

ハンチング防止機能を持つ調節計の開発

Development of the Controller Having Hunting Suppress Function

田中 覚^{*1}
TANAKA Satoru

王金 禰^{*1}
WANG Jinn

梅井 紀彦^{*1}
UMEI Norihiko

真野 修一^{*1}
MANO Shuich

通常運転状態でPIDチューニングされたPID値で制御を行っている時、プロセスの負荷変動や周囲温度の変化によって制御がハンチング状態に陥ることがある。このような場合でも、PID値を再チューニングすることなく、ハンチングを抑える機能SUPER2を開発した。PID制御演算に位相補償モジュールを追加し、ハンチング状態の測定値、目標値、操作量を観測し、自動的に位相補償を行う。これによって、PID値の制御範囲を広げる効果が得られた。この機能をデジタル指示調節計Greenシリーズに搭載した。シミュレーション結果及び電気炉での実験結果で効果の確認をした。

Under the normal PID control operation, load fluctuation and variations of ambient temperature sometimes falls into process control hunting. For suppressing the hunting without re-tuning the PID parameter, we have developed Hunting Suppress Function "SUPER2" and applied to Digital Indicating Controller "NEW Green Series". This function, consisting of a PID calculation module and a phase compensation module, can compensate phases automatically while monitoring SP, PV and MV during hunting situations.

This paper reports its simulation and the experimental result of an electric furnace.

1. はじめに

プロセスの特性は、その時々負荷や周囲温度などにより変化する。通常では、PIDパラメータの設定はこれらの状態を考慮して設定するので、目標値への追従時間が長くなり、外乱からの整定時間も長引くなど、不効率な制御状態になる。これに対して、整定時間を最短にするような高ゲインのPIDパラメータを設定すると、プロセス応答が変化した時、ハンチングなど制御性に不安定な状態をもたらす易くなる。このような運転状態を改善するために、横河M&C(株)では、複数のPIDパラメータセットを運転状態に応じて切り替えるゾーンPID方式や、閉ループ状態で運転状況に応じて自動的にPIDパラメータを改善するセルフチューニング方式などを開発してきた。これらは効果的な改善方法であるが、事前に複数のPIDパラメータを設定したり、プロセス特性を同定するなどの手間と制御知識が必要であった。

今回、デジタル指示調節計Greenシリーズ(図1)に搭載したSUPER2は、特別なパラメータ設定を必要としない方式であり、簡便に使用することができる。SUPER2

は、高ゲインのPIDパラメータ設定を使用した場合のプロセス応答の変化によるハンチング状態を抑える機能を持ち、プロセス応答の変化に対してのPIDパラメータ制御範囲を広げている。従って、SUPER2使用時は、通常運転状態を最適にするPIDパラメータを設定することにより、プロセス応答の変化により広く対応し、優れた制御性が得られる。

2. ハンチング防止機能(SUPER2)

ハンチング防止機能SUPER2は、閉ループ特性を改善する位相補償を基に作成している。位相補償の概念は



図1 Greenシリーズ外觀

*1 横河M&C株式会社

表 1 SUPER2 functionから出力される値

状態	偏差と比例帯の関係	SPV値の内容	
		ON	OFF
(A)	偏差 > 比例帯×75%	PV値	PV値
(B)	偏差 ≤ 比例帯×75%	CPV値	PV値

PID調節計の初期の段階からあり、例えば、調節計YS80のむだ時間補償モジュールは制御性の向上に寄与した。

しかし、プロセス特性の変動には、不向きであった。SUPER2は、このプロセス特性の変動によってハンチング状態に陥ってしまうPID制御の適応性を向上する目的で開発した。SUPER2を使うことにより、プロセス特性の変動があった場合でもPID値の変更の必要がなく、制御を継続することができる。

2.1 機能構成 & 動作原理

SUPER2の機能構成を図2に示す。SUPER2 functionはPID制御部分及びプロセスに直列に接続された補償系として挿入されているが、このSUPER2 functionの出力値であるSPV値は、以下の表1の条件で判断され、切り替えられる。表1の(A)の状態では、SUPER2 functionがON/OFF共、PV値を出力するが、(B)の状態に入った時にON状態では、プロセスの応答時間から求める1次遅れ式を基に、ハンチングを抑える波形CPV値を選択して出力する。以上の判断は、図2のCOMで行われる。

図3、図4では、通常PID制御を行った時と、SUPER2をONした時のプロセス応答例を示している。

- (1) 図3では、プロセスがハンチングしている状態を示している。(SUPER2 OFF)
- (2) この時、CPV値はPV値より進んだ位相の波形を作成している。

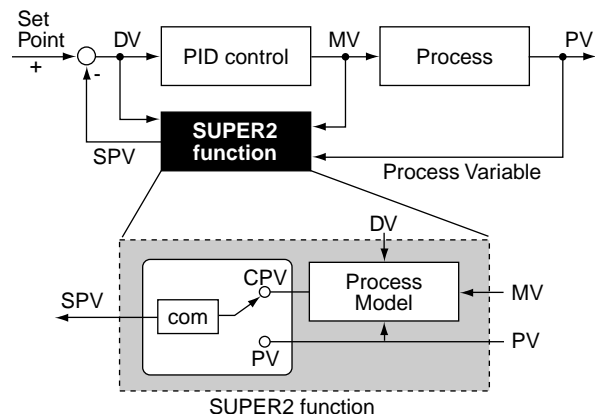


図 2 SUPER2の機能構成

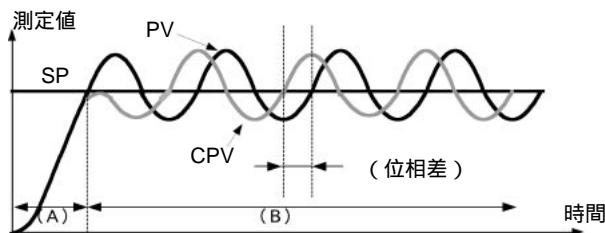


図 3 SUPER2 OFF時のCPV値とPV値

- (3) 図4では、CPV値で制御した結果、ハンチングが抑えられている。(SUPER2 ON)

このように、PID値を変更することなく、SUPER2 ONでハンチングを抑える事ができる。

2.2 CPV値出力方法

Process modelで作成されるCPV値は、実プロセスの「応答時間」を持ち、「むだ時間」を減少させた応答特性を持っている。

「むだ時間」を減少させる事で、実プロセス応答よりも位相の進んだ応答波形を作り出している。このむだ時間を減少させることによって、ハンチングが抑えられる。

元々、PIDパラメータはある状態でのプロセス応答特性からジグラ・ニコルス方式などで求められる。このため、適正なPIDパラメータから逆算すれば、正確なプロセスモデルを求める事ができる。その基になるPID式を以下に示す。

$$PB = Kp \times \frac{TL}{TR}$$

$$TI = Ki \times TL$$

$$TD = Kd \times TL$$

PB : 比例帯(%) , TI : 積分時間(秒) ,
 TD : 微分時間(秒) , TL : むだ時間(秒) ,
 TR : 応答時間 Kp, Ki, Kd : 係数

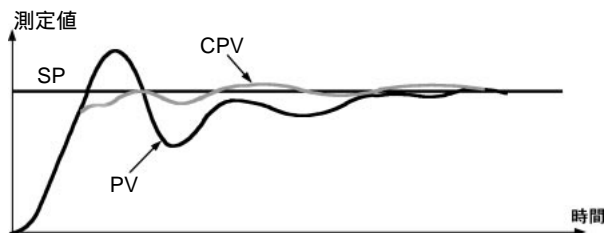


図 4 SUPER2 ON時のCPV値とPV値

表2 比例帯によるPV値とCPV値の適応関係

	PV値で制御	CPV値で制御
設定している比例帯のプロセス適応範囲	小	大
設定している比例帯のハンチング抑制効果	小	大

「むだ時間」を減少させたCPV値を作り出すことによって、設定しているPID値に対して、比例帯の適応範囲を拡張することができる。つまり、CPV値を制御することにより、現在設定している比例帯より高ゲインの比例帯で制御できる。この状態で、プロセスにおけるゲインの増加、TLの増加、TRの減少をカバーし、不安定方向へのプロセスの変動を許容し、ハンチングを抑えることができる。表2では、比例帯によるPV値とCPV値の適応関係を示している。CPV値で制御を行う方が、ハンチングが起こり難い位相補正とを示している。

3. SUPER2のハンチング防止効果

パソコンによるシミュレーションで、プロセスゲインKpが変化した時のSUPER2の動作状態を確認する。

プロセスモデルとして、2次遅れ+むだ時間を用いる。

$$Gp = \frac{1}{(1+80s)(1+150s)} \times e^{-15s}$$

オートチューニング機能で求めた最適PIDパラメータは次のようになる。

$$\begin{aligned} PB &= 12.7\% \\ I &= 99\text{秒} \\ D &= 24\text{秒} \end{aligned}$$

3.1 プロセスゲインの変更

電気炉などで、空炉の時に調整したPID値の状態を制御中、材料など挿入した結果、制御対象が変化した時の状態を考える。PIDパラメータは変更しない。

3.1.1 むだ時間が変化したとき

材料などを入れることにより、むだ時間が3倍長く変化した状態をシミュレートする。(図5)プロセス特性が変化した結果、むだ時間を変化する前に調整したPID値では、ハンチングが発生している。(A区間)

SUPER2をONに変更した結果、PID値を変更することなく、ハンチングを抑えている様子が判る。(B区間)

これらのシミュレーションは、熱処理炉でのプロセス特性の変化などを表している。

SUPER2を利用することで、PID値を変更せずに制御を安定にすることができる。

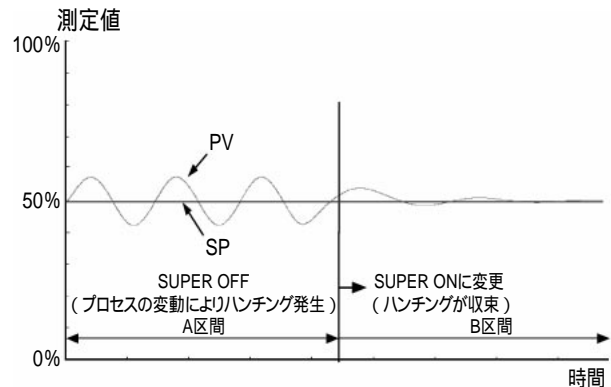


図5 むだ時間が変化した時のSUPER2の効果

4. 電気炉の制御例

小型電気炉を使用して、制御性の評価を行った。

4.1 実験方法

電気炉の内部に材料を入れない状態で200度、400度、600度と各設定温度(SP)でのPID値をオートチューニングで求める。そのPID値を使用して、材料を入れた状態で各温度の制御状態をSUPER2がONの時とOFFの時の状態を確認する。空炉での各温度のPID値は以下の通りである。

$$\begin{aligned} SP = 200\text{度} & \quad PB = 2.6\%, \quad TI = 178\text{秒}, \quad TD = 45\text{秒} \\ SP = 400\text{度} & \quad PB = 1.9\%, \quad TI = 94\text{秒}, \quad TD = 24\text{秒} \\ SP = 600\text{度} & \quad PB = 1.9\%, \quad TI = 65\text{秒}, \quad TD = 16\text{秒} \end{aligned}$$

4.2 結果

図6はSUPER2 OFFでの制御状態を示す。オートチューニングで求めたPID値は空炉でのPID値である。よって、材料を入れた時のプロセスの変化により、PID値の適応範囲を超えたためハンチングが起こっている。改善するには、材料を入れた状態での再チューニングが必要である。それに対して、図7はSUPER2 ONの制御状態を表す。SUPER2 ONでは、設定されたPID値の制御範囲を広げ、ハンチングが起き難くしている。この結果、材料を入れてからの再チューニングの必要性がないことがわかる。

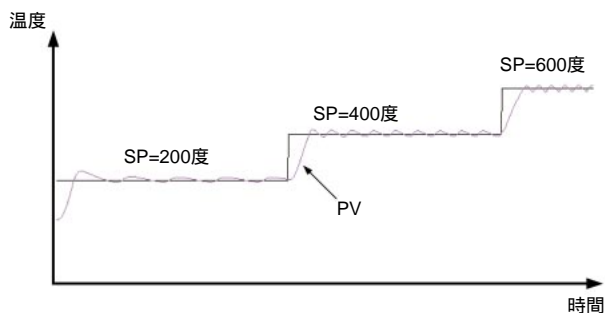


図6 SUPER2 OFF

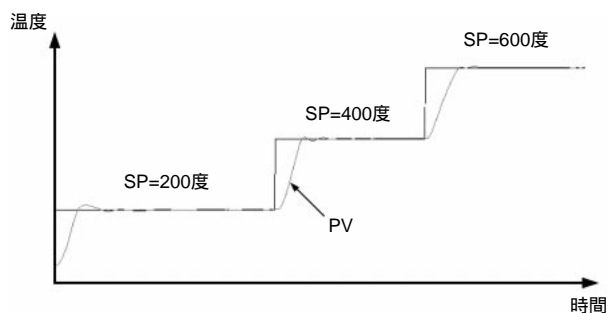


図7 SUPER2 ON

5. おわりに

今回、開発したハンチング抑制機能「SUPER2」は、温度制御において良好な制御結果が確認され、搭載することができた。

PID値のチューニングに必要な経験、技量に多く頼ることなく、今までのチューニング感覚を維持しつつ、最適な制御を補助する機能として「かんたん制御」を目指すものができた。今後、温度調節計UT100シリーズに搭載した「おまかせ制御（セルフチューニング機能）」、デジタル指示調節計Greenシリーズに搭載されている「SUPER（オーバーシュート抑制機能）」共に、制御機能を補完し、ユーザーが簡便に扱える調節計を開発していくつもりである。

参考文献

- (1) 安田嘉秀, 他, “オーバーシュート抑制機能を持つ調節計の開発”, 横河技報, vol. 33, no. 4, 1989, p. 239-242
- (2) 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