

# 造粒炭装入による安価石炭多量使用技術

## Development of a New Cokemaking Process by Blending Coated Particles

藤本 英和 FUJIMOTO Hidekazu JFE スチール スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員(副部長)・工博  
深田喜代志 FUKADA Kiyoshi JFE スチール スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員(課長)・工博  
下山 泉 SIMOYAMA Izumi JFE スチール スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員(副部長)・博士(工学)

### 要旨

高炉での低還元材比，高出鉄比操業が指向される中で，コークスに期待される品質とは高強度で高反応性であることと考えられる。このようなコークスを原料コストの低減をはかりながら製造する手段として，非微粘炭表面に被覆材となる粘結炭が付着した被覆造粒炭を石炭に配合する新たなコークス製造法の開発を実施した。小型炉試験より核として MF が 2 ddpm (dial division per minute) 程度の非微粘炭を，被覆材として Ro1.1% 程度の粘結炭を使用すると，造粒炭無添加のベースに対して強度を維持しながら非微粘炭が 16% 増配合可能なことが分かった。実験室での結果を受けて，JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）第 3 コークス炉にて実炉試験を行った結果，被覆造粒炭の配合効果を確認することができた。

### Abstract:

New cokemaking process by blending of agglomerated coal particles was developed for making high strength coke at the high blending ratio of the slightly caking coal. Agglomerated coal particles were produced by coating the slightly caking coal with fine caking coal. For conventional cokemaking process, coke strength reduces when the slightly caking coal were blended, because cracks can be easily generated at the interface between coke textures. The slightly caking coal particles (1 to 5 mm) coated with the caking coal were carbonized in coal blend. From microfocus X ray CT images, the generation of the cracks at the interface between coke textures was not observed. When the under 0.5 mm of Ro = 1.1% caking coal was used as the coating coal, coke quality were much enhanced. The agglomerated particles (coated particles) were blended to the coal blend and were carbonized in JFE Steel's West Japan Works (Fukuyama) No. 3 Coke Oven. The blending ratio of the coated particles was 20% in coal blend. The DI (150/15) value for coke containing the coated particles were the same as that for the normal coke, although the blending ratio of the slightly caking coal increased to 16%.

### 1. はじめに

高炉での低還元材比，高出鉄比操業が指向される中で，コークスに期待される品質とは高強度で高反応性であることと考えられる<sup>1)</sup>。一方で，コークス原料コストおよび銘柄制約の面から安価で低品位な非微粘炭の使用増が求められる。

非微粘炭の多配合下で強度の高いコークスを製造するには，非微粘炭を微粉碎しコークス強度補填に粘結炭を配合する必要があった<sup>2)</sup>。非微粘炭を微粉碎するのは，非微粘炭がコークス中に均一分散しコークス構造体として均一な構造にするためである。しかし，石炭を微粉碎するとキャ

リーオーバーが懸念され，非微粘炭の増使用が期待できない。さらに，配合炭中に粘結炭も均一分散されるため，結果としてコークス全体の基質強度を上昇させることになるが，粘結炭の使用量が増加することになる。このため，原料コストの低減が期待できない。

非微粘炭を添加するとコークス強度が低下する原因として，非微粘炭は軟化溶解しにくく膨張性が乏しいことに加えて，乾留にともなう収縮量が非微粘炭と周囲のコークス組織との間で大きく異なり，界面に非接着界面や微細亀裂が生成することが一因と考えられる。そこで，非微粘炭周囲にコークス強度向上効果があり膨張性の高い粘結炭を高密度に配置させ，非接着界面の融着性を高めることを考えた<sup>3)</sup>。この考え方では，コークス強度補填には非微粘炭周囲にのみ粘結炭を添加することになる。非微粘炭周囲に粘結炭を配置させる方法として，核となる非微粘炭表面に被

2008 年 7 月 22 日受付

覆材となる粘結炭が付着した被覆造粒炭を石炭に配合すれば良いと考えられ、新たなコークス製造法を開発するに至った。

今回は、造粒炭製造に求められる石炭品質に関する基礎的検討を行った。さらに造粒炭の配合効果を実プロセスで確認するため、実炉配合試験を行った結果について報告する。

## 2. 小型炉実験方法

### 2.1 造粒炭の製造方法

造粒炭の製造は図1に示す手順に従って製造した。1~5 mm に整粒した非微粘炭とポリビニルアルコール (PVA) 水溶液を事前混合した。次に 0.5 mm 以下の微粉粘結炭を添加してパンペレタイザー (1200 mmφ) により被覆造粒した (非微粘炭、粘結炭、バインダーを同時に混合した場合、造粒炭同士あるいは粘結炭同士の凝集した粒度分布の大きい粒子群が製造される<sup>4)</sup>)。ペレタイザーの回転数は15回転/分、パンの角度は42°で試験を行った。核となる非微粘炭および被覆材となる粘結炭の性状を表1に示す。

### 2.2 石炭乾留試験

全量が粒径3 mm 以下となるように粉碎した単味炭を準備し、平均最大反射率 (Ro) が約 1.05%，最高流動度 (MF) が約 300 ddpm (dial division per minute)，全イナータ量 (TI) が約 32%となるように配合したものを配合炭とし

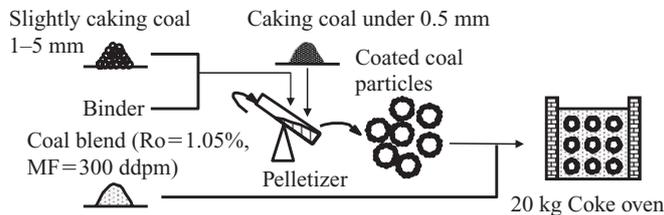


図1 造粒炭製造プロセス図

Fig.1 Schematic diagrams of new cokemaking process

表1 核と被覆材の石炭性状

Table 1 The properties of coal used at the experiment in the cokeplant

	Ro (%)	MF (ddpm)	TI (%)
Coal A	0.71	2	20
Coal B	0.71	150	20
Coal C	0.7	30	35
Coal D	1.55	20	18
Coal E	1.1	3 000	32
Coal F	1.37	200	31
Coal G	1.44	31	28

Ro: Reflectance in oil MF: Maximum fluidity  
TI: Total inert

た。配合炭に造粒炭を所定の添加率で添加した石炭を乾留缶 (320 mmW × 300 mmL × 300 mmH) に 16 kg 装入し、乾留試験を行った。乾留温度は 1100℃一定、水分 8%、乾留時間 6 時間で行った。石炭充填密度は造粒炭無添加のベースでは 750 kgm<sup>-3</sup>、造粒炭を 20% 添加した場合は 780 kgm<sup>-3</sup>とした。コークスは窒素気流中で乾式消火した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 造粒炭の性状評価

写真1に核と被覆材とを7:3の割合で造粒したときの造粒炭の外観図を示す。核粒径は1~3 mm、被覆材粒径は



写真1 被覆造粒炭の外観写真

Photo 1 Photo of the coated particles

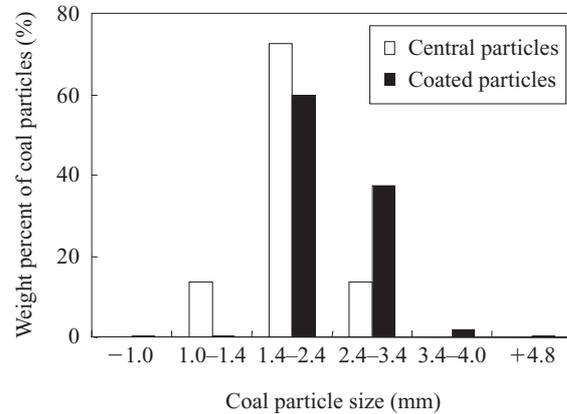


図2 核と造粒炭の粒度分布

Fig.2 Size distribution of the central particles and the coated particles

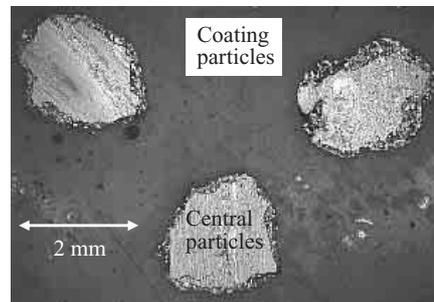


写真2 被覆造粒炭の断面図

Photo 2 Sectional view of the coated particles

0.25 mm 以下とした。外観写真より粗大な造粒炭は生成されていないことが分かる。図 2 に造粒炭と核の粒径分布を示す。造粒炭の粒径分布は核の粒径分布に依存し、ブロードな分布とならず粒径が少し拡大している。写真 2 の造粒炭断面写真より、被覆材が核周囲に均一に圧密被覆された構造となることが分かった。

### 3.2 非微粘炭周囲の構造欠陥に及ぼす被覆材の影響

写真 3 に被覆造粒炭由来のコークス組織の拡大写真を示す。非微粘炭（石炭 C）周囲に粘結炭由来コークス組織が存在し、非微粘炭周囲に非接着界面の生成が見られない。非微粘炭周囲の欠陥構造に及ぼす粘結炭被覆の効果を確認するため、径 12 mm の黒鉛のつぼに粒径約 4 mm の非微粘炭を配合炭に埋め込み、3℃/min で 800℃まで加熱した。写真 4 にマイクロ CT 断層写真を示す。炭素質を多く含む非微粘炭と配合炭由来のコークス界面が融着している部分も観察できるが、鉍物を含む非微粘炭は収縮率が小さいため、界面に亀裂が発生している。そこで、非微粘炭に高反射率炭（石炭 D）を被覆すると（写真 4(b)), 鉍物を含む非微粘炭周囲においても亀裂の発生は抑制されることが確認できた。

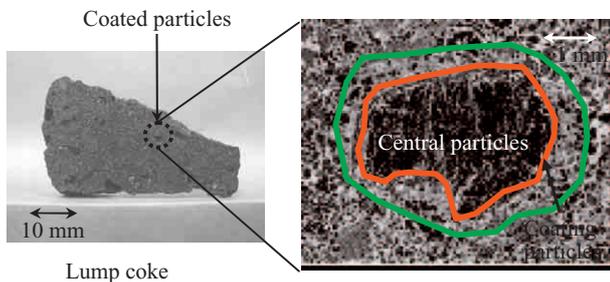


写真 3 造粒炭由来のコークスの顕微鏡写真

Photo 3 Microscopic photo of coke derived from particles coated by caking coal

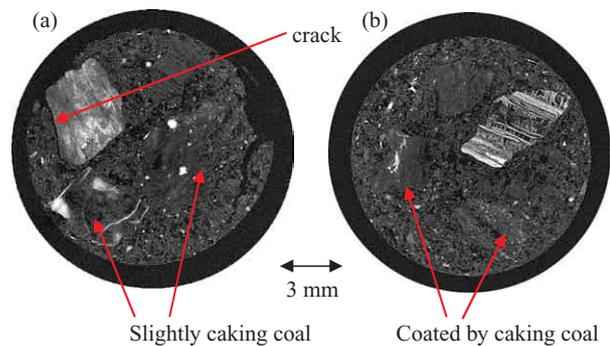


写真 4 非微粘炭および造粒炭添加コークスの X線 CT 写真  
Photo 4 Effect of coating of the caking coal particles on the generation of cracks around the slightly caking coal particles

### 3.3 造粒コークスに及ぼす造粒炭品位の影響

非微粘炭周囲に粘結炭を配置すると界面での亀裂の発生が抑制されることを確認したので、コークス品質に及ぼす核および被覆材性状の影響について検討した。

#### 3.3.1 核の性状

核となる非微粘炭性状の影響を検証するために、MF = 150 ddpm の石炭 B と石炭 B を風化して MF = 2 ddpm となった石炭 A を用いた場合のコークス品質を評価した。被覆材として石炭 D の高反射率粘結炭を用い、核粒径は 1~5 mm、被覆材粒径は 0.5 mm 以下とした。結果を図 3 に示す。平均コークス粒径は、シャッター 2 m 落下後の粒度分布から計算した。石炭 B を核にすると、粒径はやや改善するもののコークス強度は大幅に低下した。

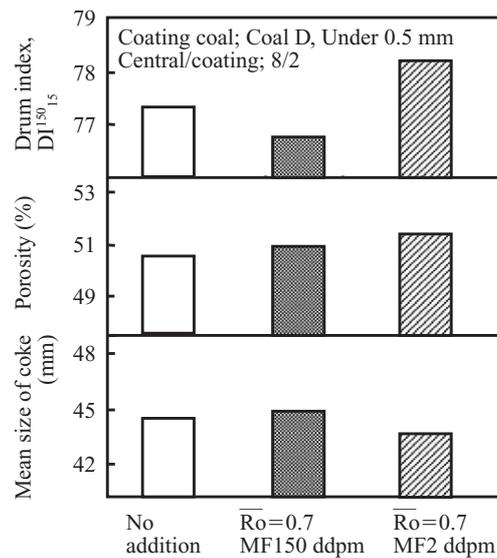


図 3 コークス品質に及ぼす核性状の影響

Fig.3 Effect of the MF value of the slightly caking coal on coke properties

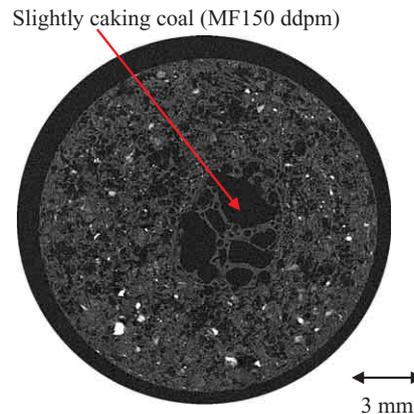


写真 5 MF=150 ddpm の微粘炭を核にした場合のコークス構造

Photo 5 X ray CT image of coke structure in the case of the addition of a fresh slightly caking coal particle coated by caking coal particles

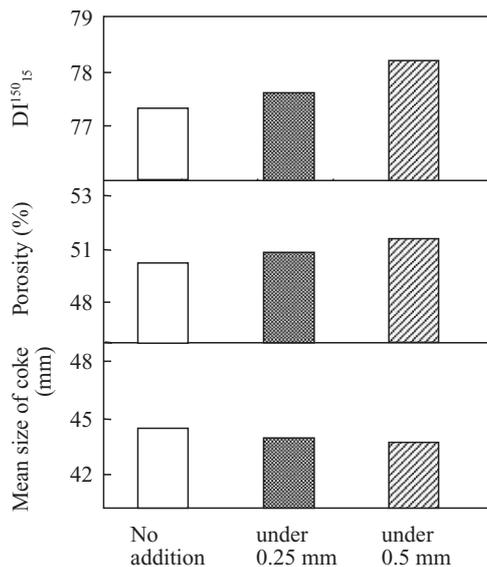


図4 コークス品質に及ぼす被覆材粒径の影響

Fig.4 Effect of the coating coal particles size on coke properties

そこで、石炭Bを核にした場合の乾留後X線CT写真を撮影した(550℃, 3℃/min)。結果を写真5に示す。核と周囲とは融着して圧密された状態になっている。しかし、核の内部に発泡してできた大きな空孔が観察され、気孔壁が薄くなっている。被覆材が核表面に圧密されて存在しているため、乾留中に核の内部圧力が上昇し、発泡したのではないかと推察されるが、ここが欠陥となりコークス強度が低下したものと考えられる。

### 3.3.2 被覆材の粒径

被覆材の最適粒径を検討するにあたり、はじめに被覆材の粒径と造粒性の関係を調査した。被覆材粒径が0.5mm以下では核表面への付着率が高いが、0.75mm以下となると重力の影響で容易に脱着することが分かった。そこで、被覆材粒径が0.25mm以下と0.5mm以下の場合でコークス品質に及ぼす影響を検討した。結果を図4に示す。核には石炭A、被覆材には石炭Dを用いた。被覆材粒径を大きくするとコークス粒径はやや小さいが、コークス強度が向上した。これは、被覆材の粒径が大きいと膨張性が高いため、被覆材由来組織の異方性の発達が高いことに加えて非微粘炭界面および配合炭由来組織との融着が良好だったと推察される。一方、被覆材の粒径が小さいと膨張性が乏しいため、被覆材内部と界面で微細な亀裂が生じ、乾留中にマクロな亀裂が減少してコークス粒径向上と強度低下が起きたと推察される。

### 3.3.3 被覆材の性状

核には石炭A、被覆材粒径を0.5mm以下として、被覆材の性状とコークス品質の関係を図5に示す。被覆材として、石炭Dの高反射率炭と石炭Eの中反射率炭を用いた。石炭Eを核に被覆すると石炭Dに比較して粒径の拡大効果が大きく、ドラム強度はベースに比べて高く石炭Dと同

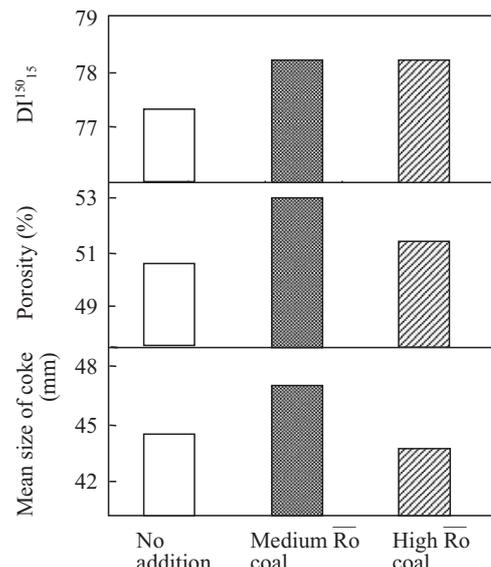


図5 コークス品質に及ぼす被覆材種の影響

Fig.5 Effect of the type of the coating coal particles on coke properties

等だった。これは、中反射率炭を被覆材に用いると周囲のコークスとの融着性が向上したためと推察される。

## 4. 実炉配合試験

被覆造粒炭の原料として用いる非微粘炭および粘結炭に求められる石炭性状について明らかになったので、被覆造粒炭の配合効果を実プロセスで確認するため、実炉配合試験を行った。

### 4.1 被覆粒子の製造方法

核として石炭A(粒径1~5mm)と濃度4%のPVA水を混合し、被覆材として石炭G(粒径0.5mm以下)とともに一次混練後、径1200mmのパンベレタイザー内で非微粘炭表面に粘結炭を被覆造粒した。900kg/hで連続排出し、約25t製造した。非微粘炭と粘結炭の重量比は3:1とした。造粒炭の水分は6%とした。配合炭および造粒炭20%添加した場合の石炭性状を表2に示す。

### 4.2 装炭、窯出条件

配合炭に対して20%となるように石炭搬送用ホッパーから25tの被覆造粒炭を切り出し、搬送ベルト上で混合し、コークス炉装炭車へ搬送した。造粒炭を含有した配合炭を

表2 実炉試験での石炭性状

Table 2 The properties of coal used at the experiment in the coke plant

	Ro (%)	MF (ddpm)	TI (%)	Ash (%)	Moi. (%)
No addition	1.07	241	32.8	8.8	9.5
Addition	1.03	108	31.2	9.0	8.8

表3 実炉操作条件

Table 3 Carbonized condition at the experiment in the coke plant

	Coal charge (Wet)	NCT (h)	ST (h)	GCT (h)	FT (%)
No addition	31.1 t/chamber	15.9	2.5	18.5	1 090
Addition	31.3 t/chamber	15.9	2.7	18.6	1 088

NCT: Net coking time    ST: Soaking time  
GCT: Gross coking time    FT: Flue temperature

5窯ピッチで4窯装入し、うち2および3窯目の2窯分を湿式消火した。湿式消火後、全量をヤードに積み、20方向からショベルで計約4tサンプリングした。ベース条件となる造粒炭無添加コークスには、造粒コークスの窯出しから1時間後に窯出されたコークスを選択した。実炉乾留条件を表3に示す。

### 4.3 実炉試験結果および考察

図6に造粒炭20%添加コークスおよび無添加コークスの粒度分布を示す。ヤードでサンプリングした4tのコークスから縮分した600kgのコークスを品質評価に供した。造粒炭添加コークスの場合、無添加コークスに比較して50~75mmの塊コークスが2.5%多く、シャープな分布で25mm以上の塊コークス割合は1.2%高かった。造粒炭の添加がコークスケーキ中のマクロな亀裂生成に影響を及ぼしたと推察される。図7にドラム強度結果を示す。造粒炭コークスの方が0.3ポイント高かった。ただし、表2に示すように造粒炭添加時の配合炭水分は無添加時と比較して0.7%低く、水分の違いを加味すれば、両コークスの強度指数はほぼ同

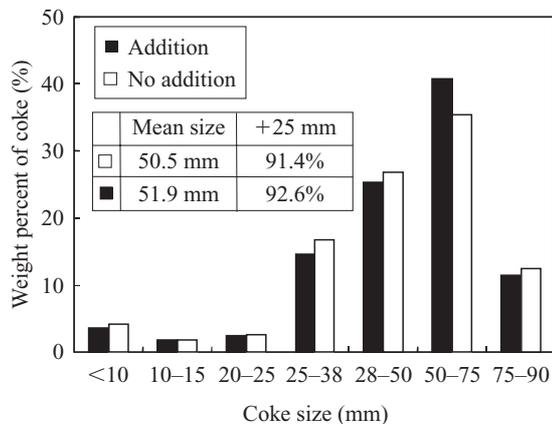


図6 コークス粒径分布に及ぼす造粒炭添加効果

Fig. 6 The comparison of the size distribution between the coke containing the coated particles and the normal coke

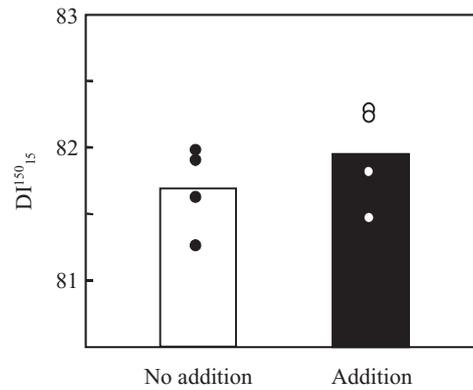


図7 コークス強度に及ぼす造粒炭添加効果

Fig. 7 The comparison of the strength between the coke containing the coated particles and the normal coke

じだったと考えられる。非微粘炭15%配合下で強度維持が可能だったのは、非微粘炭周辺に粘結炭が被覆されているため、非微粘炭周辺の微細亀裂の生成が乾留中に少なかったことが考えられる。

### 5. おわりに

- (1) 核; 低MF炭, 被覆材; 中Ro炭, 被覆材粒径; 0.5mm以下の被覆造粒炭を配合するとコークス強度の向上効果が大きい。
- (2) 被覆造粒炭の配合効果を実炉配合試験でも確認することができた。

#### 参考文献

- 1) Ariyama, T. et al. CAMP-ISIJ. vol. 17, p. 610.
- 2) Fujimoto, H. et al. ATS, Paris, France, 2004. p. 78.
- 3) Fujimoto, H. et al. CAMP-ISIJ. 2005, vol. 18, p. 993.
- 4) Fujimoto, H. et al. CAMP-ISIJ. 2005, vol. 18, p. 91.



藤本 英和



深田喜代志



下山 泉