

# 原料動向と当社における焼結鉱製造技術の最近の進歩

## Changes in Iron Ore Resources and Recent Progress of SMI's Sintering Technology

小島正光/Masateru Kojima・本社 鉄鋼技術部 専任部長

川口尊三/Takazo Kawaguchi・総合技術研究所 研究主幹 工博

佐藤和明/Kazuaki Sato・本社 鉄鋼技術部 参事

### 要 約

最近の鉄鉱石資源動向、特に豪州での高品位鉄鉱石枯渇化に伴い、難焼結性の高結晶水鉄鉱石が今後増加する。それに伴う焼結鉱の製造工程における歩留り、生産性低下に対し、高速攪拌型のミキサーを活用した造粒改善等の技術開発で対応している。また、高炉高微粉炭比操業の支援および高炉スラグ量削減の要請から、高品位焼結鉱の製造を進めている。

### Synopsis

Recent changes in iron ore resources, especially the gradual depletion of high quality ore in Western Australia have brought expectations for an increase in high combined water ore with inferior in sintering performance. To guard against consequent yield and productivity problems we improved the granulation method by use of a high-speed agitating mixer, and also improved other sintering technology. Improved sinter quality assists in high rate pulverized coal injection to the blast furnace and also contributes to meeting requirements to reduce slag quantity.

## 1. はじめに

高炉の主要原料である焼結鉱の製造技術の最近の動向につき、鉄鉱石の資源動向、ならびにコークス炉の寿命問題、それに対する高炉操業課題など周辺条件との関連を明らかにしながら概説する。

## 2. 鉄鉱石原料動向

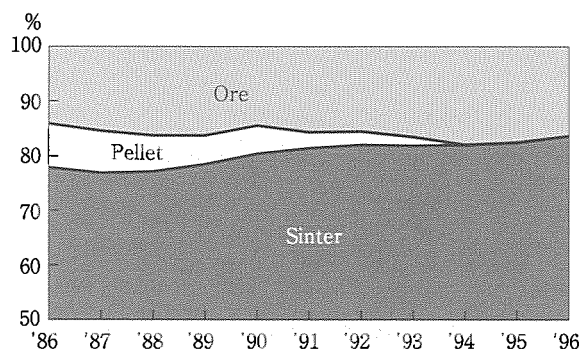
### 2-1 当社における鉄鉱石購買の変化

当社においては、焼結鉱製造能力の活用、コスト削減の観点より、第1図に示すように粉鉄鉱石の増加(焼結鉱比の増加)、塊鉄鉱石の増加により、ペレットの削減を図ってきた。

また、第2図に示すように購入ソースとしても、遠距離大西洋ソースを削減し、近距離の豪州鉄鉱比率を増加させ、フレート(運賃)の削減を図るとともに、採掘条件が良く安価であるが、結晶水含有率が高く難焼結性である豪州ピソライト鉄鉱の使用比率を第3図のように現状23%程度まで増加させてきた。

### 2-2 豪州鉄鉱石の種類と今後の動向

第1表に西豪州鉄鉱石の分類概要を示す。良質な低P(磷)ブロックマン鉄鉱は既に枯渇が始まっており、第4図に

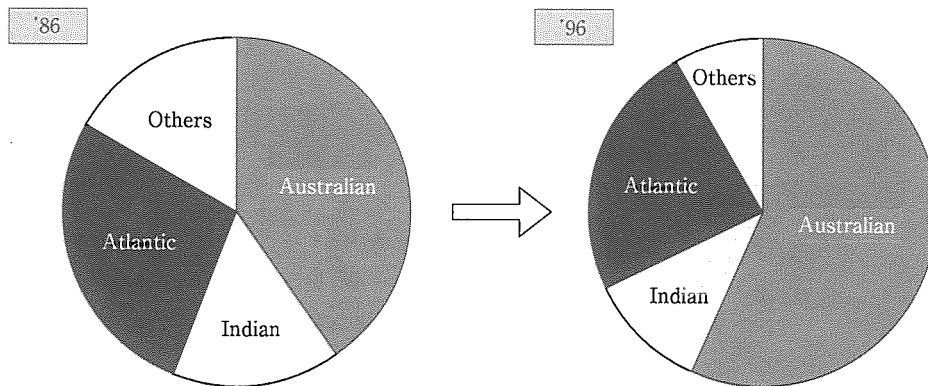


第1図 当社のペレット比、焼結比の推移

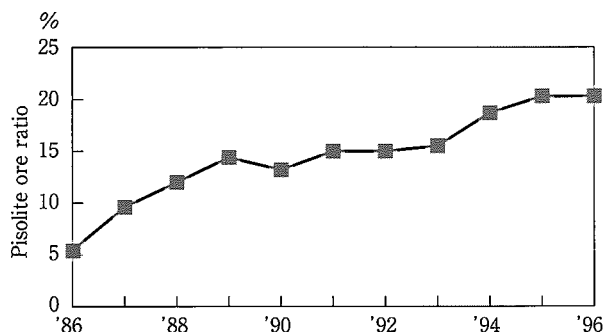
Fig.1 Changes of sinter and pellet ratio

示すように今後高結晶水のマラマンバ鉄、ピソライト鉄の採掘が増えるものと思われる<sup>1)</sup>。その結果、鉄鉱石全体の性状変化として、

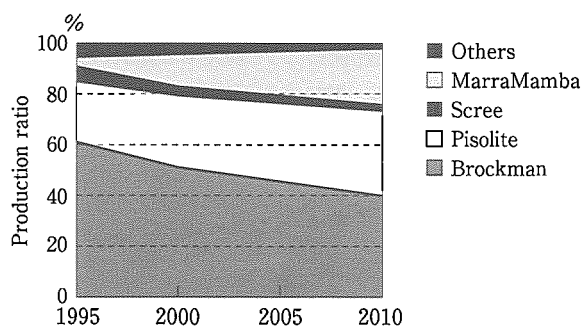
- ・塊鉄強度の低下および、塊鉄比率の低下
- ・粉鉄中の結晶水の増加等により、焼結鉱生産性の低下
- ・ $Al_2O_3$ 等の品位は若干の好転傾向等が予想される。



第2図 当社粉鉱石中の豪州鉱比率の増加  
Fig.2 Increase of Australian ore



第3図 焼結新原料中に占めるピソライト鉱石比率  
Fig.3 Changes of pisolite ore in sinter fine

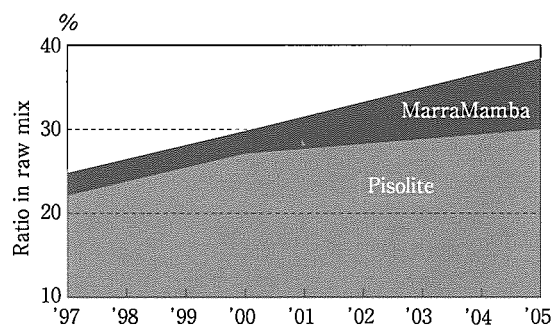


第4図 西豪州における鉱種別鉄鉱石生産予想  
(西豪州政府資料より)

Fig.4 WA iron ore production by ore type-Forecast  
(Govt. of Western Australia)

## 2-3 当社の今後の方向

上述の豪州資源動向を踏まえ、当社としても第5図に示すように高結晶水鉱石を増加させコスト削減を図るとともに、品位の好転によるスラグ量低減を図るべく、技術開発を推進中である。以下当社における焼結鉱製造技術の最近の進歩について述べる。



第5図 ピソライト鉱、マラマンバ鉱の配合比率将来予想  
Fig.5 Future increase of pisolite and marraMamba ore in sinter fine-Forecast

## 3. 当社における焼結鉱製造技術の最近の進歩

### 3-1 焼結鉱の生産状況および品質動向

'85年と'96年の焼結鉱の生産状況および品質の実績を第2表に示す。国内全体では焼結鉱生産量は年間1億tとほとんど変化していないが、焼結機のグレート面積は14%減少し、逆に生産率は14%増加している。これは、生産効率の悪い老朽化した小規模の焼結機を廃棄し、比較的新しい大規模焼結機で増産対応させた結果であり、焼結機数は41機から28機まで減少した。当社も同様に7機あった焼結機を5機に集約し、7%のグレート面積の減少と同率の生産率上昇をはかりトータル焼結鉱生産量の確保をはかった。

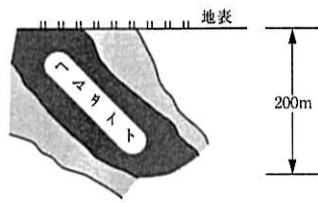
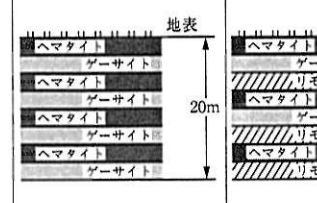
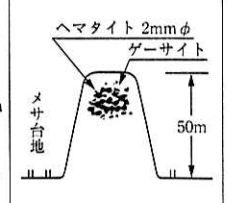
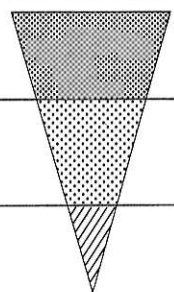
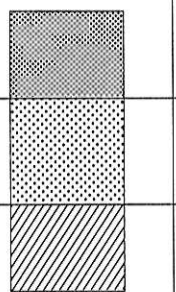
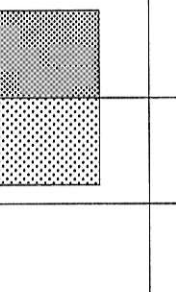
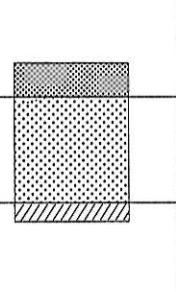
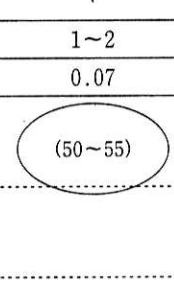
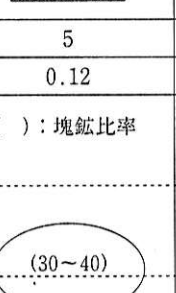
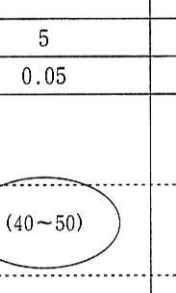
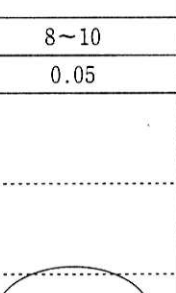
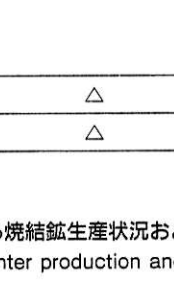
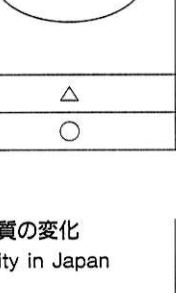
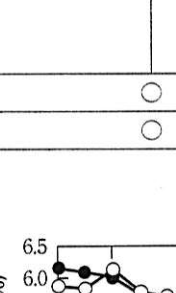
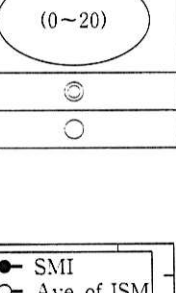
製造エネルギーについては、エネルギー単価が安価なこともあって、消費エネルギー原単位としては国内全体では4%増加したが、当社は鍋歩留りを約4%改善し消費エネルギー原単位を3%減少させることができた。回収エネルギー原単位は国内、当社ともに増加に努力した。

焼結鉱品質については、化学成分は第6図に示すように国内全体ではSiO<sub>2</sub>成分が5.6%から5.1%に低下したが、

## 技術解説

第1表 西オーストラリア鉄鉱床の分類表

Table 1 Classification of iron ore in Western Australia

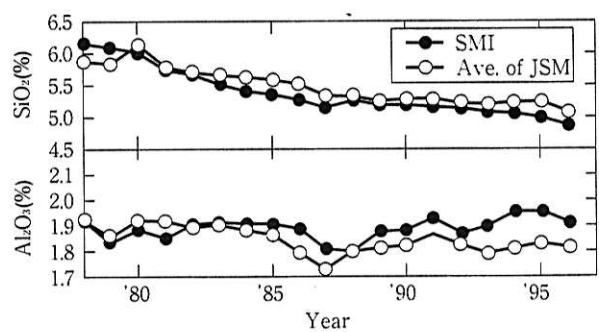
鉱 床	ブロックマン		マランバ		ピソライト
	低Pタイプ	高Pタイプ	良 質	劣 質	
形成層の特徴					
鉱物構成	ヘマタイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )				
	ゲーサイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ )				
	リモナイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ )				
結晶水 (%)	1~2	5	5	7	8~10
P (%)	0.07	0.12	0.05	0.07	0.05
物理強度	ハード (高炉使用可)	(50~55)	( ) : 塊鉱比率		
	ソフト (配合制限)		(30~40)	(40~50)	
	ダスト (高炉使用不可)			(20~30)	(0~20)
剥土比	△	△	○	○	○
残存鉱量	△	○	○	○	○

第2表 国内における焼結鉱生産状況および品質の変化

Table 2 Trends of sinter production and quality in Japan

( )は当社

項 目	1985 年	1996 年
焼 結 機 数	41 ( 7 )	28 ( 5 )
グレート面積(m <sup>2</sup> )	9 994 (1 842)	8 609 (1 704)
焼 結 生 産 量(万 t)	10 028 (1 635)	9 928 (1 628)
鍋 歩 留 り(%)	71.5 ( 71.4 )	75.3 ( 76.0 )
消費エネルギー(Mcal/t)	333 ( 333 )	345 ( 322 )
回収エネルギー(Mcal/t)	26 ( 61 )	29 ( 71 )
T.Fe (%)	56.0 ( 56.6 )	57.1 ( 57.5 )
SiO <sub>2</sub> (%)	5.57 ( 5.33 )	5.10 ( 4.89 )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1.86 ( 1.90 )	1.82 ( 1.92 )
TI	70.0 ( 72.3 )	72.0 ( 75.5 )
RDI	34.6 ( 34.5 )	37.1 ( 38.9 )
RI	65.0 ( 64.0 )	67.6 ( 66.3 )

第6図 焼結鉱 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分の推移Fig.6 Transition of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in sinter

他の化学成分には大きな変化はなかった。当社も同様に SiO<sub>2</sub>成分は低下している。また、当社は安価な高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>鉄鉱石多量使用の方針から他社に比べ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分が高いことが特徴である。一方物理性状については国内全体、当社ともに、冷間強度(TI)や被還元性(RI)は向上、逆に還元粉化性(RDI)は悪化する傾向にある。当社での被還元性の向上は

高炉高微粉炭操業の指向のためであり、また高炉装入物分布制御技術の活用により還元粉化性の緩和を目指している。

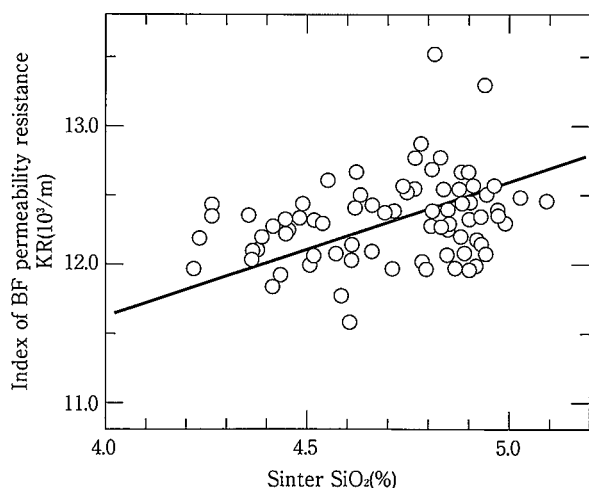
### 3-2 焼結鉱品質改善技術

当社のコークス炉は、建設されてから20—30年が経過し寿命延長が大きな課題となっている。このためコークス炉操業において乾留時間の延長、すなわちコークス生産量を低下させる対策として、高炉では微粉炭を羽口より吹き込む操業を実施している。高炉内でコークスは熱源、還元剤、通気・通液スパーサーとしての機能を保有する。しかし、微粉炭は前2者の機能を保有し代替えが可能であるが、通気・通液スパーサーの機能はなく高微粉炭操業にあっては炉内圧損が上昇する。特に高温部分に対応する炉下部で顕著である<sup>2)</sup>。そこで、高微粉炭操業における焼結鉱品質としては、高温通気性状の改善が強く要求されている。

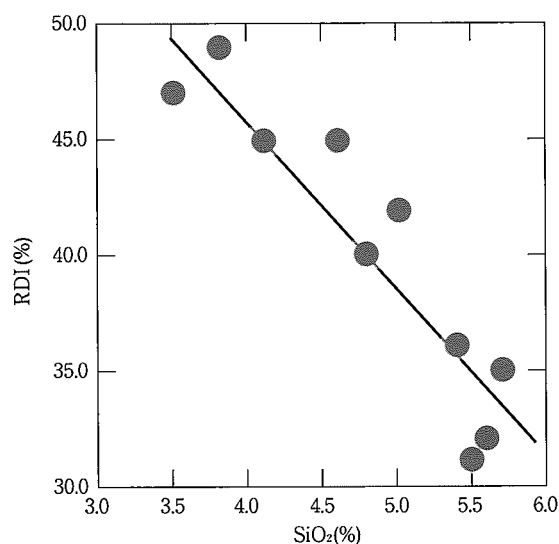
一方、環境関連法律の制定により、土木建築廃材や製鋼スラグなどの産業廃棄物は埋め立て投棄から高炉スラグの用途先であるセメント原料や路盤材に利材活用されるようになった。その結果、高炉スラグの需要と供給のバランスが崩れ、高炉スラグ量の低減も強く要求されている。

以上より、焼結鉱品質としてはMgO成分を維持し低SiO<sub>2</sub>、低CaO成分の被還元性の良好な低スラグ焼結鉱が要求され、第7図に示すように、高炉通気性改善に効果を発揮している。しかし、第8図に示すようにSiO<sub>2</sub>成分の低減は焼結鉱の還元粉化性を悪化させ、またCaO成分の低減は第9図に示すように焼結鉱生産性および歩留りを悪化させるので、これらを補償する製造技術が重要である。

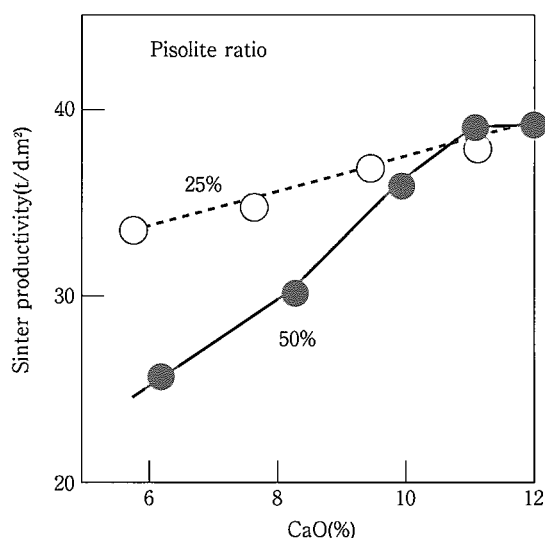
還元粉化性改善には分割造粒技術<sup>3)</sup>の実用化や石灰石<sup>4)</sup>、燃料<sup>5)</sup>粒度の見直しが実施され、生産性や歩留り改善には後述の技術が実用化された。その結果、直近では積極的な焼結鉱スラグ量低減を推進しており、スラグ量の指標であるSiO<sub>2</sub>成分で4.6%まで低下している。



第7図 焼結鉱 SiO<sub>2</sub>の高炉通気性に及ぼす影響  
Fig.7 Influence of sinter SiO<sub>2</sub> on blast furnace permeability



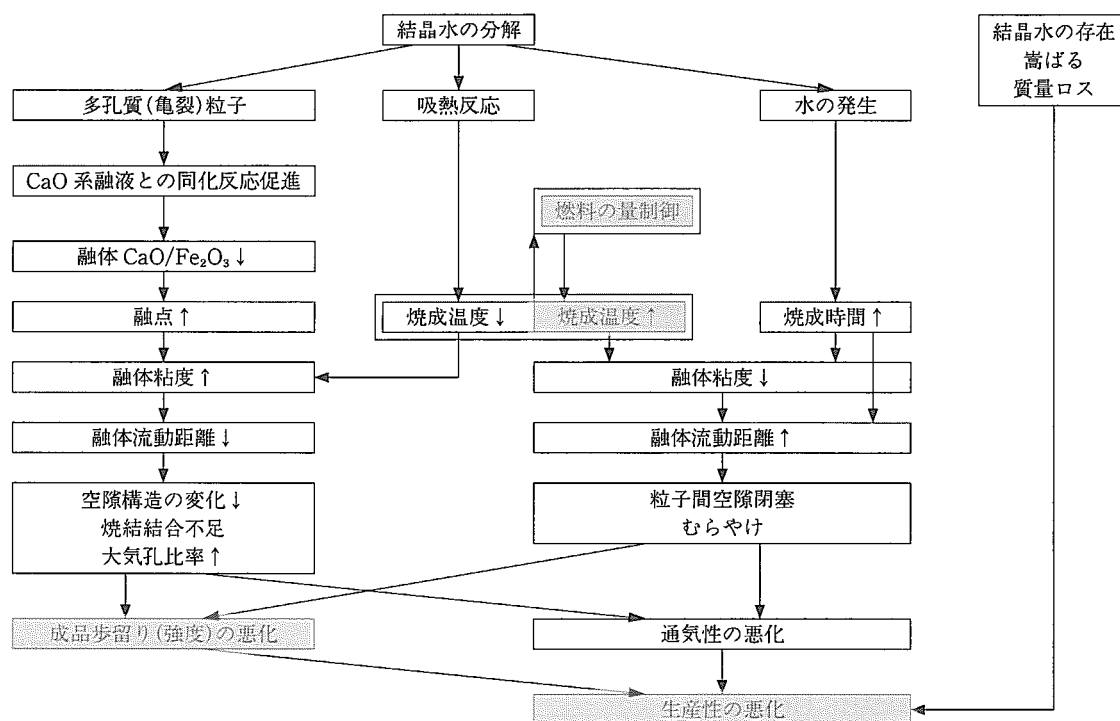
第8図 焼結鉱 SiO<sub>2</sub>の還元粉化性(RDI)への影響(鍋試験)  
Fig.8 Effect of sinter SiO<sub>2</sub> on RDI (Pot test)



第9図 焼結鉱 CaO およびピソライト配合の焼結生産性への影響  
Fig.9 Effect of sinter CaO and pisolite ratio on sinter productivity

### 3-3 ピソライト鉱多配合焼結鉱製造技術

ピソライト鉱の増加は、第10図に示すフローで焼結鉱生産性と鍋歩留りの悪化が顕著にあらわれる<sup>6)</sup>。結晶水は300℃付近で熱分解し、これによって発生する亀裂や気孔がカルシウムフェライト(CaO・Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)系の初期融液とピソライト鉱石母相との同化を速めるが、この高い同化性が融体中のCaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比を低下せしめ、融点上昇から融体粘度を上昇させる。その結果、融体の流動性が急速に低下するので、焼結結合不良や融体中に多くの気孔を残留させ、通気性の悪化を招き、成品歩留りや生産性を悪化せしめる。ま



第10図 高結晶水鉱石の焼結生産性および歩留り悪化のメカニズムフロー

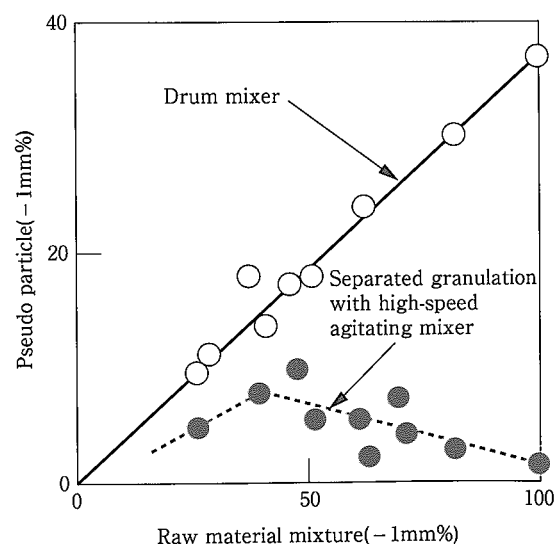
Fig.10 Flow-diagram of influence of pisolite on sinter productivity and yield

た、熱的には結晶水の分解吸熱の補償をする必要があるが、熱補償が過剰になると同化性が良いことから流動性が高まりすぎ空隙閉塞、むら焼成となり、通気性の悪化から成品歩留りや生産性を悪化せしめる。更に、結晶水の焼成ロスやパレット内占有体積ロスも歩留りや生産性を悪化させる。しかし、成品品質については大きな問題は少なく、逆に多孔質なので被還元性は向上する。ピソライト鉱は高温で熱処理をすると緻密化し強度が高くなりその悪影響を防止できる。このような視点から対応策として、塊ピソライト鉱の焼結床敷利用技術<sup>7)</sup>などの新技術の開発試験を実施した。またピソライト鉱は同化性がきわめて高いことが特徴で、通常の鉱石と比較して熱レベルが低い場合は融液が不足するが、熱レベルが高いと融液が過剰となる傾向があり、きわめて熱レベルに敏感な鉱石と言える。このような鉱石を焼結するには、鉱石特性に基づく配合管理が重要で吸水性指数や溶解性指数などを活用している<sup>4)</sup>。また操業にあっては基本的にパレット内のヒートパターンを最適にする制御技術が重要で、今後更なる技術改善が望まれる。

### 3-4 焼結鉱歩留りおよび生産性改善技術

ピソライト鉱をはじめとする安価難焼結性原料の多配合や焼結スラグ削減は、前述のごとく焼結鉱製造過程での歩留りや生産性を低下させるので、これらを補償する技術が強く要求される。焼結鉱実機製造ラインでの配合原料を採取調査した結果、歩留りや生産性に関連の深い焼結ベッド通気性や燃料燃焼性改善に余地のあることが確認され、積

極的な技術開発を推進した。従来、焼結原料はドラムミキサーによる転動造粒を実施してきたが、小倉焼結機で使われているような細粒原料が多い条件では、原料粒子間への添加水分の拡散が不十分で造粒が悪かった。そこで、新たに高速攪拌羽根を内蔵したミキサーを用いて、配合原料と添加水分に強力な混練処理を施し、その後ドラムミキサーで転動造粒する方式を採用し造粒強化をはかった<sup>8)</sup>(第11図)。



第11図 分割造粒処理による造粒性改善

Fig.11 Improvement of granulation by separated granulation method

更に、造粒処理も配合原料を一括して造粒するのではなく、原料特性に応じて二つのグループに分けて個別に造粒する分割造粒プロセスを開発し、鹿島 2 焼結機には品質改善効果の高い CaO 成分の分割造粒プロセス<sup>2)</sup>を、和歌山 4 焼結機には生産性改善効果の高い原料粒度の分割造粒プロセスを高速攪拌ミキサーの活用により実用化した<sup>9)</sup>(第 12 図)。

また、ドラムミキサーの仕様と機能の調査研究も行い<sup>10)</sup>、鹿島 2 焼結機ではドラムミキサーの増設を<sup>11)</sup>、和歌山 5 焼結機ではドラム出口に堰を設置し原料の造粒強化に効果を上げた。造粒強化にとっては、バインダーとなる生石灰が効果的なことは言うまでもないが、焼結用の安価な生石灰製造法として、石炭やコークスを燃料とする新方法を開発した。鹿島では遊休設備を活用したグレートラベル式焼成法を実用化し<sup>12)</sup>、和歌山ではシャフト炉焼成品をトロンメル分級機で高 S 成分の外周部のみを回収する方法を実用化し、安価生石灰の活用で効果を上げている。

一方、焼結ベッドの通気性改善手段としてベッド下層部に穿孔処理を施す新技術(第 13 図)やカットオフプレート板の角度変更により原料表層部の充填密度を制御する新技術を開発実用化し効果を発揮している<sup>4)</sup>。更に、原料装入装置の改善によりベッド高さ方向の原料粒度偏析を強化した。

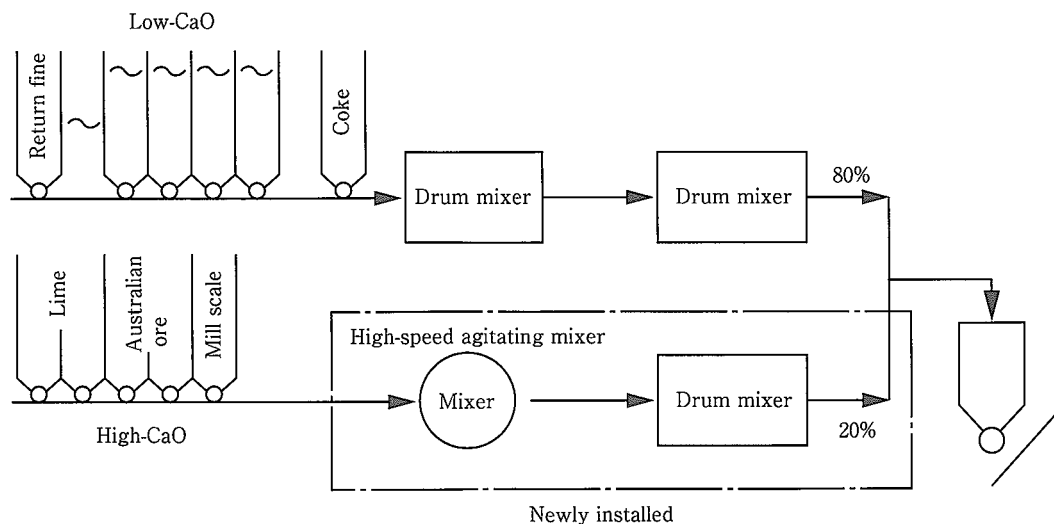
自動制御技術はこれまで開発の障害となっていたプロセスコンピュータの能力・容量不足が更新時に解消され、新システムの開発を可能にした。焼結機風箱内における幅方向のガス温度分布からロールフィーダ幅方向の原料切り出し量でベッド充填密度を制御する幅方向焼成一定化制御<sup>13)</sup>、成品成分管理分析値の時間応答を考慮して原料配合量にフィードバックを行う成品成分一定化制御<sup>13)</sup>、排ガス温度パターンからパレット速度を制御する焼成点制御<sup>13)</sup>、ロボットア

ームにより造粒後原料を採取乾燥計量し絶対水分を測定する方式と、光学的方法で相対水分を連続測定する方式を組み合わせた高精度水分制御<sup>14)</sup>、などの各システムが実用化され効果を発揮した。

### 3-5 その他焼結鉱製造技術改善

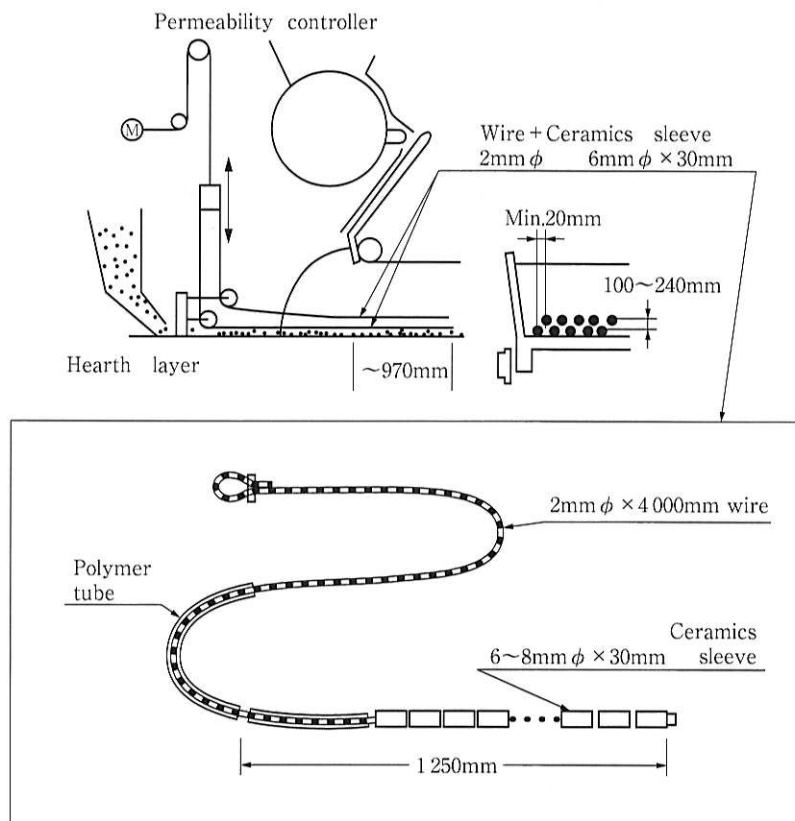
省力化として、和歌山も鹿島同様に 2 基の焼結機の運転室の統合がなされた<sup>15)</sup>。更に、焼結機自動休止システム<sup>15)</sup>、ドラムミキサー内壁の高圧水洗浄システム<sup>16)</sup>、原料ヤード自動払い出しシステム<sup>17)</sup>、連続式原料荷揚げシステムの採用<sup>18)</sup>などが行われ、大幅な省力化が推進された。

環境対応として、 $Mg(OH)_2$  脱硫剤を用いた湿式排ガス脱硫設備を小倉焼結機に導入した。排ガス中の含塵濃度低減のための電気集塵機の間欠またはパルス荷電方式の採用<sup>19)</sup>や腐食防止策<sup>20)</sup>が実施された。また、大幅な焼結排ガス量の低減および中圧発電用蒸気回収を目指し、世界に先駆けたセミスランド冷却式主排ガス全循環焼結プロセスを和歌山 4 焼結機のリフレッシュ時に採用し多大な効果を発揮した<sup>21)</sup>。また、これを極限的に追求し、更に生産性の向上を目指した 2 段点火焼結法についても検討した<sup>22)</sup>。省エネルギーとして、着火バーナーにマルチスリットバーナーを独自に開発し、従来バーナーに比べ約 40% 以上の省エネ効果を発揮した<sup>23)</sup>。このバーナーは、アジア～欧州の各地の焼結機に採用され実績を上げている。また、焼結排ガス顕熱の回収を強化すべく各焼結機のボイラーの増強を実施した。その他の対策もあり、小倉、和歌山の焼結鉱製造エネルギー原単位は国内トップクラスとなっている。



第 12 図 CaO 成分分割造粒法のフロー(鹿島第 2 焼結機)

Fig.12 Schematic flow of CaO-separated granulation facility (Kashima No.2 DL)



第13図 焼結ベッド通気制御の概要(和歌山第4焼結機)

Fig.13 Schematic diagram of permeability controller (Wakayama No.4 DL)

## 4. まとめ

鉄鉱石の資源動向と、それを踏まえた当社の焼結鉱製造技術の改善状況を紹介した。安価難焼結性原料の多配により原料コストを下げながら、焼結鉱製造技術改善により、低スラグ高品質焼結鉱を低いエネルギーで製造し鉄鋼製造コストの低減に努めていることがご理解頂けたものと考えられる。

今後も資源動向・エネルギー・環境を考慮した焼結鉱製造技術の開発が必要と考える。



小島正光/Masateru Kojima

本社 鉄鋼技術部  
専任部長

(問合せ先：03(3282)9240)

## 参考文献

- 1) 稲角忠広, エネルギー・資源, Vol.17(1996), No.6, p.67
- 2) 波多野康彦, 梅崎孝之, 松村伸一, 川口尊三, 星雅彦: CAMP-ISIJ 9(1996), 631
- 3) 川口尊三, 佐藤駿, 栗山和益: 住友金属, Vol.42(1990), No.4, p.84
- 4) 喜多村健治, 三宅貴久, 柳沢一好, 小野啓雄, 正保剛: 鉄と鋼, 78(1992), p.1037
- 5) 鎗山昌倫, 植木弘満, 東風平玄俊, 岡野直記: CAMP-ISIJ 6

(1993), 96

- 6) 川口尊三, 星雅彦, 波多野康彦, 鎗山昌倫, 橋川久司, 喜多村健治: CAMP-ISIJ 8(1995), 864
- 7) 川口尊三, 波多野康彦, 村井達典, 川口善澄: 鉄と鋼, 80(1994), p.270
- 8) 村井達典, 小松周作, 波多野康彦, 笹川亮, 川口尊三, 松村勝: CAMP-ISIJ 7(1994), 1036-1038
- 9) 笹川亮, 川口尊三, 松村勝, 波多野康彦: 住友金属, 本号掲

載

- 10) 上甲忠嗣, 網永洋一, 東風平玄俊, 岡野直記, 鎗山昌倫, 松村勝: CAMP-ISIJ 5(1992), 142
- 11) 鎗山昌倫, 東風平玄俊, 岡野直記, 上甲忠嗣, 川口尊三, 松村勝: CAMP-ISIJ 7(1994), 140
- 12) 上甲忠嗣, 佐藤正義, 岡野直記, 東風平玄俊, 岩男浩二: 住友金属, Vol.44(1992), No.1, p.95
- 13) 浜田勝成, 村井達典, 上甲忠嗣, 中村雄二, 森沖啓司: 住友金属, Vol.44(1992), No.1, p.151
- 14) 正保剛, 森下繁, 田尻勝也, 今川健人: CAMP-ISIJ 9(1996), 99
- 15) 今川健人, 吉岡博行, 永田修, 山之内孝之, 小池幸光, 田尻勝也: CAMP-ISIJ 8(1995), 312
- 16) 西沢庄藏, 柳沢一好, 吉岡博行, 森下茂, 松下繁信, 杉谷憲司: CAMP-ISIJ 6(1993), 907
- 17) 喜多村健治, 正保剛, 柳沢一好, 羽藤正義, 児玉充功: CAMP-ISIJ 4(1991), 1088
- 18) 港湾荷役 Vol.42, No.2(1997), p.248
- 19) 古城栄, 清水久義, 山本重成, 富松一隆, 中山豊, 町田信夫: CAMP-ISIJ 2(1989), 945
- 20) 藤永聡, 小野義之, 幸松徹, 小松周作, 山鹿勝士, 池田和人: CAMP-ISIJ 9(1996), 102
- 21) T.Shoho, K.Yanagisawa, T.Miyake, K.Kitamura, and M. Kawasaki: Proceedings of 6th International Iron and Steel Congress (1990), Nagoya, ISIJ
- 22) 川口尊三, 佐藤駿, 加藤和正: 住友金属, Vol.44(1992), No.1, p.13
- 23) 鈴木豊, 上仲基文, 鎗木勝彦, 喜多村健治, 東風平玄俊: 住友金属, Vol.43, No.3(1991), p.17