

## 「プラントの制御・監視技術」の技術概要

### 1．調査対象技術の概要

#### 1.1．プラントの制御・監視技術の現状と展望

##### (1) プラントにおける制御・監視技術の役割

プラントは素材、エネルギー、製品などを生産している。そのため、プラントの安全かつ効率的な操業は世界の経済だけでなく、国民の生活にとっても最重要事項である。素材、石油、ガス、電気、上水などが安定に供給されるだけでなく、ゴミ処理、下水なども安定的に操業されなければ国民生活が営めない。また、公共財的なものだけでなく、商業活動や日常の生活を支えている製品を切らすことは、場合によっては社会不安をもたらす恐れもある。

社会の足腰に当たるプラントの操業を安全に、しかも効率的に運用するには高度な制御・監視技術が不可欠である。特に、国際競争、少子化という荒波にさらされ、SCM(Supply Chain Management)という言葉に代表される生産、流通、販売の境界を越える連携の中、安定供給への強い社会的要請がある。そのために、近年、急速に発達している情報技術を活用した制御・監視技術の進展が望まれている。

プラント制御・監視の技術は昔から情報技術と不可分の関係がある。そのため、急激な情報技術の発達はプラントの制御・監視技術を大きく変えつつある。情報技術は、通信、蓄積、処理の三つの技術から成り立っている。この中で、特に注目を集めているのは、通信技術である。既に、民間に広帯域の有線、無線のLANが普及している。この技術をプラントの制御・監視に転用することで、低コストで高信頼なシステムを構築することが要請されている。

もっとも、制御・監視には通信技術だけでなく、蓄積、処理の技術も重要である。蓄積は、過去のデータの記録であり、一つはトレーサビリティの確保のために必須である。さらに、問題が生じた場合の解析のためにもプラントデータの記憶が必要である。そして、処理は蓄積されたデータと現在値の付け合せによる変化の検出に始まり、プラントモデル構築、モデルに基づくシミュレーションや設計、そして教育という制御・監視に関わる大きな広がりへと続いている。

##### (2) ネットワークを用いた制御・監視技術の機能・効果

プラントに限らず、制御・監視は機側から始まった。しかしながら、制御や測定のポイントでは危険性もあるために、遠隔で制御・監視する技術が開発された。その後は、制御・監視業務の効率化も含めた遠隔制御・監視技術が発達してきた。

もっとも、初期は制御・測定点と操作・監視点が一対一で接続されていた。そこにデジタル技術が導入され、制御・測定点と操作・監視点を一筆書きで結ぶ、ネットワークが導入された。

このネットワーク化は、プラント制御と監視に情報共有としての新たな可能性を開いた。この可能性は測定点情報のネットワーク上での共有という形で花開いた。さらに、ネットワーク化はプラント情報交換における冗長性の確保にも影響した。一対一の時代には、二重化が主要な対策であったが、ネットワーク化されると、リーディングによる冗長化が可能となった。特に、測定点から監視点までの間に複数の経路がある場合に、プラントの状態や緊急性に応じてネットワークを切り替える形の冗長化技術に期待が寄せられている。

ネットワーク化は、プラントの制御・監視をプラント外から行える潜在力も提供している。プラントの状態を外部から制御したり、監視したりする技術は、インターネットでは当然である。もっとも、プラント特有の安全性、実時間性、耐故障性などの要請があり、そのままインターネットで用いられている技術をもつてくるだけではすまない。

最初は省人化として始まった遠隔監視も、現場と監視室との有機的な連携という新しい局面を開いている。同時に、プラントデータのセキュリティ確保という新たな問題も出てきている。

### (3) プラントの制御・監視技術の最近の研究開発動向

最近の大きなトレンドの一つは無線化である。これまで、有線を用いた遠隔制御・監視システムが実用化されてきたが、無線 LAN や携帯電話、そして RFID というような無線技術をベースとした通信技術が台頭してきた。これをどのようにプラントの監視・制御に活用していくかは大きな課題である。プラントでは防爆を始めとして民生用とは違った問題があり、民生品をそのまま流用するわけにはいかない。そのため、民生技術をベースにプラント制御・監視のための独自技術を開発していく必要がある。

また、現在の PC や携帯電話は文字情報だけでなく、音声、画像情報などを扱うマルチメディア技術が日常的に使用されている。これをプラントの制御・監視に活用していく必要がある。遠隔は現場から離れているということである。しかし、マルチメディア技術により遠隔においても現場感覚を維持できる可能性がある。

また、マルチメディア技術は、人が絡む情報系を大きく変革する可能性がある。人は文書ベースで動く。昔は文書は紙であったのに対し、インターネットで普及している現在は XML が文書データの標準としての地位を確立しつつある。これにより、稼働データと文書データを統一的に扱えるようになってきた。つまり、遠隔操作機器で、稼働情報を閲覧、操作するだけでなく、設計図や操作マニュアルもリンクできる技術が確立している。加えて、これまでの日報などが文字ベースであったのに対し、マルチメディア技術は画像中心の報道を可能にしている。つまり、現場情報を保存した形の報告書を作成できる技術が構築されている。

以上の稼働データと報告書やマニュアルデータの融合は、データ通信と CTI に代表される電話系を統合する可能性があり、プラントの制御・監視技術は大きな変革に直面している。

## 1.2. プラントの制御・監視技術の歴史と産業応用

### (1) プラントの制御・監視技術の情報化の歴史について

1950 年代まで、空気式計器、電気式計器、電子式アナログ計器がプラント計装機器の中心であった。

1960 年代になると、計測制御分野へのコンピュータ技術の導入が進み、SCC (Supervisory Computer Control) や DDC (Direct Digital Control) などのプロセス制御技術の普及がはじまった。日本では、1965 年に北辰電機製作所 (後に横河電機(株)に合併) がフィッシャ・アンド・ポーター社 (F&P 社) との技術提携により共同開発を行った DDC を発表し、1966 年に横河電機が YODIC-500 を、1968 年には、山武が H20 コンピュータシステムを発表した。

1970 年代になるとマイクロプロセッサが登場し、プロセス制御に大きな変化をもたらされた。デジタル式 SLP (Single Loop Controller) や、DDC の機能を分散化した DCS (Distributed Control System) が登場し、1975 年には、横河電機とハネウェル社との共同開発によって DCS の製品化が行われた。DCS は、マイクロプロセッサを分散配置し、アナログ計装盤を CRT に統合して運転監視操作の集中化と情報表示の高度化を図り、分散された機能間を通信により結合するという概念を実現した分散型計装制御システムである。DCS は現在に至るまで、連続・バッチ系プラントの制御・監視システムとして中核的な役割を担うシステムになっている。

DCS の導入により、プラントの運転制御の自動化とプロセスの安定化が大きく進展した。プロセスの挙動が目標値に一致するようにプラントの動きをオンラインで推定して動的に制御を行う予測制御技術や、生産プロセスの効率化や高収率化、高品質化を実現する最適制御技術の開発が進んだ。

1990 年代になると、プラントの制御・監視装置に、メインフレームやミニコンに替わるコンピュータシステムとしてワークステーションが導入されるようになった。ワークステーションのオペレーティングシステム (OS) には、UNIX が採用され、オープン環境でのシステム構築とマルチタスク処理による制御・監視技術が発展し、オープンネットワークへの対応がなされるようになった。

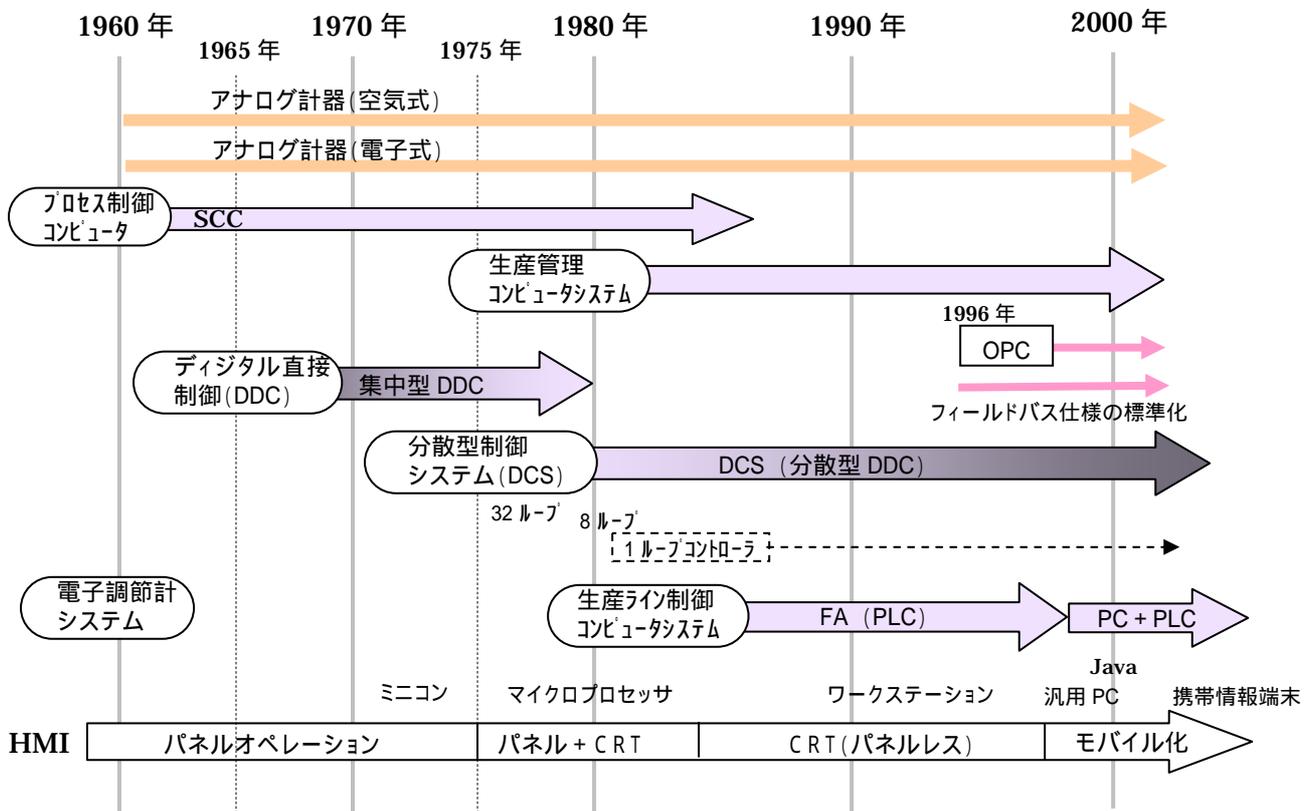
その後、マイクロプロセッサの高速化とパーソナルコンピュータの普及により、計装分野においても、マイクロソフト社の Windows<sup>1</sup> をはじめとする汎用プラットフォームが一般化する。ソフトウェ

アの開発にはオブジェクト指向言語や Web 技術、コンピュータプラットフォーム非依存型の開発言語（Java 等）の採用が進み、プラットフォームのオープン化を志向した計装システムが実現されるようになった。

計測制御分野では、ネットワーク通信規格の標準化に早くから取り組んできたが、国際通信仕様が標準化され普及しはじめるのは 1990 年代後半以降になってからのことである。制御システムと上位情報システムとのプロセスデータの接続仕様である OPC（OLE for Process Control）は、1996 年に標準仕様に認定された。また、フィールドバス協会により国際フィールドバスの標準仕様が制定され、ベンダの違いを超えて、デジタル通信によるフィールド機器間の自由なデータのやり取りがなされるようになった。データ記述形式についても、1986 年に ISO で制定された SGML の流れを汲む XML が 1998 年に作成され、情報通信分野の標準規格として普及が進むとともに、計測制御分野でも採用されるようになった。

図 1 には、プラントの制御・監視システムの変遷をまとめた。

図 1. プラントの制御・監視システムの変遷



- DCS : Distributed Control System
- DDC : Direct Digital Control
- FA : Factory Automation
- HMI : Human Machine Interface
- OPC : OLE for Process Control
- SCC : Supervisory Computer Control

「Java」: サン・マイクロシステムズ・インコーポレーテッド の登録商標

## 【参考資料】

- ・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編，2004年11月25日，工業調査会発行
- ・「計測・制御テクノロジーシリーズ：プロセス制御」，計測自動制御学会編，2003年1月23日，高津春雄編著，(株)コロナ社発行
- ・「デジタル計装制御システムの基礎と応用」，1992年8月，広井和男著，工業技術社発行
- ・「計装システムの基礎と応用」，1987年9月，千本資共編，オーム社発行
- ・「計装制御システム（最新制御システムシリーズ1）」，1973年，石井保編，電気書院発行

1：「Windows」：マイクロソフト コーポレイションの登録商標

## (2)プラントの種類

プロセス制御は、一般に、原料から製品までの製造工程が連続的な物理化学的処理によって実行される連続プロセスと、各種の設定データや手順によって製造工程が非連続に変化するバッチプロセス、そして組立加工を中心とするディスクリートプロセスの3つに大きく整理することができる。

連続プロセスを制御する代表的なプラントとして、石油精製プラントや石油化学の高分子製造プラント、製鉄所の高炉、製紙プラントの原料生成などがある。連続プロセスのプラントは、温度や圧力、流量、レベルセンサ等を用いた定常プロセスの安定制御を行うものが中心となる。連続プロセスは、複雑な化学変化や物理プロセスをもつため制御変数が相互に干渉し合い、プロセスのモデル化が非常に難しく制御の自動化が行いにくいという特徴をもっている。プロセスの安定制御には、熟練オペレータの経験や勘といったスキルが必要になるが、最近ではモデル予測制御などの高度制御技術の導入によって、かなりのところまでの自動化が進んでいる。

バッチプロセスは、化学やファインケミカル工場における樹脂や薬品原料の製造、洗剤や化粧品、食品などの製造プラントを中心に行われている。バッチプロセスは反応層に各種の原料、触媒を入れて一定の比率、順序で反応させるといった製造過程を持ち、反応時間、温度等の条件を調整するために監視・制御が行われている。バッチプロセスの制御は、多品種少量生産のプラントに多く導入され、品種の切り替えや品種ごとに異なる操作を必要とするプロセスにおいて実用化が進んでいる。

ディスクリートプロセスでは、NC（数値制御）工作機械や産業用ロボットの導入により、部分的な生産ラインの自動化や構内物流の自動化といった、FA（ファクトリー・オートメーション）化が進んでいる。今後は、自動検査システムやセル生産ラインの半自動化などが行われ、生産管理システムと生産ライン制御システム、さらには生産設計、CAD/CAM<sup>1</sup>システムなどのシームレスなシステム連携と一元的なデータ管理が進むものと考えられる。

近年、連続・バッチプロセスにおいて中心的な制御装置であるDCS（Distributed Control System）と、ディスクリートプロセスにおいて主に普及しているPLC（Program Logic Controller）の間に、機能や性能の差がなくなりつつあり、両プロセスの制御システムにおいてそれぞれの制御装置が共用されるシステムが構築されるようになった。また、連続・バッチプロセスとディスクリートプロセスの生産制御システムにおいて、データ共有や連携のための仕組みが開発され、生産プロセスのライフサイクル全域に渡って、最適生産を実現するための統合生産システムの実現が模索されている。

## 【参考文献】

- ・「計測・制御テクノロジーシリーズ：プロセス制御」，計測自動制御学会編，2003年1月23日，高津春雄編著，(株)コロナ社発行
- ・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編，2004年11月25日，

<sup>1</sup> コンピュータを用いた設計・製造支援システム。

### 1.3. 本調査における制御・監視技術の位置づけと解釈

本調査では、プラントにおける制御・監視技術について、特にネットワーク技術を活用した技術について、プラントの運転支援機能、プロセスの監視機能、設備装置の保守・保全機能、現場オペレータの情報共有機能、生産管理システムとの連携による最適生産制御機能等に焦点をあて、それぞれの用途技術、用途に共通する要素・基盤技術の調査を行った。

ネットワークを用いた制御・監視技術を整理する上でのポイントを以下にまとめる。

#### ・ プラントの運転制御支援

プラントの運転制御は、運転目標の設定と運転状態の監視、運転目標と運転状態の差に基づく、運転制御の調節・操作ループからなる。これらのタスクは、フィードバック制御等の技術の導入により、早くから自動化が進められてきた。近年、制御システムのデジタル化によりコンピュータ制御によって、より高度で複雑な運転制御が実現されるようになり、これまでオペレータの技量に頼ってきた操作の大部分が自動化され、オペレータの省力化が図られつつある。

しかしながら、デジタルコンピュータ制御に依存する部分が大きくなると、より信頼性の高い制御システム、ネットワーク、データ管理システムが必要となる。このため、プラントの信頼技術の向上や安全化装置の高性能化、オペレータによる異常監視の支援機能、プラントを停止しなくても設備装置の保守管理が行えるオンライン（リモート）メンテナンス機能等の開発が行われてきた。

一方、プラントのスタートアップやシャットダウン、事故や故障によるシステムダウンの復旧作業等の非定常運転・制御は、依然として自動化が難しい状況にある。こうした非定常運転・制御については、熟練オペレータの長年の経験やノウハウを有効活用することが重要になるが、プラント会社では、熟練オペレータが定年退職し、省人化が図られるという流れの中で、経験やノウハウをもつ人材が不足するという事態に直面している。こうした問題に対処するため、熟練オペレータの運転・制御ノウハウを知識ベース化する方法や過去のプラントの運転操作履歴を事例ベース化してオペレータが所望の事例を容易に検索できるシステム、あるいはマルチメディア情報等を多用してオペレータの運転操作を適切に導く運転操作ガイダンスの技術が開発されている。また、プラントの制御動作をシミュレートするシミュレータシステムの開発も進められ、新人オペレータの教育・訓練などに活用されている。

#### ・ 設備装置の保守・保全支援

プラントの保管理技術は、設備の劣化状態の診断や故障した部分の修復などの事後保全の作業を中心に開発が進められてきた。近年、その位置づけが変わりつつあり、定期的なメンテナンスにより、設備装置の故障率を低減させシステム稼働率を高めることや、装置の老朽化に伴う生産性能の低下防止や生産品質の安定化を図ることを目的に実施されるようになった。こうした保全作業は生産性の向上や生産コストの最小化に直接結びつくものであること、また、生産システムの安全化や低環境負荷の実現といった社会的要請からも意義があることから、より一層、重要な役割を担いつつある。

このような保全ニーズの変化に対応するために、設備診断技術をコアとした技術開発が進められている。これまでの設備保全は、生産条件に合わせてプラント設備の設計・製作・改善を検討し、保全計画を立案して、現場の保守作業員が定期的な保守点検、予防点検等を行うものが中心であった。保守作業員は、巡回点検の中で設備装置の劣化状態や異常傾向等を評価し、必要データを入手してオフラインで検査・診断を行った結果をもとに必要な対策を講じてきた。

設備装置がネットワーク化され、設備の稼働状態を評価するためのセンシング技術が向上したこ

とにより、保守作業員が肉眼で評価してきたものが、オンラインで収集したデータ分析を通じてできるようになった。また、保守履歴データが管理され、プラントの運転状態、稼働環境等に関する情報のデータベース化が進められたことで、データ解析による、より高度な設備診断が可能になりつつある。これにより、設備の劣化状態がリアルタイムで予測できるようになった。劣化・故障予測の技術と設備資産の重要度評価の組み合わせによって、保全作業の実施時期の検討や、保全内容をプラントの状態に合わせて検討できるようになった。

こうした設備診断技術のノウハウを活かして設備装置メーカーによる設備保全管理サービスが提供されている。専用回線や公衆回線等のネットワークから収集した複数のプラントの稼働状態に関するデータを保守管理センタで集中管理することで、設備の稼働状態のモニタリングや劣化・故障傾向の診断を代行するサービスを提供している。設備診断サービスにはインターネットが活用され、ASP(アプリケーション・サービス・プロバイダ)の形態によるサービス化が進みつつある。また、顧客からのクレームや保守作業に関する相談を受け付け、迅速な対応をとるためのコールセンタを設置し、保守管理サービスを提供するビジネスモデルが構築されている。

- ・ 最適生産制御支援

生産管理の情報化は、機能別に特定課題を解決するために早くから導入されてきた。設備データや工程データの収集と状態監視の仕組みが早くから導入され、生産計画や生産工程の情報化に役立てられてきた。しかしながら、生産現場の情報化は長い間行われてこなかった。これは、生産現場では工程ごとに様々な情報がやり取りされ情報の水平方向の連携があまりなされてこなかったことによる。また、業務・計画システムでの生産計画の立案内容が、生産実行計画層でブレイクダウンされ、生産システムの制御層に実行指示される垂直方向の連携の仕組みが構築されてこなかったことによる。

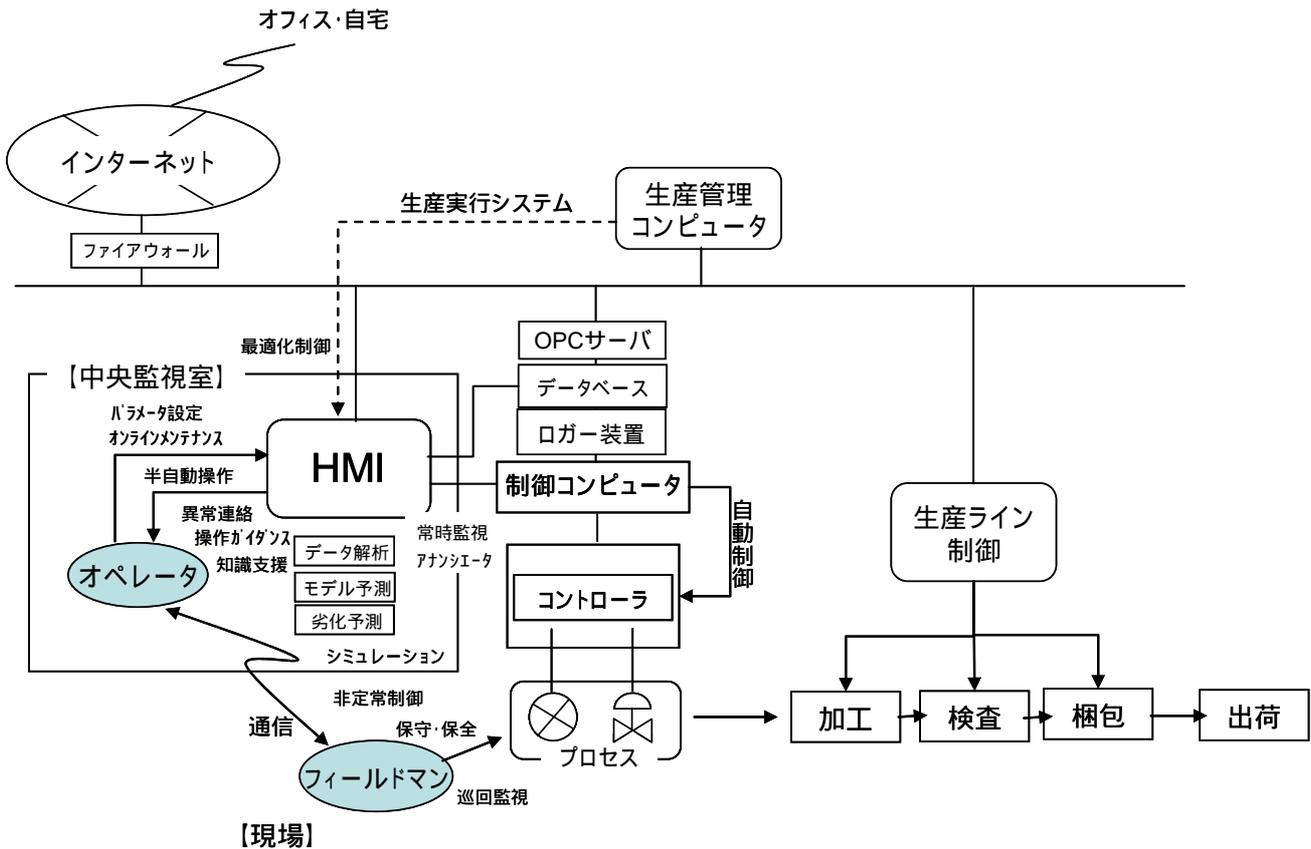
こうした中で、プラントの生産設備のあらゆるシステムを情報化し、データの記述形式の共通化、階層構造化を進めることで、異なるシステム間でも情報のやり取りができる技術が開発されるようになった。生産計画や工程の実行を管理する上位系システムの制御層と、連続・バッチプロセスの制御や生産ラインの制御を行うプロセス制御層の連携を可能にする、MES(生産実行システム)という概念が提唱され、システムの垂直統合を行うためのフレームワークが構築されるようになった。

こうした技術の導入によって、生産の進捗管理、レシピ管理、品質管理、製品のトラッキング、部材調達、製造記録管理、原価情報管理などが、生産システムの稼働とともにリアルタイムで管理できるようになった。そして、生産計画の変更に対する臨機応変な対応や、生産環境の変化や複数の生産拠点の生産状況を考慮した生産最適化が可能となった。

生産システムの全体最適化を目指すためには、生産システムの調整だけではなく、生産現場の作業員による生産目的の共有化や、作業ミスのない生産環境の実現が必要になる。このため、作業員による生産情報の共有化の仕組みや作業内容が工程どおり行われているかどうかのチェック機能、また、作業員が次の作業工程に適切に移行するためのガイダンス機能などの技術開発が進められている。

図2には、本調査が対象とするプラントの制御・監視システムの基本構成を示した。

図 2 . プラントの制御・監視システムの基本構成



HMI : Human Machine Interface

OPC : OLE for Process Control

【参考文献】

- ・「デジタル計装制御システムの基礎と応用」, 1992年8月, 広井和男 著, 工業技術社発行
- ・「計装システムの基礎と応用」, 1987年9月, 千本資 共編, オーム社発行
- ・「計装制御システム (最新制御システムシリーズ1)」, 1973年, 石井保 編, 電気書院発行

2 . プラントの制御・監視技術と技術課題

2 . 1 . 設備保全と制御・監視技術

(1) 計画保全、状態監視保全

設備保全は、発生する現象に、その都度対応するというだけでは、生産能力、品質等に問題を起こし競争力を失ってしまう。従って、保全のための基本的な考え方を決め、取り組む必要がある。

保全のための基本的な方式として、図3に示すように、予防保全としての時間基準保全( Time Based Maintenance : TBM )、状態基準保全( Condition Based Maintenance : CBM )及び事後保全( Break Down Maintenance : BM )などの保全方式がある。こうした、各種の保全方式を組み合わせ、最適な保全を行う保全の進め方を計画保全という。

過去、結果として行われていた事後保全から、時間基準保全、状態基準保全と、新しい方式が生み出されてきたが、状態基準保全が新しい方式だからといって、全てこれに進化させねば遅れているということではない。状態の経時計測に意味のない場合には、状態基準保全は適用できない。また、時間基準保全は、設備が壊れる前に予防的に保全するものであるから、オーバーメンテナンスとなる可能性が高く、必ずしも事後保全よりいつでも正しいとは言い難い。

すなわち、図4に示すように、設備の寿命分布は、使用時間に対して図のように分布する。もし、時間基準の保全周期を図のように決めたとすると、それより前に故障した場合は保全周期の設定が失敗であり、後の場合は無駄な作業をしたことになる。

従って、各種保全方式の最適組み合わせをはかることが、重要である。

設備は、設置環境や生産特性により劣化するが、設置環境や生産特性は、設備のライフサイクルの中で変化することが考えられ、また、設備そのものが改善等により変化する。

従って、保全方式は、設備のライフサイクルの各時点での最適な方式を決定することが必要であり、設備設置時点に決めた方式を継続的に使用することは、不適切となる可能性が高い。

図3．保全の方式

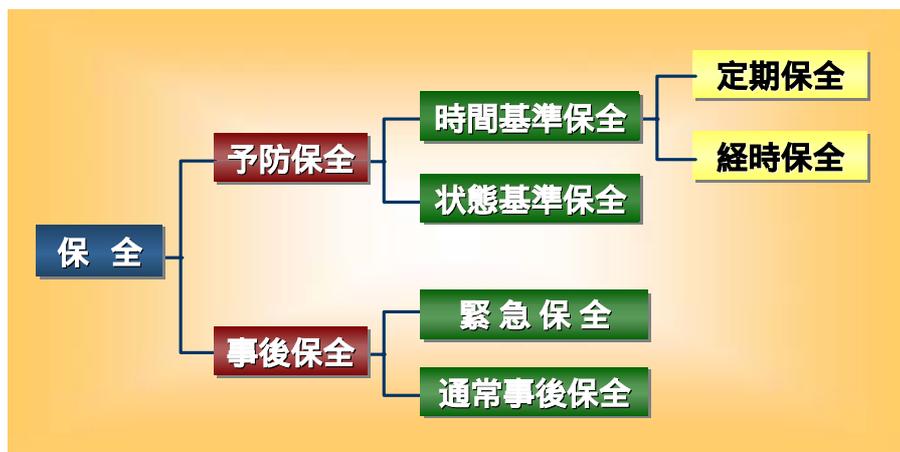
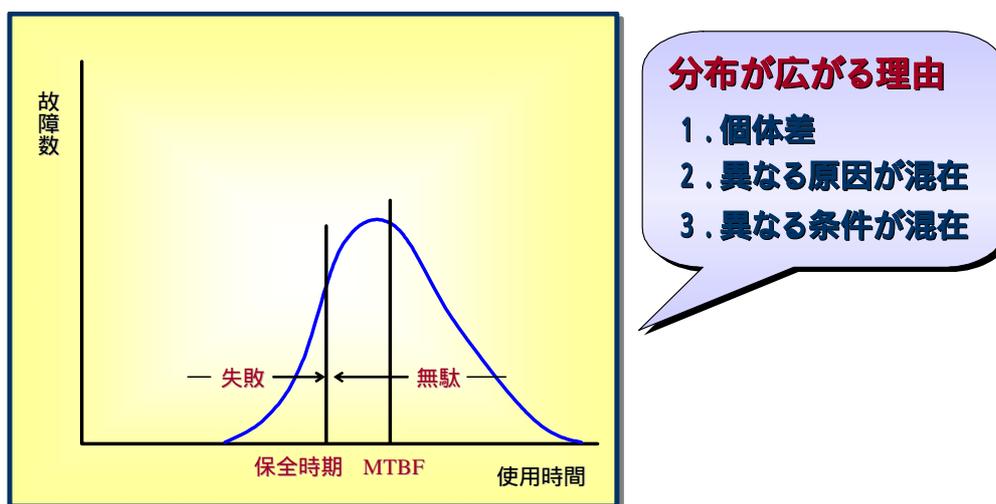


図4．設備の寿命分布



(2) 保守履歴管理、保守作業員連携

保守履歴管理は、図5に示す保全業務フローの中で、保全業務の実施、保全業務の検収、保全の記録に該当する部分全体のデータ管理に相当する。すなわち、保守履歴は、設備のライフサイクル管理の生命線であり、保全方式で定めた各機器、各部位・部品について、その経歴と発生事態の事実を、正確に抜けなく把握することが重要である。

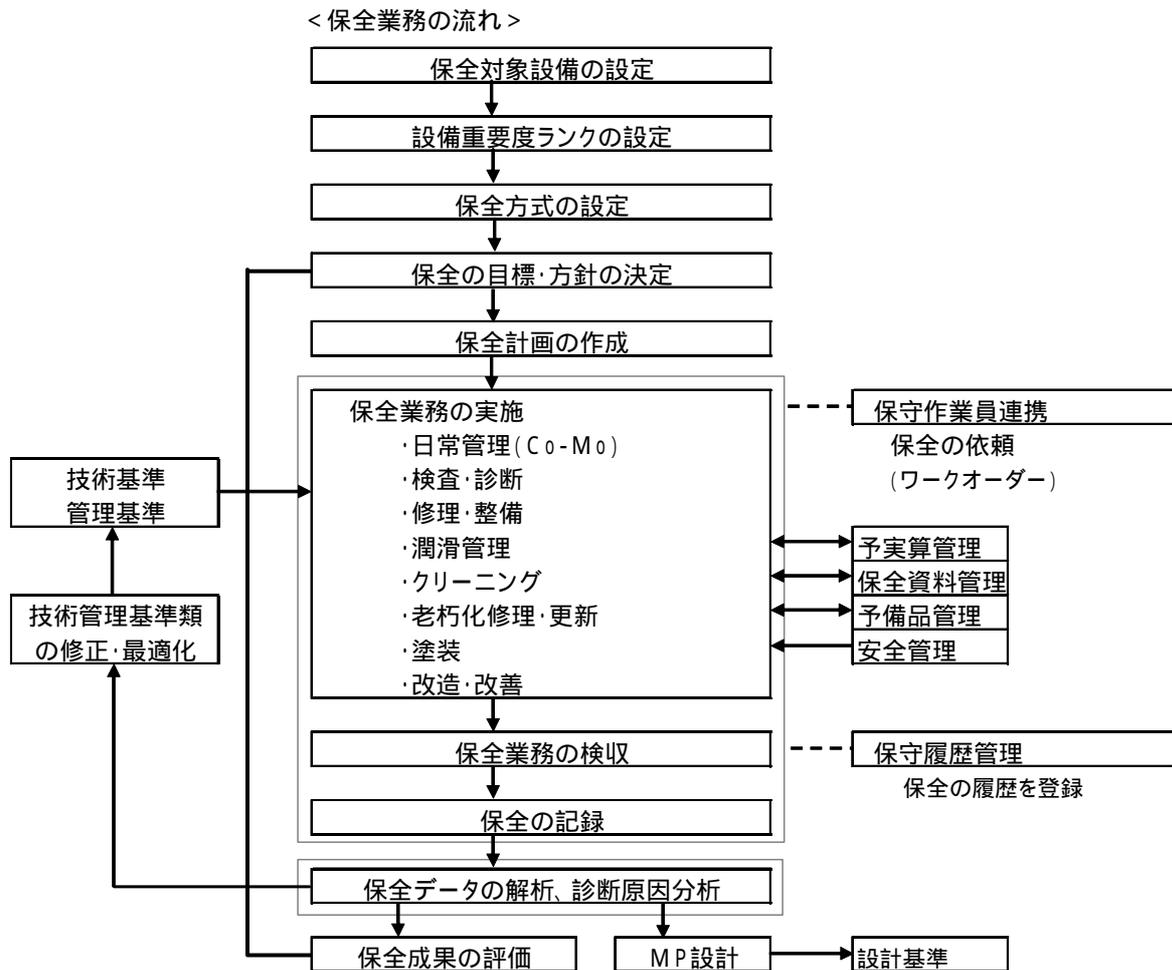
特に、故障等の異常状態を適切に把握していくため、異常現象、異常原因等の分類を明確化しておくことは重要である。また、分解整備したものについて、整備する目的とその結果、例えば部品の劣化が懸念された結果、分解整備したのであれば、その部品の詳細の状況について記録する。修理、改善したものについても、同様にその業務発生理由とその結果を正確に、詳細に記録する。

プラントの日常パトロールでは、回転機器、静止機器、配管設備、タンク設備類、電気設備、計装・制御設備、架構・基礎設備類等の稼動状況をモニタリングしている。これらは、音・熱、におい、振動、目視等の五感によるもの、温度・圧力・流量・液面等の数値計測によるものと、多岐にわたり、プラント管理上必要不可欠のものではあるが、大きな負担になっている。特に、ペーパーによる記録では、採取したデータは、その量が膨大なこともあり、ほとんど眠ったままとなり、寿命予測等の情報を生かした形にはなかなかない。

そこで、それらの現場測定・記録を、携帯端末などを利用して行うことが普及し始めている。現場巡視結果を現場で記録し、管理ソフトなどの基準値との比較等を行うものが利用されている。現場の状況によっては、ハードに付随したデジタルカメラにより、写真を撮り、そのまま無線等を利用して、保全依頼を発行するシステムもあり、保守作業員の連携も IT 化の武装が進みつつある。

なお、これらの測定データは、総合設備管理に使用するため、必要に応じて、振動情報、温度情報、潤滑情報等と合わせて解析し、CMMS ( Computerized Maintenance Management System ) などで管理している設備仕様、設備履歴等の情報と、劣化パターン等の高度解析情報を踏まえて、劣化予測、寿命予測等に適用する。

図 5 . 保全業務フロー



## 2.2. リモートメンテナンス技術、ASP

### リモート監視 & ASP の歴史

リモートメンテナンスなどから始まるリモート監視は、1980年代後半ぐらいにさかのぼる。リモート監視とは、遠隔から通信インフラを経由して設備装置メーカーがユーザのプラントのシステム監視を行うという形態である。当時は、事後保全の機能を主体とし、アナログモデムと公衆電話回線を利用し端末<sup>2</sup>を用いたキャラクタベースのオペレーションだった。HMIのプラットフォームの標準化(UnixやWindows<sup>1</sup>などのOS)やオープン化、また通信速度の高速化に伴いリモート監視のスタイルも徐々にGUIベースのオペレーションへと変化してきた。機能も予防保全や予知保全などを主体とし、診断など付加価値を加味した高度なアプリケーションへ推移してきた。さらにエンジニアリング支援やオペレーション支援など運転支援的な機能も搭載されてきた。

コールセンタをコアとしたリモート監視は、ユーザとベンダの距離と時間を短縮するソリューションを提供してきた。最近では、発電機(コージェネ、タービンなど)、風力発電、産廃炉、上下水道、生ごみ処理、ESCO事業<sup>3</sup>、給湯設備、農業などの遠隔監視代理サービスなどのようなASP(アプリケーションサービスプロバイダ)と呼ばれる、ユーザがWebブラウザを使ってコールセンタのサーバにインストールされたアプリケーションを利用する新しいサービス提供が始まってきている。

### リモート監視システムの基本構成

リモート監視の基本構成は、大きくユーザシステムとコールセンタおよび通信インフラの3つに分けられる。オペレーションは、基本的にコールセンタのコンピュータから通信インフラを経由してユーザシステムのコンピュータへ接続し遠隔監視する形態になる。収集したデータは、コールセンタのデータサーバ上に蓄積される。蓄積されたデータはASPなどでWeb公開する。必要に応じ警報監視やコールセンタの端末からユーザシステムの状態の確認を行う。通信インフラも公衆電話回線から始まって、ISDN、ADSL、専用線、FTTH、インターネット、広域イーサネット<sup>2</sup>など様々な形態がある。

### リモート監視の課題

リモート監視における最大の課題は、やはりセキュリティになる。米国の9.11テロ以来サイバーテロの脅威はますます膨れている。プラント監視のセキュリティポリシーの確立を急がれる中で、操作監視に利用するHMI系がWindowsベースで実装されるケースが多く、そのテクノロジーに依存する部分が多い。リモート監視は、遠隔から通信インフラを利用して実現するため、当然ながらそのプロセスで外部からの脅威にさらされるリスクは高い。リモート監視システムのセキュリティ対応やコールセンタのセキュリティ対策が重要になる。利便性とコスト的なメリットからインターネットを経由するサービスが増加することが想定されるため、その脆弱性をターゲットとしたウィルスや侵入、改ざん、盗聴、なりすましなどの脅威に直面する。これらの課題を解決しメリットとリスクのバランスをとっていくことが重要である。

### リモート監視の将来

インターネットVPN、IP-VPN、無線LAN、フィールドバス、ユビキタスネットワーク、IPv6など急速に通信インフラの技術革新が進み、また、研究開発されてきている。これらに伴いリモート監視も目的と用途により様々な形態の提供の可能性が広がりつつある。生産、流通、販売の連携を行う目的で、フィールド計測層、制御層、管理層、さらに経営層領域までの広い範囲をまたがるリモート監視が期待されてきている。IT技術を利用しオペレーションとメンテナンスの情報のリモート監視を

<sup>2</sup> ホストコンピュータが表示する文字列を、単純にスクロールさせながら表示する端末。

<sup>3</sup> 工場やビルの省エネルギーに関する包括的なサービスを提供し、それまでの環境を損なうことなく省エネルギーを

行い、XML などの共通スキーマを利用し、データ融合、連携していくことが将来に向けたソリューションビジネスへの重要なポイントとなる。セキュリティセンタからプラントのユーザシステムの統合的なセキュリティ管理を行うリモート監視も重要なソリューションの1つになってくる。

1 「Windows」：マイクロソフト コーポレイションの登録商標

2 「イーサネット」：富士ゼロックス株式会社の登録商標

## 2.3. プラントデータの検査・診断技術

### (1) 常時監視と巡回監視

プラントの監視方式は、その施設の重要度や異常発生時に動作する保護装置や警報装置の設置状況などにより、常時監視と巡回監視に大別される。

常時監視は、一般に、プラントで異常が生じた場合に人体に危害を及ぼしたり、もしくは物件に損傷を与える恐れがないよう、異常の状態に応じて直ちに制御や処置を必要とする場合や異常を早期に発見する必要のある場合に適用される。また、常時監視の形態としては、監視対象設備の機側現場監視、施設内集中監視制御室などにおける中央監視、通信回線等による遠隔監視があり、異常発生時の処置・機側での応答時間などプラント・施設条件により規定され、適用可能な監視形態が決定される（図6参照）。

一方、巡回監視は、技術員がプラント管理上必要な頻度で巡回し、運転状態を監視する方式である。異常発生時の緊急度や重要度が比較的低いプラントに対し、適用されている。監視対象施設の広域化や管理の効率化が求められる中、一部の対象設備に対して、監視制御システムによる常時監視と組合せて定期巡回方式が採られている。技術員による目視点検（五感による点検）は、電気的な異常信号監視を補っており、設備運転中の異音や異臭、表面温度上昇など、まだ、技術員の巡回監視・点検に頼っている面がある。今後の監視では、映像情報・音声情報などを総合的に判断するセンサフュージョン技術<sup>4</sup>の進歩も期待され、常時監視のシステム化が拡大されるものと思われる（図7参照）。

図6. 常時監視方式の概要図（中央監視、遠隔監視）

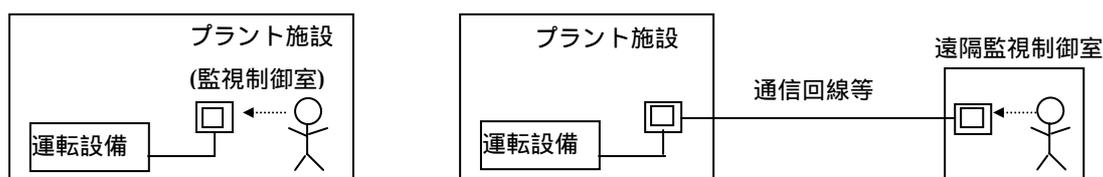
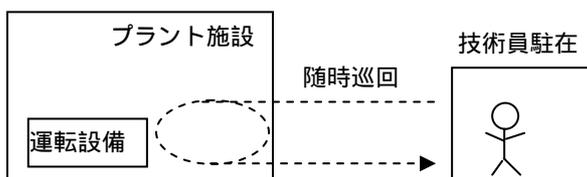


図7. 巡回監視方式の概要図



実現し、さらにはその結果得られる省エネルギー効果を保証する事業

<sup>4</sup> 人間の感覚統合機能を模倣して、複数のセンサ情報の統合的・融合的な処理を施すもの。

## (2) 自動診断・処理

設備診断を行うシミュレーション技術としては、対象設備の構成・構造・動作方式などにより様々であり、その手法として、燃焼解析技術、音響解析技術、振動解析技術などが挙げられる。

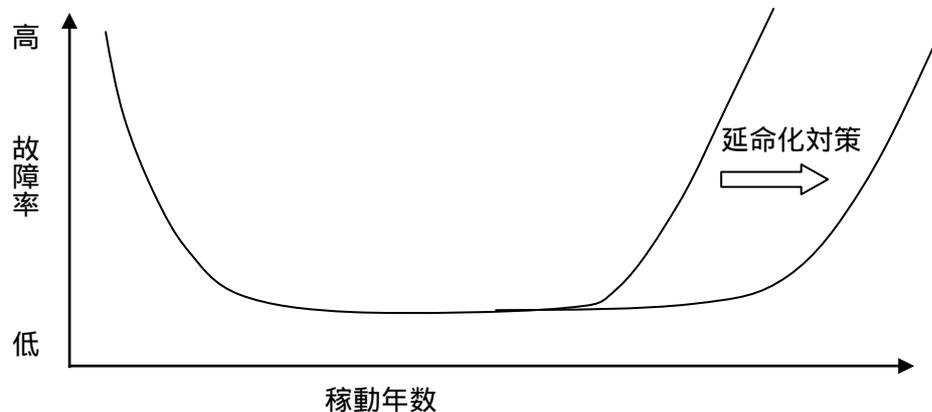
近年、設備の高度化により、自己診断機能を備えた機器・装置が増え、これらは、過去の運転データを蓄積し処理して、予防保全のアラームを出力する機能を備えている。また、プラントの異常診断機能として、監視制御システム側で、運転情報を蓄積して、運転能力や精度などを解析し、劣化診断を行う機能を有するシステムもある。最近では、リモート診断・監視システムにより、設備納入メーカーの監視センタへ運転情報を送信し、監視センタ側で、例えば振動監視データと各種プラント状態量から要因分析を行い、振動原因を診断し、対策をアナウンスするシステムもある。

## (3) 寿命・劣化診断

寿命・劣化診断は、定期点検・保全業務の計画や設備のリプレース計画策定に重要である。クリープ<sup>5</sup>や疲労などが問題となる機器の寿命評価法としては、対象構造物の温度や解析結果を材料寿命評価カーブに適用して評価する解析的方法、金属組織の変化をとらえる非破壊的方法、及びサンプルを採取して破壊試験を行う破壊試験法がある。解析的方法では、温度・応力解析を行い、運転履歴と今後の運用予想より、材料劣化を考慮して余寿命計算を行うが、材料データのばらつき低減を図ることが、精度を良くするためには重要である。

また、一般に機器の故障率はバスタブ曲線<sup>6</sup>（図8）で表され、長期間使用していると、ある期間から故障率が増大し、使用者側の期待に添えない時期を迎えることになる。これは、機器が置かれる設置環境に依存する場合が高く、設置環境が悪いと、故障率が増大する時期は早くなると考えられる。機器の寿命は、期待する信頼性を維持するために必要な保全費・延命化対策費などを考慮して判断する必要がある。

図8．故障率曲線（バスタブ曲線）



## (4) 履歴・データ分析

異常診断、寿命・劣化診断では、運転情報の履歴データ蓄積とそのデータ分析が基本となる。蓄積された多量のプラントの運転履歴データを活用して、異常検知や設備保全に役立てる試みがなされている。データ分析のためには、対象プロセスの知見が必要であり、また、対象プロセスのモデリング

<sup>5</sup> 鉄鋼材料などにおいて、一定の応力下で、ひずみが時間とともに増加する現象。

<sup>6</sup> 故障率の時間変化を示すグラフで、ある時点まで動作してきた機器が、引き続き期間に応じて故障を起こす割合を示す。初期不良による故障と経年劣化による故障で割合が高くなる。またこのグラフの形状から「バスタブ」と呼ばれている。

を行うことも要求され、詳細な分析では、多大な労力と時間を必要とする。

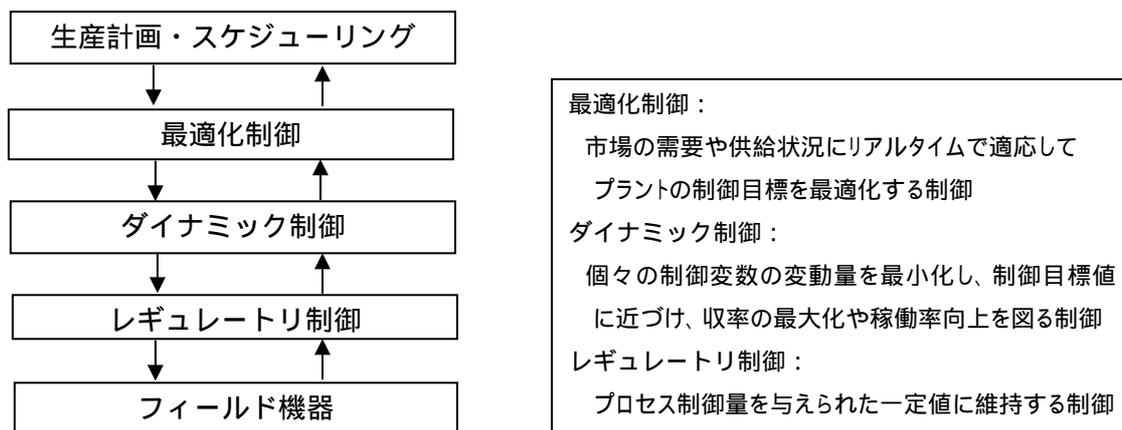
その活用手法技術として、データマイニング手法がある。データマイニングとは、蓄積されたデータの集合から規則性や関係を利用が容易な形式で抽出することと定義されている。履歴データのデータマイニングにより、データの規則性や関係を見出しモデリングを行うことが可能となる。データ履歴データを用いてモデリングを行う技術としては、ニューラルネットワーク<sup>7</sup>や GMDH(Group Method of Data Handling)<sup>8</sup>等のブラックボックスモデリングの技術が挙げられる。これらの技術は、非線形モデリング技術であり、プロセス分野の複雑な非線形な課題に有効である。

## 2.4. プラントの制御・運転支援技術

### (1) 制御システム (DCS・PLC)

プラントにおける運転・制御・操業システムは、センサや工作機械、バルブなどのフィールド機器を操作し定常プロセスを保つ制御レベルと、制御目標を与え最適な制御を行うためのコントローラの制御レベル、生産計画やスケジュールを調整して生産実行プロセスを最適化する制御レベルに階層化されている(図9参照)。

図9. 制御システムの階層構造



プロセスの制御・監視では、コントローラが、流量や温度、圧力などの測定信号をフィールド機器から読み取り、制御演算を行って、バルブの調節量やアクチュエータの制御量として操作機器に出力する制御ループが形成されている。

また、プロセスの状態やフィールド機器の状態に異常があるとそれを検知し、監視操作端末(HMI: Human Machine Interface)経由で、オペレータに異常を通知する仕組みが形成されている。さらに、生産調整や品質管理を行う生産情報管理システムなど、上位システムと連携して最適制御を行う生産実行システムが構築されている。

制御装置の故障は、制御システムだけではなく、プラント全体の操業に影響を与えるため、高い信頼性が要求される。このため、制御装置のCPUなどの演算機能、ネットワーク通信機能、内部バス(ネットワーク)、電源、入出力インタフェース等の多重化(冗長化)が行われている。

連続系プロセスの制御など、制御応答のリアルタイム性が要求されるものについては、リアルタイムOSやリアルタイムネットワーク技術などが採用されている。

<sup>7</sup> 人間の脳の働きを真似たネットワーク構造を利用した計算手法。入力値に対する出力値の推定モデルを与える。

<sup>8</sup> データマイニングにおけるモデル化の一つの手法で、複雑な非線形現象の入出力関係を見出すために提案された発

・ DCS の基本構成

DCS ( Distributed Control System ) は、オペレータ ( 運転員 ) が制御・監視を行うための HMI ( Human Machine Interface ) と、フィールドネットワークに接続して、フィールド機器を制御する制御装置 ( コントローラ )、HMI とコントローラを接続する制御ネットワークの 3 つの構成要素からなる。

HMI は、制御システムの装置・機器の状態や制御対象であるプロセスの状態を表示するモニタ機能と、コントローラの操作を行うキーボードやタッチパネルといった専用入力装置で構成されている。オペレータは、HMI を通じてプラントの運転監視を集中的に運転管理室から行うことができる。一人のオペレータで複数の制御ループの監視制御を行うために、監視画面の切り替えや独自の操作性をもつ GUI ( Graphical User Interface ) による HMI の設計がなされている。

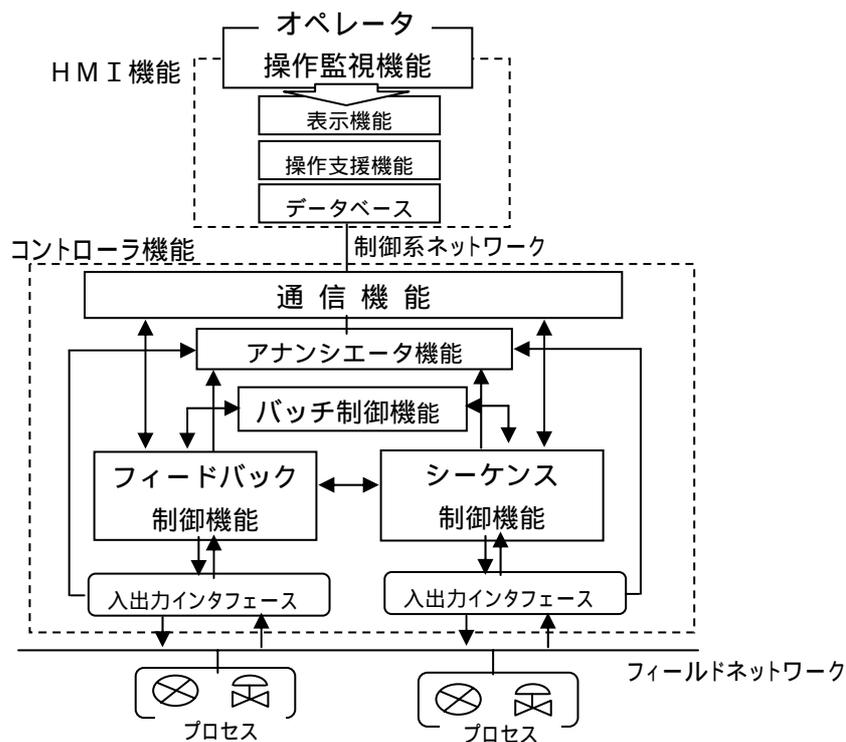
DCS コントローラの内部構成は、CPU とメモリ、ネットワーク通信機能、I/O 変換機能から構成されている。CPU 機能は連続プロセス系プラントなどにおいて、24 時間、365 日の操業ができるように、システムの冗長化などの高信頼化がなされている。

I/O 変換機能は、センサやバルブといったアナログ制御機器に対応するため、デジタル信号をアナログ信号に変換する機能である。CPU 機能は、連続プロセスのようなアナログ処理で制御が行われるフィードバック制御の機能モジュールと、非連続プロセスで一定の手順で制御を行うシーケンス制御の機能モジュールからなる。また、バッチプロセスには、フィードバック制御とシーケンス制御を組み合わせて処理を行うためのバッチ制御モジュールが用意されている。

ネットワーク通信機能は、制御用 LAN に接続し、HMI や監視データサーバに、プロセスデータや生産実績データなどを送信する。データ交換のための通信プロトコルには、OPC 技術などが採用され、デファクト標準化されている。

分散制御システム ( DCS コントローラ ) の基本構成を図 10 に示す。

図 10 . DCS コントローラの機能構成



見的自己組織化に基づいた手法。

無線技術やモバイルコンピューティング技術の進展により、コントローラが現場作業員の携帯情報端末と連携する技術が開発されている。これにより現場作業員は、運転管理室のオペレータの仲介なしに直接コントローラの監視・制御ができるようになった。これまで現場作業員は、巡回点検時にプラントの異常兆候を発見した場合、運転管理室のオペレータと確認を取りながら適宜運転操作を依頼し、問題解決にあっていた。現場作業員がコントローラを直接操作できるようになることで、運転管理室が無人であっても、必要な措置が講じられるようになる。

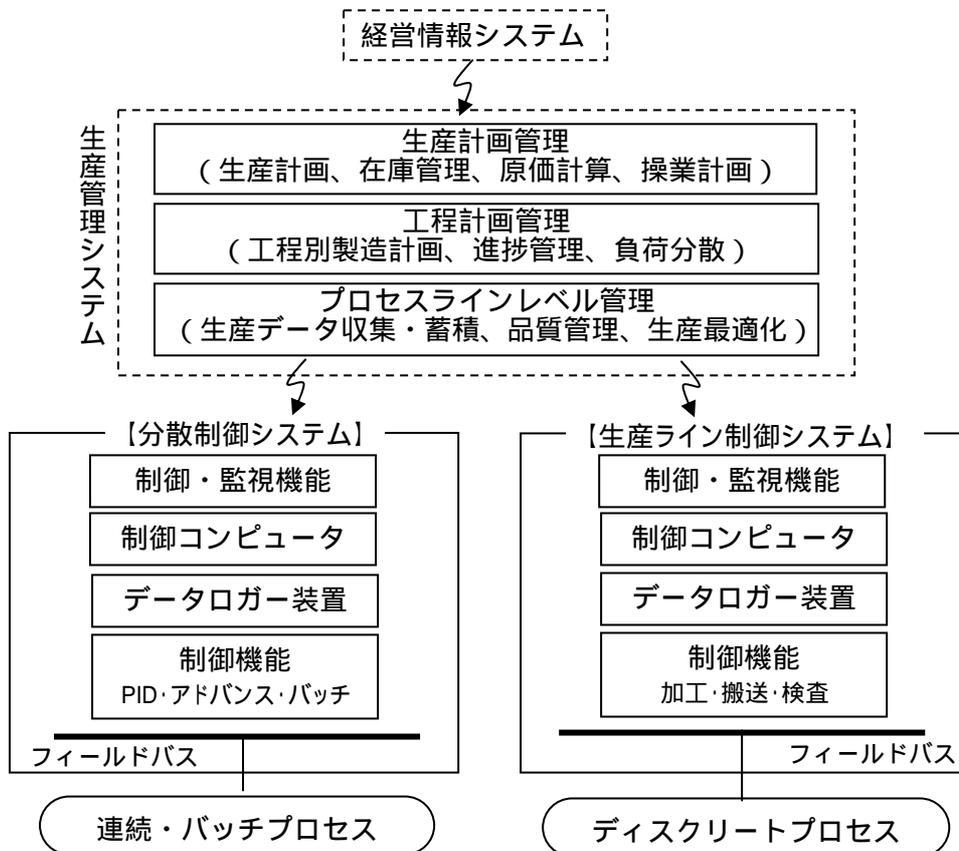
・生産制御システムの垂直統合

DCS は、従来、オペレータが HMI の操作によってプラントの運転監視を行うことを目的に活用されてきた。1990 年代後半になると、ERP ( Enterprise Resource Planning ) など、経営システムの情報化が進み、制御システムをイントラネットやインターネットに接続して、生産系管理システムとプラントの制御システムを連携する仕組みが構築されるようになった。これにより DCS を操作して、生産系管理システムとの連携により、高度操業支援、最適生産スケジューリングなどを行えるようになった。

制御系と情報系のシステムのデータ通信には、OPC 技術がデファクト標準化されている。また、上位システムで決定された生産計画やスケジューリングをリアルタイムで制御システムに反映する仕組みとして生産実行システム( MES : Manufacturing Execution System<sup>9</sup> )が構築され、数々のソリューションが提供されている。

図 11 には、生産制御システムの垂直・水平統合の概念図を示す。

図 11 . 生産制御システムの垂直・水平統合



## ・ PLC ( Program Logic Controller )

PLC は工業用コントローラとして、安価で誰にでも使える手軽さがあり、ソフトウェアの入れ替えなどで様々な制御・監視システムにも適用可能であることから、1980 年代より普及がはじまった。当初は、アナログ計装を専門に扱っていたが、1990 年代には高性能パソコンの普及と高性能なデータ収集管理ソフトウェア( SCADA : Supervised Control And Data Acquisition<sup>10</sup> )および HMI ソフトウェアの普及によって、デジタル計装分野でも使用されるようになった。

DCS が制御対象プロセスに対応した専用の制御・監視システムであるのに対して、PLC は、パソコンと監視・制御ソフトウェアの組み合わせによりプロセスの制御・監視を実行する。PLC は、工業用コントローラとして生産台数が多いため低コストで導入が可能であったが、DCS に比べて冗長化機能などが十分でないために 24 時間、365 日の連続操業を必要としない、組立加工などのディスクリート系プラントを中心に導入が進められてきた。1990 年代後半になるとコンピュータの高機能化によって連続プロセス分野においても PLC が導入されるようになった。

DCS が保守・エンジニアリング作業を設備メーカーに頼るのに対して、PLC 計装では、ユーザ自らが保守・エンジニアリング作業を行っている。PLC は、ハードウェアの単価も安いため、故障の際はユニット単位で装置を交換する形態がとられている。

PLC 計装では、シーケンス制御が主な制御対象となっている。フィードバック制御に PLC を用いる場合、別途用意された調節系システムに PID 制御等の機能を依頼して連携して制御が行われる。このとき PLC は、PID のループ制御のパラメータ管理や複数ループ間の連携処理などの役割を受け持ち、ループ単位の危険分散などを行う。

PLC 計装システムの監視機能は、専用の SCADA / HMI ソフトウェアを開発するか、市販の SCADA / HMI ソフトウェアを導入して行われる。市販の SCADA / HMI ソフトウェアには、標準の監視画面がないので、ユーザが作成する必要がある。また、制御対象の監視ポイントは、PLC から SCADA サーバにタグ情報をインポートすることで実行される。タグ情報のインポートは、PLC メーカーから提供される通信ミドルウェアを利用することで選択できるようになっている。

SCADA / HMI ソフトウェアの機能を以下にまとめる。

PLC 計装システムは、主に、組立加工プラント、化学、薬品、食品関係、水道、電力、ガス、ゴミ処理施設などの公共施設の監視・制御に導入が進んでいる。

## 【参考文献】

- ・「計測・制御テクノロジーシリーズ：プロセス制御」, 計測自動制御学会編, 2003 年 1 月 23 日, 高津春雄編著, (株)コロナ社発行
- ・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編, 2004 年 11 月 25 日, 工業調査会発行
- ・「計装システムの基礎と応用」, 1987 年 9 月, 千本資 共編, オーム社発行

---

<sup>10</sup> SCADA とは計測データの制御および監視システムのことを意味し、これをパソコン上で構築するためのツールを SCADA ソフトウェアという。PLC の制御・監視用ソフトウェアに用いられる。

## (2) 運転操作支援技術

### ・プラントの制御・監視画面

プラントの運転操作支援技術は、アナログ操作盤の大型計器から小型計器へ、空気式から電気子式への変化の中で発展していった。1960年代に小型計器が登場すると、それまで、機側制御盤にあった計器情報が計器室に集約され、集中監視ができるようになった。

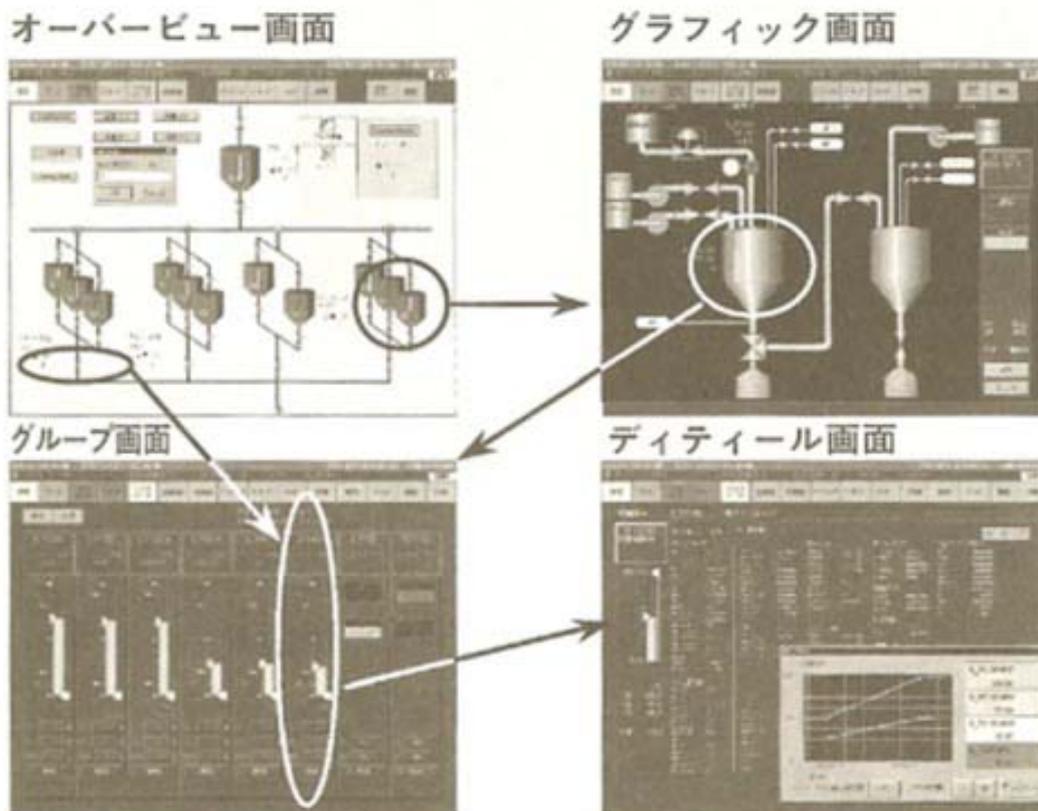
計器パネルが計器室に集中化されたことによって、一人のオペレータが監視できる制御ループ数が増大し、効率的な監視・操作ができるようになった。また、計器パネルの表示盤を工夫し、目標値が常に表示スケールの中央にくるようにして、計測値と目標値とのズレから、制御不調の状況が人目で分かるような工夫が施された。

これらの計器パネルは、コンピュータ技術の進歩とDCSの普及により、モニタ上にウインドウ表示されるGUI (Graphical User Interface) 制御・監視画面へと進化している。

DCSのHMIに表示されるプロセス画面は、オペレータの所掌範囲全体の状況を示すエリア情報(オーバービュー画面)と、エリア内の個々のプロセス装置について運転状態や運転履歴を表示するユニット情報(グラフィック画面)、8~16程度の監視制御点についての状態や履歴、工程実行状態を示すグループ情報(グループ画面)、個々の監視制御点について制御パラメータやリミット値などの詳細を示すディテール情報(ディテール画面)に階層化されている。それぞれの階層画面には、各画面に表示された監視対象装置や操作点などからのリンク操作、俯瞰ビューと詳細ビューの切り替えボタンによって移動することができる。

図12には、DCSの運転操作画面の階層構成を示した。

図12. DCSでの運転操作画面の体系



出典：「計測・制御テクノロジーシリーズ：プロセス制御」, 計測自動制御学会編, 2003年1月23日, 高津春雄編著, (株)コロナ社発行, 108頁, 図5.10

オペレータによる制御・監視画面を用いた操作手順を以下にまとめる。

- ・ オペレータは、オーバービュー画面を見ながら特定のエリア状態を監視し、異常がないかどうかを確認する。
- ・ あるエリアにおいて、異常状態ではないが、プロセスの乱れが確認されると、オペレータは、異常兆候にあるユニットのグラフィック画面を表示させて運転バランスや履歴データを調べる。
- ・ 調査の結果、設定パラメータ等の微調整が必要になるとグループ画面を呼び出し、調整を行う。
- ・ グループ画面の機器調節機能では十分な調整ができない場合は、ディテール画面を呼び出し、計器の PID パラメータ等の調節を行う。

#### ・ アラーム監視機能

制御・監視画面は、オペレータにプラントのプロセス異常を早期に伝えるためのアラーム機能をもっている。

異常事態が発生した場合、オペレータは迅速に対応し、安全制御の措置を講じる必要がある。異常発生時の緊急操作は自動化されておらず、オペレータの判断による操作で対処するようになっている。そのための対処機能として、異常対応ガイダンス機能や過去の対応事例に関する知識支援を行う機能が提供されている。ただし、最終的に安全を確保するための手段として、オペレータの誤った操作を未然に防ぐための緊急停止装置の機能は自動化されている。

制御・監視画面の階層構造は、それぞれの監視水準に応じてアラームのサマリを表示する。これらの制御・監視画面を見ながらオペレータは異常の原因を明らかにし、対応策を検討する。アラーム情報は個々の制御機器ごとに複数の種類、レベルのものを有しているため、それぞれの情報を入手し、細かく分析するとともに、個々の警報を発生させる閾値を設定し無駄なアラームが発生しないように調節が行われる。

アラーム監視機能では、インターネット技術を用いることで、電子メールでの担当者への警報通知システムやアラームの詳細状況を Web で確認するシステムが構築されている。

#### 【参考文献】

- ・「計測・制御テクノロジーシリーズ：プロセス制御」, 計測自動制御学会編, 2003年1月23日, 高津春雄編著, (株)コロナ社発行
- ・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編, 2004年11月25日, 工業調査会発行
- ・「計装制御システム (最新制御システムシリーズ1)」, 1973年, 石井保 編, 電気書院発行

#### ・ 非定常制御支援機能

定常運転時のプラント制御は、大部分が自動化され、オペレータが特別に運転操作することがほとんどないような状況に達しており、定常運転時には、オペレータは自動運転機能に制御を委ねることが多くなってきている。

一方、プラントのシャットダウンやスタートアップの操作、製造品種の切り替え、生産量の変更などの非定常運転操作時には、オペレータ主導での運転操作が必要であり、オペレータの運転支援環境の整備が行われている。非定常操作は頻繁に行われるものではなくオペレータによる経験の蓄積が難しいため、操作時のオペレータの緊張度合いが増しやすい。また、非定常制御は、外乱からの影響を受けやすく、異常事態を招く要因をもつため、外乱への対応策、アラーム解析、機器・装置の異常診断等についてオペレータを支援する技術の提供が求められる。

こうした異常時の対応手順は、標準操作手順書 (SOP: Standard Operation Procedure<sup>11</sup>) として

---

<sup>11</sup> 本編 1 - 6 - - 1 を参照のこと。

電子マニュアル化され、オペレータが容易に検索できる環境が整えられている。また、運転操作支援パッケージソフトウェアの形で、こうした運転ノウハウが組み込まれたものが製品化されている。

非正常運転時の操作支援機能として、プラントのプロセスフローに応じたプラント設備機器全体の稼働状況の確認や、装置や品種、生産スケジュールなどの階層による多様な観点からの表示画面の切り替えを自在化する、ズームインタフェース機能<sup>12</sup>の開発などが行われている。

プラントのアラーム通知において、アラームの発生情報（発生時刻、発生部位、発生内容、緊急度）の詳細を連絡し、プラントの稼働状況に応じた異常対応ナビゲーション機能を提供することも、オペレータに適確な判断を促すための重要な機能となる。

プロセス状態の表示画面は、できるだけ直感的に状態の把握が可能な画面表示の構成とし、プロセスの全体監視において、見逃すことなく画面上のパターン認識を可能にするアナンシエータ<sup>13</sup>を常時配備する機能が求められる。

さらに、制御・監視画面を利用して、蓄積されている運転履歴データに基づく、プロセス状態の再現機能やシミュレータを用いて将来の状況を予測して表示を行うタイムマシン機能を提供するなどのオペレータの運転操作や意思決定を支援するための機能の開発が今後、求められるものと思われる。

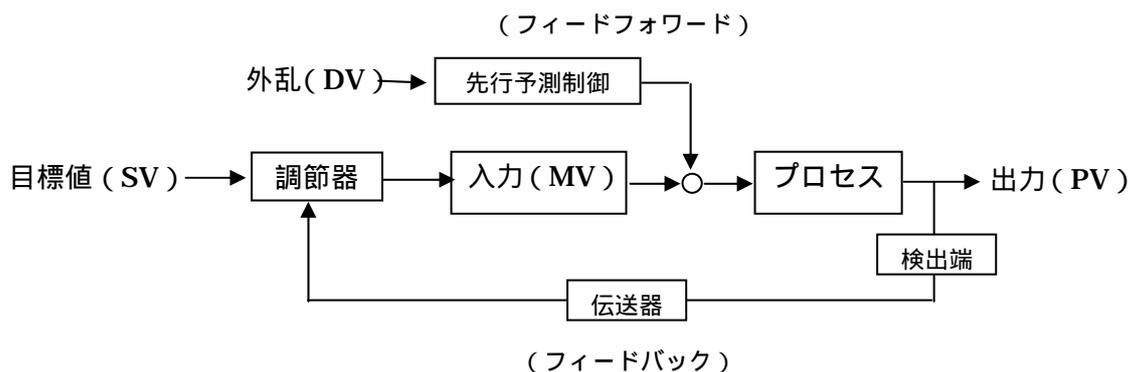
### (3) 制御方式

#### ・PID 制御

プラントの制御方式は、連続プロセスの制御量を与えられた制御値に保持するレギュレトリ制御と、個々の制御変数を調整するダイナミック制御、最適モデルに基づき、最適な運転ポイントをリアルタイムに計算し運転状態を設定する最適化制御により構成される。

レギュレトリ制御は、図 13 のようなフィードバック制御により構成されている。制御目標設定値（SV）の入力に対して制御入力（MV）を計算し、外乱（DV）からの影響を抑制しながら、プロセス出力値（PV）と目標設定値（SV）との偏差に基づき、制御入力（MV）を調整するというフィードバックループの構成をとっている。先行予測制御による外乱抑制の調節と目標設定値の調整により制御特性の改善を行うことができる。

図 13 . フィードバック制御ループの構成



制御量の計算には、PID 制御方式が用いられている。PID 制御アルゴリズムは、目標設定値とプロセス出力値の偏差に対して、比例演算、積分演算、微分演算の 3 種類を組み合わせた制御動作を決定するアルゴリズムであり、制御対象の特性や制御の目的に応じて、アルゴリズムの選定やパラメータのチューニングが行われる。

PID のパラメータチューニングには、セルフチューニングコントロールなどの技術が開発されてい

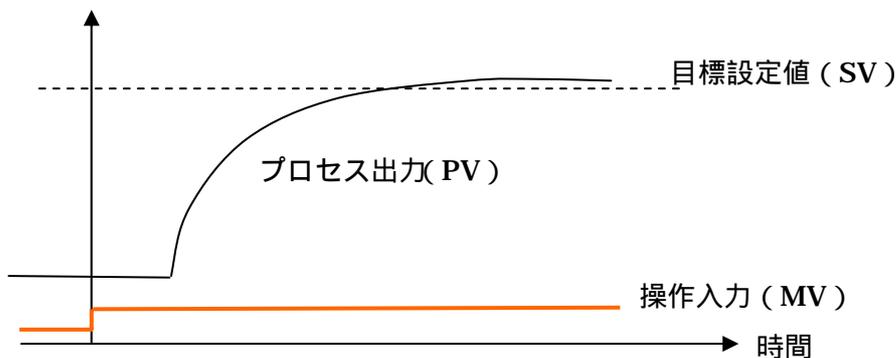
<sup>12</sup> 本編 2 - 2 - - 2 を参照のこと。

<sup>13</sup> 警報表示機、ランプやブザーなどによって、機器の故障やプロセスの異常を通知する装置

る。これは、パラメータチューニング時に操業に支障を与えるような過大なテスト信号の適用を必要とせず、誤チューニングに対しても安全化対策がとられ、チューニング操作に高度な知識を必要としないというものである。目標値の設定に対するプロセス出力の応答を監視し、短時間の閉ループのデータからプロセスモデルを推定し、この推定モデルにしたがって PID チューニングを演算する。

プロセスのモデル化においては、図 14 に示すような、制御入力に対してプロセス応答に遅れが生じるとする、“むだ時間 + 一次遅れ”モデルが採用されるものが多い。

図 14 . むだ時間 + 一次遅れモデル



#### ・モデル予測

モデル予測制御は、高度制御技術の中でもっとも普及した技術であり、石油精製などの連続系プラントに導入され、原油性状の変化に追従した制御などが行われている。連続プロセスでは、温度や圧力、流量などの複数の設定値を、バルブなどを調節し、一定に保つことが行われるが、PID などの通常のフィードバック制御は、操作入力に対する応答時間の遅れが長い系や、複数の制御変数が干渉して独立に操作することが難しい系、最適運転ポイントを見出しにくい系についてはそのままの適用が難しいため、高度な運転制御技術が必要とされている。

熟練オペレータの減少、オペレータ数の省人化と一人当りの制御ループ変数の増大により、高度な制御技術の自動化のニーズが高まっている。モデル予測制御は、このようなニーズに応えるもので、プロセスの生産量最適化や製品収率の改善、エネルギー効率の最大化等を目的として与えられた制約条件のもとプラントの運転制御を行うものである。

モデル予測制御は、予測モジュールと最適化モジュール、制御演算モジュールから構成され、DCS から制御情報を得て操作変数の制御変数への影響を予測することにより、適正な操作量を計算して、コントローラに与え、制御を行う。

#### ・オンライン最適化

オンライン最適化技術は、モデル予測制御と比べると適用技術として成熟度は低いですが、制御システムが生産計画やスケジューリングなどの上位系システムと連携して運転制御を行う場合の中心技術になるものである。

オンライン最適化技術は、モデル予測技術の上位に位置し、リアルタイムで対象プラントの最適運転条件を計算し、操作変数の制御目標をモデル予測制御に伝達するものである。種々の制約条件の中で、最適運転条件を見出し、プラントの運転状態を最適化していく。オンライン最適化システムは、入力データのチェック機能と定常状態判定機能、データリコンシエーション機能、運転条件最適化計算機能からなる。

入力データチェック機能には、プロセス変数の最良推定を行うために、実プラントの観測値に物理的にありえない値が見つかった場合それを除外する機能がある。

定常状態判定機能は、プラントのプロセスが外乱で不安定状態になっている場合、そこから得られたデータからはモデル構成が出来ないために、プロセスが定常状態にあるかどうかを判定してモデル化を行う機能である。

データリコンシエーション機能は、プロセスモデルの変数と実プラントの運転データの誤差を最小化する機能であり、これにより、モデルに用いられた物性値等のパラメータを最適化する。推定されたデータは、プロセスモデル・物性データベースに保存され、再利用される。

運転条件最適化計算では、製品価値や原料コスト、用役コストなどの制約経済条件などで構成される目的関数を定義して、推定を行ったプロセスと制約経済条件下での最適操作変数および制御変数の計算を行い、計算結果に基づく制御内容をモデル予測制御に送信する機能が提供されている。

#### 【参考文献】

- ・「計測・制御テクノロジーシリーズ：プロセス制御」, 計測自動制御学会編, 2003年1月23日, 高津春雄編著, (株)コロナ社発行
- ・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編, 2004年11月25日, 工業調査会発行

### 2.5. プラントの生産管理支援技術

#### ・プラントの制御・監視と生産管理技術

プラントの制御・監視システムは、1970年代に、アナログ計装にPID調節系を加えたシステムから、マイクロプロセッサを組み込んだDCS等のデジタル制御システムに移行した。その後、シングルループの制御方式からマルチループ制御方式へ、そして多変数のモデル予測制御からオンラインの最適化制御へと進化していった。

コンピュータ通信技術が進歩とともに、オープン化、ネットワーク化へと進み、制御系ネットワークだけではなく、情報系ネットワークシステムとの接続が実現され、OPCなどのデータアクセス方式の標準化が進行していった。

こうした技術環境の変化の中で、プラント制御を、生産計画・生産スケジューリングといった生産情報システムとプロセス制御システムとが連携させることで最適化し、制御情報をSCM (Supply Chain Management) やERP (Enterprise Resource Planning) といった経営情報システムの中に組み込むことで、経営レベルの意思決定を交えた最適生産を実現する方法が考案されるようになった。

製品のライフサイクルが短縮化し顧客ニーズの多様化が進んだことによって、多品種少量型製品に適した生産システムの柔軟な変更に対応できるシステムや、製品開発・設計、工程設計、試作・量産化、販売の一連のプロセスをデジタル情報で統合管理する製品ライフサイクルマネジメント (PLM) の実現に、プラントの制御・監視システムが活用されるようになっていく。

生産制御システムと生産情報管理システムとを結びつける技術が、生産実行システム (MES : Manufacturing Execution System) である。プラントのプロセスデータや生産実績データを収集して情報系システムに伝えるとともに、業務計画に基づく生産実行指示をプラントの制御システムに伝えるシステムである。MESにより、エンジニアリングから生産、販売の各プロセスが垂直統合されることになる。

#### ・生産実行システム (MES)

プラントにおける生産管理は、1970年代より情報化され、工程や設備からのデータ収集や状況監視、統計的なプロセス制御システムやロットの進捗状況追跡するためのPOP (Point Of Production) システムが導入されてきた。一方、生産管理システムは、MRP (Manufacturing Resource Planning) やERP (Enterprise Resource Planning) といった形で、設備や工程の管理 (制御) システムとは別に情報化を遂げてきたが、これまで両システムをつなぐ基盤が整備されてこなかった。

また、生産現場の情報は、プラント全体に散在するために情報の集約化が難しく、リアルタイムでの業務計画の立案・実行システムの構築ができなかった。

MES は、このような課題を解決し、プラント全体の製品やロット生産情報を、「分・時間」単位で管理し、業務計画システムの指示のもとで、DCS 等の制御システムに製造指示を与え、加工方法や生産パラメータなどの最適化条件を与えるものである。

#### ・生産ライフサイクルマネジメント (PLM)

生産ライフサイクルマネジメントシステムは、顧客ニーズに即応するために、生産計画と生産実績の対応関係からプラントの制御システムを操作し、生産調整を動的に行うものである。

近年、IC タグなどの小型チップの高性能化により、製造部品単位ごとに、生産ラインの情報がリアルタイムで把握できるようになり、より詳細な生産調整の実行と生産プロセスの分析による業務改善が容易になった。

生産管理の中核である生産工程管理は、設計フェーズからモデル化を行い、部品とその原材料となるサブ部品との関係を定義した部品表 (BOM : Bill Of Material) を作ることによって、製造プロセスを工程順に結びつけ、一連の加工順序、作業手順を定義するとともに、製造に必要な生産設備や工員等のリソースを管理して、生産工程のモデル化を行うものである。

この生産工程モデルとバーチャルマニュファクチャリングにおける仮想工場の統合によって、MES からリアルタイムで生産現場の稼働実績情報を取り込み、受注・資材発注情報システムとの連携を図りながら生産シミュレーションを行うことで、受注変動に対する対応能力の予測に基づく、生産工程の最適化が行われている。

#### 【参考文献】

・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編，2004年11月25日，工業調査会発行

### 2.6. プラント業務の教育・訓練支援技術

プラントの制御・監視の教育訓練用としてトレーニングシミュレータの技術が開発されている。

トレーニングシミュレータは大きく分けて、原子力発電所のような大規模プラント施設向けに作られた実寸大のシミュレータ装置と、プラントの運転操作パネルを中心とした DCS 操作の訓練だけを目的とするシミュレータ装置がある。

後者の DCS シミュレータ装置は、開発当初は、運転操作パネルの HMI の操作に慣れることを目的にしたものであったが、1990 年代以降、コンピュータ技術が進歩することによって、シミュレータにプラントのプロセスシミュレーションを実行するエンジンを組み込み、プラント操作をリアルタイムで体験できるシステムとなった。

プラントの教育訓練・シミュレータは、プラントのシャットダウンやスタートアップ、異常発生時の対処方法等、普段ほとんど経験することがない非定常運転操作の訓練に多く利用される。

プラントシミュレータは、熟練オペレータの引退に伴う運転操作のノウハウ等の後継者への継承手段として、熟練者のもつ制御・監視ポイントをシミュレータの中に組み込むことで、若手オペレータが習得することに利用されている。

また、汎用パソコンの高機能化により、インストールするだけで、手軽に運転操作訓練が実行できるシミュレータソフトが開発されている。

## 【参考文献】

・「生産現場情報化ハンドブック」生産現場情報化ハンドブック編集委員会編，2004年11月25日，工業調査会発行

### 2.7. ビジネスモデル

プラント監視制御機器を導入するユーザに対し設備装置のベンダ企業はコールセンタを設置し、技術相談、緊急支援要請、各種問合せなどの対応やプラントのリモート監視サービスを提供している。

顧客からの電話や FAX を扱う技術として CTI ( Computer Telephony Integration ) がある。CTI とはワークステーションやパソコンなどのコンピュータシステムなどで、電話や FAX の機能を利用する技術の総称である。1997 年に開始された NTT のナンバーディスプレイサービス<sup>14</sup>により、顧客データベースと連携したシステムを構成することで、顧客のプロフィールや過去の対応履歴、対象設備情報などを参照しながら的確なサポートを提供することができるようになっている。特に CTI を利用したコールセンタを CTI コールセンタと呼んでいる。

CTI コールセンタでの基本構成は以下となる。

- 外線と内線を接続する PBX<sup>15</sup>、もしくは UnPBX
- 通話音声録音装置
- CTI サーバ
- アプリケーションサーバ ( 顧客データベース含む )
- オペレータ端末 ( パソコン )
- 管理用端末 ( パソコン )

CTI サーバは PBX を核とする電話系と顧客データベースなどのデータ系を連携する装置 ( ハードウェア ) とソフトウェアを有する。PBX からのユーザ情報 ( 顧客番号、電話番号など ) およびコントロール情報 ( どのオペレータにつなぐか ) などを標準 API ( Application Program Interface ) 形式に変換してデータ処理系アプリケーションに渡す。この情報に基づいてオペレータ端末に顧客情報などを表示しオペレータの対応支援を行う。

CTI サーバのハードウェアは IA サーバ ( Intel 系のマイクロプロセッサを搭載したサーバ機 ) が主流である。ソフトウェアは以下の構成となる。

アプリケーション：顧客対応に必要な個々の機能

ミドルウェア：ACD<sup>16</sup>機能、IVR<sup>17</sup>機能、ユニファイドメッセージ機能など

API：OS、通信 OS を利用するアプリケーションプログラムとのインタフェース機能でインテル社とマイクロソフト社が開発した TAPI ( Telephony Application Program Interface ) など

UnPBX モデルの構成例を図 15 に示す。( CTstage<sup>1</sup> )

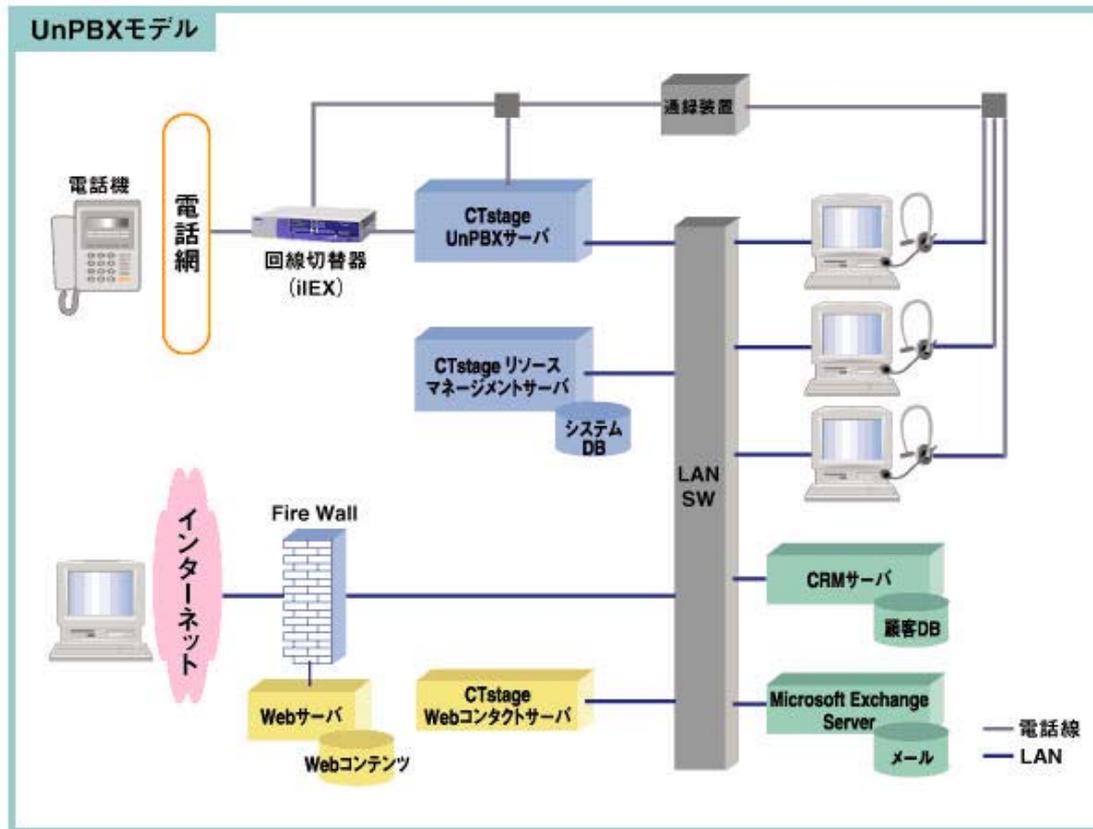
<sup>14</sup> 電話に電話をかけてきた相手の電話番号が表示される機能。

<sup>15</sup> 企業などで内線電話同士の接続や、加入者電話網などの公衆回線に接続する構内交換機器。

<sup>16</sup> 各電話会社の通話料を比較し、なるべく安い電話会社を利用するように自動的に識別番号をつける電話機の機能

<sup>17</sup> 企業の電話窓口で、音声による自動応答を行なうコンピュータシステム。

図 15 . UnPBX モデルの構成例



顧客からかかってくる電話に対応するインバウンド業務とベンダから顧客に電話をかけて営業するアウトバウンド業務がコールセンタの主要業務であった。近年のマルチメディア対応のブロードバンド IP 基盤の普及、さらには携帯電話のモバイル機器の機能向上、Eメール・Webなどのマルチチャネルとの連携により、CTI コールセンタからマルチチャネル・コンタクトセンタへと顧客設備のリモート監視サービスを含めた複合的な顧客支援センタとして拡大する方向にある。

IP 化により、通信費用の削減や運用コストの削減などのメリットが得られるが、ユーザによっては、システムダウンした場合の対応や、情報漏えいなどの課題もあり、セキュリティ対策が重要となっている。

1 「CTstage」：沖電気工業株式会社の登録商標

## 2.8. HMI (ヒューマ・マシン・インタフェース) 技術

プラントの制御・監視システムは、従来は、プラントの系統を考慮した計装制御機器を操作盤面上にハードワイヤードに配置するシステムが一般的であったが、現在は、コンピュータを用いて情報を収集し、それに基づきオペレータ（運転員）が操作するシステムが主流となっている。これにより、HMI (Human Machine Interface) 機能にも大きく変化が生じており、情報処理機器やネットワーク技術が有効に使用されて、操作性や視認性などの HMI 機能の向上が図られている。

このような現状を原子力発電分野での開発の例<sup>1)</sup>で見ると、端末としては通常の個別ディスプレイや、PHSを用いた現場端末や、大型スクリーンが使用されている。また、表示方法としては、3次元図、P&ID、ITV 映像などのマルチメディアを連携して複合表示するもの、警報・プラントの機能・ステータス・診断・タスク・系統システム等の運転監視に必要な情報を集約したオーバービュー情報を継続監視するための大型ディスプレイが開発されている。

入力装置としては、CRT タッチオペレーション、インタラクティブな使用が出来るよう赤外レーザー光を出射する携帯型ポインタを用いて大型ディスプレイの画面をレーザー光で直接ポインティング入力する遠隔指示入力、音声入力などのマルチメディアを利用したものが開発されている。

現場保守作業の支援機能として、拡張現実感 (Augmented Reality) <sup>18</sup> 技術を適用した保守員の視覚を考慮して作成した 3 次元画像に、コンピュータがもつ操作ガイドなどの支援情報を空間的位置に合わせて重畳して表示するシステムが開発されている。

またネットワークを介した情報収集により表示の質的な拡大や、現場パトロールなどのローカルな利用においても大量のデータを提供する事が可能になっている。中央制御室では現場点検での映像、音響、点検記録が参照できるようになり、現場では携帯端末を用いて、系統図やトレンド図などプラントの運転状態を示す情報を中央制御室と同様に確認できるようになった。

HMI 技術としては、参考文献 1) にあるように、情報への高速なアクセス、理解しやすい情報表現、大型ディスプレイの活用、運転員の情報の共有化、現場点検・パトロールの支援、現場保守作業の支援が重要であり、ヒューマンインタフェースを設計するにあたって、人間の身体能力や作業性に配慮して機器・道具・作業環境などを設計し、情報の重要度とユーザのメンタルモデルに基づいてインタフェースを設計することが重要である<sup>2)</sup>。特に認知工学的アプローチも盛んに研究されており、運転員モデルを用いた人間の認知特性を考慮したインタフェース設計や、複数のオペレータによるチームのモデル化などが試みられている。

以上の様に近年進歩が著しい計算機技術、新型ハードウェア、ネットワーク技術、無線技術などの分野の活用により、認知手法の研究とも相俟って HMI 技術は大幅に進歩しており、プラントの制御・監視技術の分野でも今後も大きな変革が予想される。

### 【参考文献】

- 1) 若林二郎他, "原子力発電プラント・セーフティサポートシステムの開発", 日本原子力学会誌, Vol.43, No.4, (2001)
- 2) 五福明夫, 古川宏, 北村正晴, "連載講座 ヒューマンファクター 第6回ヒューマンインタフェースに関する原則, 結言と将来展望", 日本原子力学会誌, Vol.45, No.3, (2003)

<sup>18</sup> 実際の視界と計算機からの出力を重ねて表示して、情報量を補強するなどの技術。

## 2.9. 制御・監視用ネットワーク技術

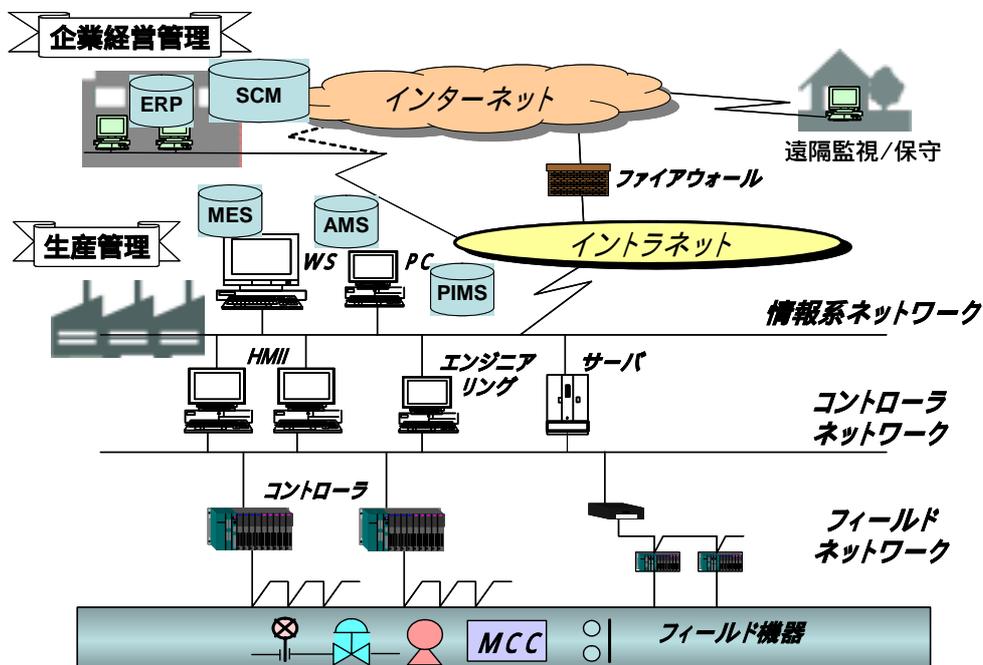
### (1) フィールドネットワーク、制御用ネットワーク、情報系ネットワーク

図 16 に、計測・制御システムを含む企業内ネットワークの例を示す。

最も下の層は、フィールド機器（センサ、アクチュエータ、モータコントロールセンタ、I/O ユニット等）同士あるいは、フィールド機器とコントローラを接続するデジタルネットワークであり、これを「フィールドネットワーク」という。フィールドネットワークは、従来からアナログ信号（4-20mA）を用いていたが、省配線、高機能化のためにデジタル化されている。

次に、コントローラ同士あるいは、コントローラと HMI（Human Machine Interface）を接続するデジタルネットワークを「制御用ネットワーク」という。制御用ネットワークは、工場の製造システムにおいて中層に位置し、コントローラがもつ I/O データ、プロセスデータ、アラーム情報を HMI が収集し、監視・表示するためのデータハイウェイである。また、HMI からの指令や、パラメータ設定、プログラムのダウンロードをコントローラに対して行うためにも制御用ネットワークが使用される。

図 16. 計測制御システムを含む企業内ネットワーク階層例



制御用ネットワーク、フィールドネットワークを含む階層が、DCS (Distributed Control System) あるいは PLC (Programmable Logic Controller) を使ったシステムであり、プラントに直結した計測・制御システムの階層である。計測・制御システムからデータを吸い上げて、イントラネットやインターネット上に展開する様々なアプリケーション PIMS (Plant Information Management System)<sup>19</sup>、MES (Manufacturing Execution System)、AMS (Asset Management Solutions)、ERP (Enterprise Resource Planning)、SCM (Supply Chain Management) に情報として提供するためのネットワークを「情報系ネットワーク」という。

今日、製造・生産を効率的に行うためのデータベースや実行システムが情報系ネットワーク上に存在し、さらに、イントラネット・インターネットと接続して、取引先とのやり取りや、資材調達、製

<sup>19</sup> DCS (Distributed Control Systems) などプラントの生産現場における生産制御システムと、上位の経営情報システムとの中間に位置する情報システム。

品の在庫や納入までを管理する、企業全体の経営を効率化するシステムが展開している状況である。

ここで、フィールドネットワークに要求される技術は、ハードリアルタイム性を確保する通信方式と、多数のフィールド機器のエンジニアリングを効率的に行うためのミドルウェア技術である。

1990年代半ばに、それまでアナログ信号線 4-20mA が主流であったところから、デジタル化の目的で、世界各地でフィールドネットワーク仕様が発表された。ただデジタル化するだけでなく、ファンクションブロックやデバイス記述言語によるホストシステムとのデータ交換メカニズムや、制御機能をフィールドに分散させるというアイデアを実現するミドルウェアが開発された。

フィールドネットワークでは、配送時間の保証が不可欠である。FA では数ミリ秒、PA では数十から数百ミリ秒の保証が必要とされ、多種多様なフィールドネットワーク仕様が発表されている理由のひとつである。フィールドバスでは、特にポーリング方式<sup>20</sup>を採用している仕様が多数。その理由は、コントローラが親局になり、I/O ユニットやセンサ、アクチュエータ<sup>21</sup>が子局となる形態にマッチしているからである。加えて、ポーリング方式は周期的な通信を行うのに適している。その他、トークンパッシング方式<sup>22</sup>と混合した方式も存在する。

制御用ネットワークにおいても、フィールドネットワークと同様の技術が要求される。ただし、フィールドネットワークの接続台数は数十台なのに対して、制御用ネットワークではシステム規模の拡大が必要である。したがって、システム規模を加えた下記の 3 つの項目が挙げられる。それぞれの項目に関係する仕様を実現する技術が必要となる。

- ・ リアルタイム性      時間確定制御方式、配送時間、精度
- ・ システム規模      最大ノード接続数、スループット
- ・ 信頼性      冗長化方式、リカバリータイム

時間確定制御方式には、トークンパッシング方式が使われることが多かったが、今日では、フレーム優先制御方式、ノード間時間同期制御方式などがある。冗長化方式としては、リング、メッシュ、二重化伝送路における障害回避手法と、経路に障害が発生してから経路を変えて正常な通信を復帰するまでの時間（リカバリータイム）が重要なパラメータとなる。また、工業用途としての耐環境性、耐ノイズ性、防塵性など、主に物理的な頑健性を実現する技術が必要である。

さらに、制御用ネットワークとフィールドネットワークでは、マルチベンダ化のためのオープン化、標準化が不可欠である。

情報系ネットワークについては、インターネット・イントラネットの普及により、オフィス環境においてはイーサネットと TCP/IP ( Transmission Control Protocol/Internet Protocol ) 通信の普及が進んだ結果、その環境の中で、製造、生産、設備管理等の比較的オフィス寄りな SCM、ERP、AMS、MES、PIMS というソフトウェア群はイーサネット + TCP/IP という基盤上に構築される。

これらのソフトウェアは、計測・制御システムの HMI から情報を取得する形となっており、その部分を結ぶ情報系ネットワークは通常、イーサネット + TCP/IP 技術が利用されている。今日では、MES、ERP と DCS、PLC システムを接続するためのプロトコルの標準化が盛んであり、そこでは XML 技術が利用されている。

## (2) 通信プロトコル、ネットワークセキュリティ

通信プロトコル技術の基本は、OSI ( Open Systems Interconnection ) 参照モデルである。図17に OSI 参照モデルを示す。各層ごとに役割が決まっており、各層の間のやり取りを決めるインターフェー

<sup>20</sup> LAN のアクセス制御方式の一つで、制御局が端末局に対して送信したいデータの有・無を順次尋ねていくこと。

<sup>21</sup> モータや油圧シリンダなど動力を発生する装置のこと。

<sup>22</sup> LAN のアクセス制御方式の一つで、トークンをもったマスターステーションだけが通信を始める権利をもつ通信方法。

ス仕様のみを規定することによって他ノードとの通信を可能としつつ、オープン化を維持することができる。

図 17 . OSI 参照モデル

- ◆ 第 1 層：物理層：信号の物理的な電気特性や符号変調方法等を規定
- ◆ 第 2 層：データリンク層：隣接するノード間での通信方法、物理的なアドレス等を規定
- ◆ 第 3 層：ネットワーク上の 2 つのノード間での通信方法を規定
- ◆ 第 4 層：各ノード上で実行されている 2 つのプロセス間での通信方法を規定
- ◆ 第 5 層：通信の開始から終了まで（セッション）の手順を規定
- ◆ 第 6 層：セッションでやり取りされるデータの表現方法を規定
- ◆ 第 7 層：アプリケーション間でのデータのやり取りを規定

TCP/IP のプロトコルスタックを OSI 参照モデルに当てはめると図18 のようになるが、各層のサービスアクセスポイントごとのインタフェースによるデータ交換により他ノードのユーザアプリケーションがデータのやり取りを実現する。フィールドネットワーク、制御用ネットワークでは、高速化をはかるためにアプリケーション層から直接データリンク層にデータを渡し、中間層を省略するプロトコルの形態もある。

図 18 . OSI 参照モデルと TCP/IP

第7層	アプリケーション層	HTTP、XML、SMTP等
第6層	プレゼンテーション層	
第5層	セッション層	
第4層	トランスポート層	TCP、UDP
第3層	ネットワーク層	IP
第2層	データリンク層	イーサネット(IEEE 802.3)、無線LAN等
第1層	物理層	

また、コネクションと呼ばれる仮想的な通信路を 2 つのノード間で結んでから通信を行う方式、コネクション通信と、仮想的な通信路を構築せずにデータをやり取りするコネクションレス通信がある。コネクション通信では、複数のフレームにデータを分割した場合のフレームの紛失に対するリトライや、フレームの送達順番を制御し、高品質な通信をユーザアプリケーションに対して提供することができる。TCP/IP がそれに当たる。コネクションレス通信は、処理が簡略化されており、高速なやり取りが可能であるため、ストリーミング的なデータの送信ができる。また、マルチキャスト送信も可能である。UDP/IP (User Datagram Protocol/IP) がそれに当たる。

近年、インターネットの普及により、ネットワーク上での情報の盗聴、改竄、ハッキング、クラッキング、ウィルス・スパイウェアといった脅威が増大している。そういった脅威に対して防御する技術が展開されている。アクセスポイントでのチェックや、パスワードによるアクセス制限はもとより、ネットワーク上を流れているフレームをチェックすることも行われるようになってきている。それらの安全対策を、特にセーフティと区別するために、サイバーセキュリティと呼ぶ。

サイバーセキュリティでは、暗号化、認証、電子署名、ウィルス対策、フレーム監視、検疫、VPN

(ファイアウォール、HTTP トンネリング等)といった技術が IT の分野で発達しており、計測・制御システムにおいても同様の技術が転用できることを期待している。ただし、IT と計測・制御システムでは、守るべきものが異なることに注意が必要である。IT では「情報」自体を守ることが重要視される、計測・制御システムでは「設備」を守ることが優先である。また、IT では、やはり情報の秘匿性 (Confidentiality) が重要視されるが、計測・制御システムでは可用性 (Availability) およびリアルタイム性が優先される。

## 2.10. プラントデータの収集・蓄積・共有化技術

### (1) データベースサーバ技術

プラントの制御・監視システムにおいて収集され 1 次処理を施されたデータは、データベースサーバに蓄積される。プラントの制御・監視システムの収集データは、通常、一定間隔あるいは発生事象ごとに時系列に並んだ各種のパラメータの 2 次元配列であることが多い。したがって、この収集されたデータを直接ハンドリングする範囲にとどまるのであれば、そのデータベースには特別な構造も高い検索性能も要求されなかった。ただし、高速で多点のデータセットの格納が必要であるため従来は専用のデータベースソフトウェアが利用されたことが多かった。しかし、生産管理系などの他の生産情報システムとの連携が必要になってきたこともあり、個々のパラメータの属性や物理データと論理データのマッピング、各データベース格納要素と物理的・論理的オブジェクトとのマッピングなどが必要であり、また様々な言語情報との関連やデータの分析・検索機能などが要求されることとなった。これらを実現するには、かなり高度なデータベース技術が必要とされ、現在では汎用のリレーショナルデータベースが利用されることが多い。

これは、データベースサーバとして使用されるコンピュータの性能向上と汎用リレーショナルデータベースの技術進歩に伴い、プラントデータに特有なデータ構造やデータアクセスパターン的高速化などに対応した専用のデータベースを用意しなくとも、汎用のリレーショナルデータベースでほとんどの要求を満たせるようになったことのおかげでもある。

したがって、プラントの制御・監視システムにおけるデータベース技術開発の中心は、汎用リレーショナルデータベースを用いた、プラントデータの蓄積に最適化されたリレーショナルデータベースのスキーマや汎用 DB インタフェースの利用法に移っている。特に、プラント制御・監視システムから、プラントの稼動状況・生産管理情報・品質情報・障害時の履歴情報などを他の生産情報システムへ供給する場合、汎用のリレーショナルデータベースとそのインタフェースの検索・分析機能が非常に有用である。

データベースをバックエンドにもつ Web コンピューティングの普及に伴い、汎用データベースサーバは Web アプリケーションサーバに最適なインタフェースをもつようになり、これを含めた Web アプリケーションサーバの標準的フレームワークが開発され利用されるようになってきている。これらの汎用フレームワークやアプリケーションインターフェースを利用したプラント監視システムの提案も行われるようになってきている。

また、データベースそのものの技術開発に関しても、オブジェクト指向データベースや XML データベース<sup>23</sup>の研究開発が盛んであり、この分野の成果が情報システムで広く使用されるようになり、標準的な開発環境・API・フレームワークなどが普及すると、プラント監視データのデータベースとしても利用されるようになると思われる。

### (2) アプリケーションインターフェースの標準化

異なるシステムベンダのプラント制御・監視システム間やサブシステム間での情報共有のためのア

---

<sup>23</sup> XML の構造を変更することなく格納し、取り出すことが可能なデータベース。

アプリケーションインターフェースに関する技術開発・提案も多く行われている。これらは各システムベンダの製品に依存せず、制御情報や監視データを共有する目的で開発されているので、複数のベンダやユーザがコンソーシアムを形成し開発・提案を行うケースが多い。また、次項で述べるように近年のプラント制御・監視システムは、業務・情報システムの標準的・汎用的なアプリケーションプラットフォーム・ネットワークプラットフォームを利用するようになっているので、プラント制御・監視システムのアプリケーションインターフェースも標準的・汎用的なアプリケーションインターフェースを応用したものが多くなってきている。

後述のように、現在プラント制御・監視システムの多くは、マイクロソフトの Windows<sup>1</sup> プラットフォームを利用したものが多く。したがって、これらアプリケーションインターフェースも Windows プラットフォームに依存するものが多い。しかし、業務・情報システムにおいては Unix 系のプラットフォームやメインフレームシステムも存在するため、マルチプラットフォームのアプリケーションインターフェースの標準化提案も行われている。具体的には Windows プラットフォームの DCOM<sup>24</sup>、プラットフォームの違いを Java<sup>2</sup> 言語・実行環境で吸収する Java RMI<sup>25</sup>、マルチプラットフォーム・マルチ言語のための分散オブジェクトインターフェース CORBA<sup>3, 26</sup>などの標準化があげられる。

これらをプラント制御・監視システムに利用する標準技術として、Windows の分散オブジェクトプラットフォームである DCOM を利用した OPC や、Java のソフトウェアコンポーネントプラットフォームである Java Beans<sup>4, 27</sup> を利用した JIM<sup>28</sup> などがある。

こうした標準化が行われているアプリケーションインターフェースは、各システムを構成するオブジェクトに直接アクセスするいわゆる密結合のインタフェースであり、その実装はシステム構成や個々のオブジェクト構造などに強く依存し、個々のシステムの設計開発に大きな影響を及ぼしたり、非常にプリミティブなインタフェースしか提供できなかつたりすることからなかなか普及が進んでいない。

そこで近年、システム間・オブジェクト間を疎結合で結ぶインタフェースとして、XML 技術を利用した Web サービス<sup>29</sup>が提案されている。これはインターネット環境でも使える、マルチプラットフォームの疎結合のインタフェースであり、業務・情報システムで普及してきている。Web サービスとは、人ではなく機械（コンピュータや装置・設備など）が、インターネット上で必要な情報を検索し、必要な作業（サービス）を選択して依頼して、その結果を受け取ることができる仕組みとして開発された。こうした、サービスの検索、サービスの定義、サービスの起動のためのメッセージ、サービスの結果の配信などがすべて XML で記述され、XML でメッセージングされる。今後は、Web サービスを実装したプラント制御・監視システムも登場してくると思われる（図 19 参照）。

図 19 . Web サービスを実装したプラント制御・監視システム

<sup>24</sup> Microsoft 社が定めた分散オブジェクト技術の仕様。

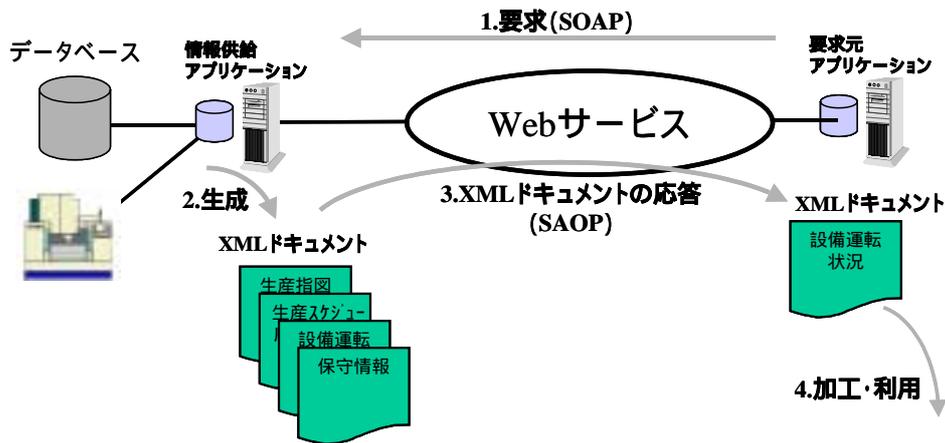
<sup>25</sup> RMI とは Remote Method Invocation の略であり、Java 言語開発環境において、遠隔サーバ上で実行されているオブジェクトのメソッドを呼び出す技術。

<sup>26</sup> OMG ( Object Management Group ; オブジェクト指向モデリングに関する標準化団体) が定めた分散オブジェクト技術の仕様で、異機種分散環境上のオブジェクト間でメッセージを交換するためのソフトウェア仕様を定めたもの。

<sup>27</sup> Java 言語を用いて開発され、部品化されたプログラム（コンポーネント）を組みあわせてアプリケーションソフトを構築する手法。コンポーネントを Bean と呼んでいる。

<sup>28</sup> 2 - 8 - 1 - 2 を参照のこと。

<sup>29</sup> Web 技術を用い、ネットワークを通じてソフトウェアの機能を利用できるようにしたもの。社内の複数の部門間や企業間のアプリケーション連携等への応用が進められている。



- 1 「Windows」: マイクロソフト コーポレーションの登録商標
- 2 「Java」: サン・マイクロシステムズ・インコーポレーテッド の登録商標
- 3 「CORBA」: オブジェクト マネージメント グループ インコーポレイテッドの登録商標
- 4 「JavaBeans」: サン・マイクロシステムズ・インコーポレーテッドの登録商標

### (3) プラント制御・監視プラットフォーム (ミドルウェア、Java、Web 技術)

かつて、プラント制御・監視システムは、各種の情報システムの中で最も先進的なシステムであった。1970年代に登場したDCS (Distributed Control System) は、当時最先端の16ビットマイクロプロセッサを使用した分散型コントローラをネットワークで統合したシステムアーキテクチャを持ち時代を先取りしたものであった。

一方当時、業務・情報システムはまだメインフレームコンピュータを利用した大規模な集中型のシステムアーキテクチャであったが、その後いわゆるダウンサイジングと呼ばれたPC (パソコン) による分散処理を中心としたクライアント/サーバ型のアーキテクチャが普及した。プラント制御・監視システムはこのダウンサイジングに遅れをとることとなったが、90年代後半になってやっとPCをハードウェアプラットフォームとしWindows<sup>1</sup>をソフトウェアプラットフォームとするパソコンDCSやSCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) システムが普及期を迎えた。

業務・情報システムにおけるクライアント/サーバモデルコンピューティングは、メインフレームからのダウンサイジング、いわゆるパラダイムシフトをもたらしたが、パラダイムシフトはクライアント/サーバモデルで止まらず、一気にWebコンピューティングと言われる新しいコンセプトに到達した。WebアプリケーションサーバとWebクライアントで構成されるWebコンピューティングシステムが、受発注システムや生産管理システムなどの基幹業務システムの最も標準的な形となった。このWebコンピューティングを支えるWeb関連の技術としては、

- TCP/IP プロトコルスタックや各種のアプリケーションプロトコル
- Webアプリケーションサーバとデータベースバックエンド
- WebアプリケーションフレームワークとJava環境・分散オブジェクト環境
- WebクライアントとWebクライアント上のリッチクライアントの実現技術

などが重要である。さらにはWebコンピューティングの世界は、個々のWebアプリケーション単独での機能やサービスから、XML技術とそれをベースとしたWebサービスを利用するWebシステム間のサービスの連携へと進みつつある。

プラント制御・監視システムは現在、70年代のアーキテクチャを色濃く残しながら、操作・表示系にクライアントサーバモデルのアーキテクチャを、ネットワークやアプリケーションプラットフォームにイーサネット<sup>2</sup>・IP・Windowsなどの汎用プラットフォームを利用した構成が主流となっている。またインターネットを経由した操作・表示系にはWebアプリケーションサーバとWebクライアントで構成されるWebベースシステムも利用されつつある。

このように、かつて情報技術のテクノロジードライバであったプラント制御・監視システムは、いまや業務・情報システムにおける標準的・汎用的なネットワークやアプリケーションプラットフォームを利用するようになり、それらの汎用技術をプラント制御・監視システムにいかんにか活かしていくかが重要となった。したがって、汎用プラットフォーム上の個別アプリケーション分野別標準やミドルウェアアプリケーションインターフェースが技術開発の中心的課題となる。

具体的な例として

- イーサネット・IP上でプラント制御・監視データを確実に早く伝送するための技術
- フィールドデータを低コストで収集するための標準的APIやそれを実行するミドルウェア
- プラント制御・監視に特有なWebアプリケーションインターフェース
- 汎用プラットフォーム上でのプラント制御・監視に特有のデータ蓄積・処理・解析技術
- 携帯電話やPDA（携帯情報端末）などをプラント制御・監視に利用する技術

などが挙げられる。

また、近年の特徴的な傾向として、オープンソースソフトウェアをプラント制御・監視システムに利用するケースが増えてきている。具体的にはサーバ・クライアント・コントローラ組込み系などのOSとしてのLinux<sup>3</sup>やWebサーバ・アプリケーションサーバフレームワーク、リレーショナルデータベースなどがあげられる。

1「Windows」：マイクロソフト コーポレーションの登録商標

3「イーサネット」：富士ゼロックス株式会社の登録商標

2「Linux」：Linus Torvaldsの登録商標

### 3. 標準技術集の構成概要

ここでは、標準技術集の技術樹形図の構成についてまとめる。

技術樹形図の構成では、まず、プラントの制御・監視技術の大分類として、“用途”に基づく技術と、用途に共通する“要素・基盤技術”に分けて整理を行った。

次に、“用途”の中分類として、制御・監視システムの対象と利用環境の観点から、監視対象となるプラントの種類、制御・監視の対象となるプロセス、制御・監視システムの利用場所に分けて整理を行った。また、制御・監視システムの利用目的に応じて、保守・保全、検査・診断、異常対応、操作支援、生産管理支援、技能・技術教育、ビジネスモデルに分けて整理を行った。

これらの中分類に基づく、細かな技術の構成（小分類）は次のとおりである。

#### 制御・監視システムの対象と利用環境

##### ・プラントの種類

発電施設（原子力を除く）：発電施設一般、火力、水力、風力など

原子力発電所：

公共施設：電力系統、上下水道、環境施設（ゴミ処理プラント）、河川情報管理など

素材系プラント：石油精製や石油化学、鉄鋼、化学製品、紙パルプ等の製造系プラント

バッチ系プラント：食品、医薬品

製造工場：ディスクリート系（組立工場など）

バッチ系（食品加工、医薬・化学製品製造）

その他：鉄道、道路、農業施設、自動車、航空機など

##### ・制御・監視の対象

現場作業員の行動や作業履歴、プラントの設備装置、コントローラ（DCS や PLC）、制御・監視用サーバ、ネットワーク、プロセスの制御量・ステータス、ソフトウェア障害、エネルギー消費量など

##### ・利用場所

現場：プラントの設備装置に付属する制御・監視装置を利用した制御や監視

プラント内（現場以外）：プラント施設内の中央制御・監視室からの制御や監視

プラント外：プラント施設以外を拠点とする監視センタやオフィスや自宅からの制御や監視の3つに分類した。

#### 制御・監視システムの利用目的

##### ・保守・保全

保全方式（計画保全、予防保全、予知保全、事後保全）により分類を行った。また、設備器機データや保守履歴、予備品管理等の保守・保全データの管理・利用技術に関する分類、保守作業員間の連携を支援する指揮命令系統やコミュニケーションを支援する技術に関する分類を行った。

##### ・検査・診断

監視スタイルに基づき、巡回監視、常時監視（主にオンラインで現場から離れた場所で監視を行う）、設備システムの自動診断・障害検知機能、設備の劣化状態や保守履歴データ等を分析して保守・保全活動にフィードバックする技術に分類を整理した。

##### ・異常対応

異常発覚時の対処方法として、異常連絡の手段、異常時の対応方法についてのガイダンス機能、出力アラームの履歴解析、類似する過去の事例の活用、異常箇所の修理、システム復旧のための知識支援、修理部品発等について分類を整理した。

##### ・操作支援（異常対応を除く）

主にプラントの定常運転における高度な最適制御のための運転支援技術や、熟練オペレータの

運転ノウハウの共有のための知識支援技術、自動制御と人間制御の融合化（半自動制御）といった観点から整理した。

- ・生産管理支援

生産工程や生産スケジュールの調整、品質管理、生産量調整や在庫管理などの生産管理システム、バリデーションやトレーサビリティといった生産履歴や蓄積・管理システムについて分類を整理した。また、帳票作成や業務改善分析など、作業員の日常作業を支援する技術についても、生産管理支援の分類に含めることにした。

- ・技能・技術教育

主にプラントシミュレータを用いた教育訓練システムや、熟練技術者の生産活動のノウハウを形式知化し、後継者に継承するための現場教育支援システムについて整理を行った。

- ・ビジネスモデル

設備装置メーカーが提供するメンテナンスサービスやコールセンタ業務、ASP 等による監視業務の代行などの技術をまとめた。

“要素・基盤技術”の中分類は、制御・監視装置(DCS)のユーザインタフェースに関わる部分(HMI)とプラントの制御・監視システムを構成するネットワークの種類、通信プロトコル、プラントの安全・信頼性を確保する技術、システムプラットフォーム、制御装置、センサ技術の観点から整理を行った。また、監視データの活用技術として、収集方式、蓄積・分析方式、データ監視方式、制御・監視サービスを支える CTI (Computer Telephony Integration) 技術を整理した。

#### HMI(Human Machine Interface)技術

HMI は、HMI を構成する端末装置（専用端末、汎用 PC、携帯情報端末等）と HMI の出力装置および形態、HMI の入力装置および形態に中分類を整理し、それぞれの細分類化をした。

- ・HMI（操作端末・手段）

操作端末は、固定型と可搬型に分け、また、専用端末と汎用 PC、電話・FAX といった端末の種類に分けて整理を行った。PDA 等の携帯情報端末は、可搬型の汎用 PC に、携帯電話は可搬型の汎用 PC にそれぞれ分類することにした。また、操作手段として、電子メールや WWW などの情報提供用のアプリケーションについてもこの細分類に含めることにした。

- ・HMI（出力装置・形態）

HMI の出力装置・形態では、GUI で構成されるマルチウインドウや階層表示等の画面構成、数値・グラフ表示やシンボル表示・プログラム表示などの監視機能や特徴、動画/静止画、音声などのマルチメディア機能、警報機能（アナウンシエータ、警報音、フリッカー）、ランプ類、プリンタ等の装置等の有無による分類を行った。

- ・HMI（入力装置・形態）

HMI の入力装置・形態では、コントローラへの情報入力的手段として、キーボード以外のものを分類した。マウスなどのポインティングデバイスによるもの、コンソール画面からのコマンド入力によるもの、画像入力、2次元バーコードや RFID によるリーダ入力、アプリケーション画面のビジュアル操作で制御プログラムを入力するものに分けて整理を行った。

#### 制御・監視システムの構成技術

制御・監視システムの構成に関して、ネットワークの階層、通信回線、通信プロトコル、安全・信頼性技術、システムプラットフォーム、制御装置、センサに中分類を整理し、それぞれの細分類化をした。

- ・ネットワーク階層

ネットワーク階層は、フィールドネットワーク、制御系ネットワーク、情報系ネットワークの

3つの階層に分けた。また、イントラネットでの利用システムか、インターネットを含む利用システムか、での分類も行った。

- ・通信回線

通信回線は、専用回線か公衆回線か、また、有線か無線かで分類をした。

- ・通信プロトコル

通信プロトコルは、TCP/IP等の汎用プロトコルを利用するものか、異なるプロトコルを変換してデータ通信を可能にするものか、データ通信のリアルタイム性や冗長性を確保するためのプロトコルであるかで分類を行った。

- ・安全・信頼性技術

安全・信頼性技術では、プラントの安全運転を実現するための基盤技術として、制御システムの信頼性を確保する冗長化技術やバックアップ技術、インターロック等の危険操作回避技術等を含む安全化装置技術と、ネットワークからの不正侵入やデータの改ざん、漏洩といった脅威からシステムを守るネットワークセキュリティ技術に分けて整理を行った。

- ・システムプラットフォーム

システムプラットフォームでは、制御・監視システムのソフトウェア開発環境やオープン化技術、コンポーネント技術などを提供するミドルウェア技術と、複数のシステム間でデータ連携を実現し、制御・監視のシステム間連携を可能にするインタフェース技術に分けて整理を行った。

- ・制御装置

制御装置には、DCSやPLCといった、使われているコントローラの種類に関する分類、制御方式として最適化制御、予測制御、非定常制御の分類を加えた。また、コントローラの分類には、コンピュータ上でプラントの制御内容をシミュレートする技術も含めた。

- ・センサ

センサには、プラントの制御・監視システムの中で使われているセンサの種類を分類した。

## 監視データの活用技術

監視データの活用技術では、データ収集方式、蓄積・分析方式、データ監視方式およびCTI技術に中分類を整理し、それぞれの細分類化した。

- ・データ収集方式

データ収集方式では、データ収集を行う装置の形態として、専用サーバ、フィールドサーバ、コントローラ、監視装置、携帯端末、携帯電話等での分類を行った。また、データ集配のアルゴリズムやエージェントプログラムの利用によるデータ収集の分類もここで行った。

- ・データ蓄積・分析装置

データの蓄積先として、専用のロガー装置、データベースサーバを用いるもの、コントローラや監視装置がデータ蓄積を兼ねるものなどの分類を行った。また、データ分析機能としてプロセスのモデル化を行うもの、データベースマネージャ機能を活用するものなどの分類を行った。

- ・データ監視

データ監視では、プロセスの異常状態を監視する機能を有する装置として、専用の監視装置があるもの、コントローラが監視機能を兼ねるもの、Webサーバ等が監視用アプリケーションを提供するもの、データ監視方式に特徴のあるもので分類を行った。

- ・CTI (Computer Telephony Integration)

CTIでは、設備装置メーカーが、設備装置のユーザから受け付けるクレームや保守支援の相談等に迅速に対応するためのコールセンタの基盤技術について分類を行った。

1 「イーサネット」：富士ゼロックス株式会社の登録商標