

焼結鉱品質改善と装入物分布調整による 高微粉炭比操業

一田 守政*・松崎 眞六*・田中 毅*²・小泉 文夫*²

High Rate PCI Operation by Sinter Quality Improvement and Burden Distribution Adjustment

Morimasa ICHIDA, Shinroku MATSUZAKI, Tsuyoshi TANAKA and Fumio KOIZUMI

Synopsis : Since the beginning of 1998 the high PC injection and low FR operation is realized under high productivity (about 2.2 t/d/m³) and without decrease of Al₂O₃ in sinter in Muroran No. 2 blast furnace. By sinter quality improvement and burden distribution adjustment by new-type charging chute, inverse v-shape cohesive zone is formed under high O/C (more than 5), and gas flow stabilization and improvement of gas permeability and packing characteristic of dead man are observed. One of main tasks from now on is clarifying phenomena of reaction and assimilation between ash from pulverized coal and dripping slag under cohesive zone and its control.

Key words: high PC injection operation; high productivity; sinter quality; new-type chute; charging pattern adjustment; gas flow centralization; inverse v-shape cohesive zone; permeability; dead man; PC ash; dripping slag.

1. 緒言

高微粉炭比(PCR)操業技術は、短期的には一般炭使用量増による溶銑コスト低減、長期的にはコークス比低減によるコークス炉長寿命化に関連する、製銑部門での最重要課題のひとつである。

93年の君津3高炉の高PCR操業¹⁾以降、日本国内のいくつかの高炉で、原燃料条件の改善(例えば、Al₂O₃の低下による焼結鉱被還元性改善、コークスDI上昇ほか)により、高PCR比操業²⁻⁴⁾が達成されている。しかし、溶銑コスト低減の観点からは、通常原燃料使用条件かつ高出銑比条件下で高PCR・低燃料比(FR)操業を達成することが必要である。

85年7月中旬に火入れし10年以上を経過している北海製鉄室蘭2高炉(今後は室蘭2高炉と呼ぶ)では、1998年初より、焼結鉱Al₂O₃を低下させることなく、焼結鉱品質改善と装入物分布制御を中心とした種々の対策の実施により、高出銑比(稼働時で2.2 t/d/m³前後)条件下での高PCR・低FR操業を達成した。その主要な対策、実炉内評価と今後の課題について報告する。

2. 高出銑比・高PCR操業の課題と対策

高出銑比高PCR操業下での課題と対策の考え方をFig. 1に示す。炉上部では高O/C、実ガス流速上昇に起因した通気性悪化が予想される。炉下部ではさらに降下速度上昇の影響が加わり、フラッキング現象の局所的増大、局所的

熱流比上昇による融着帯垂れ下がり、生鉱下りや付着物形成、コークスへのメタル・スラッグのアタック増大等の諸現象に起因した通気性・通液性悪化が顕在化する。

上記現象を回避するために、逆V型融着帯形成によるガス流安定化、生鉱下り抑制を指向した。炉上部での通気対策として、O₂増による熱流比低下抑制、新型シュート⁵⁾による中心流の強化を実施した。炉下部での通気性対策として、鉱石層薄層化、低SiO₂・低MgOによる焼結鉱の高温性状・強度の改善^{6,7)}を実施した。

190 kg/t前後の高PCR時の空気比が0.80台であり燃焼性には問題がない⁸⁾と判断し、微粉炭吹込みランスは従来のシングルランスとした。

2.1 炉上部での通気性改善対策

室蘭2高炉では、1996年10月の休風日以降、装入物の水平方向の速度ベクトルと落下幅を制御する目的で、シュート先端にプレートを設置した新型シュート⁵⁾を導入した。新型シュート先端から落下する装入物の水平方向速度成分が従来シュートに比べて小さくなり、装入物の落下軌跡は垂直落下の重力流に近づく。このため、炉内側への装入物の流れ込みがスムーズになり、粒度偏析が助長され中心部の装入物の粒径が上昇する(Fig. 2)。さらに、装入物の炉壁方向への横滑りが抑制されるため、従来型シュートに比べて、装入物の堆積角が炉内側と炉壁側でほぼ同じになると同時に落下位置の変化による装入物傾斜角の変化が小さくなる(Fig. 3)。新型シュートでは、従来型シュートに比べて、鉱石とコークスの装入平均位置の関係を指標化した(1)式に示す α/β と周辺部相対O/Cの対応性がよくとれ

平成12年8月15日受付 平成12年11月7日受理 (Received on Aug. 15, 2000; Accepted on Nov. 7, 2000)

* 新日本製鐵(株)鉄鋼研究所(Steel Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futsu 293-8511)

* 2 北海製鐵(株)製造部(Production Div., Hokkai Iron & Coke Corp.)

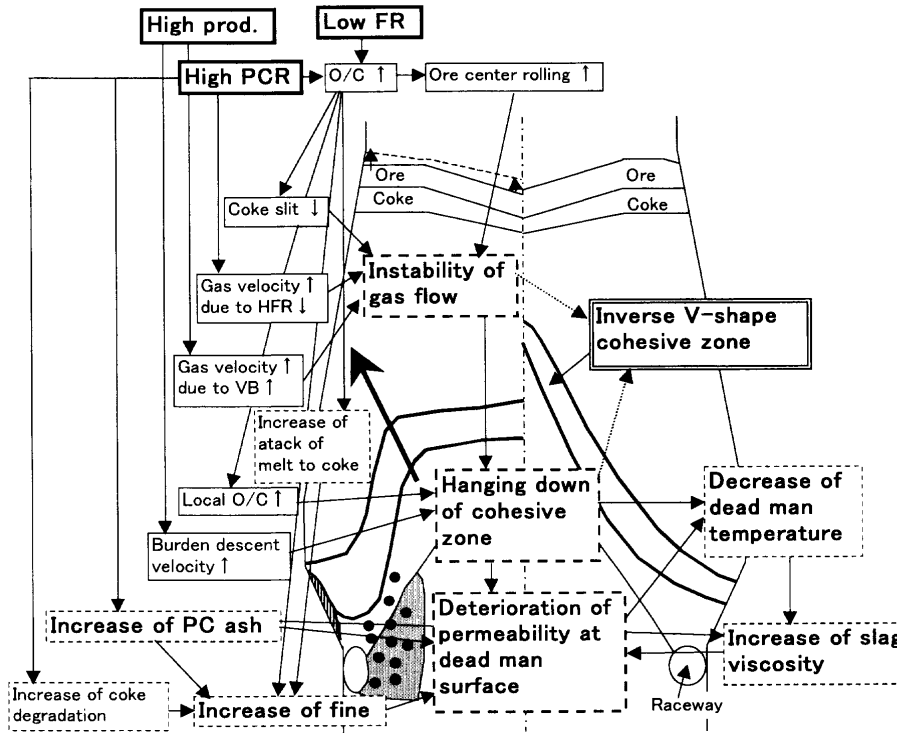


Fig. 1. Problems under high PCR and high productivity operation.

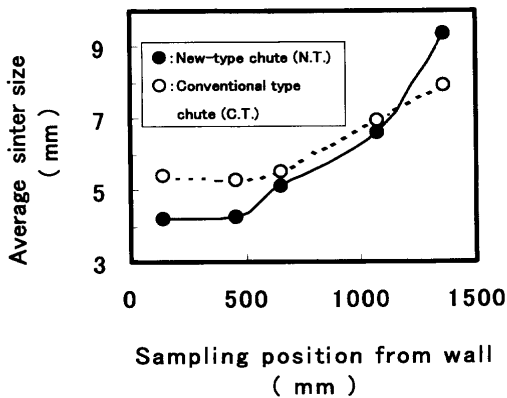


Fig. 2. Particle size distribution of sinter in 1/3 scale charging model.

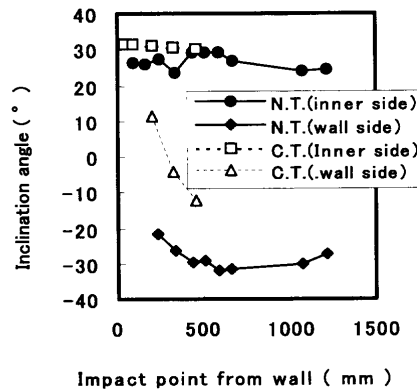


Fig. 3. Relation between impact point and inclination angle in 1/3 scale charging model.

ており(Fig. 4), 周辺部の分布制御性が良好である。

$$\alpha/\beta = \sum (\theta_{\text{coke}_i} \times (N_{\text{coke}_i}) / (\theta_{\text{ore}_i} \times (N_{\text{ore}_i})) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

- (N_{coke_i}) : コークス装入時のある傾動角での回転数(rpm)
- (N_{ore_i}) : 鉱石装入時のある傾動角での回転数(rpm)
- (θ_{coke_i}) : コークス装入時のある傾動角に対応したノッチ番号
- (θ_{ore_i}) : 鉱石装入時のある傾動角に対応したノッチ番号
- i : シュートの旋回番号

O/Cが5以上の高O/Cでは、鉱石の中心部への流れ込みによる中心流抑制現象が予想される。本現象を回避するために、新型シュートを用いて粒度偏析を助長すると同時に、装入パターンの調整による鉱石流れ込みの抑制を試みた。

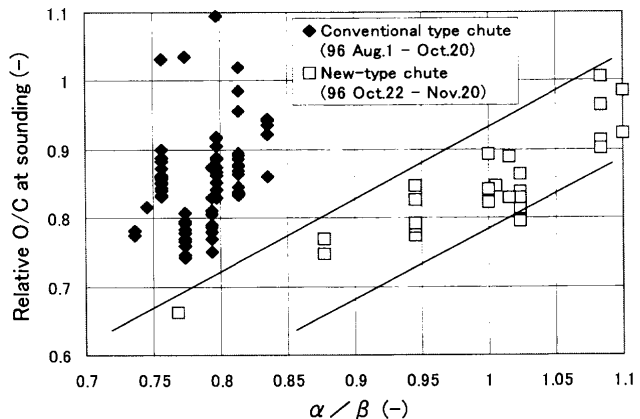


Fig. 4. Relation between α/β and relative O/C near wall in Muroran No. 2 BF.

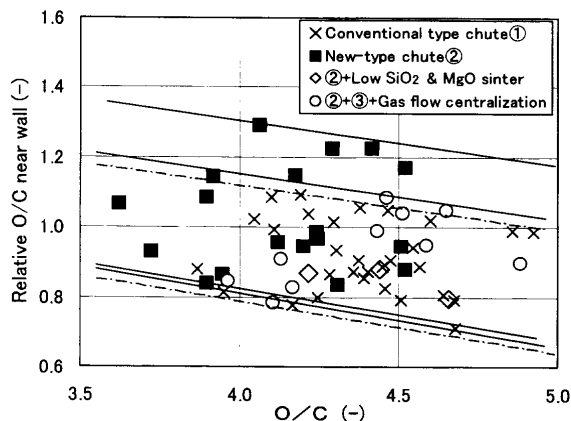


Fig. 5. Relation between O/C and relative O/C near wall in Muroran No. 2 BF (94 Apr.-99 Apr. monthly data).

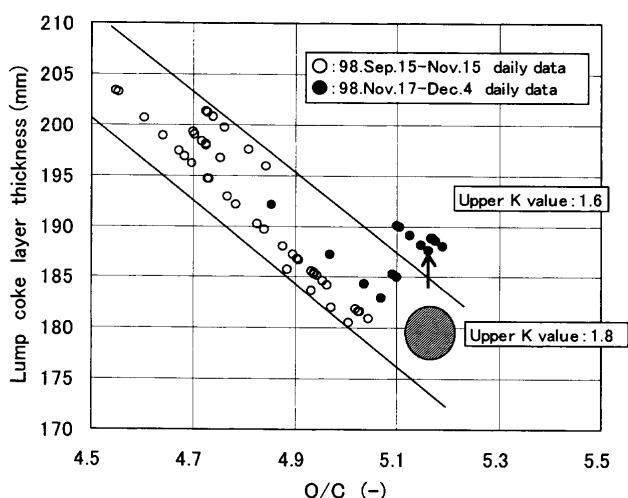


Fig. 6. Relation between O/C, coke layer thickness at belly in Muroran No. 2 BF.

一方、局所的熱流比上昇による生鉱下りや付着物形成を抑制するためには、高O/Cに起因したO/Cの局所的増大を回避する必要があり、炉壁近傍を含む周辺部のO/Cを過大にしないことが重要である。室蘭2高炉では、PCR上昇によるO/C増加の過程で装入O/Cで規格化した周辺部（サウンディング位置）の相対O/Cが1.0前後と新型シュート導入期に比べて低い値になる(Fig. 5)ように装入パターンの調整を実施した。

2.2 炉下部での通気性・還元性改善対策

オフラインモデル実験では、高O/C時の鉱石層厚に関して下記の知見が得られている。ひとつは、鉱石層厚低下による炉下部通気性、還元性の改善効果⁹⁾である。もうひとつは、PCR上昇に伴うO/C増加方法として、オアベース(OB)一定でコークスペース(CB)を低下させる場合の炉下部圧力損失上昇幅がCB一定でOBを上昇させる場合に比べて大幅に小さいこと¹⁰⁾である。

上記知見に基づき、室蘭2高炉では、PCR上昇に伴うO/C増加に対して、基本的にはOB一定でCBの低下により対応した(Fig. 6)。しかし、炉腹相当塊コークス層厚を

180mmのレベルまで低下させた時点で上部K値（炉頂～ステープS1間）の上昇が見られ、塊コークス層厚を190mmのレベルまで上昇させた結果、上部K値が1.8から1.6に低下した(Fig. 6)。これは、190mm前後の塊コークス層厚が融着帯の通気を保証する下限値に近いことを示唆している。

Fig. 1に示したように、炉下部では、高出鉄比に伴う炉下部での降下速度上昇と高PCRに伴う高O/Cに起因した還元遅れ・融着帯根部垂れ下がり現象が発生する。本現象と炉上部でのガス流・荷下がり不安定化により生鉱下りが助長され、炉下部での通気性・通液性の悪化や炉芯温度の低下が予想される。そこで、焼結鉱Al₂O₃レベルは1.85～1.90%の範囲で一定に維持した条件で、焼結鉱の低SiO₂・低MgO化による高温性状の改善^{6,7)}と低MgO化による冷間強度の向上⁷⁾をはかった。

具体的には、98年4月に焼結鉱へのジュナイト(SiO₂=42.1 wt%, MgO=47.8 wt%)カット(0.7%→0%)、8月中旬にNiスラグ低減(1.4%→1.0%)による焼結鉱の低SiO₂・低MgO化を実施し、焼結鉱中SiO₂を5.5 wt%から5.1 wt%、MgOを1.2%から1.0%に低減した。1月上旬のベース期間に比べてRIが0.6～2.2の範囲、冷間強度(TI)が0.4～1.1の範囲で上昇し、S値が1.2～1.9の範囲で低下した。SiO₂低下にもかかわらず冷間強度(TI)が改善されているのは、MgO低下に伴う融点低下により融液量が増加したためと推定される。一方、焼結鉱の低SiO₂・低MgO化により還元粉化性(RDI)は33%から40%レベルまで上昇したが、シャフト部ガス流変動の顕在化はなかった。コークスに関しては、DI, CSRともに目標値を変更しなかった。スラグ比(SV)は、スラグ成分調整(Al₂O₃, MgO)のため炉頂から塊ジュナイトを装入して310 kg/t前後とした。

3. 実炉操業試験結果と炉内評価

室蘭2高炉の代表的な各期間の主要操業諸元の実績をTable 1に示す。PCRレベルは、4月の焼結鉱の低SiO₂化・低MgO化とほぼ同時期から上昇し始め、5月には月間平均で170 kg/t弱に到達した。そして、11月下旬には176 kg/t、12月上旬には190 kg/t弱に到達し、12月には月間平均で182.3 kg/tを達成した。

出鉄比は休風前後を除くとほぼ2.2 t/d/m³で推移した。酸素富化率は、微粉炭燃焼の維持と炉下部への伝熱を考慮したTf下限値2100°Cを維持できる最低限の富化率とした。空気比は燃料比の低下もあり、12月上旬には0.80台まで低下した。

4月の焼結鉱品質の改善と6月下旬の鉱石流れ込み抑制を指向した装入パターン調整を実施した前後のシャフト上部ゾンの測定結果をFig. 7に示す。上記対策実施後の11月下旬の期間には、PCR上昇に伴う高O/C条件下でも、

Table 1. Operation results in Muroran No. 2 BF (98 Jan.–Dec.).

	1998					
	Jan.1-10	May	July21-31	Nov.21-30	Dec.1-10	Dec.
Productivity (t/d/m ³)	2.15	2.15	2.19	2.23	2.16	2.17
Fuel rate (kg/t)	522.2	511.9	505.9	496.8	509.6	511.8
PCR (kg/t)	144.8	169.8	164.1	176.2	189.3	182.3
O/C (-)	4.27	4.70	4.75	5.04	5.07	4.97
Vb (Nm ³ /min)	3669	3745	3716	3610	3685	3514
OB (t/ch)	56.0	56.0	56.0	56.3	57.3	56.8
CB (t/ch)	13.1	11.9	11.8	11.2	11.2	11.4
O ₂ -enrichment (%)	2.44	2.47	2.92	2.55	2.03	2.37
Air ratio (-)	1.10	0.99	1.03	0.89	0.85	0.91
Tf (°C)	2176	2145	2135	2128	2095	2122
η_{CO} (%)	50.2	49.8	50.3	50.4	49.3	49.6
SLC (kg/t)	91.7	90.0	85.1	88.6	89.4	87.9
Total K-value (G/cm ²)/(Nm ³ /min) ^{1.7}	3.88	4.06	4.17	3.93	4.00	4.00
Slag volume (kg/t)	298	307	312	306	308	309
Slag Al ₂ O ₃ (%)	15.14	15.57	15.31	15.77	15.83	15.88
Heat flux at hearth(kcal/h/m ²)	1222	935	1081	2809	2193	2120
Sinter SiO ₂ (%)	5.52	5.24	5.30	5.11	5.11	5.10
Sinter MgO (%)	1.22	0.95	1.03	1.02	0.96	0.99
Sinter Al ₂ O ₃ (%)	1.85	1.87	1.88	1.88	1.91	1.90
Sinter RI (%)	65.6	66.8	67.8	64.6	66.2	66.6
Sinter S-value (kgf·min/cm)	8.30	6.95	6.44	-	7.07	-
Sinter RDI (%)	33.7	37.5	39.1	40.0	40.1	38.8
Sinter TI (%)	73.9	75.0	73.8	74.3	74.3	74.7

▽: Low-SiO₂ & MgO sinter. ▼: Gas flow centralization based on charging pattern adjustment

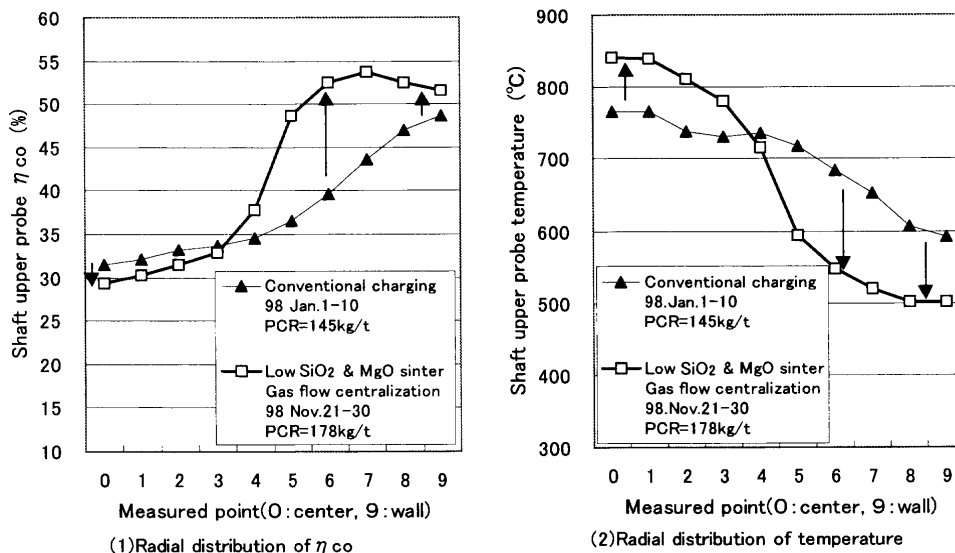


Fig. 7. Relation between PCR and gas utilization, temperature in Muroran No. 2 BF.

シャフト上部ゾンデの中心部 η_{CO} の低下と温度の上昇が認められ、中心流が強化されている。この中心流の強化と中間部 η_{CO} の大幅上昇と中間部温度の低下から、逆V型の融着帯が形成されていることが予想される。Fig. 8に示すように、2次元高炉トータルモデルによる推定結果は幅の狭い逆V型の融着帯を示している。この幅の狭い逆V型の融着帯形成により、ガス流が安定化して生鉱下りの頻度が減少し、ソリューションロスカーボン量が低下した(Table 1)ものと推定される。

PCRとK値の関係をFig. 9に示す。炉下部、炉上部ともに同一O/CでのK値は大幅に低下した。まず従来型シュートから新型シュートへの切替によりK値は低下した。さらに焼結鉱低SiO₂・低MgO化および鉱石流れ込み抑制法の適用により大幅に低下した。上記の3つの対策実施による

K値の低下幅は炉下部で大きい。炉上部では、逆V型融着帯形成に伴うガス流安定化の効果が大きい。炉下部では、焼結鉱低SiO₂・低MgO化による高温性状・強度改善効果に加えて、生鉱下り頻度減少による炉芯表層部(羽口先端から1.5m~3mの領域)の炉芯充填構造改善効果(粉率(-3mm)低下、メタル・スラグホールドアップ比率低下(Fig.10))が大きい。

4. 考察

今回のようなO/Cが5以上となるような高出鉄比高PCR操業下では、炉下部でのフラッキング現象の局所的増大、局所的熱流比上昇による融着帯垂れ下がり、生鉱下りや付着物形成、コークスへのメタル・スラグのアタック増大等

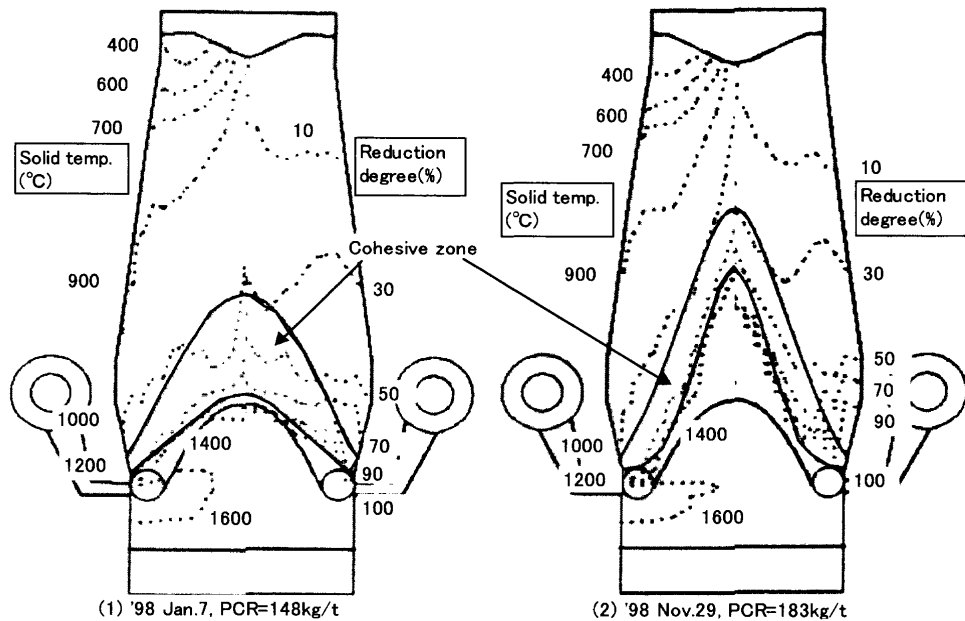


Fig. 8. Estimation of cohesive zone by BRIGHT model.

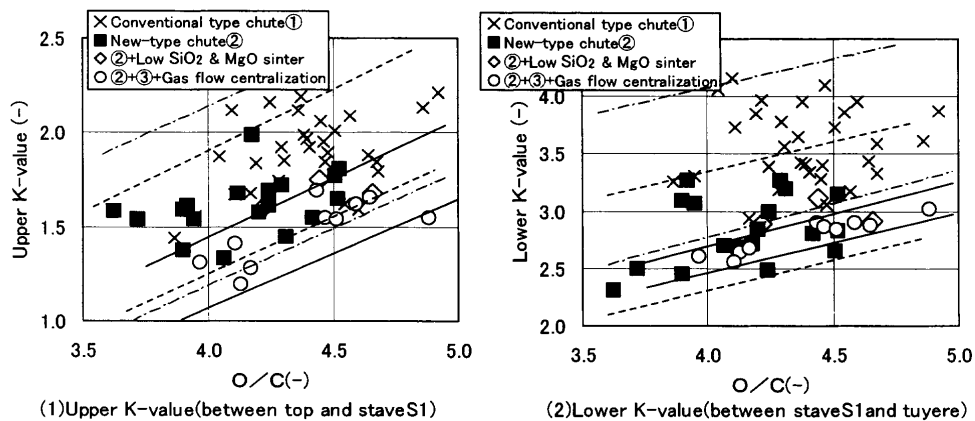


Fig. 9. Relation between O/C and K-value in Muroran No. 2 BF (94 Apr.-99 Apr. monthly data).

の諸現象が顕在化することが予想された。しかし、休風時の羽口サンプルの解析結果では、炉芯表層部（羽口先端から1.5m~3mの領域）の粉率(-3mm)、メタル・スラグホールドアップ比率が低下し、炉芯充填構造が改善されている。しかし、今回の炉芯充填構造が長期的な高出銑高PCR安定操業を可能にする保証はない。そこで、休風時の羽口サンプル中のホールドアップと粉を詳細に解析して、今回の高PCR時の炉下部充填構造を評価し、長期的な高出銑比高PCR安定操業の可能性を考察した。

4.1 未熔融ホールドアップの組織に着目した高PCR時の炉下部充填構造評価

羽口サンプルの分類方法をFig.11に示す。羽口サンプルを3mmで篩いにかけて、+3mmから塊コークスを除いたものをホールドアップ(HU)とし、-3mmを粉とした。ホールドアップについては、その形状から、粒状ホールドアップ (granular HU: メタル、スラグ) と不定形ホールドアップ (Indefinite shape HU)に分類した。さらに不定形ホールド

アップについては、熔融したことがわかる不定形ホールドアップと焼結鉱の原形をとどめた未熔融ホールドアップ (Incompletely melted HU)に分類した。ここでは、ガス流の安定性や生鉱下りと関連性が強く、過去の知見¹¹⁾より融着帯と同じものと推定される未熔融ホールドアップの還元状態に着目した。

4.1.1 未熔融ホールドアップ組織に基づく炉下部還元状態

焼結鉱品質の改善と鉱石流れ込み抑制型装入パターン実施前後の未熔融ホールドアップの顕微鏡による断面観察結果をFig.12に示す。

いずれの粒子もよく還元されており酸化鉄はほとんど認められなかったが、金属鉄の形態は各サンプル、各粒子により異なっていた。そこで、金属鉄の形態をTable 2に示すように4つに分類し、未熔融ホールドアップ各粒子の金属鉄の状態により両方の期間の炉下部還元状態を評価した。Table 2の分類に基づき、羽口先端から2m近傍で採取

された未熔融ホールドアップの金属鉄形態に着目して分類した結果を Fig.13 に示す。焼結鉱品質の改善と鉱石流れ込み抑制型装入パターン実施後の操業期間の休風時(Dec. 14)には、上記対策実施前の操業期間の休風時(Feb. 12)に比べて、高 PCR (190 kg/t)・高 O/C (5.0) にもかかわらず、固相還元状態で凝集がほとんど進行していないタイプ A の比率

が大幅に低下し、凝集・分離が進行したタイプ D の比率が大幅に上昇している。焼結鉱品質の改善と鉱石流れ込み抑制型装入パターン実施後の操業期間の休風時(Dec. 14)には焼結鉱の還元状態が良好であったため、凝集・分離が進行して滴下直前の未熔融ホールドアップが多い。このため、羽口先端から 2m 近傍の炉芯表層部の未熔融ホールドアップ比率が少なかったものと推定される。

この炉下部での良好な還元状態は、4 月以降の焼結鉱品質改善 (TI 上昇, RI 上昇) と 6 月下旬の鉱石流れ込み抑制型装入パターンによる中心流強化 (Fig. 7) が通気性を改善し (Fig. 9) ガス流を安定化させた結果であると推定される。

4.1.2 未熔融ホールドアップのスラグ組成に基づくスラグの同化状態

Fig.12 に示す羽口先端から 2m 近傍で採取された未熔融ホールドアップ (Feb. 12: PCR=157 kg/t, Dec. 14: PCR=190 kg/t) について、代表的スラグの組成を EPMA の点分析により測定した。測定値より求めた塩基度分布 (CaO/SiO₂) を Fig.14 に示す。ここで、電子線のビーム径は通常 5 μm とし、細かい鉱物相の場合には 1 μm とした。定量化にあたっては、CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃, MgO の標準物質を用いた。

焼結鉱品質の改善と鉱石流れ込み抑制型装入パターン実施前後での未熔融ホールドアップ中スラグ組成に大きい差違はなかった。CaO/SiO₂ のほとんどは 1.2~2.3 の範囲にあ

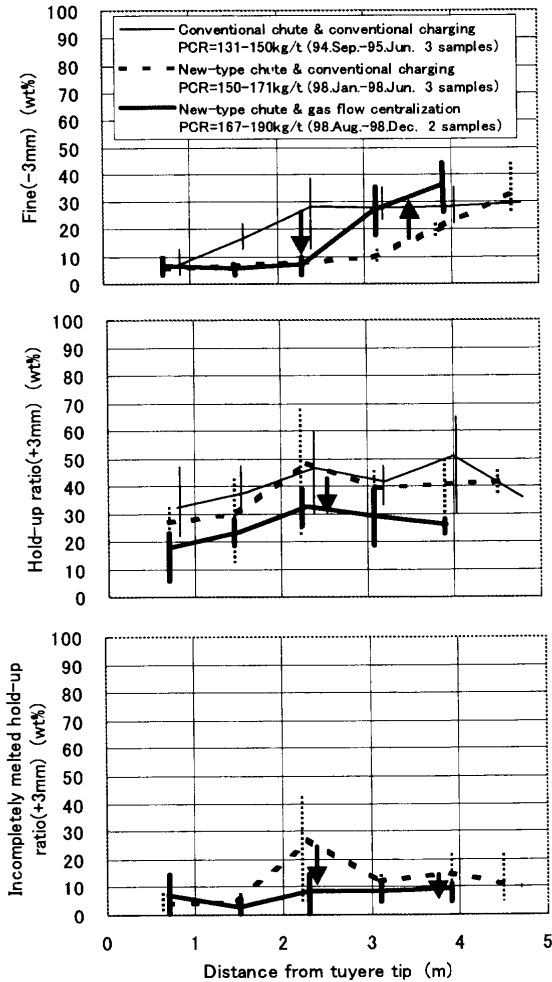


Fig. 10. Relation between chute type, burden distribution and packing characteristic of dead man.

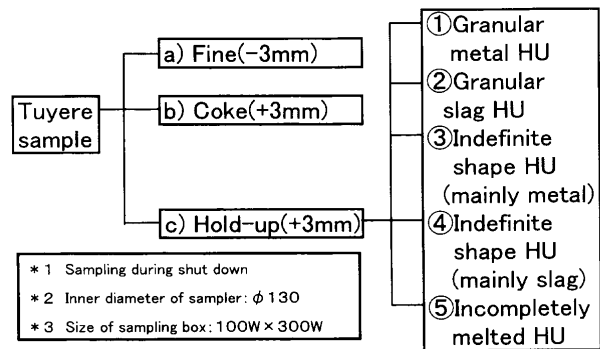


Fig. 11. Classification of tuyere sample.

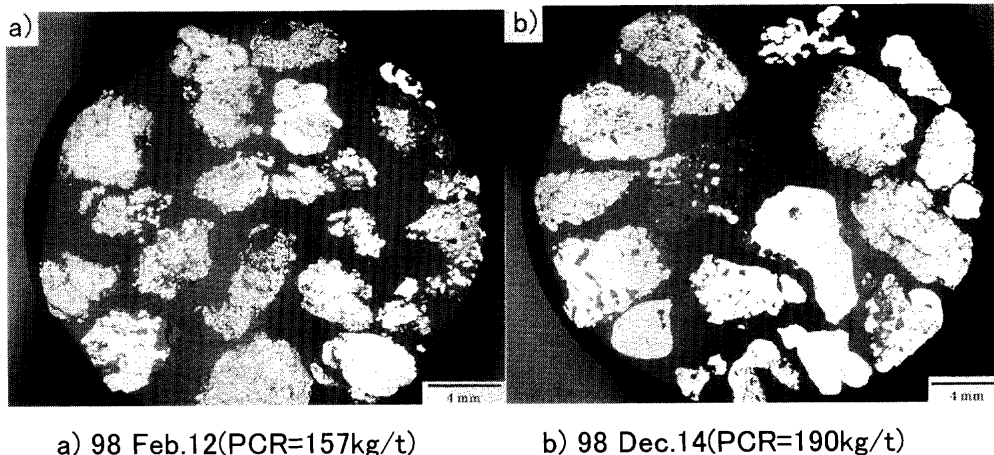


Fig. 12. Micro-structure of incompletely melted hold-up sampled at 2.3 m from tuyere tip in Muroran No. 2 BF.

Table 2. Classification of metallic iron in completely melted HU.

Type	State of carburization and coalescence
A	Reduction at solid phase
B	Reduction at solid phase, partially carburization and coalescence
C	Coalescence but insufficient separation
D	Coalescence and separation, just before dripping

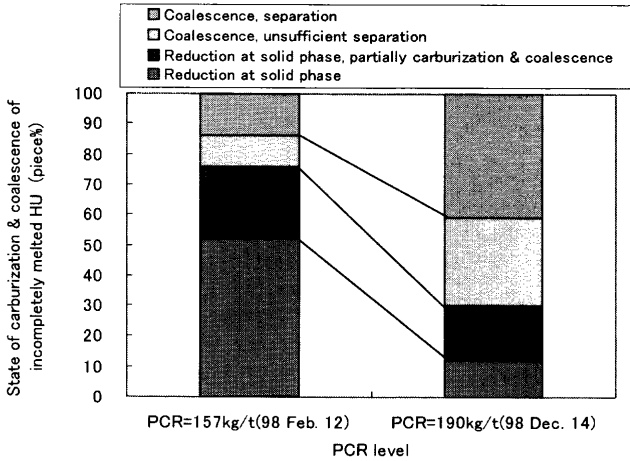


Fig. 13. State of carburization and coalescence of incompletely melted hold-up sampled at 2.3 m from tuyere tip in Muroran No. 2 BF.

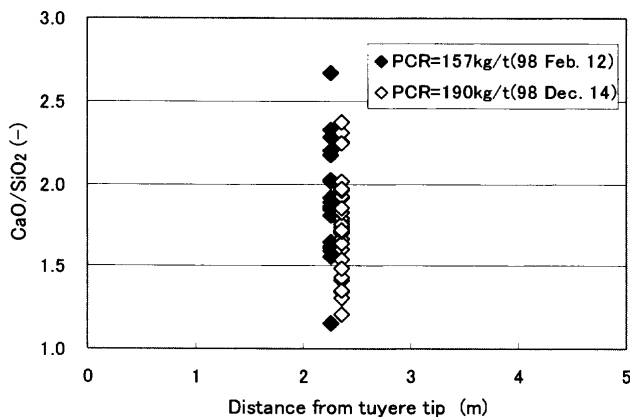
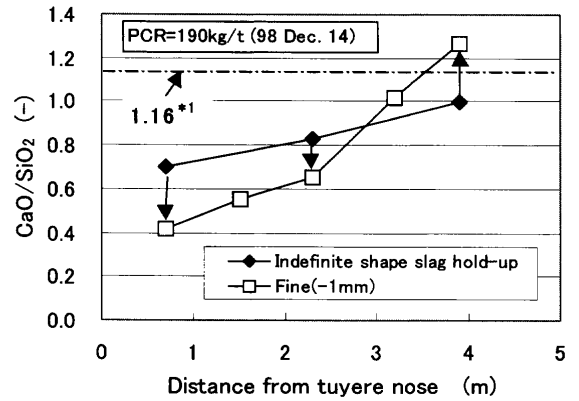


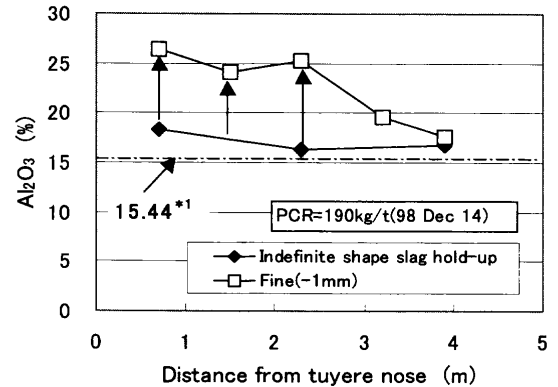
Fig. 14. CaO/SiO₂ distribution of incompletely melted hold-up measured by EPMA point analysis.

り、粒子により大きく異なっているが、多くの粒子では1.5以上であり最終スラグ組成からは大きく離れている。同一粒子で見ると粒子表層、金属鉄中気孔内などの分析箇所によるCaO/SiO₂の差は顕著ではない。またタイプD粒子の表層に押し出されたスラグでもCaO/SiO₂が1.6~1.7と比較的高い。スラグ組成からも未熔融ホールドアップが溶融・滴下に至っていないことがわかる。これは、未熔融ホールドアップがコークスおよび微粉炭からのAshとあまり反応していないためと推定される。焼結鉱品質の改善と鉍石流れ込み抑制型装入パターン実施後の操業期間の休風時(Dec. 14)の炉芯表層部(羽口先端から1.5~3mの領域)の未熔融ホールドアップ比率が低い要因のひとつには、通気性が改善された炉芯表層部へのガス流通量が確保されて上記Ashと未熔融ホールドアップ中のスラグとの反応・同



* 1: CaO/SiO₂ in slag during final tap before shut down

Fig. 15. Comparison of CaO/SiO₂ between fine (-1 mm) and indefinite shape slag HU.



* 1: Al₂O₃ in slag during final tap before shut down

Fig. 16. Comparison of Al₂O₃ between fine (-1 mm) and indefinite shape slag HU.

化が推進されていたことが考えられる。

4.2 粉の組織に着目した高PCR時の炉下部充填構造評価

80倍率での偏光顕微鏡の観察結果によると、-1mm粉には約30個数%のスラグと約20個数%のメタルが含まれている。高PCR(PCR=190kg/t)時(Dec. 14)の-1mm粉と不定形スラグホールドアップの塩基度(CaO/SiO₂)分布とAl₂O₃分布をFig.15, Fig.16に示す。-1mm粉中スラグでは、不定形スラグホールドアップに比べて、羽口先端から2mの範囲でCaO/SiO₂が0.3前後低く、Al₂O₃が7~9%高くなっている。この羽口先端から3mの範囲でのCaO/SiO₂低下およびAl₂O₃上昇は、微粉炭あるいはコークス由来のAsh粒子あるいはスラグ粒子がレースウェイ近傍あるいは上方に大量に存在することを示唆している。

-1mm粉粒子の組成をEPMAの線分析により測定した結果をFig.17に示す。まず-1mm粉の埋め込み樹脂に金蒸着しEPMAにより200倍の反射電子像を求めた。反射電子像で輝度の低いスラグと推定される粒子の組成についてCaCO₃, SiO₂, Al₂O₃, CaOSiO₂, NaAlSi₃O₈の標準物質を用いて定量化した。-1mm粉中スラグには、鉍石由来と推定さ

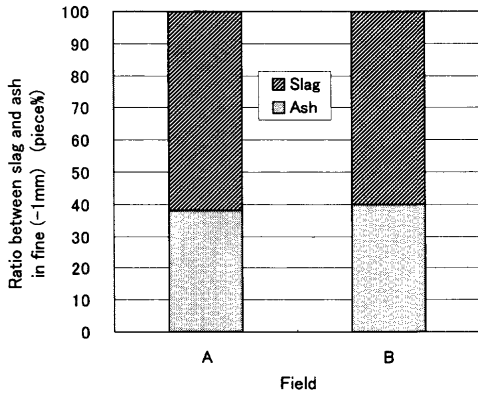


Fig. 17. Ratio between slag and ash in fine (-1 mm) (98 June 7, PCR=171 kg/t, 0.7 m from tuyere tip).

れる粒子が約60個数%、Ash由来と推定される粒子が約40個数%存在する。このAshが微粉炭由来のAshであると仮定した場合には、レースウェイ近傍あるいは上方には、微粉炭Ash由来の低CaO/SiO₂、高Al₂O₃の微粉スラグがかなり大量に存在することになる。この低CaO/SiO₂、高Al₂O₃の微粉スラグは高粘性のため、滴下スラグと反応せずにレースウェイ近傍に滞留、蓄積する場合にはレースウェイ周辺部の通気性や通液性を悪化させる可能性がある。

上記知見は、炉下部の充填構造に大きい影響を及ぼす粉を評価する場合には、従来の未燃焼チャーやコークス粉だけでなく、微粉炭由来のAshにも着目する必要があることを示唆している。高出銑比高PCR操業の長期安定操業技術を確認するためには、炉下部の充填構造を通気性・通液性の良好な状態に維持することが必要条件であり、融着帯以下での滴下スラグと微粉炭由来のAshとの反応・同化挙動の解明と制御が今後の主要課題のひとつと考えられる。

5. 結言

85年7月中旬に火入れし10年以上を経過している室蘭2

高炉では、1998年初より、焼結鉍Al₂O₃を低下させることなく、高出銑比(稼働時で2.2 t/d/m³前後)条件下での高PCR・低FR操業を達成した。

(1) 焼結鉍品質改善と分布制御性の良好な新型シュートによる鉍石流れ込み抑制型装入パターン調整により、5以上の高O/C条件下でも中心流が強化された逆V型融着帯が形成され、ガス流の安定化、通気性の大幅改善、炉下部充填構造の改善が認められた。

(2) 休風時の羽口サンプルの解析結果では、融着帯そのものである未熔融ホールドアップの金属鉄形態およびスラグ組成から、炉下部の還元状態が改善されていることが確認された。

(3) 高出銑比高PCR操業の長期安定操業技術を確認するためには、炉下部の充填構造を常に通気性・通液性の良好な状態に維持することが必要であり、融着帯以下での滴下スラグと微粉炭由来のAshとの反応・同化挙動の解明と制御が今後の主要課題のひとつである。

文 献

- 1) K.Kakiuchi, S.Matsunaga, A.Sakamoto, H.Matsuoka, H.Ueno and K.Yamaguchi: *CAMP-ISIJ*, **7** (1994), 126.
- 2) K.Mori, N.Takagaki, H.Inoue, H.Mitsufuji, S.Kishimoto and A.Sakai: *CAMP-ISIJ*, **8** (1995), 319.
- 3) M.Atsumi, H.Nakaya, S.Kitano, F.Yamagata, K.Shibata, T.Goto, R.Ono and T.Yawata: *CAMP-ISIJ*, **8** (1995), 321.
- 4) K.Nozaawa, G.Maki, K.Shibata, T.Goto, R.Hori and Y.Matsui: *CAMP-ISIJ*, **8** (1995), 833.
- 5) A.Matsui, K.Kakiuchi, K.Akagi, S.Matsusaki and H.Otsuka: Proc. 2nd Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking (ICSTI '98)/57th Ironmaking Conference Proceedings, ISS, PA, (1998), 333.
- 6) K.Yamaguchi, K.Higuchi, Y.Hosotani, T.Tanaka, T.Sato and F.Koizumi: *Tetsu-to-Hagané*, **85** (1999), 501.
- 7) F.Koizumi, T.Tanaka, S.Hirakawa, K.Yamaguchi, Y.Hosotani and K.Higuchi: *CAMP-ISIJ*, **12** (1999), 184.
- 8) K.Tamura, H.Ueno, K.Yamaguchi, M.Sugata, S.Amano and K.Yamaguchi: *Tetsu-to-Hagané*, **77** (1991), 775.
- 9) M.Naito, Y.Hosotani, K.Yamaguchi, M.Higuchi, Y.Inoue and T.Haga: *CAMP-ISIJ*, **9** (1996), 627.
- 10) M.Ichida, K.Yamaguchi, K.Tamura, M.Nakayama, A.Matsui and K.Kakiuchi: *CAMP-ISIJ*, **5** (1992), 104.
- 11) M.Ichida, Y.Hida and T.Uno: *CAMP-ISIJ*, **11** (1998), 826.