

タブレット焼成試験による鉄鉱石微粉部の溶融特性の評価

芳我 徹三*・笠間 俊次*・小園 琢磨*・緒方 就昭*

Evaluation of Melting Characteristics of Fine Iron Ores by the Tablet Sintering Test

Tetsuzo HAGA, Shunji KASAMA, Takuma KOZONO and Nariaki OGATA

Synopsis : Characteristics of iron ores have influence upon sintering operation and sinter quality. Mineralogical properties of fine iron ores affect significantly the melting behavior in the sintering process. In this study, in order to estimate the macroscopic melting behavior which is directly linked to the coalescing of granules and the formation of pore network in the sintering process, tablets consisted of the mixture of fine iron ores and limestone were prepared. Sintering tests were carried out using the tablets, and the deforming behavior of the tablets was quantified as the deforming temperature. The deforming temperature was strongly affected by gangue minerals in iron ores, mainly because of the rising of peritectic temperature of quaternary calcium ferrite by the dissolution of clay into the calcium ferrite melt. The deforming temperature of iron ore mixture depended on that of each iron ore and its mixing ratio. The influence of MgO sources such as serpentine and Ni slag on the deforming temperature was examined. The means to control the melting behavior in the sintering process by the granule design of raw mixtures was discussed.

Key words : iron ore ; sintering ; ore property ; melt ; tablet ; gangue minerals ; clay ; quartz ; agglomeration.

1. 緒言

焼結用粉鉄鉱石は、その鉱床の生成過程の違いなどから構成鉱物としての酸化鉄や脈石の賦存状態が大きく異なっている。この鉄鉱石銘柄による特性の違いは、焼結操業や焼結鉱品質に大きな影響を与えることが報告されている¹⁻³⁾。一方、鉄鉱石の資源動向に関しては、豪州における褐鉄鉱系粉鉄鉱石の増加、ブラジルにおけるイタピライト微粉鉄鉱石の増加、さらに新規開発鉱山の粉鉄比率上昇などが指摘されており^{4,5)}、焼結操業や焼結鉱品質への悪影響が懸念されている。従って、鉄鉱石の銘柄毎の特性に基づいた最適操業条件を与える指針を求めることが望まれている。

鉄鉱石の銘柄特性は、焼結プロセスにおける造粒性、通気性、溶融反応性などあらゆる面で影響を与える。本研究は、塊成化にとって基本となる溶融反応性について銘柄毎の評価を行った。鉄鉱石の溶融反応性に着目した研究として、鉄鉱石の溶融難易性⁶⁾、高温流動性⁷⁾および同化性⁸⁾の評価などが報告されている。しかし、これらの研究成果からは、焼結プロセスにおける粒子間結合や気孔ネットワーク⁹⁾を形成する溶融挙動と、核鉄鉱石が融液によって同化される挙動との区別が困難であった。たとえば、高い石灰石濃度のもとで高同化性を示すピソライト鉄鉱石³⁾、一般的な焼結操業での石灰石濃度で、粒子間結合を形成するための良好な溶融挙動を示すか否かについては明確ではない。

本研究では、鉄鉱石の溶融反応性を、石灰石との反応に

より融液を生成する微粉部の溶融挙動と、その融液の影響を受ける粗粒部の同化挙動とに大別し、一次要因としての微粉部の溶融挙動をとりあげた。一般的な焼結操業条件に適合する石灰石濃度で、鉄鉱石微粉部をタブレット成形した試料の焼成試験を行い、鉄鉱石の銘柄特性としての石英系や粘土系などの脈石成分が鉄鉱石の溶融挙動に及ぼす影響を定量化した。その結果得られた知見から、鉄鉱石銘柄特性を考慮した焼結配合設計指針に関する若干の考察を行った。

2. 供試料

焼結用粉鉄鉱石は各銘柄により粒度毎の脈石含有量が大きく異なっており、粒度毎の化学組成分布にも特徴が見られる。Fig. 1は、ブラジル産ヘマタイト鉄鉱石と西豪州産ヘマタイト鉄鉱石に関して、 Al_2O_3 、 SiO_2 を代表値として、粒度毎の脈石分布の違いを示す。この図から、鉄鉱石銘柄毎の脈石量の差が顕著に現れるのは、3 mm以下の部分であることがわかる。一方、焼結過程における溶融反応は、鉄鉱石微粉部と石灰石との接触部分を起点として進行することから^{10,11)}、本研究においては、溶融反応性評価のための試料として、各鉄鉱石の0.5mm以下の微粉部を用いることとした。

また、鉄鉱石と石灰石との溶融反応は副原料添加の影響を受けることが考えられる。本研究では、焼結操業でMgO源として使用される蛇紋岩とニッケル滓とを検討対象とし

*平成8年5月28日受付 平成8年9月9日受理 (Received on May 28, 1996; Accepted on Sep. 9, 1996)

* 新日本製鐵(株)大分製鐵所 (Oita Works, Nippon Steel Corp., 1 Oaza-Nishinosu Oita 870)

た。Table 1 は今回試料として使用した西豪州, ブラジル, ゴア, 北米の各焼結用鉄鉱石, および副原料の主要化学成分を示す。ここで, 西豪州鉄鉱石の分類については, Kneeshaw の分類¹²⁾に従った。また, これらの試料は, 焼結用鉄鉱石および副原料を完全乾燥後, 分級して0.5mm以下の粒度に調整された。

3. 実験方法

焼結過程における鉄鉱石の基本的な融液生成反応は石灰石との接点から始まることから, 本実験では, 鉄鉱石の溶融反応性評価の観点から, 鉄鉱石と石灰石との重量比を一定とし, 80:20とした。この重量比は, 焼結配合原料中の石灰石配合割合が通常10~15mass%であり, ほぼ全量が溶融反応に寄与するものと考えられること, 一方, 配合された鉄鉱石類は, 溶融反応に関与する0.5mm以下の粒度割合が通常30~60mass%であることを考慮して設定された。

焼結用副原料としての蛇紋岩およびニッケル滓が, 鉄鉱石と石灰石との溶融反応に及ぼす影響に関しては, 鉄鉱石 B について, 副原料の添加量を 2 および 4 mass% と変化させて調査した。Table 2 はこれらの試験条件を示す。Test-1 は, 鉄鉱石と石灰石とによるタブレットであり, Test-2 は, さらに蛇紋岩もしくはニッケル滓を添加したものである。これらの配合原料約1.5gを直径 8 mm, 長さ約10mmの

円柱形タブレットに成形した。成形にあたっては, 配合原料に12.5~15.0mass%の水分を加え, 金型に入れた後, 2.62 kgの錘を0.23mの高さから 5 回落下させて成形圧を加えた。さらに, 105±5°Cの乾燥炉で 3 h乾燥した後, 約10mmの長さに切断した。このタブレットを定型のアルミナ製試料皿に載せ, Fig. 2 に示す横型エレマ炉にて焼成した。

タブレットの溶融状況の判定は, タブレットと定型試料皿との間隙(1.0mm)が閉塞された状態を変形開始点として判定し, この状態となる温度を「変形開始温度」と定義して, 溶融反応性の評価指標とした。これは, 焼結プロセスにおける粒子間結合および気孔ネットワーク形成のためには, 数mmオーダーでの融液の移動が必要と考えられるからである。

さらに, この変形開始点については, 十分な反応時間を与えた場合の評価と, 反応速度を考慮した評価とを行った。前者の評価については, タブレットを設定温度で均熱帯内に15分間保持した状態で変形開始と判定される温度を求め, 「変形開始温度(T₁)」とした。後者の評価については, 焼成時の昇温速度を焼結ヒートパターンに近い約100°C/minとし,

Table 2. Mixing ratio of iron ores and fluxes in tablets.(mass%)

Test	Iron ore	Limestone	Serpentine	Ni-slag	
Test-1	Ore A ~ K	80	0	0	
		20	2	0	
	Ore B	76	20	4	0
Test-2		78	20	0	2
	Ore B	76	20	0	4

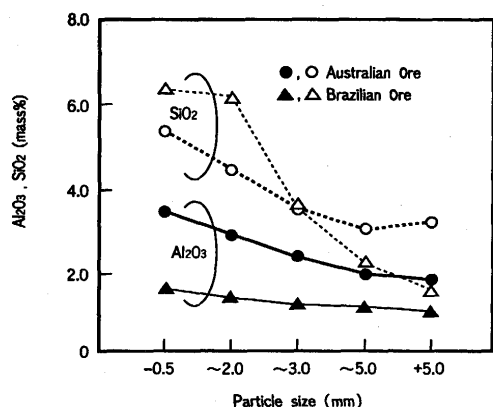


Fig. 1. Distribution of chemical composition for typical iron ores.

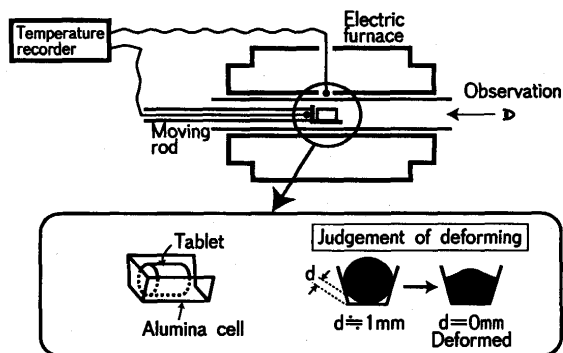


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Chemical composition of iron ores and fluxes used in the experiments.(mass%)

Material	T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	CW*
Hematite A -0.5mm	68.10	0.04	1.12	0.04	0.51	0.05	0.43
Hematite B -0.5mm	66.99	0.11	0.82	0.03	1.02	0.02	1.44
Hematite C -0.5mm	63.16	0.23	7.44	0.04	1.03	0.11	1.03
Hematite D -0.5mm	64.30	2.34	2.70	0.03	1.62	0.07	3.04
Hematite/Goethite E -0.5mm	61.68	0.16	6.20	0.06	2.92	0.08	1.99
Hematite/Goethite F -0.5mm	60.66	0.11	5.93	0.08	3.22	0.10	3.04
Hematite/Limonite G -0.5mm	61.43	0.04	3.14	0.07	2.30	0.10	4.75
Pisolite H -0.5mm	55.65	0.23	6.61	0.91	3.02	0.27	7.25
Pisolite I -0.5mm	59.20	0.23	4.79	0.06	1.34	0.05	8.23
Hematite/Magnetite J -0.5mm	65.76	8.98	4.66	0.49	0.19	0.30	0.11
Magnetite K -0.5mm	67.60	18.06	4.86	0.12	0.32	0.02	0.75
Serpentine -0.5mm	5.43	2.23	39.14	1.70	0.77	37.22	12.45
Ni slag -0.5mm	8.78	9.77	50.67	0.26	2.25	31.56	N.D.
Limestone -0.5mm	0.20	0.00	0.22	55.20	0.05	0.62	N.D.

* CW : Combined water

タブレットが変形開始したと判定される温度を読み取り「変形開始温度(T_2)」とした。ここで、昇温速度は、炉内最高温度を1400°Cとし、アルミナ製試料皿に載せたタブレットを横方向に移動させ、約100°C/minになるようにした。さらに、溶融挙動の差を明確にするために、鉱石B, C, Fについては、変形開始温度(T_1, T_2)から水中に投入した急冷サンプルを顕微鏡観察用試料とし、構成する鉱物組織を画像処理装置により定量評価した。1画素は縦横が試料の2 μ mに相当し、1視野の画素数は512 \times 512個である。測定は、タブレットの長手方向に、試料のほぼ中心線に沿って、顕微鏡ステージを自動的に動かし、1サンプルあたり6視野を測定した。輝度レベルは256段階の識別が可能であるが、マグネタイトが観察されなかったことから、ヘマタイト、カルシウム・フェライト、スラグ、および気孔の4種類についてしきい値を設定した。

4. 結果および考察

4.1 鉄鉱石の溶融反応性評価

Fig. 3は、鉱石A~K全銘柄の T_1, T_2 を示す。 T_1 については、変形開始点近傍で温度レベルを5~10水準変化させ、変形開始と判定される最も低い温度を採用した。 T_2 に関しては、昇温過程での読み取り値であるため、4回の繰返し測定の平均値を記載したが、繰返し測定精度は良好である。この測定結果をもとに、鉄鉱石中の主要脈石成分である Al_2O_3 と T_1 および T_2 との関係をFig. 4に示す。いずれも相関係数は高く、鉄鉱石中の Al_2O_3 量が溶融反応性に強い影響を与えていることがわかる。鉄鉱石に含まれる脈石の代表的なものとして、カオリナイト($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, $Al_2O_3/SiO_2=0.85$)、セリサイト($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$,

$Al_2O_3/SiO_2=0.85$)を主体とする粘土鉱物、ギブサイト($Al_2O_3 \cdot H_2O$)および石英(SiO_2)などがある。脈石中の Al_2O_3/SiO_2 の質量比が0.85より小さい場合には SiO_2 が過剰であるとして、その過剰分は石英として脈石中に含まれているものとした。逆に大きい場合には過剰の Al_2O_3 がギブサイトと

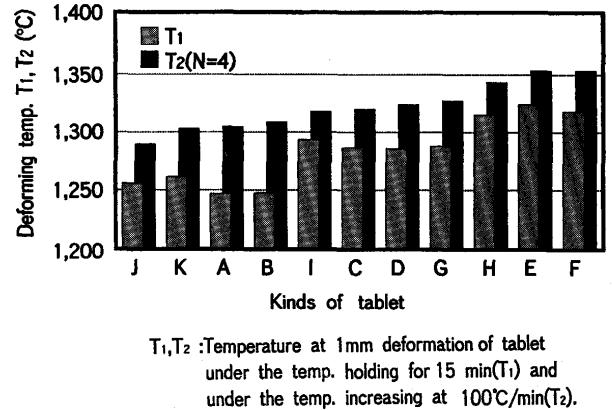


Fig. 3. Deforming temperature (T_1, T_2) of tablets made of mixtures of fine iron ores and limestone.

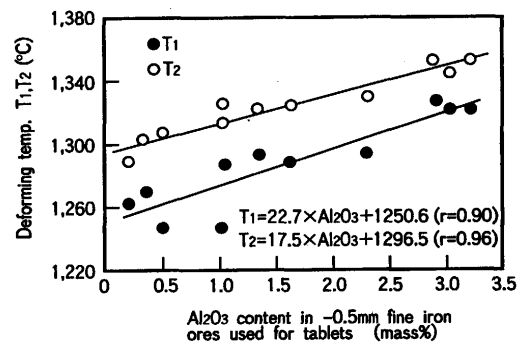


Fig. 4. Influence of Al_2O_3 content in -0.5mm fine iron ores on the deforming temperature of the tablets.

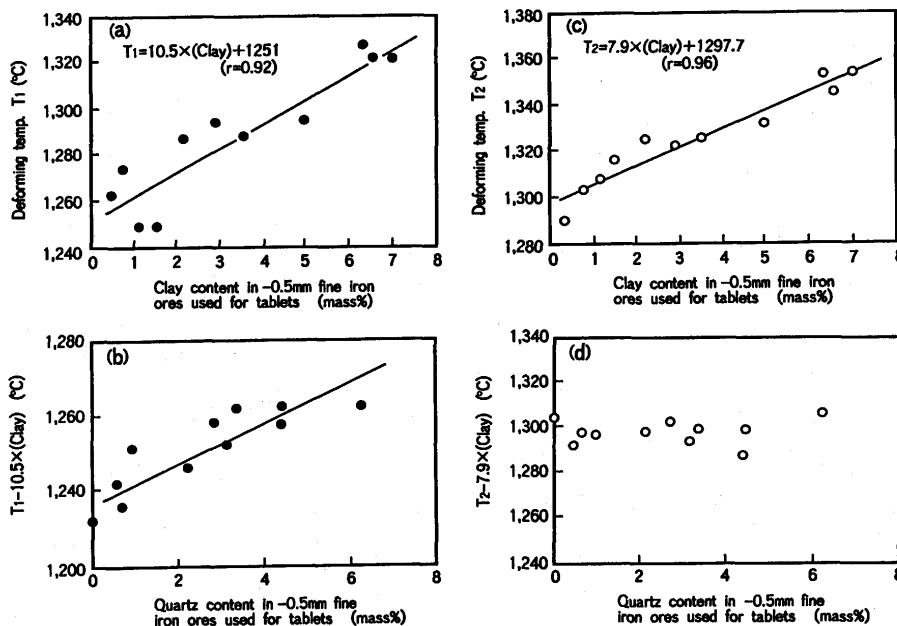


Fig. 5. Influence of gangue minerals in -0.5mm fine iron ores on the deforming temperature of the tablets.

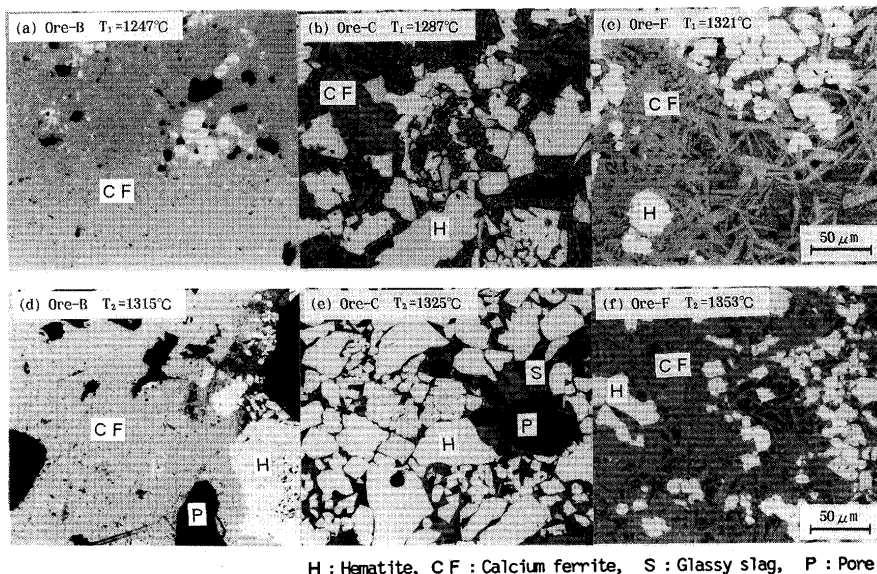


Fig. 6. Microstructure of tablets at the deforming temperature.

して脈石中に含まれているものとして脈石構成を定量化し、脈石が溶融反応性に与える影響について解析を試みた⁸⁾。

4.1.1 変形開始温度(T₁)と脈石成分の関係

Fig. 5 (a), (b)は、鉄鉱石中の脈石とタブレットの変形開始温度T₁との関係を示す。T₁はAl₂O₃-SiO₂系粘土鉱物と石英(SiO₂)の影響を強く受けており、(1)式に示す重回帰式を得た。ただ、本研究で使用した鉱石中にはギブサイトを多量に含む鉱石がないことから、ギブサイトの溶融開始温度に与える影響については明確ではなかった。

$$T_1 = 11.2 \cdot (\text{Clay} - 3.40) + 5.0 \cdot (\text{Quartz} - 2.55) + 1286.7 \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 6 (a), (b), (c)は粘土鉱物や石英の含有量の異なる鉱石B, C, Fに関して、変形開始温度(T₁)で15分間保持した後、水中に投入して急冷したタブレット試料の組織写真である。いずれも、鉱物組織はカルシウム・フェライト、ヘマタイトと非晶質スラグを主体として構成されている。Al₂O₃, SiO₂が低く脈石量の少ない鉱石Bを用いたタブレットは晶出型カルシウム・フェライト主体の組織となっている。粘土鉱物を脈石として多く含む鉱石Fのタブレットは包晶反応型の針状カルシウム・フェライトが多い組織となっている。さらに、石英含有量の多い鉱石Cに関してはヘマタイトが多い組織となっていることが特徴である。これらの鉱物組織の構成比を画像処理装置で測定した結果をTable 3に示す。

以上の結果は、平衡状態図を基にした焼結反応の検討結果^{10,13)}などを基にして、以下のように解釈できる。すなわち、T₁の温度レベルは焼結反応に於る初期融液生成温度(CaO-Fe₂O₃系: 1205°C, CaO-Fe₂O₃-SiO₂系: 1192°C)より高いことから、本研究での評価対象である数mmオーダーでの融液の移動を伴う溶融挙動は、初期融液の影響を受けるだけでなく、初期融液に脈石が溶け込んで晶出する固相、および、その固相の溶融分解が影響していると理解できる。

Table 3. Mineral composition of the tablets determined by using a quantitative image analyzer.

Quench timing of tablets	Kinds of tablet (Test-1)	Mineral composition (%)			Pore (%)
		Hematite	Calcium ferrite	Slag	
Deforming temp. T ₁ (°C)	Ore-B	15.2	82.6	2.2	24.0
	Ore-C	48.4	48.6	3.0	31.1
	Ore-F	31.3	66.4	2.3	30.8
Deforming temp. T ₂ (°C)	Ore-B	16.1	81.1	2.8	47.0
	Ore-C	50.9	46.6	2.5	43.5
	Ore-F	19.8	76.4	3.8	31.0

さらに組織観察結果から、ほぼ同一Al₂O₃量である鉱石BとCとを比較すると、石英(SiO₂)を多く含む鉱石Cを用いた場合には、晶出したヘマタイトが多く見られ、この固相の増加により融液の流動性が低下し、T₁が上昇したものと考えられる。一方、鉱石BおよびCに比較してAl₂O₃の高い鉱石Fを用いたタブレットについては、包晶反応型カルシウム・フェライトが主体であることから、Al₂O₃の固溶によるカルシウム・フェライト相の融点上昇の影響を受けてT₁が上昇したものと考えられる。

(1)式はこれらの結果を総合的に示しており、変形開始温度(T₁)は、以下の2つの異なる現象の影響を受けると考えられる。一つは、石英(SiO₂)が初期融液に溶解してヘマタイトを晶出することによる固液共存体としての流動性の悪化の影響であり、もう一つは、初期融液に溶け込むAl₂O₃-SiO₂系粘土鉱物の増加に伴うカルシウム・フェライト包晶温度の上昇の影響である。

4.1.2 昇温過程での変形開始温度(T₂)と脈石成分の関係

Fig. 5 (c), (d)は、約100°C/minの昇温速度を与えた条件下での、鉄鉱石中の脈石と変形開始温度(T₂)との関係を示す。この結果から、T₂はT₁とは異なり、石英単独の影響は受けず、Al₂O₃-SiO₂系粘土鉱物の含有割合によってほぼ決定されることが明らかとなった。定量的には(2)式に示す重回帰式で整理できる。

$$T_2 = 7.9 \cdot (\text{Clay} - 3.4) + 1324.4 \dots\dots\dots (2)$$

Fig. 6 (d), (e), (f)は、それぞれ、鉱石B, C, Fに関して、変形開始温度(T_2)から水中に投入して急冷したタブレット試料の組織写真である。Table 3はこれらの鉱物組織の構成比を示す。 T_2 は T_1 より約20~60°C高温であるので、 T_2 でのタブレットの組織は T_1 に比較して高い温度履歴を受けている。これは、Fig. 6の(d), (e), (f)が、それぞれ、(a), (b), (c)に比較して気孔が大きく、かつ、丸みを帯びていることから裏付けられる。Table 3の鉱物組織定量結果から、高 Al_2O_3 鉱石Fはヘマタイトが減少し、カルシウム・フェライトが増加していることがわかる。これは、温度上昇に伴い、低融点のカルシウム・フェライトの分解と並行して Al_2O_3 - SiO_2 系粘土鉱物の溶解が進み、高融点の包晶反応型カルシウム・フェライトが増加したことによるものと思われる。したがって、(1)式と(2)式との差を考察するには、 T_2 で評価される各鉄鉱石の溶融挙動が、 T_1 に比較して高い温度履歴を受けたことによる鉱物組織の変化の影響や、昇温による融液の流動性の変化の影響などを受けていることを考慮する必要がある。

ここで、Table 3の示す鉱物組織の構成比を見ると、鉱石BとCに関しては、 T_1 と T_2 とで差は認められない。すなわち、 T_1 , T_2 ともに、鉱石BとCとの脈石中の石英(SiO_2)量の差が、晶出したヘマタイト量の差として現れている。しかし、(2)式は(1)式と異なり、 T_2 が石英(SiO_2)の影響を受けないことを示していることから、鉱物組織の構成とは異なる要因で溶融挙動の差が生じていることになる。

したがって、この溶融挙動の差は、 T_2 が T_1 より高温であるために、ヘマタイト固相およびカルシウム・フェライト固相と融液との固液共存体において、融液の流動挙動が支配的になることにより生じるものと考えられる。すなわち、焼結プロセスに近似させた昇温速度を与えた場合の数mmオーダーでの溶融挙動は、初期融液の生成と、鉄鉱石中の粘土鉱物が融液に溶け込んで晶出するカルシウム・フェライト固相の溶融分解挙動とが支配的な要因になると考えられる。

以上の結果から、変形開始温度 T_1 , T_2 はともに鉄鉱石中の脈石の影響を受け、 Al_2O_3 が高いと融液を生成し難いことが明らかとなった。この結果を同化性に関する研究結果^{6,8)}と対比すると、加熱後気孔率が高いことなどを特徴とするピソライト鉱石は、高 Al_2O_3 であっても、石灰石濃度が高い条件下では高い同化性を示すが、一般的な焼結操業での石灰石濃度では、脈石成分の影響で融液を生成し難い鉱石であると言える。

4・2 溶融反応性評価法の適用

4・2・1 鉄鉱石銘柄組合せの溶融挙動への影響

(1), (2)式に示すように、変形開始温度 T_1 , T_2 は鉄鉱石中の脈石の構成でほぼ決定される。この結果はいずれも

単味鉱石を用いた焼成試験結果からの回帰式であることから、焼結配合設計に適用するためには、複数の鉄鉱石を組合わせた場合の相互作用の有無を確認する必要がある。実際の焼結操業においても、焼結鉱品質や操業指標を単味鉱石特性の単純加算では説明できないことが経験的に明らかである。そこで、複数の鉄鉱石銘柄を組合わせた場合の溶融挙動への影響について検討を行った。

Table 1の示す鉱石A~F, H, J, Kについて、2銘柄を同量ずつ混合した鉄鉱石粉を作成し、単味鉱石に関する試験条件と同一条件でタブレットを作成し、焼成試験を実施した。溶融挙動の評価は、焼結プロセス相当の昇温速度を与えた試験で得られる変形開始温度(T_2)で行った。Fig. 7は、得られた T_2 と鉄鉱石中 Al_2O_3 含有割合との関係を示す。この試験においても、Fig. 7上に併記した、単味鉱石に関するFig. 4の結果から外れるものはないことから、鉄鉱石微粉部の溶融反応性には、特殊な鉄鉱石銘柄の組合せによる相互作用はなく、加成性があることが確認された。

したがって、実際の焼結プロセスで見られる、単味鉱石特性が焼結鉱品質や焼結操業指標に与える影響の非加成性は、微粉部の溶融反応性以外の要因によるものと考えられる。すなわち、銘柄の組合せによる原料粒度分布の変化が、造粒性、通気性、装入時の偏析挙動などに与える影響の非加成性や、鉄鉱石粗粒部の同化性と微粉部の溶融反応性と組合せが焼結鉱品質などに与える影響の非加成性などが考えられる。

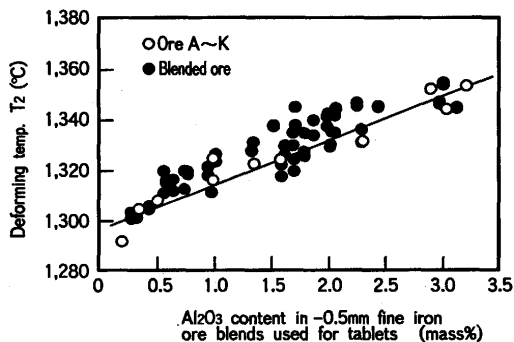


Fig. 7. Influence of iron ore blending on the deforming temperature T_2 of the tablets.

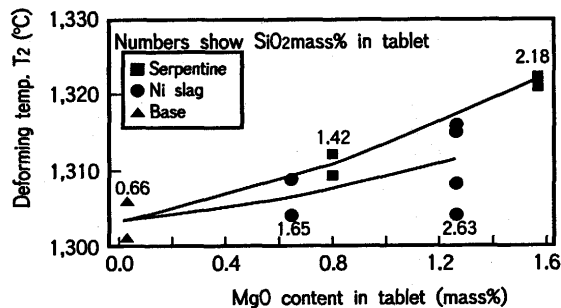


Fig. 8. Comparison of the deforming temperature for the tablets including different MgO sources.

4.2.2 副原料添加の溶融挙動への影響

焼結操業で添加される副原料には、鉄鉱石中の主要脈石成分である Al_2O_3 、 SiO_2 以外の成分も含まれるので、副原料添加が溶融挙動に及ぼす影響について検討した。溶融挙動の評価は変形開始温度(T_2)で行い、副原料としては、 MgO 源として添加する蛇紋岩およびニッケル滓を使用し、鉱石Bを基準にしてTable 2に示す配合条件で試験を行った。

蛇紋岩、ニッケル滓は MgO のみでなく SiO_2 も含有していることから MgO 単独の影響は評価できないため、 MgO 調整用に添加した場合の焼結反応への影響評価という観点から評価を行った。試験結果をFig. 8に示す。蛇紋岩、ニッケル滓いずれを添加しても、 MgO 濃度上昇に伴い変形開始温度は上昇するが、ニッケル滓の方が蛇紋岩に比べて T_2 への影響は小さい。この T_2 への影響の差は、蛇紋岩、ニッケル滓の0.5mm以下の粒度分布の違いや、結晶構造の違いによって生じるものと考えられる。この結果から、同一 MgO 目標で成分調整する場合でも、溶融反応性の調整手段として、蛇紋岩とニッケル滓の使い分けが有効であることがわかる。

4.3 鉱石特性を考慮した溶融反応制御法の考察

本研究結果から、焼結プロセスにおける粒子間結合や気孔ネットワーク形成に必要な数mmオーダーでの溶融挙動は、鉄鉱石微粉部の脈石構成、特に Al_2O_3 - SiO_2 系粘土鉱物の影響を強く受けること、また T_1 温度近傍では石英の影響も受けることが明らかとなった。さらに、副原料としての蛇紋岩、ニッケル滓がこの溶融挙動に及ぼす影響についても定量的に評価された。これらの結果から、焼結溶融反応挙動の最適化を図るには、配合原料微粉部の脈石構成(Al_2O_3 、 SiO_2)を調整することや、溶融挙動への影響度を考慮した副原料を選択することが重要であると言える。

しかし、鉄鉱石銘柄を自由に選択することは困難であり、さらに、鉄鉱石資源動向としての褐鉄鉱化は配合原料微粉部の Al_2O_3 上昇に結びつき、溶融反応性を悪化させることなどを考慮すると、原料配合調整による溶融反応制御の範囲は非常に限定されると考えられる。したがって、この溶融反応制御の自由度を拡大するには、鉄鉱石や副原料の銘柄毎の特性を踏まえた上で、複数系統の原料予備処理過程を設けることなどによる、積極的な擬似粒子構造の造り込み対策が必要である。すなわち、配合原料の中に、鉄鉱石と石灰石とによる融液を積極的に製造し、焼結体形成に必要なボンドと気孔ネットワークとを形成する部分と、融液生成反応に関与させない部分とを分離して存在させることが有効な対策となりうると考えられる¹⁴⁾。

一方、鉄鉱石の溶融反応性は、本研究で採り上げた微粉部の溶融挙動だけでなく、その融液の影響を受ける粗粒部の同化挙動を考える必要があり、今後、融液性状と粗粒鉱石性状との組み合わせによる溶融反応性評価が必要である。

5. 結言

焼結操業や焼結鉱品質に影響を及ぼす鉄鉱石銘柄特性の中で、石灰石との反応により融液を生成する微粉部の溶融挙動について評価を行った。鉄鉱石微粉部のタブレット焼成試験を行い、焼結プロセスにおける粒子間結合や気孔ネットワーク形成に必要な数mmオーダーでの溶融挙動を、十分な反応時間のもとでの変形開始温度(T_1)、および、100°C/minの昇温条件下での変形開始温度(T_2)として定量化し、変形開始温度と鉄鉱石中の脈石との関係、および副原料との関係を明らかにし、以下の知見を得た。

(1) 変形開始温度(T_1, T_2)は、いずれも初期融液生成温度より高く、融液に脈石が溶け込んで晶出する固相や、その固相の溶融分解の影響を強く受ける。

(2) 脈石中の Al_2O_3 - SiO_2 系粘土鉱物はカルシウム・フェライト包晶温度を上昇させ、変形開始温度 T_1, T_2 をともに上昇させる。

(3) 脈石中の石英(SiO_2)はヘマタイト固相量を増加させることから、固液共存体としての流動性を低下させて、変形開始温度 T_1 を上昇させる。

(4) 変形開始温度 T_2 で評価される鉄鉱石微粉部の溶融挙動には、特殊な鉄鉱石銘柄の組み合わせによる相互作用はなく、加成性がある。

(5) MgO 源副原料である蛇紋岩、ニッケル滓の添加は、いずれも変形開始温度 T_2 を上昇させるが、ニッケル滓の方が蛇紋岩に比べて影響が小さい。

(6) 鉱石銘柄特性を考慮した原料予備処理により、焼結溶融反応を制御できる可能性がある。

文 献

- 1) 古井健夫, 菅原欣一, 川頭正彦, 清水 亮, 仲田泰三: 製鉄研究, (1971) 272, 1.
- 2) 肥田行博, 伊藤 薫, 岡崎 潤, 佐々木稔, 梅津善徳: 鉄と鋼, 68 (1982), 2166.
- 3) 大友崇穂, 田口 昇, 葛西栄輝, 大森康男, 川口尊三: 鉄と鋼, 79 (1993), 1145.
- 4) 野坂庸二, 細谷陽三: 鉄と鋼, 75 (1989), 1957.
- 5) 肥田行博, 野坂庸二: 鉄と鋼, 78 (1992), 960.
- 6) 野坂庸二, 磯崎成一, 菅原欣一: 鉄と鋼, 67 (1981), S655.
- 7) 葛西栄輝, Shengli Wu, 大森康男: 鉄と鋼, 77 (1991), 56.
- 8) 肥田行博, 岡崎 潤, 伊藤 薫, 平川俊一: 鉄と鋼, 78 (1992), 1013.
- 9) 笠間俊次, 稲角忠弘, 中安 勤: 鉄と鋼, 78 (1992), 1069.
- 10) 肥田行博, 佐々木稔: 鉄と鋼, 68 (1982), 563.
- 11) 肥田行博, 宮崎武志, 佐々木稔, 相馬英明, 佐藤勝彦, 内藤文雄, 香川正浩, 谷口正彦: 製鉄研究, (1987) 325, 70.
- 12) M. Kneeshaw: Proc. Australian Inst. Min. Metall., (1984) 289, 157.
- 13) 井上勝彦, 林 秀高, 吉岡邦宏, 高橋 佐: 神戸製鋼技報, 34, (1984) 4, 22.
- 14) 芳我徹三, 大塩昭義, 福田 一, 香川正浩, 上川清太, 吉本博光: 鉄と鋼, 71 (1985), S805.