

○京都大学工学部 学生会員 藤原健史
京都大学工学部 正会員 平岡正勝 津村和志
株式会社タクマ 高市克己 辻本進一

1. はじめに

昨今窒素酸化物 (NO_x) は環境問題として注目されており、都市ごみ焼却炉もその発生源の1つとして何らかの対応が要求されている。近代的な都市ごみ焼却炉の多くは、燃焼効率を良くし、発生する熱を利用して安定した蒸気を得るためにACC装置 (Auto Combustion Control) を備え付けているので、そのACCとNO_x制御を組み合わせることが望まれる。そこで、我々は多入力多出力系を扱うことのできる自己回帰モデル (ARモデル) に注目し、蒸発量制御とNO_x低減運転を行うことに目標をおいた。その第一段階として、都市ごみ焼却炉での燃焼メカニズムを解析する意味で、ACCの作動していない状態でシステム同定とその解析を行ったのでその結果をここに報告する。

2. ARモデル¹⁾

都市ごみ焼却炉のようなフィードバック系を含むシステムを解析する場合、周波数領域で見るよりも時間領域でみるほうが現象をつかみやすい。ARモデルは、多変数の時系列を過去の値の線形成分と雑音成分との和によってあらわすモデルである。そのとき自己回帰係数は、残差の分散を最小にするように決められ、モデルの次数は赤池の最小予測誤差から決められる。

3. ARモデルによる同定と解析

低負荷時 (68%負荷) と高負荷時 (84.9%負荷) の手動運転による同定実験を行った。10秒間隔の3回のデータを平均して1データとすることにより、サンプリング周期30秒として連続した3日間のデータを32の測定点で収録した。以下にARモデルによる同定と解析を手順に従って説明する。

(A)同定前の変数選択作業

ARモデルに当てはめる変数を選び出すため、信頼性の低い変数は削除し、グラフを比較して明らかに共線性を持つものを削除した。その結果表1(1)に示す13変数に絞り込んだ。変数の測定位置を図1に示す。

(B)変数の周波数特性

それぞれの変数の特性を調べるためにパワースペクトルを求めた。蒸発量とNO_xは、周期が40分以上の低周波数帯に強いパワーを持ち、NO_xはさらに11分から40分までに弱いパワーを持っていることがわかった。このことから、蒸気流量とNO_xを制御する場合に低周波成分に着目する必要がある。データのサンプリング間隔は低周波数帯のスペクトルを損なわない範囲で決めればよい。今回の実験では4分平均のデータを解析することにした。

表1 ARモデルによる同定のための変数リスト

変数番号	変 数 名	記号	解析番号		
			1	2	3
			被制御変数 (制御の対象となる変数)		
①	ボイラ蒸発量	STM	○	○	○
②	O ₂ 12% 窒素酸化物 (NO _x) 濃度	NOX	○	○	○
操作変数 (装置を動かすための変数)					
③	押し込み送風機(FDF)出口空気量	FDF	○	○	○
④	炉出調節用(CDF)空気量	CDF	○	○	○
⑤	蒸気量制御ダンパ	FD1	○	x	x
⑥	乾燥ストーカー空気ダンパ	FD2	○	○	○
⑦	乾燥段ストーカー速度	CTS	○	○	○
⑧	乾燥段ストーカー速度	DTS	○	x	○
参考変数 (その他の測定した変数)					
⑨	第1燃焼室ガス温度	GT4	○	x	x
⑩	乾燥段上ガス温度	GT1	○	○	○
⑪	乾燥ストーカー下ドラフト	CTD	○	x	x
⑫	乾燥ストーカー下ドラフト	DTD	○	x	x
⑬	排ガス酸素濃度 (O ₂)	O2	○	x	x

(注) ○を付けたものがARモデルで同定した変数

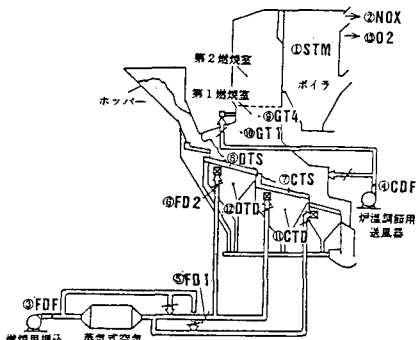


図1 都市ごみ焼却炉の構造と変数の測定位置

(C) ARモデルのあてはめ

低負荷時と高負荷時の13変数にそれぞれARモデルのあてはめを行った。その結果モデル次数はそれぞれ $M=6$ と $M=3$ となった。変数選択の適正さを確認するため、残差の正規化共分散値が0.3以上のものに共線性があるとして変数間の関係を調べた。それを図2に示す。負荷にかかわらず酸素濃度や温度、ドラフトは操作変数や被制御変数との正規化共分散が大きい。このような参考変数は、操作変数の動きに対応するためにシステム全体の総括指標という意味では重要であるが、モデル同定には精度をそこなうので、変数の絞り込みをおこなった。またFDF出口空気量、蒸発量制御ダンパ、乾燥段ストーカー下ドラフトの間の正規化共分散は、負荷にかかわらず高い値を示している。これら変数の間に共線性のあることは妥当であり、モデルあてはめ時には、3つのうち1つだけ採用する。

(D) ノイズ寄与率の計算

上記解析の結果、低負荷時では表1(2)に示す7変数でノイズ寄与率を求めた。その結果を図3(a)に示す。蒸発量をみると、低周波数帯で乾燥段ストーカー速度からの非常に大きな寄与があり、FDF出口空気量からは中～高周波数帯で小さいが安定した寄与がある。また NO_x は、低周波数帯で乾燥段ストーカーからの寄与があり、特にFDF出口空気量からは低～中周波数帯で寄与がある。さらに蒸発量からの寄与が大きいため蒸発量が安定すれば NO_x も安定すると考えられる。この低負荷時の実験ではCDF空気量は、自然通風状態で行ったため顕著な影響がでなかった。また高負荷時の表1(3)に示す8変数でノイズ寄与率を求めた。その結果を図3(b)に示す。蒸発量をみると低負荷時と同様、低周波数帯での乾燥段ストーカー速度からの寄与がある他に、CDF空気量が低～高周波数帯で大きく寄与している。 NO_x についても低負荷時と同様、低周波数帯で乾燥段ストーカー速度とFDF出口空気量とが寄与しており、さらにCDF空気量の大きな寄与がある。また NO_x には、乾燥段上ガス温度が低周波数帯で寄与している。この乾燥段上ガス温度は、低負荷時には乾燥段上ガス温度と同じ動きをしていたが、高負荷時には固有の雑音で動くことがわかった。

4. おわりに

ノイズ寄与率から変数間の関係を図示すると図4のようになる。低負荷時において、蒸発量に寄与する変数が乾燥段ストーカー速度だけということと、 NO_x へ低周波数帯での寄与があることから、まず蒸発量を乾燥段ストーカー速度をコントロールして安定させ、さらに NO_x をFDF出口空気量でコントロールする制御系が考えられる。また高負荷時には、蒸発量と NO_x の間に寄与がないため、別々にコントロールし、同時にFDF出口空気量とCDF空気量のバランスを考えればよい。そして常に乾燥段上ガス温度に注目する必要がある。

参考文献 1) 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

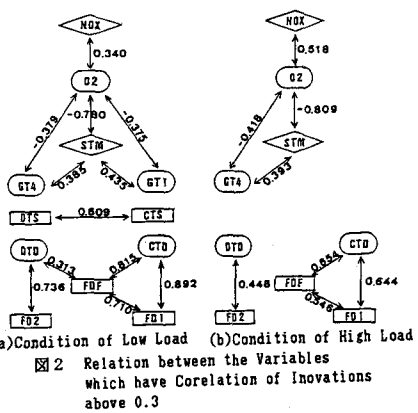


図2 Relation between the Variables which have Correlation of Innovations above 0.3

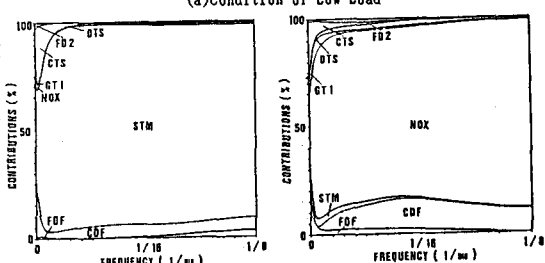
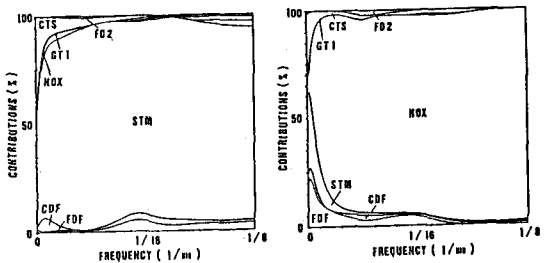


図3 Noise Contributions

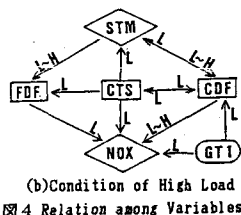
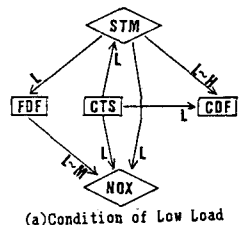


図4 Relation among Variables