

平成 24 年度

環境研究総合推進費補助金 次世代事業

総合技術開発報告書

世界の廃棄物処理展開を目指した低炭素型シャフト炉の開発

J112002

平成 25 年 3 月

新日鉄住金エンジニアリング株式会社、香川県東部清掃施設組合

- ・補助事業名 : 環境研究総合推進費補助金次世代事業（平成 23 年度～平成 24 年度）
- ・所管 : 環境省
- ・総事業費 : 490,000,000 円
- ・国庫補助額 : 185,809,000 円
- ・研究課題名 : 世界の廃棄物処理展開を目指した低炭素型シャフト炉の開発
- ・研究事業期間 : 平成 23 年 6 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日
- ・研究代表者 : 高田 純一（新日鉄住金エンジニアリング株式会社）

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

- ・研究課題名 : 世界の廃棄物処理展開を目指した低炭素型シャフト炉の開発
- ・研究番号 : J112002

- ・総事業費 : 490,000,000 円

- ・国庫補助額 : 185,809,000 円

- ・研究事業期間 : 2011 年度～2012 年度

- ・研究代表者 : 高田 純一 (新日鉄住金エンジニアリング株式会社)

1. 事業の目的

シャフト炉は、可燃ごみのみならず不燃ごみを含め多様な廃棄物を破碎等の前処理なく一括処理でき、安全で有効利用しやすい良質のスラグ・メタルを産出できる特徴を有する。「低炭素型シャフト炉」は、これらの利点を損なわないで通常のごみ処理時におけるコークス使用原単位を大幅に削減できる熔融炉として開発したものであり、本格実用化に向けたスケールアップのため、本事業では 65 トン/日規模の実機施設において下記の通りコークス原単位および CO₂ 排出原単位の削減を達成することを目標とする。

①コークス原単位 60kg/t・ごみ →20kg/t・ごみ以下 (目標 15 kg/t・ごみ)

②コークス起因 CO₂ 排出原単位 195kg/t・ごみ →65kg/t・ごみ

さらに、現状使用している化石燃料由来のコークスを、バイオマス由来のコークス (以下「バイオマスコークス」と言う) に 100%置換し、化石燃料由来 CO₂ の 0 カウントを達成し、低コスト・低 CO₂ を実現したシャフト炉式ガス化熔融炉の完成を目指す。

2. 開発した技術の詳細

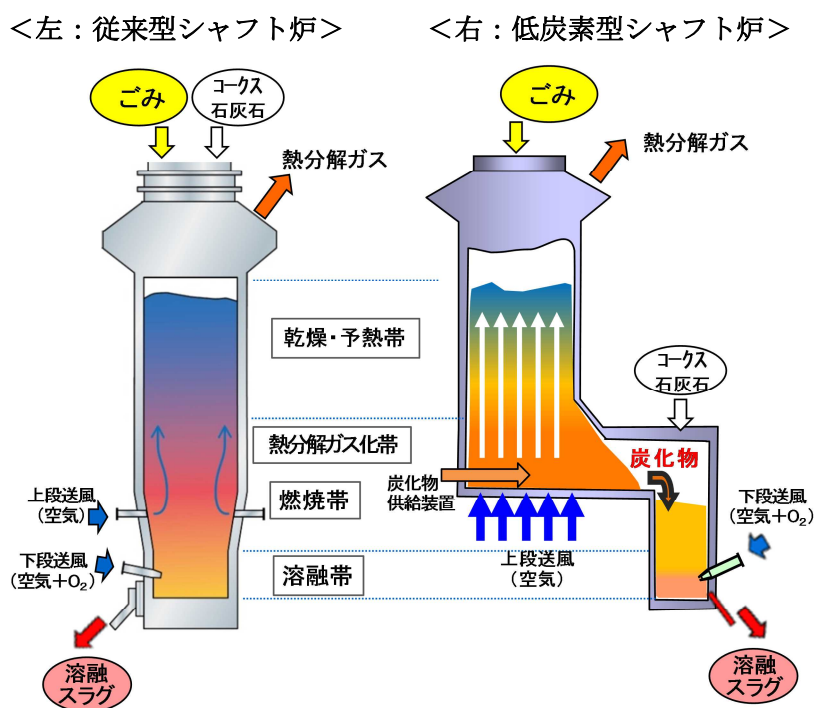
(1)低炭素型シャフト炉の概要

従来、シャフト炉は、酸素富化した空気を熔融炉下部から単段で送風し、コークスを高温燃焼させて不燃物や灰分を安定熔融するためのコークスベッドを形成するとともに、炉上部でのごみの乾燥や熱分解に必要な熱を賄っていた。炉上部に設けられた羽口 (送風ノズル) でごみの一部を燃やし、その燃焼熱で乾燥・熱分解を促進させる羽口多段化技術によってコークス使用量を 3 割程度削減することはできたが、羽口からの送風による燃焼ガスはシャフト部で周辺流となりやすく、中心部分での乾燥・熱分解は不十分となるため、コークス使用量削減には限界があった。そこで本事業では、シャフト断面全体を有効に使

って乾燥・熱分解を促進するために、シャフト下部全面から送風してごみの一部を効率良く燃焼し、ごみ自身のエネルギーを利用して乾燥・熱分解を十分に行うことで過剰なコークスの削減を狙う。またコークス削減により、酸素富化量も減らすことができるため、酸素発生装置の消費電力削減もできる（消費電力全体の10%程度）。

一方、乾燥・熱分解を十分に行ったごみ（炭化物）の溶融基礎試験においては、灰分の溶融に必要な最低限の熱量で完全溶融可能であることがわかっており、本事業で低炭素型シャフト炉において高効率な乾燥・熱分解が達成できれば、コークス使用量を限界レベルまで削減することが可能である。

またコークス使用量を極限まで低減した状態において、化石燃料由来のコークスの代替物として発熱量がコークスと同等で、カーボンニュートラルなバイオマスコークスへ置換することで化石燃料由来のCO₂をゼロカウントとすることができる。



(2)研究開発の方法

香川東部溶融クリーンセンター（香川県さぬき市）内にあるシャフト炉式ガス化溶融炉の実機施設（65ト/日×3炉）のうち、1炉を低炭素型シャフト炉に改造し、実証試験を行った。

①実証施設の概要

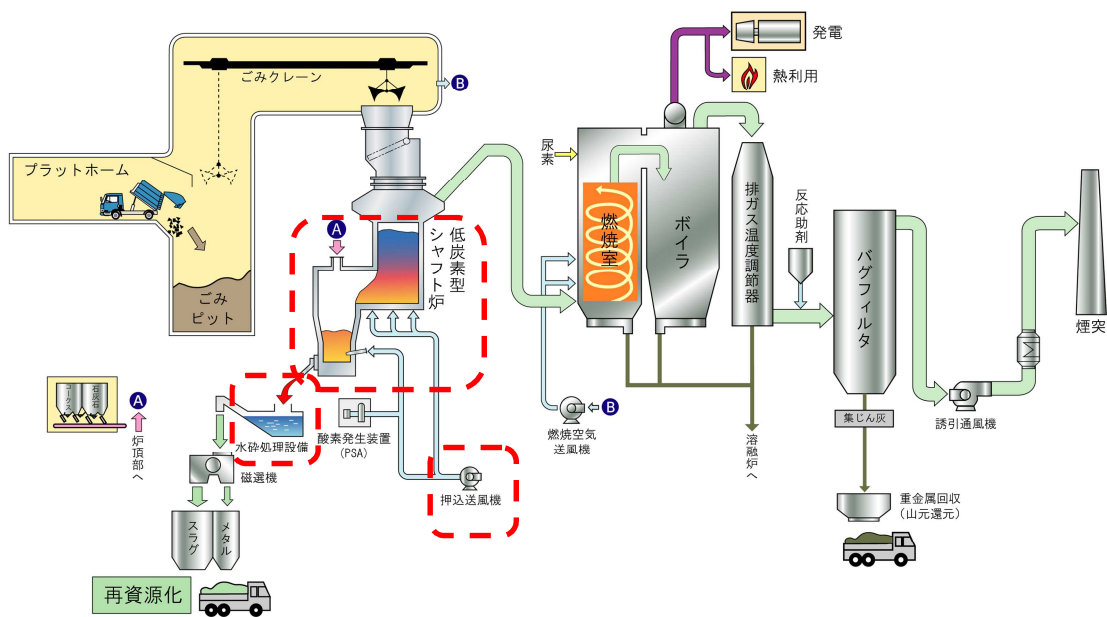
施設名	香川東部溶融クリーンセンター3号炉（シャフト炉式ガス化溶融炉）
処理能力	65ト/日（24時間連続稼働）
処理対象ごみ	可燃ごみ、不燃ごみ、粗大ごみ（粗破碎後）

混合ごみの平均的な組成

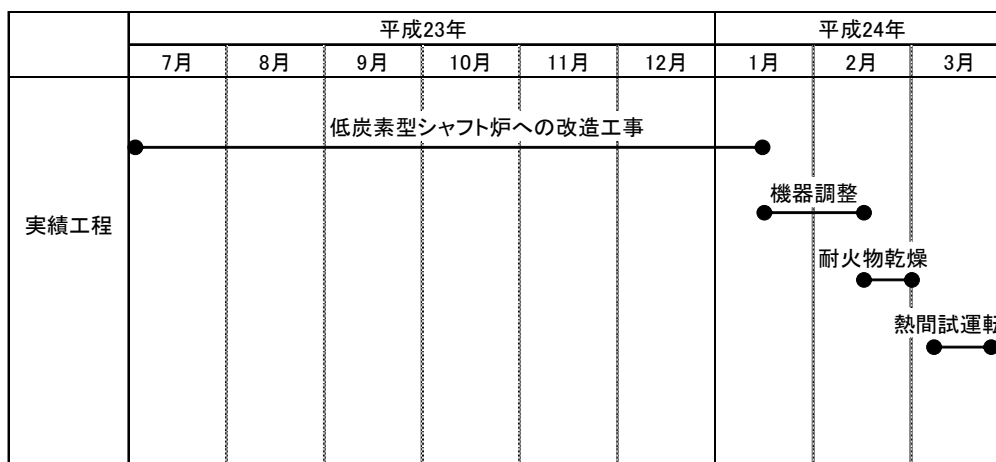
- ・可燃分 49%
- ・水分 38%
- ・灰分 13%
- ・低位発熱量 8,120kJ/kg (1,940kcal/kg)

排ガス処理形式	SO _x	:	乾式脱硫方式
	HCl	:	乾式脱塩方式
	NO _x	:	無触媒脱硝方式
	ばいじん	:	バグフィルタ
	DXNs	:	活性炭吹込み方式

②実証施設の処理フロー（赤点線の枠内が改造範囲）



(3)実証試験全体工程



(4)実証試験における評価項目、評価方法

	評価項目	評価方法
1	コークス使用量低減性能	<ul style="list-style-type: none"> コークス使用量低減時のごみ処理能力、熔融性能、熱収支、物質収支等について評価 従来型シャフト炉（同じ施設内で稼働中）とのコークス使用量実績比較
2	長期安定稼働性	<ul style="list-style-type: none"> 長期連続運転（90日間以上）時における、ごみ処理能力・設備安定稼働性、熔融性能、排ガス処理性能等について評価
3	バイオマスコークス適用時の運転状況	<ul style="list-style-type: none"> バイオマスコークス適用時における、ごみ処理能力、熔融性能、排ガス処理性能について評価

(5)実証試験の結果

1)コークス使用量低減性能

熱負荷運転 RUN 1～2（以下、熱負荷運転のことを「RUN」と言う）の運転条件調整によって、コークス使用量 20kg/t 以下での安定運転の目処を立てることができ、熔融スラグの品質および排ガス性状とも特に問題はなく、65ト/日規模の実機施設においても低炭素型シャフト炉のコークス使用量低減性能が十分に発揮できることを確認した。RUN 3 では 40 日間に渡ってコークス使用量 20kg/t・ごみ での運転を継続でき、RUN 4 においては、3 日間程度コークス使用量 15kg/t・ごみ 以下での安定運転を確認することもできた。

		RUN 2	(参考) 従来型炉	RUN 3	(参考) 従来型炉	RUN 4	(参考) 従来型炉
データ期間		6/27～7/4 (2012年)	6/27 (2012年)	10/3～11/11 (2012年)	10/21～11/1 (2012年)	2/24～2/26 (2013年)	2/24～2/26 (2013年)
データ日数	(日)	8	1	40	12	3	3
ごみ処理量	(t/d)	66	73	63	67	72	69
コークス使用量	(kg/t)	19	56	20	61	15	57
ごみ質	水分	(%)	-	36	-	48	-
	可燃分	(%)	-	50	-	39	-
	灰分	(%)	-	14	-	13	-
	低位発熱量	(kJ/kg)	7,619	-	8,562	-	7,983

2)長期安定稼働性

平成 24 年 9 月 11 日から 12 月 11 日まで 24 時間連続運転を 92 日間実施し、この間設備トラブル等で炉を停止することは一度もなく、平均 62ト/日（コークス使用量 24kg/t・ごみ（立上げ・立下げ含む全期間平均））の運転を継続し、長期間の連続安定稼働が十分可能であり、設備信頼性を確認することができた。

3)バイオマスコークスの適用

RUN 4 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に全量置換する試験を実施し、下表に示すように、バイオマスコークス使用時もコークスと同様安定した処理を達成した。また、熔融スラグ、排ガス性状ともに問題はなかった。

		バイオマスコークス 100%置換試験	
データ期間		2/3～2/8	
データ日数	(日)	6	
ごみ処理量	(t/日)	60	
コークス使用量	(kg/t)	21	
ごみ質	水分	(%)	50
	可燃分	(%)	36
	灰分	(%)	14
	低位発熱量	(kJ/kg)	7,160

3. 開発した技術がもたらす効果

本事業によって、コークス使用量削減と安定運転の継続（プロセスの成立性）を実証することができた。これにより、現状シャフト炉の有する処理対象範囲の多様性とスラグ品質の高さに加えて、低コスト、低 CO₂ を実現したシャフト炉式ガス化溶融炉が完成したと言える。コークス起因の CO₂ 排出原単位としては、195 kg/t・ごみ →65 kg/t・ごみへと削減することが可能となる。

本事業でスケールアップ性が検証されたことにより、今後建設されるシャフト炉式ガス化溶融炉（200 トン/日規模以上）へ展開することで、コークス使用量の大幅削減（従来量の約 1/3 へ）による温室効果ガス排出量および Life Cycle Cost（LCC）の大幅削減が達成できる。

また、バイオマス材料が豊富でかつ比較的安価にバイオマスコークスを製造することができる海外（特にアジア圏）において、多種多様な廃棄物を低 CO₂ で処理できる施設として普及促進を図ることが可能となる。これにより、コークス起因の CO₂ 排出原単位としては最終的に 65kg/t・ごみ →0kg/t・ごみ となり、ごみ処理によって排出される CO₂ 量としては、一般的な焼却炉（ストーカ炉等）と同等レベルまで削減できることとなる。

4. 環境政策への貢献

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、という特長を継承しつつ、コークス使用量の大幅な削減を達成でき、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ことが実証され、実用化の目処がついたと言える。

国内においては、新規に建設されるシャフト炉式ガス化溶融炉への適用が図れるだけでなく、従来型のシャフト炉を有する廃棄物処理施設（約 30 施設）においては基幹的設備改良事業等で低炭素型シャフト炉へ改造することにより、温室効果ガス（CO₂）排出量および Life Cycle Cost（LCC）の大幅削減を達成することが可能である。しかも基幹的設備改良事業において低炭素型シャフト炉を導入する場合、コークス使用量の大幅削減によって CO₂ 排出量削減率 20%以上の達成が見込まれ、平成 22 年度からメニューとして加わった「循環型社会形成推進交付金」の基幹的設備改良事業に関する支援で交付率が 1/2 となることから、低炭素型シャフト炉の導入がより一層推進されることが期待される。

また、バイオマス材料が豊富でかつ比較的安価にバイオマスコークスを製造することができる海外（特にアジア圏）においては、多種多様な廃棄物を低 CO₂ で処理できる施設として普及促進を図ることが可能となり、廃棄物処理過程における CO₂ 削減に大いに貢献することが期待できる。

5. 開発した技術の事業化の可能性

コークスを使ったシャフト炉は当社が独自に開発したものであり、廃棄物熔融炉の稼働実績としては世界最多である。現状のシャフト炉が有する処理対象範囲の多様性とスラグ品質の高さを確保することは、これまでは化石燃料を使用することでは実現されていない。化石燃料を使用せずに確保することはこれまで実現されていない。本技術により、新規の廃棄物処理施設建設だけでなく、実稼働中のシャフト炉における基幹的設備改良事業における炉体更新によって、CO₂の大幅削減とランニングコストの大幅削減を達成することができるため、そのニーズは大きいと考える。また海外で安価に入手しやすいバイオマスを活用することで、国内だけでなく海外における廃棄物処理問題解決にも大いに貢献できる。

(概要終わり)

1. 事業の背景

一般廃棄物の溶融処理技術は、1997年に焼却施設への溶融機能付加が国庫補助の要件となつて以降、焼却施設への灰溶融炉併設とガス化溶融施設とが拮抗する形で急速に普及し、現状 200 施設を超えるに至つた。しかしながら溶融処理は焼却灰のスラグ化・資源化により最終処分量を大幅に低減でき土木資材が得られるというメリットはある一方で、中間処理だけ見れば、処理コストが高くなり、温室効果ガスの発生量も増加するというデメリットもあることから、最終処分場が十分確保されているような場合には、焼却単独処理も容認されるようになった。従つて、溶融処理による減容化、資源化、無害化のメリットを活かしつつ、デメリットを克服するためにも、安価で温室効果ガス排出量の少ない溶融処理技術への転換が強く望まれ、その実現は、国内での普及に留まらず、日本の技術を海外へ展開するためにも極めて有効である。処理対象には一般廃棄物のみならず、医療廃棄物、廃自動車、廃家電製品等のリサイクル残さやアスベストなどの処理困難な有害廃棄物も含めることができる。このように、これからは環境負荷が小さくかつ安価な高度処理技術が求められる。

2. 事業の目的

シャフト炉は、可燃ごみのみならず不燃ごみを含め多様な廃棄物を破碎等の前処理なく一括処理でき、安全で有効利用しやすい良質のスラグ・メタルを産出できる特徴を有する。「低炭素型シャフト炉」は、これらの利点を損なわないで通常のごみ処理時におけるコークス使用原単位を大幅に削減できる溶融炉として開発したものであり、本格実用化に向けたスケールアップのため、本事業では 65 トン/日規模の実機施設において下記の通りコークス原単位および CO₂ 排出原単位の削減を達成することを目標とする。

①コークス原単位 60 kg/t-ごみ →20 kg/t-ごみ以下 (目標 15 kg/t-ごみ)

②コークス起因 CO₂ 排出原単位 195 kg/t-ごみ →65 kg/t-ごみ

さらに、現状使用している化石燃料由来のコークスを、バイオマス由来のコークス (以下「バイオマスコークス」と言う) に 100%置換し、化石燃料由来 CO₂ の 0 カウントを達成し、低コスト・低 CO₂ を実現したシャフト炉式ガス化溶融炉の完成を目指す。

3. 実証施設の設置場所

①実証施設の所在地、名称

香川県さぬき市長尾東 3013 番地

香川東部溶融クリーンセンター 3号炉（シャフト炉式ガス化溶融炉）

②実証施設の規模

65 トン／日×1 炉（24 時間連続稼働）

③処理対象廃棄物の種類

- ・可燃ごみ、不燃ごみ、粗大ごみ（粗破碎後）
- ・混合ごみの平均的な組成

可燃分 49%

水分 38%

灰分 13%

低位発熱量 8,120kJ/kg（1,940kcal/kg）

④排ガス処理方式

- ・SO_x : 乾式脱硫方式
- ・HCl : 乾式脱塩方式
- ・NO_x : 無触媒脱硝方式
- ・ばいじん : バグフィルタ
- ・DXNs : 活性炭吹込み方式

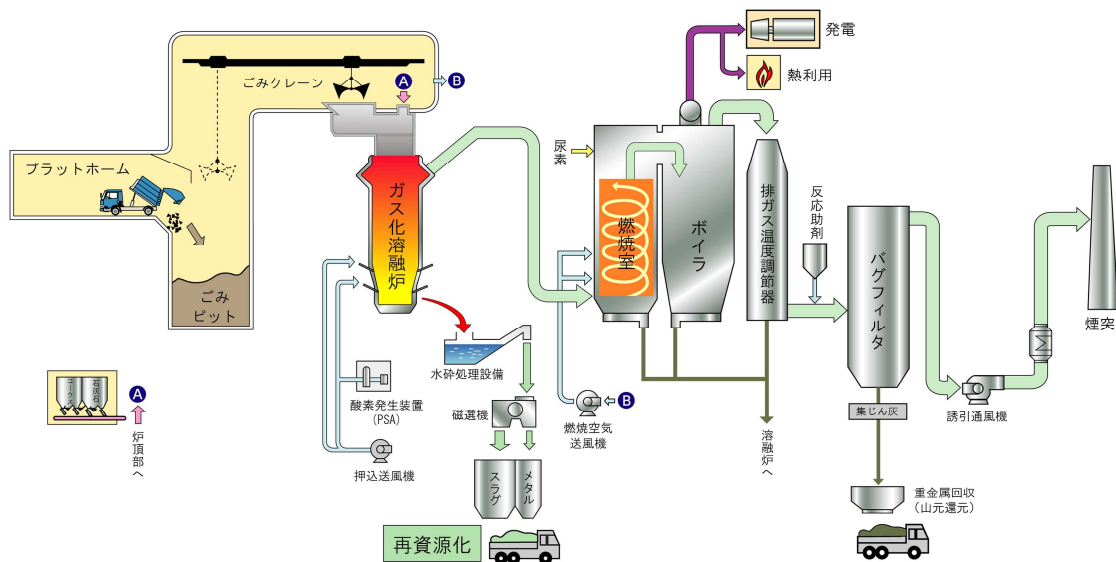


図1 実証施設全体フロー

4. 低炭素型シャフト炉の概要

図2に低炭素型シャフト炉の概要と従来型シャフト炉との比較を示す。従来型シャフト炉では上段送風が周辺流となって、中心部のごみが未乾燥のまま溶融帯であるシャフト下部に持ち込まれやすく、水分乾燥のためのコークスを削減することが難しかった。一方、低炭素型シャフト炉は従来型シャフト炉のシャフト部分を分割し、シャフト下全面から均一に送風できる構造となっているのが特長である。シャフト下全面より均一に送風してごみを部分燃焼させて発生した熱ガスと、上部に充填されたごみを効率良く熱交換させることで乾燥・熱分解を促進し、ごみを炭化物にしてシャフト下部へ送ることができ、未乾燥ごみのシャフト下部への侵入を防止することが可能となる。シャフト下部へは生成した炭化物中の灰分を溶融するために必要な最低限のコークスを投入すればよく、これによってコークス使用量の大幅な削減が達成できる。また、副資材であるコークスおよび石灰石は溶融帯の上部から直接投入することでより効率的に活用でき、溶融によって生成したスラグ・メタルは従来型シャフト炉と同様、炉下部の出湯口から定期的に排出する。発生した熱分解ガスは、従来型シャフト炉と同様に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させる。しかも、処理対象物は従来型シャフト炉同様、多種多様なごみに対応することが可能である。

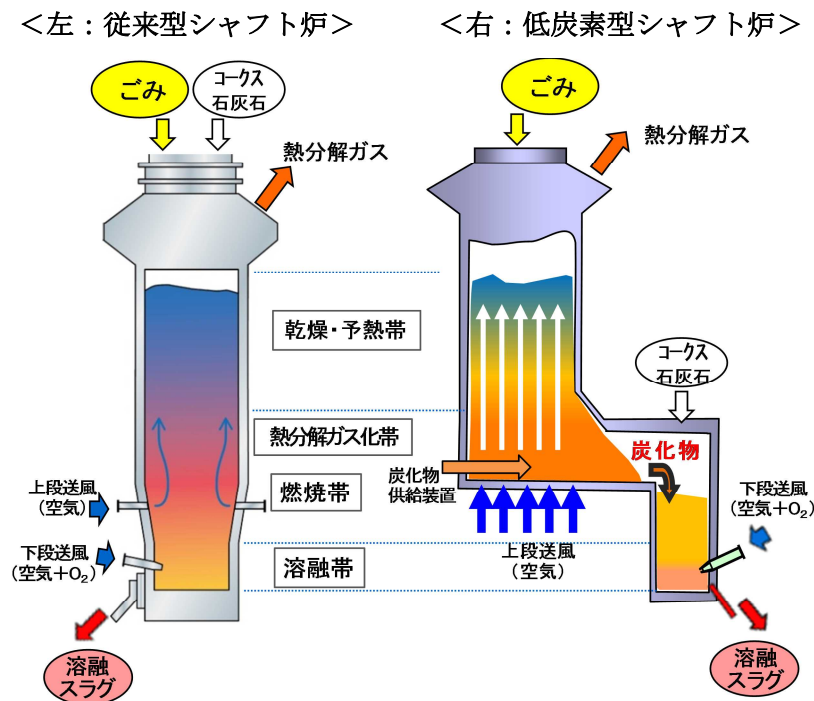


図2 低炭素型シャフト炉の概要（従来型シャフト炉との比較）

5. 事業の全体工程

表1に本事業の全体工程を示す。平成23年7月に低炭素型シャフト炉への改造工事を開始し、平成24年1月より機器調整、耐火物乾燥、熱間試運転を行い、平成24年4月から平成25年2月にかけて実証試験を実施した。

表1 事業の全体工程

	平成23年						平成24年			
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
実績工程	●-----● 低炭素型シャフト炉への改造工事						●	●-----● 機器調整		
								●-----● 耐火物乾燥		
									●-----● 熱間試運転	

	平成24年										
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
実績工程	●	-----				●	-----				
							●-----● 90日以上連続運転				

	平成25年		
	1月	2月	3月
実績工程	●-----● 実証試験		
	●-----● バイオマスコークス試験		

6. 低炭素型シャフト炉への改造工事および機器調整、耐火物乾燥、熱間試運転の結果

(1)改造工事概要について

平成23年7月より、香川東部溶融クリーンセンター3号炉を低炭素型シャフト炉へ改造する工事を実施した。改造後のフローを図3、主要工程（実績）を表2に示す。7月～9月にかけて既設溶融炉（従来型のシャフト炉式ガス化溶融炉）の解体、および流用する機器についてはその移設作業を実施した。9月下旬からは新設する低炭素型シャフト炉を構成する機器の据付、あるいは既設機器改造を開始し、11月～12月にかけて低炭素型シャフト炉本体の取込み、据付工事を実施した。12月～1月にかけて、炉本体の耐火物工事、配管工事、保温工事、電気計装工事を並行して行い、1月中旬には据付工事をほぼ完了することができた（2～3月は若干の手直し工事を適宜実施）。

また、これら工事と並行して、低炭素型シャフト炉本体および付属機器の設計・製作を実施した。

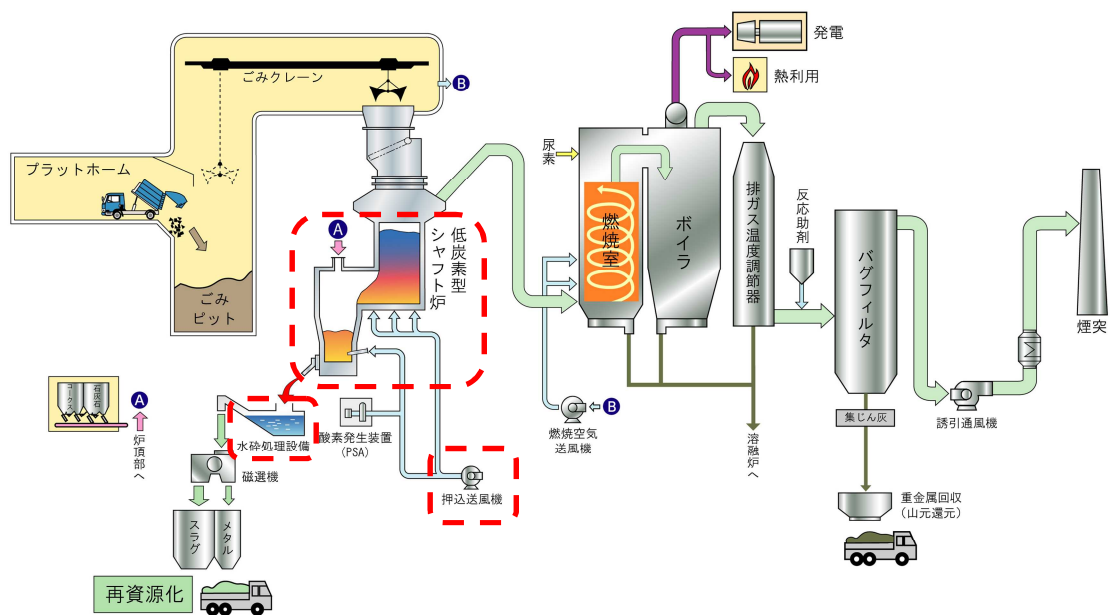
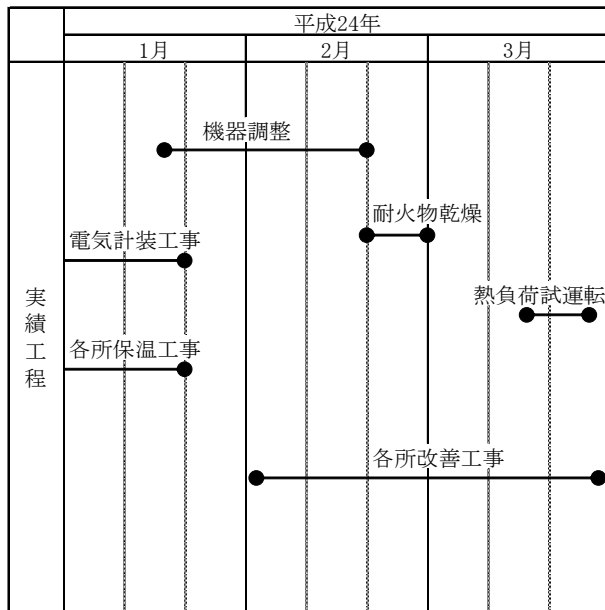
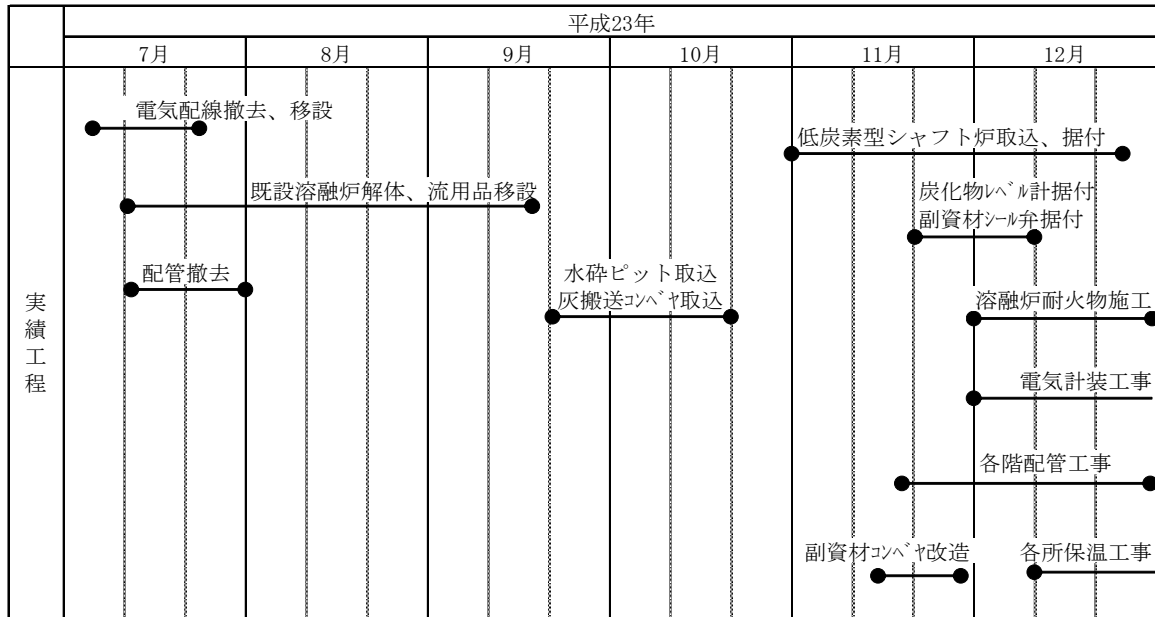


図3 低炭素型シャフト炉改造後のフロー（改造範囲は赤点線の枠内）

表2 低炭素型シャフト炉への改造工事工程（実績）



(2) 工事写真

低炭素型シャフト炉への改造工事記録（実証設備据付工事記録）について以下に示す。

① 工事過程の写真（写真 1～写真 39）



写真 1 炉廻り配管解体



写真 2 燃烧室ダスト排出装置デッキ改造



写真 3 出湯口開閉機解体・移設



写真 4 上段羽口送風機取外し



写真 5 上段羽口送風機搬出



写真 6 仮設部材取込用構台



写真7 2階仮設部材取込み



写真8 2階仮設架台組立



写真9 溶融炉仮固定用ブラケット



写真10 1階仮設レール組立



写真11 溶融炉解体前



写真12 耐火物解体



写真 13 朝顔部解体



写真 14 炉底吊り上げ



写真 15 炉底搬出



写真 16 朝顔上部解体



写真 17 シャフト下部解体



写真 18 シャフト下部搬出



写真 19 シャフト上部解体



写真 20 解体炉搬送



写真 21 既設炉解体完了



写真 22 1階床解体



写真 23 水砕ピット解体



写真 24 水砕ピット解体完了



写真 25 トロップ灰搬送コンベヤ取込み



写真 26 新規水砕ピット取込み



写真 27 油圧ユニット取込み



写真 28 トロップ灰排出2重シール弁取込み



写真 29 地下機器据付完了



写真 30 1階床施工



写真 31 2階床解体



写真 32 本体取込み準備（レール補強）



写真 33 本体取込み準備（敷鉄板敷設）



写真 34 副資材シール弁上架



写真 35 低炭素型シャフト炉上部取込み



写真 36 低炭素型シャフト炉本体上部仮吊り



写真 37 大塊コンベヤ解体



写真 38 上部・本体肌合わせ・地組み



写真 39 本体・上部溶接完了

②据付完了写真（写真 40～49）

上記工事過程を経て、低炭素型シャフト炉実証設備の据付を無事に完了した。完了時の写真を以下に示す。



写真 40 低炭素型シャフト炉本体
（出湯口（炉底部））



写真 41 低炭素型シャフト炉本体
（炭化物供給装置およびシャフト部）



写真 42 副資材シール弁



写真 43 水砕ピット



写真 44 副資材シュート



写真 45 NO.6 副資材コンベヤ



写真 46 押込送風機
(上段羽口送風機を改造)



写真 47 ドロップ灰搬送コンベヤ



写真 48 ドロップ灰排出2重シールドダンパ



写真 49 低炭素型シャフト炉用油圧装置

(3) 機器調整結果

1) 目的

耐火物乾燥、熱間試運転に先立ち、据付工事完了後の機器調整（ユーティリティ立ち上げ、機器単独調整および連動調整）を実施した。

2) 機器調整期間および実績工程（表3）

平成24年1月23日（月）～2月17日（金）

表3 機器調整工程表（実績）

	平成24年1月											2月																	
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金			
主要工程	▼機器調整開始 シーケンスチェック 単体機器調整											連動試運転																	
個別機器調整スケジュール	給脂、給油、ユーティリティ調整（水・空気等）			副資材シール弁、コンベヤ				水砕ピット				溶融炉油圧装置				溶融炉本体炭化物供給装置				ドロップ灰コンベヤ		出湯口開閉機		副資材装入系				通風系	

3) 機器調整結果

当初の計画通り（上記工程通り）、特に問題なく機器調整を完了した。

(4) 耐火物乾燥運転結果

1) 目的

熔融炉設備に使用される水練を主体とする耐火物に於いて、自然乾燥固化後のキャストブル（耐火物）は水和反応によって生成した結晶水と遊離水（自由水）が残留する。この遊離水を取除くために乾燥作業を実施した。

2) 期間

平成 24 年 2 月 20 日(月) ～ 2 月 26 日(日) (144 時間)

3) 乾燥概要

熔融炉乾燥装置（仮設：1 基）を用い、熱風ガスを炉内に送ることによって耐火物に熱を供給する。作業は、予め計画した乾燥（昇温曲線）工程に沿って行い、所定の作業が終了し耐火物に十分な熱が加わったことを確認して完了となる。

約 6 日間の乾燥期間の後、約 2 日間の冷却期間をおき、乾燥装置の撤去・移設作業、炉内点検を行った。

4) 結果

写真に示す通り、概ね良好な状態であった。



写真 50 耐火物乾燥後の炉内（炉底）



写真 51 耐火物乾燥後の炉内
（炭化物供給装置上部）

(5) 熱間試運転結果 (RUN 0)

実証試験を開始するに先立って、熱間試運転 (RUN 0) を行った。

(以下、熱負荷運転のことを「RUN」と言う。)

1) 目的

- ・熱負荷運転による耐火物中の水分の完全乾燥（乾燥運転では乾燥しきれない部分があるため、実際に少しずつごみ処理をすることで炉体温度を上げていき、耐火物を乾燥させる）
- ・熱負荷状態下において各機器が正常に動作することの確認
- ・基本制御系のチューニング
- ・低炭素型シャフト炉の基本特性把握

2) 熱間試運転期間および実績工程

平成 24 年 3 月 14 日（水）～3 月 23 日（金）の 10 日間

表 4 熱間試運転 (RUN 0) の実績工程

	3月									
	14(水)	15(木)	16(金)	17(土)	18(日)	19(月)	20(火)	21(水)	22(木)	23(金)
立上げ後日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目
主要工程	← 耐火物中の水分の完全乾燥 →									
	← 熱負荷状態下において各機器が正常に動作することの確認 →									
	← 基本制御系チューニング →									
	← 低炭素型シャフト炉の基本特性把握 →									

3) 試験結果

熱間試運転 (RUN 0) として 10 日間の運転を実施し、特に大きなトラブルもなく熱負荷状態で各機器が正常に動作することを確認した。また、RUN 0 後半には炉体耐火物からのドレン排出（炉体に設置してあるドレン排出口よりホースにて排出）も止まり、ほぼ炉体耐火物乾燥は完了したと考えられる。

立上げで炉体昇温を早期に行うために当初計画よりもコークス使用量はやや多くなっ

たが、立上げ2日目の3/15以降はほぼ計画通りの運転となり、基本制御系のチューニング等も予定通り完了することができた。その中で短期的ではあるが、3/21にはコークス原単位20kg/t-ごみ台（実績26.5kg/t-ごみ）で運転することもでき、プロセス的にもコークス使用量20kg/t-ごみ以下を達成できる感触を得た。

7. 低炭素型シャフト炉実証試験の結果

(1) 評価項目および評価方法

実証試験の目的である、「従来型シャフト炉の特長を維持したままコークス使用量の大幅削減を達成でき、更にバイオマスコークスを適用できることを確認する」ため、表5のように評価項目および評価方法を設定した。

表5 実証試験における評価項目および評価方法

	評価項目	評価方法
1	コークス使用量低減性能	<ul style="list-style-type: none"> ・コークス使用量低減時のごみ処理能力、熔融性能、熱収支、物質収支等について評価 ・従来型シャフト炉（同じ施設内で稼働中）とのコークス使用量実績比較
2	長期安定稼働性	<ul style="list-style-type: none"> ・長期連続運転（90日間以上）時における、ごみ処理能力・設備安定稼働性、熔融性能、排ガス処理性能等について評価
3	バイオマスコークス適用時の運転状況	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマスコークス適用時における、ごみ処理能力、熔融性能、排ガス処理性能について評価

(2) 実証試験期間および全体工程（表6）

平成24年4月23日（月）～平成25年2月27日（水）（RUN1～RUN4）
 （延べ運転日数207日間、総ごみ処理量12,410トン）

表6 実証試験全体工程

	平成24年					
	4月	5月	6月	7月	8月	9月
実証試験工程	← RUN 1 →		← RUN 2 →			← RUN 3 →

	平成24年			平成25年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実証試験工程	← RUN 3 →			← RUN 4 →		

(3)各 RUN の運転結果概要

表7に各 RUN ごとのごみ処理量およびコークス使用量を示す。RUN 1 では、初期条件調整のため、ごみ処理量が定格（65 トン/日）に対し、やや少なめとなっているが、RUN 2 以降はほぼ定格処理量に近いところで運転することができている。

次に、各 RUN での運転結果概要を示す。

表7 各 RUN の運転日数、ごみ処理量、コークス使用量実績

	運転日数 (日)	総ごみ処理量 (トン)	平均ごみ処理量 (トン/日)	平均コークス使用量 (kg/t-ごみ)
RUN 1	14	724	57	26
RUN 2	32	3,077	63	29
RUN 3	92	5,617	62	24
RUN 4	38	2,281	65	26

①RUN 1 の運転結果概要

・運転期間

平成 24 年 4 月 23 日～5 月 6 日（14 日間）

・主な実施項目

低炭素型シャフト炉の基本特性把握

各制御系チューニング

コークス使用量低減性能の確認

適正運転条件（送風条件等）の探索

・運転結果概要

RUN 1 では、低炭素型シャフト炉の基本特性把握および各種制御系のチューニング、コークス使用量低減のための運転条件（送風条件等）の探索を実施した。

初期チューニングのため、ごみ処理量平均値は少なめとなっているが、立上げ 13 日目の 5 月 5 日には、ごみ処理量 65.1 トン/日（定格 65 トン/日）、コークス使用量 14.9kg/t-ごみを達成し、目標である 20kg/t-ごみを大幅に低減することができ、20 トン/日 試験プラントでの実績と同等の性能を発揮できる目処を得た。

表8 実証試験 RUN 1 の実績工程

月	4月								5月					
日	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6
立上げ後日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
主要工程														

②RUN 2 の運転結果概要

・運転期間

RUN 2 : 平成 24 年 6 月 5 日～8 月 9 日 (52 日間)
 (途中、炉内点検のための停止期間あり)

・主な実施項目

コークス使用量低減性能の確認
 適正運転条件 (送風条件等) の探索および確立

・運転結果概要

RUN 2 では、試験期間前半でコークス使用量低減のための適正運転条件 (送風条件等) の探索を行い、ほぼ運転条件の見通しを立てることができた。

その後、コークス使用量低減運転に入り、立上げ 23 日目以降の平均コークス使用量は 19.3kg/t・ごみ まで低減することができ、目標である 20kg/t・ごみ 以下を達成した。

表9 実証試験 RUN 2 の実績工程

月	6月	7月	8月
主要工程			

③RUN 3 の運転結果概要

- ・運転期間

平成 24 年 9 月 11 日～12 月 11 日 (92 日間)

- ・主な実施項目

長期連続安定稼働の確認

- ・運転結果概要

RUN 3 においては、一度も炉を停止することなく 92 日間の連続安定運転を達成し、低炭素型シャフト炉の長期連続安定稼働を確認することができた。

表 10 実証試験 RUN 3 の実績工程

	9月	10月	11月	12月
主要工程	← RUN 3 (92日間) →			
	← 長期安定性の確認 →			

④RUN 4 の運転結果概要

- ・運転期間

RUN 4 : 平成 25 年 1 月 16 日～2 月 27 日 (38 日間)

(途中、共通系設備定期整備のため、停止期間あり)

- ・主な実施項目

バイオマスコークス適用試験

コークス使用量下限値探索試験

- ・運転結果概要

RUN 4 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に全量置換する試験を実施し、石炭コークス使用時と同様安定した処理を達成した。

また、RUN 4 後半にはコークス使用量下限値を探索する試験を行い、コークス使用量 15kg/t・ごみ で安定した運転を継続することができた。

表 11 実証試験 RUN 4 の実績工程

月	1月	2月
主要工程	← RUN 4 (38日間) →	
	バイオマスコークス適用試験	コークス使用量 下限値の探索
	← 定期整備のため炉停止 →	

(4)実証試験結果と評価

1) コークス使用量低減性能についての評価

RUN 1～2 の運転条件調整によって、コークス使用量 20kg/t-ごみ 以下での安定運転の目処を立てることができ、65 トン/日規模の実機施設においても低炭素型シャフト炉のコークス使用量低減性能が十分に発揮できることを確認した。RUN3 では 40 日間に渡ってコークス使用量 20kg/t-ごみ での運転を継続できた (図 4)。これにより、コークス起因の CO₂ 排出原単位としては、約 130kg/t-ごみ 削減 (195kg/t-ごみ →65kg/t-ごみへ) することが可能となる (下式)。

$$(60-20) [\text{kg/t-waste}] \times 30.1/1000 [\text{GJ/kg}] \times 29.4 [\text{kg-C/GJ}] \times 44/12 [\text{kg-CO}_2/\text{kg-C}] \\ =130 [\text{kg-CO}_2/\text{t-waste}]$$

また、RUN 4 においては、3 日間程度コークス使用量 15kg/t-ごみ 以下での安定運転を確認することもできた (図 5)。

以下にコークス使用量低減時のごみ処理能力、熔融性能、排ガス処理性能、物質収支・熱収支について整理した。

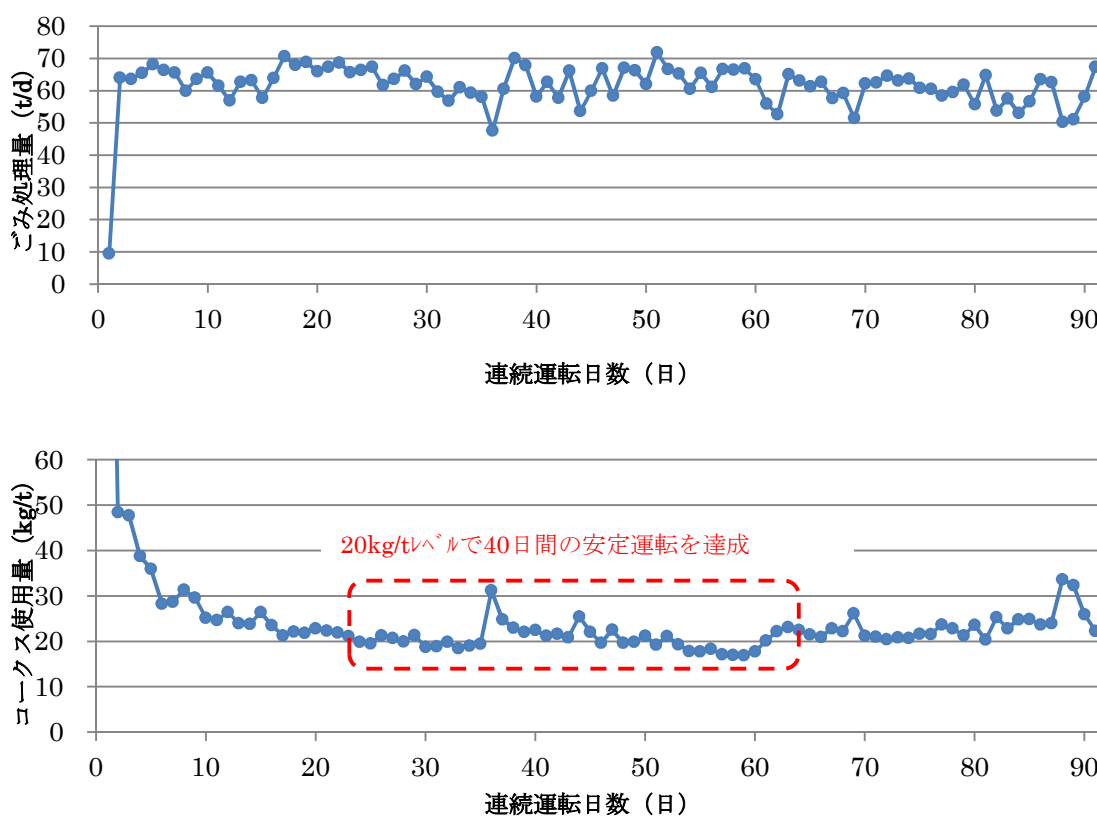


図 4 RUN 3 の運転推移図 (コークス使用量 20kg/t-ごみで 40 日間連続運転)

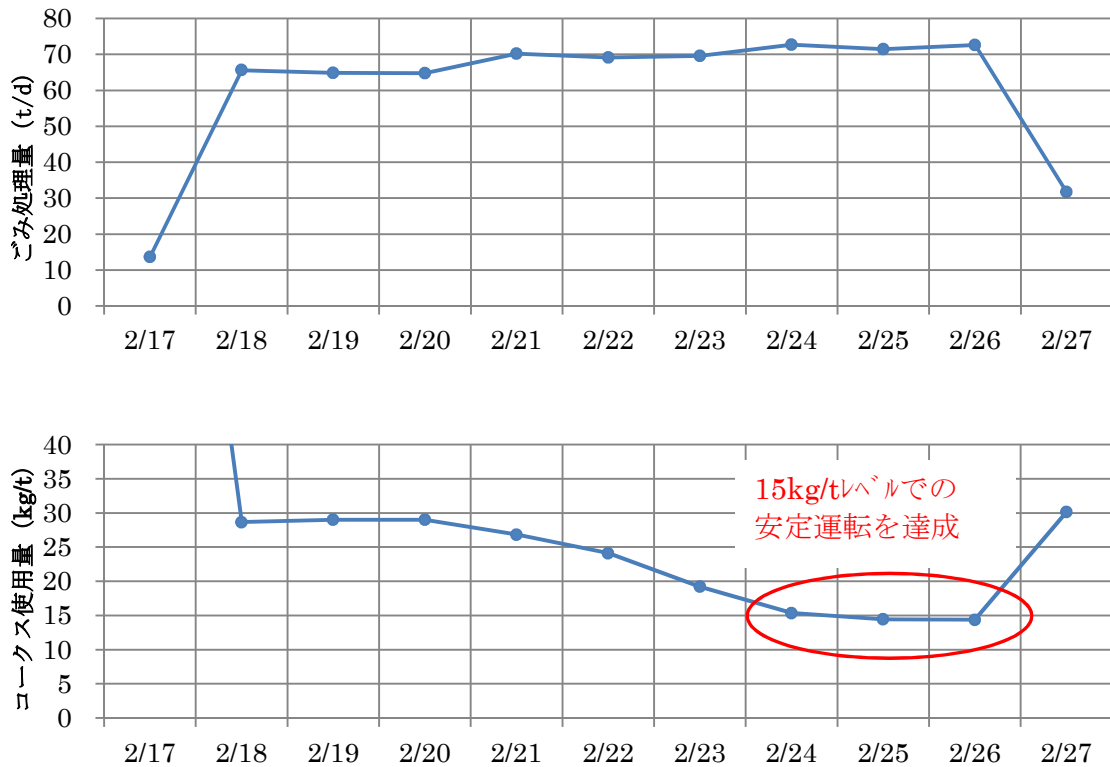


図5 コークス使用量 15kg/t-ごみ 時の運転推移図

①ごみ処理能力

表 12 に RUN 2 および RUN 3 での 20kg/t-ごみ 運転時のデータ、および RUN 4 での 15kg/t-ごみ 運転時のデータと、参考として同時期に稼働していた従来型シャフト炉の運転データを示す。低位発熱量 7,600~8,600kJ/kg 程度のごみ質の範囲において、いずれも定格処理量を達成できており、コークス使用量低減運転時においてもごみ処理能力について十分確保できていることを確認した。また、従来型シャフト炉(コークス使用量 56~61kg/t-ごみ)と比較して、概ね 40kg/t-ごみ 程度コークス使用量を削減することができた。

表 12 コークス使用量低減時のごみ処理量実績

		RUN 2	(参考) 従来型炉	RUN 3	(参考) 従来型炉	RUN 4	(参考) 従来型炉
データ期間		6/27～7/4 (2012年)	6/27 (2012年)	10/3～11/11 (2012年)	10/21～11/1 (2012年)	2/24～2/26 (2013年)	2/24～2/26 (2013年)
データ日数	(日)	8	1	40	12	3	3
ごみ処理量	(t/日)	66	73	63	67	72	69
コークス使用量	(kg/t)	19	56	20	61	15	57
ごみ質	水分	(%)	50	-	36	-	48
	可燃分	(%)	35	-	50	-	39
	灰分	(%)	15	-	14	-	13
	低位発熱量	(kJ/kg)	7,619	-	8,562	-	7,983

※ごみ質は炉運転データからの計算値

②溶融性能

コークス使用量低減時においても、溶融状況は特に問題なかった。表 13～14 に RUN 3 のコークス使用量 20kg/t-ごみ 以下運転時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示す。全ての項目において、JIS の環境安全基準を満足しており、コークス使用量低減時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、十分な溶融性能を発揮できていることを確認した。

表 13 溶融スラグの溶出試験結果 (JIS K0058-1)

サンプル採取日		2012/11/7	2012/11/8	基準値
カドミウム	mg/L	< 0.001	< 0.001	≦ 0.01
鉛	mg/L	< 0.005	< 0.005	≦ 0.01
六価クロム	mg/L	< 0.02	< 0.02	≦ 0.05
ひ素	mg/L	< 0.001	< 0.001	≦ 0.01
総水銀	mg/L	< 0.0005	< 0.0005	≦ 0.0005
セレン	mg/L	< 0.001	< 0.001	≦ 0.01
ふっ素	mg/L	< 0.1	< 0.1	≦ 0.8
ほう素	mg/L	0.02	0.01	≦ 1.0

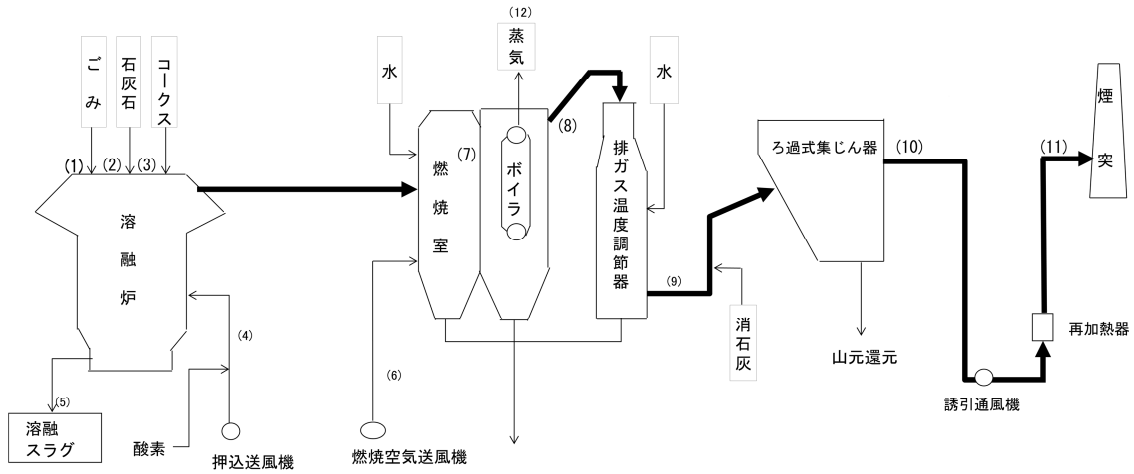
表 14 溶融スラグの含有量分析結果 (JIS K0058-2)

サンプル採取日		2012/11/7	2012/11/8	基準値
カドミウム	mg/kg	< 5	< 5	≦ 150
鉛	mg/kg	< 10	< 10	≦ 150
六価クロム	mg/kg	< 5	< 5	≦ 250
ひ素	mg/kg	< 5	< 5	≦ 150
総水銀	mg/kg	< 0.05	< 0.05	≦ 15
セレン	mg/kg	< 5	< 5	≦ 150
ふっ素	mg/kg	120	150	≦ 4000
ほう素	mg/kg	100	170	≦ 4000

③物質収支、熱収支

従来型シャフト炉（コークス使用量 57kg/t・ごみ）と低炭素型シャフト炉（コークス使用量 15kg/t・ごみ）の物質収支および熱収支を図 6～8 に示す。

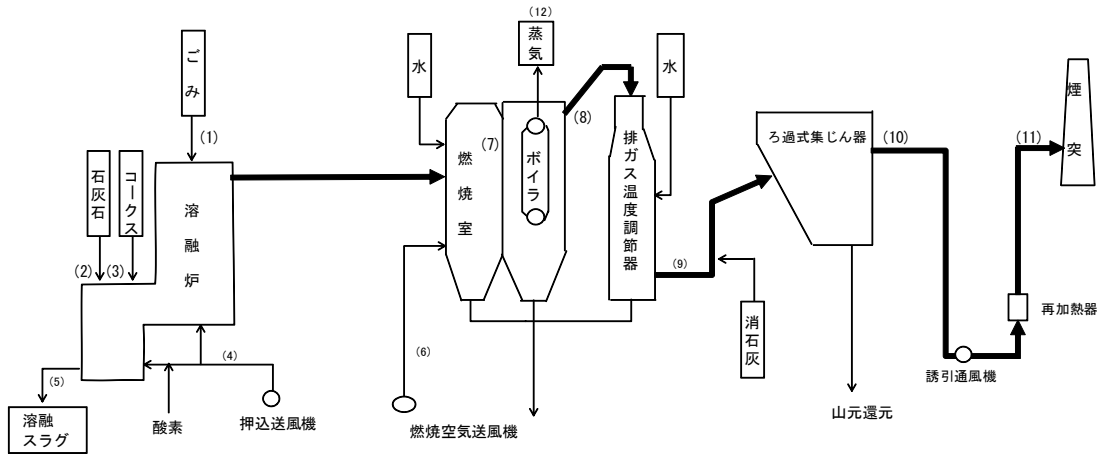
物質収支では、コークス使用量を削減することでボイラ蒸気発生量および排ガス量が減少しているが、全体熱効率（入熱合計に対するボイラ回収熱量、熱損失（放散熱および排ガス顕熱））で見ると従来炉とほぼ同等であり、全体の熱バランスが取れている。図 9 に溶融炉内のごみ処理に必要な熱量を 100 とした時の各熱量割合を示す。低炭素型シャフト炉では、従来型シャフト炉に比べてごみ燃焼割合が増加し、その分コークス燃焼熱を抑えることができている。つまり、ごみの持つ熱量を有効に利用してごみの乾燥・熱分解・溶融を行えていることが分かる。



	(1) ごみ	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) 燃焼室出口		(8) ボイラー出口	
	処理量	石灰石	コークス	押込空気	溶融物	燃焼空気	温度	湿ガス量	温度	湿ガス量
	kg/h	kg/h	kg/h	Nm ³ /h	kg/h	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h
従来型シャフト炉	2,863	104	164	1,294	286	8,350	872	18,023	192	18,723

	(9) 排ガス温度調節器出口		(10) ろ過式集じん器出口		(11) 煙突入口			(12)
	温度	湿ガス量	温度	湿ガス量	温度	乾ガス量	湿ガス量	O ₂ (dry)
	°C	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h	Nm ³ /h	%
従来型シャフト炉	155	19,397	155	19,797	146	14,187	17,012	10.6
								蒸気発生量
								kg/h
従来型シャフト炉								9,153

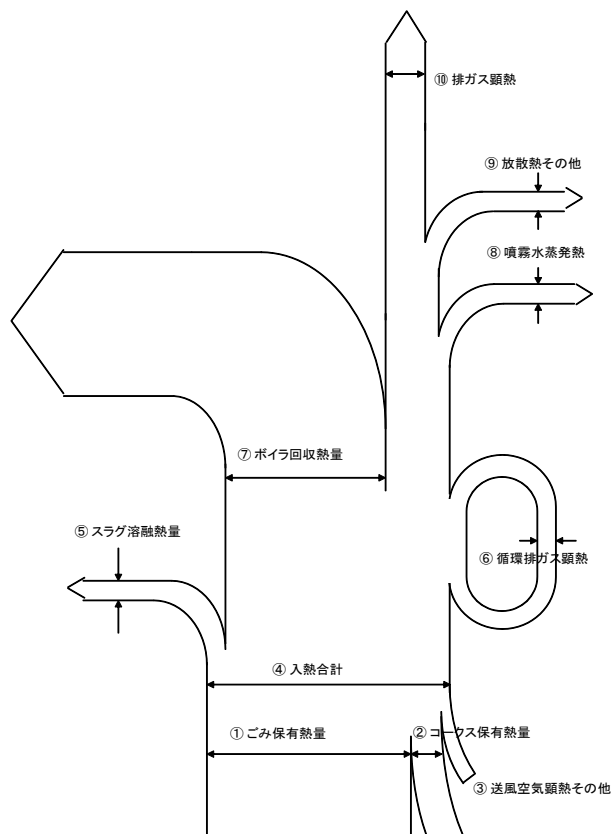
図6 従来型シャフト炉の物質収支 (コークス使用量 57kg/t-ごみ)



	(1) ごみ	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) 燃焼室出口		(8) ボイラー出口	
	処理量	石灰石	コークス	押込空気	溶融物	燃焼空気	温度	湿ガス量	温度	湿ガス量
	kg/h	kg/h	kg/h	Nm ³ /h	kg/h	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h
低炭素型シャフト炉	3,010	90	44	2,285	301	7,935	882	15,489	189	16,189

	(9) 排ガス温度調節器出口		(10) ろ過式集じん器出口		(11) 煙突入口			(12)
	温度	湿ガス量	温度	湿ガス量	温度	乾ガス量	湿ガス量	O ₂ (dry)
	°C	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h	°C	Nm ³ /h	Nm ³ /h	%
低炭素型シャフト炉	155	16,834	155	17,234	147	13,785	14,293	8.4
								蒸気発生量
								kg/h
低炭素型シャフト炉								8,103

図7 低炭素型シャフト炉の物質収支 (コークス使用量 15kg/t-ごみ)



項目	3号炉 低炭素型シャフト炉		1号炉 従来炉	
	(MJ/h)	(%)	(MJ/h)	(%)
①ごみ保有熱量	24,470	100	22,880	100
②コークス保有熱量	1,350	6	5,000	22
③送風空気顕熱その他	800	3	890	4
④入熱合計	26,620	109	28,770	126
⑤溶融物保有熱量	570	2	540	2
⑥循環排ガス顕熱	540	2	600	3
⑦ボイラ回収熱量	14,720	60	15,630	68
⑧噴霧水蒸発熱	1,000	4	990	4
⑨放散熱その他	7,000	29	8,040	35
⑩排ガス顕熱	3,330	14	3,570	16

図8 従来型シャフト炉と低炭素型シャフト炉の熱収支

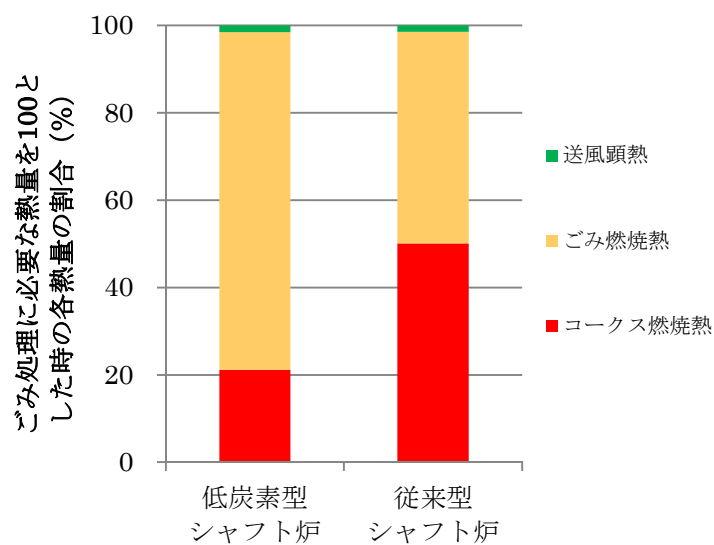


図9 溶融炉内のごみ処理に必要な熱量を100(%)とした時の各熱量の割合

2) 長期連続安定稼働性についての評価

① ゴミ処理能力および設備安定稼働性

RUN 1～2 においては、炭化物供給装置の安定稼働性の確認も行ったが、炭化物供給装置内の構造の不具合および炭化物供給装置にごみを供給する部分の不具合の影響で、炭化物供給能力の低下やごみの詰まり等の問題が発生したが、RUN 1、2 後の炉停止期間中に設備改造を行い、いずれの問題についても解消することができた。

RUN 3 では平成 24 年 9 月 11 日から 12 月 11 日まで 24 時間連続運転を 92 日間実施した。図 10 に RUN 3 におけるゴミ処理量およびコークス使用量の推移図（日平均値）を示す。ゴミ質の変動等により、ゴミ処理量およびコークス使用量はやや変動することがあるものの、全体を通して概ね安定した運転を継続することができた。

RUN 3 の設備トラブルとしては、炭化物供給装置で作動不良が数回発生することがあったが、いずれも供給装置を運転継続しながら解消することが可能であった。この他には特に大きなトラブルは発生せず、結果として 92 日間の試験期間で炉を停止することは一度もなく、24 時間連続運転を継続することができた（平均ゴミ処理量 62 トン/日）。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、設備信頼性を確認することができたと言える。

また、設備の耐久性（寿命）の点においては、当初炭化物供給装置の耐久性について懸念があったが、92 日間連続運転の後に内部を詳細調査した結果、特に大きな損耗は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も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。

② 溶融性能

前項で示した通り（表 13～14）、溶融スラグは JIS の環境安全基準を満たしており、溶融性能については特に問題はなかった。

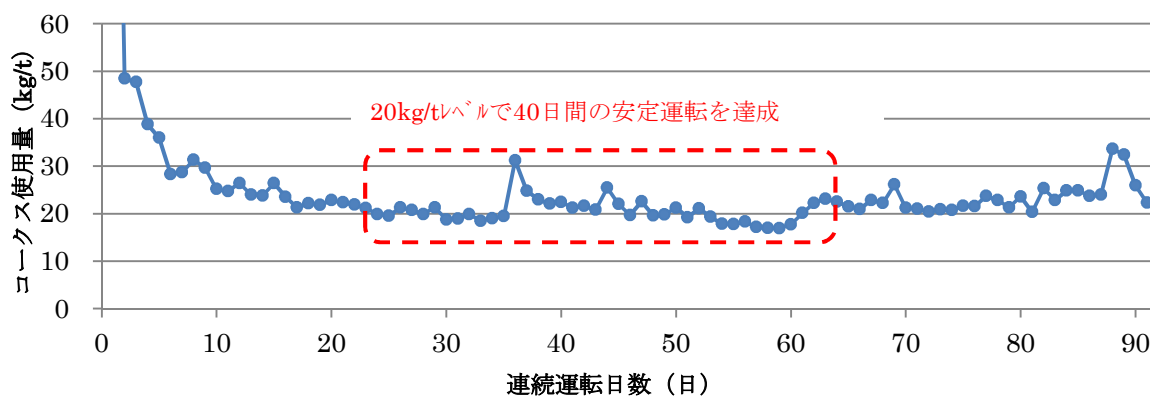
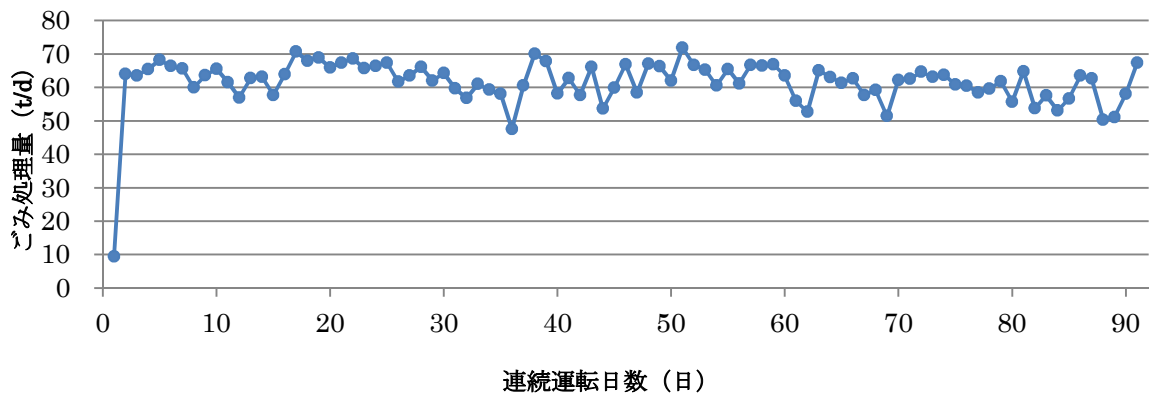


図 10 長期連続稼働試験 (RUN 3) 時のトレンドグラフ

③排ガス処理性能

長期連続稼働 (RUN 3) 中の煙突排ガス測定結果を表 15 に示す。一般ガス、ダイオキシン類ともに実施設の排ガス処理プロセスによって適正に処理することができており、特に問題はないと考えられる。

表 15 長期連続稼働 (RUN 3) 中の排ガス測定結果

		2012/10/31 (煙突)	2012/12/7 (煙突)	規制値 (自主)
ばいじん	(mg/Nm ³)	< 1	< 1	< 20
硫黄酸化物	(ppm)	< 1	< 1	< 20
塩化水素	(ppm)	1.1	< 0.7	< 40
窒素酸化物	(ppm)	15	< 3	< 100
一酸化炭素	(ppm)	4	< 3	< 50
ダイオキシン類	(ng-TEQ/Nm ³)	0.014	0.0085	< 1

3) バイオマスコークス適用性の評価

RUN 4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11)に全量置換する試験を実施した。表16に今回使用したバイオマスコークスの性状を示す。従来型シャフト炉に使用している高炉コークスに比べ、灰分が低く揮発分は若干高めだが、固定炭素、低位発熱量は概ね同程度であった。

表17に示すように、バイオマスコークス使用時もコークスと同様安定した処理を達成した。また、表18~20に示すようにスラグ品質および排ガス性状も特に問題ないことを確認し、バイオマスコークスの低炭素型シャフト炉への適用性を確認した。

本適用により、低炭素型シャフト炉により60kg/t-ごみ → 20kg/t-ごみまで低減した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に全量置換できることとなる。ごみ処理によって排出されるCO₂は、コークス使用量60kg/t-ごみ → 20kg/t-ごみにすることで195kg-CO₂/t-ごみ → 65kg-CO₂/t-ごみまで低減されるが、さらにバイオマスコークスに全量置換することで、65kg-CO₂/t-ごみ → 0kg-CO₂/t-ごみとすることが可能となる。これによりCO₂排出量としては、一般的な焼却炉(ストーカ炉等)と同等レベルまで削減できることとなる。

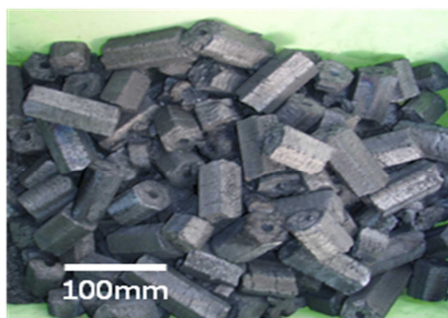


図11 バイオマスコークス

表16 バイオマスコークスと高炉コークスの性状比較

		バイオマス コークス	高炉 コークス
水分	%	5.7	-
灰分	%	2.7	9.9
揮発分	%	5.3	0.9
固定炭素	%	92.1	89.2
低位発熱量	KJ/kg	32,854	30,136

表 17 バイオマスコークス 100%置換試験時の運転データ

		バイオマスコークス 100%置換試験	
データ期間		2/3～2/8	
データ日数	(日)	6	
ごみ処理量	(t/日)	60	
コークス使用量	(kg/t)	21	
ごみ質	水分	(%)	50
	可燃分	(%)	36
	灰分	(%)	14
	低位発熱量	(kJ/kg)	7,160

※ごみ質は炉運転データからの計算値

表 18 バイオマスコークス適用試験時の溶融スラグ溶出試験結果 (JIS K0058-1)

サンプル採取日	2013/2/4	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	<0.001	≦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 19 バイオマスコークス適用試験時の溶融スラグ含有量分析結果 (JIS K0058-2)

サンプル採取日	2013/2/4	基準値	
カドミウム	mg/kg	<5	≦150
鉛	mg/kg	20	≦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	220	≦4000
ほう素	mg/kg	240	≦4000

表 20 バイオマスコークス適用試験時の排ガス測定結果

		2013/2/4 (煙突)	規制値 (自主)
ばいじん	mg/Nm ³	< 1	< 20
硫黄酸化物	ppm	< 1	< 20
塩化水素	ppm	0.8	< 40
窒素酸化物	ppm	6	< 100
一酸化炭素	ppm	< 3	< 50
DXNs	ng-TEQ/Nm ³	0.027	< 1

8. まとめ

本研究により、65ト/日規模低炭素型シャフト炉実証施設においてコークス使用量の大幅な削減（60kg/t-ごみ → 20kg/t-ごみ以下、ミニマム 15kg/t-ごみ）の達成と、90日間以上の長期連続安定稼働を確認することができた。また、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に全量置換する試験においても、コークスと同様に安定した処理を達成し、スラグ品質等も問題ないことを確認した。

以上の結果より、弊社所有の20ト/日規模の低炭素型シャフト炉パイロットプラントを活用した低炭素型シャフト炉基礎試験結果を基に、65ト/日規模にスケールアップした実機施設での実証試験結果においても同様にコークス使用量の削減効果を確認・検証することができた。

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、という特長を継承しつつ、コークス使用量の大幅な削減を達成でき、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ことが実証され、実用化の目処がついたと言える。

国内においては、新規に建設されるシャフト炉式ガス化溶融炉への適用が図れるだけでなく、従来型のシャフト炉を有する廃棄物処理施設での基幹的設備改良事業等で低炭素型シャフト炉へ改造することにより、温室効果ガス(CO₂)排出量およびLife Cycle Cost (LCC)の大幅削減を達成することが可能である。また、バイオマス材料が豊富でかつ比較的安価にバイオマスコークスを製造することができる海外（特にアジア圏）においては、多種多様な廃棄物を低CO₂で処理できる施設として普及促進を図ることが可能となり、廃棄物処理過程におけるCO₂削減に大いに貢献することが期待できる。

9. 研究発表、論文発表など

1)第 34 回「全国都市清掃研究・事例発表会」講演論文（2013 年）

低炭素型シャフト炉の開発

香川県東部清掃施設組合 谷口 剛

新日鉄住金エンジニアリング(株) ○高田 純一 長田 守弘 石田 吉浩 梶山 博久

1. はじめに

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。このことより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、地球温暖化の観点のみならず、LCC（Life Cycle Cost）の面からもコークス使用量削減が必要である。

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おり、羽口多段化および可燃性ダストは既報²⁾のように効果が確認され、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、ごみの持つエネルギーを最大限活用できるよう、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の更なる削減を図った。

本論文では、この改良型シャフト炉（以下、「低炭素型シャフト炉」という）のパイロットプラント（20t/d 規模）を用いたコークス使用量削減についての実証試験結果、および 65t/d 規模の実用施設（低炭素型）を用いた性能評価試験の途中経過について報告する。

2. 低炭素型シャフト炉の概要

図1に低炭素型シャフト炉の概要と従来型シャフト炉との比較を示す。従来型シャフト炉では上段送風が周辺流となって、中心部のごみが未乾燥のまま溶融帯であるシャフト下部に持ち込まれやすく、水分乾燥のためのコークスを削減することが難しかった。一方、低炭素型シャフト炉は従来型シャフト炉のシャフト部分を分割し、シャフト下全面から均一に送風できる構造となっているのが特長である。シャフト下全面より均一に送風してごみを部分燃焼させて発生した熱ガスと、上部に充填されたごみを効率良く熱交換させることで乾燥・熱分解を促進し、ごみを炭化物にしてシャフト下部へ送ることができ、未乾燥ごみのシャフト下部への侵入を防止することが可能となる。シャフト下部へは生成した炭化物中の灰分を溶融するために必要な最低限のコークスを投入すればよく、これによってコークス使用量の大幅な削減が達成できる。また、副資材であるコークスおよび石灰石は溶融帯の上部から直接投入することでより効率的に活用でき、溶融によって生成した

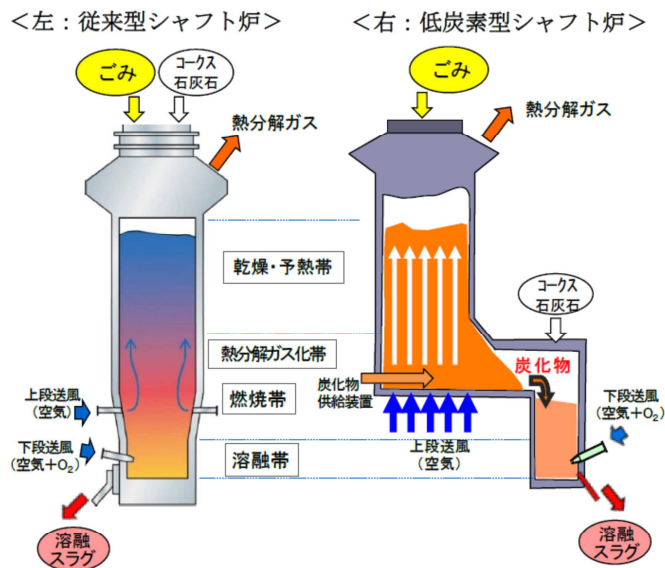


図1. 低炭素型シャフト炉の概要（従来型との比較）

スラグ・メタルは従来型シャフト炉と同様、炉下部の出湯口から定期的に排出する。発生した熱分解ガスは、従来型シャフト炉と同様に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させる。しかも、処理対象物は従来型シャフト炉同様、多種多様なごみに対応することが可能である。

3. 低炭素型シャフト炉パイロットプラントにおける実証試験

弊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. 都市ごみの性状

		平均ごみ質
水分	%	41
可燃分	%	48
灰分	%	11
低位発熱量	kJ/kg	9200

3-1. コークス使用量削減性能

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。

表 2. パイロットプラント実証試験でのコークス使用量

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

3-2. ダイオキシン類測定結果

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。

表 3. 溶融スラグの溶出試験 (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	<0.01	≦0.05
ひ素	mg/L	<0.005	≦0.01
総水銀	mg/L	<0.0005	≦0.0005
セレン	mg/L	<0.002	≦0.01
ふっ素	mg/L	<0.1	≦0.8
ほう素	mg/L	<0.02	≦1.0

3-3. スラグ品質

溶融スラグの JIS 溶出試験 (JIS K 0058-1) および JIS 含有量分析 (JIS K 0058-2) の結果を表 3~4 に示す。全ての項目において、JIS 基準を満足しており、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 4. 溶融スラグの含有量分析 (JIS K0058-2)

		含有量	基準値
カドミウム	mg/kg	<1	≦150
鉛	mg/kg	<20	≦150
六価クロム	mg/kg	<1	≦250
ひ素	mg/kg	<1	≦150
総水銀	mg/kg	<0.05	≦15
セレン	mg/kg	<1	≦150
ふっ素	mg/kg	<200	≦4000
ほう素	mg/kg	<250	≦4000

3-4. バイオマスコークス適用試験

30 日連続運転中に、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 2) に全量置換する試験を実施したが、表 5 に示すようにコークスと同様安定した処理を達成した。スラグ品質も問題ないことを確認し、バイオマスコークスの低炭素型シャフト炉への適用性を確認した。



図 2. バイオマスコークス

本適用により、低炭素型シャフト炉により 14kg/t まで低減したコークスをカーボンニュートラルなバイオコークスに全量置換できることとなり、ごみ処理によって排出される CO₂ をごみトン当たり約 44kg-CO₂ 削減することが可能となる (下式参照)。

$$\Rightarrow 14 [\text{kg/t}] \times 29.4/1000 [\text{GJ/kg}] \times 29.4 [\text{kg-C/GJ}] \times 44/12 [\text{kg-CO}_2/\text{kg-C}] = 44 [\text{kg-CO}_2/\text{t}]$$

表 5. バイオマスコークス試験時の運転データ

運転期間	hrs	12
ごみ処理量	t/d	21
バイオマスコークス使用量	kg/t	17
溶融物発生量	kg/t	130

4. 65t/d 規模の実用施設を用いた性能評価試験

さらに本格的な実用化展開を目指すために、65t/d 規模実用施設のシャフト炉式ガス化溶融炉を低炭素型シャフト炉に改造し、性能評価試験を実施した。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 6 に示す。20t/d 規模実証試験時のごみと比べて灰分が高いことから、目標コークス使用量を 20kg/t 以下と設定した。

表 6. 一般廃棄物の性状

		平均ごみ質
水分	%	39
可燃分	%	48
灰分	%	13
低位発熱量	kJ/kg	8100

4-1. コークス使用量削減性能

平成 24 年 3 月より熱負荷試運転を開始し、10 月末時点で延べ運転日数 128 日間、総ごみ処理量 7,420 トンの試験運転を実施した。表 7 に示す通り、コークス使用量 19kg/t レベルでの安定運転

を継続することができており、ほぼ狙い通りの性能を発揮できていると言える。11 月以降はごみ質に応じた運転条件最適化による更なるコークス使用量削減に取り組んでいる。

表 7. 実用施設性能評価試験でのコークス使用量

データ期間	日	7
ごみ処理量	t/d	66
コークス使用量	kg/t	19
溶融物発生量	kg/t	120

4-2. 安定稼働の評価

安定稼働については、実用施設において 90 日間以上の連続運転を行うことで評価することとしており、平成 24 年 9 月 11 日から安定稼働評価試験を開始し、11 月 15 日現在で 66 日間連続運転中である。

4-3. スラグ品質

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。全ての項目において JIS 基準を満足しており、スラグ品質の安全性が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)

	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	<0.01 ≦0.05
ヒ素	mg/L	<0.005 ≦0.01
総水銀	mg/L	<0.0005 ≦0.0005
セレン	mg/L	<0.002 ≦0.01
ふっ素	mg/L	<0.1 ≦0.8
ほう素	mg/L	0.03 ≦1.0

表 9. 溶融スラグの含有量分析 (JIS K0058-2)

	含有量	基準値
カドミウム	mg/kg	<1 ≦150
鉛	mg/kg	<20 ≦150
六価クロム	mg/kg	<1 ≦250
ヒ素	mg/kg	<1 ≦150
総水銀	mg/kg	<0.05 ≦15
セレン	mg/kg	<1 ≦150
ふっ素	mg/kg	<200 ≦4000
ほう素	mg/kg	<250 ≦4000

5. おわりに

低炭素型シャフト炉は、従来のシャフト型炉式ガス化溶融炉の特長である、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、という特長を継承しつつ、コークス使用量の大幅な削減を達成でき、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ことが実証され、実用化の目処がついたと言える。

本研究における実用施設を用いた性能評価試験は、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)

(2)第8回エコプロダクツ国際展／ECO-PRODUCTS INTERNATIONAL FAIR2013

環境省ジャパンパビリオンに出展し、本技術を海外に向けてアピールした。

- ・会期：2013年3月14日（木）～3月16日（土）
- ・会場：マリーナ・ベイ・サンズ（シンガポール）
- ・展示パネル



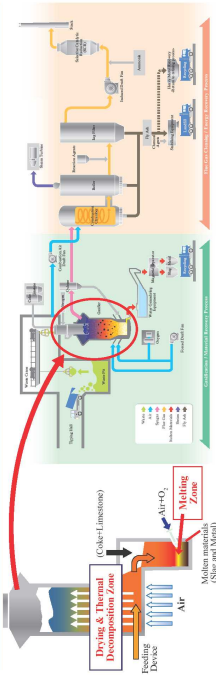
Creating a Better Society for Generations to Come

(Aiming for a Low-carbon society)

Advanced Shaft Furnace (High Efficiency Co-gasification System)

~An immense amount of CO₂ reduction in addition to the features of the Original Shaft Furnace~

- Features of the Original Shaft Furnace (Direct Melting System)
 - At high temperatures ranging between 1,700°C and 1,800°C, all types of waste is processed completely.
 - The produced molten materials (Slag and Metal) are safe, which contain very low levels of toxic heavy metals, similar to the amount found in natural sand.
- Features of the Advanced Shaft Furnace (High Efficiency Co-gasification System)
 - Along with the features of the DMS, it requires less consumption of coke, improving air distribution.



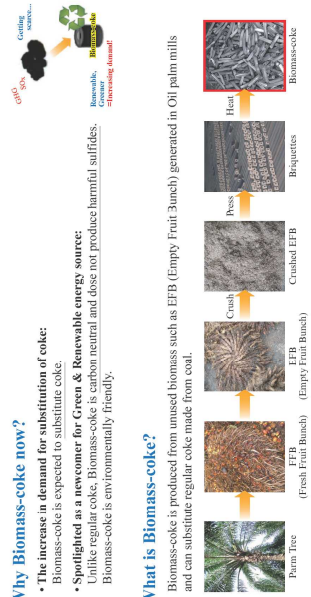
Basic Process Flow of the Original Shaft Furnace

* Last year, a commercial plant (65 t/d) which had been remodeled from the DMS into the Advanced Shaft Furnace achieved continuous running for over 30 days. Through the operation, we found the system immensely reduces the consumption of coke.
* The usage of Biomass-coke will allow the Advanced Shaft Furnace to operate without emitting CO₂ from fossil fuel.

Biomass-coke ~The CO₂ Free Energy~

- Why Biomass-coke now?
 - The increase in demand for substitution of coke: Biomass-coke is expected to substitute coke.
 - Spotlighted as a newcomer for Green & Renewable energy source: Unlike regular coke, Biomass-coke is carbon neutral and does not produce harmful sulfides. Biomass-coke is environmentally friendly.
- What is Biomass-coke?

Biomass-coke is produced from unused biomass such as EFB (Empty Fruit Bunch) generated in Oil palm mills and can substitute regular coke made from coal.


- The Biomass-Coke business

NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING CO., LTD. (NSENGI) has embarked the Biomass-coke business with local partners in Malaysia.
Last year, NSENGI established a subsidiary which constructs and operates the Biomass-coke production plant.

Overview of the Biomass-coke Production Plant

 - Place : Perak, Malaysia
 - Capacity of the production : 3,300 t/year
 - Schedule : -SEP. 2012 Construction of plant begins
-DEC. 2012 Operation of plant begins
-Future Expansion Plans : Plans of expanding production capacity to 10,000 t/year in the near future

NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING

10. 概要を示したポンチ絵

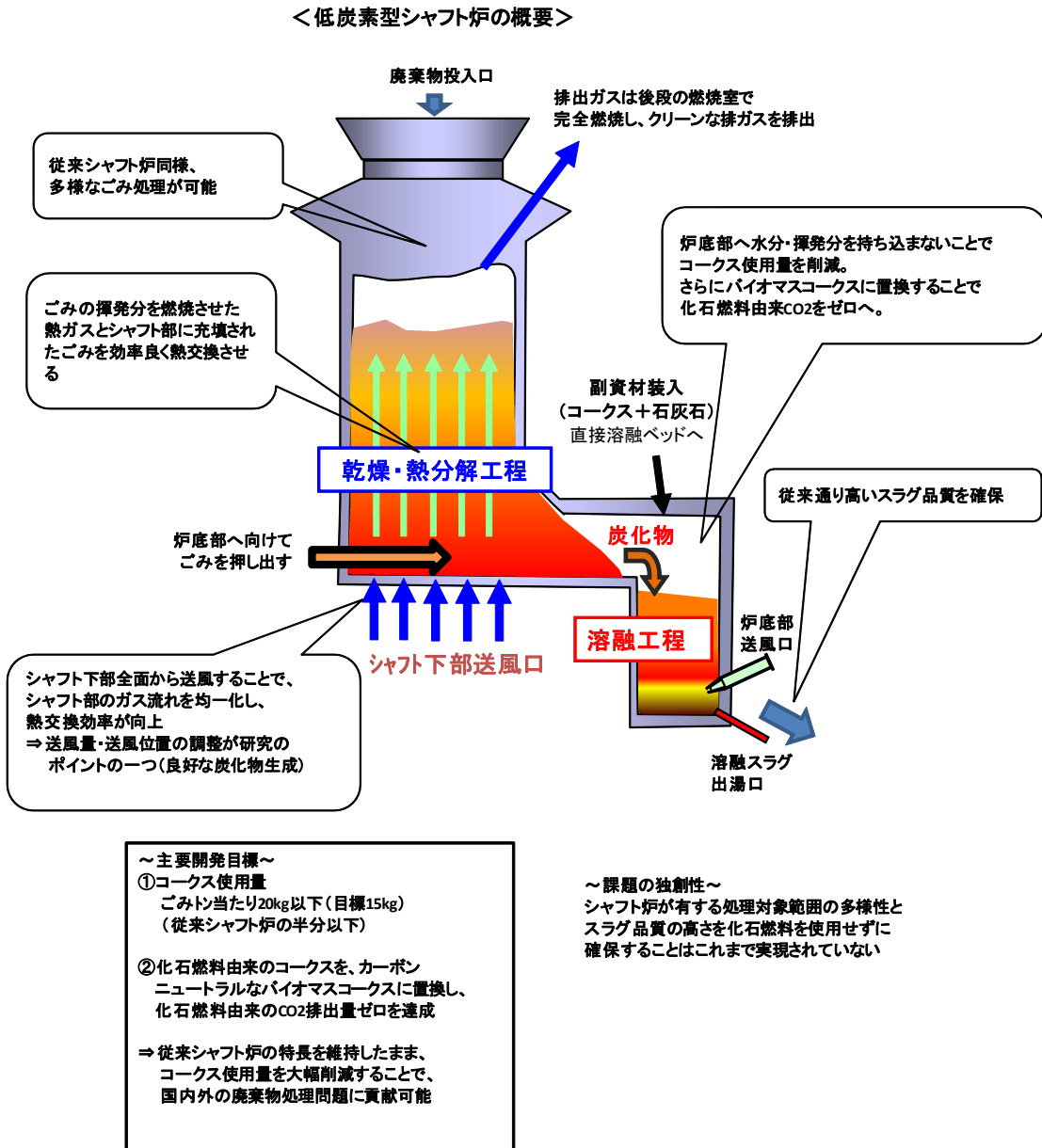


図 12 低炭素型シャフト炉の概要図

11. 英文概要

- ・ 研究課題名

Development of Advanced Shaft Furnace for Worldwide Waste Treatment

- ・ 代表研究者

Junichi Takada

- ・ 所属

Technical Development Section, Engineering&Development Dept.

Environmental Solution Division

Nippon Steel & Sumikin Engineering Co.,Ltd.

- ・ 要旨

Shaft-furnace type gasification and melting technology for the municipal solid waste can stably process various kinds of waste without any pretreatment and produce high-quality slag and metal.

In this project, “Advanced Shaft Furnace” has been developed. This new gasification technology has the same advantages as a conventional shaft-furnace and can reduce the coke amount significantly facilitating waste drying and carbonizing.

The objective of this project is reducing the coke amount less than one third of the conventional shaft-furnace type gasification system in the commercial plant scaled up from 20 t/d-waste to 65 t/d-waste.

As a consequence, the coke amount was reduced from 60 kg/t-waste to 15 kg/t-waste. It was operated stably and continuously for more than 90 days. Biomass coke, which was recognized as carbon neutral, was also applied to “Advance Shaft Furnace” to reduce carbon dioxide originated from fossil fuels. “Advanced Shaft Furnace” with biomass coke application can contribute to reducing carbon dioxide emissions and fossil fuel amounts significantly.

- ・ Keywords

Gasification, Municipal solid waste, Global warming, Energy recovery,

Material recovery

謝辞

本研究は、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。