

## 連続時間一般化予測制御による改質器のロバスト温度制御<sup>†</sup>

石橋直彦\*・鄧明聡\*\*・井上昭\*\*

### Robust Temperature Control of a Reformer by Using Stable Continuous-Time Generalized Predictive Control

Naohiko ISHIBASHI\*, Mingcong DENG\*\* and Akira INOUE\*\*

A temperature controller design using a stable continuous-time anti-windup generalized predictive control (CAGPC) system is applied to a reformer of a fuel cell system in this paper. The controlled process includes uncertain time delay and input constraints. The controller is designed by using coprime factorization representation and Youla-Kucera parametrization to be robust to the uncertain time delay and the input constraints. The effectiveness of the proposed design scheme is confirmed by a real application to the fuel cell system temperature control.

**Key Words:** stable continuous-time predictive control, anti-windup, robustness, reformer, fuel cell

#### 1. はじめに

近年、省資源・CO<sub>2</sub>排出量削減の必要性からコージェネレーションシステムの普及が期待されており、家庭用および小規模業務用の小規模分野においては、固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC) 発電システムの早期実用化が望まれている。

燃料電池は水素と酸素を化学反応させ水を生成する過程で発電するために、クリーンなエネルギーを得ることができる。しかし、長時間の発電を得るためには連続的な水素の供給設備が必要となり、現状では安全性およびインフラの問題から十分な規模の供給設備の設置は困難である。そのため、一般に流通している炭化水素系燃料 (都市ガス, LPG, 灯油など) を水素リッチな改質ガスに改質する化学反応器 (改質器) を置くことで、長時間にわたる発電を得ている。ここで、改質ガス中の組成を安定に保つことが安定した発電および PEFC の耐久性確保に繋がるが、そのためには改質器内に充填した触媒温度を目標温度に安定的に制御し、化学反応を安定させる必要がある。改質器の制御には (1) 発電開始前の制御, (2) 発電開始後の制御の 2 種類あるがいずれも、改質器内での改質プロセスは不確かなむだ時間を持ち、アクチュエータの動作範囲には制限がある。つまり入力制約をもったむだ時間プ

ロセスと言い換えることができる。

本論文では、発電開始前の入力制約を伴い不確かなプロセスに対し、安定連続時間一般化予測制御 (CAGPC) システムを設計する。特に、改質器に適用するために、従来、別々に考察されてきた、1) むだ時間の不確かさにロバストな制御系、2) 入力制約にロバストな制御系の 2 つの手法を組み合わせる。提案する設計手法は既約分解表現と Youla パラメトリゼーション<sup>3), 8)</sup>を用い、つぎの 2 段階設計手法を提案する。

(1) むだ時間の不確かさにロバスト安定な制御系を求めめるために、入力制約を無視した線形制御系に対し、コントローラは安定であり<sup>5)</sup>、かつ閉ループ系も安定、すなわち、強安定な予測制御器を設計する。

(2) 閉ループ特性において、入力制約にロバストに安定な補償器 (アンチワイドアップコントローラ<sup>6)</sup>) となるための条件を求め、(1) で求めた制御器に条件を付加する。

本手法では、上記 1) の不確かなむだ時間に対するロバスト性に対しては、むだ時間項の近似<sup>4)</sup>を用い、むだ時間の不確かさと近似誤差を制御系の不確かさとし、不確かなプロセスに対する強安定連続時間一般化予測制御の設計手法を用いる。

上記 2) の入力制約へのロバスト性は、入力制約を不確かな非線形要素とみなし、コントローラが強安定のとき不確かさをもった閉ループ系はロバスト安定であること<sup>6)</sup>により、(1) で得た条件に付加される条件として求める。

#### 2. モデル化と問題設定

燃料電池用改質器システムの簡単な構造を Fig.1 に示す。改質器 (Reformer) は触媒を充填した触媒層 (Reforming Cat-

<sup>†</sup> IEEE International Conference on Industrial Technology  
で発表 (2006 年 12 月)

\* 三菱重工業 (株)

\*\* 岡山大学

\* Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

\*\* Okayama University

(Received January 4, 2008)

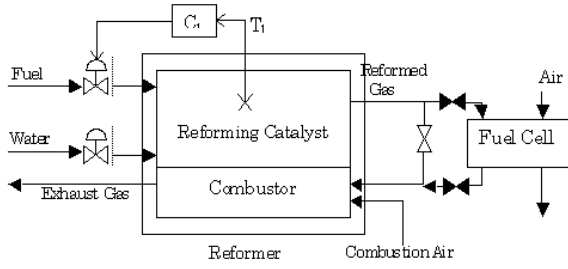


Fig. 1 The reformer sub-system

alyst) に, 原料として炭化水素系燃料と水を供給し, 水素リッチな改質ガス (H<sub>2</sub> Rich Reformed Gas) に改質する. 改質ガスは燃料電池 (Fuel Cell) の水素極側に送られ, 酸素極に送られた空気と共に, 発電量に応じて改質ガス中の水素が消費され, 残った水素ガスは燃焼器 (Combustor) で燃焼空気とともに燃焼され, 排出される. 改質ガス組成中の一酸化炭素 (CO) を 10[ppm] 以下に制御しなければ燃料電池の発電出力は低下するため, 改質ガス中の組成は安定して制御されなければならない.

改質ガスの組成制御では (1) 発電開始前の制御から, (2) 発電開始後の制御に切り換えて行なう. 特に, (1) の発電開始前の制御では, 燃料電池に改質ガスを供給する前には改質器内の改質反応温度が目標温度に安定して制御されている必要があり, 発電開始前における改質器内温度の目標温度への整定時間短縮は, 燃料電池の発電開始時間の短縮につながり, 起動時における運転効率の向上をはかることができ, 重要である.

よって, 本論文では発電開始前の改質器の温度制御問題を考察する. すなわち, 改質ガスは全量が燃焼器に供給されている状態を考える. Fig.1 に示すとおり改質器内の温度  $T_1$  を, 制御器  $C_1$  を介して燃料供給量によって制御し, 水流量は一定とする. 改質器内の改質反応は吸熱反応であるため, 反応に必要な熱量は燃焼器での燃焼熱により賄われる. したがって,  $C_1$  によって燃料供給量を制御することによって燃焼熱が制御され, 改質器温度  $T_1$  を制御することができる.

燃料供給量と改質器温度間には次式に示すとおり, 不確かなむだ時間を伴った  $n$  次遅れプロセスと仮定する.

$$Y_0(s) = \left\{ \frac{B[s]}{A[s]} e^{-T_s} \right\} U_0(s) + \frac{C[s]}{A[s]A_1[s]} V_0(s) \quad (1)$$

ここで,  $A[s], B[s]$  は安定な多項式とする.  $Y_0(s), U_0(s)$  および  $V_0(s)$  はそれぞれ出力 (Fig.1 中の温度  $T_1$ ), 入力 (パーナ燃料供給量), 外乱を表す.  $Y_0(s), U_0(s)$  はそれぞれ  $y(t), u(t)$  のラプラス関数である.  $A[s], B[s]$  はそれぞれ,  $n$  次,  $m$  次の既約多項式である.  $T$  は不確かな未知のむだ時間であるが,  $0 < T^- \leq T \leq T^+$  の上下限值  $T^-, T^+$  は既知とする. また,  $\deg(C[s]) = n$  となるように  $C[s]$  を定める<sup>12)</sup>.  $A_1[s]$  はむだ時間近似から派生したむだ時間項であり, 次節で求める. ここで, 記号として,  $A[s]$  は  $s$  の多項式を示し  $A(s)$  は  $s$  の有理関数を示す.

制御入力  $u(t)$  はつぎの制約を受けるものとする.

$$u(t) = \sigma(u_1(t)) \quad (2)$$

$$\sigma(v) = \begin{cases} u_{max} & \text{if } v > u_{max} \geq 0 \\ v & \text{if } u_{min} \leq v \leq u_{max} \\ u_{min} & \text{if } v < u_{min} \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

ここで,  $u_1(t)$  は入力制約を受ける前の信号でありコントローラの出力を示す. Fig. 2 において,  $w$  は参照入力であり,  $P$  は制御対象を表す. 目的は Fig.1 で  $T_1$  を目標温度に制御するコントローラ  $C_1$  を設計することである.

### 3. 安定でロバストなコントローラの設計手法

#### 3.1 安定でロバストなコントローラのアルゴリズム

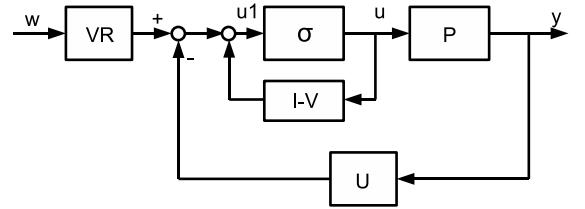


Fig. 2 The stable control system

$T_D(0 < T^- \leq T \leq T^+)$  を既知のむだ時間のノミナル値として次式に示す  $\ell$  次 Pade 近似を用いる<sup>4)</sup>.

$$e^{-T_D s} \approx \frac{B_1[s]}{A_1[s]} \quad (4)$$

$$A_1[s] = (-1)^l s^l + (-1)^{l-1} q_1 s^{l-1} + \dots + q_l$$

$$B_1[s] = s^l + q_1 s^{l-1} + \dots + q_l$$

$$q_i = \frac{(l+i)!}{(l-i)! i!} (T)^{-i}, \quad l = 1, 2, \dots \quad (5)$$

ここで,

$$P = \frac{B[s]}{A[s]} e^{-T_s} = \frac{B[s]B_1[s] + (A_1[s]B[s]e^{-T_s} - B[s]B_1[s])}{A[s]A_1[s]} \quad (6)$$

(4) 式からノミナルモデルは次式のように与えられる.

$$\hat{P}(s) = \frac{B[s]B_1[s]}{A[s]A_1[s]}, \quad \Delta N(s) = P(s) - \hat{P}(s) \quad (7)$$

提案するコントローラは Fig.2 に示す Youla-Kucera パラメトリゼーションによって与えられる.

$$R(s) = (Y(s) - Q(s)N(s))^{-1}K(s) \quad (8)$$

$$U(s) = X(s) + Q(s)D(s) \quad (9)$$

$$V(s) = Y(s) - Q(s)N(s) \quad (10)$$

ここで,  $Q(s) \in RH_\infty$  は強安定なフィードバックコントローラ的设计パラメータ<sup>3)</sup>であり, 追従性能  $K(s)$  は連続時間 GPC 法<sup>12)</sup>によって設計される.  $X, Y, N, D, K, Q$  の設計は次

のとおり与えられる. 最初に,  $X(s) \in RH_\infty$  と  $Y(s) \in RH_\infty$  を次式の Bezout 等式を満足するように求める.

$$X(s)N(s) + Y(s)D(s) = 1 \quad (11)$$

つぎに, 入力制約を持たない閉ループ系の安定な特性多項式  $T_0[s]$  を定義し, 上述の既約分解を以下のように定める<sup>3), 10)</sup>.

$$X(s) = \frac{gC[s] + F_0[s]}{C[s]}, \quad Y(s) = \frac{C[s] + G_0(s)}{C[s]}$$

$$K(s) = g \quad (12)$$

ここで,  $g, F_0[s], G_0[s], L_0[s]$ , 次式の  $E_k[s], F_k[s], G_k[s], H_k[s], L_k[s]$  は文献<sup>3), 10)</sup>によって定める. また,

$$\frac{s^k C[s]}{A[s]A_1[s]} = \frac{F_k[s]}{A[s]A_1[s]} + E_k[s] \quad (13)$$

$$\frac{B[s]B_1[s]E_k[s]}{C[s]} = \frac{G_k[s]}{C[s]} + H_k[s] \quad (14)$$

$$\frac{s^k B[s]B_1[s]}{A[s]A_1[s]} = H_k[s] + \frac{L_k[s]}{A[s]A_1[s]} \quad (15)$$

最後に,  $Q(s)$  は  $Q(s)$  を含む, (9), (10) 式の  $U(s), V(s)$ , および,  $S(s) = V(s)^{-1}U(s)$  を用いて, 次式の不等式を満足するように選ぶ.

$$\left\| \begin{bmatrix} -S(s) \\ 1 \end{bmatrix} (D + NS)^{-1} \right\|_\infty \left\| \begin{bmatrix} \Delta N \\ 0 \end{bmatrix} \right\|_\infty < 1 \quad (16)$$

この条件は不安定な閉ループ系が強安定となる小ゲイン定理として知られている<sup>11)</sup>. すなわち, この条件を満たすとき安定なコントローラ  $S(s)$  によって入力制約を持たないプロセスは安定となる. ここで,  $\Delta N$  は (7) 式で定義され, つぎの式を満し<sup>4)</sup>, 上式の判定に利用することができる.

$$|\Delta N(j\omega)| \leq \left| \frac{A_1[j\omega]B[j\omega]}{A[j\omega]} \right| \{ |\tilde{P}_o(j\omega)|T_2(\omega) + |\tilde{P}_e(j\omega)|T_1(\omega) \}, \quad \omega \in [0, \infty) \quad (17)$$

$$T_1(\omega) = \begin{cases} |e^{-j\omega T^+} - 1|, & \text{if } 0 \leq \omega \leq \frac{\pi}{T^+} \\ 2, & \text{if } \omega > \frac{\pi}{T^+} \end{cases}$$

$$T_2(\omega) = \begin{cases} |e^{-j\omega T^-} + 1|, & \text{if } 0 \leq \omega \leq \frac{2\pi}{T^+ + T^-} \\ |e^{-j\omega T^+} + 1|, & \text{if } \frac{2\pi}{T^+ + T^-} < \omega \leq \frac{2\pi}{T^+} \\ 2, & \text{if } \omega > \frac{2\pi}{T^+} \end{cases}$$

$$\tilde{P}_e(s) = \frac{q_l + q_{l-2}s^2 + \dots}{s^l + q_1s^{l-1} + \dots + q_l}$$

$$\tilde{P}_o(s) = \frac{q_{l-1}s + q_{l-3}s^3 + \dots}{s^l + q_1s^{l-1} + \dots + q_l}$$

となる.  $q_1, \dots, q_l$  は (5) 式で与えられている. (16) 式を満すように  $Q$  を選ぶと, 最後に,  $u = u_1$  とし, (9) 式, (10) 式から未知むだ時間にロバスト強安定なコントローラ  $S(s) = V^{-1}U$  を設計することができる.

### 3.2 入力制約を伴う不確かな系に対するロバスト設計

入力制約のあるプロセスに対しては, 不安定なコントローラ

の出力は発散する場合もあり<sup>7)</sup>, 入力制約に対応したアンチwindアップコントローラが必要である. 本論文では, 入力制約を不確かな非線形要素に置き換えて, この非線形要素にロバストなコントローラを求める. すなわち, つぎの結果<sup>3), 8)</sup>を用いることによってロバスト条件を求めることができる. Fig.2 で示した非線形系は Fig.3 で示した系とみなすことができる. ここで,  $\phi$  はつぎの関係を満足する<sup>3), 7), 8)</sup>.

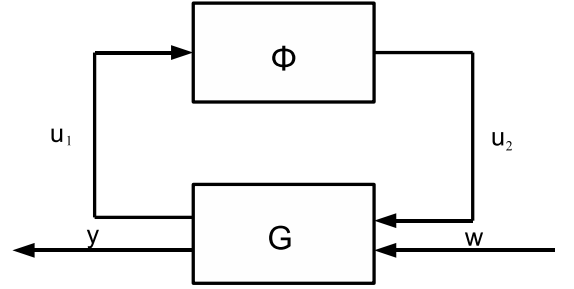


Fig. 3 The equivalent diagram of the proposed control system

$$\sigma(z) = \frac{1}{2}(z - \phi(z)) \quad (18)$$

$$|\phi(z)| \leq |z| \quad (19)$$

$$u_2 = \phi(u_1) = u_1 - 2u \quad (20)$$

$$V + UP = Y - QN + (X + QD) \left( \frac{N(s) + \Delta N(s)}{D(s)} \right) = D^{-1}(1 + U\Delta N) \quad (21)$$

Fig.3 で  $(w, u_2)$  から  $(u_1, y)$  への入出力間関係  $G$  は,

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2 \\ w \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$G_{11}(s) = -(I + V + UP)^{-1}(V + UP - I)$$

$$G_{12}(s) = 2(I + V + UP)^{-1}VR$$

$$G_{21}(s) = -(I + V + UP)^{-1}P$$

$$G_{22}(s) = (I + V + UP)^{-1}PVR$$

Fig.2 の閉ループ系は (19) 式の条件を満すすべての  $\phi$  に対し, つぎの条件を満すコントローラ  $S(s)$  によりロバスト安定となる.

1.  $S(s) = V(s)^{-1}U(s)$  が安定.
2.  $G_{11}(s) \in RH_\infty$
3.  $MD(s)M^{-1}$  が強正実
4.  $\left| \frac{U(j\omega)\Delta N(j\omega)}{D(j\omega)} \right| < 1, \quad \omega \in [0, \infty)$

ここで,  $M$  は正定値対角行列である<sup>3), 8)</sup>. よって, 前節の条件 (16) 式に加えて, 上述の 4 つの条件を満すコントローラを求めればよい. ここで, 条件 1 は (16) 式によって満たされている.

## 4. 改質器の温度制御試験結果

Table.1 CGPC design parameters

CGPC	目標値: $w = 1$ 制御次数: $N_y = 6$
	制御区間: $N_u = 1$ 制御重み: $\lambda = 0.1$
	最小予測区間: $T_1 = 0$
	最大予測区間: $T_2 = 29$
	設計パラメータ: $u_n = -0.001, u_d = 1,$ $g = 0.2296, C[s] = s + 3,$ $F_0[s] = -17.5157s - 1.263, G_0[s] = -1.589,$ $L_0[s] = -27.6356s - 2.1979, Q(s) = -0.005$

Table.2 Strongly stable controller design parameters

強安定	閉ループ系の特性方程式: $T_0 = 58.83s^2 + 7.0149s + 0.2163$
	閉ループ系の極 <sup>3)</sup> $-0.0988 + 0.1078j, -0.0988 - 0.1078j,$ $-88.6885, -11.4746, -0.0358$

つぎの燃料電池発電システムにおける改質器のモデルを用いて、本提案手法の実機適用を行った。

$$\begin{aligned} A[s] &= 15.9s + 1, \quad B[s] = 1 \\ T^- &= 2, T^+ = 3.7, T_D = 3.5 \end{aligned} \quad (23)$$

ここではむだ時間が短いため1次の近似 ( $l = 1$ ), すなわち

$$A_1[s] = 3.7s + 2, \quad B_1[s] = -3.7s + 2$$

を用いた。試験では  $n = 1$  とし、詳細な設計パラメータは Table.1, Table.2 に示す通りである。

制御則を提案法に基づき求め、

$$\begin{aligned} C + G_0 &= s + 1.4191 \\ gC + F_0 &= -17.2831s - 0.5742 \end{aligned}$$

が得た。つぎに、(12) 式を用いる。

$$\begin{aligned} X(s) &= \frac{-17.286s - 0.5742}{s + 3}, \quad Y(s) = \frac{s + 1.4191}{s + 3} \\ D(s) &= \frac{58.83s^2 + 35.5s + 2}{58.83s^2 + 7.0149s + 0.2613} \\ N(s) &= \frac{-3.7s + 2}{58.83s^2 + 7.0149s + 0.2613} \end{aligned}$$

よって、制御則は (9) 式、(10) 式より次式となる。

$$\begin{aligned} U(s) &= X(s) + Q(s)D(s) = \frac{gC[s] + F_0[s]}{C[s]} + Q(s)D(s) \\ &= \frac{-17.2861s - 0.5742}{s + 3} \\ &\quad - 0.005 * \frac{58.83s^2 + 35.5s + 2}{58.83s^2 + 7.0149s + 0.2613} \\ V(s) &= Y(s) - Q(s)N(s) = \frac{C[s] + G_0[s]}{C[s]} - Q(s)N(s) \\ &= \frac{s + 1.4191}{s + 3} + 0.005 * \frac{-3.7s + 2}{58.83s^2 + 7.0149s + 0.2613} \end{aligned}$$

Fig.1 に示した制御器  $C_1$  に本提案手法を適用したときの試験結果を Fig.4 および Fig.5 に示す。Fig.4 は改質器温度 (Fig.1 における  $T_1$ ) の計測温度変化を示しており、実線は実績値を、点線は目標値を示している。Fig.5 は Fig.1 における  $C_1$  の出力である燃料供給量を示す。本試験においては実用機において使用されている手法、すなわち、早く目標温度に到達させるため、まず、大きさ  $8[\text{g}/\text{min}]$  のステップ入力を与え、目標温度を超える高い値  $740^\circ\text{C}$  に到達させ、その後、90sec 後に、目標温度を  $710^\circ\text{C}$  として整定制御を開始した。

一方、従来制御法として Fig.6 に示す 2 自由度制御法<sup>13)</sup> による同じ初期条件のもとでの制御結果を Fig.7 および Fig.8 に示す。制御開始前には同様の操作を行った。このときの Fig.6 中の制御パラメータは、目標値フィルタ  $\alpha = 0.4, \beta = 1.33$ , 比例ゲイン  $K = 1.0$ , 積分時間  $T_I = 500[\text{sec}]$ , 微分時間  $T_D = 0[\text{sec}]$ ,  $\eta = 0.8$ 。Fig.7 は Fig.4 と同様に改質器温度を示し、Fig.8 は Fig.5 と同様に燃料供給量を示す。

両実験において、制御開始前は同じ条件で実験を行ったが、Fig.4 では  $745.7^\circ\text{C}$  から制御が始まり、Fig.7 では  $743.0^\circ\text{C}$  からであり、 $2.7^\circ\text{C}$  の差があるが、この差は本試験が実機試験であり、内部の触媒の状態の違いによるものであるが、目標温度  $710^\circ\text{C}$  に対して  $0.4\%$  であり、制御結果の比較には影響しない。Fig.4, Fig.7 ともにオーバーシュートをしているが、その理由は、制御開始時点では改質器内の改質管温度は目標温度を超えているが、改質触媒は熱容量を有して十分に昇温されていないため、水蒸気改質反応 (吸熱反応) が行われておらず温度上昇が続くためである。しかし、Fig.4 では Fig.7 に比較してオーバーシュートが小さく、約 700sec で整定しているのに対して、Fig.7 では約 1300sec で整定していることから、本提案手法により追従性が向上しており、本提案手法が有効であることが示される。

## 5. 結 言

むだ時間に不確かさおよび入力制限の 2 つの特性を有する燃料電池発電システムにおける改質器の温度整定制御に安定 CAGPC システムの適用を行った。入力制約および不確かなむだ時間の条件下で、既約分解表現と Youla-Kucera パラメトリゼーションによってコントローラを設計した。その結果、提案手法の有効性を実機試験を通じて確認できた。

## 参 考 文 献

- 1) H. Demircioglu, "Constrained continuous-time generalized predictive control," *IEE Proc. Control Theory and Appl.*, **146**-5, 470/475, 1999.
- 2) M. Cannon and B. Kouvaritakis, "Infinite horizon predictive control of constrained continuous-time linear systems," *Automatica*, **36**-7, 943/955, 2000.
- 3) M. Deng, A. Inoue, A. Yanou, and Y. Hirashima, "Continuous-time anti-windup generalized predictive control of non-minimum phase processes with input constraints," *Proc. of IEEE CDC*, 2003, 4457/4462, 2003.
- 4) Deng, 岩井, 水本, "不確かさをもつプロセス系に対する単純適応制御系設計", 計測自動制御学会論文集, **35**-7, 852/860,

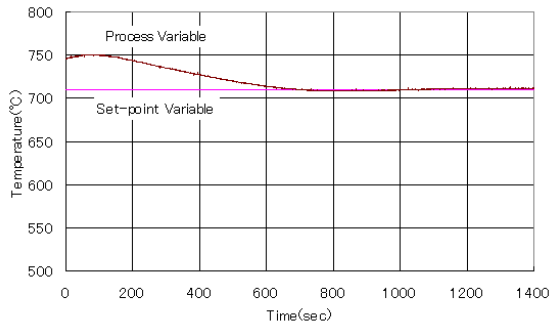


Fig. 4 Temperature change at T1 by CAGPC

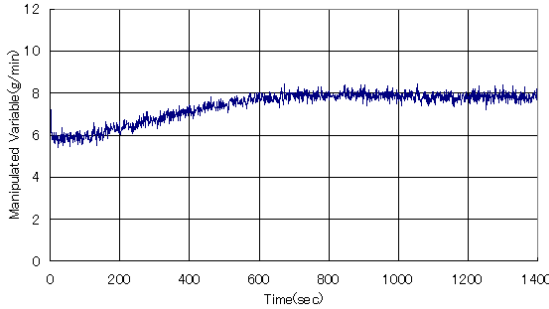


Fig. 5 Control input by CAGPC

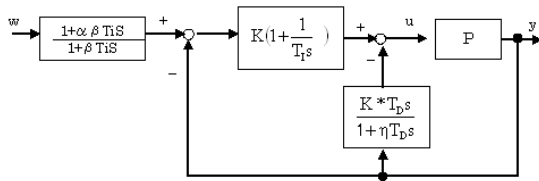


Fig. 6 Control System of Two-degree freedom Control

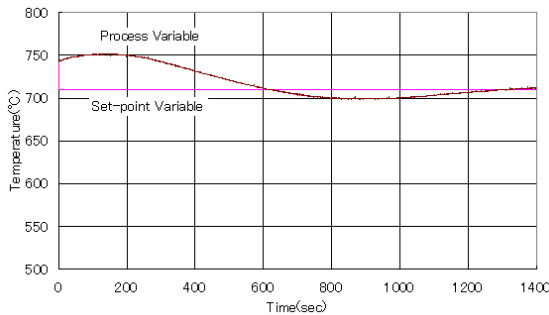


Fig. 7 Temperature change at T1 by Two degree freedom control

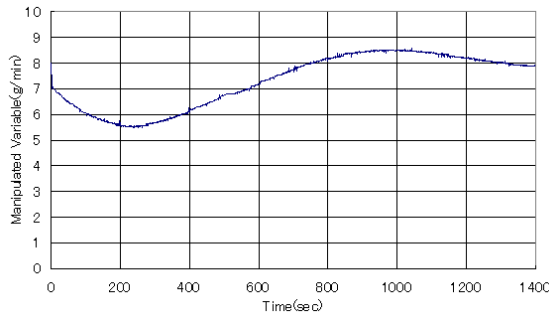


Fig. 8 Control input by Two degree freedom control

1999.

- 5) B. Kouvaritakis, J. A. Rossiter, and A. O. T. Chang, "Stable generalized predictive control: an algorithm with guaranteed stability," *IEE Proc. Control Theory and Appl.*, **139**-4, 349/362, 1992.
- 6) M. V. Kothare, P. J. Campo, M. Morari, and C. N. Nett, "A unified framework for the study of anti-windup designs," *Automatica*, **30**-12, 1869/1883, 1994.
- 7) P. J. Campo, M. Morari, and C. N. Nett, "Multivariable anti-windup and bumpless transfer: A general theory," *Proc. of ACC*, 1989, 1706/1711, 1989.
- 8) 富田, 鷹羽, "Youla パラメトリゼーションに基づくモデル追従型アンチwindアップ制御系の直接設計", システム制御情報学会論文誌, **13**-9, 395/402, 2000.
- 9) 山本, 大嶋, "プロセス制御の現在, 過去, 未来," 計測と制御, **42**-4, 330/333, 2003.
- 10) 矢納, 鄧, 井上, 増田, 平嶋, "既約分解表現を用いた Youla Parametrization による連続時間 GPC の拡張" 第8回 SICE 中国支部学術講演会論文集, 214/215, 1999.
- 11) M. Deng, A. Inoue, K. Taketa, and Y. Hirashima, "Continuous-time anti-windup generalized predictive control of uncertain processes with input constraints and time delays," *Proc. of the 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, 5053/5058, 2004
- 12) H. Demircioglu and P. J. Gawthrop, "Continuous-time generalized predictive control(CGPC)," *Automatica*, **27**-1, 55/74, 1991.
- 13) 広井, "デジタル計装制御システムの基礎と応用", 工業技術社, 2000.

[著者紹介]

石橋直彦 (正会員)



1989年九州大学工学部卒業。1991年九州大学工学研究科化学機械工学専攻修士課程修了。同年三菱重工業 技術本部に入社, 現在に至る。2005年から岡山大学大学院自然科学研究科博士課程在学中。主として制御システムの開発, プロセス制御の研究に従事。

ト 明 聡 (正会員)



1997年熊本大学大学院博士課程修了。同年熊本大学助手, 2000年イギリス Exeter 大学 Research Associate, 2001年11月 NTT コミュニケーション科学基礎研究所リサーチアソシエイト, 2002年11月岡山大学工学部に移る。現在同大学院自然科学研究科准教授。システム制御, 故障診断などの研究に従事。博士(学術)。

井上 昭 (正会員)



1968年京都大学大学院修士課程修了。京都大学助手, カナダ Alberta 大学 Research Fellow, 熊本大学助教授, 教授, 1987年教授として岡山大学工学部に移る。現在同大学院自然科学研究科教授。予測制御, 既約分解, 故障診断などの研究に従事。SICE Fellow. 工学博士。