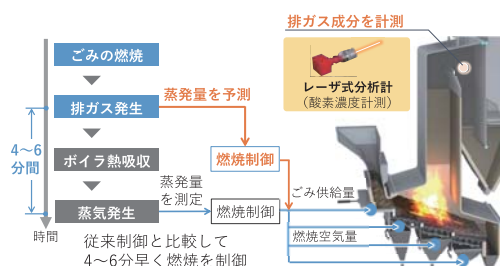


報 告

レーザ式排ガス分析計を用いたボイラー蒸発量のリアルタイム予測と制御への適用

Real-Time Prediction of Boiler Steam Flow Rate Using Laser Gas Analyzer and Its Application to Control



吉 本 慎 吾* 秋 山 仁*
Shingo YOSHIMOTO Jin AKIYAMA

【要 旨】 燃焼室出口に設置したレーザ式排ガス分析計を用いてリアルタイム測定した燃焼排ガスの O_2 濃度と炉内に供給している燃焼空気流量の測定値を用いて、従来方法よりも簡易にボイラー蒸発量を予測できる方法を考案した。本方法によるボイラー蒸発量予測値は、従来方法と同様にボイラー蒸発量実測値に対し4~6分先行して変動を検知できる。都市ごみ焼却プラントの自動燃焼制御でボイラー蒸発量実測値の代わりに本方法によるボイラー蒸発量予測値を用いて制御をおこなった結果、燃焼安定化により実測値を用いて制御した場合と比べてボイラー蒸発量の変動幅を約40%に低減でき、従来方法によるボイラー蒸発量予測値を用いた場合と同等の結果を得た。また、排ガス再循環設備の再循環ガス流量の制御にボイラー蒸発量予測値を適用した結果、再循環ガス流量制御をおこなわない場合に比べて発生 NO_x 濃度の変動が抑制され、触媒脱硝装置のアンモニア水使用量を約25%削減できた。

キーワード：レーザ式排ガス分析計，自動燃焼制御，ボイラー蒸発量， NO_x 濃度

Abstract

We have developed a method to predict boiler steam flow rate using the O_2 concentration of combustion gas measured in real time with a laser flue gas analyzer installed at the combustion chamber outlet and the combustion air flow rate supplied to the furnace. This method is simpler than conventional methods. The boiler steam flow rate predicted by this method can detect fluctuations 4 to 6 minutes ahead of the actual measured values, as with the conventional method. We used the predicted boiler steam flow rate by this method for automatic combustion control of a municipal waste incineration plant. As a result, we were able to reduce the boiler steam flow rate fluctuation by about 40% compared to the case using the measured boiler steam flow rate. The result was equivalent to the case of using the predicted boiler steam flow rate by the conventional method. In addition, we used the predicted boiler steam flow rate to the control of the recirculation gas flow rate for the exhaust gas recirculation system. As a result, we were able to control the fluctuation of the generated NO_x concentration and reduce the ammonia water used in the catalytic denitration system by about 25% compared to the case without recirculating gas flow rate control.

Keywords: laser gas analyzer, automatic combustion control, boiler steam flow rate, NO_x concentration

* 装置技術部
Mechanical Design & Engineering Dept.

1. は じ め に

都市ごみのように雑多な燃焼物を燃焼する場合、燃焼物の成分や組成のばらつきによる発熱量の変動、形状や大きさ、比重のばらつきによる供給量の変動があり、燃焼を安定させるためには工夫が必要である。安定燃焼をおこなうことはプラントの安定操業や、燃焼にともない発生する有害ガスの抑制だけでなく、ボイラー等で燃焼排ガスから熱回収して利用する場合において発電量や熱供給量を安定させる上でも重要である。都市ごみ焼却プラントの自動燃焼制御では、燃焼排ガスから熱回収した結果であるボイラー蒸発量を測定し、蒸発量が一定となるように燃焼物の供給量と燃焼空気の供給量を増減させることで燃焼の安定化を図っていた。

近年、プラントの高効率化やコストダウン、排出される有害物質のさらなる低減が求められる中で、当社では雑多な燃焼物を低空気比で安定燃焼させるべく燃焼技術の高度化に継続的に取り組んできた。このうち燃焼制御において、燃焼状態の変化がボイラー蒸発量実測値の変化として現れるまでに時間遅れがあり、かつ、細かい燃焼状態の変化を把握することが難しいという課題があった。これに対し、レーザ式排ガス分析計を用いて燃焼室出口排ガスの O_2 濃度と H_2O 濃度をリアルタイムで測定し、その測定値から燃焼物の発熱量を演算することで、ボイラー蒸発量実測値に対し数分先行して蒸発量の変動を予測する方法（以下、従来方法と記す）を考案し、蒸発量予測値の自動燃焼制御への適用により燃焼の安定性を大幅に改善してきた^{1,2)}。しかし、従来方法ではレーザ式 H_2O 計を設置する必要があること、演算が複雑であること、クレーンによる燃焼物の投入重量の移動平均値を演算で使用することにより生じる実際の燃焼量との誤差を補正する必要があることが課題であった。

そこで、当社ではさらなる検討をおこない、 H_2O 濃度およびクレーンによる燃焼物の投入重量を用いることなく、従来方法よりも簡易にボイラー蒸発量を予測できる方法を考案した。本稿では、新たに考案したボイラー蒸発量予測方法、および本方法による蒸発量予測値を自動燃焼制御に適用した結果について報告する。

2. ボイラー蒸発量のリアルタイム予測

2.1 ボイラー蒸発量の予測方法

ボイラーの蒸発量と入熱量は正の相関があり、蒸発量を安定させるためには入熱量を安定させる必要がある。入熱量の大部分は燃焼物の燃焼熱量であるが、都市ごみのような雑多な燃焼物では、変動をとまなう燃焼物の発熱量と燃焼量をリアルタイムで測定することは難しい。しかし、理論燃焼空気量であれば取得可能な運転データを用いて容易に演算することができる。また、理論燃焼空気量は燃焼物の成分と燃焼量によりきまる値であることから、ボイラー蒸発量と理論燃焼空気量は正の相関がある。そこで、運転データから演算した理論燃焼空気量を用いてボイラー蒸発量を予測することを考えた。

理論燃焼空気量は燃焼排ガスの O_2 濃度から演算される空気比（燃焼物の理論燃焼空気量に対する供給燃焼空気量の比率）と、その時に炉内に供給している燃焼空気量の合計値（燃焼排ガスの一部を炉内に吹き込む場合のように、酸素濃度が異なるガスを炉内に供給する場合は酸素量が等価となる相当空気量に換算して加算する）を用いて演算できる。また、ボイラー蒸発量と理論燃焼空気量との相関関数を用いることで、ボイラー蒸発量を演算できる。

$$\text{空気比}[-] = 21 / (21 - O_2\text{濃度}[\%-\text{dry}])$$

$$\text{理論燃焼空気量} [m^3_N/h]$$

$$= \text{供給燃焼空気量} [m^3_N/h] / \text{空気比}[-]$$

$$\text{ボイラー蒸発量} [t/h]$$

$$= \text{関数 } F(\text{理論燃焼空気量} [m^3_N/h])$$

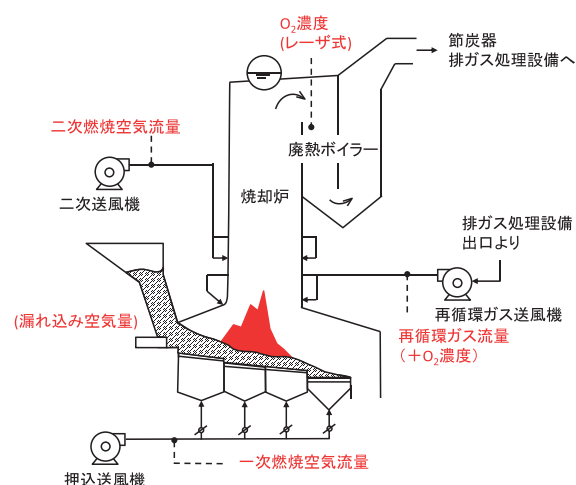


図1 ボイラー蒸発量予測演算で使用するインプットデータ

ボイラー蒸発量の演算で使用するインプットデータの概要を図1に示す。燃烧排ガスの O_2 濃度をリアルタイムで測定するため、燃烧室出口にレーザ式排ガス分析計を設け、その測定値を用いることにより実際の燃烧状態の変化に対して時間遅れなくボイラー蒸発量を演算することができ、ボイラー蒸発量実測値に対して先行して変化を予測することが可能となる。

2.2 ボイラー蒸発量の予測結果

実プラントの運転データを用いてボイラー蒸発量実測値、ならびに本方法により演算した理論燃烧空気量の変化率（グラフで示す6時間のデータの平均値を1としたときの比率）のトレンドグラフを図2に示す。理論燃烧空気量演算値はボイラー蒸発量実測値と同じ挙動を示し、かつ、ボイラー蒸発量実測値に

対し約5分先行している。また、理論燃烧空気量演算値は、燃烧している可燃分の燃烧量に応じた値であり、実際の燃烧状態の変化に応じた細かい周期の変動が見られる。

図2のデータを用いて、約5分の位相のずれを補正した後の理論燃烧空気量演算値とボイラー蒸発量実測値の相関グラフを図3に示す。両者は正の相関があり、本データから求められる相関関数を使うことにより、理論燃烧空気量演算値からボイラー蒸発量予測値を演算することが可能である。

本方法で演算したボイラー蒸発量予測値とボイラー蒸発量実測値、および比較として従来方法によるボイラー蒸発量予測値の変化率（6時間のデータの平均値を1としたときの比率）のトレンドグラフを図4に示す。本方法によるボイラー蒸発量予測値はボイラー蒸発量実測値に対し約5分先行している。ま

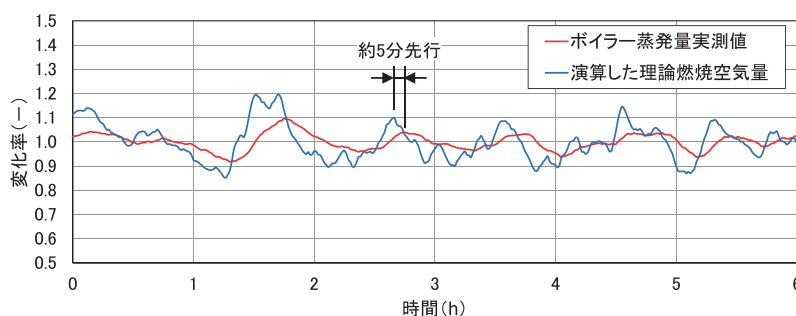


図2 ボイラー蒸発量実測値と理論燃烧空気量演算値のトレンドグラフ

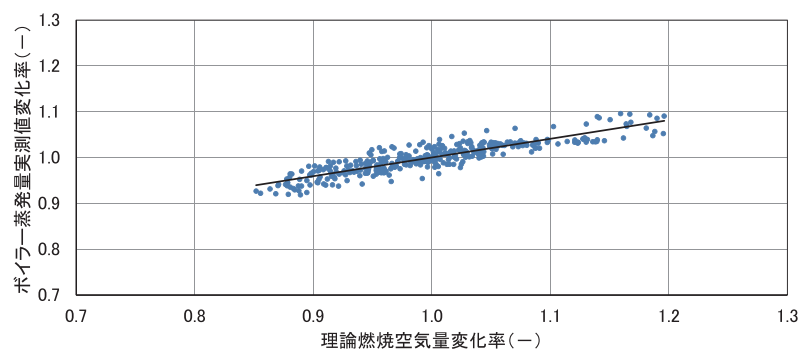


図3 ボイラー蒸発量実測値と理論燃烧空気量演算値の相関

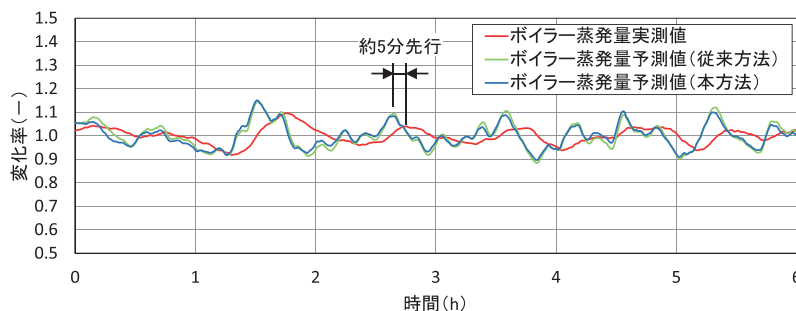


図4 ボイラー蒸発量実測値とボイラー蒸発量予測値の比較

た，従来方法によるボイラー蒸発量予測値と同じ挙動であり，本方法でも同等の予測が可能と言える。なお，ボイラー蒸発量予測値の先行性はプラントによって多少の差があり，概ね4～6分である。

3. ボイラー蒸発量予測値を用いた燃焼制御

都市ごみ焼却プラント A（処理能力 約 90 t/日・炉×2 炉）において本方法によるボイラー蒸発量予測値を燃焼制御に適用した事例を示す。

3.1 制御方法

ボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御ブロックの概略図を図 5 に示す。ボイラー蒸発量設定

値から演算したストーカ速度や燃焼空気量の基準量に対し，ボイラー蒸発量の設定値と予測値との偏差に応じて補正し各操作端を制御する。

3.2 制御結果

ボイラー蒸発量実測値を用いて自動燃焼制御をおこなった場合と，ボイラー蒸発量予測値を用いて自動燃焼制御をおこなった場合のボイラー蒸発量のトレンドグラフを図 6 に示す。また，データ比較を表 1 に示す。いずれの場合もボイラー蒸発量設定値となるよう制御できているが，変動幅はボイラー蒸発量予測値を用いた制御の方が小さく，標準偏差はボイラー蒸発量実測値を用いた制御では 0.45 t/h であるのに対し，ボイラー蒸発量予測値を用いた制御では 0.19 t/h となり，約 40% に低減できた。

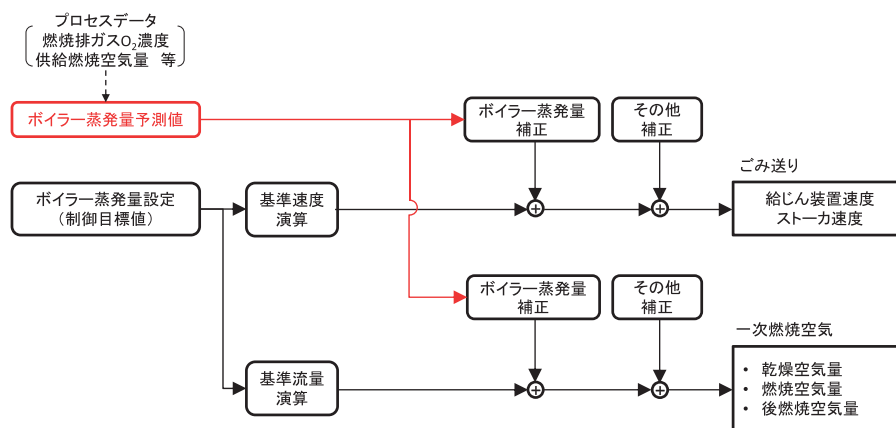
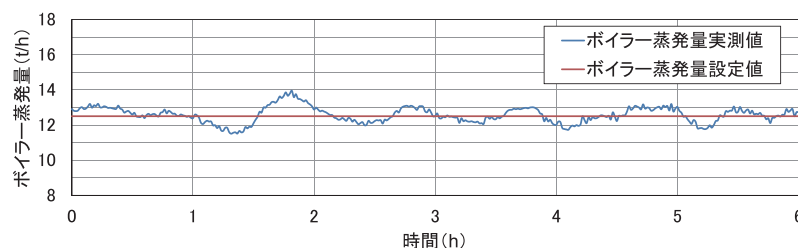
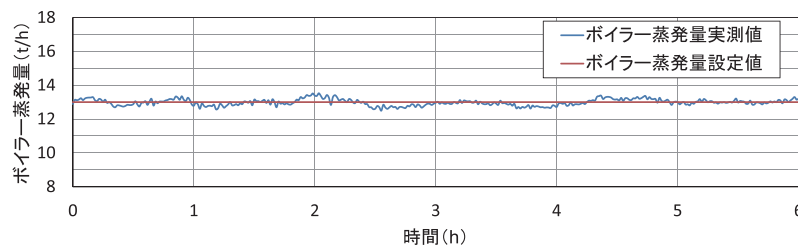


図 5 ボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御ブロック図



(a) ボイラー蒸発量実測値を用いた自動燃焼制御



(b) ボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御

図 6 ボイラー蒸発量制御の違いによるトレンドデータ比較

表1 ボイラー蒸発量制御の安定性比較

項目		単位	ボイラー蒸発量制御	
			実測値制御	予測値制御
ボイラー蒸発量	設定値	t/h	12.5	13.0
	平均値		12.6	13.0
	最大値		14.0	13.5
	最小値		11.5	12.5
	変動幅 (最大-最小)		2.5	1.0
	標準偏差		0.45	0.19

4. ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御

近年、低空気比燃焼をおこなうため、また、燃焼により発生する排ガス NOx 濃度を低減するために排ガス再循環³⁾を適用する施設が増えている。排ガス再循環を適用する場合において、従来方法によるボイラー蒸発量予測値を用いて再循環ガス流量を制御することにより発生 NOx 濃度の変動を抑制できることが報告されている⁴⁾。

都市ごみ焼却プラント B (処理能力 約 90 t/日・炉×2 炉) において、従来方法に代わり本方法によるボイラー蒸発量予測値を再循環ガス流量制御に適用した事例を示す。

4.1 制御方法

ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御ブロックの概略図を図7に示す。ボイラー蒸発量設定値から演算した再循環ガス流量の基準量に対し、ボイラー蒸発量の設定値と予測値との偏差に応じて補正をおこなった結果に基づき再循環ガス流量を制御する。具体的にはボイラー蒸発量予測値が上昇したときに再循環ガス流量を増やすよう制御をおこなう。

4.2 制御結果

再循環ガス流量を一定とした場合と、ボイラー蒸発量予測値を用いて再循環ガス流量を制御した場合の発生 NOx 濃度のトレンドグラフを図8に示す。

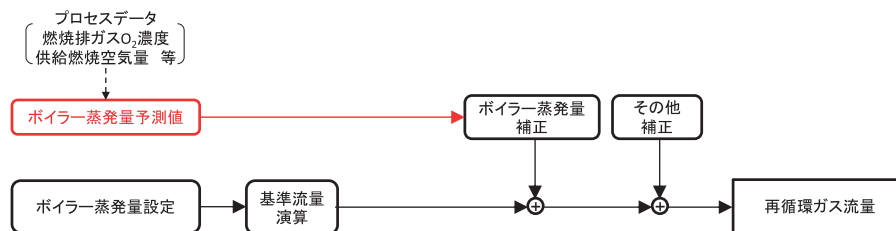
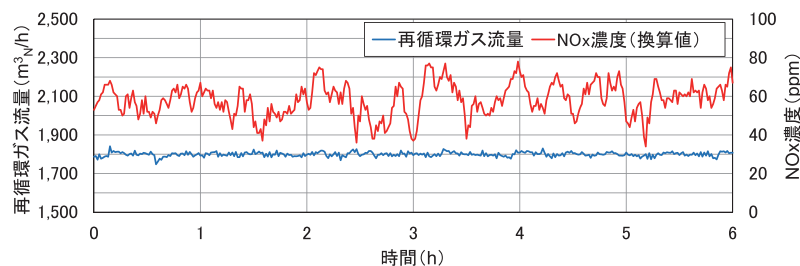
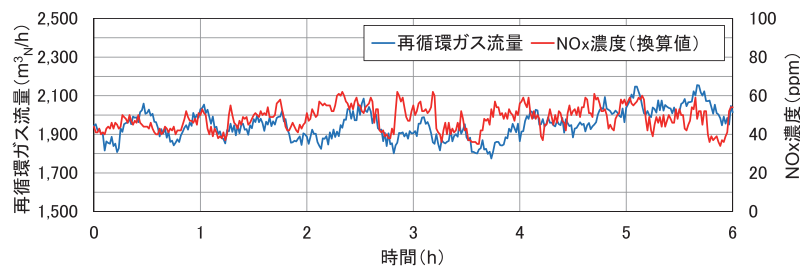


図7 ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御ブロック図



(a) 再循環ガス流量を一定とした場合



(b) 再循環ガス流量をボイラー蒸発量予測値を用いて制御した場合

図8 再循環ガス流量制御の有無によるトレンドデータ比較

表 2 ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御の効果

項 目		単位	再循環ガス 流量制御	
			一定	自動制御
再循環ガス流量	平均値	m ³ N/h	1,800	1,950
発生 NOx 濃度 (O ₂ =12% 換算)	平均値	ppm	58	48
	最大値	ppm	78	62
	最小値	ppm	34	34
	変動幅 (最大－最小)	ppm	44	28
	標準偏差	ppm	8.5	6.3
触媒脱硝装置 アンモニア水使用量	平均値	L/h	2.9	2.2

また、両者のデータおよび排ガス処理設備に設けている触媒脱硝装置のアンモニア水使用量の比較を表 2 に示す。ボイラー蒸発量予測値を用いて再循環ガス流量を制御した結果、発生 NOx 濃度の上振れを抑制でき、制御しない場合に対し発生 NOx 濃度の標準偏差は約 75% に低減された。それにより発生 NOx 濃度の平均値は 58 ppm から 48 ppm に下がり、触媒脱硝装置のアンモニア水使用量を約 25% 削減できた。

5. ま と め

燃焼室出口に設置したレーザー式 O₂ 計の測定値と炉内に供給している燃焼空気流量の測定値を用い、簡易にボイラー蒸発量をリアルタイムで予測する方法を考案した。本方法によるボイラー蒸発量予測値は実測値に対し 4～6 分の先行性があり、従来方法によるボイラー蒸発量予測値と同等の予測結果であった。本方法によるボイラー蒸発量予測値を都市

ごみ焼却プラントの自動燃焼制御に適用することにより燃焼を安定化させた結果、ボイラー蒸発量実測値を用いた制御に比べ蒸発量の変動幅を約 40% に低減できた。また、排ガス再循環をおこなうプラントにおいて再循環ガス流量の制御に適用した結果、発生 NOx 濃度の変動が抑制され、触媒脱硝装置のアンモニア水使用量を約 25% 削減できた。

当社では本方法によるボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御を今後のプラントに積極的に適用する予定である。また、燃焼物の攪拌混合による均質化やストーカ燃焼の高効率化、炉内燃焼ガスの攪拌混合の最適化などの各種要素技術をミックスして燃焼技術のさらなる高度化を図り、熱回収効率の向上や設備容量の削減、ランニングコストの低減に取り組んでいく所存である。

参 考 文 献

- 1) 藤川博之，渡瀬雅也，坪田知也：レーザー排ガス分析計を用いたごみの低位発熱量リアルタイム演算と自動燃焼制御への適用と効果，タクマ技報，Vol. 24，No. 2，pp. 57-63 (2016)
- 2) 福間義人，藤川博之，松田吉司，渡瀬雅也，松藤敏彦：ごみ焼却施設における排ガス成分測定にもとづく発生熱量および廃棄物低位発熱量推定と燃焼制御の改善，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol. 29，pp. 8-19 (2018)
- 3) 山崎裕貴，井藤宗親，安樂 健：ストーカ式焼却炉における排ガス再循環および無触媒脱硝による低 NOx 燃焼，タクマ技報，Vol. 23，No. 1，pp. 67-71 (2015)
- 4) 奥村拓也，永吉俊介：NOx 変動抑制のための燃焼制御の高度化，タクマ技報，Vol. 31，No. 1，pp. 56-59 (2023)