

粘土系鉄鉱石微粉部の選択造粒による 焼結溶融反応制御技術

芳我 徹三*・大塩 昭義*・中村 圭一*²・小園 琢磨*・上川 清太*³

Control Technique of the Melting Reaction in Sintering Process
by the Fine Part Selective Granulation of Clayish Iron Ores

Tetsuzo HAGA, Akiyoshi OHSHIO, Keiichi NAKAMURA, Takuma KOZONO and Kiyota UEKAWA

Synopsis : To control the melting reaction in sintering process by the fine part selective granulation of clayish iron ores, some studies consisted of tablet firing tests, sintering pot tests and an operation test at a commercial sintering machine were carried out. On the basis of these tests, the melting property of the bond-forming part which form the melt for coalescing pseudo-particles, and the heat supply for the melting were investigated.

It was clarified that the melting property of the bond-forming part can be determined by the tablet's deforming temperature related to CaO and Al₂O₃ content. Optimum heat supply value corresponding to the melting property of the bond-forming part was recognized for the strength of sinter (SI). As a result, the contour line of SI could be described on the two-dimensional map consisted of the melting property and the heat supply. Furthermore, it was possible to control the operational point on that map by the fine part selective granulation of clayish iron ores.

From the result of the operation test at a commercial sintering machine, the green pseudo-particles of clayish iron ores by selective granulation was strong enough to retain the segregation of chemical composition and heat source in the raw mix after handling. Also, the increase in melt formation of the sinter products was confirmed by the increase in open pore ratio and pore size. Finally, coke consumption, permeability and reducibility of sinter were significantly improved by the fine part selective granulation of clayish iron ores.

Key words : sintering ; melt ; control of melt ; granule design ; tablet ; melting property ; heat supply ; open pore ; iron ore ; clay ; granulation.

1. 緒言

鉄鉱石の資源動向に関しては、豪州における褐鉄鉱系粉鉱石の増加、ブラジルにおけるイタピライト微粉鉱石の増加、さらに新規開発鉱山の粉鉱比率上昇などが指摘されており^{1,2)}、粉鉱石の塊成化技術としての焼結製造技術の向上が望まれている。一方、この鉄鉱石の品質劣化による焼結操業や焼結品質の悪化防止対策の一環として、鉄鉱石の基礎特性に関するいくつかの調査が行われ³⁻⁷⁾、これらの結果を踏まえて、焼結反応を改善するための研究が行われている⁸⁻¹¹⁾。特に、鉄鉱石と石灰石との融液生成反応によって焼結体を形成する自溶性焼結製造プロセスにおいては、鉄鉱石資源動向への対応、ならびに、焼結操業の改善という観点から、鉄鉱石の銘柄毎の特性に基づいて、融液生成反応を制御するための研究が望まれている。

著者らは、鉄鉱石銘柄毎の融液生成反応に関わる基礎研究により、鉄鉱石微粉部の粘土系脈石成分が融液生成反応

に強く影響することを明らかにした⁷⁾。さらに、焼結配合原料の中で、粘土系脈石を多く含有する鉄鉱石(粘土系鉄鉱石)の微粉部を選択的に事前造粒する「選択造粒技術」が、焼結の生産性向上や品質改善上極めて有効な手段となることを既に報告した^{11,12)}。これらの知見をもとに、本研究は、粘土系鉄鉱石微粉部の選択造粒によって、焼結過程における融液生成反応を制御するための具体的な操業設計指針の設定を研究課題とした。

2. 選択造粒による溶融反応制御の検討課題

Fig.1は、選択造粒を実施したときの焼結配合原料の模式図である。平衡状態図などによって、この配合原料の焼結反応機構を推定すると以下ようになる。選択造粒物はAl₂O₃-SiO₂系粘土鉱物を多く含む鉄鉱石の微粉部のみを造粒したものである。この部分にはCaO成分はほとんど含まれないので、焼結過程において、ヘマタイト粒子間の固相

平成8年7月18日受付 平成8年11月12日受理 (Received on July 18, 1996; Accepted on Nov. 12, 1996)

* 新日本製鐵(株)大分製鐵所 (Oita Works, Nippon Steel Corp., 1 Oaza Nishinosu Oita 870)

* 2 新日本製鐵(株)君津製鐵所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

* 3 新日本製鐵(株) (Nippon Steel Corp.)

焼結や、 $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ 系シリケートスラグ¹³⁾結合によって焼結体を形成すると考えられる。一方、選択造粒物以外の微粉部分(以下、「結合相形成部」と呼ぶ)は、石灰石と共存するので、焼結反応過程でカルシウム・フェライト系融液を生成し、選択造粒物および粗粒鉱石間の結合相を形成すると考えられる。

したがって、選択造粒物とする鉄鉱石銘柄や造粒量を変化させ、結合相形成部のCaO濃度や Al_2O_3 濃度を人為的に操作することによって、焼結過程での融液生成反応が制御できる可能性がある。その実用化に向けた研究課題として、結合相形成部の溶融特性の指標化と、その溶融特性と供給熱量とで決められた操業条件の下で生成する結合相の強度評価とを採り上げた。実験は、溶融特性を指標化するためのタブレット焼成試験と、結合相の強度評価を行うための焼結鍋試験、および、実用化の確認のための約20日間の実機操業試験を実施した。

3. 実験方法

3.1 タブレット焼成試験

著者らは、微粉の鉄鉱石と石灰石とから製作したタブレットの溶融挙動観察により、鉄鉱石の溶融特性に関する研究を行った⁷⁾。タブレットの形状変化時の試料温度を変形開

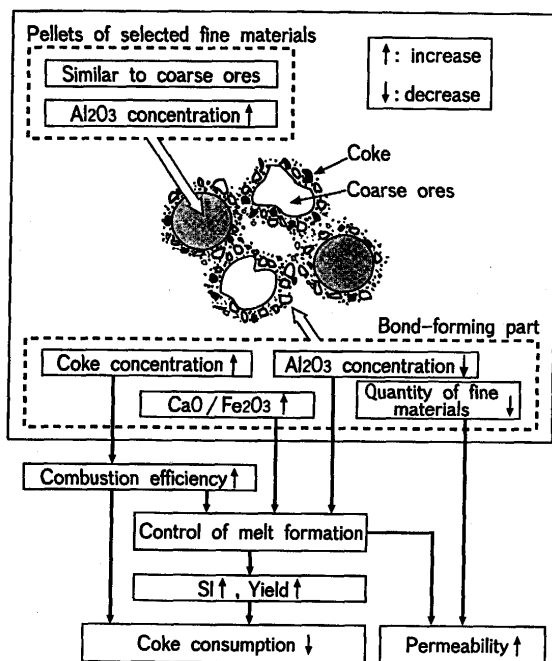


Fig. 1. Conceptual view of selective granulation method.

始温度 T_2 として定量化し、変形開始温度 T_2 と鉄鉱石中の脈石成分との関係を明らかにした。

焼結配合原料全体を均一に混合、造粒する通常の事前処理に対して、粘土系鉄鉱石微粉部の選択造粒を実施した場合には、Fig. 1の示すように、結合相形成部は脈石成分が変化するだけでなく、石灰石濃度が上昇する。そこで、石灰石濃度を20~40mass%に変化させた条件下でタブレット焼成試験を行った。試験装置および試験方法は既報⁷⁾と同一とした。粒径-0.5mmの鉄鉱石と石灰石とを用いて直径8mm、長さ約10mmの円柱形タブレットを製作し、電気炉内で約100°C/minの昇温条件下で焼成したときに、タブレットが変形を開始する温度を変形開始温度(T_2)として読み取った。

試料は、微粉部に $Al_2O_3-SiO_2$ 系粘土鉱物を多く含む粘土系鉄鉱石Hを使用した。鉄鉱石と石灰石との質量比が80:20の条件では、鉄鉱石Hの変形開始温度(T_2)はカルシウム・フェライト系初期融液の生成温度より100°C以上高く⁷⁾、CaO濃度上昇による変形開始温度低下の定量評価が可能であるからである。鉄鉱石Hの-0.5mm部分の性状をTable 1に示す。

3.2 焼結鍋試験

選択造粒により、結合相形成部の構造を改善し、焼結体としての強度を最適化するためには、選択造粒物の配合割合によって支配される結合相形成部の溶融特性の設計と、供給熱量の設定とが重要となる。したがって、選択造粒物の配合割合を新原料中0~28mass%、粉コークス配合割合を配合原料中3.4~4.4mass%と大幅に変化させた焼結鍋試験を実施した。ここで、原料配合は当社の平均的な配合とし、選択造粒対象銘柄は粘土系鉄鉱石Nとした。

Table 1は鉄鉱石Nの粒度毎化学成分値を示す。微粉部に、粘土系脈石の特徴である Al_2O_3, SiO_2 が濃縮していることがわかる。焼結溶融反応を制御する目的からは、微粉部のみ、たとえば-0.5mm部分のみを造粒すればよいか⁸⁾、焼結操業にとって配合原料の粒度構成は2~5mmが望ましいことや¹¹⁾、2~5mm粒径の造粒物を製造するには、造粒物の核粒子として1~3mm粒径の粒子を添加することが効率的であることから、本試験では-3mm部分を造粒した。

焼結鍋試験装置の原料充填部は内径300mm、層厚450mmの円筒形で、その表面への着火はCOGバーナーで行い、着火条件は全ての試験で一定とした。上部フード直管部には流速計を設置して吸引空気流速を測定した。ここで、焼結速度の成品強度への影響を除くために、全ての試験において、原料充填層断面での空塔速度が0.4m/sとなるように、

Table 1. Chemical composition of iron ore N and H used in experiments. (mass%)

Material	T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	CW*
mean	61.98	0.16	6.94	0.04	2.68	0.06	2.10
Hematite ore N +3.0mm	63.82	0.16	4.62	0.04	1.80	0.06	2.16
-0.5mm	61.17	0.16	8.42	0.04	3.17	0.06	2.07
Hematite ore H -0.5mm	60.66	0.11	5.93	0.08	3.22	0.10	3.04

* CW: Combined water

焼成中の吸引空気流速を一定とした試験を行った。焼成後の成品強度(SI)の測定は、JIS法に準じて行い、結合相形成部の溶融反応適正化のための指標とした。

3.3 実機試験

焼結原料をドラムミキサーにて混合および造粒を行ったのち、焼結機に供給する通常の事前処理ラインに加えて、選択造粒処理のためのラインを仮設し、約20日間の実機操業試験を行った。選択造粒ラインでは、焼結原料の中から粘土系鉄鉱石Nを3mmで分級したのち、その篩下粉を高速攪拌ミキサーにて加水、混練および造粒を行い、ディスクペレタイザーにて2~5mm粒径の選択造粒物に整粒した。この選択造粒物および鉄鉱石Nの篩上の粗粒部を他の焼結原料とともに、通常の事前処理ラインのドラムミキサーに供給した。

Table 2は実機試験の操業条件を示す。生産率を一定とした操業条件下で、選択造粒物の配合割合を、返鉱と粉コークスを除いた原料中の0~10mass%で変化させて結合相形成部の溶融特性に変化を与え、成品強度が一定となるように粉コークスの配合割合を調整した。一方、通気性については、層厚、生石灰配合およびメインダンパー開度を固定した状態で、メインブローアの風量、負圧および風温の変化を調査することにより評価した。原料の配合割合は、成品の目標SiO₂や目標CaO/SiO₂を操業管理するための副原料の微調整を除いて一定とした。

さらに、実機焼結鉱の溶融状態の評価指標として、JIS法による成品強度(SI)だけでなく、気孔構造に関する検討も行った。まず、画像解析装置により、焼結鉱の研磨面の気孔面積率を求めるとともに、気孔の大きさの指標として、Fig. 2 (a)に示すような平行線を走査させ、気孔を横切る線

Table 2. Operating conditions for sintering.

Selectively granulated particles (Clayish iron ore N)	mass% *	0 ~ 10
Coke breeze	mass%	3.07 ~ 3.07 - α
Productivity	t/m ² /d	38.5
Shatter index (SI)	mass%	86.5
Bed depth	mm	630
Burnt lime	mass% *	0.4
Main blower damper	-	full open
Chemical composition in sinter		
CaO/SiO ₂	-	1.97
SiO ₂	mass%	5.50
Al ₂ O ₃	mass%	1.85

* Without coke breeze and return sintered fine.

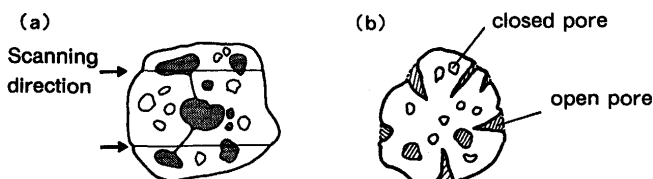


Fig. 2. (a) Schematic diagram of measuring method for the length of segment of pores and bonds, and (b) an image of sinter's pore.

分の平均長さを求めた。つぎに、空気比較式比重計を用いて、破碎前の焼結鉱の見掛密度と、破碎後の真比重(JIS-M8717)とを測定し、閉鎖気孔量を求めた。また、投影法による見掛密度測定結果¹⁴⁾と空気比較式比重計による真比重とから、開気孔と閉鎖気孔の合計量を求めた。ここで求めた開気孔と閉鎖気孔の概念図をFig. 2 (b)に示す。以上の気孔構造の測定結果から、焼結鉱の溶融状態を評価した。

4. 結果および考察

4.1 焼結溶融反応の制御方法

4.1.1 タブレット焼成試験による溶融特性の指標化

鉄鉱石Hの-0.5mm微粉部を用いて、石灰石濃度を変化させたタブレット焼成試験を行い、得られた変形開始温度(T₂)をFig. 3に示す。既報⁷⁾の変形開始温度(T₂)と脈石成分(Al₂O₃)との関係に、今回得られたCaO成分との関係を合わせて整理したものがFig. 4である。CaOおよびAl₂O₃のT₂への効果係数は、それぞれ-5.6°C/mass%、+17.5°C/mass%である。ここで、CaO濃度は石灰石の熱分解による重量減を補正した配合原料中の質量割合を示し、Al₂O₃濃度は鉄鉱石中の質量割合を示す。

この現象は、平衡状態図を基にした焼結反応の検討結果¹⁵⁾

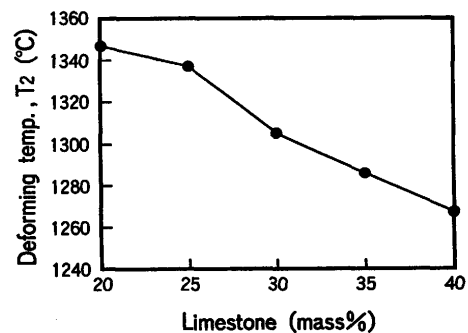
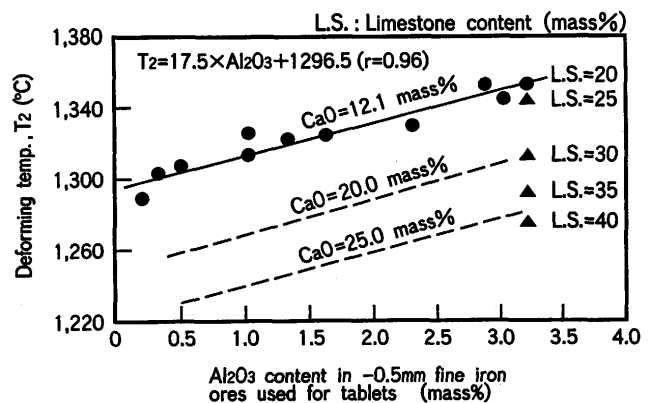


Fig. 3. Influence of limestone content on the deforming temperature T₂ of the tablets.



●: Influence of Al₂O₃ content (Limestone = 20 mass%)
▲: Influence of Limestone content (Al₂O₃ = 3.22 mass%)

Fig. 4. Influence of Al₂O₃ content in -0.5mm fine iron ores on the deforming temperature T₂ of the tablets.

などから、以下のように理解できる。石灰石と脈石中 Al_2O_3 との直接的な反応は遅く、石灰石増加によるCaO濃度の上昇はCaO- Fe_2O_3 系融液の生成量を増加させる。 Al_2O_3 は、そのCaO- Fe_2O_3 系融液に溶解してカルシウム・フェライト包晶温度を上昇させ、融液量を減少させる。したがって、CaOと Al_2O_3 は変形開始温度(T_2)に独立に寄与するものと考えられる。この結果から、通常造粒を基準に置き、選択造粒を実施して結合相形成部の化学組成が変化するとき(ΔAl_2O_3 mass%, ΔCaO mass%)の溶融特性の変化は、変形開始温度の変化(ΔT_2 °C)として、以下の式で求められる。

$$\Delta T_2 = 17.5 \cdot \Delta Al_2O_3 - 5.6 \cdot \Delta CaO \dots\dots\dots (1)$$

4.1.2 焼結鉍溶融状態の2次元評価マップ

Fig. 5は、焼結速度一定の焼結鍋試験において、選択造粒物の配合割合を変化させたときの、粉コークス配合割合と成品強度(SI)との関係を示す。この結果から、粉コークス配合割合には最適値があり、熱不足の場合には急激な成品強度低下を招くが、熱過剰の場合にも成品強度は低下することが明らかとなった。また、選択造粒物配合割合の増加に伴い、成品強度に対する粉コークス配合割合の最適値は低下し、低温焼成が可能となることわかる。

この知見から、実操業における選択造粒物の配合割合に応じた、最適焼成熱レベルなどの操業設計指針を得ることを目的として、Fig. 6に示す2次元評価マップによる定量化を試みた。選択造粒による結合相形成部の溶融特性の変化(ΔT_2)を横軸にとり、その結合相形成部への供給熱量の変化を縦軸にとって鍋試験結果を再整理した。ここで、石灰石

と鉄鉍石との融液生成速度は、通常の焼結反応時間に比べて十分に速いことから、結合相形成部は-0.5mm部分の配合原料だけでなく、+0.5mm部分の石灰石を含めて構成されるとした。その結合相形成部において、石灰石の熱分解による重量減を補正したCaO濃度と、構成する鉄鉍石中の Al_2O_3 濃度とを算出し、溶融特性値を(1)式により求めた。一方、結合相形成部に加えらるる熱量に関しては、配合原料に投入した全熱量から、配合原料全体を固体として約1100°Cまで昇温するために必要な顕熱および分解熱と、鍋試験装置側壁からの放散熱および排ガスの顕熱とを差引いた残りの熱量として算出した。ここで差引いた熱量は、配合原料あたり約1,047MJ/tの定数とした。今回使用した鍋試験装置は実機より放散熱などの熱損失が多く、この定数にはその差約256MJ/tを含んでいる。

この2次元評価マップ上に、選択造粒による結合相形成部の溶融特性の変化と供給熱量の変化とを表すことによって、結合相形成部の溶融状態を評価することができる。Fig. 6の評価マップ上に、鍋試験で得られた焼結鉍の強度と、その強度に関する等高線(等強度線)を示した。ここで、強度の値は、鍋試験結果を後述の実機試験での生産速度に補正して表記した。補正係数は生産率1t/d/m²あたり成品強度(SI)が0.37mass%変化するものとした。この結果から、焼結鉍の強度は結合相形成部の溶融状態と強い関係が見られる。すなわち、結合相形成部の化学組成によって定まる ΔT_2 に応じた熱量を与えることによって、その操業条件の下での最高の強度の焼結鉍の生産が可能である。たとえば、結合相形成部の ΔT_2 が-20°Cの場合に、最高強度を与える供

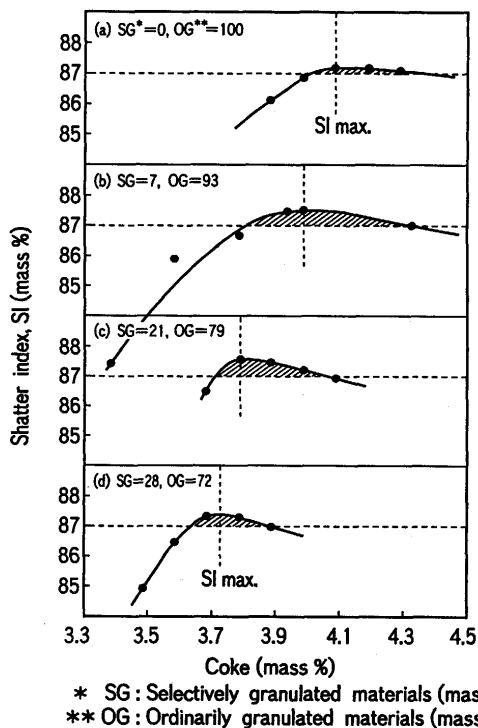


Fig. 5. Effect of heat supply on shatter index(SI).

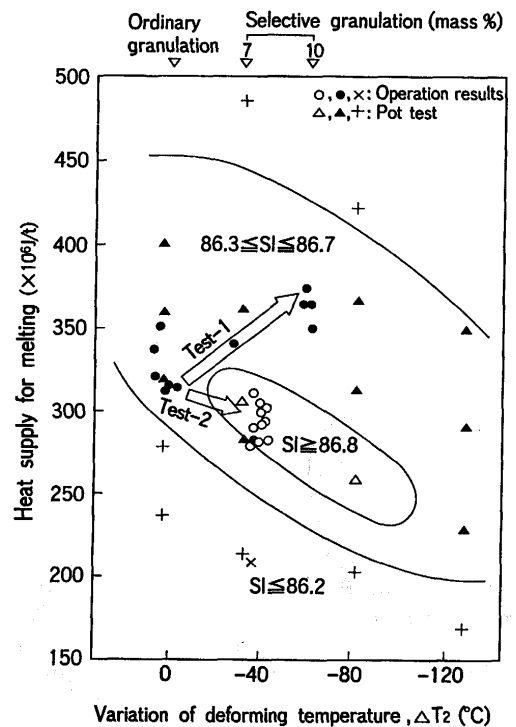


Fig. 6. Effect of melting condition and heat supply on shatter index(SI).

給熱量は約320MJ/tであるが、結合相形成部のCaOが増加するか、あるいは、Al₂O₃が減少してΔT₂=-80℃となった場合には、供給熱量を約265MJ/tに低下させねばならない。

4.1.3 実機による焼結溶融反応制御試験

上述した結合相形成部の操業設計技術を用いて、焼結溶融反応を制御する実機試験を20日間にわたって実施した。この推移をFig. 6の評価マップ上に示す。ここで、結合相形成部は、鍋試験と同様に、-0.5mm部分の配合原料だけでなく、+0.5mm部分の石灰石を含めて構成されるとして、溶融特性値を(1)式により求めた。まず、粉コークス配合量を一定とし、選択造粒配合割合を0→5→10mass%と増加させた場合(Test-1)には、成品強度には変化は見られなかった。この場合には、溶融状態が評価マップ上で右上方向に変化し、化学組成、供給熱量両面から、結合相の溶融は促進されたと考えられるが、結合相構造としての強度向上には寄与しなかった。

つぎに、選択造粒配合割合を0→7 mass%と増加させると同時に粉コークス配合量を低下させた(Test-2)。この結果、

成品強度は改善された。溶融状態は評価マップ上で右下方向に変化し、化学組成面からの溶融の進行を供給熱量の低下によって調整したことになる。この溶融反応制御によって、結合相構造が改善され、成品強度の向上が実現できた。以上のように、実機試験においても、オフライン試験と同様に、等強度線の存在を確認することができた。

すなわち、実操業においても、Fig. 6に示した2次元評価マップ上の等強度線を配合設計指針として用いることにより、選択造粒法による焼結溶融反応制御が実現できる。

4.2 実機焼結鉢の溶融状態の変化

Fig. 6で示される結合相形成部の配合設計2次元マップは、横軸、縦軸ともに、選択造粒物が原料輸送過程で健全な状態で残存していることを前提とした計算値である。そこで、実機焼結ベッド内の選択造粒物の実態に関する調査を行った。

Fig. 7は、通常造粒を行った場合と、Test-2において選択造粒物を7 mass%配合した場合とについて、焼結機上に装入された配合原料を層高方向にサンプリングしたものの粒度分布を示す。選択造粒により、全体的に2~5mm粒径の比率が上昇し、0.5mm以下の微粉比率が低下していることがわかる。これは、選択造粒物が配合原料の混合、造粒および輸送過程を経ても残存していることを裏付けている。ここで、2~5mm粒径の選択造粒物の残存量が、そのまま配合原料の2~5mm粒径量に影響すると仮定すると、選択造粒物の残存率は以下のように求められる。選択造粒対象銘柄とした鉄鉱石Nの粒度分布は、選択造粒処理により、2~5mm粒径が約40mass%増加した。この選択造粒物を、新原料中7 mass% (配合原料中5.5mass%)配合すると、全て残存した場合には、2~5mm粒径の擬似粒子量は配合原料中で約2.2mass%増加する。Fig. 7に示した配合原料中2~5mm粒径比率の平均値は、通常造粒で33.2mass%、選択造粒で35.0mass%となり、1.8mass%増加したことから、残存率は約82mass%であったといえる。

Fig. 8はFig. 7に示した配合原料擬似粒子の粒度毎のCaO/Fe₂O₃およびカーボン濃度を示す。選択造粒の実施により、2~5mm擬似粒子中のCaO/Fe₂O₃およびカーボン濃度は共に低下する現象が確認された。また、結合相の形成に寄与する0.5mm以下の粒子で評価すると、選択造粒によ

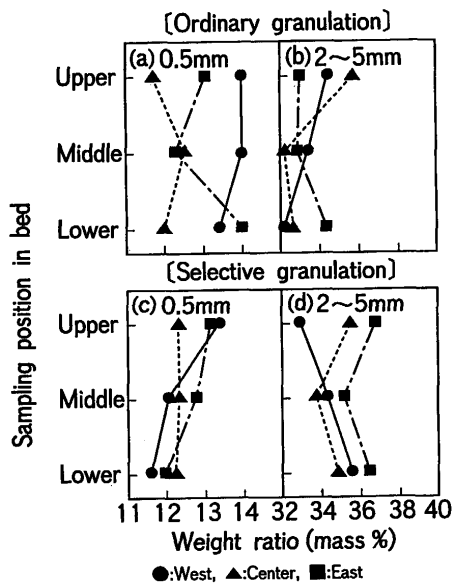


Fig. 7. Size distribution of pseudo-particles in sintering bed.

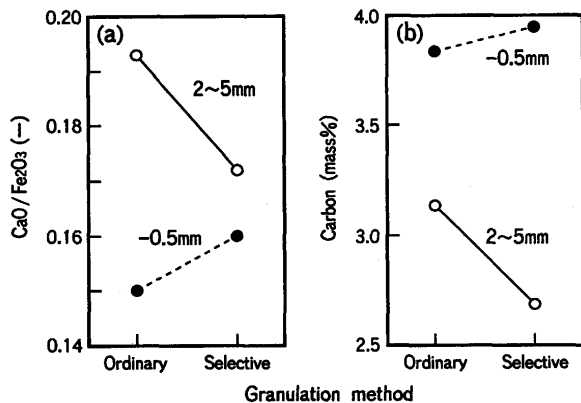


Fig. 8. Micro-segregation of chemical composition in raw mix.

Table 3. Comparison of pores and bonds for sinters made by ordinary granulation (OG) and selective granulation (SG) process.

	OG	SG, Test-1	SG, Test-2
Area ratio of pore %	28.8	34.4	37.0
Length of segment* (pore) μ	36.9	51.7	54.4
(bond) μ	99.4	129.9	102.6
Open pore** vol%	26.1	30.9	33.8
Closed pore** vol%	12.8	10.4	9.5

* Length of segment : An average length of segment of pores or bonds in the scanning direction determined by a quantitative image analyzer.
 ** Closed pore : Determined by air-comparing-type gravimeter.
 ** Open pore + Closed pore : Determined by projectional apparant gravimeter.

Table 4. Operation result at a commercial sinter plant.

		Ordinary granulation	Selective granulation (Test-2)
Selectively granulated particles	mass%	0	7
Coke consumption	kg/t	42.1	40.8
Permeability			
Waste gas volume	Nm ³ /min	7433	7611
Suction pressure	kPa	16.55	16.11
Productivity	t/m ² /d	37.8	38.4
Yield	mass%	79.0	79.8
Sinter characteristics			
Shatter index (SI)	mass%	86.3	86.7
FeO	mass%	4.55	3.98
JIS-RI	mass%	65.5	69.1

* Without coke breeze and return sintered fine.

り、CaO/Fe₂O₃およびカーボン濃度は共に上昇しており、石灰石および粉コークスが結合相形成部に濃縮していることが裏付けられる。このように、実機配合原料においても、選択造粒によって、結合相形成部の溶融特性は化学組成面および熱量面のいずれにおいても変化が確認されたことから、つぎに、焼成後の成品の溶融状態の比較を行った。

Table 3は、焼結鉱の溶融状態の変化を気孔形状の変化として把握したものである。試料は、通常造粒の焼結鉱と、粉コークス配合量を一定とし、選択造粒物を10mass%配合した焼結鉱(Test-1)、および、選択造粒物を7mass%配合し、供給熱量を低下させて強度が向上した焼結鉱(Test-2)とを使用した。その結果、選択造粒を実施したTest-1およびTest-2は、気孔面積率と気孔径とが同時に大きくなっていること、さらに開気孔率の上昇と閉鎖気孔率の低下も見られることから、溶融反応が促進されていることが裏付けられた。一方、Test-1とTest-2とを比較すると、結合相の大きさを示す壁厚に差が見られ、溶融過剰と思われるTest-1の壁厚が大きい。成品強度はTest-2の方が良好であるので、焼結鉱の強度は気孔径や結合相の大きさのみでは決まらず、未溶融鉱石、結合相および気孔からなる複合材料としての構造や、結合相を構成する鉱物組織の強度などが影響しているものと考えられる。

4.3 溶融反応制御による実機操業指標の変化

Table 4は約20日間実施した実機操業試験の中で、特徴的な期間についての操業データを比較したものである。通常造粒に対して、選択造粒を7mass%実施し、粉コークス配合割合を低下させて溶融反応の適正化を図ったTest-2の期間は、生産性および強度を向上させつつ、粉コークス原単位を1.3kg/t低減させることができ、通気性も大幅に改善された。さらに、FeOが低く、かつ開気孔率の高い焼結鉱が製造でき、被還元性が大幅に改善された。

このように、Fig. 1で示した焼結溶融反応の改善を主体とした選択造粒法の効果が、焼成熱レベルの低減や通気性の改善だけでなく、気孔構造の改善を通して、成品焼結鉱の

被還元性の向上にも結びつくことが、実機規模で確認できた。

5. 結言

選択造粒法による焼結溶融反応制御を実操業で実現するために、タブレット焼成試験、焼結鍋試験および実機試験を行った。その結果から、焼結反応過程における結合相形成部の溶融特性値と、結合相形成部を溶融するための供給熱量とに関する解析を行い、焼結溶融反応の制御技術として、以下の知見を得た。

(1) 結合相形成部の溶融特性は、CaOおよびAl₂O₃組成から推定可能なタブレットの変形開始温度(T₂)として指標化できる。

(2) 焼結鉱の成品強度という観点からは、結合相形成部の溶融特性に応じて、供給熱量には最適値が存在する。

(3) 結合相形成部の溶融特性値と供給熱量との2次元評価マップにおいて焼結鉱の等強度線が存在し、選択造粒を実施することにより、マップ上の操業点を制御できる。

(4) 実機での混合過程を経た配合原料においても、選択造粒物は崩壊せず残存しており、結合相形成部の成分と熱源の偏在が実操業においても実現できる。

(5) 実機での選択造粒実施時の焼結鉱は、結合相の厚さを維持または拡大しつつ、気孔面積率と気孔径が拡大している。さらに、開気孔が増加し、閉鎖気孔が減少していることから、溶融反応が促進されていることが確認できた。

(6) 生産性および成品強度を一定とした実機操業試験において、選択造粒による粉コークス原単位低減、通気性改善および成品焼結鉱のJIS還元率の改善効果が確認できた。

文 献

- 1) 野坂庸二, 細谷陽三: 鉄と鋼, 75 (1989), 1957.
- 2) 肥田行博, 野坂庸二: 鉄と鋼, 78 (1992), 960.
- 3) 野坂庸二, 磯崎成一, 菅原欣一: 鉄と鋼, 67 (1981), S655.
- 4) 葛西栄輝, Shengli Wu, 大森康男: 鉄と鋼, 77 (1991), 56.
- 5) 肥田行博, 岡崎 潤, 伊藤 薫, 平川俊一: 鉄と鋼, 78 (1992), 1013.
- 6) H.Noda, H.Yanaka, R.Yamamoto, H.Kawata and Y.Yamaoka: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., 25 (1985), 1103.
- 7) 芳我徹三, 笠間俊次, 小園琢磨, 緒方就昭: 鉄と鋼, 82 (1996), 981.
- 8) 川口尊三, 栗山和益, 佐藤 駿, 高田耕三: 鉄と鋼, 73 (1987), 1924.
- 9) 大友崇穂, 田口 昇, 葛西栄輝, 大森康男: 鉄と鋼, 76 (1990), 683.
- 10) 肥田行博, 岡崎 潤, 中村圭一, 上川清太, 葛西直樹: 鉄と鋼, 78 (1992), 1021.
- 11) 芳我徹三, 福田 一, 吉本博光, 香川正浩: 鉄と鋼, 70 (1984), S16.
- 12) 芳我徹三, 大塩昭義, 福田 一, 吉本博光, 香川正浩: 鉄と鋼, 70 (1984), S17.
- 13) E.M.Levin, C.R.Robbins and H.F.McMurdie: Phase Diagrams for Ceramists, American Ceramic Society, (1964), 156.
- 14) 近藤真一, 佐々木稔, 伊藤 薫, 草鹿履一郎, 南田勝宏: 鉄と鋼, 60 (1974), S12.
- 15) 井上勝彦, 林 秀高, 吉岡邦宏, 高橋 佐: 神戸製鋼技報, 34 (1984) 4, 22.