

次世代統合操業システムの基本コンセプトとシステムソリューション

System Concept and System Solutions of Next-Generation Total Integrated Control System

小池 建郎 杉森 久容 根岸 靖典

■ KOIKE Tatsuro ■ SUGIMORI Hisayoshi ■ NEGISHI Yasunori

石油・化学、製紙、鉄鋼、素材、食品などの一般産業の製造現場では、市場に直結した柔軟な操業や高効率の操業が切望されており、東芝三菱電機産業システム(株)は、これらの市場ニーズに対応するため、最先端の技術と次世代統合操業システムのコンセプトに基づく各種ソリューションを提供している。“新計装エンジニアリングツール”は、プラント向けの制御アプリケーションを計装エンジニアが容易に利用できるようなCADエディタを採用したものであり、文書管理やプロジェクト管理の機能を備えている。また、モデル駆動PID制御^(注1)やエネルギー最適運用サーバでの“高度制御技術による省エネソリューション”は、従来の省エネ活動のブレークスルーに適したソリューションである。

Flexible and highly efficient operations are strongly required in various general industrial fields such as manufacturing plants for chemicals, paper, iron, materials, and foods.

Toshiba Mitsubishi Electric Industrial Systems Corporation has been supplying many types of system solutions based on customers' requirements and state-of-the-art technologies. Our new instrumentation engineering tools, which are based on a computer-aided design (CAD) editing system, have documentation management and project management functions to facilitate easy utilization of the control system applications. Optimal energy-saving operation using by the model-driven proportional-integral-derivative (PID) control system and the optimum server are breakthrough solutions for conventional energy-saving activities.

1 まえがき

近年、製造業における設備投資は、好景気であるデジタル家電や自動車産業を支える高付加価値・高機能素材を生産する設備からはじまり、その流れは、従来から製造業の基盤を支えている各種素材や製品を生産するプラントにおいても、設備拡張や老朽化したシステムの更新という形で確実に広がってきている。

東芝三菱電機産業システム(株)は、石油・化学、製紙、鉄鋼、素材、食品、自動車などの製造業の顧客に対し、受変電設備や回転機駆動システムなど電機設備のインテグレーションから、監視制御システムやIT(情報技術)システムに至る各種ソリューションを提供している。

ここでは、監視制御システムを基盤とした工場操業におけるソリューション事業のコンセプトについて述べるとともに、その中の特長的な事例を紹介する。

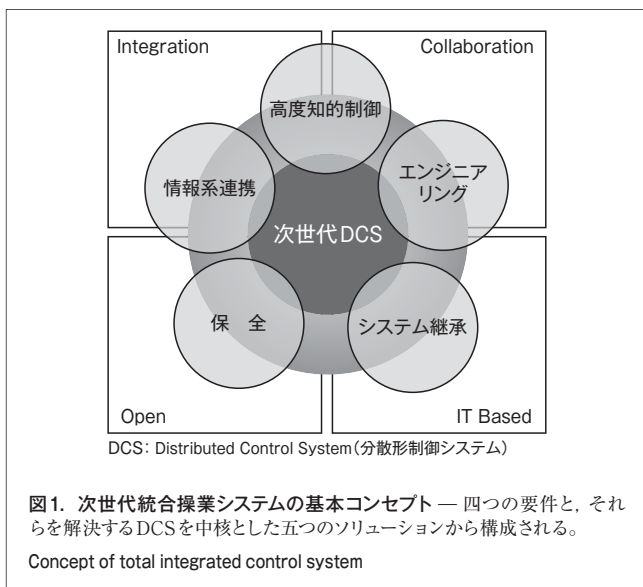
2 次世代統合操業システムのコンセプト

多様化する現代において、石油・化学、製紙、鉄鋼に代表される大型装置産業の企業も、需要変動への柔軟な追従、高品質を維持しながらのコスト競争力確保、及び地球環境への配慮などが重要な経営課題となっている。そしてモノづくりの現

場では、これらを達成するために、市場直結型操業に対応できる柔軟性、限界を目指した高度操業、及び極少人員での安全・安心な操業が必要とされている。このような背景のなか、次世代の生産システムでは、様々なシステムを統合する“Integration”、複数のシステムを調和させながら連携させる“Collaboration”、情報の共有化やマルチベンダに対応できる“Open”、それらを最先端のIT基盤上で実現する“IT Based”という四つの項目が重要なキーワードとなる。当社は、これらを“次世代統合操業システムの基本的な要件”と位置づけ、それらの上に各種ソリューションを展開して事業の拡大を推進している。これらのコンセプトをイメージ化したものを図1に示す。

次章以降では、これらのコンセプトの中から、各方面の顧客から高い評価を得ているソリューションの事例として、高品質・高効率でプラント監視制御システムを構築できる新計装エンジニアリングツール、省エネにおいて大きな効果を上げた高度制御ソリューション、及び既存システムの継承を実現する新たなシステム更新方法について述べる。

(注1) モデル駆動制御システムは、2000年に東京大学の木村英紀教授が提案した制御概念。PID制御とは、P(比例)、I(積分)、D(微分)の3要素を組み合わせたフィードバック制御手法。



3 新計装エンジニアリングツール

新計装エンジニアリングツールは、計装制御システムの仕様設計から、入出力信号情報の登録、制御ソフトウェアの作成、及び現地調整完了後の完成図書を取りまとめまで、システムエンジニアリング工程全体をカバーするツールの総称である。

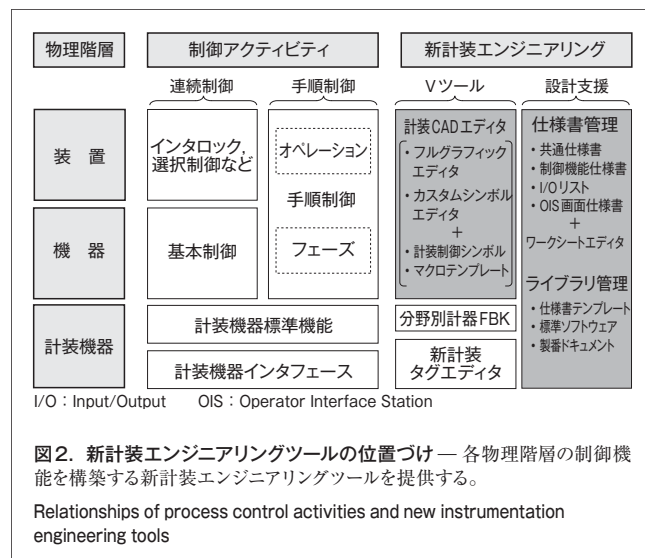
この章では、仕様書とソフトウェアの一元化を実現する計装CADエディタ及び、品質向上に有効な制御機能のモジュール化と再利用の仕組みについて述べる。

3.1 新計装エンジニアリングツールの位置づけ

計装制御システムの構築においては、対象となる装置・機器・計装機器を把握し、どのように監視して制御するかという機能を決定し、それを具体的なソフトウェアとして効率や品質及び将来における保守性を考慮し構築しなくてはならない。これらのハードウェアや制御機能、更にその構築に用いるエンジニアリングツールをモデル化すると図2のようになる。この中で新計装エンジニアリングツールは、仕様書の管理及び作成を支援する設計支援ツールと、コントローラのプログラミングを行うVツール^(注2)に大別される。

3.2 計装CADエディタ

ユニファイドコントローラ nv シリーズは、電気・機械制御を含む製造設備全体を対象とした制御コントローラであり、Vツールはプログラム言語の国際標準である国際電気標準会議規格 IEC 61131-3 に準拠している。この言語は、プログラムの構造化や変数によるプログラミングなどのソフトウェアの再利用に向けた特長を持つ一方で、配管系統図に計器の機能などを盛り込んだ計装フロー図ベースのイメージからかけ離れて



いるため、計装エンジニアからは無機質な表現方式として敬遠される傾向がある。そこで、基本ツールであるフルグラフィックエディタ上に計装制御シンボルを付加した、次のような特長を持つ計装CADエディタを開発した。計装CADエディタで作成した基本制御のプログラム例を図3に示す。

- (1) ループ制御用、論理制御用、手順制御用などの計装制御シンボルを整備し、仕様記述表現でソフトウェアが作成できる。
- (2) ダブルクロスリミット燃焼制御やモデル駆動PID調節計など高度制御用計装シンボルを提供し、制御性向上に貢献できる。
- (3) エディタ上にプロセスフロー、接続先コメント、文章による説明などを併記することができるため、可読性や生産性・保守性が向上する。
- (4) カスタムシンボルエディタにより、システム固有機能の計装シンボルを作成することができる。

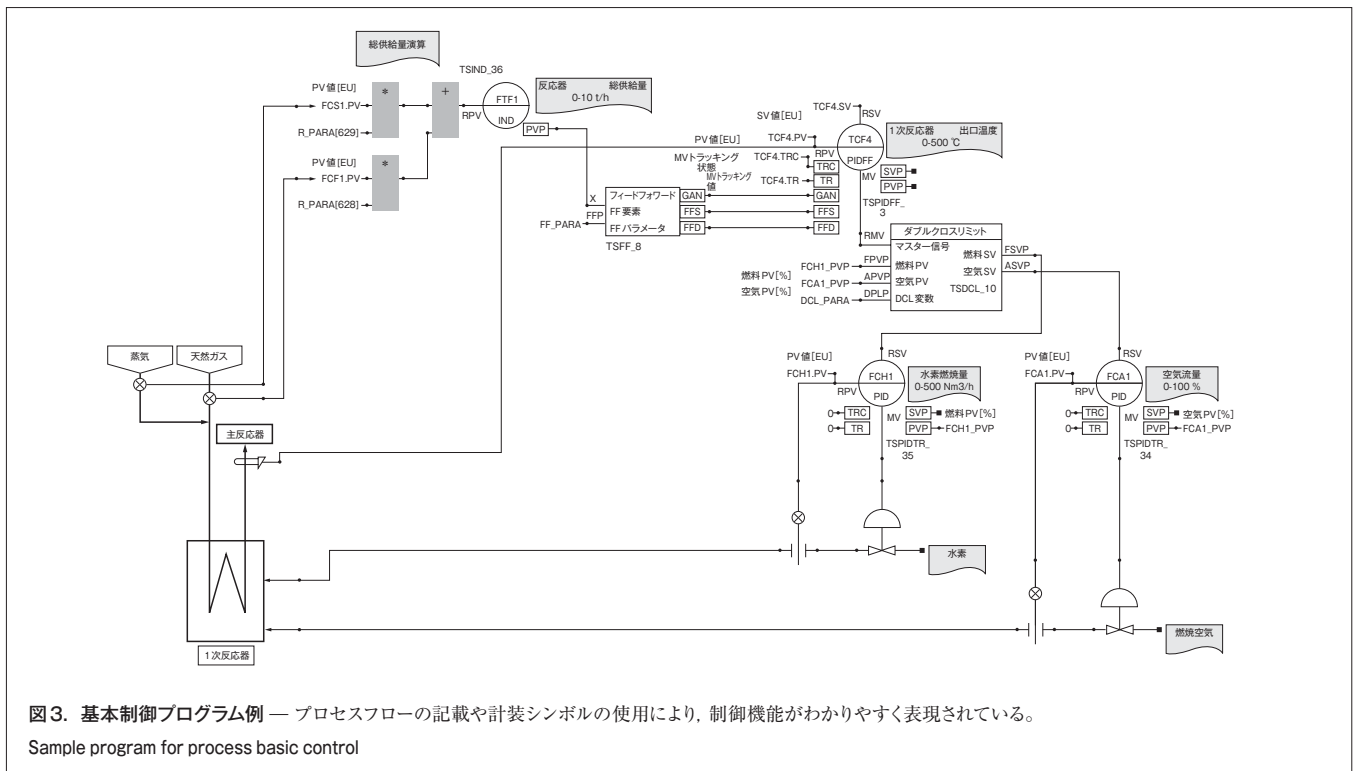
3.3 制御機能のモジュール化と再利用

3.3.1 ファンクションブロック 特定の機能をモジュール化し、使用時に入出力変数を定義することで再利用できる仕組みがファンクションブロック(以下、FBKと略記)である。

標準として提供されるFBKに加え、システム個別のFBKを作成することが可能で、共通的な機能や多用される処理をFBK化することで設計の効率を向上できる。従来機種のCIEMAC_{TM}6000系でもユーザー個別のFBKを作成することができたが、VツールのFBK利用においては、内部処理構築に計装CADエディタが使用できること、及び変数名でのエンジニアリングができることで、FBK作成がより容易になっている。

作成したFBKは、IEC規格のプログラム言語に準拠した矩形(くけい)形状で使用することができるが、カスタムシンボルエディタによる図形表現やコメント付記などで、よりわかり

(注2) 統合コントローラVシリーズとユニファイドコントローラnvシリーズのエンジニアリングツール呼称。



やすい計装シンボル表記にすることもできる。

3.3.2 ワークシート 新計装エンジニアリングツールでは、計装機器情報は新計装タグエディタで登録する。これにより、計装CADエディタで作成した機器・装置レベルの制御ソフトウェアは、入出力信号の割付けといった個別情報から分離され、機器への入出力点数、記号反転要否、機器動作タイプといった機器ごとの差異要素が吸収された一般性の高いものである。ただし、機器・装置階層の機能は適用されるプラントにより異なり、完全に同一ではない。このため、再利用時に手直し調整ができるように、FBKではなく計装CADエディタで作成した図面（ワークシート）単位で流用することで、再利用率を向上させる。

制御機能の実行単位をPOU (Program Organization Unit) と呼ぶが、一つのPOUは1～99枚のワークシートで構成される。Vツールでは、POU単位とワークシート単位のどちらでもハンドリングできる。これにより、制御機能全体だけではなく、一部分の再利用も可能である。例えば、手順制御のPOUは、装置全体の手順を記述するオペレーションとオペレーションごとの詳細手順を記述するフェーズの階層で管理されるが、既存フェーズのワークシートを再利用し組み合わせることで、効率よく手順制御を構築することができる。

3.3.3 マクロテンプレート Vツールでは、実際にコントローラ上で使用するプログラム以外にもワークシートをライブラリ登録することができる。多用する計装シンボルの組合せ

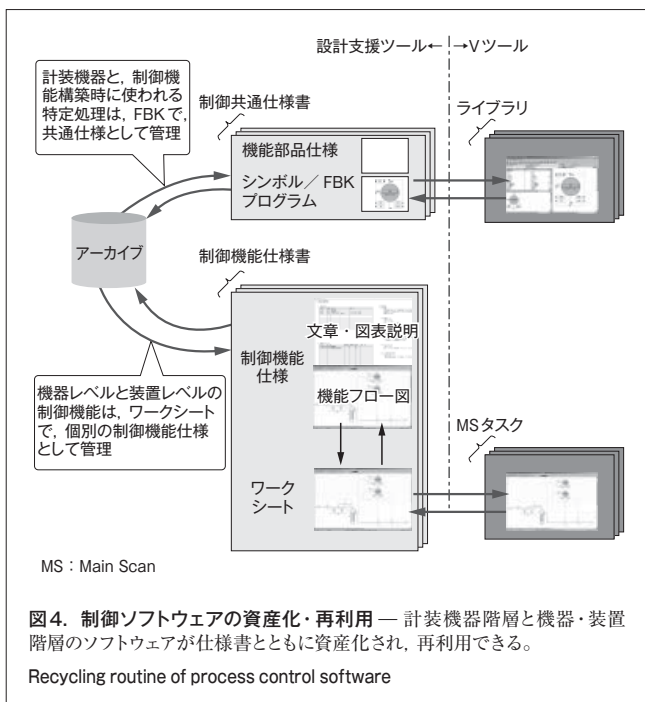
パターンを登録しておき、ソフトウェア作成時に再利用することで、設計作業の効率を向上することができる。

3.3.4 仕様書とソフトウェアの連携 設計支援ツールは、各種仕様書を管理し、“仕様書→ソフトウェアへの展開”と“ソフトウェア→仕様書への反映”の双方向連携を実現するツールである。設計支援ツールの特長を以下に示す。

- (1) ワークシートをそのまま機能仕様書の図面として使用することで、ソフトウェアと仕様書の二元管理による煩雑さが解消できる。
- (2) ワークシートと機能仕様書を組み合わせて機能シートとするが、設計支援ツールではこの機能シート単位と、コントローラごとの機能シートをまとめたブック（機能仕様書）単位の両方で扱うことができる。通常、システム構築時は後者で、再利用時は前者で取り扱う。
- (3) ワークシートで使用しているタグ名や変数名が一覧表示される。これに再利用先情報を設定することで、制御機能を容易に再利用することができる。
- (4) 設計支援ツール上で複数レビジョンのドキュメントを管理できる。また、レビジョン間の比較により変更点を検出できる。

ソフトウェアの資産化と再利用の流れを図4に示す。

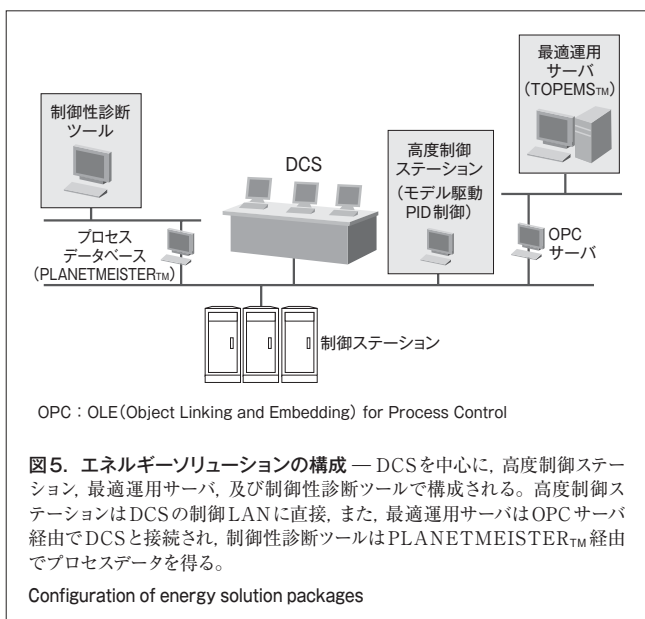
なお、この章では制御ソフトウェアを中心に説明しているが、設計支援ツールは入出力 (I/O) 信号リストや、グラフィック画面など、HMI (Human Machine Interface) 機能も含まれたシステム全体のドキュメントを管理している。



4 高度制御技術による省エネソリューション

4.1 概要

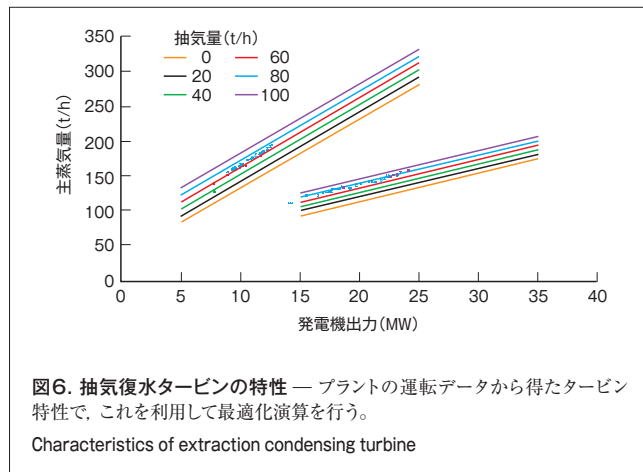
近年、中国やインドをはじめとする新興国の台頭により世界的に原油など資源の価格が高騰し、製造業のエネルギーコストが増加傾向にある。また、地球温暖化防止への世界的な取組みから、省エネ技術が従来に増して注目を集めている。このような環境のなか、高度制御によるエネルギーソリューションを顧客に提供し、省エネ活動に貢献している。エネルギーソリューションの構成を図5に示し、次に、その詳細を述べる。



4.2 エネルギー最適運用サーバ

東芝と共同で開発したエネルギー最適運用サーバ TOPEMS™ (東芝プラントエネルギーマネジメントシステム) は、分散形制御システム (DCS : Distributed Control System) の上位に位置し、産業用自家発電設備の最適運転を支援するソリューションである。産業用自家発電設備の最適化手法は20年以上前からあり、当時はプロセス用コンピュータやワークステーションなどで演算処理を行っていた。しかし、CPUの処理能力限界から演算周期を短くすることができなかつたり、徐々にずれるプラントモデルの対処方法が解決されなかつたり、最適化演算結果の根拠がわかりにくいなどの問題があり、導入しても継続的に活用されることは少なかつた。しかし、近年の産業用パソコンの性能は、演算処理能力などの問題を解決し、格段に向上したHMIやガイダンス機能により、従来の様々な問題点が解決でき、継続的に快適な運用ができるようになった。

産業用の自家発電設備は、所内の動力だけでなく、タービン抽気^(注3)によりプロセス側で使用する蒸気の供給も担っているが、需要電力と蒸気のバランスは、オペレータの経験に頼っているのが現状である。最適運用サーバは、プラント運転データからタービン特性を導き出し、その特性を使って各タービンへの蒸気配分やタービンからの蒸気の抽気量をリアルタイムで計算し、DCSへ指令を送る構成としている。プラントの運転データから得たタービン特性を図6に示す。



自家発電設備の燃料費は年間数十億～数百億円以上の規模であり、1%の効率向上で数千万～数億円規模の省エネ実績を上げることができる。既に、いくつかの顧客でこの数値を達成し、成果を出している。

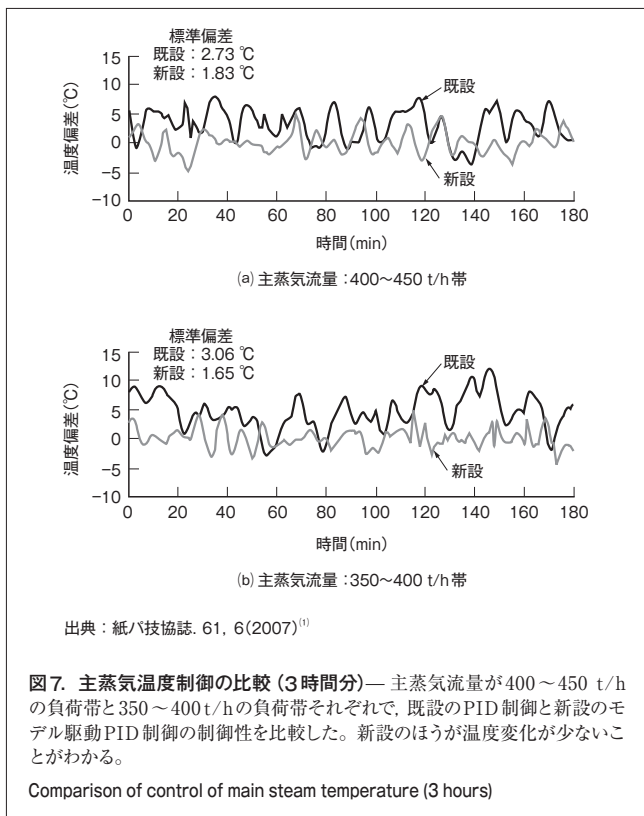
4.3 モデル駆動PID制御システム⁽¹⁾

モデル駆動PID制御システムは、DCSと同位に位置し、従来のDCS内のPID制御では変動を抑えることが難しい、“む

(注3) タービンの中間段から蒸気を抽出すること。

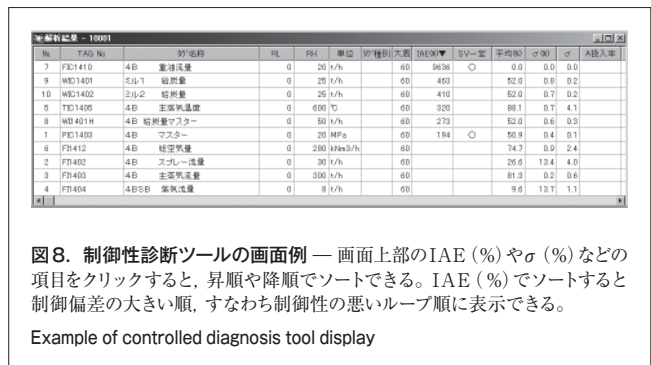
だ時間が長い制御ループ”を安定化させるソリューションである。ここでは、このソリューションを事業所内の微粉炭ボイラに適用した事例を紹介する。

微粉炭ボイラは、化石燃料の中では比較的安価な石炭を燃料として使用したもので、工場内のボイラの中でも主力ボイラとして稼働していることが多い。この微粉炭ボイラは、ガス焚(だ)きや重油焚きに比べ、燃料搬送から燃焼、蒸気発生に至るまでの時間が相対的に長く、主蒸気の圧力や温度が変動しやすい。これらの制御ループにモデル駆動PID制御を適用し、従来のPID制御に比べ変動を抑えた結果、主蒸気温度設定値を4℃上昇させることができた。主蒸気温度制御の比較を図7に示す。主蒸気温度の設定値を上げると、タービン入口の蒸気エンタルピーを上昇させることができ、エネルギー効率が向上する。この事例での効果を試算した結果、省エネは1,063 t-石炭/年相当で、更に二酸化炭素(CO₂)削減量に換算すると2,561 t-CO₂/年相当となった。



4.4 制御性診断

PID制御の比例ゲイン、積分時間、微分時間などの調整パラメータは、生産量の変化、プラントの定期修理前後、及び経年劣化で再調整が必要となるのが通常である。しかし、製造現場の少人化や仕事量増加などの理由により、数年前に決めたパラメータを最適調整しないまままで運転している傾向が見受けられる。



前述した最適運用サーバで最適演算を行っても、その設定値どおりに制御ができなければ、最適化の効果は半減してしまう。末端の制御系であるPID制御での揺れやハンチングは明らかにロスとなってしまいます。制御性診断ツールは、プロセスの状態を収集・管理しているリアルタイムプロセス情報管理システムPLANETMEISTER™を有効活用してPID制御の制御性を診断し、その最適運用を支援するソリューションである。制御性診断ツールの画面例を図8に示す。

PID制御の制御性評価指標には、制御偏差の絶対値を比較するIAE (Integral of Absolute value of Error), PV (Process Variable) 値の標準偏差、及び自動制御投入率の三つのファクターがある。当社は、制御性診断ツール、チューニングツール、及びシミュレーションツールを使い、顧客と一体となって、制御性を悪化させている不良箇所を発見したり、PID制御の再調整などを行いながら、プラント全体の省エネと品質向上を実現するサービスを展開している。

5 システムの継承

装置産業分野では、1980年代半ばから急速に導入された監視制御システムの老朽化による更新時期を迎え、ユーザーもメーカーも具体的対応を開始している。当社は、既存のコントローラを円滑に更新するため、ソフトウェア資産をそのまま使用するエミュレーション技術を応用したPCS (Process Control Station) エミュレータ及びDPCS (Distributed Process Control Station) エミュレータを開発し、適用してきた⁽²⁾。ここでは、多様な要求に対応して新たに開発したマイグレーション手法について述べる。

5.1 ハードウェアの更新

コントローラの基幹部として、既設に比べ高速・大容量のユニファイドコントローラを適用することで、機能を拡張できる。また、プロセスI/O部にユニット型を採用して既設I/Oユニット部と置き換えることで端子台を流用する形で更新できるため、既設の筐体(きょうたい)をそのまま使用できてプラントとの信号配線の再接続が不要となり、DCS更新のための工事期間と試験期間を大幅に短縮できる。

5.2 ソフトウェア資産の継承

3章で述べた計装CADエディタの仕組みを活用すれば、他機種のコントローラの機能をユニファイドコントローラ上で実現するためのFBKや機能シンボルを作成することができる。当社は、DCS化初期のコントローラであるDPCSのユニファイドコントローラへの更新に関して、既設ソフトウェアの変換によるエンジニアリング環境統合から取り組んでいる。

5.3 既存システムの統合監視

既設のCIEMAC_{TM}6000系システムと統合制御システムCIEMAC_{TM}-DS/nvの制御LANを接続し、統合制御システム側から既設システムコントローラを監視操作するためのゲートウェイを開発した。これにより、複数のシステムを統合化して更新する場合や、操業条件により段階的に更新する場合など、様々な要求に対応することができる。

6 あとがき

ここでは、当社のプラント操業分野におけるシステムソリューション事業の基本コンセプトと特徴的な事例について述べた。

紙面のつごうで、ほかのソリューションも含めた十分な紹介ができなかったが、それぞれのソリューションでは、PDCA (Plan-Do-Check-Action) のサイクルをしっかりと回すことを基本思想としている。

当社は、今後とも東芝と三菱電機(株)の要素技術や基盤製品を骨格にし、当社のオリジナル技術を付加し連携させたシステムソリューションによって、一般産業の顧客に対し、生産性や品質の向上及び省エネの推進などで貢献していく。

文 献

- (1) 江木博志, ほか. モデル駆動PID制御によるボイラ主蒸気安定化と省エネルギー. 紙パ技協誌. 61, 6, 2007, p.24-31.
- (2) 大田 宏, ほか. 産業分野における計測・制御システムのソリューション. 東芝レビュー. 60, 10, 2005, p.26-31.



小池 建郎 KOIKE Tatsuro

東芝三菱電機産業システム(株) 産業システムソリューション部次長。一般産業向け計装システムのエンジニアリング業務に従事。計測自動制御学会, 電気学会会員。

Toshiba Mitsubishi-electric Industrial Systems Corp.



杉森 久容 SUGIMORI Hisayoshi

東芝三菱電機産業システム(株) 産業システムソリューション部技術主査。一般産業向け計装システムのシステムエンジニアリング, 開発業務に従事。

Toshiba Mitsubishi-electric Industrial Systems Corp.



根岸 靖典 NEGISHI Yasunori

東芝三菱電機産業システム(株) 産業システムソリューション部技術主任。一般産業向け計装システムのシステムエンジニアリング, 開発業務に従事。

Toshiba Mitsubishi-electric Industrial Systems Corp.