

<連載>

第 4 回 多変数制御

中川 東一郎

本連載も最終回を迎えることになった。本学会誌は、環境システム計測制御学会の機関誌であり、筆者の経験のある熱炉プロセスの中より環境システムの領域で何か今後の活用と可能性がありそうなものを模索しながら話を進めていく事を予め御了承願いたい。とりあげた主な項目は、(1)解像度解析でウェーブレット分解のプロセス制御への応用、(2)画像処理によるプロセス情報の抽出と多変数制御への組み入れの試みおよび(3)対象システムが非線形や多様性にとむ複雑な対象プロセスで多変数制御への一つのアプローチであるマルチエージェントシステムを取り上げる。

1. ウェーブレット(Wavelet)変換による多重解像度解析^{1,2,3,4,5,6)}と多変数制御

ウェーブレット変換は、多重解像度解析を実施する手法の一つである。ウェーブレット変換が信号の新しい解析手法として最近注目されているが、これはフランスの油田探索にかかわる企業の技術者により提案され、更に数学者により数学的理論が確立されて、数学者と技術者の協力作業の代表的な成功例と言われている。信号を分析する時、いくつかの関数の重ね合わせで表すが、フーリエ変換では、複素正弦関数を基底関数として、これとデータとの内積で定義されており、ウェーブレット変換では周期関数でない基底関数との内積で定義されている。従って、(1)一見連続のように見える波形の中に存在する不連続性の検出が可能となる。(2)信号の局所的な性質と大局的な性質とを同時に解析する事が出来る。

時系列データの場合フーリエ変換では、周波数構造がどのように変化するかといったフーリエ係数の位相に関わる問題であり、ウェーブレット変換は時間とともに周波数分布が推移している事がわかる事や、データ圧縮による S/N 向上、システムの同定、遅れ時間の同定、擾乱の検知等プロセス制御に色々のメリットを与えてくれる。また画像処理等でもその威力を発揮する。計算機制御の弱点は、計算機の目が人間の肉眼よりはるかに劣る点で、「百聞は一見に如かず」の諺の通り、この差は制御に決定的となる。

特に計測の不十分なプロセスではこの感が強い。この意味で、ウェーブレット変換による ITV 画像処理をとりあげ、またプロセスの非線形や多様性の高い場合、マルチエージェントシステムの必要性の検討を掲げてみた。重複するが、ウェーブレット解析の計測制御分野への活用では、(1)プロセスデータの特異点の検出、(2)プラントの異常検知、(3)時系

列データ圧縮による S/N の向上、(4)周波帯の分解、(5)システムの同定や遅れ時間の検出、(6)画像処理領域の分解能の向上等、いろいろあげられているが、これらについては文献⁴⁾を参照して頂く事として、ここではプロセス制御におけるデータの分解やダイナミックモデルを解像レベルに応じて多重スケールの定常性と制御という概念に結びつけていく事にする。

多重解像度解析の理論については、それぞれの専門書^{1,2,4)}が出版されており、数学的展開はそれらの専門書にゆだね、筆者の関係したガラス溶融炉へのひとつの応用の試みを取り上げてみる。人間はプロセス制御する時、プロセスの主なる成分や性質、クセ等を抽出して判断し運転に役立てている。人間の簡潔にして要を得た振る舞いは大変感心させられるが、これに比べてコンピュータは何から何まで対応しようとするため、プロセスのノイズに振り回される事になる。更に自分の出したノイズの影響を制御するという自家中毒現象を起こす場合もある。

またプロセスの調子がなんとなく良くないとか良いとかの判断に対して、プロセスデータをそのままの形ではこのような情報は抽出する事が難しい。日常運転の時系列データのウェーブレット分解をみた時、その変動分や低周波分トレンド等により調子を目で見える形で認識でき、勿論コンピュータに取込む事も出来よう。

またウェーブレット分解で低周波分を取出し、この大きなサンプリング幅のモデルを複数並列シフトし、短いサンプリング間隔で起動する事により、プロセスのゆっくりした動きを

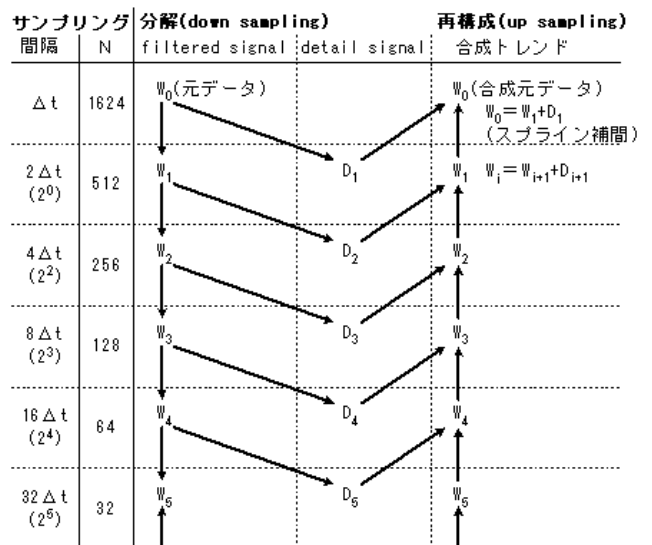


Fig. 1 ウェーブレット分解と再構成

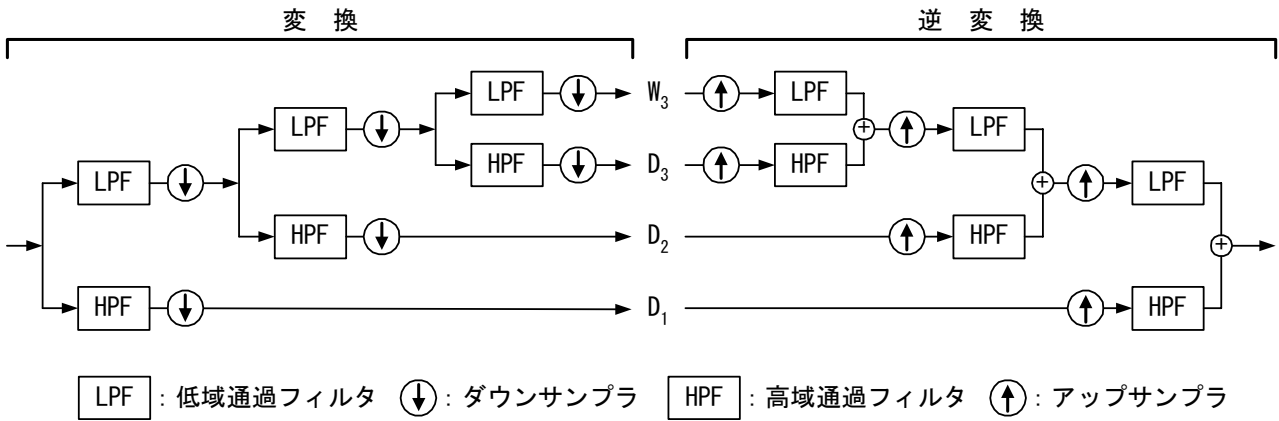


Fig. 2 直交ウェーブレット変換を実現するフィルタ

Procedure Process Identification and Control with Wavelet Analysis

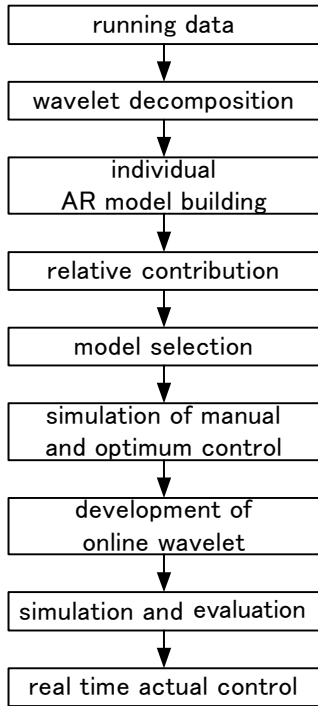


Fig. 3 ウェーブレット分解とそれぞれのチャンネルの同定と制御の流れ図

こまめに見るといふ、いわゆる禅語の「ゆっくりと早く」といふ訳の分からぬ言葉の雰囲気が体得されよう。

一般論では概念的であるので理解の便のため、むしろ筆者の不充分ながら経験のあるプロセスを対象としてセメント回轉窯プロセスとガラス溶融炉プロセスを例にとって話を続けたい。ガラス溶融炉プロセスは、原料がガラス質に変化するまで数時間から拾数時間の遅れが混在し、周波数の高い領域、低周波領域が混在したり融合したりしており、一律的な制御では対応が難しい。

またセメント回轉窯の固有擾乱である土手(マッドリング)脱落落下擾乱の検知は、制御上極めて重要で、ウェーブレット解析による不連続点の検出という特徴が生かされる⁷⁾。

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) f(t) dt$$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty W(a,b) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) db da$$

$$X_i(n) = \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^m A_{ij}(m) X_j(n-m) + U_i(n)$$

$$Z_N = \phi Z_{n-1} + \Gamma Y_{n-1} + W_n$$

$$J_H = E \left\{ \sum_{n=1}^H (Z_n^H Q Z_n + Y_{n-1}^H R Y_{n-1}) \right\}$$

$$q_{ij}(f) = |b_{ij}(f)|^2 p(u_j(f))$$

$$r_{ij}(f) = q_{ij}(f) / p_{ii}(f)$$

$$R_{ij}(f) = \sum_{h=1}^j r_{ih}(f) (j=1,2,\dots,k)$$

Fig. 4 Fig3の数式

以上の事は固有領域の問題であるが、一般性の有るものとして、この応用に視点を置いて述べる。プロセスデータを順次低い周波数ゾーン $V_0, V_1, V_2, \dots, V_j (V_0 \supset V_1 \supset \dots \supset V_j)$ 上のモデルに分解し、時系列データをウェーブレット分解する事は、プロセスモデルを各周波数ゾーン V_j へ射影する事に他ならないから、モデルが $Y(n) = P(Z^{-1})u(n)$ と表された時、 V_j への射影作用素を T_j とすれば $Y(n)$ の V_j への射影 $T_j Y(n) = Y^{\oplus}(n)$ は、

$$Y^{\oplus}(n) = T_j P T_j u(n) \equiv P_j u(n)$$

となる。

ただし $u^{\oplus} = T_j u(n)$ である。 $j=0$ の時は、最小変動周期 $2 \Delta t$ に対応するから、 P_0 は P そのもので元のプロセスを表し、 $P = P_0 = T_0 P T_0$ である。

P_0 は $S_j = P_{j-1} - P_j$ と置けば、次のように展開できる。

即ち、

$$P_0 = \sum_{j=1}^j \{ S_j P S_j + S_j P T_j + T_j P S_j \} + T_j P T_j$$

P_0 が上式のように展開できる事は、プロセスモデルの階層的な分解が構成されたことであり、ウェーブレット分解がプロセスを時間スケールでカスケード分解した事になる。 Fig.1

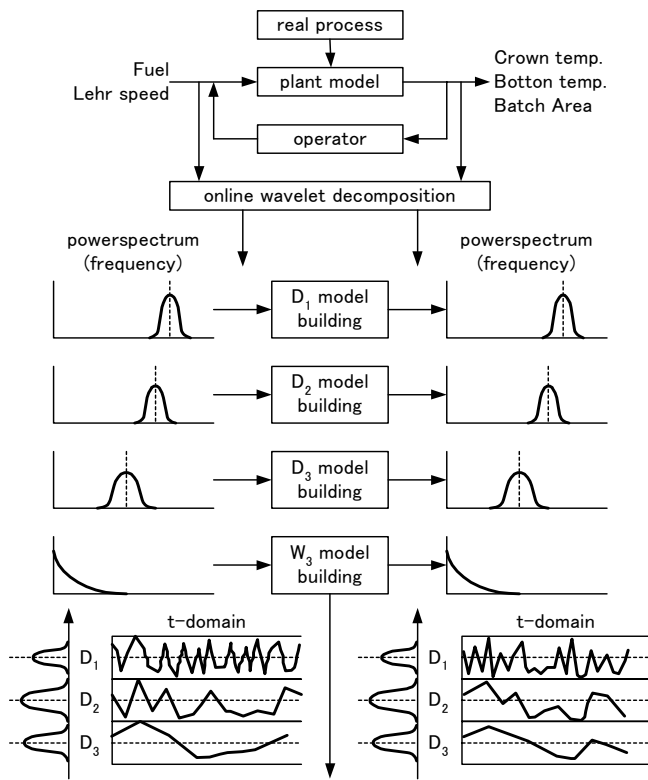


Fig. 5 プロセスのウェーブレット分解概要図

は時系列データの離散ウェーブレット分解及び再構成図で、図のような階層構造となる。

Fig.2 は、直交ウェーブレット変換を実現するフィルタを示す。Fig.1 において、 W_i は Filtered Signal と称せられ、 D_i は Detail Signal といわれている。このようにプロセスの時系

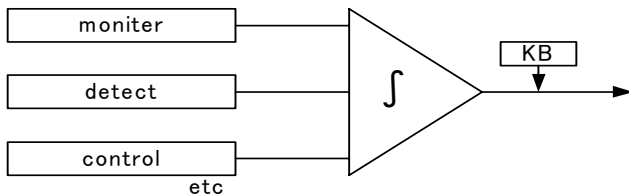


fig.6-a. Conventional link of Knowledge Base (KB)

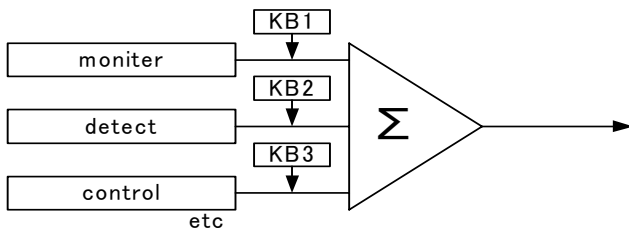


fig.6-b. Distributed link of Knowledge Base

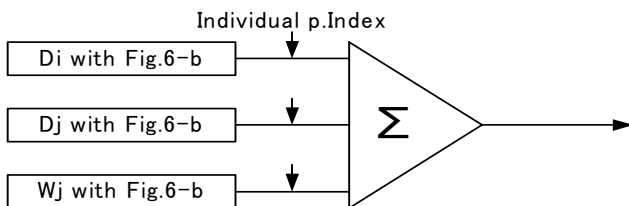


fig.6-c. Distributed link of combined with each KB and each Performance Index

Fig. 6 (a,b,c) 分解された個々の知識ベースと評価関数

列データの離散ウェーブレット表現による多重解像度解析の結果は、統計的解析と連動し、ウェーブレット分解された各レベルの時系列データにより AR モデルが同定される。

Fig.3 は、ウェーブレット分解と AR モデル作りよりシミュレーションを経て実時間制御に至る手順の流れ図を示す。

Fig.4 は、ウェーブレット分解、AR モデル作成、最適制御および相対的寄与率の数式を簡単に示すもので、図では連続ウェーブレット変換を示しているが、以下に述べるプロセス制御では、直交性のある離散型ウェーブレット変換を用いている。参考までに離散ウェーブレット変換の数式の概要のみを掲げる。

即ち信号 $f(t)$ のウェーブレット変換で連続値であるパラメータ

$$a, b \text{ を } \left(b, \frac{1}{a} \right) = (k \cdot 2^{-j} 2^j) (j \in Z) \text{ と置き換えパラメータ}$$

を離散化することで連続ウェーブレット変換は離散化される。離散ウェーブレット変換およびその逆変換は、次のような定義式を得る。

$$\text{変換: } d_k^{(j)} = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(2^j t - k) f(t) dt$$

$$\text{逆変換: } f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k^{(j)} \psi(2^j t - k)$$

Fig.5 は、プロセス入出力間の分解による各レベルのモデル入出力値の周波数領域と時間領域の概要図で、Fig.6(a,b,c) はウェーブレット分解前の知識(KB)よりも分解後の知識ベースは、より細分化され、きめ細かい知識が導入されることになる。^{8,9)}

また分解されたそれぞれのモデルに対しては、個々の評価関数や荷重値が考えられ、一律的な制御では及ばぬ機能を有する事になる。

例えば、ごみ焼却炉プロセスの余熱ボイラの蒸発量による燃焼制御と酸素含有率による燃焼制御が並存する時、前者は低周波領域のモデル(W モデル)、後者は高調波領域のモデル(D モデル)による制御とすれば、それぞれの評価関数や変数も異なってきて、きめ細かい制御が目論めるかも知れない。また、例えばごみ焼却炉の ITV 画像も燃切り像をウェーブレット手法により S/N を向上すれば、これも制御に取り入れる事が出来よう。ガラス溶融炉では周波数帯の異なる場合も多く、遅れ時間の大きな低周波領域では、評価関数も変数自体の組み合わせも違ってくる。Fig.7 は、ガラス溶融炉の山落ち面積のウェーブレット分解チャートで、Fig.8 は山落ち等の 6 変数がいかに制御燃料に貢献しているかを示す寄与率の分布図を示す。

図で分かるように D_0 (Δ (サンプリング間隔) = 40min) の高調波成分の場合は、山落ちの燃料への寄与率は少なく低周波成分の W_3 レベルでは、同上寄与率が著しく増加している。また、 D_1 レベル ($\Delta = 80min$) では寄与率が少なく

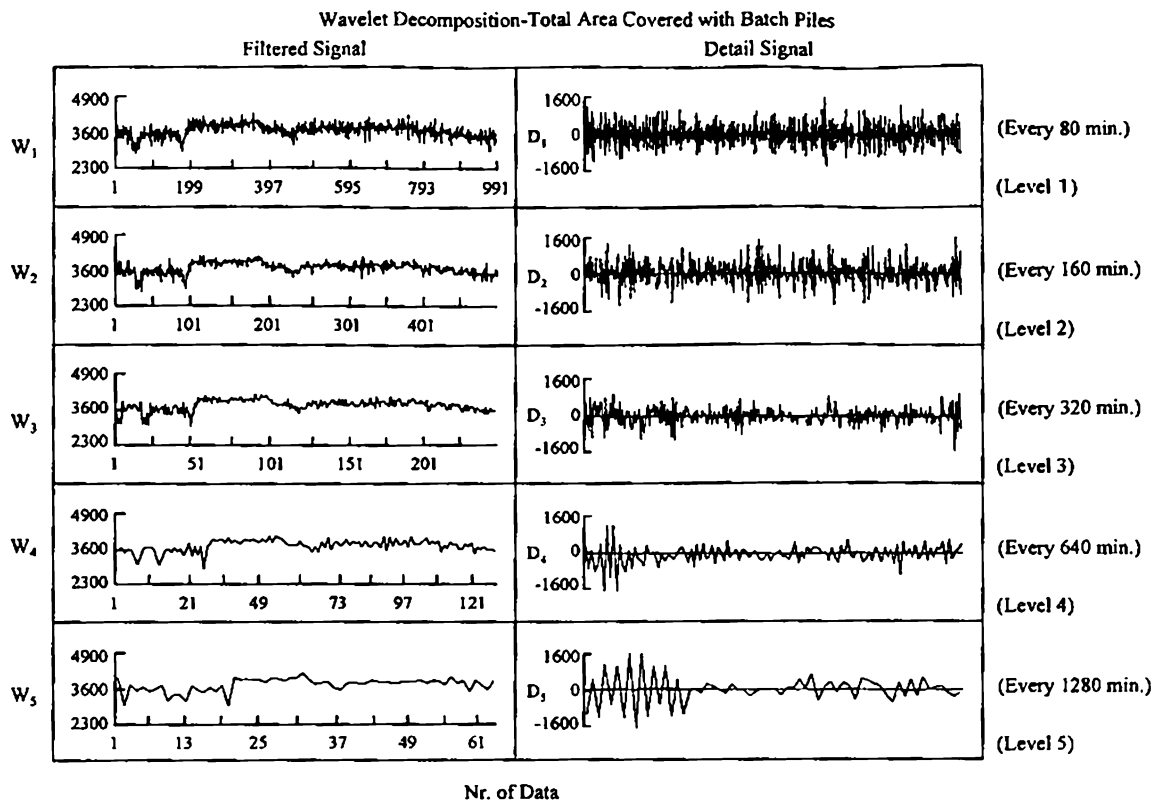


Fig. 7 山落ちウェーブレット分解

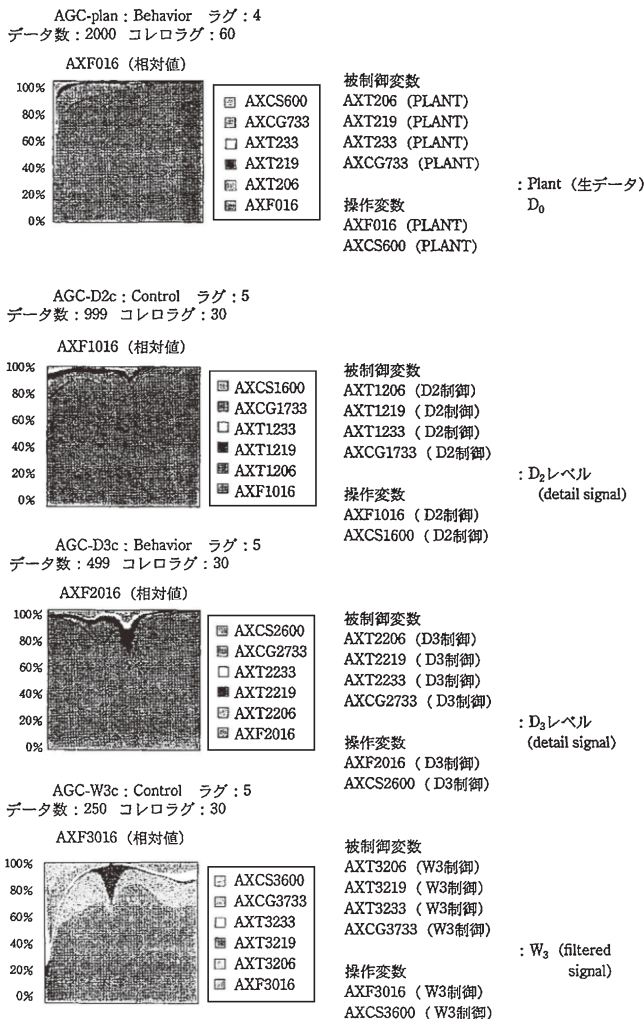


Fig. 8 ウェーブレット分解によるそれぞれのモデルの相対寄与率 (燃焼供給量に対する)

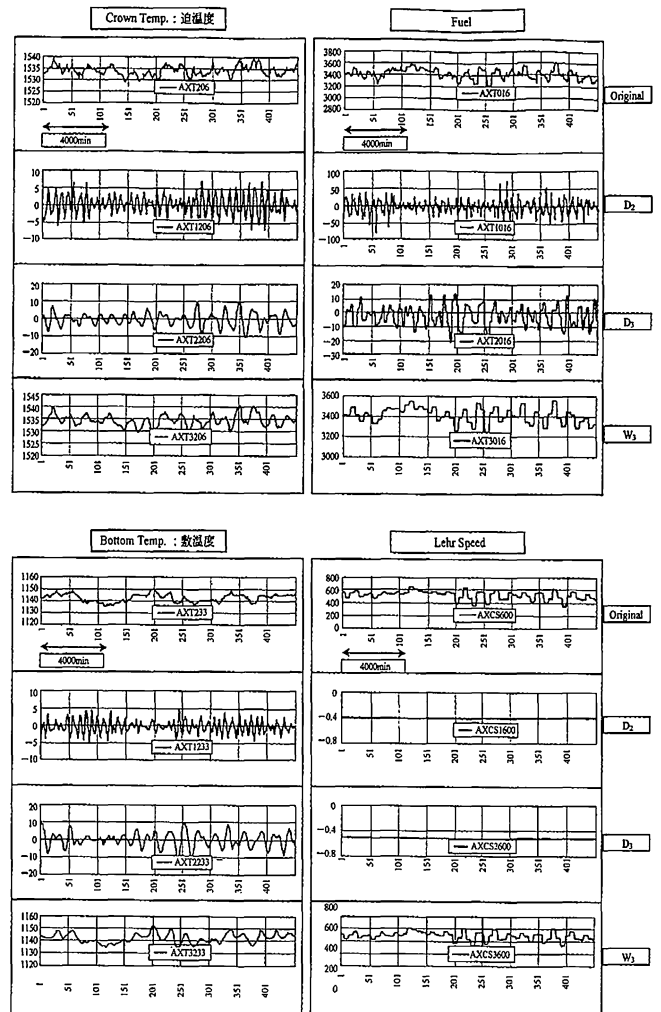


Fig. 9 原モデル(プラント)およびウェーブレット分解による D₂, D₃, W₃モデルのシミュレーション結果, D₁は寄与率低く無視している

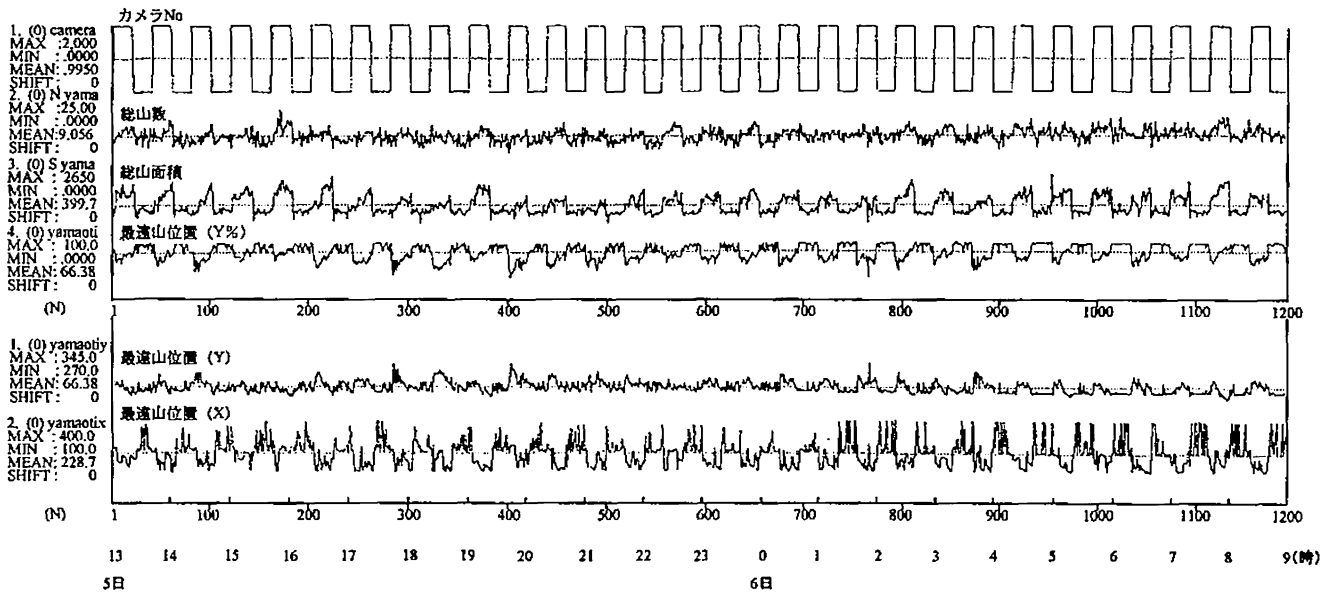


Fig. 10 山落ちデータ(生データ), ITV 像の数理したチャート

除外して簡潔にしている。即ち、高調波領域では、山落ちに対する燃料制御はほとんどなく低周波領域や直流領域で燃料制御されていることが推察できよう。

Fig.9 は、ウェーブレット分解による D_2 , D_3 , W_3 モデルのシミュレーションで、ガラス溶融炉プロセスの中で大局的にも局部的にもウェーブレット変換による解像度解析という数学的手法により、プロセスをテレスコピックとワイドのそれぞれのレンズメガネを介して眺めると、今まで複雑でかつ S/N の悪い対象を紐解く糸口が見つかるものである。ここで離散ウェーブレットを使っているのは、直交離散ウェーブレットの活用が出来るからで、更に実時間制御に関しては、直交性や定常性の問題等、今後数学者による開発が期待されている。

2. 多変数制御における画像信号および情報抽出の重要性

よく知られている「百聞は一見に如かず」という諺がある。熱炉プロセスや、大容量で空間的分布である環境プロセス等では、一点の固定点計測の集合でなく、分布的なプロセス情景を表す抽出信号が欲しい。この点画像イメージは、情報量の多い多変数の集合ともいえる。熱炉システムの場合、実情では S/N の問題や装置設置等いろいろの問題で ITV による監視に限られている所が多い。

しかし最近 ITV も更に開発され、これに加えて情報処理、IT 技術、画像処理技術やソフトウェアの開発により、種々のプロセス情報を得ることが出来るようになってきた。一般にプロセスの情景は、一点のみの固定計測ではつかみきれず、また物によっては一点でもその属性が大きな情報を持っている事が多い。よく知られている例であるが、例えば雨がしとしと降る、さっと降る、ざあーと降る等、さまざまな形容がある。これらの修飾語や形容詞により情景が良く分かる¹⁰⁾。これと同様に、既に本連載(第3報)で既述したように、炉内温度にせよ、その属性やノイズの種類まで認知する事が出来れば

ば燃焼制御は一段と向上しよう。これは制御以前の問題で、情報入手が進めば制御理論も活用できるし、多変数制御も自らついてくるものであり、また画像情報自体が多変数情報であるからである。では筆者の経験あるセメント回転窯やガラス溶融炉の制御への ITV の役柄について少し述べてみる。セメント回転窯については本連載で既に述べたので、ここではその要点のみを述べる。セメント回転窯の炉内監視は、一般にパイロメータが使われているが局部的一部の信号に過ぎず ITV のような画像が必要であるが、この画像内容をコンピュータに吸い上げる解像機能がない。回転窯操作でフレームの下方前方に見えるこちらへ流入してくる原料の温度の低下が最も大事な信号で、肉眼では馴れた者には少し黒ずんで見えるもので、アメリカでは Dark Feed と呼ばれている。しかし現在のパイロメータでは炉内視界ノイズの為 S/N も悪く、また ITV でもこれを見分けることは難しい。

しかし既述したように、ウェーブレットによる画像処理では、その特異点やエッジを検出する機能で、この Dark Feed を検知できる可能性があり、これが実現されるとこの信号はコンピュータに組み込むことができ、温度制御の鍵となろう。またガラス溶融炉にしても、既述した炉内の山落ちやその属性を監視し、ウェーブレット解像度分解値を AR モデルに組み込むことによって、燃焼制御が一段と向上する。これらは計測あって制御ありで ITV の肉眼による目視判断機能に匹敵する開発が計算機制御への鍵であろう。

ごみ焼却炉内の ITV 画像処理について、高村、小平両氏による興味ある優れた論文“Kohonen ネットワークによるごみ焼却炉の画像処理”¹¹⁾が発表されている。筆者はこれらについて門外漢であるが、かねてより大変関心のあった理由は、ごみのような不特定で燃えるごみや燃えにくいごみ、形状等ごみの性状が様々で、このような対象をどのように計測するのかとかかねがね知りたかったが、そのいろいろの属性による燃焼変化を Kohonen のニューラルネットワ

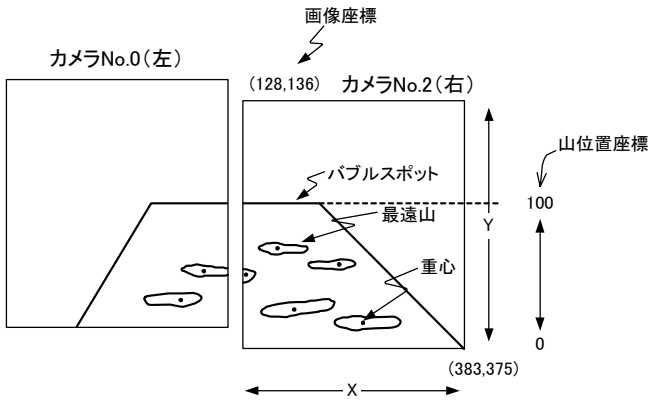


Fig. 11 山位置画像図

ークを活用して、その自己学習により炉内温度を抽出している^{11,12)}。これは、大げさに言えば人間の持つ五感、官能能力に近づく手法で更にウェーブレット画像処理と組めば、さらに認識や同定機能が高まるのではないかと推察している。エキスパートの見ていた内容がこのような方法で開発達成されてゆけば、多変数制御も実行領域が大きく拡大されるものと思われる。

最近、炉内監視パイロメータもパイロメータ自体が照点や焦点を動かす能動的パイロメータが英国で発表され、これは更に照点をスイープする事により温度分布も計測できると報じている。従来の受動的計器から能動的計器への改革は大変喜ばしい。第3報で既述したが、情報は待ち受けるものではなく、取りに行くものである事を再認識したい。Fig.10 は、ガラス熔融炉山落ちデータ(ITV)の日常運転記録で、Fig.11 は山位置画像図、Fig.12 は取り込み画像、Fig.13 は取込み画像の処理後画像である。

山落ち像でも総面積、個々の山落ち左右像やその位置等いろいろの属性も抽出可能で、山落ちという一つの変数がTable1のごとく属性といういろいろの変数に分類され、その中より制御に相関の高い主力成分や項目を活用する事になる。これは前出したウェーブレット分解して必要な主成分的要素を抽出活用するのと同じである。ガラス熔融炉の山落ちは、ごみ焼却炉制御^{13,14)}において、ごみの燃切り点の監視と相通ずるものがある。

また、筆者はかつてごみ焼却直接熔融炉である堅型シャフト炉で炉の垂直方向における各断面の四方(東西南北)

Table 1 変数一覧表

No.	項目	変数名	備考
1	カメラ No.	Camera	0:左 2:右
2	山数	Nyama	
3	総山面積	Syama	画像座標系でのドット数
4	最遠山位置(Y方向)(%)	Yamaoti	画像手前を0、パルススポットを100として最遠山の重心(Y方向)を数量化したもの
5	最遠山位置(Y方向)	Yamaotiy	最遠山の重心(Y方向)を画像座標系で求めたもの
6	最遠山位置(X方向)	Yamaotix	最遠山の重心(X方向)を画像座標系で求めたもの

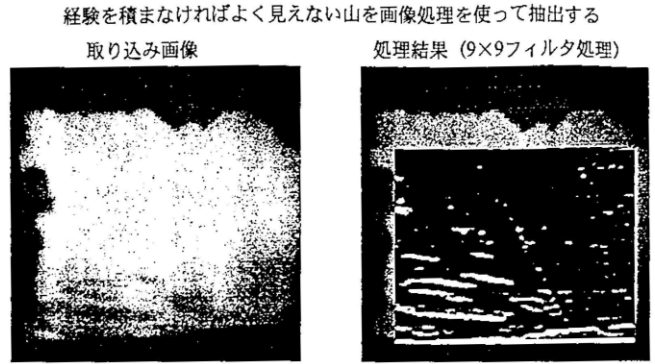


Fig. 12 処理前

Fig. 13 処理後像

の温度のウェーブレット分解によるトレンド温度分布図をコンピュータにより補間補外して作図したことがあるが、この補間補外的な大雑把な温度による色別等温度分布図はこれを時系列的に眺めると、炉内の垂直水平の温度情景がかもし出され、状況がスケッチできる感じを持った事を憶えている。全くの門外漢であるが、これとファジーニューラルネットワークによる学習¹²⁾により、何かプロセスの動き(Pattern Dynamics)が感じられるかも知れず、大まかでもこのような立体的パターンの動きは有用であると考えられる。何れ多変数制御の中で、イメージダイナミクスともいべき理論が打ちたてられるものと思われる。

3. マルチエージェントシステムへの展望^{15,16,17)}

多変数制御も対象スケールが広くなり、多様性を持つてくると制御の方法や評価の仕方、プロセス管理も適応性を持たねばならない。

一般に熱炉プロセスや環境システムについては、多変数制御にしても制御手法自体が混在し、モデル予測制御(MPC)、ファジー制御、エキスパートシステム、ニューラルネットワーク等、定量、定性、線形、非線形等の中でいろいろの手法で適応してゆかねばならず、一つのプロセスに対しても様々な手法が混在せねばならない。この意味でいろいろの多様性に対して適応的に対応してゆく柔軟な制御をするにはマルチエージェントシステムが必要となってくる。対象領域が広くなり、時間的にも空間的にも拡がりを持つてくると、全体のすべてについて制御手法に普遍的統一性を求める事は困難で、人間の合理的かつ要領のよい行動と視点をもう一度見直す必要がある。

マルチエージェント技術は、プロセス制御に関してはいまだ実験的段階であると思われるが、知的エージェントと共に最近いろいろの先駆的な本が出版されている。プロセスが多様な場合、これらのいろいろの状況に柔軟に対応する為には検索や診断、制御、モニタリング、擾乱対応など幅広い処理機能を持たねばならない。既述したように制御手法一つとってみても統計的制御、ファジー制御、モデル予測制御(MPC)、知的制御等があり、また情報処理にしてもフ

エージェントネットワーク、画像処理、統計的処理、パターン認識、連想等数々の処理が対応されプロセスの多様な変化と要求に応じて取捨選択し協調して使うためには、それぞれの特徴を有したエージェントにより、これらの長所短所の相互補完や組み合わせ等を図らなければならない。従って、各エージェント内部の処理リソースの多様化とこれと相対する外部との情報交換や作用リソースの多様化が必要で、言語の問題、機能構造の問題、分散協調制御の問題等の課題の下に研究者により鋭意研究されており、その実用化はいずれ身近なものと考えられる。

データひとつ例をとっても時間的前後関係や空間的關係など、情報の構造は変わるのでデータ構造もそのシステム固有なものが要求され、固有技術の環境依存性が高くなると考えられるが、これらに何でも来いの一般性を求める事は大変で、内容の固有技術依存性の下に、それぞれの企業でそれぞれのプロセスを対象とすれば、次元も空間も低次元に限られるので実用的であると考えられる。

筆者はパソコンのタイプ入力が苦手で、タイピングをしているうちに、その内容を忘れていたという馬鹿げた事を経験し、今は **Via Voice** という音声入力ソフトを活用している。この音声入力にしてもこれを汎用化し一般性をもたす事は困難であるが指定した個人に使える事は出来るもので、これと同じで各企業の限られた次元の下で活用できれば工学的には充分で、必要可能なものから進める事が大事と考えている。

限られた企業内の次元の下で各エージェントはそれぞれ特有のプログラムを有し、また使用すべき状況や出番が異なってくる。これらのエージェントの知識ベースには、各制御プログラムの特徴や使用方法などの処理知識が記述されている。

また外部とのインターフェイス、即ちセンサ等とどのような時に、どのような信号を活用し、どのような制御系と対応するのか、またエージェント自体の情報収集機能の取捨選択や行動機能の知識が内蔵されている。

またメタエージェントは、メタレベルで各エージェントを管理する機能を受持つことになる。また各エージェントは、与えられた目的のために自己の知識ベースから何が不足しているかを見出し、この機能を持つ他のエージェントを探索して相互補完する。

このような趣旨のもとにプロセスを見た場合、この特定分野の世界の知識を、この特定化ツールの中に組み込む事になる。これらそれぞれの専門知識を持つエージェントの内容を感覚的に取り上げてみると、例えば熱炉プロセスの場合、(1)熱炉内の燃焼状況や内部状態を監視する機能、(2)プロセスの大局的な調子の判断機能、例えばウェーブレット分解とニューラルネットワークおよび **Kohonen** の自己学習やエキスパートを先生にした学習等。(3)ウェーブレット解析による特異点の検出による擾乱の検知、(4)数式数値計算、これはプロセスの数式モデル、統計計算、自己回帰モデル同

定、ウェーブレット分解計算、(5)工業用テレビ画像と画像処理、(6)上記等を管理するメタ機能で、例えばプロセスの状態より対応のプログラムを取捨選択し、各エージェントの機能呼び出し協調させる等がある。このようないろいろのエージェントの中には、それぞれの知識ベースが記述されており、操作内容、因果関係、エキスパートの論理等いろいろの必要知識が記述される。

以上により(1)柔軟な対応、(2)状況に応じた制御の注視点の変更、(3)プロセスの情景の認知と情景の予測、(4)制御手法の切替や選択および、これに伴う評価関数の変更、(5)多次元モニタリングにより統一的な大局的プロセスの評価、(6)生産管理システムとの共存等が実現されることになる。これらの考え方は、熱炉プロセスに限らず一般性汎用性があり環境システムに対しても同様であろう。

なお筆者等は、以上と同じ趣旨のシミュレータとして、ミーティングシミュレータ⁸⁾なるものを構築している。これは、**IBM PC/AT** の **MS/DOS** パソコン上に多様な機能の統合により実現されており、各機能要素の結合によるシステム構成は、**Fig.14** に示す。ミーティングシミュレータの知識利用モデルは、エキスパートシェルである **ESPARON**(商標)^{*}によって各知識を表現するエージェントモデルとして記述、実行される。

各エージェントの知識の背景には、数式モデル、**AR** モデル、**AI**、エキスパートシステムおよびファジィ推論機能などがあり、必要に応じて呼び出される。これらのモデルベースは、プラントの計測データや操業状態を表すデータを受けて、状況認識や意見形成に結びつける。環境システムは生産処理工程のそれぞれのユニットでの制御だけでなく、広域大局的の一貫した大きなプロセスへと視座が移っていく場合、その多様性、非線形性等のため、このミーティングシミュレータ的マルチエージェント機能が必要になってくると思われる。ここで言う多様性とは、柔らかい柔軟な制御を必要とするもので、(1)制御手法の対応変更選択、例えば **AR** モデルによる制御、**AI** 制御、ファジー制御、ニューラルネットワークによる方法等があげられる。(2)視点視座の変更による評価関数の変化、(3)同上活用変数の変更選択、(4)擾乱等その対応等が考えられよう。

※ **ESPARON**:分散協調型エキスパートシェル

Visual Data file	Man-machine Interface			Audio Data file
	IBM PC/AT with MS/DOS	with UISL	ANZA board	
Agent Model file K.B.	ESPARON Expert Shell "Meeting Simulator"		Neural Network Model "Association Network"	Pattern file
Mathematical Model	SILTAC Dynamic Model CAC	Fuzzy Membership	Association Network	
Instrumentation		Plant Operational Data		

Fig. 14 全システムの図式説明

4. まとめ

本学会誌で藤原先生の特集によせての展望(Vol10 No.4)は、今後の環境システムの進歩を示されているが、素人の筆者には生産方式については対応が出来ないが、制御方式の範囲内で、甚だ僭越であるが何か今後関わりがあると思われるものを取り上げた。ここで、これら概要の幾つかの展望を述べることにする。

(1)ごみ焼却炉の中には、ごみ燃焼制御と余熱ボイラに対する燃焼制御の二面が直列併存する場合もあり、既述したようにこれらの日常運転データを前述したウェーブレット分解により前者と後者とを周波数帯で分離すれば、あまり有効でない周波数チャンネルは無視し、前者は高周波チャンネルで、後者は容量おくれ等によるタイムラグもあり、これに対応する低周波チャンネル(Relative Contribution より選択)を抽出し、従来の一律的な評価関数と違ってそれぞれのチャンネルにはそれぞれに見合った評価関数と変数を選び直交性の中で制御すれば、人間のような効率的な要領のよいかつきめの細かい制御が期待できると思われる。(2)ガラス熔融炉で ITV による原料の山落ち情報が極めて有効な事は既述したが、流動床ごみ焼却炉においても、ITVによる燃え切り情報や、ウェーブレット分解の特技である特異点の検出は、炉内の異常の検知等に有効であると推察される。(3)シャフト型ごみ焼却炉で、ウェーブレット分解でトレンド的成分を抽出してシャフトの四方(東西南北)および垂直方向の空間温度分布を時系列に抽出し、しかるべき数値処理をして作図した事があるが、この空間等温分布図の時系列チャートは、これにニューラルネットワーク等による学習を付加する事により、炉内の状態やその推移が大よそ同定され、データ抽出時、ウェーブレット分解してノイズの除去された低周波等温分布図の時系列的動きは今後の Dattern Dynamic ともいうべき新しい制御への試みが期待される。なお大局的パターンをみる場合、高周波成分を除き低周波成分を使わないとノイズに振り回される恐れがある事を念頭におくべきである。(4)多変数制御では、属性等の情報に有効なものを含んでいることが多く、特に計測値の S/N が悪く二次情報を活用する場合は特にこの感が強い。(5)環境システムは、広域大域的な対象が多く、例えば浄水プロセスにしても、各個別のプロセスを結合した一貫制御の方向にあり、多変数である事は勿論、多様性となり柔軟な対応が必要でこれに対してマルチエージェントシステムのような構築によるアプローチが必要となろう。(6)モニター機能や能力が人間のようにゆかず、これが不足する限り AI やエキスパート的制御が不可欠な領域が残る。このモニタリング能力が計算機にのせられない限り、それまではエキスパートの力を借りねばなるまい。多変数制御は制御理論もさる事ながら、それ以前のこのモニタリング機能の開発が極めて大事といえよう。

5. 結び

4 回にわたる本連載も、今回で最終回を迎えた。多変数制御の側面の理解の便のため、あえて具体例をとったので、固有領域の展望に片寄り一般統一的システム工学の展開でなく、筆者の独断と偏見に対しご容赦の程お願い致したい。また限られた紙面で説明不十分のところも多く、巻末の文献をご参照願えれば幸いである。なお未文ながらタクマ(株)の辻本部長様には、いろいろとご指導賜り厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 斎藤兆吉:
“Mathematica によるウェーブレット変換”朝倉書店(1996)
- 2) 前田, 佐野, 貴家, 原:
“ウェーブレット変換とその応用”朝倉書店
- 3) 大野:
“新しい信号表現(ウェーブレットとその応用)”
- 4) 新, 中野監修:
“ウェーブレット解析の産業応用”電気学会編, 朝倉書店(2005.10)
- 5) 榊原:
“ウェーブレット解析の基礎と応用”
機械の研究 vol48 No.9 P937~P945 養賢堂(1996)
- 6) エレクトロニクス No.5 P21~P55 オーム社
- 7) 相沢, 武知, 香月:
“コーチング落下を瞬時に検出”エレクトロニクス No.11 オーム社(1995)
- 8) 中川:
“プロセスモデリングと多機能制御”P125~P179, P253~P273 工業技術社(1999)
- 9) Nakagawa T, Kimura T:
“Multiresolution analysis of running data in the operation and control of a glass melting furnace” Proc. X VII Int. Cong of Glass. vol6 Beijing 1995
- 10) 中川:
“エンジニアの自在筆(連載)”計装 6, 7月号(2001)
- 11) 高村, 小平:
“Kohonen ネットワークによるゴミ焼却炉の画像処理”電子情報通信学会論文誌
D-II vol.J80-D-II No.7(1997)
- 12) 大塚:
“ニューラルネットワークの高炉データ認識への応用”システム/制御/情報 vol 35 No.1(1991)
- 13) 友近, 前田, 中山, 新谷:
“都市ゴミ焼却炉におけるモデル予測制御”計測自動制御学会論文
文集 vol 40 No.7(2004)
- 14) 藤井:
“ごみ燃焼炉排ガス HCl 除去設備の自動制御”
エンジニアのためのプロセス解析と制御 中川監修:工業技術社
P210~P223
- 15) 広田編:
“知能工学概論” P27~P40 昭晃堂(1996)
- 16) 山田:
“適応エージェント”共立出版社(1997)
- 17) 木下, 菅原:
“エージェント指向コンピューティング”ソフトリサーチセンタ発行
(1995)