

シャフト炉式ガス化溶融炉におけるバイオマス利用による CO₂削減技術の開発

～バイオマスチップ及び汚泥燃料化物の適用事例～

Reduction CO₂ emission of the Direct Melting System
by using biomass resources

～Application of biomass chip and sewage sludge fuel
in the Direct Melting System～

野田 康一 Koichi NODA 梶山 博久 Hirohisa KAJIYAMA 星沢 康介 Yasusuke HOSHIZAWA
大浦 智弘 Tomohiro OOURA 臼井 肇 Hajime USUI 石田 吉浩 Yoshihiro ISHIDA

抄 録

一般廃棄物のガス化溶融技術の一つであるシャフト炉式ガス化溶融炉は、多様なごみが処理可能で、最終処分量を大幅に削減できることを特長としている。近年、世界的な CO₂削減のニーズに応えるべく、様々なコークス使用量の削減技術を実用化してきたが、さらなる低減を目指し、カーボンニュートラルであるバイオマスを利用することで、コークスを代替する技術の開発に取り組んでいる。本稿では、バイオマスである、木質系建設廃棄物を原料とするバイオマスチップと、汚泥燃料化物を、実用施設に適用し、各々コークスの一部代替効果があり、CO₂を削減できることを確認したので、その成果について報告する。

Abstract

The direct melting system is a shaft-furnace type gasification and melting technology for municipal solid waste treatment. This system can treat many kinds of waste and it can also minimize the final landfill amount. Nowadays, we keep on developing technologies in order to reduce the CO₂ emission, which is a global need. We have developed a technology using biomass which is a carbon neutral fuel in substitution for coke. In this paper, the result of the application test using biomass chip made of construction refuse and sewage sludge fuel in two commercial plants is reported. Both biomasses could substitute for coke which leads to reduce the CO₂ emission.

1 緒言

当社の一般廃棄物処理向けシャフト炉式ガス化溶融炉は、炉下部に高温のコークスベッドを形成することで高温安定溶融を実現している。その効果により、多様なごみが処理可能で、排出されるスラグが

高品質で再利用できることを特長としており、最終処分量を極少化できる処理方式として市場から評価されてきた。こうした特長を活かして、近年は災害廃棄物処理に取り組み、不燃物等の難処理物を含む災害ごみを適正処理し、大幅に減容化することで地域に貢献している。

一方で、温室効果ガスの発生抑制は、世界的な課題となっている。コークス使用により実現する高温溶融により、最終処分物の大幅な減容化を実現し、LCA 評価においては環境負荷の低い方式であることを示してきたが¹⁾、化石燃料由来であるコークスの使用量を必要最小限にすることで、社会的な要請に添えていく必要がある。

こうした背景から、当社ではこれまで、コークス削減技術に取り組んでおり、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、送風予熱等の技術を実現してきた²⁾³⁾。近年では、究極的にCO₂を削減すべく、カーボンフリーであるバイオマスを原料としたコークスの製造技術を開発した⁴⁾。しかしながら、国内にも様々なバイオマスが存在しており、炉の特性に応じた新たな活用方法を考えることができれば、CO₂削減技術の裾野を広げ、多様なニーズに応えることが可能である。

2 シャフト炉式ガス化溶融炉の特長

図1にシャフト炉式ガス化溶融炉を示す。ごみは溶融炉上部から投入されたのち、炉上部にて徐々に降下しながら、乾燥され、予熱される。可燃物は熱分解され、発生した熱分解ガスは溶融炉から後段の燃焼室へと排出される。不燃物や乾留残渣は炉下部

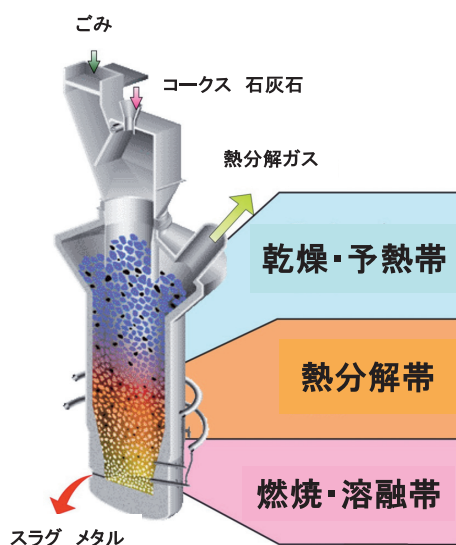


図1 シャフト炉式ガス化溶融炉反応プロセスイメージ
Fig.1 The schematic views of gasification and melting furnace

の燃焼・溶融帯へ降下し、羽口と呼ばれるノズルから吹き込まれる酸素富化空気でコークスが燃焼することによる高温によって完全に溶融する。溶融物は炉下部出湯口から排出され、急水冷されたのち、磁選によってスラグとメタルに選別される。

このスラグは、コンクリートブロックやインターロッキングブロック、アスファルトなどの骨材として、メタルは製鉄材料や建設機械のカウンターウェイトとして全量再資源化されている。

3 バイオマスと性状

3.1 コークスの機能

シャフト炉式ガス化溶融炉へ、副資材として投入しているコークスには以下の3つの役割がある。

- ①燃焼熱による高温域の形成
- ②強還元雰囲気形成
- ③通気性・通液性の確保

上記のうち、③については、コークスベッド層と呼ばれる炉下部の燃焼・溶融帯において、石炭コークスのように塊状を維持できる大きさと強度が必要である。当社で開発中のバイオマスコークスは、①、②に加え、③の機能も有するものである。一方、③は最小限の石炭コークスが担うことで、①②の機能を、未乾留のバイオマスで代替することが可能であれば、新たなCO₂削減技術となる。

バイオマス中の揮発分は炉内の熱分解帯においてガス化するため、バイオマスが燃焼・溶融帯に到達し、コークス代替機能を果たすためには、バイオマス中の固定炭素比率が高いものが望ましく、また、定常的な利用にあたっては、廃棄物処理施設のある地域から発生するものが、地域でのバイオマス利用推進、輸送コスト削減の観点から望ましい。

そこで、上記の条件を満たすバイオマス燃料として、バイオマスチップと、汚泥燃料化物をコークス代替バイオマス燃料の候補として考えた。

3.2 バイオマスチップとは

バイオマスチップとは、主として木質系バイオマスを破碎、磁選、篩選別することによって、原燃料用としてチップ化した製品である。

図2に外観写真を示すが、今回試験では、国内の

各地域で入手が比較的容易な木質系建設廃棄物を原料としたものを試験に供した。

形状は、長辺が50～100mm程度の棒状・針状で、一般的に流通している木質チップと同等である。



図2 バイオマスチップ外観
Fig.2 Image of biomass chip

3.3 汚泥燃料化物とは

弊社では、バイオマス資源である下水汚泥を造粒・乾燥して、汚泥の有する発熱量をほとんど損なうことなく固形燃料化する、ジェイコンビシステムの技術を保有している。汚泥燃料化物は、含水率が10%以下であるため、自己発熱性が低く、貯蔵が容易である。また、水に濡れても元の汚泥には戻らず安定的である。そのため、石炭代替燃料等として有効利用することで、下水汚泥の資源化を促進すると共に、温室効果ガスの削減による地球温暖化防止に貢献することが可能である。

図3に外観を示すが、形状は直径1～5mm程度の球状であり、硬く、型崩れしないため、粉じんも少ないといった特徴がある。



図3 汚泥燃料化物外観
Fig.3 Image of sewage sludge fuel

3.4 試料性状

今回試験に供したバイオマスチップと汚泥燃料化物とコークスの工業分析値、低位発熱量を表1に示す。

表1 性状比較
Table1 Characteristics of biomass chip and sewage sludge fuel

項目	単位	バイオマスチップ	汚泥燃料化物	高炉コークス
水分	%	23.4	3.6	—
灰分	%-dry	2.8	14.8	9.9
揮発分	%-dry	79.1	72.0	0.9
固定炭素	%-dry	18.1	13.4	89.2
低位発熱量	MJ/kg	13.1	16.9	30.1

バイオマスチップ、汚泥燃料化物は水分がそれぞれ、23.4%、3.6%と可燃ごみに比べて低く、低位発熱量は通常8～9MJ/kgの可燃ごみと比較して高い。一方、コークスと比較すると揮発分が多いが、固定炭素はそれぞれ、乾燥重量で18.1%、13.4%程度あり、炉下部への固定炭素の供給も可能と考えられる。

3.5 熱重量測定・乾留試験

図4、5にバイオマスチップと汚泥燃料化物のN₂雰囲気下での熱重量測定の結果について示す。

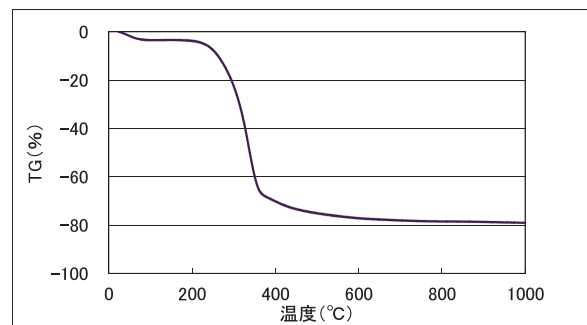


図4 バイオマスチップ熱重量測定結果
Fig.4 TG curve of biomass chip

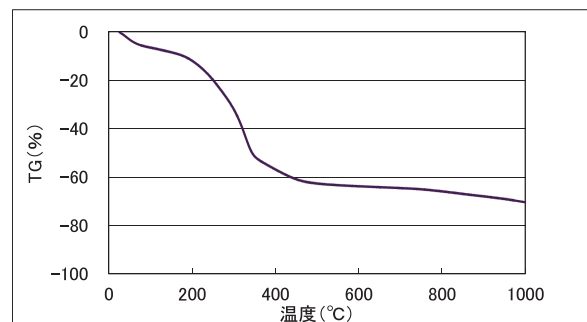


図5 汚泥燃料化物熱重量測定結果
Fig.5 TG curve of sewage sludge fuel

バイオマスチップ、汚泥燃料化物はともに100℃程度で水分蒸発と考えられる重量減少があったのち、300℃付近で急激な重量減少が始まる。バイオマスチップと汚泥燃料化物は500℃付近では重量の減少がほぼ完了し、以降は汚泥燃料化物で5%程度、なだらかに減少するものの、どちらも1000℃まで昇温後の重量は固定炭素と灰分の合計値とほぼ一致しており、揮発分がほぼ全量ガス化したと考えられる。

次に、炉内でのバイオマス燃料の熱履歴を想定した乾留試験を行った。乾留方法は、マッフル炉においてN₂雰囲気下で常温から450℃/hで昇温し、900℃まで昇温後、急冷したものである。乾留後のサンプルの分析結果を表2に示す。

熱重量測定の結果から予想されたように、乾留後の試料はバイオマスチップ、汚泥燃料化物のどちらも、水分と、揮発分が大幅に減少し、固定炭素が主体の残さとなっている。

表2 乾留後のバイオマス燃料の性状
Table 2 Characteristics of biomass resources after distillation

項目	単位	バイオマスチップ	汚泥燃料化物
水分	%	0.1	1.0
灰分	%	7.3	60.9
揮発分	%-dry	2.7	4.1
固定炭素	%-dry	90.1	35.0
低位発熱量	MJ/kg	31.1	12.4

乾留試験後の試料の写真を図6、7に示す。いずれの試料も、粉化はせず、形状を維持したまま炭化している。このことから、炉内へ投入されたバイオマスチップ、汚泥燃料化物は乾留後もある程度の形



図6 乾留後バイオマスチップ外観
Fig. 6 Image of biomass chip after distillation

状を保ったまま炉下部へ降下していると考えられる。その場合、炉内のガス流速は乾留後のバイオマスチップ、汚泥燃料化物の終末速度よりも十分に小さいため、後流系へ飛散することなく、固定炭素主体の残さとして炉下部へ降下し、羽口先で燃焼することで、燃焼・熔融帯の熱源及び還元材の機能を発揮し、コークスを一部代替することが期待できると考えられる。

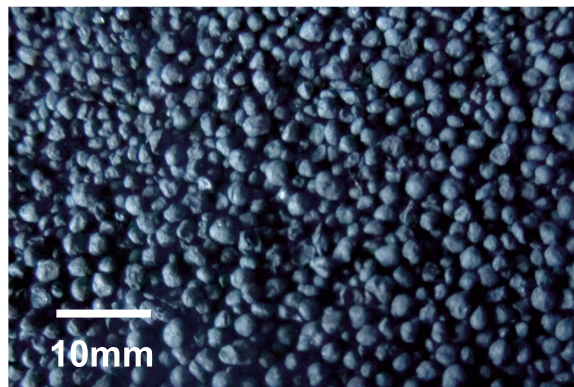


図7 乾留後汚泥燃料化物外観
Fig. 7 Image of sewage sludge fuel after distillation

4 実用施設における適用試験

4-1 試験方法

バイオマスの乾留試験の結果を踏まえ、バイオマスチップと汚泥燃料化物のコークス代替効果の確認試験を実用施設にて行った。A施設ではバイオマスチップを、B施設では汚泥燃料化物を適用した。各施設の設備概要を表3に示す。また、図8にシャフト炉式ガス化熔融炉の一般的なプロセスフローと、それぞれのバイオマス燃料の投入方法を示す。汚泥燃料化物は、専用ホッパに貯留後、可燃ごみに対して一定比率になるように切出した。A施設においては適用試験時にバイオマスチップの投入専用ホッパとして利用できる設備がなかったため、ごみピット内の専用エリアに貯留後、可燃ごみとの比率が極力一定になるよう、ごみクレーンにて投入量を管理しながら、ごみと混合した状態で投入した。

表3 実用施設概要
Table 3 The outline of commercial plants

施設	A施設	B施設
バイオマス種類	バイオマスチップ	汚泥燃料化物
処理能力	147t/日(73.5t/日×2炉)	200t/日(100t/日×2炉)
炉形式	シャフト炉式ガス化熔融炉	シャフト炉式ガス化熔融炉
処理対象ごみ	可燃ごみ	可燃ごみ

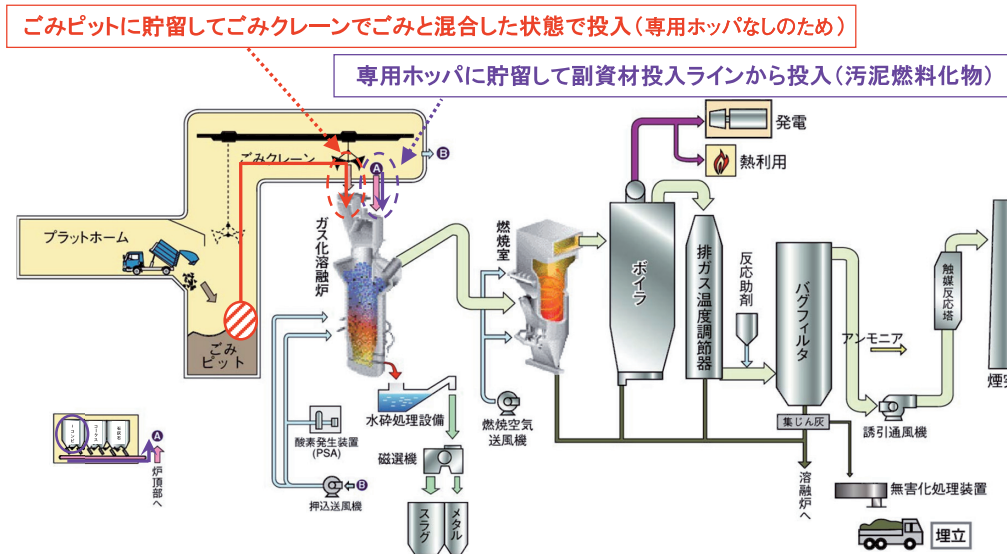


図8 シャフト炉式ガス化溶融炉の全体フロー
Fig.8 The process flow diagram of Direct Melting System

4-2 試験結果

表4、5にバイオマスチップと汚泥燃料化物の適用試験結果を示す。

表中のベースデータとは、バイオマス適用に先立ち、バイオマスを含まない状態の運転結果を示している。コークス代替効果は、ベースデータ期間と比較して溶融物温度の低下がないこと、即ち燃焼・溶融帯における熱レベルの低下がないことを目標としたが、温度が変化した場合、経験式による補正を加えて、コークス削減量とした。

表4に示すバイオマスチップ適用試験では、バイオマスチップ投入比は37kg/t～133kg/tの間で5条

件行い、コークス削減量を比較した。溶融物温度はベースデータに対して変動しているが、コークス燃焼速度とスラグ温度は一定の相関があることが実績データから分かっており、それを考慮したコークス削減量はそれぞれ4kg/t～21kg/tとなる。

表5に示す汚泥燃料化物適用試験では、汚泥燃料化物47kg/t、57kg/tの投入に対してスラグ温度を考慮したコークス削減量は各々7kg/t、9kg/tとなった。

バイオマスチップ、汚泥燃料化物は炉下部で固定炭素主体の残さがコークスの代替をしていると考えられるため、図9において、削減した固定炭素量

表4 バイオマスチップ適用試験結果
Table 4 The result of the application test using biomass chip

	ベースデータ	バイオマスチップ投入					
		0	37	48	73	109	133
試験期間	h	120	48	96	288	120	72
バイオマスチップ投入比	kg/t	0	37	48	73	109	133
コークス削減量	kg/t	0	4	8	12	21	21
溶融物平均温度(ベースとの差)	°C	ベース	-3	-10	+9	-2	+27
溶融物温度幅(ベースとの差)	°C	ベース	-6~0	-25~+4	-21~+37	-30~+21	+22~+33

表5 汚泥燃料化物適用試験結果
Table 5 Result of the application test using sewage sludge fuel

	ベースデータ	汚泥燃料化物投入	
		47	57
試験期間	h	96	144
汚泥燃料化物投入比	kg/t	0	57
コークス削減量	kg/t	0	9
溶融物平均温度(ベースとの差)	°C	ベース	-14
溶融物温度幅(ベースとの差)	°C	ベース	-22~+1

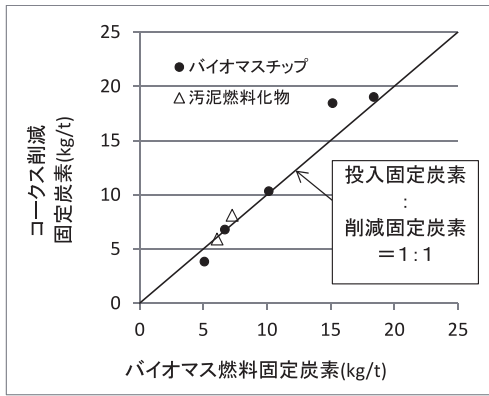


図9 バイオマス燃料の кокс削減効果
Fig.9 The effects of the coke reduction by biomass fuels

を、コークス削減量から算出し、投入したバイオマス燃料由来の固定炭素量と比較した。

投入固定炭素量と削減固定炭素量は、ほぼ1：1程度の結果となっており、バイオマスチップ、汚泥燃料化物の適用試験において、コークス削減量は投入した固定炭素であることが確認できた。

次にバイオマス適用試験中のスラグの重金属類溶出・含有試験の結果を表6に示す。

バイオマスチップ投入時も汚泥燃料化物投入時も、溶出、含有試験共に、試験前のコークスのみで投入していたベースデータとほぼ同程度の数値で、全ての項目で基準値以下となっており、スラグに関

しても問題ないことが確認できた。還元雰囲気下では、鉛等の重金属類は揮発し、スラグの重金属類含有量が低くなるのが分かっているが、バイオマス適用時も同様にスラグに含まれる重金属類濃度が低いことから、コークスの還元機能についても損なうことなく代替できたと考える。

5 バイオマス燃料適用によるCO₂削減効果についての試算

今回の試験結果を元にして、B施設に汚泥燃料化物を年間を通して投入した場合のCO₂削減量の試算を行った⁵⁾。

汚泥燃料化物の投入比率はB施設での試験時と同じ4.7%、5.7%の2通り、それぞれコークス比削減量が7 kg/t、9 kg/tで年間300日操業したと仮定した場合の試算結果を図10に示す。

CO₂排出量について、まず、コークス使用量の低減によって削減分がある。また、今回試験では、コークス使用量減による入熱の減少に対し、バイオマス投入による入熱の増加が上回っており、発電量、売電量が増加することになる。

その結果、コークス低減と売電増加によるCO₂削減効果を合わせると、年間のCO₂削減量は汚泥燃料

表6 バイオマス燃料適用試験中のスラグ重金属類溶出・含有試験
Table 6 The result of leaching and content test in slag based on JIS

	バイオマスチップ投入試験		汚泥燃料化物投入試験		基準値		
	ベースデータ	バイオマスチップ投入	ベースデータ	汚泥燃料化物投入			
コークス削減量	kg/t	-	21.0	-	7.7		
バイオマス燃料投入比	kg/t	-	109.0	-	47.4		
溶出試験※	Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
	Pb	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01
	Cr ⁶⁺	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05
	As	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
	Hg	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Se	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.01
	F	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.8
	B	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1.0
溶出試験※	Cd	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<150
	Pb	mg/kg	12	54	5	13	<150
	Cr ⁶⁺	mg/kg	<5	<5	<5	<5	<250
	As	mg/kg	<5	<5	<1	<1	<150
	Hg	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<15
	Se	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<150
	F	mg/kg	190	160	250	300	<4000
	B	mg/kg	320	190	170	200	<4000

※JIS K 0058-1 ※※JIS K 0058-2

化物4.7%投入時で約2300t-CO₂/年。5.7%投入時で約3000t-CO₂/年と想定される。

(2012)
5) 環境省, 経済産業省: 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver3. 1, p. II - 25 (2010)

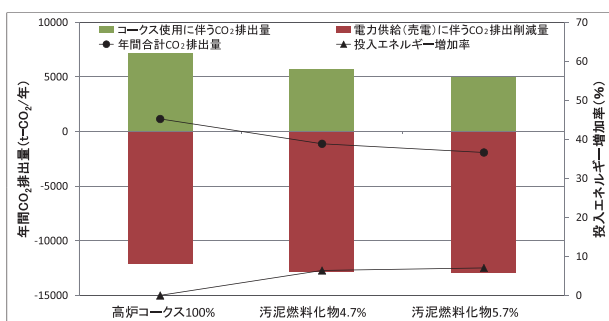


図10 A施設へバイオマスチップを1年間投入した場合のCO₂削減量

Fig.10 The estimate of reduced CO₂ emission in case of using biomass chip to B plant

6 結言

シャフト炉式ガス化溶融炉における化石燃料起因のCO₂削減を目的として、カーボンフリーであるバイオマスを利用したコークス使用量削減技術の開発を実施した。バイオマスとして、建設廃棄物由来のバイオマスチップと、汚泥燃料化物を実用施設に適用し、双方ともコークス代替効果があることを確認できた。

今後も、さらなる温室効果ガス削減、廃棄物処理コストの縮減を目指してバイオマス利用に取り組むとともに、地域から発生する未利用バイオマスの有効活用も検討したい。

最後に、試験実施にご承諾頂き、ご協力を賜りました実用施設の自治体他関係者様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 野田康一, 高宮健, 星沢康介, 石田吉浩: シャフト炉式ガス化溶融炉におけるバイオマスチップ利用によるコークス低減への取り組み: 第25回廃棄物資源循環学会研究発表会(2014)
- 2) 長田守弘, 星沢康介, 高田純一, 吉本雄一, 柏原友, 西猛: シャフト炉式ガス化溶融炉の改善の経緯と今後の展望: 新日鉄エンジニアリング技報 vol. 1(2010)
- 3) 吉本雄一, 加藤也寸彦, 石田吉浩, 星沢康介, 竹内眞: シャフト炉式ガス化溶融炉における送風予熱技術の開発: 第33回全国都市清掃研究・事例発表会(2012)
- 4) 柏原友, 西本薫, 田中宏和, 梶山博久, 石田吉浩, 長田守弘: 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: 新日鉄エンジニアリング技報 vol. 3