，低圧配電線と連系することができる。

(2)　発電出力 2,000 kW 未満の場合は，高圧配電線と連系することができる。

ただし，いずれの場合もガイドラインに定める技術要件を満たしていることが前提である。

マイクロ水力発電において 50 kW 未満の出力に限っても低圧連系が可能な地点は，浄水場や下水処理場，工場構内などで，発生電力を同一地点で自家消費できるケースに限られている。

今後開発が期待される農業用水路，砂防ダム，渓流などの落差を利用したマイクロ水力発電地点では発生電力の自家消費ができないため，「逆潮流無し」の制約により高圧連系を採用するか，あるいはいったん直流に変換し逆変換装置を介しての低圧連系を採用するしかないのが現状である。いずれの場合も，昇圧変圧器・高圧開閉器を収納した高圧連系盤あるいは変換・逆変換装置を収納した低圧連系盤が必要であり，この分価格が上昇することになる。

さらに，連系の技術要件にある「逆潮流有り」の場合に要求される単独運転検出機能を有する装置または転送遮断装置の設置もマイクロ水力の出力単価を大きく上昇させる要因になっている。

これらの要件は，分散化電源の電力系統への連系において，広く普遍的に適用するために定められたものであるが，主に市街地における分散化電源を想定しているため，マイ

クロ水力発電の適用箇所となる砂防ダムや渓流・キャンプ場などの電力系統の末端で連系するケースでは，もう少し条件を緩和することが可能ではないかと思われる。

例えば，力率改善用コンデンサの設置が想定されない地域での誘導発電機による電源の連系では，単独運転検出機能を有する装置または転送遮断装置を省略することや，地域条件によっては逆潮流有りでも低圧連系を許容するなど，マイクロ水力発電の適用拡大のためには，限定された地域での要件緩和に向けた検討が期待される。

3　RPS 制度対応としての小水力発電

3.1　RPS 制度の概要と小水力発電の現状

RPS 制度は，電気事業者に対して毎年度その電気販売量に応じて，経済産業大臣の認定を受けた新エネルギー等の設備によって発電された一定以上の電気利用を義務づける法律である。対象となる新エネルギー等とは，太陽光発電，風力発電，バイオマス発電（動植物に由来する有機物），水力発電（ダムを用いない水路式で出力 1,000 kW 以下のもの），地熱発電の全部で 5 種類である。

これらの新エネルギーは，原子力発電や化石燃料を燃焼させる火力発電などの電源に比べてコストが高く，自然条件に左右されるため出力が不安定であるなど，その特性や技術面，経済性などで課題があることから，十分には普及していない。そこで，新エネルギーなどの普及のために全国の利用目標量を経済産業大臣が 4 年ごとに 8 年間分の目標を定めることとしており，2003 年度は 73.2 億 kWh（2000 年度国内電力消費量の 0.8 %），2010 年度には 122 億 kWh（2000 年度国内電力消費量の 1.3 %）を目指している。したがって，電力会社では義務量を確保するために安い電源から順次導入していくことが予想される。

水力発電が RPS 制度の対象になったことは高く評価できるが，今後以下の 2 点について政令の緩和が望ましいと考え，NEF では 2003 年 3 月「地球温暖化対策としての水力開発の推進強化に関する提言[(5)]」を取りまとめている。

(1)　水路式以外のものであっても，既設ダムを利用した発電や農業用水などを利用した中小水力発電および多目的ダムへ設置される水力発電への適用対象範囲の拡大

(2)　1,000 kW を超える中小水力発電への適用対象範囲の拡大

RPS 制度の対象となる水力発電については，現在水路式のみが認められているものの，環境負荷の少ない既設多目的ダム（高さ 15 m 以上も含む）を利用したダム式やダム水路式も未利用の水力資源を有効活用するため，認定の対象に含めるのが適当である。これ以外にも，農業用水や上水・工業用水・下水を使用する水路落差を利用した水力発電も出力は小さいがポテンシャルを持っている。

現在，1,000 kW 以下の水路式水力発電所の発生電力量は，一般水力発電のわずか 1 %しかない。また 5 次調の結果によると，総出力 12.9 GW，年間発生電力量 50 GWh のポテンシャルがあるものの，今後開発が見込まれる 1,000 kW 以下の水力の発生電力量をすべて合計しても約 3 %が該当するのみで，再生可能エネルギーとしての水力発電が事実上除外されている。したがって，1,000 kW を超える中小水力発電も対象に加えるのが適当と考える。

3.2　水力発電の CO_2 削減効果

水力発電と他の新エネルギーとの二酸化炭素（CO_2）削減量を**表 2** に示す。これによると，各電源の kWh あたりの CO_2 削減量は太陽光発電を 1 とした場合，水力発電は 6 倍，風力発電は 1.7 倍となり，水力発電の削減効果が太陽光や風力に比べて大きいことが分かる。これは水力発電の設備利用率が高いことと，他の二つが不安定電源を代替しているのに対し，水力発電はベース電源を代替していることに起因している。

表 2 の中の比較電源として，水力発電はベース電源であるから石炭火力を選定した。また，太陽光・風力発電は不安定電源であることから石油火力を選定した。なお，CO_2 排出量は（財）電力中央研究所「ライフサイクル CO_2 排出量による発電技術の評価」（ただし，地熱は NEF の換算値），「ライフサイクル CO_2 排出量による原子力発電技術の評価」に基づいて計算した。

3.3　小水力発電のコストダウン技術

RPS 制度対象電源を含めた小水力発電のためのコストダウン方策の一つに，特に小流量低落差にも適用可能な簡易発電システムの開発が必要と考えられ，NEF では 2002 年度から「小水力資源有効活用技術開発調査」を実施している。以下に簡易発電システムの調査対象とコストダウンに有効と考えられる主な技術開発要素を挙げる。

(1)　簡易発電システムの調査対象

①　河川維持流量発電

②　上水道・工業用水残留圧力による発電

③　下水道による発電

④　農業用ダム・取水堰（ぜき）による発電

⑤　農業用水路落差を利用した発電

⑥　砂防ダムを利用した発電

(2)　コストダウンに有効と考えられる主な技術開発要素

①　塩化ビニル管など汎用品の使用による水圧管路の適用拡大策

表 2　各電源の CO_2 削減量（各電源を 1 万 kW 開発した場合の試算）

	太陽光発電	風力発電	水力発電
設備利用率	12 %[(5)]	20 %[(5)]	50 %
発生電力量	1,050万kWh	1,750万kWh	4,380万kWh
CO_2 低減量	比較電源： 石油火力 688.7 g -CO_2/kWh ×1,050万kWh 0.7万トン	比較電源： 石油火力 712.6 g -CO_2/kWh ×1,750万kWh 1.2万トン	比較電源： 石炭火力 963.9 g -CO_2/kWh ×4,380万kWh 4.2万トン
太陽光発電との比	1倍	1.7倍	6倍

② 固定羽根水車の可動化による発生電力量の増加

③ 制御・保護装置および高圧連系用機器に一般産業用プログラマブルコントローラ（PLC）を採用

④ 監視制御に Web 方式におけるインターネットを利用した遠隔監視の採用

簡易発電システムの対象は現在，RPS 制度の対象となっていないものも含まれているが，それぞれ開発のポテンシャルを有していると考えられる。今後は，スケールメリットから経済的に不利な小水力発電において，技術開発要素を解決することで開発が促進されることが期待されるが，特にコストの大半を占める水車・発電機・系統制御に関する機器費用のコストダウンが急務である。

4　海外における小水力発電

4.1　地球温暖化問題への対応

海外における小水力発電を論じるにあたっては，従来は ODA（Official Development Assistance）の無償資金協力における地方電化などの BHN（Basic Human Needs）への対応がメインであった。最近は地球温暖化問題に関連した京都メカニズムの活用も考慮すべき状況になりつつある。2001 年には，京都議定書の約束事項を遵守するため COP 7 においてそのルールが決定された（マラケッシュ合意）。

京都メカニズムは排出量取引，共同実施（JI：Joint Implement），クリーン開発メカニズム（CDM：Clean Development Mechanism）の三つからなり，その中で日本と先進国との間のクレジットのやり取りをする CDM に関し，以下の理由から水力発電は大変有望と考えられる。

(1) ライフサイクル解析によると，水力発電は温室効果ガス（571 ページの「解説」参照）排出量の最も少ない電源である。**図 3** に電源種別の温室効果ガス排出量を示す。これは地球温暖化に影響を及ぼす主な温室効果ガスについて，気候変化に関する政府間委員会（IPCC）資料[6]に基づく CO_2 への等価換算を行って比較した値で，単位は kt/TWh である。

(2) 世界全体の包蔵水力は，1995 年現在の世界の電力消費量 13 兆 kWh に匹敵するだけ存在し，また世界の再生可能エネルギーの 90 %は水力であるといわれている。

(3) 発生電力量は，CDM で重要なモニタリングを行うのに容易である。

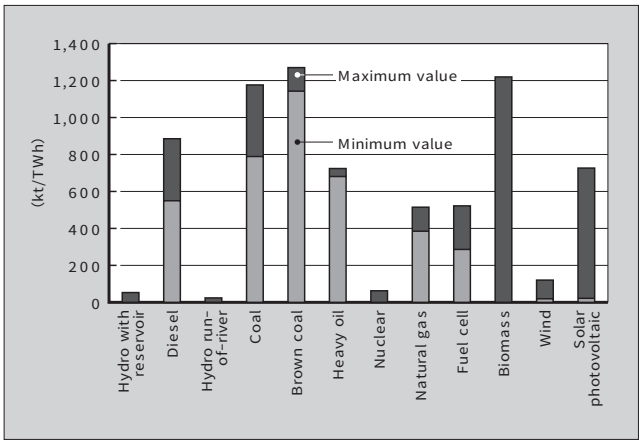
(4) 多くの国で建設が可能であるし，地域のニーズに合わせて多様な規模での建設も可能である。

(5) 水力は，一度建設するとランニングコストの安価な電源である。

(6) 多目的ダムなど場合によっては治水や灌漑（かんがい）など付随的な便益もある。

水力事業者にとって水力発電プロジェクトが CDM 事業に認められることのメリットは，そのプロジェクトが発生電力量を販売するだけではなく CO_2 クレジットも将来，日本政府などに販売できることにある。そしてこの額は，既存の基金（世界銀行やオランダ政府）に基づいて構想，実施された水力発電プロジェクト 11 件で計算してみると，総事業費の 4 ～ 15 %になっており，大変魅力的な商品である。

図３　温室効果ガス排出量



4.2　小水力発電の方向性

水力発電プロジェクトが CDM 事業として認められるためには，以下の点に関しての論理が確立され，その論理が認められる必要がある。

(1) ベースライン

水力発電によって削減された温室効果ガス排出量を算定するにあたり，「水力発電なかりせば」という状態における温室効果ガス排出量の原単位をベースラインといい，この算定方法が重要な議論となっており，採用されたベースライン原単位が妥当でなければならない。

(2) 追加性

CDM 事業は，「プロジェクトなかりせば」のケースと比較して追加的でなければならないと規定されているが，マラケッシュ合意でもこの定義がはっきりしていない。追加性には，環境上の追加性，投資上の追加性，資金上の追加性，技術上の追加性などが考えられているが，プロジェクトの CDM 化により初めて何らかの障壁を乗り越えられることを証明する必要がある。

(3) プロジェクト境界とリーケージ

プロジェクト境界とはプロジェクトの範囲を意味し，リーケージとはプロジェクト境界の内外でプロジェクトに起因する排出量増加が起こる現象をいう。水力発電プロジェクトの場合，「境界」は当該発電所（場合によっては，既存の系統に接続するまでの送変電設備）と考えるのが妥当であろう。リーケージの推計については，大きく二つ考えられる。一つは発電取水によって既設発電所の発生電力量減が生じた場合，もう一つはダムの創出による森林資源が減少した場合は，これらをリーケージとして考慮する必要がある。

(4) モニタリング

水力発電の場合，モニタリングが必要なパラメータは通常発生電力量だけである。発生電力量は日常業務の一環として正確に計測されているので，モニタリングの記載にあ

たっての問題は少ない。

なお，京都議定書 CDM 理事会には「小規模 CDM パネル」と呼ばれる小委員会があり，そこで 15 MW以下の水力発電については小規模 CDM 事業と定義されている。小規模 CDM 事業だと，例えば追加性に関しては定性的に障壁を指摘すれば，CDM として認めるなどの簡略措置が用意されつつある。

温室効果ガス排出量削減クレジットに出資する既存の基金に基づいて構想，実施された水力発電プロジェクトは前述のように 11 件あり，その内訳は 15 MW 以下の地点が 4 件，15 ～ 100 MWが 5 件，100 MW以上が 2 件となっている。このように水力 CDM 事業を考える場合，その効率性，スケールメリットから小水力だけでなく，当然中水力や大水力も CDM 対象プロジェクトとなるのは必定である。

わが国は，小水力から大水力に開発をシフトしながら 100 年以上の水力発電所建設の歴史を有し，きわめて高度な技術を持っている。ODA などでも東南アジアを中心として海外で数多くの水力発電所を作ってきた実績も有している。また，2003 年 3 月に開催された第 3 回世界水フォーラムでは，持続可能エネルギー，再生可能エネルギーとしての水力開発の推進が全世界的に望まれている。今後は地球温暖化問題解決の一助に資するべく，わが国水力技術者のさらなる技術研鑽（けんさん）とそれを用いてさらなる活躍の場が用意されていることを確信する。

5　水力発電の将来

近年，ダムの建設は社会悪のように扱われているが，渇水や洪水に森林だけでは対処できず，ダムなどによる人為的管理が必要との声もある[7]。水力発電は，すべてがダムを必要としているわけではないが，21 世紀は水の時代ともいわれている。地域によって異なるが，環境に配慮しながらダムによる水の安全性を確保するところも出てくる可能性が大きい。現在は，ミニ・マイクロ水力が脚光を浴びているが，揚水式を含めたダム式の水力発電がまったくなくなるとは思えない。地球温暖化防止と今後も増大するエネルギー消費に対する化石燃料の代替エネルギーとして，水力発電が再評価される時代が必ず来ると信じている。

1993 年，当時の通商産業省工業技術院によるニューサンシャイン計画の一環として WE-NET（World Energy NETwork）プロジェクトが発足し，現在は第Ⅱ期として研究開発を行っている。この WE-NET プロジェクトとは，再生可能エネルギーを利用して大量の水素を製造，輸送，貯蔵，利用することを目的として技術開発するものである。これが実現化した暁には，自動車は化石燃料から燃料電池や水素エンジンを搭載したものになる可能性がある。

大量の水素を製造する技術は，経済性も含めて今のところ再生可能エネルギーとしては水力発電による電気分解が最も有利であると考えられている[8]。これからの水力発電は，化石燃料の代替エネルギーだけではなく，水素製造を担う手段としての役目も考えられる。ただし，現時点での技術では大量の水素を輸送，貯蔵できるレベルに達していないので，次世代以降に委ねることになる。

6　あとがき

水力発電所の建設は現在，冬の時代であり，環境問題や経済的な理由でその開発が困難となっている。戦後の産業復興とともに日本の水力発電に関する技術は著しく向上し，土木・機械・電気ともに世界の最先端レベルである。しかし，技術というものは連続して計画・設計・製造・施工のサイクルを回し続けない限り，維持・向上させていくことはできない。

日本は四面を海に囲まれた海洋国家でもある。現在の大型船，高速船の建造技術のみならず，古くから和船という独自の優れた技術を持っていた。しかし，和船を作る機会はほとんどないので，この技術に携わる方々は小さいサイズもしくは模型の和船を作ることによって，その技術を保ち若い世代へ伝えていると聞く。

水力技術に深くかかわる筆者らは，この和船の匠（たくみ）たちの知恵を見習って，マイクロ水力を一つのきっかけにわが国の技術の伝承と発展に努めたい。

参考文献

(1)　水力開発地点計画策定調査報告書（第 5 次発電水力調査）．通商産業省資源エネルギー庁公益事業部．1986-6, p.31.

(2)　茅陽一．新エネルギー大事典．初版．東京，工業調査会．2002, 1059p.（ISBN4-7693-7103-9）

(3)　分散型小水力発電マニュアル．新エネルギー財団．2002-3, p.6.

(4)　電力系統連系技術要件ガイドライン'98. 初版．東京，電力新報社．1998, 347p.（ISBN4-88555-237-0）

(5)　地球温暖化対策としての水力開発の推進強化に関する提言．新エネルギー産業会議．新エネルギー財団．2003-3, p.9.

(6)　Koch, F. H. Hydropower technologies programmes tri-annual report for 1997-1999. IEA.2000, p.21.

(7)　日本の治水・利水．日本経済新聞ゼミナール「水の時代」が来た⑩．2002-11-21.

(8)　水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）第Ⅱ期研究開発タスク 1．NEDO. 2001-3, p.252.

（原稿受付日：2003 年 6 月 30 日）

営業品目

電機システム

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

機器・制御

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，ミニ UPS

電子

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，感光体およびその周辺装置

富士電機リテイルシステムズ（株）*

自動販売機，コールドチェーン機器，フードサービス機器，通貨関連機器

＊平成 15 年 4 月 流通機器システムカンパニーと富士電機冷機（株），吹上富士自販機（株）は再編統合され，富士電機リテイルシステムズ（株）として発足しました。

富士時報	第 76 巻 第 9 号	平成 15 年 8 月 30 日 印刷 平成 15 年 9 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	富士電機株式会社 技術企画室	〒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 －7369
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

© 2003 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

富士時報論文抄録

情報・計測制御システムの現状と展望

松浦　由武　　黒江　潤一　　湯原　忠徳
富士時報　Vol.76 No.9 p.508-512（2003）

厳しい経営環境下で製造業が生き残っていくためには，市場の変化に柔軟かつ迅速に対応していくことができる生産の仕組みが求められる。そのためには経営管理層から生産現場までの垂直統合システム，および意思決定に必要な情報を集約するための水平統合システムが必要となる。富士電機では，制御システムのオープン化，MES の活用，フィールド機器のインテリジェント化などにより対応を進めている。こうした情報・制御・計測の動向と富士電機の取組みについて，その概要を説明する。

Web による配送計画システムの開発と ASP への適用

福島　康博　　佐藤　宏文　　村上　賢哉
富士時報　Vol.76 No.9 p.520-523（2003）

富士電機では Web による配送計画システムを開発した。本システムの特徴は，配送拠点から複数の配送先への最適なルートを自動計算する配送計画機能，拠点や配送先ならびにルートを地図上にビジュアルに表示する地図連携機能，標準ブラウザがあれば基本的にネットワーク経由でどこでも利用できる Web システムであり，ASP（Application Service Provider）として利用できることである。本稿ではこれらの特徴とともに，システムの基本機能と計画エンジンの概要について説明する。

ハイブリッド制御システム「Jupiter」

吉野　稔　　石野　浩二　　西脇　敏之
富士時報　Vol.76 No.9 p.527-531（2003）

Jupiter は，汎用プログラマブルコントローラ（PLC）のハードウェア素材を可能な限り活用しつつも冗長化機能を専用分散制御システム（DCS）と同等まで強化し，ソフトウェアは，専用 DCS の機能，性能，エンジニアリング環境を継承し進化させた，FA 分野，PA 分野，情報分野が融合したハイブリッド制御システムである。FA 分野では従来と同様に高信頼性汎用 PLC として導入でき，PA 分野でも専用 DCS の感覚で導入することができる。

LNG 受入基地の計測制御システム

中山　敬一　　三井　章人　　小林　益之
富士時報　Vol.76 No.9 p.536-540（2003）

本稿では，都市ガス製造と近隣サテライト基地へのローリーによる LNG 出荷機能を持った最新鋭の高松 LNG 基地の計測制御システムを紹介する。本設備は公共性が高く設備停止は絶対に許されないため，冗長化構成や運転継続するためのシステム構成を考慮している。また，エンジニアリング革命ツール「HEART シリーズ」を適用することによりエンジニアリングの効率化と高品質を実現し，制御機能仕様書を使ったオンラインモニタ機能によりオペレーターに優しいインタフェースを実現している。

食品分野における情報制御システム

菅沼　利昭　　津田　宗　　東谷　直紀
富士時報　Vol.76 No.9 p.513-519（2003）

食品分野では生産設備の効率化，安定操業，安全な食品製造に対する HACCP（危害分析・重要管理点）に対応する生産システムが求められている。さらに，調達・生産・物流・販売の全体最適化を図る情報システムとして製造管理システム MES が重要な機能となってきている。富士電機では，これまでセンサ技術，分散型制御システム，プログラマブルコントローラ，コンピュータなどをベースに情報制御システムを数多く提供してきている。本稿では富士電機の食品分野向け情報制御システムの概要，取組みについて紹介する。

空港の環境保全と港湾の保安対策における新展開

井上　芳範　　紺野　章子
富士時報　Vol.76 No.9 p.524-526（2003）

近年における経済・社会活動のグローバル化進展による人の移動の拠点，戦略的国際ロジスティクスの拠点として，そのあり方が変貌を遂げつつある空港と港湾について，背景，必要とされる考え方，システムについて述べる。空港では，「環境との共生」を共通の目標として，「エコエアポート」実現を支援する環境情報管理システムを紹介する。また，港湾では，2002 年 12 月の SOLAS 条約改正により，施設保安計画，保安対策が必要となったのに従い，港湾施設保安システムについて紹介する。

火力発電所のボイラ制御システム

稲村　康男
富士時報　Vol.76 No.9 p.532-535（2003）

火力発電用制御装置については，大容量化・高速化・高信頼化と，ハードウェアやデータ通信のオープン化など機能・性能の向上が著しい。本稿では，次の 3 点に重点をおき紹介する。

(1)　事業用火力発電所制御システムの構成や特徴
(2)　自家用火力発電所制御システムの構成や低コストから提供可能な付加価値機能
(3)　設計や試験を効率化し，火力発電所用の高品質なソフトウェア製作を実現するエンジニアリングツール

生産計画に影響を与えない「MICREX-PⅡ」更新手法

佐藤　宏和　　坂本　英輝
富士時報　Vol.76 No.9 p.541-544（2003）

MICREX-PⅡの更新において新旧制御装置切換の際，外線コネクタ差替え方式を採用し切換盤が不要の更新を行った。更新時は，設備規模にもよるが通常 1 ～ 2 か月の連続設備停止期間が必要となる。定期修理ごとに外線コネクタを新旧制御装置に差し替えて動作確認を実施する手法により，短期間の定期修理を数回利用し更新を実施した。その更新手法と特徴について述べる。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Information Control Systems for Food Plants

Toshiaki Suganuma Takashi Tsuda Naoki Azumaya

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.513–519 (2003)

In the food industry, there is demand for HACCP- (hazard analysis critical control point) compliant production systems in order to realize greater efficiency of production facilities, stable operation and the manufacture of safe food products. Moreover, MES (manufacturing execution system) techniques have become important as information systems for achieving the system-wide optimization of procurement, production, distribution and sales processes. Leveraging its experience in such fields as sensor technology, distributed control systems, programmable controllers and computers, Fuji Electric is supplying many of these information and control systems. This paper presents an overview of Fuji Electric's information and control systems for the food industry and describes the company's efforts in this field.

New Business Aspects of Facilities for Airport Environment Protection and Harbor Security Enhancement

Yoshinori Inoue Akiko Konno

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.524–526 (2003)

As the hubs for human travel and as strategic international logistical bases, airport and harbor facilities are undergoing a transformation in response to the advancing globalization of economic and social activities in recent years. This paper discusses the background of airport and harbor facilities, essential considerations and systems for these facilities. For airports, an environment information control system is introduced that supports the realization of an "Eco-Airport," which has the common objective of establishing a symbiotic relationship with the environment. For harbors, a harbor facility security system is presented based on the need for facilities protection planning and safety countermeasures in accordance with the December 2002 revision of the SOLAS (safety of life at sea) treaty.

Boiler Control System for Thermal Power Plants

Yasuo Inamura

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.532–535 (2003)

Improvements in the functionality and performance of thermal power control equipment have been remarkable. These improvements include larger capacity, higher speed, better reliability, and the use of open architecture and open standards networks. This paper describes a boiler control system for thermal power plants, and focuses on the following three topics.

(1) Configuration and characteristics of thermal power plant control systems
(2) Added value that can be provided from the configuration and low cost of industry-owned thermal power plant control systems
(3) Engineering tools for developing high-quality software for thermal power plant-use to increase design and test efficiency

Technique for Upgrading the MICREX–PII Without Affecting the Production Plan

Hirokazu Sato Hideki Sakamoto

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.541–544 (2003)

When upgrading the MICREX–PII and replacing old control equipment with new, the upgrade is performed using an outside line connector plug-in method, without a switchboard. At the time of an upgrade, it had been necessary to shutdown the equipment for a period of 1 to 2 months depending on the scale of the equipment. However, by utilizing a method in which external line connectors are replaced with new ones and operation is verified at each occasion of regular scheduled maintenance, the update can be carried out with several short-term periods of regular maintenance. This update method and it features are described.

Present Status and Future Prospects of Information, Measurement Equipment and Control Systems

Yoshitake Matsuura Junichi Kuroe Tadanori Yuhara

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.508–512 (2003)

In order to survive in a harsh operating environment, there is need for a production mechanism able to respond flexibly and quickly to changing market conditions. Such a mechanism requires a system that is vertically integrated, from the management layer to production site, and a horizontally integrated system for aggregating information essential for decision-making. Fuji Electric is promoting the support of these systems by developing open control systems, applying MES (manufacturing execution system) technology, adding intelligence to field devices, etc. This article presents of overview of the trends and Fuji Electric's efforts in the fields of information, control systems and measurement equipment.

Development of Web-based Delivery Planning System

Yasuhiro Fukushima Hirofumi Sato Kenya Murakami

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.520–523 (2003)

Fuji Electric has developed a Web-based delivery planning system. This system features a delivery planning function that automatically calculates the optimal route from a distribution depot to multiple delivery destinations and a mapping function that visually displays the depot and destination locations as well as the planned routes. Moreover, this Web-based system enables user access with standard browsing software from anywhere on the network. This system can be used as an ASP (application service provider) service. These features and the basic functions with the planning engine that have been incorporated into this Web-based delivery planning system are described in this article.

Hybrid Control System "Jupiter"

Minoru Yoshino Kouji Ishino Toshiyuki Nishiwaki

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.527–531 (2003)

The Jupiter hybrid control system brings together the fields of factory automation (FA), process automation (PA) and information management. Jupiter provides strong redundant functionality — at the same level as a custom distributed control system (DSC) — even when using the hardware elements of a general-purpose programmable controller (PLC) to the maximum extent. Its advanced software inherits the functionality, performance and engineering environment of a custom DCS. As in the past, Jupiter can be used in FA applications as a highly reliable general-purpose PLC. For PA applications, Jupiter can be installed as if it were a custom DCS.

Control and Supervisory System for the Takamatsu LNG Receiving Terminal

Keiichi Nakayama Akihito Mitsui Masuyuki Kobayashi

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.536–540 (2003)

This paper introduces the control and supervisory system of the Takamatsu LNG receiving terminal. This newest and most advanced control and supervisory system provides a function for distribution by truck to city gas production sites and neighboring satellite terminals. Well suited for a public facility, this system was designed with redundancy to ensure continuous operation and to prevent the occurrence of a system shutdown. Moreover, the Heart Series of innovative engineering tools were utilized to enhance both engineering efficiency and product quality. An online monitor function and a control function manual provide the operator with a user-friendly interface.

富士時報論文抄録

温度調節計「PXR シリーズ」

萩岡　信和
富士時報　Vol.76 No.9 p.545-548（2003）

「表示が大きい」「コンパクト」「多機能」の三つの大きな特徴を持った温度調節計「PXR シリーズ」について紹介する。PXR シリーズでは三つ目の特徴「多機能」の一環としてセルフチューニング制御を搭載しており，技術的にも非常に興味深い製品である。本稿ではセルフチューニングの動作やファジィ制御例について解説をしながら，2 プロトコル通信機能，アナログ転送機能，簡易プログラム制御機能，警報機能，防水機能，その他の多種多様な周辺機能についても，温度監視システムの例など数種の例示により簡単に解説する。

シングルビーム式プロセス用 4 成分赤外線ガス分析計とその用途

中村　裕介　　赤尾　幸造
富士時報　Vol.76 No.9 p.549-552（2003）

従来から多くの実績のある一酸化炭素，二酸化炭素の 2 成分同時測定に替わる一酸化炭素，二酸化炭素，メタン，および酸素を含む 4 成分同時測定を可能とした工業プロセス用シングルビーム式赤外線ガス分析計の特徴と用途を紹介する。実績のある金属熱処理炉雰囲気ガス濃度測定に加えて，燃料電池やバイオガス発電用の燃料ガス濃度監視など新しい用途にも対応している。

下水道用光式水位計と光計装システムの拡充

伊藤　悦郎
富士時報　Vol.76 No.9 p.553-556（2003）

都市部での雨水対策の一環として，下水道内の水位計測を目指した外部電源不要の光ファイバ式水位計システムを開発した。下水道内に布設されているシングルモードファイバを使用可能にしたもので，光ファイバの効率的な利用のためにマルチドロップ接続として多点計測を可能にし，中継器もマンホール内設置を可能にした。また，光計装システム（FFI）をリニューアルし，バッテリーの長寿命化（2 年→ 4 年）などの改良を行った。現場指示計やタンクローリーへの搭載といった新たな用途への展開が図られてきた。

東北電力（株）第二上野尻発電所納入立軸バルブ水車・発電機

高橋　正宏
富士時報　Vol.76 No.9 p.558-562（2003）

富士電機は東北電力（株）と共同で立軸バルブ水車・発電機の研究を行ってきた。この研究成果に基づき建設された第二上野尻発電所は，従来からある横軸バルブ水車・発電機を垂直方向に配置した立軸バルブ水車・発電機が採用された，世界でも例を見ない発電所である。立軸バルブ水車・発電機は，平面スペースを縮小できるので，敷地の制約を受けにくく，土木費の削減が可能である。さらに，新技術の採用により，保守点検の簡素化を図ることができる。本稿では，発電所の概要と立軸バルブ水車・発電機の特徴について説明する。

中国・泰安揚水発電所向け揚水発電機器

戸崎　尚　　衛藤　浩史　　小林　秀樹
富士時報　Vol.76 No.9 p.563-567（2003）

現在，中国では急速な経済成長に伴い電力需要が増加傾向にある。この背景から水力エネルギー開発分野では，三峡ダムをはじめ電源開発が盛んに推進されており，大型揚水発電所も多く計画・建設されている。本稿では，2002 年 11 月に受注した中国・山東省泰安市に建設工事が進められている泰安揚水発電所（4 基× 250 MW）のプロジェクトの概要，ならびに揚水発電設備のうち発電電動機および電気設備について紹介する。

フランシス水車ランナの更新技術

塚本　直史　　稲垣　正洋
富士時報　Vol.76 No.9 p.568-571（2003）

エネルギーを有効活用し，環境に負荷を与えることなく発電量を増加させる手法として，既設水力発電所の高効率化がある。水車の効率は，主にランナ形状を最適化することにより年々改善されており，三次元流れ解析技術の進歩とともに飛躍的に向上した。本稿では，三次元流れ解析による最新ランナ適用事例を紹介するとともに，現地にて効率試験を実施し解析結果との比較を行ったので紹介する。

ハイブリッドサーボシステム

早馬　弘　　大隈　謙二　　磯野与志雄
富士時報　Vol.76 No.9 p.572-576（2003）

水力用調速機において，油圧方式に対する電動化のメリットを継承しつつ，従来の電動操作式サーボモータの弱点を補う新しいタイプの電動操作式サーボモータ（ハイブリッドサーボシステム）を開発した。本稿では，ハイブリッドサーボシステムに至るまでの変遷と，特徴，機械側の機器構成とそれを制御する電気側の機器構成，バックアップ装置など，ハイブリッドサーボシステムの概要を紹介する。

広帯域マイクロチューブラ水車の開発

塚本　直史　　井筒　研吾
富士時報　Vol.76 No.9 p.577-580（2003）

RPS 法の対象エネルギーとして水力発電が含まれ，多くの地点で導入計画が進められるようになった。このようなマイクロ水車が普及するためには経済性が重要な問題となってくる。そのため，性能や機能を抑えることによる機器のコストダウンだけを取り上げた開発ではなく，年間発生電力量を含めた経済性を高める水車開発が必要である。富士電機では，機器費用を削減するとともに未利用エネルギーを有効活用するため，変流量・変落差への対応を可能にした広帯域マイクロチューブラ水車の開発を行ったので報告する。

Industrial-use Single-beam NDIR Gas Analyzer and its Applications

Yusuke Nakamura Kozo Akao

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.549–552 (2003)

As a successor to the simultaneous measurement of 2 components (carbon monoxide and carbon dioxide) for which Fuji Electric has a proven track record, an industrial-use single-beam NDIR gas analyzer that enables the simultaneous measurement of 4 components (carbon monoxide, carbon dioxide, methane and oxygen) has been developed. In addition to prior successful applications such as measurement of the gas concentration in a furnace for heat-treating metals, this gas analyzer is also suitable for new uses such as monitoring the concentration of fuel gas during the generation of electric power from biogas and for fuel cell-use. This paper introduces the features and applications of this industrial-use single-beam NDIR gas analyzer.

Vertical Bulb Turbine-generator for the Kaminojiri No.2 Plant

Masahiro Takahashi

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.558–562 (2003)

The Kaminojiri No. 2 plant was constructed based on the results of joint research by Fuji Electric and Tohoku Electric Power Co. in the field of vertical bulb turbine-generators. At the Kaminojiri No.2 plant, a conventional horizontal bulb turbine-generator was installed vertically and used as a vertical bulb turbine-generator, making this power plant unique throughout the world. Because the vertical bulb turbine-generator has a small footprint, geographical features of the site do not restrict its installation and this leads to lower construction costs. Moreover, maintenance inspections are simplified due to the utilization of new technology. This paper presents an overview of power plants and describes features of the vertical bulb turbine-generator.

Renewal Technologies for the Francis Turbine Runner

Tadashi Tsukamoto Masahiro Inagaki

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.568–571 (2003)

Increasing the efficiency of existing hydroelectric power plants is one method for effectively utilizing energy to boost the generation of electrical power without impacting the environment. The efficiency of hydraulic turbines has improved year-to-year as the runner shape has been optimized, and advances in 3-dimensional flow analysis techniques have led to dramatic improvements. This paper describes an example application of the latest runner, which was designed using 3-dimensional flow analysis. On-site efficiency testing was implemented and is compared to the analysis results.

Development of Broadband Micro-hydraulic Turbine

Tadashi Tsukamoto Kengo Izutsu

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.577–580 (2003)

Hydroelectric power generation is one form of energy targeted by the Renewables Portfolio Standard (RPS), and plans are advancing to install hydraulic turbines at many locations. Economic viability is a crucial factor in determining whether the installation of these types of micro-hydraulic turbines will become widespread. Therefore, rather than focus on cost cutting measures that lead to lower performance and functionality, hydraulic turbine development instead must boost the economic efficiency, which also includes increasing the amount of annual power production. This paper reports on Fuji Electric's development of a broadband micro-tubular turbine that is compatible with varying heads and flow rates.

PXR Series of Temperature Controllers

Nobukazu Hagioka

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.545–548 (2003)

The PXR Series of temperature controllers, having the three distinguishing features of large display, compact size and multi-functionality, is introduced. The PXR product series are technically fascinating and are equipped with self-tuning control as part of their multi-functionality. In addition to describing the self-tuning operation and examples of fuzzy control, this paper also describes two protocol communications functions, an analog transfer function, a simplified program control function, an alarm function, a water-resistant function and a wide variety of other peripheral functions, and presents several example applications including a temperature monitoring system.

Optical Water Level Transmitter for Sewer Systems and the Expanded Use of Fiber Optic Instrumentation Systems

Etsuro Ito

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.553–556 (2003)

As one countermeasure to prevent the accumulation of rainwater in urban areas, an optical fiber-type water level measurement system that does not require an external power supply was developed for the purpose of measuring the water level in a sewer system. Single-mode fiber already laid the sewerage system can be used with this system, and to efficiently utilize the optical fiber, multipoint measurement can be implemented as multi-drop connections and transponders can be installed in manholes. Fiber optic field instrumentation systems (FFIs) have been upgraded, their battery life has been increased from 2 to 4 years and other improvements have been made. The range of applications for FFIs is expanding, and new uses include installations in onsite indicators and in tank trucks.

Generating Equipment for China's Tai'an Pumped Storage Power Station

Takashi Tozaki Hirofumi Etoh Hideki Kobayashi

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.563–567 (2003)

There has been a sharp increase in the demand for electric power in China in recent years accompanying the rapid growth in the Chinese economy. Based on these circumstances, power development activity in the field of hydropower energy has been promoted to a great degree and the Three Gorges Dam, for example, and many large capacity pumped storage power plants are being planned and constructed. This paper presents a project overview of the Tai'an Pumped Storage Plant (250 MW × 4 units), for which an order was received in November 2002 and construction work is underway in Tai'an City, Shandong Province, China. Pumped storage equipment, specifically the generator-motor and electrical equipment, are also described.

Hybrid Servo System

Hiromu Hayama Kenji Okuma Yoshio Isono

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.572–576 (2003)

In the field of hydropower governors, a new type of electrically-operator servomotor (hybrid servo) was developed and is designed to compensate for the drawbacks of existing electric servomotors while maintaining the advantages of an electric servomotor solution over an oil pressure system. This paper presents an overview of the hybrid servo, including the history of servomotor development up until the hybrid servo, its features, mechanical equipment, electrical equipment and backup system.

富士時報論文抄録

これからの小水力発電

板倉　正和　　佐藤　雅之　　大和　昌一
富士時報　Vol.76 No.9 p.581−585（2003）

環境問題が大きく取り上げられる昨今，ダム建設を伴う水力開発は非常に困難な状況にある。他方，自然に優しい水力発電は，温室効果ガス削減の観点から高く評価されつつある。ダムを必要としない小規模の水力開発は，今後世界的に注目され建設されるであろう。このような背景から，今までの小水力発電の問題点，2003 年に実施された RPS 制度，京都メカニズムの一つの柱である CDM を中心に小水力発電の現状と将来の問題を解析・説明する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Present Status and Future Prospects of Small-scale Hydropower Plants

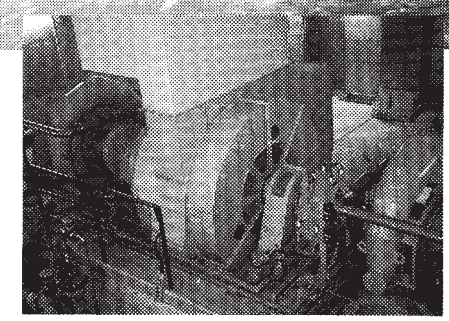
Masakazu Itakura Masayuki Satoh Shoichi Yamato

Fuji Electric Journal Vol.76 No.9 p.581−585 (2003)

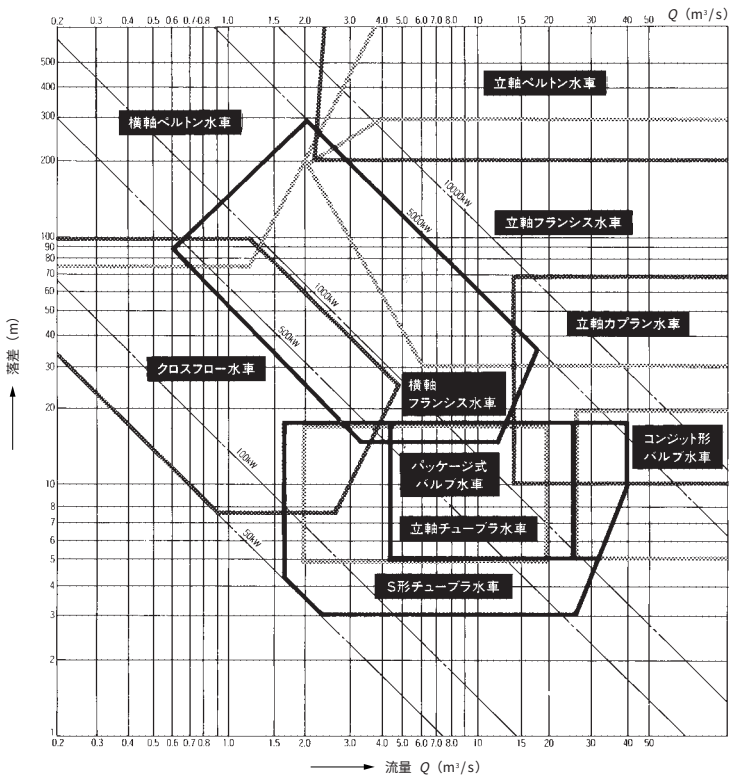
As concern has heightened over environmental problems in recent years, it has become very difficult to develop hydroelectric power plants that involve dam construction. On the other hand, environmentally friendly forms of hydropower are now held in high esteem since they help reduce greenhouse gas emissions. Small dam-less hydropower plants will attract increasing attention, and will be constructed throughout the world in the future. This paper analyzes and discusses problems in conventional small-scale hydropower plants, as well as current conditions and future problems of small-scale hydropower plants focusing on RPS, which was implemented this year, and CDM, a pillar of the Kyoto mechanism.

e-Front runners

小さな水のエネルギーも，大切な資源！



5 MWフランシス水車・発電機（横軸両掛）



標準水車形式の適用範囲

クリーンなエネルギー開発に，お応えします。

富士・フォイトハイドロは水力エネルギーの開発を通じて社会に貢献するために，低落差から高落差までの各機種の開発に力を注ぎ，数多くの水車・発電機を納入し，世界各国のお客様のニーズにお応えしています。

富士・フォイトハイドロの中小水力発電設備

お問合せ先：富士・フォイトハイドロ株式会社 電話（044）329-2065

昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成15年9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76巻　第9号（通巻第822号）

e-Front runners

本誌は再生紙を使用しています。

雑誌コード 07797-9　　定価 735円（本体 700円）