

# 廃棄物処理施設における IoT・AI・データ活用による 運転自動化

## Automatic Plant Operation Utilizing AI and Big Data Analysis in Waste-to-Energy Plants

小嶋 浩史 KOJIMA Hiroshi JFE エンジニアリング 環境本部 PPP 事業部 技術企画部 開発グループマネージャー  
田部 史朗 TABE Shiro JFE エンジニアリング 環境本部 PPP 事業部 技術企画部 開発グループ 統括スタッフ  
河野 敬行 KAWANO Takayuki JFE エンジニアリング 技術本部 ICT センター AI ビッグデータ活用推進部 統括スタッフ

### 要旨

JFE エンジニアリングの主力商品である一般廃棄物処理施設では、お客様である自治体より建設に加えて中長期に渡る運営・運転業務も委託される運営案件が増加している。当社は、既に数多くの運営案件を受注しているが、運営施設においては、運営コストを低減するために少人数での効率的な運転が必要となっている。今後更なる少子高齢化や労働力不足の進展により、ベテランの運転員が不足する傾向にある。このような状況に対して、当社は2014年9月に横浜本社に遠隔支援施設を開設し、遠隔からベテラン運転員が運転を支援する環境を構築してきたが、更に年々拡大する支援施設に対応するため、運営施設の全自動化を目指している。本稿では、全自動化を進めるにあたり、最も重要な焼却炉の自動運転への取組みと、実証運転の結果を報告する。

### Abstract:

Construction of a Waste-to-Energy (WtE) facility is the core business of JFE Engineering. And in this field, our clients in Japan (e.g., local authorities) are more interested in medium- and long-term management and operation contract, in addition to simple EPC contract. Numerous numbers of such a management and operation contract are ongoing currently, but efficient operation with a small number of operators is required in order to reduce operational cost. In addition, due to “declining birth rate / aging population” and “labor shortage”, we are facing a shortage of experienced operators. To solve the situation, JFE Engineering has opened a remote support facility in Yokohama headquarters in September 2014, and has been providing remotely assisted plant operation to experienced operators from this facility. Furthermore, in order to support WtE facilities which increase every year, “fully automated operation” of such facilities is necessary.

In this paper, we will report how we have achieved “automatic operation” of incinerators, and the result of the demonstration operation at a fully automated operation facility.

## 1. はじめに

廃棄物処理施設では、施設の建設に加えて建設後の運営も民間で行う DBO (Design Build Operate) 方式や PFI (Private Finance Initiative) 方式が主となっている。既に稼働中の施設においても、長期包括運営方式に変更する施設が増加している。この事業環境の変化に対応すべく、当社は2003年から行ってきたリモートメンテナンスサービスを強化し、2014年9月にプラントの操業等を遠隔から支援する施設として、リモートサービスセンター (Remote Service Center : 以下 RSC) を設立した。RSC には、IoT を活用し遠隔から全国の施設を支援するシステム「JFE ハイパーリ

モート<sup>®</sup>」(※) を装備し、運営施設の支援を行ってきた。加えて2018年3月には施設を拡大しセキュリティ機能を強化したグローバルリモートセンター (Global Remote Center : 以下 GRC) に移行し支援を拡大している。

本稿では、GRC による遠隔支援について紹介するとともに、IoT, AI, データ分析の技術を活用した焼却炉の自動運転の開発状況について紹介する。

## 2. 遠隔支援システムの概要

### 2.1 グローバルリモートセンター (GRC)

GRC は、廃棄物処理施設専用の遠隔支援施設 RSC を、当社が建設する他のプラントも支援する遠隔支援施設に拡大し、更に海外プラントの遠隔支援機能とサイバーセキュリティ

2019年10月7日受付



図1 グローバルリモートセンター設立までの経緯<sup>1)</sup>  
 Fig. 1 Background to Global Remote Center establishment<sup>1)</sup>

ティ対策を強化した施設である。

ここでの廃棄物処理施設向けの遠隔支援は、ベテランの運転員が各施設と同じ24時間体制で、焼却炉を主とする運転の監視と必要時の操作を行い、安定した安心なプラントの運転を支えている。

GRCは遠隔からの運転監視と操作に加え、IoTを活用して収集・蓄積しているさまざまなデータを、分析手法やAIを用いて、最新の「JFEハイパーリモート」による支援強化に活用している施設でもある。図1にGRC設立までの経緯を示す。

## 2.2 JFEハイパーリモート<sup>®</sup>

「JFEハイパーリモート」は廃棄物処理施設の遠隔支援を行う機器とシステムで構成され、2014年9月にその運用を開始した。支援施設は当時2施設であったが、現在10施設へ拡大している。更に、今後の支援が決まっている5施設を加え、間もなく15施設を支援することになる。

本システムには大きく3つの機能がある。

- 1) 支援施設の中央制御室で運転員が行う監視・操作業務を遠隔地からでも同様に行える機能。
- 2) 運転データや燃焼画像などのさまざまなかつ膨大なデータを収集し、データ分析やAIに活用する機能。
- 3) 支援施設の多くが発電施設のため、電力会社や特定規模電気事業者(PPS)へ販売する電力を最適化する機能。

これらの中で、GRCの運転員の主な業務は一つ目の監視・操作業務である。当社は蓄積してきたデータと最新のAIの技術を活用し、図2の構想を数年前に打ち立て、図3に示す中央制御室での無人運転を目指して技術開発を進めている。

## 3. IoTとAI活用による遠隔支援

### 3.1 AI活用による支援領域

廃棄物処理施設運営民営化の進展に伴い、ベテランの運転員が徐々に不足してきており、今後もこの傾向は続く。この状況に対応するため、当社はGRC設立時よりIoTを活用してさまざまなデータを収集してきた。これらのデータの活用目的は、一つはベテランの運転員が焼却炉の安定した安

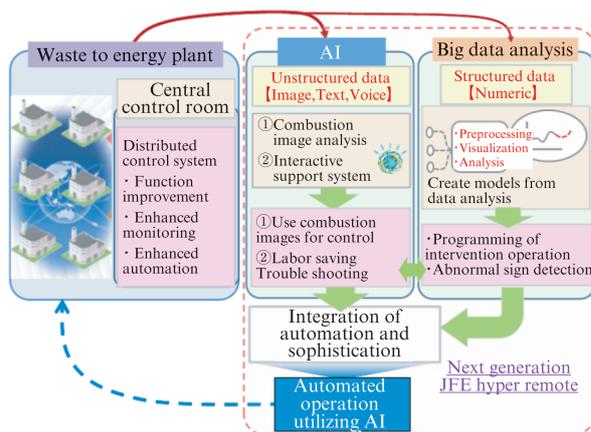


図2 データとAI活用のシステム概要  
 Fig. 2 System overview of data analysis and AI

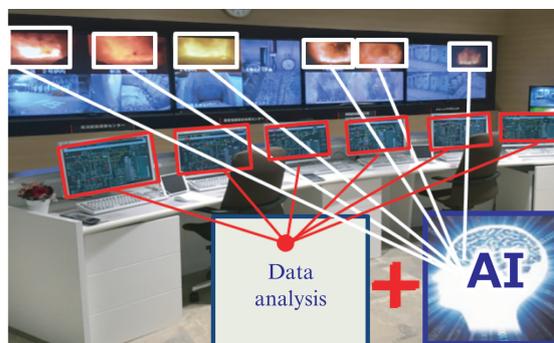


図3 AIを活用した焼却炉の自動運転イメージ  
 Fig. 3 Image of automatic operation to incinerator utilizing AI

心な運転に向けて行う手動介入操作を自動化すること、もう一つは、ベテランの運転員のノウハウを蓄積し活用することである。

この目的を達成するために、2015年より主要なAIメーカーを交えてAIの活用を検討し、2018年に対話型支援システムと燃焼画像解析システムの2つのシステムを運用開始した。

### 3.2 対話型支援システム

対話型支援システムは、ベテラン運転員のノウハウやさまざまなドキュメント類をデータベースに蓄積し、AIの音声認識・意図理解・音声合成の技術を活用することで、新人や若手運転員が音声で問い合わせると、即座に適切な回答が音声や図面により得られるシステムである。本システムには2つの機能があり、1つが運転の手法やトラブルに関する問合せ機能、もう1つが、設計図面や取扱説明書、手順書やトラブル事例等のドキュメント(図面)検索機能である。図4は対話型支援システムの概要、図5に実際に利用している問合せ画面の一例を示す。

本システムは2018年5月から試験運用を開始し、10月よりGRCと2つの運営施設で本運用を開始している。運用していく中で、問合せに対し、それを正しく理解できず違った

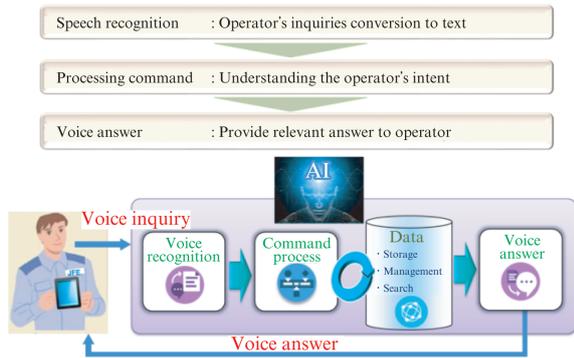


図4 対話型支援システムの概要<sup>1,2)</sup>  
Fig. 4 Outline of interactive support system<sup>1,2)</sup>



図5 対話型支援システムの問合せ画面  
Fig. 5 Inquiry screen for interactive support system

意味に誤解してしまい、正しい回答やドキュメントが得られないケースが出てきた。

本システムでは問合せ時の音声や意図理解結果、回答結果を全てログ管理している。運用管理者はこれらのログを確認し、専門用語や辞書、問合せ内容のテキスト変換や、意図理解の精度を向上させるための用語の追加登録や意図理解を強化する学習を行い、精度向上を継続的に図っている。

### 3.3 燃焼画像解析システム

廃棄物処理施設の中央制御室や GRC では、安定した安心な運転確認のため、運転員が DCS (Distributed Control System) 画面のプロセスデータと ITV (Industrial Television) モニタで、焼却炉内の燃焼状態を監視している。燃焼画像解析システムは、ITV モニタで監視している燃焼画像の良し悪しを数値化するシステムである。

焼却炉の運転には自動燃焼制御装置 (Auto Combustion Controller: 以下 ACC) を適用しており、さらに重要なプロセスデータが管理値を逸脱しないよう警報を設定しているため、DCS のアラームで確認して燃焼の改善対応が必要かどうかを判断できる。しかし、燃焼状態は警報通知機能がないため、運転員が燃焼映像を監視し、運転経験から燃焼状態の良し悪しを判断する必要があった。当社はこの燃焼

状態の判断のため AI を活用した燃焼画像解析システムを構築し、2018 年 10 月より本運用を開始している。本システムにおいても、システムの運用管理者が、追加学習によりベテランの運転員が行う燃焼状態判断と同等なレベルに向けて向上を図っている。

本システムでは、燃焼映像を廃棄物処理施設側の DCS に取り込み、ここで映像から画像化されたデータを入力する。その画像データについて、過去の画像データで学習し精度を高めた分類器が、燃焼状態の良し悪しを数値化する。この数値は施設側の DCS でプロセスデータと同様に監視でき、また改善が必要な状態になると、警報により運転員に通知する。

図6 は燃焼画像解析システムの概要、図7 は運用で利用している燃焼の見える化画面の一例である。図8 は燃焼画像解析システムによる燃焼状態の数値化例である。

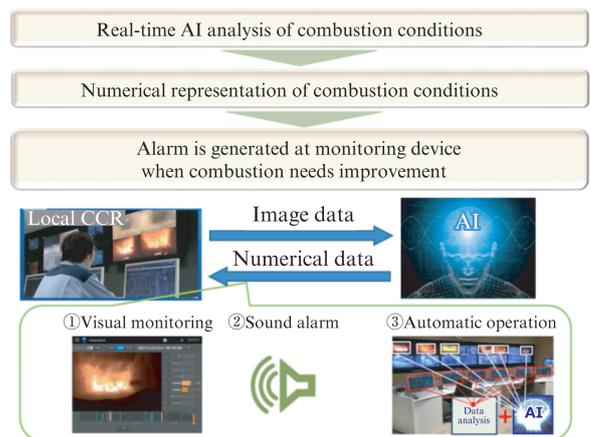


図6 燃焼画像解析システムの概要<sup>2,3)</sup>  
Fig. 6 Outline of combustion condition analysis system<sup>2,3)</sup>

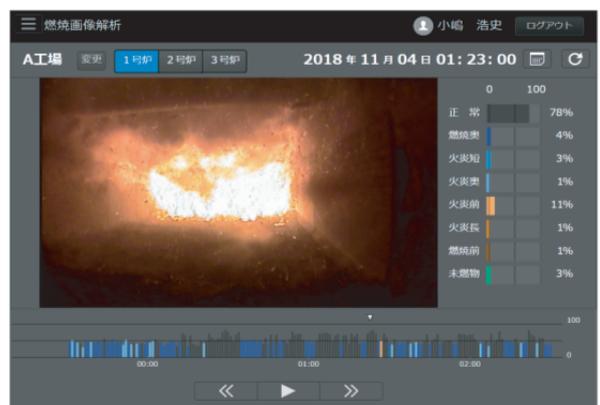


図7 燃焼画像解析システムの見える化画面<sup>2,3)</sup>  
Fig. 7 Visualization monitoring screen of combustion condition analysis system<sup>2,3)</sup>

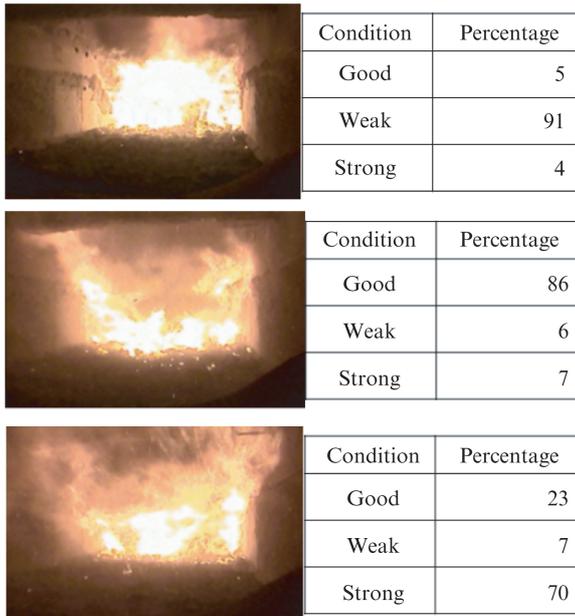


図8 焼却炉画像解析システムによる実画像の数値化例

Fig. 8 Example of digitization of real images by combustion condition analysis system

#### 4. 焼却炉自動運転への取組み

##### 4.1 自動運転への課題と取組み概要

前述のとおり、焼却炉の運転管理はACCで自動制御している。しかし、焼却炉に供給されるごみのカロリーは常に変動しており、その変動幅が大きくなると、ACCによる自動制御のみでは、厳守すべき燃焼管理温度や排気ガス成分等の運転管理値が不安定な燃焼状態になることがある。この場合に、運転員は改善の必要性を判断し、必要時にはACCによる燃焼制御に対して介入操作を行い、燃焼を改善させている。

運転員が行う介入操作をプログラム化し、ACCによる燃焼制御を強化することで、より一層安心で安定した焼却炉の自動運転を目指す。このため、介入操作に関わるさまざまなデータを分析し、介入操作の自動化を進めた。この取組みを進めるにあたり、考慮すべき事項が主に3つあった。

- 1) 運転員は様々なプロセスデータや燃焼状態から介入操作を判断している。
- 2) 介入操作の判断基準は人により異なる。
- 3) 同じような状況でも介入する操作項目が異なり得る。

これらを踏まえ、運転員がさまざまなデータを確認して介入する判断基準、介入時の操作量、復帰するタイミングをモデル化し、制御プログラムとして燃焼制御に取り入れ、実施での実証運転を進めた。

図9は火格子増速時のプロセスデータ、図10は火格子減速時のプロセスデータの分析例である。

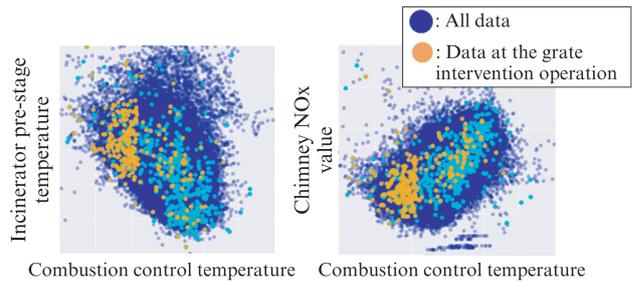


図9 火格子増速時のプロセスデータ<sup>3)</sup>

Fig. 9 Process data at the time of grate increase<sup>3)</sup>

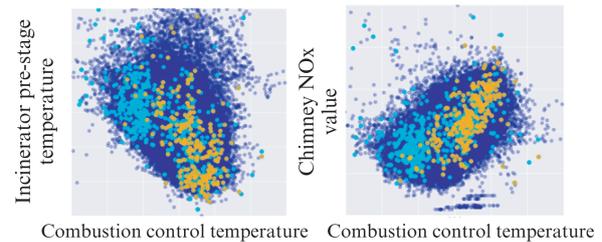


図10 火格子減速時のプロセスデータ<sup>3)</sup>

Fig. 10 Process data at the time of grate deceleration<sup>3)</sup>

##### 4.2 実証運転の状況

2018年10月より自動運転の制御機能を実施に導入し、実証運転を継続している。ここでは、運転員の介入操作データの分析から自動運転に有効と判断したプロセスデータと、焼却炉画像解析システムから得られる燃焼状態データを総合的に組み合わせ、安定燃焼に向けたベテランの運転員の操作内容を、従来のACC制御に付加している。

運転員が介入操作する項目は複数あるため、2018年10月時点では、当社のストーカ式焼却炉で最も重要かつ介入操作頻度が多い、ごみ供給系へ自動運転機能を導入した。その後、2019年2月からは送風系へも拡大した。

ごみ供給系への機能導入により、これまでベテランの運転員が1炉当たり1日で数回から数十回行っていた介入操作が、2019年1月には約3割に低減した。ついで、送風系の自動制御を追加したことで運転が更に安定し、結果としてベテランの運転員が介入することなく、長期に自動運転できることを確認した。図11に実証運転を進めた時期の介入操作の状況を示す。

2019年2月の時点で、運転員による介入操作がほぼゼロになり、代わりに、自動運転の制御機能が行った介入操作回数は、導入前の回数に比べ4割程度増加している。

また、自動運転が燃焼の安定性向上につながっているか、従来運転と自動運転を比較評価した。ごみの質が同じ時期で比較するため、2018年4月の従来運転と2019年4月の自動運転で、焼却炉の燃焼管理温度の瞬時値とその1時間移動平均温度の分布を整理した。その結果を図12に示す。

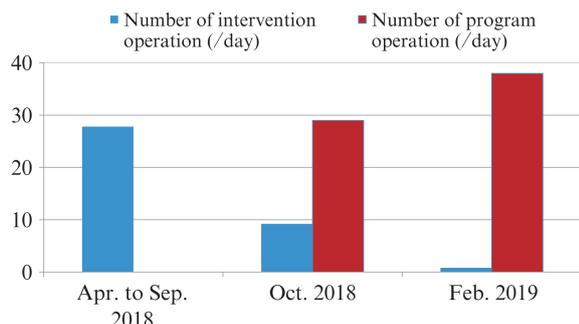


図 11 実証運転での操作介入状況

Fig. 11 Operation intervention status in demonstration operation

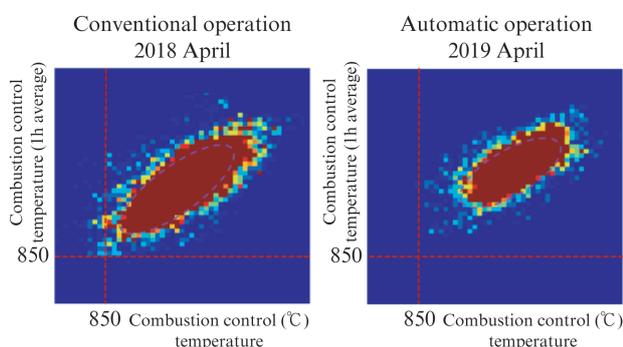


図 12 従来運転と自動運転の燃焼管理温度分布

Fig. 12 Distribution of combustion control temperature between conventional operation and automatic operation

なお、安定燃焼のため燃焼管理温度は 850℃以上を確保することが必要である。図 12 に示すとおり、自動運転では従来運転に比べ燃焼管理温度の分布領域が小さくなっており、自動運転ではごみの燃焼管理温度がより安定していることが分かる。

発電施設を有する廃棄物処理施設では、ボイラから発生する蒸発量と燃焼管理温度との相関が高いため、燃料管理温度の安定は蒸発量が安定することにつながり、最終的には蒸気を使う蒸気タービン発電機からの発電も安定することになる。更に、燃焼管理温度が安定することで炉内の熱変動が少なくなり、耐火物の摩耗や消耗の低減にもつながる。

本運転は現在も継続し、長期にわたり焼却炉自動運転による燃焼の安定性を確認している。

## 5. おわりに

2018 年度から「JFE ハイパーリモート」による支援は、これまでのベテラン運転員による遠隔支援に加えて、データ分析や AI 技術を活用した焼却炉の自動運転の強化に取り組んでいる。焼却炉の自動運転は、実施設の ACC を強化する形で導入し、間もなく 1 年が経過する。2019 年 2 月には、2 週間以上にわたる焼却炉の完全自動運転の達成という良好な結果が得られ、その後も自動運転を続けている。自動運転によるデータ収集と分析、そして AI の活用強化により、安定した最適燃焼制御による安心できる自動運転を確認するとともに、現在本機能を 4 施設に導入し、システムの商品化に向けた取り組みも進めている。

当社は社会インフラである廃棄物処理施設をはじめとした環境プラントの安心で安定な運営事業を今後とも拡大、強化し、社会に貢献していく所存である。

※「JFE ハイパーリモート」は、JFE ホールディングスの登録商標です。

### 参考文献

- 1) 小嶋浩史, 妹尾光敏, 橋本武喜. 廃棄物発電施設における IoT とデータ解析の取組み. 第 28 回 環境工学総合シンポジウム 2018 講演論文集. 2018, p. 160-163.
- 2) 小嶋浩史. 廃棄物処理施設における IoT, AI 活用例. INDUST. 2018, no. 367, p. 38-41.
- 3) 小嶋浩史, 妹尾光敏, 河野敏行, 玉川耕介. 一般廃棄物発電施設における AI とビッグデータを活用した運転自動化. 第 29 回 環境工学総合シンポジウム 2019 講演論文集. 2019, p. 132-135.



小嶋 浩史



田部 史朗



河野 敏行