# ガス化溶融炉の燃焼改善

# Improvement of Combustion Technology in MSW Gasification and Melting Furnace



砂田浩志\* Hiroshi Sunada



皆川公司\* Koji Minakawa



細田博之。 Hiroyuki Hosoda

ごみ質変動を原因とするガス化溶融炉の燃焼状態の変化に対応し、従来以上に燃焼状態を安定させるため、新規燃焼空気の供給による溶融炉に導入される熱分解ガスの改質と、レーザ式  $O_2$  分析計を用いた燃焼空気量制御を行った。その結果、従来運転に比べてスラグ発生量の増加、発生  $NO_x$  の低減、および低空気比での運転による発電効率の向上や  $CO_2$  削減といった成果が得られることを確認したので、ここに報告する。

In order to achieve a stable combustion conditions, it is important to respond to refuse characteristic variation. To comply with this request, we have adapted two techniques. One is pyrolysis gas reforming using newly added combustion air injection, the other is combustion air control system using laser gas analyzer. As the results, it has been shown that increase of slag generation amount,  $NO_x$  reduction, low excess air ratio operation resulting in a high efficiency power generation and reducing  $CO_2$  emissions.

## Key Words:

廃乗物処理都市ごみガス化溶融ガス改質レーザ式 O2分析計

Waste treatment
Municipal solid waste (MSW)
Gasification and melting
Gas reforming
Laser gas (oxygen) analyzer

#### 【セールスポイント】

熱分解ガスの改質、レーザ式  $O_2$  分析計による燃焼空気の制御の適用により、従来より安定した燃焼が可能となった。

## まえがき

組成が均一ではない都市ごみを燃焼させるガス化溶融炉においては、ごみ密度やごみ発熱量等のごみ質の変動を原因とする燃焼状態の変化が生じる。当社はこれまでに国内外あわせて13カ所のガス化溶融炉を竣工させており、いずれの施設も順調に稼働しているが、より高度な燃焼安定性を達成するためには、これまで以上にごみ質の変動による燃焼状態の

変化に対応する燃焼技術の開発が求められる。

ごみ質変動に対応するためには、①ごみ質の変動が生じても、燃焼状態の変化が生じにくくする方法、②燃焼状態の変化を早期に検知し、速やかに最適な状態にする方法、の大きく二つがある。

燃焼状態の変化を生じにくくする方法の一つに、 低い砂層温度を維持することで熱分解ガス化速度を 抑制する手法がある。砂層温度が高いとガス化速度

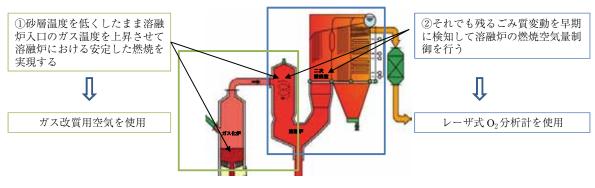


図1 報告内容の概要

が速くなるため、ごみ質の変動が熱分解ガスの発生量や質の変動につながりやすく、溶融炉での燃焼が安定しにくい。一方、砂層温度の低温化は、ごみ質変動に起因する熱分解ガスの変動を抑制できる利点があるものの、低い砂層温度で得られる熱分解ガスには、燃えにくいタールやチャーが多く含まれるため、溶融炉での燃焼に影響を及ぼす。

そこで、砂層温度を低くして熱分解ガス発生量の変動を抑制しつつ、熱分解ガスに含まれるタールやチャーを低減する方法を検討した。その結果、溶融炉に供給される熱分解ガスに少量の空気を供給し、熱分解ガスの一部を燃焼させガスに含まれるタールやチャーの量を低減することで、溶融炉での燃焼性を改善した1)。

次に、従来、燃焼空気量の制御に使用していたガス吸引式  $O_2$  分析計(ジルコニア  $O_2$  分析計)の代わりにレーザ式  $O_2$  分析計を用いることで、燃焼空気量の応答性を改善した。

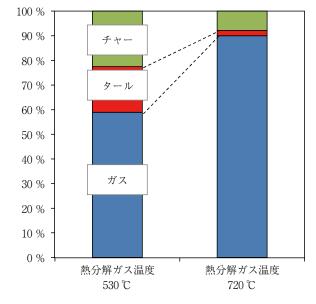
レーザ式  $O_2$  分析計は、①応答速度が速い、②高温、高ダスト域でも安定した計測が可能、という特長を持つ。そのレーザ式  $O_2$  分析計を二次燃焼室上部に取付け、従来よりも排ガス中の  $O_2$  濃度の変化をより早く検知できるようになり、溶融炉での燃焼性を改善することができた<sup>2)</sup>。

本報では、ガス化炉のガス改質による溶融炉での燃焼性の向上、レーザ式  $O_2$  分析計の適用による燃焼空気の制御性向上の 2 点について報告する。

## 1. 熱分解ガスの改質による溶融炉の燃焼 改善

#### 1.1 概要

ガス化溶融炉はごみをガス化炉でガス化し,発生する熱分解ガスを溶融炉に導入する。発生させた熱分解ガスの組成は,ガス化炉の運転条件(とくに熱分解ガス温度)に依存し,溶融炉の燃焼状態に大き



※タールは350℃以下で凝縮した成分

図2 熱分解ガスの温度と各成分の割合(発熱量基準)

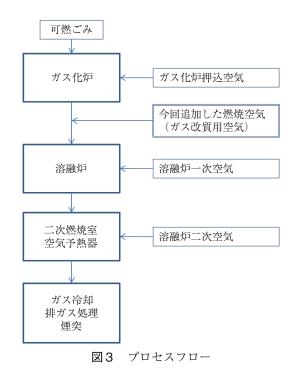
な影響を与える。

この時,熱分解ガスの温度が低かったり,ごみ発熱量が低く熱分解ガス中の可燃性ガス成分の割合が少なかったりすると,溶融炉の着火性が悪化(溶融炉炉頂温度が低下)しやすくなる。

対策として、溶融炉に導入する熱分解ガス温度の 上昇が有効である。熱分解ガス温度を上げると図2 に示すようにガス成分の割合が増加するため、溶融 炉における着火性が向上し、燃焼は安定しやすくな る。

ところが、砂層温度の高温化による熱分解ガスの 改質の場合、砂層温度の上昇により熱分解ガス化速 度が速くなるため、給じん量やごみ質の変動を原因 とする CO 濃度の変動やガス化炉炉圧変動幅の増加 に加え、塩類の揮発促進にともなう脱塩用薬剤量の 増加など、プラント全体の運転に影響をあたえる現 象も生じる。

上記の改善のため、I 案件において低い砂層温度を維持することで熱分解ガス化速度を抑制し、安定的に熱分解ガスを発生させ、その後熱分解ガス温度の上昇により改質させて溶融炉に導入することによる溶融炉での燃焼安定化を検討した。プロセスフローを図3に示す。具体的には可燃ごみを砂層温度500℃程度でガス化したあとに、ガス改質用空気を投入することで熱分解ガス温度を600~700℃程度に上昇・改質させ、その後溶融炉に導入した。なお、ガス改質用空気の空気比は0.05以下である。



#### 1.2 燃焼試験結果

#### 1.2.1 炉内温度

酸素富化燃焼時の溶融炉の温度トレンドを図4に示す。溶融炉一次空気の酸素濃度は酸素富化により30%程度としている。試験時のごみ発熱量は8000~9000kJ/kgであったが、溶融炉一次空気への酸素富化により、砂層温度500℃程度で溶融炉炉頂部は1000℃程度、出滓口上流側は1200℃程度と安定した運転を継続していた。

上記の状態でガス改質用空気を使用したところ, 溶融炉に導入されるガスの温度は700 ℃程度に上昇,熱分解ガスの着火性が向上したため,溶融炉炉 頂温度が1100~1200 ℃に上昇した。

#### 1.2.2 排ガス性状 (CO, NOx)

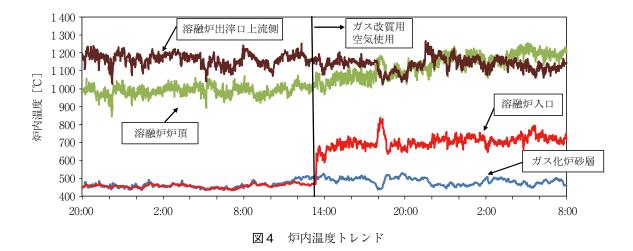
溶融炉一次空気の酸素濃度別に、試験期間中における排ガスの測定値および脱硝用尿素水の使用量を表1に示す。ガス改質用空気を使用し、熱分解ガスを改質しても砂層温度は500℃程度に抑制しているため、排ガス CO 濃度に大きな変化は生じていない。

NO、については、溶融炉一次空気の酸素濃度が

Z. MAXIEWOZIK					
項目	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
溶融炉一次空気 酸素濃度	%	21	21	30	30
ガス改質用空気	-	未使用	使用	未使用	使用
排ガス CO (1時間平均)	ppm (O <sub>2</sub> 12 % 換算)	9	6	6	7
尿素水使用量 <sup>注)</sup>	L/ごみ t	3.1	1.8	2.1	1.8

表1 排ガス性状の比較

注) 脱硝後の NO<sub>x</sub> 濃度 = 約55 ppm



21%でガス改質用空気が未使用の場合に脱硝用として噴霧している尿素水使用量に対し、ガス改質用空気のみを使用した場合、30~40%尿素水使用量の削減が実現できた。これは溶融炉一次空気を酸素富化した場合と同程度の削減効果である。ただし、これらの併用によるさらなる削減効果までは確認できず、今後の課題である。

#### 1.2.3 スラグ発生量

ガス改質用空気の使用有無におけるスラグ発生量の比較を図5に示す。ガス改質用空気の使用によりスラグ発生量が約36%増加した。試験期間中のスラグ塩基度( $CaO/SiO_2$ )は $0.5\sim0.6$ ,スラグ溶融温度は $1150\sim1200$  C程度であり,ガス改質用空気の使用により溶融炉炉頂温度が速やかにスラグ溶融温度付近にまで上昇したことから,溶融炉全体が熱分解ガス中の飛灰の捕捉に有効に機能するようになったためであると考えられる。

## 2. レーザ式ガス分析計による燃焼空気制御 2.1 概要

都市ごみ処理プロセスでは、燃焼空気の制御や、 排ガス中の有害ガス成分を除去するための薬剤吹込 み量制御など様々な制御が利用されている。これら の制御には、排ガス中のある成分濃度を測定し、そ れをもとに燃焼空気量や薬剤量を制御するものが多 い。

一般的に,ガス濃度を測定する分析計は,煙道中の排ガスを吸引し,前処理を行なった後にガス濃度を検知するガス吸引式が用いられている。しかしこの方法では,ガス吸引管や前処理装置においてダストが詰まるという問題が発生するため,ダスト濃度が高い雰囲気で安定して測定するのは難しく,ガス濃度を用いた制御は限定的となる。また,この方式

ではガスを吸引するため計測に時間遅れがあり、周期の短い変化に追従するのは難しい。

ガス吸引管を排ガス中に突出させ、動圧を利用して排ガスを吸引する分析計においては、計測に要する時間は比較的短いものの、ガス吸引管の損傷防止のため分析計を高温域に設置することができない。このように、ガス吸引式はダスト濃度が高い条件や高温域での測定が難しいという問題点があった。

一方、半導体レーザを光源に使用したレーザ式ガス分析計は、ガス吸引式では測定が困難であった高ダスト濃度、高温域でも測定ができる優れた特長を持つ<sup>3)</sup>。

ごみ焼却プラントで、レーザ式  $O_2$  分析計を溶融 炉二次空気制御に用いる事例があるが $^4$ )、本報告では、溶融炉二次空気制御に加えて、ガス化溶融炉における溶融炉一次空気制御にも利用し、燃焼状態の安定化を図った。得られた燃焼排ガス中の  $NO_x$  濃度の低減効果、および低空気比運転の結果について

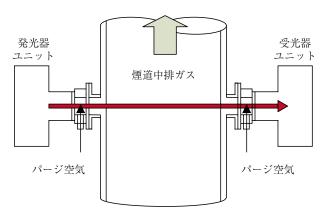


図6 レーザ式ガス分析計の設置概要

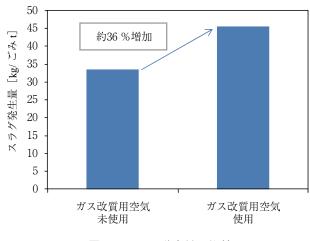


図5 スラグ発生量の比較

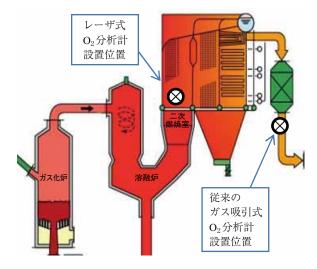


図7 レーザ式 O。分析計設置位置

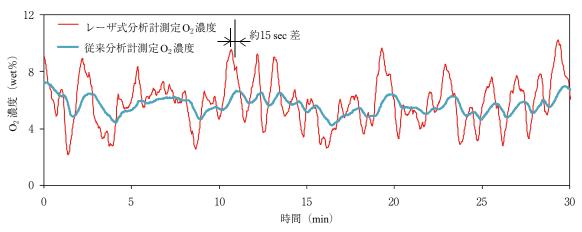


図8 従来のガス吸引式  $O_2$ 分析計とレーザ式  $O_2$ 分析計の  $O_2$ 濃度トレンド

報告する。

## 2.2 レーザ式ガス分析計の特長

レーザ式ガス分析計の設置概略を図6に示す。発光器ユニットから測定対象ガスが流れる煙道内にレーザ光を入射させ、反対側に設置してある受光器ユニットに送られる。吸光度  $\log(l_0/l)$ は、対象とする吸収媒体濃度と光路長に比例するため(Lambertbeer 法則)、その吸光度を測定することで、排ガス中の対象ガス濃度を測定することができる。

 $\log(l_0/l) = \varepsilon \cdot C \cdot L$ 

<式1>

*l*<sub>0</sub>: 入射光強度*l*: 透過光強度ε: ガス吸収係数

C:ガス濃度L:光路長

レーザ式分析計の一般的な特長を下記にまとめる。

- ■分析計が直接排ガスと接触しないため高温域でも 安定した測定ができる。
- ■排ガスを吸引せずに測定できるため、ダストによる詰まりなどの問題が発生しない。また排ガスを 吸引するために生じる分析時間の遅れがない。
- ■単一吸収線吸収分光法を採用しているため, 共存 ガスの干渉がない。

またダスト濃度が高い測定箇所では、必要に応じてパージガスを流入させることで、より安定した測定が可能となる。

#### 2.3 実炉でのガス濃度測定結果

A 案件においてレーザ式  $O_2$  分析計を図7に示す場所に設置し、従来用いているガス吸引式の  $O_2$  分析計との測定性能を比較した。

従来用いていたガス吸引式  $O_2$  分析計は、高ダスト濃度、高温域での使用に限界があり、エコノマイ

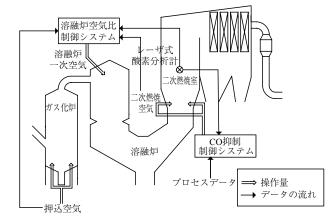


図9 燃焼空気制御システム概要

ザ出口に設置していた。レーザ式  $O_2$  分析計は高温域でも安定した測定が可能であるため、従来のガス吸引式  $O_2$  分析計よりも温度の高い上流側に設置し試験を行った。

レーザ式  $O_2$  分析計と従来のガス吸引式  $O_2$  分析計の  $O_2$  濃度のトレンドを比較したものを図8に示す。両者を比較すると,従来のガス吸引式  $O_2$  分析計による測定ピークの約15秒前に,レーザ式  $O_2$  分析計による測定ピークが急峻に測定された。この差は,従来の分析計の応答性による差と,レーザ式  $O_2$  分析計の設置位置を従来より上流に設けたことによる燃焼排ガスの移動時間差によるものである。

#### 2.4 制御システムの概要

溶融炉一次空気制御、および二次空気制御システムの概要を図9に示す。

ガス化溶融炉で用いる燃焼空気は,大きく分けて ガス化炉押込空気,溶融炉一次空気,溶融炉二次空 気に分けることができる。

溶融炉一次空気制御は,二次燃焼後のO2濃度

(レーザ式  $O_2$  分析計あるいは、従来の  $O_2$  分析計の計測値)と各燃焼空気量から、溶融炉出口までの空気比を演算し(式②)、その値が一定値になるようフィードバック制御される。この溶融炉空気比を一定値に保つことで、溶融炉炉内温度を一定に保持し、炉内が最適な燃焼状態になるよう制御される。

溶融炉二次空気制御は、二次燃焼後の $O_2$ 濃度を一定値になるよう制御することで、上流側で燃え残ったCOなどを完全燃焼させる。また急激なごみ質の変動などに対応するために、炉内圧などのプロセスデータを用いた補正も行っている。

レーザ式  $O_2$  分析計と従来のガス吸引式  $O_2$  分析計との性能差による制御性への影響を比較するため、燃焼空気流量調整弁などのハード面での変更は行っていない。レーザ式  $O_2$  分析計、および従来のガス吸引式  $O_2$  分析計、それぞれに合った制御系のパラメータ調整は行っている。

<式2>

溶融炉空気比=総空気比×

押込空気量+溶融炉一次空気量+二次燃焼空気量

溶融炉空気比制御に関して, 従来のガス吸引式

## 2.5 制御試験結果

#### 2.5.1 溶融炉一次空気制御

O<sub>2</sub>分析計を用いた制御(従来制御)の場合と, レ ーザ式 O<sub>2</sub> 分析計を用いた制御の場合のバグフィル タ出口 NO、濃度、溶融炉空気比のトレンドグラフ を図10に示す。なお、本図に示す溶融炉空気比は、 双方ともレーザ式 O<sub>2</sub>分析計を用いた計算値である。 従来制御では、溶融炉空気比の変動は比較的大き く、溶融炉空気比の急峻なピークが見られ、その際 に NOx 濃度が増加する様子が確認された。一方、 レーザ式 O<sub>2</sub>分析計を用いた制御においては、溶融 炉空気比の急峻なピークが抑えられたことで、その 変動幅は小さくなった。溶融炉空気比の平均値はと もに0.95で運転を行っており、溶融炉空気比の標準 偏差は従来制御0.192からレーザO<sub>2</sub>計による制御 0.094へと改善された。溶融炉空気比の変動が抑制 できたことで、NO<sub>x</sub> 濃度は141 ppm から96 ppm ま で低減することが確認できた。

これは、レーザ式 O<sub>2</sub> 分析計で制御することで、 供給ごみ量あるいはごみ質に応じて変動する排ガス 性状の変化に溶融炉一次空気制御が追随できるよう

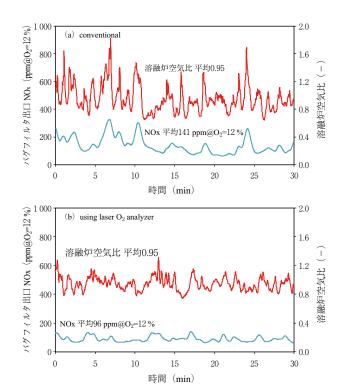


図10 NOx 濃度と溶融炉空気比のトレンド (上:ガス吸引式,下:レーザ式)

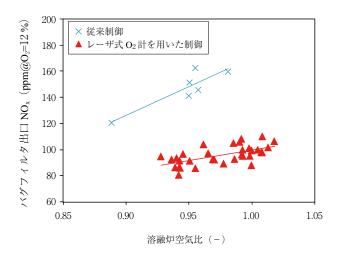


図11 NOx 濃度と溶融炉空気比の相関

になったためであり、安定した溶融炉空気比を維持 することができたと言える。

また、図10のような個々の運転データを整理し、溶融炉空気比とバグフィルタ出口  $NO_x$  濃度との関係をまとめたものを図11に示す。

従来制御とレーザ式  $O_2$  分析計を用いた制御を比較すると、レーザ式  $O_2$  分析計を用いた制御の方が同じ溶融炉空気比でもバグフィルタ出口  $NO_x$  濃度が低く抑えられている。溶融炉空気比の変動幅を抑

制することにより NOx 濃度を低減することができ たといえる。

#### 2.5.2 溶融炉二次空気制御

二次空気制御に関して,従来制御とレーザ式O<sub>2</sub> 分析計を用いた制御との比較を図12に示す。両制 御とも二次燃焼後排ガスの O2 濃度が5.5wet % (総 空気比約1.5) になるよう制御した結果である。な お、本図に示す  $O_2$  濃度は、双方ともレーザ式  $O_2$  分

比べ、レーザ式  $O_2$  分析計で測定した  $O_2$  濃度のばら つきを抑制することができており、O<sub>2</sub>濃度の標準 偏差は1.6から0.7へと改善されている。O<sub>2</sub>濃度の変 動幅が抑えられることにより,O2不足による CO ピークの発生も抑制することができ、二次燃焼状態 の安定化が図られたことが明らかとなった。

排ガス中の O2 濃度の変動幅が小さくなったこと から、燃焼制御性が改善されたと考え、総空気比を 下げる運転を行った。空気比を低減した際のレーザ 式 O<sub>2</sub> 濃度と煙突 CO 濃度のトレンドグラフを図13 に示す。これは、レーザ式 O<sub>2</sub> 分析計の O<sub>2</sub> 濃度が 4.0wet % (総空気比約1.3) になるよう制御したと

析計によって計測したものである。 レーザ式 O<sub>2</sub> 分析計を用いた制御は、従来制御と

400 (a) conventional  $(ppm@O_2=12)$ 15 CO 濃度 煙突 CO 濃度8.0 ppm@O<sub>2</sub>=12 0 -150 180 時間 (min) 400

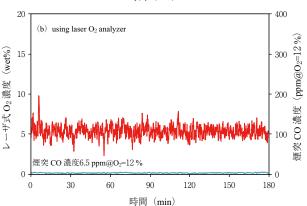


図12 排ガス  $O_2$ 濃度と煙突 CO 濃度のトレンド (上:ガス吸引式,下:レーザ式)

きのものである。

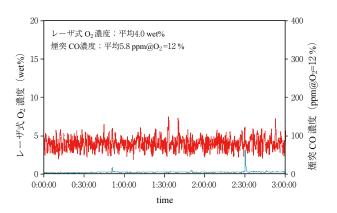
二次空気制御にレーザ式 O<sub>2</sub>分析計を用いること で、低空気比運転時でも CO ピークが頻発すること がなく、安定した燃焼状態が維持できることが分か

空気比低減の効果を図14に示す。低空気比運転 時は、従来と比べて排ガス量を約9%削減できるこ とがわかった。ここで言う従来運転とは、従来のガ ス吸引式 O<sub>2</sub> 分析計を用いた総空気約1.5の運転結果 を示す。

また、この二次空気量および排ガス量削減に伴な い. 二次押込送風機. 誘引送風機の消費電力は低減 された。二次押込送風機は約7%,誘引送風機にお いては約16%電力量を削減することができ、省工 ネルギー効果も確認することができた。

低空気比運転による排ガス量削減により、排ガス 顕熱の持ち去り分が削減されることによる蒸気発生 量の増加や、触媒反応塔が設置してある施設では排 ガスの再加熱に用いる蒸気量が減少することから. 熱回収率の向上が期待できる。

ひとつの試算として、施設規模200 t/d の発電施



低空気比運転時のトレンド 図13

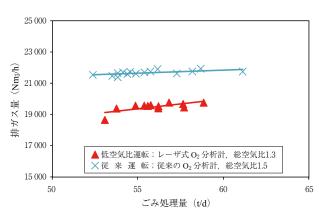


図14 低空気比運転の効果

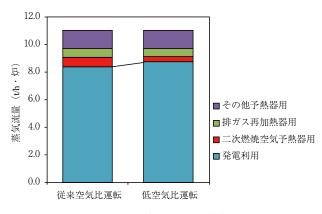


図15 蒸気発生量試算値

設を想定し、蒸気収支を試算した。蒸気条件は 400  $\mathbb{C}$ , 4 MPaG とし、白煙防止を行なわない条件を想定した。図15に 1 炉(100 t/d)当たりの蒸気収支を示す。

低空気比運転(総空気比1.3)によって発電に利用できる蒸気量は、従来空気比運転(総空気比1.5)と比べて、約4%増加するとの試算を得ることができ、発電の高効率化および $CO_2$ 削減に寄与できるとの結果を得た。

\*商品市場・技術開発センター プロセス技術開発部 廃棄物処理室

## むすび

ガス改質用空気の使用と、レーザ式  $O_2$  分析計を 用いた溶融炉一次、二次空気制御により、従来より も安定した燃焼状態を達成できることを確認した。 スラグ化率の向上は、施設からの最終処分量の低減 に寄与する。また、空気比の低減は、施設のコンパ クト化や、発電効率の向上、内部消費電力の低減に 貢献する。今後も、施設規模、ごみ質など設計条件 に合わせた最適なプロセスを反映したガス化溶融炉 を提供していきたい。

#### [参考文献]

- 1) 皆川公司, 伊藤正: ガス化溶融炉における燃焼改善, 第33回全国都市清掃会議講演論文集, pp.143-145 (2011)
- 2) 砂田浩志, 青木勇, 下梨孝: ガス化溶融炉における レーザ式ガス分析計を用いた燃焼制御の高度化, 学会 誌「EICA」, Vol.16, No.2-3, pp.6-11 (2011)
- 3) 日本興業新聞新社:明日を拓く「新・環境技術」京 都電子工業の「レーザガス分析計 KLA-1」塩化水素濃 度計中心に廃棄物処理炉などへ拡販,月刊地球環境, Vol.40, No.5, pp.86-87 (2009)
- 4) 熊岸健一, 樋口敏章, 安田直明: 岡山市東部クリーンセンターにおける  $CO_2$ 削減の取り組みについて, 都市清掃, Vol.64, No.301, pp.267-271 (2011)