

## 討 2

### 焼結原料の造粒とその役割

日本鋼管(株) 中研福山研 ○長野誠規 谷中秀臣  
 福山製鉄所 山本亮二 服部道紀  
 京浜製鉄所 工博山岡洋次郎

1. 緒言 焼結鈳製造における造粒工程は焼結ベッドにおける通気性を確保するという意味で極めて重要な工程である。通気性は、造粒物(擬似粒子)が、搬送過程や装入過程で受ける機械的衝撃および焼成過程で受ける熱的衝撃に耐え得るだけの強度を持つ時に確保できる。結果として、取り得る操業アクションの手段が増え、生産性や焼結鈳品質のコントロールがより容易になる。操業面では焼成の均一化が求められ、また原料面ではペレットフィードの使用による微粉化が進んでいる昨今、造粒工程において強度の強い擬似粒子を作るという要求はますます高まってきている。筆者らは、擬似粒子の評価法も含めて焼結原料の造粒性とその役割について検討したのでここに報告する。

2. 擬似粒子の評価方法 焼結原料の造粒性について調査する前に、焼結原料として最適な擬似粒子形態はどうあるべきか、また、それをどのように評価すべきかについて検討した。以下に、幾つかの評価法について述べる。

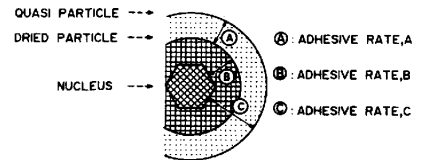


Fig.1 Configuration of quasi particle

1. 粒度分布測定：混合原料(含水率約6%)の粒度分布に関して、残留水分が2.0~2.5%の状態における粒度分布を擬似粒度分布、110℃で2時間以上乾燥させた後の粒度分布を完全乾燥粒度分布、水洗後乾燥させて測定したものを核粒度分布と呼び、それぞれの粒度分布から求まる平均粒径を比較する。
2. 着粉率測定：擬似粒子の形態を3層構造であると考え、上記3種の粒度分布から着粉率<sup>1)</sup>を定義する(Fig.1)。着粉率Aは擬似粒子-完全乾燥粒子間に付着し、焼成過程の熱履歴を受けて容易に崩壊剥離する付着粉量を示す。一方着粉率Bは完全乾燥粒子-核粒子間に付着し、熱履歴を受けても崩壊しにくい付着粉量を表わす。着粉率Cは付着粉量全体を示す。焼結過程を通じて通気性を確保するためには、熱履歴を受けても崩壊しないような強度を持ち、かつ、粒径の大きい擬似粒子にする必要がある。これを前述の指数を用いて表わせば、着粉率Bおよび着粉率Cが大きく、逆に、着粉率Aが小さい粒子が望ましいと言える。

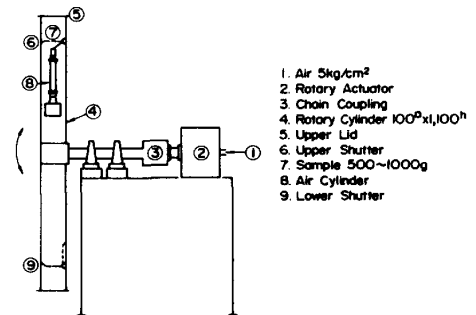


Fig.2 Apparatus for shatter test

3. シャッター試験：造粒物が受ける機械的衝撃を再現することを目的としてシャッター試験を行っている。Fig.2に装置概要を示す。これは、自動開閉ができる蓋を備えた100□×1,100ℓの回転筒内で試料に1m高さに相当する落下衝撃を任意の回数だけ自動的に加えられるようにしたものである。通常、完全乾燥粒度分布を測定した試料をそのまま延べ3回のシャッター試験に供して、平均粒径や付着粉の剥離率を調査している。
4. その他：他に、圧潰強度や通気度測定により擬似粒化性を評価することができる。しかし、単一粒子を扱う圧潰強度測定は、造粒後においても広い粒度分布を持つ焼結原料の造粒性の評価には適していないと考えている。一方、通気度測定は造粒物を充填層として一括して取り扱える利点はあ

るが、点火前の通気度が焼成過程を通じての通気性と必ずしも対応しないという問題点がある。

以上の理由により、粒度分布から求まる平均粒径と着粉率、さらにシャッター試験から求まる付着粉の剥離率を測定することによって擬似粒子の評価を行なっている。

**3. 焼結性に及ぼす造粒の影響** ここでは造粒が焼結性にいかなる影響を及ぼすかを明らかにするため、 $-0.125\text{mm}$ 量の異なる3種類の粉鉱石を準備し、一定の条件で造粒した後、鍋試験に供した。併せて前述した着粉率の正当性を確かめようとした。造粒物の特性値として平均粒径と着粉率をFig. 3に示した。Fig. 3より、粉鉱石中の $-0.125\text{mm}$ 量が4%から35%

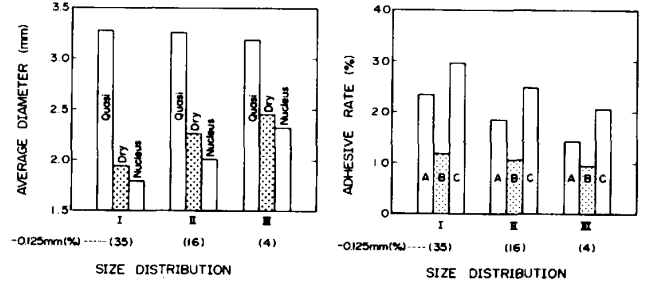


Fig.3 Effects of size distribution of iron ore fines on granulating condition

まで変化しても擬似粒径はほぼ一定で高位に保たれている。一方、乾燥粒径は微粉化にともない低下している。これは付着粉が乾燥時に容易に剥離したためであり、擬似粒子の強度が弱いことを意味している。微粉化に伴い着粉率Aおよび着粉率Cが増加しているが、着粉率Bがほとんど上昇していないことが上記のことを裏付けている。Fig. 4は焼成結果を示したものであるが、微粉増加による生産性の低下および焼結性の悪化は擬似粒子の強度の低下によるものと考えられる。

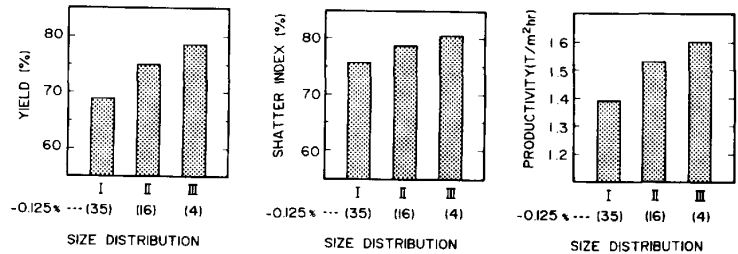


Fig.4 Effects of size distribution of iron ore fines on sintering

この試験結果から造粒の役割に関して1つの重要な結論が導ける。すなわち、造粒工程において重要なことは原料性状(特に粒度)の変化によらず一定の通気性を確保できるだけの強度を持つ擬似粒子を作ることである。以下に望ましい擬似粒子を作るための基本的な造粒法としてバインダー添加法、造粒時間の延長および微粉原料の系外処理について記す。

**4. 基本的な造粒法**

**4-1. 生石灰添加法:** 擬似粒化性に及ぼす生石灰の効果を調査するために500ℓ×200ℓのドラムミキサーを用いて造粒試験を実施した。運転条件として、占積率10% (装入量7kg), ドラム回転数は18rpmとした。混合原料中の目標水分は5.9

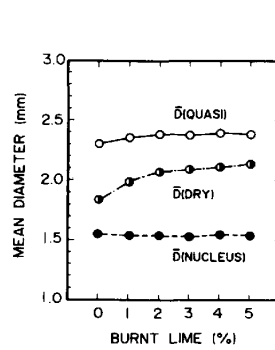


Fig.5 Burnt lime vs average diameter

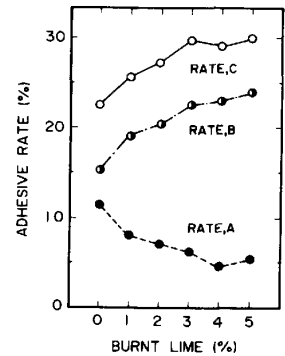


Fig.6 Burnt lime vs adhesive rate

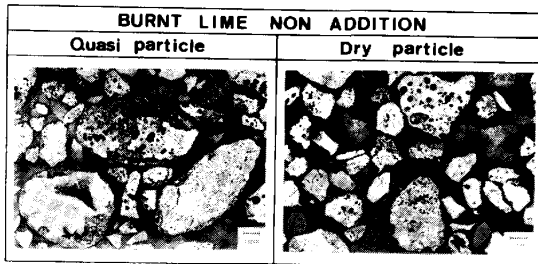


photo.1 Macrograph of quasi- and dry particle (Burnt lime non addition)

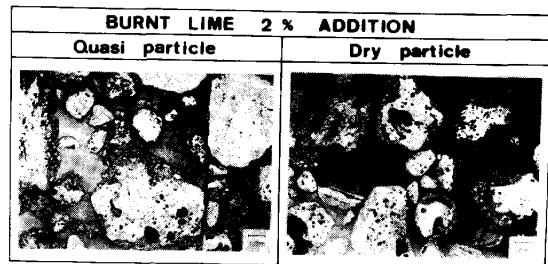


photo.2 Macrograph of quasi- and dry particle (Burnt lime 2% addition)

%, 造粒時間は5分である。また基準配合は87%粉鉱石-13%石灰石-30%返鉱-4%粉コークスとした。

Fig. 5は新原料中に生石灰を最高5%まで1%ずつ増配した時の混合原料の平均粒径の推移を示

したものである。核平均粒径 ( $\bar{D}_{nucleus}$ )は生石灰の配合量にかかわらずほぼ一定であり、擬似平均粒径 ( $\bar{D}_{quasi}$ )は生石灰2%までは増加するがその後はほとんど変化しない。一方、乾燥平均粒径 ( $\bar{D}_{dry}$ )は生石灰配合量が増すにつれて増大し、特に2%まではその効果が顕著である。これを着粉率を用いて表わしたのがFig. 6である。生石灰配合量が増加するにつれて着粉率Bは増加し、逆に、着粉率Aが低下しているのが明らかである。すなわち、生石灰配合量が増加するにつれて乾燥過程で剥離する付着粉が少なくなることを意味している。これらのことは粒子の断面観察を行えばより明瞭に理解できる。photo.1は生石灰を添加しないで造粒した場合の擬似粒子と乾燥粒子の断面を示したものである。生石灰を添加しなくても擬似粒子は形成されるが、乾燥させると付着粉が核粒子から脱落しているのが解る。photo. 2は生石灰を2%添加して造粒した場合のものである。生石灰を添加すると擬似粒子の形態は無添加時のそれと大差はないが、乾燥後も付着粉が脱落していないのが解る。

擬似粒子の強度の向上に及ぼす生石灰の効果は多大であり、かつ、2%配合でその効果を十分発現できると判断できた。次に、焼結鉱性状に及ぼす影響について鍋試験で調査した。結果をFig. 7に示した。これによれば、前述の小型ドラムミキサーによる造粒結果と同様に、生石灰添加によって乾燥粒径と着粉率Bが増大した。焼結性について言えば、歩留と生産性の向上が達成できた。

#### 4-2. 造粒時間の影響および温水添加の影響 :

ここでは擬似粒子形態に及ぼす造粒時間の影響について、生石灰を配合しない場合と2%添加した場合のそれぞれについて調査した。造粒時間は3, 6, 9, 12および15分の計5水準とした。さらに、生石灰を2%添加した試験では、生石灰の水和反応を促進させる目的で、冷水のかわりに80℃の温水を用いる試験も行なった。造粒時間の延長に伴う平均粒径の推移をFig. 8に示した。生石灰の添加有無によらず、造粒時間が12分までは擬似粒径が増大したがそれ以後は一定となった。特徴的なことは、生石灰を添加すると乾燥粒径が造粒時間に比例して増大していることである。また、調湿用に温水を添加した場合の結果を図中に示したが、擬似粒子径、乾燥粒径ともに増大しており、擬似粒化の改善に効果的であることが明らかである。

4-3 微粉原料の系外処理 : 前2章では原料全体を造粒の対象として扱い、バインダーおよび造粒時間の影響について検討した。ここでは、造粒とは微粉部を粗粒部に付着させることであるとの単純な割り切りをして、最適な造粒状態を得るための(微粉/核)比および生石灰配合量の関係を調査した。Fig. 9は微粉部を系外処理してミニペレット化する際の造粒性に及ぼす生石灰配合量と(微粉/核)比の

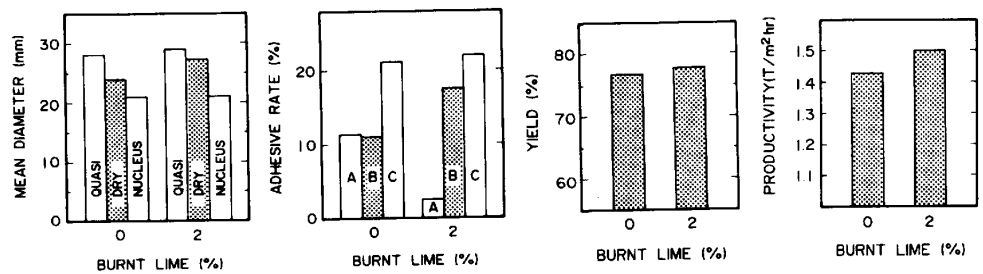


Fig.7 Influence of burnt lime addition on sintering

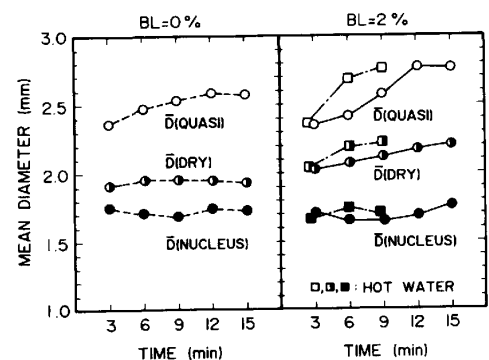


Fig.8 Granulating time vs average diameter

影響について調査したものである。生石灰配合量は5水準、(微粉/核)比は4水準設定した。造粒は1 m 径のディスク型ペレタイザーを用いて行ない、目視観察によって最適な造粒状態になるまで転動と散水を継続した。なお、微粉原料としてペレットフィードを、核として2~3.36 mmに篩い分けた返鉱を使用した。造粒物(ミニペレット)の評価は含水時と乾燥後の粒度分布から求まる平均粒径およびシャッター試験後の平均粒径で行なった。さらに、乾燥後およびシャッター試験後の-1 mm量をそれぞれ配合割合から求まる微粉総量で除することにより付着粉剝離率を定義して図中にプロットした。これによれば以下の事が明らかである。

1. 生石灰の多寡にかかわらず含水時のミニペレットは平均粒径3 mm以上にまで成長した。ただし、最適造粒状態になるまでに要する時間および最終水分値は(微粉/核)比、生石灰配合量に応じて異なる。微粉量が多くなるほど造粒時間が延び、水分値も高くなる。
2. 生石灰配合量が1%以下の場合、乾燥後の付着粉剝離率はほぼ100%に達したが、生石灰増配以伴い剝離率が低下し、ミニペレット強度が向上することが解る。生石灰10%配合では(微粉/核)比に影響を受けることなく強固なミニペレットを製造できた。photo. 3は、一例として、生石灰2%、(微粉/核)=60/40で造粒したミニペレットの断面を示したものであるが、粗粒を核にしてその周囲に微粉が付着しているのが明白である。

このミニペレット造粒法は、現状の焼結原料の造粒法から見れば極端な例であるが、(微粉/核)比換言すれば、微粉部と粗粒部の量比によって最適な造粒物を得るための造粒時間と水分値が異なるという点は現状の造粒法と相通じるものである。さらに、系外で微粉部に集中的にバインダーを添加し、残りの原料に対しては減じることにより、バインダー原単位を低減させることが可能である。

5. 結言 焼結鉱製造における造粒の役割とは原料条件の変化に影響されることなく強度の強い擬似粒子を作ることである。その結果、焼成過程で通気性を確保することができ、品質をコントロールするために取り得る操業アクションの手段が増加する。筆者らは、平均粒径、着粉率および付着粉剝離率という指数で擬似粒子を評価する方法を確立すると同時に、強度の強い擬似粒子を作る方法について検討した。その結果、原料中の微粉と粗粒の量比に応じて水分、造粒時間およびバインダー量を加減することが必要であることがわかった。特に、ミニペレット法は微粉原料だけを対象として強固な造粒物を作ることができ、併せてバインダー原単位の節減が可能であると考えられるので今後の焼結原料の事前処理法の1つとして有力である。

ref 1) 山岡, 長野, 大関, 古川: 鉄と鋼, 66(1980), S 674

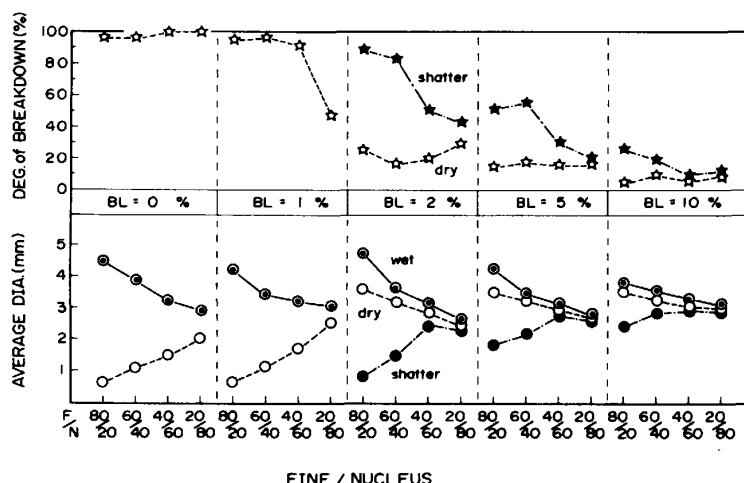
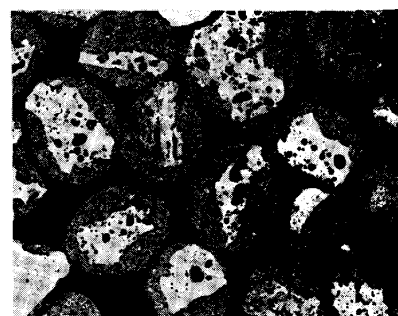


Fig.9 Effect of burnt lime and (FINE/NUCLEUS) ratio on micro pellet granulation



BL: 2%, F/N: 60/40 (F: 100% PF)

photo.3 Macrograph of micropellet