

マルチループ・モジュール型調節計「PUM」

特集

小西 英之 (こにし ひでゆき)

安藤 淳 (あんどう じゅん)

河合 富貴子 (かわい ぶきこ)

1 まえがき

近年のデジタル機器の大幅な成長の要因として、半導体の微細化とフラットパネルディスプレイ (FPD) 技術の進歩が挙げられる。これら最先端デバイスの製造工程における温度制御については、高精度であることはもちろんのこと、生産効率の向上を目的とした大規模 (多ゾーン) 化とタクトタイム短縮化への対応が重要となっている。また、リフロー炉、プラスチック成形機など、電子機器の生産工程における他の装置についても、高品質と省エネルギーを目的とした、多ゾーン化によるきめ細かい温度制御が要求されている。

一方、機械装置組込みの調節計は、装置の小型化を受けて年々小型化の傾向が続いており、この影響により、配線作業の困難さと、機能に直接関連しない装備 (表示ランプなど) の省略化が進行している。

こうした中で、富士電機では、次の三つを目的としてマルチループ・モジュール型調節計「PUM」を開発した。

- (a) 装置内での調節計小型化要求への対応と使いやすさの両立を図ること
- (b) 単体温度調節計では解決しにくい、ループ相互間の干渉がある制御系においての制御性改善を実現すること
- (c) 多ループ温度制御市場の顧客満足を得ること

2 マルチループ・モジュール型調節計「PUM」の概要

図1にPUMの外観を示す。本図では6モジュールが連結されている。各モジュールは左右側面に設置された連結コネクタにより直接連結され、ベースボードのたぐいを必要としない構造となっている。この連結コネクタは、内部バスの接続と同時に電源、外部RS-485を同時に接続し、各モジュールへの個別配線を省略可能としている。また、内部バスによるモジュール間のデータ連携により、ループ間の演算・連携動作が可能である。一方、システム内

図1 マルチループ・モジュール型調節計「PUM」外観



にCPUモジュール、電源モジュールなどの共通部はなく、各モジュールは単体での動作が可能である。

3 マルチループ・モジュール型調節計「PUM」の仕様

モジュールの種類およびその仕様を表1に、システムの構成例を図2に示す。

モジュールは大きくアナログ系モジュールとデジタル系モジュール、拡張通信モジュールの三つに分類できる。アナログ系モジュールには4チャンネル制御モジュール、2チャンネル制御モジュール、アナログ入出力モジュール、アナログ入力モジュール、アナログ出力モジュールがある。デジタル系モジュールにはイベント入出力モジュールがある。

一つの連結システム内には、最大でアナログ系モジュール16台、デジタル系モジュール16台、拡張通信モジュール1台を含むことが可能である。これにより、最大64ループ、デジタル入出力各128点の制御が可能となる。アナログ系、デジタル系各モジュールには、標準で高速通信機能 (RS-485, Modbus RTU プロトコル、通信速度最大115.2 kbit/s) が装備されており、通信モジュールを追加する必要はない。一方、CC-Link、PLC プログラムレス

<注> Modbus : Gould Modicon 社の登録商標



小西 英之

温度調節計の開発・設計に従事。
現在、富士電機システムズ株式会社
制御システム本部PIA統括部
計測機器技術第二部主任。



安藤 淳

温度調節計の開発・設計に従事。
現在、富士電機システムズ株式会社
制御システム本部PIA統括部
計測機器技術第二部主任。



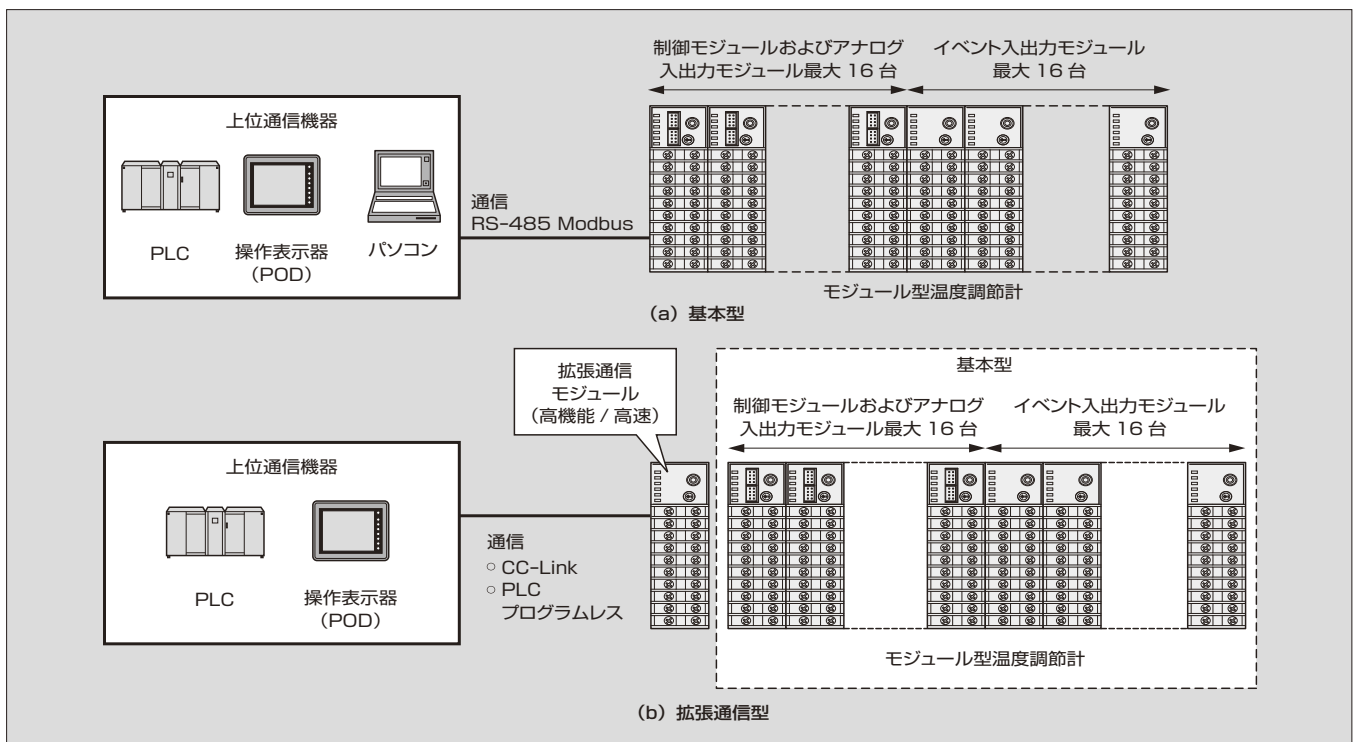
河合 富貴子

制御理論の実システムへの応用に関
する研究に従事。現在、富士電
機アドバンステクノロジー株式
会社情報通信制御開発センター情
報・制御システム部。

表1 モジュールの種類と仕様

モジュール	仕様項目	仕様	1システム内最大数
各モジュール共通仕様	外形寸法 通信機能 ロータ通信ポート 入力精度 入力サンプリング周期 電源	30 (W) × 85 (D) × 100 (H) (mm) RS-485, Modbus RTU, 最高115.2 kbit/s RS-232C ±0.3%FS 200 ms DC24V ± 10%	-
制御モジュール 形式：PUMA/B	制御チャンネル数 入力種類 制御演算機能 制御出力種類 ヒータ断線検出用CT入力	4チャンネル (形式PUMA) , 2チャンネル (形式PUMB) 熱電対/測温抵抗体, 電圧/電流 PID制御, PID加熱冷却制御 リレー出力, SSR駆動出力, 電流出力DC4~20mA 8点	合計16台
アナログ入出力モジュール 形式：PUMV	入力点数/出力点数 入力種類 出力種類	4点/4点 熱電対/測温抵抗体, 電圧/電流 電流出力DC4~20mA	
アナログ入力モジュール 形式：PUMN	入力点数 入力種類	4点 熱電対/測温抵抗体, 電圧/電流	
アナログ出力モジュール 形式：PUMT	出力点数 出力種類	4点 電流出力DC4~20mA	
イベント入出力モジュール 形式：PUME	入力点数/出力点数 入力種類 出力種類	8点 (4点/コモン×2ブロック) /8点 (4点/コモン×2ブロック) 有電圧接点入力, シンク/ソース共用 (双方向) リレー出力, トランジスタオープンコレクタ (シンク出力)	16台
拡張通信モジュール 形式：PUMC	伝送規格 伝送速度 通信機能 (指定)	RS-422/RS-232C/CC-LINK RS-422, RS-232C : 最高230.4 kbit/s CC-LINK : 最高10 Mbit/s CC-Link, PLCプログラムレス通信	1台

図2 システム構成例



通信など、ModbusRTU 以外のプロトコルにて通信を行う場合は拡張通信モジュールにて対応可能である。

4 技術課題と取組み内容

4.1 小型化と使いやすさの両立

(1) 各モジュールのサイズは 30(W) × 85(D) × 100(H)

(mm) と、業界最小クラスを実現しつつ、図3に示すように端子台・本体・ベース部の3分割構造を実現したことにより、新規配線時の設置現場外での端子台のみの配線を可能とし、現地納入後の交換などの場合も配線および設置状態を崩さずに本体交換を可能とした。また、すべての入出力のインジケータランプを設置し、本体のみでの動作・異常状態の確認を可能とした。

(2) 各モジュール正面にローダ通信ポートを配置しており、ローダソフトウェアを使用して本体の設定・操作・動作モニタが可能である。接続方法としては、各モジュールへの接続に加え、システム内マスタに設定したモジュールへの接続のみでシステム全体を一括で接続できる機能を装備した(図4)。これにより、簡便性と管理保守性の両立を実現している。

また、ローダソフトウェアには、通常使用するパラメータをユーザーが登録できる“お気に入り”機能を装備しており(図5)、使いやすさの向上に寄与している。

4.2 ループ相互間の制御改善

モデル予測制御を用いた多ゾーン最適制御により、制御対象の隣接した熱干渉を低減させ、きめ細かい制御を可能とした。適用事例を第5章に示す。

4.3 多ループ温度制御市場における顧客満足度向上

(1) 通信パフォーマンスの向上

従来、システムが大規模となるに伴って通信経路でのデータ更新可能速度が低下し、表示操作器などからのデータ変更の際の操作感を大きく損なうことが問題となっていた。

この原因には、次の二つがある。

- (a) 通信速度がデータ量に対して不足すること

図3 本体の3分割構造

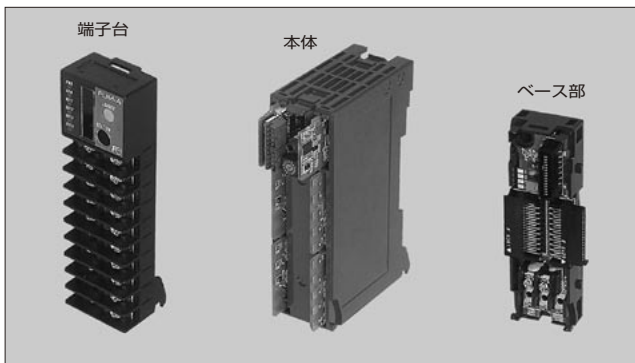
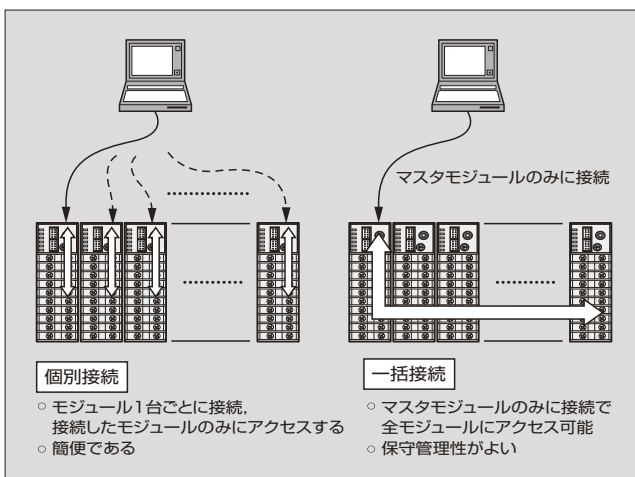


図4 ローダソフトウェアの接続方法



- (b) 通信回数が増えるため、通信フレームのヘッダ部、応答時間など、1回あたりの通信に付随する、通信データそのものの以外の時間が無視できなくなることをPUMではそれぞれに対する対策を行った。

通信速度に関する対策として、従来機種種の19.2から115.2kbit/sと6倍の高速化を図っている。

通信回数に関しては、上位からアクセスしたいパラメータ(通信データのアドレス)が分散していることが原因である。このため、PUMでは“ユーザー登録アドレス”機能により、分散したアドレスに配置されているデータを、連続したアドレスに再配置することで、同一ステーションへの通信回数を、1回にまとめることが可能である(図6)。また、拡張通信モジュールを使用することにより、連結したモジュール全体で1ステーションとして扱うことができる。従来はデータ収集のたびにモジュールの数と同じ回数の通信が必要であったものを、1回に減らすことができるようになった。

(2) 付加機能装備に伴う制御点数制限の排除

4チャンネル制御モジュールにおいて、ヒータ断線警報用CT(カレントトランス)入力を8点装備した。これにより、制御ループ数を減らすことなく各チャンネルについて3相ヒータ断線の検出を可能とした。富士電機の従来品では、CT入力は単相CT入力に限られ、3相検出が必要な場合は、別置の3相検出器を設置する必要があった。これにより、3相ヒータ断線検出機能の有無にかかわらず、同一かつ最小のシステム構成(制御モジュール台数、入出力の配線)で使い分けが可能となり、顧客装置のシステム構築コスト削減に寄与できる。

図5 ローダソフトウェア「お気に入り」登録機能

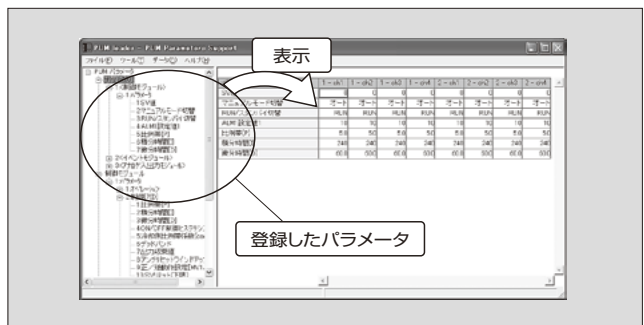


図6 ユーザー登録アドレス機能

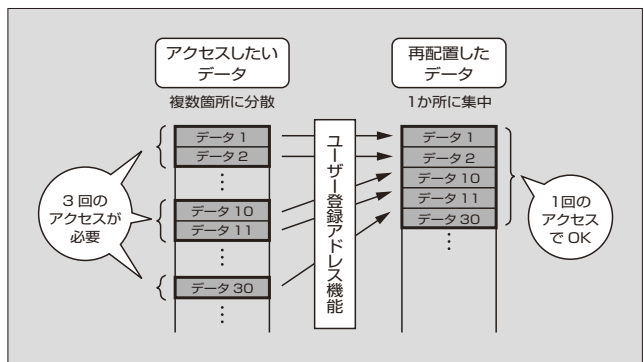


図7 モデル予測制御の概念図

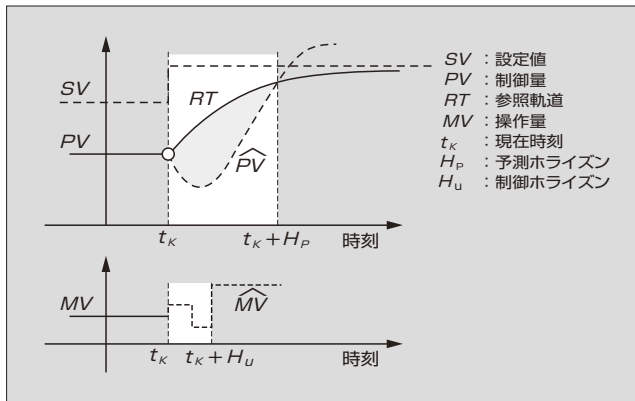


図8 従来制御 (PID 制御) のみによるノズルの温度安定度

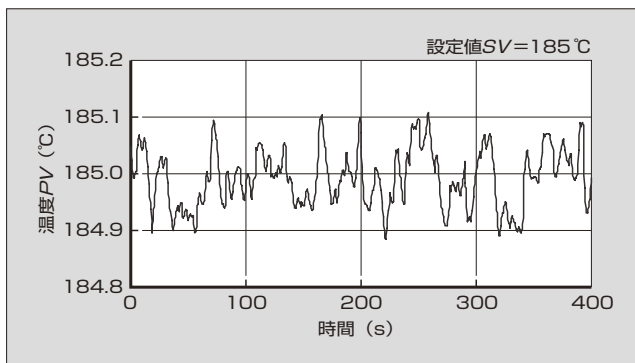
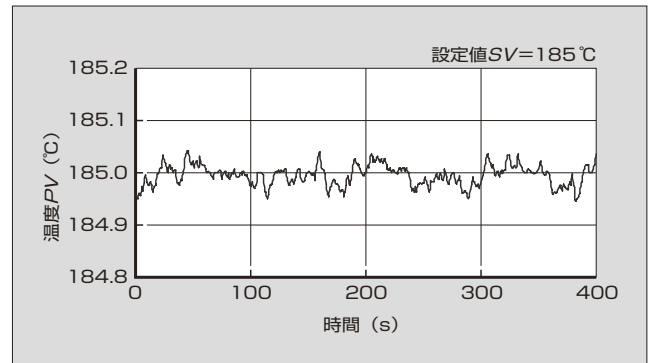


図9 多ゾーン最適制御によるノズルの温度安定度



を逐次繰り返すことにより、未来を予測しつつ、常に最適な制御を行うことができる。上記の特長は、多変数系（干渉系）、制御対象に制約がある場合への拡張も容易である。

実際に射出成形機（80 トン、4 ゾーン）に多ゾーン最適制御を適用した。図8に従来制御（PID 制御）のみによるノズルの温度安定度（幅 0.2℃、± 0.1℃）、図9に多ゾーン最適制御によるノズルの温度安定度の結果（幅 0.1℃、± 0.05℃）を示す。これらの結果から、多ゾーン最適制御によって温度安定度が改善したことを確認した。

5 多ゾーン最適制御の適用例

多ゾーン温度制御系において温度安定度を悪化させる原因の一つに隣接したゾーン間の熱干渉が挙げられ、この熱干渉を低減させることにより温度安定度を向上させることができる。従来制御である PID 制御は、単ループ制御のため熱干渉の低減には限界があった。そこで石油・化学プラントなどの分野で適用実績が数多く報告されているモデル予測制御を用いた多ゾーン最適制御を開発し、射出成形機への適用によりその有効性を確認している。

モデル予測制御は、アルゴリズムに制御対象のモデル（内部モデル）を持ち、現在時刻から未来のある時刻にわたる制御対象のふるまいが最適となるように、操作量を決定する制御方式である。図7にモデル予測制御の概念図を示す。

現在時刻 t_k において設定値 SV を変化させた場合を考える。予測ホライズン H_p と呼ばれる区間において、あらかじめ設定しておいた参照軌道 RT と内部モデルから計算した未来の制御量 \widehat{PV} の差が最小となるように、未来の操作量 \widehat{MV} を計算する。このとき、未来の操作量 \widehat{MV} は制御ホライズン H_u と呼ばれる区間のみ動作すると仮定する。次に計算された未来の操作量 \widehat{MV} のうち、時刻 t_{k+1} における操作量 $MV(t_{k+1})$ を実際の操作量とする。この動作

6 あとがき

製造技術に対する要求品質の高度化に伴い、高密度化・複雑化する製造装置への組み込み用として最適な調節計を開発した。多ゾーン最適制御は隣り合う次元干渉制御に対し、温度制御の安定化を実現した。

今後は多ゾーン最適制御の領域をさらに広げ、面均一制御（2次元干渉制御）で FPD 業界への適用を図っていく。また、現状仕様の入力サンプリング周期（200ms）、入力精度（± 0.3%FS）のさらなる向上、各種通信機能への対応により、さまざまな業界に適用可能なモジュール型調節計を開発していく所存である。

参考文献

- (1) S. J. Qin, et, al. “A Survey of Industrial Model Predictive Control Technology,” Control Engineering Practice, vol.11, 2003, p.733-764.
- (2) IEEE Control Systems Magazine, Snapshots of Process Control Part II Glassmaking, vol.26, no.6, 2006-12.
- (3) J. M. Maciejowski 著，足立修一，菅野正明訳，モデル予測制御 制約のもとでの最適制御 Predictive Control with Constraints. 東京電機大学出版局，2005.
- (4) 河合富貴子ほか，モデル予測制御を用いた多ゾーン最適制御の射出成形機への適用，平成 19 年電気学会全国大会，4-177.
- (5) 中沢親志ほか，マルチループ最適制御を実現するモジュール型温度調節計，計装，2007-6. p.187.

特集



*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。