

II-482

都市ごみ焼却炉におけるNOx片側制御方式に関する研究

○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

環境問題に係わる因子を制御するときには、その分散値を小さくすることよりも絶対量を最小に抑えることが重要となる場合が多い。都市ごみ焼却炉における被制御変数のうち、蒸発量や炉温は一定値制御が目的であるのに対し、NOxは極力抑えることが目的となる。自動燃焼制御(ACC)と自己回帰モデル(ARモデル)制御を協調させた最適制御系⁽¹⁾⁽²⁾では、蒸発量を安定に保ちながらNOxの分散値を小さく抑えることができたが、さらにNOxの平均値も下げることができる制御系を実現することが望ましい。そこで、その制御系の一案であるNOxの片側制御方式について検討した。

2. NOx片側制御方式

最適フィードバックゲイン行列 G_1 (以下、ゲインという)は、次の(1)式に示す二次評価基準を用い、 J_1 を最小にする操作量ベクトル Y_s ($s=1..2,1$)をダイナミック・プログラミング法で解くことにより、最終的に(2)式で与えられる。ここで Z_s はシステムの状態量ベクトル、 Q 、 R は重み行列である。

$$J_1 = E \{K_1\}$$

$$K_1 = \sum_{s=1}^2 \{Z_s' Q Z_s + Y_{s-1}' R Y_{s-1}\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

('は転置行列を表す)

$$Y_s = G_1 Z_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

この評価基準を用いると、得られたゲインは被制御変数が平均値よりも高いものに対してはそれを下げようとする操作量を、平均値よりも低いものに対しては引き上げるような操作量を生み出す。そのため、NOxの場合には平均値より低い時に本来の目的の逆の操作が行なわれることになる。実際にはNOxが平均値より下回った時には、蒸発量の制御だけを目的とした操作を行えばよい。そこでNOxの平均値を境として制御対象を切り替えるNOxの片側制御方式なるものを考えた。これはNOx・蒸発量を制御対象とするゲインと蒸発量単独を制御対象とするゲインを、NOxの値により切り替える方法であり、モデルや最適制御系の設計方法を変えことなく簡単に対応できるという利点を持っている。ゲインの計算にあたっては、制御時にゲインを切り替えても操作量のレベルが急激に変化することがないように、それぞれのゲインを用いた制御シミュレーションにおいて、操作量の分散値が指定した値(以下、目標分散値と呼ぶ)となるようなゲイン計算方法をとることにした。

3. 制御シミュレーションと実炉での制御実験

焼却量200(ton/day)の都市ごみ焼却炉を対象とし、低負荷(13.5ton/hr)・ACC作動状態で行ったシステム同定実験の結果からARモデルを作成し、表1に示す蒸発量単独制御(B)とNOx・蒸発量同時制御(C)(D)のゲインを作成した。ここでモデル変数は、被制御変数に蒸発量(STM)とNOx(NOx)、参考変数に後燃焼段上ガス温度(GT7)、操作変数に蒸発量制御ダンパ開度(FDIN)、FDFダンパ開度(FDFN)、CDFダンパ開度(CDFN)、ストーカ速度(CTSN)とした。またゲイン設計時の操作量の目標分散値は、同定実験でシステムに入力したノイズの分散値 σ^2 と等しいかあるいは2倍程度とした。ゲインを0としたものはACC単独制御(A)に相当するから(A)の制御シミュレーション結果を基準にすると、(C)(D)はNOxに対して制御効果が大きくなるように調整されていることがわかる。NOx片側制御(E)(F)のゲインは、上述の(C)と(B)、(D)と(B)のゲインの組合せである。その制御シミュレーション結果では、(E)(F)のNOxの平均値は、(C)(D)に比べてそれぞれ2.2、3.5(ppm)減少していることがわかる。ゲインの切り替えを行うとNOxの分散値が上昇すること、蒸発量の分散値がわずかに減少することなどは妥当な結果と考えられる。次に求めたゲインを用いて実炉で制御実験を行った。表2はその結果である。NOx片側制御時のNOxの平均値は、ACC単独制御(A)、あるいはNOx・蒸発量同時制御(D)に比べて1~5(ppm)だけ減少しており、NOxの

表1 制御シミュレーションの結果

制御系の種類	制御系の記号	操作量の目標分散値	O ₂ 12%NO _x 濃度		ボイラ蒸発量	
			平均値 (ppm)	分散値 (ppm) ²	平均値 (ton/hr)	分散値 (ton/hr) ²
ACC単独制御	(A)	—	10.3	192	-0.140	0.79
蒸発量単独制御	(B)	$\sigma^2 \times 1$ 倍	7.28	170	-0.285	0.69
NO _x ・蒸発量同時制御	(C)	$\sigma^2 \times 1$ 倍	1.79	81	0.056	0.74
	(D)	$\sigma^2 \times 2$ 倍	1.22	59	0.048	0.78
ゲイン組合せ NO _x 片側制御	(E)	$\sigma^2 \times 1$ 倍	-0.43	104	0.100	0.70
	(F)	$\sigma^2 \times 2$ 倍	-2.29	101	0.040	0.73

表2 制御実験の結果

実験番号	対応する制御系の記号	実験時間	O ₂ 12%NO _x 濃度				ボイラ蒸発量	
			最大値 (ppm)	最小値 (ppm)	平均値 (ppm)	分散値 (ppm) ²	平均値 (ton/hr)	分散値 (ton/hr) ²
1	(A)	—	135	75.3	107	115.2	13.3	0.621
2	(D)	11時間38分	134	87.2	107	48.9	13.4	0.530
3	(E)	6時間0.5分	127	73.9	104	88.2	13.4	0.547
4	(E)	4時間	119	82.2	101	45.8	13.2	0.593
5	(F)	10時間59分	131	84.7	106	68.1	13.0	1.16

分散値は、ばらつきが見られるものの(A)よりかなり低くなっている。また蒸発量の分散値は、(F)を除いて(A)よりも小さくなっている。被制御変数のNO_xは、文献(1)のノイズ寄与率に見られたように、同じ被制御変数である蒸発量からの寄与が大きく、両者の操作量を分離することは不可能であることを示している。そのためNO_xを制御対象からはずしても、蒸発量が安定するように操作すれば、自然とNO_xも平均値へ引き上げられることになる。それがNO_xの平均値の大幅な低下が見られなかった理由と考えられる。

5. さいごに

NO_x片側制御方式によってNO_xの平均値が数ppm減少することを制御シミュレーション及び実炉の制御実験で確認した。NO_x制御と蒸発量制御に対する操作の独立性が低いため、大幅な減少は見られなかった。そのことから、NO_xを低いレベルで安定させるためには、制御をかける以前のごみの燃やし方、空気の入れ方、気流の流れ、温度などの、NO_x抑制にかかわる条件を十分検討して低NO_x運転を実施し、そのうえでAR制御をかけてNO_xを安定させることが基本となることがわかった。今後、炉温など新たな被制御変数に組み入れていった場合には、再びこの片側制御方式を検討する必要がある。

参考文献 1) 藤原健史 他、"ADC方式による都市ごみ焼却炉のNO_x及び蒸発量の同時制御に関する研究"、土木学会第41回年次学術講演会講演概要集、1986/11

2) 藤原健史 他、"都市ごみ焼却炉のACCとAR制御の協調による蒸発量及びNO_xの同時制御に関する研究"、環境衛生工学研究 第一巻、1982/3