

# 討 7 鉍石特性を考慮した事前処理による焼結操作の改善

新日本製鐵(株) 製鉄研究センター ○肥田行博, 佐々木 稔, 下村泰人  
 広畑技術研究部 芳賀良一  
 堺製鉄所 香川正浩  
 釜石製鉄所 内藤文雄

## 1. 緒 言

焼結鉍の品質, 生産性からみた鉍石の選択基準はかなり明確になってきた。しかし, その選択の自由度は極めて小さい。長期的には微粉化と粘土系脈石の増加が予想され, 生産性, 品質におよぼす影響が懸念される。今後の焼結技術には, 鉍石資源変動に柔軟に対応して生産性, 強度を維持しつつ, 被還元性, 燃料原単位などの向上のできる必要がある。鉍石特性による擬似粒子構造の調整は, 重要な対策技術の一つになると考えられる。

## 2. 焼結反応からみた鉍石特性

### 2.1 擬似粒子中の核粒子の同化性

試薬調製の模擬鉍石を使って同化性支配因子を調べた結果を Fig. 1 に示す。同化率は(1)式の如く整理され, 第一に加熱後気孔割合( $\epsilon$ ), つぎに脈石の形態によって決まる。同図に, 性状の異なる代表的な鉍石 A (緻密質, 脈石は石英系), C (多孔質, 粘土系), D (含ゲーサイトの多孔質, 粘土系<sup>1)</sup>) の同化率を併記しておくが, 鉍石も(1)式で評価できる。

$$\text{同化率}(1250^\circ\text{C}, 2\text{min}) = 125 \cdot \epsilon^2 + 40 \cdot (\text{粘土}/8\%) \cdot \epsilon^2 - 120 \cdot (\text{石英}/6\%) \cdot (\epsilon - 0.03)^2 \dots (1)$$

上記鉍石 A, D の同化後の状況を Fig. 2 に示す。緻密質鉍石では気孔の少ない同化部を形成するのに比べ, 融液が気孔を通して鉍石試料内に侵入しやすいために, 多孔質鉍石ほど大きな気孔を有するスポンジ状となる。この現象から, 「焼結鉍気孔率は鉍石の気孔率で決定される」との報告例<sup>3)</sup>を説明できると考えられる。

### 2.2 擬似粒子中付着粉層の焼結反応性

焼結鉍の品質制御にとって, 昇温過程での針状 Ca-フェライト (CF) の生成と分解は最も重要な反応と考えられる。CF 生成過程の 1 例を Fig. 3 に示す。針状 CF (図中 Acicular と Needle) は約 1200°C で生成し始め, 1300°C 付近で分解, 熔融し, その後の冷却過程で柱状として晶出する。CF の生成は温度, CaO/SiO<sub>2</sub> のほかに鉍石によっても異なる。付着粉層をモデル化したダブルットの焼成結果の 1 例を Fig. 4 に示す。石英系の鉍石 A と粘土系鉍石 C では, 針状 CF 生成量, 分解温度などで約 50°C の差があり, 石英系の方が低温域で活発に生成する。

CF 生成過程の走査電頭像は固-液反応による針状 CF

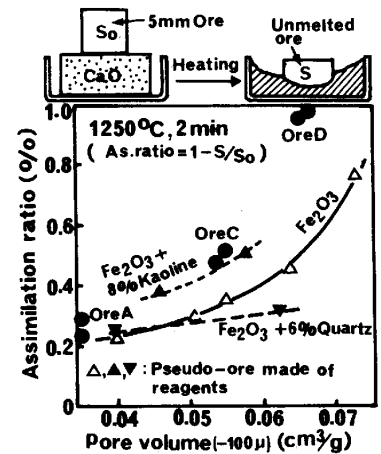


Fig. 1 Assimilation test result

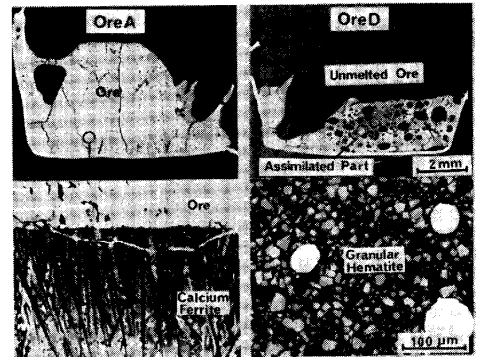
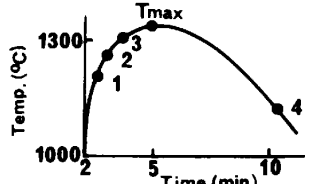
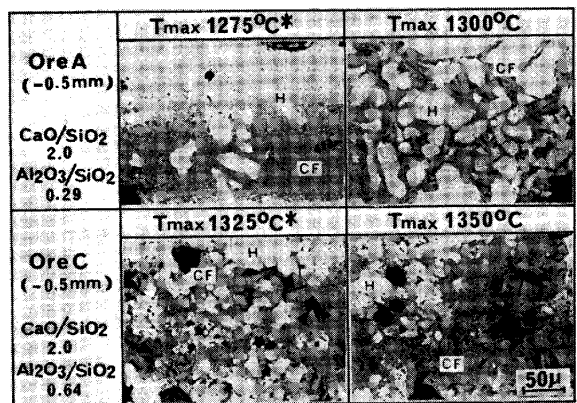


Fig. 2 Microstructure of sample after assimilation test<sup>2)</sup>



	Area ratio of calcium-ferrite			%
	Acicular	Needle	Columnar	
1	98.8	1.2	0	
2	58.7	39.7	1.6	
3	41.9	54.5	3.6	
4	0	5.5	94.5	

Fig. 3 Formation of Ca-ferrite during sintering



\* Just before the decomposition of Ca-ferrite

Fig. 4 Effect of iron ore properties on the formation of Ca-ferrite

の生成には、鉱石表面での融液保持が重要であることを示している<sup>4)</sup>。石英系鉱石は緻密質が特徴であり、その生成機構からも「石英系付着粉の場合は低温域で多量の針状CFを生成する」と評価できる。

### 3. 鉱石特性からみた望ましい擬似粒子構造

#### 3.1 省エネルギー下での望ましい焼結鉱の鉱物組織

針状CFおよび、多孔質残留元鉱は高炉内でも被還元性は優れ、さらに針状CF主体の組織は還元粉化の問題のないことが確認されている<sup>6)</sup>。また、ヘマタイトは低温部から、CFは高温部でよく還元されることも判ってきた<sup>7)</sup>。これらの還元状況を総合すると、省エネルギーに相応しい焼結鉱として、多孔質残留元鉱を針状CFで包んだものが考えられる<sup>2)</sup>。ここで、冷間強度は500μm以上の気孔量で決まるので、前述の如き多孔質鉱石の同化によって生成しやすい粗大気孔の少ないことも重要である。

#### 3.2 目標とすべき擬似粒子構造

上記の組織を得るには、擬似粒子構造の調整が基本となる。自由な鉱石銘柄選択と低温焼結を前提とすれば、先の鉱石特性と焼結反応の関係から、望ましい粒子としてFig.5の左図に示す二重構造粒子が導かれる<sup>2)</sup>。すな

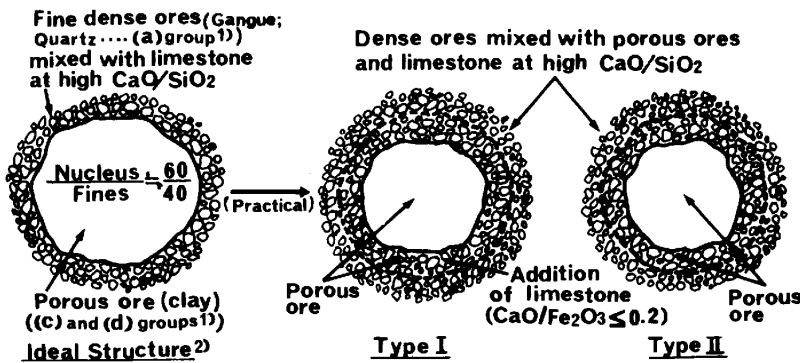


Fig.5 Intended structure of quasi-particle for the sintering at a low heat supply

わち、多孔質核粒子の周囲に石英系緻密質鉱石を高塩基度の状態で付着させたものであり、葛西らの2層ペレット型粒子に近い<sup>9)</sup>。また、生産性維持には、核/粉比を6/4程度とする必要がある<sup>10)</sup>。

しかし、現実の鉱石事情をみると、短期的には鉱石銘柄は固定されており、長期的には微粉化と粘土系多孔質鉱石の増加は避けられない。すな

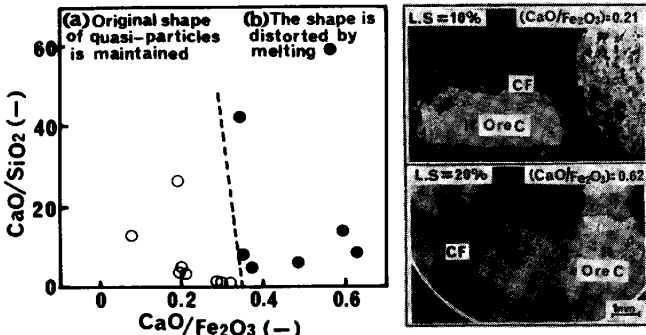


Fig.6 Relation between chemical composition of adhering fines and melting state (Tmax:1250°C)

わち、鉱石銘柄構成、核/粉比率からFig.5の理想的構造の形成は難しいと推察される。それにより近づけるには、同図に併記したような多層化しかないように思われる。

多層擬似粒子の焼結挙動はCaOの存在状態によって大きく変わる。二重構造粒子(多孔質鉱石核/粉=6/4)で付着粉中の石灰石量を増すとそれに伴ってCF量は増加し、擬似粒子全体の被還元性は向上した<sup>11)</sup>。ここで、付着粉中

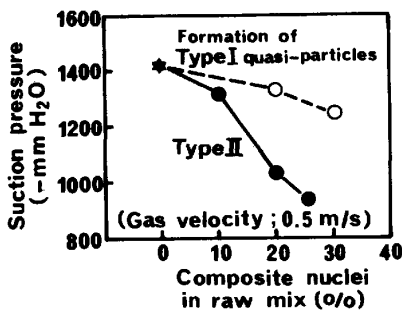


Fig.7 Effect of composite quasi-particles on permeability of bed during sintering(Pot test)

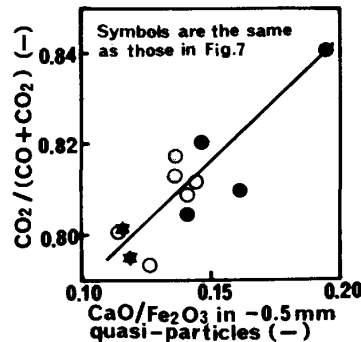


Fig.8 Combustion efficiency of coke breeze (Pot test)

CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が約0.35を越えるとTmax 1250°Cでも、Fig.6のごとく核粒子は比較的健全なまま付着粉部は急速に融液化する。なお、針状CFが分解するTmax 1300°Cの条件では、そのCaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は0.2であった<sup>11)</sup>。したがって、①熔融による通気阻害がないように(CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≤ 0.2)中間層にCaOを加えれば(Fig.5中I型粒

子), 被還元性向上効果は大きいと考えられる。また, ②擬似粒子最外殻層にCaOを集中して(同図Ⅱ型粒子), 付着粉層部を選択的に融液化できれば大きな空隙が確保され, 気孔性の改善も可能と推察される。Fig. 7. 8はそれらを検討した鍋実験結果の1例である。前記鉍石C, D中-3mm粉の一部を事前に粒化して二層核粒子(コンジット核粒子と仮称)を製造した。同一コークス量の場合, 被還元性の向上にはⅠ型粒子が, 通気性の改善にはFig. 7のごとくⅡ型の望ましいことが認められた。さらに, コークスの燃焼効率は, Fig. 8に示すように-0.5mm擬似粒子中CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>分析値で整理することができた。これは, Fig. 6の結果と関連があるように考えられる。このように, 擬似粒子の多層化と石灰石存在状態の調整(以後選択造粒法と称す)により, 被還元性の向上のほかに通気性の改善など柔軟な焼結操業ができる見通しを得た。

3. 擬似粒子構造調整効果発現のための造粒機性能

事前処理効果を目通り発現させるには, 狙った上記の多層構造を形成し, それを焼結するまで堅持する必要がある。そのためには強固で粒径の揃ったコンジット核粒子の製造が最大の課題というよう。ここでは, 広畑焼結工場での750mm高層厚試験操業結果からドラム型, ディスク型のいずれの造粒機が適切か評価してみたい。

ディスク・ペレタイザーの場合には細粒部がよく付着し, ドラム・ミキサーよりも粒径の均一な粒子が得られ(Fig. 9), 通気度(JPU)は向上する。焼結過程での湿潤層のJPUは, 造粒直後に系外で測定した値より理論的に小さくなるが, 造粒機出口部での両造粒機間のJPUの差(Fig. 10中(a))は焼結機内でも保たれており(同図(b)), 十分な強度を有する湿潤粒子ができていたと判断される。また, 乾燥崩壊率もドラム型の場合よりも良好であった。これらの結果から, 強健な骨格形成のためのコンジット核粒子製造には, ディスク型の方が相応しいと結論できる。新造粒機の開発は今後の課題と考えられる。

4. 実機試験操業結果

まず, 堺焼結工場で本選択造粒法の効果を確認した例<sup>14)</sup>について述べる。ここでは, 多孔質粘土系鉍石多量配合という生産性, 強度において厳しい状況下で, それらを維持しつつ燃料原単位と被還元性を向上することが目標とされた。それを, 前掲Fig. 5中のⅡ型擬似粒子を積極的に造ることによって達成可能か検討した。処理フローの概略をFig. 11に示す。当工場ではディスク・ペレタイザーの能力が小さかったので, 前記の鉍石Cと同等の鉍石C'を先に3mmで分級し, その細粒部を選択的に粒化して, 最外殻層中の石英系緻密質鉍石割合が極力大きくなるようにした。その選択造粒量は返鉍とコークス粉を除く新原料中の7%として(選択造粒部以外の-3mm粉中CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は0.19から0.25へ上昇), 3日間試験した。

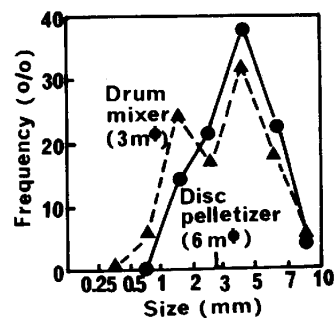


Fig.9 Size distribution of quasi-particles

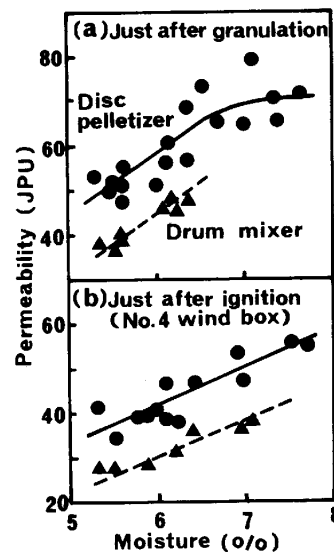


Fig.10 Permeability of raw mix (Hirohata works)

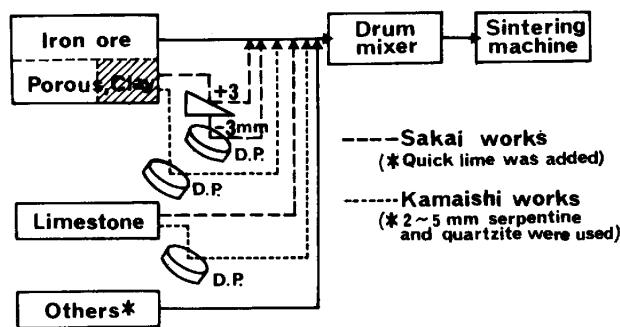


Fig.11 Schematic flow of selective granulation method

操業結果を Fig. 12, 13 に示す。鉍石 C の選択造粒によって、微粉部の少ない粒径の揃った粒子が得られた (Fig. 12)。通気性は Fig. 11 のごとく事前処理に対応して明瞭に改善され、その結果としてコークス燃焼性は向上した。コークス原単位は 42 kg/t のレベルから、コンジット核粒子 7% で約 2 kg/t 低減可能なことが明らかとなった。また、JIS 還元率はこのコークス低減効果も加わって、約 4% 向上することが確認された。今後は、コンジット核粒子量と効果の関係を明確にする必要があると考えている。

つぎに、釜石焼結工場での高被還元性焼結鉍製造への適用例<sup>15)</sup>について述べる。一般に、被還元性と耐還元粉化性は相反する。そこで多孔質粘土系鉍石の事前選択造粒による多孔質鉍石同化抑制と針状 CF 生成促進のほか、石灰石整粒化による耐還元粉化性の向上を組み入れることにした。その処理フローは前掲 Fig. 11 に併記した。粘土分の多い前述の鉍石 D の全量 (新原料中 1.5%) のほか、石灰石を別に軽く粒化した。また、SiO<sub>2</sub> 副原料は CF 生成促進を狙って粗粒とした。

JIS 還元率は目的とする組織の改善によって、Fig. 14 のごとく同一 FeO で 2.3% 上昇した。コークスを低減しても強度は維持できたので (Fig. 15), 1ヶ月にわたる選択造粒期間の平均還元率は 72.2% と基準操業時よりも約 5% 高めることができた。

この高被還元性焼結鉍の高炉使用効果は、とりわけシャフト部の温度分布および還元状況に現われた。低温熱保存帯は消え (Fig. 16), シャフト中段の休風時採取試料の粒径、還元率は基準時よりも各々約 2 mm, 約 10% 増大していた。これらによって補正コークス比は 4.98 Kg/t と、基準操業時に比べて 6 Kg/t 低下した。

以上のごとく、焼結鉍の被還元性の重要性が明確になったが、その向上に本処理法は有効である。

5. 結 言

以上のごとく、焼結鉍の被還元性の重要性が明確になったが、その向上に本処理法は有効である。

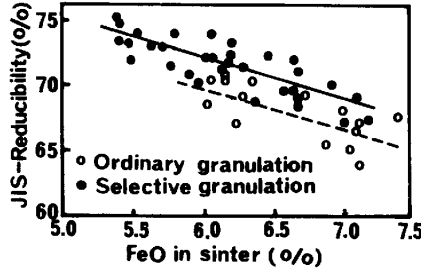


Fig. 14 Reducibility of sinter

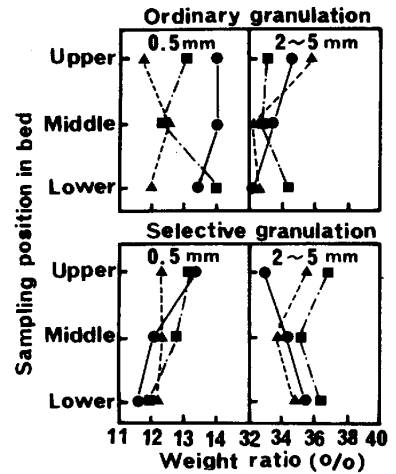


Fig. 12 Size distribution of quasi-particles in bed

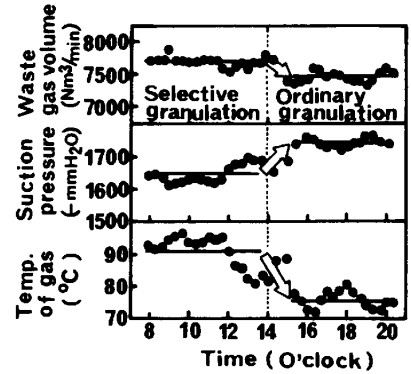


Fig. 13 Permeability of bed

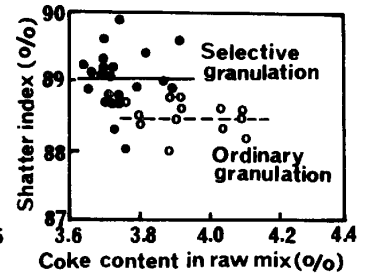


Fig. 15 Cold strength

今後の原料事情を予測するとき、鉍石性状の悪化を克服できる柔軟な焼結技術がどうしても必要となる。鉍石特性に基づく選択造粒処理法はその一つになる可能性の大きいことを、最近の研究を総括して紹介した。本研究はまだ完成されたものではなく、最近の高度な解析手法も取り入れ、本処理法の効果の向上、適用の拡大を旨としていきたい。実用化に当たっては、資源環境の変化、設備増設に伴う諸負担などを盛り込み、総合的に評価する必要がある。

引用文献〔2〕以外は鉄と鋼〕 1) 肥田ら: 68(1982)P.2166 2) Ishikawa et. al: Proc. AIME Ironmaking 41(1983)P.17 3) 国分ら: '85-S46 4) 肥田ら: '84-S819 5) 佐々木ら: 68(1982)P.563 6) 高田ら: '84-S86 7) 山口ら: '84-S100 8) 和島ら: '83-S713 9) 葛西ら: 70(1984)P.520 10) 肥田ら: '82-S718 11) 大塩ら: '84-S762 12) 芳我ら: '84-S16 13) 佐々木ら: '84-S30 14) 香川ら: 第110回予定 15) 内藤ら: 第110回予定 16) 藤本ら: '83-S35, 稲角ら: '81-S662

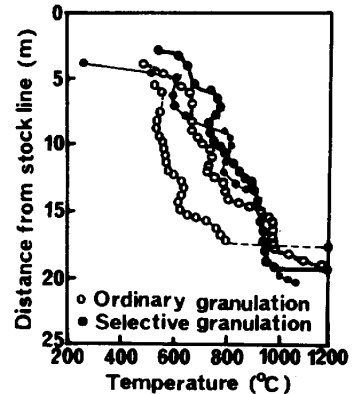


Fig. 16 Temperature distribution in blast furnace