

AI 技術を活用したストーカ炉の燃焼安定化

Stabilization of Combustion in Grate Type Incineration Plants using AI Technology



山 瀬 康 平	Kohei Yamase	①
阪 口 央 紗	Hirosa Sakaguchi	①
古 林 通 孝	Michitaka Furubayashi	②
佐 藤 拓 朗	Takuo Sato	③
片 山 武	Takeshi Katayama	④

あらまし

当社では、AI技術を活用したごみ焼却発電施設の自動燃焼制御（ACC）の開発に取り組んでいる。その一環として、数分から数十分先の燃焼状態を予測する予測モデルを開発し、モデルの予測結果に基づいてACCの制御パラメータを調整することで、燃焼の悪化を回避することに成功した。

ボイラ発生蒸気量を予測するモデルをACCに導入した実証運転では、導入後の蒸気量の変動係数は1.5%から0.9%へ改善され、運転員による蒸気量安定化のための手動操作頻度も46%削減された。また別施設で実施した排ガス中CO濃度の上昇を予測するモデルの実証運転では、空気比1.2程度の低空気比燃焼であってもCO濃度を24%削減でき、さらにCO濃度抑制のための手動操作頻度を67%削減できることを確認した。

Abstract

Hitachi Zosen has been developing automatic combustion control (ACC) for Waste to Energy (WtE) plants by utilizing AI technology. As part of that work, we have developed models for predicting boiler steam amount and CO generation. Then, based on the prediction results, we have avoided combustion deterioration by adjusting the ACC parameters in advance.

By adopting the boiler steam amount prediction model, the fluctuation in steam generation was improved from 1.5% to 0.9% and the frequency with which ACC parameters were manually adjusted by operators in order to stabilize the steam amount was reduced by 46%. In the case of the CO prediction model, the CO concentration decreased by about 24% and the frequency of manual operation to suppress CO generation was reduced by 67%.

1. 緒 言

現在、地球環境問題への対応や、再生可能エネルギーへの転換、大規模災害時における安定電源確保が社会的に求められている。ごみ焼却発電施設は廃棄物を燃やして衛生的に処理すると同時に、廃棄物をエネルギー資源として発電する施設であり、分散型エネルギー源の一つとしての期待が高まっている。

当社はこれまで、ごみ焼却発電施設からの発電量を最大化するための高効率なごみ発電施設の開発と並行して、安定したごみの燃焼および発電を行うために、ごみの自動燃焼制御技術（Automatic Combustion Control、以下ACC）を古くから導入し、その高度化に取り組んできた。

ごみ焼却発電施設で処理されるごみは一般家庭や事業所などから排出される廃棄物であるためその性状は一定ではなく、また天候や季節の違いによっても変動があることが知られている。安定した発電のためには、これらの発熱量や性状の異なる様々なごみに対しても良好な燃焼を継続することが求められる。そのためACCでは、ごみの低位発熱量や、焼却炉に取り付けられた炉内温度、排ガス中O₂濃度といった燃焼状態を表すセンサ値の挙動に基づいて、焼却炉へ供給するごみ量や空気量を自動調整している。しかし、焼却炉へ供給されるすべての

① 環境事業本部 開発センター

② 環境事業本部 開発センター 博士(工学) 技術士(衛生工学)

③ 環境事業本部 エンジニアリングビジネスユニット 電気計装制御設計部 技術士(衛生工学)

④ 環境事業本部 エンジニアリングビジネスユニット 環境プラント計画部

ごみの性状を事前に把握することは困難であるとともに、これらのセンサ値は燃焼後の挙動を示すものが多く、燃焼状態の変化への対応が後手に回ることがある。そのため、まれにごみの変動がACCの制御範囲を逸脱して燃焼が悪化し、一時的な排ガス中CO濃度の上昇や、ボイラ発生蒸気量が低下して、発電量の低下を引き起こすことがある。これを最小限に抑えるために、施設の運転員は燃焼回復のために最適な燃焼制御パラメータを手動で設定しており、その最適パラメータの設定にはノウハウや経験による判断力が必要とされることが多い。その一方で、昨今の人材不足の波はごみ焼却分野へも押し寄せつつあり、今後すべての施設で熟練の運転員を確保することは難しくなっていくと考えられる。

そこで、当社では近年幅広い分野で利用されているAI技術を活用して、熟練の運転員のノウハウを反映した次世代自動燃焼制御(次世代ACC)の開発に取り組んでいる。その一環として、AI技術を用いて数分から数十分先の燃焼状態を予測する予測モデルを開発した。予測モデルを用いることで、将来の燃焼状態の変化に合わせて予めACCの制御パラメータを調整することが可能となり、これまで熟練の運転員による手動操作によって対応していた燃焼の悪化を自動的に回避することができる。本稿では、燃焼状態の予測モデルを実際のごみ焼却発電施設へ導入した実証運転の結果を報告する。

2. 燃焼状態予測モデル

2.1 燃焼状態予測モデルの分析対象 データ分析を活用して何らかの課題を解決するとき、分析の対象とする課題(目的変数)の設定と、その問題に影響する要因(説明変数)の選択を正しく行うことが重要である¹⁾。今回の燃焼状態予測モデルの作成では、焼却炉で起こりうる代表的な燃焼悪化状態である(i)ボイラ発生蒸気量や炉内温度の低下(以下、蒸気量モデル)、(ii)排ガス中CO濃度の上昇(以下、COモデル)を目的変数に設定し、それぞれに対して予測モデルを作成した。作成した2つのモデルの概要を表1に示す。ごみの性状や季節変動に対応するためには、様々な性状のごみを燃焼させた際のデータを分析に使用することが必要である。そのため、季節の異なる運転データの中から、蒸気量モデルでは4か月分、COモデルでは3週間分の運転データを使用して、それぞれの予測モデルを作成した。

表1 モデルの概要

	蒸気量モデル	COモデル
分析課題(目的変数)	蒸気量・炉内温度の低下	排ガス中CO濃度の上昇
使用データ期間	4ヶ月	3週間

2.2 使用センサ 説明変数として予測モデル作成に使用したセンサ例を表2に示す。燃焼状態に影響する要因をとらえるため、焼却炉に常設されているセンサ

のプロセス値(PV)だけでなく、各制御ループの設定値(SV)や操作量(MV)も使用した。

また、熟練の運転員はプロセス値のみならず、焼却炉内を撮影するカメラの映像からも燃焼状態を判断して、制御パラメータを設定している。そこで実証試験にあたって、燃焼画像認識システム(Combustion Sensing Monitor System:以下、CoSMoS[®])²⁾を施設に設置し、CoSMoSの判定結果もプロセス値の一つとしてモデル作成に用いた。CoSMoSはFuzzy C-means(FCM)法を使って熟練運転員の判断を学習、認識できるシステムである。実際の燃焼画像から熟練運転員が各々の典型的な燃焼パターン(クラス)と同等と感じたときの画像を抽出して、各クラスの教師画像としてFCM識別器に学習させる。これによって、運転員並みの燃焼画像の判定が自動のできる実用的なシステムである。

表2 使用センサ例

センサ例
発生蒸気量、炉内温度、排ガス流量、燃焼空気流量、給じん装置速度、各火格子速度、ごみ量の指標値、ろ過式集じん器出口O ₂ 濃度、CoSMoS判定結果

2.3 予測モデル作成手法 今回の燃焼状態予測モデルは機械学習の手法の一つである決定木分析(Decision tree)を使用して作成した。蒸気量モデルの決定木分析例を図1に示す。決定木分析は、モデル作成に使用したすべてのセンサの組み合わせから、影響度の高い順に枝の分岐を繰り返すため、燃焼悪化につながる要因構造が明らかになるという利点がある³⁾。図1に示す例の場合が一番上の分岐に、焼却炉内に供給された“ごみ量の指標値”が挙がっており、この値が小さい=焼却炉内にごみの量が少ない場合に蒸気量の低下確率が高くなるのがわかる。決定木分析の結果、すべての運転データにおける蒸気量低下確率は10%であったが、決定木分析を行うことで、低下確率72%(ノード5)まで蒸気量低下確率が高い状態を特定することができている。COモデルも同様に決定木分析して作成した。

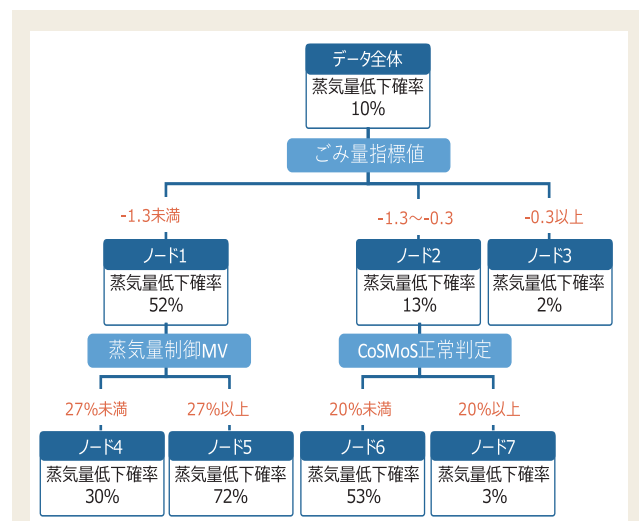
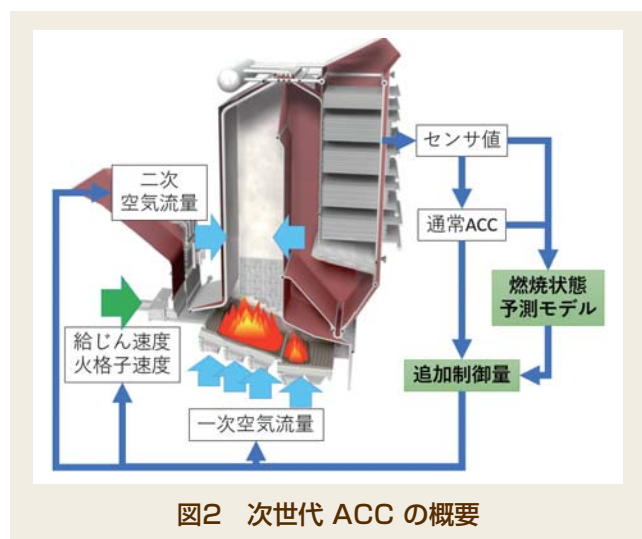


図1 蒸気量モデル決定木例

ストーカ式ごみ焼却炉は、その最大の特長であるおき燃焼によって、多様なごみでも安定して処理できるものの、ACCパラメータの変更に対する応答にはある程度のタイムラグが生じてしまう。例えば、燃焼を促進するためにごみの供給量（給じん装置速度）を増加したとしても、そのごみが炉内の主燃焼ゾーンへ到達するには、数十分程度かかる。そのため予測モデルは、燃焼悪化を回避するために十分な制御時間分を先行して、その悪化を予測しなくてはならない。具体的には、ボイラ発生蒸気量の低下対策では数分から数十分の制御時間が必要である。CO上昇対策では制御の応答に対するタイムラグは少ないものの、CO濃度分析計は煙突に設置されているため、焼却炉内で発生したCOが濃度分析計で計測されるまでに数分のタイムラグがあり、その時間分を先行してCO濃度上昇を予測する必要がある。そこで、本モデルの作成にあたっては、過去の任意の時点の燃焼状態と、その任意の時点の数分から数十分前の各種センサの値との相関を決定木分析した。このようにして作成した予測モデルをリアルタイムで動作させた場合、現時点から数分から数十分先の燃焼状態が予測結果として出力されることとなり、燃焼悪化を回避するために十分な制御時間を確保できる。

2.4 次世代ACC 燃焼状態予測モデルを用いた次世代ACCの概要を図2に示す。予測モデルの分析結果を給じん装置や火格子の速度、燃焼空気量といった制御量の調整に使用できるよう既存のACCを改良した。モデルの分析結果が“燃焼の悪化”となり、追加の制御が必要と判定された場合、既存のACCで算出される各種制御量に所定の制御量を増減するようにした。これにより、実際の燃焼の悪化が生じる前に給じん装置や火格子の速度、燃焼空気量といった制御量を調整することで、予測された燃焼の悪化を回避することができる。



3. 蒸気量モデル実証運転結果

3.1 蒸気量モデル導入目的 1章で述べた通り、ごみ焼却発電施設の発電量の安定化には、ごみの安定燃焼が不可欠である。安定した燃焼を維持するた

めに、特にボイラ発生蒸気量と焼却炉内温度は重要な指標である。発生蒸気量の低下はすなわち発電量の低下であり、炉内温度の低下は蒸気量の低下を引き起こすだけでなく、ダイオキシン類を生成する要因となる。そのため、運転員は蒸気量と炉内温度を重要な監視項目としており、必然的に運転員が行うすべての手動操作のうち、蒸気量や炉内温度を適正に維持するための手動操作の占める割合は多くなる。そこで、蒸気量・炉内温度の低下を予測する蒸気量モデルを導入し、蒸気量や炉内温度を適正に維持するとともに、運転員の手動操作頻度の削減を試みた。

3.2 実証運転施設 蒸気量モデルの実証運転は松山市西クリーンセンターで行った。施設の概要を表3に示す。本施設はストーカ式のごみ焼却発電施設で、ごみ処理能力は140t/day×3炉、計画のごみ低位発熱量は7.24MJ/kg（基準）である。焼却炉へ供給するごみの均質化のため、ごみピット内のごみをクレーンで攪拌し、適正な攪拌度合のごみを優先的に焼却炉へ投入している⁴⁾。また灰溶融設備として、電気溶融式灰溶融炉を有している。

表3 松山市西クリーンセンター施設概要

受入れ方式	ピット&クレーン方式
炉形式	全連続式焼却ストーカ炉
ごみ処理能力	140t/day×3炉(合計 420t/day)
ごみ低位発熱量	7.24MJ/kg(基準)
排ガス処理設備	ろ過式集じん器+触媒脱硝装置
ボイラ	最大 19.36t/h/炉(4.0MPa, 400℃)
発電設備	蒸気タービン発電機(6,600kW)
灰溶融設備	電気溶融式灰溶融炉 (処理能力 23t/day×2炉)

3.3 蒸気量モデルの検証結果 蒸気量モデルを松山市西クリーンセンターのACCへ適用した際の運転トレンド例を図3に示す。図3に示した予測モデルの反応結果では、実際に発生蒸気量が低下した数分から数十分前に発生蒸気量の低下を予測できている。予測モデルが蒸気量の低下を予測したタイミングでは、蒸気量PVとSVの偏差はほぼゼロであるため、従来のACCでは正常な燃焼が継続していると判定して、燃焼を促進するような制御は行われていなかった。

予測モデルの結果を受けて図3に示す例では、燃焼火格子速度を上げて燃焼を促進した。これにより、ACCで設定している発生蒸気量の低下警報ラインに達する前に発生蒸気量を回復させることができた。もし、本モデルによる追加の操作がなされていなかった場合は、数分から数十分後に蒸気量低下の警報が発報され、運転員による手動での回復操作が行われた可能性が高い。このように燃焼悪化予測モデルを用いることで、将来の燃焼の悪化を予測することができ、従来のACCでは運転員による手動の制御に頼らざるを得なかった燃焼悪化の自動回避が可能となった。

ストーカ式ごみ焼却炉は、時間をかけてごみを燃焼す

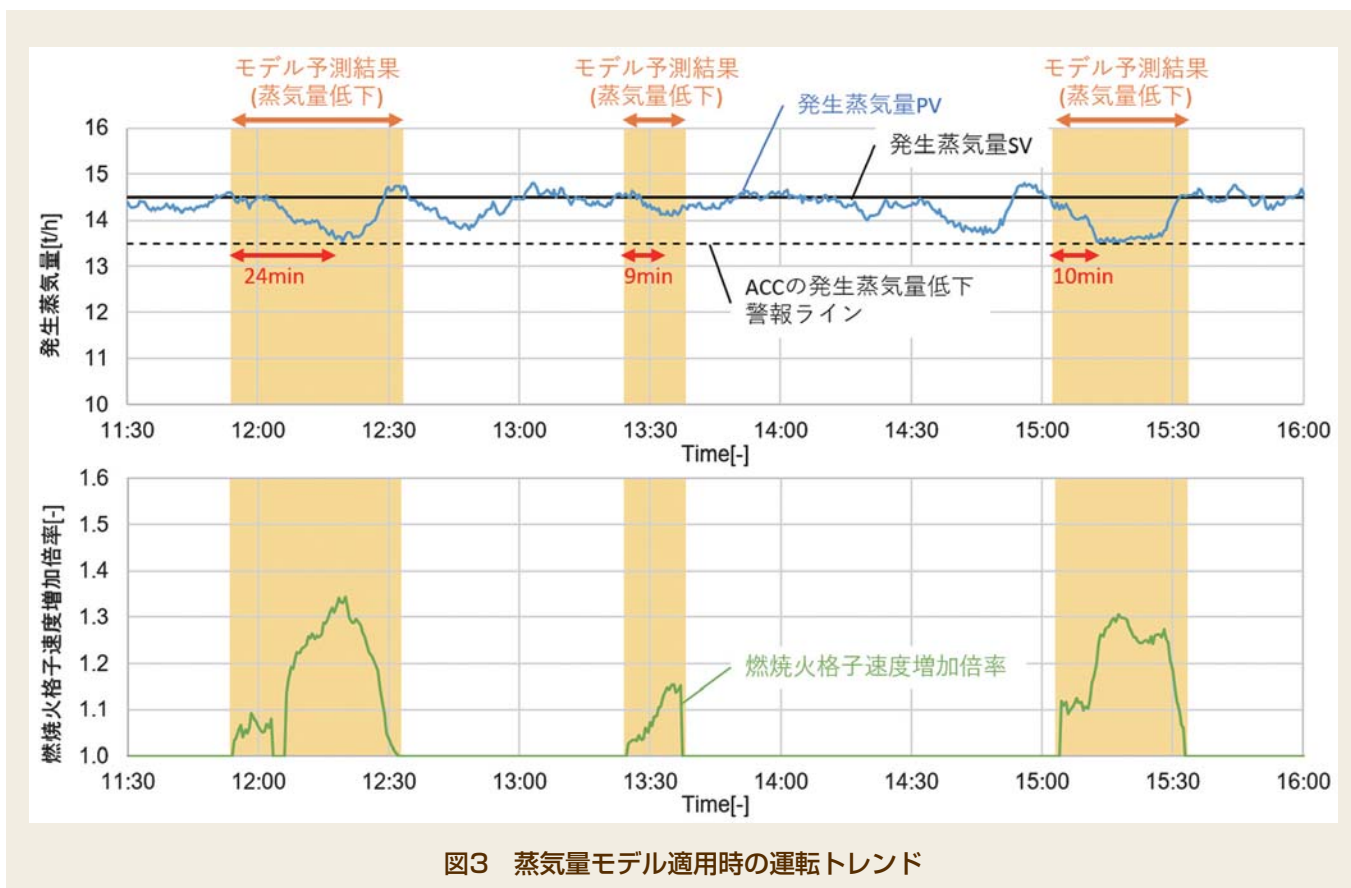


図3 蒸気量モデル適用時の運転トレンド

るため、誰の目にもわかる形で燃焼の変化が生じる前に、施設に設置された何らかのセンサ値にその兆候が表れていると考えられる。蒸気量モデルでは複数のセンサを用いて分析するため、従来のACCでは捉えきることができなかった兆候を捉えて、予測に活用することができる。また、決定木分析は燃焼悪化につながる要因構造が明らかになる利点があり、図1および図3の例では炉内へ供給されたごみの量が少ないことが主要因であることが特定できる。そこで、図3に示す通り燃焼火格子速度の増速で対応し、燃焼の悪化を回避した。このように、蒸気量モデルは蒸気量低下の予測だけでなくその回避策を示すことができる。

3.4 蒸気量モデルの長期実証運転結果 蒸気量モデルをACCに導入し、長期運転を行った結果を表4に示す。ごみの季節性の影響を考慮して、前年度の同時期の運転状況との比較を行った。

ごみ処理量やごみの低位発熱量、発生蒸気量はモデルの導入前後でほぼ同じであった。蒸気量モデルの導入により、蒸気量の低下が予測された場合には、自動的に蒸気量の低下を回避するようにACCパラメータが調整される。これにより蒸気量の低下を回避できるようになったため、式①に示す発生蒸気量の変動係数はモデル導入前の1.5%から、モデル導入後には0.9%に改善され、極めて安定した燃焼が可能となった。燃焼の悪化を回避することにより、燃焼が不安定になって炉内温度が880℃を下回る時間も、モデルの導入前を1としたときに、導入後は0.52と、48%削減された。また、従来のACCで

は運転員の手動による操作が必要であったタイミングでも、モデルの導入により自動的にACCパラメータが調整されたことで、運転員が行う燃焼悪化回避のための手動操作の頻度も46%削減された。以上の通り、蒸気量モデルを用いることで、運転員の手動操作を削減しながら、安定した燃焼を継続できることを確認した。

$$\text{Steam}_{\text{CV}} = \text{Steam}_{\text{SD}} / \text{Steam}_{\text{AVE}} \quad \dots \textcircled{1}$$

ここに Steam_{CV} : 変動係数
 Steam_{SD} : 蒸気量標準偏差 (t/h)
 $\text{Steam}_{\text{AVE}}$: 蒸気量平均 (t/h)

表4 蒸気量モデル長期実証運転結果

制御内容		予測モデル 導入前	予測モデル 導入後
期間	[-]	2016/9/15 -2017/2/28	2017/9/15 -2018/2/28
ごみ処理量	[t/day]	129	131
ごみ低位発熱量	[MJ/kg]	8.0	7.9
発生蒸気量	[t/h]	15.1	14.9
蒸気量変動係数	[%]	1.5	0.9
炉内温度	[°C]	935	934
炉内温度 880℃ 未満時間削減率	[%]	-	48
燃焼悪化回避の ための手動操作 頻度削減率	[%]	-	46

4. COモデル実証運転結果

4.1 COモデル導入目的 都市ごみ焼却施設の発電効率の向上に資する技術の一つとして低空気比燃焼がある。これは、焼却炉に供給する燃焼空気を低減することにより燃焼排ガス量を減らし、ボイラ出口での排ガス持出し熱量を低減することで、ボイラ効率の向上を図る燃焼技術である。本技術は発電効率の向上のみならず排ガス中のNO_x濃度低減にも効果がある一方、燃焼変動に伴って燃焼空気が不足気味になるとCOが発生しやすくなる。ごみの燃焼に伴って発生する有害ガスのうち、HClやSO_xといった酸性ガスは、アルカリ薬剤によって規制値以下まで低減されるが、COは焼却炉内で完全燃焼させる以外に低減方法がなく、CO濃度の上昇時には運転員による手動操作頻度が多くなりやすい。そこで、COモデルをACCへ導入して、低空気比燃焼とCO濃度の低減の両立、ならびにCO低減のための運転員の手動操作頻度の削減を試みた。

4.2 実証運転施設 COモデルの実証運転を行った中・北空知エネクリーンの施設概要を表5に示す。本施設もストーカ式のごみ焼却発電施設であり、ごみ処理能力は42.5t/day×2炉である。本施設のごみ収集市町内では、ちゅう芥ごみとその他の可燃ごみを分別して回収しており、ちゅう芥ごみは市町内に3カ所設置されたバイオガス化施設で処理されている。そのため、本施

表5 中・北空知エネクリーン施設概要

受入れ方式	ピット&クレーン方式
炉形式	全連続式焼却ストーカ炉
ごみ処理能力	42.5t/day×2炉(合計85t/day)
ごみ低位発熱量	13.81MJ/kg(基準)
排ガス処理設備	高効率無触媒脱硝 +ろ過式集じん器
ボイラ	最大9.7t/h/炉(1.9MPa, 248℃)
発電設備	蒸気タービン発電機(1,770kW)

設にはプラスチックや紙類を主体とした可燃ごみと、バイオガス化処理の過程で発生した可燃ごみが搬入される。ちゅう芥ごみを含まないことから、計画のごみ低位発熱量は一般的な焼却施設で焼却されるごみよりも高い13.81MJ/kg(基準)である⁵⁾。

本施設の燃焼装置は乾燥・燃焼火格子と後燃焼火格子の2ユニットで構成されされており、ACCによる間欠運転を行っている。また、二次空気流量はろ過式集じん器出口に設置されたO₂濃度計により制御されている。

4.3 COモデルの短期実証運転結果 排ガス中のCO濃度の上昇要因のひとつに、一時的な燃焼空気不足がある。このとき、CO濃度は突発的に上昇することが多い。本施設の従来ACCでは、ろ過式集じん器出口の排ガス中O₂濃度が一定になるよう二次空気流量を制御することで、突発的に発生するCOのピーク抑制と低空気比燃焼の両立を図っていた。しかし、ごみ質の変動が大きい場合や二次空気流量の調整タイミングが間に合わない場合にはCOピークの発生を招いていた。またCO濃度は煙突に設置された分析計で計測されるが、焼却炉内で発生したCOが煙突で計測されるまでに数分のタイムラグがあるため、COピーク発生時の運転員による対応も遅れることがあった。CO濃度の低減策として二次空気流量の増加があるが、むやみに二次空気流量を増やすと、焼却炉内のO₂濃度が上昇して、NO_x濃度が上昇しやすくなる。そこでCOモデルでは、煙突のCO分析計でCOピークが計測される数分前にCOピーク発生を予測し、予測結果を用いて適切なタイミングで二次空気流量を増加することで、NO_x濃度を上昇させることなくCOピーク発生を回避することを試みた。

COモデルの採用前後における排ガス組成と炉内温度の推移を図4に示す。ここで、ボイラ出口のO₂濃度はろ過式集じん器出口のO₂濃度計から推算した値である。また、発生NO_x濃度は煙突のNO_x濃度と高効率無触媒脱硝で使用したNH₃量を基に推算した値である。

COモデルの導入により、適切なタイミングで二次空気

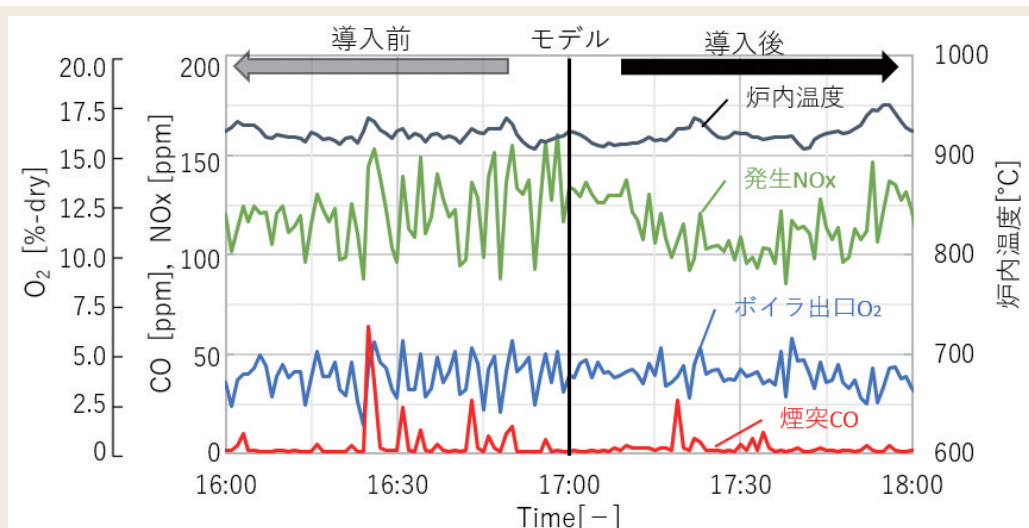


図4 COモデル適用時の運転トレンド

流量を自動で増加することが可能になったため、COピークの発生頻度が大幅に減少していることがわかる。このとき、二次空気流量を増加したことによるボイラ出口のO₂濃度や発生NO_x濃度の上昇はみられず、これらの変動幅は縮小している。また炉内温度についてもCOモデルの導入前後で変化はなく、二次空気流量の増加による温度低下はみられなかった。COピークの発生は突発的に生じるため、ストーカ式のごみ焼却発電施設に設置されているセンサ値からその兆候を捉えることは難しいと懸念されたが、COモデルによって予測可能であることが示された。以上の通り、COモデルにより低空気比燃焼を維持しながらCOピークの発生を抑制することができることを確認した。

4.4 COモデルの長期実証運転結果 COモデルを長期的にACCへ導入し、その効果を検証した。検証結果を表6に示す。

COモデル導入前後で、ごみ処理量はほぼ同じであったものの、ごみの低位発熱量がCOモデル導入後のほうが高かったため、発生蒸気量も導入前が7.5t/hに対して、導入後は7.8t/hであった。COモデル導入により、ボイラ出口のO₂濃度はモデル導入前後で4.3%-dryから3.4%-dryに減少した。これは、COモデルの導入によって、COピークの発生頻度が減少したため、より低いO₂濃度（低空気比）で運転することが可能になったことを示している。このため、モデル導入前後で炉内温度が上昇した要因は、ごみ発熱量の上昇と低空気比燃焼の実現によるものと考えられる。

CO濃度については、モデル導入前後でボイラ出口のO₂濃度が減少しているにもかかわらず、モデルの導入により24%減少し、50ppm超過のピーク数も5%減少した。さらに、適切なタイミングで二次空気流量が自動で増加されるため、運転員が二次空気流量を手動操作する頻度は67%減少した。

このように、COモデルをACCへ導入することによって、空気比1.2程度の低空気比燃焼であってもCO発生を効果的に抑制でき、さらに運転員による手動操作頻度を6割以上削減できることを確認した。

表6 COモデル長期実証運転結果

制御内容		モデル 導入前	モデル 導入後
期間	[-]	2017/9/1 - 9/25	2018/1/28 - 4/14
ごみ処理量	[t/day]	38	37
ごみ低位発熱量	[MJ/kg]	13.7	14.8
発生蒸気量	[t/h]	7.5	7.8
ボイラ出口 O ₂ 濃度	[%-dry]	4.3	3.4
炉内温度	[°C]	924	978
CO 濃度削減率	[%]	-	24
50ppm 超過する CO ピーク削減率	[%]	-	5
CO 発生抑制の ための手動操作 頻度削減率	[%]	-	67

7. 結 言

熟練の運転員のノウハウを反映した次世代自動燃焼制御（次世代ACC）開発の一環として、AI技術を用いて、数分から数十分先のボイラ発生蒸気量ならびにCO濃度を予測する予測モデルを開発した。その予測結果に基づいてACCの制御パラメータを調整することで、燃焼の悪化を自動で回避する制御を開発し、実証運転を行った。得られた結果を下記にまとめる。

- 蒸気量モデルにより、数分から数十分先のボイラ発生蒸気量の状態を予測することが可能となった。
- 蒸気量モデルの導入により、蒸気量の低下が予測された場合には、自動的に蒸気量の低下を回避するようにACCパラメータを調整することで、発生蒸気量の変動係数はモデル導入前の1.5%から、モデル導入後には0.9%に改善されるとともに、運転員の手動操作の頻度も46%削減された。
- COモデルにより、COピークが分析計で計測される数分前に、COピーク発生を予測することが可能となった。
- COモデルの導入により、適切なタイミングで二次空気流量を自動で増加することが可能になったため、空気比1.2程度の低空気比燃焼でもCO濃度を20%以上削減でき、さらに運転員による手動介入頻度を67%削減することができた。

現在当社では、本実証運転で得られた結果を踏まえ、予測モデルのさらなる精緻化、予測対象の拡大ならびに自動燃焼制御技術のさらなる高度化に取り組んでいる。今後も、すべてのごみ焼却発電施設で熟練の運転員が運転するような安心・安全・安定な運転を実現できるよう、自動化技術開発をさらに進めていく所存である。

【謝辞】

最後に、本運転において、多大なご協力をいただきました松山市様、中・北空知廃棄物処理広域連合様ならびに松山市西クリーンセンター、中・北空知エネクリーンの皆様に心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 川村真一:本物のデータ分析が身につく本, 日経BPムック社, 2016, 20.
- 2) 藤吉誠, 川端馨, 水井一憲ほか: ごみ焼却プラント運営事業における画像認識技術の活用, Hitz技報, 2014, 75 (2), 35-43.
- 3) 西牧洋一郎: 実践IBM SPSS Modeler-顧客価値を引き上げるアナリティクス, 東京図書株式会社, 2017, 28-30.
- 4) 小浦洋平, 川端馨, 小貫由樹雄ほか: ごみピット3次

元マップ技術を用いたごみクレーン自動運転システムの運用効果, 第38回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 釧路, 2017-01-18/20.

- 5) 片山武, 三浦崇史: 高カロリーごみに対応したごみ焼却発電施設水冷火格子の運転状況, 産業機械, 2014, 764, 25-28.

※ なお、本稿は下記にて発表した内容である。

- ・山瀬康平, 古林通孝, 佐藤拓朗ほか: ビッグデータ技術を活用したストーカ炉における燃焼の安定化, 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会, 名古屋, 2018-09-12/14.
- ・阪口央紗, 古林通孝, 片山武ほか: ストーカ炉の自動燃焼制御の高度化, 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会, 名古屋, 2018-09-12/14.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 環境事業本部

開発センター

山瀬康平

Tel : 06-6569-0196 Fax : 06-6569-0197

e-mail : yamase@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation

Environment Business Headquarters

Business & Product Development Division

Kohei Yamase

Tel : +81-6-6569-0196 Fax : +81-6-6569-0197

e-mail : yamase@hitachizosen.co.jp



山瀬康平



阪口央紗



古林通孝



佐藤拓朗



片山武