

論文

焼結鉱製造における2層ペレット法
適用の基礎的検討葛西 栄輝*・許 彦斌*³・小林 三郎*³・大森 康男*³

Fundamental Study on the Sintering Process Using Duplex Mini-pellets

Eiki KASAI, Ienbin SHU, Saburo KOBAYASHI, and Yasuo OMORI

Synopsis :

A new sintering process was proposed which may cope with the increase in the ratio of fine iron ores. The basic concept associated with the new process using double layered mini-pellets (named duplex mini-pellets) was presented. The sintering experiments were conducted by using duplex mini-pellets and the quality of the produced sinter was evaluated by the various physical tests.

(1) Excellent permeability was observed for the sintering bed using the duplex mini-pellets compared with that for the current sinter practice. The bed-permeation resistance was reduced because size and structure of the pellets remained unchanged in the course of sintering before the fusion.

(2) By selecting the low melting region in CaO-Fe₂O₃ phase diagram as the chemical composition of the shell layer fines (CaO 20 wt%, Fe₂O₃ 80 wt%), the sintering of the duplex mini-pellets was achieved at low temperature around 1230°C.

(3) The sinter produced by the method mentioned above had the texture of primary hematite and binary calciumferrite without secondary hematite.

(4) The sinter having such texture had excellent metallurgical properties, that is to say, low RDI, high JIS RI and good softening and melt-down properties.

1. 緒 言

今後の鉄鉱石の供給状況を考慮すると、焼結原料中の微粉使用比率の増加は避けられない¹⁾。これは焼結通過での通気性悪化を招き、また今後指向されるべき低温焼結法の実現を困難にすることとなるために、新しい事前処理法の確立が望まれる。本研究は、(1)微粉原料の多量使用、(2)高層厚焼結操業、(3)低エネルギー消費型焼結法、(4)成品焼結鉱の高炉炉内性状の向上、の諸目標を同時に満足するため、核粒子(粗粒または微粉の集合粒子)の周囲に微粉を造粒した小粒径ペレット(以下2層ペレットと呼ぶ)を用いた焼結法について基礎的に検討することを目的とし、外殻に造粒する微粉として、すでに状態図が確立されているCaO-Fe₂O₃系を用いた場合、さらに高炉装入物として必要な化学組成等の条件を充足するために、SiO₂およびMgO源として比較的融液との反応性が低いと考えられる蛇紋岩を鉱石粒子とともに核粒子として用いた場合の焼結中通気性、成品焼結鉱の性状を調査した。また、本方法を用いる事前処理プロセスについて若干の検討も行った。

2. 原料および実験装置

2.1 原料

鉄鉱石は、A(豪州産ヘマタイト)、B(南米産ヘマタ

イト)の2種類を使用した。前者はSiO₂、Al₂O₃などの脈石成分を多く含み、後者はほとんど含まないことから、それぞれ粗粒および微粉として用いた。これらの鉱石の化学分析値、見掛け密度、気孔率をTable 1に示す。これらは、ともに乾燥後、A鉱石はロールクラッシャーで破碎して節分けを行い、B鉱石はボールミルにより0.25 mm以下の粒度に粉碎した。

副原料は石灰石、蛇紋岩を使用した。石灰石はボールミルによつて0.25 mm以下の粒度に粉碎し、蛇紋岩は1~2 mmに整粒した。

B鉱石および石灰石の粒度分布をTable 2に示す。

Table 1. Chemical composition, porosity and Apparent density of sample ores.

(%)	T. Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	Appar. density (g/cm ³)	Porosity (%)
A	62.4	4.63	0.05	2.39	0.05	0.16	3.89	19.3
B	69.3	0.13	0.01	0.22	0.04	0.32	4.55	14.8

Table 2. Size distribution of ore B and limestone prepared as shell layer of pellets for sintering.

Screen size (mm)	-0.044	-0.074	-0.149	-0.105	-0.250	-0.500
Ore B (wt%)	65.4	21.6	2.4	6.8	3.7	0.2
Limestone (wt%)	60.7	7.0	1.8	13.9	14.5	2.1

昭和57年4月本会講演大会にて発表 昭和58年5月16日受付 (Received May 16, 1983)

* 東北大学選鉱製錬研究所 (Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University, 2-1-1 Katahira Sendai 980)

*² 中国鞍鋼鉄研究所 (Research Institute of Ansan Iron and Steel Company)

*³ 東北大学選鉱製錬研究所 工博 (Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University)

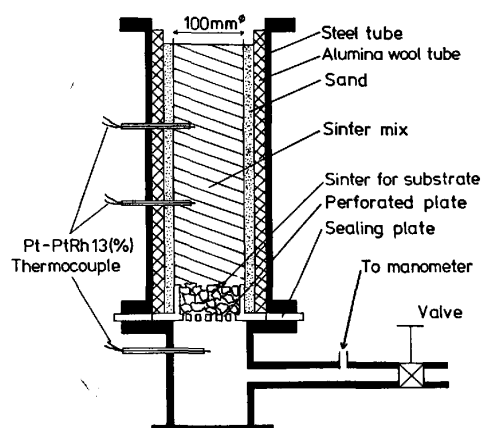


Fig. 1. Schematic diagram of a sintering pot.

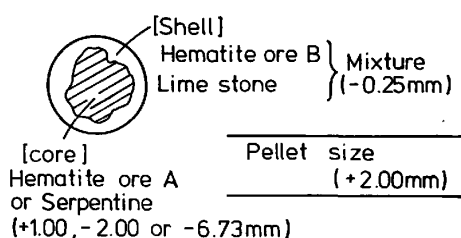


Fig. 2. Duplex pellet for sintering experiment.

配合コークス (-3.36 mm) は、冶金コークスを破砕して使用した。

2.2 小型焼結試験装置

Fig. 1 に大略を示す。焼結層は直径 100 mm、層高 320 mm の円筒形で、4.5 kg 程度の原料が装入される。側壁の漏風防止のため厚さ 10 mm のサンドシール²⁾を行い、その外側には厚さ 13.5 mm のアルミナ断熱材を装着している。また、ベッド上面より 110 mm および 210 mm に熱電対 (Pt-PtRh13%) を直接装入し層内温度を測定した。通気量は、焼結層直上に設置したアネモメーターにより測定した。

3. 実験および実験結果

3.1 原料調整、焼結条件および焼結鉄化学分析値

2層ペレットの模式図を Fig. 2 に示す。C/F (粗粒鉄石量/微粉量) = 1.70 のとき SI†^{注)} (常温強度指数) = 74.9, C/F = 0.96 のとき SI† = 84.6, C/F = 0.59 のとき SI† = 81.5 であったため、C/F を 1 程度とした。各ペレットの原料配合、構造、焼結条件を Table 3 に示す。2層ペレット化の典型として、造粒は、あらかじめA鉄石粒子をディスクペレタイザー (500 mmφ, 30 rpm) に装入し、転動させながら混合粉および水分を添加しつつ行った。ついで、P-1 および NS-1 については手篩に

注) SI†: 9.52~20mm の試料を 500 g 採取し JIS M8711 に準じて落下強度試験を行った後の 9.52mm 以上の試料重量割合(%)。JIS 法による値に対し、-1~+2% の相異がある。

Table 3. Constitution and chemical composition of pellets of type P-1, NS-1 and NS-2.

		P-1	NS-1	NS-2
Core	Size of hematite ore A (mm)	1.00-2.00	1.00-2.00	1.00-2.00 (24%) 2.00-2.83 (18%) 2.83-4.76 (32%) 4.76-6.73 (24%)
	Serpentine Size (mm)	—	1.00-2.00	1.00-2.00
	Ratio (core)	—	10.7 (%)	10.7 (%)
Shell (0.25 mm)	Hematite ore B	66.5 (%)	74.3 (%)	74.3 (%)
	Lime stone	33.5 (%)	25.7 (%)	25.7 (%)
Ratio of core to shell (%)		48.9 : 51.1	49.3 : 50.7	50.6 : 49.4
Moisture content (wt%)		6.5	6.4	6.2
Pellets size (mm)		2.00-2.83	2.00-2.83	2.00-9.52
Cokes in dry mix (wt%)		4.0	4.2	3.8
Chemical composition	T. Fe (wt%)	59.3	60.2	60.8
	FeO (wt%)	4.87	4.96	3.22
	CaO (wt%)	12.46	7.84	7.62
	SiO ₂ (wt%)	2.43	4.98	5.09
	Al ₂ O ₃ (wt%)	0.86	1.42	1.51
	MgO (wt%)	—	2.34	2.39
	basicity	5.13	1.57	1.50

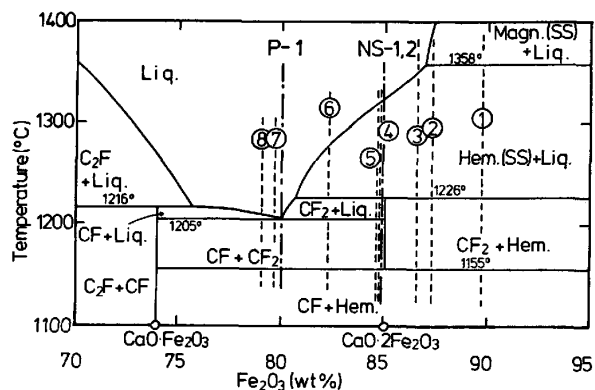


Fig. 3. Chemical composition of various cases (P-1, NS-1 and ① to ⑧) of pellet shell layers prepared for sintering. (C₂F: 2CaO·Fe₂O₃, CF: CaO·Fe₂O₃, CF₂: CaO·2Fe₂O₃)

より 2.00 mm~2.83 mm に整粒した。NS-2 は造粒後の粒度のまま全量、焼結実験に供与した。各々の粉層の組成を Fig. 3 の CaO-Fe₂O₃ 二元系状態図⁸⁾上に示す。点火は、ガスバーナー (都市ガス, 5000 kcal/m³, 23.5 l/min) で行い、点火時間は 2 min とした。

負圧は、点火時 150 mmAq, 点火後 300 mmAq を基準としたが、焼結時間を同程度にするため適宜調節した。

各試料ともに 3 回の焼結実験を行い、上中下層の各レベルよりサンプリングした焼結鉄について、顕微鏡観察を行って、類似組織であることを確認後、全量を 21 mm 以下の粒径に手破碎して混合し、各性状試験に供した。なお、歩留りについては小型鋼試験のため調査していない。

Table 3 に、各々の焼結鉄の化学分析値を合わせて示す。

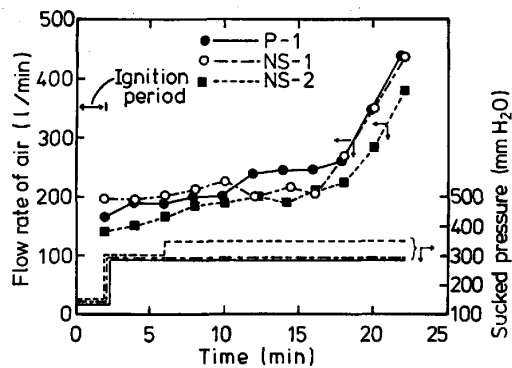


Fig. 4. Time dependence of flow rate of air for experiments with samples P-1, NS-1 and NS-2 during sintering pot tests.

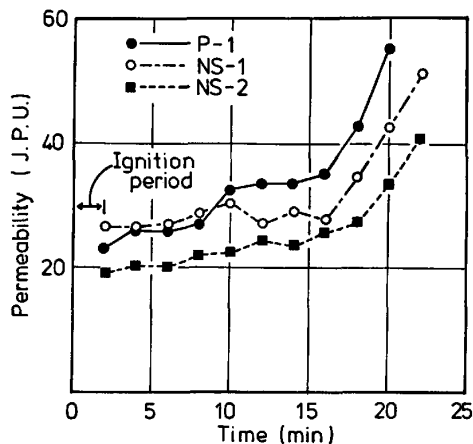


Fig. 5. Time dependence of bed-permeability for experiments with samples P-1, NS-1 and NS-2 during sintening pot tests.

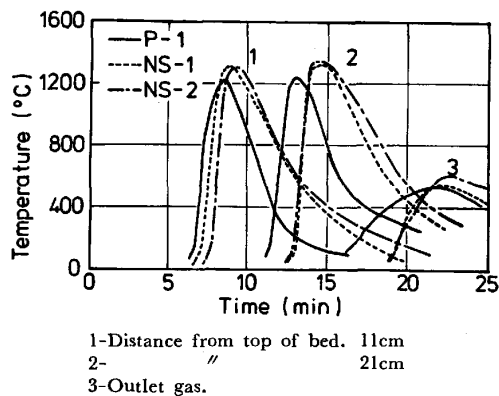


Fig. 6. Temperature waves obtained for samples P-1, NS-1 and NS-2.

3.2 層内通気パターンおよびヒートパターン

各試料の焼結時の吸引空気量パターンを Fig. 4 に示す。P-1 および NS-1 は、 $300\text{ mmH}_2\text{O}$ と非常に低い負圧にもかかわらず、焼結前半で 0.42 m/s の流速を得た。Fig. 5 は通気度パターンであるが、P-1, NS-1 は通常の焼結原料の 2 倍の通気度を示している。NS-2 はペレットの粒度範囲が広く、充填密度が高いため、通気性は

Table 4. Physical testings of P-1, NS-1 and NS-2 sinters.

	P-1	NS-1	NS-2
SI† (+9.52, %)	84.6	90.7	90.2
RDI (-2.83, %)	26.0	37.3	27.4
RI (%)	78.3	78.7	77.2

NS-1 に比べ多少悪い。焼結後半の空気流量はいずれも急激に増大する傾向がある。

Fig. 6 にそれぞれのヒートパターンを示す。P-1 の最高温度は上下層とも 1230°C 前後で、粉層の融点 (1210°C) に近い。NS-1 の最高温度は上下層とも 1330°C 前後で、粉層の液相線温度 1324°C と一致している。NS-2 は他のパターンと異なり、ヒートウェイブの形が上下層で異なり、上下層で最高温度、高温保持時間の異なる特徴的なパターンを示すが、温度レベルは NS-1 と同程度である。

3.3 冶金物理性状試験

Table 4 に SI†, RDI, RI の測定結果を示す。SI† は、P-1 が、現在の実機焼結鉦における操業管理値である $88\sim 90$ よりやや低い値を示すが、NS-1 および NS-2 は、実機焼結鉦と遜色のない結果が得られた。RDI は P-1 および NS-2 が低く、NS-1 はそれらに比較して高い値を示す。P-1 と NS-1 の RDI が異なる理由は、NS-1 の粉層の CaO 濃度が P-1 に比較して低く、状態図より推察できるように P-1 では融液からのヘマタイト晶出量がゼロなのに対して、NS-1 ではかなり多くなるためであると考えられる。これは、焼結鉦の鉄品位を高く保つため石灰石添加量を減少した結果であり、光顕観察結果と一致する。NS-1 と NS-2 は核鉦石およびペレットの粒度に違いがあるが、これが RDI に影響を与える理由は推定の域を出ない。本実験においては、原料ペレットの粉層がそれぞれの化学組成において均一融体となる最低温度付近で焼結が行われ、隣接するペレットとの結合ネックの細い部分が多い。実際、低温還元粉化試験後の試料にはペレット状のものも多く見られた。RDI にはこの中で 2.83 mm 以下の粒度だけが影響するために、ペレット粒度が大きい方が有利となる可能性がある。これらのことは実機焼結鉦においても低温焼結を指向する場合、原料擬似粒度と RDI との相関について留意する必要性を示唆する。RI は、いずれも高い値を示し、微細なカルシウムフェライトと残留元鉦からなる組織を持つ焼結鉦の被還元性が良好であることを示している。

Fig. 7 には高温軟化・溶け落ち性状試験結果を示す。還元率は 900°C 以下ではいずれも高い値である。しか

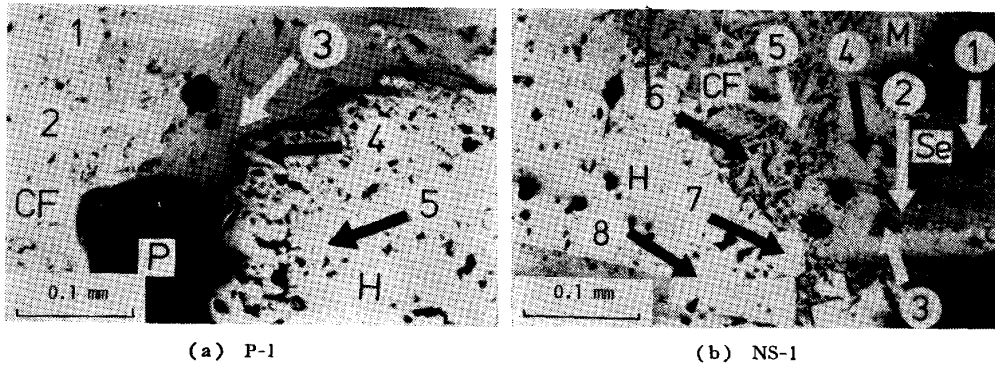


Photo. 1. Optical micrographs of (a) P-1 and (b) NS-1 sinters. (H : Hematite, SE : Serpentine, CF : Calciumferrite, P : Pore) No. in photographs indicates analytical position of EPMA listed Table 5.

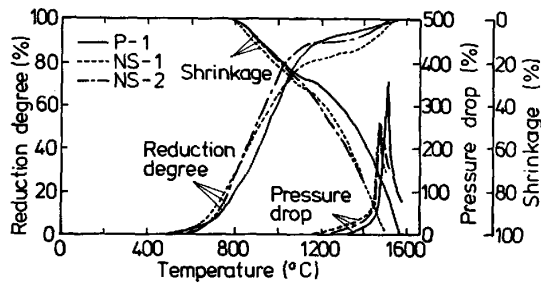


Fig. 7. Results of softening and melt-down properties at high temperature for P-1, NS-1 and NS-2 sinters.

Table 5. EPMA results of mineral phases appeared in P-1 and NS-1 sinters.

No.	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe ₃ O ₄	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	MnO	Total (%)
P-1-1	84.01			0.98	0.77	12.94		0.30	99.00
-2	81.88			1.17	1.12	14.12		0.18	98.47
-3	82.87			1.28	1.25	13.50		0.31	99.20
-4	96.71			0.82	0.64	0.17		0.11	98.87
-5	97.68			0.21	0.77	0.09		0.11	98.86
NS-1-1	11.82			0.57	39.50	19.67		27.53	99.09
-2	15.88			1.43	44.81	25.87		10.77	99.09
-3	8.24			0.84	38.69	45.68	0.80	3.74	97.99
-4		88.83		0.26	0.53	2.03		5.78	97.43
-5	85.53			1.38	1.75	10.94		1.26	100.86
-6	84.42			1.48	1.82	12.06		1.03	100.80
-7	100.19			0.39					100.57
-8	99.63				0.61				100.24

し、P-1 が高温でも高被還元性を維持しているのに対して、NS-1 および NS-2 は 1200°C 以上で若干の還元停滞領域が見られる。これはカルシウムフェライトの還元により生成した CaO-FeO 系融液と蛇紋岩粒子との反応に起因すると思われる。圧損パターンはいずれも鋭い形状を示し、また NS-1 および NS-2 の方が P-1 に比べ最大圧損値は小さい。以上高温性状については良好な結果を得たが、いずれの試料についても、高融点スラグ (2CaO·SiO₂ とと思われる) の残留が認められ、これが滴下性状に悪影響を及ぼすことも考えられる。

3.4 顕微鏡観察および EPMA 分析

P-1 の組織を Photo. 1(a) に、写真上の各点に対応

する EPMA 分析値を Table 5 に示す。核粒子である A 鉍石粒はほぼそのまま残留しており、その周囲はカルシウムフェライトの微細組織になつている。カルシウムフェライト相中にはヘマタイトの析出結晶は少なく、状態図と一致している。

NS-2 の組織を Photo. 1(b) に示す。A 鉍石、蛇紋岩ともに残留しているが、P-1 に比べ焼結温度が高いため、鉍石粒表面には自形を持つヘマタイトが多少見られた。また、蛇紋岩の周囲には 10 μm 程度の薄いスラグ相と、そのスラグとカルシウムフェライト相との間には、層状にマグネタイト相も認められた。カルシウムフェライト相中には、P-1 に比べ粉層中の CaO 濃度が低いことに起因するヘマタイトの析出結晶も見られた。

Table 5 に示した EPMA 分析値より、MgO の含有量が高く安定化したマグネタイトが、蛇紋岩表面に生成したスラグと周囲のカルシウムフェライト系融液との接触を妨げていたと推定される。カルシウムフェライトの化学組成は、P-1 に比べ CaO が若干低く、一方 Al₂O₃ および SiO₂ が若干高くなつている。

被還元性試験後の組織は各試料いずれも、全体が均一的な還元様式を示している。ただし、元鉍はトポケミカルな還元様式を示す。

4. RDI に及ぼす粉層中の CaO 濃度の影響

P-1 と NS-1 を比較すると、RDI に及ぼす粉層組成の影響が大きいことがわかる。そこで、2層ペレットの外殻粉層中の CaO 濃度を、10~20 wt% の間で変化させて焼結を行い、RDI を測定した。使用原料および焼結条件は P-1 と同一である。Fig. 3 に①~⑧の試料の組成を CaO-Fe₂O₃ 2元系状態図上に破線で示した。Fig. 8 は各々の試料の RDI の測定結果である。CaO 濃度 12 wt% 程度でピークを示す曲線となつている、

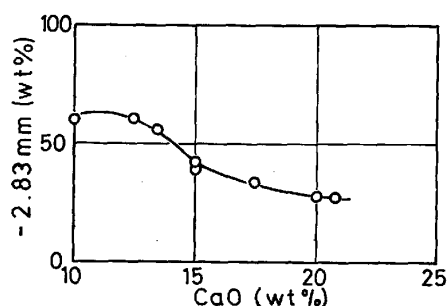


Fig. 8. Particle size distribution of samples after RDI test.

5. 考 察

微粉鉄鉱石配合量の増加が焼結過程に及ぼす影響は、大別して次の2項目が考えられる。

第1は、焼結層の通気性悪化である。これは、微粉鉄鉱石が増加し、擬似粒子の核となるべき粗粒鉄鉱石の割合が減少することによって、適正水分量の増加および擬似粒子の強度低下が引き起こされることによる。この結果、搬送、装入時および焼結層内での擬似粒子の崩壊、湿潤帯での微粉のスラリー化等が助長され、通気性の悪化とともに、燃焼空気の偏流、生産性低下、各原単位の増加をもたらす。

第2は、焼結温度の上昇である。微粉鉄鉱石の増加は、焼結初期における融液発生箇所である微粉部分の Fe_2O_3 増加による高融点化を促し、従って十分な強度を得るために焼結温度を上昇せざるを得ないことによつて、成品焼結鉄の還元性状に対して種々の悪影響を及ぼすと考えられる。

前者に対する対策としては、従来より、ドラムミキサー内での造粒時間の延長^{9)~11)}や、生石灰、消石灰などバインダーの使用^{6)~12)}あるいは、使用割合は少ないが、高炉灰や硫酸滓など微粉原料をミニペレット化して用いる方法¹³⁾¹⁴⁾など種々の方法が採用され効果をあげているが、さらに鉄鉱石の微粉割合が増加すると、バインダーの原料 mix への均一分散およびバインダーの使用量増加や、湿潤帯での微粉原料のスラリー化防止、焼結スピードの低下等の対策が必要となると考えられる。しかし、南米産鉄鉱石を中心とした擬似粒化性の悪い微粉の増加に対しては、十分な擬似粒子の強度が得られず既存の造粒技術のみでは対応が難しくなると考えられる。

また、後者に対しては実機操業上有益な対策を見出すには至つておらず、多元系カルシウムフェライトの平衡論的あるいは冶金物理的な基礎研究^{17)~20)}等によつて対策の手がかりを模索しているのが現状である。

一方、微粉鉄鉱石は反応性が高いという利点も当然持つ

ている。著者らはこのような微粉の特性を考慮し、前述の2項目の問題点を同時に解決する方法の一つとして、2層ペレット法を提案した。本方法は、中間粒度 (0.25~1 mm) の鉄鉱石を使用しないため、多量のペレットフィードをミニペレット化でき高い通気性を保持できること、および微粉層の化学組成をコントロールすることによつて融液の化学組成あるいは凝固組織のコントロールが容易であるという微粉鉄鉱石対策として不可欠な利点を備えている。ディスク型とは造粒機能が異なるものの、操業条件で選択すればドラム型でも同様の効果が期待できる²⁶⁾²⁷⁾。作製したミニペレットはバインダーを使用していないにもかかわらず、かなり強固であり、焼結試験におけるコークスとの混合、装入によつて崩壊せず、焼結過程においても熔融に至るまで原形を保っていることを中断実験により確認している。しかしながら、石灰石破碎および造粒コスト、中間粒度鉄鉱石の処理など考慮すべき点も多い。Table 6 に本方法を焼結操業に適用した場合考えられる各技術項目に関する利点および問題点を現状の焼結原料予備処理方法と対比して示す。

P-1 の鉱物組織は未熔融鉄鉱石と、析出ヘマタイトを供わない微細なカルシウムフェライトより成り、またその JIS 還元性、低温還元粉化性は良好であつた。このことは従来のカルシウムフェライトの冶金物理性状に関する報告^{20)~23)}と一致する。また Fig. 8 より粉層中の CaO 濃度によつて RDI が変化することがわかつた。この理由としては、還元粉化の原因であるヘマタイト量の相違が考えられる。つまり、状態図上および光顕観察においても高 CaO 濃度 (CaO 20 wt% 程度) 側では、組織中のヘマタイトは未熔融鉄鉱石 (A 鉄鉱石粒子) のみであるが、CaO 濃度の減少にともないカルシウムフェライト中の析出ヘマタイトが増加する。このため低 CaO 濃度試料中のヘマタイト量が高 CaO 試料に比べ多くなるため RDI が増加する。RDI に対する機械的あるいは熱割れ等の還元以外の影響を調査するため、CaO 濃度の異なる数試料について、流通ガスを N_2 とした低温還元粉化試験に準じた試験を行つた結果は、いずれも -2.83 mm が 3 wt% 以下であつた。従つて、CaO 濃度 20 wt% 程度の試料における RDI は未熔融鉄鉱石の還元膨張に起因するものと考えられる。

焼結層内のヒートパターンは、焼結鉄の鉱物組織に大きな影響を与えるため、成品焼結鉄の品質向上には、そのコントロールが必要となる。マクロ的には焼結機の幅方向、機長方向あるいは層高方向のコントロールが考えられ、ミクロ的には従来より負圧、焼結層内通気性、原料水分、コークス粒度および賦存状態等のコントロール

Table 6. Profits and problems of sintering process using duplex mini-pellets.

		Current process	Duplex mini-pellet process	
			Profit	Problem and remarks
Sintering operation	Pretreatment	Intensification of granulation. Addition of milky lime (with hot water).	Increasing use of fine ores. Reduction of granulation time.	Cost increase for grinding of limestone. Treatment of intermediate size of ore.
	Coke	Control of particle size distribution.	Reduction of coke consumption due to lower temperature sintering and increase of bed height.	Charging device is required for appropriate control of vertical coke distribution.
	Coke oven gas	Control of ignition temperature and period.	Reduction of COG consumption due to increasing bed height.	
	Sintering bed	Control of (1) bulk density of raw mix, (2) vertical size segregation in raw mix and (3) bed height.	Permeability of sintering bed is remarkably improved.	
Quality	SI or TI	Control level should be maintain.		Similar control level is attainable in comparison with current process.
	RDI	Selection of flux materials and their particle size distribution. Control of heat pattern.		Similar or lower control level is attainable in comparison with current process.
	RI	Control (1) of size of original ore remained in the product sinter depending on its reducibility, (2) of sintering process with the production of low FeO sinter and (3) for providing fine structure of slag phases including calciumferrite and silicate.	Control of slag phases are easily attainable.	Evaluation of reducibility of original ore is important.
	Softening and melt-down properties	Addition of MgO bearing materials. Control of slag composition and amount.	Good quality due to low FeO and high reducibility is attainable.	
Production rate		Intensification of pretreatment. Control of moisture content of raw mix. Preheating of bed.	High rate is attainable due to (1) high permeability, (2) increase in bed height and (3) being restrained excess condensation of moisture in lower part of bed.	

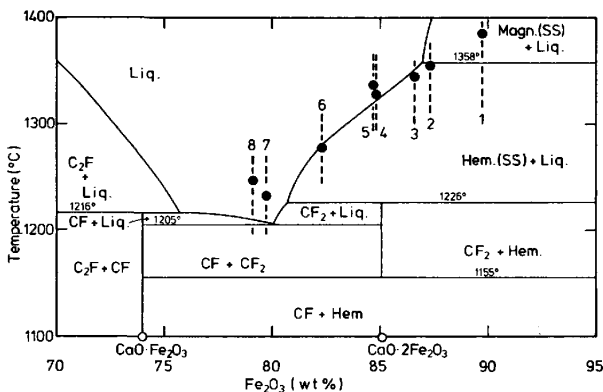


Fig. 9. The highest temperature levels in sinter bed (existing in the distance 210mm from the top) for samples No. 1~8.

の重要性が指摘されている。しかし、この他に、溶融も、石灰石の解離と同様に焼結過程における高温域での熱のシンクとなり得るため、微粉原料の化学組成および溶融速度もヒートパターンに影響を与える因子と考えられる。Fig. 9は、4.において述べた、粉層中CaO濃度を変化させた焼結実験 (Fig. 3) により得られた層内温度の最大値をCaO-Fe₂O₃状態図上に示したものである。これらの値は液相線との関連が認められ、ヒートパターンは原料化学組成に影響を受けることを示唆してい

る。従つて、ヒートパターンのコントロールには、コークスの燃焼速度、(CO, CO₂発生比率に起因する) 燃焼熱の制御、コークス-ガス-鉄鉱石・副原料間の伝熱、粒子内の熱伝導の把握の他に、溶融・凝固速度およびその潜熱のコントロールが必要であると考えられる。この場合、使用原料に応じた焼結 mix 中の原料粒度および化学組成のミクロ的な賦存状態の制御が必要であると考えられる。2層ペレットは、造粒時に半径方向に対する粉層組成および原料粒度の偏析が可能であるため、これらのコントロールは比較的容易であると考えられる。

このように、本方法は、微粉鉄鉱石多量使用、低温焼結を可能にする焼結原料予備処理法として優れた特徴を持つ。しかし、焼結過程の平衡論および速度論的研究、また融液の粘性、表面張力に関する研究はまだ不十分であり、これらのデータが、今後、組織の作り込みを中心とした品質の最適化に対し有効な知見を与えるものと考えられる。

6. 結 言

本研究は、鉄鉱石の焼結において、微粉鉄鉱石の多量使用および低温焼結を可能とする新しい原料予備処理法を提案し、それに基づいて基礎的な検討を行った。実験

には鉄鉱石または蛇紋岩の粗粒を核粒子とし、周囲に鉄鉱石および石灰石の混合微粉を造粒した2層ペレットを用いた。またこの際、外殻粉層の化学組成 ($\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ 系) を変化させ、成品焼結鉱の RDI を測定した。結果を次に示す。

(1) 微粉鉄鉱石を焼結原料として多量に使用する場合、造粒の際に核となる鉄鉱石等の粗粒子を加えることにより、強固なミニペレット (2層ペレット) が製造できる。

(2) 2層ペレットは、湿潤帯、乾燥帯においても崩壊せず、焼結中に良好な通気性 (層厚 320mm に対し、負圧 200mmAq で生産率 $1.5\text{t/m}^3\cdot\text{h}$ が可能) を保持し、微粉原料の焼結予備処理法として優れている。

(3) 2層ペレットの外殻粉層の化学組成として低融点組成 ($\text{CaO } 20\text{ wt}\%$, Fe_2O_3 $80\text{ wt}\%$) を選ぶことにより、低温 (層内最高温度 1230°C) で、核粒子を溶融させることなく、焼結鉱を製造することができた。

(4) 上記の焼結鉱 (P-1) は、ヘマタイト析出を伴わないカルシウムフェライトと未溶融鉄鉱石の組織を持ち、被還元性、低温還元粉化性、高温軟化・溶け落ち性状に優れている。

(5) 2層ペレット法は、焼結過程における融液生成および凝固組織のコントロールが容易である。従つて、焼結組織の作り込み等、焼結鉱品質のコントロール技術としても有効であると考えられる。

(6) $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ 系を外殻粉層組成とする2層ペレットを原料として焼結鉱を製造し、これらについて RDI の測定を行つた。この結果 CaO が $10\sim 20\text{ wt}\%$ では、 CaO 濃度が高いほど、RDI が低いことがわかつた。これは融液からのヘマタイト析出量の差に起因すると考えられ、状態図および光顕観察結果と一致する。

終わりに、実験に使用した鉄鉱石の御提供を賜つた神戸製鋼所中央研究所、コークスおよび副原料の御提供を賜つた新日本製鉄釜石製鉄所、ならびに試料の高温軟化溶け落ち性状試験を行つていただいた新日本製鉄広畑製鉄所、また本研究を行うにあたり、貴重な御意見を賜つた新日本製鉄基礎研究所、佐々木稔、肥田行博両工学博士に深く感謝の意を表す。

また、本研究の一部は昭和 57 年、58 年度科学研究費一般研究 C (57550413) の補助を受けたことを付記する。

文 献

- 1) 西田信直: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 1677
- 2) 田代 清, 相馬英明, 紫田充蔵, 今野乃光, 細谷陽三: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 1603
- 3) B. PHILLIPS and A. MUAN: J. Am. Ceram. Soc., 41 (1958), p. 445
- 4) 川田敏郎, 藤岡敏雄, 池田浩次, 永瀧盛夫, 別府潔: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 672
- 5) 山本毅洋則, 漁 充夫, 竹内紀政, 宮島正和, 清水三郎, 弘田 昇: 鉄と鋼, 68 (1982), S 800
- 6) 長尾由一, 清水拓三, 高橋敏夫, 和才忠司: 鉄と鋼, 57 (1971), S 389
- 7) 菅原欣一, 藤原利之, 磯崎成一: 鉄と鋼, 62 (1976), S 420
- 8) 古井健夫, 香川正浩, 川頭正彦, 沢村 惇, 菅原欣一, 宇野成紀, 藤原利之: 製鉄研究 (1976) 288, p. 9
- 9) 肥田行博, 伊藤 薫, 佐々木稔: 鉄と鋼, 66 (1980), S 82
- 10) 山田孝雄: 鉄と鋼, 66 (1980), A125
- 11) 渋谷悌三, 丹羽康夫, 中尾亜男, 谷中秀臣, 黒沢信一, 竹元克寛: 鉄と鋼, 66 (1980), S 675
- 12) 奥山雅義, 近藤晴己, 田中 周, 福留正治, 山崎信, 児玉琢磨: 鉄と鋼, 66 (1980), S 673
- 13) 戸田秀夫, 宇野成紀, 大木 勝, 北沢忠雄, 棟方雪郎: 鉄と鋼, 64 (1978), A91
- 14) 堺千代次, 平井敏夫: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1582
- 15) J. HANCART, V. LEROY, and A. BRAGARD: CNRM (1967) 11, p. 3
- 16) 楊 澈基, 正路徹也, 武内寿久彌: 日本鉄業会誌, 94 (1978), p. 575
- 17) 池田 孜, 井上勝彦, 上仲俊行, 金本 勝: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 726
- 18) 春名淳介, 宮本国昭, 高崎 誠, 鈴木章平, 佐前勝彦: 鉄と鋼, 68 (1982), S 735
- 19) 林 秀高, 井上勝彦, 吉岡邦宏, 高橋 佐: 鉄と鋼, 68 (1982), S 738
- 20) E. MAZANEK and S. JASÉNSKA: JISI, 204 (1964), p. 319
- 21) 三本木貢治, 大森康男, 戸坂公志, 浅田 実: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1574
- 22) 浅田 実, 大森康男, 三本木貢治: 鉄と鋼, 54 (1968), p. 14
- 23) 小島鴻次郎, 永野恭一, 稲角忠弘, 高木勝博, 品田功一: 鉄と鋼, 55 (1969), p. 669
- 24) 吉永真弓, 一伊達稔, 佐藤 駿, 中村哲之, 川口尊三: 鉄と鋼, 67 (1981), S 688
- 25) 井上勝彦, 林 秀高, 西田 功, 吉岡邦宏: 鉄と鋼, 69 (1983), A17
- 26) 松岡 宏, 相馬英明, 和島正己, 三国 修, 中川美男: 鉄と鋼, 68 (1982), S 717
- 27) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 63 回製鉄部会 (1983 年 10 月) 新日本製鉄 (株) (私信)