

シャフト炉式ガス化溶融炉における バイオマスコークスの実機適用 ～CO₂フリー化の達成～

The application of biomass coke to commercial plants of
shaft furnace type gasification and melting furnace
～Achievement of CO₂ free process～

柏原 友 Tomo KASHIWABARA
環境ソリューション事業部
プロジェクト部

西本 薫 Kaoru NISHIMOTO
環境ソリューション事業部
プロジェクト部

田中 宏和* Hirokazu TANAKA
環境ソリューション事業部
事業企画室 シニアマネジャー

梶山 博久 Hirohisa KAJIYAMA
環境ソリューション事業部
計画技術部 技術室長

石田 吉浩 Yoshihiro ISHIDA
環境ソリューション事業部
計画技術部長

長田 守弘 Morihiko OSADA
環境ソリューション事業部
ゼネラルマネジャー

抄 録

近年、廃棄物処理分野においても、地球環境問題が大きく取り上げられ、当社では廃棄物処理過程のCO₂排出量抑制を目指し、カーボンニュートラルなバイオマスを原料とした溶融炉用バイオマスコークスの適用技術開発に取り組んできた。バイオマスコークスとして、製材工場廃棄物であるオガ屑に着目し、これを成型・乾留することによって製造したものを、溶融炉への長期適用を実施した。100%バイオマスコークスによる運転においても、通常時と同様に安定処理を継続することが出来た。

Abstract

In recent years, global warming is becoming a great concern even in the field of waste management. Against this backdrop, a biomass coke application for the gasification and melting system (Direct Melting System) has been researched in order to decrease carbon dioxide emissions in the waste management process. The biomass coke is recognized as carbon neutral and can contribute to a reduction of global warming effects. The biomass coke is made of saw dust, which is obtained from saw mills, and is produced through casting and carbonization.

In addition, the long-term operation of a gasification and melting furnace using the biomass coke was conducted. In the long-term application test, regular coke was completely substituted with biomass coke. Continuous and stable operation was achieved regarding long-term operation and the use of blast furnace coke.

1 緒言

近年、廃棄物処理分野においても、地球環境問題が大きく取り上げられてきたが、東日本大震災以降、災害廃棄物の迅速かつ適正な処理が喫緊の課題と位置づけられるようになってきた。こうした中、新日鉄エンジニアリング株のシャフト炉式ガス化溶融炉(以下、直接溶融炉(図1))は、災害廃棄物を含む多様なごみを適正に処理できる特性を有することから、その活用が期待されている。ただし、その特性を発揮するためには、これまでは化石燃料由来の коксを使用し高温雰囲気を確保することが必須であり、地球環境問題への関心が一時的に静まっているとはいうものの、CO₂排出量削減の社会ニーズとは相容れない面があった。

この問題を解決するために、ライフサイクルアセスメント手法等を用いた解析により、コークス使用による最終処分量削減や資源化率向上等のメリットとCO₂排出量増大のデメリットを相対的に比較評価することでコークス使用の意義を訴えてきた¹⁾。一方、より直接的に問題を解決するため、化石燃料由来のコークスの代わりにカーボンニュートラルなバイオマス由来のコークスを適用する技術開発に長年取り組んできた。そこで本稿では、当社構内にある20t/d規模の試験プラントでの実証を踏まえ、実機直接溶融炉での適用試験を実施し、その実用性を確認してきた経緯及びその成果について報告するものである。

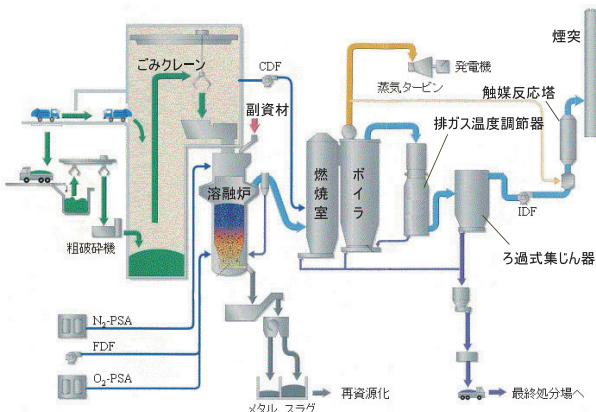


図1 直接溶融炉全体フロー図
Fig. 1 Process flow diagram of the Direct Melting System (DMS)

2 バイオマスコークスの性状

直接溶融炉用のバイオマスコークスとして、製材工場で廃棄物として排出されていたオガ屑に着目し、これを乾燥、成型、乾留することによって製造したものを用いた(図2)。バイオマスコークスの外観を高炉コークスと比較したものを写真1に示す。

また、今回使用したバイオマスコークスの分析値の例を高炉コークスと共に、表1に示す。直接溶融炉に従来使用してきた高炉コークスに比べ、バイオマスコークスは揮発分が若干高めであるが、固定炭素、低位発熱量は概ね同程度であった。

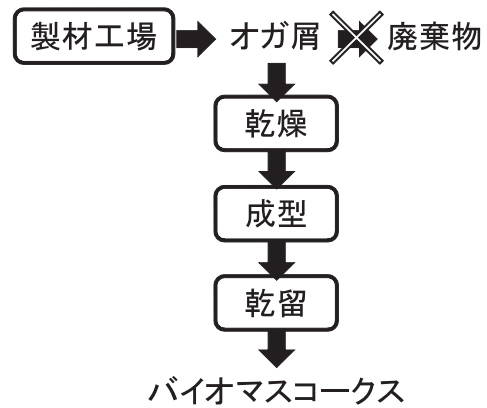


図2 バイオマスコークス製造フロー
Fig. 2 Flow diagram of biomass coke production

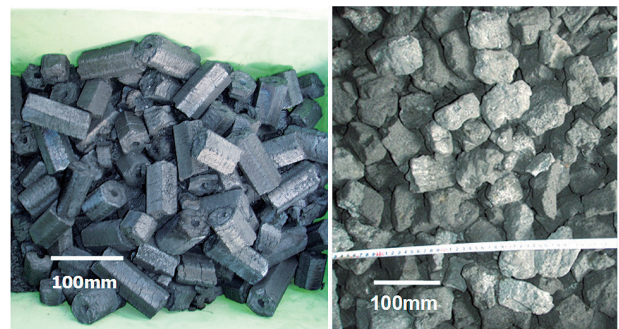


写真1 バイオマスコークス外観写真
(左: バイオマスコークス、右: 高炉コークス)
Photo. 1 Biomass coke and blast furnace coke

表1 バイオマスコークスと高炉コークスの性状比較
Table 1 Properties of biomass coke and blast furnace coke

	バイオマスコークス	高炉コークス
水分 (wt%)	4.6	—
揮発分 (dry wt%)	4.4	0.9
灰分 (dry wt%)	3.0	9.9
固定炭素 (dry wt%)	92.6	89.2
低位発熱量 (kJ/kg)	29,570	30,136

3 バイロットプラントにおけるバイオマスコークス適用試験

3.1 試験方法

バイオマスコークスの溶融炉適用確認を目的とし、当社所有のバイロットプラント(シャフト炉式ガス化溶融炉：20t/d)を用いて都市ごみ処理試験を実施した。使用するコークスの全量をバイオマスコークスに置換して運転を行い、その際のごみ処理性能および溶融物温度を評価した。

バイオマスコークスを使用した場合にも、高炉コークスを使用した場合と同様に、溶融炉下部において高温火格子を形成させるためには、高温下での強度が必要であると考えられた。そこで、バイオマスコークス製造時の成型密度を変化させた結果、成型密度を向上させることによって、高炉コークスに近い強度をもつバイオマスコークスを得ることができた(図3)。本試験ではこの高密度化前後のバイオマスコークスを使用した。

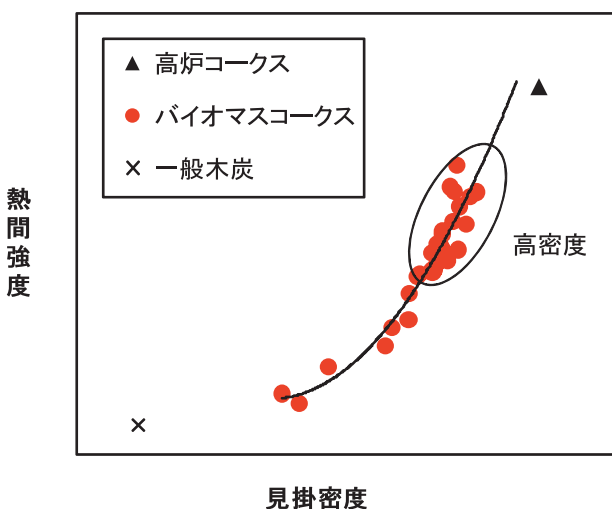


図3 見掛比重と熱間強度
Fig. 3 Relationship between the apparent specific gravity and the thermal strength

3.2 試験結果

試験結果を表2に示す。低密度および高密度バイオマスコークスのいずれの条件においても高炉コークス同様、ごみの安定処理が可能であった。溶融物温度は、低密度バイオマスコークスを使用した場合に(データ③)、高炉コークスの条件(データ①②)に比べ低い結果となったが、高密度化することによって高炉コークス使用時と同レベルの温度を達成することができた(データ④⑤、図4)。

この結果を受けて実機直接溶融炉への適用は、高密度バイオマスコークスを使用することとした。

表2 バイロットプラント試験結果
Table 2 Operating data of the pilot plant

データNo.	高炉コークス (ベース条件)		バイオマスコークス		
	①	②	低密度 ③	高密度 ④	⑤
ごみ処理量 (t/d)	20.1	20.0	22.5	19.5	20.1
コークス比 (kg/t)	49.9	39.9	50.0	55.4	50.0
スラグ温度 (相対値) (°C)	29	0	▲48	32	20

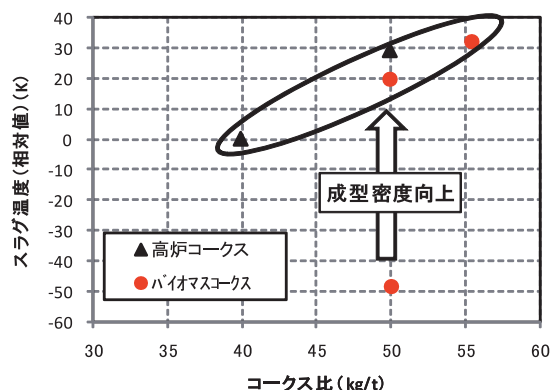


図4 コークス比とスラグ温度の関係
Fig. 4 Relationship between coke amount and the slag temperature

4 実機直接溶融炉におけるバイオマスコークスの適用

4.1 連続適用性確認

1) 実施方法

バイオマスコークス適用は実機直接溶融炉(A 溶融炉)にて実施した。A 溶融炉の設備概要を表3に示す。通常は高炉コークス用に使用しているコークス専用ホッパにバイオマスコークスを投入し、100%バイオマスコークスに置換して以下の(1)、(2)の条件にて運転を行った。

- (1) バイオマスコークス使用量の低減確認
- (2) 最終処分場掘起しごみ(写真2)処理条件下における長期運転確認

表3 A 溶融炉の設備概要
Table3 Overview of Plant A

処理能力	100t/d (50t/d×2炉)
炉形式	シャフト炉式ガス化溶融炉
処理対象ごみ	都市ごみ
	掘起しごみ



写真2 掘起しごみ外観
Photo. 2 Dug-up waste from a landfill

2) 実施結果²⁾

適用期間中の運転データ表4に示す。

- (1) 使用量の低減確認…100%バイオマスコークスのみによってコークス比を32kg/t(実績値)まで低減した条件(データ[4])においても、ごみの安定処理が可能であることを確認した。
- (2) 長期適用確認…100%バイオマスコークス適

用を開始後、3ヶ月の連続安定処理を確認することができた(データ[5]~[7])。期間中、掘起しごみ処理比率を最終的に25%程度まで増加させており安定処理が可能であることが確認できた。

また、バイオマスコークス適用期間中に溶融炉送風ノズルから炉底部を観察したところ、写真3に示すように、高炉コークスと同様にバイオマスコークスが赤熱している状況が確認された。熱電対によって測定した溶融物温度は、(1)コークス比低減条件や(2)掘起しごみ処理条件のいずれの条件においても、高炉コークス使用時の20~50℃の低下であり、バイオマスコークス使用時も炉底部の高温が保たれていることを確認した。さらに、高炉コークス使用時およびバイオマスコークス使用時にサンプリングしたスラグのJIS溶出試験(JIS K 0058-1.5)、含有量試験(JIS K 0058-2)の結果を表5に示す。(1)コークス比を31kg/tまで低減した条件(データd)や(2)掘起しごみ処理条件(データe)f)においても全項目とも基準値を満足しており、スラグの安全性に問題がないことを確認できた。

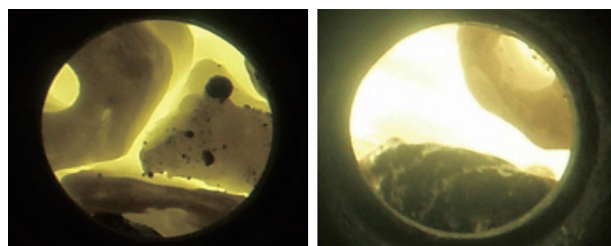


写真3 実施期間中の送風ノズル観察
Photo. 3 Views from a tuyere during the long-term application test

表4 バイオマスコークス適用実施期間中の運転データ
Table4 Operating data from the long-term application test

データ期間 データNo.	コークス	バイオマスコークス					
		(1) 2009年/コークス比低減				(2) 2010年/長期適用確認	
		2010/8 [1]	4/2-3 [2]	4/4-7 [3]	4/8-9 [4]	2010/9 [5]	2010/10 [6]
一般ごみ処理量 (t)	56.8	59.7	62.6	57.5	58.3	60.9	60.8
うち掘起しごみ処理 (%)	0	0	0	0	3.0	18.1	25.3
コークス比 (kg/t)	53	49	37	32	50	52	57
溶融物温度低下(※) (°C)	—	▲6	▲49	▲23	▲40	▲32	▲26
逆算ごみカロリー (kJ/kg)	7,067	9,529	9,357	10,308	7,171	6,458	6,231

※コークス使用時を基準とした相対値

表5 実施期間中のスラグ JIS 溶出試験・含有量試験

Table 5 Results of the leaching and acid-extraction test in compliance with the Japan Industrial Standard (JIS) during the long-term application test

データNo.	単位	高炉コークス		バイオマスコークス				基準値	
		2010/6 a)	2010/8 b)	(1) 2009年/コークス比低減		(2) 2010年/長期適用			
				2009/4/3 c)	2009/4/9 d)	2010/9 e)	2011/10 f)		
コークス比	kg/t	54	53	49	31	50	51		
溶出試験*	Cd	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
	Pb	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01
	Cr ⁶⁺	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05
	As	mg/l	<0.001	<0.001	<0.005	<0.005	<0.001	<0.001	<0.01
	Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Se	mg/l	<0.001	<0.001	<0.002	<0.002	<0.001	<0.001	<0.01
	F	mg/l	<0.08	<0.08	<0.1	<0.1	<0.08	<0.08	<0.8
	B	mg/l	<0.1	<0.1	<0.02	0.04	<0.1	<0.1	<1.0
含有量試験**	Cd	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<150
	Pb	mg/kg	14	8	10	15	33	38	<150
	Cr ⁶⁺	mg/kg	<5	<5	<1	<1	<5	<5	<250
	As	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<150
	Hg	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<15
	Se	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<150
	F	mg/kg	200	390	100	130	110	150	<4000
	B	mg/kg	150	190	290	340	190	140	<4000

* JIS K 0058-1.5 ** JIS K 0058-2

4.2 大型炉への適用性確認

50t/d・炉での実機適用結果を受けて、大型溶融炉(B 溶融炉、200t/d・炉レベル)への適用を実施した。4.1と同様の方法で、高炉コークスを100%バイオマスコークスに置換した結果、ごみの安定処理が可能であり、スラグの安全性についても問題が無いことを確認出来た。本適用により、バイオマスコークスの大型直接溶融炉への適用性が確認できた。

5 CO₂削減効果

直接溶融炉に從來使用されてきた高炉コークスをバイオマスコークスに全量切り替えて運転を行った場合のエネルギー起因のCO₂削減効果について、200t/d 規模の施設を前提に試算を行った(図5)³⁾。

高炉コークスのみを使用するケースでは約1,400 t-CO₂/年と若干プラスの排出量となっていたが、高炉コークスを20%バイオマスコークスに置換したケースでは排出量はマイナスに転じ、100%全量を

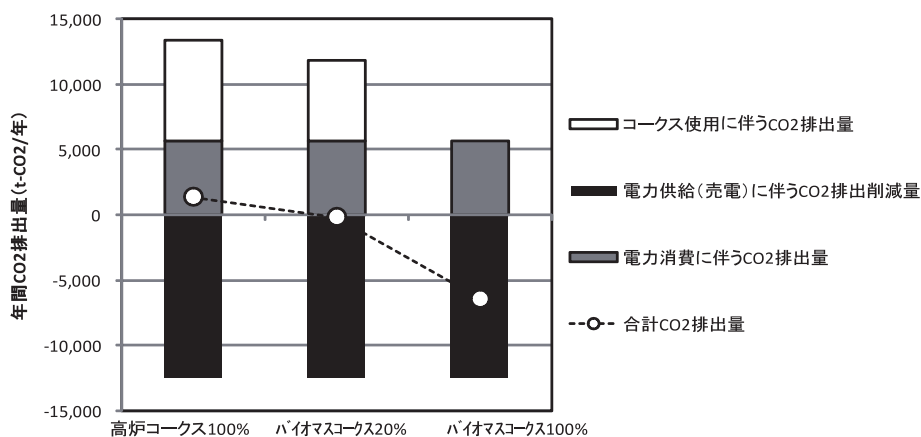


図5 高炉コークスのバイオマスコークスへの切替によるCO₂削減効果
Fig. 5 Effects of the biomass coke on the reduction of emissions

バイオマスコークスに置換したケースでCO₂排出量は約-6,400t-CO₂/年となることが分かった。

また、本適用におけるごみ1トンあたりのCO₂排出削減量は下式より168kg-CO₂と計算された。

$$53[\text{kg}/\text{t-waste}] \times 29.4/1000[\text{GJ}/\text{kg}] \times 29.4[\text{kg-C}/\text{GJ}] \times 44/12[\text{kg-CO}_2/\text{kg-C}] = 168[\text{kg-CO}_2/\text{t-waste}]$$

6 バイオマスコークス製造事業

バイオマスコークスの直接溶融炉への適用性が確認できたことから、マレーシアでバイオマスコークス製造事業に乗り出すことを決定した。100%出資による現地子会社Nippon Steel Engineering Biomasscoke Malaysia Sdn. Bhd. を設立、パーム油の搾油工程で発生する残さの中でも未利用資源であるEFB(Empty Fruit Bunch)(写真4)を原料したバイオマスコークス製造工場を建設し、2013年の春にも完工・稼動する予定である。事業規模は、当初年間約3,000tの生産を予定、操業開始後は現地での生産技術の確立を経て、将来的には年産10,000t以上の生産を目指す。



写真4 EFB外観
Photo. 4 EFB(Empty Fruit Bunch)

7 結言

直接溶融炉へのバイオマスコークス適用の結果から以下の知見が得られた。

- (1) バイオマスコークスを溶融炉に適用した結果、コークス比を約30kg/tまで低減した条件

においても高炉コークス使用時と同様に安定稼働させることができ、スラグの品質にも問題がないことが確認できた。

- (2) バイオマスコークスを掘起しごみ処理に適用した場合にも施設の安定稼働及びスラグ品質に問題がないことが確認できた。
- (3) 3ヶ月のバイオマスコークス連続適用による施設の安定稼働が確認できた。
- (4) 大型溶融炉においてもバイオマスコークスの適用性が確認できた。
- (5) 高炉コークスからバイオマスコークスへの切り替えによって、200t/dケースで年間6,400tのCO₂削減効果があり、ごみ1tあたりのCO₂削減効果は168kg-CO₂/t-wasteと試算された。
- (6) 直接溶融炉への適用性が確認できたことから、マレーシアでバイオマスコークス製造事業に乗り出すことを決定した。

なお、直接溶融炉における高炉コークスからバイオマスコークスへの切り替えによる温室効果ガスの排出削減方法論は、経済産業省の国内クレジット制度において承認されており⁴⁾、本バイオマスコークス適用によって問題なく使用可能であることを確認できたことを受けて、バイオマスコークスの他所への展開を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 西猛他「シャフト炉におけるごみ処理PFI事業」、環境浄化技術, Vol. 10, No. 2, 2011. 3-4
- 2) 柏原友他「シャフト炉式ガス化溶融炉におけるバイオマスコークス長期適用」, 第32回全国都市清掃研究・事例発表会, 2010年, pp. 182-184
- 3) 「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver3. 1」環境省・経済産業省, 2010年, pp. II-25
- 4) 「溶融炉におけるコークスからバイオコークスへの切り替え」, 国内クレジット制度排出削減方法論(方法論番号012)』, 経済産業省ホームページ
<http://jcdm.jp/process/methodology.html>