

鉄鉱石粒子の分類およびそれらの鉱物特性と焼結性

岡崎 潤*・中野 正則*・斎藤 元治*²

Classification of Iron Ore Particle and Relationship between Those Mineral Characteristics and Sintering Properties

Jun OKAZAKI, Masanori NAKANO and Genji SAITOH

Synopsis : Australian hematite iron ore particles were rinsed with clear water, and classified from its color into three types; yellow particles, intermediates particles, and black particles. Then (1) investigation of the basic properties of the particle according to the iron ore type, (2) the melt examination, and (3) the sintering pot test were executed.

As a result, each classified type of iron ore particle showed a similar mineral characteristic and sintering result was controlled greatly by their ratios.

It was clarified that the inferior sintering result for the MarraMamba ore was mainly caused by the higher ratio of the yellow particles.

Key words : iron ore; classification; microstructure; strength; iron ore sinter; assimilation.

1. 緒言

中国鉄鋼業の急成長に伴い世界的に鉄鉱石の需給は逼迫しており、これが鉄鉱石価格の急騰を招いている。2006年の鉄鉱石価格は前年に対し約7割も上昇した。さらに2007年の価格は2006年の約2割増になる見通しである。このような背景のもと、我が国最大の鉄鉱石供給元である西豪州の鉄鉱石資源は、低りんブロックマン鉱石の枯渇化が進み、2002年からは結晶水(CW)の高いマラマンバ鉱石が開発、出荷されたことは周知である¹⁾。最近では高りんブロックマン鉱石の開発も進んでおり、2007年からは本格出荷が開始すると思われる。したがって、今後の豪州鉄鉱石は、ピソライト鉱石、マラマンバ鉱石、高りんブロックマン鉱石という、非常に使い難い特性を持った鉄鉱石が主体となる。

著者らはマラマンバ鉱石について基礎的な鉱物特性調査を行い、多孔質で微粉が多く難造粒性鉱石と評価している²⁾。また、使用技術に関しては、ペレット化による原料層内の通気改善^{3,4)}、高速攪拌ミキサー使用による造粒強化⁵⁾、あるいは選択造粒法による事前処理⁶⁾など、本鉱石の造粒性に関わる報告が多い。これは、本鉱石の使用するには造粒性の改善が必須であることを示唆している。一方、マラマンバ鉱石の焼結性に関する報告は、著者ら²⁾および肥田ら⁷⁾による基礎的な研究報告はあるが、その他の報告例は少ない。それは、本鉱石が豪州鉄鉱石の中ではSiO₂およびAl₂O₃が比較的少ないこと²⁾、また、擬似粒子中付着粉となる微粉の融液浸透性も良好であるとの結果²⁾も理

由の一つといえる。一方、擬似粒子中核粒子となる粗粒鉄鉱石の同化後の組織は、多孔質で脆弱な構造になることが明らかにされている²⁾。これは、本鉱石の多孔質構造が起因している。しかし、それ以外の鉱物特性との関係については詳しく検討していない。

そこで著者らは、マラマンバ鉱石を洗浄し、その外観色から3種類の鉄鉱石タイプに分類し、それら鉄鉱石粒子毎の鉱物特性と焼結性の関係について実験、解析した。その結果、分類した鉄鉱石タイプの粒子はそれぞれ固有の鉱物特性を有することが分かった。また、それらの存在比率に焼結性(歩留、生産性など)が大きく左右されることを明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

2.1 50 kg 焼結鍋試験

本試験ではマラマンバ鉱石W²⁾と低りんブロックマン鉱石C²⁾との焼結操業における差異を明確にすることにした。鍋試験は両鉄鉱石の差異が良く分るように、コークスと返し鉄を除く配合原料(新原料)中で全量(20 mass%)振り替える試験とした。なお、その他の鉄鉱石、石灰石、蛇紋岩および返し鉄の粒度、配合比率は一定である。なお、珪石はSiO₂調整用として必要に応じて配合率を変化させた。

実験は、低りんブロックマン鉱石Cを用いたケースをベースとした(SiO₂=5.22 mass%, CaO/SiO₂=1.81, Al₂O₃=1.82)。Test 1はマラマンバ鉱石Wが低りんブロックマン鉄

平成18年4月28日受付 平成18年7月14日受理 (Received on Apr. 28, 2006; Accepted on July. 14, 2006)

* 新日本製鐵(株)環境・プロセス研究開発センター (Environment & Processing Technology Center, Nippon Steel Corporation, 20-1 Shintomi Futtsu 293-8511)

*2 新日本製鐵(株)技術総括部 (Headquarters, Nippon Steel Corporation)

石CよりもSiO₂が低い特長を活かし、SiO₂量は一定とせず低SiO₂の試験とした(SiO₂=4.85 mass%, CaO/SiO₂=1.81, Al₂O₃=1.77)。Test 2ではSiO₂を珪石で調整しSiO₂量をベース条件に戻す試験とした(SiO₂=5.22 mass%, CaO/SiO₂=1.81, Al₂O₃=1.77)。なお、Al₂O₃は調整しないため、マラマンバ鉱石Wを使用した場合は低Al₂O₃となる。鍋試験は、原料層の高さ600mm、内径300mm、吸引負圧は12.74kPa一定で、粉コークスの配合は新原料に対し4.5 mass%とした。

2.2 鉱物特性の基礎検討

焼結鍋試験において比較した鉄鉱石の差異を明確にするには、鉄鉱石の本質的な特性を鉱物科学的見地から、整理する必要があると考えられる。そこで、それぞれの鉄鉱石粒子の外観による分類を行い、分類した粒子タイプ毎の化学組成、熔融性（融液浸透性および同化特性）について実験、解析した。さらに1kg焼結鍋試験を実施し、焼結性に及ぼす鉄鉱石粒子タイプの影響について検討した。鉄鉱石試料としては、マラマンバ鉱石Wおよび低りんブロックマン鉱石C、高りんブロックマン鉱石Pの3鉱種を選んだ。

2.2.1 外観観察による鉄鉱石の分類

鉄鉱石試料から2.8~4.75mmの粒子を10kg篩い出し、流水により鉄鉱石表面の微粉を取り除いた。さらに1000cm³のビーカーに約500gの鉄鉱石粒子を投入し純水を約500cm³入れて2分間超音波洗浄を行った。超音波洗浄は5回繰り返す、鉄鉱石表面の微粉を十分に取り除いた後、120°Cで2時間乾燥した。

鉄鉱石粒子の分類方法は目視による方法を採用した。目視による分類基準は次のように行った。洗浄、乾燥後の粒子から、外観が黄色か黄色に近い粒子と、外観が黒色か黒色に近い粒子を選別した。前者を黄色粒子、後者を黒粒子と名づけた。そして、残った粒子は中間粒子と名づけ、以

上、3つのタイプに分類した。

各鉄鉱石タイプの存在比率は、全粒子に対する質量比で表した。ここで、対象とする粒子径を2.8~4.75mmにしたのは、分類作業の個人差を小さくするためである。

2.2.2 鉄鉱石タイプ別粒子の化学組成

2.2.1で分類した鉄鉱石タイプ別粒子をそれぞれ45μm以下に粉碎し分析試料とした。

2.2.3 融液浸透性試験⁸⁾

鉄鉱石試料は、2.2.1で分類した各鉄鉱石タイプ別粒子を使用した。実験方法をFig. 1(a)に示す。鉄鉱石タブレットの上面中心部に焼結の初期融液を想定した試薬タブレットをのせ、内径20mm、高さ15mmのNi製円筒型坩堝に入れ、電気炉内で空気気流中で焼成する方法を採用した。まず鉄鉱石タブレットは、鉄鉱石タイプ別粒子を鉄鉢内で粉碎し、0.25~0.5mmと0.25mm以下の粒子を作製した。これらを50 mass%づつ混合後、金型成形ダイスに装入して直径15mm、高さ5mm、の鉄鉱石タブレット（空隙率約30%）に成形した。成形圧力は4MPaで行なった。次に、試薬タブレットの組成は、Phillipsら⁹⁾のCaO-Fe₂O₃二元系状態図の共晶組成に近いCaO=26 mass%、Fe₂O₃=74 mass%を採用した。成形方法は、Fe₂O₃試薬とCaO試薬を自動乳鉢で20分混合し、成形圧力4MPaで、直径5mm、高さ5mmのタブレットにした。焼成は実機焼結操作のヒートパターンに近似させ、1100°Cから1290°Cまでを1分で加熱し、1290°Cから1100°Cまでを3分で冷却した。試料温度が1100°Cになった時点で炉外へ取り出し空冷した。融液浸透距離の測定方法は、試料中央部を垂直に切断、研磨した後、融液が浸透した距離を実測した⁸⁾。

2.2.4 CaOとの同化挙動

実験は、鉄鉱石タイプ別粒子と石灰石を用いたモデル擬似粒子による微小充填層焼成実験¹⁰⁾とした(Fig. 1(b))。モ

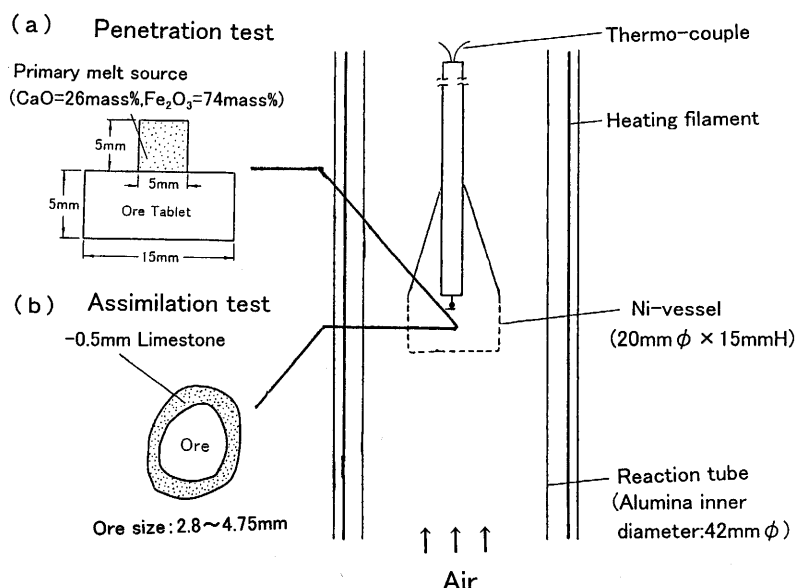


Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus for the fusibility experiment.

Table 1. Size distribution of the ore particles for sintering pot test.

	(mm)				
	3~5mm	1~3	0.5~1	0.25~0.5	-0.25
Ore W	18.5	31.1	12.1	8.5	29.8
Ore C	18.2	35.7	15.2	11.2	19.7
Ore P	20.9	23.1	13.7	13.8	28.5

デル擬似粒子は、2.8~4.75 mmの鉄鉱石タイプ別粒子に0.5 mm以下の石灰石を水で造粒して作製した。CaO/鉱石の質量比 (CaO/Ore) は、実機配合原料に近似させて0.1とした。このモデル擬似粒子をNi製坩堝 (直径20 mm, 高さ15 mm) に充填して、電気炉内で1300°Cまで空気気流中で加熱した。焼成は融液浸透性試験と同様に実機焼結操業のヒートパターンに近似させ、1100°Cから1300°Cまでを1分で加熱し1300°Cから1100°Cまでを3分で冷却した。試料の温度が1100°Cになった時点で炉外へ取り出し空冷した。焼成後の試料については、光学顕微鏡観察と強度試験を行った。

鉄鉱石の同化挙動については、同化量や同化組織についての検討¹¹⁾は行われているが、強度との関係についてはあまり検討されていない。そこで、本試験においては、同化挙動を焼成後試料の強度で評価した。

強度試験は、Ni坩堝から取り出した焼成試料を、長さ300 mm, 内径30 mmのアクリルパイプの底に置き、300 gの分銅 (長さ100 mm, 直径25 mm) を高さ300 mmから3回落とす方法とした。その後、試料中の2.8 mm以下の粉率を篩出しにより測定した。試験は3回行いその平均値を採用した。

2.2.5 1 kg 焼結鍋試験

焼結操業に及ぼす鉄鉱石タイプ別粒子の影響を調査するために1 kg 焼結鍋試験を実施した。使用した鉄鉱石は、マラマンバ鉱石Wおよび低りんブロックマン鉱石C、高りんブロックマン鉱石Pである。

ベース配合はこれら鉄鉱石を1/3ずつ均等に配合した。これに対し試験配合は、Table 1中の3~5 mm粒子のみを2.8~4.75 mmの鉄鉱石タイプ別粒子と置き換える試験である。例えば、マラマンバ鉱石Wであれば、3~5 mm粒子18.5 mass%を黒粒子、中間粒子あるいは黄色粒子に置き換えた。焼結鍋試験は、原料層の高さ450 mm, 内径70 mm, 吸引負圧は2.94 kPa一定とした。SiO₂は5.76 mass%, CaO/SiO₂は1.82とし、SiO₂は珪石で調整した。粉コークスの配合は新原料に対し5.0 mass%とした。本試験は鉄鉱石タイプ別粒子の差が明確になるように、配合原料の化学組成は一定とした。

本試験における成品歩留は以下のように測定した。まず、焼成後シンターケーキの長さをおよそ半分にし (約200 mm), 長さ250 mm, 幅100 mm, 深さ100 mmの鉄製箱に並べ、試料の上に長さ240 mm, 幅90 mm, 厚み10 mmの鉄板を乗せ、4 kgの分銅 (80 mm×80 mm×80 mm) を1 m

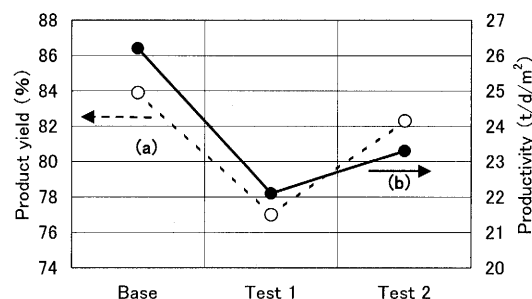


Fig. 2. Results of the 50 kg sintering pot test.

の高さから3回落下させた後、5 mm以上の焼結鉱量を計測した。成品歩留は、試験前シンターケーキの重量に対する5 mm以上の焼結鉱量の質量比を用いた。

3. 実験結果

3.1 50 kg 焼結鍋試験

Fig. 2に成品歩留と生産率の結果を示す。SiO₂を調整せず低りんブロックマン鉱石Cをマラマンバ鉱石Wに全量置き換えたTest 1の場合、成品歩留は、84%から77%まで7%低下した(Fig. 2(a))。これに対しSiO₂を一定としたTest 2では82%に回復したが、ベースの84%とは2%の差があることを確認した(Fig. 2(a))。続いて生産率の比較では、Test 1では4.1 t/d/m², Test 2でも2.7 t/d/m²の低下が確認された (Fig. 2(b))。本試験ではSiO₂, 塩基度は一定であり、さらにAl₂O₃が低下しているにも関わらず、低りんブロックマン鉱石Cに比べマラマンバ鉱石Wが劣位であることから、両鉄鉱石には鉱物学的に本質的な差があると考えられた。そこで、3.2以降で述べる基礎的な検討を実施した。

3.2 外観観察による鉄鉱石タイプ別の分類

Fig. 3に目視により分類した鉄鉱石粒子の代表的な外観を示す。またTable 2にはそれらの存在比率を示した。分類結果から、同じ豪州産鉄鉱石でも鉄鉱石タイプの存在比率が大きく異なることが分かる。黒粒子の存在比率は、低りんブロックマン鉱石Cの38 mass%, 高りんブロックマン鉱石Pの33 mass%に対し、マラマンバ鉱石Wは20 mass%と少ない。一方、黄色粒子の存在比率は33 mass%と他の鉄鉱石に比べ1.7~2.2倍多いことが分かった。Fig. 4にこれら粒子の代表的な光学顕微鏡組織を示す。低りんブロックマン鉱石Cと高りんブロックマン鉱石Pの黒粒子はヘマタイトが主体の組織であるが、マラマンバ鉱石Wはマーサイトとゲーサイトが混在した組織である(Fig. 4(a), (d), (g))。一方、黄色粒子はいずれの鉄鉱石も多孔質なゲーサイト組織が主体である(Fig. 4(c), (f), (i))。なお、水銀圧入法で測定したこれら粒子の気孔率の結果をTable 3に示す。この結果からも黄色粒子の気孔率が高いことが認められる。

3.3 鉄鉱石タイプ別粒子の化学組成

Table 4に鉱石タイプ別粒子の化学組成を示す。低りんブロックマン鉱石Cおよび高りんブロックマン鉱石Pの黒粒子および中間粒子のT.Feは65~68 mass%と高く、SiO₂が2.0 mass%未満、Al₂O₃は1.2 mass%未満であり、高品位で

ある。マラマンバ鉱石Wの黒粒子と中間粒子では、T.Feが63~64 mass%であるがSiO₂は2.5 mass%未満、Al₂O₃が1.4 mass%未満と脈石成分は少ない。一方、黄色粒子は、

Table 2. Ratios of the particle types in different iron ores.

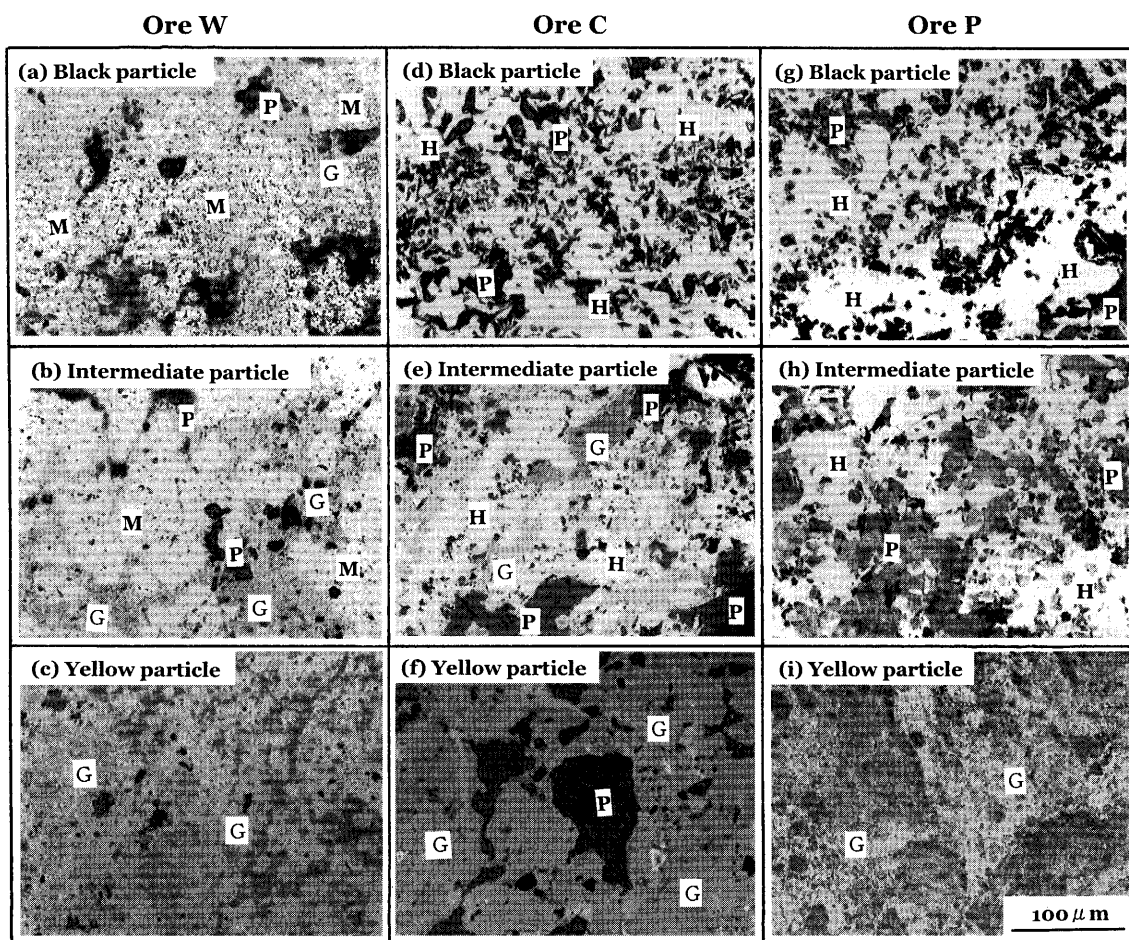
	(mass%)		
	B-particle	I-particle	Y-particle
Ore W	20	47	33
Ore C	38	43	19
Ore P	33	52	15

B-particle : Black particle
I-particle : Intermediate particle
Y-particle : Yellow particle

Table 3. Comparison of porosity of the 2.8-4.75 mm particle type ores.

Ore W	B-Particle	0.054
	I-Particle	0.077
	Y-Particle	0.117
Ore C	B-Particle	0.072
	I-Particle	0.078
	Y-Particle	0.089
Ore P	B-Particle	0.065
	I-Particle	0.072
	Y-Particle	0.104

Pore volume: cm³/g



H: Hematite M: Martite G: Goethite P: Pore

Fig. 4. Typical mineral structure of classified particles.

Table 4. Chemical compositions of the each particle type ores.

		(mass%)					
	Ore Type	T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	CW
Ore W	B-Particle	63.9	0.22	1.41	0.85	0.051	5.06
	I-Particle	63.1	0.14	2.35	1.38	0.065	5.49
	Y-Particle	57.8	0.14	4.21	3.56	0.075	8.33
Ore C	B-Particle	67.8	0.31	1.27	0.81	0.038	0.97
	I-Particle	65.5	0.42	1.78	0.96	0.065	2.68
	Y-Particle	57.8	0.59	6.59	4.19	0.096	5.43
Ore P	B-Particle	67.2	0.45	1.35	0.63	0.053	1.78
	I-Particle	64.9	0.42	1.93	1.17	0.111	3.56
	Y-Particle	56.7	0.32	7.55	3.76	0.227	6.57

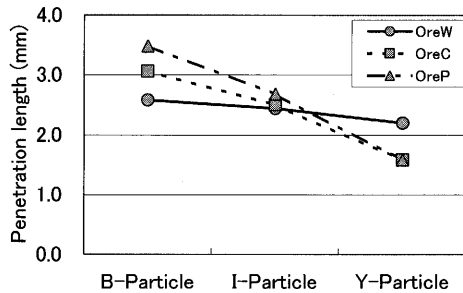


Fig. 5. Measurement results of the penetration length for different particle type ores.

いずれの鉄鉱石も SiO_2 が 4.2~7.6 mass%, Al_2O_3 が 3.5~4.2 mass% と高い。また CW も黄色粒子で高い値を示す。比較的 CW が低いとされる低りんブロックマン鉱石 C でも約 5.5 mass% である。さらに、マラマンバ鉱石 W ではピソライト鉱石とほぼ同等の CW 量を示す。高結晶水鉱石の同化特性に関しては、ある温度に達すると急激に融液化するとの報告¹²⁾があり、焼結反応に及ぼす黄色粒子の影響は大きいと推測される。

3.4 鉄鉱石タイプ別粒子の融液浸透距離

Fig. 5 に結果を示す。融液浸透距離は、いずれの鉄鉱石も黒粒子、中間粒子、黄色粒子の順に小さくなる。低りんブロックマン鉱石 C および高りんブロックマン鉱石 P の黒粒子では 3.0~3.5 mm であるが、同鉄鉱石の黄色粒子になると 1.5 mm 程度まで小さくなる。これは黄色粒子は、 SiO_2 および Al_2O_3 などの脈石含有量が多く、初期融液にこれら脈石が溶け込む量が多くなり、融液の粘性が上昇するためと考えられる⁸⁾。一方、マラマンバ鉱石 W では鉄鉱石タイプ別粒子間の差が小さい。これは、化学成分のみならず酸化鉄結晶の形状も関与しているためと考えられ、今後の研究課題である。

融液浸透距離は、初期融液の鉄鉱石充填層への拡がりを表しており、この融液の拡がり焼結鉱の結合相形成、ひいては強度、歩留に大きく影響すると考えられる。実際の擬似粒子では、黄色粒子の分布により融液の拡がりが抑制され、強度、歩留に影響を及ぼす可能性が考えられる。

3.5 鉄鉱石タイプ別粒子の同化挙動

Fig. 6 に強度試験結果を示す。いずれの鉄鉱石も黒粒子、中間粒子、黄色粒子の順で -2.8 mm 粉率が增加している。黒粒子の -2.8 mm 粉率は 10 mass% 前後であるが、黄色粒子の場合は 20~23 mass% であり焼成物は非常に脆くなっている。それは、同化後の組織観察結果ともよく一致する。Fig. 7 に各鉄鉱石の黒粒子と黄色粒子の同化後のマクロ組織を示す。いずれの鉄鉱石も黒粒子の場合は、緻密な元鉱が観察され、これらは生成した融液によって結合している (Fig. 7(a), (c), (e))。一方、黄色粒子の場合は、同化が進んで多孔質化した結合組織 (Fig. 7(d)) や融液の生成が少なく元鉱がそのまま残留している組織が観察される (Fig. 7(b), (f))。黄色粒子の同化後組織では、前者が 60% に対し後者

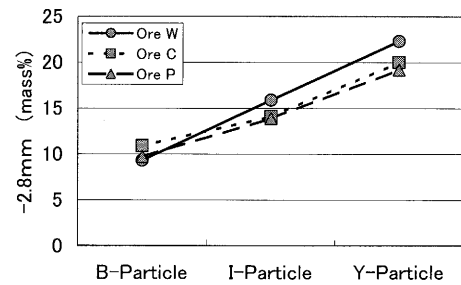
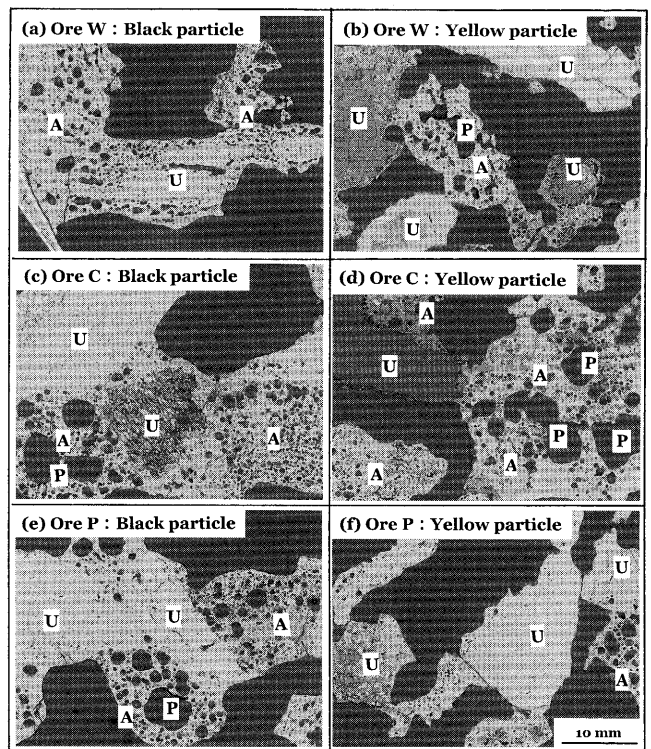


Fig. 6. Results of the crushing strength of sintered sample.



U: Unmelted ore A: Assimilated part P: Pore

Fig. 7. Microstructure of the assimilation test at 1300°C.

の組織が約 40% 存在することを確認した。

黄色粒子の -2.8 mm 粉率が高いのは、多孔質な組織に加え、結合相を形成するための融液量が少なかったためと考えられる。この理由については 4. 考察の中で説明する。

本結果から、黄色粒子の同化後組織は脆弱であり、黄色粒子の存在比率は、焼結鉱の強度、歩留に大きな影響を及ぼすと考えられる。

3.6 鉄鉱石タイプ別粒子の 1 kg 焼結鋼試験

Fig. 8(a) に成品歩留の結果を示す。2.8~4.75 mm の粗粒部を鉄鉱石タイプ別粒子に置き換えると、いずれのケースにおいても、黒粒子、中間粒子、黄色粒子の順に低下する。黒粒子では 52% 程度であった成品歩留が、黄色粒子では 42~48% まで低下した。

次に生産率の結果を Fig. 8(b) に示す。生産率も黒粒子、中間粒子、黄色粒子の順で低下する。粗粒を黒粒子で置き換えた場合、12~13 t/d/m² であるが、黄色粒子の場合は

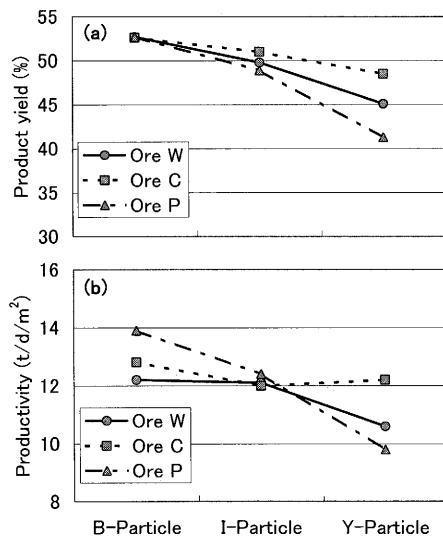


Fig. 8. Results of the 1 kg sintering pot test.

10~12 t/d/m²に低下する。ここで、低りんブロックマン鉱石Cでは、中間粒子を置き換えた場合と黄色粒子を置き換えた場合で、ほとんど差がない結果となっている。この理由として、中間粒子を置き換え時の造粒水分が7.0 mass%であるのに対し、黄色粒子を置き換えた試験では7.5 mass%と造粒水分が高かったことから、擬似粒子の粒度および強度が向上したためと考えられる。

以上の結果、焼結原料粗粒部の一部を黄色粒子に置き換えた場合、成品歩留や生産率が大きく低下することが分かった。

4. 考察

以上の基礎的な実験結果から、マラマンバ鉱石Wおよび低りんブロックマン鉱石C、高りんブロックマン鉱石Pでは、鉄鉱石によらず黄色粒子の鉱物特性が焼結性を悪化させることが明らかになった。本章では黄色粒子の同化挙動についてさらに考察する。

4.1 焼結性に及ぼす黄色粒子の影響

同化試験結果から、黄色粒子の同化組織は、①同化が進み多孔質になる場合と、②融液が殆ど生成しない組織になる場合に概ね二分される。前者は、鉄鉱石中の気孔量でほぼ整理できると考えられる¹³⁾。ここでは後者については詳しく考察する。まず、上記②の原因を解析するために同化後粒子のEDS解析を実施した。Fig. 9に元素分布測定結果を示す。融液が生成しなかった粒子表面の鉱物組織 (Fig. 9 SEI) は、鉱石粒子表面に近いa相とその上部にb相が存在する。a相はCa, Al, Siがほぼ均一に分布しており、b相はFeとCaが分布していた。b相はその組成からヘミカルシウムフェライトと推察される。一方a相は、Al₂O₃を多量に含んだCaO/SiO₂が0.5程度の組成であった (ZAF法による定量値: Fe₂O₃=5.7 mass%, CaO=20.0 mass%, SiO₂=

43.8 mass%, Al₂O₃=31.5 mass%)。さらに、CaO-Fe₂O₃-SiO₂系融液の粘性は、低Fe₂O₃濃度、高SiO₂濃度領域では、SiO₂含有量に支配されるという報告¹⁴⁾からもわかるように、カルシウムフェライト系融液に比べa相の粘性は格段に高いと推察される。したがって、黄色粒子において結合相を形成するための融液生成量が少ないのは、このa相の存在により、カルシウムフェライト系融液と鉄鉱石との接触が絶たれ、同化を抑制するためと考えられる。

ここで、a相の形成について以下のように考察した。

①まず、1200°C付近でCaOと鉄鉱石中のFe₂O₃が反応しCaO-Fe₂O₃系融液が生成する。②そのCaO-Fe₂O₃系融液に鉄鉱石中のFe分と脈石成分 (SiO₂およびAl₂O₃) が溶け込む。③CaO-Fe₂O₃系融液に溶解しきれないSiO₂およびAl₂O₃がa相の主成分として相を形成する。

さらに、a相の形成には、焼成前の鉄鉱石粒子内におけるSiO₂およびAl₂O₃の分布が関与すると考えられた。そこで、黄色粒子の脈石分布をEPMAで分析することにした。

Fig.10にマラマンバ鉱石Wの黄色粒子 (2.0~2.8 mm) の面分析結果を示す。元素の濃度はFig.10中右側のカラーバーで示され、赤くなるほど濃度が高く、青くなるほど濃度が低いと判断する。黄色粒子は粒子全体にSi, Alが高濃度で分布していることが明瞭である。すなわち、脈石成分であるSiO₂およびAl₂O₃がCaO-Fe₂O₃系融液と接触し易い構造であることが分かる。さらに、黄色粒子はSiO₂およびAl₂O₃を多量に含有している結果 (Table 4)からも、本考察は妥当であるといえる。

4.2 鉄鉱石タイプの分類とその意義

これまでの結果をまとめると、Fig. 2で述べたマラマンバ鉱石Wと低りんブロックマン鉱石Cとの焼結操業の差は、黄色粒子の存在比率と分布の影響が大きいといえる。低りんブロックマン鉱石Cとマラマンバ鉱石Wの黄色粒子比率は、前者が約20%に対して後者は約30%である。ただし、この値は2.8~4.75 mm粒子に限定したものである。一般に広い粒度分布を有する焼結用鉄鉱石の成分は粒度が小さいほどT. Feが低下し、脈石成分のSiO₂やAl₂O₃あるいはCWが増加することが知られている。したがって、鉄鉱石全体における鉄鉱石タイプの存在比率を把握することは、多様化する豪州産鉄鉱石の焼結反応を明確にする上で重要である。

鉄鉱石の組織を判別し定量する方法については、唯一JMF Cloutらの研究報告¹⁵⁾がある。これは、鉄鉱石の鉱物組織をその特徴から細かく分類して定量化する方法であるが、焼結性との関係については検討されていない。また、組織の分類数が多いため本結果を焼結操業に反映するためには複雑な検証が必要になると考えられる。

本研究では、外観からの分類が、その粒子の鉱物特性や焼結性を知る手段として有効であることを検証した。目視という方法を現場に採用することは困難であるが、例えば、

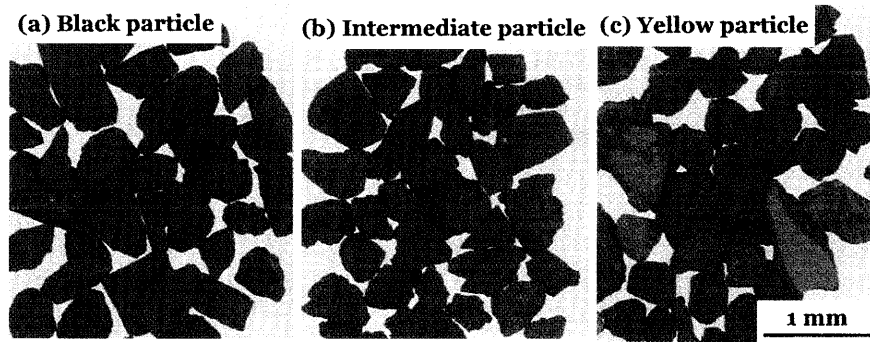


Fig. 3. Classification of iron ore particles by means of surface color.

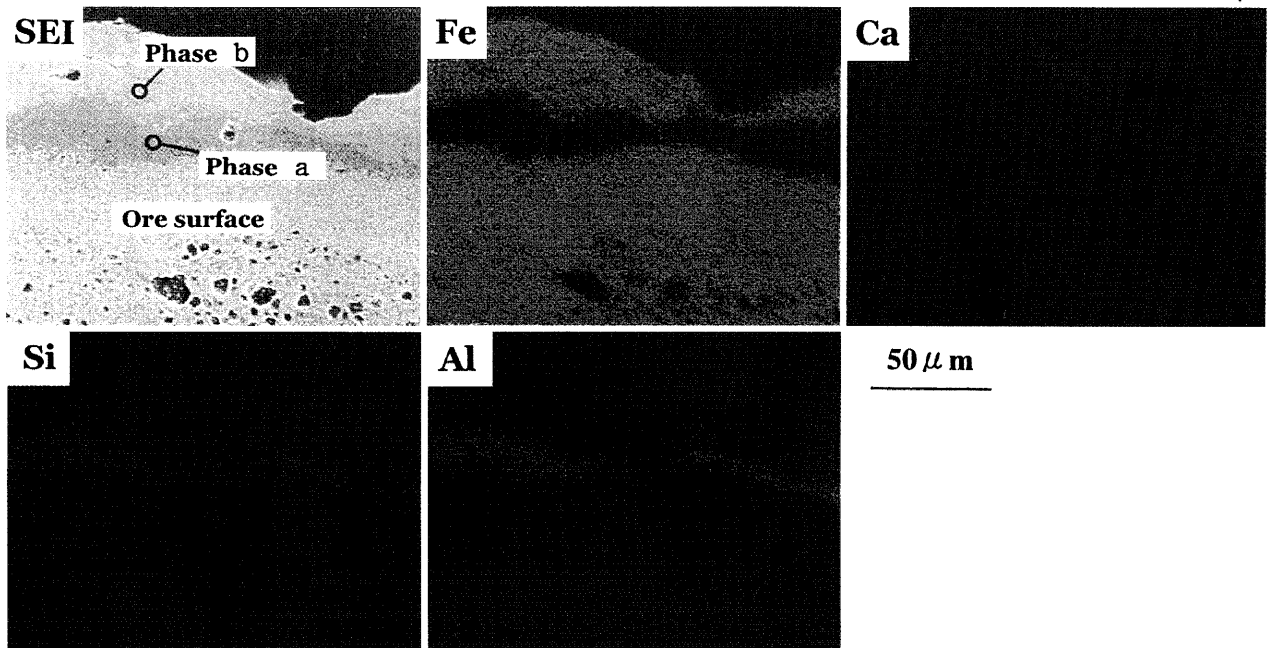


Fig. 9. Elements distribution of assimilated area of the yellow particle (Y-particle, Ore W).

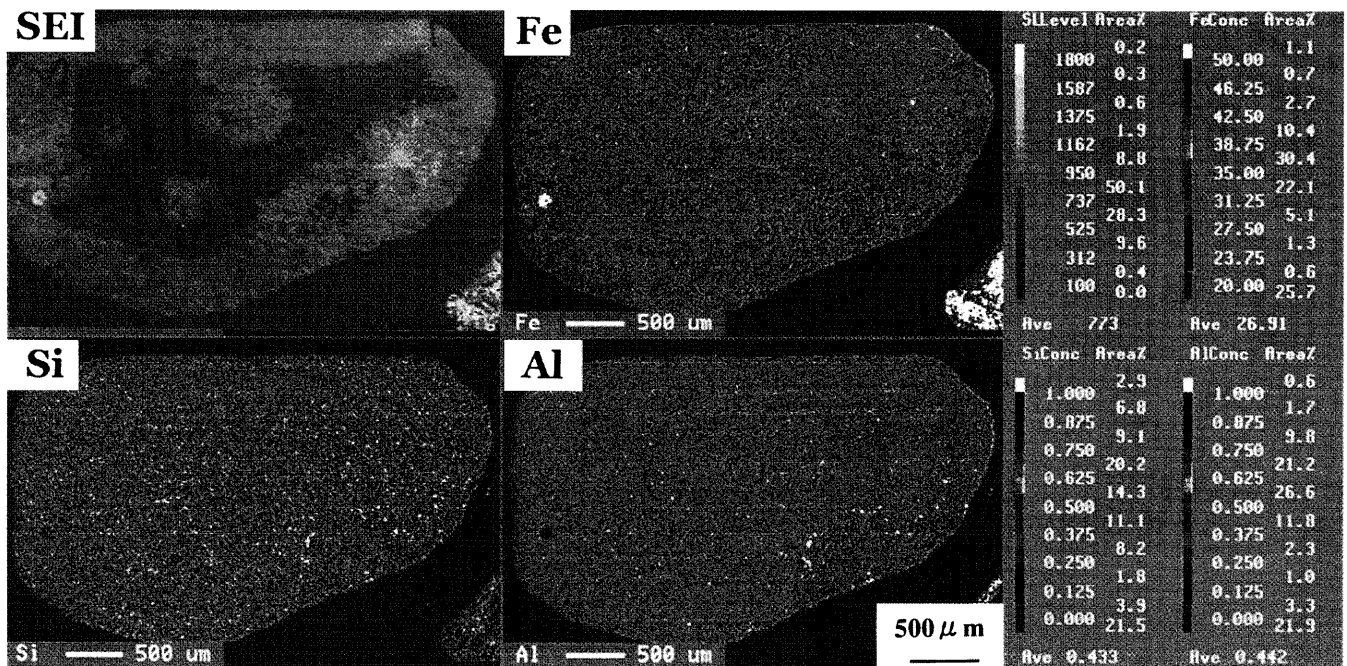


Fig. 10. Elements distribution of cross section of the yellow particle (Y-particle, Ore W).

Fig. 4からも分かるように、分類した粒子の鉱物組織は、黒粒子はヘマタイトが主体の組織であり、黄色粒子はゲーサイトが主体である。すなわち、分類した粒子毎の比重は異なると考えられるため、比重による鉄鉱石タイプ分類は有効な手段と考えられる。今後検討を進めたい。

5. 結言

マラマンバ鉱石の鉱物特性と焼結性の関係について、鉄鉱石粒子をその外観から、黒粒子、中間粒子、黄色粒子に分類して、鉄鉱石タイプ別の熔融性試験および焼結鍋試験を主体に検討した結果、以下の結論を得た。

(1) 黒粒子と中間粒子の SiO_2 および Al_2O_3 濃度は低いが、黄色粒子の SiO_2 および Al_2O_3 濃度は高い。黄色粒子の存在比率は、高りんブロックマン、低りんブロックマン鉱石、マラマンバ鉱石の順で高い。

(2) 黄色粒子の同化後組織は脆弱で、焼成物の強度を低下させる。これは、①同化が進み多孔質な組織になる場合と、②融液が殆ど生成しない組織になることが主要である。前者は結晶水が多いためである。後者は同化時に鉄鉱石表面に SiO_2 、 Al_2O_3 濃度の高い相が形成されるためであり、脈石の形態と量に由来する。

(3) 焼結配合原料の化学成分を一定としても、黄色粒子を多く配合した場合は、生産率、成品歩留が低下する。

(4) 低りんブロックマン鉱石に比べマラマンバ鉱石の焼結性が劣るのは、黄色粒子の存在比率が多いためと推定される。

文 献

- 1) K.Nagano: *Tetsu-to-Hagané*, **90** (2004), 51.
- 2) J.Okazaki and K.Higuchi: *ISIJ Int.*, **45** (2005), 427.
- 3) S.Komarov, E.Kasai, K.Nushiro and M.Nakano: *CAMP-ISIJ*, **17** (2004), 582.
- 4) S.Kamijyo, M.Matsumura and T.Kawaguchi: *CAMP-ISIJ*, **17** (2004), 586.
- 5) T.Matsumura, T.Okata and Y.Yamagata: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 910.
- 6) T.Haga, M.Nakano, S.Kasama, A.G.Waters and Bergstrand: The 5th European Coke and Ironmaking Congress, Proc., (2005), Tu12: 2.
- 7) Y.Hida and Y.Nosaka: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 52.
- 8) J.Okazaki, K.Higuchi, Y.Hosotani and K.Sinagawa: *ISIJ Int.*, **43** (2003), 1384.
- 9) B.Phillips and A.Muan: *J. Am. Ceram. Soc.*, **41** (1958), 488.
- 10) J.Okazaki and Y.Hida: *CAMP-ISIJ*, **2** (1989), 47.
- 11) Y.Hida, J.Okazaki, K.Ito and S.Hirakawa: *Tetsu-to-Hagané*, **78** (1992), 1013.
- 12) E.Kasai: *CAMP-ISIJ*, **13** (2000), 714.
- 13) J.Okazaki and Y.Hosotani: *Tetsu-to-Hagané*, **78** (2001), 298.
- 14) S.Tunoda, T.Mitumori, K.Morinaga and T.Yanagase: *J. Jpn. Met. Soc.*, **44** (1980), 94.
- 15) E.Donskoi and J.M.F. Clout: Iron Ore Conf., Fremantle, WA, 19-12 Sep., (2005), 203.