

黒鉛焼成品を用いたキュポラ操業技術の確立

Establishment of Cupola Operation Technology Using Graphite Sintered Briquette

中本光二* 堤 親平* 山瀬真司** 新宮邦彦** 小寺敏明***

Kouji Nakamoto, Shinpei Tsutsumi, Shinji Yamase, Kunihiko Shinmiya, Toshiaki Kotera

キュポラの主燃料としては一般的に鑄物用コークスが知られている。鑄物用コークスに関しては、排出ガスなど環境規制の強化やコークス炉の老朽化に伴い、生産量の減少並びに価格高騰が問題視されている。そのため、鑄物用コークスに代わるキュポラ用燃料の導入が早急な課題となっている。

本実験では、鑄物用コークスに代わるキュポラ用燃料として黒鉛焼成品の使用可否を検討した。検討の結果、黒鉛焼成品はキュポラ用燃料に要求される熱源並びに吸炭源としての機能を十分に満足するため、鑄物用コークスの代替としての使用が可能であることが確認できた。また黒鉛焼成品に関しては、鑄物用コークスよりも優れた吸炭源機能を有するため、黒鉛焼成品を使用することにより、コークス比低減、CO₂排出量低減、更には一般的に吸炭能力が低くキュポラ用燃料としての使用が不向きであると考えられている高炉用コークスの併用も可能となることが確認できた。

Foundry coke is generally used as the main fuel for cupolas. But, a decrease of foundry coke production and rocketing prices are acknowledged as problems caused by stiffer environmental regulations on emissions and deteriorating coke ovens. Therefore, development of a cupola fuel to replace foundry coke is an immediate theme.

In this experiment, we examined whether graphite sintered briquette can replace foundry coke as the fuel for cupolas. As a result of examination, we confirmed that it could be used as a replacement for foundry coke as it functioned suitably as the heat source and carbon pickup source necessary for cupola fuel.

In addition, graphite sintered briquette has a carbon pickup source capability superior to foundry coke. Therefore, we can reduce the coke ratio and carbon dioxide discharge by using graphite sintered briquette. Moreover, we found that it can be used in combination with metallurgical coke that was not believed suitable for cupola fuel because of its low carbon attraction power.

1. はじめに

キュポラの主燃料としては一般的に鑄物用コークスが知られている。鑄物用コークスに関しては、排出ガスなど環境規制の強化やコークス炉の老朽化などに伴い、生産量の減少(供給不安)ならびに価格高騰が問題視されている。そのため、鑄物用コークスに代わるキュポラ用燃料の導入が早急な課題となっている。そこで本実験では、鑄物用コークスに代わるキュポラ用燃料として、黒鉛焼成品の使用可否を検討したので、その結果について報告する。

2. 黒鉛焼成品に関して

鑄物用コークスは、主としてキュポラによって鑄鉄を溶解することを目的に製造されるコークスであり、高炉で用いられる高炉用コークスとは本質的に区別されている。高炉用コークスには、鉄鉱石を還元するための還元剤、還元された鉄を溶解するための熱源という2大機能が要求されている。一方で鑄物用コークスは、基本的な

還元剤としての機能はほとんど不要であり、主に熱源(溶解)ならびに吸炭源(加炭)としての機能が要求される。よって固定炭素が高く、灰分が低いということは必須の条件であり、それに加えて投入地金による衝撃や荷重に耐え得る高い強度、キュポラ炉径に応じた適切な粒度、低い反応性なども重要な条件として要求される。そのため、鑄物用コークスに代わるキュポラ用燃料としては、最低限それらの条件を満足することが求められる。

本実験において、キュポラ用燃料として使用可否を検討した黒鉛焼成品は、黒鉛とタールを混練し、プレス成型、焼成により製造されたものである。表1に黒鉛焼成品ならびに当社堺工場で使用している鑄物用コークスの化学成分を示す。

表1から、黒鉛焼成品に関しては鑄物用コークスよりも固定炭素が高く、灰分が低くなっていることがわかる。強度ならびに反応性に関しては、JIS K 2151(コークス類-試験方法)に準じた方法により確認を行った。結果を表2に示す。

鑄物用コークスに要求される強度としては、一般的には落下強度が用いられる。鑄物用コークスの強度は少なくとも、落下強度指数で85%以上は必要とされているが、表2からは、黒鉛焼成品がその値を十分に満足していることがわかる。

* パイプシステム事業本部 鉄管事業部 鉄管技術部
** パイプシステム事業本部 鉄管事業部 堺工場製造部
*** パイプシステム事業本部 鉄管事業部 品質保証部

表1 化学成分(黒鉛焼成品、鋳物用コークス)

	化学成分 (%)			
	固定炭素	灰分	揮発分	全硫黄
黒鉛焼成品	98.00 ≤	1.00 ≥	1.50 ≥	0.80 ≥
鋳物用コークス	90.00 ≤	8.00 ≥	1.50 ≥	0.80 ≥

表2 強度、反応性(黒鉛焼成品、鋳物用コークス)

	落下強度指数 (%)	反応性指数
黒鉛焼成品	99.1	22.8
鋳物用コークス	96.9	19.4

表3 化学成分(高炉用コークス)

	化学成分 (%)			
	固定炭素	灰分	揮発分	全硫黄
高炉用コークス	85.00 ≤	13.00 ≥	1.50 ≥	0.80 ≥

鋳物用コークスの反応性は、950℃における粉末による反応性で、化学的な性状を指標とした反応性指数によって表される。一般的な鋳物用コークスの反応性指数は17～23程度とされており、黒鉛焼成品に関してもその範囲内の値を示していることがわかる。

以上、黒鉛焼成品に関しては、鋳物用コークスと同等もしくはそれ以上の性能が得られているため、性状面ではキュボラ用燃料に要求される諸条件を満足していると考えられる。

3. 実験方法

3.1 当社堺工場のキュボラ諸元

本実験において、黒鉛焼成品の使用可否検討を実施した。当社堺工場のキュボラ諸元は以下の通りである。

- (1) 形式 水冷式熱風ノーライニングキュボラ
- (2) 出銑能力 30 t/h (最大36 t/h)
- (3) 熱風温度 550℃
- (4) コークス比 9.0～13.0%(鋳物用コークス使用)
- (5) 羽口数 6個(銅鋳物、水冷式)
- (6) 生産品目 ダクタイル鋳鉄管

3.2 黒鉛焼成品の使用可否検討

黒鉛焼成品の使用可否検討として、黒鉛焼成品の熱源ならびに吸炭源機能の確認を行うことにした。ここでは、従来使用している鋳物用コークスの約2割分だけを黒鉛焼成品に置換した状態でキュボラ操作を実施し、従来の鋳物用コークスのみを用いた操業時との比較を行う

ことにした。熱源機能は、キュボラから出銑された溶湯の温度(以下、出銑温度と称する)を比較することにした。吸炭源機能は、同一のコークス比で操業を実施した際のキュボラから出銑された溶湯のC%(以下、出銑C%と称する)を測定し、その結果から鋳物用コークス、黒鉛焼成品の吸炭量を算出することにより比較することにした。なお投入地金としては銅屑、銑鉄、戻り材を用いているが、上記比較時は投入地金配合率を全て同一とした。

3.3 黒鉛焼成品使用比率の検討

黒鉛焼成品の使用比率の検討として、鋳物用コークスとの置換割合を2割、4割、6割と変化させ同一出銑C%を得るために必要なコークス比の比較を行うことにした。ここでは、必要コークス比以外にCO₂排出量、Si歩留まりに関しても比較を行うことにした。

3.4 高炉用コークスの併用検討

高炉用コークスは、既述の通り、鉄鉱石の還元を主目的としているため、キュボラ用燃料としての使用は不向きであると考えられている。ここでは、キュボラ用燃料として黒鉛焼成品を用いることにより、高炉用コークスの併用が可能となるか否かの検討を行うこととした。表3には、今回用いた高炉用コークスの化学成分を示す。表3から、高炉用コークスに関しては、黒鉛焼成品、鋳物用コークスに比べて固定炭素が低く、灰分が高い値になっていることがわかる。

実験では、従来使用している鋳物用コークスの約4割分を黒鉛焼成品に、約2割分を高炉用コークスに置換した状態でキュボラ操作を実施し、鋳物用コークスのみを用いた操業時ならびに鋳物用コークスの約4割分を黒鉛焼成品に置換した操業時との比較を行うことにした。

4. 実験結果

4.1 黒鉛焼成品の使用可否検討

コークス比を11.0%(一定)として、鋳物用コークスのみを用いた場合と、鋳物用コークスの約2割分のみを黒鉛焼成品に置換した場合でキュボラ操作を実施し、出銑温度、出銑C%、吸炭量の比較を行った。図1には出銑温度の推移、図2には出銑C%の推移を示す。図1より、出銑温度に関しては後者の方が高い値で推移していることが確認できる。実際に平均値を算出したところ、前者が1,505℃、後者が1,515℃となり、黒鉛焼成品を置換した場合の方が約10℃程度高くなっていることがわかる。図2の出銑C%の推移からも出銑温度同様、後者の方が高い値で推移していることが確認でき、平均値に関しても、前者が3.41%、後者が3.52%と黒鉛焼成品を置換した場合の方が0.1%程度高くなっていることがわかる。

今回の実験では、鋳物用コークスの約2割分を黒鉛焼成品に置換した場合に、鋳物用コークスのみでキュボラ

操業を実施した場合よりも高い出銑温度の溶湯を得ることができ、かつ出銑C%に関しても高い値が得られるという結果になった。このことから黒鉛焼成品が熱源ならびに吸炭源機能を十分に果たしたものと考えられる。

ここでは実際に今回の実験結果から、鋳物用コークスならびに黒鉛焼成品1%当たりの吸炭量を算出し、黒鉛焼成品の吸炭源機能がどの程度であるのかを確認した。1%当たりの吸炭量は、下記の式により算出した。

$$(出銑C\% - 投入地金含有炭素量) / コークス比$$

図3に1%当たりの吸炭量算出結果を示す。

1%当りの吸炭量を算出した結果、鋳物用コークスでは0.23%、黒鉛焼成品では0.29%となった。両者の1%当たりの吸炭量を比較した際、黒鉛焼成品の方が高い値を示しているが、今回の実験で得られた1%当たりの吸炭量は、固定炭素上昇分以上に高い値であった。このことから、黒鉛焼成品が鋳物用コークスよりも優れた吸炭源機能を有していると考えられ、キュボラ用燃料としての役割を十分に果たすものと考えられる。

4.2 黒鉛焼成品使用比率の検討

黒鉛焼成品の使用比率の検討として、鋳物用コークスとの置換割合を2割、4割、6割と変化させた状態でキュボラ操業を実施し、同一の出銑C%を得るために必

要なコークス比の比較を行った。本実験では出銑C%の目標値を3.53%とした。ここでは、まず図3で示した1%当たりの吸炭量算出結果より、種々の置換割合でキュボラ操業を実施した際の、出銑C%と理論コークス比の関係を求めた。結果を図4に示す。

図4より、出銑C%の目標値を3.53%とした際の理論コークス比は、鋳物用コークスのみを用いた操業では11.6%、黒鉛焼成品2割置換では11.0%、黒鉛焼成品4割置換では10.5%、黒鉛焼成品6割置換では10.0%という結果になることがわかる。

図5には、実際に操業を実施した際の必要コークス比を示す。なお、図5には図4で示した理論コークス比も同時に示した。今回の結果からは、黒鉛焼成品の置換割合を増加していくに伴い、コークス比をほぼ理論通りに低減できていることが確認できた。

ここではさらに、黒鉛焼成品の置換割合とCO₂排出量、Si歩留まりの関係についても比較を行うことにした。図6にCO₂排出量、図7にはSi歩留まりの関係を示す。

図6から、CO₂排出量に関しては、黒鉛焼成品の置換割合増加に伴い削減できていることがわかる。このことから、黒鉛焼成品の使用が環境面への負荷低減にも寄与できるものと考えられる。一方で図7からは、黒鉛焼成

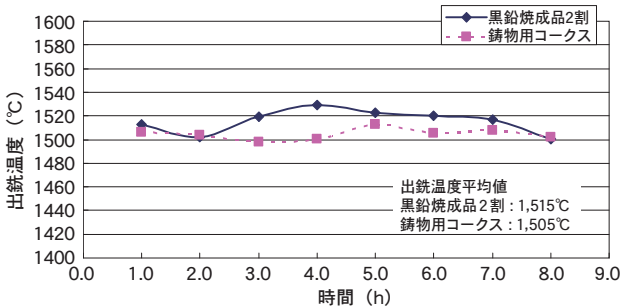


図1 出銑温度の推移

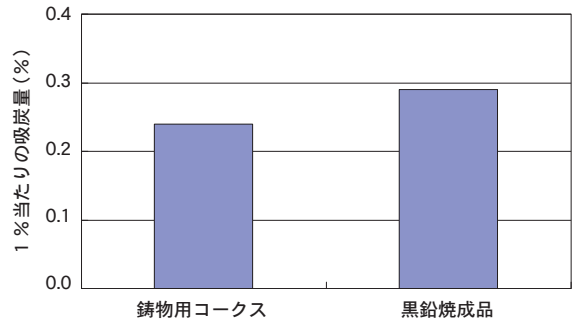


図3 1%当たりの吸炭量

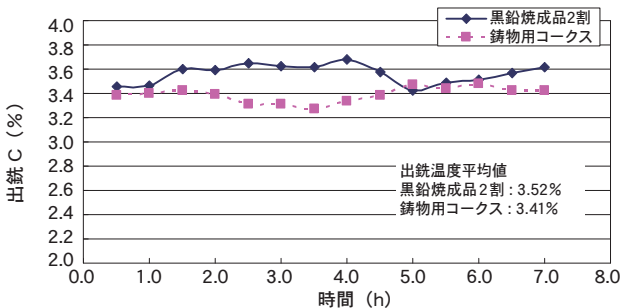


図2 出銑C%の推移

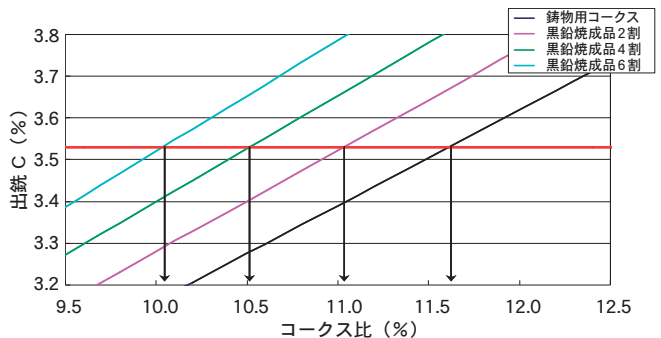


図4 出銑C%と理論コークス比の関係

品の置換割合増加に伴い、Si歩留まりが低下する傾向にあることがわかる。

以上、黒鉛焼成品に関しては、単に鋳物用コークスの代替品としての役割を果たすだけでなく、優れた吸炭源機能によりコークス比の低減ならびにCO₂排出量削減などの効果を生み出すことが確認できた。ただし、Si歩留まりに関しては低下する傾向にあることが確認された。

これらの事象に関しては、黒鉛焼成品の塊状における反応性の低さが起因しているものと考えられる。今回の実験で使用した黒鉛焼成品は、プレス成型という過程を経て製造されているため、気孔率がかなり低いことが予想される。実際に鋳物用コークスと黒鉛焼成品の気孔率を測定したところ、前者が35%程度であるのに対して、後者は17%程度となっていた。そのため、表2に示した粉末状態での反応性には大きな差は認められないが、キュボラ炉内における黒鉛焼成品の塊状での反応性はかなり低くなっている可能性がある。反応性が低いという点からは、キュボラ炉内における黒鉛焼成品の酸化減耗率が小さくなる、キュボラ炉内において還元反応が進まず酸化性の強い雰囲気になるなどの可能性が考えられる。ここでは実際に、40×40×40mmに加工した鋳物用コークスと黒鉛焼成品の試料を用いて、酸化減耗率の測定を実施した。図8には測定に用いた試料の外観写真を

示す。

酸化減耗率は、図8に示した試料を電気炉内で950℃にて2～8 h保持し、その際の重量減耗率を測定することにより求めることとした。酸化減耗率測定結果を図9に示す。

図9より、黒鉛焼成品と鋳物用コークスの酸化減耗率には、明らかな違いが確認できる。すなわち、キュボラ炉内においては、鋳物用コークスに比べて黒鉛焼成品の酸化減耗率が小さくなると言える。

以上より、酸化減耗率が小さくなるという点がコークス比低減などの効果を生み出し、酸化性の強い雰囲気になるという点がSi歩留まり低下を招いたものと考えられる。

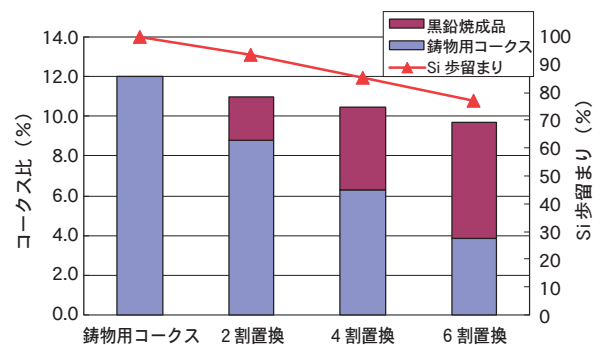


図7 黒鉛焼成品置換割合とSi歩留まりの関係

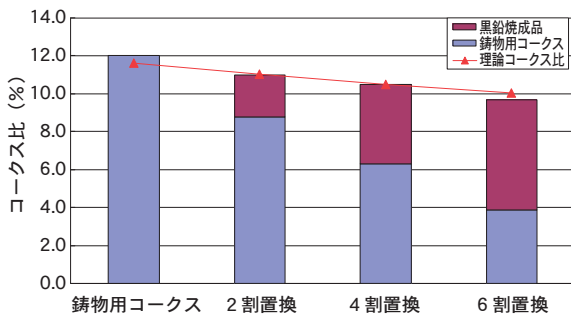


図5 黒鉛焼成品置換割合とコークス比の関係

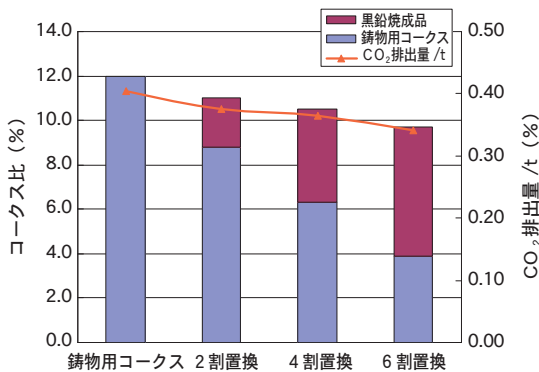


図6 黒鉛焼成品置換割合とCO₂排出量の関係



図8 試料外観写真

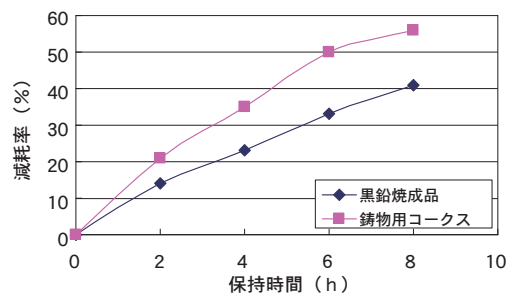


図9 酸化減耗率測定結果

4.3 高炉用コークスの併用検討

ここでは黒鉛焼成品の高い吸炭能力に着目して、一般的には吸炭能力が低いとされている高炉用コークスとの併用を試みた。今回は下記に示した3種類の操業形態において、同一の出銑C%を得るために必要なコークス比ならびにSi歩留まりの比較を行った。結果を図10に示す。

(操業A) 鋳物用コークスのみの操業

(操業B) 鋳物用コークスの約4割分を黒鉛焼成品に、約2割分を高炉用コークスに置換した操業

(操業C) 鋳物用コークスの約4割分を黒鉛焼成品に置換した操業

図10より、高炉用コークスを併用した操業Bにおいては、鋳物用コークスのみを用いた操業Aに比べてコークス比の低減が可能となっていることがわかる。ただし、鋳物用コークスと黒鉛焼成品を用いた操業Cに比べるとコークス比低減効果は若干劣るものとなっている。一方Si歩留まりに関しては、操業Aに比べると若干低下傾向にはあるが、操業Cと比較すると低下の度合いは緩和されている。結果的に、今回の実験においては、高炉用コークスの併用が可能であると判断できる。

以上、今回の結果からは、黒鉛焼成品と高炉用コークスを併用することにより、黒鉛焼成品の高い吸炭能力によって、高炉用コークスを用いた場合にも鋳物用コークスのみを用いた操業と比較してコークス比低減が可能になることが確認できた。またSi歩留まり低下抑制に関しては、高炉用コークスが一般的に還元を主目的として使用されていることからわかる通り、キュポラ炉内において還元反応が進行し、黒鉛焼成品使用時に考えられた酸化性の強い雰囲気緩和された可能性が考えられる。

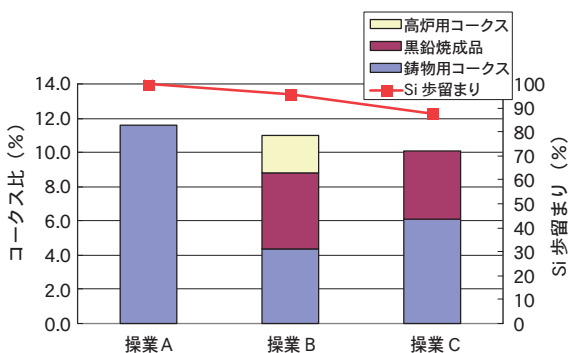


図10 使用燃料とコークス比、Si歩留まりの関係

5. まとめ

黒鉛焼成品をキュポラ用燃料として使用したことにより以下の点が確認できた。

a) 黒鉛焼成品はキュポラ用燃料に要求される熱源(溶解)ならびに吸炭源(加炭)としての機能を十分に満足するため、鋳物用コークスの代替としての使用が可能である。

- b) 黒鉛焼成品の使用割合の増加により、コークス比が低減できる。ただし、Si歩留まりに関しては低下する。
- c) キュポラ用燃料として黒鉛焼成品を用いることにより、CO₂排出量削減など環境面への負荷が低減できる。
- d) 吸炭能力の高い黒鉛焼成品を用いることにより、キュポラ用燃料として高炉用コークスを併用することが可能である。
- e) 高炉用コークス併用により、Si歩留まりの低下を抑制できる。

執筆者

中本光二

Kouji Nakamoto

平成11年入社

ダクタイル鋳鉄管の生産技術に従事

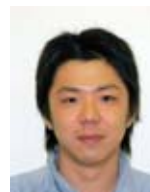


堤 親平

Shinpei Tsutsumi

平成18年入社

ダクタイル鋳鉄管の生産技術に従事



山瀬真司

Shinji Yamase

昭和62年入社

ダクタイル鋳鉄管の製造に従事



新宮邦彦

Kunihiko Shinmiya

平成4年入社

ダクタイル鋳鉄管の製造及び生産管理に従事



小寺敏明

Toshiaki Kotera

昭和62年入社

ダクタイル鋳鉄管の生産技術を経て、現在品質保証業務に従事



