

装置の進化に貢献するハイブリッドコントローラ

オムロン(株) 吉田 順一

1. はじめに

微細化、高密度化がすすむ半導体製造工程において、温度制御を中心としたプロセス制御は重要な役割を果たす。しかし一方で、市販されている温度コントローラは装置に合わせたカスタマイズ対応力が乏しく、高精度な温度制御などを行う場合には専用のコントローラが使用されることも多い。そこで、当社ではセミコン・ジャパン 2007 に多様なループ制御に対応可能なループ制御機能と高速なシーケンス制御機能を融合したハイブリッドコントローラを出展する。

当コントローラは、2004 年に発売以来、半導体装置や電子部品装置のコントローラとしてご好評をいただいている。本稿では継続的に進化を遂げているコントローラの基本機能に加えて、進化する制御機能（CPU ユニット Ver.3.5）と高精度な温度制御を実現するために開発中の 1/1000℃の有効分解能を持った温度入力ユニット等を紹介する。

2. 当社の PLC ベース調節計

2-1 製品ラインナップ

温度制御などループ制御に必要な性能や機能は工程や装置によって大きく異なる。また、一台の装置内でも、ウエハステージ、チャンバ、配管といった装置の部位によっても大きく異なる。さらには、純水や各種ガスなどのユーティリティ系では、二重化構成に代表される高い信頼性が求められる。

当社では、ループ制御の課題を解決するグローバルサプライヤとして様々な形態のコントローラを提供している。下記に商品の一例を示す。

- ・ サーマック NEO 形 E5□N シリーズ
見やすさ、使いやすさを追求し、販売総数が累計 250 万台を突破した 11 セグ表示付き温度調節計である。
- ・ モジュール型調節計 形 EJ1 シリーズ

多点温度制御に適したモジュール方式のデジタル調節計である。PLC とのラダーレス通信や DeviceNet 通信にも対応している。

・ CJ シリーズ用温調ユニット 形 CJ1W-TC

超小型サイズの PLC「SYSAMAC CJ シリーズ」のユニットとして PLC バスに直接接続可能で、PID 制御機能を内蔵した温調ユニットである。温調ユニットには温度入力や出力などを一体化している。

・ CJ シリーズ ループコントローラ

本稿で紹介するコントローラで、計器ブロック方式のプログラムに対応し、計器ブロックを組み合わせることで多様な温度制御アプリに対応可能である。制御を行うループ CPU ユニットや、入出力としてアナログ入出力ユニットや DeviceNet などを組み合わせて使用する。図 1 にシステム構成例を示す。

その他、CPU や電源、ネットワークを二重化するなど高信頼化に対応した二重化システムに至るまで幅広い商品を提供している。

2-2 CJ ループ CPU ユニット

ループコントローラは、汎用 PLC である CJ シリーズをベースとしたコントローラである。そのため、CJ シリーズの持つ機能、例えば、通信機能や豊富な IO ユニットなどはそのまま使用できる。ループ制御システムを構築する場合は、専用開発されたループ CPU ユニットと入出力として後述のアナログ入出力ユニット等を使用する。当 CPU ユニットは、通常の CPU ユニットの機能・性能はそのままに、調節計として必要なループ制御の機能を統合し、2 つの CPU を内蔵したハイブリッド CPU ユニットである。内蔵するループ制

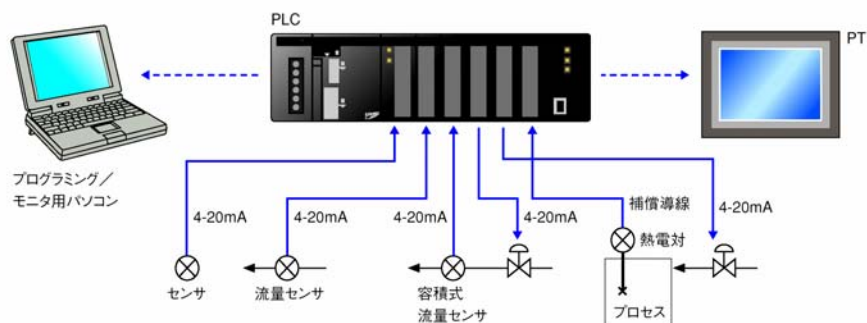


図1 ループコントローラのシステム構成例

御用 CPU では、PID 制御をはじめ、折線プログラム機能や算術演算機能など、約 70 種類の計器ブロックと呼ぶ制御・演算機能を持つ。また、専用のツールソフトウェア CX-Process ツールを使用して、計器ブロックを組み合わせることにより制御ループを構築できる。使用可能な最大計器ブロック数は、CPU ユニットの形式により、50 ブロックと 300 ブロックの 2 タイプがある。

ループ制御用 CPU の演算周期は、最速で 10ms を指定することができ、単純な PID 制御であれば、20 ループ/10ms の実行が可能である。計器ブロックの組み合わせにより、カスケード制御やフィードフォワード制御といった各種アドバンスト制御を構成することができる。

制御ループのプログラミング例として、バッチ式の熱処理工程で使用する、温度プログラム制御の例を図 2 に示す。機能強化を行ったユニットバージョン V3.5 では、1 パターンあたり最大 100 ステップまで組むことができ、ステップごとに PID パラメータを変更することも可能である。

一方、内蔵するシーケンス制御用 CPU は、汎用の CJ シリーズ CPU と同等であり、ラダー/FB/ST/SFC のプログラムが可能である。演算速度も LD 命令で 40ns と調節計にはない高速性と機能を有している。

2-3 アナログ入出力ユニット

ループ CPU ユニットの入出力としては、豊富に用意されたアナログ入出力ユニットを使用する。電流(4~20mA など)と電圧(1~5V など)の信号を扱うアナログ入力ユニットおよびアナログ出力ユニット、温度センサ(熱電対、測温抵抗体)を直接接続する温度入力ユニットがある。

種類としては入力点数以外に、チャンネル間絶縁タイプ/非絶縁タイプ、低価格タイプ/高分解能タイプと豊富なラインナップを揃えており、これらを装置が要求する性能に応じて選択することが可能である。

3. ループコントローラのアドバンテージ

ループコントローラは、汎用の調節計や PLC と比較しての性能・機能に関して以下の特徴を持つ。

- ・ 高精度・高速の温度計測/制御
- ・ 高いフレキシビリティ
- ・ シーケンスとループのハイブリッド制御

豊富なネットワーク機能

これらは装置によってはすべて必要となる。以下にそのアプリケーション例とループコントローラの特徴を示す。

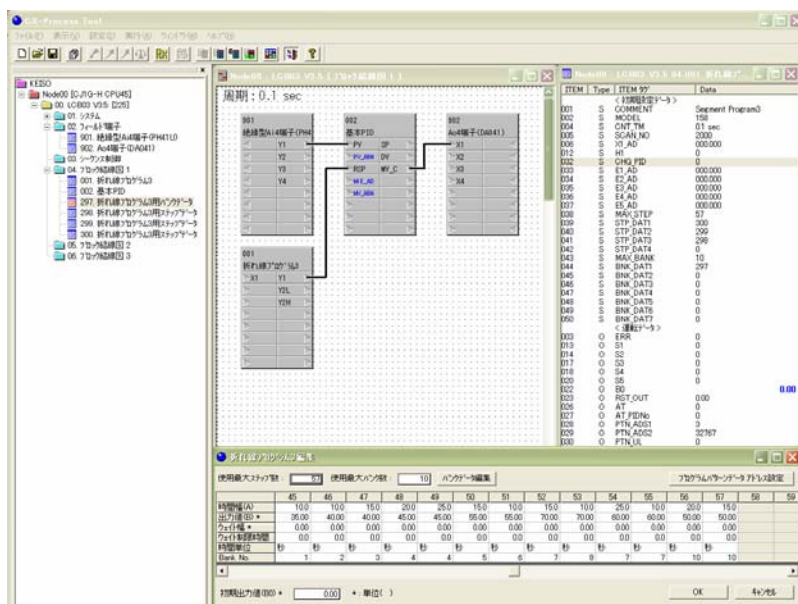


表1 高分解能・高速マルチ入力ユニットの基本仕様

入力点数	4
分解能と変換周期	次の3つのモードから選択 ■モード1：変換周期 60ms/4点、分解能 256,000 ■モード2：変換周期 10ms/4点、分解能 64,000 ■モード3：変換周期 5ms/4点、分解能 16,000
入力種類	■測温抵抗体：Pt100(3線式/4線式)、JPt100(3線式)、Pt1000(3線式) ■熱電対：K、J、T、E、L、U、N、R、S、B、WRε5-26、PL II ■電流：4～20mA、0～20mA ■電圧：+1～+5V、0～+1.25V、0～+5V、0～+10V、±100mV任意レンジ -1.25～+1.25V、-5V～+5V、-10～+10V、±10V任意レンジ ■その他：ポテンショメータ (注1)JPt100(3線式)、ポテンショメータは、モード1の場合のみ使用可能。 (注2)モード3では、熱電対のK、Eのみ使用可能。
基準精度(25℃)	■測温抵抗体入力：±0.05% ■熱電対入力：±0.05%（入力種別および測定温度により異なる） ■電流・電圧入力：±0.05% ■ポテンショメータ入力：±1%

があげられる。半導体製造においてもこれらの性能は重要であるが、更に高度な要求性能として、多ループ制御の場合の温度均一性がある。これら温度制御の高品質化は、半導体の品質確保と歩留まり向上に加えて、装置の開発中や現場設置時の調整工数にも影響する。そこで、これらの要望に応える各種のアルゴリズムをループCPUに搭載している。

例えば、温度均一性が求められる例としては、RTP装置におけるウエハ面がある。整定状態における均一性だけでなく、昇温中の均一性も必要となるため、PID制御を各ループ単位で独立に動作させる方式では対応が難しい。設定温度を同じレートでランプ状に変化させる機能によって、昇温中の温度均一性をある程度確保することはできるが、各ループの特性差やループ間の熱干渉が大きい場合には十分な性能が得られない。このような場合でも、良好な温度均一性能を簡単に実現できるよう当社独自の「傾斜温度制御」(図3)方法を搭載したタイプを用意しており、単なるPIDを搭載したPLCや調節計とは一線を画している。

3-2 フレキシビリティ

半導体製造は製造プロセス自体が速いスピードで進化するため、重要部分を担う温度制御機能に対しては、高いフレキシビリティが求められる。

当社のループコントローラは、入出力ユニットの豊富なバリエーションの活用、ユーザプログラミングによる自在な制御ループの構築が可能である。また、PLCベースであることから、市販のHMI機器(タッチパネルやSCADA)選択の自由度など、汎用の調節計と比較すると高いフレキシビリティを備える。

ループCPUユニットの制御プログラムとしては、約

70種類ある計器ブロックを専用ツールソフトウェアCX-Processにより組み合わせることで、様々な制御ループを構築することができる。しかも、ラダーで構築するわけではなく、品質が確保された機能(計器ブロック)を組み合わせるだけなので、開発効率も高い。

また、作成したユーザプログラムはパラメータだけでなくユーザプログラム自体を外部の通信プログラムから更新できる。これにより、例えば、新しいユーザプログラムデータを装置のサーバマシンに置いておけば、専用ツールソフトをユーザーに操作させることなく、ユーザプログラムの変更が可能となる。このことは、装置の保守性の向上、あるいは段取り替えの効率化に貢献できると考えている。

このようなフレキシビリティの高さにより、PLCベースの調節計は、コントローラベンダが提供する汎用の調節計だけでなく、装置ベンダが独自に開発している調節計機能を持った専用コントローラの代替にもなり得る。

3-3 ハイブリッド制御

ループコントローラでは、シーケンス制御とループ制御を組み合わせたハイブリッド制御が可能である。温度制御であっても、制御性を向上のためにはシーケンス制御との組み合わせが有効な場合がある。一例として、半導体デバイスなどのワークの熱処理における温度制御について説明する。

チャンバを一定温度に制御している状態でワークを投入すると、チャンバ内温度の整定状態は一時的に乱れることになる。この乱れた状態をいかに早く元の整定状態に戻すかは、装置のタクトタイムに直結する重要な課題である。しかし、こうした外乱の抑制は、あ

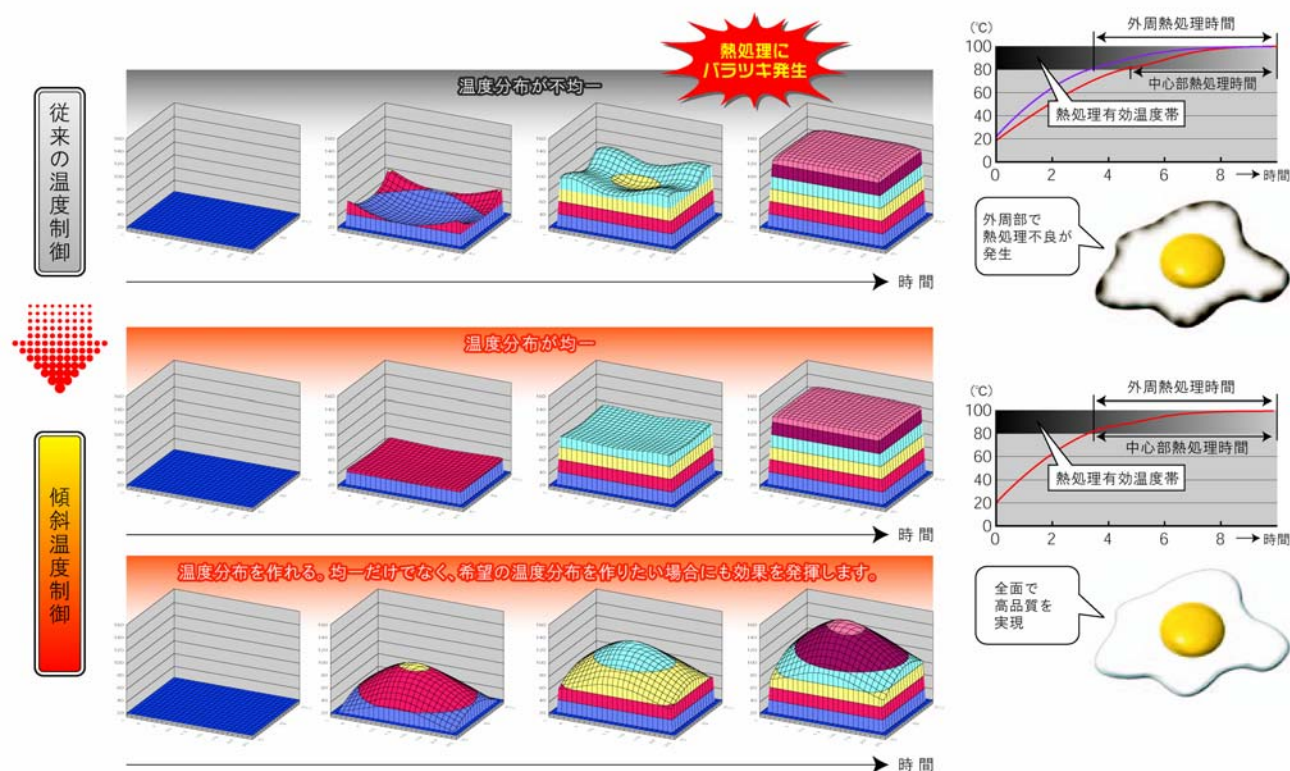


図3 傾斜温度制御のイメージ図

る一定の温度の変化がおきてから、修正動作として制御されるため、整定状態の温度に戻るには時間がかかる。

一方で、装置から見れば、ワークの投入自体は、外乱要素ではなく運転シーケンスの一部である。つまり、突然発生するものではなく、ある一定のタイミングで実行される。したがって、この運転シーケンスを司るシーケンス制御部から、ループ制御部へ、ワーク投入タイミングや関連する運転条件などの情報を渡してやれば、調節計側では温度の乱れを検知する前に、適切なタイミングで適切な修正動作を開始することができ、乱れを小さく抑えて、整定状態への復帰を大幅に早めることが可能となる。この動作は、フィードフォワード制御のひとつの形態である。PID 制御にこのフィードフォワード制御を付加した場合の温度制御性能の改善効果イメージを図4に示す。

調節計の機能としては、PID 制御とフィードフォワード制御の組み合わせが可能であること、フィードフォワード制御の開始停止タイミングの指定が可能であること、適切なフィードフォワード量の計算が可能であることなどが必要となる。

またこのようなハイブリッド制御が有効な装置では、シーケンス制御だけでなくループ

制御に対しても、高速処理が求められることが多い。当社のループコントローラでは、上記のフィードフォワード制御が可能であることに加え、演算周期は最速で 10ms まで対応できる。さらには、ワークの種類が多い場合は、フィードフォワード制御のための条件データも複数持つ必要があるが、これをレシピデータとして、PLC の豊富なメモリ上に持つことで容易に対応ができる。

3-4 ネットワーク対応

温度制御を行うコントローラであっても、上位コントローラや PC と接続されることは多く、ループコン

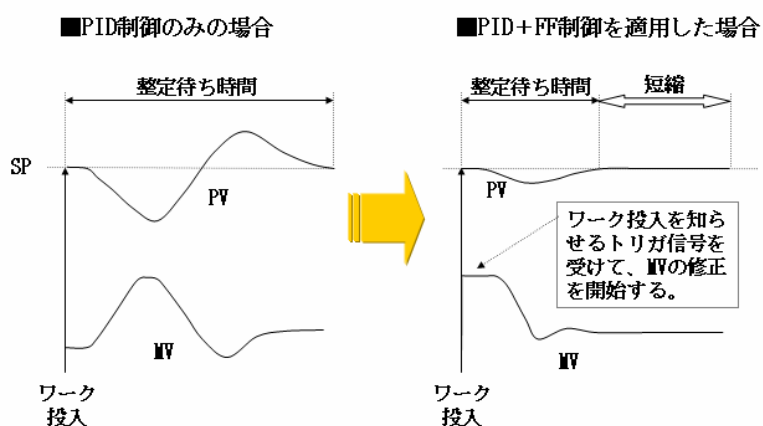


図4 ハイブリッド制御による整定時間短縮イメージ

コントローラを PLC ベースで行うメリットは大きい。例えば、Ethernet や DeviceNet など必要に応じてユニットを組み合わせることで多様なネットワークに対応できる。また、フィールドネットワークのマスタ機能も持つことが可能なため、I/O 部をコントローラ部と別の場所に設置したり、サードパーティの機器を組み合わせ使用したりすることも可能となる。

4. おわりに

技術の進歩や市場の変化に伴って半導体製造技術や製造プロセスは今後も予想を上回るスピードで変化がおこるであろう。当社は温度制御課題を解決できるパートナーとして選ばれるよう商品の企画・開発を進める所存である。当コントローラへの期待や今後の要望について、読者の方々よりご意見をいただけると幸いである。

〈参考文献〉

浪江正樹： 「半導体製造における PLC ベースの調節計」、『計測技術』、2007 年 12 月号、日本工業出版

ヨシダ・ジュンイチ

オムロン(株) アナログコントローラ事業部商品開発部

〒525-0035 滋賀県草津市西草津 2 丁目 2-1