

低炭素型シャフト炉の開発

～コークス使用量の大幅な削減を可能にする革新的技術～

Development of Advanced Shaft Furnace

～Innovative system where significant reduction in coke use can be achieved～

吉元 直子 Naoko YOSHIMOTO
環境ソリューション事業部 技術部
商品開発室

永田 俊美 Toshimi NAGATA
環境ソリューション事業部 技術部 部長

高田 純一 Junichi TAKADA
環境ソリューション事業部 技術部
商品開発室 シニアマネジャー

名間 瑞樹 Mizuki NAMA
環境ソリューション事業部 技術部
商品開発室

平倉 将治 Shoh HIRAKURA
環境ソリューション事業部 技術部
プラント技術室

抄 録

近年、廃棄物処理分野でも地球環境問題への関心が高まっており、地球温暖化防止の観点ではより一層のCO₂排出量削減が求められている。こうした社会ニーズに応えるべく、シャフト炉式ガス化溶融炉において化石燃料由来のCO₂排出量の大幅な削減を可能にした改良型シャフト炉(以下、「低炭素型シャフト炉」という)を開発した。従来のシャフト炉式ガス溶融炉の特長を継承しつつ、コークス使用量の抜本的な削減を達成し、かつバイオマスコークスを適用することで、化石燃料由来のCO₂排出量をゼロとすることができる画期的なシステムとなっている。65t/d規模実機性能確認試験において長期連続安定稼働性能を確認し、実用化の目途がついたので成果を報告する。

Abstract

The global environmental issues have been receiving increased interests. From the perspective of global warming prevention, a higher level of reduction in carbon dioxide emissions has been required in the field of waste management. In order to meet such a social requirement, "Advanced Shaft Furnace", which can dramatically reduce carbon dioxide emissions from fossil fuel, was developed. Advanced Shaft Furnace is the innovative system where significant reduction in coke use can be achieved, while taking over advantages of a conventional shaft-type gasifier. Also, it is possible to reduce fossil carbon dioxide emissions down to null, when substituting fossil coke with biomass coke. This report shows the result of the performance test that was carried out in a 65-t/d commercial plant. In the test, it was confirmed that Advanced Shaft Furnace has a long-term availability and good prospects for commercial application.

1 緒言

シャフト炉式の高温ガス化溶融方式である都市ごみ直接溶融炉(直接溶融・資源化システム)は、炉下部においてコークスを燃焼させ高温のコークスベッ

ド層を形成し安定溶融を確保すると共に、ごみの熱分解・ガス化を促進している。その効果により、多様なごみが処理可能で、高品質で有効利用可能なスラグとメタルを産出し、さらに後段の燃焼室での完全燃焼を実現している。しかし近年、廃棄物処理分

野でも地球環境問題への関心が高まっており、地球温暖化防止の観点ではより一層のCO₂排出量削減が求められている。

コークス使用量削減のため、これまで羽口多段化や各種可燃物(プラスチック、可燃ダスト、燃料用ガス)の羽口吹込み技術の開発^{1), 2), 3)}等に取り組んできている。羽口多段化および可燃性ダストは既報²⁾のような効果が確認され、実用化されているが、化石燃料起因のCO₂排出量削減に対する社会の要求は以前にも増して強まっており、更なるコークス使用量削減が求められている。そこで今回、ごみの持つエネルギーを最大限活用できるように、シャフト炉の上段羽口部の送風機構を改良してごみの乾燥・熱分解を高効率化することによって、熱源としてのコークス使用量を大幅に削減する改良型シャフト炉(以下、「低炭素型シャフト炉」という)を開発した。^{4), 5), 6), 7)}

20t/d 規模のパイロットプラントでのプロセス確認試験を経て、65t/d 規模の実機施設での実証試験を完了し、コークス使用量削減効果および設備信頼性を確認して技術を確認したので報告する。

2 低炭素型シャフト炉の概要

低炭素型シャフト炉の概要を図1に示す。低炭素型シャフト炉は、従来のシャフト炉式ガス化溶融炉において、ごみの乾燥・熱分解を担っている上部送風機構を改良してシャフト下部全面から均一送風を指向したものであり、シャフト部をより均一に熱ガスが通過することで炉内のごみとの熱交換率を向上させている。従来型のシャフト炉では、羽口からの送風を炉の水平断面の中心部まで均一に通過させることは難しい場合があり、水分が残ったごみが炉下部に持ち込まれ、水分乾燥のためにコークスを多く必要とすることがあった。これに対して低炭素型シャフト炉では、シャフト下部全面からの均一送風によりごみとの熱交換効率が大きく向上している上、このエリアの燃焼温度に応じて炉下部へのごみの供給速度や送風量を適正化することができる。これにより、ごみは十分に乾燥・熱分解された状態で炉下部に供給されるため、水分乾燥のために余剰のコークスを必要とせず、灰分の溶融のために必要な

量だけのコークスがあれば良い。炉下部においてごみの灰分は完全溶融され、従来型シャフト炉と同様、高い品質のスラグ・メタルが排出される。低炭素型シャフト炉では、破碎・選別などの前処理が不要で多様なごみ質に対応し、再利用可能なスラグ・メタルを得ることができる従来型シャフト炉の特徴を維持しながら、大幅なコークス比の削減を実現している。

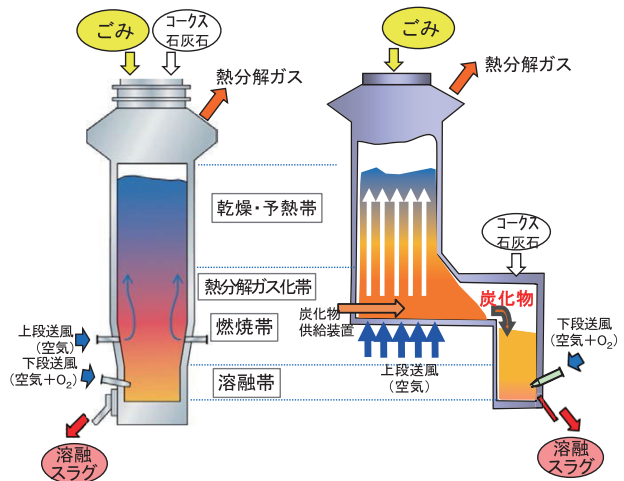


図1 低炭素型シャフト炉の概要(従来炉との比較)
Fig. 1 Overview of the low-carbon waste melting plant (Comparison to conventional type)

3 パイロットプラントでのプロセス確認試験結果

当社所有のパイロットプラント(シャフト炉式ガス化溶融炉：20t/d 規模)を低炭素型シャフト炉に改造し、都市ごみ処理試験を実施してコークス使用量削減性能を確認した。処理対象ごみは一般可燃ごみで、主な性状を表1に示す。

表1 一般廃棄物の性状
Table 1 Characteristics of the general waste

		平均ごみ質
水分	%	41
可燃分	%	48
灰分	%	11
低位発熱量	kJ/kg	9,200

パイロットプラントでは合計15回、延べ101日間の試験運転を実施し、表2に示すように、コークス使用量14kg/tでの連続運転を達成した(従来型シャフト炉では通常40kg/t程度)。溶融物温度も従来型シャフト炉の40kg/tレベルとほぼ同等であり、炉

表2 パイロットプラントでのコークス使用量
Table2 The coke amount at the pilot plant

データ期間	日間	15
ごみ処理量	t/d	25
コークス使用量	kg/t	14
溶融物発生量	kg/t	100

底部の高温が保たれていた。また、連続30日間の安定運転にも成功し、長期安定運転も可能であることを確認できた。

30日間連続運転中に測定した排ガスダイオキシン類濃度は基準値0.1ng-TEQ/Nm³以下を満足していることを確認し、低炭素型シャフト炉においても、熱分解ガス化部において可燃分をガス化し、後段の燃焼室で高温完全燃焼することでダイオキシン類の発生を抑制できていることを確認した。

溶融スラグのJIS溶出試験およびJIS含有量分析の結果を表3～4に示す。全ての項目において基準値を満足しており、低炭素型シャフト炉においてもスラグの安全性を確保できていることを確認した。

表3 溶融スラグの溶出試験(JIS K0058-1)
Table3 The results of slag leaching test(JIS K0058-1)

	溶出量	基準値
カドミウム	mg/L	<0.001
鉛	mg/L	<0.005
六価クロム	mg/L	<0.01
ひ素	mg/L	<0.005
総水銀	mg/L	<0.0005
セレン	mg/L	<0.002
ふっ素	mg/L	<0.1
ほう素	mg/L	<0.02

表4 溶融スラグの含有量分析(JIS K0058-2)
Table4 The results of slag content test(JIS K0058-2)

	含有量	基準値
カドミウム	mg/kg	<1
鉛	mg/kg	<20
六価クロム	mg/kg	<1
ひ素	mg/kg	<1
総水銀	mg/kg	<0.05
セレン	mg/kg	<1
ふっ素	mg/kg	<200
ほう素	mg/kg	<250

的な実用化展開を目指すため、65t/d規模実機施設の従来型シャフト炉を低炭素型シャフト炉に改造し、2012年4月より実証試験を開始した。実機施設の全体フローを図2に示す。処理対象物は、可燃ごみ及び資源ごみ分別回収後の不燃ごみを合わせた一般廃棄物で、主な性状を表5に示す。ごみ性状は、パイロットプラントで処理したごみと比較して①灰

4 65t/d規模実機施設における実証試験結果

4.1 実証試験の概要

20t/d規模パイロットプラントでの成果から本格

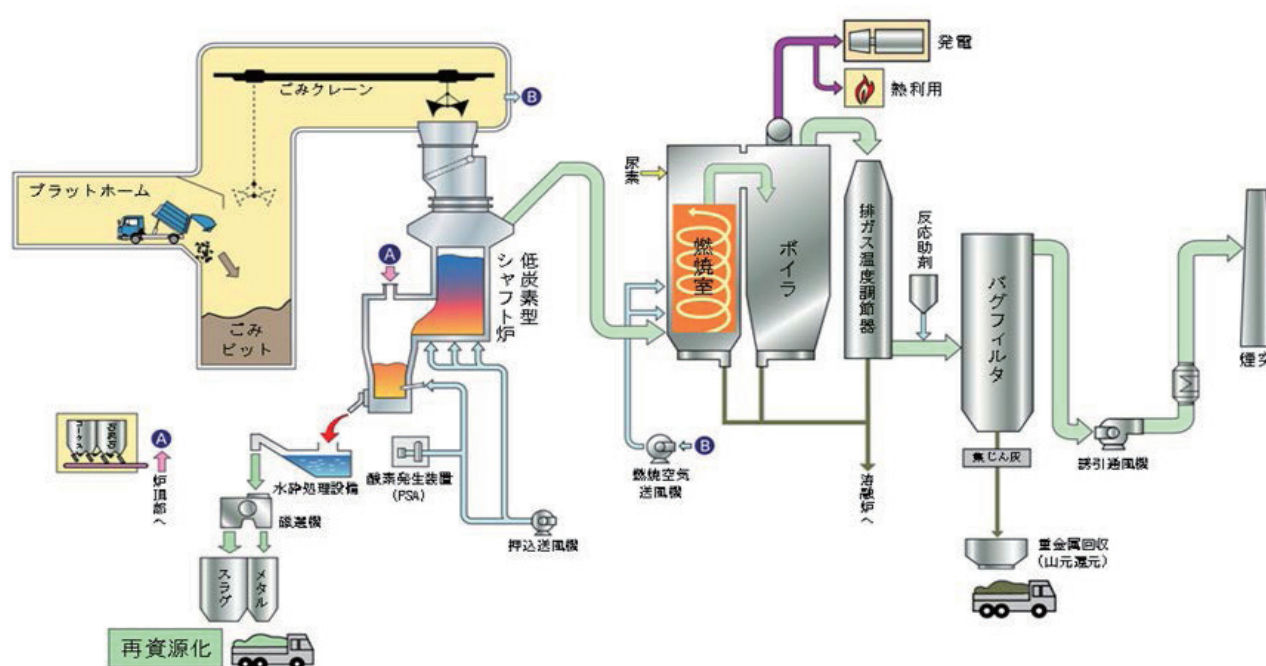


図2 65t/d実証施設全体フロー
Fig.2 The disposal flow of the 65t/d demonstration plant

表5 一般廃棄物の性状
Table 5 Characteristics of the general waste

		平均ごみ質
水分	%	38
可燃分	%	49
灰分	%	13
低位発熱量	kJ/kg	8,137

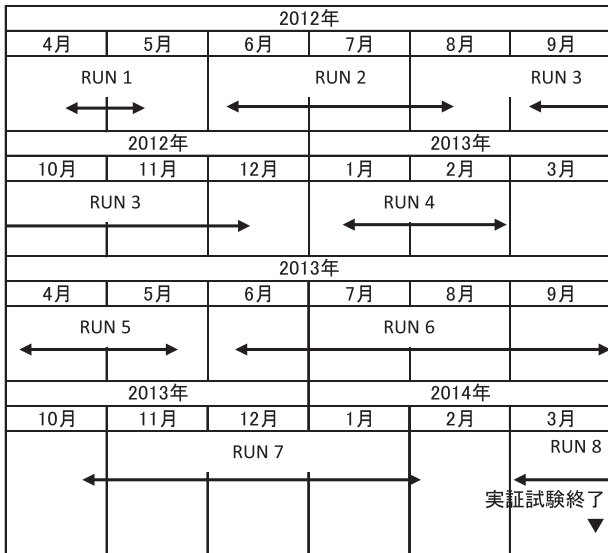


図3 実証試験工程
Fig. 3 The process flow of the demonstration test

分割が高く、②発熱量が低い、ということを考慮し、コークス使用量は改造前の60kg/tを20kg/t以下へ削減することを目標値として設定した。図3に試験工程を示すが、実証試験として2014年3月末までに8回の試験運転(RUN)を実施し、延べ運転日数489日、総ごみ処理量30,791tの運転を実施した。なお、実証試験期間終了後も設備は順調に稼働している。初期のRUN 1～2では、基本特性の把握や制御系・操業条件のチューニングを実施し、RUN 3にて長期連続運転の確認とコークス使用量削減効果の確認を実施した。RUN 4ではバイオマスコークスの適用試験を実施し、RUN 5では更なるコークス使用量削減を追求し、RUN 6では、コークス使用量削減下における長期連続安定運転を実施した。RUN 7～8では燃焼安定性向上のための運転条件適正化および最終調整を実施した。なお、各RUNの間には、設備の開放点検を実施し、異常箇所がないことを確認した。試験運転結果から操業解析を行い、設備改善も実施した。

4.2 コークス使用量削減効果

各RUNにおける操業条件調整の結果、表6に示すように定常運転時コークス使用量15kg/tレベルまで低減することができ、RUN 5では44日間、RUN 6では94日間の長期に渡って安定運転を継続することができ、コークス使用量削減目標値をクリアした。

表6 実証施設でのコークス使用量
Table 6 The coke amount at the demonstration plant

		RUN 5	RUN 6
運転日数	日	44	94
ごみ処理量	t/d	71	70
コークス使用量	kg/t	14.8	15.1
溶融物発生量	kg/t	122	99

4.3 長期連続安定稼働性能

初期のRUN 1～2においては、初期トラブルはあったものの、試運転後の操業解析に基づいた設備改造等により解決することができた。RUN 3においては、立上げ下げ含めコークス使用量23.9kg/tで92日間の連続運転を達成し、RUN 6においては、立上げ下げ含めコークス使用量16.4kg/tで113日間の連続運転を達成した(表7)。いずれの運転においても設備トラブル起因で炉を停止することは一度もなく、安定した運転を継続することができた。

設備の耐久性(寿命)の点においては、113日間連続運転(RUN 6)の後に内部を詳細調査したが、大きな損傷箇所もなく十分な耐久性を有していることが確認できた。また、炉内耐火壁に関してほとんど損耗箇所はなく、従来型シャフト炉の耐火壁と同様、十分長期に使用可能であることが確認できた。この結果から低炭素型シャフト炉は長期間の連続安定稼働が十分可能であり、高い設備信頼性を確認できたと言える。

表7 長期連続運転結果
Table 7 The results of long term continuous test

		RUN 3	RUN 6
運転日数	日	92	113
ごみ処理量	t/d	62	70
コークス使用量	kg/t	23.9	16.4
溶融物発生量	kg/t	115	101

4.4 スラグ品質

65t/d 低炭素型実証炉でのコークス使用量15kg/t

レベルにおける溶融スラグのJIS溶出試験およびJIS含有量分析の結果を表8～9に示す。いずれも基準値を満足する結果が得られており、従来型シャフト炉と同等のスラグ品質の安全性も確保されていることを確認できた。

表8 溶融スラグの溶出試験 (JIS K0058-1)
Table 8 The results of slag leaching test (JIS K0058-1)

		溶出量	基準値
カドミウム	mg/L	<0.001	≦0.01
鉛	mg/L	<0.005	≦0.01
六価クロム	mg/L	<0.02	≦0.05
ひ素	mg/L	<0.01	≦0.01
総水銀	mg/L	<0.0005	≦0.0005
セレン	mg/L	<0.001	≦0.01
ふっ素	mg/L	<0.1	≦0.8
ほう素	mg/L	0.02	≦1.0

表9 溶融スラグの含有量分析 (JIS K0058-2)
Table 9 The results of slag content test (JIS K0058-2)

		含有量	基準値
カドミウム	mg/kg	<5	≦150
鉛	mg/kg	<10	≦150
六価クロム	mg/kg	<5	≦250
ひ素	mg/kg	<5	≦150
総水銀	mg/kg	<0.05	≦15
セレン	mg/kg	<5	≦150
ふっ素	mg/kg	120	≦4000
ほう素	mg/kg	100	≦4000

4.5 バイオマスコークス適用試験

RUN4では、使用するコークスをカーボンニュートラルなバイオマスコークス(図4)に100%置換する試験を実施した。その結果、バイオマスコークス使用時もコークス使用時と同様の安定した処理を達成した。またスラグ品質および排ガス性状も問題ないことを確認し、化石燃料由来のCO₂排出量をゼロとすることに成功した。



図4 バイオマスコークス(写真)
Fig. 4 Biomass Coke (Photo)

4.6 燃焼安定性の向上

低炭素型シャフト炉の開発によって、シャフト下部全面からの送風によりシャフト部におけるガス流れを均一に保ち、ごみと熱ガスとの安定した熱交換性を維持できるようになった。さらに熱分解ガス化帯において、ごみ質に応じて燃焼温度見合いで炉下部へのごみの供給速度および送風量を適正化し、ごみの部分燃焼量および熱分解量を適切にコントロールすることで、熱分解ガス発生量を安定化させることができる。

このように燃焼安定性の向上により、従来型シャフト炉に比べてボイラ蒸発量の変動割合εを6.7%→3.3%に大幅に改善することができた(図5～6)。なお、変動割合εは下式で算出した。

$$\varepsilon = \frac{2 \times \sigma}{\bar{q}} \times 100$$

ε:ボイラ蒸発量変動割合(%)
σ:ボイラ蒸発量標準偏差(t/h)
q̄:ボイラ蒸発量平均値(t/h)

また、空気比については表10に示すように従来型シャフト炉の空気比1.64[-]に対し、低炭素型シャフト炉では1.46[-]であった。低炭素型シャフト炉では熱分解ガス発生量の安定化により余剰の燃焼空気を削減することができ、空気比の削減により排ガス熱損失が低減できるため、発電の高効率化が期待できるシステムとなっている。

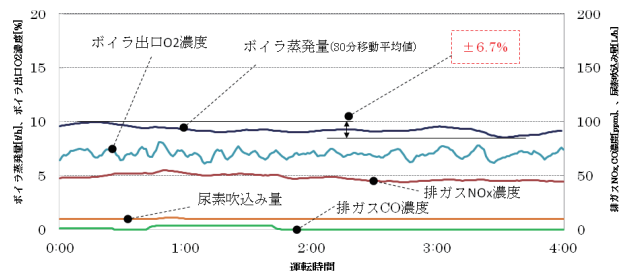


図5 従来型シャフト炉のボイラ蒸発量
Fig. 5 The boiler steam amount of the conventional type

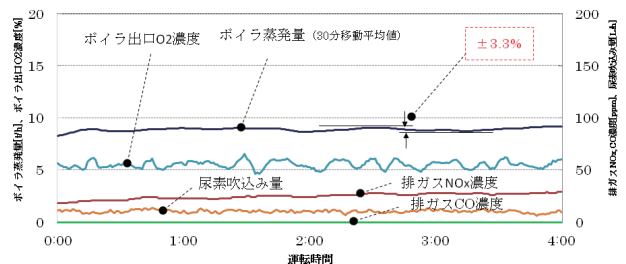


図6 低炭素型シャフト炉のボイラ蒸発量
Fig. 6 The boiler steam amount of the low-carbon type

表10 空気比の比較
Table10 The comparison of air ratio

		低炭素型 シャフト炉 (65t/d)	従来型 シャフト炉 (65t/d)	規制値 (1時間 移動平均)
ボイラ出口 O ₂ 濃度	%	5.5	7.0	
空気比	—	1.46	1.64	
尿素吹込み量	L/h	10	10	
排ガス NO _x 濃度	ppm	25	48	
排ガス CO 濃度	ppm	0	1	50

35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp. 170-172(2014)

7) 谷口剛ほか：低炭素型シャフト炉における燃焼安定性の向上、第26回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp. 359-360(2015)

5 結言

低炭素型シャフト炉は、従来型シャフト炉の特長である、①幅広いごみ質に対して安定溶融処理が可能、②無害で高品質な溶融物を生成可能、というメリットを継承しつつ、コークス使用量の抜本的な削減を達成できることを実証し、設備信頼性においても実用化展開が可能であることを確認した。加えてバイオマスコークスを適用することで化石燃料由来のCO₂排出量をゼロとすることができる画期的なシステムである。

さらに、ごみの熱分解・ガス化をコントロールすることで燃焼安定性も向上するシステムとなっている。今後は後段の燃焼技術と組み合わせて発電の高効率化を推進し、低炭素型シャフト炉の実用化展開を行っていく。新規施設への適用としては100t/d実用施設を現在建設中であり、今後も広く資源エネルギー問題に貢献していく所存である。

本研究における実機施設を用いた性能確認試験は、環境省の平成23～24年度環境研究総合推進費補助金(次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業、研究番号 J112002)を受けて行われたものであり、関係各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 芝池秀治ほか：廃棄物学会第11回研究発表会講演論文集、460P(2000)
- 2) 上野義治ほか：廃棄物学会第12回研究発表会講演論文集、813P(2001)
- 3) 芝池秀治ほか：鉄と鋼、vol. 89, No. 11, 1093P(2003)
- 4) 谷口剛ほか：低炭素型シャフト炉の開発、第34回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp. 139-141(2013)
- 5) 谷口剛ほか：低炭素型シャフト炉の開発(第二報)、第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp. 415-416(2013)
- 6) 谷口剛ほか：低炭素型シャフト炉の開発(第三報)、第