

ごみ焼却炉ファジィ制御を使った燃焼制御システムの実運用結果

奥秀一 黒澤和重 鈴木潔

(株)荏原製作所 エンジニアリング事業本部 環境プラント事業部 制御システム部
東京都港区港南1-6-27

概要

ダイオキシンをはじめとした排ガス中の微量有害物質については規制が厳しくなる傾向にあり、ごみ焼却炉においては厳密な完全燃焼が要求され、それに対応した燃焼制御が必要になっている。

そこで燃焼制御用の計算機の性能を生かし、微量有害物質の排出を最小限にするための制御ソフトの開発及び制御システムの構築を行った。

キーワード

ファジィ制御、ごみ焼却炉、安定燃焼制御、オンライン、リアルタイム

1. はじめに

ごみ焼却炉からの微量有害物質の排出を抑制するには、ごみの安定燃焼制御が最重要課題となる。このためには、ごみ質の変動に起因する燃焼状態の変動をとらえ、常に最適な燃焼空気量の設定値と、最適なごみ供給量の調整を行う必要がある。

しかしながら、手動運転では一定短時間周期で焼却炉の多くのプロセス測定値を把握し、常に最適な燃焼空気量の設定と、ごみ供給量の変更を行うことは不可能である。

I市の全連続式水噴霧ストーカ焼却炉(120t×2炉/日)では最適制御を目的とし、さらには運転員の操炉作業の負担を軽減するため、ファジィ推論を利用した燃焼制御システムを開発した。

これは、燃焼用空気量のPIDコントローラの設定値に補正値を与え、給じん装置と、3つの部位に分かれたストーカの速度を自動的に変更する燃焼制御方法である。

以下本制御方法について、説明をする。

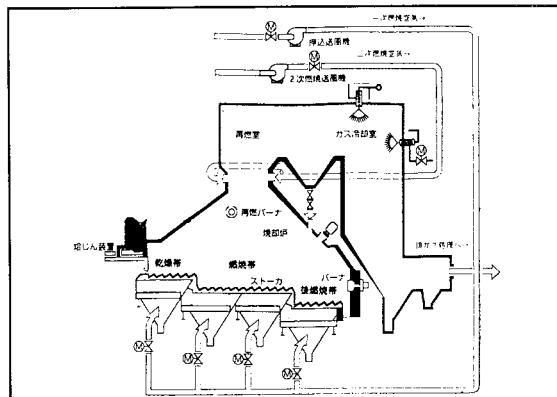


図1 プラント簡略フロー図

2. ファジィ制御システム

2. 1 ファジィ制御パッケージソフト

今回採用したファジィ演算ソフトは、通常、自動制御を行っているDCSの標準のパッケージソフトであり、以下の特長を有している。

- (1) 最大128通りの制御規則を登録できる。
- (2) 制御規則及び前件部、後件部のメンバシップ関数は、オンライン、リアルタイムで変更できる。
- (3) オンライン、リアルタイムで推論結果を見ながら制御規則等のチューニングが可能である。

2. 2 ファジィ推論への適用方法

ごみの安定燃焼を目指す場合、熟練した運転員であれば主に次のようなプロセス状態を監視し操炉を行う。

- (a) 焼却炉出口の排ガス温度
- (b) ストーカ上での燃焼完結点(燃え切り点)
- (c) 各ストーカ上のごみ層厚(特に乾燥ストーカと、燃焼ストーカ)
- (d) ガス冷却室出口ガス温度
- (e) 排ガス中のCO、O₂濃度

上記のようなプロセス状態を監視し、そのフィードバックとして以下のような操作を行う。

- (S1) 燃焼空気として、ストーカの下部から炉内に供給する一次燃焼空気量
- (S2) 主に未燃ガス再燃焼用として、炉出口付近で炉内に供給する二次燃焼空気量
- (S3) 炉内へごみを供給する給じん装置の速度
- (S4) 乾燥ストーカの速度
- (S5) 燃焼ストーカの速度

これらのことを加味し、本燃焼制御のファジィ演算では以下のプロセス値をファジィの入力部分つまり前件部として取り込んでいる。

- (a) 炉出口ガス温度の予測値を算出し、その予測値と設定値からの偏差
- (b) 燃焼完結点の予測値を算出し、その予測値と設定値からの偏差
- (c) 乾燥ストーカのごみ層厚の予測値
- (d) 燃焼ストーカのごみ層厚の予測値
- (e) 排ガスO₂濃度の予測値を算出し、その予測値と設定値との偏差
- (f) ガス冷却用に噴射している、水噴射水量の予測変化率
- (g) ガス冷却室出口温度の予測値を算出し、その予測値と設定値との偏差

ここでは一般的な予測値の算出法を用いて、ファジィの前件部としている。

制御対象となるプロセスは時時刻々と状態変化をしており、現在プロセス値に対して出力を行うという制御法では常に時間遅れを生じるからである。また、ある瞬間値をファジィの前件部にすることは、たまたまプロセス値として異常な値を取り込んでしまうという危険性があるので、多少加工した値を使う必要がある。

次にファジィの出力(結論部)として、以下の項目を出力先としている。

- (S1) 総燃焼空気量の設定値(一次燃焼空気量と二次燃焼空気量の設定値の和)
- (S2) 二次燃焼空気量の設定値
- (S3) 給じん装置の速度の設定値
- (S4) 乾燥ストーカの速度の設定値
- (S5) 燃焼ストーカの速度の設定値

3. ファジィ推論の燃焼制御システムへの適用

3. 1 空気量の設定値変更について

一次燃焼空気量は乾燥ストーカ下部より供給する空気量の設定値、燃焼ストーカ下部より供給する空気量の設定値に振り分けられるので、(S1)の変更によりこれらの空気量の設定値を全て変更することになる。

また、二次燃焼空気量の設定変更も行われるが、(S2)の変更により更に細かく二次燃焼空気量の設定値を変更している。

総燃焼空気量と二次燃焼空気量の設定値変更タイミングはそれぞれ異なるタイマーを保有している。

なお、総燃焼空気量の一次燃焼空気量と二次燃焼空気量の振り分け比率と、一次燃焼空気量の乾燥帯と燃焼帯への振り分け比率はあらかじめ比率設定が出来ようにしている。

3. 2 給じん装置、各ストーカの駆動回数変更について

給じん装置及び各ストーカの駆動回数を変更するタイミングも上記と同様にタイマーを保有している。

3. 3 各設定値変更タイミングタイマーについて

上記に記述されている設定変更タイミングタイマーは全て変更タイミングが同時にならないようにスパンが決められており、更に長時間本制御を使用しても、設定変更タイミングが同時にならないように工夫している。

このタイミングタイマーをそれぞれの設定変更先に合わせたスパンを決定することも重要な、チューニングの対象となる。

下記に図2として制御法の概略フロー図を示す。

図2において、1a~1gは全て予測値演算を表しており、2a、2bはガス冷却室出口温度と、排ガスO₂濃度の予測値と設定値の偏差計算、2cは噴射水量の予想変化率計算、2d、2eは炉出口ガス温度と燃焼完結点の予測値と設定値の偏差計算、2f、2gは乾燥帯、燃焼帯のごみ層厚演算を表している。

ファジィ演算は主に3つの部位に分かれ、その出力はT1~T3の各出力タイミングタイマーにより出力タイミングが決められる。また、P1~P4はPIDのワンループコントローラを表しており、空気量についてはその設定値に対して、補正出力を与える。

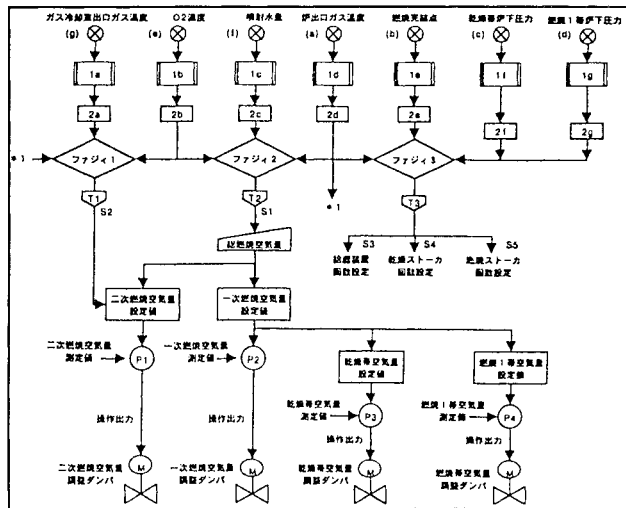


図2 制御概略フロー図

4. 本燃焼制御によるファジィ出力とその効果

4. 1 ファジィ推論による出力状況

図3はファジィ推論結果により、それぞれ設定された定周期のタイミングで、自動的に各空気量の設定

値が変更されている様子を示している。

図4は同様に、出力されたファジィ推論結果により給じん装置と、乾燥ストーカと燃焼ストーカの速度が、定周期で自動的に変更している様子が判る。

これらから、ファジィ推論によりあたかも熟練した運転員が細かく空気量の設定や、給じん装置及びストーカの駆動回数の変更を行っているかのように見える。

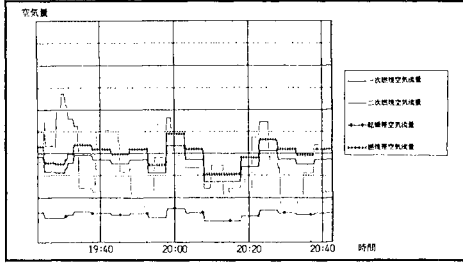


図3 空気量変更推移
(それぞれの空気量は同じスパンではない)

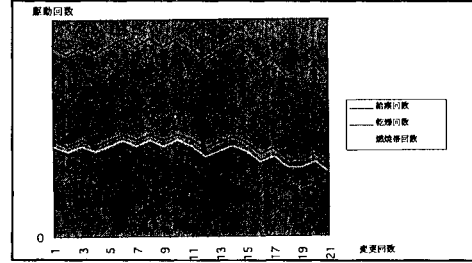


図4 駆動回数変更推移

4. 2 ファジィ推論による運転状況

右記の図5はファジィ推論を利用した燃焼制御による焼却炉の運転により、排ガスに含まれるO₂濃度、CO濃度の推移を表すグラフである。O₂濃度を前件部としたファジィ制御の効果により、O₂濃度が10~12%程度で安定していることが分かる。また、それに伴いCO濃度の推移も安定していることが分かる。

本燃焼制御起動中に、運転員による他号炉での運転のデータと比較したところ、特にO₂濃度に関しては、安定しているというデータが得られた。これは、ファジィ推論では、常に一定周期で燃焼空気量の設定値及び給じん装置と各ストーカの速度の補正値を出力しているが、運転員による操炉では、目立ったプロセス状態の変動が起きなければ、設定値の補正作業を行わないという操炉方法の違いに起因している。

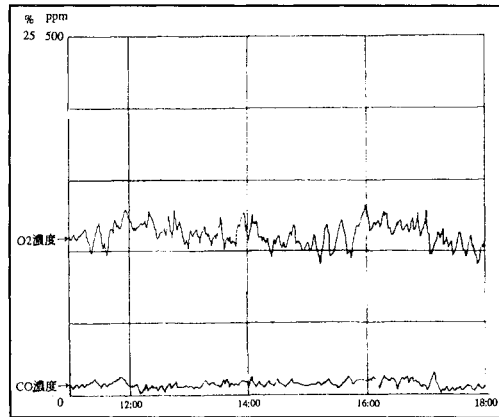


図5 (ファジィによる自動制御)

4. まとめ

今回データから、ファジィ制御による燃焼制御において、比較的安定したデータを得ることができた。また、運転員による操作が全く介在しない本制御のみの自動運転であっても、十分に焼却炉の操炉が可能であり、運転員の操炉作業の軽減がはかれることも実証できた。

今後も、さらに数多くのデータを蓄積し、微量有害物質の排出を最小減に抑えるべく、最適なメンバシップ関数及び制御規則を備えたファジィによる燃焼制御を構築していく所存である。