

〈論文〉

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

砂田 浩志¹⁾, 青木 勇²⁾, 下梨 孝³⁾¹⁾ ㈱神鋼環境ソリューション (〒651-2241 神戸市西区室谷1-1-4 E-mail: h.sunada@kobelco-eco.co.jp)²⁾ 神鋼環境メンテナンス㈱ (〒651-0086 神戸市中央区磯上通2-21(三宮グランドビル6階)
E-mail: i.aoki@kobelco-eco.co.jp)³⁾ ㈱神鋼環境ソリューション (〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1-4-78 E-mail: t.shimonashi@kobelco-eco.co.jp)

概要

ガス化溶融炉において、レーザ式 O₂ 分析計を使って燃焼空気の制御を行なった。その結果、溶融炉から発生する NO_x を低減することができ、また従来よりも低空気比で運転できることを確認した。レーザ式 O₂ 分析計で測定された排ガス中の O₂ 濃度をもとに溶融炉一次空気量をフィードバック制御した結果、溶融炉における空気比の変動が抑えられ、発生 NO_x を低減することができた。

さらに、二次燃焼空気も併せて制御することで、従来よりも低空気比での運転が可能となり排ガス量が削減できた。排ガスの持ち去り熱の減少や排ガスの再加熱に必要な蒸気量の削減により発電に使用できる蒸気量が5%増加し、発電効率の向上および CO₂ 削減に寄与することを確認した。

キーワード：燃焼制御，ガス化溶融炉，レーザ式ガス分析計，低空気比，NO_x

原稿受付 2011.5.16 原稿受理 2011.7.20

EICA: 16(2・3) 6-11

1. はじめに

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ガス濃度を検知するガス吸引方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中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、ガス吸引方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¹⁾。

ごみ焼却プラントで、レーザ式 O₂ 分析計を二次燃焼空気制御に用いる事例があるが²⁾、本報告では、二

次燃焼空気制御に加えて、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、及び低空気比運転の結果について報告する。

2. レーザ式ガス分析計

2.1 特徴

レーザ式ガス分析計の設置概略を Fig. 1 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 $\log(I_0/I)$ は、対象とする吸収媒体濃度と光路長に比例するため (Lambert-beer 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。

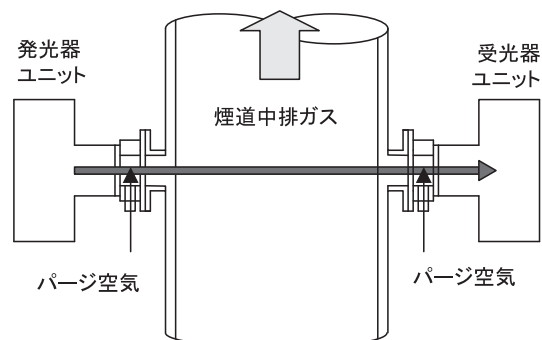


Fig. 1 General view of Laser Gas Analyzer system

$$\log(I_0/I) = \epsilon \cdot C \cdot L$$

式①

- I_0 : 入射光強度
- I : 透過光強度
- ϵ : ガス吸収係数
- C : ガス濃
- L : 光路長

- レーザ式分析計の一般的な特徴を下記にまとめる。
- ・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、必要に応じてパーティクルを流入させることで、より安定した測定が可能となる。

2.2 施設概要

レーザ式 O₂ 分析計を用いた燃焼制御を Fig. 2 に示したガス化溶融炉で実証試験を行なった。施設概要を表1にまとめる。

ごみはごみ破砕機で破砕された後、二軸スクリー式の給じん装置でガス化炉に定量供給される。ガス化炉に供給されたごみは、500℃～550℃に維持された砂層に取り込まれ、水分は蒸発するとともに可燃分は熱分解ガスとチャーに分解され、溶融炉に導入される。ごみ中に含まれる灰分のうち、比較的大きいものは砂層の底から抜き出され不燃物として場外搬出され、粒径が細かいものはチャーとして熱分解ガスとともに溶

Table 1 Outline of the plant

炉形式	ガス化溶融炉
排ガス冷却設備	廃熱ボイラ+ 水噴射式ガス冷却室
排ガス処理設備	・消石灰・活性炭吹込み ・(2段)集じん器 ・窒素酸化物除去装置 (触媒反応装置)

融炉に導入される。熱分解ガスとチャーは、溶融炉内で1,300℃～1,350℃程度の温度で燃焼、溶融される。

2.3 実炉でのガス濃度測定結果

レーザ式 O₂ 分析計を Fig. 2 に示す場所に設置し、従来用いているガス吸引方式の O₂ 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の O₂ 分析計は、高ダスト濃度、高温域での使用に限界があり、エコマイザ出口に設置していた。レーザ式 O₂ 分析計は従来の O₂ 分析計よりも、高温域でも安定した測定が可能であるため、従来の O₂ 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 O₂ 分析計と従来の O₂ 分析計の O₂ 濃度のトレンドを比較したものを Fig. 3 に示す。両者を比較すると、従来の O₂ 分析計による測定ピークの約15秒前に、レーザ式 O₂ 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 O₂ 分析計とレーザ式 O₂ 分析計との応答性による差と、レーザ式 O₂ 分析計の設置位置を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。

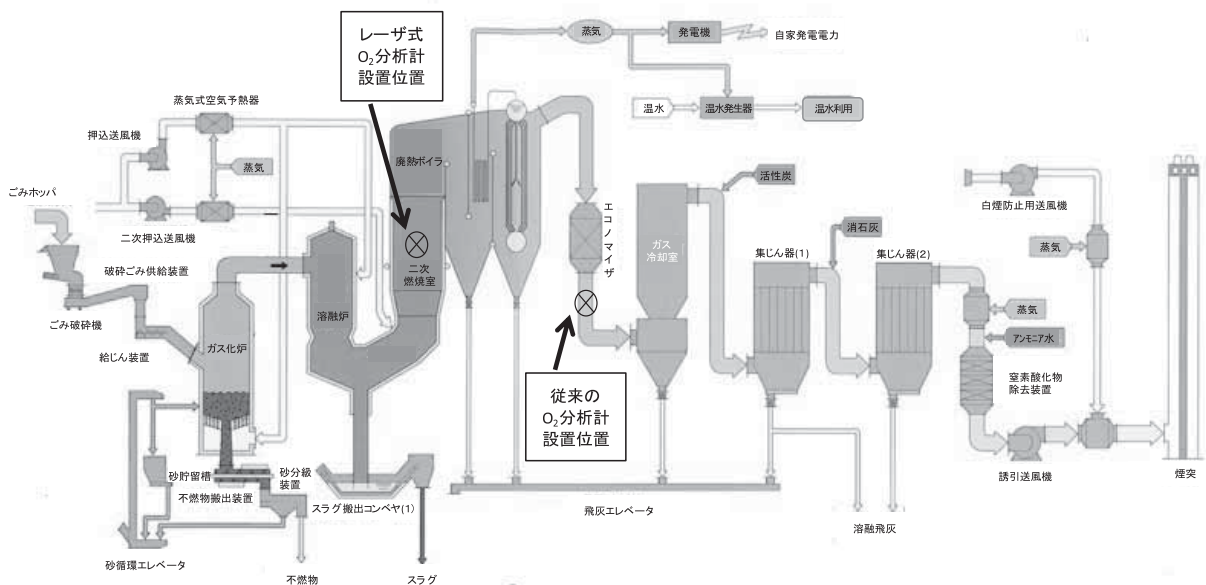


Fig. 2 Schematic of fluidized bed gasification and melting system

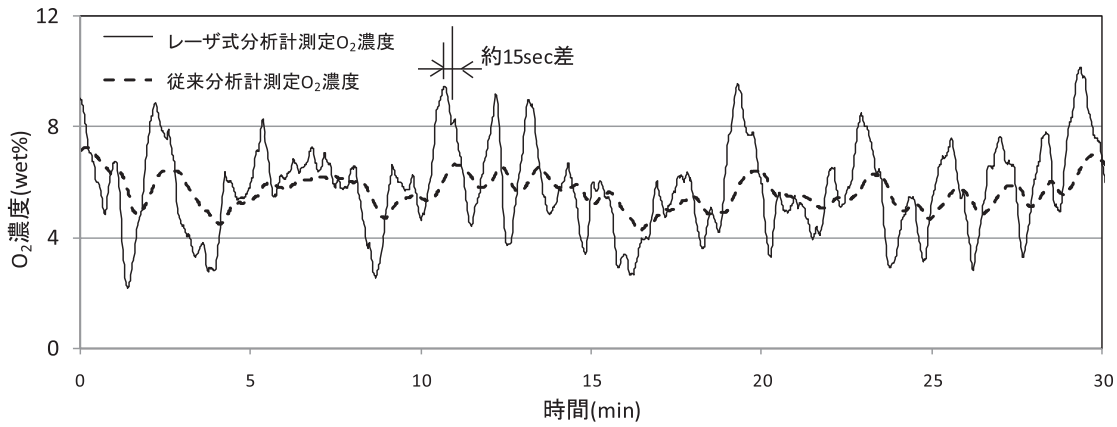


Fig. 3 Trend data of O₂ concentration

3. 制御システムの概要

溶融炉一次空気制御，及び二次燃焼空気制御システムの概要を Fig. 4 に示す。

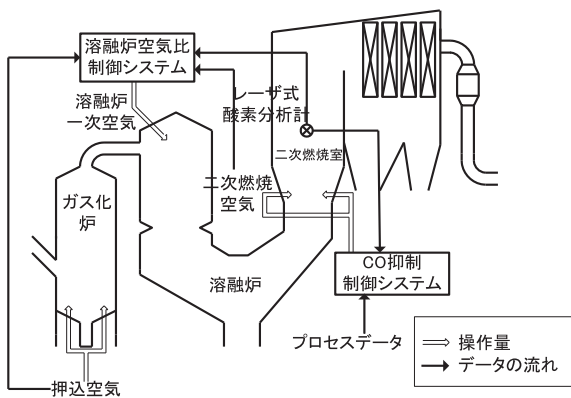


Fig. 4 Combustion air control system

ガス化溶融炉で用いる燃焼空気は，大きく分けて押込空気，溶融炉一次空気，二次燃焼空気に分けることができる³⁾。溶融炉一次空気によって，ガス化炉で発生した可燃性ガスやチャーなどの未燃分を燃焼させ，約 1,200℃ 以上の高温とする。ガス化炉で発生した可燃性ガスと共に供給された灰はこの高温により溶融され，溶融スラグとして溶融炉下部に設けられた出滓口から連続的に排出される。溶融炉一次空気制御は，二次燃焼後の O₂ 濃度（レーザ式 O₂ 分析計あるいは，従来の O₂ 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。

溶融炉空気比 = 総空気比 ×

$$\frac{\text{押込空気量} + \text{溶融炉一次空気量}}{\text{押込空気量} + \text{溶融炉一次空気量} + \text{二次燃焼空気量}} \quad \text{式②}$$

$$* \text{ 総空気比} = \frac{1}{(21 - \text{二次燃焼後の O}_2 \text{ 濃度})} \times 21$$

二次燃焼空気制御は，二次燃焼後の O₂ 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 O₂ 分析計と従来の O₂ 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 O₂ 分析計，及び従来の O₂ 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。

4. 制御試験結果

4.1 溶融炉一次空気制御

溶融炉空気比及びバグフィルタ出口 NO_x 濃度のトレンドグラフを Fig. 5 に示す。

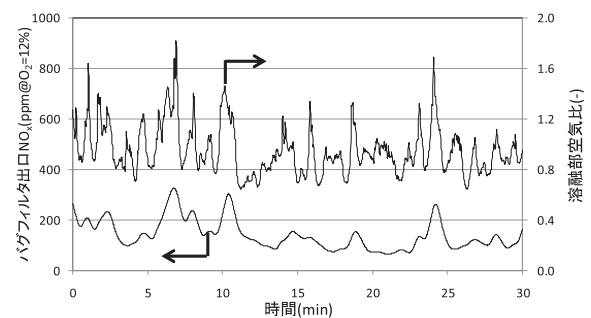


Fig. 5 Trend data of NO_x concentration and excess air ratio at melting furnace

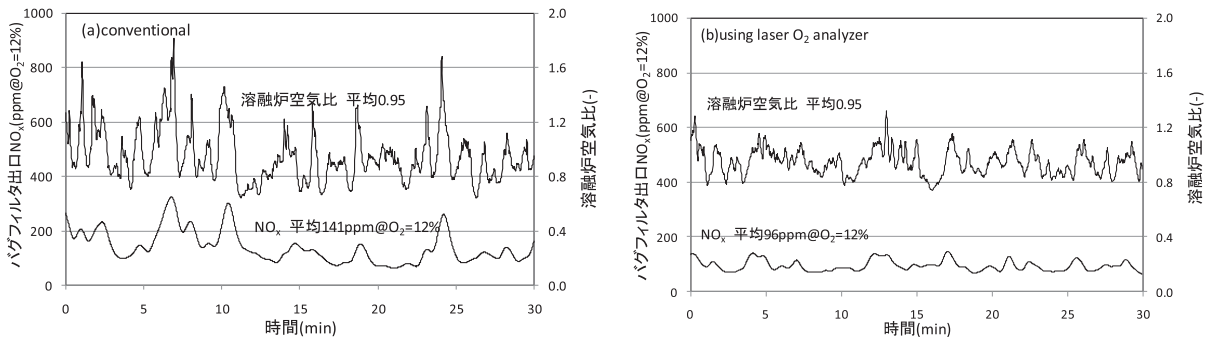


Fig. 6 Comparison of NO_x concentration and excess air ratio at melting furnace between (a) conventional system and (b) control system using laser O₂ analyzer

バグフィルタ出口 NO_x 濃度のピークと溶融炉空気比のピークは、ほぼ対応している。溶融炉空気比は溶融炉内の酸化/還元状態を表すものとも言え、溶融炉空気比が高くなった時に NO_x 濃度が増加するのは、溶融炉内の還元性雰囲気減少によるものと推測される。これらのことから NO_x 発生量を抑制するには、溶融炉空気比の変動を抑え、空気比が高くなるのを防止することが重要であることがわかる。一方、溶融炉空気比を低く抑えることで NO_x 発生量を抑制することは可能であるが、同時に燃焼量が低下し溶融炉内温度が低くなるため、溶融スラッグの排出状況に影響を与える可能性がある。したがって、NO_x を低くかつ安定に運転するためには溶融炉空気比をある適切な範囲に保つのが望ましい。

溶融炉空気比制御に関して、従来のガス吸引式の O₂ 分析計を用いた制御（従来制御）の場合とレーザ式 O₂ 分析計を用いた制御の場合のバグフィルタ出口 NO_x 濃度、溶融炉空気比のトレンドグラフを Fig. 6 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 O₂ 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 NO_x 濃度が増加する様子が確認された。一方、レーザ式 O₂ 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共に 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 O₂ 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_x 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 O₂ 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一次空気制御が追従できるよう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。

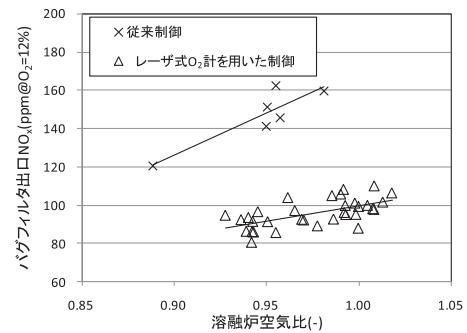


Fig. 7 Relationship between excess air ratio at melting furnace and generated NO_x

また、Fig. 6 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 Fig. 7 に示す。

従来制御とレーザ式 O₂ 分析計を用いた制御を比較すると、レーザ式 O₂ 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 NO_x 濃度を低減することができたと言える。

4.2 二次燃焼空気制御

二次燃焼空気制御に関して、従来制御とレーザ式 O₂ 分析計を用いた制御との比較を Fig. 8 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 O₂ 濃度は、双方ともレーザ式 O₂ 分析計によって計測したものである。

レーザ式 O₂ 分析計を用いた制御は、従来制御と比べ、レーザ式 O₂ 分析計で測定した O₂ 濃度のばらつきを抑制することができており、O₂ 濃度の標準偏差は 1.6 から 0.7 へと改善されている。O₂ 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。

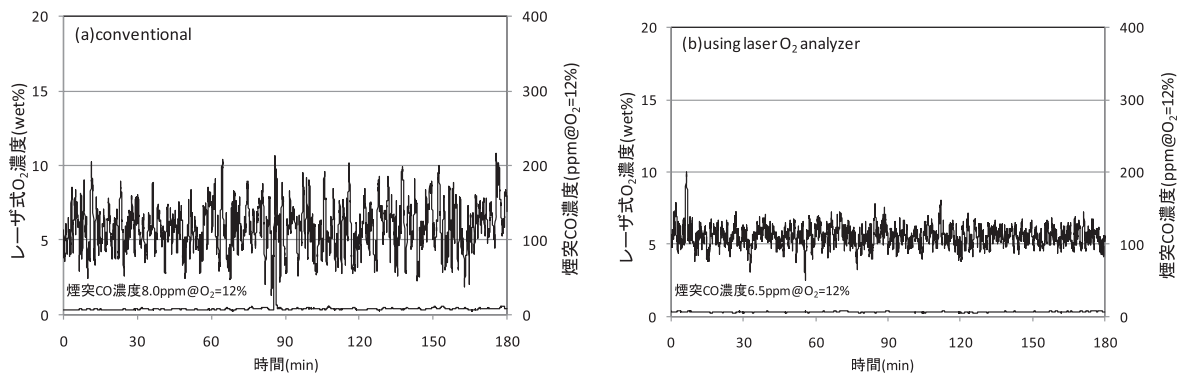


Fig. 8 Trend data of O₂ concentration by (a)conventional system and (b)control system using laser O₂ analyzer

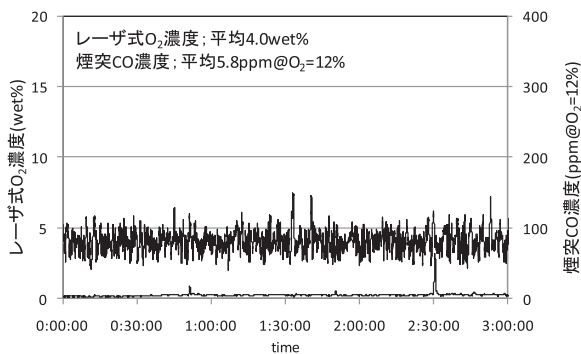


Fig. 9 Trend data of O₂ concentration at low excess ratio by control system using laser O₂ analyzer

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 O₂ 濃度と煙突 CO 濃度のトレンドグラフを Fig. 9 に示す。これは、レーザ式 O₂ 分析計の O₂ 濃度が 4.0 wet% (総空気比約 1.3) になるよう制御したときのものである。

二次燃焼空気制御にレーザ式 O₂ 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った。

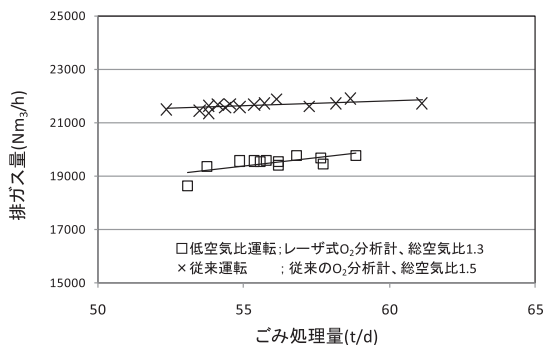


Fig. 10 Relationship between waste treatment rate and flue gas flow rate at stack

Fig. 10 にまとめたとおり、この空気比低減によって排ガス量が大きく低減していることがわかる。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、従来型の O₂ 分析計を用いた総空気比 1.5 の運転結果を示す。

また、この二次燃焼空気量及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、省エ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。

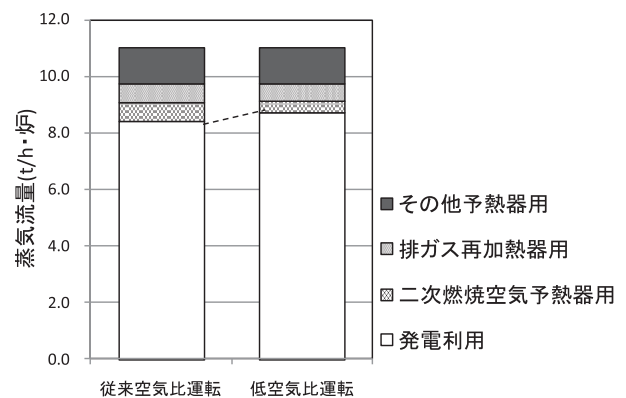


Fig. 11 Steam balance

ひとつの試算として、施設規模 200 t/d の発電施設を想定し、蒸気収支を試算した。蒸気条件は 400°C、4MPaG とし、白煙防止を行なわない条件を想定した。Fig. 11 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CO₂削減に寄与できるとの結果を得た。

去り熱の減少や蒸気量増加による発電量増加が見込め、発電高効率化およびCO₂削減に寄与できることを確認した。

5. ま と め

ガス化溶融炉においてレーザ式O₂分析計を用いた燃焼空気の制御運転を行い次の結果を得た。

- (1) 溶融炉の空気比の変動が抑えられ、発生するNO_xを低減することができた。その結果、安価な脱硝方法が選択可能になるとともに、脱硝に用いる薬剤費の削減が期待できる。
- (2) 従来より低空気比(総空気比1.3)での運転ができ、従来比約9%の排ガス量の削減が可能であることを確認した。その結果、排ガスの持ち

参 考 文 献

- 1) 日本工業新聞新社：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)
- 2) 熊岸建一，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CO₂削減の取り組みについて，都市清掃，Vol. 64, No. 301, pp. 267-271 (2011)
- 3) 前田知幸，友近信行，伊藤 正，細田博之，下梨 孝：ガス化溶融炉における予測制御システムの開発，学会誌「EICA」，Vol. 9, No. 2, pp. 201-204 (2004)

High Performance of Combustion Control System using Laser Gas Analyzer in Gasification and Melting System

Hiroshi Sunada^{1)†}, Isamu Aoki²⁾ and Takashi Shimonashi³⁾

¹⁾ Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd.

²⁾ Kobelco Eco-Maintenance Co., Ltd.

³⁾ Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd.

† Correspondence should be addressed to Hiroshi Sunada :

(Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. E-mail : h.sunada@kobelco-eco.co.jp)

Abstract

Combustion air control system for fluidized bed gasification and melting furnace was developed by using laser analyzer. We measured oxygen concentration by using the laser analyzer and controlled combustion air for the melting furnace by feedback control system. These results in fluctuation suppression of excess air ratio at melting furnace, so generated NO_x concentration was kept at low level. We used the O₂ concentration for control of secondary combustion air. This control system is able to stabilize a low excess air ratio operation, and it can make a high efficiency power generation and reducing CO₂ emissions.

Key words : combustion air control system, fluidized bed gasification and melting furnace, laser gas analyzer, low excess air ratio operation, NO_x