

連続計測が困難な対象をリアルタイムで状態予測することで高度なプラント監視・制御を可能にするソフトセンサー技術

Soft Sensor Technology for Monitoring and Control Systems Capable of Predicting Conditions of Processes Difficult to Continuously Measure in Real Time

小笠原 時則 OGASAWARA Tokinori 安藤 数馬 ANDO Kazuma

産業プラントの安全で安定な操業には、全ての管理対象の状態をリアルタイムに計測することが望ましいが、連続的な計測が困難な対象もある。近年、このような対象の状態を計測可能なデータを使って推定するソフトセンサー技術が注目されている。

東芝三菱電機産業システム(株)は、プラント監視・制御システムなどで連続的な計測が困難な対象の状態を、過去データの学習に基づいたモデルの構築によってリアルタイムに予測できるソフトセンサー技術を開発し、リアルタイムプロセス情報管理システム PLANETMEISTER (以下、PMDと略記)に搭載してリリースした。コンピューター機能を持つコントローラーに搭載すれば、プロセス制御での信頼性検証に適用が可能である。

To ensure safe and stable operations of industrial plants, it is necessary to measure all conditions of the processes to be managed in real time. In reality, however, a number of processes cannot be continuously measured. Demand has therefore been increasing in recent years for soft sensor technologies that can predict the conditions of such processes using only the available measurable data.

Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corporation has developed a soft sensor technology capable of predicting the process conditions of monitoring and control systems whose data cannot be continuously measured, utilizing a model constructed based on the results of learning of past operation data in real time. We have incorporated this soft sensor technology into the PLANETMEISTER process information management database. Furthermore, the installation of this technology on controllers equipped with a central processing unit (CPU) module makes it possible to verify the reliability of process control.

1. まえがき

産業プラントの安全で安定な操業には、現場の設備に対し、品質管理すべき対象の状態をリアルタイムに計測するセンサーと、計測データを演算処理して現場機器に制御指令を与える制御ユニットを、適切に実装することが必要である。しかし、センサーによる連続的な計測が困難な対象においては、計測データをリアルタイムに利用できず、時間遅れで得た計測データに基づいて制御せざるを得ないという問題がある。その対策として、近年、石油・化学産業では、計測可能な対象のデータを活用して計測困難な対象の状態を推定する技術が注目を集め、研究開発や現場への導入が活発に進められている。この技術は、ハードウェアセンサーとの対比から、ソフトセンサーと呼ばれている。

制御システムの高度化により、新たな付加価値創出を目指す動きも同様に活発である。HMI (Human Machine Interface) やサーバーなどの用途で使われている産業用コンピューターの機能と、計測データを演算処理する産業用

コントローラーの機能を統合した“ユニファイドコントローラー Vmシリーズ typeS”が東芝インフラシステムズ(株)から、2020年3月にリリースされた⁽¹⁾。これはコンピューター機能とコントローラー機能をコントローラーのCPUコアにそれぞれ割り当てることで、制御システムのデータ収集から活用までのリアルタイム性を向上させる特長を持つ。このtypeSの思想は、計装制御向け次期コントローラーVmシリーズ typeL (仮称)に継承され、開発が進められている。

東芝三菱電機産業システム(株)は、このような高度化された制御システムの機能を活用し、ソフトセンサーなどのデータ応用技術を取り入れ、プラント監視・制御システムを中心とした操業ソリューションを進化させていく。今回、プラント監視・制御システムなどで連続計測が困難な対象について、過去データの学習に基づいたモデル構築によりリアルタイムの状態予測を可能にするソフトセンサー機能を開発し、リアルタイムプロセス情報管理システム PMDに搭載してリリースした。ここでは、開発したソフトセンサーと、次期コントローラーVmシリーズ typeL (仮称)での活用例につ

いて説明する。

2. ソフトセンサー

ソフトセンサーは、リアルタイムに計測可能な対象のデータを用いて、品質管理すべき対象との関係性を数理モデルで表現し、状態をオンラインで推定する技術である。

2.1 ソフトセンサーのコンセプト

当社が開発したソフトセンサーは、独立行政法人 日本学術振興会のプロセスシステム工学第143委員会ワークショップ32で検討された、プロセスデータからモデルを構築する技術の設計思想と開発資産を取り込んでいる。コンセプトを以下に示す。

- (1) 導入・データ取得の簡便性 プラットフォームとしてPMDを採用した。PMDは過去データをDB（データベース）として持つ。ソフトセンサー機能は、PMDにソフトセンサーのアプリケーションをアドオンすれば使用可能で、解析には過去データを活用できる。
- (2) スムーズな設計の支援 一般に、モデルの設計は試行錯誤の繰り返しとなる。複数の手法を一度に選択し実行できること、及び過去に実施した全ての設計・検証結果を一つの画面で確認・比較できることから、手間の掛かる試行錯誤の時間を削減する工夫を施した。

2.2 ソフトセンサーのモデル構築

図1に示す手順で、学習及びモデル構築を行う。それぞれの処理の目的と概要を、下記に示す。

2.2.1 前処理

モデル化の前処理として、HMIから対象期間や、目的変数と説明変数、目的変数と説明変数の周期、目的変数の位相、モデル構築用サンプル時刻とモデル検証用サンプル時刻などを設定する。目的変数は推定対象とする変数、説

明変数は目的変数の推定に用いるリアルタイム計測可能な変数である。選択したモデル構築期間のうち特定の期間の過去データを、以下のように選択可能である。

- (1) 多品種少量生産のプロセスで、品種ごとのモデルを構築できるように、品種番号に応じた期間を選択
- (2) 正常操業時のモデルを構築するため、異常発生期間を設定し、それらを除いた正常期間を選択
- (3) 定期修理などで設備停止期間が存在する場合、稼働期間のモデルを構築するために設備停止期間を設定し、それ以外の期間を選択

2.2.2 解析条件設定

2.2.1項でユーザーが設定したパラメーターを基に、ソフトセンサーの学習機能が過去データを解析し、モデルを構築する際の条件をクライアントサイドのHMIから設定する。

- (1) 変数選択手法 目的変数と関係のない説明変数は、設計時の負荷を増大しモデル精度を低下させる。変数選択手法をHMIから選択し、設定した説明変数に対して学習機能側で目的変数との関連性を解析することにより、関連性のある説明変数だけに絞り込めるようにした。
- (2) モデル構築手法・DB更新手法 学習機能がモデル構築を実行する際に使用する手法を、HMIから選択する。計算を開始すると、学習サーバーへ学習の実施要求が出され、収集サーバー上の1分値データを使用してモデル構築が行われる。

2.2.3 ソフトセンサーモデルの検証

モデル構築の結果は、一つの表示画面で確認・検証できる。例えば、図2に示すように、これまでにモデル構築した結果を、二乗平均平方根誤差(RMSE: Root Mean Square Error)などにより評価し、リスト表示することができる。表示されたリストの中から学習条件を選択すると、変数選択結果、及び推定値と実データの散布図を確認できる。以上の条件設定と設計・検討を繰り返して精度の高いモデル構築を行う。図2に示している例は、蒸留塔を対象プラントとして、リボイラーへの蒸気供給流量を推定した結果である。RMSEが0.05未満と小さく、R2(決定係数)が0.85を超える解析条件が得られており、精度及び予測性能の高いモデルを構築できていることが分かる。

構築されたモデルをシミュレーション機能上に登録し、シミュレーションを開始すると、1分間の定周期で目的変数の推定値が計算される。結果はWebブラウザ上のトレンドに表示され、説明変数の影響が目的変数に現れるまでの時間差(無駄時間)がある系なら、無駄時間分先の予測トレンドが得られる(図3)。

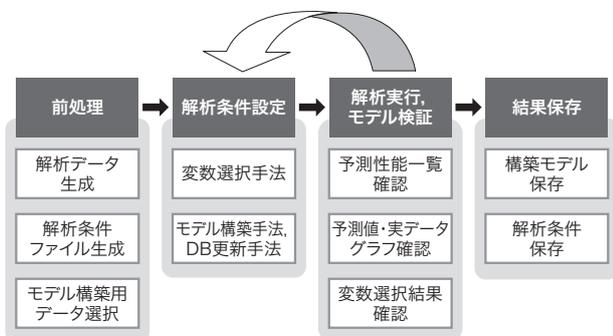


図1. ソフトセンサーのモデル構築手順

過去データを学習させるための解析条件設定と構築したモデルの検証を繰り返して、精度の高いモデル構築を行う。

Flow of processes for soft sensor modeling

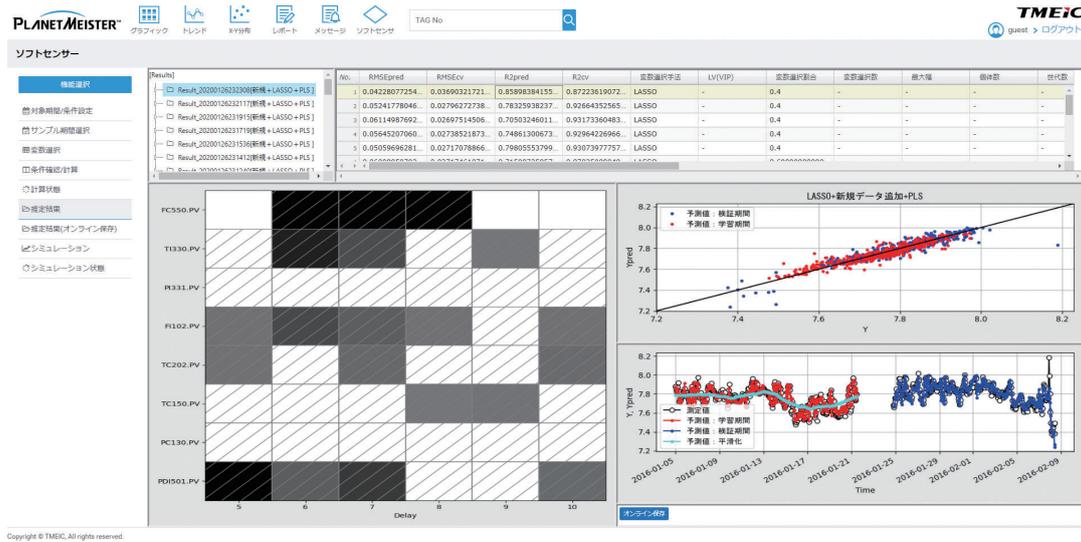


図2. ソフトセンサーのモデル構築結果の表示画面

過去に構築した全モデルの解析条件・精度を一画面で表示する。変数選択結果、及び推定値と実データの散布図を確認でき、構築したソフトセンサーモデルをRMSEなどで評価できる。

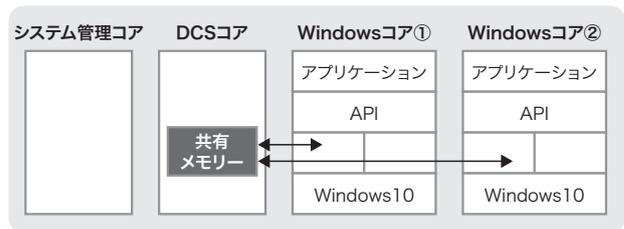
Example of display showing results of evaluation of soft sensor modeling



図3. 目的変数の推定値のリアルタイム表示例

構築されたモデルによるシミュレーションを開始すると、目的変数の推定値が1分周期でリアルタイムに表示される。

Example of real-time display showing estimated objective variables



API: Application Programming Interface

図4. Vmシリーズ typeL (仮称) のCPU構成

4コアのうち二つをWindowsコアとして使用できる。Windowsコアは、DCSコアとCPU内部で高速インターフェースを行う。

Example of configuration of controller equipped with quadcore CPU module

3. コントローラーにおけるコンピューター機能の活用

Vmシリーズ typeL (仮称) では、従来のDCS (Distributed Control System) の機能以外に、コンピューター機能を搭載することができる。コンピューター機能は、従来はWindowsをOS (基本ソフトウェア) としてPC (パソコン) 上で実現していた汎用アプリケーションを、コントローラー上で動作させるというものである。なお、仕様に関しては、開発中であるため今後変更する可能性がある。

3.1 Vmシリーズ typeL (仮称) の特徴

Vmシリーズ typeL (仮称) のCPUは、4コアあり、システム管理に1コア、DCS機能に1コアをそれぞれ割り当て、

残りの2コアをコンピューター機能としてWindowsのアプリケーションで使用する (図4)。コントローラーの二重化にも対応するので、DCS機能だけでなくコンピューター機能も等値化される。

3.2 コンピューター機能

3.2.1 DCS機能とのリアルタイム連携

DCSのコントローラーは演算機能を持つが、過去のヒストリカルデータを使った大量データの演算や、最適解を得るような繰り返し演算が苦手である。従来、このような演算をするには、外部PCにデータを渡して演算・処理し、結果を受け取る方法を採用していた。この場合、通信の制約により1分周期での演算となり、即応性に課題があった。Vm

シリーズ typeL (仮称) では、コントローラーのコンピューター機能によって、1秒周期で高度な演算を行い、制御へ使うことが可能となる。ソフトセンサーによる計測データの推定結果や、AIやディープラーニングによる将来トレンドの予測値などを、時間遅れなく演算することができる。

3.2.2 多様なネットワークへの対応

近年になり、画像情報を収集するカメラや、無線計装機器などの様々な機器と接続し、エッジでデータ処理をすることが期待されている。Vmシリーズ typeL (仮称) は汎用 PCI (Peripheral Component Interconnect) カードスロットを持ち、Windowsを搭載したコンピューターコアにより、例えばフィールドにあるカメラの画像データから正常/異常を判断し、異常であればアラームをオペレーターに通知したり、制御を一時停止したりすることができる。

3.3 搭載するアプリケーション

3.3.1 ソフトセンサー

現在、PMDに実装したソフトセンサーの推定エンジンをVmシリーズ typeL (仮称) に搭載し、コントローラー内で推定・予測演算を行う機能を開発中である。監視目的であったPMDのソフトセンサーをコントローラーに搭載することで、制御に適用できる。制御に適用するには、モデルの信頼性が十分であることが前提となるが、PMDの監視機能でモデルの信頼性の検証ができる。

3.3.2 OPCクライアント

Windowsコアに搭載したOPC (Open Platform Communications)^(注1) クライアントが、外部のOPCサーバーとOPC通信でインターフェースを行う機能を開発している。例えば、現場の無線計装システムとOPC通信で収集したデータを、コントローラーでエッジ処理して制御に活用できる。

4. あとがき

リアルタイムプロセス情報管理システムへのソフトセンサーの導入と、計装制御向け次期コントローラー Vm シリーズ typeL (仮称) による操業ソリューションの進化に向けた取り組みについて述べた。

(注1) プロセス制御向けに、異なる製造元の各種制御機器間でデータ通信を行うための規格。

ソフトセンサーにより、連続的な計測が難しい対象の推定計測や、説明変数の影響が目的変数に現れるまでに時間差がある系での無駄時間分先の状態予測などが可能となる。更に、Vmシリーズ typeL (仮称) では従来のコントローラーでは実現できなかったソフトセンサーを実装できるようになり、予測演算や、プロセスの傾向管理、異常予兆の警報などを、よりエッジに近いところでリアルタイムに実現できるようになる。当社は、これら新機能を従来のプラント監視・制御機能と協調させることで、高度で安全・安心なプラント操業ソリューションに向けた取り組みを、更に拡張・進化させていく。

文献

- (1) 立野元気, ほか. CPSプラットフォームに対応する次世代制御システム. 東芝レビュー. 2019, 74, 6, p.43-46. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/techreview/2019/06/74_06pdf/b04.pdf>, (参照 2021-10-05).

・Windowsは、Microsoft Corporationの米国及びその他の国における商標又は登録商標。



小笠原 時則 OGASAWARA Tokinori
東芝三菱電機産業システム (株)
産業第一システム事業部 産業システムソリューション技術部
Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.



安藤 数馬 ANDO Kazuma
東芝三菱電機産業システム (株)
産業第一システム事業部 産業システムソリューション技術部
Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.