

富士電機技報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

2023
Vol.96 No.

1

特集 自動化と省エネルギーに貢献する
計測・制御・情報システム



特集 自動化と省エネルギーに貢献する 計測・制御・情報システム

産業や生活を取り巻く環境は、脱炭素化に関わる環境対策需要の高まりや労働力不足などで大きく変化している。そのため、デジタル化やIoT化の手段の進化とともに、顧客のDX（デジタルトランスフォーメーション）につながる、さらなる自動化や省エネルギーのニーズが高まっています。

富士電機は、計測機器、コントローラなどのフィールドデバイスに、エンジニアリング、サービスを組み合わせたシステムソリューションを提供しています。

本特集では、自動化と省エネルギーに貢献する計測・制御・情報システムと、それを支えるコンポーネント（機器）・技術、およびそのエンジニアリングやサービスについて紹介します。

表紙写真

- ①監視制御システム「MICREX-VieW FOCUS Evolution」
- ② EtherCAT 対応コントローラ「SPH5000EC」
- ③モニタリングポスト
- ④差圧・圧力発信器「FCX-A IVシリーズ」



目次

特集 自動化と省エネルギーに貢献する 計測・制御・情報システム

〔特集に寄せて〕 ソフトセンサーによる リアルタイム監視の展開	3 (3)
------------------------------------	-------

船津 公人

〔現状と展望〕 自動化と省エネルギーに貢献する 計測・制御・情報システムの現状と展望	4 (4)
---	-------

鉄谷 裕司 ・ 松本 康

プラントシステムのエンジニアリング効率化を実現する グローバル対応監視制御システム	11 (11)
--	---------

若井 大資 ・ 佐藤 好邦 ・ 吉原 大助

プラントの操業最適化に貢献するソフトセンサ	17 (17)
-----------------------	---------

田中 雅紀 ・ 加藤 泰輔 ・ 村上 賢哉

エンジニアリングのリードタイム短縮と品質向上を 実現して DX を加速する支援ツール	22 (22)
---	---------

北村 純郎 ・ 吉野 稔 ・ 阿部 雄大

製造現場の DX に貢献する製造実行システム	27 (27)
------------------------	---------

中嶋 孝広 ・ 喜多村 卓

工場設備の自動化に貢献するモーションコントローラ	31 (31)
--------------------------	---------

久保隅 創

プラントの監視制御システムの高度化に貢献する 差圧・圧力発信器	35 (35)
------------------------------------	---------

山下 真一郎 ・ 坂上 智

EV 駆動部品の使用環境を再現する性能試験システム	39 (39)
---------------------------	---------

大竹 克朋 ・ 三春 勉 ・ 宮本 洋圭

排ガス浄化システムの効率的な運用管理を実現する 船舶 IoT システム	44 (44)
--	---------

安信 友裕

安全・安心に貢献する放射線管理ソリューション	48 (48)
------------------------	---------

前川 修 ・ 阿部 洋平

保守、点検の効率化と予知保全の実現に貢献する スマート保安サービス	53 (53)
--------------------------------------	---------

須長 祐悟 ・ 福島 宗次

製品紹介論文

1,700 V/75 ～ 200 A 4 in 1 モジュール	59 (59)
---------------------------------	---------

配線用遮断器・漏電遮断器用の外部操作ハンドルと端子カバー	62 (62)
------------------------------	---------

略語・商標	65 (65)
-------	---------

Contents

Instrumentation, Control, and Information Systems Contributing to Automation and Energy Saving

[Preface] Development of Real-Time Monitoring Using Soft Sensors	3 (3)
FUNATSU, Kimito	
Instrumentation, Control, and Information Systems Contributing to Automation and Energy Saving: Current Status and Future Outlook	4 (4)
TETSUTANI, Hiroshi MATSUMOTO, Yasushi	
Global Monitoring and Control System That Improves Plant System Engineering Efficiency	11 (11)
WAKAI, Daisuke SATO, Yoshikuni YOSHIIHARA, Daisuke	
Soft Sensor-Systems for Optimizing Plant Operation	17 (17)
TANAKA, Masaki KATO, Taisuke MURAKAMI, Kenya	
Engineering Support Tool That Reduces Lead Time and Improves Quality, Accelerating DX	22 (22)
KITAMURA, Sumio YOSHINO, Minoru ABE, Yuta	
Manufacturing Execution System Encouraging DX on the Manufacturing Floor	27 (27)
NAKAJIMA, Takahiro KITAMURA, Takashi	
Motion Controller Contributing to Automation of Factory Equipment	31 (31)
KUBOSUMI, Hajime	
Differential Pressure and Pressure Transmitters That Sophisticate Plant Monitoring and Control Systems	35 (35)
YAMASHITA, Shinichiro SAKAUE, Satoru	
Performance Test System Reproduces the Usage Environment of EV Drive Components	39 (39)
OTAKE, Katsutomo MIHARU, Tsutomu MIYAMOTO, Hiroyoshi	
Ship IoT System for Efficient Operation Management of Exhaust Gas Cleaning Systems	44 (44)
YASUNOBU, Tomohiro	
Radiation Management Solutions Contributing to Safety and Security	48 (48)
MAEKAWA, Osamu ABE, Yohei	
Comprehensive Service for Smart Industrial Safety, Which Improves Maintenance and Inspection Efficiency and Delivers Predictive Maintenance	53 (53)
SUNAGA, Yugo FUKUSHIMA, Soji	

Product Profiles

4-in-1 Modules with Ratings of 1,700 V / 75-200 A	59 (59)
External Operating Handles and Terminal Covers for Molded-Case Circuit Breakers and Earth Leakage Circuit Breakers	62 (62)
Abbreviations and Trademarks	65 (65)

特集に寄せて

ソフトセンサーによる
リアルタイム監視の展開

Development of Real-Time Monitoring Using Soft Sensors

船津 公人 FUNATSU, Kimito

奈良先端科学技術大学院大学 データ駆動型サイエンス創造センター センター長
特任教授
東京大学名誉教授

化学プラントをはじめとするさまざまな製品生産システムを正常に運転するためには、プロセスを監視し、適切に制御する必要がある。そのためには、温度、圧力、流量などのプロセス変数を正確に低コストで測定する必要がある。温度、圧力、流量などは低コストでしかもリアルタイムに計測される一方で、製造物である化学製品の物性や濃度などは分析計あるいはサンプリングによる化学分析によってある程度の時間をかけなければその情報は得られない。迅速な制御のためには、本来はこの物性や濃度などをリアルタイム監視することが必須だが、従来のようなやり方のままではこれは難しいことになる。こうした背景から、オンライン・リアルタイム計測が簡単な温度、圧力、流量などのプロセス変数を用いて、オンライン・リアルタイム計測の困難な物性や濃度などをリアルタイムに推定する手段としてソフトセンサーが開発され、現在その活用の範囲は化学プラントのみならずさまざまな製品製造工程に広がり、品質管理に活用されている。ソフトセンサーの詳しい説明は本特集でもなされているが、オンライン・リアルタイム計測が簡単なプロセス変数(x)と、オンライン・リアルタイム計測の困難なプロセス変数(y)との間を $y=f(x)$ と定式化した統計モデルのことである。このようにソフトセンサー利用には、化学分析の回数削減や迅速制御、そして製造物の品質管理の徹底に伴う廃棄物低減など、経済と環境への両面の効果が期待できることが容易に分かるであろう。

こうした来るべきソフトセンサー活用時代を先導するために、独立行政法人 日本学術振興会 プロセスシステム工学第 143 委員会では、ソフトセンサーを現実の武器とするために、2016 年 10 月にワークショップ No.32 “ソフトセンサー実装”（代表幹事：船津公人）を設置し、対象とするプロセスのための予測精度の高いソフトセンサーを簡便かつ迅速に構築するツールとソフトセンサーの現場実装・運用ツールを開発し、2020 年 3 月に成功裏に終了した。その後、このソフトセンサーツールの普及と継続的なメンテナンスの基盤となるべく、本ワークショップメンバーであった富士電機株式会社によってその活用サービス

が開始されるとともに、製品としての提供に向けた準備も進んでいる。

いまやソフトセンサーはプロセスのリアルタイム監視と迅速制御を実現する必須のツールとして、大小化学製品製造プロセス、半導体製造プロセス、製剤連続生産プロセスなどの生産プロセス、そして燃焼装置、熱交換器の内部状況把握などでも実装が進んでいる。加えて、利用されるプロセス変数も温度、圧力、流量といった旧来のハードセンサーによる計測だけではなく、計測目的対象物を直接捉える近赤外スペクトル（NIR：Near-Infrared Spectroscopy）などのスペクトルデータも前述のプロセスで積極的に活用され始め、その利用の広がりを見せている。フローリアクターにおいても、スペクトル利用によるソフトセンサーが原料や主・副生成物量のリアルタイム監視とプロセス制御に当たり前のように活用される日はそこまで来ている。ただ、大切なことは不必要に高価なスペクトル装置をソフトセンサー入力情報源とするのでは普及は図れない。現在それを意図して安価で小型のスペクトル計測装置が提供され始めている。

プロセスインフォマティクスをキーワードにさまざまな取組みが始まっている。この本質は“いまを知る”ことであり、将来を予測することである。この意味でソフトセンサーはプロセスインフォマティクスとは切り離せないキーワードである。今後、監視・制御対象プロセスの特徴に合わせて、これまでの概念を超えた新しいソフトセンサーが考案されていこう。ソフトセンサーはリアルタイム監視として用いられることがほとんどであるが、最近はプロセス状態の少し先の予測にも応用され始めている。化学プラントの監視と制御はもちろんのこと、ベイズ最適化による高収率で副生成物の出ない反応条件の自動最適化にも、そして目的物を安定的に生産するフローリアクターの設計開発と自動運転にもソフトセンサー利用は必須のツールである。ソフトセンサーが新しい生産技術として、さまざまな製品の連続製造を目的とした大きな装置から小さな装置まで、当たり前のように実装される日も、もうすぐそこまで来ている。

自動化と省エネルギーに貢献する 計測・制御・情報システムの現状と展望

Instrumentation, Control, and Information Systems Contributing to
Automation and Energy Saving: Current Status and Future Outlook

鉄谷 裕司 TETSUTANI, Hiroshi

松本 康 MATSUMOTO, Yasushi

① まえがき

近年、産業や生活を取り巻く環境は、脱炭素化に関わる環境対策需要の高まりや労働力不足などで大きく変化している。そのため、グローバルで脱炭素化、自動化、DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）などへの設備投資が今後一層期待される。ファクトリーオートメーション機器・システム分野では、新型コロナウイルス感染症拡大の影響、半導体をはじめとする世界的な部材調達難の影響などにより、コンポーネントの需要は不透明な状況が継続していたが、東南アジア・インドの市況はコロ

ナ禍からの回復基調が続くと予測される。また、プラント制御システム分野では、鉄鋼や化学分野において生産性向上に向けた更新需要や高機能化、電動化、カーボンニュートラル関連の戦略投資が期待される。

富士電機はエネルギー・環境技術の革新により、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献すべく強いコンポーネントを創出し、さらにシステムを強化し、システムでの事業拡大を進めている。図1に富士電機のパワーエレクトロニクス機器および計測・制御・情報システムと応用分野の概要を示す。

本稿では、富士電機が取り組んでいる自動化と省エネルギー（省エネ）に貢献する計測機器、制御機器お

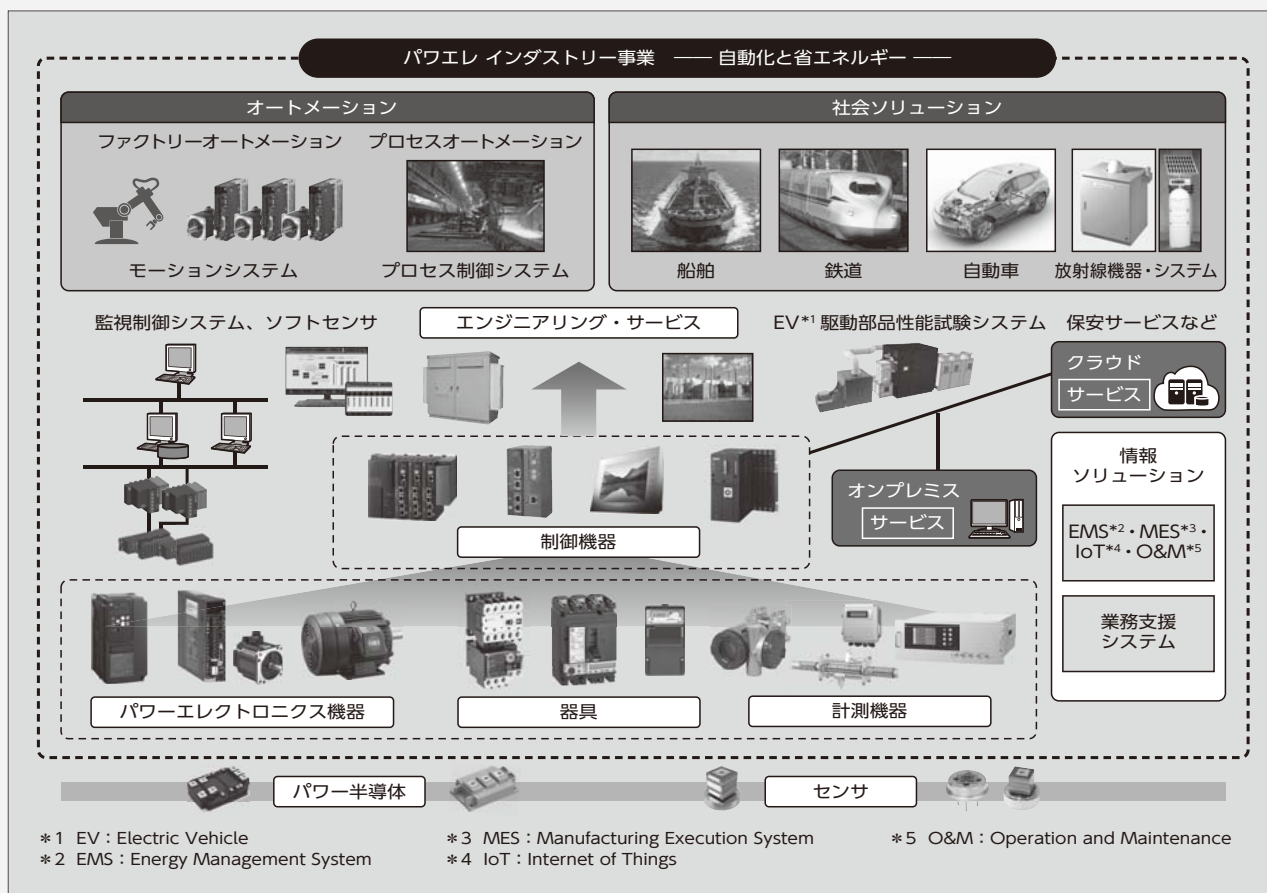


図1 富士電機のパワーエレクトロニクス機器および計測・制御・情報システムと応用分野の概要

よびシステムと、そのエンジニアリング・サービスについて、新たな取組みと展望について述べる。

② プラント監視制御システム

2.1 プラント監視制御システムの市場動向

プラント監視制御システムは、生産現場において生産や業務の効率化を目的として、生産設備や生産工程の可視化、自動化、さらに安定操業に貢献してきた。

これらのシステムは、主に、中国、インドなど、人口が増加するエリアで市場が伸びている。一方、日本国内は、システムの更新や延命が主体で、市場は飽和状態であった。しかし、昨今、DXやカーボンニュートラルに向けた設備改造など、新たなニーズの高まりで、プラント監視制御システムへの投資が活発化し始めている。

また、国内、国外問わず、これまでクローズされていたプラント監視制御システムは、外部ネットワークと接続することが一般的になり、監視や制御だけの機能に加えて、セキュリティ対策や広域なデータ連携などが重要な機能になってきている。

2.2 富士電機の取組み

(1) 監視制御システム

富士電機は、プロセスオートメーションの各分野や、そのプラント規模に応じ、最適な監視制御システム製品とソリューションを提供している。図2に監視制御システムのラインアップを示す。

監視制御システムは、プラントの各設備を対象とし、計測機器により常時、圧力・流量・温度など、現場の情報を取り込み、その状況に合わせ最適な自動運転のための監視制御を行うものであり、富士電機は、基幹のプラント監視制御システムとして「MICREX-VieW XX (ダブルエックス)」を提供している(図1中央右)。



図2 監視制御システムのラインアップ

このシステムは、プラントの連続稼働を可能とする高い信頼性と保守性に優れた監視制御システムであり、主に鉄鋼、セメント、ごみ処理プラントの監視制御に適している。

「MICREX-NX」は情報システムとの親和性が高く、処理量の多い水処理プラントなどの監視点数の多い大規模プラントへの適用に向いている。

「MICREX-VieW PARTNER」は、設備や規模を選ばず、現場を見える化でき、エネルギー監視や設備監視への適用に向いている。「MICREX-VieW FOCUS」は、HMI (Human Machine Interface) においてシステム固有ではなく汎用のSCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) を導入したオープンな監視制御システムであり、化学、食品・医薬品、ガス分野での適用に向いている。このたび、本シリーズには、短期習得ができ、顧客によるエンジニアリングや、国外のエンジニアによる現地完結でのシステム構築を可能とする、扱いやすい監視制御システム「MICREX-VieW FOCUS Evolution」をラインアップした。本システムでは、各種プログラミングツールを統合し、PC画面上でのドラッグ＆ドロップ作業で、容易かつ効率的にアプリケーションソフトウェアの作成が可能なエンジニアリング環境や、顧客の要件に応じ、運転画面を容易にカスタマイズできる機能を備えており、今後もさらにその価値を高め、業種の拡大や国外への適用を進めていく(22ページ、「エンジニアリングのリードタイム短縮と品質向上を実現してDXを加速する支援ツール」参照)。

図3に監視制御システムの基本例となるMICREX-VieW XXのシステム構成例を示す。エンジニアリングステーションは、コントローラやHMIを担うオペレータステーションをエンジニアリングするためのツール環境である。オペレータステーションでは、プラント操業者によるプラントの監視操作を行い、コントロールステーションのほか、リモートI/Oおよびフィールド機器により、プラント操業に必要なデータを収集・出力し自動制御を行っている。この監視制御システムには、各種ソリューションコンテンツが組合せで使用できるようにしており、これらは各監視制御システム製品で共通に使用できるようにしている。

製品の国外展開については、国外でのシステムビジネス拡大に向け、東南アジアとインドにおいて、小規模システムである環境モニタや水処理、小規模ボイラなどを中心に標準化を図りながら展開している。

また、プラント制御システム分野では、監視制御システムがプラント監視のプラットフォームとなり、そこから収集したデータをどう扱うかが重要になっている。実際、収集したデータにAI (Artificial Intelligence) 技術などを使い、数値モデルを用いた

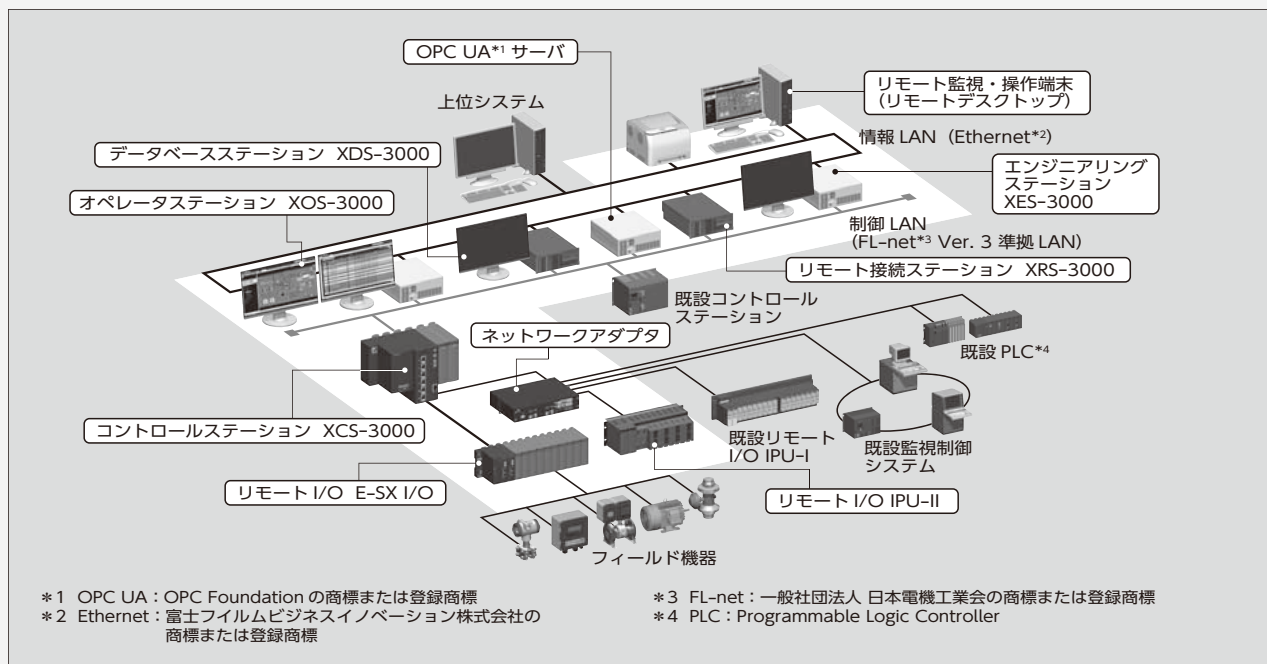


図3 「MICREX-View XX」のシステム構成例

高度な予測技術の現場適用が進んでいる。富士電機では、その一つのアイテムとして、現場で定期的にサンプリングしている製品の成分濃度などの重要な品質値の現時点の値を、すでに収集している品質値から算出して推測するソフトセンサの現場適用に取り組んでいる。また、プラント監視の膨大なデータを定周期で取り込み、過去のプラント状態を画面で再生する機能など、プラントの操業を支援する機能を拡充している（17 ページ、「プラントの操業最適化に貢献するソフトセンサ」参照）。富士電機は、今後も継続してデータ収集と、その活用に向けた取組みを推進していく。

(2) システムを支える計測機器

富士電機は、大気汚染などの環境計測を支えるさま

ざまなガス分析計、飽和蒸気をはじめ液体や空気などを測定することで省エネを支える流量計、世界のフィールドで稼働している差圧・圧力発信器「FCX シリーズ」をラインアップすることで、環境保全、省エネに貢献している。図4に富士電機の差圧・圧力発信器、流量計、分析計を示す。

FCX シリーズは、1989 年の発売以来、世界中で 100 万台を超える販売実績を積み上げてきた。さらなる性能向上や機能安全への対応など新機能追加の要望に応えるため、「FCX-A IVシリーズ」を開発した（35 ページ、「プラントの監視制御システムの高度化に貢献する差圧・圧力発信器」参照）。



図4 富士電機の差圧・圧力発信器、流量計、分析計

③ ファクトリーオートメーションシステム

3.1 ファクトリーオートメーションシステムの市場動向

ファクトリーオートメーションシステムの市場においても、デジタル化を主体とした IoT（Internet of Things）化の推進から、それをベースに顧客が新たな価値創出に向けて進める DX に貢献するソリューションのニーズが高まっている。各メーカーともシステムにおける得意領域でのソリューションを手掛けているが、顧客は複数領域を統合するソリューションを求めつつある。富士電機では、ISA（International Society of Automation）が標準規格である ISA-95 で提唱しているシステムの階層モデルをベースに、製造実行・生産管理（L3）、監視制御・モニタリング（L2）、装置・制御（L1）に階層化したデジタルソリューションにより、顧客の製造・品質・在庫・保全・エネルギー管理の高度化を目指している。図 5 に工場系 DX の全体像を示す。3.2 節では、L3 層の製造実行システム、L1 層のモーションコントロールシステム、電気自動車（EV：Electric Vehicle）駆動部品性能試験システムについて述べる。

3.2 富士電機の取組み

(1) 製造実行システム

製造実行システム（MES：Manufacturing Execution System）は、一般的に ERP（Enterprise Resource Planning）をはじめとする基幹業務システムと現場の制御システムとをシームレスに連携し、製造計画に基づいた工程別の製造指示を行うとともに、製造実績を収集する仕組みである。

富士電機の MES は、前述の基本機能に加え、品質のトレーサビリティの確保や、製造実績の高度分析による改善フィードバックを支援することをコンセプトとしている。

最新の取組みとしては、新たに MES コンセプトを整理し、新アーキテクチャを採用した新 MES パッケージの開発に着手している。OPC UA^(*)の標準データモデルに準拠した構造により、将来にわたりさまざまな変化にサステナブルに対応し、さまざまなデータ（イベント、トレンド、テキスト、画像、音声など）の分析を同一のユーザビリティで実施可能な環境の実現を目指している。

また、近年高まりを見せている、ものづくり環境の高度化、デジタルツイン環境の実現、グローバル視点

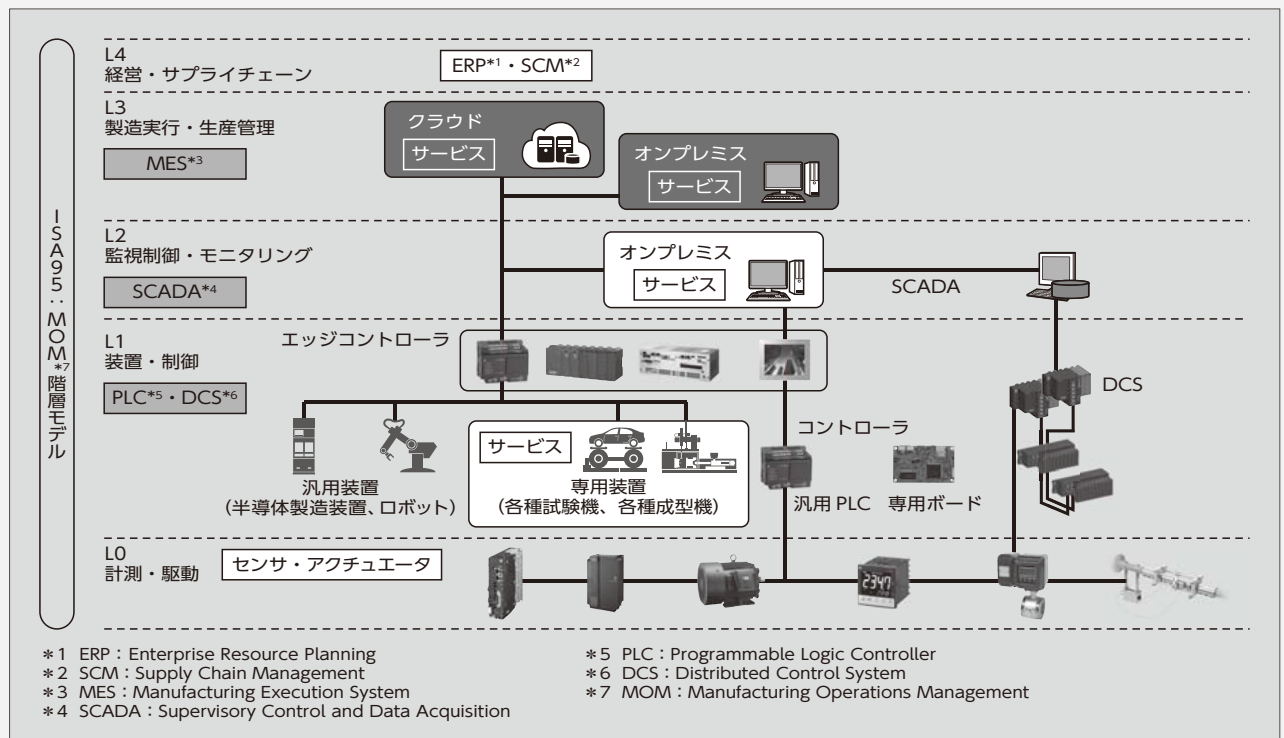


図 5 工場系 DX の全体像

(*) OPC UA

OPC Foundation の商標または登録商標

での標準化、カーボンニュートラルの実現といった顧客ニーズに対し、製造拠点における製造、保全、設備、エネルギー情報の統合データベース化、およびAI技術と解析技術の活用を技術コアに、MES、EMS (Energy Management System)、保全システム、設備監視システムなどのパッケージ商品群の統合提案としてまとめた“グローバルスマートファクトリー”コンセプトの提案を進めている。図6にグローバルスマートファクトリーのパッケージ群を示す。

一方、MESのエンジニアリング機能については、従来は実装されている機能に特化した定義となっているため、効率が良い反面、機能の変更や、他用途での利用が困難であった。OPC UAの概念である情報モデルを採用した新システムでは、製造現場を抽象化した情報モデルとしてデジタルツインを構築し、必要な情報を体系的に管理することで、機能変更や多用途活用が容易な構造としている(27ページ、“製造現場のDXに貢献する製造実行システム”参照)。

(2) モーションコントロールシステム

モーションコントロールシステムは、産業用ロボットをはじめとする産業用機械や装置に使用され、精密な位置決め、速度制御、トルク制御などのモーション制御を行うシステムである。一般的にモーションコントロールシステムは、サーボモータなどのアクチュエータ、モーションコントローラ、プログラマブル表示器、制御ソフトウェアなどのコンポーネントから構成される。

成される。

これらの用途では、複雑な動作や加工への対応、工程時間の短縮および高精度化の要求があり、より多くの制御軸において、より高速な制御周期で同期制御できる性能が求められている。また、複数メーカーから最適な構成要素を選択できるオープンネットワークとして、EtherCAT^(*)2)の普及が加速してきていることから、EtherCAT対応コントローラ「SPH5000EC」を開発した。図7にEtherCATのシステム構成を示す。

本コントローラは、二つのコアを持つプロセッサを採用して従来機種2台分のPLC (Programmable Logic Controller) アプリケーションソフトウェアを同時実行できるようにした“マルチコアプラットフォーム”で、シーケンス制御とモーション制御を並列に同時実行することにより、従来品と比べて4倍のモーション制御性能を実現した。また、複数のEtherCAT間の同期制御により、大規模なシステムにも対応可能である(31ページ、“工場設備の自動化に貢献するモーションコントローラ”参照)。

(3) EV駆動部品性能試験システム

EVの制御はガソリン車に比べて複雑なため、完成車メーカーの開発試験工数が従来のガソリン車と比較して増大傾向にあり、試験効率向上に貢献する試験システムが求められている。富士電機のEV駆動部品性能試験システムは、EV駆動部品性能試験機、恒温槽、温調装置で構成される。図8にEV駆動部品性能試験

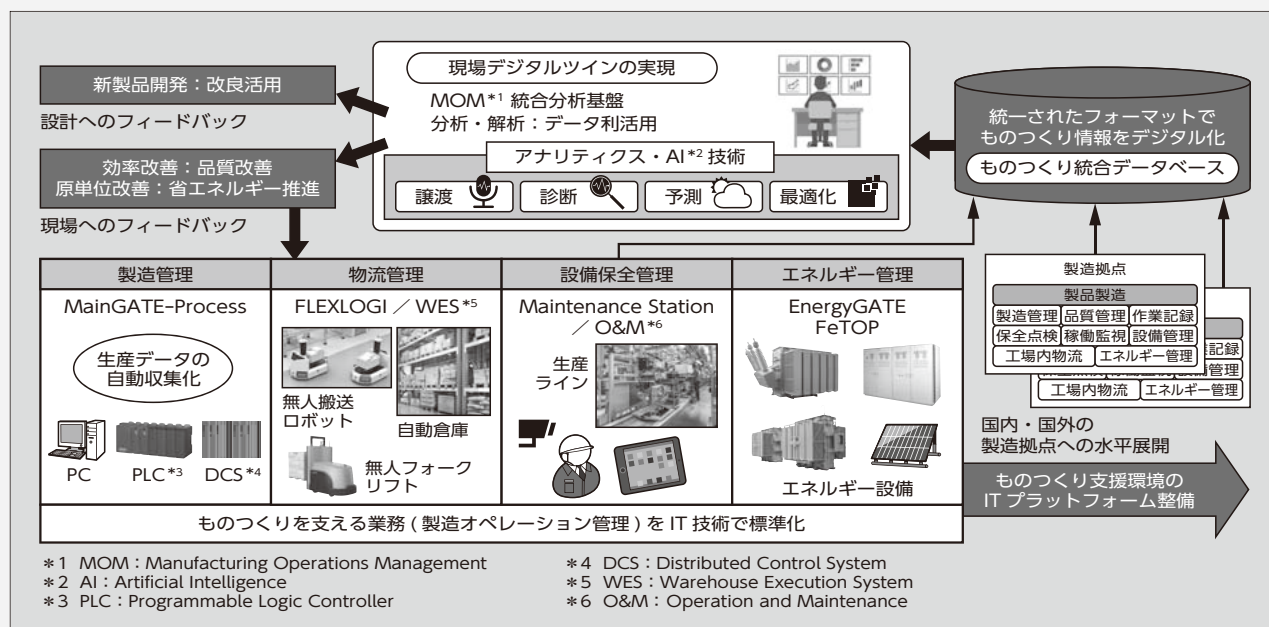


図6 グローバルスマートファクトリーのパッケージ群

(*)2) EtherCAT

Beckhoff Automation GmbH の商標または登録商標

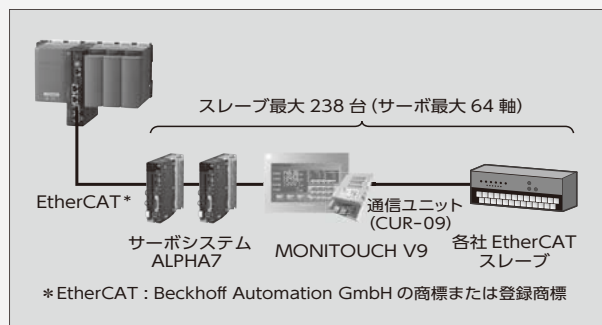


図7 EtherCAT のシステム構成

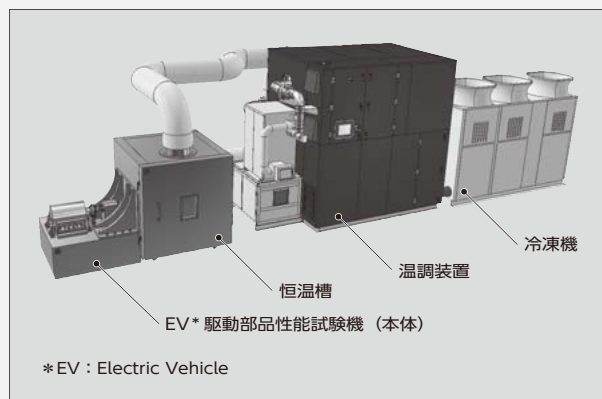


図8 EV 駆動部品性能試験システム

システムを示す。高速回転モータを主とする駆動系部品の性能評価を低温から高温の全温度領域において、環境条件を高精度に維持した状態で実施可能にする。

高速回転モータの試験機は高速回転に伴う振動によるトラブルが懸念され、その対応とともにトラブル予防のためメンテナンスの煩雑さを低減させることが求められる。今回開発した EV 駆動部品性能試験機は有限要素法によるシミュレーションと回転軸の動バランス調整を考慮した最適設計により、試験機としての高い信頼性を実現するとともに、メンテナンスの簡素化を可能にする構造を採用している。

また、試験環境条件の高精度化のためには、試験対象部品からの発熱を吸収して恒温槽内を一定温度に保つ必要がある。今回、発熱に対する冷凍機の運転応答性を向上させるための冷媒回路と制御方法を設計するとともに、一般的な温調装置で採用されている蒸発器の除霜運転を不要にすることで、熱負荷変動に対して $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の温度追従性を実現する温調装置を開発した(39 ページ、「EV 駆動部品の使用環境を再現する性能試験システム」参照)。

④ その他のシステム、ソリューション、サービス

富士電機は、各種産業分野で培った計測・制御技術を活用したシステム、ソリューション、サービスを展開している。

4.1 船舶 IoT システム

IMO (国際海事機構: International Maritime Organization) が定める SOx (硫黄酸化物) の排出規制強化により、海運業界では EGCS (排ガス浄化システム: Exhaust Gas Cleaning Systems) の導入が進んでいる。富士電機は、世界最小 [10 MW クラス (2020 年現在、富士電機調査)] の SOx スクラバとレーザ式ガス分析計を用いて最適制御を実現し、運航コストを最小化する EGCS を展開している。一方、EGCS はその監視やメンテナンス業務で船主や管理会社、船員の負担となっている。富士電機は EGCS 稼働データの自動収集と異常予兆診断により、安全で効率的な船舶運航に貢献する「船舶 IoT システム」を開発した (44 ページ、「排ガス浄化システムの効率的な運用管理を実現する船舶 IoT システム」参照)。

4.2 放射線管理ソリューション

化石燃料からの脱却と原子力エネルギーの活用機運が世界的に高まっている。原子力エネルギーの活用を推進するためには、安全対策の徹底が必須であり、近隣住民への安全・安心を提供するため、放射線管理は欠かすことはできない。富士電機は、従来から個人線量計、ガスモニタ、ダストモニタなどの計測機器や放射線モニタリングシステムを展開して原子力エネルギー利用の安全・安心に貢献している。さらなる測定の信頼性向上や管理の自動化の推進に向けて、耐環境性を向上したモニタリングポストや線量計、環境放射線監視テレメータシステムなどを開発した (48 ページ、「安全・安心に貢献する放射線管理ソリューション」参照)。

4.3 スマート保安サービス

石油・化学や電力・ガスなどの産業・エネルギー関連インフラでは、設備の高経年化、保安人材の高齢化や長期的な不足などにより、保全業務にかかる負荷が増大している。そのことから、設備の安定稼働、業務の効率化・スマート化が差し迫った課題となっている。

(*3) EGCS

排ガス浄化システム: Exhaust Gas Cleaning Systems のことである。排ガスを海水で洗浄し、排

ガスに含まれる硫黄成分を除去する SOx スクラバや、排ガス・排水中の成分を分析する測定器などで構成される。

富士電機は、IoT・AI 技術を活用して従来のアナログな保全業務から生じる課題を改善し、高効率な業務運用を支援することで、保全計画の立案から設備監視・保全管理策の提案まで、設備保全の最適化を実現する「まるごとスマート保安サービス」を展開している（53 ページ、「保守、点検の効率化と予知保全の実現に貢献するスマート保安サービス」参照）。

⑤ あとがき

富士電機が取り組んでいる自動化と省エネルギーに貢献する計測・制御・情報システムの現状と展望について述べた。これからも、自動化と省エネルギーを推進することで社会に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 鉄谷裕司, 笹谷俊幸. 自動化と省エネルギーに貢献する

計測・制御ソリューションの現状と展望. 富士電機技報. vol.93, no.1, 2020, p.4-10.



鉄谷 裕司

富士電機株式会社執行役員常務、パワエレ インダストリー事業本部長。



松本 康

パワエレ製品の開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部長兼パワエレ エネルギー事業本部開発統括部長。博士（工学）。IEEE 会員、電気学会フェロー。



プラントシステムのエンジニアリング効率化を実現する グローバル対応監視制御システム

Global Monitoring and Control System That Improves Plant System Engineering Efficiency

若井 大資 WAKAI, Daisuke

佐藤 好邦 SATO, Yoshikuni

吉原 大助 YOSHIHARA, Daisuke

近年、プラント監視制御システムのエンジニアリング機能には、プラントのライフサイクル全体のサポートが求められている。このようなニーズに対応すべく、富士電機は、プラントシステムのエンジニアリングの効率化に向けて、グローバル対応監視制御システム「MICREX-View FOCUS Evolution」を開発した。MICREX-View FOCUS Evolution は、容易なカスタマイズ性と高い汎用性を両立したシステムであり、マルチベンダ間での通信として標準的に用いられる OPC UA にも対応しており、ユーザーの要求する規模や用途に応じた柔軟な監視制御システムを構築できる。

In recent years, the engineering function of plant monitoring and control systems have been required to support the entire plant lifecycle. To meet the requirement, Fuji Electric has developed the “MICREX-View FOCUS Evolution” global monitoring and control system to improve the efficiency of plant system engineering. The MICREX-View FOCUS Evolution enables users to build flexible monitoring and control systems tailored to the scale and application they require by offering both easy customization and high versatility, as well as supporting OPC UA, which is used as a standard multi-vendor communication protocol.

① まえがき

富士電機は、2014 年に中小規模の産業プラント向け監視制御システム「MICREX-View XX (ダブルエックス)」を発売し、鉄鋼、化学、食品、ごみ焼却など産業プラントの安定操業に貢献してきた⁽¹⁾。近年、国外のプラント監視制御システムにおいても導入が進んでいるが、エンジニアの入れ替わりが激しい国外では、PC ソフトウェアであるエンジニアリングツールに対し、より一層の習得のしやすさが求められている。また、遠隔地からのリモート監視・保守、国際的な規格への対応が、国外の市場にプラントシ

テムを納入するためには不可欠となっている。

このような要求に応えるために、富士電機は、国内外の現地エンジニア向けに統合エンジニアリングシステムを開発した。本稿では、グローバル対応監視制御システム「MICREX-View FOCUS Evolution」について述べる。

② 監視制御システムの課題

2.1 概要

図 1 に、「MICREX-View XX (ダブルエックス)」のシステム構成例を示す。エンジニアリングステーションで

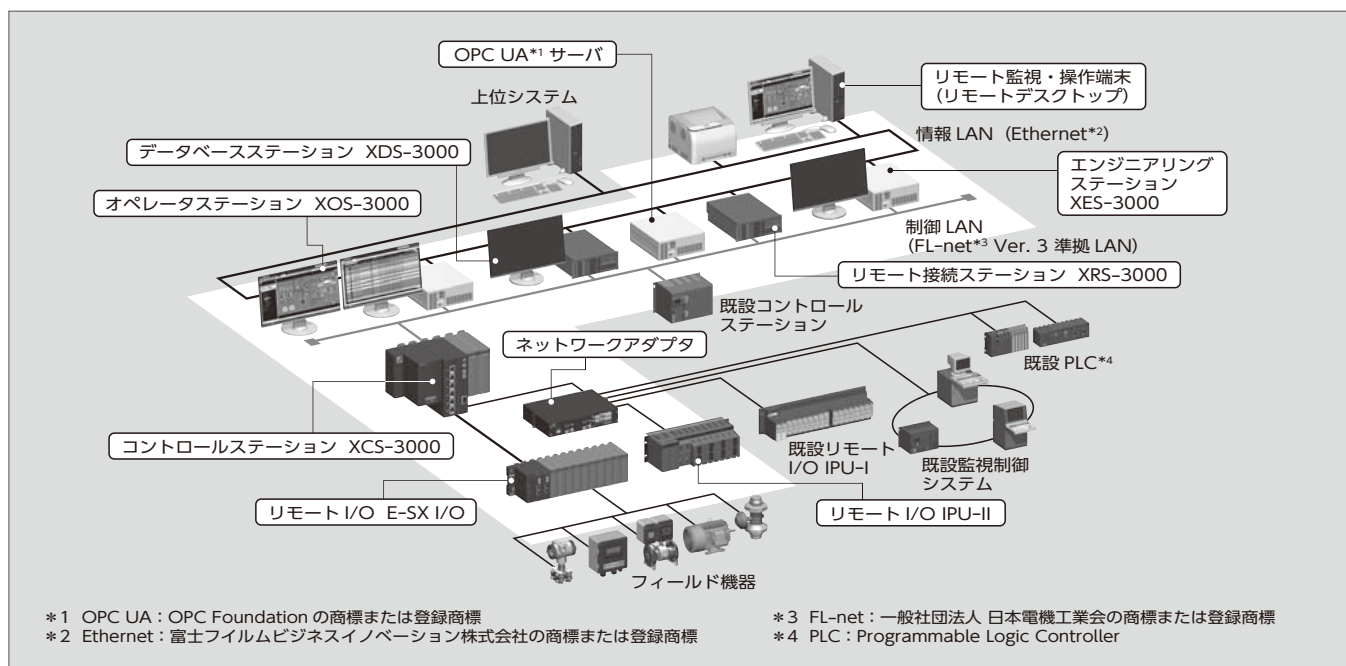


図 1 「MICREX-View XX」のシステム構成例

発を国内で実施しようとする、仕様変更内容の日本語への翻訳や、時差に伴う仕様確認作業のタイムロスに伴う。国外のエンジニアが現地でアプリケーションの開発から試験まで迅速に対応できるようにするためには、容易で作業効率の高いエンジニアリング環境を提供することが求められている。現地エンジニア独自のルールや、ユーザーの要求に合わせたカスタマイズとパッケージ化が可能な HMI 環境が必須となる。

(3) 汎用性の向上

MICREX-View XX を採用したシステムでは、指定された専用機器を適用する必要があった。国外のプラントでは、例えば故障時には日本から代替品を送るため復旧に時間を要する場合もあった。このような制約をなくし、エンジニアリングを含めて国外でも調達や導入が行いやすいシステムが求められている。

(4) メンテナンス（監視・保守）機能の強化

国外に展開している日系プラントメーカーにおいては、メンテナンスを国内と同様にタイムリーに実施できることや、短期間で対応できることがプラントシステム採用の必須条件となっている。そのため、現地まで行かなくても遠隔で監視と保守が可能な環境が求められている。

③ グローバル対応監視制御システム「MICREX-View FOCUS Evolution」の特徴

3.1 概要

図2に、MICREX-View FOCUS Evolution のシステム構成例を示す。MICREX-View FOCUS Evolution は、



国外のプラントへの適用を念頭に置き、統合エンジニアリングツールでアプリケーションを開発することにより、規模や用途に応じた柔軟なシステムの構築を可能にしている。また、スマートデバイスを使った遠隔操作により、多拠点のプラント操業をサポートすることができる。本システムは、カスタマイズ性と汎用性を高度に両立した監視制御システムである。

3.2 統合エンジニアリングツールとアプリケーションパッケージ

(1) ツール統合と TAG 情報の自動連携

従来のシステムでは複数に分かれていたエンジニアリングツールを一体化して使い勝手を改善した統合エンジニアリングツールを今回新たに提供している。図3に統合エンジニアリングツールの構成を示す。このように、統合された環境の下で次に示すツールを自在に組み合わせて利用できる。これらのツール上で動作させる各種のアプリケーションには、富士電機の提供するパッケージ〔詳細は(3)で示す〕を利用することができる。

- ネットワーク構成エンジニアリングツール
- コントローラエンジニアリングツール
- HMI 画面エンジニアリングツール
- シミュレーション
- 標準テンプレート・標準ライブラリ

統合エンジニアリングツールでは、前述の各ツールやアプリケーションだけでなく、監視制御対象となる機器や装置の識別に使われる TAG 情報も一元管理される。全てのアプリケーションは自動的に連携するので、例えば、あるアプリケーションを編集し、あるいはコントロールステーションを操作すると、その都度、関連するツールやアプリケーションの情報も自動的に更新される。そのため、従来のようにツールごとにアプリケーションを管理する煩わしさが無い。また、従来はコントローラ用と HMI 画面用に個別に保持していた TAG 情報を更新するたびにひも付けし直していた作業も不要となる。これらの機能により、エンジニアリング作業の負荷が大幅に軽減し効率が向上する。

(2) マルチユーザ機能

国外のプラント監視制御システムを開発する場合、国内と国外のエンジニアが共同で作業するケースが増えている。この場合、アプリケーション開発の管理ミスによる開発効率の低下や、煩雑な管理のために管理工数の増加が懸念される。このような状況を回避するためのマルチユーザ機能を開発した。開発中のアプリケーションファイルは専用サーバで一元的かつ排他的に管理されるので、複数のエンジニアが同一のアプリケーションを同時並行に変更することを回避できる。

また、開発が完了したアプリケーションを新たな現場で再利用することも可能である。稼働実績があり信頼性のあるアプリケーションを再利用することは、開発の効率向上に有効な手段となる。

(3) アプリケーションパッケージの高度な活用

ユーザーのアプリケーション開発を支援するため、富士電機はパッケージ化したアプリケーションを提供している。さまざまな業種向けや操業支援用などを取りそろえてあり、エンジニアは開発するプラント制御システムに適用するパッケージを選択して利用することができる。アプリケーション開発の効率を高めるために、これらのパッケージを利用だけでなく、既に実績のあるプログラムや画面データをテンプレート化し、これを転用するために独自の運用ルールを設けて管理することも、従来から行われていた。しかしながら、これらのアプリケーションパッケージや転用するテンプレートの個別の仕様を変更したい場合には、現地のエンジニアでは変更できず、テンプレートやパッケージの開発元に変更のための開発を依頼する必要があった。

この問題を解消するため、今回、図4に示すオブジェクト共有の仕組みを開発した。ユーザーが再利用したいプログラム部品と画面部品を開発してパッケージライブラリに登録する際に、構造化 TAG と呼ぶ情報を定義し、再利用したいプログラムの変数や画面部品の定義情報をそれぞれ構造化 TAG の要素とひも付けておく仕組みである。この仕組みを利用すると、従来は開発元でなければ実施できな

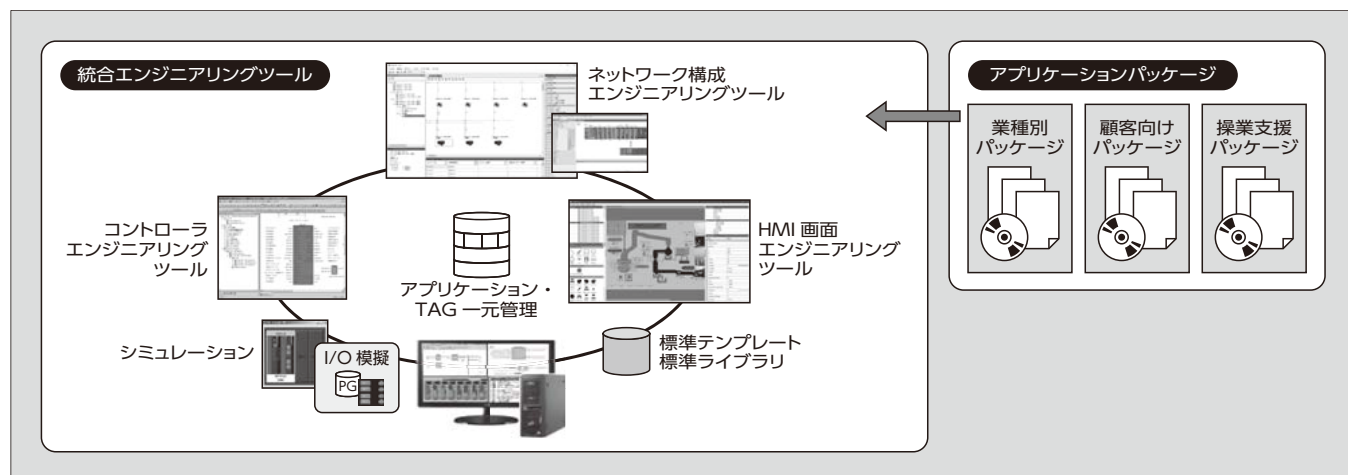


図3 統合エンジニアリングツールの構成

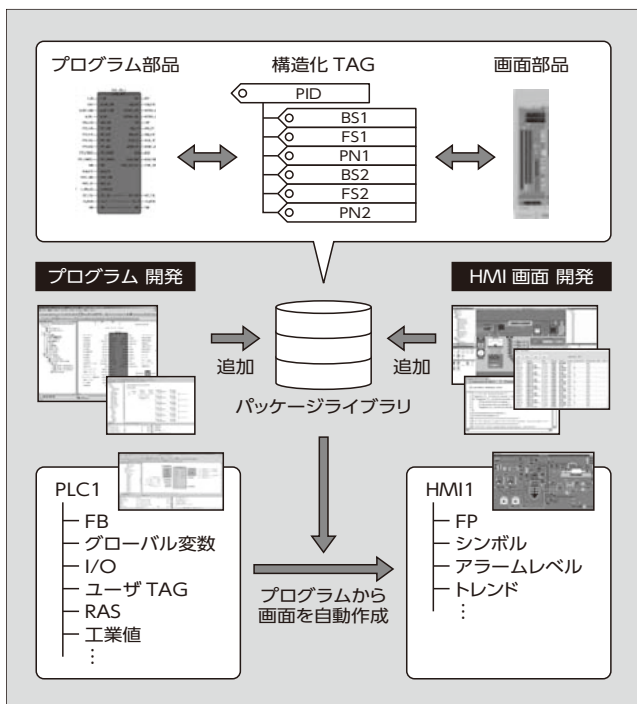


図4 オブジェクト共有の仕組み

かったアプリケーションの個別仕様の変更を現地のエンジニアでも実施することができる。プログラムの開発時に、プログラム部品を配置するだけで、対応する画面部品が自動的に作成される。

これらの機能を利用することにより、国外などの現地での開発効率が飛躍的に向上し、現地で開発を完結させることも可能になる。

3.3 HMI システム

(1) ユーザーによる画面のカスタマイズ

HMI の表示画面はプラントのオペレーターが運用中に常に監視して操作する重要なユーザインタフェースであり、画面の使い勝手が顧客満足度に大きく影響する。表示画面は、さまざまな分野やエンドユーザーに固有の要求に対応できることを求められている。特に、現地のエンジニアが要求を実現するために柔軟にカスタマイズできることが重要である。

今回新たに、簡易プログラミング言語を実行できる汎用スクリプト機能を利用して画面をカスタマイズできる機能を開発した。図5にMICREX-View FOCUS EvolutionのHMIシステムの内部構造を示す。従来は、画面や部品があらかじめHMIプラットフォーム内に用意されており、ユーザーは部品の組合せを変更することしかできなかった。MICREX-View FOCUS EvolutionのHMIシステムでは、画面と画面部品をHMIプラットフォームから分離した内部構造としたことにより、画面と画面部品のカスタマイズとパッケージ化が可能になった。汎用スクリプトであ

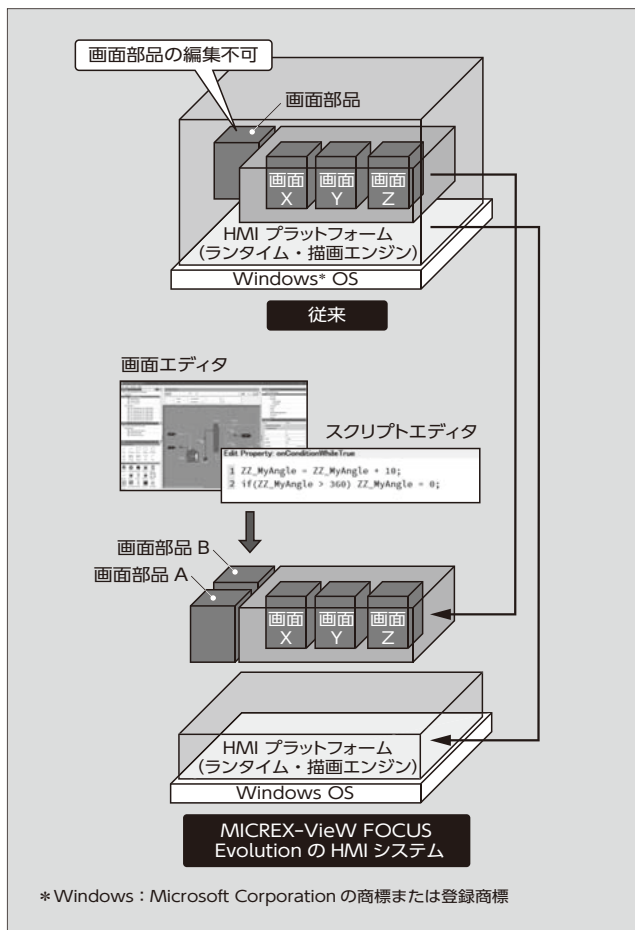


図5 「MICREX-View FOCUS Evolution」のHMIシステムの内部構造

るECMAScript^{〔注1〕}を用いてカスタマイズを行うことで、対象とするプラント固有の動作をHMI画面に付加することができる。ECMAScriptは、21種類のカテゴリに258個のスクリプト関数をサポートし、柔軟なカスタマイズが可能である。

(2) マルチウィンドウ機能

図6にマルチウィンドウの表示例（タイル表示）を示す。MICREX-View FOCUS EvolutionのHMIシステムには、個々の監視画面を最大8画面分同時に表示するマルチウィンドウ表示機能がある。表示方法は次の三つのタイプがあり、ユーザーが任意に選ぶことができる。



図6 マルチウィンドウの表示例（タイル表示）

〔注1〕 ECMAScript : Ecma International の商標または登録商標

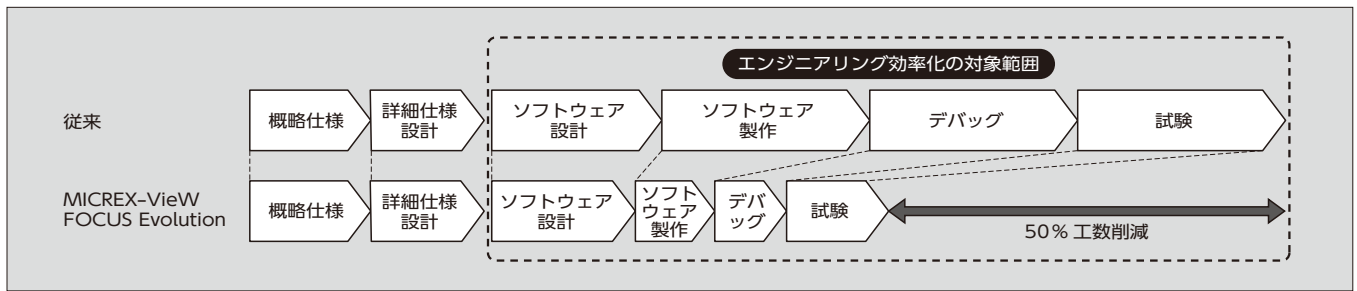


図7 エンジニアリング工数の削減

- タブ表示
- フローティング表示
- タイル表示

(3) 適用できるPCの選択肢の拡大

従来のシステムでは必要であったMicrosoft SQL Server^{（注2）}が不要となるように独自データベースを採用した。これによりPCの適用条件が緩和され、汎用のPCでも適用できるようになった。

3.4 リモート監視システム

(1) 遠隔監視機能

MICREX-View FOCUS Evolutionは、遠隔地にある汎用PC、タブレット、スマートフォンなどのHMIクライアントを使って現場のプラントを遠隔監視できる機能を備えている。

この機能を実現するためには、図2に示すように、制御LAN上にリモートサービス用サーバ（HMIサーバ）を配置する。情報LAN上には、ファイアウォールを配置してDMZ（DeMilitarized Zone：非武装地帯）を設け、そこにリモートアクセスゲートウェイを配置する。これにより、HMIクライアントは、インターネットを介してリモートサービス用サーバに接続することができ、HMIクライアントのブラウザからプラントを監視操作することができる。この仕組みによりクライアント側にはVPN（Virtual Private Network）を構築する必要がなく、国外にあるプラントに対しても容易に遠隔監視ができる。

(2) OPC UA 通信プロトコルの採用

産業プラントの監視制御システムでは、ベンダの異なるシステムや装置、デバイス、さらにはクラウドシステムとの接続ができるマルチベンダ通信技術が重要となっている。このようなマルチベンダ間で通信できる技術は現在複数あって、目的に応じて使い分けられている。その中で有力な選択肢としてOPC UAが注目されている。

OPC UAは、制御システム向けの通信技術として成長を遂げており、ドイツが中心となり推進しているIndustrie4.0の参照アーキテクチャモデルであるRAMI4.0（Reference Architecture Model Industrie

4.0）の通信層（通信機能）の規格であるIEC 62541の推奨プロトコルとして国際標準となっている。中国やシンガポールではOPC UAが国家規格に採用され、ヨーロッパ以外の地域でも普及すると予測される。

MICREX-View FOCUS Evolutionでは、国内外のさまざまなシステムとスムーズに連携するために、OPC UAサーバ機能をオペレータステーションに搭載した。また、OPC UAの連携データは統合エンジニアリングツールで定義したTAG情報と自動連携する。

その結果、図7に示すようにエンジニアリング工程のうちソフトウェアの設計工程から試験工程までの工数が従来に比べて半減できる。また、プラント規模を拡大する際にも現地でのカスタマイズ対応ができる。

4 あとがき

プラントシステムのエンジニアリング効率化を実現するグローバル対応監視制御システムについて述べた。本システムは、規模や用途に応じた柔軟なシステム構築でき、かつグローバルに運用できる。また、スマートデバイスを使った遠隔監視により、安定したプラント操作をサポートする。容易なカスタマイズ性と高い汎用性を両立し、常に進化を続ける監視制御システムである。

今後も、お客さまのエンジニアリング環境を向上するために監視制御システムの機能を拡充していく所存である。

参考文献

- (1) 佐藤好邦ほか. 中小規模監視制御システム「MICREX-View XX」の最新オペレーション機能とエンジニアリング機能. 富士電機技報. 2014, vol.87, no.1, p.49-53.
- (2) 永塚一人ほか. 進化する監視制御システム「MICREX-View XX（ダブルエックス）」. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.3, p.186-192.

〈注2〉SQL Server：Microsoft Corporationの商標または登録商標

〈注3〉OPC UA：OPC Foundationの商標または登録商標



若井 大資

プログラマブルコントローラのコントローラ支援ツールの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測・制御開発センター HMI 開発部主査。



吉原 大助

プログラマブルコントローラのコントローラ支援ツールの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測・制御開発センター HMI 開発部マネージャー。



佐藤 好邦

監視制御システムの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測・制御開発センター HMI 開発部マネージャー。



プラントの操業最適化に貢献するソフトセンサ

Soft Sensor-Systems for Optimizing Plant Operation

田中 雅紀 TANAKA, Masaki

加藤 泰輔 KATO, Taisuke

村上 賢哉 MURAKAMI, Kenya

近年、生産性向上を目的にプロセス産業の DX 推進に向けた取組みを進める企業が増えている。富士電機は、温度・圧力などのデータを用いてリアルタイムに品質を推定できるソフトセンサの技術開発を進めている。このたび開発したソフトセンサ構築ツールにより、従来は難しかった高精度な数式モデルを効率よく作成し、実装することができる。プロセスシミュレータを用いて、本ツールで構築したソフトセンサによるリアルタイム計測が難しい品質値の推算と、当該推算値に基づく制御のシミュレーションにより、原単位低減などによりコスト削減が期待できることを確認した。

In recent years, an increasing number of companies have been promoting DX initiatives in industrial processes in order to improve productivity. Fuji Electric has been developing technology for soft sensors that can estimate quality in real time using temperature, pressure, and other process data. Our newly implemented soft sensor development tool enables efficient building and deployment of highly accurate numerical models that have been difficult in the past. The performance of the soft sensors was verified with a process simulator. The new soft sensor built with our tool is able to estimate quality values that have been difficult to measure in real-time and improve plant control, resulting in reduced specific consumption and lower costs.

① まえがき

近年、産業界においては、製造工程の自動化や効率向上のため、DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）を推進する流れが強まってきている。⁽¹⁾化学や鉄鋼などのプロセス産業でも、社会や市場の変化とともに安全性の向上、環境負荷の低減、品質の安定化、コストダウン、作業負荷の低減といった課題解決のためデジタル化に向けた取組みを進める企業が増えている。⁽²⁾

プロセス産業においては現場のプラントオペレーションが重要であり、プラントの的確な状態把握によるオペレーターの適切な介入・制御が求められる。ソフトセンサは、このプラントの状態把握を支援することでプロセス産業におけるプラントオペレーションを革新し DX を促進する手段となる。

② ソフトセンサ

2.1 ソフトセンサとは

ソフトセンサとは、製造プラントの安全・安定な操業と品質の維持管理を目的としたものであり、高い関心が寄せられている。

プロセス産業においては、製品の成分濃度などの重要な品質値の計測は、現在でもサンプリングによるラボ分析などにより行われることが多く、結果を得るまでに時間がかかり、高コストであることが問題となっている。一方で、プロセス中の温度や圧力データはリアルタイムかつ安価に計測できるため、この温度や圧力などのデータと品質値との間に相関があれば、リアルタイムに品質を推定できる。ソフトセンサとは、このような容易に測定できる温度や圧力などの説明変数から目的変数である品質値を推定する数

式モデルのことである。⁽³⁾⁽⁴⁾ソフトウェアとして実現されるためソフトセンサと呼ばれている。

2.2 ソフトセンサの役割と効果

ソフトセンサの適用により次のような効果が見込まれる。

- (a) 図1に示すように、従来、オペレーターは現在の品質が不明な状態でプラント運転を行っており、確信を持ったオペレーションが難しかった。ソフトセンサにより現在の品質推定値がリアルタイムに分かれれば、オペレーターはそれを根拠に適切なプラント運転や介入が可能となる。
- (b) リアルタイムに分かる品質推定値に基づいて、従来の品質が不明確であることを前提としたマージンを減らすことができるので、ムダが減って品質改善や省エネルギーにつなげることが可能になる。
- (c) 計測機器で目的とする品質値を連続測定できる場合も、ソフトセンサを併用することでソフトセンサを計測機器の測定値の異常検出にも利用できる。

2.3 ソフトセンサの課題

2.2 節のような効果を得るためには精度の高いソフトセンサを効率的に構築して実装することが必要である。

ソフトセンサを使ってプロセスの品質値を精度良く推定するためには、適切な説明変数の組合せを用いて適切な数式モデルとパラメータを適用しなければならない。それらの最適な組合せを多数の候補の中から選び出すことが必要であるが、従来は人手により試行錯誤を重ねるしかなかったため膨大な工数を要していた。この構築に係る作業を大幅に効率化することがソフトセンサを実用化する上での大きな課題である。

さらに、構築したソフトセンサを実プラントで運用する

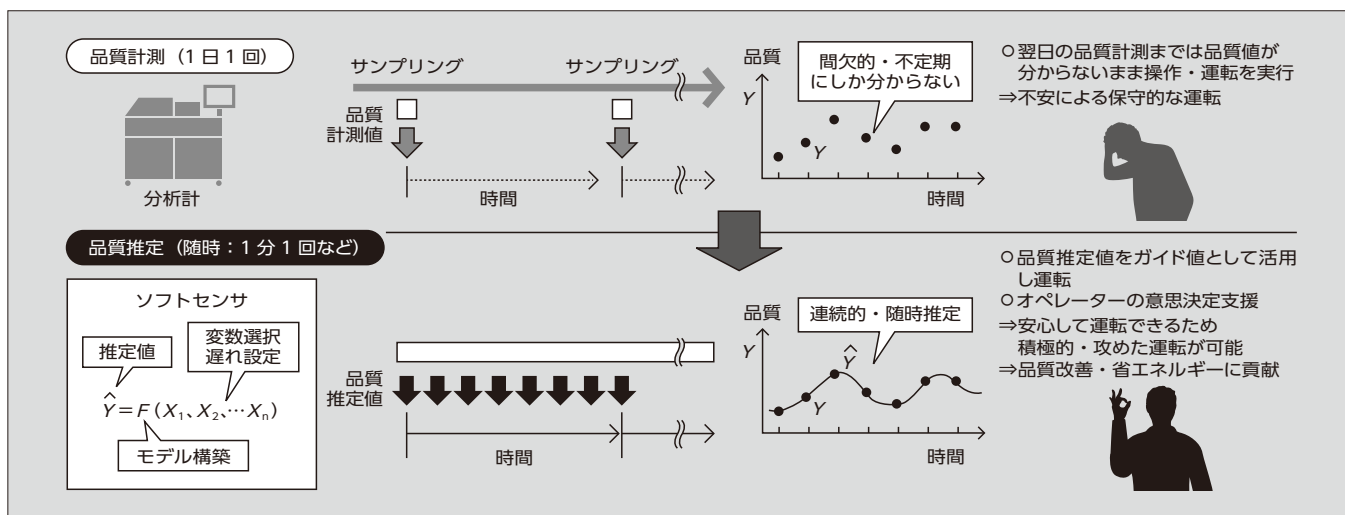


図1 ソフトセンサの効果

ためには、測定された温度や圧力などの説明変数を入力して数式モデルに基づいて計算し、目的変数である品質推定値を出力するシステムが必要となるのに加えて、実プロセスの状態が変化することに応じて、ソフトセンサの数式モデルのパラメータなどを更新していく仕組みも備えていなければならない。

③ ソフトセンサ構築ツール

3.1 ソフトセンサ構築ツールの概要

これまでの人手による試行錯誤を不要とし、高精度のソフトセンサを効率的に構築できるツールを開発した。このソフトセンサ構築ツールは、独立行政法人 日本学術振興会 プロセスシステム工学第143委員会ワークショップ No.32 “ソフトセンサー実装”（代表幹事：船津公人）において大学、化学会社の品質管理・生産管理部門、エンジニアリング会社および富士電機により開発されたものである。この中で、従来のソフトセンサ構築において大きな課題であった、説明変数や数式モデルの種類とパラメータの最適な組合せを選び出す一連のプロセスの標準化と自動化を実現した。こうして実現した一連のプロセスを3.2節に示す。

3.2 ソフトセンサの構築から運用までの流れ

図2に示したソフトセンサの構築から運用までの流れを次に説明する。

(1) データ収集

ソフトセンサの構築に使用するデータを収集する。収集するデータは、推定対象である製品品質などの目的変数と、目的変数に影響を及ぼす可能性のあるプロセスデータなどの説明変数の双方を取得する必要がある。

(2) データの前処理

収集した説明変数のデータには、外れ値や異常値、ノイズが含まれている場合がある。これらは適切なソフトセンサの構築を妨げる要因となるため、外れ値や異常値の除去、移動平均化によるノイズ除去などデータの前処理を実施す

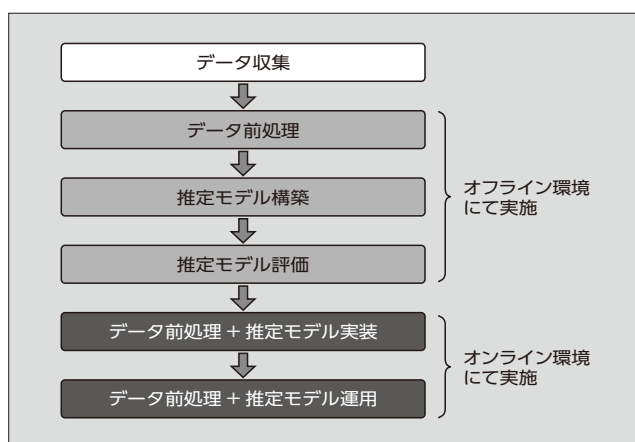


図2 ソフトセンサの構築から運用までの流れ

る。

(3) ソフトセンサの構築と評価

説明変数から目的変数を推定する数式モデルには、部分的最小二乗法（PLS：Partial Least Squares）⁽⁷⁾ やサポートベクター回帰（SVR：Support Vector Regression）⁽⁷⁾、プロセスの状態変化に応じ逐次自動で数式モデルを更新するJIT（Just-In-Time）-PLSなどの回帰手法を筆頭に複数の手法が候補となる。これらの数式モデルと説明変数の組合せからなる複数のソフトセンサの候補を構築し、それぞれの推定精度を比較して評価する。

(4) ソフトセンサの実装

評価結果に基づいて目標精度が達成できるソフトセンサを選択し、これをオンライン環境に設置した演算用PCに実装する。

(5) ソフトセンサの運用

説明変数として使われるプロセスデータはリアルタイムに測定され、プロセスを制御する制御システムのデータサーバに格納される。演算用PCは制御システムのデータサーバから取得した説明変数をソフトセンサに入力し、出力される推定結果を制御システムのデータサーバに書き込んで推定値を制御システムに受け渡す。

(6) ソフトセンサの再構築

時間の経過とともに、例えば配管内にスケール（付着物）が蓄積していくなど、プラント設備の特性が変化して推定モデルと差異が生じることでソフトセンサの推定性能が低下する場合がある。推定性能低下が許容できない段階になる前に、ソフトセンサの再構築を行う。ソフトセンサの再構築は、データ収集、データの前処理、ソフトセンサの構築と評価の手順を再度行うことで実現される。

3.3 ソフトセンサ構築ツールの構成

ソフトセンサ構築ツールのシステム構成例を図3に示す。この構築ツールには、3.2節で述べた一連の処理を標準化し自動化する仕組みを組み込んでいる。本ツールはオフラインツールとオンラインツールの二つのソフトウェアで構成される。

(1) オフラインツール

オフラインツールは、ソフトセンサを作り上げるために使われる。

あらかじめ入力された目的変数と説明変数候補のデータに対して、検討対象とするデータの範囲（期間）や説明変

数候補の選択、遅れ時間の範囲や候補となる数式モデルの種類や条件などを設定すると、学習用データを用いて当該設定条件ごとの複数の数式モデル候補が生成される。この各数式モデル候補をテスト用データに適用して目的変数値が推定され、候補ごとの推定性能の評価指標である二乗平均平方根誤差（RMSE：Root Mean Squared Error）と決定係数 R^2 が算定される。これらの処理が自動的に行われた上で、これらを比較して最も性能の良い数式モデル、すなわちソフトセンサが選定される。目的変数や説明変数のデータ入力や選定されたモデルの情報はテキストファイル形式でやり取りされる。

このオフラインツールの機能一覧を表1に示す。

(2) オンラインツール

オンラインツールは、実プロセスでソフトセンサを運用する際に使われる。

あらかじめオフラインツールから入力されたモデル情報に基づく数式モデルを使って、プラントの制御システムのデータベースから逐次読み込まれる説明変数データから目的変数である製品品質の推定値を推算する。このように、オフラインツールで選定したモデルを直ちに実プラントで

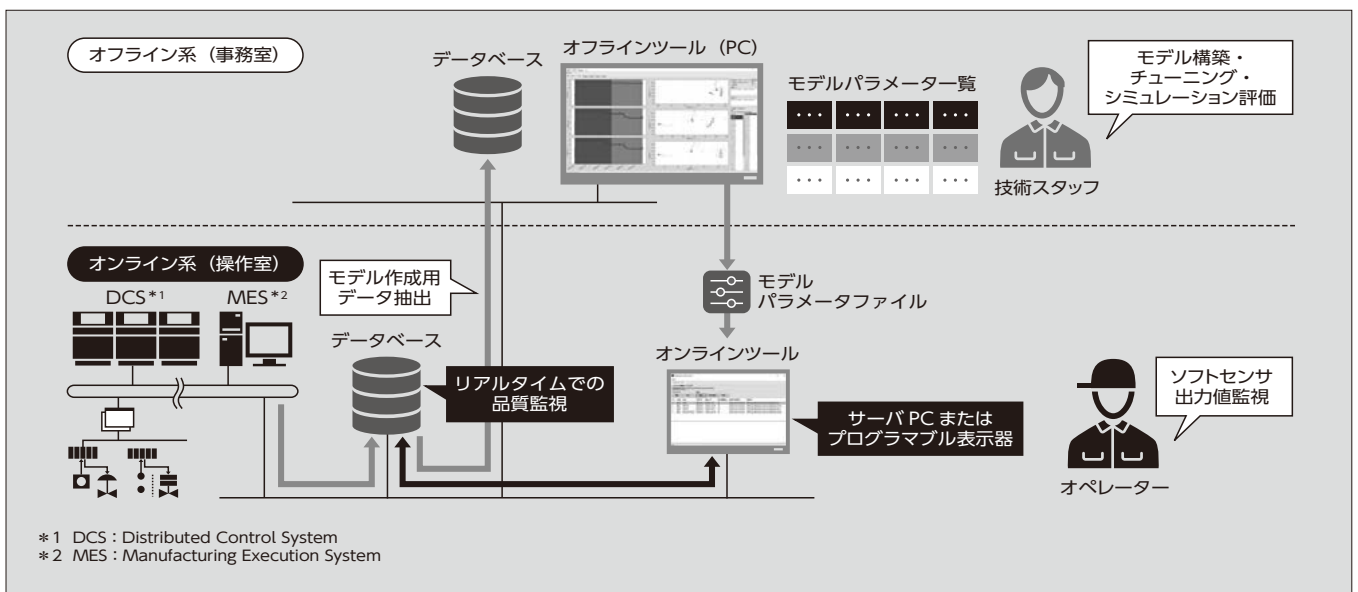


図3 ソフトセンサ構築ツールのシステム構成例

表1 オフラインツールの機能一覧

No.	機能説明	備考
1	実績データ読み込み（説明変数、目的変数）	—
2	サンプル選択（学習用、テスト用）	—
3	変数選択、最大遅れ設定	—
4	学習用データでの変数選択・モデル構築・性能評価	—
5	テスト用データでの推定性能評価	RMSE*1、 R^2 *2
6	探索候補とする全ての選択変数・モデルについて計算・列挙	—
7	モデルファイル出力	—

*1 RMSE：二乗平均平方根誤差

*2 R^2 ：決定係数

表2 オンラインツールの機能一覧

No.	機能説明	備考
1	モデルファイル読み込み	—
2	推算開始・停止（モデルごと）	複数モデル可
3	ヒストリアンデータ（瞬時値）入力	毎周期
4	ヒストリアンデータによりモデル計算により推算値算出・出力	毎周期
5	結果表示・保存	毎周期

運用することができる。推算された品質値はプラント制御システムのデータベースに書き込まれ、オペレーターがいつでも確認することができる。

オンラインツールの機能一覧を表2に示す。

これらのツールを利用することにより、ソフトセンサを構築する手順には試行錯誤を伴わず、標準化することができる。ソフトセンサの構築から運用までを簡便かつ迅速に行うことができるので、人手で行う場合に比べてエンジニアリング工数が大きく削減できる。

4 ソフトセンサ構築ツールの適用事例

4.1 対象プロセス

開発したツールを使って構築したソフトセンサの効果を検証するため、独立行政法人 日本学術振興会 プロセスシステム工学第143委員会ワークショップ No.27 “プロセス制御技術”で開発された酢酸ビニルモノマー（VAM：Vinyl Acetate Monomer）⁽⁵⁾⁽⁶⁾製造プロセスのシミュレータによって生成されたデータを使用した。このシミュレータは、実プラントに近い環境でシミュレーションが行えるように構築されたものであり、今回のような品質推定や、制御などのベンチマークモデルに利用できる。

図4に示すVAM製造プロセスは、原料としてエチレン（ C_2H_4 ）、酢酸（ CH_3COOH ）、酸素（ O_2 ）が投入され、反応、気液分離、吸収などの処理を経て蒸留塔にて分離精製され、VAMを製品として取り出す。ここで、目的変数である蒸留塔の底部の水分濃度を温度、圧力、流量の49個の説明変数を用いて推定する。この水分が反応器に戻ることで、安定性が悪くなる。この水分濃度はリアルタイム計測が難しく、従来は手分析によるサンプリング計測が一般的であった。

4.2 検証結果

4.1 節のVAM製造プロセスのシミュレーションデータ

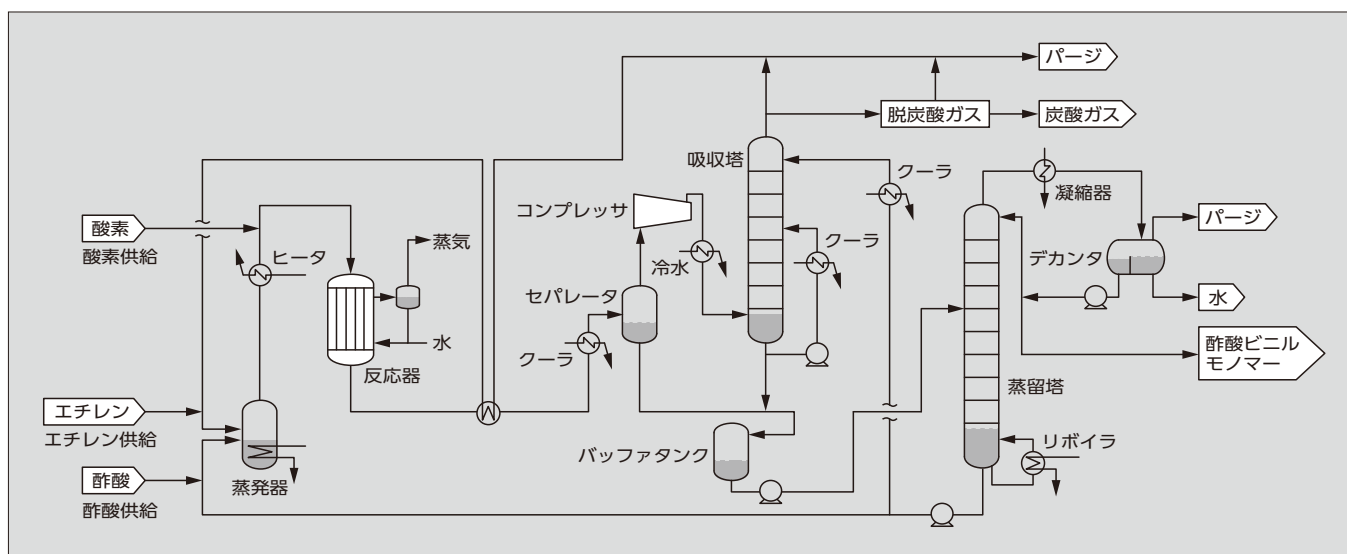


図4 酢酸ビニルモノマー (VAM) 製造プロセス（訳語は富士電機にて作成）⁽⁵⁾

を用いて、データ前処理から推定モデル評価までを実施した。このデータでは、説明変数は1分単位のデータであるが、目的変数は1日に1回計測されたもので取得タイミングが異なる。開発したツールでは目的変数と同じ時刻に取得された説明変数の特定と選択を自動的に行うことができる。また、推定モデル構築においては、数式モデルの種類の候補として、PLS、SVR、JIT-PLSの各数式モデルに調整係数を設けて、数十種類の組合せを候補とした。図5にソフトセンサ構築ツールによる工程削減の内訳を示す。推定モデルの評価までを従来の人手による試行錯誤により処理した場合に比べて、本ツールを利用することにより約1/3の期間で実施することができた。

今回の検証では、ソフトセンサの数式モデルとしてJIT-PLSが選定された。図6にソフトセンサ構築ツールによる最適化例を示す。従来の人手により構築する場合では採用されることが多かったPLSによるソフトセンサと性能を比較したところ、推定誤差であるRMSEが、従来法（PLS）で0.46%、最良結果（JIT-PLS）で0.26%となり、本ツールで構築したソフトセンサの方が推定精度が高くなる結果となった。

4.3 ソフトセンサの適用によるコスト削減効果⁽⁸⁾

4.1 節のVAMシミュレータにより、検討対象としたVAM製造プロセスに今回構築したソフトセンサを適用し

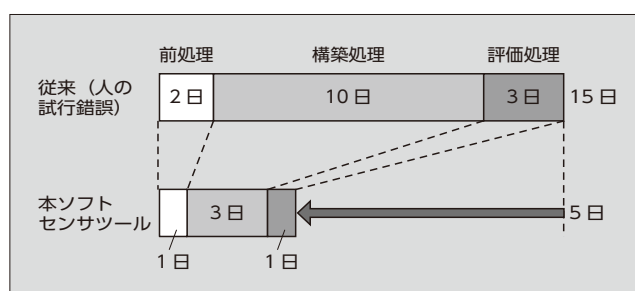


図5 ソフトセンサ構築ツールによる工程削減の内訳

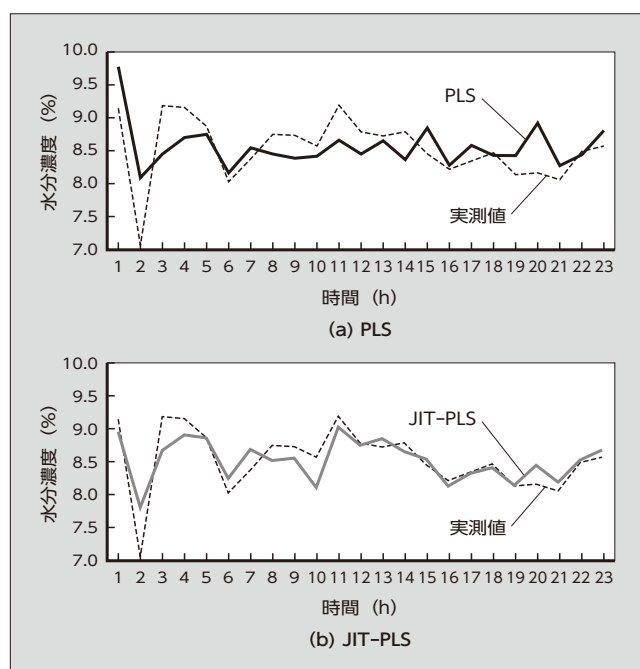


図6 ソフトセンサ構築ツールによる最適化例

た場合の改善効果をシミュレーションにより試算した。従来は蒸留塔底部の水分濃度をリアルタイムで計測できなかったため、直接これを制御することができず安定化に時間がかかっていた。これに対し、ソフトセンサを用いれば水分濃度のリアルタイム推定が行え、この推定値に基づいて塔底部のリボイラでの水分濃度の直接制御と、それによる早期安定化が可能となる。その結果、当該水分濃度を安定して低減でき、それに伴う蒸発器・反応器の供給蒸気量・原材料原単位の低減などにより年間で8百万円に相当するコスト削減が期待できることが分かった。また、前述のリボイラの制御に悪影響を与えるようなソフトセンサの推定値の異常も発生しなかった。

5 あとがき

プラントの操業最適化に貢献するソフトセンサについて述べた。本技術により、既設の制御システムにもソフトセンサを容易に導入することができ、ソフトセンサの推定値により制御を最適化することで、プラントにおける製品品質の安定化、省エネルギー、安全性の向上、オペレーターの負荷低減、環境負荷低減などを実現し、生産性向上に貢献できると考える。また、富士電機の監視制御システム「MICREX-VieW FOCUS Evolution」に実装されているプラント情報管理システム (PIMS : Plant

Information Management System) と連携することで、既存のプラント操業支援パッケージソフトウェアとのシームレスな統合が可能である。プラント操業を支援する機能を拡張して、お客さまのプラントオペレーションの革新に貢献する所存である。

参考文献

- (1) デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン. Ver.1.0. 経済産業省. 2018.
- (2) 2022年版ものづくり白書. 経済産業省. 2022.
- (3) 加納学. 仮想計測技術の開発. 計測と制御. 2012, vol.51, no.9, p.845-852.
- (4) 船津公人. 仮想計測技術の現状と課題. 化学工学. 80(12), 2016, p.764-768.
- (5) Machida, Y. et al. Vinyl Acetate Monomer (VAM) Plant Model: A New Benchmark Problem for Control and Operation Study, Dynamics and Control of Process Systems, including Biosystems (DYCOPS-CAB2016).
- (6) オメガシミュレーション, <https://www.omegasim.co.jp/>, (参照 2023-02-28) .
- (7) 船津公人, 金子弘昌. ソフトセンサー入門 (基礎から応用研究例まで). コロナ社. 2014.
- (8) 金尚弘ほか. ソフトセンサー設計ツールの機能紹介. 化学工学. 87(4), 2023, p.171-174.



田中 雅紀

化学分野の計測制御システムのビジネス開拓業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部プロセスオートメーション事業部技術第二部主査。化学工学会会員、化学工学会誌編集委員。



加藤 泰輔

産業オートメーション向け製品の商品企画業務および産業用ネットワークの標準化業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部事業統括部グローバルビジネス戦略室主任。



村上 賢哉

数理アルゴリズムの産業応用に関する研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部デジタルイノベーション研究所デジタルプラットフォームセンター AI 研究部主査。計測自動制御学会会員。

エンジニアリングのリードタイム短縮と品質向上を実現して DX を加速する支援ツール

Engineering Support Tool That Reduces Lead Time and Improves Quality, Accelerating DX

北村 純郎 KITAMURA, Sumio

吉野 稔 YOSHINO, Minoru

阿部 雄大 ABE, Yuta

プラント・設備の新設、増設、更新におけるエンジニアリング業務において、従来は多くの手作業を行う必要があり、リードタイムと品質に大きなばらつきが発生していた。エンジニアリング支援ツール「HEART」は、自動化やデータとデジタル技術の活用などにより、エンジニアリング業務や、業務フロー、業務プロセスの変革を支援することで DX を加速する。制御機能仕様書と完成図書の作成を省力化し、制御プログラムの生成、各種仕様書・図面の変更箇所の可視化、試験結果の制御機能仕様書への記録を自動化することにより、リードタイム短縮と品質向上の実現に貢献する。

Conventionally, engineering work involved in new construction, expansion, and renewal of plants and facilities required a considerable amount of manual work. This resulted in significant variations in lead time and quality. The engineering support tool “HEART” accelerates DX by supporting the innovation in engineering operations, work flows, and business processes through automation and the use of data and digital technologies. It contributes to reducing lead time and improving quality by efficiently creating function specifications and project completion documents and automating the generation of control programs, the visualization of changes in various specifications and drawings, and the recording of test results in the control function specifications.

① まえがき

グローバル化の加速および昨今の働き手の多様性拡大、働き方改革、労働環境の改善、テレワークなど業務形態は急激に変化している。こうした中、お客さまに新たな価値を提供し、企業の収益向上を実現する DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）は、ますます必要性が高まっている。

プラント・設備の新設、増設、更新における監視制御システムのエンジニアリング業務のリードタイムと品質は、エンジニアのスキルや経験に大きく依存している。

グローバル化の加速によりエンジニアの多様化が進み、さらに国内ではベテランの引退により豊富な経験と高いスキルを保有しないエンジニアの割合が増え、エンジニアリング業務の効率と品質を落としている。以前は、お客さまの要求仕様書から制御機能仕様書への展開、機能仕様からソフトウェアへの展開、変更箇所の比較と明示、社内試験時や現地試験結果の仕様書への反映など、多くの手作業により多くの労働時間を費やして実施する必要があり、リードタイムと品質に大きなばらつきが発生していた。

これらの問題を解決するには、エンジニアリング業務の変革が必要である。富士電機が提供するエンジニアリング支援ツール「HEART」は、デジタル技術を活用して、仕様まとめ、設計、製作、社内試験、現地試験、図面フォローまでの一連のエンジニアリング業務そのものや、業務フロー、業務プロセスも変革する。

② これまでのエンジニアリング業務の問題点

従来の要求仕様の確認から現地試験結果のフォローまでのエンジニアリング業務には人が多く介在していたため、

次のような問題があった。

(1) 制御機能仕様書作成時

エンジニアは、顧客が作成した要求仕様書を確認しながら制御機能仕様書を作成しているが、図や表および制御機能仕様書に使用するシンボルについては新たに作成し、PDF や画像ファイルにして貼り付けなければならなかった。

要求仕様書は、概略機能が分かる程度に制御ロジックを省略したり、同一の処理を表で書いたりすることが多い。一方で制御機能仕様書は、機能や動作を正確に表現するために、細かい内容までロジック図を作成しており、ロジックとしては正しくても、作成者以外が見たときには、制御内容が分かりづらいものになっていた。

(2) 制御プログラム設計時

制御機能仕様書を作成し、顧客への内容確認が完了した後、制御プログラムの設計に入る。制御プログラムは、コントローラ機種ごとに異なる専用ローダ⁽¹⁾を用いて作成していた。制御機能仕様書の記載内容から制御プログラムの設計をするには、コントローラのプログラミングの知識と専用ローダの知識など、高いスキルと経験が必要であった。さらに、人の介在する作業が多いので、仕様に対する認識の違いや漏れが発生していた。

(3) 変更発生時

従来は、制御や監視で扱うさまざまな機器の入出力信号のアドレスや、識別子として扱われる TAG に変更が発生した場合、制御機能仕様書や、制御プログラム内の TAG およびアドレスの使用箇所を手作業で探し出し、両方の変更を手作業で行わなければならなかった。また、制御機能仕様書や制御プログラムの変更部分を作成者以外に分かるように明示しなければならないが、従来は、変更ページを印刷し、変更部分分かるように手書きで雲マークなどを

記入していた。この際には、変更部分の抽出と変更記号の書き込みに時間がかかり、さらに変更箇所の明示が漏れる場合があった。

(4) 試験時

試験結果を制御機能仕様書や試験成績書に記載する際、人が試験データを見ながら、手書きで書き写さなければならず、書き間違いが発生する場合があった。

(5) 完成図書作成時

顧客のプラント・設備にて、現地試験、現地調整を行うと仕様変更が発生したり、制御プログラムの回路変更が発生したりすることが頻繁にある。現地試験、現地調整が完了すると試験結果を制御機能仕様書に反映しなければならぬ。しかしながら、現地では、制御プログラムだけを変更し、制御機能仕様書の修正が漏れることが多々あり、制御プログラムから制御機能仕様書をリバースエンジニアリングしなければならなかった。制御機能仕様書と制御プログラムの不一致は、次回の改造や更新時に品質を悪化させる要因であった。

③ エンジニアリング支援ツール「HEART」による業務改革

3.1 制御機能仕様書作成の効率化

(1) 要求仕様書から制御機能仕様書への展開

エンドユーザーからの要望をまとめた要求仕様書は、通常、汎用の OA ソフトウェア^{(2)-(4),(6)}である Microsoft Office の Excel や Visio^(注 3)などで作成される。エンジニアは、この要求仕様書の要求を満たし、詳細に具体化した制御仕様を制御機能仕様書に展開する必要がある。このとき、顧客から提供された要求仕様書の電子ファイルを基に、HEART が用意している多くのシンボルを使用して制御回路を追記することにより、効率よく制御機能仕様書を作成することができる。使い慣れた OA ソフトウェアを利用するため、エンジニアにとっては極めて容易に導入できる。

(2) 制御機能仕様書の明瞭化

HEART は、制御機能仕様書上の複雑な処理を簡素化したシンボルの表現や、同一処理を表にまとめて表現するなどの機能を備えている。図 1 に制御機能仕様書の明瞭化を示す。これらの機能により、簡素でむだなく要点を際立たせた制御機能仕様書を作成することができ、ドキュメントを理解しやすくなることができる。

3.2 制御プログラムの自動生成

HEART は、制御プログラムの自動生成機能⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾を備えており、手作業による制御機能仕様書から制御プログラムへの展開業務は不要である。人手による作業では避けられない

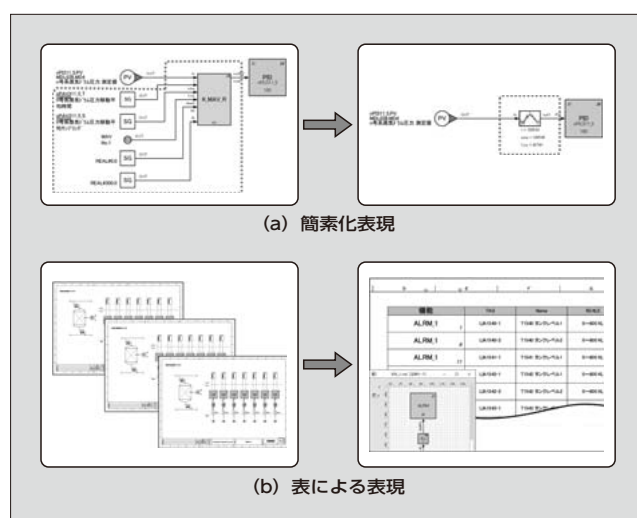


図 1 制御機能仕様書の明瞭化

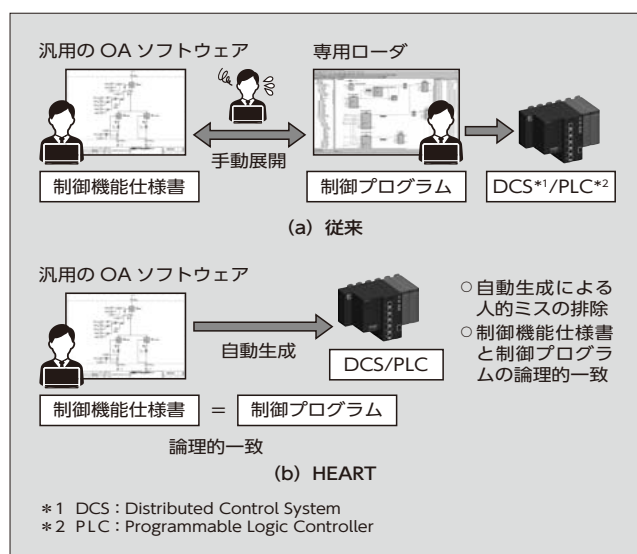


図 2 制御機能仕様書から制御プログラムへの展開業務の比較

展開漏れや展開ミスを撲滅し、制御機能仕様書と制御プログラムを論理的に常に一致させ、制御プログラムの信頼性を高めることができる。さらに、多くの機種のコントローラをサポートしており、コントローラの機種に依存する専用ローダでのプログラミングが不要となり、使い慣れた OA ソフトウェアでエンジニアリングすることができる。

制御機能仕様書から制御プログラムへの展開業務の比較を図 2 に示す。

3.3 設計・変更時の影響範囲の検知と自動反映

HEART は、制御機能仕様書上で TAG を変更すると、影響範囲を自動的に検知し、変更が必要な箇所をリストアップする機能を備えている。HEART が検知したリスト上の箇所をダブルクリックすることで、該当の制御機能仕様書のページにジャンプし、ワンアクションで TAG の変更を反映することができる。このリストは、変更を実施するか、しないかを判断するまで、継続して表示されるため、変更漏れや TAG の入力ミスなどを回避することができる。

〈注 1〉 Office : Microsoft Corporation の商標または登録商標

〈注 2〉 Excel : Microsoft Corporation の商標または登録商標

〈注 3〉 Visio : Microsoft Corporation の商標または登録商標

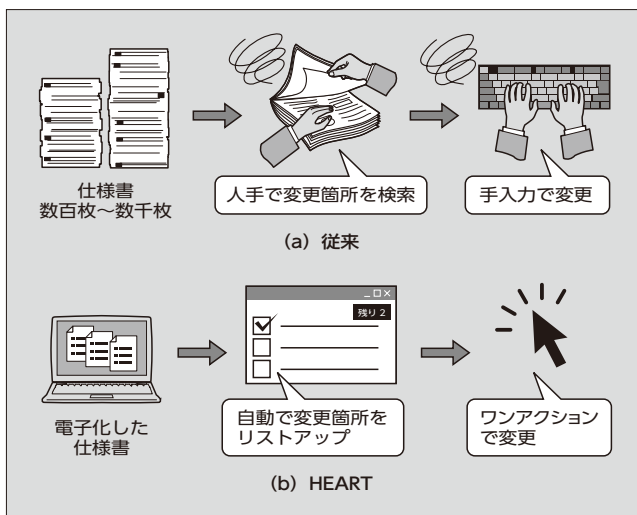


図3 「HEART」による仕様変更の容易化

また、TAG の重複や、出力信号への制御指示がない欠落などの配置矛盾も自動的に検知され、このリストに表示される。HEART による仕様変更の容易化を図3に示す。

3.4 各種仕様書・図面の変更箇所の自動可視化

1 案件当たり、数百枚から数千枚に及ぶ各種仕様書は、仕様打合せや設計見直しにより随時改訂を行い、顧客や次工程と共有化される。エンジニアは、改訂に伴う変更箇所から、プラントに与える直接・間接的な影響範囲を判断する必要があり、変更箇所の正確な表現が求められる。

HEART は、手書きで示された変更箇所をデジタル化して、影響が及ぶ範囲を可視化する機能を備えている。図4に変更箇所の自動可視化の概要を示す。

主な特徴は次に示すとおりである。

(1) ページ内のレイアウトに依存しない変更箇所の抽出

図5にページ内のレイアウトに依存しない変更箇所の抽出を示す。仕様書を改訂する際は、仕様の追記や削除を行

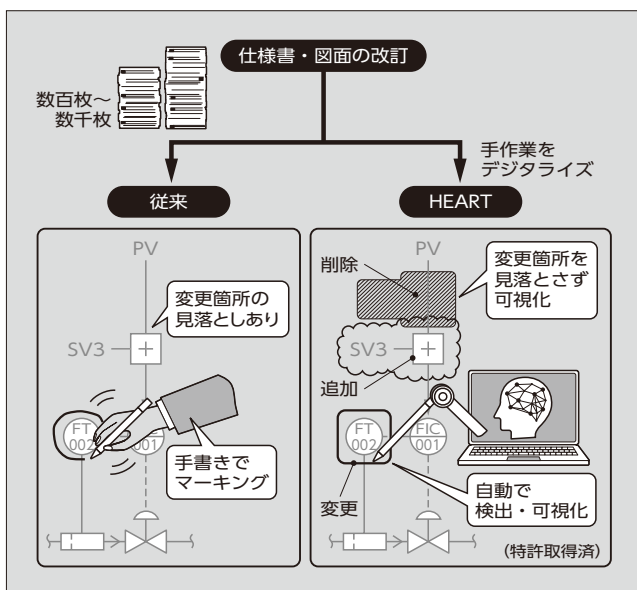


図4 変更箇所の自動可視化の概要

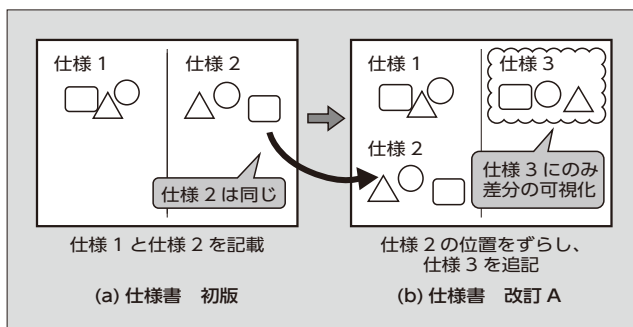


図5 ページ内のレイアウトに依存しない変更箇所の抽出

うため、変更箇所以後の位置が変更されることが多い。変更箇所の抽出に際して、ページ内のレイアウトに基づいて画像認識技術を用いると、変更されていない記載も抽出されてしまう。これを解決するために、仕様書を構成する文字や図形要素、ソフトウェアの要素をデータベース化し、ページ内のレイアウトに依存しない独自のアルゴリズムを用いて、正確に追加、変更、削除などの変更箇所を判断する。例えば、図5(a)に対して、図5(b)に示すように“仕様2”の位置をずらして“仕様3”を追記しても、“仕様3”だけを変更箇所として表示する。

(2) 見やすい変更箇所のマーキング

図6に見やすい変更箇所のマーキングを示す。仕様書上に、変更箇所を細かく区分して表示すると、図6(a)のように見づらくなり、可読性が低下する場合がある。これを解決するために、変更箇所の分類と、視覚的な重なりを判断するアルゴリズムによって、見やすく表示することができる。図6(b)のように、複数の変更箇所が重なり、それらが同一の分類の場合、マーキングを自動で合成することができる。この機能によって、人手による雲マークの記入が

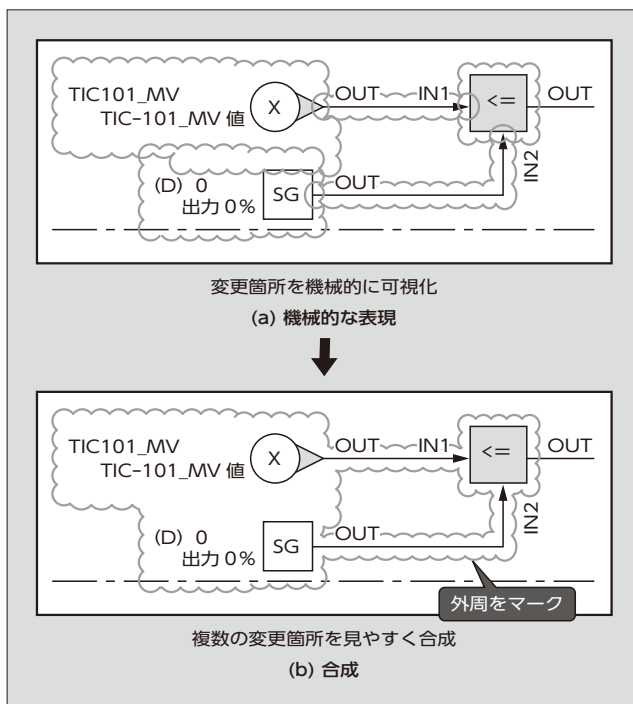


図6 見やすい変更箇所のマーキング

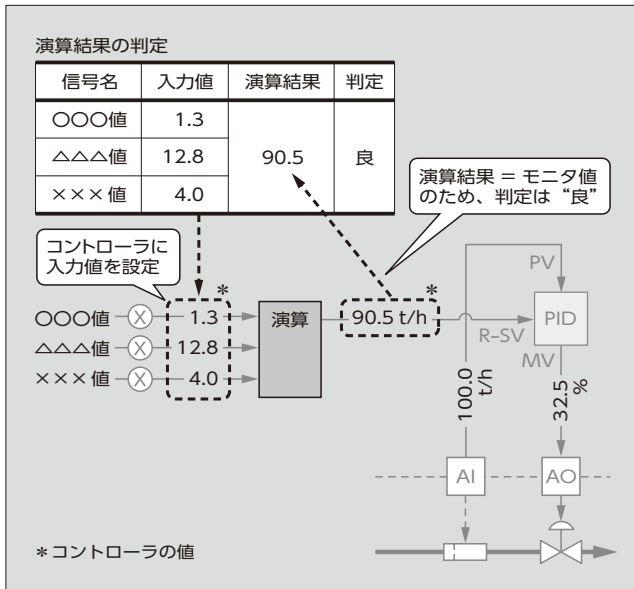


図7 試験要領書兼成績書のモニタ活用

不要となり、記載漏れもなく、第3者に対しても正確に変更内容を伝達できる。さらに正確な変更箇所の可視化は、エンジニアリング業務における設計検証や、次工程の試験を確実に実施するための有効な情報となる。

3.5 試験結果の制御機能仕様書への自動記録

HEART で作成した制御機能仕様書は、試験データの入力および出力結果と判定欄を追記すれば、試験要領書兼成績書にすることができる。この試験要領書兼成績書のモニタ活用を図7に示す。試験時は、コントローラが実行した値や設定値を仕様書上でモニタすることができ、結果の自動判定も可能である。自動的に記録されるので、試験の実施漏れや結果の改ざんを防止でき、エビデンスとしての信頼性が確保される。また、仕様変更や試験時に発生する修正や追加も、制御機能仕様書を編集し、制御プログラムに自動で変換するため、変更を行った仕様書を再度モニタするだけで、効率的に再試験を実施し、その結果を記録することができる。

3.6 完成図書作成の省力化

図8に完成図書作成に伴うリバースエンジニアリングを示す。HEARTは、常に制御機能仕様書から制御プログラムを自動生成するため、リバースエンジニアリングは不要であり、完成図書作成を省力化できる。HEARTでエンジニアリング業務を行えば、出荷前に想定できなかった機械的要因や、外部要因による変更が、制御機能仕様書に常に反映されている。例えば、数年後にシステムを改造する場合でも、制御機能仕様書と制御プログラムが整合していないといった問題を起こすこともない。

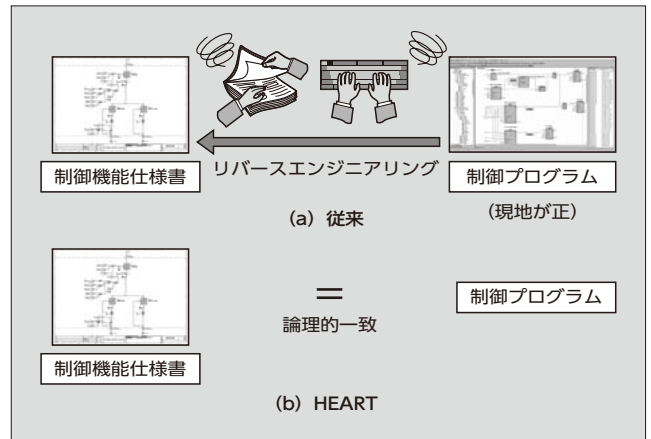


図8 完成図書作成に伴うリバースエンジニアリング

4 あとがき

本稿では、エンジニアリングのリードタイム短縮と品質向上を実現して DX を加速する支援ツールについて述べた。

今後、エンジニアリングの DX をより一層推進させるために、エンジニアリング支援ツールのクラウド化やマルチエンジニアリング化など、時代の変化およびユーザーの要求に迅速に対応しながら、お客さまに最適な価値を提供していく所存である。

参考文献

- (1) シーケンス制御の技術動向. 電気学会技術報告. 2000, no.781, p.42-44.
- (2) 吉野稔ほか. 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. 2001, vol.44, no.7, p.65-70.
- (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. 2001, vol.74, no.9, p.511-516.
- (4) 吉野稔ほか. エンジニアリング革命ツール「HEARTシリーズ」. 富士時報. 2002, vol.75, no.12, p.671-676.
- (5) 吉野稔ほか. 生産性・品質向上のためのエンジニアリング支援システム. 富士時報. 2006, vol.79, no.3, p.270-273.
- (6) 北村純郎ほか. 監視制御システムの設計工期短縮と品質向上を実現するエンジニアリング支援ツール「HEART」. 富士電機技報. 2020, vol.93, no.1, p.47-51.
- (7) 高効率エンジニアリング支援ツール「HEART」による仕様書・図面の変更箇所の自動可視化. 富士電機技報. 2022, vol.95, no.2, p.89.



北村 純郎

計装制御システムのシステム設計・開発企画業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部東京工場プラント制御システムセンターシステム技術部主査。



阿部 雄大

計装制御システムのシステム設計・開発企画業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部東京工場プラント制御システムセンターシステム技術部。



吉野 稔

プラントシステムの企画・設計業務および大規模プロジェクトに従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部変電システム事業部 S プロジェクト室長。電気学会会員。



製造現場の DX に貢献する製造実行システム

Manufacturing Execution System Encouraging DX on the Manufacturing Floor

中嶋 孝広 NAKAJIMA, Takahiro

喜多村 卓 KITAMURA, Takashi

近年、製造業では DX によって製造プロセスを効率化し、生産性や品質を向上させる、製造実行システム（MES）の導入が加速している。MES はさまざまなシステムと連携することで、製品のトレーサビリティの向上や、生産過程における問題の早期発見・解決などに貢献できる。富士電機は、製造現場を情報モデルとしてデジタルツイン化し、体系的に管理することで、食品製造をはじめとするさまざまな用途に対応できる MES を開発した。情報モデルの利用者間での共有や情報識別子の導入、生産情報モデルへの品質管理情報のひも付けなどの効果により、生産性と品質の向上に貢献できる。

In recent years, the manufacturing industry has been accelerating the introduction of manufacturing execution systems (MES) to improve the efficiency of manufacturing processes and enhance productivity and quality through DX. MES can be interfaced with various systems to help improve product traceability and to quickly detect and solve problems in production processes. Fuji Electric has developed a MES that can be used for various applications such as food manufacturing by digitally twinning manufacturing floors as information models and systematically managing them. The MES can share information models among model users, use information identifiers, and link manufacturing information models with quality management information, allowing it to contribute to high productivity and quality.

① まえがき

DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）は、IT 技術の進歩によって、ビジネスプロセスの改善やイノベーションを促進する取り組みである。製造業においては、DX によって製造プロセスを効率化し、生産性や品質を向上させることが期待されている。

その中でも、製造実行システム（MES：Manufacturing Execution System）は、DX において重要な役割を果たすシステムである。MES は、製造現場におけるデータの収集・分析や生産ラインの制御・監視を行うシステムであり、生産性の向上や品質管理、在庫管理などに貢献する。例えば、生産ラインの稼働率を最適化し、生産量を増やすことができる。また、MES は基幹システム（ERP：Enterprise Resource Planning）と連携することで、製造現場だけでなく、サプライチェーン全体の可視化や、データの共有と分析が可能となる。これにより、製品のトレーサビリティの向上や、生産過程における問題の早期発見・解決なども実現できる。

本稿では、製造現場の DX に貢献する製造実行システムについて述べる。

② 製造実行システムの概要

2.1 製造実行システムとは

製造実行システムとは、製造工程の把握や管理、作業者への指示や支援などを行うために使われる情報システムである。工場の生産ラインの各製造工程と連携して使われる。主な機能として、作業指示管理、入出荷管理、品質管理、保守管理など MESA（Manufacturing Enterprise Solutions Association）-11 モデルで定義されている

11 種類⁽¹⁾があり、適用される業態や目的に応じて必要な機能を導入する。

MES の適用対象である製造業は、生産する製品の作り方の点から、原材料や部品を加工してこれを組み立てる作業を主に行っている組立加工型製造と、製造プラントなどに原材料を逐次投入して生産するプロセス型製造の二つに大別される。例えば、自動車や機械、そしてその部品製造などは組立加工型製造であり、素材、食品、医薬品製造などはプロセス型製造といえる。富士電機では、それぞれの特性に合わせた 2 種類の MES パッケージソリューションを提供している。

MES の役割と位置付けを図 1 に示す。MES は、その上位には ERP や生産管理システムがあり、下位には製造設備を管理する DCS（Distributed Control System）、PLC（Programmable Logic Controller）などの制御システムがあり、上位システムと下位システムのデータの相互連携を実現する役割を担っている。

富士電機では、製造業の原点は現場におけるものづくり活動であり、MES はその現場と経営の橋渡し役を果たす位置付けと考えている。

2.2 富士電機の製造実行システム

富士電機はこれまで、図 2 に示す MES パッケージ「MainGATE シリーズ」を食品業界、化学業界、医薬業界などのさまざまな顧客に提供して、顧客の生産性向上や品質向上に貢献してきた。また、富士電機の DCS や PLC とシームレスな連携を実現することにより垂直統合ソリューションを提供してきた。

機能別に次のラインアップを取りそろえている。

- MainGATE/PO：製造指図展開、製造指図
- MainGATE/EM：製造イベント管理、製造進捗管理

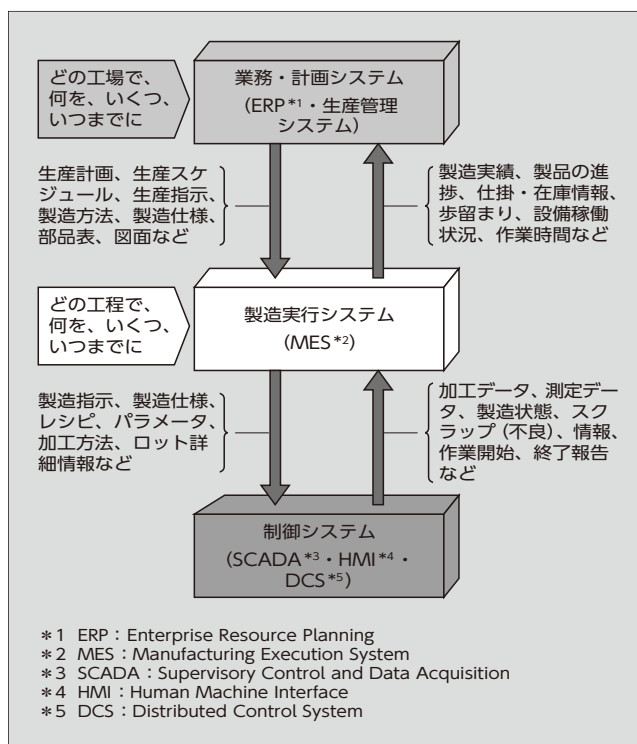


図1 MESの役割と位置付け

- MainGATE/IM：マスタ管理
 - MainGATE/PPA：製造実績管理、トレーサビリティ
 - MainGATE/MSPC：品質傾向管理
- これらは次の特徴を備えている。

- MESの機能単位ごとにモジュールを用意
- データの整合を維持しつつ、部分導入・切替えから計画的に機能拡張が可能
- 高効率エンジニアリングツールの提供
- 製造品目の追加対応、作業手順の変更、設備の増設などにも容易に追従可能
- 利用目的からデータを自由に切出し

最大の特徴は、エンジニアリングツールが用意されていることである。少品種大量生産から多品種少量生産に製造の形態が変わってきている中、製造設備の追加変更や手順の変更、管理項目の追加に対して、エンジニアリングツールの利用によるシステム変更を可能としており、柔軟で汎用的なアーキテクチャを実現している。

一方で、現行パッケージには次のような改善すべき点があることが分かってきた。

現行パッケージのデータベース構造は、ロット No. とバッチ No. をキーとしているため、これにひも付かない

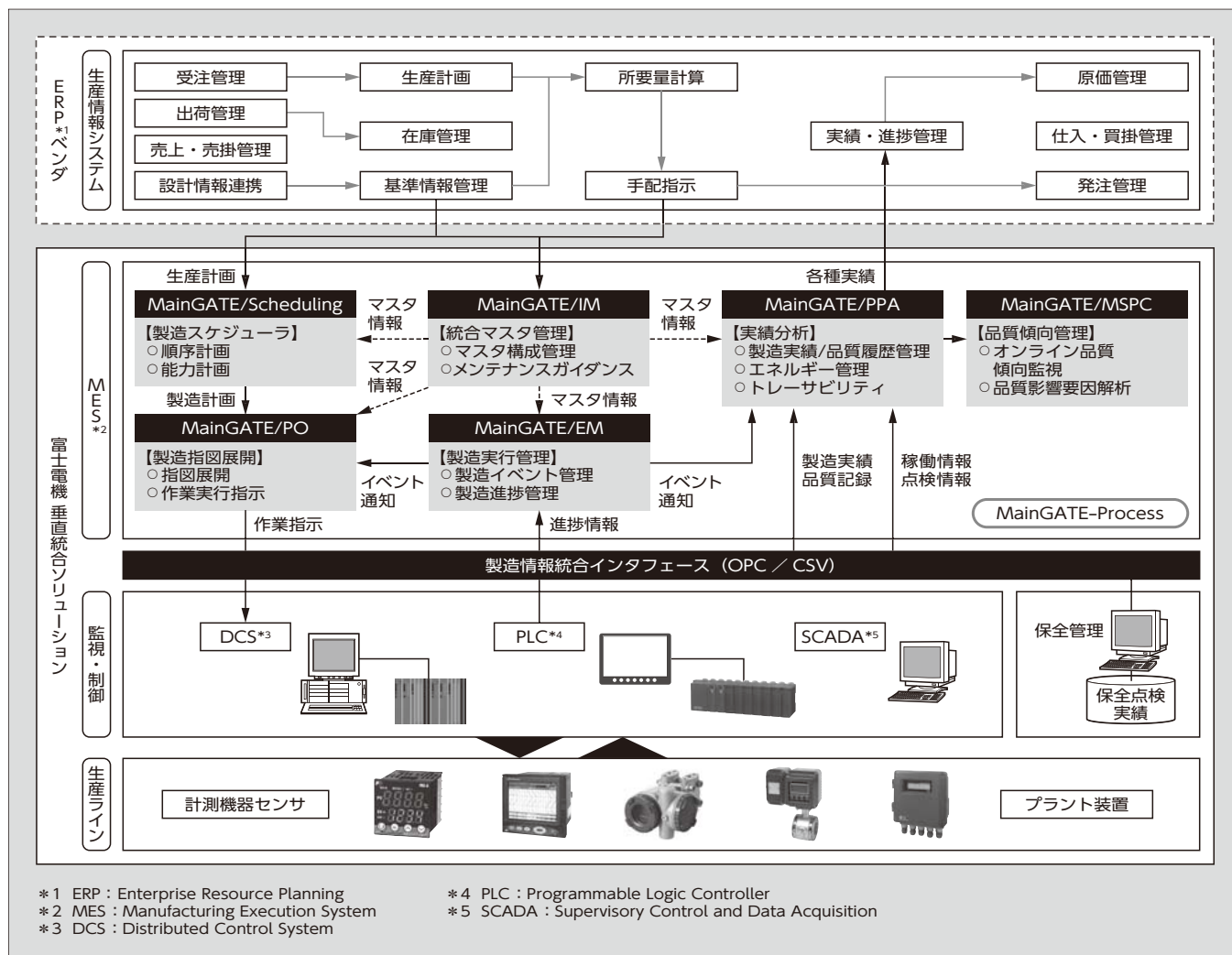


図2 「MainGATE シリーズ」

在庫などのデータはサポートがされていなかった。

また、管理階層が一つ下である原料管理などの作業支援系の機能は、個々の顧客要求に応じてアドオン機能として個別に対応していた。

さらに、蓄積したデータを操業、品質、保全などのさまざまなニーズで活用するためにはフレキシブル性の高いデータ構造が望ましく、データ連携機能を容易に実現できるオープンなアーキテクチャの採用への要求が高まっていた。現状のパッケージでは、特に設備軸でのデータ管理をサポートしておらず、当該軸を含む多軸でのデータ管理は個別に対応していた。

③ 新しい製造実行システム

現行パッケージの特徴を継承しながら新たなニーズにも応えるために、新しい MES パッケージの開発を進めている。現システムのエンジニアリング機能は、実装されている機能に特化しているため、効率が良い反面、機能の変更や他用途での利用が困難であった。そこで新しいシステムでは、製造現場を OPC UA の概念である情報モデルとしてデジタルツイン化することで、必要な情報を体系的に管理してさまざまな用途に対応できるようにする。

3.1 情報モデルと情報オブジェクト

新システムでは、情報を“情報モデル”とそれを具体化した“情報オブジェクト”という概念で表現する（図3）。

この情報モデルとは、情報を標準化した基本モデルを意味する。情報オブジェクトは、情報モデルの形式で製造現場の設備や製品・材料などで具体化した情報である。

情報モデルを定めることで、企業や工場といった単位でのものづくり標準が規定できるため、今まで工場や作業区といった単位で個別の作業手順だったものづくりの標準化が可能となる。ものづくりの標準化は、管理を容易化し、生産効率・品質の向上につながる。

製造実行に関わる現場情報は、次の3種類に分類することができる。

(1) 設備情報モデル・情報オブジェクト

製造現場における、生産設備セグメント^(注2)の構成を表現するモデルとなる。ISA-95 が規定する“プロセスセグメント”に相当する。現場の物理的な構成を表すため、階層構造で表現される。階層は基本的に次の7階層で構成される。

(a) 工場

製品を生産するための工場

(b) 作業区

工場を機能別に分けた単位

(c) ワークセンター

作業区をさらに生産管理上の単位として細分したものであり、作業指示を出す単位

(d) 装置タイプ

使用目的ごとに分別された設備群

(e) 装置

使用目的ごとに物理的に分別された設備

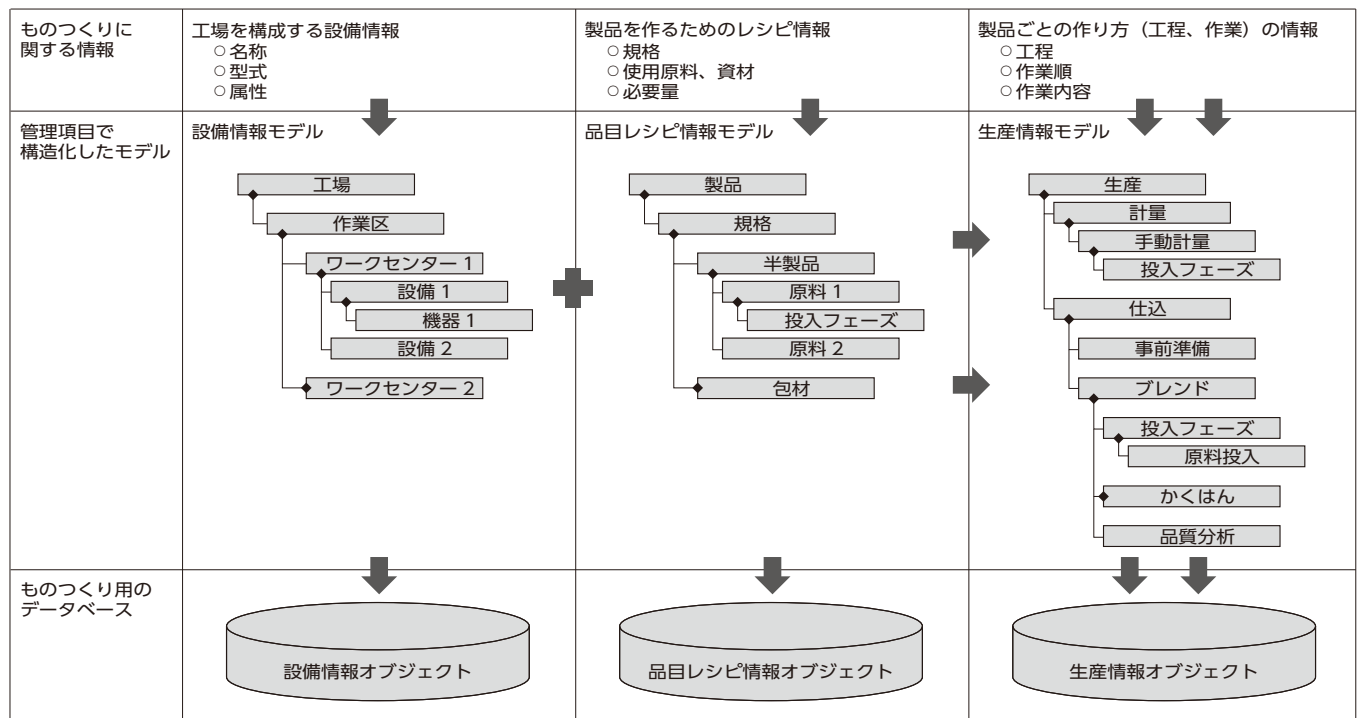


図3 情報モデル・情報オブジェクトの概要

〈注1〉 OPC UA：OPC Foundation の商標または登録商標

〈注2〉 ISA-95：ISA（自動機器に関する国際的な標準化団体：

International Society of Automation）が定めた物作りに関する情報システムのための標準化規格をまとめたものである。

(f) 機器

仕込み、かくはん、温調といった一つの制御機能を司る単位

(g) 計装機器

ポンプ、バルブ、流量計などの制御

(2) 品目レシピ情報モデル・情報オブジェクト

ある製品、半製品、中間品の構成と属性情報、およびその製品を生産するためのレシピ（原料、包材、所要量）ならびに品質を管理するための検査項目を表すモデルとなる。ISA-95 に規定されている“オペレーションセグメント”に相当する。製品の構成を次の階層構造で表現する。

(a) 製品

主に工業において原材料を加工した後の完成品をいう。

(b) 半製品

製品を生産するために必要な全ての工程を完了していない中間的製品のことであり。半製品は、一定の工程が終了してそのまま外部に販売可能か、少なくとも工程外に貯蔵可能な状態のものをいう。

(c) 中間品

製造の中間工程にある製品をいう。この段階の製品を抜き取って問題がないかのチェックを行い、問題がないことが確認できれば以降の工程に入る。中間生産品と呼ばれることもある。中間品は、以降の製造過程を得て最終製品となるもので、作りかけの状態である。

(d) 副産物

あるものを生産する過程で、それに付随して必然的に得られる他の産物である（回収品）。

(e) 包材

包装に用いる材料で、紙、プラスチックフィルムなどや木箱、段ボール箱なども含まれる。

(f) 原料

製造・加工して製品を作る際に元とするものである。

(3) 生産情報モデル・情報オブジェクト

生産情報モデルに関しては、基本的には ISA-88 ^(注 3) の手順制御モデルに準じた構造となる。生産情報モデルの各生産手順情報には、指図値や実績値および計測値など、製造に関わる情報が管理される。

品質検査も生産手順の一つとなるため、品質検査結果も生産情報モデルにひも付いて管理されることとなる。

3.2 情報モデルの適用による効果

(1) 品質管理の効率化

工場で生産される製品の品質管理は欠かせない。現状の品質管理は手作業で品質チェックリストを作成し、利用している場合が多い。新システムでは、生産情報オブジェクトにて、生産実績や計測値に加えて、品質検査結果も生産

手順と併せて管理される。よって品質管理用にデータを並べるだけで必要なチェックリストを容易に作成できる。

(2) 蓄積したデータの活用

(a) 情報オブジェクトの利用

新システムを利用すると、各情報オブジェクトとひも付いた形で生産過程の情報が蓄積される。このため、設備を軸にする場合は設備情報オブジェクトを通して、同様に原料などを軸とする場合は品目レシピ情報オブジェクトを通して、また、生産軸からの場合は生産情報オブジェクトを通して、必要な階層の情報にアクセスして情報を得ることができる。その結果、情報モデルを共用する利用者との間で必要な情報を容易に連携することができ、情報の分析・評価といった業務へのデータ活用が可能になる。

(b) 情報識別子の利用

情報モデルにより、現場の状態が階層構造で管理されるので、階層をたどることで必要な情報を入手できる。しかし、例えば、複数の製品生産に使われるある設備の生産実績を取得したい場合、情報モデルだけだと、各製品の生産情報モデルを一つずつたどる必要があり効率的でない。こうした用途に対応するため、あらゆる情報項目に情報識別子を付与する。これにより、一度取得した情報識別子をキーにすれば必要な情報に直接アクセスできる。

4 あとがき

製造現場の DX に貢献する製造実行システムについて述べた。

今後は、富士電機製品のみならず、他社製の機器や設備とも情報モデルをベースに連携するシステムを実現して、富士電機の自社工場のコンセプトでもあるつながる工場を実現するソリューションをお客さまに提供することにより、お客さまの生産性向上と品質向上にますます貢献していく所存である。

参考文献

- (1) MESA International Whitepaper, <https://www.mstc.or.jp/mfgx/spec/mesx-wp.pdf>, (参照 2023-03-24) .



中嶋 孝広

産業分野向けの製造管理ソリューションのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部情報ソリューション事業部 DX 技術部 MES/EMS 技術課長。



喜多村 卓

公共分野向けおよび IoT システムの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部情報ソリューション事業部 DX 推進室システム開発部次長。

〈注 3〉ISA-88：バッチに関する国際標準規格であり、バッチプロセスのひな型（プロセス、装置、制御、管理を含む）を提唱したものである。

工場設備の自動化に貢献するモーションコントローラ

Motion Controller Contributing to Automation of Factory Equipment

久保 創 KUBOSUMI, Hajime

産業用機械・装置で活用されるモーション制御における高速化、高精度化、装置設計・デバッグ・立上げの効率向上などの顧客要求に応えるため「MICREX-SX シリーズ」の CPU モジュールを開発した。本製品は、シーケンス制御やモーション制御を並列実行することにより、アプリケーション実行性能を従来比で 4 倍に向上できる。また、オープンネットワークとして普及が加速している EtherCAT に対応し、顧客の要望に合わせて柔軟にシステムを構築できる。さらに、モーション制御用 FB やロギング機能によって、プログラム開発・デバッグ効率、システムの信頼性を飛躍的に向上できる。

Motion controllers are being increasingly required to increase the speed and precision of industrial machinery and equipment and improve the efficiency of equipment design, debugging, and start-up. To meet these customer needs, we have developed the "MICREX-SX Series" CPU module. By executing sequence control and motion control in parallel, this module can improve application execution performance by a factor of four compared with conventional products. It also supports EtherCAT, which is becoming increasingly popular as an open network, to enable faster and more accurate machines. In addition, it can utilize motion control FBs and logging functions to dramatically improve program development, debugging efficiency, and system reliability.

① まえがき

モーションコントローラは、産業用ロボットをはじめとする産業用機械・装置のモーション制御を行い、工場設備の自動化に貢献している。産業用機械・装置では、複雑な動作や加工への対応、工程時間の短縮および高精度化の要求があり、モーションコントローラには、より多くの制御軸をより高速に制御できる性能が求められている。また、制御システムを構成する機器として、性能や価格が最適なものを複数のメーカーの中から選んで使いたいというお客さまの要求も強まっており、このようなシステム構成を実現できるオープンネットワークとして、EtherCAT^(注1)が急速に普及してきている。この他に、装置設計・デバッグ・立上げの効率向上、障害発生時の原因究明、対策時間の短縮の要求から、制御情報を取得し可視化するロギング機能が求められている。

富士電機では、これらの市場要求に応じて、制御・操作・監視の統合コントローラ「MICREX-SX シリーズ」の新 CPU モジュールとして、高速かつ高精度な制御性能を実現できる「E-SX バス」対応を特徴とした「SPH5000M」および EtherCAT やロギング機能対応を特徴とした「SPH5000EC」を開発した。本稿では SPH5000EC について述べる。

② 「SPH5000EC」の特徴

EtherCAT に対応した SPH5000EC をモーションコン

トローラとして使用したとき、モーション制御プログラムは従来機種種の「SPH3000D」に比べて 4 倍の速度で実行できる。

SPH5000EC を使用したモーションコントロールシステムの構成例を図 1 に、エンハンスドプロセッサバスによる高速制御の連携例を図 2 に、SPH5000EC の主な特徴を表 1 に示す。また、SPH3000D とのアプリケーション実行性能の比較を図 3 に示す。

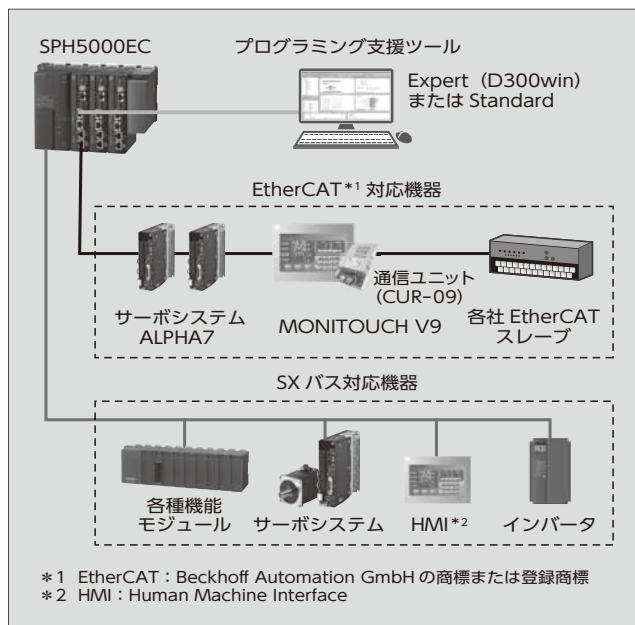


図 1 「SPH5000EC」を使用したモーションコントロールシステムの構成例

〈注 1〉 EtherCAT : Beckhoff Automation GmbH の商標または登録商標

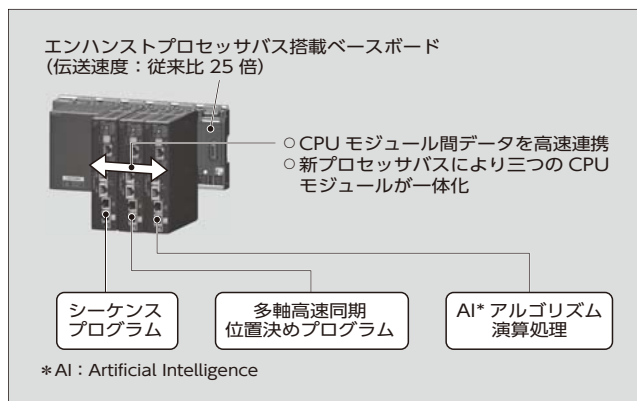


図2 エンハンストプロセッサバスによる高速制御の連携例

表1 「SPH5000EC」の主な特徴

項目	特徴
アプリケーション実行性能	マルチコアマイコンにより従来機種SPH3000Dに対して4倍高速化
大容量メモリ	プログラムメモリ：512Kステップ データメモリ：5,120Kワード
データバックアップ	バッテリーレスデータバックアップ方式によるバッテリーのメンテナンスフリー化
情報ネットワーク	Gigabit Ethernet* ¹ による高速通信
モーションネットワーク	EtherCAT* ² をサポート
マルチCPU間データ伝送	エンハンストプロセッサバスにより従来比25倍の伝送速度高速化 SPH5000ECの3台並列実行による高速制御が可能
ロギング機能	制御に影響を与えずにコントローラ内部のデータを収集し、SDカードに保存、PC上で表示・再現することが可能 (対象形式：NP1PA1C-256E、NP1PA1C-512E)

*1 Ethernet：富士フイルムビジネスソリューション株式会社の商標または登録商標

*2 EtherCAT：Beckhoff Automation GmbHの商標または登録商標

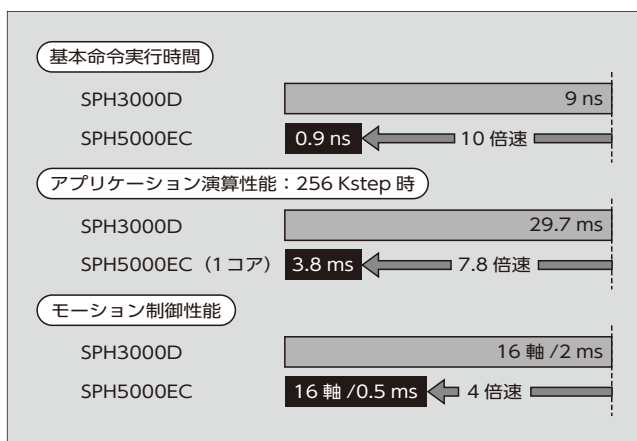


図3 アプリケーション実行性能の比較

③ 高速化とシステム構築コスト低減を支える技術

3.1 EtherCAT 通信技術

SPH5000EC は、モジュール前面に高速かつリアルタイム性能を兼ね備えた EtherCAT 通信ポートを搭載することで、オープンネットワークを構成可能とした。

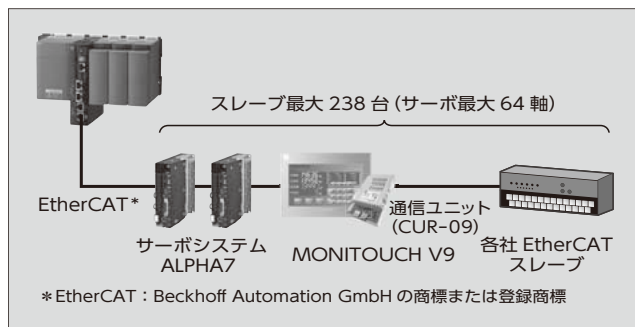


図4 EtherCAT システム構成

図4にEtherCATシステム構成を示す。SPH5000ECは、EtherCAT マスタとして、各種 EtherCAT スレーブと接続することが可能であり、富士電機のサーボシステム「ALPHA7」やプログラマブル表示器「MONITOUCH V9」、他社機器など、最大 238 台のスレーブ機器を組み合わせることで顧客の要望に合わせた柔軟なシステムが構築可能である。

加えて、エンハンストプロセッサバスを搭載したベースボードと組み合わせることで、SPH5000EC を最大 3 台まで制御周期を同期して動作させることができる。

例えば、制御周期を最小 0.5 ms としたときは、最大 48 軸（EtherCAT1 回線当たり 16 軸で 3 台の SPH5000EC を使用）、2 ms としたときは、最大 192 軸（EtherCAT1 回線当たり 64 軸で 3 台の SPH5000EC を使用）までの多軸モーション制御が可能である。

また、図5に示すように EtherCAT のホットコネク機能に対応させ、EtherCAT マスタである SPH5000EC の稼働中にスレーブの接続と取外しが可能となった。ネットワークの末端または途中に未接続スレーブを含む構成が可能のため、必須スレーブとオプションで追加するスレーブが混在したシステム構成が可能である。

これに合わせて、柔軟なシステム構成を効率よく構成可能な EtherCAT コンフィグレータを開発した。

図6に示すようにプログラミング支援ツール「Expert (D300win)」から EtherCAT コンフィグレータを起動することによって、EtherCAT ネットワークの構成が可能

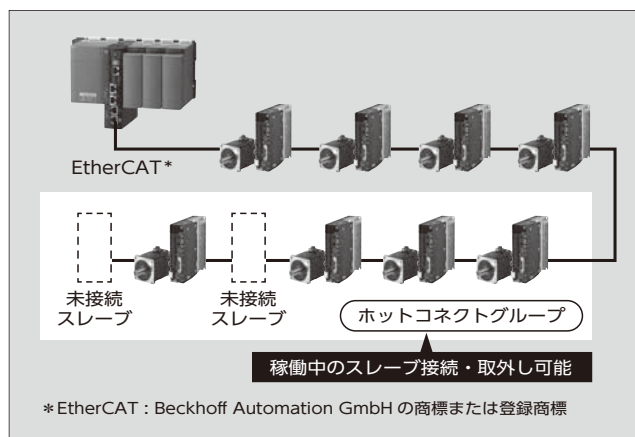


図5 ホットコネク機能

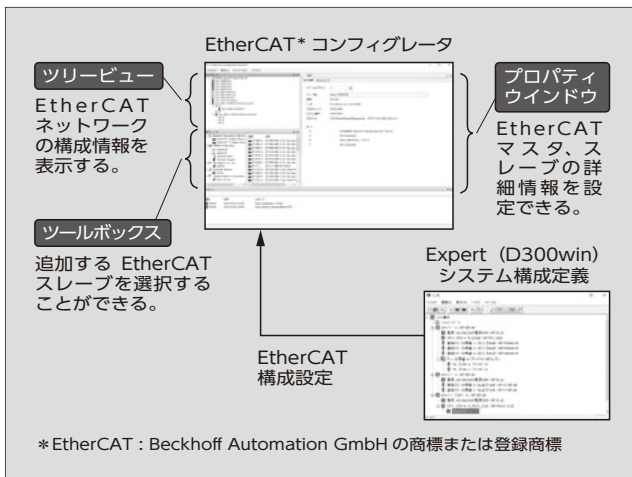


図6 EtherCAT コンフィグレータ

である。ツリービューから簡単な操作で EtherCAT マスタ・スレーブ構成を一括で管理することができ、Expert (D300win) と EtherCAT コンフィグレータを組み合わせ、富士電機のオリジナルネットワーク（SXバス、E-SXバス、T-Link など）を含めた柔軟なシステムが構成可能となった。

3.2 多彩なモーション制御ライブラリ

ユーザーのシステム構築コストを低減させる各種の機能ソフトウェアとして、富士電機オリジナルのモーション制御用 FB（ファンクションブロック）^{〔注2〕}に加えて、PLCopen 仕様に準拠したモーション制御用 FB を開発した。

富士電機オリジナルのモーション制御用 FB を使用することで、PTP（Point to Point）位置決め、直線補間、円弧補間、割込位置決め、同期運転など、多彩なモーション制御を簡単に実現することが可能である。また、PLCopen 仕様に準拠したモーション制御用 FB を用いることで、ハードウェアの依存性を減らし、ユーザプログラムの再利用性を高めることが可能となる。さらには、トレーニングやサポートにかかるコストを軽減することも可能となる。

これら多彩な FB を組み合わせることで、大規模システム用のモーションプログラムを短時間で構築でき、機械に必要な機能を 1 軸ごとに自由に設定可能とした。図 7 にモーション制御用 FB の適用例を示す。機能ブロック化した FB の再利用により、プログラム開発効率、デバッグ効率、システムの信頼性を飛躍的に向上させることが可能である。

3.3 ユーザデータロギング技術

SPH5000EC の CPU モジュールに、新開発となるロ

〔注2〕 PLCopen : PLC プログラミングの国際標準 IEC 61131-3 の普及活動と、ベンダに依存しない標準ファンクションブロックの仕様策定および認定を行う第三者機関をいう。また、PLCopen 協会の商標または登録商標である。

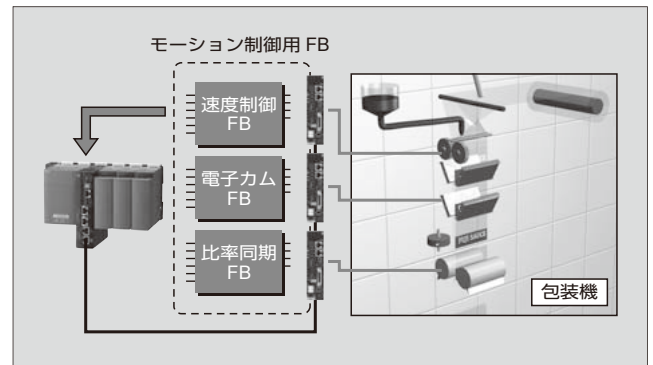


図7 モーション制御用 FB の適用例

ギング機能を内蔵した。ロギング機能を使用することで、CPU モジュール内の任意のユーザデータを、任意のタイミングで、アプリケーションのスキャンタイムに影響せずに保存することが可能である。

同時開発したユーザプログラム表示と波形表示ツールを用いることで、保存した時系列のユーザデータを波形表示やプログラムモニタ表示として可視化し、ユーザプログラムのデバッグやトラブル要因の解析などに使用することが可能となる。

図 8 にユーザデータロギング機能の収集モードを示す。

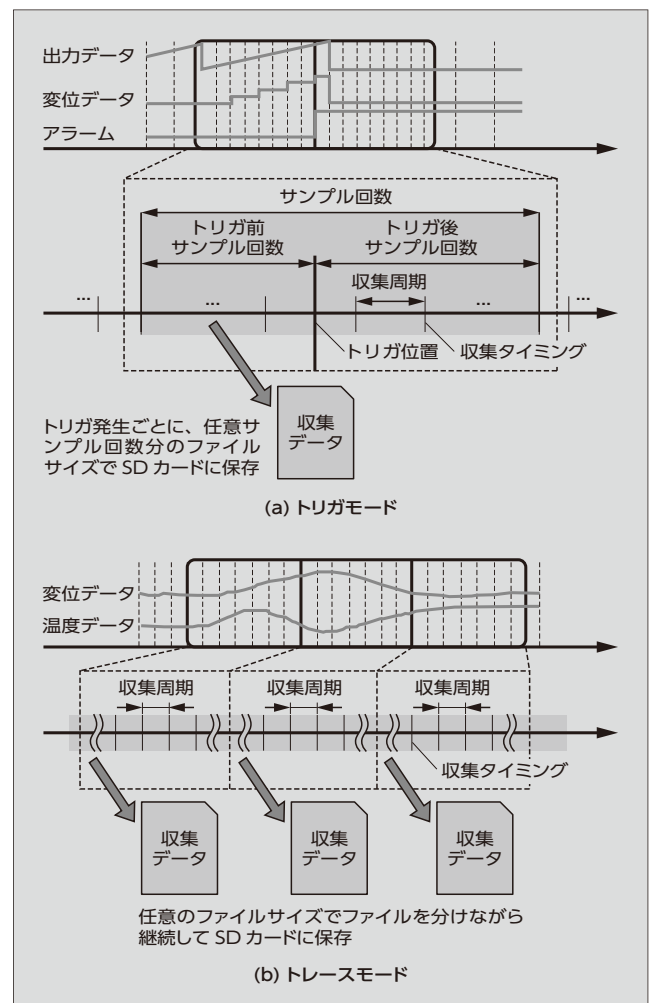


図8 ユーザデータロギング機能の収集モード

SPH5000EC は、ユーザデータをロギングするモードとして、トリガモードとトレースモードを持つ。

トリガモードは、ユーザーが指定する任意のトリガ条件の前後のユーザデータを指定サンプル回数分収集し、SD カードに保存することができる。FB などのエラー端子がオンしたタイミングなどで前後のアプリケーションがどのような挙動だったのか把握する場合や、1 製造サイクルごとに前後の品質情報を保存する場合などで活用できる。

一方、トレースモードは、ユーザーの指定する任意の収集タイミングで継続してユーザデータを収集し、ユーザーが指定する一定サイズごとに、SD カードに保存することができる。決まったタイミングに継続して収集したデータの変化から、品質特性などを把握することが可能となる。

図 9 に SX モニタと波形モニタの連携機能を示す。アプリケーションのデータ全体をスキャンごとに保存し、SX モニタと波形モニタを組み合わせ、机上でアプリケーションの挙動を再現する場合などに活用できる。SX モニ

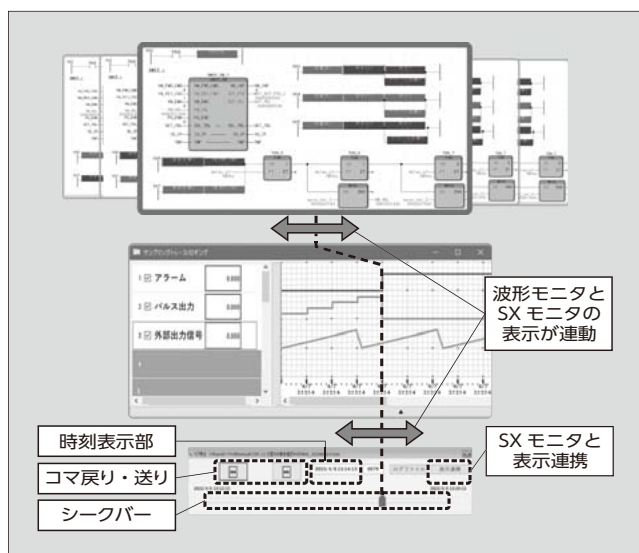


図 9 SX モニタと波形モニタの連携機能

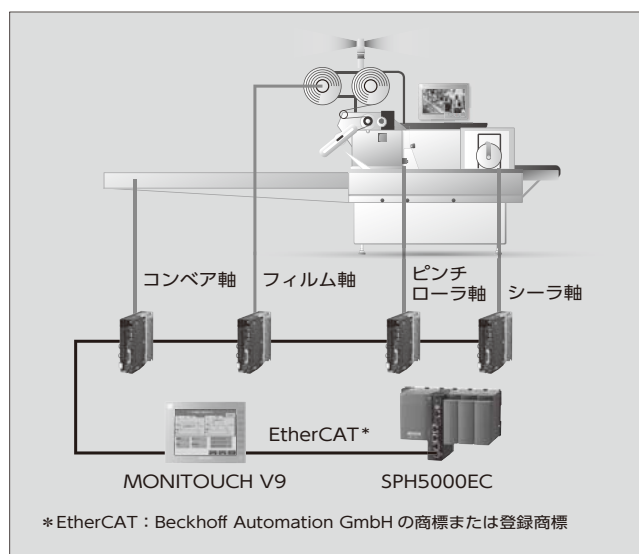


図 10 「SPH5000EC」を使用した包装機システムの適用例

タと波形モニタの表示を連携させ、コマ送りやコマ戻しを可能とすることで、1 スキャンごとにアプリケーションの挙動をデバッグすることが可能である。

その他に、毎日、毎時、毎分、毎秒などの定時や、タクト周期の整数倍で定周期に継続してデータを取得し続けることも可能で、設備状態の稼働状況や、生産状況を収集する際に活用できる。

4 適用事例

SPH5000EC を包装機システムに適用した事例について述べる。

包装機システムは、複数のセンサやアクチュエータを使用してシーケンス制御やモーション制御を行っている。特に、生産性や品質を向上するために、高速かつ高精度のモーション制御が要求されている。

従来の SPH3000D を使用した包装機システムではシーケンス制御とモーション制御を一つのシングルコアマイコンで行う必要があり、これ以上の高速化は難しかった。

SPH5000EC では、マルチコア演算実行エンジンを活用したシステム構成とした。図 10 に SPH5000EC を使用した包装機システムの適用例を示す。

一方の演算実行エンジンでシーケンス制御を行い、もう一方の演算実行エンジンでモーション制御を行うことで、従来と同様のシーケンス制御とモーション制御の一体化を実現することが可能である。

5 あとがき

工場設備の自動化に貢献するモーションコントローラについて述べた。

「MICREX-SX SPH5000EC」をモーション制御に適用することで、シーケンス制御と多軸高速同期制御の高性能化による機械のさらなる高速化・高精度化が実現し、生産効率を向上できる。さらには、MSPC（多変量統計的プロセス管理：Multivariate Statistical Process Control）などの AI（Artificial Intelligence）アルゴリズムを組み込むことで FA システムの不具合予兆診断にも適用できる。

今後も、製造現場の課題解決に向けて、コントローラの適用拡大を図っていく所存である。

参考文献

- (1) 下川孝幸ほか、モーションコントローラ「MICREX-SX SPH5000M」、富士電機技報、2020, vol.93, no.1, p.21-25。



久保 創

制御システム、プログラマブルコントローラの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレインダストリー事業本部開発統括部 計測・制御開発センターコントローラ開発部主査。

プラントの監視制御システムの高度化に貢献する 差圧・圧力発信器

Differential Pressure and Pressure Transmitters That Sophisticate Plant Monitoring and Control Systems

山下 真一郎 YAMASHITA, Shinichiro

坂上 智 SAKAUE, Satoru

富士電機の差圧・圧力発信器「FCXシリーズ」は、1989年の発売以来、さまざまな業界のプラントを監視制御する用途に使われてきた。このたび、お客さまの新たなニーズに応えるために開発した最新モデルの「FCX-A IVシリーズ」は、静電容量式圧力センサを適用し、高い測定精度と長期安定性ととも、高速応答性や高い視認性と操作性を実現している。本シリーズは、独自の構造により対水素透過用途に、最適なダイヤフラム材料の選択により耐食用途に使用できる。さらに、ピエゾ式圧力センサを用いて、静電容量式圧力センサの適用範囲を超えた超高耐圧が求められる用途に使用できる。

Since its release in 1989, Fuji Electric's FCX Series of differential pressure and pressure transmitters have been used to monitor and control plants in various industries. The FCX-A IV Series, the latest model developed to meet new needs, utilizes a capacitive pressure sensor to achieve high measurement accuracy and long-term stability, as well as fast response, high visibility, and better operability. Its unique structure allows this series to be used for hydrogen permeation resistance applications, and its use of optimal materials enables it to be utilized for corrosion resistance applications. Furthermore, the series uses piezo pressure sensors for applications that require ultra-high pressure resistance beyond the application range of capacitive pressure sensors.

① まえがき

富士電機の差圧・圧力発信器「FCXシリーズ」は、1989年の発売以来、機能・性能の進化を続けながら、化学、鉄鋼、ゴミ処理、石油などのさまざまな業界のプラントを監視制御する用途に使われてきた。本稿では、お客さまの新たなニーズに応えるために信頼性と使いやすさをさらに追及した最新モデルの差圧・圧力発信器「FCX-A IVシリーズ」について述べる。

② 「FCX-A IVシリーズ」の概要

FCX-A IVシリーズでは、心臓部である圧力検出部分に豊富な実績を誇る静電容量式圧力センサを適用して高い測定精度を達成するとともに、最適化した構造により長期安定性を実現している。さらに信号処理部を強化して測定周期も短縮している。また、幅広い用途に対応するために豊富なバリエーションをそろえている。例えば、機能安全が要求される現場に向けては、国際規格 IEC61508 の安全度水準（SIL）レベル2の認証を取得している。また、水素製造装置などへ適用する場合に必要な耐水素透過性を備えたタイプや、さまざまな酸およびアルカリを扱う設備に適用することができる耐食性を備えたタイプに加えて、高温・高真空中で使用できるタイプもラインアップしている。さらに、海底油田など超高耐圧が求められる用途向けに検出部にピエゾ式圧力センサを用いたタイプも用意している。図1に差圧・圧力発信器 FCX-A IVシリーズの外観を示す。



図1 差圧・圧力発信器「FCX-A IVシリーズ」

③ 「FCX-A IVシリーズ」の特徴

3.1 高精度と長期安定性

圧力検出部に採用している静電容量式圧力センサは、他の測定方式に比べ感度が高く、単結晶シリコン材料でできているためヒステリシスが小さいので安定性と再現性に優れている。また、構造の最適化で出力の長期安定性を実現している。さらに、センサを非圧縮性流体の中にフローティングしたアドバンスド・フローティング・セル構造により、さまざまな過酷な環境からセンサを保護し、センサの安定性確保に優れている。これらにより次に示す性能を実現した。

- (a) 高精度測定： $\pm 0.065\%$ （標準）
- (b) 長期安定性： $\pm 0.1\%/5$ 年

図2にFCX-A IVシリーズのゼロ点変動データを示す。

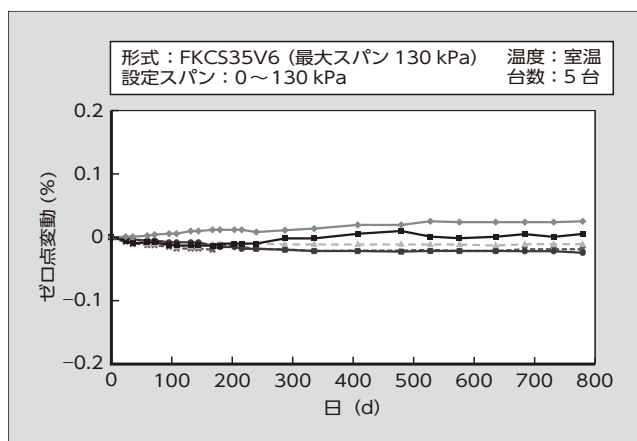


図2 「FCX-A IVシリーズ」のゼロ点変動データ

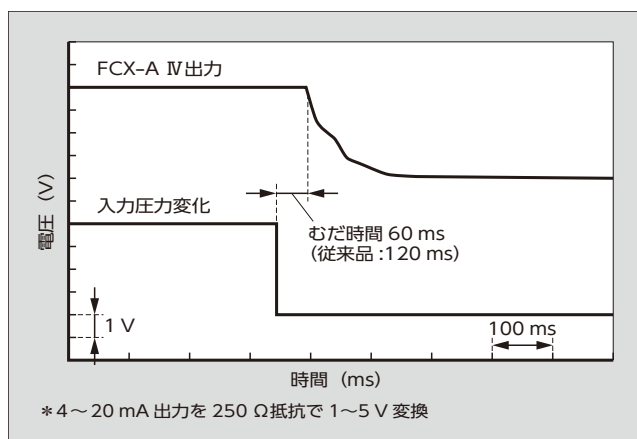


図3 「FCX-A IVシリーズ」の出力応答特性

3.2 高速応答性

プラントの操業を制御するDCS（分散制御システム：Distributed Control System）は、DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）が進む中で高速化、高信頼性化してきており、発信器をはじめとするフィールド機器に対しても、より高精度、高速化が求められている。FCX-A IVシリーズは、高速CPUの採用やソフトウェア処理の最適化により、旧シリーズより性能を向上し、圧力・差圧発信器として最高レベルの応答性（更新周期 40 ms、むだ時間 60 ms）を実現した。高速応答が要求されるガスタービンの蒸気流量測定などのプロセスに適している。図3にFCX-A IVシリーズの出力応答特性を示す。

3.3 高い視認性と操作性

本体のデジタル指示計に、デジタル測定値と単位が同時に表示されるため、正確なデータ把握も容易である。異常が発生したときには、エラーコードも表示され、状況把握や異常時の対応を迅速に行うことが可能である。また、FCX-A IVシリーズでは、バーグラフ表示を加え、直感的な把握を可能とした。デジタル指示計に内蔵している全てのパラメータの設定と調整は、指示計カバーを開けること

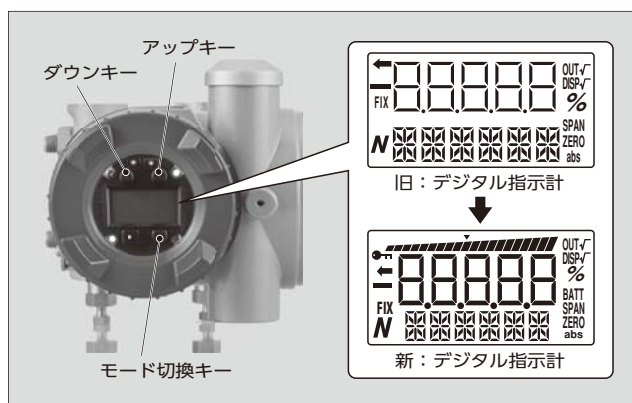


図4 「FCX-A IVシリーズ」のデジタル指示計

なく外側から非接触のスイッチで操作を行うことができる。図4にFCX-A IVシリーズのデジタル指示計の外観を示す。

3.4 認証レベル SIL2 の取得

安全規格 IEC 61508 に適合し、SIL（Safety Integrity Level）2 の認証を取得した。機能安全が要求されるフィールドでの使用が可能である。また、発信器 2 台の冗長化（組合せ）により、認証レベル SIL3 も実現可能である。

3.5 HART 通信対応

HART プロトコル出力を標準装備し、国外の現場においても水平展開が容易な HART 通信（最新版 Revision7）に対応している。上位コントローラと連携してエンジニアリング、監視、機器管理など、HART システムへの対応が可能である。

3.6 さまざまな用途への対応

(a) 耐水素透過用途

測定対象に水素が含まれていると、異種金属から構成されている発信器の受圧ダイヤフラム部にわずかに起電力が発生してそこに水素イオンが整列し、ダイヤフラムの中に透過していく。これを水素透過現象といい、ダイヤフラム内に水素が透過すると、正確な測定ができなくなる。この対策として、シールダイヤフラム母材に金メッキを施し、さらに絶縁体であるセラミック膜を形成した金・セラミックコーティングシールダイヤフラムにすることで、水素透過を長期にわたり抑制できる。本構造は富士電機の独自技術であり、水素精製プラントなどでの正確な水素測定に貢献する。図5に金・セラミックコーティングシールダイヤフラムの構造を示す。

(b) 耐食用途

従来から使用されているハステロイ C、モネル、タンタルに加え、チタンとジルコニウムをシールダイヤフラム材質にラインアップした。豊富な耐食材料からの最適

〈注〉 HART：フィールドコムグループインコーポレイテッドの商標または登録商標

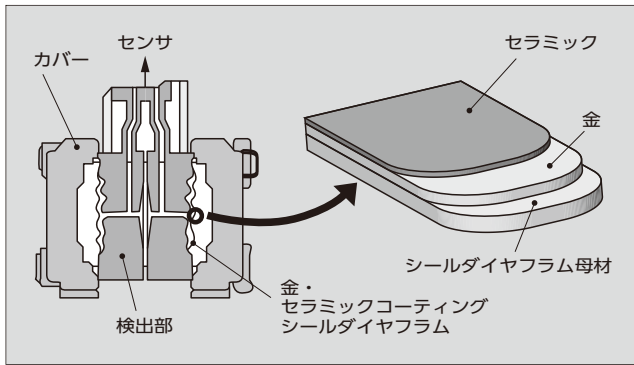


図5 金・セラミックコーティングシールダイヤフラムの構造

な材料選択により、腐食に対応するための保守頻度を下げることができる。

4 超高压用途への対応

4.1 静電容量式圧力センサの限界

圧力発信器が使われる海底油田の圧力は100 MPaくらいのもが多いが、油田の深度化が進む近年では130 MPaを超えるものも出てきている。このような超高压下では静電容量式圧力センサを適用することが困難となる。検出される静電容量は、電極面積、電極間距離、電極間を満たす封入オイルの誘電率により決まるが、封入オイルの誘電率は圧力に応じて変化し、高压域になるほどセンサの高压側と低压側で誘電率の差が大きくなり、誤差の要因となる。また、低压領域では平行に対向した電極による均一なギャップで静電容量が形成されるが、高压領域ではダイヤフラムが変形しギャップが不均一となりこれも誤差要因となる。さらに、海底油田において測定する流体である原油、地下水、水蒸気には硫化水素、塩分が含まれており、腐食性が高い。このため、シールダイヤフラムなどの接液部には高い耐腐食性が必須である。

4.2 ピエゾ式圧力センサによる超高压対応

超高压用途向けにピエゾ式圧力センサを用いたタイプを開発した。図6に超高压対応圧力発信器の外観を示す。

ピエゾ式圧力センサでは、圧力によってダイヤフラムに生じる応力をピエゾ抵抗値の変化として検出する。ピエゾ式圧力センサは、表面に抵抗や配線パターンを、裏面にドライエッチングでダイヤフラムを形成したSi基板とガラス基板とを表面活性化接合で接合した後、チップの形に切



図6 超高压対応圧力発信器（ピエゾ式圧力センサ内蔵）

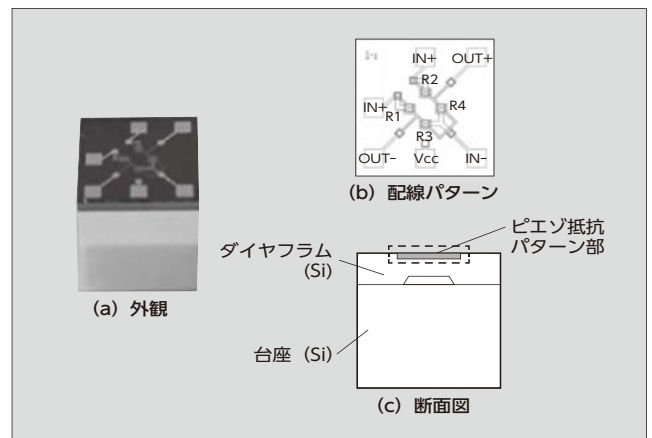


図7 ピエゾ式圧力センサの構造

断して製作される。そのチップの構造は図7に示すように非常に単純である。また、表面活性化接合は常温で基板同士を直接接合する方法であるため、一般的によく用いられる陽極接合のように高温、高電圧を加えないので、基板の変質や残留応力をもたらすことがない。静電容量式圧力センサに比べて変形して誤差要因となる部分が少ないため、超高压下でも測定精度が低下せずに圧力を検出することができる。

さらに、腐食性がある高压力の測定流体と接するシールダイヤフラムには機械的強度が高く耐腐食性が良い材質であるインコネルを採用して耐腐食性を高めている。

ここまでに述べてきた特徴を備えるFCX-A IVシリーズのラインアップを表1に示す。

表1 「FCX-AⅣシリーズ」のラインアップ

形式	FKC	FKG	FKA	FKE	FKB	FKD	FKP	FKH	FKR
	 差圧(流量)	 圧力	 絶対圧力	 レベル	 リモート シール形 圧力	 リモート シール形 差圧 (流量)	 圧力 (ダイレクト マウント)	 絶対圧力 (ダイレクト マウント)	 超高圧力 (ピエゾ式ダイレ クトマウント)
最大スパン (kPa) [URL]	1 6 32 130 500 3,000	130 500 3,000 10,000 50,000	16 130 500 3,000	32 130 500	130 500 3,000 10,000 50,000	32 130 500	130 500 3,000 10,000	130 500 3,000	70,000 150,000
質量(kg) (指示計なし)	3.1	2.9	2.9	約9～19	約4～18	約9～19	1.8	1.8	1.5
精度定格	±0.065%		±0.2%	±0.2%	±0.2%	±0.2%	±0.1%	±0.2%	±0.065%
ダイヤフラム 材質	316 L SS ハステロイC モネル タンタル 316 L SS金メッキ 金&セラミックコーティング		316 L SS ハステロイC モネル タンタル	316 L SS ハステロイC モネル タンタル チタン ジルコニウム 316 L SS金メッキ			316 L		インコネル 625 インコネル 625+ 金メッキ
プロセス接続口 寸法	Rc1/4			各種フランジ規格			NPT1/2、Rc1/4、Rc1/2、 NPT1/4		autoclave F250C
共通仕様	スパン設定範囲：1～1/100URL 測定周期：40 msec 温度範囲 接液部：－40～＋120℃ (高温タイプも用意)*1 周囲温度：－40～＋85℃ 電源電圧：DC10.5～45 V 出力信号：DC4～20 mA					サポート通信プロトコル：HART その他付加仕様：デジタル指示計、脱脂処理、酸素禁油処理*2、 塩素測定用、ステンスタグプレート、ローカル調整機能*3			

*1 FKR：－40～＋100℃
 *2 FKR：酸素禁油処理は選択不可
 *3 FKR：塩素測定用は選択不可

5 あとがき

プラントの監視制御システムの高度化に貢献する差圧・圧力発信器「FCX-AⅣシリーズ」について述べた。今後、もさらに高度な省エネルギー制御の実現や自動化の促進に貢献するべく、お客さまの多様なニーズに応える製品メニューの拡充に尽力していく所存である。

参考文献

(1) 木代雅巳ほか. 新型差圧・圧力発信器「FCX-AⅢシリーズ」.
 富士時報. 2008, vol.81, no.2, p.162-165.



山下 真一郎
 計測機器の事業支援に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部ファクトリーオートメーション事業部計測機器部主任。



坂上 智
 計測機器の開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測機器開発部主任。

EV 駆動部品の使用環境を再現する性能試験システム

Performance Test System Reproduces the Usage Environment of EV Drive Components

大竹 克朋 OTAKE, Katsutomu

三春 勉 MIHARU, Tsutomu

宮本 洋圭 MIYAMOTO, Hiroyoshi

近年、自動車の電動化は、世界的な排ガス規制や脱炭素化が進む中、急速に進展している。特に、電気自動車（EV）の開発は複雑な制御が必要になるため試験工数が膨大となる可能性があり、EV 向け試験装置の需要が高まっている。富士電機は、このような需要に対して EV 駆動部品性能試験システムを開発した。本システムは、実路走行時の負荷の模擬や、供試体が使用される温度と湿度の実環境を模擬することで、試験効率と信頼性向上に貢献する。

The electrification of automobiles has been progressing rapidly today in the face of global emissions regulations and decarbonization. As electric vehicles (EVs) especially use complex control, the labor-hours for testing can significantly increase to develop them and demand has been increasing for EV test equipment. In response to this demand, Fuji Electric has developed an EV drive component performance test system. The system can simulate the load during actual road driving and actual environmental testing factors of temperature and humidity to improve test efficiency and reliability.

1 まえがき

自動車業界は世界的な排ガス規制や脱炭素化が進む中、急速に電動化が進展しており、国内でも 2030 年度に販売される自動車のうち約 55% が電気自動車（EV：Electric Vehicle）になるとの予測もある⁽¹⁾。EV は、ガソリン車やディーゼル車とは異なり複雑な制御が必要になるため試験工数が膨大となる可能性があり、信頼性の向上および試験効率の向上を図るために EV 向け試験装置の需要が高まっている。

このような需要に対して富士電機は EV 駆動部品の性能試験システムを開発した。

本稿では、EV 駆動部品の使用環境を再現する性能試験システムについて述べる。

2 EV 駆動部品の性能試験システムの概要

EV 駆動部品の性能試験システムは、EV 駆動部品性能試験機、恒温槽、温調装置で構成され、モータ・インバータ・減速機などの EV 駆動部品を供試体として、実際の運転環境に近い状態を再現可能な試験システムである。

図1に EV 駆動部品性能試験システムを示す。

EV モータは、小型・軽量化のため高速回転化が進んでおり、最高回転数は 20,000r/min に達している。また、高速回転化や EV モータ、インバータ、電子部品などの密集により車載部品の熱環境は厳しくなっている。このため厳しい温度環境下で性能や信頼性に問題ないか評価する必要がある。

2.1 EV 駆動部品性能試験機

EV 駆動部品性能試験機は、供試体単体で実路走行時の

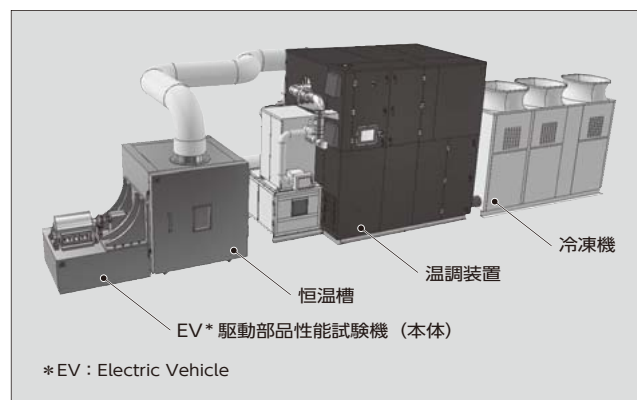


図1 EV 駆動部品性能試験システム

負荷を模擬した状態で評価するためのものである。この試験機は、供試体に対して負荷を発生させ、走行状態などの負荷状態を再現するためのダイナモメータ、ダイナモメータと駆動部品間の軸に掛かる回転方向の力を計測するトルクメータ、ダイナモメータおよび駆動部品に掛かる荷重を支持して軽減させる中間軸受け、EV モータを取り付けるためのイケールとこれらの部品を取り付けるための架台で構成される。図2に EV 駆動部品性能試験機（本体）を示す。

EV モータは、小型・軽量化と高出力化を両立するために高速回転化が不可欠である。試験装置においては高速回転によって生じる特有の問題に対処する必要がある。高速回転の装置は、共振の発生を抑えるため供試体の回転数に応じて装置の固有振動数を離調することや、高速運転による装置の温度上昇により冷却装置や潤滑のための補機類が必要となることから機械構成が煩雑になり、電氣的な課題よりも機械的な課題が多い。

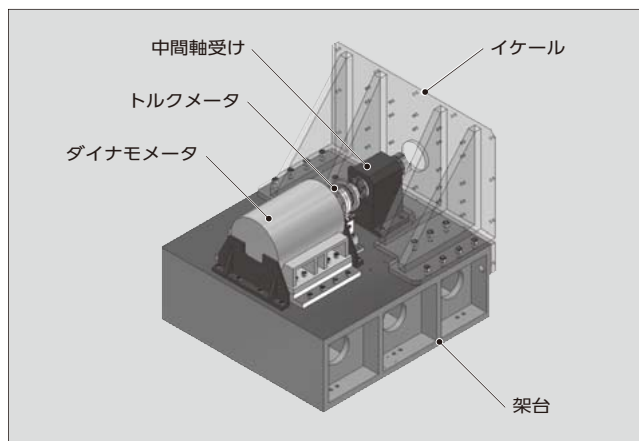


図2 EV 駆動部品性能試験機 (本体)

2.2 恒温槽・温調装置

恒温槽・温調装置は、恒温槽内の供試体が使用される温度や湿度試験環境を再現するためのものである。この装置は、恒温槽内の温度や湿度を制御する温調装置、温調装置内の冷却器に冷媒を供給するための冷凍機、水分を供給する加湿器などから構成される。図3に恒温槽・温調装置の構成図を示す。

EV は、モータやインバータ、バッテリーなどの小型大容量化、限られた空間への集積によって、電子部品の発熱量が増加している。電子部品は発熱量が増加することで、性能の低下や寿命が短くなることがある。自動車メーカーや自動車部品メーカーは、安心・安全性の観点から電子部品の信頼性評価の重要性がますます高まっており、実際の運転に近い状態でさまざまな使用環境を模擬した過酷な試験を行って品質を確認する必要がある。しかし、環境試験装置は小さな部品を評価する小容量の製品が一般的であり、駆動状態の中型・大型の自動車用部品を評価するような大容量の装置は少ない。また、ユニットの発熱負荷変動を吸収しながら温度環境を模擬する装置は、汎用ではなく一品生産品となるため価格が高く、市場に多くは導入されていない。そのため、コールド・ホットスタートから成り行きで評価試験を実施することが多い。

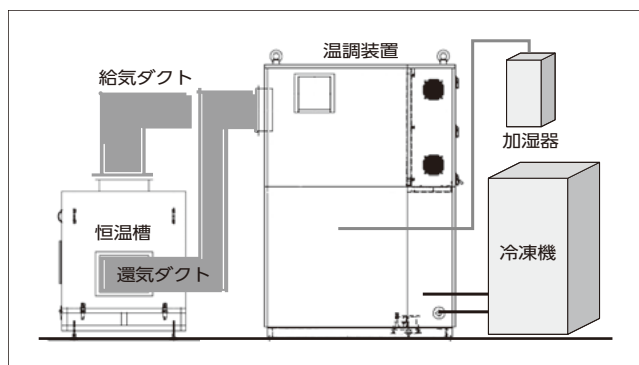


図3 恒温槽・温調装置の構成図

3 EV 駆動部品性能試験機の特徴

3.1 課題

高速回転の試験では、共振によりベアリングの急激な損耗を招き、回転軸系統の振れが増大し破損に至る恐れがある。機械の破損を回避するため、試験装置が持つ固有振動数と回転数を離す必要があり、対策として EV 駆動部品性能試験機の高剛性化と軽量化が有効である。また、遠心力を低減するため、回転軸の動バランス調整を考慮した設計が要求される。

高速回転の試験では、エネルギーの増加から発熱量が大きいため、潤滑不良によるベアリングの焼き付きによりフレーキング破損を招くことがある。このため、ベアリングの潤滑方法として、オイルを使用して潤滑と冷却を同時にする方法を採用することが一般的である。しかし、オイル潤滑を用いる場合は、オイルポンプ、熱交換器など機械構成が複雑となるほか、オイルミストにより周囲を汚してしまふなど、機器メンテナンスの範囲が広がるため、できれば避けたいというユーザーの要望が多くある。

3.2 対策と効果

信頼性の高い高速回転の試験装置を開発するためには、設計段階で装置の固有振動数を予測して適切な剛性を持った構造にする必要がある。運転時の回転数における振動数は 333 Hz (20,000r/min) であり、約 20% の離調率^(注)確保を設計値として設定した。試験装置の設計においては、有限要素法で振動解析を行い、固有振動数を得た。解析結果から、梁（はり）および厚みを調整して装置の高剛性化と軽量化のバランスを取って最適な構造を実現した。

図4に EV 駆動部品性能試験機の振動モードおよび 1 次固有振動数の解析結果を示す。

構造の最適化を行った結果、1 次振動モードでの固有周

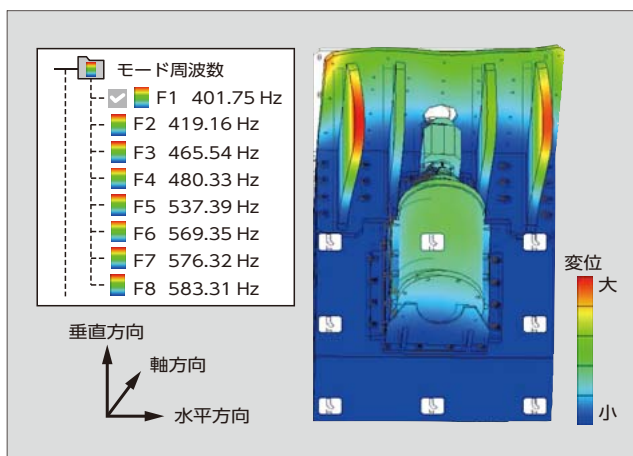


図4 EV 駆動部品性能試験機の振動モードおよび 1 次固有振動数の解析結果

〈注〉離調率：共振回転数の定格回転数に対する離れ率

表 1 EV 駆動部品性能試験機の振動レベル計測結果

対象	中間軸受け					
測定箇所	供試体側			ダイナモメータ側		
振動方向	軸	水平	垂直	軸	水平	垂直
振動速度 (mm/s)	1.87	1.82	0.01	0.01	2.52	1.99
対象	架台					
測定箇所	供試体側			ダイナモメータ側		
振動方向	軸	水平	垂直	軸	水平	垂直
振動速度 (mm/s)	0.30	0.43	0.26	0.27	0.48	0.25

波数は、401.75 Hz で回転周波数振動（333 Hz）に対して 20.4% の離調率を確保した。

また、共振検討に対する妥当性を確認するため実際に装置を運転して振動測定を実施した。測定では、特に回転体の重量を支えているため、最も振動が発生する可能性が高い中間軸受けと、回転系全体から振動の影響を受ける架台⁽²⁾を測定対象として評価をした。なお、振動測定の判定基準は、測定された振動値が正常値または異常値であるかを判定する判定基準として JIS B 0906 に則り、制限値として振動速度 2.8 mm/s 以下とした。

表 1 に EV 駆動部品性能試験機の振動レベル計測結果を示す。全ての測定箇所でも振動速度 2.8 mm/s 以下をクリアし、高速回転下で所望の振動レベルを達成した。

中間軸受けの潤滑方式は、オイル潤滑の代わりにグリース潤滑を採用した。グリース潤滑を採用するメリットは、機器配管などの分解作業、内部のオイル処理作業がなく、グリースアップによる簡単な作業でメンテナンスが済むためである。グリース潤滑はメンテナンス性が良い一方で、オイル潤滑よりも冷却効率が悪いため温度上昇による焼き付きに注意が必要である。

今回の設計においては、ベアリングの使用上限温度を 120℃以下とし、ベアリングの振動低減、回転精度の向上および適切な潤滑により中間軸受けの温度上昇を抑えるために、次の三つを重要項目として検討した。

(1) 遠心力を抑制する検討

遠心力によるベアリングの球面面圧を目標値まで下げるために、バランス等級を決定した。

(2) 回転精度と潤滑を考慮した与圧の設定

ベアリングにかかる軸方向の面圧を温度変化に対して一定与圧が与えられるように設計した。

(3) 潤滑剤の設定

耐熱性を考慮してウレア系グリースを選定した。

これらの設計の妥当性を確認するために、中間軸受けの

表 2 中間軸受け温度測定結果

	ダイナモメータ回転数 (r/min)
	20,000
供試体側温度 (℃)	60
ダイナモメータ側温度 (℃)	57

温度測定を行った。

表 2 に中間軸受け温度測定結果を示す。温度測定から使用上限値を満足する結果が得られた。

4 温調装置の特徴

4.1 課題

自動車試験には、ソーク運転とモード試験がある。ソーク運転は供試体が試験温度に達するまで停止するので発熱負荷はなく、冷凍機は軽負荷のため停止する。停止した冷凍機は、再起動防止遅延時間経過後に再起動するため、一定の冷却性能を発揮できず、安定した温度を維持できない。一方、モード試験は発熱負荷が 0～100% の間で大きく変動し、変動に合わせて装置を最適に制御して温度追従する必要がある。

これらの問題は、装置開発で設定した次の目標達成過程における課題として設定した。

- (a) 熱負荷変動に対して $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内の温度追従性能
- (b) 低温度環境下でも連続運転が可能な環境構築
- (c) 設置場所・付帯工事・調整時間を極小化

従来、自動車試験環境の構築は、常温・低温・高温それぞれの熱源機器を現地で組み合わせて施工する。今回の開発では、これらの課題に対して、全温度域の熱源機器を統合・最適化した。

4.2 対策と効果

熱負荷変動に対して $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内の温度追従性能を達成するためには、熱負荷変動の状態に関係なく冷凍機の停止やハンチングを防止し、安定した運転が必要である。温調装置は、図 5 に示す構成とした。

- (a) ソーク運転時などの冷凍機が軽負荷停止する対策として、図 5 に示す蒸発器(a)の 1 次側に設置した電気ヒータ(a)を出力し、蒸発器(a)に熱負荷を与え、冷凍機運転を継続させた。一方、モード試験時は供試体の発

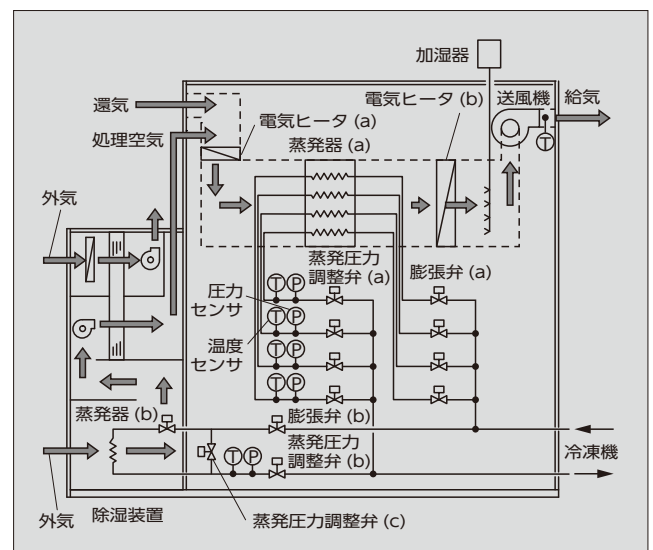


図 5 温調装置の構成図

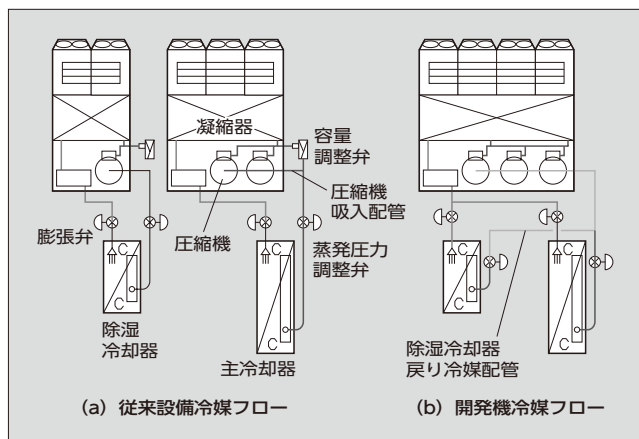


図6 冷凍回路

熱負荷変動に合わせて膨張弁(a)による冷媒流量制御、および蒸発圧力調整弁(a)による蒸発圧力制御を行う。さらに、蒸発器(a)の前後の電気ヒータの可変 PID 制御の最適値を見だし、冷凍機運転の継続と両立を実現した。

(b) 冷凍機系統の統合により、同一となった除湿装置の冷却器出口の戻り冷媒配管を利用して、サクシオンインジェクション回路を形成した結果、圧縮機の吸入配管ガス温度を仕様内に抑え、高温設定の軽負荷時でも冷凍機の連続運転が確保された。図6に冷凍回路を示す。

(c) 温度帯が異なる蒸発器には、効率面からそれぞれ異なる冷凍機を選定すること、 -40°C を実現するためには、低温用冷凍機を用いることなどの慣例を排除して、大きな負荷変動にも対応できる冷凍機を採用した。従来設備の冷媒は R404 A（沸点 -46.1°C ）であったが、開発機は R410 A（沸点 -51.4°C ）とした。図7に従来設備と開発機の冷凍機容量制御を示す。従来設備では中温インバータ機と超低温定速機で構成していたが、開発機は、全温度域を網羅できるインバータ機を採用し、負荷変動に対して安定した容量制御を発揮できるようにした。

図8にモード試験時の負荷追従性を示す。図8に示すように(a)～(b)の対策により、最も厳しい条件である低温領域

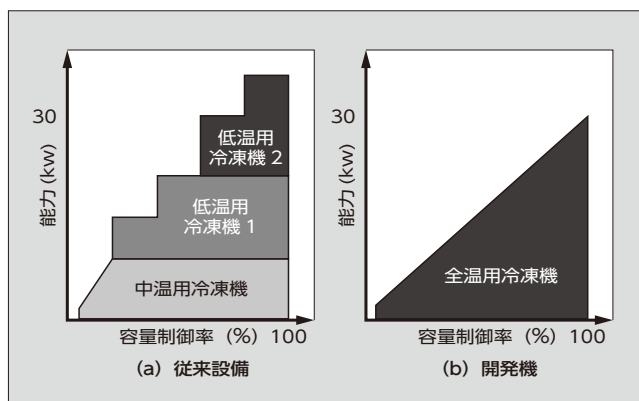


図7 従来設備と開発機の冷凍機容量制御

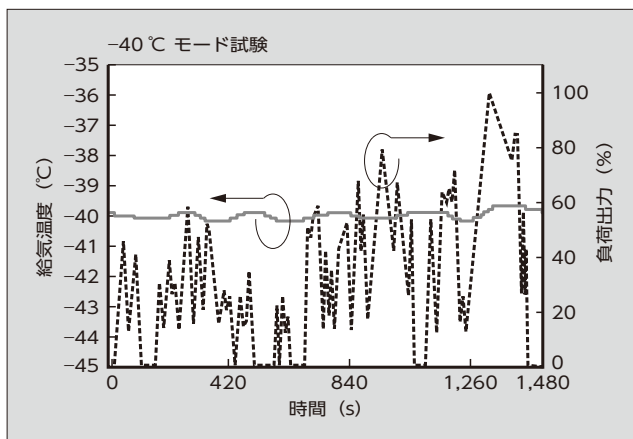


図8 モード試験時の負荷追従性

表3 従来設備との比較結果

従来設備		
冷却器		冷凍機
中温冷却器1	14列20段×830 L	10 HPインバータ機
低温冷却器2	16列10段×830 L	20 HP定速機
低温冷却器3	16列10段×830 L	20 HP定速機
除湿プレクーラ	16列6段×250 L	5 HPインバータ機
合計	522 m (1.3 m ³)* ¹	55 HP (4.3 m ²)* ²

製品試作機		
冷却器		冷凍機
全温冷却器	22列20段×650 L (4分流)	40 HPインバータ機
除湿プレクーラ	16列6段×250 L	
合計	310 m (0.7 m ³)* ¹	40 HP (2.4 m ²)* ²

*1 冷却器有効部の占有する体積
*2 冷凍機設置面積

において、負荷が0～100%変動した場合でも、給気温度を $-40\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲に抑えた高精度な負荷追従性を実現した。

また、(a)～(c)などの対策を行う過程において、構成機器を総合的に最適化検討した結果、パッケージ化した小型製品を完成させることができた。代表例として、除湿装置導入により着霜がなくなったため、伝熱フィンのピッチを8 mmから6 mmに狭くした上、従来の冷却器の設計時に考慮される着霜による熱交換効率の低下を加味するために使用される着霜係数を1とできる（通常：0.6～0.7）ことから、装置サイズに影響する冷却器の体積の大幅な小型化（約45%）が実現した。併せて、前述したように冷凍機系統の統合を行い設置面積の縮小（約45%）を実現した。

表3に従来設備との比較を示す。

4 あとがき

EV 駆動部品の使用環境を再現する性能試験システムについて述べた。これからの EV システムは回転数の高速化

や高電圧化が予想され、新たに発生する技術課題に対応する必要がある。今後も、パワートレインにおける試験効率および信頼性の向上に貢献する製品を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 世界の電動車（xEV）シェア [PRESS RELEASE], Boston Consulting Group, JANUARY 10, 2020, <https://www.bcg.com/publications/2020/drive-electric-cars-to-the-tipping-point>, (参照 2023-02-10) .
- (2) 振動技術研究会. ISO基準に基づく機械設備の状態監視と診断. 第2.2版.
- (3) NTN株式会社. 転がり軸受理論・実践ガイドブック.



大竹 克朋

特殊空調設備のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部情報ソリューション事業部 FA システム技術部主査。



三春 勉

自動車用試験装置の機械設計、エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部情報ソリューション事業部 FA システム技術部主任。



宮本 洋圭

電動応用分野のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部情報ソリューション事業部 DX 推進室企画部主任。



排ガス浄化システムの効率的な運用管理を実現する 船舶 IoT システム

Ship IoT System for Efficient Operation Management of Exhaust Gas Cleaning Systems

安信 友裕 YASUNOBU, Tomohiro

近年、船舶業界においては国際的な環境規制の強化により、船舶から排出される排ガスを浄化する排ガス浄化システム（EGCS）が導入されている。その中で、普及が進んでいる船陸間ブロードバンド通信を活用した船舶 IoT システムを開発した。このシステムを用いると、EGCS の計測ログデータやアラームをクラウドサーバを利用して監視することができる。異常予兆診断機能も提供しており、機器が故障する前に適切なタイミングでメンテナンスを行うことで、機器のダウンタイム短縮とトラブル対応に要する作業を削減することが可能である。

Recent stricter international environmental regulations in the maritime industry have been encouraging the installation of exhaust gas cleaning systems (EGCS) to purify the exhaust gas emitted from ships. As part of this effort, Fuji Electric has developed a ship IoT system that utilizes increasingly popular ship-to-shore broadband communications. This IoT system is able to monitor EGCS measurement log data and alarms by utilizing a cloud server. It also provides a diagnostic function to predict abnormalities and facilitates timely maintenance before equipment malfunctions in order to shorten equipment downtime and reduce the work costs required for troubleshooting.

① まえがき

近年、船舶業界においては国際的な環境規制の強化により、従来使われてきた燃料から環境規制に適合した燃料への切替えや、排ガス浄化システム（EGCS：Exhaust Gas Cleaning Systems）の導入などが必要となってきた。しかし、環境規制に対応するシステムは、従来の船舶用機器に比べて高度化しているため取扱いが難しく、機器が故障した場合は乗組員だけでの対応が困難である。また、船舶は年間を通して海上を航行していることが多く、メーカーは直ちに船を訪問することができないといった特有の問題を抱えている。その一方で、衛星通信を使った船陸間ブロードバンド通信の普及が急速に進んでおり⁽¹⁾、海上を航行する船舶でも、定額で高速通信サービスを享受できるようになってきている。

上述のような船舶特有の問題を解決するために、富士電機は EGCS に適用する船舶 IoT（Internet of Things）システムを開発した⁽²⁾。これは、計測ログデータやアラームをクラウドサーバを利用して監視するものである。機器に異常が発生した場合、訪船せずに計測ログデータから故障箇所を判断して修復指示をするなどの遠隔支援が可能である。船舶 IoT システムは、富士電機が保有するアナリティクス・AI（Artificial Intelligence）技術を活用した異常予兆診断機能を提供しており、機器の異常を予兆して最適なタイミングでメンテナンスを行う CBM（状態基準保全：Condition Based Maintenance）が可能となる。機器故障によるダウンタイムの削減および予備品の交換、購入の最適なタイミングを提案できる。

② 船舶 IoT システムと現状の新たなニーズ

図1に、船舶 IoT システムのシステム構成図を示す。このシステムは、船内に設置された IoT リレー盤に内蔵しているエッジデバイス「FiTSA Σ」が、EGCS 監視制御盤に蓄積された計測ログデータや各機器のアラーム履歴を、衛星通信を使用して一定周期で富士電機クラウドサーバに送信する。船の管理会社は、クラウドサーバにアクセスすることにより船のデータを監視することができる。クラウドサーバが採用している通信プロトコルは、衛星通信の特性を考慮し、ネットワーク環境が不安定でも再送信などによって情報の到達性を担保する MQTT^(注)（Message Queue Telemetry Transport）方式を採用している。IoT リレー盤と船の管理会社が利用する回線との接続は、一般的なインターネット接続作業と同様に固定 IP アドレスやデフォルトゲートウェイなどを設定すれば完了する。また、クラウドサーバのセキュリティについては、ISO/IEC 27017：2015（クラウドサービスセキュリティ）および富士電機のセキュリティポリシーに従い、リスクの低減や重要情報の保護を行っている。

富士電機は、2021 年 4 月に船舶 IoT システムの提供を開始した⁽²⁾。図2に船舶 IoT システムの導入前と導入後の不具合発生時の対応フローを示す。導入前は、船のシステムや機器に異常が発生した場合、船から船の管理会社にメールで状況報告があり、船の管理会社はトラブルの要因と思われるシステムや機器を提供する富士電機に不具合対

〈注〉 MQTT：Message Queue Telemetry Transport の略で、TCP/IP プロトコルを使用して通信する軽量なメッセージングプロトコルである。

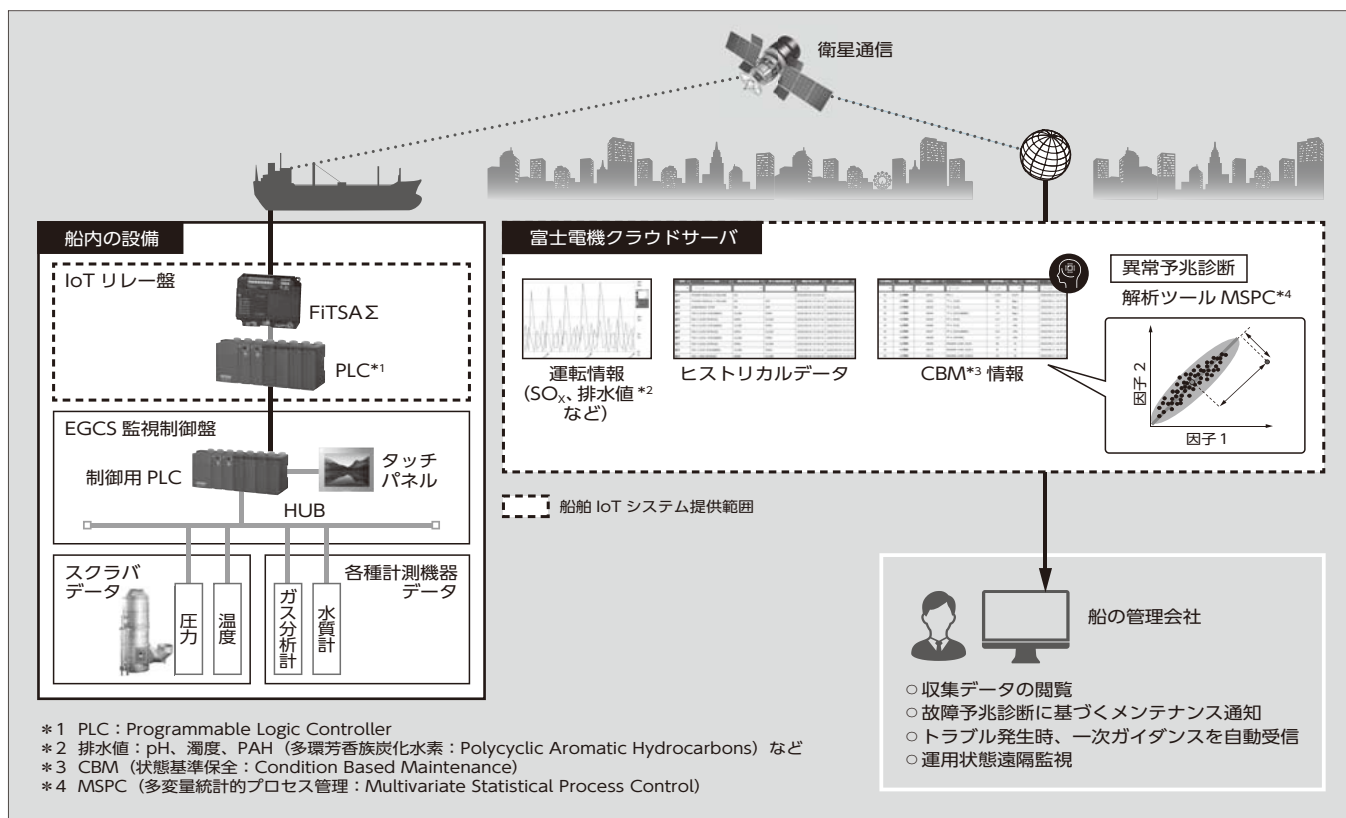


図1 船舶IoTシステムのシステム構成図

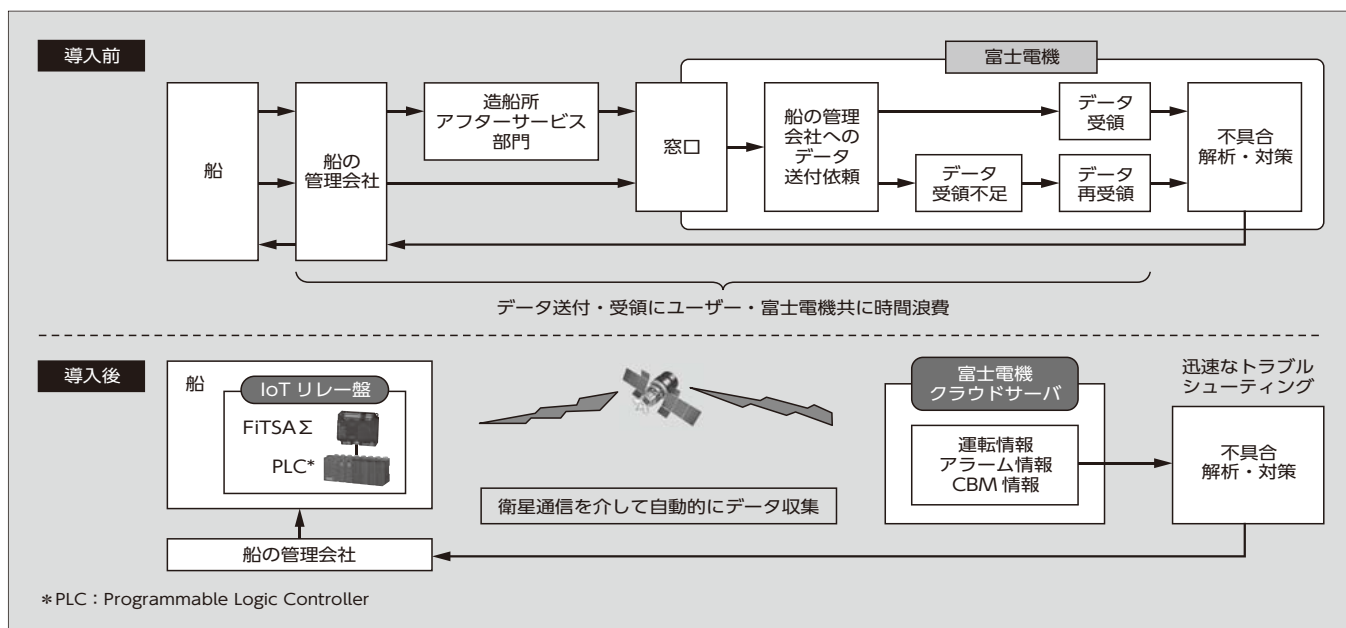


図2 船舶IoTシステムの導入前と導入後の不具合発生時の対応フロー

応を依頼する。依頼を受けた富士電機は異常の原因と対策について船の管理会社に連絡し、船の管理会社はその情報を船に伝える。その対策で解決できない場合は、再度状況を富士電機に連絡する。異常が解消するまで同じやり取りが繰り返されるため、不具合解決には一般に多くの時間を要していた。

富士電機の船舶 IoT システムを導入すると、クラウドサーバに蓄積された計測ログデータやヒストリカルデータ

を確認することで、船の管理会社から連絡がなくても、設備の状態や発報しているアラームなどを把握することができ、迅速な不具合対応が可能となる。また、船舶 IoT の機能には、アラーム発生時に該当するアラームの内容とその対処法が記載されたメールを自動で配信する機能があり、船の乗組員はメーカーからの連絡を待つことなく迅速な対応が可能である。

しかし近年、EGCS のユーザーである船の管理会社や乗

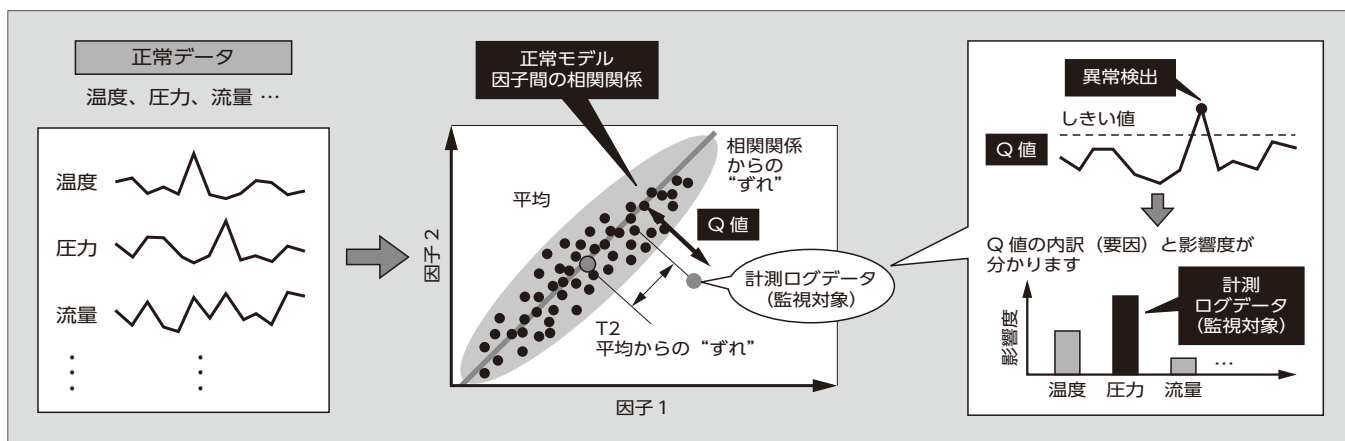


図3 MSPCの概要



図4 異常予兆診断画面 (2023年3月現在)

組員の“トラブルに対してどのように対処すればよいかをクラウドサーバで確認できるようにしたい”“収集したデータを利活用し、トラブルを未然に防ぎたい”といったニーズが高まってきた。

③ 運用管理を効率化する新たなサービス

②章で述べたニーズに応えるため、富士電機が保有するアナリティクス・AI技術⁽³⁾を活用した異常予兆診断機能を開発した。

船舶IoTシステムにアナリティクス・AI技術の中でも診断技術に属するMSPC(多変量統計的プロセス管理: Multivariate Statistical Process Control)を採用し、異常予兆診断サービスを構築した。図3にMSPCの概要を示す。MSPCは多変量解析を利用して複数のデータの相関から“いつもと違う”を定量化する。船舶は世界中を運航し、季節や気温、天候などの異なる条件下で機器を稼働している。そのため、同じ機器でも船舶ごとにデータ特性が異なる。また、データの送受信には衛星通信が使われるが天候や海域によってはデータが欠損することがある。このような船舶特有の使用環境に対応するため、データクレ

ンジング技術と特性把握技術を用いてデータの前処理を行い、健全モデルを自動的に生成する。この健全モデルと現在値とのずれ度合い(Q値)から、設備の状態を把握することができる。さらに、診断ごとにQ値の寄与度が示され、どの計測値のずれ度合いが大きいか分かることから、ずれの要因も知ることができる。従来は、計測値ごとに上下限監視を行うことが多かったが、MSPCでは、従来の上下限監視では見逃していた異常の兆候も検知可能である。

図4に、富士電機のEGCSに採用している自社製ガス分析計の異常予兆診断画面を示す。ここで示すアラームは機器故障ではなく、機器が正常な状態から外れる傾向を察知したものであり、その傾向は異常予兆診断の結果を基に判断している。発生したアラームとそのアラームに対するトラブルシューティングがひも付けられており、マニュアル表示ボタンをクリックするとメンテナンスマニュアルが表示される。これに従って船の乗組員は適切かつ迅速な対応を行うことが可能である。従来は機器が故障すると取扱説明書の中からトラブルに対するメンテナンス項目を探し出して対応するために多くの時間を要していたが、この異常予兆診断機能を活用することで、機器のダウンタイム短

縮とトラブル対応に要する作業を削減することが可能である。

4 あとがき

排ガス浄化システムの効率的な運用管理を実現する船舶 IoT システムについて述べた。今後、異常予兆診断の対象を増やし、最適なメンテナンスタイミングと予備品交換の最適なタイミングの提案により、船舶の保守業務の負担軽減を図っていく。また、EGCS 以外の船舶用機器についてもニーズに応じて対応していく。

近年、環境規制に適合した燃料の採用やそれに対応した機器の開発が盛んである一方、新しい燃料油を安全かつ効率的に運用することも重要であり、センサや IoT デバイスを組み合わせた遠隔監視のニーズは高まっている。また、船舶の自動運航の開発も進んでいるため、遠隔監視をはじめとして安全な運航の継続に向けた異常予兆診断へのニーズはさらに高まると考えている。そのような社会環境の中

で、富士電機の強みであるアナリティクス・AI 技術を生かしたサービスを引き続き提供する所存である。

参考文献

- (1) 中野和昌. 船陸間通信システムの最新動向 - 船陸間のデータ伝送基盤. 日本マリンエンジニアリング学会. 2020, vol.55, no. 2, p.68-71.
- (2) 河村賢. 船舶IoTシステム. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.4, p.280-282.
- (3) 瀬谷彰利ほか. 富士電機のDX (デジタルトランスフォーメーション) の現状と展望. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.3, p.130-140.



安信 友裕

船舶排ガス浄化システムおよび船舶 IoT システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部社会ソリューション事業部船舶・交通・特機システム部課長補佐。



安全・安心に貢献する放射線管理ソリューション

Radiation Management Solutions Contributing to Safety and Security

前川 修 MAEKAWA, Osamu

阿部 洋平 ABE, Yohei

富士電機は、放射性物質を取り扱う施設やその自治体に対して、安全・安心に貢献する放射線管理ソリューションを提供している。東日本大震災の復興支援に活用された環境放射線モニタでは、伝送機能の多様化により災害時の監視継続能力を改善したモニタリングポストや、検出の精度と安定性を向上させたリアルタイム線量率計を開発した。放射線量などの測定データを収集して画面表示する環境放射線監視テレメータシステムでは、顧客ニーズに合わせて拡張が可能なプラットフォームを、 α 線ダストモニタでは、ノイズ低減と高分解能化により α 線の測定性能を向上させた検出器を開発した。

Fuji Electric provides facilities and local governments that handle radioactive materials with radiation management solutions to contribute to safety and security. In environmental radiation monitors, which were proved useful to support the recovery from the Great East Japan Earthquake, we have developed monitoring posts that use diversified transmission functions to improve continuous monitoring capability during disaster and real-time dosimeters with improved detection accuracy and stability. For environmental radiation monitoring telemetering systems, which collect measurement data, including radiation doses, and display them on the screen, we have developed a platform that can be expanded to meet customer needs. In addition, we have developed the detector for alpha-ray dust monitors that improves alpha-ray measurement performance by reducing noise and increasing resolution.

① まえがき

地球温暖化に起因する気候変動は、持続可能な社会の実現を脅かす重要な問題の一つであり、世界各国では、この問題を克服するためにさまざまな施策が実行されている。一方、昨今の世界情勢の急激な変化により、エネルギー安定供給において大きなリスクが露呈した。特に、エネルギー資源の乏しいわが国においては、燃料費の高騰など、国民生活や企業活動に甚大な影響を及ぼし始めている。このような状況の下、日本政府は化石燃料主体の社会・産業構造をクリーンエネルギー中心に移行するグリーントランスフォーメーション（GX：Green Transformation）の推進を表明し、脱炭素社会とエネルギー安定供給の実現に向けて大きな政策転換を図っている。

GXにおいては、化石燃料への過度な依存からの脱却はもちろんのこと、脱炭素効果の高い原子力エネルギーの活用が含まれており、強靱（きょうじん）なエネルギー需給構造に転換していくと表明している。

原子力エネルギーの活用においては、安全性評価を終えた原子力発電所の再稼働を軸として、既存の設備を最大限活用する方針が示されている。福島第一原子力発電所で起きた事故を教訓として、安全性を最優先し、地域住民との共生によりこれを実現する計画となっている。

富士電機は、総合放射線計測機器メーカーとして、さまざまな放射線測定器や放射線を管理するためのシステムを開発して納入しており、原子力施設の安全稼働に貢献してきた。

東日本大震災以降、富士電機は、福島地区の復興支援を目的としたリアルタイム線量率計の納入や災害に強い放射線モニタの開発、伝送路の強化に取り組んできた。本稿では、安全・安心に貢献する放射線管理ソリューションにつ

いて述べる。

② 放射線管理ソリューションの概要

放射線管理に使われる機器は、“個人被ばくモニタ”“表面汚染モニタ”“環境放射線モニタ”“所内・放出放射線モニタ”に分類される。これらのモニタは放射線監視盤や計算機システムと連携し、測定値が管理される。放射線管理システムの概念図を図1に示す。

各モニタの特徴と代表的な検出器を次に示す。

(1) 個人被ばくモニタ

個人被ばくモニタは、原子力施設や関連施設で作業に従事する作業員の外部被ばくと内部被ばくを測定するモニタである。外部被ばくとは体外からの放射線による被ばくであり、内部被ばくとは体内に入った放射性物質から出る放射線による被ばくである。代表的なモニタには、個人被ば

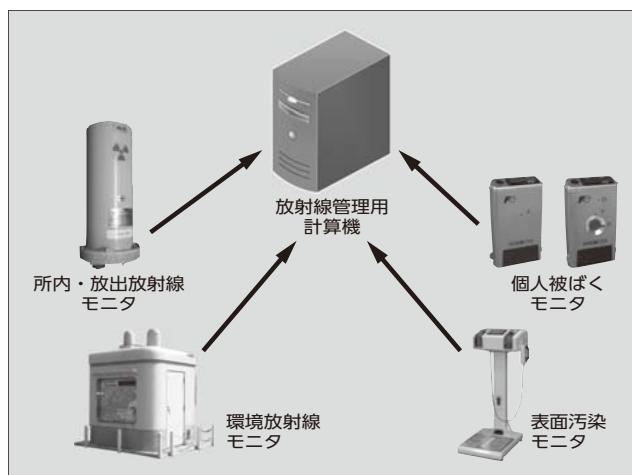


図1 放射線管理システムの概念図

く線量計やホールボディカウンタが挙げられる。

(2) 表面汚染モニタ

表面汚染モニタは、作業員や物品に対する放射性物質による汚染の有無を測定するモニタである。原子力施設には、放射線被ばくを適正に管理する放射線管理区域と呼ばれる区域があり、作業員がこの区域から退域するときや物品を持ち出す際に表面汚染の有無を測定している。代表的なモニタに体表面モニタやサーベイメータが挙げられる。

(3) 環境放射線モニタ

環境放射線モニタは、主に原子力施設周辺における空間線量を測定するためのモニタである。代表的なモニタにリアルタイム線量率計やモニタリングポストが挙げられる。

(4) 所内・放出放射線モニタ

所内・放出放射線モニタは、原子力施設内の空間放射線量や施設から放出される放射性物質の濃度を測定するモニタである。代表的なモニタにエリアモニタ、ガスモニタ、ダストモニタが挙げられる。

近年では、原子力関連施設の境界や周辺における放射線モニタリングのニーズが増えてきており、**3章**以降では、最新の環境放射線モニタとそれを監視するための環境放射線監視テレメータシステムのソフトウェアプラットフォームについて述べる。また、原発再稼働に向けて強化が進む所内・放出放射線モニタについても述べる。

3 環境放射線モニタ

3.1 モニタリングポスト

(1) 概要

モニタリングポストは、環境中の空間線量を測定するモニタである。モニタリングポストの外観を図2に示す。モニタリングポストは、検出器と計測部、外部筐体（きょうたい）から構成されている。モニタリングポストの設置環境はさまざまであるが、富士電機のモニタリングポストは、放射線計測部と演算部が一体化したタイプと分離したタイプがあり、顧客の要求に柔軟に対応できる。検出器には、NaI（よう化ナトリウム）シンチレーション検出器を採用している。NaI シンチレーション検出器は、NaI シンチレータと光電子増倍管で構成されており、放射線が検出器に入射するとシンチレータ内部の電子が励起し、励起され

た電子が基底状態に戻るときに発光する。この光を光電子増倍管で増幅させ電気信号として検出することで放射線を測定している。計測部で処理された測定値は、原子力施設や中央省庁および各自治体が管理する放射線管理システムに伝送され、遠隔で監視される。モニタリングポストの仕様を表1に示す。

(2) 特徴

(a) エネルギー補償と温度補償機能

NaI シンチレーション検出器の測定結果は、 γ 線のエネルギーや周囲温度に依存するが、G (E) 関数加重演算方式⁽¹⁾により測定結果を補正している。温度依存に対しては、検出器内部に温度計を設置し、温度変化による出力の変化を補償している。これによりエネルギー特性を $\pm 10\%$ 以内（100 keV ～ 3MeV、137Cs 基準）、温度特性を $\pm 5\%$ 以内（ $-10 \sim +45^{\circ}\text{C}$ ）としている。

(b) ゲイン変化に対する自動補正機能

NaI シンチレーション検出器を長期間使用すると構成部品の長期ドリフトによりゲインが変化し、測定結果に誤差が出る可能性がある。この問題に対して、富士電機の検出器は、自然環境中に存在する 40 K のピークチャンネルを基準チャンネルとして、自動でゲインを補正できるようにしている。

(c) 検出器および計測部の一体化

従来のモニタリングポストでは、検出器と計測部が別々であったが、今回のモニタリングポストでは、検出器内部に計測部の機能を内蔵し、小型化を実現している。NaI シンチレーション検出器を図3に示す。従来の計測部に実装していたマルチチャンネル波高分析機能は、継続して実装しており、 γ 線のエネルギー解析ニーズに対応している。関連規格〔環境 γ 線連続モニタ：JIS Z 4325（2019）〕および放射能測定法シリーズ No.17 にも準拠している。

(d) 伝送機能の多様化

モニタリングポストは、災害発生時にその役割がより重要になることから、伝送機能の多様化に対応していることが重要となる。伝送機能の多様化への要求は、東日

表1 モニタリングポストの仕様

項目	内容
測定線種	空間 γ 線
検出器	温度補償型 2" $\phi \times 2$ " NaI (TI) シンチレーション検出器
測定範囲	BGLレベル～100 $\mu\text{Gy/h}$
エネルギー範囲	50 keV ～ 3 MeV
線量率特性	$\pm 10\%$ (Cs-137基準)
エネルギー特性	50 ～ 100 keVにおいては $\pm 20\%$ 以内 100 keV ～ 3 MeVにおいては $\pm 10\%$ (Cs-137基準)
エネルギー分解能	10%以下 (Cs-137フォトピークの出力波高値に対して)
検出器温度特性	$-10 \sim +45^{\circ}\text{C}$ に対して $\pm 5\%$ 以内
電源	AC 100 V $\pm 10\%$ 、50/60 Hz

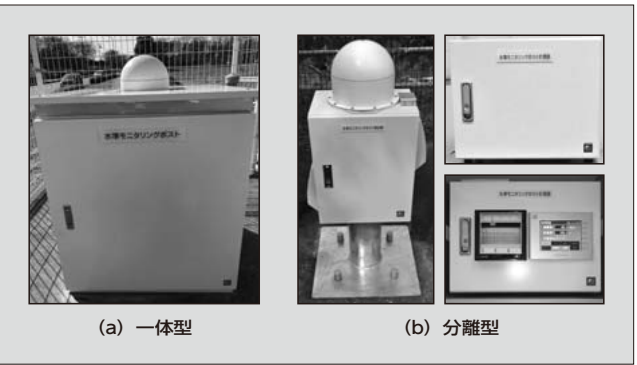


図2 モニタリングポスト



図3 NaIシンチレーション検出器

本大震災以降、増加傾向にあり、富士電機では引き続き対応している。モニタリングポストでは、有線回線や携帯電話網に加えて、衛星通信網への対応を可能としており、一般回線の輻輳（ふくそう）や遮断発生時においても継続監視を可能としている。

3.2 リアルタイム線量率計

(1) 概要

モニタリングポストが、施設起因の環境放射線量の変動の測定を主な目的として原子力施設周辺に設置されるのに対し、リアルタイム線量率計は、主に学校や公園、役所などに設置され、住民に安全と安心を提供する役割を担っている。リアルタイム線量率計を図4に示す。

本装置は、放射線検出器、計測部、伝送部、ソーラーパネル、バッテリーおよび線量表示器で構成されており、環境放射線の測定、通信、線量率表示機能を持っている。電源は、商用電源からの供給に加え、ソーラーパネルと内蔵バッテリーからの供給も可能であり、停電時も連続して測定することができる。リアルタイム線量率計の仕様を表2に示す。

(2) 特徴

- (a) 半導体検出器の検出性能の改善と安定性強化
リアルタイム線量率計には、新たに開発した半導体検出器⁽²⁾を搭載している。この半導体検出器は、従来品から



図4 リアルタイム線量率計

表2 リアルタイム線量率計の仕様

項目	内容
測定線種	空間γ線
検出器	半導体検出器
測定範囲	BG レベル～99.99 μSv/h
エネルギー範囲	50 keV～3 MeV
相対基準誤差	±20% (60 keV～1.25 MeV Cs-137基準)
エネルギー特性	±25% (60 keV～1.25 MeV Cs-137基準)
動作環境	全天候型、FANレス
電源	AC 100 V±10%、50/60 Hz

検出面を拡大すると共に検出面の配置も最適化することで、測定精度の向上を実現している。また、電磁シールドを強化し、耐ノイズ性も向上することで、さまざまな電磁波からの影響を低減し、測定の安定性に寄与している。

(b) 耐環境性の向上

放射線検出器、計測部、伝送部は、強化プラスチック製の筐体に収納されているが、荒天時に雨水や湿気の浸入により電子機器への悪影響が懸念されていた。そこで、筐体に内蔵するこれらの電気部品、電子機器を機能ごとに防湿防水処理の施された小型ボックスに収納することで、湿気から保護し、故障率低減と長寿命化を図っている。

4 環境放射線監視テレメータシステムの新ソフトウェアプラットフォーム

(1) 概要

原子力施設から放出された放射線や放射性物質は、モニタリングポストを代表とする放射線モニタにより24時間365日測定が行われており、これらのモニタで測定されたデータは、原子力施設や中央省庁および各自治体が管理する環境放射線監視テレメータシステムにより収集され、監視業務に活用されている。原子力施設の近隣住民に対しては、役所などに設置された大型ディスプレイでリアルタイムに表示することに加えて、インターネットを介して広く公開されている。富士電機は、放射線モニタの開発・製造だけでなく、このようなシステムの納入にも深く関わってきた。本システムでは、昨今の顧客要求の多様化に応じるために、クラウド化やインターフェース標準化に対応した新たなソフトウェアプラットフォームを開発した。

(2) 特徴

- (a) システムのクラウド化
従来のシステムは、顧客自身がサーバなどのインフラ設備を保有・管理するオンプレミスが主体であったが、BCP（事業継続計画：Business Continuity Plan）やシステム規模拡張性の観点から、近年、クラウドシステムの導入計画が増加している。新ソフトウェアプラットフォームでは、今後主流となることが想定されるホスティングクラウドに適合するよう、オープンソースのデータベースやミドルウェアを採用し、初期導入費およ

び維持費の抑制を実現した。

(b) 多様な監視方法の提供

システム画面は、地域の放射線量を管理する担当者が測定データを監視するために使用する画面である。従来のシステムでは Internet Explorer^{〔注 1〕} を標準ブラウザとして設定しており、また、画面構成もシングルウィンドウで不便であった。新プラットフォームは、HTML Living Standard^{〔注 2〕} ベースで開発することで、Microsoft Edge^{〔注 3〕} や Google Chrome^{〔注 4〕} などの現在主流であるブラウザへの対応に加え、スマートフォンやタブレットでの表示も可能とした。また、操作画面をマルチウィンドウ対応とし、監視業務の効率を改善した。図 5 に新プラットフォームにおける JavaScript を使った画面表示を示す。フロントエンドのブラウザ画面開発においては、従来、JSP/Java Applet^{〔注 5〕} を採用していたが、新ソフトウェアプラットフォームでは JavaScript を採用することで、動画やグラフィックなど、多彩な表現が可能な HTML Living Standard をベースとしたブラウザを採用することができる（図 6）。

(c) システムの高拡張性

環境放射線監視テレメータシステムの更新において、セキュリティ強化や操作性の改善、機能拡張や改造を求められることがあるが、運用の連続性の観点から既設システムの資源流用を求められることが多く、容易に拡張できない点が問題であった。新ソフトウェアプラットフォームでは、プロセス間のインタフェースに JSON

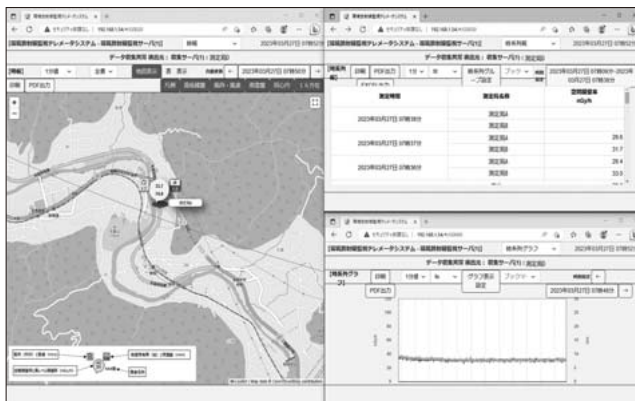


図 5 新プラットフォームにおける JavaScript を使った多彩な画面表現

〔注 1〕 Internet Explorer : Microsoft Corporation の商標または登録商標

〔注 2〕 Microsoft Edge : Microsoft Corporation の米国およびその他の国における商標または登録商標

〔注 3〕 Google Chrome : Google LLC の商標または登録商標

〔注 4〕 JavaScript : Oracle Corporation およびその子会社、関連会社の米国およびその他の国における商標または登録商標

〔注 5〕 Java : Oracle Corporation およびその子会社、関連会社の米国およびその他の国における商標または登録商標

(JavaScript Object Notation) を採用し、プロセス間の通信を統一することで、顧客ニーズに合わせた拡張機能の選択が容易となった。また、JSON は多くのプログラミング言語に適合するためのライブラリが提供されており、既設資源、機能の踏襲が必要なシステムにも柔軟に対応することができる。

5 α線ダストモニタ

(1) 概要

原子力発電所では、ウランの核分裂により発生したエネルギーを用いて発電を行っているが、核分裂の過程では人工放射線核種であるプルトニウムが生成される。使用済核燃料には、燃料として再利用できるウランやプルトニウムが残っており、この燃料を再処理してウランとプルトニウムを抽出し混合したものが MOX（混合酸化物：Mixed Oxide）燃料と呼ばれている。

エネルギー資源の乏しいわが国は、この MOX 燃料を通常の原子力発電所で利用するプルサーマルの実現に向けて取り組んでいる。プルトニウムを安全かつ有効に利用するためには、プルトニウムから放出される α 線の測定強化が重要であり、富士電機はより精度よく測定する α 線ダストモニタを開発した。図 6 にダストモニタ構成図と α 線ダストモニタを示す。α 線ダストモニタは、サンプリングした空気中の粉じんを集じん器にセットしたろ紙に吸着させ、α 線を測定する。

(2) 特徴

(a) ノイズ低減

従来のダストモニタは、放射線検出器から測定したパルス信号を別に設置される計測部に送信していたが、この方法だとパルス信号にノイズが混入する可能性があった。α 線ダストモニタは、検出器と計測部を一体化し、伝送路におけるノイズ混入を低減した。計測部以降は、デジタル伝送方式を採用し、ノイズ影響を軽減している。

(b) 高分解能化

検出器は集じん器にセットしたろ紙の上部に配置し、α 線を測定しているが、α 線はろ紙の吸着面からさまざまな角度に放出され、検出器の入射までの飛程距離が異

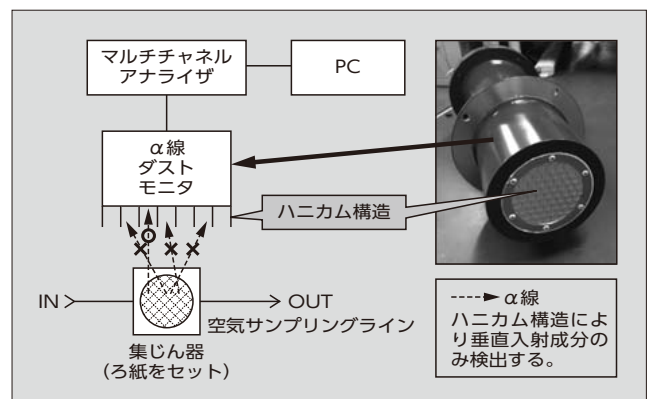


図 6 ダストモニタ構成図と α 線ダストモニタ

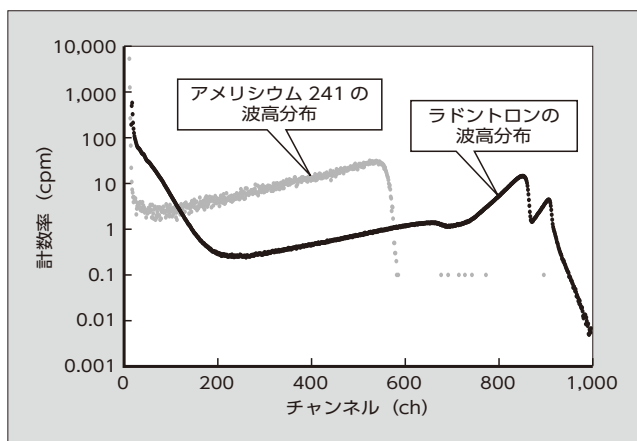


図7 アメリシウム 241 とラドン、トロンの測定結果

なるため、測定エネルギーにばらつきが生じてしまう。これは分解能が低くなることを意味し、天然に存在する自然放射性核種であるラドン、トロンとの弁別が難しくなる。そこで新しい検出器では、 α 線入射部をハニカム構造とすることで、ろ紙から斜めに入射する α 線を遮断し、垂直に入射する α 線のみを検出できるようにしている（図6）。これにより検出器に入射する α 線の飛程はほぼ同じとなるため、測定エネルギーのばらつきが減り、高い分解能を実現した。図7は、 α 線放出核種であるアメリシウム 241（ ^{241}Am ）と天然放射性核種であるラドン（Rn）、トロン（ ^{220}Rn ）の測定結果である。天然放射性核種であるラドン、トロンと区別してアメリシウム 241 を測定できていることが分かる。

6 あとがき

安全・安心に貢献する放射線管理ソリューションについて

て述べた。脱炭素社会の実現とエネルギーの安定供給には、原子力エネルギーの活用が必要である。富士電機は、放射線検出器からシステムまで一括して提供できる総合放射線計測機器メーカーとして、原子力施設の安全稼働に貢献するために、今後も絶えず技術革新を推進していく所存である。

参考文献

- (1) 堤正博ほか. 実効線量当量単位に対応したNaI (TI) シンチレーション検出器のG (E) 関数 (スペクトル-線量変換演算子) の決定. JAERI-M.1991, p.91-204, <https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?2075510>, (参照 2023-01-27)
- (2) 前川修ほか. 安全・安心に貢献する放射線管理サービスソリューション. 富士電機技報. 2020, vol.93, no.1, p.66-71.



前川 修

原子力関連施設の放射線計測システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレインダストリー事業本部社会ソリューション事業部放射線統括センター副センター長。



阿部 洋平

原子力関連施設の放射線計測システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレインダストリー事業本部社会ソリューション事業部放射線統括センター放射線システム部課長補佐。工学博士。



保守、点検の効率化と予知保全の実現に貢献する スマート保安サービス

Comprehensive Service for Smart Industrial Safety, Which Improves Maintenance and Inspection Efficiency and Delivers Predictive Maintenance

須長 祐悟 SUNAGA, Yugo

福島 宗次 FUKUSHIMA, Soji

受配電設備をはじめとする産業・エネルギー関連インフラでは、設備の経年劣化が進むとともに、保守、保全に当たる人材の高齢化と長期的な人材不足、技術・技能伝承力の低下などへの対応が喫緊の課題であり、スマート化による保守、点検の効率化と予知保全の実現が求められている。富士電機は、これらの設備から種々の情報を収集・分析することにより、保全計画立案、設備監視、保全管理策の提案まで、設備保全の最適化を実現する「まるごとスマート保安サービス」を展開し、設備の稼働状態と傾向監視、回転機振動監視など、新機能を取り込みながら適用拡大を図っている。

Utilities of industry and energy infrastructures such as power distribution equipment are faced with urgent challenges to overcome issues of aged deterioration of equipment, long-term shortages and aging of workers for repair and maintenance, and capability degradation to pass down technologies and skills. Demand is thus increasing for smart maintenance, improved inspection efficiency, and predictive maintenance. Fuji Electric offers “Comprehensive Service for Smart Industrial Safety,” in which we collect and analyze a variety of information from the equipment to plan maintenance planning, monitor equipment, and suggest maintenance management measures, optimizing equipment maintenance. We are expanding the application of these services by adding new services, such as equipment operating condition and trend monitoring and rotating machine vibration monitoring.

① まえがき

産業・エネルギー関連インフラでは、設備の経年劣化が進むとともに、保守、保全に当たる人材の高齢化とそれに伴う長期的な人材不足、技術・技能伝承力の低下が急速に進んでいる。さらには、災害の激甚化やテロリスク、新技術によるデジタル社会の進展など、さまざまな変化に対応することが、インフラを健全な状態に保守していく上で求められている。

これらの課題に対応するため、官民のトップによる“スマート保安官民協議会”が2020年6月26日に経済産業省に設置され、電気保安分野についてもスマート保安アクションプランが提言された。富士電機をはじめ、電機設備を納入する業者と、設備を運用するお客さまはこのアクションプランに従いスマート保安技術の普及・拡大の取組みを推進し、IoT（Internet of Things）、AI（Artificial Intelligence）、ウェアラブルデバイス、ドローンなどのさまざまな新技術を保安サービス現場に導入することで、保安力の維持向上と生産性の向上を両立させ、電気保安のスマート化を行うことが求められている。本稿では、富士電機の「まるごとスマート保安サービス」を用いた、保守、点検の効率化と予知保全の実現に貢献するスマート保安サービスについて述べる。

② 富士電機が提供するサービス⁽¹⁾

DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）を適用した富士電機のスマート化統合サービスソリューションの全体像を図1に示す。

経済産業省ではDXを“企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社

会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること”と定義している。

④章で詳細に述べるまるごとスマート保安サービスは、これまで人が行ってきた巡視点検作業などの保全業務をデジタル技術で置き換えて効率化することを目的としている。一方で、それら保全業務にはデジタル技術やツールでは置き換えられない人の五感や直感を要する作業も多く含まれている。そのためデジタル技術を適用し、人の作業、教育を支援して効率化することにも継続して取り組んでいく必要がある。

富士電機は、この両面においてデジタル技術を適用したサービスソリューションを統合し、“スマート化統合サービス”としてさらなる保守保全のスマート化、効率化、最適化を実現する。

③ 設備保全の課題⁽²⁾

受配電設備をはじめとする産業インフラや、生産設備を持つ工場などでは、設備の安定稼働と、これを維持するための保全費の削減が代表的な課題である。これまでは、人手により定期的な点検、保全業務を行うTBM（時間基準保全：Time Based Maintenance）により安定稼働を維持できるよう設備を管理してきた。これに対し、設備のさまざまな情報を収集して、設備状態を把握分析し、その状態に応じて保守保全を行うことにより、点検業務の最適化をはじめ、効率化や、保全に求められる人員不足への対応、さらに状態情報を分析することによる予知保全などが期待できるCBM（状態基準保全：Condition Based Maintenance）の実現が求められている。そのためには、

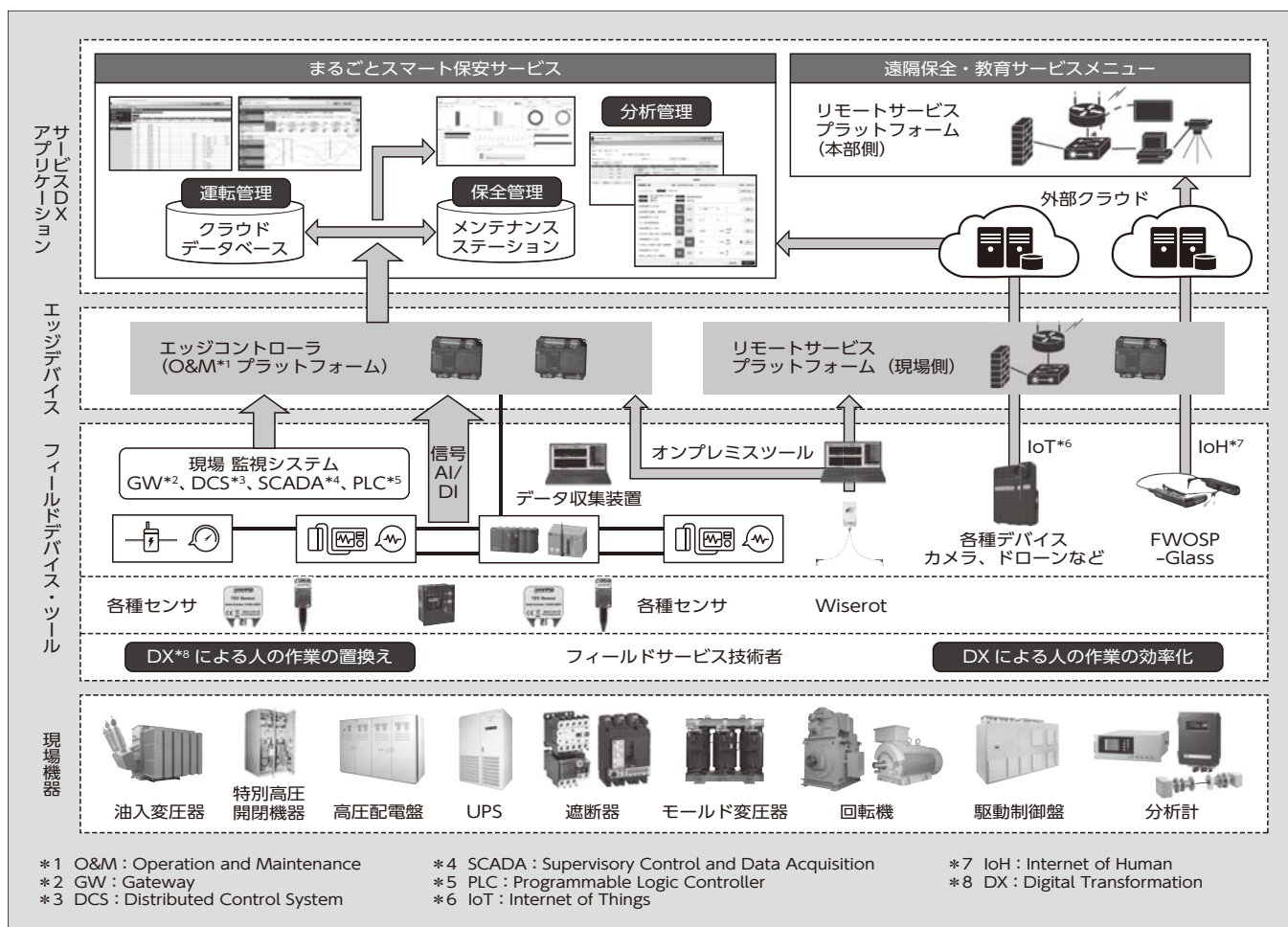


図1 スマート化統合サービスソリューションの全体像

これまで人手により実現してきた保全業務に、IoT やデジタル技術を適用し、情報の収集、記録、管理を自動化していくとともに、収集したデータを統合的に分析するソフトウェアを適用するなど、“スマート保安”を推進していく必要がある。

④ 富士電機の「まるごとスマート保安サービス」

富士電機は、受配電設備を対象に IoT や AI を活用し、保全計画立案から設備の監視や保安全管理策の提案に至るまで、設備保全の最適化を実現するまるごとスマート保安サービスの提供を 2022 年度から開始した。

4.1 「まるごとスマート保安サービス」の概要⁽³⁾

まるごとスマート保安サービスの概要を図2に示す。まるごとスマート保安サービスは、ISO 18435 (O&M 統合モデル) に準拠した O&M (Operation and Maintenance) サービスアプリケーションにより構成される。^(注1) Azure ベースのクラウドシステムを中心として顧客の現場と管理者、富士電機で設備情報を共有し、スマー

〈注1〉 Azure : Microsoft Corporation の商標または登録商標

ト保安システムを構築する。

クラウドシステムを活用することで、図2に示すように現場担当者、管理者、富士電機が現場から離れた場所からでも保全に関する情報を共有し、活用することができ、クラウド上のサービスアプリケーションを使用することで、ソフトウェアの更新、管理など煩雑な業務は不要となる。

また、収集するデータは、現場機器の稼働情報、センサやメータなどからの計測データ、保全記録、点検記録、帳票など多岐にわたる。10 年以上の長期にわたって蓄積するデータサーバを現場で構築、設置して維持管理することは費用が掛かり、かつ困難である上、データセキュリティ上のリスクも全て現場側が負わなければならない。クラウドシステムを利用すれば、常に最新のセキュリティ技術を適用しながら長期にわたりデータを維持管理することができる。

4.2 「まるごとスマート保安サービス」の機能

図3にまるごとスマート保安サービスの機能構成を示す。まるごとスマート保安サービスは、次の三つの機能により構成される。

(1) 運転管理機能

対象設備から収集するオンライン系情報を管理する機能である。

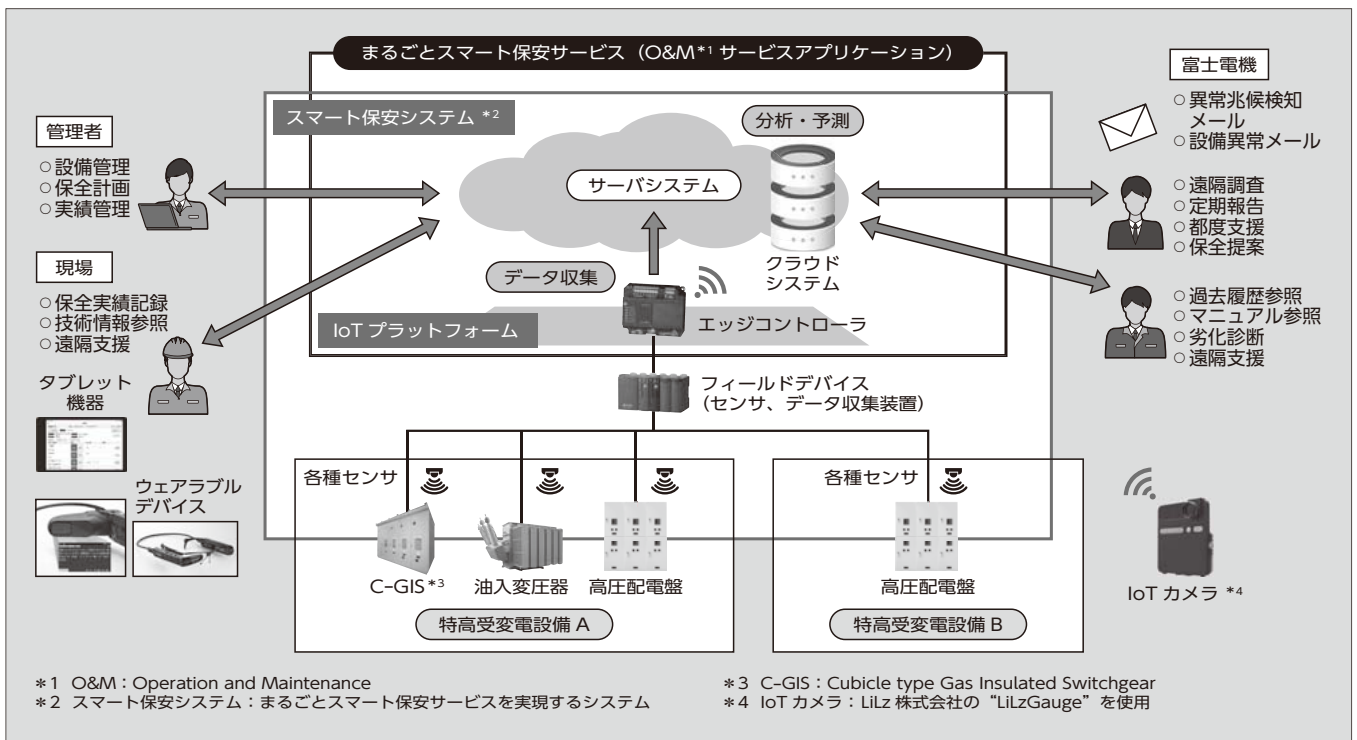


図2 「まるごとスマート保安サービス」の概要

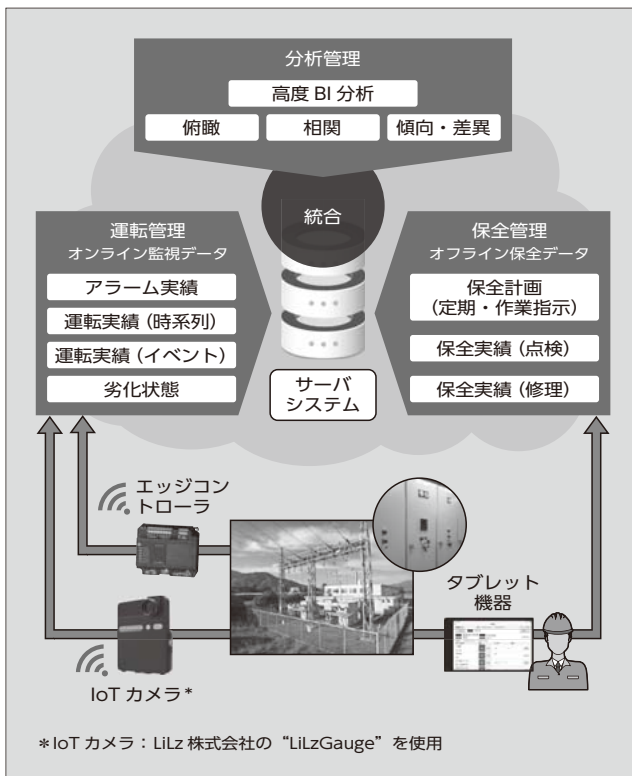


図3 「まるごとスマート保安サービス」の機能構成

(2) 保安全管理機能

主に人による保全作業情報に係る、作業計画、作業指示、作業結果、保全実績などのオフライン系情報を管理する機能である。

(3) 分析管理機能

各種データを統合し、「個別分析」と「高度 BI 分析」

を行う機能である。BI (Business Intelligence) 分析とは、企業が持つさまざまなデータを、分析・見える化して、経営や業務に役立てることを指す。

これらの機能により、設備の稼働情報、故障情報、劣化状態などオンライン系の情報と保全業務、点検記録などの保守作業のオフライン系の情報を、システムとして統合的に収集、データベース化し、それらを多角的に分析する。これにより、これまでできていなかった運転情報、稼働情報と劣化診断情報のトレンド表示による傾向監視、デジタルツールの活用による保全の効率化、点検前後の設備状態と点検結果との照合などが可能となる。さらには、把握した詳細な情報から定期点検の周期を変更して保守コストを低減することや、データ分析により故障予兆を把握して適切な保守を施すことにより設備の安定稼働が実現できるようになる。

4.3 「まるごとスマート保安サービス」が目指す保全業務のスマート化

図4に保全業務におけるスマート化のレベルを示す。まるごとスマート保安サービスは、図に示すように現場の課題とスマート化のレベルを区分し、顧客の保全業務状況に合わせて徐々に提供するサービスレベルを上げていくことができる。

(1) LEVEL1 (見える化)

見える化では、IoT 機器の導入、作業記録のデジタル化、遠隔作業支援などを適用し、保全現場情報のデジタル化を促進する。設備稼働状態の遠隔監視や IoT カメラによる監視などでデジタル画像により可視化し、機器の劣化監視情報や点検記録のデジタル化で作業結果や設備保全状態を

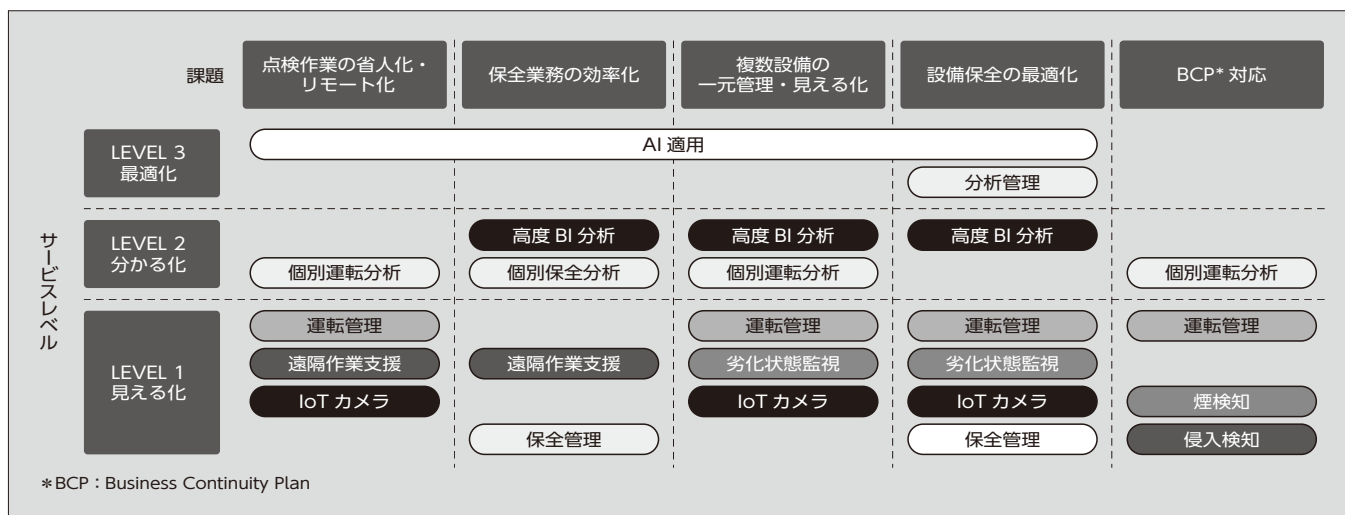


図4 保全業務におけるスマート化のレベル

見える化する、などが挙げられる。火災予知、侵入検知などの防災やセキュリティも含まれる。

(2) LEVEL2（分かる化）

分かる化では、稼働情報と保全情報の各種データの傾向・差異などを個別分析し、また、多様なデータの俯瞰（ふかん）・相関など多面的な高度分析を行う BI ツールにより課題や改善点を把握し、分析・診断結果に基づく点検、保守、更新を行うことにつなげていく。

(3) LEVEL3（最適化）

最適化の段階では、個別課題に適した AI エンジンを採用するなどして自動判断・診断精度向上・予兆検知などで最適化を実現し、多角的な視点からの設備状態、保全ニーズの分析、解析、コンサルティングなどの統合的なサービス改善を提供することを目指す。この段階はまだ技術的進歩が必要とされる将来的な部分であり、そこに到達するためにはまず見える化、分かる化に顧客と協力してしっかり取り組んでいかなければならない。まるとスマート保安サービスは、富士電機が顧客に寄り添ってスマート化を進めていく共創型の“保全・保安業務向け DX ソリューション”である。

5 適用事例

まるとスマート保安サービスの適用事例として、富士電機の山梨工場における取組みについて述べる。山梨工場は半導体製造工場であり、受変電設備以外にも、特に重要な付帯設備についてもスマート化を進めている。

5.1 特高受変電設備の稼働状態の見える化

図5に特高受変電設備の稼働状態と傾向監視の事例を示す。設備の稼働状態をデータ化し、長期間にわたり傾向監視を行うことで設備の稼働状態やその健全性をビジュアルに把握することができる。

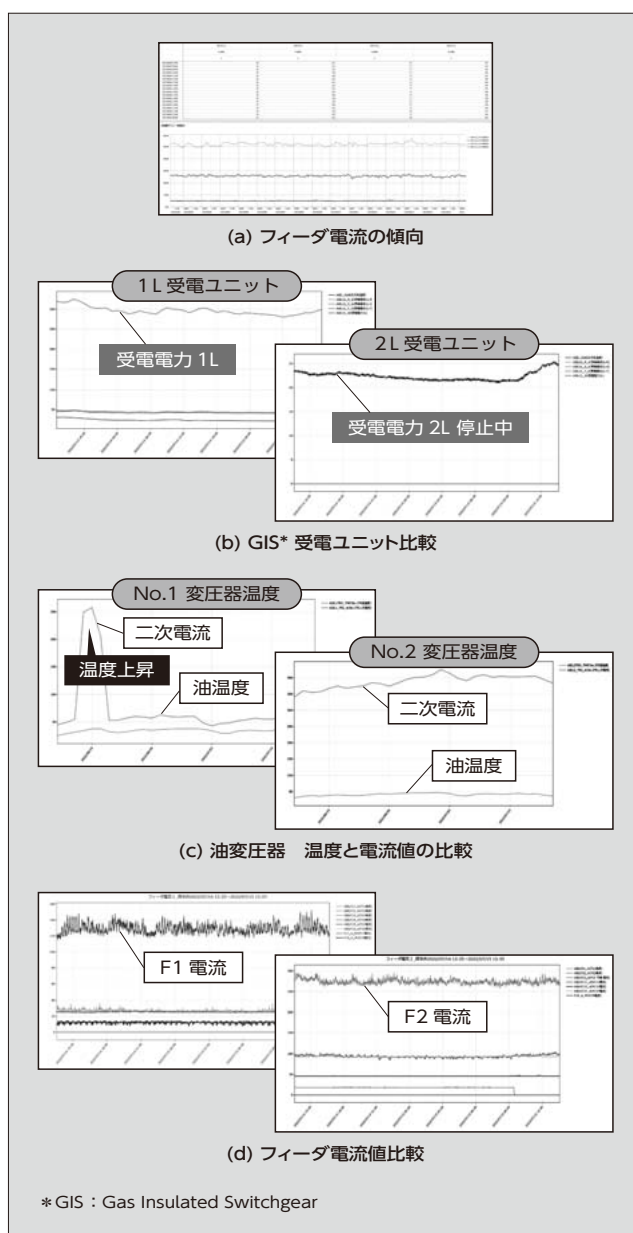


図5 特高受変電設備の稼働状態と傾向監視の事例

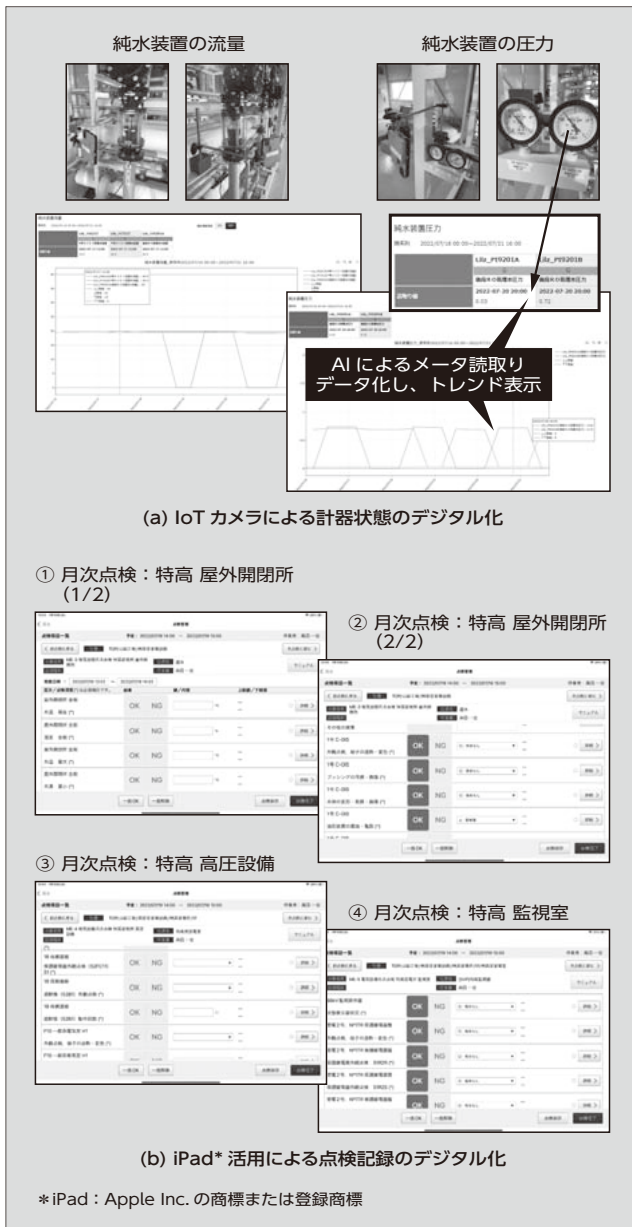


図6 保全業務の見える化の事例



図7 BI ツールの適用例

5.2 保全業務の見える化の事例

図6に保全業務の見える化の事例を示す。保全業務においては、従来巡視点検で人が目視により確認し、紙などに記録していた各種計器、メータの値をAI適用したIoTカメラを使用して自動で読み取って認識し、デジタルデータとして記録している。また、同様にこれまで紙で記録していた点検記録も、iPadなどのタブレット機器を活用して記録のデジタル化、効率化を進めている。

5.3 稼働監視と保安全管理データの統合・高度BI分析

図7にBIツールの適用例を示す。点検計画、点検実績記録などの保安全管理データと稼働監視データを統合して点検業務の効率分析を試行した例である。点検時間の差異や計画と実績の比較に加え、各点検前後の設備の稼働状態を確認することで、点検作業員の習熟度や点検順序の最適化などのフィードバックに使用できる。BIツールは、さまざまな情報の相関性、傾向を多角的に分析することができるが、それらの情報および分析結果は対象設備および保全員に固有のものとなることが多い。富士電機は、まるとスマート保安サービスを導入して設備を運営管理する顧客と協力して、情報を共有することによって価値化し、保守

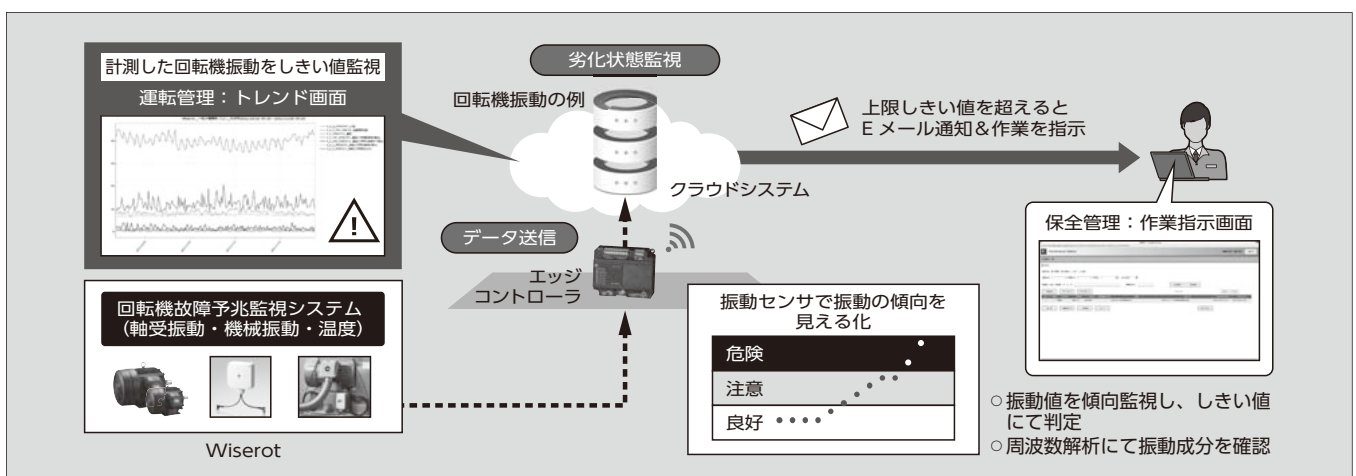


図8 回転機振動監視の例

〈注2〉 iPad: Apple Inc.の商標または登録商標

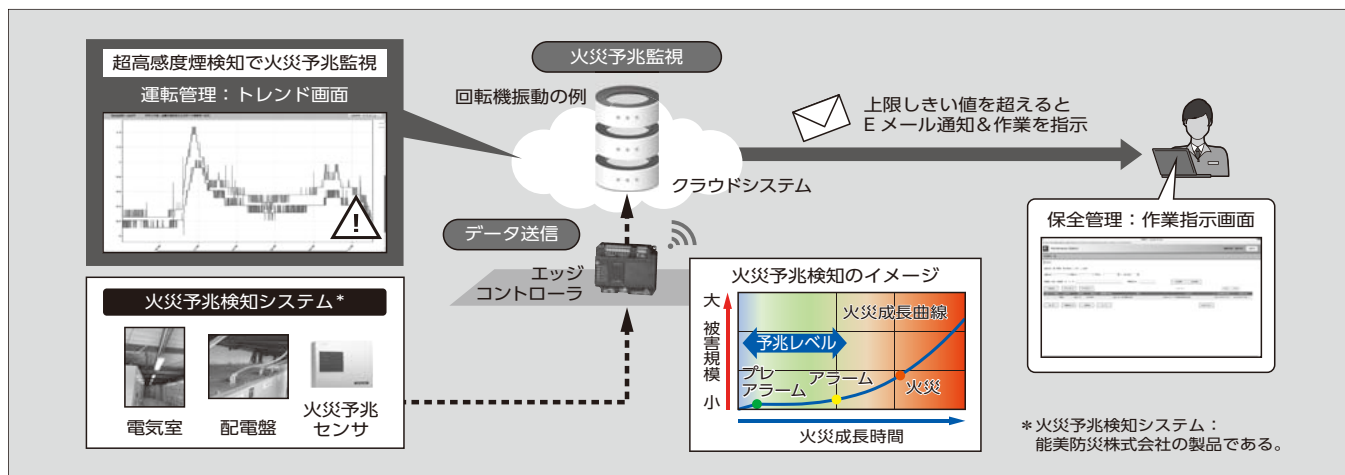


図9 火災予兆監視の例

保全の改善と効率化につなげていく。

5.4 回転機設備の振動監視

回転機振動監視の例を図8に示す。生産設備において多用される回転機は、発電機やポンプ、コンプレッサなどがあり、故障停止すると生産計画に大きな影響を及ぼす。まるごとスマート保安サービスでは回転機故障予兆監視システム「Wiserot」を組み込んだ振動監視による予知保全を提供している。無線式の振動センサからの情報を独自のアルゴリズムで解析し、ベアリング軸受の故障を検知し、適切な保守、保全を提案する。

5.5 電気室の火災予兆監視

図9に火災予兆監視の例を示す。

まるごとスマート保安サービスでは、電気室や配電盤で事例が多くみられる火災事故の予兆を監視する機能を提供している。火災発生の前兆となる煙の発生を微小な段階から把握することが可能な能美防災株式会社の火災予兆検知システムと連携し、まるごとスマート保安サービスのクラウド監視により火災の予兆を早期に把握し、現場でのアラーム通知だけでなくメール通知により速やかで幅広い対応を行うことが可能である。

⑥ あとがき

保守、点検の効率化と予知保全の実現に貢献するスマート保安サービスについて述べた。「まるごとスマート保安サービス」は、今後も劣化診断機能の拡充、さまざまなIoT機器やデジタル技術の取込みを積極的に行い、保安業

務の対象領域を広げていくとともに、使いやすく状況をより把握しやすいユーザインタフェースの改善に努めていく。また、蓄積したデータによって得られる高度分析技術の知見を強化し、自社工場での実証設備による検証と効果の抽出の実績を積み重ねるとともに、お客さまとも協力してさらなる価値化の実現に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 山田隆雄ほか. 富士電機IoTプラットフォームの全体像. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.3, p.157-160.
- (2) 福島宗次. 設備保全の最適化を支援する「設備管理まるごとサービス」. 富士電機技報. 2019, vol.92, no.3, p.161-165.
- (3) 保川幸雄ほか. IoTから始まる新しい価値創出ソリューションの現状と展望. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.3, p.124-129.



須長 祐悟

サービス DX の拡大に向けた事業企画、商材企画、開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部フィールドサービス統括部事業企画部主席。



福島 宗次

電機・計測制御システムのフィールドサービス業務、技術管理業務、サービス企画業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部フィールドサービス統括部事業企画部主席。電気学会会員。

1,700 V / 75 ~ 200 A 4 in 1 モジュール

4-in-1 Modules with Ratings of 1,700 V / 75~200 A

堀江 峻太* HORIE, Shunta

小平 悦宏* KODAIRA, Yoshihiro

郑 茂* Zheng, Mao

交流から直流、あるいは直流から交流など、電気エネルギーを変換する電力変換装置では、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュールを中心としたパワーモジュールがキーデバイスとして広く用いられている。IGBT モジュールでは、高性能・高信頼性だけでなく、装置設計の簡便化および小型化への対応も要求されている。さらに、用途ごとに実用化されているさまざまな回路方式に適した特性を持つことも必要とされている。

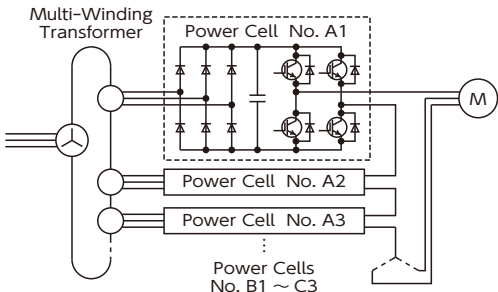
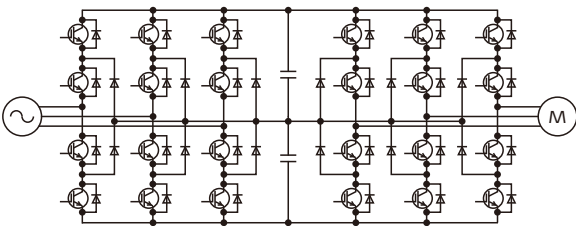
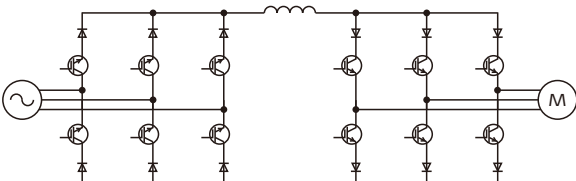
本稿では、高圧インバータの回路構成に最適となるように、新たに開発した 1,700 V / 75 ~ 200 A 4 in 1 モジュールについて述べる。

1 特徴

高圧インバータは、690 V 以上の高い入力電圧に対して出力電圧と周波数を制御する電力変換装置であり、金属加工、化学工場、天然ガスや化石燃料の採掘など、さまざまな分野で使用されている。表 1 に高圧インバータの回路方式を示す。このうち、ユニット直列多段式は、構成が簡素で、かつ保守が容易であるなどの特徴から、中国市場を中心として全世界で 60% 近いシェアを占め、今後も高圧インバータの主流となることが見込まれている。

従来のユニット直列多段式高圧インバータは、2 in 1 モジュール 2 台とコンバータダイオードモジュール 1 台を組み合わせていた。これに対して、今回開発した 1,700 V

表 1 高圧インバータの回路方式

	回路例	特徴	適用モジュール	市場に占める割合と主に使われる地域
ユニット直列多段式		○ シンプルなトポロジ ○ メンテナンスが容易 ○ 直列数によって出力調整が可能 ○ 入力用のトランスが必要（高コスト）	1,700 V / 75 ~ 1,200 A 2 in 1 モジュール	60% 世界各地（中国ほか）
3レベル式		○ トランス不要 ○ トポロジが複雑	3.3 kV / 800 ~ 1,500 A 4.5 kV / 400 A ~ 1,500 A HPM	30% 欧州およびアメリカ
電流源式		○ 逆阻止ダイオード要（高損失）	6.5 kV / 400 A ~ 1,500 A Press Pack（GCT）	10% 欧州およびアメリカ

* 富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部

* 富士電機（深圳）有限公司パワー半導体開発部

4 in 1 モジュールは、図1と図2に示すように、1パッケージに三相整流回路、Hブリッジ回路とサーミスタを内蔵することにより、入力整流回路と出力インバータ回路を最適化している。このモジュール1台と受動部品のみでインバータユニットを構成できるため、ユニットの多段化を容易に行うことができる。また、1パッケージ化により、モジュールのフットプリントを従来の構成に比べ54%低減している。

今回開発した1,700 V 4 in 1 モジュールは、表2に示すように75～200 Aまでを同一パッケージでラインアップしている。

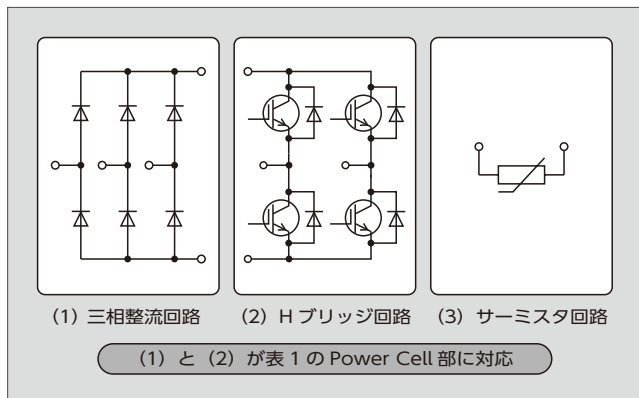


図1 等価回路

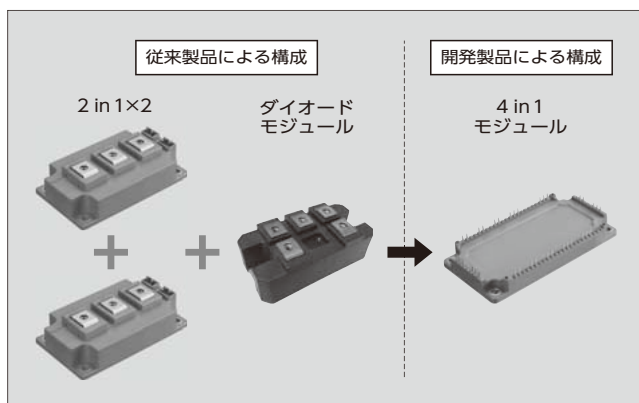


図2 高圧インバータモジュール構成比較

表2 1,700 V 4 in 1 モジュールラインアップ

定格電圧 (V)	定格電流 (A)			
	75	100	150	200
1,700				

(単位: mm)

製品外観 EconoPIM™*

62 122

*EconoPIM™: Infineon Technologies AG の商標または商標登録

2 適用技術

2.1 レイアウト最適化による熱集中の低減

①章で述べたように、従来に比べフットプリントを54%低減しているため、モジュールの熱密度が増大する。そのため、隣接するチップ同士の熱干渉によるチップ温度の上昇を抑えることが開発する上での技術課題であった。

開発製品の半導体素子には、インバータ動作時の電力損失を低減した第7世代 FWD (Free Wheeling Diode) を採用したことで、モジュールの温度上昇を抑え、従来は2 in 1 パッケージ2台で構成していたが、1パッケージに4 in 1 回路を搭載することを可能にした。

温度上昇を抑制するため、チップの配置を最適化し、チップ間の熱干渉の影響を抑えるレイアウトとした。図3に有限要素法による温度解析結果を示す。最も厳しい条件として搭載した全チップが同時に発熱した場合では、IGBT チップの最高温度は142.6℃となることが判明した。このモジュールの最高温度は、各チップの最高温度の平均値である136℃と比べると、その差は5%以内と小さかった。この結果より、発熱密度が増大しても一つのチップが過剰に温度上昇することがないことを確認した。

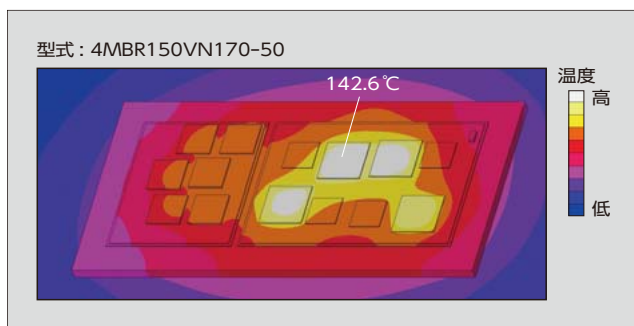
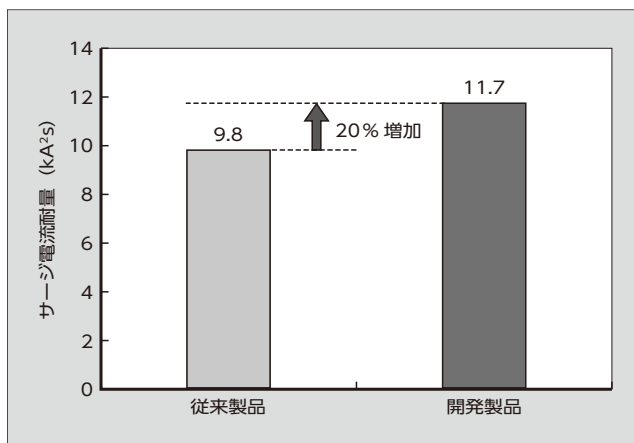


図3 有限要素法による温度解析結果（全相発熱）

図4 サージ電流耐量の比較結果 ($T_{vj}=150^{\circ}\text{C}$)

2.2 2,200 V コンバータダイオードによる高信頼性化

高圧インバータが電源の不安定な地域で使用されることを想定すると、外来サージ電圧に耐えられるように過電圧耐量を向上させることと、瞬時電圧低下からの復帰時に発生する入力サージ電流に耐えられるように入力サージ電流耐量を向上させる必要がある。そこで、モジュール耐圧の 1,700 V を上回る 2,200 V の耐圧とサージ電流耐量を持つコンバータダイオードを開発した。図 4 に従来製品と開発製品のサージ電流耐量の比較結果を示す。従来モジュールに対し、耐量が 20% 増加し、信頼性が向上した。

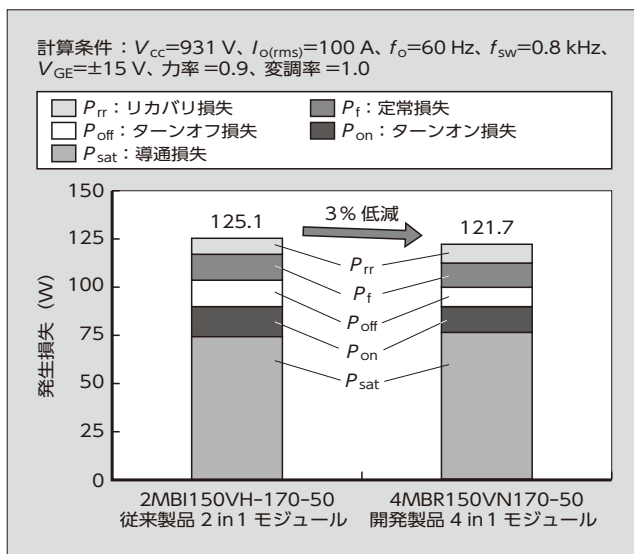


図 5 発生損失の比較結果

③ 適用例

図 5 に、開発した 4 in 1 モジュールと従来の 2 in 1 モジュールを高圧インバータに組み込んだときの発生損失の比較結果を示す。開発製品である 4 in 1 モジュール (4MBR150VN170-50) は従来製品である 2 in 1 モジュール (2MB1150VH-170-50) と比較して、発生損失が 3% 低減した。この結果より、インバータの周辺部品を変更することなく、従来の構成に比べてフットプリントを 54% 低減した 4 in 1 モジュールを搭載でき、システム全体の小型化に寄与することができる。

発売時期

2021 年 4 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
半導体事業本部営業統括部営業第一部
電話 (03) 5435-7152

配線用遮断器・漏電遮断器用の外部操作ハンドルと端子カバー

External Operating Handles and Terminal Covers for Molded-Case Circuit Breakers and Earth Leakage Circuit Breakers

石動 秀樹* ISHIDO, Hideki

電気設備や機械設備などの制御盤に搭載される配線用遮断器や漏電遮断器（遮断器）において、盤外からオン、オフできる外部操作ハンドルや、端子の充電部を覆う感電防止のための端子カバーは、付属装置として広く使用されている。近年、使用環境の多様化が進み、盤の防水性の向上、盤内機器のメンテナンス時の安全性の向上、盤の施工性・保守性の向上などが求められている。

これらの要求に対応し、最新の電気安全のための保護構造を満足した、「G-TWIN シリーズ」32～100 アンペアフレーム（AF）用 N 形外部操作ハンドル（遮断器に直接取り付けるタイプ）と端子カバーを同時に開発し、2021 年 12 月から発売した（図 1）。

1 外部操作ハンドル

1.1 32～100 AF 用 N 形外部操作ハンドルの特徴

開発した外部操作ハンドルの特徴を次に示す。

- (1) 従来の防じん形（IP50 相当）に対し、IP54 対応の防水構造に向上した。
- (2) 各地域の規格 IEC、JIS、GB、UL/CSA に準拠した。また、EN/CE マーキングの第三者規格認証を取得した。
- (3) ハンドル操作部分が盤面から飛び出さない構造にできるフラット化粧板がセットとなったフラットハンドルをラインアップした。盤輸送時の破損、設置後の誤操作リスクを低減した。
- (4) ハンドル本体と化粧板にそれぞれ位置合わせマーク

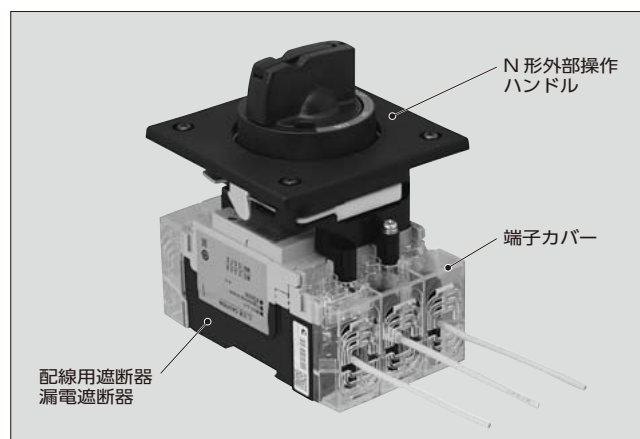


図 1 N 形外部操作ハンドルと端子カバー

を追加し、取付け、調整時間を短縮化した。

- (5) ハンドル施錠状態（オフ位置において南京錠でロックした状態）で扉を開くことができる（オプション）。扉開放時に南京錠を外す手間が省け、安全な保守・点検作業ができる。

1.2 適用した技術

(1) 防水等級

従来の N 形外部操作ハンドルは、米国 NFPA79（米国産業機械用電気安全規格）に準拠しているものの、設置場所によっては、さらなる防水性能が求められるようになった。そこで、このたび N 形外部操作ハンドルの操作部の構造を全面的に見直した。機構部品のかみ合わせの工夫や、化粧板と扉パネルの間および掛け金とカバーの間の面接触部にパッキンを配備することにより、外部からの水の浸入を抑止した（図 2）。また、じんあい保護と合わせて IP54 に設計を見直し、第三者認証機関の性能認証を得た。

(2) 扉パネル開放機能

外部操作ハンドルは、遮断器がオフ状態（回路に電流が流れない状態）でも扉パネルが開かないようにするロック機構を持っている。これは不用意に扉パネルが開けられることを抑止するための安全機能として標準的に装備しているものである。一方、一部のユーザーには、メンテナンス性を優先し、遮断器がオフの状態であれば扉を開けて内部機器の保守を実行したいというニーズがある。そこで、ハンドル操作のロック機構を見直し、オフ状態で南京錠を使ってハンドルをロックして、オン操作がで

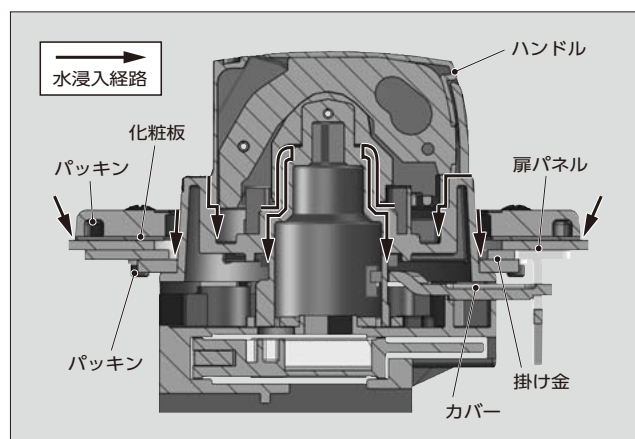


図 2 N 形外部操作ハンドルの内部構造

* 富士電機機器制御株式会社開発統括部受配電開発部

きない状態であれば、ドライバなどの工具を用いてリリース機構を使用して扉パネルを開けることができる特殊品も用意している（図3）。

(3) 扉パネル面非突出形

従来の外部操作ハンドルは、図4に示すように扉パネル面よりハンドルを突出させることが一般的である。しかし、扉パネル面から突出していることが、意図しない誤操作または輸送時や施工時の破損につながるがあった。そこで、誤操作や破損を防止するため、図5に示すように扉パネルに取り付けられる化粧板を、ハンドル全体が扉パネル面から突出しない構造にした特殊品を新たに加えた。

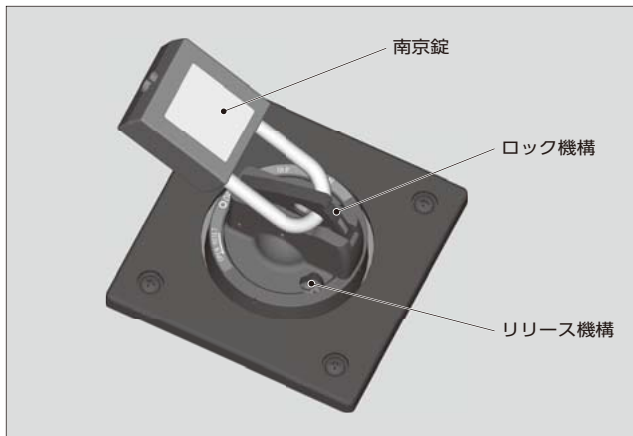


図3 遮断器オフ状態でのパネル扉開放構造

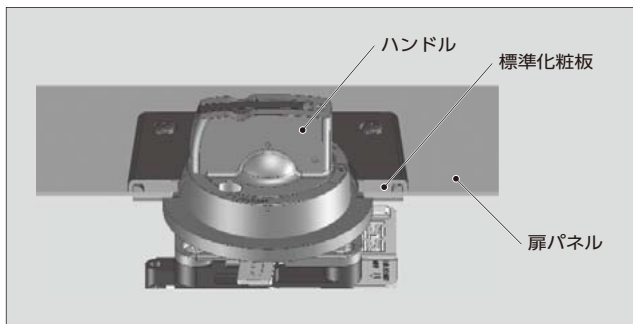


図4 外部操作ハンドル（標準化粧板）の構造

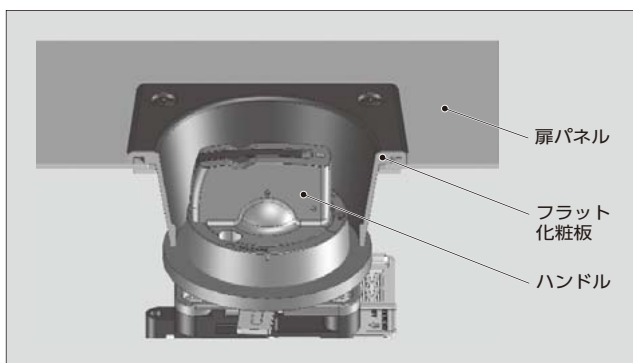


図5 外部操作ハンドル（フラット化粧板）の構造

② 端子カバー

2.1 32～100 AF 用端子カバーの特徴

開発した端子カバーの特徴を次に示す。

- (1) 接続される丸形圧着端子の露出充電部の保護構造に合わせて、ショートタイプ、ロングタイプを用意した。
- (2) 制御盤規格の電源断路器電源側に要求される保護要求 IP20 に対応し、全方向 IP20 対応で、保守点検などで裏面からアクセスした場合でも感電保護を実現した。電線サイズに合わせて端子カバー開口部をカットすることで、充電部の保護等級 IP20 を保つことができる。
- (3) 各地域の規格 IEC、JIS、UL/CSA に準拠した。また、EN/CE マーキングの第三者規格認証を取得した。
- (4) 端子カバーを外さず、端子ねじの増し締めや検電が可能な保護穴構造とした。
- (5) 本体の密着取付け時にも着脱が可能で、分岐回路に使用した場合でも、端子カバーの着脱が容易にできる。
- (6) 難燃性材料を標準採用（UL94 難燃レベル：V-2）した。

2.2 適用した技術

(1) 保護等級

従来の端子カバーは、正面から端子の充電部に指先が触れることがない構造であったが、近年の安全性の要求の高まりに伴い、裏面を含む全方向から充電部を保護する必要が生じた。そこで、正面と裏面および側面の3方向と電線開口部に対して指や工具が入らない構造とするため、端子カバーを下端子カバーと上端子カバーの二つの部品に分ける構造に見直した。これにより、全方向に対して IP20 を実現した（図6）。

(2) 保守性の向上

端子の増し締めや検電に使用する工具を挿入できるガイド穴を、新たに追加。端子カバーを外すことなく、保守作業を可能にした（図6）。

(3) 施工性の向上

端子カバーの電線開口穴は、図7に示すように使用す

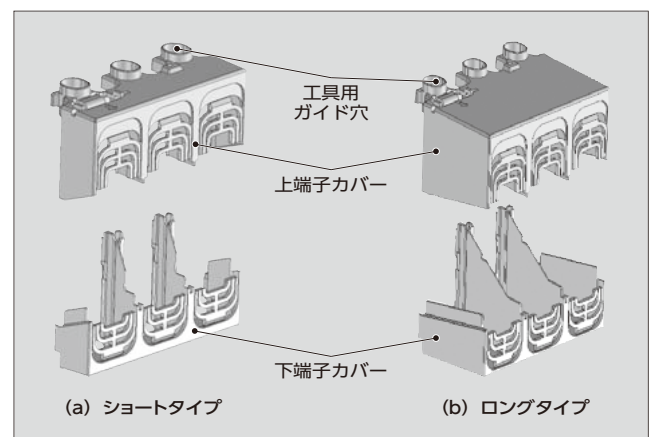


図6 端子カバー（3極品）の構造

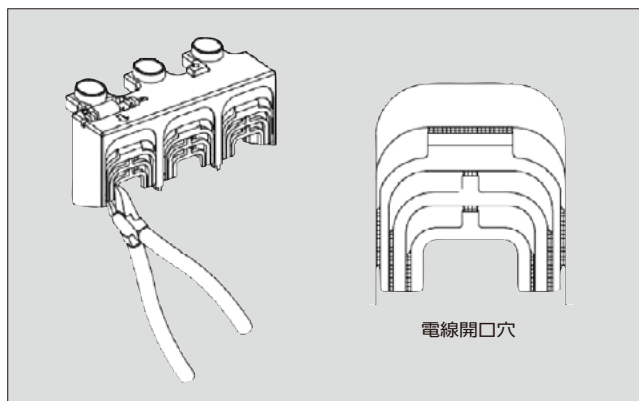


図7 端子カバーの電線開口穴の構造

る電線サイズに応じてニッパで切断できる構造としており、3～100 A の電流に使用される 2～60 mm² の電線

で IP20 を実現している。また、上下の端子カバーを加工して電線開口穴を広げることで、電線の 2 パラレル接続も可能としている（図 7）。

発売時期

2021 年 12 月

お問い合わせ先

富士電機機器制御株式会社
事業統括部受配機器業務部
電話（048）548-1408



略語（本号で使った主な略語）

AI	Artificial Intelligence	人工知能
BCP	Business Continuity Plan	事業継続計画
BI	Business Intelligence	
CBM	Condition Based Maintenance	状態基準保全
C-GIS	Cubicle type Gas Insulated Switchgear	キュービクル形ガス絶縁開閉装置
DCS	Distributed Control System	分散制御システム
DMZ	DeMilitarized Zone	非武装地帯
DX	Digital Transformation	デジタルトランスフォーメーション
EGCS	Exhaust Gas Cleaning Systems	排ガス浄化システム
EMS	Energy Management System	エネルギーマネジメントシステム
ERP	Enterprise Resource Planning	基幹システム
EV	Electric Vehicle	電気自動車
FWD	Free Wheeling Diode	
GIS	Gas Insulated Switchgear	ガス絶縁開閉装置
GW	Gateway	
GX	Green Transformation	グリーントランスフォーメーション
HMI	Human Machine Interface	
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ
IMO	International Maritime Organization	国際海事機構
IoH	Internet of Human	
IoT	Internet of Things	
ISA	International Society of Automation	自動機器に関する国際的な標準化団体
JIT	Just-In-Time	
JSON	JavaScript Object Notation	
MES	Manufacturing Execution System	製造実行管理システム
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association	
MOM	Manufacturing Operations Management	
MOX	Mixed Oxide	混合酸化物
MQTT	Message Queue Telemetry Transport	
MSPC	Multivariate Statistical Process Control	多変量統計のプロセス管理
NIR	Near-Infrared Spectroscopy	近赤外スペクトル
O&M	Operation and Maintenance	
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	多環芳香族炭化水素
PIMS	Plant Information Management System	プラント情報マネジメントシステム
PLC	Programmable Logic Controller	プログラマブルコントローラ
PLS	Partial Least Squares	部分的最小二乗法
PTP	Point to Point	
RAMI4.0	Reference Architecture Model Industrie 4.0	
RMSE	Root Mean Squared Error	二乗平均平方根誤差
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	
SCM	Supply Chain Management	
SIL	Safety Integrity Level	
SVR	Support Vector Regression	サポートベクター回帰
TBM	Time Based Maintenance	時間基準保守
VAM	Vinyl Acetate Monomer	酢酸ビニルモノマー
VPN	Virtual Private Network	
WES	Warehouse Execution System	

商標（本号に記載した主な商標または登録商標）

Azure	Microsoft Corporation の商標または登録商標
ECMAScript	Ecma International の商標または登録商標
EconoPIM™	Infineon Technologies AG の商標または商標登録
Edge	Microsoft Corporation の商標または登録商標
EtherCAT	Beckhoff Automation GmbH の商標または登録商標
Ethernet	富士フイルムビジネスイノベーション株式会社の商標または登録商標
Excel	Microsoft Corporation の商標または登録商標
FL-net	一般社団法人 日本電機工業会の商標または登録商標
Google Chrome	Google LLC の商標または登録商標
HART	フィールドコムグループ インコーポレイテッドの商標または登録商標
Internet Explorer	Microsoft Corporation の商標または登録商標
iPad	Apple Inc. の商標または登録商標
Java	Oracle Corporation およびその子会社、関連会社の米国およびその他の国における商標または登録商標
JavaScript	Oracle Corporation およびその子会社、関連会社の米国およびその他の国における商標または登録商標
Office	Microsoft Corporation の商標または登録商標
OPC UA	OPC Foundation の商標または登録商標
PLCopen	PLCopen 協会の商標または商標登録
SQL Server	Microsoft Corporation の商標または登録商標
Visio	Microsoft Corporation の商標または登録商標
Windows	Microsoft Corporation の商標または登録商標

その他の会社名、製品名は、それぞれの会社の商標または登録商標である。

富士電機技報. vol.95, no.4, p.193、図 6 (b)、下側 MOSFET の回路図記号



(正) 下側から中央に線をつなげる



(誤) 上側から中央に線がつながっている

富士電機技報. vol.95, no.4, p.198、左側 3 行目

(正)

(Pulse Width Modulation)

(誤)

(Pulse Width Modulation)

富士電機技報. vol.95, no.4, p.217、右側 3～5 行目

(正)

拡張した SF である。この結果により、バイポーラ電流

(誤)

拡張した SF である。 ΔV_F が不良判定ラインを超えて増加したチップでは SF の拡張が確認されバイポーラ劣化していることを確認した。この結果により、バイポーラ電流



主要事業内容

パワエレ エネルギー

エネルギーの安定供給、最適化、安定化に貢献します。

- エネルギーマネジメント
エネルギーマネジメントシステム
- 変電システム
変電設備、産業電源
- 施設・電源システム
無停電電源装置（UPS）、配電盤
- 器具
受配電・制御機器

パワエレ インダストリー

あらゆる産業分野の自動化と省エネに貢献します。

- オートメーション
インバータ、モータ、サーボシステム、コントローラ、
プログラマブル表示器、計測機器、センサ、FA システム、
駆動制御システム、計測制御システム
- 社会ソリューション
鉄道車両用駆動システム、ドアシステム、
船舶用排ガス浄化システム、放射線機器・システム
- 設備工事
電気工事、空調設備工事
- IT ソリューション
ICT に関わる機器・ソフトウェア

半導体

高い品質、変換効率を実現、小型化・省エネ化に貢献します。

- パワー半導体
産業分野、自動車分野

発電プラント

高度なプラントエンジニアリング力で、設計・製作から現地据付・
試運転・アフターサービスまで一貫して提供します。

- 再生可能エネルギー・新エネルギー
地熱発電、水力発電、太陽光発電、風力発電、燃料電池
- 火力発電
原子力関連設備

食品流通

自動化・省エネを食の安全・安心とともに提供します。

- 自販機
飲料自販機、食品・物品自販機
- 店舗流通
店舗設備機器、金銭機器

* 本誌に掲載されている論文を含め、創刊からのアーカイブスは下記 URL で利用できます。

富士電機技報（和文）

https://www.fujielectric.co.jp/about/company/contents_02_03.html

FUJI ELECTRIC REVIEW（英文）

<https://www.fujielectric.com/company/tech/contents3.html>

富士電機技術期刊（中文）

<http://www.fujielectric.com.cn/jtkw.html>



次号予定

富士電機技報 第96巻 第2号

特集 2022 年度の技術成果と展望

富士電機技報企画会議

幹事	安川 和行			
企画メンバー	土屋 敏章	前田政一郎	粕谷 敏	渡部 雅教
	松尾 壮太	片桐 源一	出野 裕	鈴木 健司
特集委員	渡部 雅教	須藤 晴彦	富永 保隆	中野 雅仁
事務局	斎藤 哲哉	伊藤 秀之	堀口 道子	
編集室	藤木 徹	木村 基	小野寺拓也	小野 直樹
	高橋 徹			

富士電機技報 第96巻 第1号

令和5年9月20日 印刷 令和5年9月30日 発行

編集兼発行人 中山 和哉

発行所 富士電機株式会社 技術開発本部
〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号
(ゲートシティ大崎イーストタワー)

編集・印刷 富士オフィス&ライフサービス株式会社内
「富士電機技報」編集室
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地
電話 (042) 585-6965
FAX (042) 585-6539

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

* 本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。

© 2023 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan (禁無断転載)

エネルギー・環境事業で、
持続可能な社会の実現に貢献します。



Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。



Courtesy of PT. SEMI

地熱発電プラント



パワー半導体



パワーコンディショナ



インバータ



無停電電源装置



自動販売機

F 富士電機

本誌は、環境に配慮した FSC® 認証紙および
植物油インキを使用しています。また、ユニ
バーサルデザイン (UD) の考えに基づいた
見やすいデザインの文字を採用しています。

