

ARモデル同定・解析・制御パッケージソフト によるごみ焼却炉の制御について

Development of Software Package for AR Model Identification, Analysis and Control

辻本進一*、 高市克己*、 藤田逸朗**、 ○水本末敏***
SHIN-ICHI TSUJIMOTO* KATSUMI TAKAICHI** ITSURO FUJITA** SUETOSHI MIZUMOTO***

*株式会社タクマ

TAKUMA Co., Ltd.

**佐世保工業高等専門学校電気工学科

Sasebo National College of Technology

***タクマシステムコントロール株式会社

Takuma System Control Co., Ltd.

Abstract

We have developed software package for AR(Auto Regressive) model analysis, its system identification and design for environmental processes.

The features of this software are the followings:

- 1) It reflects vast experiences in the application of actual AR model control both in a refuse incinerator and in a sewage treatment plant.
- 2) It includes not only analysis but also identification and control.
- 3) It provides good functional MMI(Man Machine Interface) for easy operation.
- 4) It supports network and easily connects with other systems such as DCS and simulator, etc.
- 5) It is for personal computer use, which lowers the hardware cost.

Key words: AR model refuse incinerator sewage treatment MMI Windows95
Visual Basic Visual C++

1. はじめに

本稿では自己回帰モデル（ARモデル）による環境系プロセスの解析とシステム同定、制御系設計のためのソフトウェアパッケージを開発した内容を紹介する。はじめに環境系プロセスのARモデル解析制御の有効

性について述べる。そしてごみ焼却炉でのARモデル制御を紹介し、パッケージソフトウェアの内容および、実際に本ソフトを使用した運転データの評価例について述べる。

2. ごみ焼却炉への適用

2.1 焼却炉プロセスの特長

図 1 はフィードバックシステム概念図であるが、一般に、フィードバックグループが存在する場合、一つの操作量を動かすとその影響が多くの状態量におよび、再び操作量を動かす繰り返しとなり因果関係が明確で無くなり、特定の影響を分離して推測することが難しくなる。ごみ焼却炉の場合、システム A がダンパヤストーカを操作するシステムで、 $y(s)$ がその出力である。システム B が蒸発量を増減するシステムで、 $x(s)$ が蒸発量の信号である。また、 $u(s)$ 、 $v(s)$ はシステム A、B に付加される雑音の和を示す。これは蒸発量を例にとった焼却炉のフィードバックシステムであるが、他の燃焼室温度、 O_2 濃度についても同様のことであり、ごみ焼却炉

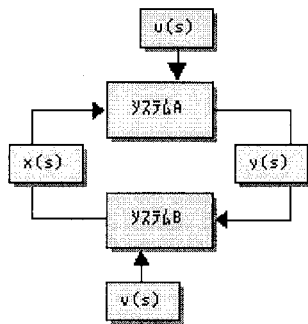


図1 フィードバックシステム概念

フィードバックシステムといえる。

2.2 多変数自己回帰モデルの基本式

定常確立過程の時刻 n における値 $X(n)$ が n 時刻より以前の値 $X(n-m)$ の線形結合で表されるとするとき、この関係を表す統計モデルを自己回帰モデル (AR モデル) といひ次式で表すことができる。

$$X(n) = \sum_{m=1}^M A(m) \cdot X(n-m) + U(n) \dots\dots (1)$$

ここで、

- システム変数ベクトル : $X(n) = [X_1(n) \ X_2(n) \ \dots \ X_k(n)]$
- 自己回帰係数行列 : $A(m) = k * k$ の行列
- 白色ノイズベクトル : $U(n)$
- 回帰次数 : M

自己回帰係数行列 $A(m)$ は白色ノイズベクトル $U(n)$ の各要素の分散値が最小になるように、モデル次数 M は

最終予測誤差が最小になる M を選ぶ。

制御に適用するため (1) 式の AR モデル表現を状態空間表現に変換する。

$$Z(n) = \Phi \cdot Z(n-1) + \Gamma \cdot Y(n-1) + W(n) \dots\dots (2)$$

ここで、

- 状態変数ベクトル : $Z(n)$
- 状態遷移行列 : Φ
- 操作変数ベクトル : $Y(n)$
- 操作行列 : Γ
- 白色ノイズベクトル : $W(n)$

上記 (2) 式より現在までの状態量および操作量により、次の時刻の状態量を予測することができる。

次に、最適制御系を設計するにあたり、線形 2 次形式評価関数を考える。

$$J_I = E \sum_{j=1}^I \{ (Z^T(j) \cdot Q \cdot Z(j) + Y^T(j-1) \cdot R \cdot Y(j-1)) \} \dots\dots (3)$$

ここで、 $Z^T(j)$ は $Z(j)$ 、 $Y^T(j-1)$ は $Z(j)$ 、 $Y(j-1)$ の転置ベクトル、 Q と R はそれぞれ Z と Y の各要素の変動に制約を与える重み係数行列、 E は期待値をあらわす。(3) 式の評価関数 J_I を最小にするような $Y(j)$ の列を DP 法 (ダブ付ミックプログラミング法) により計算する。こう

$$Y(n) = G \cdot Z(n) \dots\dots (4)$$

して得られた最適操作量はゲイン行列 G として表される。

上記 (4) 式により、制御の目的に応じた形で重み係数行列 Q 、 R を設定することにより制御値 Y の強弱の調整を行なうことができる。

2.3 ACC・AR 協調制御

ごみ焼却炉をフィードバックシステムの多変数制御系と考え、AR モデルによるモデル化を行ない、プロセスの各状態変数、操作変数間の相互関連および因果関係を動的に数式化し、モデル化することにより各状態の予測を行い、各種の事前操作を行なうことにより燃焼状態の安定化を図るものである。

また、制御システムとしては、PID 制御を各セクシ

ョンごとに適用した従来の自動燃焼制御システム（ACC）とARモデル制御との統合によるACC・AR協調制御の構成により、極めて高度なかつ安定した制御結果がえられる。図2はACC・AR協調制御システムの概念図を示す。

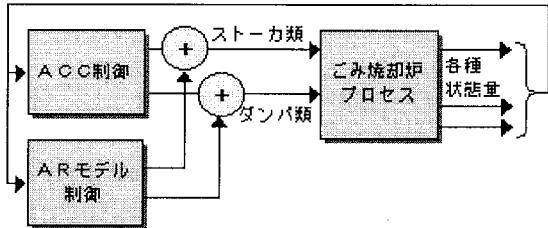


図2 ACC・AR協調制御システム

ACC・AR協調制御の特長として

- 1) 操作量の無用の動きを抑えながら制御量の変動幅をおさえる最適制御を行なう。
 - 2) 一定値に保たれるべき制御量についてはACC制御の積分動作が働き制御量の平均値からの偏差を少なくしようとAR制御が働く。
 - 3) 1)・2)より従来のACC制御単独に比べ蒸発量、O₂濃度などの同時制御が行なえ、安定した燃焼制御が行なえる。
- などが掲げられる。

3. パッケージソフトの内容

ARモデルによる解析と制御系の設計は基礎的ではあるが簡単ではない。本ソフトウェアパッケージはその労力を大幅に軽減できることに意義があると考える。

そのパッケージソフトの内容を紹介する。

3.1 パッケージソフトの特長

本ソフトウェアの特長を次に示す。

- 1) 多くの経験、ノウハウを活かし現場技術者が使い易い。
- 2) 同定から解析・制御そして評価まで一連の手順で行なえる。
- 3) Windows95での開発によってMMI（マンマシンインターフェース）がビジュアル感覚であり煩雑な操作も簡単に、分かり易い、操作となっている。
- 4) 他システムとの接続を容易に行なえるように、イーサネットでのTCP/IPインターフェースを組み込んで

でいる。

- 5) データが他のOAツール（例えば、EXCEL、Editor機能等）との互換性を有し、解析データの利用範囲が広い。
- 6) パソコンの使用により、コストが安価で手軽に取り扱いができる。

3.2 システム構成

本パッケージソフトのシステム構成について説明する。

図3は接続形態のシステム構成を示し、図4は開発したソフトウェアの構成を示す。

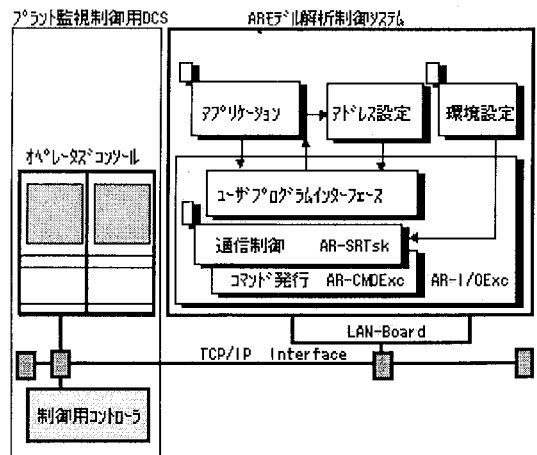


図3 システム構成

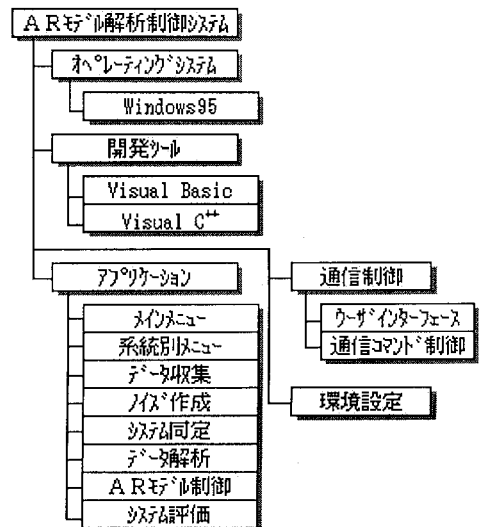


図4 ソフトウェア構成

図 3 より、他システム（プラント監視制御用 DCS）が変わっても「コマンド発行 AR-CMDExc」機能部分だけを相手のインターフェースに合わせてカスタマイズを行なうか或いは、相手システムが「コマンド発行 AR-CMDExc」のインターフェースに合わせて開発することにより、全体のシステムとしては変更ないため、非常に簡単に他のシステムと接続可能となる。

図 4 より、OS（オペレーティングシステム）及び開発ツールは汎用ソフトで、グラフィカルな MMI をもち、同時に、システムの機能により動的プログラムと静的プログラムとに切り分け開発したため、保守・メンテナンスが分かりやすく、容易である。

アプリケーション画面の一部を図 5 から図 7 に示す。

図 5 は、システム全体のメニュー画面。

図 6 は、システム同定時のトレンドグラフ表示画面。

図 7 は、データ解析処理のメニュー画面。

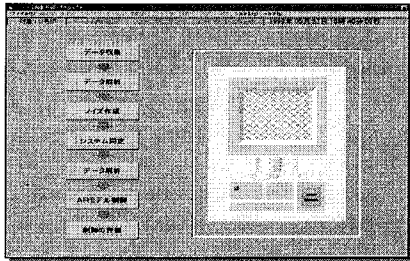


図5 メニュー画面

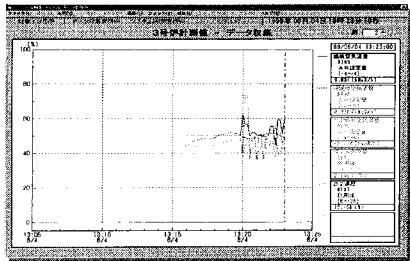


図6 トレンドグラフ表示画面

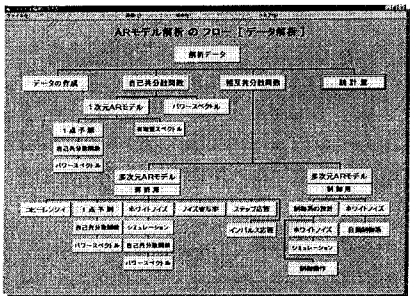


図7 データ解析メニュー画面

4. AR モデル同定・解析・制御の実際

本ソフトウェアを使用し、ACC・AR 協調制御を行なう場合の手順を説明する。

4.1 システム同定

- 1) 操作端（操作変数）を選択し、ノイズデータを作成する。
- 2) 作成したノイズデータを操作端に印加し、燃焼状態を励振させその状態のデータを収録する。
ノイズデータを印加する場合には、炉のプロセス特性がはっきり出るよう充分にノイズデータを印加することにより、後々のデータ解析における良いデータとなり得る。

4.2 データ解析

データ解析は、システム同定にて収録したデータを用い、最適制御である AR モデルを作成する。

以下、その手順を説明する。

- 1) システム同定にて収録されたデータより、解析にて使用するデータの抽出を行なう。
- 2) 抽出されたデータに対して、データの変動を周期性の面から見た場合のスペクトル解析や、操作変数と被制御端（被制御変数）との相関関係（相互共分散、ノイズ寄与率、ステップ応答等）を調べることでプロセスの変動をチェックする。
- 3) 2) より共線性のある変数を除き、2.2 の(1)式で定義される k 次元 AR モデルをあてはめ、自己帰帰係数 A (m) および次数 M を求める。
- 4) AR モデルのあてはめが終了した後、2.2 の(3)式にて最適ゲイン G を、(4)式にて最適操作量を演算し、最適 AR モデルを完成させる
- 5) 図 8 に示すよう、完成されたモデルにより ACC・AR 協調制御を行なう。

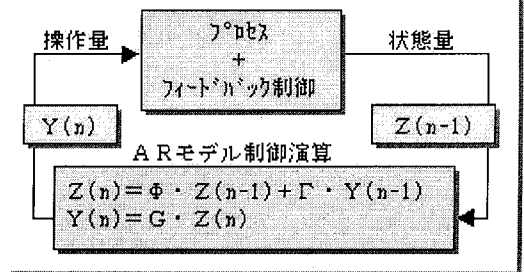


図8 ACC・AR 協調制御の概念

4.3 システム評価

図9は、実炉でのARモデル制御を行なったときの、ボイラ蒸発量の実験結果である。

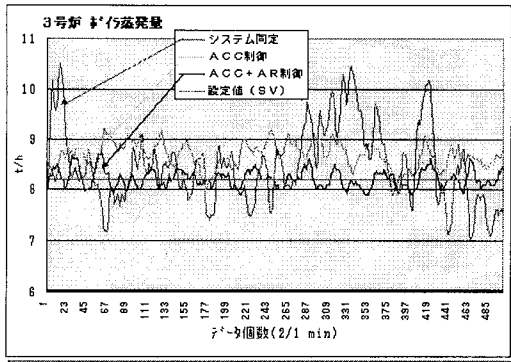


図9 ボイラ蒸発量

ボイラ蒸発量の設定値（SV値）はこの時 8.2 t/h 設定であった。

ACC単独制御と、AR制御を付加した場合のデータを比較すると、

ACC単独制御の場合は、

$$\text{平均値} = 8.686 \text{ t/h}$$

$$\text{標準偏差} = 0.246$$

ACC+AR制御の場合は、

$$\text{平均値} = 8.218 \text{ t/h}$$

$$\text{標準偏差} = 0.170$$

となりほぼ設定値を中心に制御が働いていることから、よいモデルが作成されたと確認できる。

5. おわりに

本ソフトウェアパッケージを使用して、解析・制御の一連の作業がスムーズに行なえ、かつ実際の制御において、非常に良い結果が得られた。

ただ、ARモデルの良し悪しは、システム同定の良し悪しにかかっているが、システム同定については多くの労働と時間を費やすため、この過程での労働と時間の作業短縮が残された課題だと思う。

本ソフトウェアパッケージは、故津村先生の御指導のもと開発したものであります。

最後に、多大な御指導および御協力を頂いた、関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 平岡正勝、津村和志ら：「環境システムの制御と管理」、環境システム計測制御自動化研究会、1994年
- 2) 平岡正勝、藤原健史、津村和志、高市克己、辻本進一：「自己回帰モデルによる都市ごみ焼却炉の多目燃焼制御について」、都市と廃棄物、1986年 Vol. 16 No. 9
- 3) 赤池弘次、中川東一郎：「ダイナミックシステムの統計的解析と制御」、サイエンス社、1972年
- 4) 赤池弘次、北川源四郎編：「時系列解析の実際1」朝倉書店、1994年
- 5) 辻本進一、高市克己、久保田孝、水本末敏、津村和志、藤田逸朗、永吉明：「ARモデル解析・同定・制御ソフトウェアパッケージの開発」、タクマ技法、1998年 Vol. 6 No. 1

