

ごみ焼却プラント運転訓練用シミュレータ

Operator Training Simulator for Refuse Incineration Plant

長谷川正則 制御技術部 第一技術室 統括スタッフ
長屋 敬一 制御技術部 第一技術室 統括スタッフ
黒田 学 基盤技術研究所 計測制御研究部 制御システムチーム 主任研究員
橋本 武喜 エヌケーケー総合設計㈱ ソリューションシステム部 第二技術室

Masanori Hasegawa
Keiichi Nagaya
Manabu Kuroda
Takeyoshi Hashimoto

この度当社は、以前よりごみ焼却プラントに納入してきた運転訓練用シミュレータにおいて、排ガス処理設備および蒸気ボイラ・タービン発電設備のシミュレーション機能を強化するとともに、設備異常時の対応操作訓練機能を拡充した新システムを開発し、大型清掃工場に導入した。本稿では、この新システムにおいて実施した拡張点・改良点を中心に報告する。

NKK's enhanced simulator for operator trainings has been developed and installed in a refuse incineration plant, which was engineered and constructed by NKK. This simulator newly includes detailed dynamic model of steam boiler and turbine generating facility, and exhaust gas treatment systems. In addition, various enhancements in malfunctions simulation are implemented so that trainee can train trouble shooting more effectively than ever.

1. はじめに

当社はこれまでに、近年のプラントにおいて自動化が進み手動で運転する機会が減少していることに対応し、ごみ焼却プラントの運転習熟度の維持・向上を目的とした、手動操作による運転とそれによるプラントの振る舞いの模擬体験環境を提供する、ごみ焼却プラント運転訓練用シミュレータを開発・納入してきた¹⁾。

近年のごみ焼却プラントは、単にごみを焼却するだけではなく、エネルギーの効率的な回収を行うための発電プラントとしての役務や、環境問題対応のため、排気ガス成分管理を今まで以上に重視するなど、多様な要求事項が課せられている。このような背景の下、運転訓練用シミュレータも、単にごみ焼却炉の振る舞いだけでなく、排ガス処理系やボイラ・タービン系を含めたごみ焼却プラント主要設備全体を統合した環境にて訓練が実施できるシステムであることが望まれている。また、日頃は自動運転されているが故に、実炉では経験しにくい設備異常時の対処訓練も、運転訓練用シミュレータによる訓練にて補完できることが望まれている。

当社は、このような近年の運転訓練用シミュレータに対する要望に応えるために、当社が開発した運転訓練用シミュレータにさらなる改良・拡張を加えた新たな運転訓練用シミュレータを開発・具現化したので、ここに報告する。

2. 本システムの特徴

2.1 訓練範囲の拡張²⁾

本システムはストーカ式ごみ焼却プラントを対象とし、模擬実現されているごみ焼却プラントのプロセスを Fig.1 に示す。本システムは、当社がこれまでに開発したシステムを改良・拡張しており、焼却炉、燃焼排ガス処理および蒸気ボイラ・タービンの各プロセス動特性に則したモデルを開発し、それらを統合することで、ごみ焼却プラントプロセス全体を表現することが可能となっている。

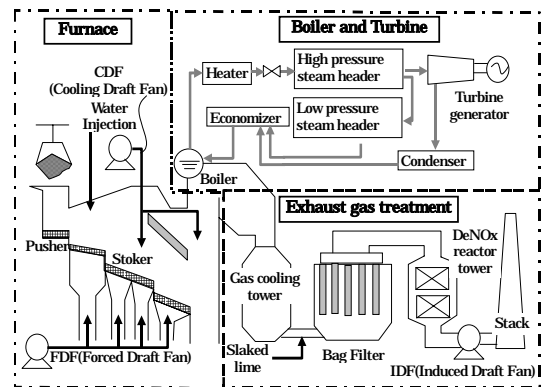


Fig.1 Simulated process of a incineration plant

これにより、焼却状態の変化による発電量の変化や排出される排ガス成分の変化、ボイラーの運転状況の変化による排ガス成分の変化といった全プロセスの間の相互関係を模擬体験することができる。

以下に本システムにより改良・拡張されたシミュレーションモデルの概略を示す。

(1) 模擬可能操作端の拡充

当社の運転訓練用シミュレータは、自動燃焼制御装置(以下、ACC (Automatic Combustion Control)と略記する)や1ループコントローラについても、実炉と同一となるように自動制御機能を模擬していたが、補機の操作などについては取り込まれていなかった¹⁾。

本システムでは、運転訓練上欠かすことのできない補機の操作(発停操作、故障模擬)を取り込むことを可能とした。これにより、主要な補機の運転状態によるごみ焼却プラントのプロセスの変化を体験することができる。

(2) 燃焼排ガス処理モデルの拡充²⁾

これまで簡易モデルにて実現していた燃焼排ガス処理モデルは、減温塔、消石灰による脱塩処理、バグフィルタおよびアンモニアによる脱硝反応塔についての詳細なモデルを開発、実装した。Fig.2 に燃焼排ガス処理モデルの構成を示す。

これにより、ごみの焼却状態の変化や排ガス処理設備の操作に対する NO_x や HCL, CO, 煤じん量などの排ガス成分の変化や排ガス温度の変化などを模擬体験することができる。

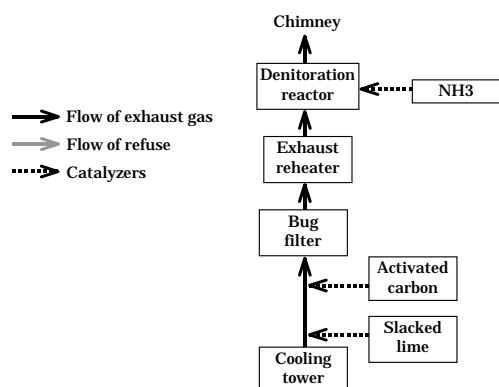


Fig.2 Exhaust gas treatment systems model

(3) 蒸気ボイラ・タービンモデルの拡充²⁾

これまで簡易モデルにて実現していた蒸気ボイラ・タービンモデルは、ボイラ給水ポンプ、ボイラ、蒸気過熱器、高圧蒸気溜、低圧蒸気溜、蒸気タービン発電機および復水器までの蒸気サイクルにおける設備ごとの詳細なモデルを開発、実装した。Fig.3 にボイラ・タービンモデルの構成を示す。

これにより、ごみの焼却状態の変化や蒸気ボイラ・タービン設備の操作に対する蒸気および水の振る舞いや発電量の変化を模擬体験することができ、さらには、蒸気タービントリップというような蒸気負荷の急激な変化に対して、焼却炉の振る舞いがどのようになるかを総合的に模擬体験することができる。

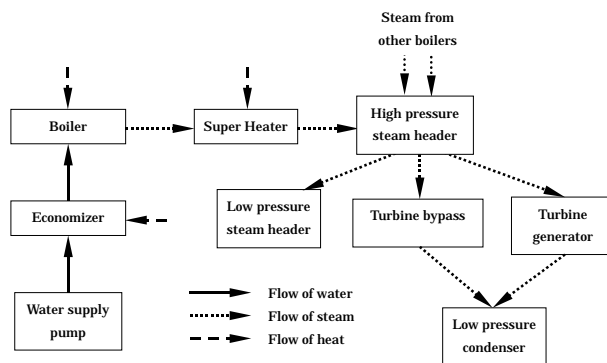


Fig.3 Boiler-Turbine model

2.2 運転訓練方法の拡充

運転訓練のフローと付帯する機能を Table 1 に示す²⁾。

Table 1 Training functions

Execution phase	Function
Preparation	Training scenario set up <ul style="list-style-type: none"> ■ Initial conditions ■ Refuse calorific ■ Malfunction and its occurrence time* ■ Training speed and period
	Model and controller calculation <ul style="list-style-type: none"> ■ Refuse combustion in the furnace ■ Water and steam in boiler and turbine generator system* ■ Exhaust gas in gas treatment systems* DCS model <ul style="list-style-type: none"> ■ Automatic combustion control ■ Plant Flow Graphic* ■ Trend graph ■ Process alarm summary ■ Control loops window* CG motion picture of furnace* Storing backtrack files Operations on field*
Evaluation	An example operation Evaluation of training result <ul style="list-style-type: none"> ■ Furnace operation ■ Countermeasure for malfunctions*
Others	Help file

* : The marked and bolded functions are enhanced or newly developed

被訓練者、もしくは訓練の指南役は訓練開始前に、訓練開始状態、炉内に投入されるごみ質の変動、訓練中に発生する設備異常、訓練速度および訓練時間などを設定する。

訓練が開始されると、被訓練者は訓練用画面からのプラントフローおよびアラームサマリや炉況模擬表示による炉内燃焼画像を通じて燃焼状態を判断する。

その結果、対処を必要とする操作端について、訓練用画面のループウィンドウ上で自動/手動モードを切り替えたり、手動操作量を入力する。

訓練終了後には、同一の訓練シナリオをおいて、すべての操作量を ACC / 自動モードとして自動的に模擬運転(以下、手本運転と略記する)を行う。設備異常発生後は、シミュレータに内蔵されている知識に従って手動操作が行われる。

訓練結果は、訓練運転と手本運転を同時に表示する、訓練結果表示画面に表示される。

以降で、特に本システムの開発において改良・拡張された機能について述べる。

(1) 設備異常時の対応訓練

設備異常の発生は、あらかじめ登録しておくか、訓練中の任意のタイミングで発生させることができる。被訓練者は訓練用画面上に表示されるプロセスデータ、アラームサマリから設備異常の発生を認識し、設備異常時のプラントの振る舞いを体験するとともに、その設備異常に対する対策操作方法を訓練する。Table 2 に主要な設備異常訓練項目の例を示す。

Table 2 Simulated malfunctions (extract)

Section	Simulated malfunctions (extract)
Furnace	Over loads IDF stop Stoker breakdown Etc.
Boiler and turbine	Boiler water level low Boiler pressure high Turbine exhaust gas pressure high Etc.
Gas treatment	Material feeding system breakdown Bugfilter filter break Gas cooling tower breakdown Etc.

さらに、本システムでは、自動制御装置の手動操作だけでなく、異常の発生した設備にて直接行われる対応や、異常設備の現場確認作業など、通常のごみ焼却プラントで行われる現場対応処置も訓練することができる。Fig.4 に本システムにおける現場操作の入力画面を示す。



Fig.4 Selection window for operation in field

(2) 手本運転機能の拡張

当社の運転訓練用シミュレータは、以前より、訓練終了後には、すべての操作端が ACC もしくは自動モードで運転がなされる手本運転を行う機能を有している¹⁾。

本システムでは、設備異常に対して、代表的な対策操作をデータベース化することにより、手本運転中にその操作をシミュレータ上で、実現する仕組みを開発した。設備異常に対するデータベース上の知識の例を Table 3 に示す。

Table 3 Knowledge base for a malfunction

Item	Description
Malfunction name	FDf stop
Typical behavior of process	Down gas temperature Down steam amount Increase CO in gas
Operation policy	Incineration stop
Operations from DCS	00:00:30 Stop waste feeder 00:01:00 Stop stokers 00:01:30 Down flow MV of CDF 00:02:30 stop water splay
Operations in field	00:07:00 Check the power control panel 00:10:00 Check the FDF
Limit time	30 min

シミュレータが持つ知識は設備異常に対する、標準的な手順、手動操作目標量、手動操作のタイミング、実施される現場対応および対応完了までの制限時間などである。

手本運転中に設備異常が発生した場合には、本システムは上記データベースに従い、手動介入操作や現場対応処置を模擬するとともに、それぞれの対策操作の場面において、実施内容を画面上に表示する。これにより、手本運転を通して被訓練者が設備異常時の対応操作・対応項目などを学ぶことができるシステムを実現した。Fig.5 に本システムにおける手本運転中に表示される手本運転の対応操作画面を示す。



Fig.5 Guidance window during a good example operation

(3) 訓練評価機能の改良

手本運転終了後には、主要な温度や排ガス成分などを、被訓練者が行った運転結果と手本運転の結果を同時に表示するトレンドグラフをもった訓練評価画面が表示される。Fig.6 に訓練評価画面を示す。

訓練評価画面では、以前のシステムでも保有している焼却炉運転内容を評価する上で重要な運転データ、ボイラ蒸気発生量、炉出口排ガス温度、排ガス CO 濃度、排ガス NOx 濃度、排ガス O₂ 濃度および未燃焼ごみ量による評価に加えて、新たに設備異常が発生したときの対策操作項目の一覧が表示され、被訓練者が対応操作を行ったかどうかを表示するとともに、操作・実施された時間も表示し、設備異常時の対応の内容および訓練時の問題点を確認することができるようになっている。

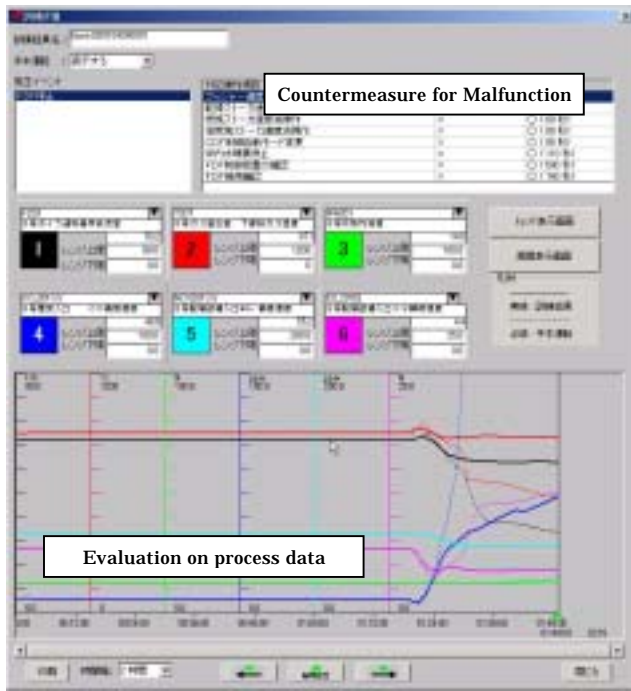


Fig.6 Training evaluation window

2.3 ヘルプ機能の充実

これまで、シミュレータシステムの使用法だけになりがちであったオンラインヘルプ機能について、そのシステムの使用法だけでなく、モデル化されているコントローラの解説（操作端のタイプ、操作目的および操作によるプロセスの振る舞い）についても、オンラインヘルプにて訓練中にいつでも参照できるようになっている。さらに、前述の設備異常時の対応操作についても、オンラインヘルプ上でその詳細を学ぶことができる。本システムにおけるオンラインヘルプの例を Fig.7 に示す。



Fig.7 Operational help for a malfunction

2.4 疑似炉況模擬表示機能の拡張

当社の運転訓練用シミュレータは、以前より、焼却炉の燃焼状態を把握するために、訓練用画面に表示されるプロセスデータのみではなく、CG (Computer Graphics)を利用した、焼却炉内のごみの状況や炎の状態を表現する疑似炉況表示機能を有することを特徴としてきた¹⁾。

本システムでは、この炉況表示機能について炉内のごみの状態や炎の表現手法を見直し、さらにリアリティの高いものになっている。その結果、より実炉に近い情報を被訓練者に提供することができる。Fig.8 に疑似炉況表示機能による画面を示す。



Left side view

ITV view

Fig.8 CG motion picture

3. ハードウェア構成

本システムにおけるハードウェア構成を Fig.9 に示す。本システムでは、訓練用 DCS 端末に、実炉と同じ DCS 装置を採用することにより、ごみ焼却プラントの運転訓練と同時に、DCS 端末の操作についても学ぶことができる。

また、シミュレーション計算機は実炉と同様な DCS 画面、コントロールループ画面などを再現する DCS 模擬画面が実装されている。これにより、訓練用 DCS 端末なしでも、スタンドアロンタイプのごみ焼却プラント運転訓練用シミュレータを提供することができる。Fig.9 の破線囲みは、スタンドアロンタイプの構成を示す。

Photo 1 に訓練用 DCS 端末、模擬炉況表示計算機、シミュレーション計算機の設置例全景を示す。

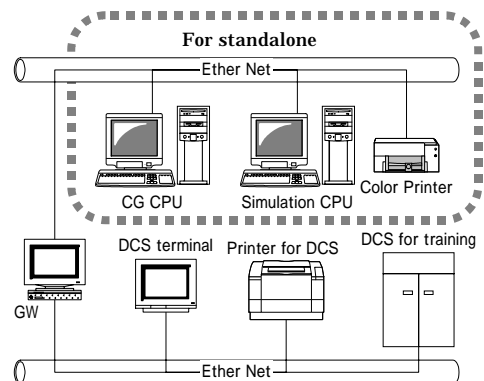


Fig.9 Hardware configuration

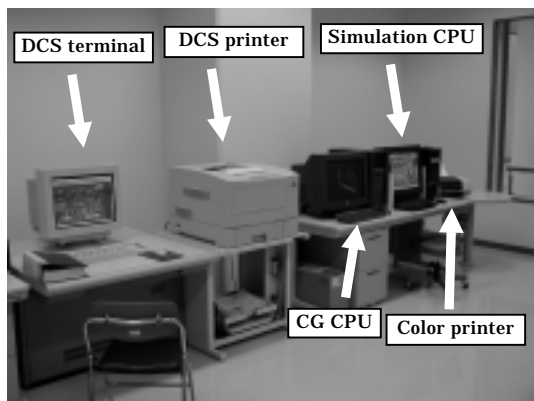


Photo 1 An example of hardware installation

参考文献

- 1) 月岡ほか. “ごみ焼却プラント運転訓練システム”. NKK 技報. 166号, pp.21-26(1999).
- 2) 黒田ほか. “ごみ焼却プラント向け運転訓練装置の開発”. 第40回計測自動制御学会学術講演会, 203A-1 (2001).

<問い合わせ先>

制御技術部 第一技術室

Tel. 045 (505) 8931 長谷川 正則

E-mail address : hasegam@eng.tsurumi.nkk.co.jp

エヌケーケー総合設計(株)

ソリューションシステム部 第二技術室

Tel. 045 (505) 7953 橋本 武喜

E-mail address : hashimoto@nssnet.co.jp

4. おわりに

本システムは、ごみ焼却と排ガス発生挙動を表現する燃焼モデルに加え、排ガス処理の挙動モデル、蒸気タービン発電機を含む蒸気サイクルモデルを統合したごみ焼却プラントのモデルを実現した。また、設備異常時の対応操作の知識を持ち、設備異常時のごみ焼却プラントの振る舞いを模擬した上で、その知識を効果的に被訓練者に教示する運転訓練機能により、初級運転員の訓練だけでなく、中級以上の運転員の運転スキル維持にも十分有用なシステムになっている。

また、実プラントの制御装置と切り離されたパーソナルコンピュータにて実現されるシステムであることから、ごみ焼却プラントとは全く別の場所で、プロセスや運転技術の習得のための訓練を行うような使用方法も可能である。

本システムは、現在、大型ごみ焼却工場に導入され、運転員の訓練ツールとして活用されている。さらに、2002年度に、他の2件の大型清掃工場に本システムを導入予定である。

今後は、さらに現場のニーズを取り入れ、機能向上を図っていく所存である。