

計測制御システムの実用技術に関する研究

高速推論法を適用したファジィハイブリッド型制御法

応用電子部

林 健一郎, 大坪 昭文, 白仁田 和彦

ファジィ制御の特徴は制御性能における過渡特性の改善やロバスト性に優れた制御が容易に実現できる点にある。一方、PID制御は安定性が理論的に保証され、特に定常特性において高精度の制御が可能である。本論文では、ファジィ制御とPID制御における各々の長所の融合化を図る目的で、両者のハイブリッド化を行った「ハイブリッド型制御法」というものを提案する。これはファジィ制御とPID制御を並列結合したものであり、過渡特性領域でファジィ制御、定常特性領域でPID制御を切り換えて用いる方法である。しかも、両者の切り換えをあいまいに実行することにより、切り換え時の制御の滑らかさを保障している。また、ファジィ制御法として高速推論が可能な「簡略化間接法」を用いた。

1. ま え が き

ファジィ制御はE.H.Mamdaniがはじめてスチームエンジンの制御に適用し⁽¹⁾、実用化への端緒となったが、E.H.Mamdaniのファジィ制御法は「直接法」⁽²⁾と呼ばれ、現在最も多く用いられている方法である。しかし、「直接法」は、ファジィ推論過程において多くの計算を必要とするため推論に時間を要し、また一般に規則数が増加することが指摘されている。そこで、この解決を目的として高速推論が可能な塚本が提案した「間接法」⁽³⁾及びそれをファジィ制御向きに簡略化した「簡略化間接法」⁽²⁾といったファジィ制御法が提案されている。

これらファジィ制御の特徴は一般に制御性能における過渡特性の改善やロバスト性に優れた制御が容易に実現できる点にあると言われる。しかし、ファジィ制御は本質的に非線形制御であり、非線形制御の一般的設計法が確立されていない現在、ファジィ制御の統一的設計法の確立は困難を極めている⁽⁴⁾。また、ファジィ制御系の安定性や精度が必ずしも保

証されていないという問題も有する^{(5)~(8)}。

一方、線形制御の最も代表的なPID制御は安定性が理論的に保証され、特に制御性能の定常特性において高精度の制御が可能であると言われる⁽⁹⁾。しかし、PID制御は制御対象の過渡特性時などにおける非線形特性の影響を十分には考慮できないという問題があった。

そこで、本論文では、このようなファジィ制御とPID制御におけるそれぞれの問題点を解決し、両者の長所の融合化と相互補完を図る目的で、両者のハイブリッド化を行った「ハイブリッド型制御法」というものを提案する。

ここでの提案はファジィ制御とPID制御を並列結合したものであり、過渡特性領域でファジィ制御、定常特性領域でPID制御を切り換えて用いる方法である。しかも、両者の切り換えをあいまいに実行（ファジィ・スイッチング）することにより、切り換え時の制御の滑らかさを保障している。また、制御の高速化を目的とし、ファジィ制御法として一般的な「直接法」ではなく高速推論が可能な「簡略化

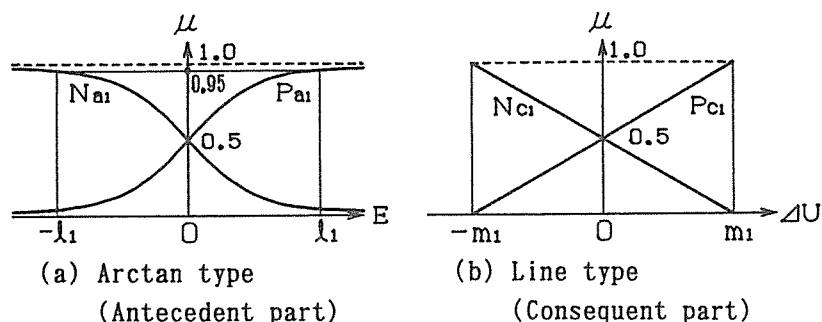


図1 単調型メンバーシップ関数

間接法」を用いた。

従って、まず、ファジィ制御法として適用した「簡略化間接法」について説明し、ここで提案するハイブリッド型制御系の構成について述べる。次に、本ハイブリッド型制御法における推論計算手順について述べ、本制御法においては規則数を大幅に縮減でき、かつ最終的な推論結果を関数形として求めることができるので、高速制御が可能となることを示す。最後に、本ハイブリッド型制御法の有効性を、ムダ時間のある一次遅れ系と二次遅れ系を対象としたシミュレーション結果から、PID制御と比較して示す。

なお、この方法として現在までに松永らがファジィ制御とPD制御とを並列結合した方法を提案しているが^{(10)~(12)}、これは両者の切り換えを二者択一的に実行(クリスプ・スイッチング)する方法なので、切り換え時の制御の滑らかさに難があった。また、I制御が存在しない構成なので定常偏差が残るといった問題点を有していた。しかも、ファジィ制御法として「直接法」を用いているので制御の実行速度に限界があった。

2. 簡略化間接法

「簡略化間接法」は塚本が提案した「間接法」⁽³⁾をファジィ制御向きに簡略化した方法である⁽²⁾。この「簡略化間接法」では図1に示すような単調型メンバーシップ関数が用いられるが、(a)はarctan型、(b)は直線型である。通常、制御規則の前件部ではarctan型、後件部では直線型が用いられる。同図で E は偏差、 ΔU は操作量の一階差分を表す。ま

た、 $P_{\cdot}$ 、 $N_{\cdot}$ はそれぞれPositive, Negativeを意味するファジィ変数である。

いま、次式に示すような簡単な2個の規則から成るファジィ制御規則(後述のように非線形I動作を表す)を考える。

- 規則1: if E is P_{a1} then ΔU is P_{c1}
 規則2: if E is N_{a1} then ΔU is N_{c1} (1)

ファジィ制御器に非ファジィな確定値入力 E^0 があった場合、各規則の前件部適合度を w_1 、 w_2 とすると、

$$\begin{aligned} w_1 &= P_{a1}(E^0) \\ w_2 &= N_{a1}(E^0) \end{aligned} \quad (2)$$

次に、図2に示すように後件部メンバーシップ関数 P_{c1} 、 N_{c1} について ΔU_1 、 ΔU_2 を求める。

P_{c1} 、 N_{c1} は1対1の関数だから、 ΔU_1 、 ΔU_2 は逆関数を用いて

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= P_{c1}^{-1}(w_1) \\ \Delta U_2 &= N_{c1}^{-1}(w_2) \end{aligned} \quad (3)$$

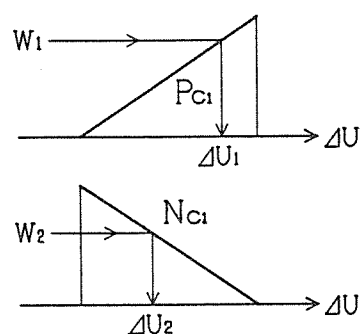


図2 「簡略化間接法」の場合のファジィ推論過程(後件部)

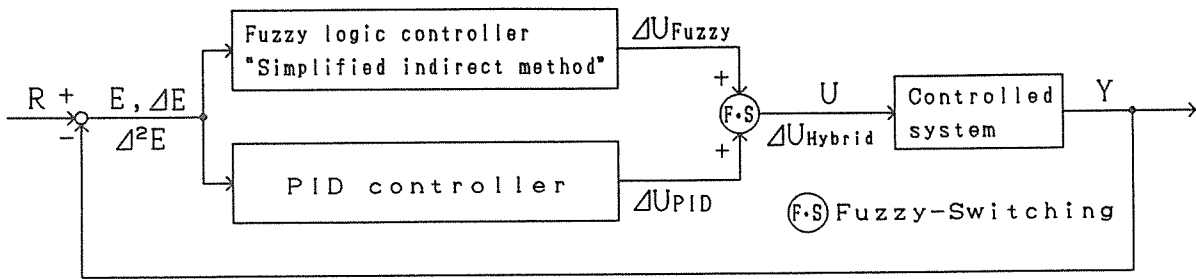


図3 ハイブリッド型制御系の構成

と求められ、これらを規則1と規則2の推論結果とする。

全体の推論結果 ΔU_0 は、 ΔU_1 と ΔU_2 の適合度 w_1 と w_2 による荷重平均(重み付き加算平均)として次式のように求められる。

$$\Delta U_0 = \frac{w_1 \Delta U_1 + w_2 \Delta U_2}{w_1 + w_2} \quad (4)$$

3. ハイブリッド型制御系の構成

提案するハイブリッド型制御系の構成を図3に示すが、松永ら^{(10)~(12)}がファジィ制御法として「直接法」を適用したのに対し、ここではファジィ制御器の高速化を目的として高速推論が可能な「簡略化間接法」を採用した。また、松永らがファジィ制御とPID制御の切り換えを偏差と偏差の一階差分のある範囲でのクリスプ・スイッチング(Crisp-Switching)としたのに対し、ここでは切り換え時の制御の滑らかさを狙ってファジィ・スイッチング(Fuzzy-Switching)を行った。

同図における E 、 ΔE 、 $\Delta^2 E$ はそれぞれ偏差、偏差の一階差分、偏差の二階差分のことである。また、ファジィ制御器からの出力は操作量 U の一階差分 ΔU であり、制御器は速度型としている。ここで、記号 $F \cdot S$ はファジィ・スイッチングの実行を意味する。

このファジィ・スイッチングを実行するための「ファジィ・スイッチング用制御規則」を次式に示す。この制御規則により目標値近傍の定常特性領域でPID制御、立ち上がり時などの過渡特性領域で

ファジィ制御のあいまい切り換えが実行される。

$$\begin{aligned} & \text{If } E \text{ is } ZO_1 \text{ and } \Delta E \text{ is } ZO_2 \text{ then } \Delta U \text{ is } \Delta U_{PID} \\ & \text{Else } \Delta U \text{ is } \Delta U_{Fuzzy} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 ΔU_{PID} はPID制御器からの、 ΔU_{Fuzzy} はファジィ制御器からの出力である操作量の一階差分を表す。また、ファジィ変数 ZO_i ($i=1,2$)は「ファジィ・スイッチング用メンバーシップ関数」を意味する。このメンバーシップ関数を図4に示すが、偏差 E と偏差の一階差分 ΔE 上におけるその形状によってファジィ・スイッチングの実行領域を設定できる。

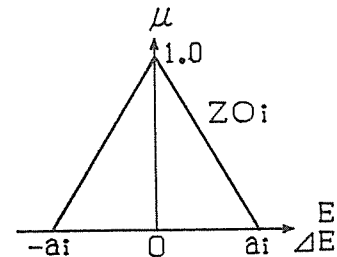


図4 ファジィ・スイッチング用メンバーシップ関数 ZO_i ($i=1,2$)

4. ハイブリッド型制御法における推論計算手順

いま、図3に示したハイブリッド型制御器に非ファジィな確定値入力 E^0 、 ΔE^0 、 $\Delta^2 E^0$ が加えられたとすると、「簡略化間接法」を適用したハイブリッド型制御法における推論計算は、以下に述べるような手順で実行される。

(1) PID制御による ΔU_{PID} の算出

$$\Delta U_{PID} = \Delta U_I + \Delta U_P + \Delta U_D \quad (6)$$

ただし、 ΔU_I , ΔU_P , ΔU_D は ΔU_{PID} の I 動作, P 動作, D 動作成分であり,

$$\begin{aligned}\Delta U_I &= K_I E^0 \\ \Delta U_P &= K_P \Delta E^0 \\ \Delta U_D &= K_D \Delta^2 E^0\end{aligned}\quad (7)$$

ここで、PID定数の K_I , K_P , K_D の値は、連続値制御のリアクション・カーブ法を離散値制御に拡張した拡張リアクション・カーブ法に基づいて決定される⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

(2) ファジィ制御による ΔU_{Fuzzy} の算出

「簡略化間接法」によるファジィ制御の場合には、ファジィ制御器は互いに相反する次式に示すような僅か6つの言語的制御規則⁽¹⁵⁾から構成できる。ここで、 P ., N .はそれぞれPositive, Negativeを意味するファジィ変数である。

- 規則1: If E is P_{a1} then ΔU is P_{c1}
 - 規則2: If E is N_{a1} then ΔU is N_{c1}
 - 規則3: If ΔE is P_{a2} then ΔU is P_{c2}
 - 規則4: If ΔE is N_{a2} then ΔU is N_{c2}
 - 規則5: If $\Delta^2 E$ is P_{a3} then ΔU is P_{c3}
 - 規則6: If $\Delta^2 E$ is N_{a3} then ΔU is N_{c3}
- (8)

従って、この場合ファジィ制御器は速度型であるので、PID制御と比較すると規則1と規則2はI動作、規則3と規則4はP動作、規則5と規則6はD動作に対応しており、結局、ファジィ推論法を用いることで「非線形なPID制御器」を実現できることになる。なお、このように「簡略化間接法」を用いてPID制御則を構成する場合には、一般に「直接法」の場合^{(16)~(18)}と比べて規則数を大幅に縮減できる。

また、前件部メンバーシップ関数として図1(a)に示したarctan型、後件部メンバーシップ関数として同図(b)の直線型を用いる。

arctan型は

$$P_{a1}(E_1) = \frac{1}{\pi} \tan^{-1}(n_1 E_1) + 0.5$$

$$N_{a1}(E_1) = \frac{1}{\pi} \tan^{-1}(-n_1 E_1) + 0.5 \quad (i=1,2,3) \quad (9)$$

直線型は

$$\begin{aligned}P_{c1}(\Delta U) &= \frac{1}{2m_1} \Delta U + 0.5 \\ N_{c1}(\Delta U) &= -\frac{1}{2m_1} \Delta U + 0.5\end{aligned} \quad (i=1,2,3) \quad (10)$$

ただし、

$$\begin{aligned}E_1 &= E, \quad E_2 = \Delta E, \quad E_3 = \Delta^2 E \\ n_i &= \frac{\tan(0.45\pi)}{l_i} \quad (i=1,2,3)\end{aligned} \quad (11)$$

従って、各規則の前件部適合度 w_i ($i=1, \dots, 6$)

は

$$\begin{aligned}w_1 &= P_{a1}(E^0), \quad w_2 = N_{a1}(E^0) \\ w_3 &= P_{a2}(\Delta E^0), \quad w_4 = N_{a2}(\Delta E^0) \\ w_5 &= P_{a3}(\Delta^2 E^0), \quad w_6 = N_{a3}(\Delta^2 E^0)\end{aligned} \quad (12)$$

前述した「簡略化間接法」における推論手順に従うことによって ΔU_{Fuzzy} は

$$\Delta U_{Fuzzy} = \Delta U_{FI} + \Delta U_{FP} + \Delta U_{FD} \quad (13)$$

ただし、 ΔU_{FI} , ΔU_{FP} , ΔU_{FD} は ΔU_{Fuzzy} の I 動作, P 動作, D 動作成分であり,

$$\begin{aligned}\Delta U_{FI} &= \frac{1}{3} \{w_1 P_{c1}^{-1}(w_1) + w_2 N_{c1}^{-1}(w_2)\} \\ &= \frac{1}{3\pi o_1} \tan^{-1}(n_1 E^0) \\ \Delta U_{FP} &= \frac{1}{3} \{w_3 P_{c2}^{-1}(w_3) + w_4 N_{c2}^{-1}(w_4)\} \\ &= \frac{1}{3\pi o_2} \tan^{-1}(n_2 \Delta E^0) \\ \Delta U_{FD} &= \frac{1}{3} \{w_5 P_{c3}^{-1}(w_5) + w_6 N_{c3}^{-1}(w_6)\} \\ &= \frac{1}{3\pi o_3} \tan^{-1}(n_3 \Delta^2 E^0)\end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{ここで, } o_i = \frac{1}{2m_i} \quad (i=1,2,3) \quad (15)$$

なお, (14)式は「非線形PID動作」の場合であるが, 「非線形PI動作」の場合((8)式においてI動作とP動作に関する規則のみ存在する場合)には(14)式における分母の3は2となる。

このように「簡略化間接法」の場合には(13), (14)式に示すように操作量の一階差分 ΔU_{Fuzzy} は各動作成分毎に算出できる。一方塚本の「間接法」の場合, 操作量の一階差分は各動作成分毎に算出できない(15)。

また, ファジィ推論の結果は(13), (14)式に示すような関数形として求まるので(特にソフトウェアで実現した場合)高速推論を行うことができる。この「簡略化間接法」の場合には「直接法」の場合と比較して約60倍の高速でファジィ推論を実行できる(NEC社製のパーソナルコンピュータPC-9821Ap使用の場合)。

(3) ハイブリッド型制御による出力 ΔU_{Hybrid} の算出

(5)式に示した「ファジィ・スイッチング用制御規則」の確定値入力 E^0 , ΔE^0 に対する適合度を h_1 , h_2 とすると,

$$\begin{aligned} h_1 &= ZO_1(E^0) \\ h_2 &= ZO_2(\Delta E^0) \end{aligned} \quad (16)$$

ここで, PID制御の方が適用される適合度を ω_{PID} とすると,

$$\omega_{PID} = h_1 \times h_2 \quad (17)$$

従って, ファジィ制御の方が適用される適合度 ω_{Fuzzy} は

$$\omega_{Fuzzy} = 1 - \omega_{PID} \quad (18)$$

ハイブリッド型制御器としての出力 ΔU_{Hybrid} は, PID制御とファジィ制御の協調をとるために, 操作量の一階差分 ΔU_{PID} と ΔU_{Fuzzy} の適合度 ω_{PID} と ω_{Fuzzy} での荷重平均として次式のように求められる。

$$\begin{aligned} \Delta U_{Hybrid} &= \frac{\omega_{PID} \Delta U_{PID} + \omega_{Fuzzy} \Delta U_{Fuzzy}}{\omega_{PID} + \omega_{Fuzzy}} \end{aligned} \quad (19)$$

(18)式より $\omega_{PID} + \omega_{Fuzzy} = 1$ であるので, 上式は

$$\begin{aligned} \Delta U_{Hybrid} &= \omega_{PID} \Delta U_{PID} + \omega_{Fuzzy} \Delta U_{Fuzzy} \end{aligned} \quad (20)$$

従って, (6), (7)式と(13), (14)式を用いることにより, 上式は

$$\Delta U_{Hybrid} = \Delta U_{HI} + \Delta U_{HP} + \Delta U_{HD} \quad (21)$$

ただし, ΔU_{HI} , ΔU_{HP} , ΔU_{HD} は ΔU_{Hybrid} のI動作, P動作, D動作成分であり,

$$\begin{aligned} \Delta U_{HI} &= \omega_{PID} \Delta U_I + \omega_{Fuzzy} \Delta U_{FI} \\ &= \omega_{PID} K_I E^0 + \frac{\omega_{Fuzzy}}{3\pi o_1} \tan^{-1}(n_1 E^0) \\ \Delta U_{HP} &= \omega_{PID} \Delta U_P + \omega_{Fuzzy} \Delta U_{FP} \\ &= \omega_{PID} K_P \Delta E^0 + \frac{\omega_{Fuzzy}}{3\pi o_2} \tan^{-1}(n_2 \Delta E^0) \\ \Delta U_{HD} &= \omega_{PID} \Delta U_D + \omega_{Fuzzy} \Delta U_{FD} \\ &= \omega_{PID} K_D \Delta^2 E^0 + \frac{\omega_{Fuzzy}}{3\pi o_3} \tan^{-1}(n_3 \Delta^2 E^0) \end{aligned} \quad (22)$$

従って, (21), (22)式に示すように「簡略化間接法」を適用した本ハイブリッド型制御法においては, 操作量の一階差分 ΔU_{Hybrid} は各動作毎にPID制御とファジィ制御成分とに分解して算出できる。また, 操作量の一階差分 ΔU_{Hybrid} は最終的に(21), (22)式のような関数形として求めることができるので, 本ハイブリッド型制御法では高速制御が可能となる。

5. シミュレーション例

本ハイブリッド型制御法の有効性を, 制御対象としてムダ時間のある一次遅れ系と二次遅れ系を設定

したシミュレーション結果から、PID制御と比較して示そう。

ここでは、ムダ時間のある一次遅れ系として次式に示すような伝達関数を用いた。

$$G(s) = \frac{e^{-10s}}{1 + 20s} \quad (23)$$

また、ムダ時間のある二次遅れ系として前田・村上らと同様に次式のような伝達関数⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾を用いた。

$$G(s) = \frac{35.78 e^{-5s}}{(1.73s + 1)(16.85s + 1)} \quad (24)$$

本ハイブリッド型制御法における制御パラメータの調整は、概略以下に示すような3つの調整手順によって実行される。

- ① PID制御器のPID定数の K_I 、 K_P 、 K_D の値を離散値制御の場合の拡張リアクション・

カーブ法の式に基づいて設定する⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

- ② 制御応答の過渡特性の改善を目的として、ファジィ制御器の制御パラメータの設定を行う。ここで、本ファジィ制御器は前述したように「非線形なPID制御器」を実現し、一般的な「線形PID制御器」の拡張となっていることから、「線形PID制御器」のパラメータ調整則に関する知識⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾を、本ファジィ制御器の調整指針としても活用する⁽¹⁵⁾。なお、この場合本ファジィ制御器のパラメータの m_1/l_1 、 m_2/l_2 、 m_3/l_3 は各々PID定数の K_I 、 K_P 、 K_D に相当することになる。
- ③ 良好な制御応答を得るようなファジィ・スイッチングの実行を目的として、「ファジィ・スイッチング用メンバーシップ関数」の形状パラメータの設定を行う。ここで、形状パラメータの a_1 の値は目標値 R とし、形状パラメータ a_2 の

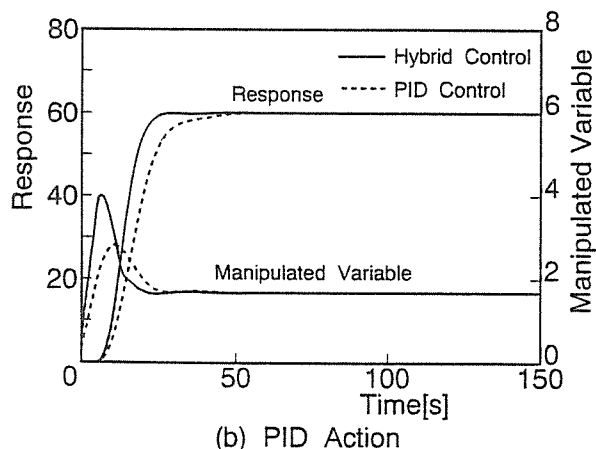
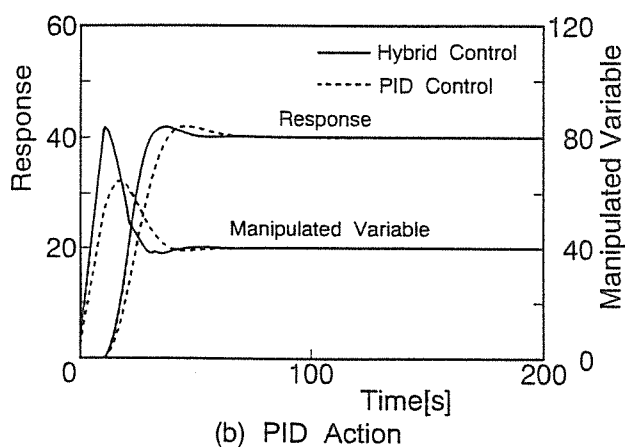
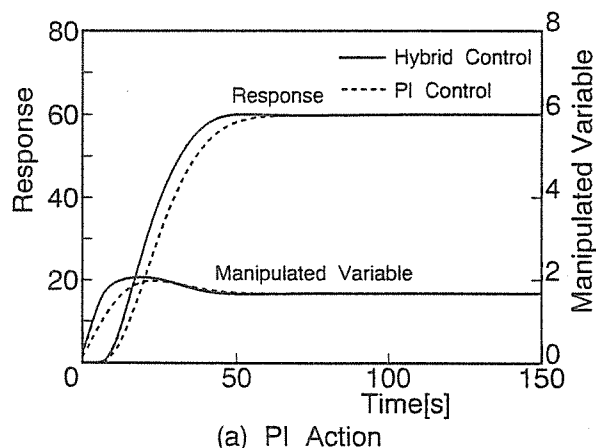
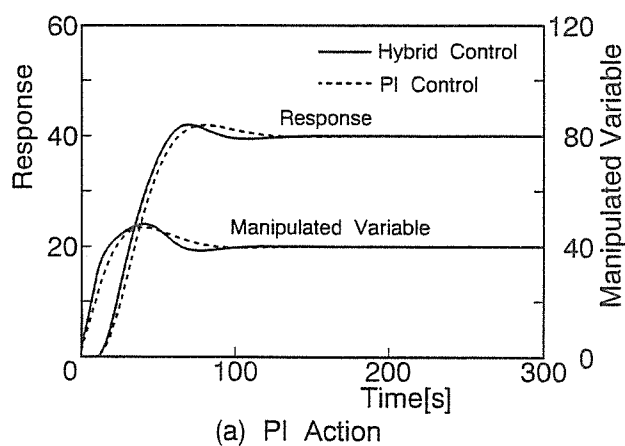


図5 ムダ時間のある一次遅れ系の場合の両制御性能の比較

図6 ムダ時間のある二次遅れ系の場合の両制御性能の比較

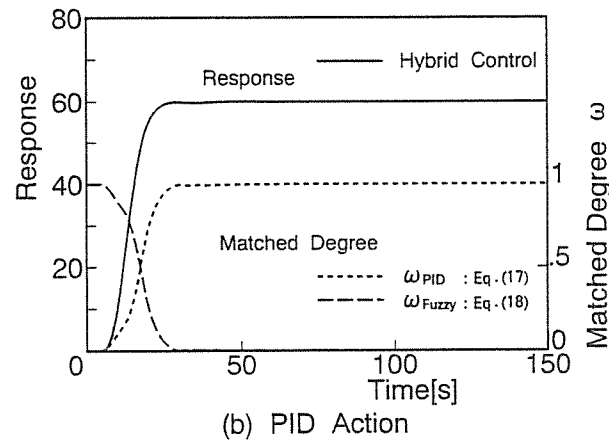
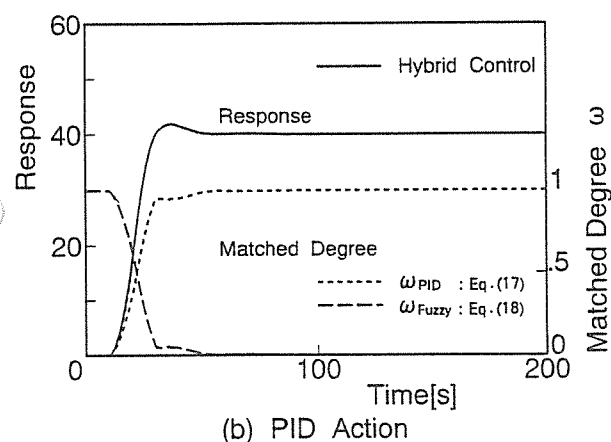
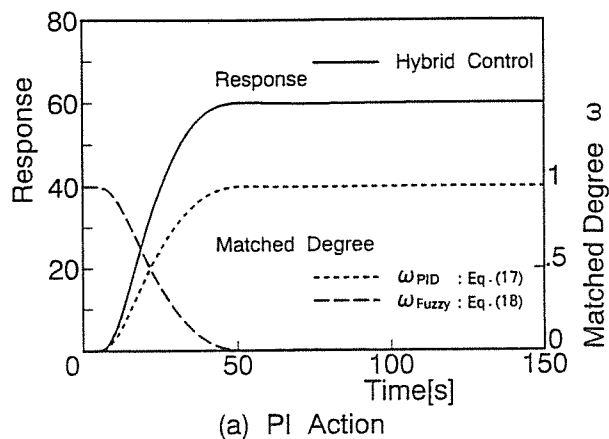
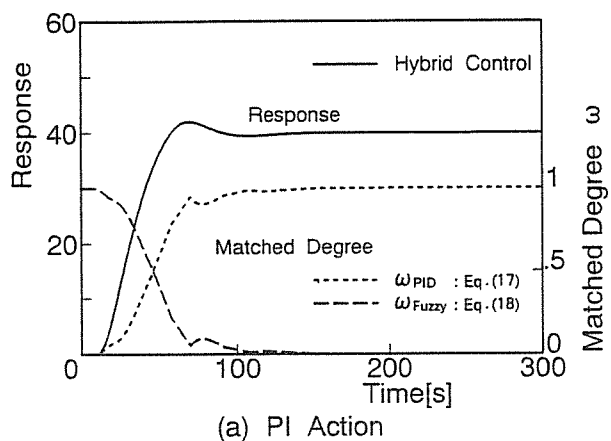


図7 図5のハイブリッド型制御法における
ファジィ・スイッチングの動作状況

図8 図6のハイブリッド型制御法における
ファジィ・スイッチングの動作状況

値は制御応答とファジィ・スイッチング動作の両者の状況を勘案して設定する。

図5はムダ時間のある一次遅れ系の場合にハイブリッド型制御法とPID制御の制御性能の比較を行ったものである。同図(a)はPI制御とハイブリッド型制御法(PI動作)の制御結果を示したものであり、同図(b)はPID制御とハイブリッド型制御法(PID動作)の制御結果を示したものである。ここで、PID制御とハイブリッド型制御法の制御パラメータはオーバーシュート量が5%となるように調整している。また、図6はムダ時間のある二次遅れ系の場合に図5の場合と同様な制御性能の比較を行ったものである。ここで、PID制御とハイブリッド型制御法の制御パラメータはオーバーシュート量が零となるように調整している。

図5から制御対象がムダ時間のある一次遅れ系の場合には、PI動作とPID動作のどちらの場合も、

ハイブリッド型制御法の方がPID制御より立ち上がり特性が改善し、目標値近傍における過渡特性も大幅に改善されて、目標値への整定が早くなっていることが分かる。また、図6から一般にムダ時間を有する二次遅れ系は一次遅れ系と比べ制御し難い系であるが、両動作の場合とも、ハイブリッド型制御法の方がPID制御より立ち上がり特性が大幅に改善し、目標値への整定もかなり速くなっていることが分かる。また、図5と図6のPID制御の場合もハイブリッド型制御法の場合も、PID動作の場合がPI動作の場合より大幅に改善された制御結果となり、線形及び非線形なD動作の制御性能への効果を示している。

また、図5、図6の場合のハイブリッド型制御法において、ファジィ・スイッチングの動作状況を表すファジィ制御とPID制御の各々の適合度 ω を示したものを図7と図8に示す。これらの図から(5)

式の「ファジィ・スイッチング用制御規則」で指定したように、過渡領域で主にファジィ制御が働き、制御応答が目標値に近づき収束するに従って、ファジィ制御からPID制御に滑らかに制御が移行していく様子が理解できる。特に、図7のように制御応答にオーバーシュートがある場合には、ファジィ制御がそこでPID制御に対して補償的な役割を果たしている。

なお、本シミュレーションを実行するにあたり、著者らが開発した多種多様なファジィ制御法が容易に実現できる「ファジィ制御用シミュレータ」⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾を活用した。

6. むすび

本論文では、ファジィ制御法として「簡略化間接法」を適用したハイブリッド型制御法の提案を行い、ムダ時間のある一次遅れ系と二次遅れ系を対象としたシミュレーションの検討結果から、本ハイブリッド型制御法の制御性能の改善における有効性をPID制御と比較して示した。本ハイブリッド型制御法の主な特徴をまとめると次のようである。

(1) 「簡略化間接法」は「直接法」と比べ高速推論が可能で且つ規則数も縮減できるので、「簡略化間接法」を適用した本ハイブリッド型制御法も高速制御が実現できる。

(2) 本ハイブリッド型制御法においては、ファジィ・スイッチングの採用によりファジィ制御とPID制御の切り換えを滑らかに行うことができる。

おわりに、本研究を進めるにあたり有益なご助言を頂いた九州工業大学の村上周太教授、前田幹夫助手らに深く謝意を表します。また、本研究は「佐賀県先端重要技術研究開発事業」の助成を得て実施したことを記し、ここに関係各位に厚くお礼申し上げます。

文 献

(1) E.H.Mamdani, Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic

Plant, Proc. of IEEE, 121-12 (1974), 1585-1588.

(2) 菅野道夫, ファジィ制御, 日刊工業新聞社 (1988), 51-66, 76-87.

(3) 塚本, あいまい推論, 計測と制御, 22-1 (1983), 139-145.

(4) 日本ファジィ学会編, 講座ファジィ⑤「ファジィ制御」, 日刊工業新聞社 (1993), 1-10.

(5) 張・荒木, ファジィ制御系の数理的解析と産業応用の可能性, 計測自動制御学会論文集, 26-11 (1990), 1267-1274.

(6) 北村, ファジィ・ルール制御系の安定解析のための円盤型条件, 計測自動制御学会論文集, 27-5 (1991), 532-537.

(7) 前田・村上, 位相面を用いたファジィ制御系の安定解析, 日本ファジィ学会誌, 3-2 (1991), 329-338.

(8) 北条・寺野・増井, 位相面によるファジィ制御系の安定解析, 日本ファジィ学会誌, 4-6 (1992), 1133-1146.

(9) システム制御情報学会編, システム制御情報ライブラリー6「PID制御」, 朝倉書店 (1992).

(10) 松永・小路・川路, ファジィ高精度制御, 計測自動制御学会九州支部学術講演会, (1989), 33-36.

(11) 松永・小路・川路, ファジィハイブリッド制御法の提案, 電気学会システム制御研究会 (1989), 1-10.

(12) 松永・川路, DCモータのファジィハイブリッド制御, 電気学会論文誌D, 111-3 (1991), 195-200.

(13) 宮崎誠一・宮崎仁, パソコンで学ぶ自動制御の実用学, CQ出版社 (1991), 161-168.

(14) 宮崎誠一, プロセス計装におけるディジタル制御系の設計と改善, 工業技術社 (1989), 77-82.

(15) 前田・村上, 自己調整ファジィコントローラ, 計測自動制御学会論文集, 24-2 (1988), 191-197.

- 16) M.Bræe and D.A.Rutherford, Theoretical and Linguistic Aspects of the Fuzzy Controller, *Automatica*, 15 (1979), 533-577.
- 17) 山崎・菅野, ファジィ制御, システムと制御, 28-7 (1984), 442-446.
- 18) 前田・村上・山崎, 自己調整ファジィ制御装置の設計, 第5回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 89-94 (1989).
- (19) K.Hayashi and et al., Simulator for Evaluation of Various Fuzzy Control Methods, *Proc. of Fifth IFSA World Congress*, 949-952 (1993).
- (20) 林・大坪, 各種ファジィ制御法の評価用シミュレータ, *日本ファジィ学会誌*, 6-2 (1994), 260-264.

Fuzzy Hybrid Control Method Applying High-Speed Inference Method

Applied Electronics Division

Kenichiro Hayashi, Akifumi Otsubo, Kazuhiko Shiranita

An important feature of fuzzy control is that the improvement of transient characteristics in control performance and excellent robustness control can be realized easily. On the other hand, in PID control, the stability is guaranteed theoretically and high-accuracy control can be realized in the static characteristics in control performance. In an effort to combine the merits of fuzzy and PID controls, a "hybrid control method" is proposed in this paper. The method proposed here is that fuzzy and PID controls are combined in parallel. In the method, changeably, fuzzy control is used in the transient characteristic area, and PID control is used in the static characteristic area. Moreover, the smoothness of control in changes is guaranteed by practicing both changes fuzzily. Also, a "simplified indirect method" which can realize high-speed inference is used as the fuzzy control method.