

ストーカ式焼却炉における 低空気比燃焼運転

Operation Data from Grate Incinerator under Low Air Ratio



技術本部プラント技術部技術室
樋口 豪
Go Higuchi
技術開発本部
プロセス技術開発部廃棄物処理室
伊藤 正
Tadashi Ito

(株)神戸製鋼所 技術開発本部
生産システム研究所計測制御研究室
前田 知 幸
Tomoyuki Maeda

当社は、2000年6月に下関市よりストーカ式都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、順調に運転を継続している。本施設は高温燃焼・高度排ガス処理にくわえて、焼却灰、飛灰の溶融処理による総合的な環境対策技術を適用したものであり、さらなる環境負荷の低減をめざして2004年11月より低空気比燃焼運転をおこなっている。その結果、ボイラ出口ダイオキシン類濃度の低減、排ガス流量の減少およびボイラ蒸発量の増加と良好な運転成果がえられた。また、ボイラ蒸発量のより一層の安定化を目的として、新たにアドバンスト制御を開発した。

The plant in Shimonoseki City is composed of a grate incinerator featuring high-temperature incineration with air ratio of 1.6, a high-efficiency heat recovery process, and an ash melting process. In view of furthermore reduction of harmful influences on the environment, a practical operation with air ratio of 1.4 has been conducted. The operation results show decrease in dioxins concentration at boiler exit, decrease in flue gas flow, and increase in steam generation rate. A new control system is developed using model predictive control theory, which is able to stabilize steam generation rate.

Key Words :

都 市 ご み
ストーカ式焼却炉
低 空 気 比
モデル予測制御

Municipal solid waste
Grate incinerator
Low air ratio
Model predictive control system

まえがき

ストーカ式焼却炉は今日までごみ焼却処理の主要技術として多くの実績を有しているが、ダイオキシン類の規制強化や最終処分場残余量が少なくなるなか、高度燃焼技術、高効率発電および焼却残さの有効利用などの技術改善が本格化してきている。

当社は、1970年代から続く欧州ストーカ炉の技術を継承し、世界的に多くのストーカ炉の経験を有するルルギ社（独）と技術提携した。ルルギ社ではヘ

ルテンリサイクル施設（480 t/24 h）をはじめとして、すでに低空気比／高温燃焼での長期連続運転をおこなっており、当該技術による当社1号機が2002年11月に下関市で竣工し、以降順調な運転を続けている。本報では、竣工以降の稼働実績、2004年11月以降実施している低空気比（総空気比1.4における）燃焼での運転状況、および適用試験をおこなっているアドバンスト制御システムの概要について報告する。

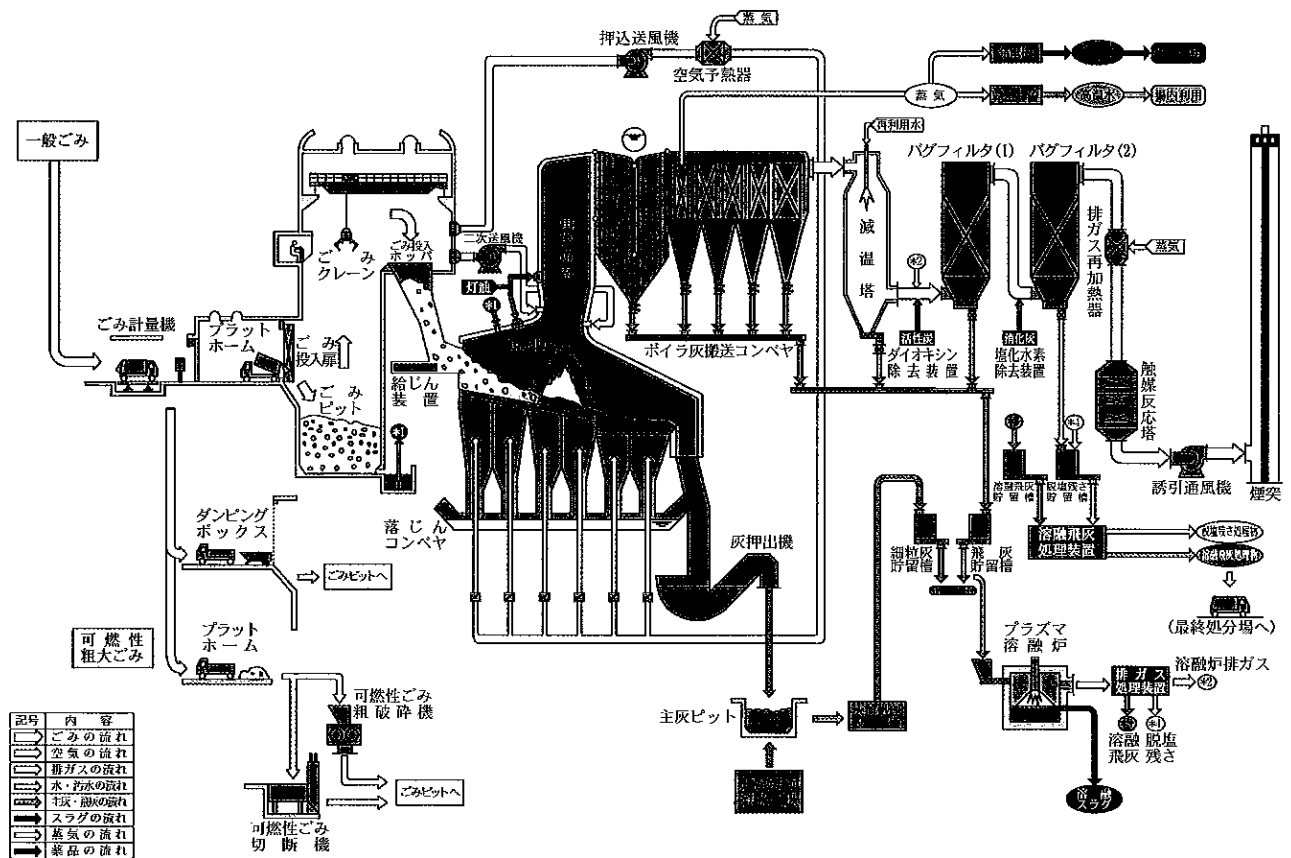


図1 施設フロー

1. 施設の概要

下関市奥山工場の処理フローを図1に、施設外観写真を写真1に示す。ストーカ式焼却炉の能力は180t/24h×1炉、ボイラは最大蒸発量32t/hの自然循環式水平煙道型（テールエンド型）ボイラを採用しており、蒸気条件は（常用）3.92MPa×400℃、発電容量は3180kWである。焼却炉火格子は対向摺動式と並行摺動式を組み合わせたコンバインドストーカ、主燃焼室は全メンブレン水冷壁構造とし、高温燃焼を実現しながらもクリンカの発生を抑制している。また、二次燃焼室は炉中央部に位置する直交流型で、一次燃焼室出口に絞り部を設け、さらに二次空気を前後方向から吹き込む構造となっている。

灰熔融炉についてはプラズマ方式で、本施設および隣接する既設炉で発生する焼却灰および飛灰を全量処理する能力（41t/24h×1炉）を有している。炉内に投入された焼却灰・飛灰は1400℃程度の高温により熔融され、ダイオキシン類を分解するとともに塩類・重金属類を揮散させる。減温塔にて200℃以下に急冷された熔融排ガスはバグフィルタにて熔融飛灰の除去、乾式脱塩を施された後、焼却バグフィルタ前にて合流される。

焼却排ガス処理設備にはダブルバグフィルタ方式

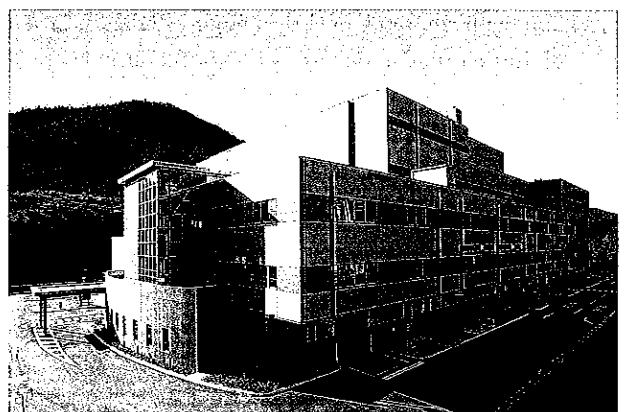


写真1 施設外観

+触媒反応塔を採用している。第1バグフィルタで捕集される飛灰は熔融処理し、第2バグフィルタで捕集されるカルシウム・塩素を多量に含む脱塩残さは薬剤処理の後、最終処分している。

2. 稼働実績

2.1 稼働実績

本施設は2002年12月より稼働を開始し、順調な運転を続けている。稼働実績を図2に示す。ストーカ炉に関しては2003年12月から6月までの196日連続運転をはじめ、2003年度、2004年度の稼働日数はそ

それぞれ321日、318日と高い稼働率を達成している。

灰溶融炉についても2004年1月から5月までの107日連続運転をはじめ、2003年度および2004年度の稼働日数はそれぞれ274日、287日となっている。

2.2 マテリアルバランス

2004年度1年間を通じたマテリアルバランスを図3に示す。57566tのごみを受け入れ、5309tの焼却灰および1453tの飛灰が発生している。隣接す

る既設炉から4102tの焼却灰、飛灰を受け入れ、前処理として不適物などを取り除いた後、溶融炉にて7541tの焼却灰、飛灰を溶融処理している。溶融炉でのスラグ化率は93.7%、不適物も含めた最終処分量は3296t（既存炉も含めた総ごみ処理量95935tに対して3.4%）となっている。

2.3 ダイオキシン類総排出量

本施設は高温燃焼・高度排ガス処理に加えて、焼

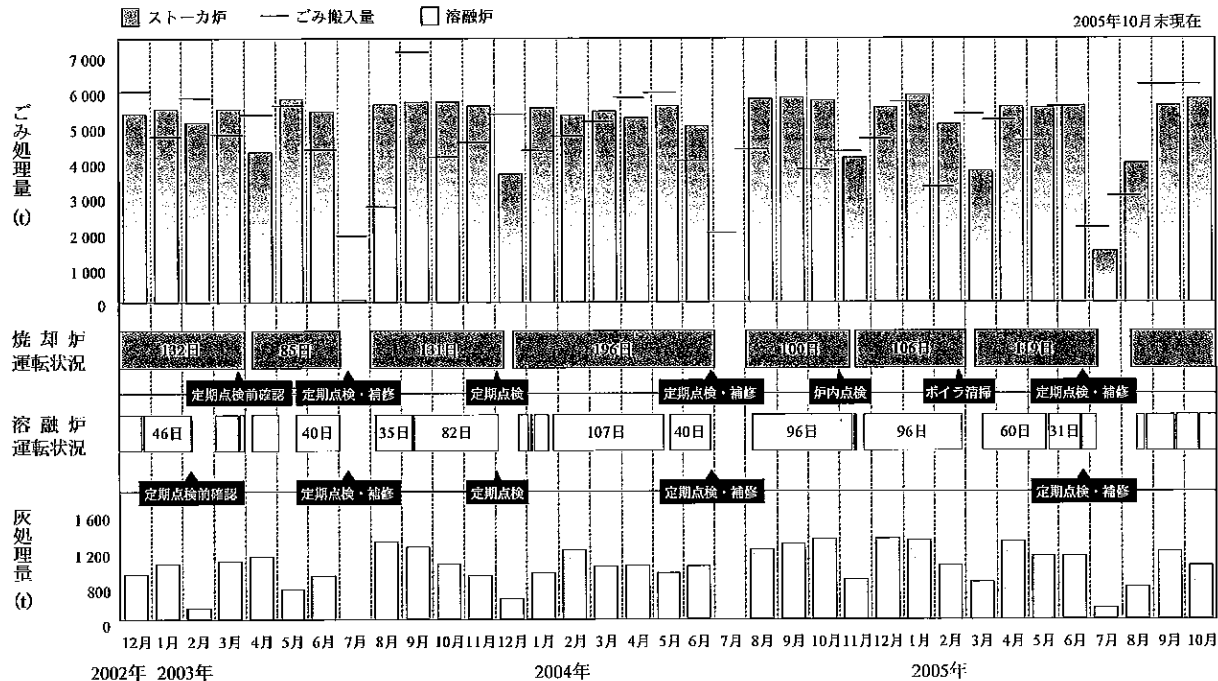


図2 施設稼働実績

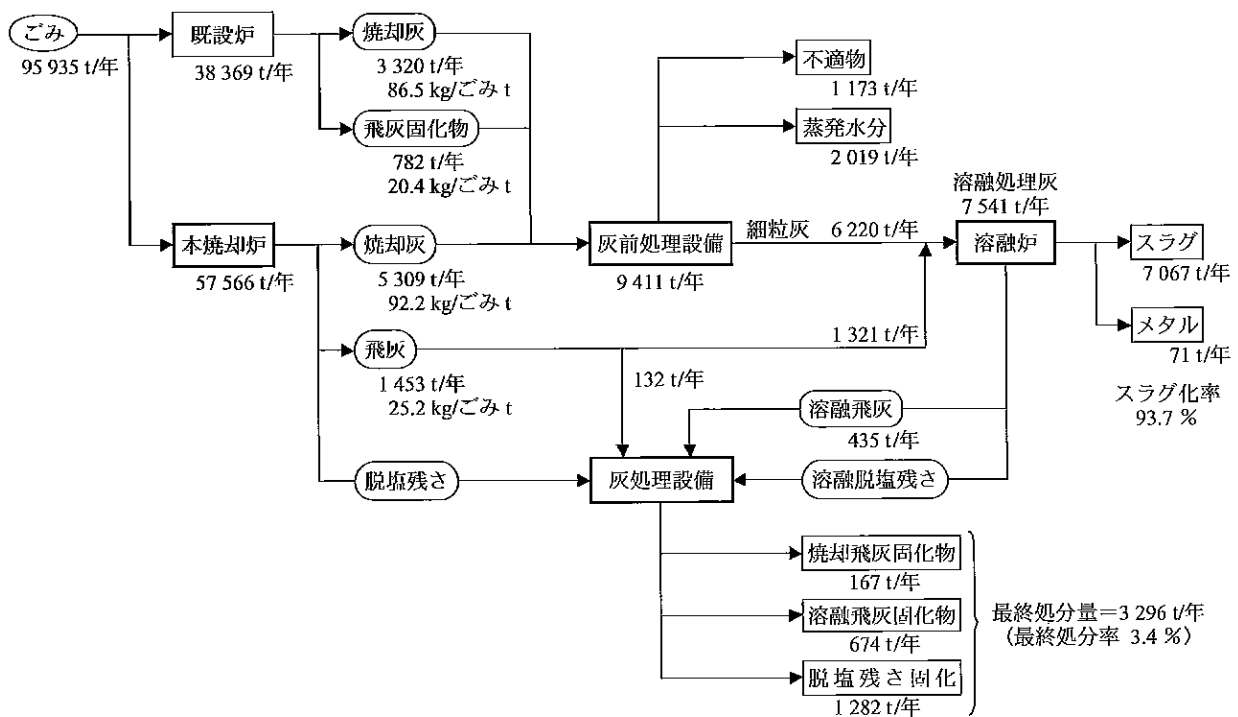


図3 マテリアルバランス (2004年度)

表1 ごみ1tあたりのダイオキシン類発生量

項目	排出量 (kg/ごみ t)	ダイオキシン類 濃度 (ng-TEQ/g)	ダイオキシン類 総排出量 (μg -TEQ/ごみ t)	割合 (%)
不適物	21	0.000048	0.0010	0.25
鉄分	6.7	0.0013	0.0085	2.1
スラグ	88	0.0000026	0.00023	0.058
熔融飛灰固化物	12	0.019	0.23	58
脱塩残さ固化物	18	0.0088	0.15	38
排ガス	(6 840 m ³ _N /ごみ t)	(0.00019 ng-TEQ/m ³ _N)	0.0013	0.33
合計	146	—	0.40	100

表2 運転条件

実施時期	—	2002年11月～ 2004年10月	2004年11月～ (継続中)
平均ごみ処理量	t/d	181.7	178.0
一次空気比(設定値)	—	1.05	1.00
二次空気比(設定値)	—	0.55	0.40
総空気比(設定値)	—	1.60	1.40
平均ごみ発熱量	kJ/kg	8 570	9 570

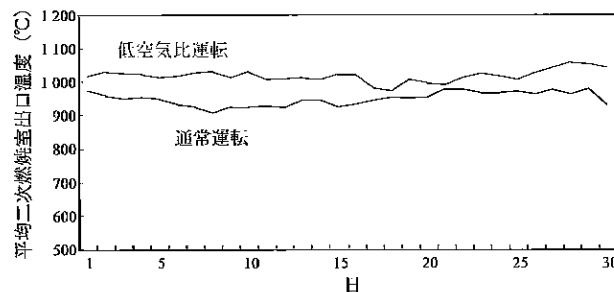


図4 二次燃焼室出口温度比較

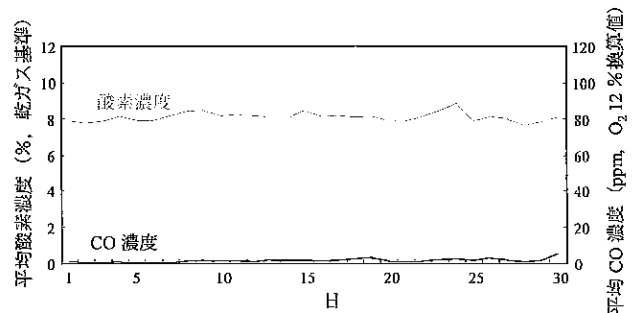


図5-a ボイラ出口排ガス濃度(通常運転)

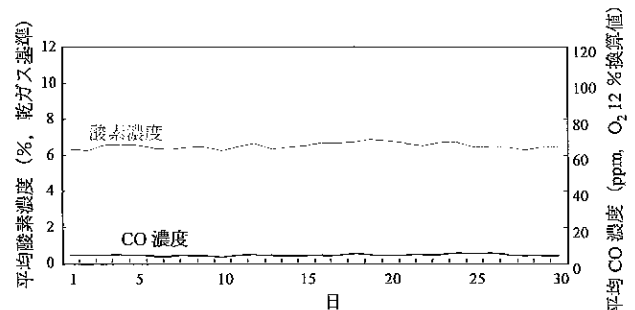


図5-b ボイラ出口排ガス濃度(低空気比運転)

却灰、飛灰の熔融処理による総合的な環境対策技術を適用したものであり、表1に示すようにごみ1tあたりのダイオキシン類総排出量は「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」でうたわれている5 μg -TEQを大きく下回る0.4 μg -TEQを達成している。

3. 低空気比燃焼運転

3.1 運転条件

従来、本施設は空気比1.6、ボイラ出口O₂濃度8% (乾ガス基準)程度で運転されていたが、低空気比燃焼運転に変更するにあたり、一次空気比は焼却灰熱しゃく減量の増加など燃焼悪化を引き起こさない値として1.0を設定した。また、二次燃焼室出口温度の上限値を1100℃として総空気比の設定をおこなったが、ごみ焼却量などの他の設定値は通常運転時の状態を維持した。運転条件を表2に示す。な

お、低空気比燃焼運転時においても排ガス再循環はおこなっていない。

3.2 二次燃焼室出口温度

通常運転時と低空気比燃焼運転時の二次燃焼室出口温度(滞留時間2秒経過後の炉内温度)の比較を図4に示す。通常運転では平均950℃(標準偏差20℃)で運転していたが、低空気比燃焼運転では平均1019℃(標準偏差19℃)と高温で燃焼しており、標準偏差から判断した安定性についても通常運転時と遜色ないものとなっている。

3.3 排ガス濃度

通常運転時と低空気比燃焼運転時のボイラ出口O₂濃度およびCO濃度を図5-a、5-bに示す。排ガス再循環をおこなわずとも、ボイラ出口O₂濃度は平均6.5%(乾ガス基準、空気比1.4相当)を安定して維持している。ボイラ出口CO濃度については

通常運転時平均値1.7 ppm に対して、低空気比燃焼運転時平均値4.6 ppmと若干増加しているが、30 ppmを超えるCOピークも認められず、低空気比燃焼条件下においても適正に燃焼していることがわかる。

ボイラ出口排ガス中のダイオキシン類およびNO_x濃度の測定結果をそれぞれ図6、7に示す。安定して炉内を高温に維持することにより、ボイラ出口排ガス中のダイオキシン類濃度は0.5 ng-TEQ/m³_Nを十分に下回っており、通常運転時とくらべ約50%に低減している。また、高温燃焼にもかかわらずNO_x濃度は低下している。

3.4 燃焼シミュレーション

本施設の燃焼室形状などの条件を合わせ、3次元燃焼シミュレーションによる検討をおこなった。図8、9に総空気比1.4としたときの温度およびO₂濃度コンター図を示す。燃焼帯の火格子近傍が高温となり、下流の二次燃焼室乾燥帯側が最も高温となっていることがわかる。O₂濃度分布としては、乾燥

帯から燃焼帯中央までの主燃焼室で低O₂濃度領域が認められ、燃焼帯中央から後燃焼帯で急激にO₂濃度の高い領域が広がっている。低空気比燃焼運転では二次空気流量が少なく、吹込流速も約20 m/sと低いため、ガスと空気の混合は炉頂部に向け緩やかにおこなわれていることがわかる。

3.5 焼却灰性状

低空気比燃焼運転時に採取した焼却灰の熱しゃく減量を表3に示す。焼却灰中の熱しゃく減量（年平均値）は3%未満となっており、低空気比燃焼運転による焼却灰性状の悪化は認められなかった。また、焼却灰中のダイオキシン類濃度についても0.1 ng-TEQ/gを十分に下回っていた。

3.6 排ガス量、ボイラ蒸発量について

通常運転時と低空気比燃焼運転時のごみ発熱量とボイラ蒸発量の関係を図10に示す。図より、通常運転時にくらべ、低空気比燃焼時には全体的にボイラ蒸発量が高くなっていることがわかる。これは排ガスの持出し熱量が減少したことによる効果である。

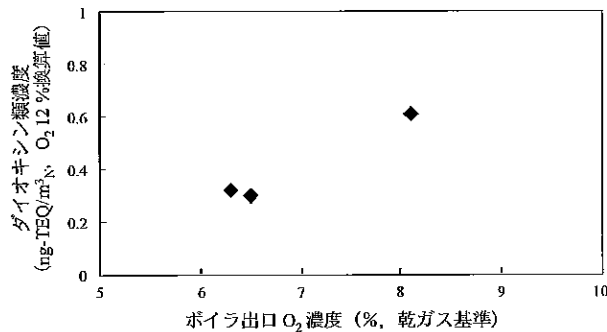


図6 ボイラ出口排ガス濃度 (DXNs)

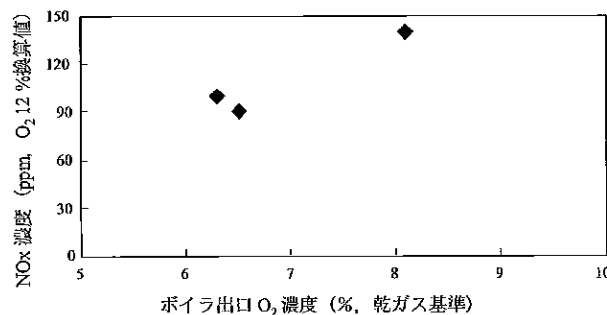


図7 ボイラ出口排ガス濃度 (NO_x)

表3 焼却灰性状

項目	単位	数値
熱しゃく減量 (2004年度平均値)	%	2.6
ダイオキシン類濃度	ng-TEQ/g	0.063

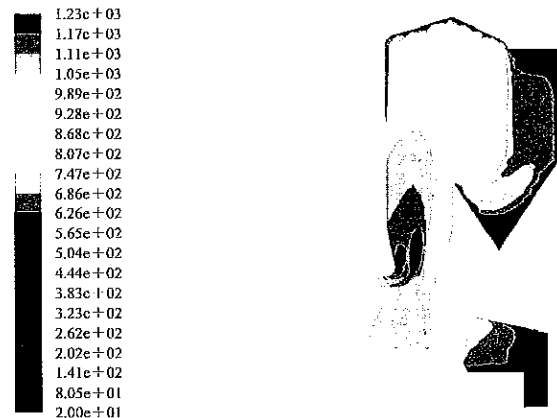


図8 温度コンター図

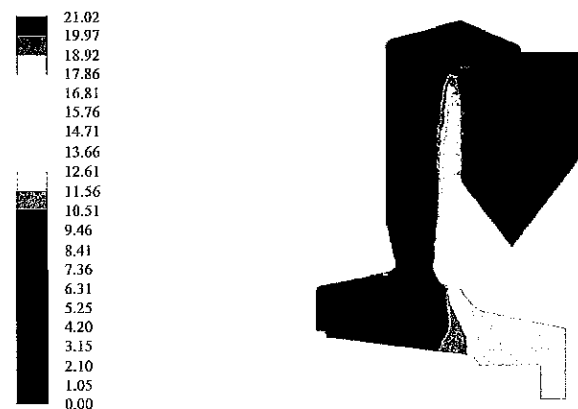


図9 O₂濃度コンター図

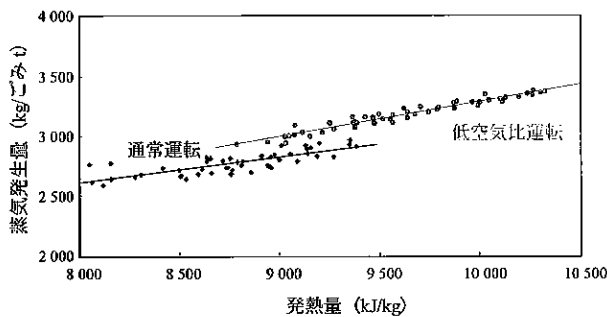


図10 ボイラ蒸気発生比較

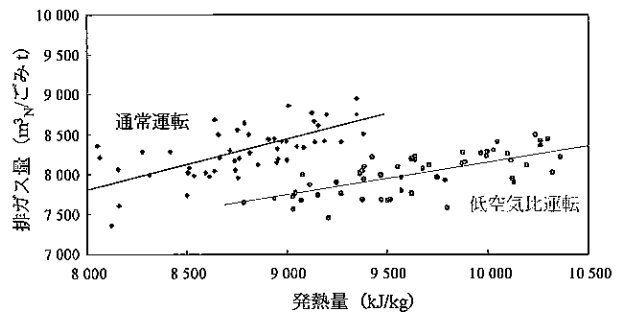


図11 煙突入口排ガス量比較

通常運転時と低空気比燃焼運転時の煙突入口での排ガス量の比較を図11に示す。熔融排ガスが第1バグフィルタ前で焼却排ガスに合流しているため、焼却排ガス量のみを比較することはできないが、ごみ発熱量9 000 kJ/kg時、低空気比燃焼運転では排ガス量約7 700 m³/dustとなり、通常運転時の排ガス量約8 400 m³/dustとくらべ約8.3%低減している。

3.7 炉内点検

低空気比燃焼運転を開始して約8カ月が経過した2005年7月に炉内点検を実施した。焼却炉の内部状況を写真2に示す。焼却炉内の空冷火格子、耐火物の損耗状況については通常運転時とくらべて有意差は認められなかった。また、炉内水冷壁へのクリンカ付着も軽微であった。

4. アドバンスト制御の適用

4.1 制御システムの概要

アドバンスト制御システムは以下の3つの制御機能から構成されている。

① 燃え切り点予測制御機能

燃え切り点位置を適正に保持し、発生蒸気量変動を抑制するために、燃え切り点予測モデルをもちいてストーカ送り速度を操作する。

② ごみ層厚制御機能

ストーカ上に滞留するごみの量と分布を適正な範囲に保持し、ごみ層厚と発生蒸気量の変動を抑制するために給じん機出力を操作する。

③ 燃焼制御機能

発生蒸気量を適正に保持するために、給じん機出力、二次空気流量を操作する。本機能は急激な燃焼負荷変動など上記2機能での抑制が困難な場合に対応するバックアップ機能である。

以下では、これらの機能のうち燃え切り点予測制御機能に関して述べる。

4.2 燃え切り点予測制御

ストーカ炉にはむだ時間が存在するため、PID制御などのフィードバック制御では制御ゲインアップ

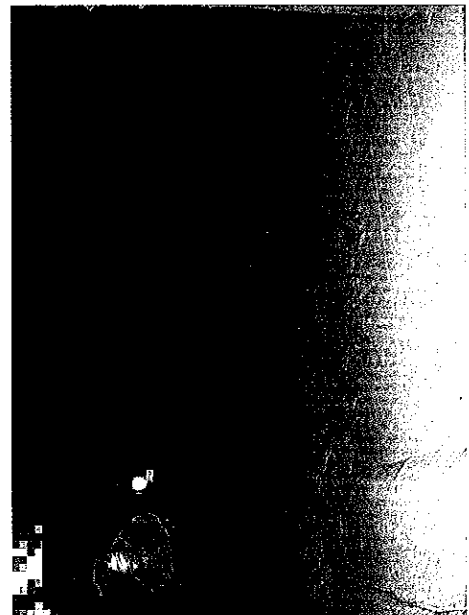


写真2 炉内点検

による制御性能向上には限界がある。その限界を超える性能をえるためには一種の予測機能を備えたフィードフォワード制御が必要となる。この点に着目して高精度な予測モデルを構築し、制御をおこなう機能を開発した。

予測モデルの構築には燃焼状態変化をより迅速に把握することができる火格子温度とともに燃え切り点を中間変数とするモデルを採用した。モデル式としては以下に示す一般的な線形モデルをもちいた。

$$\begin{aligned}
 X_t &= \sum_{k=1}^{M1} A_k * X_{t-k} + \sum_{k=1}^{M1} B_{1k} * T_{1t-k} + \sum_{k=1}^{M1} B_{2k} * T_{2t-k} \\
 &+ \dots + \sum_{k=1}^{M1} B_{pk} * T_{pt-k} + \sum_{k=1}^{M1} C_k * T_{gt-k} \\
 y_t &= \sum_{k=1}^{M2} D_k * y_{t-k} + \sum_{k=1}^{M2} E_k * X_{t-k}
 \end{aligned}$$

ここで、 y_t 、 X_t はそれぞれ時刻 t での蒸気発生量と燃え切り点を表し、 T_{it} は送り方向にゾーンを設

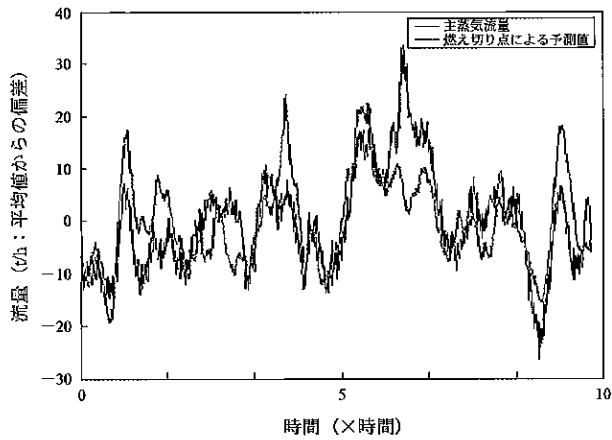


図12 燃え切り点による蒸気発生量予測

けた各ゾーンでの火格子温度を、 T_g は以下の式にて計算される燃焼重心位置を示す。

$$T_{gl} = \frac{\sum_{i=1}^p (i * T_{ii})}{\sum_{i=1}^p T_{ii}}$$

モデル式中の係数 $A_k, B_{ik}, C_k, D_k, E_k$ を実績データによりパラメータ推定することで予測モデルを構築し、その精度検証をおこなった。予測モデルもちいて5分先を予測した蒸気発生量と実測値を比較したものを図12に示す。図より、平均値からの流量偏差が±10以下の小さな変動に対する予測精度は低いものの、大きな変動に関してはおおむね正確に予測できていることがわかる。

4.3 今後の課題

今後は長時間連続適用による予測モデル精度の向上とその評価をおこない、ごみ処理量補償など制御システムの拡張により、さらなるブラッシュアップを図っていく予定である。

むすび

下関市奥山工場での低空気比燃焼運転により、以下の結果がえられた。なお、低空気比燃焼運転は2005年11月現在も継続して実施中であり、今後とも長期的な影響について観察を続ける予定である。

- ① 実設備において低空気比（空気比1.4）での安定運転が可能であった。
- ② 炉内を高温に安定して維持することにより、ボイラ出口排ガス中のダイオキシン類濃度を低減することが可能であった。
- ③ 低空気比燃焼運転により、排ガス流量の低減、ボイラ蒸発量の増加が達成された。
- ④ ボイラ蒸発量の一層の安定化を目的として、新たにアドバンスト制御を開発した。

最後に、今回の低空気比燃焼運転の実施にあたり、多大なご協力をいただきました下関市殿に深く感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) 島倉久範：神鋼環境ソリューション技報「ストーカ式焼却炉とプラズマ式溶融炉の実用運転結果」, Vol.1 (1), p.55-61, (2004)
- 2) 宮本博司, 伊藤正, 山上恵造：「ストーカ式焼却炉における低空気比燃焼」, 第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p.737-739, (2005)