

SCOPE21 プロセスにおけるコークスの強度 および粒度の評価

窪田 征弘*・有馬 孝*・加藤 健次*・松浦 慎*²・中居 裕貴*²
佐々木 正樹*²・杉山 勇夫*³

Evaluation of Coke Strength and Coke Size in the SCOPE21 Process

Yukihiro KUBOTA, Takashi ARIMA, Kenji KATO, Makoto MATSUURA, Hiroki NAKAI,
Masaki SASAKI and Isao SUGIYAMA

Synopsis : In the SCOPE21 pilot plant, it was verified whether the target of coke strength and coke mean size were attainable, when the proportion of poor coking coal in coal charge was 50%.

As a result of the tests, it was confirmed that DI^{150}_{15} was improved by 2.5 compared with a conventional process, which was higher than the coke strength, 84, usable for blast furnaces. The improvement of DI^{150}_{15} is thought to be due to the increase of bulk density of coal charge, coking property improvement of coals by rapid preheating of coals and homogenization effect of coke texture.

Moreover, it was confirmed that the appropriate coke mean size, 43 mm, was obtained by an anthracite addition even at the highest productivity (flue temperature: 1250°C) of the SCOPE21 process.

Key words: SCOPE21; rapid preheating; coke strength; anthracite; coke mean size.

1. 緒言

次世代コークス製造プロセス (SCOPE21) では、石炭資源の有効利用および生産性拡大を重要な研究開発テーマとして掲げている^{1,2)}。

石炭資源の有効利用では、非微粘結炭の使用比率を現行プロセスの20%から50%まで増加させることを目標としている。現行プロセスでは、粘結性の乏しい非微粘結炭を多量使用すると、石炭の粘結性不足によりコークス強度(以下 DI^{150}_{15} と略記)が低下するため、使用上限は20%程度であった。そこでSCOPE21プロセスでは、石炭の急速加熱処理による粘結性向上(以下急速加熱効果と略記)³⁻⁶⁾と、石炭の乾燥および微粉石炭の成型処理による乾留炉内の装入密度向上等の DI^{150}_{15} 向上技術を用い、非微粘結炭を50%使用しても DI^{150}_{15} が84(高炉で使用可能な強度)以上のコークスの製造を目標としている。

一方、生産性拡大では、石炭の高温予熱と、乾留炉炉壁の高熱伝導化および薄壁化により乾留炉での炭化時間を短縮し、生産性を3倍にすることを目標としている。しかし、このような乾留炉での高速乾留は、コークス層内の熱応力増大による亀裂の増加、即ちコークス平均粒度(以下、MSと略記)の低下が懸念される。そこでSCOPE21プロセ

スでは、装入炭中への無煙炭添加によるMS向上技術を用い、MSが43mm(現行プロセスの最高稼働率と同等レベル)以上のコークスの製造を目標としている。

本報では、SCOPE21パイロットプラントを用いて実規模の操業を実施し、非微粘結炭を50%使用した条件下で上述の DI^{150}_{15} およびMSの目標を達成し得るかどうかを検討した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 石炭試料

実験はTable 1に示す石炭を、Table 2に示す配合条件で実施した。配合(X)は、SCOPE21プロセスの開発当初から基準とした配合で、粘結炭を50%(A炭、B炭各25%)、非微粘結炭(C炭)を50%の割合で配合した3銘柄の配合である。

2.2 実験装置

Fig. 1にSCOPE21パイロットプラントの事前処理設備の模式図を示す。石炭は、まず流動床乾燥分級機によって、乾燥予熱と同時に0.5mm以上の粗粒炭と0.5mm未満の微粉炭に分級される。次に、粗粒炭と微粉炭は各ホッパーから別々に気流加熱塔へ供給され、気流加熱塔内で所定温度

平成16年1月9日受付 平成16年4月21日受理 (Received on Jan. 9, 2004; Accepted on Apr. 21, 2004)

* 新日本製鐵(株)環境・プロセス研究開発センター (Environment & Process Technology Center, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futsu 293-8511)

*2 新日本製鐵(株)名古屋製鐵所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp.)

*3 (社)日本鉄鋼連盟(現:新日本製鐵(株))(The Japan and Steel Federation, now Nippon Steel Corp.)

Table 1. Characterization of the coals used.

	Coal	Proximate analysis		Ultimate analysis					Mean reflectance in oil (%)	Gieseler plastometry Maximum fluidity (log MF/ddpm)	Dilatometry Total dilatation (Vol.%)
		(mass% db)		(mass% daf)							
		Ash	VM	C	H	N	O	S			
Coking coal	Coal A	9.4	24.4	89.1	5.0	1.8	3.5	0.6	1.24	2.70	82
	Coal B	9.0	25.3	89.0	5.0	1.3	4.2	0.6	1.21	1.77	46
Poor coking coal	Coal C	9.2	34.6	84.0	5.6	0.5	8.1	1.8	0.79	1.70	20

Table 2. Coal blending ratio and blended coal properties.

		Blend	
		(X)	(Y)
Coking Coal	Coal A (%)	25	50
	Coal B (%)	25	-
Poor coking coal	Coal C (%)	50	50
Blended coal properties (weighted ave.)	ASH (mass % db)	9.1	9.1
	VM (mass % db)	29.7	29.5
	log(MF/ddpm)	1.97	2.20
	TD (vol.%)	42	51

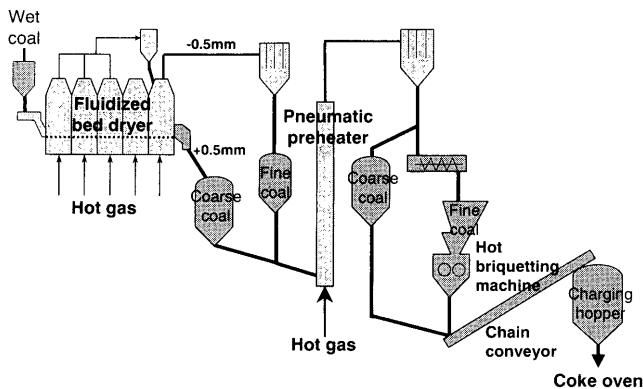


Fig. 1. Schematic diagram of the coal pretreatment process in the SCOPE21 pilot plant.

まで急速加熱処理される。急速加熱処理後の微粉炭は熱間成型機で加圧成型された後、粗粒炭と混合される。粗粒炭と熱間成型炭は、チェーンコンベアにより気流搬送装置へ搬送され、気流搬送により乾留炉へ装入される。

乾留炉は炉幅 0.45 m (0.435/0.465)、炉長 8.0 m、炉高 7.5 m で、炉幅および炉高は実機規模、炉長のみ実機の 1/2 スケールである。乾留後の赤熱コークスは、押出機により、コークス炉炭化室と同様の形状をしたカセット型冷却機へ押し出される。赤熱コークスは、 N_2 雰囲気での冷却機内で 8 時間程度保持され、 $100^\circ C$ 以下に冷却された後、コークスヤードに排出される。

2.3 コークスの分析方法

DI^{150}_{15} および MS 測定用のコークスサンプルは、冷却機から排出された約 12 t の円錐状のコークスを、厚さ 10 cm 程度に薄く広げ、その後 Fig. 2 に示す所定位置からインクリメントを採取することによって得た。インクリメント重量は 3~4 kg、インクリメント数は 40 個、サンプルの総重量は 120~150 kg とした。

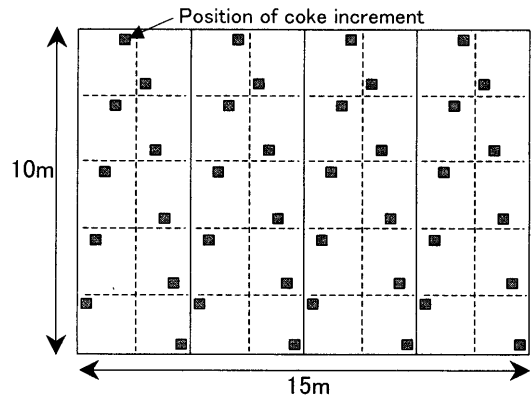


Fig. 2. Positions of coke increments.

DI^{150}_{15} は、SCOPE21 パイロットプラントは CDQ 設備を有していないため、CDQ 設備内で降下時に受けると想定される衝撃 (JIS K 2151 のドラム試験器で 15 回転) を加えた後、25 mm 以上のコークスサンプルを用いて測定した。測定法は JIS K 2151 に従った。

MS は、上述の CDQ 相当の衝撃に加え、高炉コークス庫までの輸送過程で受けると想定される衝撃 (ドラム試験器でさらに 15 回転、計 30 回転) を加えた後、25 mm 以上のコークスサンプルを用いて、以下の式により算出した。

$$MS(mm) = [112.5 \times \{+100\text{ mm-}\% \} + 87.5 \times \{75 \sim 100\text{ mm-}\% \} + 62.5 \times \{50 \sim 75\text{ mm-}\% \} + 44 \times \{38 \sim 50\text{ mm-}\% \} + 31.5 \times \{25 \sim 38\text{ mm-}\% \}] / \{+25\text{ mm-}\% \}$$

{ } 内は各粒度フラクションの歩留 (mass%) を示す。

2.4 実験条件

2.4.1 SCOPE21 プロセスにおける標準の石炭加熱処理条件

既報では、石炭の平均温度を $330 \sim 380^\circ C$ (石炭の粒度毎の温度では $330 \sim 400^\circ C$) に急速加熱処理した場合、 DI^{150}_{15} が向上することが報告されている^{6,7)}。そこで、Table 3 に示すように、パイロットプラント操業試験における標準の石炭加熱処理条件を、粗粒炭の平均温度が $340 \sim 365^\circ C$ (計算値)、微粉炭の平均温度が $330 \sim 375^\circ C$ (計算値) の温度範囲になるように設定した。また加熱炭の酸化防止のため、加熱ガス中の O_2 濃度を、流動床乾燥分級機で 1.5 vol% 以下、気流加熱塔で 1.0 vol% 以下とした。

Table 3. Preheating and operating standard conditions.

Fluidized bed dryer			Pneumatic preheater					
Gas temp. (°C)	Coarse coal	Fine coal	Coarse coal			Fine coal		
	Coal temp. (°C)	Coal temp. (°C)	Gas temp. (°C)	Coal temp. ^{a)} (°C)	Preheating rate ^{b)} (°C/min)	Gas temp. (°C)	Coal temp. ^{a)} (°C)	Preheating rate ^{b)} (°C/min)
300~345	275~310	255~285	400~440	340~365	1000~3000	360~420	330~375	5500~12000

a) Weighted average value of calculated coal temperature of each coal size.
 b) Weighted average value of calculated preheating rate of each coal size.

Table 4. Preheating and operating conditions of Test 1 and Test 2.

	Blend	Run No.	Fluidized bed dryer			Pneumatic preheater						Charging coal temp. (°C)	Fule temp. (bottom) (°C)	Bulk density (t/m ³)	Coking time (h)	DI ¹⁵⁰ ₁₅ (-)
			Gas temp. (°C)	Coarse coal Coal temp. (°C)	Fine coal Coal temp. (°C)	Coarse coal			Fine coal							
						Gas temp. (°C)	Coal temp. ^{a)} (°C)	Preheating rate ^{b)} (°C/min)	Gas temp. (°C)	Coal temp. ^{a)} (°C)	Preheating rate ^{b)} (°C/min)					
Test 1	(X)	1-1	300	275	255	290	286	336	400	366	9010	231	1228	0.75	11.2	83.2
													237	1223	0.75	10.9
		1-2	300	275	255	440	363	2669	400	366	9010	267	1214	0.76	11.2	84.7
													273	1251	0.73	10.2
		1-3	300	275	255	465	376	3027	400	366	9010	267	1222	0.74	10.7	83.5
													273	1220	0.74	10.2
											275	1244	0.73	10.3	83.4	
Test 2	(Y)	2-1	300	275	255	290	285	262	400	366	9010	229	1258	0.73	10.0	83.8
		2-2	300	275	255	290	285	262	400	366	9010	260	1250	0.73	9.9	83.5

a) Weighted average value of calculated coal temperature of each coal size.
 b) Weighted average value of calculated preheating rate of each coal size.

2・4・2 石炭加熱処理温度変更実験 (実験1)

本実験では、急速加熱設備である気流加熱塔での粗粒炭温度がDI¹⁵⁰₁₅に及ぼす影響について検討した。Table 4 (Test 1)に実験条件を示す。石炭試料は配合(X)とした。いずれの条件も、流動床乾燥分級機で300°Cの加熱ガスによって0.5mmの分級点で粗粒炭と微粉炭に分級した。おおよそ粗粒炭と微粉炭の重量比率は、粗粒炭：微粉炭=7:3であった。気流塔加熱塔での粗粒炭の加熱条件は下記の3条件である。

- (1) 条件1-1：粗粒炭を、290°Cの加熱ガスによって気流加熱塔内を通過させた。粗粒炭温度は急速加熱効果の発現する温度域(330~380°C)未満とした。
- (2) 条件1-2：標準の急速加熱処理条件であり、粗粒炭を440°Cの加熱ガスによって363°Cまで急速加熱処理した。
- (3) 条件1-3：条件1-2よりもさらに石炭の加熱処理温度を上げた条件である。粗粒炭を気流加熱塔内で465°Cの加熱ガスによって、376°Cまで急速加熱処理した。

いずれの条件についても、微粉炭の加熱条件は成型性確保のため、400°Cの加熱ガスで366°Cまで急速加熱処理した。その後熱間成型機(線圧：最大5t/cm)にて加圧成型した。

2・4・3 装入炭温度変更実験 (実験2)

既報では、石炭の予熱により装入炭温度が上昇すると、軟化溶融層の厚みが拡大し、石炭粒子同士の溶融結合反応

が促進するため、DI¹⁵⁰₁₅が向上することが報告されている⁸⁾。実験1では石炭加熱処理温度の上昇とともに装入炭温度も上昇しているため、DI¹⁵⁰₁₅の向上が急速加熱効果によるものであると断定できない。そこで、本実験では、石炭加熱処理温度は同一とし、チェーンコンベアの保温条件を変えることで、装入炭温度がDI¹⁵⁰₁₅に及ぼす影響について検討した。Table 4 (Test 2)に実験条件を示す。なお、石炭試料は配合(Y)とした。

- (1) 条件2-1：粗粒炭温度は、急速加熱効果の発現する温度域(330~380°C)未満とした。装入炭温度は229°Cとした。
- (2) 条件2-2：石炭加熱処理条件は条件2-1と同じであるが、装入炭温度は標準の急速加熱処理条件(条件1-2)と同等の260°Cとした。

2・4・4 無煙炭添加の事前検討実験 (実験3)

既報には、装入炭中に無煙炭を添加すると、再固化過程におけるセミコークス層の収縮率が低下し、コークス粒度が向上すること、一方で、無煙炭添加によりコークス強度が低下することが報告されている⁹⁾。

上述のような無煙炭添加の知見は現行プロセスの範囲では存在する。しかし、SCOPE21プロセスは、石炭の高温予熱と、乾留炉炉壁の高熱伝導化および薄壁化により、現行プロセスよりも乾留時間が極めて短い。こうした乾留炉内での高速乾留条件において、無煙炭添加がMSおよびDI¹⁵⁰₁₅に及ぼす影響を検討した例は過去に存在しないため、まず実験室において事前検討を実施した。

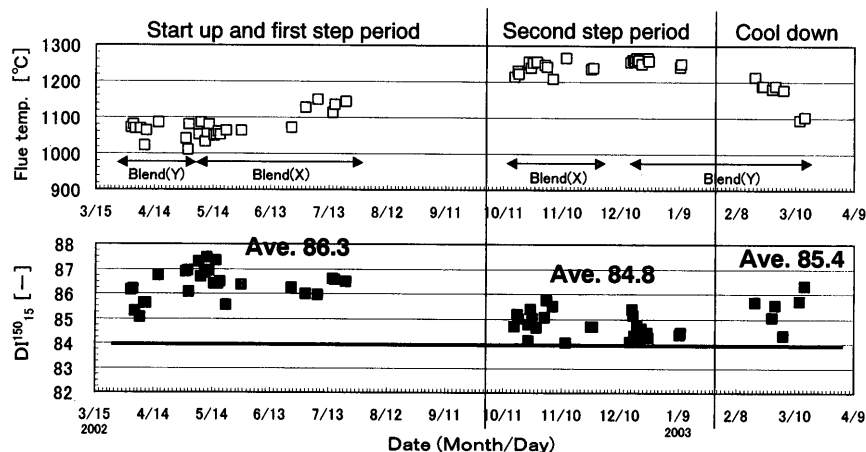
Table 5. Conditions of the anthracite addition test (Test 3 and Test 4).

RUN No.		Test 3		Test 4				
		3-1	3-2	4-1	4-2	4-3		
Flue temp.		1250		1140	1136	1192	1266	1260
Brick		USDB70 ^{a)}		USDB70 ^{a)}				
Charging temp. (°C)		324	313	265	268	235	249	271
Bulk density (t/m ³)		0.79	0.76	0.77	0.74	0.72		
Anthracite size		-	-1mm	-1mm	-1mm	-1mm		
Blend (%)	Coal A ^{b)}	15	15	50	50	95		
	Coal B ^{b)}	-	-	25	0	0		
	Coal D ^{b)}	10	10	-	-	-		
	Coal E ^{b)}	10	10	-	-	-		
	Coal F ^{b)}	15	15	-	-	-		
	Coal G ^{b)}	-	-	20	0	0		
	Coal C ^{c)}	50	45	0	45	0		
Anthracite		-	5	5	5	5		
Blended coal properties (weighted ave.)	ASH (mass % db)	9.6	9.5	8.9	9.3	8.4		
	VM (mass % db)	26.0	24.8	24.5	29.1	22.9		
	log(MF/ddpm)	2.1	2.0	2.43	2.32	2.80		
	TD (vol.%)	61	60	82	50	88		
Pitch (%)		-	3	-				
Coke MS (mm)		38.6	44.2	50.2	50.0	46.7	41.3	43.2

a) Ultra-super-dense brick, 70mm thick.

b) Coking coal

c) Poor coking coal

Fig. 3. Change of flue temperature and DI^{150}_{15} in the SCOPE21 pilot plant test.

実験には、SCOPE21プロセスの乾留炉内での高速乾留条件を模擬するために、SCOPE21で開発された高熱伝導率の超高密度珪石煉瓦（厚み：70 mm，熱伝導率 λ ：3.0 J/msK at 1000°C）を使用した小型乾留炉（炉幅450 mm，炉高1100 mm，炉長1050 mm）を用いた。石炭はロータリーキルン（ N_2 雰囲気，石炭の昇温速度：2~3°C/min）によって予熱し，約320°Cの装入炭温度で乾留炉に装入した。Table 5 (Test 3) に実験3の条件を示す。

2.4.5 SCOPE21パイロットプラントにおける無煙炭添加実験（実験4）

本実験では、パイロットプラント操業試験におけるMS向上効果を検証するために、炉温および配合の異なる3条件で、無煙炭添加実験を実施した。Table 5 (Test 4) に実験4の試験条件を示す。条件4-1および4-3では、無煙炭添加

による DI^{150}_{15} の低下抑制のため粘結炭の配合比率を通常の50%から95%に増加させた。

3. 実験結果および考察

3.1 パイロットプラント操業試験期間中の DI^{150}_{15} の測定結果

Fig. 3 にパイロットプラント操業試験期間における乾留炉の炉温および標準の石炭急速加熱処理条件での DI^{150}_{15} の測定結果を示す。

炉温は、立上操業期間では約1050°C，第1次操業では1100~1150°C，第2次操業試験（最高稼働率）では約1250°C，および立下期間では1200~1100°Cで推移した。 DI^{150}_{15} は、立上~第1次操業では85.1~87.5（平均86.3），

第2次操業では84.1~85.8 (平均84.8), 立下期間では84.3~86.3 (平均85.4)であった。この結果, 非微粘結炭(C炭)を50%使用した配合(X)および配合(Y)において, 目標 DI^{150}_{15} である84以上のコークスを製造可能であることが明らかになった。

3・2 石炭加熱処理温度が DI^{150}_{15} に及ぼす影響

Fig. 4に粗粒炭の加熱処理温度と DI^{150}_{15} の関係を示す。粗粒炭を気流加熱塔で急速加熱処理しない条件1-1では, DI^{150}_{15} は平均83.5であった。粗粒炭を363°Cまで急速加熱処理した条件1-2では, DI^{150}_{15} は平均84.4であった。この結果から, 急速加熱処理により DI^{150}_{15} は0.9ポイント向上することが分かった。しかし, 粗粒炭を376°Cまで急速加熱処理した条件1-3は, 条件1-1と比較して DI^{150}_{15} は向上しなかった。

このように, 石炭加熱処理温度によって急速加熱効果の異なる理由について, 以下のように考察した。

Fig. 5(a)に粗粒炭の粒度分布を, (b)に実験1の各条件における石炭粒度毎の加熱処理温度(伝熱モデル⁷⁾による計算値)を示す。

条件1-1では, 全石炭が300°C未満であり, 急速加熱効果の発現する温度域(石炭粒度毎の温度では330~400°C⁷⁾)に達していない。一方, 条件1-2では, 約95%の石炭が急速加熱効果の発現する温度域にあるため, 条件1-1と比較して DI^{150}_{15} が向上したと考えられる。

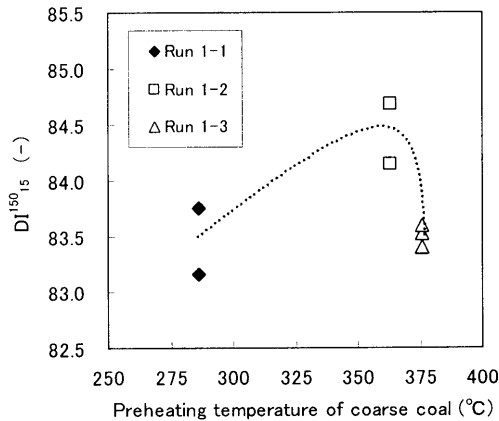


Fig. 4. Effect of preheating temperature of coarse coal on DI^{150}_{15} (Test 1).

DI^{150}_{15} が向上しなかった条件1-3では, 大部分の石炭は急速加熱効果の発現する温度域にあるものの, 全体の約20%に相当する0.84mm未満の石炭が400°C以上に到達している。Fig. 6の急速加熱処理炭の顕微鏡写真から, 条件1-2では石炭粒子内に気泡は見受けられないが, 条件1-3では分級点付近の比較的小さな粒子内に気泡が見受けられる。つまり, 条件1-3では, 一部の石炭が高温に過加熱され, 熱分解反応を起こしたと考えられる。この過加熱された石炭は, その後の乾留炉内の加熱過程で軟化溶解せず, むしろ石炭粒子同士の接着を阻害するため, DI^{150}_{15} が向上しなかったと考えられる。

石炭粒度毎の加熱処理温度および急速加熱処理炭の顕微鏡写真から, 本実験における石炭粒度毎の加熱処理温度の上限は400°Cと考えられる。この温度は使用する石炭のギーセラープラストメーターの軟化開始温度にほぼ相当する。石炭粒度毎の加熱処理温度の上限は炭種毎で異なるこ

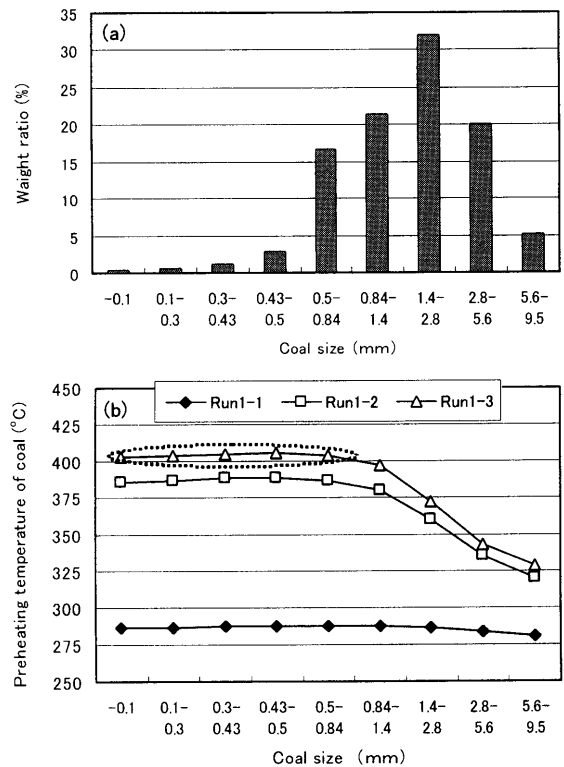


Fig. 5. (a) Size distribution and (b) preheated coal temperature distribution of coarse coal.

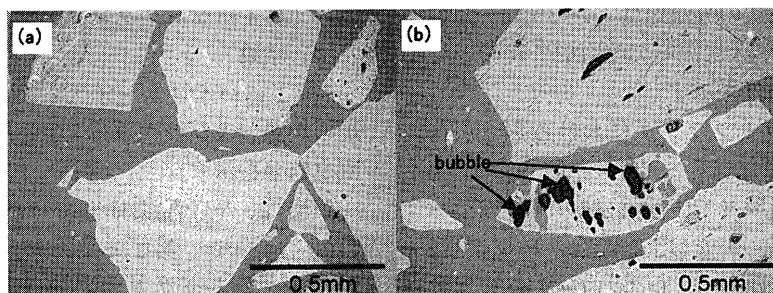


Fig. 6. Photographs of preheated coal; (a) Run1-2, (b) Run1-3.

とが予想されるが、本実験結果からギーセラープラストメーターの軟化開始温度により設定することが可能と推察される。

以上より、急速加熱効果を得るためには、石炭粒度毎の温度を、急速加熱効果の発現する330°C程度から、熱分解反応が本格的に開始するギーセラープラストメーター軟化開始温度の範囲に加熱することが重要であると考えられる。特に粒度分布の広い石炭を急速加熱処理する場合は、細粒部を軟化開始温度以上に過加熱しないように気流加熱塔のガス温度を設定することが重要である。

3.3 装入炭温度がDI¹⁵⁰₁₅に及ぼす影響

Fig. 7 に石炭加熱処理温度とDI¹⁵⁰₁₅の関係を示す。条件2-1では、DI¹⁵⁰₁₅は83.8であった。一方、石炭加熱条件は同じで、装入炭温度を急速加熱条件(条件1-2)と同等の260°Cまで上昇させた条件2-2では、DI¹⁵⁰₁₅は83.5であり、条件2-1と比較してDI¹⁵⁰₁₅は向上しなかった。

従って、装入炭温度230~260°Cの範囲では、装入炭温度上昇によりDI¹⁵⁰₁₅は向上しないことが判明した。このことは、実験1で確認したDI¹⁵⁰₁₅の向上効果が、装入炭温度上昇による効果ではなく、急速加熱効果によるものであることを示唆している。

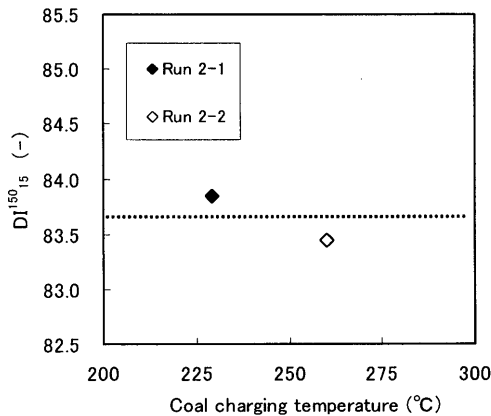


Fig. 7. Effect of coal charging temperature on DI¹⁵⁰₁₅ (Test 2).

3.4 SCOPE21 プロセスにおけるDI¹⁵⁰₁₅向上効果(現行プロセスとの比較)

Table 6 にSCOPE21 プロセスの標準条件(非微粘結炭50%配合, 炉温: 約1250°C)におけるDI¹⁵⁰₁₅向上効果の内訳を示す。

現行プロセスの前提は、湿炭装入(装入密度0.70t/m³)とした。現行プロセスのDI¹⁵⁰₁₅は、装入密度と膨張比容積の積¹⁰⁾を主要パラメータとしたDI¹⁵⁰₁₅推定式により推定した。この推定式によると、DI¹⁵⁰₁₅は82.3であった。

一方、SCOPE21 プロセスの標準条件でのDI¹⁵⁰₁₅の実績値は、Fig. 1 に示すように平均84.8であり、SCOPE21 プロセスによる全体のDI¹⁵⁰₁₅向上効果は+2.5ポイントと考えられる。

このうち急速加熱効果は、実験1および2の結果により+0.9ポイントと考えられる。装入密度上昇(従来0.70t/m³→SCOPE 0.74t/m³)によるDI¹⁵⁰₁₅向上効果は、推定式における装入密度とDI¹⁵⁰₁₅の関係から、+1.0ポイントと推定される。残りの+0.6ポイントは、石炭を粉碎強化したことによるコークス組織の均質化効果と推察される。SCOPE21パイロットプラントでは、気流加熱塔内での落炭防止のため、石炭を全量6mm以下に粉碎しており、現行プロセスよりも石炭粒度が細かい。この結果、コークス中の欠陥となる粗大なイナート組織が細かく分散し、DI¹⁵⁰₁₅が向上したと考えられる。

3.5 無煙炭添加がMSおよびDI¹⁵⁰₁₅に与える影響

3.5.1 小型乾留試験炉における事前検討結果

Fig. 8 に、実験3における(a) MS、および(b) DI¹⁵⁰₁₅を示す。無煙炭添加なしの条件3-1において、MSは38.5mmであった。一方、1mm以下の無煙炭を5%、ピッチを3%添加した条件3-2では、MSが5.6mm向上し、目標MSの43mm以上に到達した。またDI¹⁵⁰₁₅も条件3-1と同等に維持できることが分かった。即ち、SCOPE21を模擬した高速乾留条件において、無煙炭添加により目標MS 43mmが達成可能であること、またピッチ添加によって無煙炭添加によるDI¹⁵⁰₁₅の低下を抑制できることが判明した。

Table 6. Improvement of DI¹⁵⁰₁₅ of the SCOPE21 process.

		DI ¹⁵⁰ ₁₅
Conventional	DI ¹⁵⁰ ₁₅ of coke made from wet coal (Estimated value when bulk density is 0.70t/m ³)	82.3
SCOPE21	DI ¹⁵⁰ ₁₅ of coke made in the SCOPE21 pilot plant (Measured value; average value in 2nd step period)	84.8 (+2.5)
Details of improvement of DI ¹⁵⁰ ₁₅	Coking property improvement of coals by rapid preheating of coals (Preheated coal temperature 286°C→363°C)	+0.9
	Increase of bulk density of coal charge (0.70t/m ³ →0.74t/m ³)	+1.0
	Others (Homogenization effect of coke texture)	+0.6

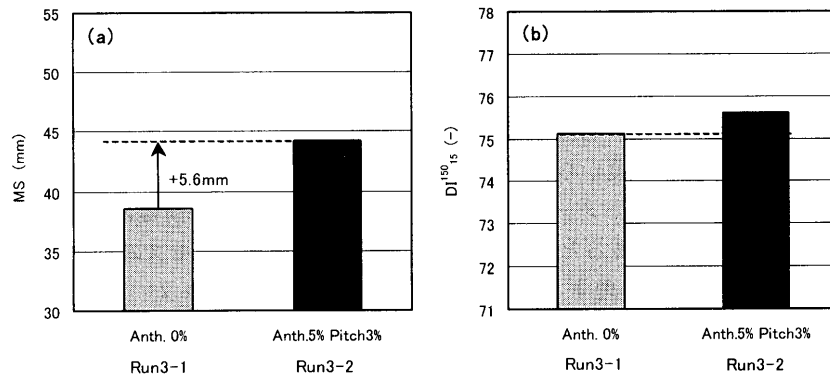


Fig. 8. Effect of anthracite and pitch addition on (a) coke mean size and (b) DI¹⁵⁰₁₅ (Test 3; Laboratory test).

3・5・2 SCOPE21パイロットプラントにおける結果

Fig. 9にSCOPE21パイロットプラント操業試験における乾留炉の炉温とMSの関係を示す。無煙炭添加なしの条件では、MSは炉温上昇とともに低下し、最高稼働率の炉温1250°CでMSは約38.5 mmであり、目標の43 mm以下であった。そこで、1 mm以下の無煙炭を5%添加すると、条件4-1ではMSが7 mm向上、条件4-2では5~6 mm向上、条件4-3では3~5 mm向上し、炉温1250°CでMSは43 mmに達した。以上の結果から、最高稼働率の炉温1250°Cにおいて、無煙炭5%添加により目標MS 43 mmのコークスを製造可能であることが判明した。

DI¹⁵⁰₁₅は、Fig.10に示すように、非微粘結炭を50%配合した条件4-2では、DI¹⁵⁰₁₅が約82まで低下したが、粘結炭の使用比率を増加させた条件4-3では、MSを向上させつつ、DI¹⁵⁰₁₅を84以上に維持できることが分かった。

3・5・3 無煙炭添加によるMS向上理由

Fig.11(a), (b)に、パイロットプラントで約1200°Cの炉温で乾留した無煙炭添加なしコークス、および無煙炭添加コークスのX線CT写真を示す。無煙炭添加コークスの方が、明らかにコークス塊内部のcmオーダーの大亀裂が減少していることが分かる。この理由について、以下のように推察した。

再固化後のセミコークスは、水素などを発生して収縮していくが、生成したセミコークス層内に温度勾配が存在するために、セミコークス層内の収縮率は不均一になり、熱応力が発生する。MSを支配するコークス塊内部のcmオーダーの大亀裂は、この熱応力により生成する。

Fig.12にSCOPE21パイロットプラントで製造した無煙炭添加コークスの顕微鏡写真を示す。この写真から、無煙炭粒子周囲に放射状に微小亀裂が発生すること、無煙炭粒子と周囲の組織との間に空隙が生じていることが分かる。こうした微小亀裂や空隙は、無煙炭粒子の収縮率が周囲の組織に比べ小さく、両者の収縮率差により熱応力が発生するため、生成すると考えられ。

MSを支配するcmオーダーの大亀裂の減少は、無煙炭周囲の微小亀裂や空隙の発生により、セミコークス層全体と

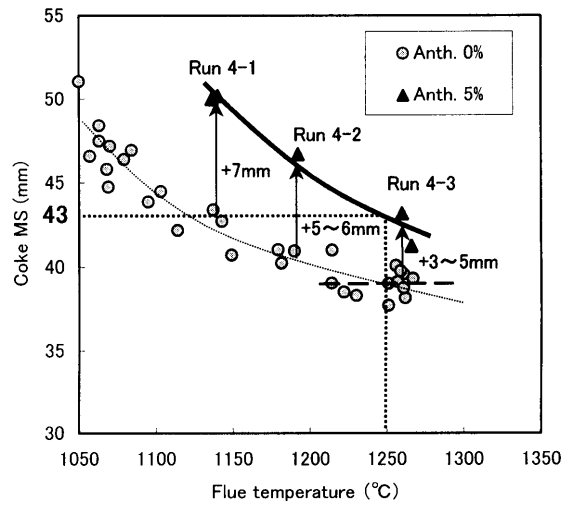


Fig. 9. Relation between flue temperature and coke mean size.

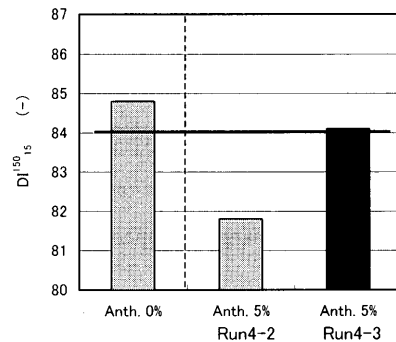


Fig. 10. Effect of anthracite addition on DI¹⁵⁰₁₅ (Test 4).

しての収縮率が見かけ上低下し、その結果セミコークス層内に発生する熱応力が低下したために、引き起こされたものと考えられる。

無煙炭周囲の微小亀裂や空隙は、コークスが衝撃を受けた際の粉化の起点となるためDI¹⁵⁰₁₅を低下させるが、粘結炭使用比率の増加(条件4-3)により、MSの向上とともにDI¹⁵⁰₁₅の低下を抑制できる。この理由は、粘結炭使用比率の増加によっても無煙炭周囲の微小亀裂や空隙自体は減少せず、それ以外の部分での粒子同士の接着性が改善し全体

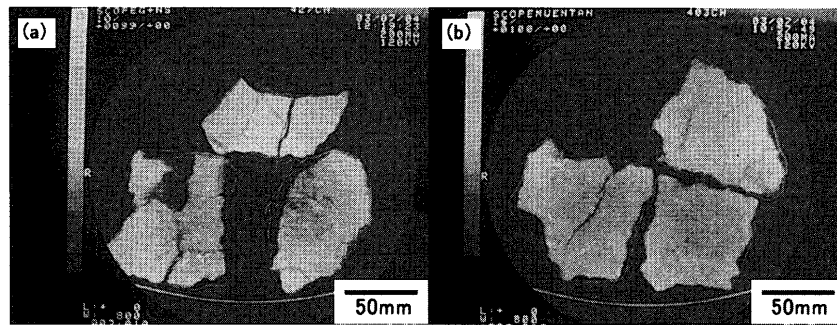


Fig. 11. X-ray CT images of (a) no anthracite addition coke, (b) anthracite addition coke made in the SCOPE21 pilot plant.

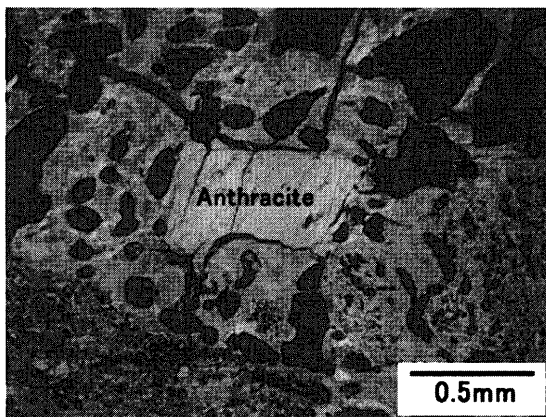


Fig. 12. Photographs of anthracite addition coke made in the SCOPE21 pilot plant.

の強度を担保しているためと考えられる。

無煙炭添加による DI^{150}_{15} の低下の抑制案としては、粘結炭使用比率の増加以外にも、ピッチの添加が考えられる。今回、パイロットプラントでは、無煙炭とピッチの同時添加実験を実施していないが、実験3の事前検討の結果から、ピッチ添加により無煙炭添加による DI^{150}_{15} の低下が抑制できることを確認している。よって、実機規模のパイロットプラントにおいても、最高稼働率の炉温 1250°C 、非微粘結炭50%使用時においても、無煙炭及びピッチ添加によって、MSは43mm、 DI^{150}_{15} は84以上のコークスが製造可能と推察される。

4. 結言

実機規模のSCOPE21パイロットプラント操業試験の結果、以下の知見を得た。

(1) SCOPE21プロセスでは、非微粘結炭としてC炭を50%含む配合炭を使用した条件で、現行プロセスに比べて DI^{150}_{15} が2.5ポイント向上し、目標 DI^{150}_{15} の84以上のコークスの製造が可能である。

(2) DI^{150}_{15} 向上の内訳は、石炭急速加熱効果が+0.9ポイント、嵩密度向上効果が+1.0ポイント、その他（コークス組織の均質化効果）が+0.6ポイントである。

(3) SCOPE21プロセスの最高稼働率の炉温 1250°C において、無煙炭添加によりMSは3~5mm向上し、目標MSの43mmのコークスの製造が可能である。

本研究は石炭生産・利用技術振興費補助金の石炭燃焼技術開発（石炭高度転換コークス製造技術）に係る研究の一環として実施されたものであり、ここに関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- 1) K.Nishioka: *Tetsu-to-Hagané*, **82** (1996), 353.
- 2) H.Nakai, M.Sasaki, M.Matsuura, K.Nishioka, I.Sugiyama and S.Suyama: 3rd Int. Conf. on Science and Technology of Ironmaking, Steel Institute VDEh, Düsseldorf, (2003), 550.
- 3) K.Saito, M.Hatakeyama, M.Matsuura, K.Kato and I.Komaki: *Tetsu-to-Hagané*, **85** (1999), 195.
- 4) K.Saito, I.Komaki and K.Kato: *Tetsu-to-Hagané*, **86** (2000), 79.
- 5) I.Komaki, M.Matsuura, K.Kato and K.Saito: *CAMP-ISIJ*, **11** (1998), 666.
- 6) M.Matsuura, M.Sasaki, K.Saito, K.Kato and I.Komaki: *Tetsu-to-Hagané*, **89** (2003), 565.
- 7) M.Matsuura, M.Sasaki, K.Kato and Y.Nakashima: *Tetsu-to-Hagané*, to be published.
- 8) M.Yokomizo, M.Fukunaga, Y.Nakagawa and T.Iguchi: Proc. 6th Int. Iron and Steel Cong., ISIJ, Tokyo, (1990), 274.
- 9) R.Loison, P.Foch and A.Boyer: *Coke*, Butterworth, London, (1989), 155.
- 10) S.Nomura, T.Arima, K.Kato, M.Nakano and M.Naito: 3rd Int. Conf. on Science and Technology of Ironmaking, Steel Institute VDEh, Düsseldorf, (2003), 609.