

# 高速攪拌ミキサによるマラマンバ系鉱石の造粒におよぼす核粒子特性の影響

松村 俊秀\*・宮川 一也\*・山形 仁朗\*

Influence of the Nuclei Particle Properties on Granulability of Marra Mamba Iron Ore by High Speed Agitating Mixer

Toshihide MATSUMURA, Kazuya MIYAGAWA and Yoshiaki YAMAGATA

**Synopsis :** The newly developed brand Marra Mamba ore from Australia has a comparatively high water absorptivity, and since a large amount of fine ore is contained, if it is used as a raw material of sintered ore, it will cause the deterioration of the permeability of the ore bed, and the productivity fall of a sintered ore by the fall of the granulability. By blending nuclei particles with this Marra Mamba ore, the granulability and the permeability of the ore bed have improved sharply by processing them in a high-speed agitating mixer. It was considered that the ratio about 25mass% was suitable for nuclei particle mixture ratio to a high-speed agitated material.

Moreover, the granulability was improved by using the ore of 1–3 mm particles as nuclei. As for this, it is considered that the granulation of a middle size ore is accelerated, because of the consistency of the particle size composition of the material and properties of high-speed agitating mixer.

**Key words:** sintered ore; Marra Mamba; granulability; permeability; productivity; high-speed agitating mixer; nuclei particle; specific surface area; size distribution.

## 1. 緒言

焼結鉱製造プロセスにおいて、主原料である鉄鉱石の造粒性は原料充填層の通気性に大きく影響し、製品焼結鉱の生産性を左右する重要な因子である。近年、西豪州におけるマラマンバ系鉄鉱石の開発に代表される鉄鉱石の劣質化の進行にともない、焼結鉱製造プロセスにおける造粒性の重要性はさらに大きくなっている。

従来のヘマタイト系鉄鉱石とは異なり、マラマンバ系鉄鉱石は1) 結晶水を5.0~6.0質量%程度含有している、2) 比較的吸水能が高い、および3) 微粉を多く含有しているという特徴があることが知られている<sup>1)</sup>。マラマンバ系鉄鉱石を焼結鉱原料として使用すると、同じく豪州産のピソライト系鉄鉱石の場合<sup>2-4)</sup>に見られる製品焼結鉱の強度、歩留の低下だけではなく、微粉含有量の増加にともなう造粒性の低下から、原料充填層の通気性が阻害され、その結果として生産性が低下する現象が確認されている<sup>5)</sup>。したがって、マラマンバ系鉄鉱石を焼結鉱原料として多量に使用するためには、製品強度・歩留対策に加えて、造粒性および原料充填層の通気性低下を抑制する手段を講じる必要がある。

微粉鉄鉱石を焼結鉱原料として使用する場合の造粒性改善手段として、これまで多くの方法が検討・実用化されている<sup>6-8)</sup>。しかしこれまで対象とされた微粉鉄鉱石と異なり、

マラマンバ系鉄鉱石は前述のように吸水性が比較的高いため、十分な造粒性を確保するためには多量の水分添加が必要となる。焼結工場で通常使用されているドラムミキサは、多量の原料を混合・造粒するには適しているが、水分添加量が多くなると造粒挙動が不安定になるため、マラマンバ系鉄鉱石の造粒に必要な水分量を添加することが難しい。

本報告では、鉄鉱石に対してより多量の水分添加が可能となる高速攪拌ミキサ<sup>9-14)</sup>を利用して、マラマンバ系鉄鉱石を焼結鉱原料として使用した時の造粒性および原料充填層の通気性低下の抑制を試みた。また、マラマンバ系鉄鉱石配合時の造粒性が最大となるような、高速攪拌処理原料の配合条件についても、併せて検討をおこなった。

## 2. 高速攪拌処理による造粒性・通気性改善効果

### 2.1 実験条件

#### 2.1.1 高速攪拌処理の効果

マラマンバ系鉄鉱石を高速攪拌ミキサで事前処理した場合の、焼結鉱原料の造粒性およびそれを充填した原料充填層の通気性変化について検討をおこなった。

試験に使用した高速攪拌ミキサの概略をFig. 1に示す。本装置は容積 $3.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ch}$ 、アジテータの回

原著論文：ISIJ Int. Vol. 45 (2005), No. 4, pp. 485–491

平成18年3月13日受付 平成18年4月17日受理 (Received on Mar. 13, 2006; Accepted on Apr. 17, 2006; originally published in ISIJ Int., Vol. 45, 2005, No. 4, pp. 485–491)

\* (株) 神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel Ltd., 2222-1 Ikeda Onoe-cho Kakogawa 675-0023)

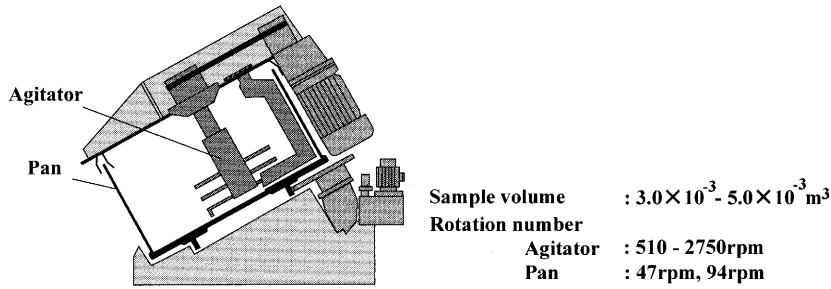


Fig. 1. Schematic diagram of “high speed agitating mixer”.

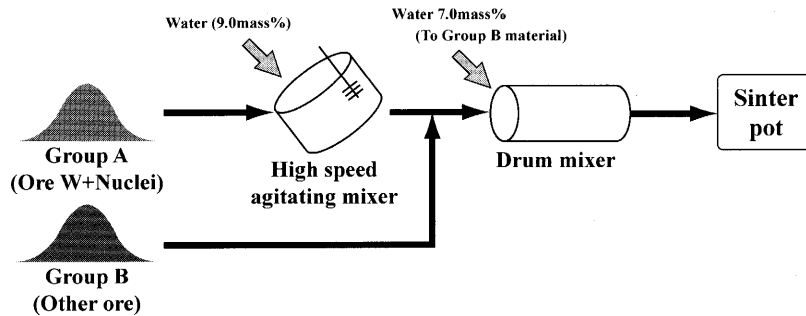


Fig. 2. Schematic diagram of granulation procedure.

転数 510~2750 rpm, パンの回転数 47~94 rpm のものである。また以下では、マラマンバ系鉱石として W 鉱石を使用した。試験に使用した鉄鉱石の化学組成を Table 1 に示す。

原料の造粒手順を Fig. 2 に示す。なお本報告では、造粒前原料は全て乾燥処理したものを使用した。試験は以下の手順でおこなった。高速攪拌処理する原料を高速攪拌ミキサに投入し、9.0 質量% (対投入原料) の水分を添加した (Fig. 2 中 Group A)。この原料をアジテータ回転数 891 rpm, パン回転数 47 rpm で 45 秒間処理した。続いて高速攪拌処理後の原料とその他の原料 (Fig. 2 中 Group B), および 7.0 質量% (対投入原料) の水分をドラムミキサに投入し、8 分間造粒した。造粒後の原料を内径 100 mmφ の焼結鍋試験装置に装入し、吸引圧力 3.23 kPa 一定条件下で焼成をおこなった。

本試験では、W 鉱石の配合量は 0 質量% (基準) と 20 質量% (いずれも対新原料比) の 2 水準とした。また、高速攪拌処理原料として、W 鉱石単体の場合と、造粒の核となる鉱石 (以下、核粒子) として豪州産ピソライト系鉱石である R 鉱石を 20 質量% (対新原料比) 配合した場合の 2 ケースを検討した。本試験の原料配合条件を Table 2 に、造粒条件を Table 3 にそれぞれ示す。

なお、高速攪拌処理した擬似粒子の場合、従来用いられている造粒性を表す指標である造粒性指数 (GI)<sup>\*1</sup> による評

Table 1. Chemical composition of ores.

	T.Fe	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI
Ore W	62.08	0.33	0.03	3.62	1.84	5.12
Ore H	61.71	0.28	0.15	4.90	3.07	2.85
Ore C	67.54	0.12	0.05	0.51	0.80	1.53
Ore D	64.29	0.34	0.04	5.34	0.98	1.06
Ore R	57.24	0.11	0.17	5.61	2.73	9.42
Ore Y	59.10	0.03	0.04	5.00	1.26	8.62

[mass%]

価では、擬似粒子中の付着粉が十分に除去されない現象が確認されたため、本報告では便宜上、擬似粒子を乾燥後に篩目 0.5 mm の篩で篩って未造粒粉 (= 擬似粒子に付着していない微粉) を除去した後に篩上で水洗し、それによって擬似粒子に付着していた 0.5 mm 以下の粒子割合 (= -0.5 mm 粉付着割合) を求め、擬似粒子の造粒性を表す指標とした。

### 2.1.2 核粒子配合量の影響

高速攪拌処理において、処理原料中の核粒子配合量の影響は非常に大きいと考えられる。そこで、核粒子配合量の影響について評価をおこなった。本試験では核粒子として、豪州産ヘマトイト系緻密質鉱石である H 鉱石と多孔質鉱石である R 鉱石を、いずれも粒度構成の調整をおこなわずに使用した。W 鉱石の配合量は 20 質量%, H 鉱石は 5~10 質量%, R 鉱石は 5~13 質量% (いずれも対新原料比) とし

\* 1 造粒性指数 (GI)

$$GI = (W_{0.25} - W_{0.25}) / W_{0.25} \times 100 (\%)$$

但し、 $W_{0.25}$  : 造粒前の -0.25 mm 粉割合 (質量%)

$W_{0.25}$  : 造粒後の -0.25 mm 粉割合 (質量%)

Table 2. Mixing condition of raw material.

Test No.	Ore H	Ore C	Ore D	Ore R	Ore W	Limestone	Quick lime	Serpentine	Silicious ore
Case 1	35.8	21.7	6.0	20.0	0.0	12.9	2.0	0.7	0.9
Case 2 - 12	15.8	21.7	6.0	20.0	20.0	12.9	2.0	0.7	0.9
Case 13 - 20	25.8	17.7	0.0	20.0	20.0	12.9	2.0	0.7	0.9

【mass%】

Table 3. Granulation conditions.

	Test No.	Granulation condition	High-speed agitated materials	Remarks
Influence of high-speed agitating process	Case 1	1 step (not high-speed agitating)		Ore W 0mass%
	Case 2	↑		Ore W 20mass%
	Case 3	2 step (with high-speed agitating)	Ore W 20mass%	
	Case 4	↑	Ore W 20mass% + Ore R 20mass%	
Influence of the nuclei particle mixture ratio	Case 5	1 step (not high-speed agitating)		Ore W 20mass%
	Case 6-1	2 step (with high-speed agitating)	Ore W 20mass% + Ore R 5mass%	Change of ore R (porous ore) adding ratio
	6-2	↑	Ore W 20mass% + Ore R 10mass%	
	6-3	↑	Ore W 20mass% + Ore R 13mass%	
	Case 7-1	2 step (with high-speed agitating)	Ore W 20mass% + Ore H 5mass%	Change of ore H (dense ore) adding ratio
	7-2	↑	Ore W 20mass% + Ore H 10mass%	

た。原料配合条件および造粒条件を Table 2, 3 に示す。高速攪拌処理条件は、水分添加量 9.0 質量% (対投入原料)、アジテータ回転数 891 rpm、パン回転数 47 rpm、処理時間 45 秒とし、処理後の原料はその他の原料とともにドラムミキサに投入し、水分添加量 7.0 質量% (対投入原料) で 8 分間造粒処理した。造粒後の原料は、内径 100 mmφ の焼結鍋試験装置に装入し、吸引圧力 3.23 kPa 一定条件下で焼成をおこなった。

## 2.2 実験結果

### 2.2.1 高速攪拌処理の効果

Fig. 3 に、各配合条件における擬似粒子の -0.5 mm 粉付着割合変化を示す。高速攪拌処理した場合、および高速攪拌処理原料に核粒子を配合した場合とも、-0.5 mm 粉付着割合は向上する傾向を示した。また高速攪拌処理原料に核粒子を配合することによって、付着割合は大幅に向上する

傾向を示した。

続いて Fig. 4 に着火前の充填層通気性指数(JPU)<sup>\*2</sup>変化を、Fig. 5 に製品焼結鉱の生産性変化を示す。

W 鉱石を高速攪拌処理することにより、充填層の通気性および生産性は向上する傾向を示した。また、高速攪拌処理原料に核粒子を配合した場合、生産性は大幅に改善され、W 鉱石配合量が 0 質量% の時とほぼ同等のレベルまで改善した。

以上の結果より、マランバ系鉱石を高速攪拌処理することにより、擬似粒子の造粒性、充填層の通気性および生産性が改善されることがわかった。また、高速攪拌処理原料に核粒子を配合することにより、さらに生産性改善効果が向上することがわかった。

### 2.2.2 核粒子配合量の影響

Fig. 6 に、緻密質鉱石と多孔質鉱石を核粒子として配合

\* 2 充填層通気性指数(JPU)

$$JPU = F/A \cdot (h/1.02 \times 10^{-4}s)^{0.6} (-)$$

但し、F : ガス流量 (Nm<sup>3</sup>/min)

A : 吸引面積 (m<sup>2</sup>)

h : 充填層高 (m)

s : 吸引圧力 (Pa)

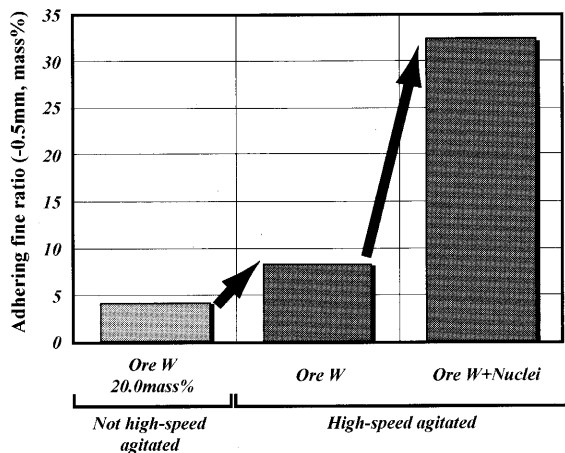


Fig. 3. Comparison of adhering fine ratio.

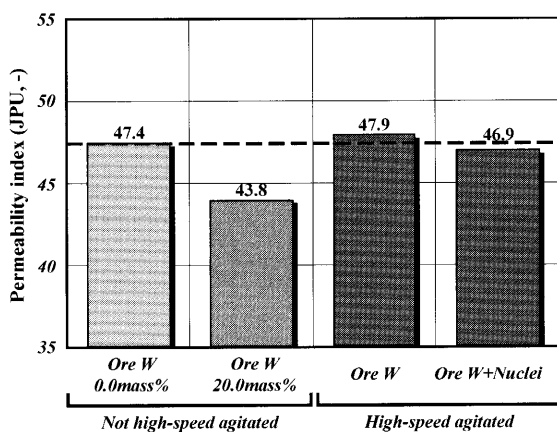


Fig. 4. Comparison of permeability index.

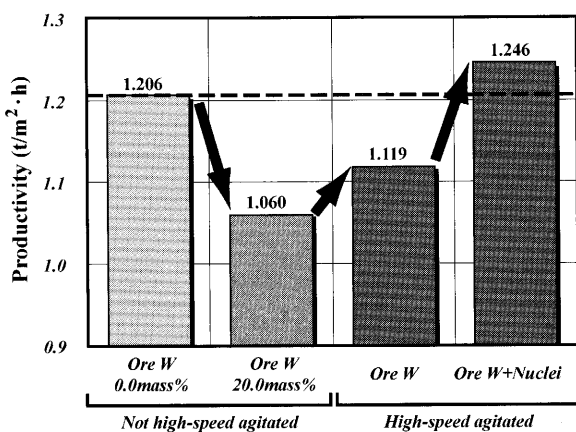


Fig. 5. Comparison of productivity.

した場合の、核粒子配合量\*3と-0.5mm粉付着割合の関係を示す。

当初の想定とは異なり、核粒子の配合量が増加しても、-0.5mm粉付着割合はほとんど変化しなかった。また、核粒子が緻密質鉱石と多孔質鉱石の場合で、有意な差は認め

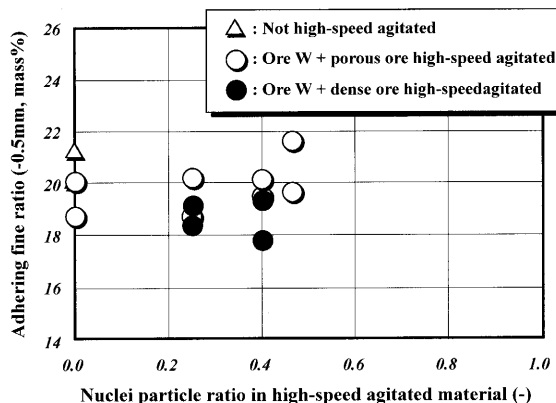


Fig. 6. Relation between the nuclei particle ratio and the adhering fine ratio.

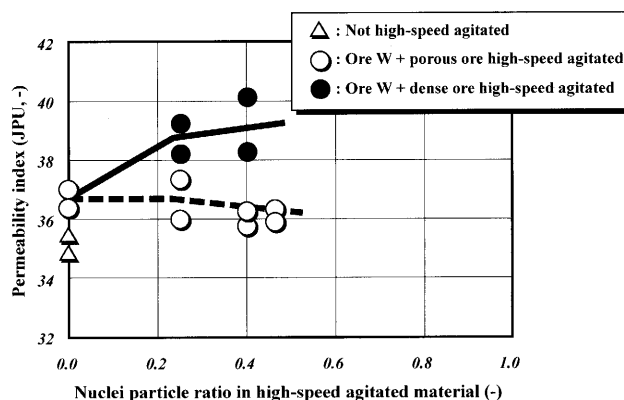


Fig. 7. Relation between the nuclei particle ratio and the permeability index of ore bed.

られなかった。

Fig. 7にはこの時の充填層通気性変化を示す。-0.5mm粉付着割合の挙動とは異なり、高速攪拌処理原料中核粒子配合量の増加にともない、充填層通気性指数は上昇し、配合割合が0.25以上ではほぼ一定となる傾向を示した。また、核粒子として緻密質鉱石を配合した場合、多孔質鉱石を配合した場合よりも通気性が高くなる傾向を示した。

以上の結果より、高速攪拌処理原料への核粒子配合割合を0.25以上とすることにより、微粉の付着特性には変化が認められなかったものの、充填層の通気性は向上すること、および核粒子として緻密質鉱石を使用することにより、その改善効果は大きくなることがわかった。

### 3. 高速攪拌処理による造粒性改善効果におよぼす核粒子性状の影響

以上のように、高速攪拌処理原料に一定量の核粒子を配合することにより、マラマンバ系鉱石配合時の造粒性および充填層の通気性が改善される傾向を示すこと、および配

\* 3 核粒子配合量 =  $W_n / (W_n + W_m)$

但し、 $W_n$  : 高速攪拌処理原料中の核粒子配合量(質量%)  
 $W_m$  : 高速攪拌処理原料中のW鉱石配合量(質量%)

Table 4. Granulation conditions.

	Test No.	Granulation condition	High-speed agitated materials	Remarks
Influence of a specific surface area of nuclei particle	Case 8	2 step (with high-speed agitating)	Ore W 20mass% + Ore C 5mass%	Nuclei particle : Ore C Specific surface : 1.80m <sup>2</sup> /g
	Case 9	↑	Ore W 20mass% + Ore D 5mass%	Nuclei particle : Ore D Specific surface : 0.69m <sup>2</sup> /g
	Case 10	↑	Ore W 20mass% + Ore H 5mass%	Nuclei particle : Ore H Specific surface : 5.30m <sup>2</sup> /g
	Case 11	↑	Ore W 20mass% + Ore R 5mass%	Nuclei particle : Ore R Specific surface : 19.28m <sup>2</sup> /g
	Case 12	↑	Ore W 20mass% + Ore Y 5mass%	Nuclei particle : Ore Y Specific surface : 24.28m <sup>2</sup> /g
Influence of the particle size composition of nuclei particle	Case 13	2 step (with high-speed agitating)	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:1-3mm 100mass%	
	Case 14	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:3-5mm 100mass%	
	Case 15	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:5-10mm 100mass%	
	Case 16	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:1-3mm 40mass% 3-5mm 20mass% 5-10mm 40mass%	
	Case 17	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:1-3mm 30mass% 3-5mm 30mass% 5-10mm 40mass%	
	Case 18	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:1-3mm 20mass% 3-5mm 40mass% 5-10mm 40mass%	
	Case 19	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:1-3mm 30mass% 3-5mm 50mass% 5-10mm 20mass%	
	Case 20	↑	Ore W 15mass% + Ore H 5mass% Ore H:1-3mm 30mass% 3-5mm 40mass% 5-10mm 30mass%	

合する核粒子としては、緻密質鉱石の方が効果的であることがわかった。これは、マラマンバ系鉱石の微粉と核粒子の相互作用に起因する現象であると考えられる。

鉱石表面に存在する気孔や空隙の量といった表面構造は、核粒子表面への微粉鉱石の付着特性に影響を与えると考えられる<sup>15)</sup>。また核粒子の粒度構成も、高速攪拌処理原料中の核/粉比を規定することから、造粒性に大きな影響を与える因子であると考えられる。そこで以下では、核粒子の性状が造粒性におよぼす影響について検討をおこなった。

### 3・1 実験条件

#### 3・1・1 核粒子比表面積の影響

核粒子として配合する鉱石の銘柄を変更し、核粒子の比表面積の影響を評価した。原料配合条件を Table 2 に、造粒条件を Table 4 に示す。本実験では比表面積の異なる 5 種類の鉱石を使用した。それらの配合量は W 鉱石 20 質量% に対して、5 質量% (対新原料比) 一定とした。また核粒子の粒度構成は 3~5 mm、および未調整の 2 水準とした。

各鉱石の比表面積は 3~5 mm の粒子を対象に吸着法で測定し、それぞれの代表値とした。

また、高速攪拌処理条件およびドラムミキサでの造粒条件は 2 章と同様とした。

#### 3・1・2 核粒子粒度構成の影響

核粒子の粒度構成は、高速攪拌処理条件の適正化を図る上で、非常に重要な因子である。そこで、W 鉱石 15 質量% に対して、人工的に粒度構成を変更した H 鉱石 5 質量% (いずれも対新原料比) を配合し、核粒子に要求される粒度構成条件の影響の評価を試みた。原料配合条件を Table 2 に、核粒子の粒度構成設定を Table 4 にそれぞれ示す。高速攪拌処理条件およびドラムミキサでの造粒条件は 2 章と同様とした。

### 3・2 実験結果

#### 3・2・1 核粒子比表面積の影響

Fig. 8 に、核粒子の比表面積を変更した時の -0.5 mm 粉付着割合の変化を示す。核粒子が 3~5 mm の場合、2・2 節に示した結果とは異なり、核粒子が 3~5 mm の場合、未調

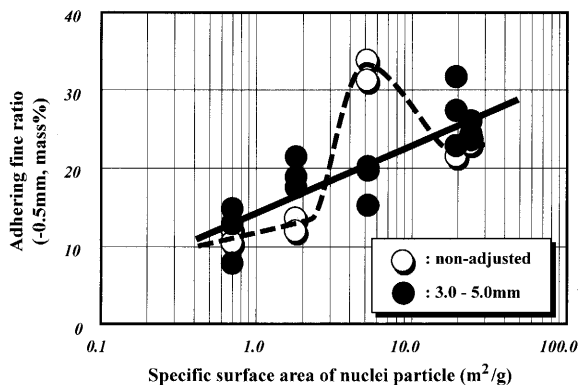


Fig. 8. Relation between the specific surface area of nuclei particle and the adhering fine ratio.

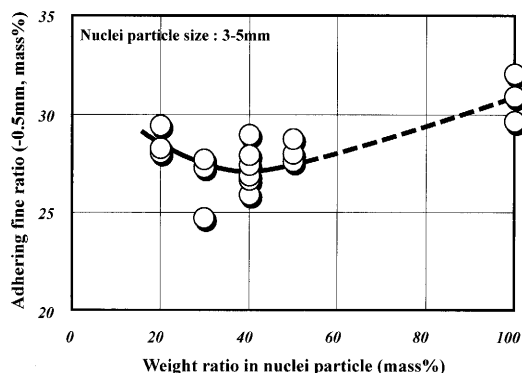


Fig. 10. Effect of 3-5 mm particle ratio in nuclei on granulation.

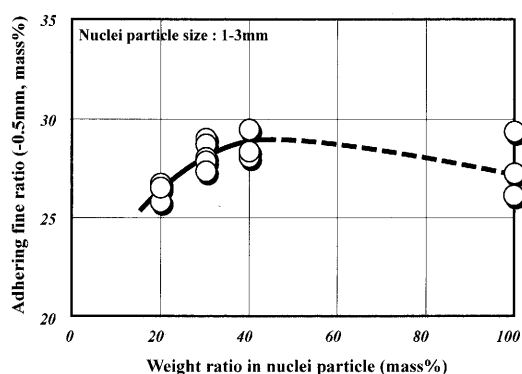


Fig. 9. Effect of 1-3 mm particle ratio in nuclei on granulation.

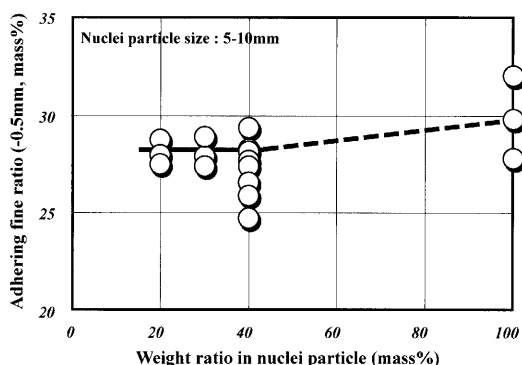


Fig. 11. Effect of 5-10 mm particle ratio in nuclei on granulation.

整の場合とも、核粒子の比表面積の増大にともなって、付着割合は増加する傾向を示した。核粒子が3~5 mmの場合、-0.5 mm 付着粉量の増加は直線的であったが、未調整の場合、比表面積が5.0~6.0 m<sup>2</sup>/g 付近で、-0.5 mm 付着粉量が急激に増加する傾向を示した。

### 3.2.2 核粒子粒度構成の影響

Fig. 9に、核粒子中の1~3 mm 割合と-0.5 mm 粉付着割合の関係を示す。1~3 mm 割合の増加にともなって付着割合は増加する傾向を示し、1~3 mm 割合が約40質量%の時に付着割合は最大となった。それ以上1~3 mm 割合が増加すると、付着割合はほとんど変わらないか、やや低下する傾向を示した。

続いてFig.10に、核粒子中の3~5 mm 割合と付着割合の関係を示す。3~5 mm 割合の増加にともなって付着割合は低下し、3~5 mm 割合が約40質量%の時に最小となった。3~5 mm 割合がさらに増加すると、付着割合は一転してやや増加する傾向を示した。

Fig.11には核粒子中の5~10 mm 割合と付着割合の関係を示す。この図から、5~10 mm 割合と付着割合には明確な関係が認められないことがわかった。

## 4. 考察

3.2節で示した様に、核粒子の粒度構成が一定の場合、核粒子の比表面積が大きくなるのにもなって-0.5 mm 粉付着割合は増加しているが、核粒子粒度構成が未調整の場合、核粒子の比表面積と-0.5 mm 粉付着割合の間に明確な関係が認められないという、矛盾した結果が得られた。このことは高速攪拌処理原料に配合する核粒子に要求される特性としては、比表面積で代表される表面構造より、粒度構成の影響の方が大きいことを示唆していると考えられる。2.2節では核粒子が緻密質の場合と多孔質の場合で造粒性に有意な差が認められなかったにも関わらず、3.2節では核粒子の比表面積と造粒性に相関が認められたという相反する結果が得られたのも、核粒子の粒度構成の影響が大きいことによるのではないかと考えられる。

次に、核粒子の粒度構成の影響について着目すると、Fig. 9~11に示したように、核粒子中の1~3 mm 割合および3~5 mm 割合と-0.5 mm 粉付着割合、すなわち擬似粒子の造粒性には相関が認められる。Fig.12には Table 3 中の Case 4 の条件の焼結鉱原料を高速攪拌処理した際の、処理前後の粒度構成変化を示している。この図から、高速攪拌処理によって1~3 mm の粒子が大幅に増加する一方で、5 mm 以上の粒子は逆に大幅に減少していることがわかる。

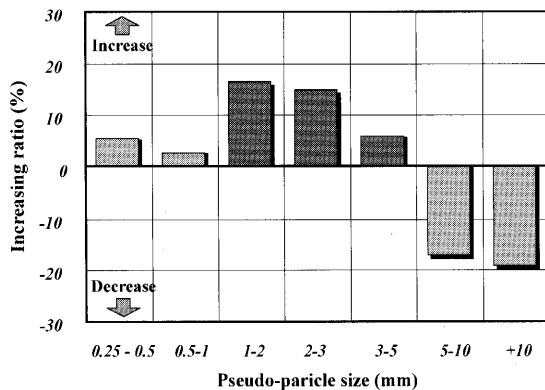


Fig. 12. Effect of high speed agitating process on particle size.

これは、高速攪拌ミキサの場合、ドラムミキサ等に比べて処理される原料に与える剪断力が大きいいため、造粒物が粗大化し難いことが原因であると考えられる<sup>13,14)</sup>。核粒子中の1~3 mm 割合と擬似粒子の造粒性に強い相関が認められるのは、このような高速攪拌ミキサの装置特性と処理される原料の粒度構成が合致するためであると考えられる。

また、Fig. 6~7において、付着割合が変化していないにも関わらず、充填層の通気性が改善された原因については、0.5 mm よりさらに微細な粉鉱石の付着割合の影響、あるいは高速攪拌ミキサで激しく攪拌されたことによって、0.5 mm 以下の微粉だけで構成されたペレット型の擬似粒子が増加したこと等が可能性として考えられるが、現時点では明確ではない。

## 5. 結言

高速攪拌ミキサを利用し、マランバ系鉱石を焼結鉱原料として使用した際の造粒性および充填層通気性低下の抑制を試みた結果、以下のことが明らかになった。

(1) マランバ系鉱石に核粒子を配合して高速攪拌処理することにより、擬似粒子の造粒性、充填層の通気性および製品焼結鉱の生産性は大幅に改善される。

(2) マランバ系鉱石に対する核粒子配合比の増加にともなって、充填層の通気性は向上し、高速攪拌処理原料中の核粒子配合割合が0.25以上でほぼ一定となる。

(3) 核粒子の粒度構成が同じ場合、核粒子の比表面積の増加にともない、擬似粒子の造粒性は向上する。

(4) 1~3 mm 含有割合の多い鉱石を核粒子として配合することにより、擬似粒子の造粒性は向上する。これは、中間粉領域の造粒性が促進されるという、高速攪拌ミキサの装置特性と、処理される原料の粒度構成が合致するためであると考えられる。

(5) 高速攪拌処理原料に配合する核粒子の特性としては、比表面積で代表される表面性状より粒度構成の影響の方が大きい。

## 文 献

- 1) J.Okazaki, M.Nakano and Y.Hosotani: *CAMP-ISIJ*, **14** (2001), 187.
- 2) T.Matsuo, T.Yabata, K.Oosuzu, K.Hoshino, K.Kawamoto and T.Noda: *CAMP-ISIJ*, **6** (1993), 64.
- 3) C.E.Loo, D.Wichard and G.C.Penny: 6th Int. Symp. on Agglomeration, (1993), 267.
- 4) T.Matsumura, K.Morioka, M.Shimizu, T.Noda and T.Matsuo: *Tetsu-to-Hagané*, **82** (1996), 23.
- 5) S.Amano, T.Matsumura, Y.Matsui and Y.Yamagata: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 172.
- 6) S.Arino, H.Yoshida, N.Sasaki and R.Haga: *Tetsu-to-Hagané*, **73** (1987), S70.
- 7) N.Sakamoto, A.Kumasaka, O.Komatsu, M.Shimizu and H.Noda: 5th Int. Symp. on Agglomeration, (1989), 269.
- 8) N.Fujii, S.Iyama, S.Nitta, H.Ishikawa, K.Hosomi and Y.Konishi: *CAMP-ISIJ*, **2** (1989), 938.
- 9) M.Matsumura, T.Kawaguchi, K.Kitamura, H.Yoshioka and K.Tajiri: *CAMP-ISIJ*, **6** (1993), 97.
- 10) M.Matsumura, T.Kawaguchi and Y.Hatano: *CAMP-ISIJ*, **7** (1994), 1036.
- 11) T.Murai, S.Komatsu, Y.Hatano, R.Sasagawa, T.Kawaguchi and M.Matsumura: *CAMP-ISIJ*, **7** (1994), 1038.
- 12) M.Matsumura and T.Kawaguchi: *CAMP-ISIJ*, **8** (1995), 307.
- 13) K.Sato, S.Suzuki, M.Fujimoto and Y.Shimomura: *Tetsu-to-Hagané*, **71** (1985), S21.
- 14) S.Suzuki, K.Sato and M.Fujimoto: *Tetsu-to-Hagané*, **72** (1986), S821.
- 15) Y.Hida, K.Ito, J.Okazaki, M.Sasaki and Y.Umezumi: *Tetsu-to-Hagané*, **68** (1982), 2166.