

論 文

高炉用新塊成鉱の製造条件に関する
基礎的検討及び品質の評価坂本 登*・野田 英俊*²・岩田 嘉人*³
斎藤 汎*⁴・宮下 恒雄*³Fundamental Investigation on Production Conditions of New Iron Ore
Agglomerates for Blast Furnace Burdens and Evaluation of Their Prop-
ertiesNoboru SAKAMOTO, Hidetoshi NODA, Yoshihito IWATA,
Hiroshi SAITO and Tsuneo MIYASHITA

Synopsis:

Although conventional agglomerates, such as pellets and sinter, have superior properties as blast furnace burdens, they also have inferior properties. The purpose of the present investigation is to develop a new iron ore agglomeration process that differs from the conventional ones and to improve properties of the agglomerates. The main results obtained are as follows:

(1) Differing from conventional mini-pellets adding sinter, the agglomerates, composed of diffusional bonding structure, were constituted of aggregates of irregular shaped pellets controlled 5 to 10 mm in size.

(2) Fine ores such as pellet feeds could be used in large quantities as raw materials for this process as compared with conventional sinter process, because they were granulated completely.

(3) According to an estimation method by mathematical model for fine coke addition to the raw materials, it was clarified that the method for preferential addition of the coke on surface of green ball was suitable because of the effective coke combustion. It was verified by pot grate furnace tests.

(4) The properties of the new agglomerates produced experimentally were found to be superior to those of sinter. The good properties were considered to depend mainly on the micro- and macro-structures and process characteristics.

Key words: new agglomerate; pellet; sinter; coke coating; properties of agglomerate; pot grate furnace; mathematical model.

1. 緒 言

高炉原料を対象とした塊成鉱プロセスのうちペレット及び焼結プロセスは、その長い歴史を通じ、プロセスとしてもまた品質の面でも、ほぼ完成の域に達したと言っても過言ではない¹⁾²⁾。しかし両塊成鉱とも高炉原料としては互いに長所、短所を有すると同時に、その製造プロセスには本質的な問題も内包されている³⁾。そこで両プロセスを抜本的に改善するとともに、将来の鉄鉱石原料の微粉化傾向⁴⁾を考慮した場合、既存の塊成鉱プロセ

スとは異なつた新たなプロセスの開発が必要と考えられる。

このような背景のもとに本研究は RI, RDI (低温還元粉化性) を飛躍的に向上させるとともに、既存塊成鉱プロセスの問題点を解決し得る新たな塊成鉱プロセスを開発するための基礎的な検討を行った。

2. 新塊成鉱の目標とすべき組織および形状

高炉原料として望ましい高 RI, 低 RDI の性状を備えた新塊成鉱の製造にあつて、まず新塊成鉱を構成する

昭和 61 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 61 年 9 月 24 日受付 (Received Sep. 24, 1986)

* 日本鋼管(株)鉄鋼研究所 工博 (Steel Research Center, Nippon Kokan K. K.)

*² 日本鋼管(株)鉄鋼研究所 (Steel Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

*³ 日本鋼管(株)中央研究所 (Advanced Technology Research Center, Nippon Kokan K. K.)

*⁴ 日本鋼管(株)中央研究所 (現: 日本鋼管(株)鉄鋼技術部) (Advanced Technology Research Center, Now Primary Technology Department, Nippon Kokan K. K.)

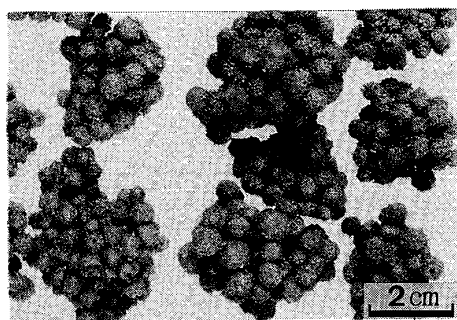


Photo. 1. Appearance of new agglomerate.

組織設計を試みた。筆者らは既に、高炉内での還元性、還元粉化性の面から望ましい焼結鉾の組織としては、微細型ヘマタイトと微細型カルシウムフェライトを主体とした拡散組織であることを明らかにした⁵⁾⁶⁾。この結果、新塊成鉾の具備すべき組織は、還元性の悪い残留元鉾比率が少ない拡散組織⁵⁾⁶⁾が望ましい。またその形状は高温還元過程でメタリックシェルの形成により還元を抑制し高温性状を悪化させないような、かつ高炉内での原料の分布特性を焼結鉾のそれと大きく変えない形状、たとえば成品粒径を10 mmφ以下に制御したミニペレット同志を固着した Photo. 1 のような形状⁷⁾が一つの可能性として考えられる。

3. 製造プロセスの検討

3.1 原料の選択

従来より、塊成鉾原料は、その粒度構成によつてペレット用あるいは焼結用として使用されている⁸⁾。新塊成鉾プロセスでは、原料の選択性を更に広げるため焼結フィードとペレットフィードの混合原料を対象原料とする。また高温性状改善の可能性も考慮し⁹⁾、粗粒、微粒原料を適切な比率で配合することとした。ただし本実験条件下では、成品中の残留元鉾比率を極力下げ、還元性の向上を図るため焼結フィード中の+5 mmは除くこととした。また本プロセスでは低シリカ塊成鉾を意図し、成品中のSiO₂含有量はペレット並みの5%以下を目標とし成品の還元性向上を図ることとする。

3.2 製造プロセスの考え方

高 RI、低 RDI の性状を有する組織⁵⁾⁶⁾を備え、高炉内での原料分布特性を乱さない Photo. 1 に示すような焼結鉾に類似した形状の新塊成鉾を製造するためには既存塊成鉾プロセスとは異なつた事前処理、焼成工程の検討が必要となる。

まず Photo. 1 に示すようなミニペレットブロックを作るために原料のすべてを造粒する。このためには焼結

プロセスのようなドラムミキサーによる擬似粒子製造のみでは不足で、ペレットプロセスと同様、本プロセスではドラムペレタイザーに比較しグリーンペレット粒径の揃う¹⁰⁾とされているディスクタイプの造粒法を選択した。

グリーンペレットの焼成は Photo. 1 に示す最終成品の形状を考慮し、また現状の焼結機を大きく改造せずに実用化するにはトラベリンググレート方式が望ましい。ただし現状の焼結機のままでは、グリーンペレットのバースティングによる粉化をひき起こす可能性があるため、焼成の前に乾燥ゾーンが必要となる。焼成はペレットプロセスのような相対的に長い外熱ゾーンによる焼成ではなく、造粒時に添加した炭材の燃焼による塊成鉾の焼結化を図るため、現状の焼結機をそのまま活用する方式とした。また現行の焼結プロセスでは主排ガスブロワーの負圧は-1 600~-2 000 mmAqに達し³⁾、総電力費に占める比率は約50%にも達している¹¹⁾。新塊成鉾プロセスでは、原料を完全に造粒するため、通気性が改善されブロワー能力もペレットプロセス並みの-400~-500 mmAq³⁾と予想され焼結プロセスに比較し省電力が十分期待できる。

成品の歩留りは、既存の焼結プロセスでは70~80%程度である¹²⁾。これに対し本プロセスでは Photo. 1 に示すように、成品形状がミニペレットのブロックであるため、ミニペレットの粒径が5 mmφ以上であれば整粒過程でペレット同志の固着部分が壊れても成品として使用できるので成品歩留りは90%以上が期待される。

3.3 製造条件の予備検討

3.3.1 シミュレーションモデルによる製造条件の検討

本プロセスに関し造粒時の炭材の添加方法、グレート上での塊成鉾の乾燥、点火、焼成条件をシミュレーションモデルにより検討を行つた。ここでは筆者らが炭材内装ペレットの製造プロセスを解析するために開発したモデル¹³⁾に原料の溶融、凝固モデル¹⁴⁾を新たに組み込みモデル化を図つた。

塊成鉾の品質に影響を及ぼす原料層内のヒートパターンはコークスの燃焼速度に強く依存する。従来のシミュレーションモデルではコークスの燃焼反応速度を独立したコークス単一粒子の燃焼と考え、素反応過程として境界膜内物質移動速度及び反応界面での化学反応速度のみを考慮している。これに対し新塊成鉾プロセスでは、炭材は造粒されたペレットの内部に分布することになるため (1) ペレット外表面ガス境界膜への焼成ガスの供給抵抗、(2) ペレット内部への焼成ガスの拡散抵抗、(3) ペレ

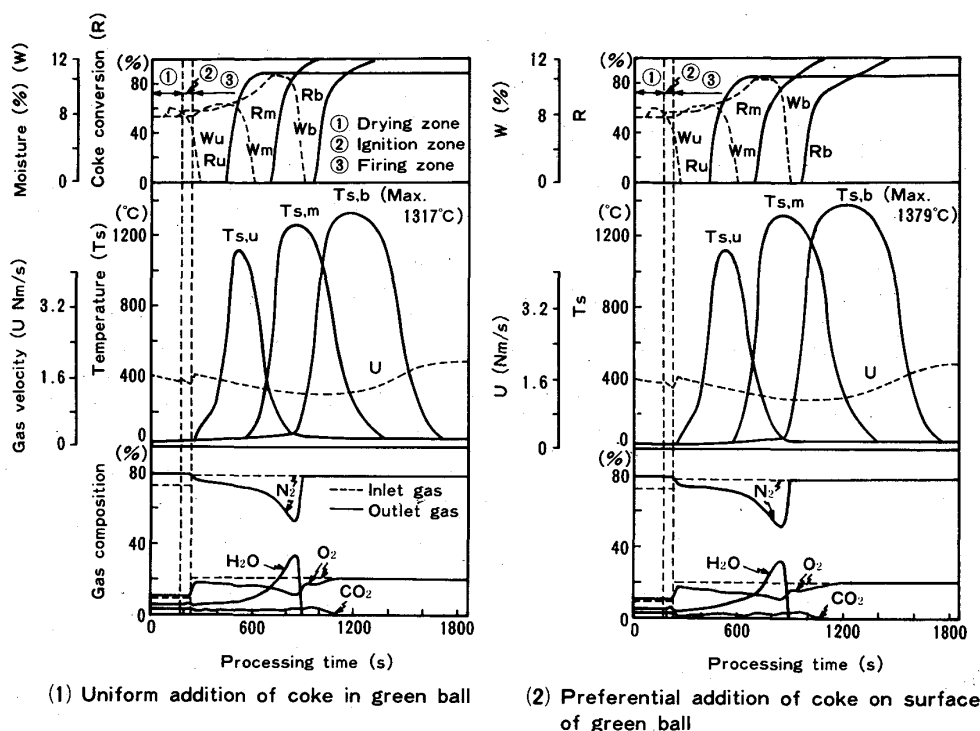


Fig. 1. Estimation of process variables between methods of coke addition to green ball.

ト内部の反応界面での化学反応抵抗を考慮することとした。これらモデルに用いる数式の構成の詳細、各種速度パラメーター、各種物性値の算出、数値計算の方法は既報¹³⁾によった。

Fig. 1 に本モデルによるシミュレーション結果を示す。Fig. 1(1) は造粒時に粉コークス 2.8% を均一に内装した場合、Fig. 1(2) はグリーンペレット表層部の粉コークス含有量を 3.0%、内部のそれが 0.9% で全体として 2.8% になるような造粒法の場合の各プロセス変数の変化を示す。Fig. 1 の結果より他の条件が同じで、造粒時の粉コークスの添加法のみが異なる場合の層内温度は(2)の方が(1)のそれに比較し各層とも高くなっている。これは(1)のようにペレット内部の粉コークス含有量が相対的に高い場合、ペレット内部への酸素の拡散過程が全体の燃焼反応速度を律し、粉コークスの効率的な燃焼を抑制するためである。これに対し(2)の場合は酸素の拡散律速領域では粉コークス含有量が相対的に少ないため、粉コークスの燃焼抑制作用も小さいと考えられる。これは Fig. 1(2) の R_m 、 R_b が直線的に変化していくことから判断される。これらの結果より、ペレットプロセスと異なり、本プロセスのように焼結プロセスとほぼ同様の約 1 min という短い点火時間で層内の粉コークスを有効に燃焼させるためには、粉コークスのグリーンペレット表面へのコーティングプロセスは有

効な方法といえる。乾燥については(1)ペレットに比較し新塊成鉱の粒径が小さいので乾燥時の熱衝撃が少ないこと、(2)ペレット原料に比較し粗粒原料比率が高いので乾燥時のバースティングが軽減されること¹⁵⁾、(3)乾燥ゾーンを極力短くし生産性を上げる必要があることなどを考慮し下向き乾燥のみで 3 min とした。Fig. 1 のシミュレーション結果より、本乾燥条件下ではグリーンペレット層表面部を除いては乾燥はほとんど進んでおらず、逆に水分の凝縮によりペレット中の水分含有量は上がっている。このような状態で操業が円滑に進行するか否かは、シミュレーションでは判断がつかず、実験によつて検証する必要がある。

3.3.2 ポットグレート炉による操業条件の検証

ここでは実機を想定した新塊成鉱プロセスと同一操業条件で実験が可能なポットグレート炉を用いてプロセスの検証を行った¹³⁾。検証のために用いた原料は焼結原料として入荷している豪州系の A 鉱石を -5 mm に整粒したもの及び南米系のペレットフィードであり、これらを 60:40 の割合で配合した混合原料である。燃料に使用する粉コークスは、CDQ 微粉コークスを用いた。混合原料、バインダー及び塩基度 (1.70 目標) 調整用としての生石灰 (-5 mm, 配合率 6~7%) を V 型ブレンダーで約 6 min 混合後 1.3 mφ ディスクペレタイザー (回転数 11~14 rpm, 傾斜角度 44°) により水分 8~10%

を添加しながら 5~10 mmφ のグリーンペレットを製造した。なお微粉コークス（添加量 3.0%）は均一添加の場合には V 型ブレンダーで他原料と同時に混合し、グリーンペレット表面に優先的に添加する場合は、いったん粉コークス未添加で造粒を行つた後、再度ペレタイザー内でペレットを転動させながらその表面にコーティングさせた。本実験条件下では微粉コークスの添加方法のいかにかわらず、いずれの場合にも造粒は可能であつた。この場合のグリーンボールの粒度構成は -5 mm : 3~5%, 5~10 mm : 93~95%, +10 mm : 2~3% であつた。この結果よりペレットフィードに比較しかなり粗い粒度構成 (-44 μm ≒ 30%) を有する原料でも造粒に関しては問題なく行えることが明らかとなつた。グリーンペレットの性状は、粗粒原料配合率の高いこともあり落下抵抗で 5~7 回、圧壊強度で 0.8~1.0 kg/p である。これらの値は通常のペレットの値¹⁵⁾に比較し低い値であるが、本プロセスがペレットプロセスに比べ多少のグリーンペレットの崩壊は許容されることから問題はないと考えた。

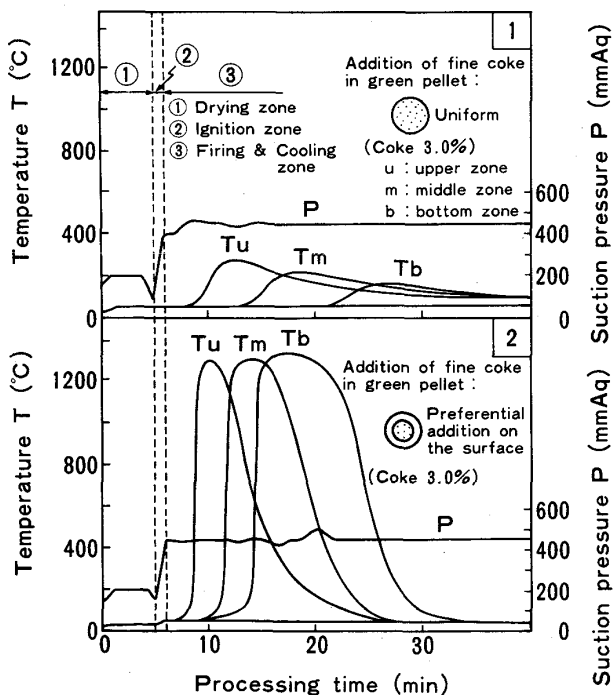


Fig. 2. Influence of method for coke addition to green ball on heating pattern of the new agglomeration process.

Fig. 2 にポットグレート炉を用い、グリーンペレットへの微粉コークスの添加法を変えた場合の層内ヒートパターンの変化を示す。Fig. 2(1) より微粉コークスを内装したグリーンペレットの焼成時の層内温度は、Fig. 1(1) のシミュレーション結果よりさらに低い。焼成物中の残留カーボンは(1)が全層平均値で 2.5% (2)が上層部 0.23%, 中, 下層部 0.03% であつた。これより、点火時間 1 min では 3・3・1 で述べたようにペレット内部への酸素の拡散過程が律速となつて、微粉コークスの着火が十分でなかつたものと考えられる。一方 Fig. 2(2) のように微粉コークスをグリーンペレットに外装した場合は同様の点火条件で、Fig. 1(2) のシミュレーション結果と同様層内各部温度は上がり、残留カーボンもほとんど認められないことから、微粉コークスは完全に燃焼し、有効に使われたことがわかる。この結果、ミニペレットが強固に固着したブロックになり、当初目的とした Photo. 1 に示すような成品が得られることが明らかとなつた。また 3 min の乾燥時間ではペレット層頂より約 3 cm 程度しか乾燥されていないが、この程度に乾燥されれば点火炉に移行した場合の表層部のグリーンボールのバースティング、層内の水分凝縮によるペレット崩壊は防げることが確認された。

以上、シミュレーション及びポットテストの結果より層厚 400 mm における乾燥、点火、焼成条件を設定した。

4. 新塊成鉱の製造及び品質の評価

使用した原料は微粉原料としてブラジル産高品位ヘマタイト系ペレットフィード、また粗粒原料として残留元鉱の還元性向上が期待できる豪州産リモナイト系焼結原料及び商用化時の使用が考えられる -5 mm に篩分けた焼結混合原料 (B 粉) である。これら原料の混合比率及びその粒度構成を Table 1 に示す。なお外装用微粉コークスは CDQ 微粉コークスを用いた。さらにバインダー及び塩基度調整用として生石灰 (-5 mm) を用い配合率を 6.5~7.5% とした。実験用ディスクペレタイザー及びポットグレート炉による原料の造粒、乾燥、焼成は 3・3・2 及び Fig. 1 で示した条件を基準に、1.3 mφ ディスクペレタイザーにて 1 次造粒 : 15~20 min, コークス被覆 : 2~3 min また、乾燥温度 : 200~250°C × 3 min, 乾燥時負圧を 200~250 mmAq, 点火温度 : 1000~

Table 1. Size distribution of raw mixtures used for the new agglomeration process.

Blended material	+4.76 mm	~2.83	~2.00	~1.00	~0.50	~0.125	~0.044	~-0.044
A ore (-3 mm) + P. F. (40%)	—	0.44%	4.11	19.06	12.86	17.07	17.07	29.41
A ore (-5 mm) + P. F. (40%)	0.10	4.89	7.44	15.16	11.86	15.39	20.16	25.00
Bedding ore (-5 mm) + P. F. (50%)	0.02	5.98	6.47	13.01	8.83	17.37	19.30	29.02

P. F. : Pellet feed

Table 2. Chemical composition of new agglomerate.

Material	T. Fe%	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaO/SiO ₂
A ore (-3 mm) + P. F. (40%)	60.23	0.43	4.10	6.86	1.99	1.67
A ore (-5 mm) + P. F. (40%)	60.32	1.29	3.87	6.63	1.94	1.71
Bedding ore (-5 mm) + P. F. (50%)	60.37	4.31	3.29	6.79	1.65	2.06

P. F. : Pellet feed

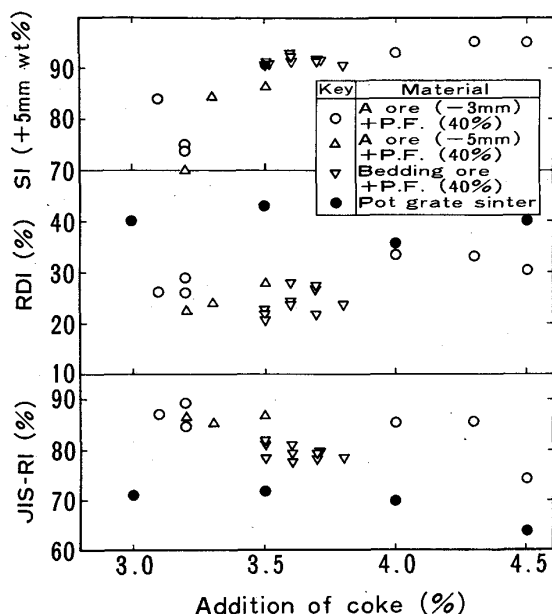


Fig. 3. Comparison of qualities between new agglomerate and commercial sinter.

1100°C×1 min, 点火後の負圧は 350~450 mmAq と設定した。得られた成品に対しては、焼結鉱の性状評価テストに準じてシャッター (SI), RI, RDI テストを実施した。Table 2 に成品の化学成分の一例を示す。

Fig. 3 より RI, RDI は粉コークス添加量とは本実験条件下では強い相関は認められず実機焼結鉱に比較し、いずれも優れており、また常温強度を示す SI (+5 mm) は、鍋試験焼結鉱とはほぼ同等であった。

一方、高炉下部での性状を評価するため、新塊成鉱、実機焼結鉱及び塩基性ペレットを対象に高温荷重軟化試験を行った。試験条件は試料粒度: 4.97~7.5 mm, 昇温速度: 5°C/min 一定, ガス組成, 量: CO30% + N₂, 15 Nl/min などであり、試験結果及び設備条件を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より溶け落ち温度、これに伴う圧力上昇いずれも塩基性ペレットよりも優れており、ほぼ焼結鉱と同等である。特に溶け落ち時の圧損については焼結鉱のそれに比較し低い値を示すことが特徴である。

以上、Table 1 に示す粒度構成を有する原料を用いて製造した新塊成鉱の各種性状を調査した結果、いずれの性状も焼結鉱、ペレットに比較し同等あるいは優れていることが判明した。特に還元性、還元粉化性に関しては

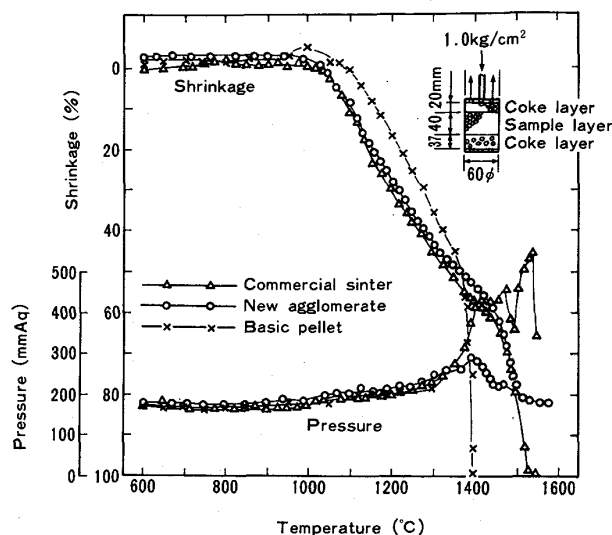


Fig. 4. Comparison of softening and melting properties of various agglomerates.

従来の焼結鉱に比較し抜本的な性状の向上が期待できるものと考えられる。

5. 考 察

5.1 粉コークスのグリーンペレットへのコーティングプロセス

塊成鉱の品質は焼結過程のヒートパターンに強く影響を受ける。一般にヒートパターンは点火条件、粉コークスの量及び原料内の賦存状態に依存する。古井らは¹⁶⁾ 焼結原料中の微粉化率が上昇するにつれ、粉コークスの有効な燃焼が抑制されることを示した。そこで粉コークスの燃焼を有効に行わせるためには擬似粒子の表面に粉コークスを優先的に添加する方法が効果的であることを報告している。

Fig. 5 は鍋試験による新塊成鉱プロセスと焼結鉱プロセスの層内ヒートパターンの比較を示す。この結果より、新塊成鉱プロセスは粉コークス添加量が相対的に少ないにもかかわらず、層内最高温度は焼結鉱プロセスのそれに比較し高くなっている。これは焼結鉱の場合、新塊成鉱に比較し原料中の脈石含有量が多いため、焼結過程で吸熱反応である溶融反応比率が高いこと、フラックスの一部を熱分解時に吸熱反応を起こす石灰石を用いていること、などにもよるが、一番の原因は古井らの報

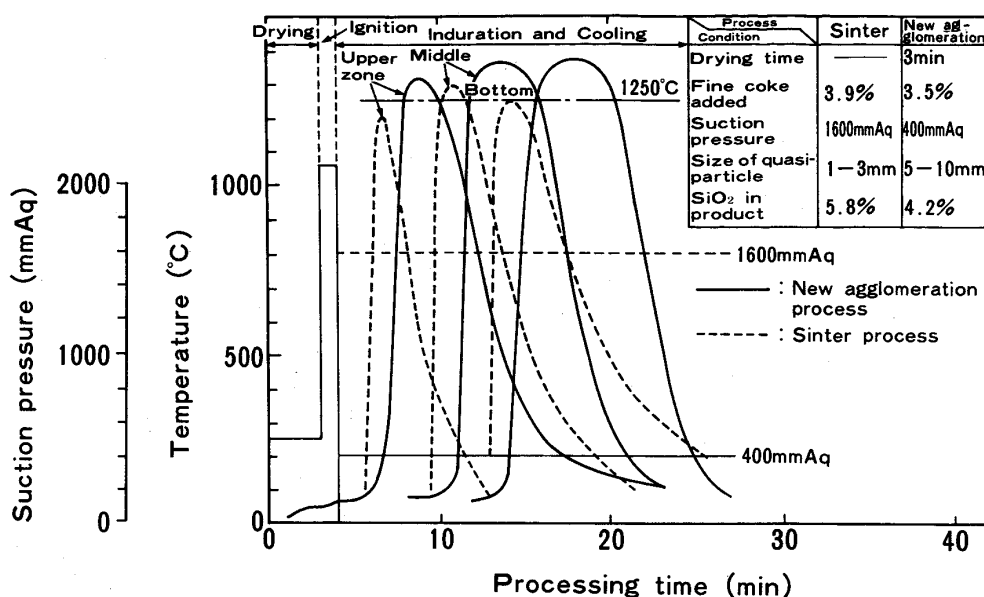
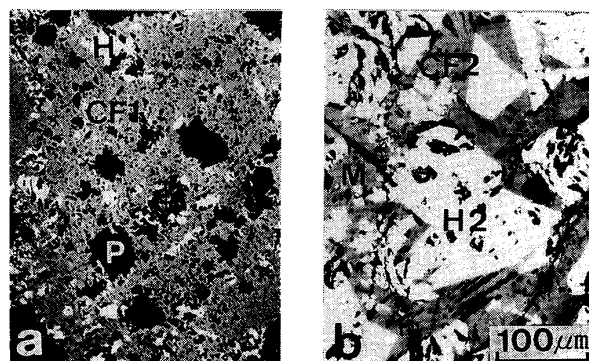


Fig. 5. Comparison of heating pattern in the bed between the new agglomeration process and the sinter process.

告¹⁶⁾と同様、本プロセスでは粉コークスを2段造粒時にコーティングすることにより、酸素のグリーンボール表面コークスへの供給が十分に行われ効率的な燃焼が行われたためと考えられる。特に本プロセスのように焼結プロセスに比較し擬似粒子が大きい場合、もし粒子内に粉コークスが賦存すると3・3・2で述べたごとく粒子内への酸素の拡散が律速となり、コークスの燃焼が抑制される。そこで粉コークスのコーティングプロセスが是非必要になってくる。本プロセスと焼結プロセスとの冷却速度(1000~300°C)をFig. 5より比較すると前者が240~290°C/minであるのに対し、後者は165~280°C/minである。これは本プロセスでは原料が全量造粒されるため層空間率が高く通気性が優れることも原因するものと考えられるが、主としてグリーンボール内部に残存するコークスの燃焼が冷却過程では相対的に少ないためと考えられる。また本プロセスでは、還元性向上の観点から固着部を相対的に還元性の高いカルシウムフェライトによる結合を意図した。ペレット同志をカルシウムフェライト結合によつて効果的に固着させるため、ここでは粉コークスをコーティングし、グリーンペレットの表層部で急激に燃焼させ、一部カルシウムフェライトの融液生成を起こさせている。結合部の組織観察の結果、ヘマトイト、カルシウムシリケート系スラグによる組織形成もみられたが、元来がTable 2に示したように成品中のSiO₂レベルが3.3~4.1%と低いこともあり、顕微鏡観察の結果、針状カルシウムフェライト



CF1: Fine calciumferrite CF2: Columnar calciumferrite H: Fine hematite H2: 2ndary hematite M: Magnetite P: Pore
a: New agglomerate (Diffusion bond, RI: 87%)
b: New agglomerate (Melting bond, RI: 76%)

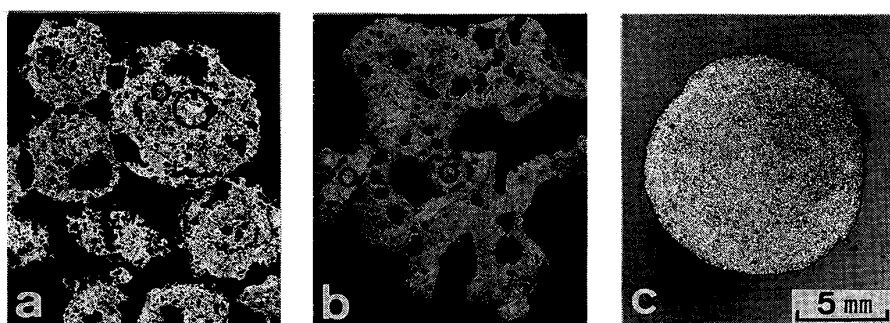
Photo. 2. Micro-structures of new agglomerate.

が主体で一部2次ヘマトイト、マグネタイトを随伴する組織が形成されていることが明らかとなった。

5.2 新塊成鉄の組織と品質

ここでは新塊成鉄が高品質である理由を組織、形状の観点から考察する。

新塊成鉄の典型的な微細組織をPhoto. 2の(a)(b)に示す。このうち(a)は粉コークス添加量が比較的小さい場合で当初設計目標とした拡散型の組織⁵⁾を有し、その結果RI=87%という高被還元性新塊成鉄が得られる。一方ペレットブロック間の結合力を強化し、形状を焼結鉄にさらに近づけることを意図する場合、粉コークス添加量を相対的に多くするので、組織は(b)のように



O: Unfused ore
a: New agglomerate
b: Sinter
c: Basic pellet

Photo. 3. Comparison of macro-structures of agglomerates.

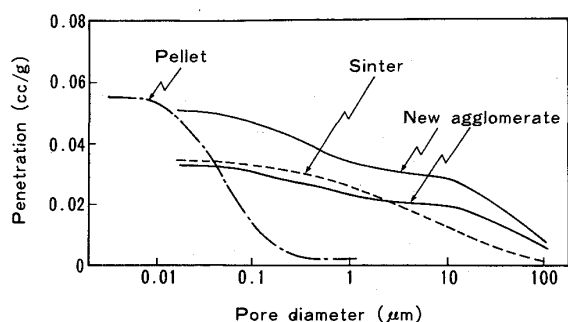


Fig. 6. Pore diameter distribution of typical agglomerates measured by mercury intrusion method.

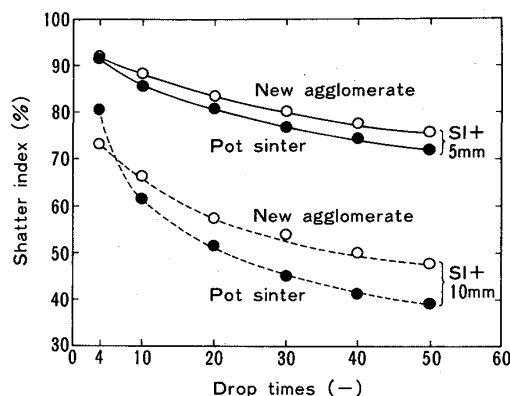


Fig. 7. Comparison of shatter index between new agglomerate and sinter.

短冊状カルシウムフェライト、マグネタイト、2次ヘマタイト主体の熔融組織となる。このような熔融組織にもかかわらず RI=76% を維持できる理由として、スラグ生成量が少ないことの他に組織内のポアの分布状況が考えられる。前田ら¹⁷⁾は、塊状焼結鉱の場合には還元ガスを供給するマクロ気孔の存在が還元性に影響すると述べている。この結果を明らかにするために水銀圧入式ポロシメーターにより、各種塊成鉱の気孔径分布を測定した。Fig. 6 より新塊成鉱は他塊成鉱に比較し、マクロポアである 10~100 μm 径の気孔が多く存在することが認められた。一方ペレットでは 1 μm 以上の気孔はほとんど存在せず、また焼結鉱でも 10 μm 以上の気孔は新塊成鉱の半分以下であつた。これより新塊成鉱では構成鉱物相以外にもマクロポアの多いことが高還元性の維持につながるものと推察された。

さらに Photo. 3 より新塊成鉱の原料粒度は焼結原料に比較し細かいため残留元鉱の大きさも、焼結鉱より小さいことが認められる。マクロポアの分布状況、残留元鉱の大きさ、また Photo. 3 より成品の構成単位が新塊成鉱では小さいことなどが Fig. 3 に示す新塊成鉱が高 RI を達成できた原因と考えられた。これらミクロ、マクロポアを組織中に分散させることが可能になるのは、焼成条件もさることながら今回の実験条件のもとでは、

粗粒、微粒原料の適切な配合も影響するものと考えられる。

新塊成鉱は Photo. 1 に示したようにペレット同志が結合している。このため、ハンドリング過程で粉化する可能性も考えられたためシャッター試験 (JIS 法に準ずる) により連続衝撃試験を行い各落下回数後の +5, +10 mm 塊成鉱の比率を SI_{+5} , SI_{+10} として、その粉化状況を確認した。比較のために新塊成鉱 (コークス 3.5%) の他に鍋試験焼結鉱 (コークス 3.8%) を使用した。Fig. 7 より SI_{+5} , SI_{+10} 指数とも新塊成鉱は焼結鉱より粉化率が少ないことが認められる。これは衝撃破壊に弱いガラス質スラグを多く含む焼結鉱が、そうでない新塊成鉱より粉化率が高く出たものと推察された。

Fig. 3 より新塊成鉱の RDI は焼結鉱に比較して優れている。焼結鉱の低温還元粉化は各種の要因が重なり合った複雑な現象であり、明確な結論が得られているとは言えない。筆者らは Al_2O_3 を固溶した 2 次ヘマタイト、及びクラック伝播媒体としてのガラス質スラグの生成を焼結過程で抑制することによつて RDI を低く維持できる可能性を示唆した⁶⁾。稲角ら¹⁸⁾はこの 2 次ヘマタイトは焼結過程で融体の冷却速度を上げることにより減少させることが可能であるとし、渋谷ら¹⁹⁾は実機焼結プロ

セスの操業解析を行つた結果グレートの後半部の風量を上げることににより冷却速度を高め RDI の改善が図られることを指摘している。本プロセスでは Table 2 より製品中の SiO_2 が低いことによりクラックが伝播しやすいガラス質スラグが少ないこと、コークスの添加法の違い及び通気性の向上により焼結プロセスに比較し相対的に冷却速度が速いことなどが低 RDI となる理由と考えられる。

新塊成鉍は個々の構成粒子はペレット状を呈するにもかかわらず、Fig. 4 よりその高温性状は塩基性ペレットに比較し優れている。これは Table 2 より新塊成鉍の塩基度が塩基性ペレットに比較し焼結鉍並みの高い塩基度を有し、還元過程で生成するスラグ融点が高いことも原因するが基本的にはその形状に起因するものと考えられる。ペレットは高温荷重還元時に、その表面に緻密なメタリックシェルを形成し、内部に残存する低融点ウスタイトコアにより高温性状は悪化するものとされている²⁰⁾。これに対し新塊成鉍は、Photo. 3 に示すように構成粒子が 5~10 mm とペレットに比較して小さいため、メタリックシェル形成以前に還元が完了してしまうこと、原料中に粗粒鉍石が入っているため杉山らの指摘⁹⁾と同様塊成鉍体積の収縮を妨げ、気孔径が大きな状態を維持することなどが優れた高温性状を有する理由と考えられる。さらに焼結鉍と比較しても軟化、収縮挙動はほぼ同等であるばかりか、低 SiO_2 のため生成スラグ量が少なく圧損も低い状態で推移し望ましい塊成鉍と判断された。

新塊成鉍はハンドリング過程でペレット同志の固着がとれ、単体のペレットとなる可能性がある。この場合、高炉内の装入物分布挙動がペレットのそれに類似し、高炉操業を乱すことも予想される。このため連続シャッター試験後の新塊成鉍と従来塊成鉍の安息角の比較を行つたところ、新塊成鉍の安息角は 5~10 mm で 35.8°、10~50 mm のペレットブロックで 37.2° となり、ほぼ焼結鉍のそれ (35.8°) に匹敵し、ペレット (32.7°) よりも大きいことが認められた。これは新塊成鉍の単位を構成するペレットが従来ペレットと異なり完全な球状をしていないため転がりにくいことに起因している。これより新塊成鉍がたとえハンドリング過程で単位ペレットとなつても、高炉内の分布挙動は焼結鉍と同等であり、ガス流分布を乱すことはないと推察された。

6. 結 言

従来の塊成鉍プロセス及び塊成鉍品質に起因する各種問題を抜本的に解決するため新たな塊成鉍プロセスを開

発し、高品質塊成鉍製造の可能性を検討した。その結果以下のことが明らかとなつた。

(1) 新塊成鉍は品質及び高炉内装入物分布状況の改善を目的とし、組織は低シリカ拡散結合主体組織であり、その形状は粒径 5~10 mm の不規則形状ペレットの集合体から構成されるのが望ましいことを明らかとした。

(2) 上記新塊成鉍製造を達成するために、焼結プロセスでは処理が困難な微粉化率の高い鉍石を有効利用することとした。次に原料の造粒、微粉コークスのコーティング、グレート上での乾燥、点火、焼成プロセスをシミュレーションでの検討も加えつつ、ポットグレート炉により検証しプロセスとして成り立つことを明らかとした。またこのプロセスは従来塊成鉍プロセスと比較し、製造時の歩留り、エネルギーの種類及び使用量の面から有利なプロセスであると判断された。

(3) このような新プロセスから得られる塊成鉍はペレットと焼結鉍のもつそれぞれの欠点を大幅に改善するものであり、高炉原料として優れていることが確認された。これは主として原料条件、製造条件に起因するものである。

文 献

- 1) 一伊達稔: 日本鉍業誌, **98** (1982), p. 706
- 2) 吉永真弓, 一伊達稔: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 2156
- 3) 鉄鋼便覧Ⅱ (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 83 [丸善]
- 4) 西田信直: 鉄と鋼, **67** (1981), p. 1677
- 5) 坂本 登, 福与 寛, 岩田嘉人, 宮下恒雄: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 504
- 6) 坂本 登, 福与 寛, 岩田嘉人, 宮下恒雄: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 512
- 7) 特開昭 58-53697
- 8) 森永孝三, 池野輝夫, 岩崎 巖: 鉄と鋼, **50** (1964), p. 743
- 9) 杉山 健, 城内章治, 小野田守, 藤田勇雄, 上仲俊行: 鉄と鋼, **67** (1981), A9
- 10) 石光章利: ペレット (1977), p. 34 [たたら書房]
- 11) 日本鋼管(株) (私信) 1984 年 5 月
- 12) 鉄鋼便覧Ⅱ (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 108 [丸善]
- 13) 宮下恒雄, 坂本 登, 福与 寛: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 2238
- 14) 塚本 孝, 嶋田駿作, 田口敏夫, 樋口充蔵: 鉄と鋼, **56** (1970), p. 661
- 15) 西田礼次郎: アグロメレーション (上巻) (1974), p. 54 [日本鉍業会]
- 16) 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, **288** (1976), p. 11797
- 17) 前田敬之, 小野陽一: 九大工学集報, **57** (1984), p. 265
- 18) 稲角忠弘, 品田功一, 川辺正行: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 2207
- 19) 渋谷悌二, 丹羽康夫, 中尾亜男, 谷中秀臣, 黒沢信一, 野沢光男: 鉄と鋼, **67** (1981), S102
- 20) 堀田裕久, 山岡洋次郎: 鉄と鋼, **70** (1984), A13