

# 和歌山 4 焼結原料造粒技術の開発

Development of Sinter Mixture Granulation at Wakayama No.4 DL

笹川 亮/Akira Sasakawa・和歌山製鉄所 製鉄部 製鉄管理室 参事補

川口尊三/Takazo Kawaguchi・総合技術研究所 研究主幹 工博

松村 勝/Masaru Matsumura・鹿島製鉄所 製鉄部 製鉄原料工場 副長

波多野康彦/Yasuhiko Hadano・小倉製鉄所 鉄鋼部 製鉄工場 参事

## 要 約

焼結機の生産性改善、焼結鉱被還元性状改善の手段として、分割造粒技術を開発、実機適用を図ってきた。今回、和歌山第4焼結機において、難焼結性である微粉原料の造粒改善による生産性向上を目的に高速攪拌ミキサーを伴う分割造粒技術を開発導入した。

## Synopsis

To improve the sintering productivity and the sintered ore reducibility, the authors developed the separate granulation method with a high-speed agitating mixer. This paper describes the method and the introduction of separate granulation equipment into Wakayama No.4 DL.

## 1. 緒 言

長期的に良質鉱石床の枯渇により焼結用粉鉄鉱石の微細化、結晶水の上昇が予想され、このような原料性状変化は焼結ベッドでの通気性を低下させるとともに、品質面では還元粉化性(RDI)を悪化させる。一方、高炉の高微粉炭吹込み操業にともない、低スラグかつ被還元性(RI)の高い高品位焼結鉱の製造が求められている。このような高品位焼結鉱は焼成時の融液量が低下するため、焼結強度が低下し、焼結鉱の生産性が低下する問題<sup>1),2)</sup>がある。

これらに対応すべく、生産性改善を目的とした各種造粒方法<sup>3),4)</sup>が行われている。また、原料銘柄の選択造粒処理技術は焼結生産性改善にとって有効で、古くはセミペレット法<sup>5)</sup>に代表される通気性、生産性の改善を主目的とした微粉原料の事前処理技術法<sup>6)</sup>として行われている。更にこれに焼結鉱の還元性状改善を加えた技術<sup>7)-9)</sup>も紹介されている。これらの技術は擬似粒化の促進に加え、擬似粒子内の組成に偏在を持たせて焼結鉱成品の鉱物組織制御による品質改善を狙ったものである。

筆者らはこれらの方法を発展させ、原料配合を2系列に分割することで原料成分構成に自由度を与え、幅広い焼結鉱の組織設計が可能となる応用範囲の広い分割造粒技術の開発を実施した。これまで各焼結機のローカル条件にマッチした造粒技術を開発し、鹿島第2焼結機、および小倉第

3焼結機に適用した<sup>10),11)</sup>。

今回、和歌山第4焼結機において、難焼結性である微粉原料の造粒改善による生産性向上を目的に、高速攪拌ミキサーを伴う分割造粒技術を開発した。以下にその検討結果および実機導入について報告する。

## 2. 分割造粒技術

### 2-1 分割造粒の効果

分割造粒では、次の2つの改善効果を目的としている。第1に微粉原料の造粒改善による生産性向上、第2に品質面での還元粉化性改善である。これらの効果を得るため、造粒機選定、配合条件の検討を行った。

### 2-2 生産性改善

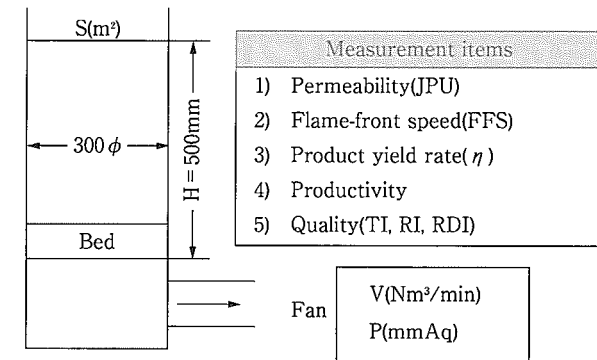
鍋焼成試験は各種造粒機を用いて擬似粒子性状調査、鍋焼成試験を実施し、通気、歩留り改善における最適造粒機を検討し、更に最適造粒となる配合条件を求めた。

#### 2-2-1 造粒ミキサー性能比較試験条件

焼成試験に用いた鍋焼成試験装置の概略図を第1図に示す。

#### 2-2-2 試験方法

鍋焼成試験は第1表に示す配合で、第2図に示す造粒方法で実施した。



(#1)JPU can be expressed by the following formula:  

$$(V/S) \times (H/P)^{0.6}$$

第1図 焼結鋼試験装置  
 Fig.1 Sintering pot test setup

第1表 鋼試験における原料配合  
 Table 1 Characteristics of mixed raw material

	Type A	Type B
Proportioning	Fine raw material	Standard raw material (Wakayama No.4 sintering plant)
Moisture	Optimum moisture that will raise the ratio of pseudo-grains of 2-10 mm diameters, to each granulating method	7 %

Case 1: Conventional method	
A + B → Drum 4 min → Drum 4 min	
Case 2: Separate granulation method	
A → Various granulation methods	→ Drum 15 sec
B → Drum 4 min → Drum 4 min	

第2図 造粒条件  
 Fig.2 Granulation conditions

## 2-2-3 試験結果

擬似粒子の粒度分布および擬似粒子強度の測定結果を第2表に示す。高速攪拌ミキサーおよび振動ミキサーを使用した場合の崩壊指数が低い。また、鍋焼成試験結果を第3図に示す。高速攪拌ミキサー+ドラムミキサーおよび振動ミキサー使用の場合の生産性の改善幅が大きい。

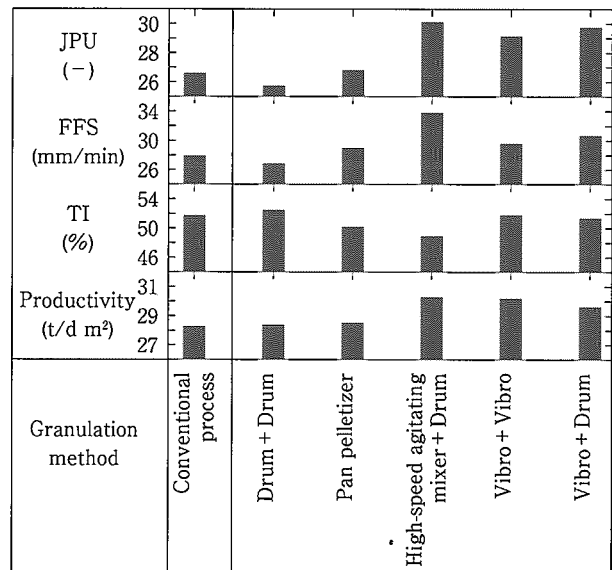
しかし、振動ミキサー混練前後の真粒度分布を第4図に示すが、振動ミキサーは焼成に適する粗粒子(2~10 mm)を破碎する傾向があるため、高速攪拌ミキサーを採用することとした。

## 2-2-4 配合条件

第5図に原料粒度の高速攪拌ミキサー造粒効果への影響を示す。高速攪拌ミキサーの造粒効果は、原料中微粉比率が高い程、造粒効果を発揮する。

## 2-3 品質改善

分割造粒法は、前述のとおり原料配合を2系列に分割することで原料成分構成に自由度を与え、幅広い焼結鉱

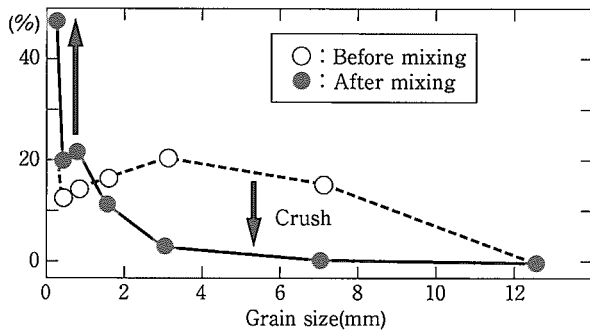


第3図 微粒造粒における造粒機評価  
 Fig.3 Evaluation of granulating machines for fine raw material

第2表 擬似粒子測定結果  
 Table 2 Pseudo-grain evaluation

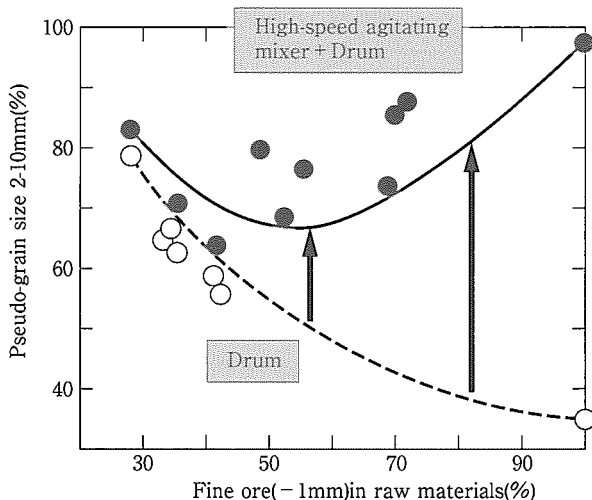
Study case	Granulating time	Moisture (%)	Disintegration index (#1) (%)	Pseudo-grain size (wt %)		
				-2mm	2-10mm	+10mm
① Drum + Drum	4min + 4min	10.4	13.4	63.2	35.3	1.5
② Pan pelletizer	5min	9.8	14.2	35.0	57.2	7.8
③ High-speed agitating + Drum	1min + 4min	10.1	0.9	8.6	91.1	0.3
④ Vibro + Vibro	1min + 1min	7.1	3.5	10.4	79.3	10.3
⑤ Vibro + Drum	1min + 4min	8.7	2.3	2.0	90.6	7.4

(#1) Disintegration index (2mm)% =  $(1 - (+2\text{mm}\%(\text{After shock treatment}) / (+2\text{mm}\%(\text{Before shock treatment}))) \times 100$



第4図 振動ミキサー混練前後の真粒度分布(wt %)

Fig.4 True grain size distribution before and after mixing by vibro-mixer (wt %)

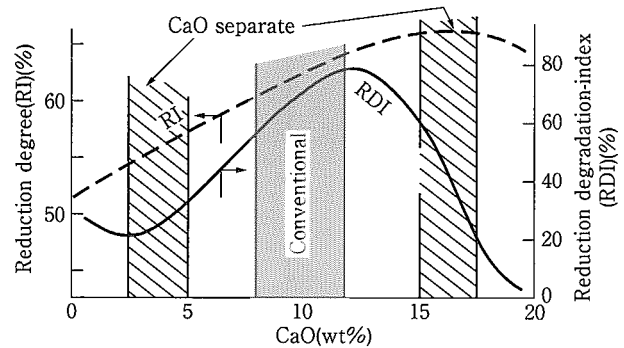


第5図 原料粒度の高速攪拌ミキサー造粒効果への影響

Fig.5 Effects of raw material grain size on high-speed agitating mixer granulation

の組織設計が可能となる。

焼結成品中の CaO 成分の焼結体性状に及ぼす影響を第 6 図に示す。還元粉化性は CaO 10% 付近が最も悪く、これから遠ざかるにつれて改善される。焼結成品中の CaO 成分は高炉操業上の制約から 8~11% 程度であり、還元粉化性の最も悪い CaO 成分域で製造されている。そこで分割造粒法を用いて CaO 成分を偏在させ、CaO 成分の高い組織と低い組織を作り出してこの成分域を回避すれば、還元粉化性を改善できる。



第6図 CaO 分割造粒の還元粉化性改善の原理

Fig.6 Influence of CaO content on reduction properties

### 3. 和歌山第4焼結機における分割造粒技術の開発

#### 3-1 目的

和歌山第4焼結機における分割造粒法の目的は、高炉の高微粉炭操業に対応した焼結鉱の高品位化および、焼結鉱増産による被還元性に優れた焼結鉱の配合増である。

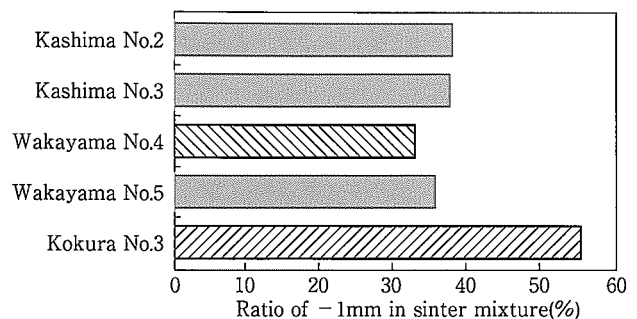
前者の焼結鉱の高品位化は、前述のとおり生産性が悪化するため生産性改善が必要であることから、両者とも生産性改善が狙いである。

#### 3-2 分割造粒設備

##### 3-2-1 造粒工程のレイアウト

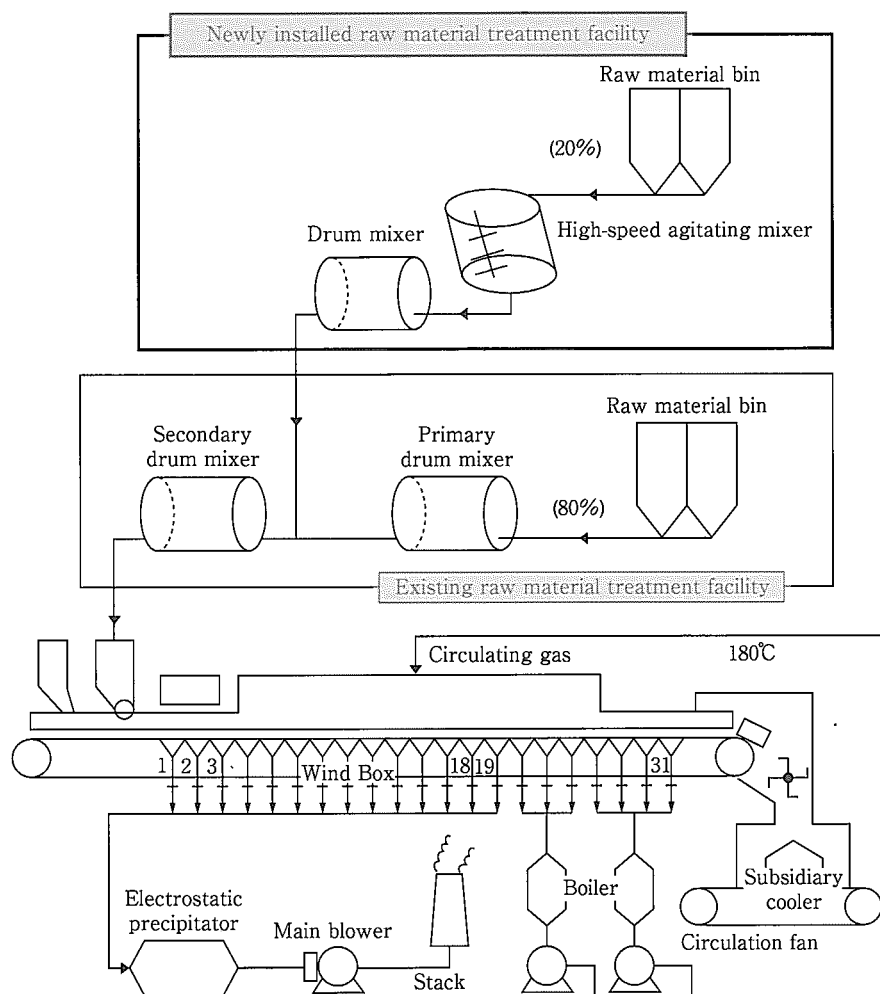
第5図に示したように高速攪拌ミキサーは微粉比率が高い方が造粒効果が高い。しかし第7図に各焼結機の配合原料中-1mm比率を示すが、和歌山第4焼結機は微粉が比較的少ないため、微粉原料とその他の原料の分割造粒を採用した。

第8図に造粒工程のレイアウトを、第3表に分割造粒設備の仕様を示す。微粉原料を選択的に造粒させる高速攪拌



第7図 各焼結機の配合原料中の微粉比率

Fig.7 -1mm in sinter mixture at sintering plants (1993)



第 8 図 和歌山第 4 焼結機における新造粒設備概要

Fig.8 Outline of newly installed facility at Wakayama No.4 DL

第 3 表 分割造粒設備仕様

Table 3 Separate granulation facility main performance

	Treatment capacity	Retention time
High-speed agitating mixer	100 t/h	60 sec
Newly introduced 3rd mixer	100 t/h	4.0 min
Existing drum mixers (Primary, Secondary)	550 t/h	4.0 min

ミキサー＋ドラムミキサー系統を新設し、既設 1 次ミキサーおよび 2 次ミキサー間で通常原料と合流させるレイアウトとした。

### 3-3 分割造粒の効果

第 9 図に第 4 焼結機における造粒および生産性改善効果を示す。造粒率 (GI-2) が改善され、燃焼前線速度 (FFS) が上昇した結果、生産率は約 10% 上昇した。

また、原料水分増加は、一般には造粒率および生産性改善へ寄与する一方で、処理設備への原料付着も増加させる。第 10 図に分割造粒による原料付着試験結果を示す。分割造粒で使用する高速攪拌ミキサーは、ドラムミキサーに比べ

原料水分を均一化させるため、局所的な高水分領域が少なく設備への原料付着が少ない。したがって、従来法では原料付着のために高水分化が困難であったが、高速攪拌ミキサーにより水分を 0.3% 上昇させても原料付着は逆に低下した。

### 3-4 操業結果

操業結果を第 11 図に示す。第 4 および第 5 焼結機とも、SiO<sub>2</sub> 低減とともに生産性が低下している。第 4 焼結機への分割造粒の導入以降、破線の SiO<sub>2</sub> 低減による生産減産量 (第 11 図中破線) に対し、生産量が増加した。

また、第 4 焼結機への分割造粒の導入以降、微粉原料を

	Conventional	Separated granulation	
Moisture content	7.0%	7.0%	7.3%
Productivity (t/d/m <sup>2</sup> )	35	37	39
GI-2 (%)	27	33	39
FFS (mm/min)	26	28	30
JPU Sintering zone(-)	26	28	30
Cooling zone(-)	32	32	32

(#1) The pot tests were performed simulating the characteristics (hot gas circulation) of Wakayama No.4 DL

(#2) GI-2 can be expressed by the following formula:

$$\frac{\{\text{True grain size} - 2\text{mm(Wt \%)} - \text{Pseudo-grain size} - 2\text{mm(Wt \%)}\}}{\{\text{True grain size} - 2\text{mm(Wt \%)}\}}$$

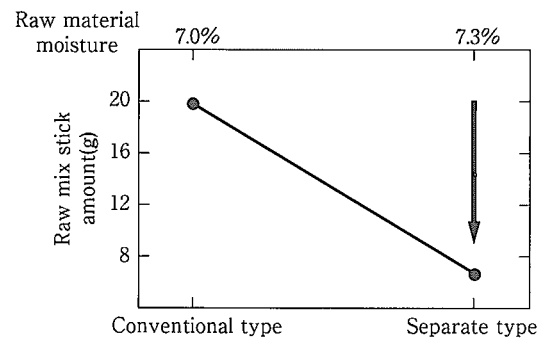
第9図 分割造粒による通気改善効果

Fig.9 Permeability improvement effect by separate granulation

Raw mix feeder stick amount:

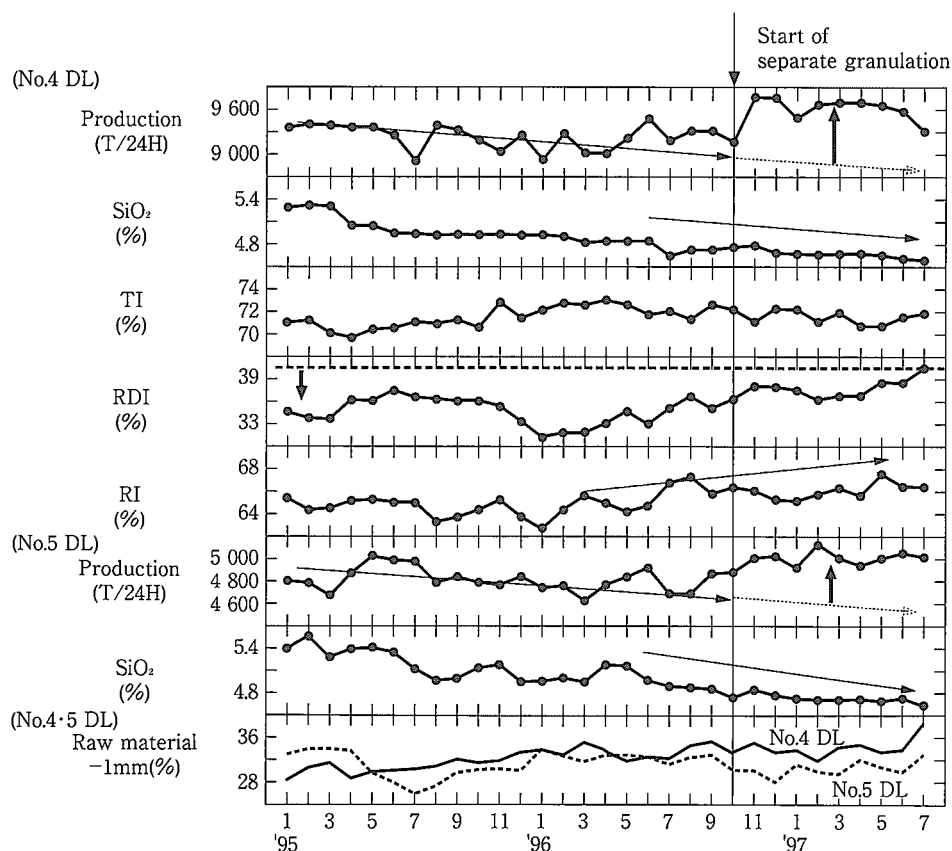
After exposing the 30 mm width bar to the raw mix feeder for 10 seconds, the bar was extracted and raw mix stick on the tip was recovered.

(N=5)



第10図 分割造粒による配合原料の付着量変化

Fig.10 Raw mix stick amount change by separate granulation



第11図 和歌山製鉄所の焼結機操業推移

Fig.11 Operation change of Wakayama Sintering Plant

第 4 焼結機に傾斜配合したため、第 5 焼結機の生産性も拡大した。更に焼結成品中  $\text{SiO}_2$  を 4.90%→4.55%に低減し、焼結鉱の高品位化を図った。

4. 各焼結機適用例

分割造粒法は、今回の和歌山第 4 焼結機適用以前に、各ローカル条件に適した形態でそれぞれ鹿島第 2 焼結機および小倉第 3 焼結機に導入している。

4-1 鹿島第 2 焼結機での適用例

第 4 表に鹿島第 2 焼結機での適用例を示す。適用の目的は、RDI 制約で困難であった安価高  $\text{Al}_2\text{O}_3$  鉱の配合増、および通気改善による送風動力低減である。

$\text{CaO}$  の偏在に分割造粒法を適用し、高  $\text{CaO}$  側の石灰石、オーストラリア鉄鉱石およびスケールを新設の高速攪拌ミキサー+ドラムミキサーを用いて造粒し、一方低  $\text{CaO}$  側には残りの配合原料を既設ドラムミキサーで造粒し、両者を合流、給鉱させた。その結果、成品  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を 0.2%増加し、送風動力を 6%低減した。

4-2 小倉第 3 焼結機での適用例

同じく第 4 表に小倉第 3 焼結機での適用例を示す。適用の目的は、低スラグ焼結鉱製造に伴う生産性低下の防止、および通気改善に伴う生石灰低減である。

小倉第 3 焼結機の原料は、第 7 図に示したように-1 mm が 55%と微粉が多く、第 5 図に示した高速攪拌ミキサーによる造粒効果が発揮できる領域であり、あえて分割造粒にして微粉比率を高くする必要がないため、一括造粒とした。その結果、生石灰低減(1.6→1.2%)および成品  $\text{SiO}_2$  低減(4.90→4.75%)を図った。

5. 結 言

生産性増加および RDI 改善をはかるため、分割造粒法を開発した。分割造粒に用いる造粒機としては、高速攪拌ミキサー+ドラムミキサーが効果大きい。

本造粒法をこれまで鹿島第 2 焼結、小倉第 3 焼結へ適用してきたが、新たに和歌山第 4 焼結に導入し、生産率約 10%改善および成品  $\text{SiO}_2$  低減(4.90→4.55%)を図った。

第 4 表 和歌山、鹿島、小倉各所焼結機における造粒改善の概要  
Table 4 Outline of improvement of granulation at Wakayama No.4 DL, Kashima No.2 DL, and Kokura No.3 DL

	Wakayama No.4 DL	Kashima No.2 DL	Kokura No.3 DL
Back ground	1. Coarse lime 2. Coarse ore 3. High production	1. Fine lime 2. Coarse ore	1. Coarse lime 2. Fine ore
Problem	1. Low permeability	1. High RDI 2. Low permeability	1. Low permeability
Purpose	1. Higher production 2. Decreasing slag in sinter	1. Increasing high $\text{Al}_2\text{O}_3$ ore 2. Saving blower energy	1. Decreasing slag in sinter 2. Saving burnt lime
Means	Improvement of permeability by separate granulation	Improvement of RDI and permeability by separate granulation	Improvement of permeability by additional mixer
Facility layout	<div><div>H</div> High-speed agitating mixer <div>D</div> Drum mixer S. M. : Sintering Machine</div> <div>Bin→<div>H</div>→<div>D</div> Ordinary materials Bin→<div>D</div>→<div>D</div>→S. M.</div>	<div>High <math>\text{CaO}</math> materials Bin→<div>H</div>→<div>D</div> Low <math>\text{CaO}</math> materials Bin→<div>D</div>→<div>D</div>→S. M.</div>	<div>Fine materials Bin→<div>H</div>→<div>D</div>→<div>D</div>→S. M.</div>
Result	1. Increasing productivity by 8-10% 2. Decreasing $\text{SiO}_2$ content from 4.90% to 4.55%	1. Increasing $\text{Al}_2\text{O}_3$ content by 0.2% 2. Saving blower energy by 6%	1. Decreasing $\text{SiO}_2$ content from 4.90% to 4.75% 2. Saving burnt lime from 1.6% to 1.2%



笹川 亮/Akira Sasakawa

和歌山製鉄所 製鉄部  
製鉄管理室 参事補

(問合せ先：0734(51)1172)

## 参考文献

- 1) 松野：鉄と鋼, **64**(1978), p.1499
- 2) 重盛ら：鉄と鋼, **71**(1985), S 30
- 3) 鈴木ら：鉄と鋼, **73**(1987), p.1932
- 4) 坂本ら：鉄と鋼, **78**(1992), p.1029
- 5) 芹沢ら：鉄と鋼, **44**(1958), p.286
- 6) 松岡ら：鉄と鋼, **68**(1982), S 717
- 7) 葛西ら：鉄と鋼, **70**(1984), p.520
- 8) 大木ら：鉄と鋼, **771**(1985), S 794
- 9) 芳我ら：鉄と鋼, **70**(1984), p.516
- 10) 川口ら：住友金属, Vol.42 No.4(1990), p.84
- 11) Hadano et. al : AIME, **54**(1994), p.535