

# 鉄鉱石シンターケーキ構造に及ぼす石灰石粒度の影響

中野 正則\*・笠間 俊次\*<sup>2</sup>・細谷 陽三\*

Effects of Limestone Size on Pore Structure of Sintercake of Iron Ore

Masanori NAKANO, Shunji KASAMA and Yozo HOSOTANI

**Synopsis :** It is well-known that size of limestone affects productivity and reduction degradation index (RDI) in iron ore sintering, and that the change in productivity is due to change in permeability of sinter bed and the change in RDI is due to change in mineralogy of sinter. This work has measured structure and permeability of sintercake by an X-ray CT scanner and pressure probes inserted into sinter bed, respectively, and discussed how their changes contribute to the productivity and RDI. As a result, with increasing in size of limestone, the diameter of pores in sintercake increases because of increase in the volume of free melt. The shape of sinter becomes spherical in the same manner. The change in sintercake structure contributes to the increase in bed-permeability during sintering by about 20%. The change in the shape of pore in sinter reinforces tumbling strength, possibly resulting in improvement of RDI.

**Key words:** agglomeration; permeability of sinter bed; productivity; RDI; sinter cake; sintering; size of limestone; X-ray CT scanner.

## 1. 緒言

自溶性焼結鉄の製造に際して、焼結工程で添加される石灰石は、通常3mm以下に粉碎されたものが使用されている<sup>1)</sup>。焼結機の生産性や焼結鉄の品質は融液の生成挙動と密接に関係があり、石灰石粒度に大きく影響を受ける。

生産性では、原料充填層の通気抵抗の面から、石灰石粒度は粗い方が好ましいと考えられるが、一方、歩留では、粗すぎると焼結過程の短い加熱時間では十分に鉄鉱石と同化せずに融液生成量が不足するためよくないと考えられる。これら両面からの最適点が前記の3mmに相当していると考えられる。焼結鉄の品質では、還元粉化性(RDI)に大きく影響することもよく知られている<sup>10,11,17)</sup>。石灰石の粗粒化によりRDIが改善する機構については、単純に粗粒化にともなう通気改善効果とする説<sup>10)</sup>やマイクロなCaOの偏在による組織変化による説<sup>15,17)</sup>があり、いまだ定説を得るに至っていないようである。

本報では、石灰石の粗粒化によるシンターケーキ構造の変化から生産性の改善機構を検討して、従来の原料粒度に基づく考えを検証した。また、RDIへの影響に関して、焼結鉄の気孔形状変化による強度改善の影響が強いという新しい知見が得られたので報告する。

## 2. 試験方法および試験条件

### 2.1 焼結過程における石灰石の作用と臨界粒度

石灰石粒度が影響する焼結過程での重要な要因は、付着

粒子となるか核粒子となるかという原料擬似粒子中での賦存形態、焼結反応時の同化率および融液の生成・流動挙動を左右するCaO濃度の局所的な不均一性の3つと考えられる。

前二者に対する臨界粒度は以下の値と考えられる。すなわち、粉と核を分ける臨界粒度は、佐藤ら<sup>2)</sup>の知見より0.5mmと考えられる。同化可能な最大粒度は3mm程度と推察される。これは、3mm以下に破碎した石灰石を従来使用してきた実機の焼結鉄には未同化のCaOがほとんど認められないことによる。

本研究では、石灰石の粒度について、0-0.25mm、0.5-1.0mm、1.0-2.0mm、2.0-3.0mm、4.0-5.0mmの5条件を採用した。0.5-3.0mmの3つの条件では、前記考察よりいずれも石灰石は核粒子として存在しかつ完全に同化すると考えられるため、これらの比較によりCaO濃度の不均一性の影響を交絡なく見られると考えた。

### 2.2 試験方法

本研究では、石灰石粒度による生産率、歩留、RDIおよび焼結鉄組織の変化を調べた試験(焼結性試験)、焼結過程での焼結充填層の通気抵抗変化を調べた試験(圧力測定試験)および、シンターケーキ構造の変化を調べた試験(CT試験)の3種類を実施した[Table 1]。

焼結性試験では、石灰石の粒度を、0-0.25mm、0.5-1.0mm、1.0-2.0mm、2.0-3.0mm、4.0-5.0mmの5条件とした。石灰石粒度のRDIへの影響は、負圧一定(8kPa)と風速一定(0.35m/s)の2つの焼成条件で調べた。シンターケーキの収縮挙動を知るために、原料の装入密度( $\rho_i$ )およびシンター

平成11年4月8日受付 平成11年6月24日受理 (Received on Apr. 8, 1999; Accepted on June 24, 1999)

\* 新日本製鐵(株) プロセス技術研究所 (Process Technology Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 293-8511)

\* 2 新日本製鐵(株) 大分製鐵所 (Oita Works, Nippon Steel Corp.)

Table 1. Experimental conditions for pot tests.

	[Performance test]	[CT test]	[Pressure measurement]
Sintering	Pot	90mm Φ × 400mmH	300mm Φ × 500mmH
	Ignition	1100°C × 90sec	1100°C × 90sec
Suction	① Suction pressure is constant at 800 kPa ② Gas velocity is constant at 0.35 m/s	Suction pressure is constant at 1000 kPa	Suction pressure is constant at 1200 kPa
	Size of limestone	① 0~0.25mm ② 0.5~1.0mm ③ 1.5~2.0mm ④ 2.0~3.0mm ⑤ 4.0~5.0mm	① 0~0.25mm(F) ② 2.0~3.0mm(C)

ケーキの嵩密度( $\rho_s$ )を、それぞれ、装入配合原料およびシンターケーキの重量を嵩体積で除して求めた。歩留測定は、焼成後のシンターケーキを2mから4回落下した後の+5mmを成品焼結鉱とし、成品歩留(成品焼結鉱量/(成品焼結鉱量+返鉱量))で表示した。RDIは、標準法<sup>3)</sup>に準じて測定した。さらに、風速一定試験で得られた焼結鉱に対して、X線粉末法による回折ピーク強度より各鉱物量の変化を推定した。

圧力測定試験では、焼結性試験において生産率およびRDIともに良好であった2.0-3.0mm(C:粗粒)といずれもよくなかった0-0.25mm(F:細粒)の石灰石粒度を試験水準として採用し、焼結充填層の通気抵抗を以下のような方法で比較した。すなわち、グレート面より0-150, 150-300, 300-450mmを、それぞれ下層、中層、上層とし、各層の差圧の焼結過程における時間変化を測定する。その差圧は、一般的に、燃焼・溶融層の通過時に上昇・下降するが、その前後は概ね一定値で推移する。その前部の差圧が湿潤層の通気抵抗を、後部の差圧が焼結完了層(シンターケーキ)の通気抵抗を表すと考えられる。それら差圧値と風量とから各層の湿潤状態およびシンターケーキ状態の相当する通気抵抗係数( $k$ )を(1)式により求めた。

$$k = (dP/L)(U_f^{1.67}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $dP$ は各層の差圧(MPa)、 $L$ は各層の厚み(=0.15m)および $U_f$ はガス流速(Nm/s)である。 $k$ は、実際の焼結に即した係数であり、測定箇所の温度の影響を含んでいる。湿潤層のそれは約330K、シンターケーキのそれは上層で約300K、下層で約1000Kと考えられる。

CT試験でも、石灰石粒度は、2.0-3.0mmと0-0.25mmの2条件とした。鍋で焼成後のシンターケーキ(300mmΦ×約500mmH)の垂直断面をX線CTを用いて撮影し、得られた断層像から、笠間ら<sup>4)</sup>の手法により、気孔率、開気孔率(+5mm気孔を開気孔と見なした)、気孔のブランチ密度、ブランチ幅を求めた。

いずれの試験においても、原料配合は当社における平均的な配合とした[Table2]。焼結鉱のSiO<sub>2</sub>含有量は5.3%、塩基度(CaO/SiO<sub>2</sub>)は1.9である。

Table 2. Blend of raw materials.

Ore R	Ore H	Ore D	Ore C	Limestone	Serpentine	Return fines	Coke breeze
25 %	26 %	15 %	15 %	17 %	2 %	15 %	5 %

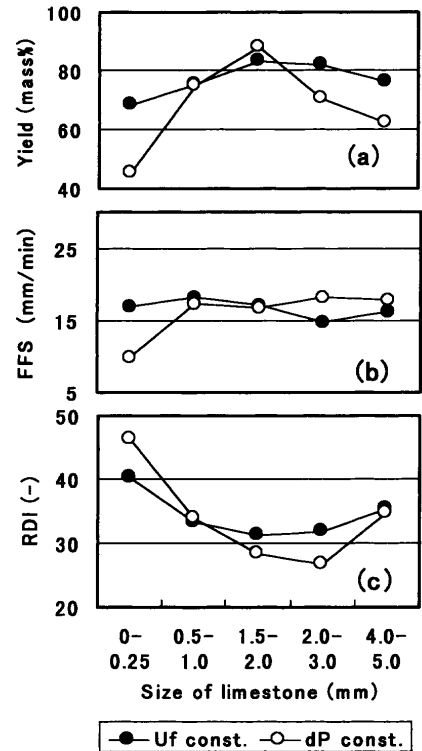


Fig. 1. Changes of yield, FFS and RDI due to size of limestone in performance test.

### 3. 試験結果

#### 3.1 焼結性とRDIの変化

成品歩留は、負圧一定および風量一定のいずれの場合も、1.5-2.0mmの石灰石粒度において最良となった[Fig. 1 (a)]。

燃焼進行速度(FFS)は、負圧一定条件の場合には、特に-0.25mmの石灰石で著しく低下した。しかし、0.5mm以上の石灰石では粗粒化によるFFSの改善は顕著ではなかった。また、風量一定の場合には、FFSは石灰石粒度によらず概ね一定となった[Fig. 1 (b)]。また、排ガス成分では、-0.25mmの石灰石においてNO<sub>x</sub>が低下したが、これは従来から多数報告されている微粉石灰石と粉コークスとのP型粒子の形成による効果と考えられる<sup>5)</sup>[Fig. 2]。

RDIは、負圧一定および風量一定のいずれの場合も、石灰石粒度の粗粒化とともに改善したが、4-5mmの石灰石においては逆に2-3mmの石灰石より悪化した[Fig. 1 (c)]。石灰石の粒度には、原料の通気性を介してその熱履歴を左右することに起因する効果(通気効果)と、同化速度や初期融液生成起点の数といった石灰石の同化挙動を変えることによる効果(反応効果)の2つの作用があると考えられる。負圧一定における試験では通気と反応の両方の効果が現れるが、風量一定試験においては通気効果が押さえられ

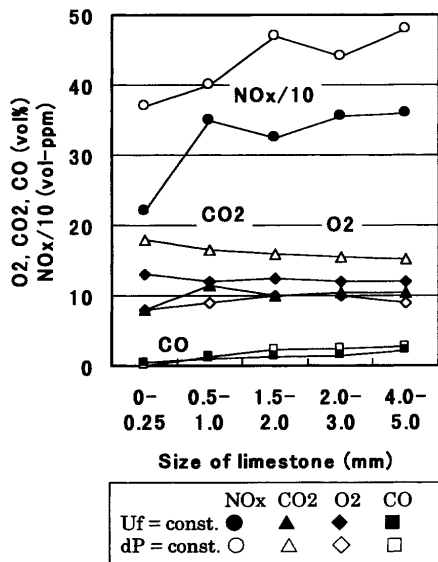


Fig. 2. Change in flue gas composition due to change in limestone size.

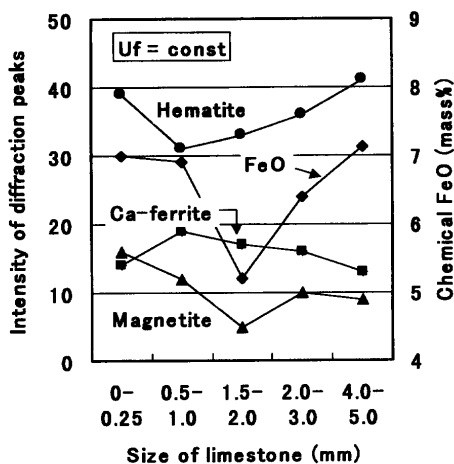


Fig. 3. Change in mineral composition and chemical FeO due to change in limestone size.

て反応効果のみが現れると考えられる。風量一定試験でのRDIの最大値と最小値の幅は9、負圧一定試験でのそれは19であった。従って、負圧一定で焼結が進行する実機の焼結機においては、石灰石粒度のRDIへの影響は、通気効果と反応効果がほぼ同じ大きさで作用していると推察される。

0.5-1.0 mm, 1.0-2.0 mm, 2.0-3.0 mmの石灰石粒度条件においては、歩留、FFS, RDIに大きな変化が見られなかった。これは、-0.25 mmとそれ以外で比較される賦存形態の影響や、3 mm以下とそれ以上で比較できると思われる同化量の影響の方が、CaO濃度の局所化の影響に比較して大きいことを示唆していると思われる。

### 3・2 焼結鉱組織の変化

X線粉末法の回折ピークの高さより推定される焼結鉱中の鉱物組成変化は、前述の歩留、RDIと同様に、1.5-2.0 mmの粒度付近で、極値を示した。つまり、Hematite、お

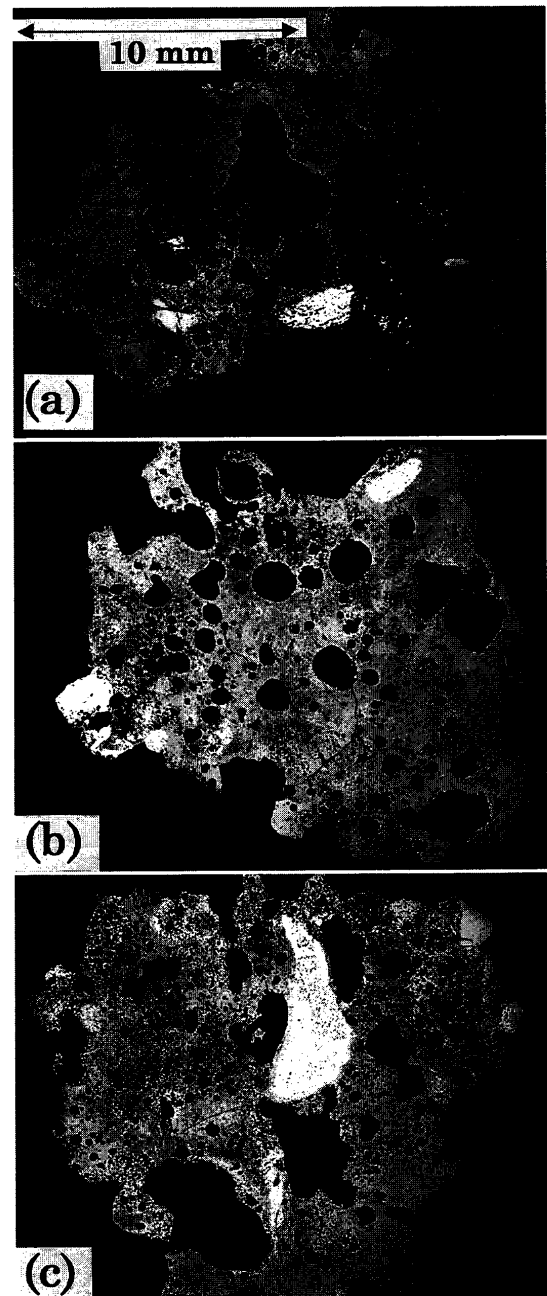


Fig. 4. Structure of sinter obtained by the performance test under a constant gas flow rate. (Limestone size: (a) -0.25 mm, (b) 2~3 mm, (c) 4~5 mm.)

よびFeOとMagnetiteは最小に、Calciumferriteは最大となった[Fig. 3]。石灰石の過大な粗粒化は、その同化不足によるCalciumferriteの低下（Hematiteの増加）を招いたと考えられる。また、石灰石の過度な細粒化により融液の平均塩基度が低下してスラッグの生成が促進したとすれば、Calciumferriteの減少とHematiteおよびMagnetiteの増加は説明できる。

成品焼結鉱の気孔形状は、1.5-2.0 mmの条件で球状化がよく進行しており、それより粗粒、細粒いずれも凹凸が大きくなっていった[Fig. 4]。この結果は、前述の歩留、また、後述のシンターケーキ構造とも対応している。また、顕微鏡観察では、RDIを変化させる可能性がある焼結鉱中のク

Table 3. Macroscopic observation of sinter from the performance test under constant gas velocity.

Size of limestone (mm)	0-0.25	2.0-3.0
Shape of surface and pores	Uneven	Spherical
Cracks (numbers/sample)	1.3	2.0
Residual ores (pieces/sample)	3	1.5

(Average of 5 samples)

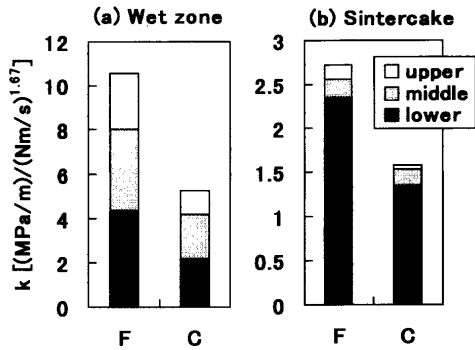


Fig. 5. Comparison of permeation resistance constants between fine and coarse sizes of limestone. F: fine, 0~0.25 mm. C: coarse, 2~3 mm.

Table 4. Bulk density of raw mixture and sintercake in the performance test.

Bulk density (Mg/m <sup>3</sup> )		Size of limestone (mm)	Size of limestone (mm)				
			0-0.25	0.5-1	1-2	2-3	4-5
Bulk density	Uf	Raw mix	1.43	1.42	1.38	1.46	1.49
		Sintercake	1.16	1.19	1.19	1.25	1.26
	dP	Raw mix	1.58	1.6	1.66	1.59	1.63
		Sintercake	1.52	1.46	1.36	1.38	1.48

ラックの本数や未熔融鉱石量には、RDIとの対応は認められなかった。還元粉化の原因と従来考えられている、骸晶状 Hematite の量や斑状 Hematite と Calciumferrite の混在組織の量にも有為な差は認められなかった[Table 3]。

3・3 焼結ベッドの通気抵抗変化

圧力測定試験において、焼結充填層の湿潤層およびシンターケーキ層のkは、いずれも、細粒石灰石に比較して粗粒石灰石の方が約半分となった。通常溶融帯の幅は層厚全体に対して小さいので無視すると、湿潤層およびシンターケーキ層の焼結過程における平均的な層厚は等しく、全層厚の半分程度と見なせる。シンターケーキ層のkの絶対値は、湿潤状態のkに比較して約1/4倍であったことから、石灰粗粒化の通気改善は湿潤帯での寄与が大きいと考えられる[Fig. 5]。

3・4 シンターケーキ構造の変化

焼結性試験において、シンターケーキの嵩密度に、石灰石粒度変化にともなう系統的な変化は認められなかった[Table 4]。負圧一定の試験の焼成前の装入密度が流速一定に比較して上昇しているが、実験誤差と考えられる。

CT試験において、細粒石灰石と粗粒石灰石のシンターケーキ断層像を比較すると、粗粒石灰石で気孔率が2%

Table 5. Changes in branch parameters of sintercake from CT test due to change in limestone size.

Size of limestone (mm)	Porosity (%)	+5mm Porosity (%)	Branch index		
			Density (1/cm <sup>3</sup> )	Width (mm)	Length (mm)
0-0.25	63.6	59.3	8.65	3.65	2.14
2.0-3.0	61.6	56.7	6.55	3.98	2.42

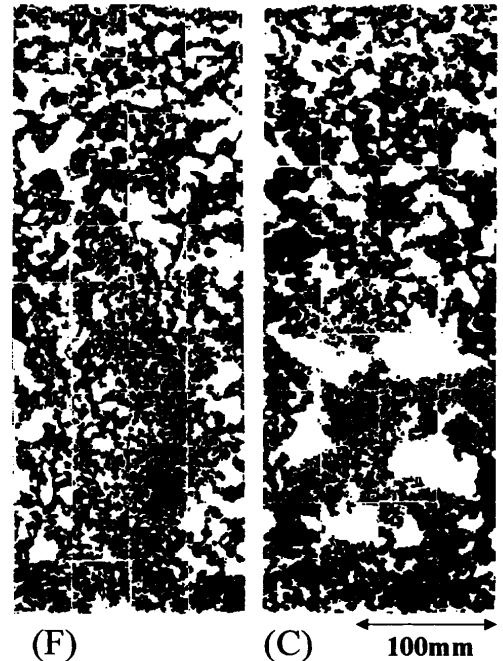


Fig. 6. Comparison of vertical tomographs between sintercakes made from fine and coarse limestone in CT test. F: fine, 0~0.25 mm. C: coarse, 2~3 mm.

(開気孔率で2.6%) 減少する一方、ブランチ径が0.3 mm 増加しており、焼結がより進行している様子が伺えた[Table 5]。断層像の観察[Fig. 6]から、特に下層における気孔の粗大化が顕著であることがわかる。これは、シンターケーキ層の通気改善が下層部で大きいという圧力測定試験結果[Fig. 5]を裏付けている。

4. 考察

まず、石灰石粒度のシンターケーキ構造への影響を考察する。次に、石灰石粒度の影響として従来からよく言われており、かつ本試験結果においても確認された生産性とRDIへの影響について、シンターケーキ構造の変化という観点から考察する。

4・1 石灰石粒度のシンターケーキ構造へ及ぼす影響

焼結性試験では、石灰石の粒度変化にともなうシンターケーキ嵩密度の系統的な変化は認められなかった。むしろ、シンターケーキ嵩密度は、初期の配合原料の装入密度をそのまま反映した結果となっている[Fig. 7]。この原因は、樋口ら<sup>9)</sup>のスタンド焼結の結果からシンターケーキの収縮が鍋外壁との摩擦によって制約を受けると類推されることより、使用した試験鍋が90 mmと比較的内径が小さくその影

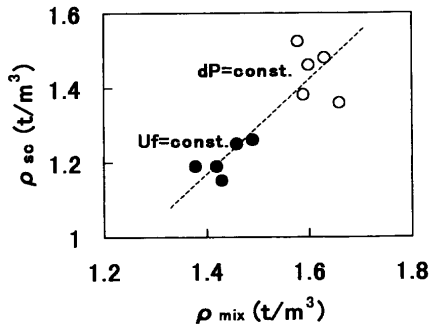


Fig. 7. Relationship between bulk density of raw mix ( $\rho_{\text{mix}}$ ) and produced sintercake ( $\rho_{\text{sc}}$ ). (Performance test)

響が支配的であったためと考えられる。

CT試験においては、石灰石粒度が2.0–3.0 mmのシンターケーキが、−0.25 mmを使用した場合に比較して、その気孔率が低下する一方、そのブランチ径が増大し、焼結の程度がより進んだ結果となった[Table 5]。この原因は、以下の2つの結果から、石灰石粗粒化により融液生成個所が局在化した結果、未溶融鉄石の内部や表面に捕捉されずに充填層内を自由に流動する融液の比率が増加して、気孔の合体と収縮を進めたためであると考えられる。この考えを補佐する結果の一つは、焼結鉄の鉱物構成において[Fig. 3]、石灰石の細粒化により、HematiteとMagnetiteが増加しCalciumferriteが減少している点である。塩基度が1.86以下の組成で完全に均一溶融した場合はスラグと酸化鉄からなる凝固組織となりCalciumferriteは存在しないという松野らの知見<sup>7)</sup>からも言えるように、この焼結鉄組織変化は、融液生成の均一化を示すと考えられる。もう一つは、川口らの方法<sup>8)</sup>を用いて融液流動性を測定した結果である。すなわち、石灰石−0.25 mmおよび2.0–3.0 mmの場合の融液滴下距離は、それぞれ、8.5 mm および9.6 mmと、わずかではあるが2.0–3.0 mmの石灰石の方が大きい融液流動性を示した。ただし、この石灰石粗粒化により自由な融液が増加するという考えは、生成融液量が一定(石灰石の同化が完全な場合)を前提にしている。4–5 mmの石灰石の焼結鉄では気孔の凹凸がむしろ大きくなっているが[Fig. 4 (c)]、これは粒度が過大であったために石灰石が十分に同化されずに融液の生成量が減少したためであると思われる。

なお、前記原因について、石灰石の粗粒化によって、微粉原料の粉コークスへの付着量が低下して燃焼性が改善し、焼結温度が上昇し、融液生成量が増加したとする考えもある。負圧一定の焼結性試験における焼結温度の実測値は、0–0.25 mm: 1250°C, 0.5–1.0 mm: 1316°C, 1.5–2.0 mm: 1350°C, 2.0–3.0 mm: 1373°C, 4.0–5.0 mm: 1311°Cと歩留との相間が認められた。しかし、排ガスのCO, CO<sub>2</sub>分析値には焼結温度上昇に対応するような変化が認められず、焼結鉄のFeOやMagnetite量は温度とは逆の対応傾向であった。以上より、この考えを支持するのに十分な証拠はない

と考えられる。

## 4・2 石灰石粒度の焼結ベッド通気へ及ぼす影響

### 4・2・1 焼結ベッド全体の通気に及ぼすシンターケーキの通気抵抗の寄与

負圧一定のもとでは、石灰石粗粒化によりFFSが向上した。この知見はすでによく知られている。古宅ら<sup>9)</sup>は、その原因を原料疑似粒化度(GI指数)の増加とそれによる焼結充填層の通気度(JPU)の改善によるとしている。また、志垣ら<sup>10)</sup>は、焼結時間に原料の通気度の差から推定される以上の差があるとし、融液の生成の影響もあるとしている。

ここでは、焼結充填層全体の通気抵抗が原料湿潤層とシンターケーキ層のそれから成ると考え、両者を分離測定した。その結果、石灰石の粗粒化に際して、湿潤層での通気改善の寄与が大きいことが判明したが、シンターケーキ層での通気改善も認められた。さらに、シンターケーキの通気抵抗は下層部の寄与が大きく、石灰石の粗粒化により、下層部の通気抵抗が大きく改善することがわかった。

### 4・2・2 シンターケーキの通気抵抗への気孔率と気孔形状の影響

シンターケーキの通気抵抗をシンターケーキ構造から推定する方法はまだ確立されていない。Kasaiら<sup>11)</sup>は、シンターケーキの気孔率および表面積と通気抵抗との関係を調べ、通気抵抗値からErgunの式<sup>12)</sup>[(2)式]に基づいて計算される気孔率と実測の気孔率とが合わないとしている。そこで、ここでも、シンターケーキの通気抵抗に対してErgunの式が適用可能かどうか確認する。

$$\Delta P/L = 150\eta u D_p^{-2}(1-\epsilon)^2\epsilon^{-3} + 1.75\rho u^2 D_p^{-1}(1-\epsilon)\epsilon^{-3} \dots \dots \dots (2)$$

画像解析により得られた開気孔率は0.567、ブランチ幅は3.65 mmであり、それぞれをErgun式中の気孔率( $\epsilon$ )と粒子径( $D_p$ )と見なす。物性値は空気の室温での値を使用し、密度( $\rho$ )は1.2 kg/m<sup>3</sup>、粘度( $\eta$ )は20  $\mu$ Pa $\cdot$ sとする。圧力測定試験においてシンターケーキの $k$ 値を求めた時点の室温での空筒速度( $u$ )は概ね0.15 m/sであった。以上の諸元からErgunの式により計算される圧力損失( $\Delta P/L$ )は0.1 kPa/mとなる。一方、圧力損失の実測値は20 kPa/mであり、実際のシンターケーキの温度がこの概算で用いた室温より高いことによる影響を考慮しても、両者の差は大きいと考えられる。

計算に使用した気孔率または粒子径が過大なために上記の差が生じたとは思われない。なぜなら、Nakanoら<sup>13)</sup>が2 mm以上の気孔は3次的に連続しているとしており、ここで用いた開気孔率(+5 mm気孔率)に閉部分が含まれているとは考えられない。また、平均直径約2 mmの配合原料から形成されるシンターケーキのErgun式中に相当する粒子径が初期の値2 mmより小さくなるとも考えられない。Kasaiらは、この不一致の原因を、シンターケーキの

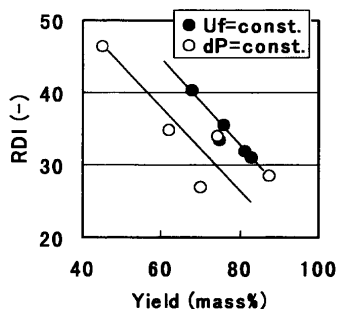


Fig. 8. Relationship between RDI and yield of sinter produced by performance tests.

通気抵抗が、Ergunの式が前提としている管路壁との粘性および乱流摩擦によるものではなく、気孔隘路部におけるオリフィス機構によるためと考えている。笠間ら<sup>9)</sup>がいうように、Ergun式に替わるシンターケーキの通気抵抗式として、機構ガス流路の分岐・合体や拡大・縮小を表現した通気抵抗式の検討が今後必要であると思われる。

#### 4.3 石灰石粒度のRDIへ及ぼす影響

焼結鉄の還元粉化原因には、還元時の応力発生源としての骸晶状Hematite<sup>14)</sup>に起因する説、亀裂の伝播に対する脆弱組織としてのHematiteとCalciumferriteの混在組織<sup>15,16)</sup>に起因する説などがある。さらに井上ら<sup>17)</sup>は、両者を総合して[組織強度]/[Hematiteの還元量]という指標で評価すべきとしている。石灰石の粗粒化によるRDI改善機構に関しては、沢村ら<sup>18)</sup>は、粗粒化により石灰石の同化反応が粉コークス燃焼完了後の高酸素雰囲気状態まで遅延されることによりCalciumferriteが多く生成されるためとしている。古宅ら<sup>10)</sup>は、通気性改善により急冷され、還元粉化の起点となる再酸化Hematiteの生成が防止されるためとした。また、志垣ら<sup>11)</sup>は、鉄物構成の変化を検出し得なかったが、細粒化による融液生成量増加で高温保持時間の長い熱履歴を受けるために、Magnetite、Calciumferrite、Slagの混在組織が多くなり、冷却時のMagnetiteの骸晶状Hematiteへの再酸化量が増加してRDIが悪化するとした。

本研究における組織変化は、石灰石の粗粒化によりCalciumferriteが増加している点で沢村らの結果に近い。しかし、Calciumferriteは還元亀裂の伝播阻止強度が弱いとするのが最近の研究結果である。従って、Calciumferriteの多量生成がRDI改善に繋がったとは考えにくいと思われる。

井上らがRDIにおける組織強度の重要性を前記のように指摘しており、ここでもRDIと歩留の高い相間が認められたことから[Fig. 8]、焼結鉄の強度がRDIを支配している可能性も考えられる。細粒石灰石では、融液流動性が低下して気孔形状が凸凹となって、粉化し易い焼結鉄が形成され、このマクロな気孔形状に起因する焼結鉄の回転強度の低下がRDIを悪化させたと考えられる。なお、Fig. 8では、RDIと歩留の相間は負圧一定と風量一定の焼成方法で層別

され、前者の方が後者よりRDIが改善している。この原因は、両者間のFFS差は大きくないことから、装入密度差に起因すると考えられるが、詳細は不明である。

## 5. 結言

石灰石の粗粒化によるシンターケーキ気孔構造の変化を明らかとし、石灰石の粗粒化による生産性およびRDIの改善効果をシンターケーキ気孔構造の変化から考察して、以下の知見を得た。

(1) 石灰石の滓化可能な範囲内の粗粒化は、融液生成の局所化による自由融液量の増加作用によって焼結の進行を促進させることにより、シンターケーキの気孔率を低下させブランチ径を増加させる。同様に、成品焼結鉄の気孔形状を球状化させる。

(2) 石灰石粗粒化にともなう生産性の改善は、主に原料湿潤帯における通気抵抗の低減によるが、(1)のシンターケーキ気孔構造の改善効果も認められた。

(3) 石灰石粗粒化によるRDIの改善は、歩留とRDIの相関が強いことおよび焼結鉄の気孔の球状化より、焼結鉄の回転強度の改善によると考えられた。

## 文 献

- 1) 第3版鉄鋼便覧Ⅱ，日本鉄鋼協会編，丸善，東京，(1979)，92.
- 2) K. Sato: *Fusen*, **28** (1981), 99.
- 3) 重見彰利著：製鉄ハンドブック，地人書館，東京，(1979)，319.
- 4) S.Kasama, T.Inazumi and T.Nakayasu: *Tetsu-to-Hagané*, **78** (1992), 1069.
- 5) K.Morioka, K.Sugiyama, S.Inaba, S.Jounai, E.Kasai and Y.Oomori: *CAMP-ISIJ*, **4** (1991), 1097.
- 6) K.Higuchi, Y.Hosotani, Y.Sensui, K.Umezu, T.Urabe and S. Matsunaga: *CAMP-ISIJ*, **10** (1997), 801.
- 7) N. Matsuno and T. Harada: *Sumitomo Met.*, **31** (1979), 1.
- 8) T.Kawaguchi, S.Kasama and T.Inazumi: *Tetsu-to-Hagané*, **78** (1992), 1053.
- 9) T.Inazumi, K.Kihara, Y.Tomii and H.Furutaku: *Tetsu-to-Hagané*, **78** (1981), S662.
- 10) I.Shigaki, M.Sawada, K.Yoshioka and S.Takahashi: *Tetsu-to-Hagané*, **71** (1985), 1880.
- 11) E.Kasai, B.Batchaihan, Y.Omori, N.Sakamoto and A.Kumasaka: *ISIJ Int.*, **31** (1991), 1286.
- 12) 改訂5版化学工学便覧，化学工学協会編，丸善，東京，(1988)，278.
- 13) M.Nakano, T.Kawaguchi, S.Kasama, T.Inazumi, J.Torii and T. Nakano: *ISIJ Int.*, **37** (1997), 339.
- 14) T.Inazumi, K.Shinada and M.Kawabe: *Tetsu-to-Hagané*, **68** (1982), 2207.
- 15) N.Sakamoto, H.Fukuyou, Y.Iwata and T.Miyashita: *Tetsu-to-Hagané*, **70** (1984), 512.
- 16) T.Kawaguchi, K.Kuriyama, S.Sato, K.Takata and T.Miyake: Proc. of 6th Int. Iron and Steel Cong., ISIJ, Tokyo, (1990), 40.
- 17) 井上勝彦，林 秀高，吉岡邦宏：日本学術振興会製鉄第54委員会資料 (No.1710), (1984).
- 18) K.Ono, K. Sato, Y.Sawamura, M.Fujimoto and N.Hori: *Tetsu-to-Hagané*, **67** (1983), S35.