

予測制御による回転ストーカ式ごみ焼却炉の蒸気量安定化

Reduction of Steam Volume Fluctuations in Rotary Combustors Using Prediction-based Controls

柴崎 絢史*・福川 宙季*・渡邊 圭*・谷田 克義*(工学博士)・奥住 宣裕**

Ayato Shibazaki・Hiroki Fukukawa・Kei Watanabe・Katsuyoshi Tanida・Nobuhiro Okuzumi

ごみ焼却炉の燃焼安定化には、廃熱ボイラで発生する蒸気量を安定化させることが重要である。当社の回転ストーカ式ごみ焼却炉では、現在値に基づくフィードバック制御により蒸気量を安定化させているが、制御遅れによるばらつきの面でさらなる改善を試みた。未来の蒸気量の予測結果に基づいて制御量を決定する蒸気量予測制御を適用した結果、蒸気量設定値からの蒸気量のばらつきを抑制することができた。

Reducing steam volume fluctuation in boilers of combustors is required for stable combustion. As our rotary combustors use feedback-based controls that rely on real-time steam volume, delays in controls reacting resulted in steam volume instability, and we wanted to rectify this issue. We introduced our technology, which bases control on predictions of steam volume to our rotary combustor. We were able to confirm that the prediction control technology could effectively reduce fluctuations in steam volume.

Key Words :

回転ストーカ式ごみ焼却炉

Rotary combustor

機 械 学 習

Machine learning

蒸 気 量 安 定 化

Stable steam volume

燃 焼 安 定 化

Stable combustion

【セールスポイント】

- ・機械学習で未来の蒸気量を予測し、制御量を決定
- ・蒸気量30分移動平均値を連続して設定値 $\pm 3\%$ 範囲内に抑制
- ・二次燃焼室温度が安定化し、給じん手動介入の回数が低減

ま え が き

近年、資源枯渇や環境問題、廃棄物問題を背景に、国際的に循環型社会の形成に向けての取組みがなされている。国内では資源循環の取組みの一例として、2022年4月1日に、政府が「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」を施行し、廃プラスチックの排出抑制や自主回収、再資源化といったプラスチック資源循環を促進させている¹⁾。廃棄物処理分野においては、廃プラスチックの減少に伴うごみカロリー低下によって、炉内の安定燃焼が困難になることが懸念されている。そのため、焼却炉には、ごみ質に関係なく安定した燃焼を維持できることが

求められている。

当社の回転ストーカ式ごみ焼却炉（以下、回転ストーカ炉）を使用する廃棄物処理施設では、焼却炉の廃熱を用いて、施設付帯のボイラで蒸気を発生させており、蒸気を蒸気タービンの作動流体とすることで発電に有効利用している。この蒸気量が蒸気量設定値に従うように炉内の燃焼を自動制御しており、蒸気量を安定化させることは炉内の燃焼安定化につながる。当社の従来の蒸気量制御は、蒸気量の現在値に基づいて燃焼用空気流量と炉内への給じん量を決定するフィードバック制御（以下、FB制御）であった。しかし、FB制御は燃焼状態への応答性

*技術開発センター 基盤技術室

**環境エンジニアリング事業本部 環境プラント事業部 アフターサービス部 設備改善技術室

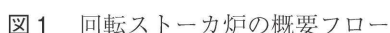
本稿では、当社の回転ストーカ炉を使用する廃棄物処理施設に蒸気量予測制御を導入し、SV一定運転時およびSV自動運転時のどちらにおいても、蒸気量の安定化効果を確認したので報告する。

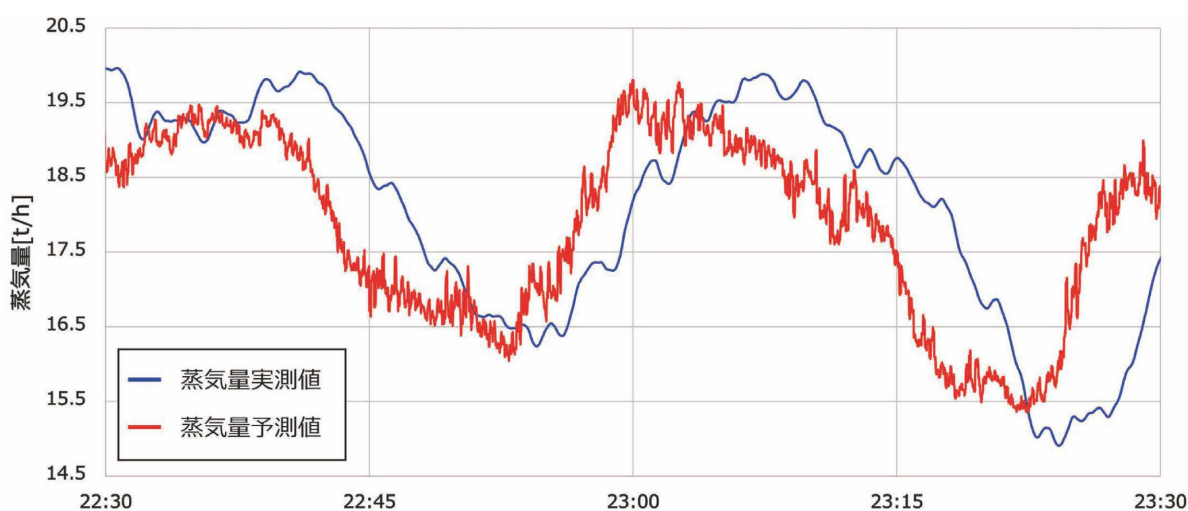
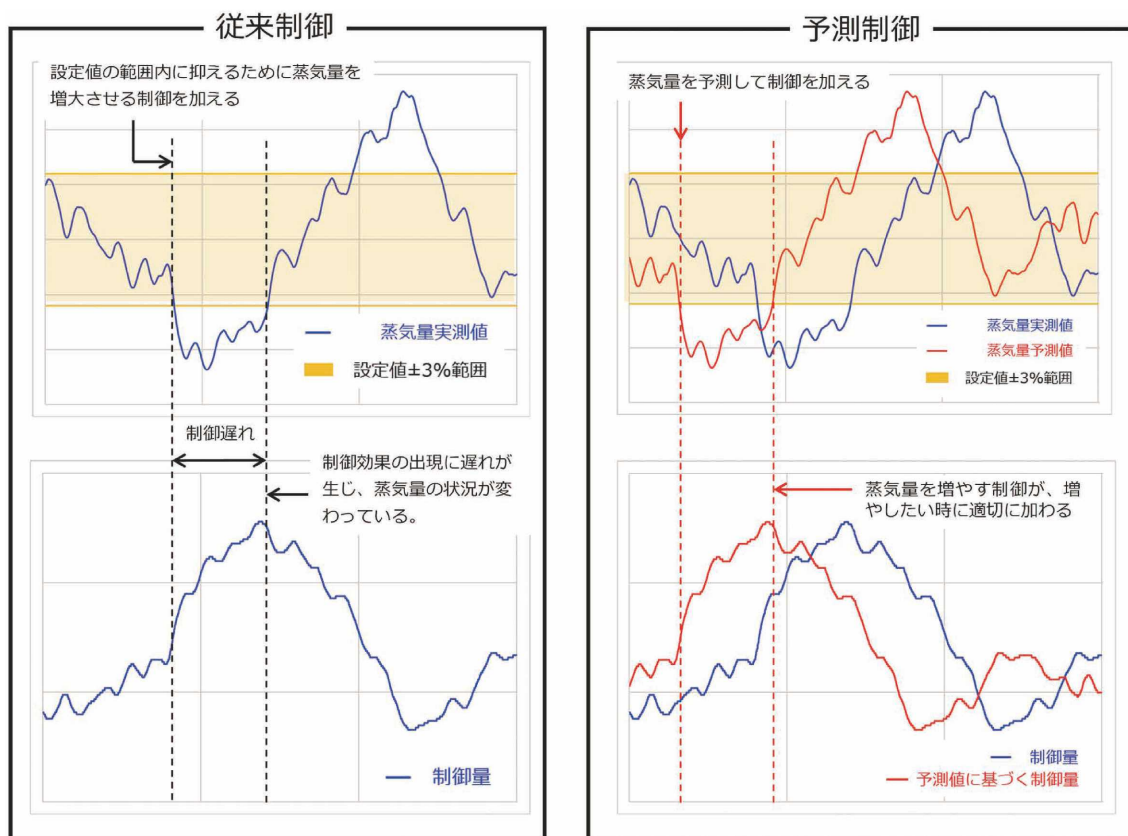
1.1 回転ストーカ炉

形成する²⁾。ごみの燃焼によって発生した燃焼ガスは後段の二次燃焼室に移動して完全に焼却され、さらに後段の廃熱ボイラで水に熱を与えることにより、蒸気を発生させる。このときの蒸気発生量に応じて燃焼制御が自動で行われるが、炉内のごみ質の変動やごみ量の過不足が生じて燃焼が不安定になった場合、運転員が給じん装置の周期設定値の変更や手動操作を行うことで燃焼を安定化させている。したがって、炉内の燃焼安定化は、給じん装置の手動介入の低減につながる。

1.2 従来制御の課題と対策

図2に蒸気量の従来制御と予測制御の概略図を示す。図2の上段は蒸気量のトレンドであり、下段は蒸気量に基づいた制御量のトレンドである。従来の蒸気量制御は、蒸気量の現在値に基づいて、前段の燃焼用空気流量と給じん装置の周期設定値を制御するFB制御であった。図2に示すように、FB制御では、蒸気量が減少して蒸気量設定値から逸脱した場合、蒸気量を増大させる制御が加わるが、この制御の効果が蒸気量に現れるまでには遅れが生じる。そのため、制御の効果が蒸気量に現れた時には、蒸気量は既に増大しており、制御によってさらに増大して蒸気量設定値から逸脱することがある。この対策として、蒸気量が減少して蒸気量設定値から逸脱することを予測し、蒸気量を増大させる制御を前もって加えるようにすれば、蒸気量を増大させる制御の効果が、蒸気量を増大させたい時に適切に加わる





ようになると期待できる。

1.3 蒸気量予測制御

図3に回転ストーカー炉における蒸気量予測の一例を示す。図の青色線が蒸気量1分移動平均値の実測値であり、赤色線が蒸気量1分移動平均値の予測値である。蒸気量予測モデルの作成にあたって、二次燃焼室温度や二次空気流量などの廃棄物処理施設のプロセス情報を複数選定し、さらにこれらのラグ特徴量および移動平均特徴量を説明変数として追加したことにより、概ね蒸気量を予測できた。

図4に蒸気量予測制御の概要を示す。蒸気量予測制御では、蒸気量の予測結果に基づいて燃焼用空気流量および給じん周期設定値の制御補正量を決定し、制御補正量を従来の蒸気量制御で決定した制御量に加算する。作成した蒸気量予測モデルをこの制御に組み込み、プロセス情報をリアルタイムで蒸気量予測モデルに与えて蒸気量を予測することで、蒸気量の予測値に基づいた燃焼空気流量と給じん周期設定値の制御補正量を従来の蒸気量制御にリアルタイムで加算できるようにした。

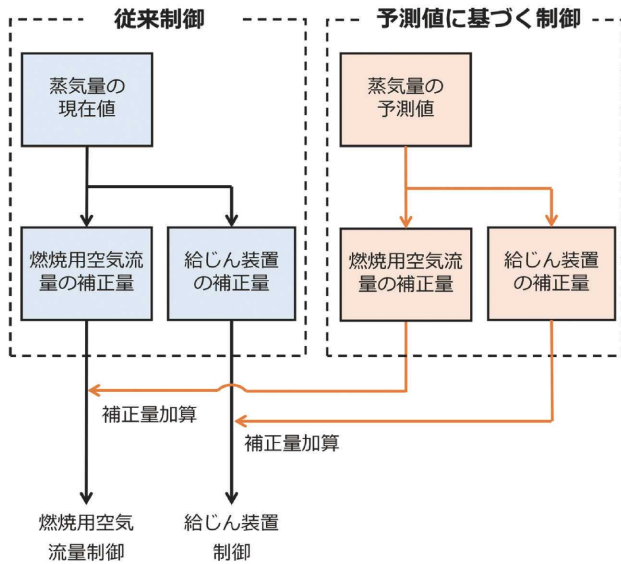


図4 蒸気量予測制御の概要

2. 実機試験

2.1 SV一定運転での蒸気量安定化

まず、蒸気量予測制御の効果を確認するため、SV一定運転時に蒸気量を連続して安定化させることを目的として、蒸気量予測制御を適用し、短期間の試験を実施した。図5に、蒸気量予測制御をSV一定運転時に適用したときのトレンドを示す。図5の青色線と橙色線はそれぞれ、蒸気量30分移動平均値と蒸気量設定値 $\pm 3\%$ を表す。蒸気量予測制御を適用することにより、蒸気量30分移動平均値が、蒸気量設定値 $\pm 3\%$ の範囲内に収まり、蒸気量のばらつきを抑制できた。

2.2 SV自動運転での蒸気量安定化

蒸気量予測制御を、SV自動運転時に適用し、長期間の試験を実施した。表1に同一期間に2炉運転

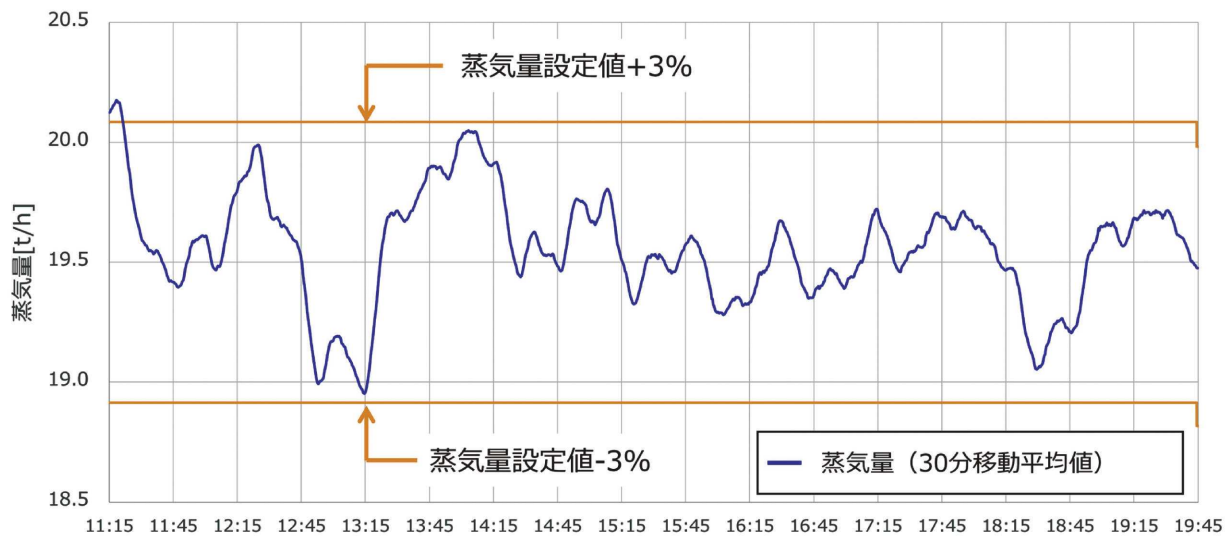


図5 SV一定運転での蒸気量トレンド

表1 蒸気量30分移動平均値の各値

		焼却炉①		焼却炉②	
		期間A	期間B	期間A	期間B
		予測制御	従来制御	従来制御	従来制御
蒸気量30分移動平均値	平均値[t/h]	19.2	20.0	19.3	20.1
	標準偏差[t/h]	0.937	1.11	1.22	1.14
	変動係数[-]	0.0488	0.0557	0.0630	0.0567
	設定値 $\pm 3\%$ に入った割合[%]	81.1	65.6	62.7	65.2

していた2つの焼却炉における、蒸気量30分移動平均値の各値を示す。表1の期間Aと期間Bは同一日数であり、連続した約1カ月間のデータを使用している。焼却炉①の期間Aでは蒸気量予測制御を適用させ、焼却炉①の期間B、焼却炉②の期間Aと期間Bでは従来制御とした。蒸気量30分移動平均値が蒸気量設定値 $\pm 3\%$ の範囲内に入った割合は、従来制御で運転した焼却炉①期間B、焼却炉②期間Aおよび期間Bでは、概ね63.0～65.0%であったが、蒸気量予測制御を適用させた焼却炉①期間Aでは81.1%となって約16.0ポイントの向上が見られた。また、蒸気量の全体としての変動について変動係数で比較すると、蒸気量予測制御を適用した焼却炉①期間Aが最も小さくなった。つまり、蒸気量予測制御の適用により蒸気量30分移動平均値が蒸

気量設定値 $\pm 3\%$ に入る割合が増大したことに加え、蒸気量の全体としてのばらつきが小さくなったといえる。

図6に、SV自動運転において蒸気量予測制御を適用したときの蒸気量30分移動平均値のトレンドを示す。図6の青色線と橙色線はそれぞれ、蒸気量30分移動平均値と蒸気量設定値 $\pm 3\%$ を表す。蒸気量予測制御を適用することで、蒸気量設定値が変動する運転条件下においても、最大で連続19時間、蒸気量設定値 $\pm 3\%$ の範囲内に蒸気量30分移動平均値を安定化させることができた。

2.3 二次燃焼室の燃焼安定化

表2に表1と同一期間における二次燃焼室温度の各値、給じん周期設定値の手動変更回数および給じん手動操作回数を示す。試験を実施した当該施設は

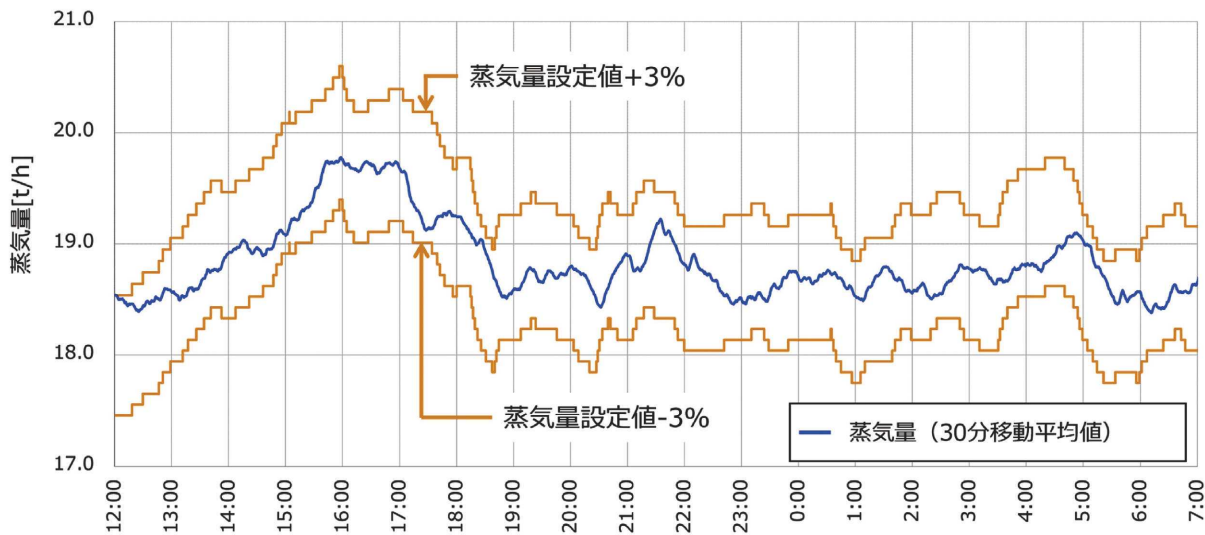


図6 SV自動運転での蒸気量トレンド

表2 二次燃焼室温度と給じん手動介入の各値

		焼却炉①		焼却炉②	
		期間A	期間B	期間A	期間B
		予測制御	従来制御	従来制御	従来制御
二次燃焼室 温度	平均値[℃]	947	948	943	950
	標準偏差[℃]	10.8	14.2	18.4	14.4
	変動係数[-]	0.0115	0.0150	0.0195	0.0152
	890℃を下回った 回数[回/日]	0.26	0.96	1.7	0.48
給じん手動 介入	給じん周期設定値の 手動変更回数[回/日]	0.037	0.30	0.30	0.26
	給じん手動操作回数 [回/日]	0.037	0.93	0.037	0.33

二次燃焼室温度890℃以上を1つの監視基準としていることから、二次燃焼室温度が890℃を下回ったときの回数で比較したところ、従来制御では概ね0.50～1.7回/日であったのに対して、蒸気量予測制御を適用させたときでは0.26回/日といずれの従来制御時よりも減少した。二次燃焼室温度の変動係数は、従来制御では概ね0.0150～0.0200だったことに対して、蒸気量予測制御を適用したときでは0.0115に低下することも確認できた。このことから、蒸気量の予測制御により蒸気量が安定するとともに、二次燃焼室温度も安定させることができたといえる。

給じん周期設定値の手動変更回数は、従来制御では概ね0.26～0.30回/日だったが、蒸気量予測制御を適用させたときでは0.037回/日と従来制御よりも減少した。給じん手動操作回数については、期間Aにおける焼却炉①の蒸気量予測制御と焼却炉②の従来制御では同等であるが、同じ焼却炉で比較した場合、期間Aと期間Bの給じん手動操作回数の差は、蒸気量予測制御を適用した焼却炉①では約0.89回/日、焼却炉②では約0.30回/日であり、蒸気量予測制御を適用したときの方が、手動操作回数がより低減した。ただし、差分は丸める前の値から算出した。蒸気量予測制御により給じん操作が従来のFB制御よりも先行して行われたことで、従来のFB制御で見られた操作遅れによる変動が低減されたことが、これらの手動操作回数の低減につながったと考えられる。

む す び

当社の回転ストーカ炉における蒸気量の安定化を目的として、未来の蒸気量の予測に基づいて制御する蒸気量予測制御を廃棄物処理施設に導入した。

蒸気量予測制御をSV一定運転時に適用した結果、蒸気量30分移動平均値を蒸気量設定値±3%の範囲内に連続して抑制することができた。

蒸気量予測制御をSV自動運転時に適用した結果、蒸気量30分移動平均値が蒸気量設定値±3%の範囲内に入った割合について、蒸気量予測制御を適用したときは約81.1%となり、従来制御時と比較して約16.0ポイントの向上が見られた。蒸気量30分移動平均値は、最大で19時間連続で蒸気量設定値±3%の範囲内で安定化した。燃焼安定化効果については、二次燃焼室温度の変動が小さくなり、基準値以下への低下回数が減少した。また、運転員による給じん手動介入の回数も低減できた。

廃棄物の種類の変化などの影響で、焼却炉の燃焼安定化は今後さらに重要になると予想される。当社では、さらなる技術開発に取り組み、回転ストーカ炉の燃焼性能を高めていく所存である。

[参考文献]

- 1) 環境省：プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律の概要（2021），<https://www.Env.Go.jp/content/000050286.pdf>
- 2) 鈴木崇之ほか：神鋼環境ソリューション技報，Vol.19，No.1（2022），p.26-30