

温度調節・PID モジュール F3CU04 および 設定ツール ToolBox 温度調節・モニタモジュール SF661

F3CU04 Temperature Control and PID Module and SF661 ToolBox Temperature Control and Monitor Module

田中 義雄^{*1} 竹田 晃^{*1}
TANAKA Yoshio TAKEDA Akira

田中 覚^{*2} 堀田 雅夫^{*1}
TANAKA Satoru HORITA Masao

温度調節・PID モジュール F3CU04 はユニバーサル入力方式で、精度 $\pm 0.1\%$ 、分解能 0.1°C 、サンプリング周期 $0.1\text{ s}/2$ 入力を実現した FA-M3R シリーズに実装して使用するデジタル温度調節計である。高性能を要求する装置の制御に適用できる基本性能と機能を備え、従来専用のコントローラが必要だった制御を、汎用コントローラとシーケンスプログラムなどアプリケーションプログラムと組合せることで実現したいという顧客要求に応えるものである。また、設定ツール ToolBox SF661 は F3CU04 専用のツールで、モジュールへのパラメータ設定とデータ収集・表示が可能で、モジュールと装置の立上げを支援するための各種機能を搭載している。

The F3CU04 Temperature Control and PID Module is a digital temperature controller which is incorporated into the FA-M3R. It employs universal inputs and offers high accuracy of $\pm 0.1\%$, high resolution of 0.1°C and input sampling cycle of 0.1 seconds for 2 loops. The F3CU04 features the performance and functions applied to controlling equipment to attain high quality, thereby meeting customer's demands to combine controls that used to require exclusive controllers with application programs including generalized controllers and sequence programs. ToolBox Temperature Control and SF661 Monitor Modules are specific to the F3CU04, enable parameters to be set for modules and data to be acquired and displayed, and have various functions for facilitating module setup.

1. はじめに

温度調節・PID モジュール F3CU04 (以下本モジュールと呼ぶ) は、当社プログラマブルコントローラ (PLC) FA-M3R シリーズに実装して使用する PID 機能を持つ温度調節モジュールである。拡散炉をはじめとする半導体製造装置での温度制御に求められる高性能と高機能、小形化を同時に実現すると共に、シーケンス制御と温度制御の親和性を実現している。ここでは、本モジュールの高精度・高機能とシーケンス制御との親和性の効果、および温度制御をより簡単に実現するために搭載した機能について記述する。併せて、装置の立上げ、メンテナンスを容易にする本モジュール専用の設定ツール ToolBox 温度調

節・モニタモジュール SF661 (以下本ツールと呼ぶ) の性能と機能についても記述する。

2. 温度調節・PID モジュール F3CU04

本モジュールは、FA-M3R シリーズに実装する高性能デジタル温度調節計であり、開発に当たって高性能・高機能化、基本性能の強化を図った。これにより、従来専用のコントローラで行われてきた特殊な温度制御を、本モジュールの高性能デジタル温度調節計としての機能と PLC の演算機能とを組み合わせることで実現した。例えば、半導体製造装置である拡散炉では、拡散炉専用として商品化されているコントローラが使用されることがあるが、その場合、装置の仕様は同コントローラの仕様強く依存することになり、差別化が難しくなる。このような背景に応えるため、本モジュールでは高度な温度制御に必要な性能と機能を実現している。その特長は、高速、高精度、高分解能、高機能、および FA-M3R シリーズ本体と

*1 IA事業部 PLCセンター 技術部

*2 IA事業部 プロダクト事業センター NETSOL技術部

表1 入力に係わる仕様(抜粋)

入力種別	熱電対入力:15種類 測温抵抗体入力:9種類 直流電圧入力:6種類
サンプリング周期	200 ms/4入力または100 ms/2入力
入力精度	±0.1%ofFS±1digit (FS:Full Scale)
A/D変換回路	18.3 bit (変換周期で16.6 ms時)
温度分解能	0.1℃ (一部レンジでは0.01℃)
基準接点補償誤差	熱電対使用時:±2.0℃
チャンネル間絶縁	1500 VAC, 1分間
入力ノイズ除去比 (50/60 Hz)	ノーマル:40 dB以上 コモン:120 dB以上

の親和性である。

2.1 高速、高精度、高分解能入力

本モジュールの入力処理は、幅広い温度制御アプリケーションへの対応を可能にするために、高速、高精度、高分解能なものとしている。実際、1000℃以上の温度において、0.1℃の表示分解能が必要な装置や、温度は30℃程度ではあるが0.01℃の表示分解能が必要な装置がある。また、本モジュールで使用する温度センサは、熱電対、測温抵抗体、および電圧入力のいずれにも対応可能なユニバーサル入力方式としている。表1に、本モジュールの入力に係わる仕様を示す。

ユニバーサル入力方式は当社のデジタル指示調節計、温度調節計、レコーダ等では一般的な仕様であるものの、小形のPLCにおいて実現しているものは少なく、本モジュールの特長となっている。例えば、多方面で使用されているコージェネシステムでは、発電用のガスタービンの給排気の温度を熱電対で測り、給湯用の温水の温度は測温抵抗体で測りたいという要求があり、本モジュールは、これに1台で応えられる。

熱電対用の基準接点補償を行う場合、基準接点への内部発熱による伝熱を減らした上で、周囲の空気温度を測り、基準接点の温度としてきたのに対し、本モジュールでは、実際には伝熱を減らすことが困難である小形のPLCの端子構造を考慮し、複数箇所温度を測り、端子温度を推定するという方法を採用している。具体的には、プリント基板上の端子リード直近で測った温度と、端子台を代表する温度として端子台取り付け用のねじ部で測った温度から、各基準接点の温度の推定を試み、十分な結果を得て採用している。推定結果への影響としては伝熱の大きさ、したがってモジュールの内部温度上昇が大きいことを考慮し、これをパラメータとして評価した。

FA-M3R シリーズはビルディングブロック形式の実装形態であるため、本モジュール内での発熱にとどまらず、左右に密着して実装されるモジュールでの発熱の影響を受けるため、それを考慮し、単独の場合から発熱量の多いモジュールを密着させた条件まで条件を変化させ、実験

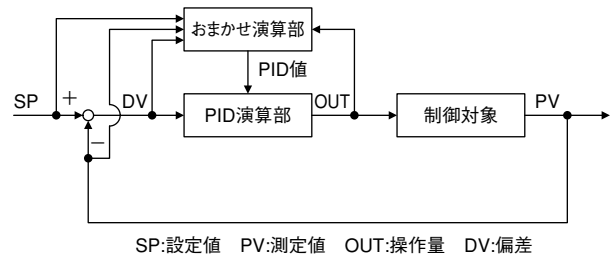


図1 ブロック図

を重ねて仕様を満足していることを確認している。

次の特長である高速、高精度、高分解能入力は、本モジュールを使用する装置の性能に大きく係わる仕様であり、装置の性能に貢献する最も基本的な性能である。サンプリング周期は2入力時100 msで、4入力時200 msである。入力毎にA/D変換器を搭載し、入力のサンプリング周期よりも短い周期でA/D変換し、その結果を移動平均処理することで、変換結果を安定させている。A/D変換器は積分型のA/D変換器をディスクリート部品で構成し、搭載した。A/D変換部の仕様としては、入力更新周期50 ms、分解能14 bit以上が得られることを条件とした。

積分型のA/D変換器は、当社のデジタル指示調節計などで従来から実績のある回路で、仕様に合わせた調整が容易で、チャンネル間の絶縁への対応も容易であることから採用している。変換はまず、アナログ入力信号を比例したPWM(Pulse Width Modulation)信号に変換し、そのパルス幅を測定することでデジタル化している。測定時間を商用電源のノイズ周期に合わせることで耐ノイズ性を高めている。また、PWM信号部において絶縁が容易であることから、アナログ/PWM変換部までは入力毎の個別回路とし、パルス幅測定部は絶縁した内部回路側で共通回路として、小形かつ必要な性能を確保した。パルス幅測定には、共通回路の19.6608 MHzのシステムクロックを用い、変換周期60 Hz時16.6 ms、50 Hz時20 msに亘ってパルス幅を積算することで、分解能18.3 bit (= 19.6608 MHz × 16.6 ms)となり、高速、高精度、高分解能を実現している。

2.2 豊富な制御機能

本モジュールでは、幅広い温度制御アプリケーションに対応できるよう、各種機能を搭載した。

例えば、本モジュールはカスケード制御機能を備えているので、予熱時にはヒータの温度を制御し、本加熱では制御対象の温度を測ってカスケードで制御することができる。また、2入力切り替え、2出力といった制御機能を備えているので、FA-M3Rシステム上のアプリケーションプログラムとは独立して複雑な温度制御を行うこともできる。

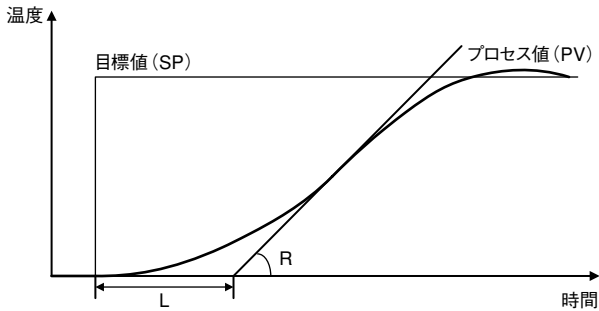


図2 運転開始時の調整方法(ステップ応答法)

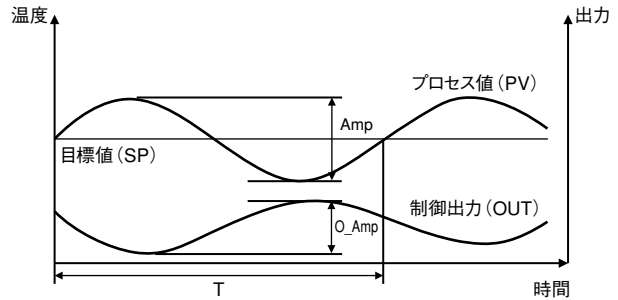


図3 ハンチング発生時の調整方法(限界感度法)

2.3 おまかせ制御

本モジュールではPID制御(比例, 積分, 微分制御)を容易に使い始められるように, 自動でPIDパラメータを調整する“おまかせ制御”の機能を搭載している。この機能は当社の温度調節計UT100に搭載され, 実績のあるものと共通である。

おまかせ制御では, プロセスの状況に応じて2つの方法でPIDパラメータを調整する機能を持っている。1つはステップ応答法, もう1つは限界感度法を基にした調整方法である。運転開始または目標値変更によって, プロセス値, 操作量が大きく変化した場合には前者を用い, 制御系が不安定になり, ハンチングを起こした時には後者を用いてPIDパラメータの調整を行う。本機能の構成を, 図1に示す。

(1) 運転開始時のPIDパラメータ調整方法

本モジュールを停止状態から自動運転に切り換えた時, および目標値を変更した時に制御出力が飽和すると(上限に達すると), おまかせ制御はステップ応答法による調整を開始する。PVの変化率が最大となるまでの時間とその変化率(R)を検出し, 図2の通り, 等価むだ時間(L)を求めることでPIDの各パラメータ比例帯(PB), 積分時間(TI), 微分時間(TD)を計算する。計算は, Ziegler-Nicholsのステップ応答法による。

(2) ハンチング発生時のPIDパラメータ調整方法

操業開始後, 例えば炉の内容物が変わって制御系が不安定になり, ハンチングを起こすことがある。この時, おまかせ制御は, 限界感度法による調整を開始する。おまかせ演算部はPVとSPの状態を監視し, SP近傍でPVが2℃(電圧入力の場合は入力範囲の0.5%)以上の幅で振動していることを認めた時, ハンチング発生と判断する。図3に示すハンチングの振幅(Amp), 周期(T)と制御出力の振れ幅(O_Amp)を検出し, これらから限界ゲイン, 限界周期を求め, PIDの各パラメータ比例帯(PB), 積分時間(TI), 微分時間(TD)を計算している。計算は, Ziegler-Nicholsの限界感度法による。

3. ToolBox 温度調節・モニタモジュール

ToolBoxは, FA-M3Rシリーズの高機能I/Oモジュールの各種パラメータを設定・カスタマイズする機能を実現するPC(Personal Computer)ベースのソフトウェアパッケージである。ToolBoxは図4に示す構成となっており, 共通するソフトウェアをプラットフォームとし, 各種モジュールに対応した固有機能はコンポーネントとして, アドインする構成とした。これにより, 各種の高機能I/Oモジュールを利用するユーザーに対し, 一つのソフトウェアパッケージでパラメータ設定, 動作確認を行える環境を提供している。

3.1 パラメータ設定機能

本器の設定機能は, 温度調節・PIDモジュールへの, 各種設定要素や制御パラメータの書き込み, 保存を行うことを目的とした機能である。

本モジュールは予め設定された状態に従って動作するため, 運転開始に先立ち各種機能を設定しておく必要がある。この設定は, 従来CPUのラダープログラムから行っていたが, モジュールの高機能化に伴い, プログラム開発が負担となっている。また, 初期設定はシステム立ち上げ時に一回のみ必要なものであり, 通常の運転では不要であることから, 簡単に間違いなく本モジュールに必要な設定ができる, 設定・メンテナンスツールとして開発した。

設定要素は機能分類毎にまとめられた表形式で表示され, モジュール内の個々のパラメータをガイダンスに従

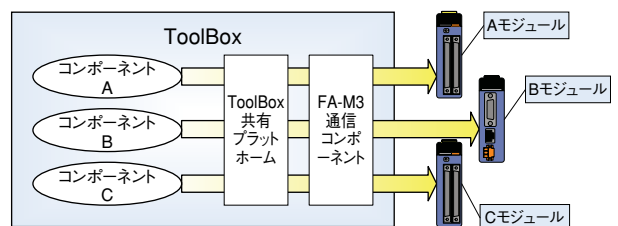


図4 ToolBox ソフトウェア構成

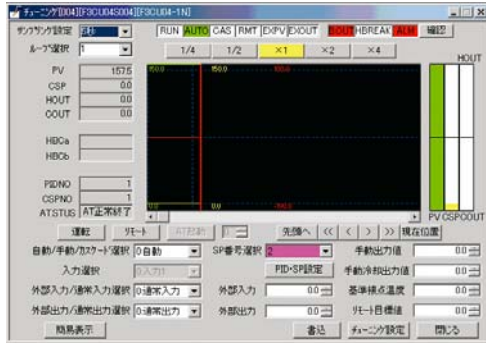


図5 動作テスト機能(チューニング画面)

い設定する。設定値はモジュール単位でファイルに保存できるので、装置開発時にオフラインで本モジュールのパラメータ設定を行え、再利用も可能である。この設定を、本ツールから本モジュールにダウンロードすれば設定完了である。設定をオンラインで編集したい場合には、動作テスト機能を使用する。

3.2 動作テスト機能

図5は、動作テスト機能の画面である。

動作テスト機能は、本モジュールの立上げ時およびメンテナンス時に、運転状態を確認しながら制御パラメータ等を調整するための機能である。

動作テスト機能の画面では、モジュールのプロセス値、制御目標値、操作量を数値とグラフで表示するので、制御の状態を直感的、数値的に掴むことができ、エンジニアリングを容易にしている。それぞれの操作の内容、パラメータ名、設定の内容が示されるので、オートチューニングの実行、制御パラメータの微調整、アラーム状態等の確認ができる。

3.3 動作モニタ機能

図6は、動作モニタ機能の画面である。

動作モニタ機能は、本モジュールに係わるデータ、パラメータを指定して収集、表示、保存する機能である。



図6 動作モニタ画面

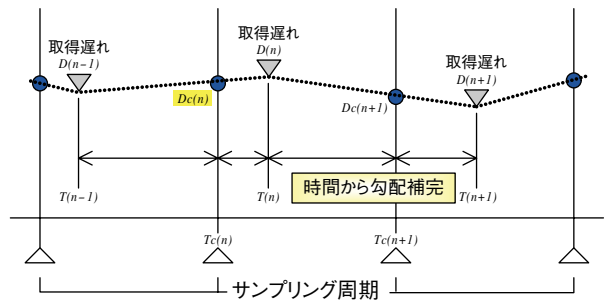


図7 サンプルング補正の概念図

収集、表示するデータ、パラメータは8点まで指定可能で、本モジュールのリレー、レジスタの値の他、シーケンスCPUモジュール内のデータレジスタを指定することもでき、温度制御以外の装置の状態を同時にモニタすることができる。

本機能では指定したデータを、指定したサンプリング周期(最短1秒周期)で取得し、グラフと数値で表示する。収集したデータはCSV形式で保存可能で、手動保存、および定周期での自動保存、予約時間での保存機能を有している。保存形式がCSV形式であるため、収集したデータを一般的な他ソフトウェアでの加工、利用が可能である。

本ツールでのサンプリング周期は最短では1秒であるが、通信負荷によっては、パソコンとFA-M3Rシステムとの通信処理での応答時間の変動の影響を大きく受けてしまうことがある。これを補正するため、モニタ中に取得した値と取得時間から、サンプリング周期で補間した上でグラフ表示を行っている。これにより、サンプリング周期の変動による影響を取り除き、実際の勾配変化に近いトレンド図を表示することができる。図7に、概念図を示す。

図7に示すように、期待するサンプリング周期に対して取得遅れが発生するモニタ値は、2点の取得値と取得時刻を条件として、以下の計算式でサンプリング周期に補正して画面に展開される。

$$Dc(n) = \frac{D(n) - D(n-1)}{T(n) - T(n-1)} \times (Tc(n) - T(n-1)) + D(n-1)$$

4. おわりに

FA-M3Rシリーズでの温度制御を担う温度調節・PIDモジュール F3CU04 の性能と機能、設定ツール ToolBox 温度調節・モジュール SF661 の性能と機能を紹介した。今後も高性能・高機能を簡単に使えることを目指した仕様の強化を図り、FA-M3Rシリーズの温度制御の適用範囲拡大を図っていきたい。

参考文献

- (1) 松村 謙他, “温度調節計UT100シリーズ”, 横河技報, Vol. 43, No. 2, 1999, p. 71-74