パ ネ ル 討 論 会

ペレットの性状とその使用について

日 時 昭和 39 年 10 月 2 日(土) 13 時 30 分より

会 場 富 山 大 学 黒 田 講 堂

プ ロ グ ラ ム

司 講	会 演	八幡製鉄株式会社生産管理部長	辻 畑 敬 治 君
		ペレットの還元組織について	
		東京大学工学部	大 蔵 明 光 君
		ペレットの還元時の膨張について	
		八幡製鉄株式会社八幡製鉄所技術研究所	石 光 章 利 君
討 論		ペレットの品質におよぼす焼成条件の影響	
		株式会社神戸製鋼所中央研究所	西 田 礼次郎 君
		鉄鉱石, 焼結鉱, ペレットの膨脹荷重軟化および粉化について	
		住友金属工業株式会社中央技術研究所	大 竹 康 元 君
		マルコナペレット高配合試験について	
		日本鋼管株式会社鶴見製鉄所	長谷川 友 博 君

討論参加者

住友金属工業株式会社小倉製鉄所焼結工場長	坂 本 大 造 君
日曹製鋼株式会社研究部長	佐 藤 良 吉 君
東北大学選鉱製錬研究所教授	三本木 貢 治 君
富士製鉄株式会社中央研究所研究部副長	高 橋 愛 和 君
日立金属工業株式会社安来工場冶金研究所主任研究員	中 村 信 夫 君
日本鋼管株式会社技術研究所製鉄研究室課長	安 達 春 雄 君
株式会社神戸製鋼所神戸工場運輸部	原 田 久 光 君
川崎製鉄株式会社千葉製鉄所千葉研究部第1研究課	春 富 夫 君
東京大学工学部教授	松 下 幸 雄 君
八幡製鉄株式会社八幡製鉄所製鉄部第1製鉄課長	光 井 清 君
九州大学工学部教授	八 木 貞之助 君

パネル討論会講演論文*

ペレットの還元組織について

東京大学工学部

大蔵 明光・工博 松下 幸雄

Structure of Reduced Iron Pellets.

Akimitsu ŌKURA and Dr. Yukio MATSUHITA.

I. 緒 言

最近良質粉鉄の増加にともない、その事前処理技術が著しく進歩している。ペレタイジング法による生ペレットは、焼成後高炉に使用される目的で研究され、実際に数十パーセントの装入実績をもっているが、ペレットの製造条件により性質が異なり、使用目的にそわないことが報告されている。

著者らは、試薬から焼成せる Fe_2O_3 ペレット、 $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 系ペレットおよび実用のマルコナペレットなどについて還元過程での粉化の原因を解明するための基礎実験として、水素還元ペレットの組織的变化を調べたのでここに報告する。

II. 実験試料

A 試料：市販の特級試薬 Fe_2O_3 を水により成型し約 8mm~10mm 直径の生ペレットをつくり、恒温 100°C にて乾燥後シリコニット電気炉にて 1100°C、1200°C のそれぞれの温度で焼成をおこない、還元試料に供した。

B 試料：前記 Fe_2O_3 の試薬に CaO (CaCO_3 から製造せるもの) を 8% 添加しよく混合せるものを水にて成型、A 試料と同様に焼成をおこなった。

C 試料：ゴア産赤鉄鉱 (T.Fe 64.98%) を 150mesh ~200 mesh に粉砕し、水にて成型、焼成せるものである。

D 試料：ゴア産赤鉄鉱に CaO 8% 添加し水にて成型焼成せるものである。

E 試料：実用のマルコナペレット (T.Fe 68.64%) でそのまま使用した。

III. 実験方法

試料をスプリングバランスによる方法で還元をおこない、反応によつて除去される酸素の減量より還元率を算出する方法によつた。

なお、還元率 50% 前後の半還元状態の組織を観るために、還元途中にて (机上の計算により 50% を示した時に水素ガスから窒素ガスに切換える) 還元を中止し、冷却後、顕微鏡にて観察をおこなった。

IV. 結果および考察

A 試料の還元を各温度について考察すると、500°C では、還元初期からゆるやかに還元し、還元時間 40min で 94% をしめし、以後は時間をかけてもほとんどスプリングに変化がみとめられない。

600°C については、15min で 88% に達するが、それ以後は非常にゆるやかに還元が進み 40min 後に 95% と大体 500°C の場合と同程度の還元率をしめし、それ以後はほとんど変化がみとめられない。

700°C、800°C の温度のものは、ほとんど同様の速度をしめし大体 30min から 35min にて 98% の還元率をしめしている。

このような還元率をしめす各温度の試料を研磨し顕微鏡にて観察をおこなった。Photo. 1 に還元組織を示す。

Reduction temp. a) 500°C, b) 600°C, c) 700°C, d) 800°C
Photo. 1. The photograph of A sample after reduction at each temperature.

(No etching, magnification: $\times 9 (1/2)$)

顕微鏡組織の上では温度 500°C 還元率 94% のものは中心部に約 2mm ϕ 位の非常に密な組織が観察されその外側には大きな亀裂や、空孔が多く散在している殻を生成している。温度 600°C、還元率 95% のものは 500°C のものと同様に中心部に非常に密な組織が存在するがその部分が 1mm ϕ 位に小さくなっている。外側は 500°C 同様に海绵状の組織を呈している。温度 700°C、800°C については全面均一な組織を呈し、500°C、600°C に観察された試料の中心部の密な組織はなく全面海绵状を呈している。

次に B 試料について観察すると温度 500°C、還元率 99% のものは、試料の中心部が非常にまろく、研磨中に粉化してしまい組織を観ることができないが、Photo. 2 に示すように A 試料同様中心部に非常に密な組織が存在するのが観察できる。外側は海绵状を呈しているが A 試料ほど微細な亀裂、空孔は観察されない。

600°C 還元率 99% のものについては、観察面で約 6 mm の直径のペレットの中心部に約 4mm 位の非常に密な組織が観察され、これは 500°C のものよりはやや小さく、その外側には海绵状の組織が散在している。温度 700°C 還元率 99% のものも 500°C、600°C と同様の

* 本パネル討論会講演原稿は全部昭和39年6月1日受付けたものである。

Reduction temp. a) 500°C, b) 600°C, c) 700°C, d) 800°C
Photo. 2. The photograph of B sample after reduction at each temperature.

(No etching, magnification $\times 9(1/2)$)

傾向をしめしているのが観察されたが、中心部の密な組織は 600°C のそれより小さく観察面約 7mm ϕ に対して 3mm 程度になっている。800°C、還元率 99% のものは、亀裂、空孔が非常に微細化し全面均一組織ではあるが、外側に約 1mm 位な非常に緻密な殻ができている。

C 試料についても同様に観察をおこなった。

まず還元速度についてみると 700°C、800°C は同様の速度を示し、時間 30min にて 96% に到達しそれからは、ほとんどスプリングに変化がみとめられない。600°C については時間 60min にて約 95% の還元率をしめし、500°C になると曲線からもあきらかなごとく非常にゆるやかに還元が進み 180min で還元率 84% 程度で、これ以後は 20min に 1% 程度で還元が進む。還元率約 90% 以後はほとんどスプリングの変化がみとめられない。Photo. 3 の組織からわかるごとく 500°C 還元率 84% の試料は外側から還元されていく過程がよく観察されるが内部に前述の各試料同様の組織を呈し外側に比較して内部に密な組織があらわれている。

600°C については、中心部が研磨途中で粉化し観察できないが、500°C のものから推察して中心部の密な組織を呈すべきところの部分が粉化したものと考えられる。

700°C についてみると、内部に 600°C のものと同様の粉化部分が観察される。

800°C については、中心に粉化部分が若干存在するがそれとは無関係に非常に密な組織が観察される。そこで同様の試料を 50% の還元をしめしたところで中止し各温度のものを観察してみると、中心部に密な組織は観られず、ただ未還元の組織のみ観察される。

次に D 試料については、CaO 添加をおこなった $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{hematite}$ の組成のものである還元組織を Photo. 4 に示す。

500°C においては 95% の還元率に到達するのに 150

Reduction temp. a) 500°C, b) 600°C, c) 700°C, d) 800°C
Photo. 3. The photograph of C sample after reduction at each temperature.

(No etching, magnification $\times 9(1/2)$)

Reduction temp. a) 500°C, b) 600°C, c) 700°C, d) 800°C
Photo. 4. The photograph of D sample after reduction at each temperature.

(No etching, magnification $\times 9(1/2)$)

min を要している。組織的には外側約 1mm 位に海綿状の鉄が存在し、内部はほとんど前述と同様の密な組織を呈している。しかしこれは未還元部分ではない。

600°C については約 50min にて還元率 99% を示し組織的にみると内部の気孔と交錯し密な組織が球状ではなく非常に表面に近くまでのびてきている。

700°C については還元初期約 20min で 91% に到達し、それから約 30min を要して 99% に達する。これからはわかるごとく、90% までは直線的に進行するが、それ以後は、約 9% を還元するのに同程度の時間を要している。この場合の組織を観ると、600°C のときより

Reduction temp. a) 500°C, b) 600°C, c) 700°C, d) 800°C

Photo. 5. The photograph of E sample after at each temperature.

(No etching, magnification $\times 9(1/2)$)

中心部の密な組織が球状化してきていることが観察され外側に 1mm~2mm 位の殻をなして海绵状の組織が出ている。

800°C の還元率をみると 15min の時間で 96% をしめし、25min で 99% に到達する。この組織は 700°C と同様の組織が観察される。

次に E 試料についてはマルコナペレットであつて、これは焼成条件はわからないが輸入され各社でいろいろの試験をおこなわれているものと同様のものである。還元組織を Photo. 5 に示す。

500°C の還元曲線は、95min の時間を要して約 93% をしめしている。それ以後は非常にゆるやかに還元が進行するが、95% 以後はほとんどスプリングに変化がみとめられない。

組織的観察では内部に非常に多くの空孔が存在するがこれは還元過程で生成したものではなく、焼成時のものと考えられる。これらの組織からも前述同様の結果が観察され、内部に緻密な組織が大きく存在する。そしてその外側に海绵状の殻をつくっているのがわかる。

600°C についてみると還元時間 50min で還元率約 93% をしめた試料を顕微鏡で観察をおこなつた。その状態は 500°C に観られると同様の非常に緻密な組織が中心部に存在する。そして外側は海绵状を呈している。

700°C については 45min で 97% の還元率をしめし組織的には 500°C, 600°C のそれよりは、中心部の緻密な部分が小さくはなつてはいるが、やはり存在していることがみとめられる。

800°C については 30min で 94% の還元率に到達している。組織的には全面海绵状を呈し、低温にみられたような緻密な組織は観察されない。

V. 検 討

以上組織的な観察をおこなつてきたのでこれらについ

て、若干検討をくわえてみると、組織上中心部に緻密な組織の現われているものを、昇永水にて腐食し、外部と内部の差をを観察すると、内、外部ともに若干の酸化物を含んでいるのが認められる。これは、スプリングに現われない程度のものであるが、顕微鏡にて拡大することにより組織上からは観察できる。一般に還元反応が進む場合外部より反応することがしられているので中心部に酸化物が残ることが考えられる。そこで中心部の緻密な部分と、外側の殻の部分との硬度を測定し比較してみると(5カ所の測定平均値は、もし未反応物が残る場合は Fe_2O_3 では Hv で 470 kg/mm², Fe_3O_4 は 447 kg/mm² の硬度を示すはずである。還元前のマルコナペレットの硬度は Hv 230 kg/mm²) 還元温度によつて若干の差はあるが、E 試料の場合還元温度約 800°C 以外の試料については中心部の組織的に緻密な部分で Hv 15.9 kg/mm², 外殻の部分で Hv 55.6 kg/mm² の値をしめしている。また、還元温度 800°C のものは、全面 54.2 kg/cm² で成型 1300°C で焼結 (Ar 気流中) したものの硬度 54.4 kg/mm² と一致している。

これからみて、組織上緻密な部分は非常に軟弱である。また 500°C の外殻の Hv の値と 800°C 還元における Hv の値および焼結鉄粉の Hv の値が近似的であることから、500°C ~ 800°C の温度範囲で中心部の緻密な組織が生成し、800°C 近傍の温度で外殻の海绵状組織に全面が変化する。

VI. 結 言

以上の実験結果からみて、特にペレットの還元途中の組織、還元完了後の組織で明確になつたことは、

1) 低温である 500°C においては、還元完了後でも非常に軟弱である。

2) 700°C, 800°C の還元ペレットは、比較的強靱である。

これから推論すると、500°C ~ 800°C の温度範囲で特に 500°C 近傍の還元過程で粉化されやすい。ペレットの焼結温度の影響は、還元速度に表われているのみで、余り組織的には変化がみとめられなかつた。

今後は、ペレット内における Fe の拡散などについて検討を加えるつもりである。

文 献

- 1) "Agglomeration" William A. KNEPPER (1962), p. 809

ペレットの還元時の膨脹について

八幡製鉄所, 技術研究所

工博○石光 章利・菅原 欣一

On the Swelling of Pellet During Reduction.

Dr. Akitoshi ISHIMITSU, Kinichi SUGAWARA.

I. 結 言

某社製ペレットの還元時異常膨脹現象が確認されて以来, 関係者はあげてこの原因の究明に取り組んで来たが現在のところ, 次に記すような幾つかの推論を得た程度にとどまり, 決定的な説明を与えるまでには至っていない。

その推論の一つは, ペレットの焼成不十分を還元時膨脹の原因と考えるもので, ペレットを高温で再焼成すると還元時に膨脹を起さなくなることを根拠としている。

次はペレットの微細閉気孔の CO_2 による破壊をその原因とする考えで, CO_2 分子の大きさが CO に比し可成り大きいことを理由とするものである。三番目は還元過程の O_2 除去による粒子間結合力の弱まりを崩壊の原因と考える推論である。しかしながら, これらの推論はいずれも膨脹機構の本質を充分説明しているとはいえない。その他 Na -塩およびカーボン沈着などを原因とする考え方もあつたが実験的には否定されている。すでに以前から筆者らの研究室では問題となつたペレットの中にマグヘマイト (γ -ヘマタイト) の存在することを指摘し, これが還元時膨脹と何らかの関係があるのではないかと考えていたがそれを裏付けるだけの説明資料を得るまでには至らなかった。

最近いろいろの原料を用いた焼成塊化物を試料とする還元試験を行なつたところ, 四三酸化鉄 (Fe_3O_4) 試薬を成型後, 1200°C で 1 hr, 中性および酸化雰囲気で焼成したものは, 問題となつたペレットと同様な甚だしい膨脹を起すことを知つた。(Photo. 1)。このことから, 還元時の異常膨脹には, 成分鉱物の状態が大きな役割を果すものと考え, 最もふくれの大きい第一次入荷分のペレットの還元後組織の観察を中心に研究を行なつた。その結果, 今まで観過されていいたと思われる事象を確かめることができ, 膨脹機構の解明の手懸りを得た。

II. 実験方法および結果

試料には上述のごとく 第一次入荷分のペレットを用

Photo. 1. Burned sample of ferrous ferric-oxide and its swelled state after reduction.

Photo. 2. Microstructure of pellet that tends to swell.

Photo. 3. Microstructure of swollen pellet after 10min reduction. (CO 900°C)

い, CO 濃度95%の還元ガスにより還元を行ない, 10min および 15min 後取出して中性ガス中で冷却し組織を観察した。 CO ガス濃度を高くしたのは膨脹を急速に進行させようとする意図によるものである。この場合, 膨脹は大体還元開始後 10min から始まっている。 CO 濃度を標準還元法濃度 (CO 30%) に低めると膨脹開始の時間は更に 10min 程度遅れるようである。 Photo. 2 に還元前の組織を示す。鏡下ではヘマタイトとして識別される。粒径の大きいペレットの中には, マグネタイトとして識別されるものもあるが, 化学分析値から見ると FeO が極めて低くマグネタイトの存在は考えられないという矛盾があり, また X線解析結果からこれはマグヘマイト (α -ヘマタイト) と推定されている。本実験には, 粒径の小さいペレットを試料としたため, 上記のごときマグネタイトらしいものは殆んどかまたは全く識別されない。 Photo. 3-a, b, c は前記 10min 還元後試料の組織である。ここで最も興味をひくのは, 構成粒子がマグネタイトに変じており, この粒子の周辺部にあるいは内部に Widmannstätten figure 状にヘマタイトが認められる点である。 Photo. 4 には, 15min 還元後の試料の組織を示す。ここでは前記のヘマタイトは消えて全部マグネタイトに変じている。そしてこの段階では膨脹は一段落したものと見做し得る。

III. 還元時の膨脹の考察

前述の 10min 還元後試料でマグネタイト粒の周囲にもしくはウイドマンステッテン模様状にヘマタイトの現出する現象に対しては, 次のような解釈が可能である。すなわち問題となつたペレットの構成鉱物は, 光学

Photo. 4. Microstructure of swollen pellet after 15min reduction. (CO 900°C)

顕微鏡ではヘマタイトとして識別されるものであつても本質的には安定なヘマタイトの状態にあるのではなく、結晶学的に不安定または準安定なヘマタイト、もしくはヘマタイトと γ -ヘマタイトとの中間体として存在するものと考えられる。この状態のヘマタイトもしくはマグヘマイトは、極度に低い酸素分圧下、または弱い還元性雰囲気下で高い温度を与えられると、容易にマグネタイトに転換し、そのとき一部の Fe_2O_3 が離溶状に現出してくるもので、問題となつたペレットのごとき細粒組織では、この離溶は粒の表面またはマグネタイトの弱線(劈開面など)に生じて来るものと考え得る。

一般に、ヘマタイトと γ -ヘマタイトおよびマグネタイトの間に中間体の存在することは、下記のごとく多くの報告例もあり確かな事実と考えてよい。

例1. S. HILPERT は Fe_3O_4 以外の Fe_2O_3 と FeO との不定化合物の存在を認め、ferrous ferrite と呼んだ。(Ber. 44. 1608. 1911)

例2. R. B. SOSMAN and J. C. HOSTETTER は Fe_2O_3 は Fe_3O_4 と連続固溶体を作るとし、これを martite と呼んだ。(Journ. Amer. Chem. Soc. 38. 807 1916)

例3. E. D. EASTMAN は 1100°C 以上で Fe_2O_3 と Fe_3O_4 は連続固溶体を作るか 1000°C 以下ではどんな割合にも固溶しないと述べ J. BEYER も同様の事象を認めた。(Journ. Amer. Chem. Soc. 44. 975. 1922)

例4. ヘマタイトは六方晶系でマグネタイトは等軸晶系なので、これらが固溶体を作るにはマグネタイトの六方晶系状態が存在せねばならないが、R. B. SOSMAN はこのことを立証した。(Journ. Washington Acad. 7. 55. 1917)

例5. T. M. BRODERICK, P. GEIJER, G. GILBERT, A. LAVENIR, C. FRIEDL, J. W. GRUNER and P. RAMDEHR らは等軸格子と六方格子とが相互変換可能なことを示した。

以上の報告例と前述の顕微鏡観察結果とから某社製ペレットの構成鉱物が、マグヘマイトもしくはマグヘマイトとヘマタイトとの中間体に属する不安定な状態のものであると判断しても概ね差支えないものと思われる。また 10min 還元後の試料に、ヘマタイトがマグネタイト

の離溶組織として現出することに対しても、不安定ヘマタイトまたはマグヘマイトがマグネタイトへ転換し、一部の Fe_2O_3 を遊離するという、前記のごとき解釈が成立つものとする。そして還元時膨脹は、このヘマタイトのマグネタイトへの転換と、一部のヘマタイトの離溶特に後者の方に大きな関係を持つものとするのである。すなわち、ヘマタイトのマグネタイトへの転換により、結晶粒界の結合は弱まり、更にヘマタイトの離溶によりほとんど粒子間の結合は断ち切られると考えられる。更にいろいろの物理的な力、例えば熱膨脹の差などが加われば構成粒子が動き見掛け上の膨脹を起こすものではないかと思われる。因みに熱膨脹率はヘマタイト： $7.6 \sim 8.3 \times 10^{-6}$ 、マグネタイト： 9.54×10^{-5} でマグネタイトの方がはるかに大きい。

還元時膨脹の原因をこのように考えると、某社製ペレットの還元時の膨脹については下記のように比較的容易に説明することができる。

1. 高温での再焼成により、膨脹を起きなくなるのは、不安定なヘマタイトが安定なヘマタイトに転ずるためであろう。
2. 還元時膨脹が急速還元の場合に起き易く、緩速の場合に起き難いのは、急速加熱によりマグネタイトへの転換とヘマタイトの離溶が急速に起こり、それにつれて物理的な力の影響が急激に現われるためと解釈できる。
3. ペレット原料にシリカ分を添加すると、スラグの結合が生成されるので上記の粒子間結合が弱まっても、スラグによる結合が崩壊を防止する。
4. 四三酸化鉄試薬を焼成したもので膨脹の起きたのは、この試薬が問題となつた、ペレット同様、極めて不安定な状態のものであるためで、これは磁気履歴の測定により明らかにされている。
5. 水素によつては膨脹が起らないことに対する説明資料は今のところ不足であるが、水素の還元力が強いから、前記の現象の起る以前に還元が進行するのではないかという推定は可能である。

IV. 結 言

以上顕微鏡観察結果をもとに、某社製ペレットの還元時膨脹現象を考察したが、現段階では資料も充分とはいえないので、推測の範囲を出ないが、今後の研究により充分な裏付けを行ない得るものと思われる。

文 献

- 1) J. W. MELLOR: Inorganic and Theoretical Chemistry

ペレットの品質におよぼす焼成条件の影響

神戸製鋼所, 中央研究所

国井和扶・○西田礼次郎・鎌田靖男
神戸工場

原田久光・勝間田嘉和・野々村武・淡路光宏
The Effect of Induration Condition on the Quality of Various Iron Pellets.

Kazuo KUNII, Reiji NISHIDA, Yasuo KAMATA,
Hisamitsu HARADA, Yoshikazu KATSUMATA,
Takeshi NONOMURA and Mitsuhiro AWaji

I. 結 言

ペレットの高炉への使用についてはかなり以前から行なわれており、その製造方法と成品特性の関係についても2, 3の報告¹⁾²⁾がみられるが、いずれも焼成温度が低い場合で、焼成温度の高い場合は明確でない。

ヘマタイト系の鉱石を主原料としてペレットを製造する場合にはかなり高温で焼成する必要があるといわれているので1250~1350°Cを主体にした比較的高温における焼成をとりあげ成品特性との関係を調べた。

本報告ではまず基礎的な研究として電気炉と焼成炉による焼成試験を実施し、焼成温度とペレットの成品特性との関係を調べるとくにヘマタイト系の原料の場合には高温焼成が品質向上に効果のあることを認め、次いでグレートキルン式のペレット試験工場(能力20 t/day)においてヘマタイト系の原料を含めて各種のものについて高温焼成操作を行ない、ヘマタイト系原料のみでも高炉用ペレットを製造することができることを確認した。

II. 基礎的研究結果およびその考察

1) Fe₂O₃ ブリケット試験

通常の鉄鉱石には不純物としてSiO₂, Al₂O₃, CaOなどの脈石成分を含有しているためこれらの影響を除くためFe₂O₃試薬を原料として使用した。

原料の粒度は-44μが57.9%である。このように試薬を原料としたので大量に使用することができないためペレットの代りにブリケットで代用した。

生ブリケットは1個2gの原料に約15%の水分を添加し、径12mmのダイスを用い約300kg/30minの荷重速度で成型した。したがって生ブリケットは径が10mm、高さが9mmの均一な円筒形である。

焼成は大気雰囲気下で980°Cまで17.8°C/min、いったん980°Cで10min保持したのち、8.5°C/minの速度で上昇せしめた。

所定の温度に到達後は予定した時間保持し、以後は炉中から取り出し大気中で冷却した。

Fig. 1の試験結果によれば圧潰強度は焼成温度が1350°Cまでは温度の上昇、時間の延長とともに上昇する。しかし1400°C以上では逆に温度の上昇、時間の延長とともに低下する。この結果からペレットの圧潰強度を最高にするためには1350°Cで、ある時間(この場合23 min)以上焼成する必要があることが判った。

次に強度と密接な関係にあると予想される気孔率と焼成条件の関係を調べたところFig. 2に示すとおり、Fig. 1とまったく逆の傾向を示した。

さらにFig. 3に示すように1350°Cまでの試料の気

孔率と圧潰強度の間には高度の逆相関が認められた。

また各ブリケットの顕微鏡組織の観察結果によれば焼成温度の上昇、焼成時間の延長とともに空隙の減少がみられ、同時にヘマタイト粒子間の結合が進行する。1400°C以上ではマグネタイトの発生が認められた。

2) 鉱石ペレット試験

次に脈石を含む実際の鉱石としてアフリカ、硫酸滓、ララップ、ゴアCおよびチマンガン鉱石を選びパン型ペレタイザーによつて径15~17mm程度の生ボールを作り電気炉によつてブリケットの場合と同じ速度で昇温し1150~1450°Cの間で焼成した。焼成後のペレットの径

Fig. 1. Relation between crushing strength and induration time.

Fig. 2. Relation between porosity and induration time.

Fig. 3. Relation between crushing strength and porosity.

Fig. 4. Effect of induration temp. on crushing strength.

は 14~16mm の範囲である。

試験結果を Fig. 4 に示したがいずれの原料鉱石においても前述のブリケットと同様、焼成温度が上昇するにしたがい圧潰強度は増加し 1350°C で最高に達する。しかし 1400°C 以上になると、焼成温度が上がれば逆に圧潰強度が低下することを確認した。

また原料がヘマタイトの場合には焼成温度の影響が大

Induration temp (°C)
A: 1200 B: 1250 C: 1300 D: 1350

Photo. 1. Microstructure of goan pellet.
×100 (1/2)

きく、マグネタイトの場合にはその影響が少ないが、これはヘマタイトでは焼成によつてボールが収縮すると同時に各鉱粒が接触点において結合する。この現象は温度の上昇とともに活発になるのみであるに反し、マグネタイトの場合は焼成中にマグネタイトがヘマタイトに再結晶する際に強固な結合³⁾ができるためである。

Photo. 1 に一例としてゴア C ペレットの焼成温度と顕微鏡組織の関係を示したが、焼成温度が上昇するにしたがい空隙は減少し Fe_2O_3 粒子も収縮し、緻密となりその後、隣接の粒子同志が接触、結合、成長し Fe_2O_3 粒子の強固な網状組織を形成する。脈石部分も低温ではほとんど反応していないが高温になるにしたがいスラグ化し酸化鉄粒子と結合していくようである。

3) 焼成炉による試験

電気炉による焼成試験においては圧潰強度の高い緻密なペレットの製造条件が判明したので次に 3 種類のヘマタイト鉱を対象として 2) と同様パン型ペレタイザーで生ボールを作り、次に 20kg/charge の焼成炉によつて焼成した。焼成は C_3H_8 と O_2 を用い完全燃焼するように注意しながら、1000°C まで 16°C/min、以後目標温度までは 18°C/min で上昇せしめ、到達後は 1000°C の場合は 40min、1350°C の場合は 10min 保持する。冷却は燃焼を止め空気を吸引して行なつた。

成品ペレットは圧潰強度の測定のみならず、圧縮—選試験⁴⁾も行なつた。

Table 1 に使用原料の化学成分、粒度および試験結果を示した。

焼成温度が 1200°C の場合、圧潰強度は低く、圧縮率と還元後ペレットの破壊度合は高く、この値では概して高炉での使用は望ましいものではないと予想している。

これに反し焼成温度を 1350°C まで上昇せしめると圧潰強度は高くなり、収縮率と還元後試料の破壊度合も低くなる。一方還元率は若干低下し、その上焼成後ペレ

Table 1. Properties of raw material and product.

Remarks	Properties of raw material						Porperties of product									
							Indura- tion temp. (°C)	Dia (mm)	Crushing strength (kg/ball)	Porosity (%)	FeO (%)	Compression-Reduction test				
	Particle size after Rd test (mm)			Reduc- tion ratio (%)	Shrin- kage ratio (%)											
	T.Fe	FeO	SiO ₂			Al ₂ O ₃						CaO	Particle size ($\sim 74\mu$)	>10	¹⁰ ~ 1.2	<1.2
Africa	64.42	0.41	3.70	1.59	<0.10	89.6	1200	18.4	260	14.4	0.17	94.1	5.5	0.4	37.5	12.6
							1350	17.3	827	9.6	0.26	99.9	0	0.1	34.0	7.5
Goa-C	54.63	1.17	5.58	8.57	<0.10	94.8	1200	15.8	96	23.7	0.13	72.7	22.1	5.2	54.6	17.3
							1350	15.5	398	15.5	0.26	99.2	0.2	0.4	50.6	11.7
Brazil *	66.73	0.80	2.00	0.48	tr	97.6	1200	12.6	69	18.5	0.16	93.7	4.6	1.5	45.4	** 29.0
							1350	12.5	184	14.3	0.18	94.2	5.2	0.6	43.8	5.5

* ベントナイト 1% 添加

** 還元後ペレットはかなり粘着性をおびて、数個づつつき合っていた。

Table 2. Properties of raw materials.

Remarks	Kind of raw materials	Chemical composition (%)					Particle size ($\sim 44\mu$ %)
		T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	
Jedway	Jedway	61.77	25.48	5.81	1.13	4.36	64.3
Mozaan	Mozaan	59.60	23.32	15.54	0.48	0.76	59.0
J.R.G.	Jedway 1/3, Rompin 1/3, Goa SK 1/3	62.69	10.80	3.58	2.07	1.49	64.3
B.R.G.	Brazil 1/3, Rompin 1/3, Goa SK 1/3	64.90	2.50	1.88	2.01	0.10	51.7
MX-7	Goa SK 40%, Brazil 20%, Rompin 10% Sannicolas 0.5%, Ironstone 15%	62.94	7.57	2.89	2.19	0.37	51.7

Table 3. Results of test operations.

Re- marks	Indu- ration temp. (°C)	Dia (mm)	Cru- shing streng- th (kg)	Poro- sity (%)	FeO (%)	Tumbling test of products. (mm)		Reduction test (GAKUSHIN)			Compression-Reduction test ³⁾					
						+0.5	+5	Redu- ction ratio (%)	Tumbling test after Rd test		Particle size after Rd test (mm)			Redu- ction ratio (%)	Shrin- kage ratio (%)	
									(mm) +1	(mm) +3	>10	10 ~1.2	1.2>			
Jedway	1265 1300	13.9 13.8	596 696	20.39 17.64	2.30 1.95	97.4 98.2	97.0 98.0	75.7 73.9	98.96 99.28	98.84 99.20	95.1 97.8	4.4 1.8	0.5 0.4	57.2 40.8	6.7 3.1	
Mozan	1300	13.8	390	15.91	0.90	97.7	97.9	62.2	98.83	98.97	99.9	0.1	tr	61.3	7.2	
J.R.G.	1350	13.4	478	13.21	0.37	98.8	98.4	74.4	98.81	98.99	94.7	4.9	0.4	35.3	6.9	
B.R.G-1	1330 1360	14.0 14.4	231 285	22.74 21.75	0.87 1.16	94.3 94.6	92.5 93.7	63.2 60.3	98.40 98.96	98.32 98.84	93.5 94.1	5.7 4.8	0.8 1.1	52.7 47.8	13.0 11.0	
	B.R.G-2	1335 1350	14.6 14.5	323 356	20.82 18.97	1.04 0.96	94.4 94.3	93.8 94.0	73.4 72.8	98.80 99.12	98.76 99.24	95.6 95.8	3.9 3.7	0.5 0.5	64.6 48.0	7.0 7.5
MX-7	1350	14.8	377	17.72	1.58	97.2	96.8	76.6	99.23	99.38	94.4	5.1	0.5	51.5	6.4	
Marcona	—	14.2	212	27.10	0.09	93.4	93.2	80.7	84.72	83.68	90.5	6.7	2.8	52.4	15.4	
Erie	—	11.3 ~13.0	156 ~268	18.76	0.27	92.1 ~97.3	—	83.4 ~74.2	98.23	98.24	88.8 ~89.5	10.8 ~9.0	0.4 ~0.5	50.8 ~47.3	7.2 ~5.4	

* Using a auxiliary burner.

A: BRG-1, B: BRG-2, C: MX-7, D: J.R.G.
Photo. 2. Microstructure of various pellet.
×100 (1/2)

トの FeO 含有量もわずかに増加するが、高炉での使用に堪えるものと考えられる。

III. 試験工場における操業結果

以上の基礎試験結果からヘマタイトを含む各種の鉱石を原料として高炉用ペレットを製造しうる見通しを得たので試験工場で操業試験を行なった。

対象とした原料は Table 2 に示したようにマグネタイトからヘマタイトまでの広範囲にわたっている。いずれの場合もベントナイトを 0.5% 添加した。

試験に当っては各原料とも粉碎—脱水—造粒—焼成と一貫した操業を約 2 昼夜続けた。

これらの試験結果を Table 3 に示す。なお当所で入手した Marcona と Erie ペレットの試験値も参考のため表示した。また Jedway と B·R·G-1 ペレットでは焼成条件を変化せしめその影響を調べた。

Table 3 の試験結果から B·R·G-1 ペレットを除けば圧潰強度、FeO、成品の回転強度、還元試験（学振法）後の試料の回転強度、圧縮—還元試験における還元率、試験後試料の粒度分布および圧縮率などは、参考値として示した Marcona, Erie ペレットと同等か、またはそれ以上の値が得られた。ここで B·R·G-1 ペレットは補助バーナーを使用していないため熱量不足となり、十分焼成されなかったため、同一原料の補助バーナーを使用した B·R·G-2 ペレットに比べ各特性値とも向上を示している。

Photo. 2 にヘマタイトを主原料とする 4 種類のペレットの顕微鏡組織を示したが、いずれも良好な結合状態を示している。

このようにマグネタイトから多少褐鉄鉱を含有するといわれる南方系赤鉄鉱まで、いかなる鉱石においても適当な操業条件を見出せば高炉用ペレットが得られることが判明した。

なお、この試験操業においても焼成温度の影響を調べ

るために 2, 3 の実験を行なったが Table 3 に見られるように焼成温度の上昇によつて圧潰強度は上昇し、空隙率と還元試験における還元率などは低下している。

還元試験（学振法）と圧縮—還元試験における還元率は、ペレットによりかなり傾向が異なっている。これは還元ガスは同じであるが温度、還元時間が異なり前者が温度は 900°C 一定で 3hr、後者は 2 kg/cm² の荷重を掛けながら 200°C から 1000°C まで 16min かけて昇温しているためである。

このように還元方法によりその傾向が異なってくるので高炉装入物の評価方法としての還元試験法を確立するには今後かなりの検討が必要となる。

しかしながら以上の試験結果からマグネタイトから全ヘマタイト原料まで、いずれの原料においても焼成条件さえ注意すれば優良なペレットが製造されることがわかる。

IV. 結 言

ペレットの製造試験として電気炉による Fe₂O₃ のブリケットの焼成試験より、グレートキルン式試験工場（20 t/day）の試験にわたり一貫した試験を行ない、あらゆる原料鉱石、特に全ヘマタイト原料についても焼成条件を注意すれば、工場規模で優良なペレットを製造しうることが判明した。

文 献

- 1) 佐々木, 岸高, 春, 小笠原: 鉄と鋼, 50(1964), 3, p. 325~327
- 2) 森永, 池野, 岩崎: 鉄と鋼, 50(1964), 5, p. 743~752
- 3) 神戸製鋼所提出(高尾善一郎): 学術振興会第54委員会報告, No. 667
- 4) COOKE and BAND: Trans AIME 193 (1952) p. 1223~1230

鉄鉱石焼結鉄ペレットの膨脹荷重 軟化および粉化について

住友金属工業, 中央技術研究所

工博 渡辺正次郎・○大竹 康元

Thermal Expansion, Softening and
Degradation Behaviours of Ore,
Sinter and Pellet.

Dr. Shojiro WATANABE and Yasumoto ÔTAKE.

I. 結 言

鉄鉱石、焼結鉄およびペレットの熱間における挙動に関し、第1報の熱間耐圧強度の測定¹⁾に引続き、還元気流中における膨脹、荷重軟化および粉化性について報告する。

II. 実験試料および実験方法

使用した実験試料は鉄鉱石 4 種類、ペレット 3 種類、焼結鉄 2 種類の合計 9 種類である。

膨脹および荷重軟化試験は、充填層試料による荷重軟化試験装置 (Fig. 1) を使用し、膨脹試験では押棒の代りに外径 8mm の石英管を挿入してその膨脹を、荷重軟化試験は 1 kg/cm², 2 kg/cm² および 5 kg/cm² の

- (1) Sample (height 90~130mm)
- (2) Grate
- (3) Graphite bar (35mm ϕ)
- (4) Inner reaction tube (50mm ϕ)
- (5) Outer reaction tube (80mm ϕ)
- (6) Load weight
- (7) Dial gage
- (8) Si-C heating furnace
- (9) Temperature controller
- (10) Temperature recorder
- (11) Manometer
- (12) Mercury sealed cap

Fig. 1. Experimental apparatus.

荷重下の膨脹および収縮を測定し膨脹曲線および軟化曲線を求めた。

試料は 10~15mm 粒度のもの 500g (焼結鉍 300g) を使用し常温より 300°C までは N_2 5l/min を流し 300°C より 1100°C までは、還元ガス ($CO(50\%) + N_2(70\%)$, 15l/min) を使用した。

反応管は二重式で内部の内径 50mm のステンレス反応管中の試料層高は 90~130mm である。

高温における粉化性については Linder の回転還元試験装置を使用し、すでに報告の試験条件²⁾にて実施した。

III. 実験結果および考察

(1) 膨脹試験

膨脹曲線は Fig. 2 のごとくであり、各試料とも還元気流中で膨脹し、特にペレットおよび焼結鉍などの agglomerates では大きい。しかし 1000°C 以上では収縮を開始するようである。高炉装入物の膨脹試験は最近ペレットで詳しく研究されているようであるが、その膨脹度合の還元強度におよぼす影響が問題であり³⁾、海綿状の膨脹と二重殻状の膨脹とはその影響が異なり、ガス通気性の面から前者の膨脹状態は望ましくない。なお鉄鉍石は磁鉄鉍が膨脹が小さく赤鉄鉍では大となっている。

(2) 荷重軟化試験

Fig. 2. Expansion curves.

Fig. 3. Softening curves (load 1 kg/cm²)

荷重軟化試験にて荷重の影響が大であることは明らかであるが、一応 1kg/cm² および 5kg/cm² の下での荷重軟化曲線は Fig. 3 および Fig. 4 のごとくであり軟化試験後の試料の粉化率および還元率は Fig. 5(a) のごとくである。なお焼結鉍 B およびペレット B について荷重を変化した場合軟化曲線の変化は Fig. 6 のごとくであり、Fig. 1 の実験装置にて、試験前後の反応管入口の圧力変化を焼結鉍 B およびペレット A について示すと Fig. 7 のごとく 2kg/cm² までは急激に増加するが 2kg/cm² と 5kg/cm² では大きな変化は認められなかった。

Fig. 4. Softening curves(load 5 kg/cm²)

実験に使用した塩基度 1.30 前後の焼結鉱の荷重軟化曲線では軟化開始後 900~950°C で一時収縮の進行が遅れ、再び 1050°C 附近より収縮が大となることがわかった。この現象は鉄鉱石およびペレットでは認められない。この原因は充填層の各試料の粉化のためと考えられる⁴⁾⁵⁾。すなわち焼結鉱は粉化が大きいので試料充填層の空隙率が変化して与えられる荷重に抵抗するものである。

(3) 還元粉化試験

高炉内では還元の他に動的ならびに静的な荷重が存在し、装入物の粉化に対して大きい影響を示すものと考え

Fig. 5. Comparison of degradation and reducibility.

Fig. 6. Effect of load on the softening curves.

られ、回転還元試験は摩擦粉化を主とした動的な荷重状態の再現を目的としたものであり、前項の荷重軟化試験は静的な荷重下での試験である。回転還元試験結果はFig. 5 (b) に示すごとく褐鉄鉱、焼結鉱が最も粉化率が高く次いで磁鉄鉱、ペレットの順であり、その数値は荷重軟化試験の場合よりは大きくなっているが、各試料間の粉化挙動は同一傾向にあり、これら昇温還元条件下では、その温度条件が severe に影響して粉化が生ずるものである¹⁾。なお前項の荷重軟化試験で荷重軟化の場合、粉化率 (-1mm%) を荷重 0 kg/cm² と 2 kg/cm² とを比較すると焼結鉱は約 2 倍 (3.04 → 7.07%)、ペレットBは約 8 倍 (0.53 → 4.13%) の増加があり数値的にはペレットBの粉化率は小さいのであるが、荷重の増加とともに粉化が大きいようである。

(4) ペレットの顕微鏡下における組織

膨脹荷重軟化試験後の各ペレットの鏡下組織は、いずれも wüstite, magnetite を主とし、前者は一般に後者を取り囲んでいる。ペレット外周部より metallic Fe 化が進行しているが一般に著しくない。ペレット A では荷重の如何を問わず slag と wüstite の接触面における固相間反応 $2\text{FeO} + \text{SiO}_2 = \text{Fe}_2\text{SiO}_4$ が進行して fayalite の reaction rim を生じ、しばしば薄く wüstite 粒

Fig. 7. Effect of load on the increase of gas pressure.

を取り囲んでいる。ペレットBおよびCにおいても同様な fayalite が見られるが、Aに較べれば極めて微々たるものである。B、Cでは荷重に関係なく wüstite 粒の外周部よりの崩壊、粉化の傾向が見られ、特にBにおいて甚しく、還元粉化性がBにおいて最も著しく次いでC、Aの順になることと良く一致している。膨脹性がペレットAにおいて著しいのは hematite 粒間の結合性が良好である点が影響しているように思われる。

すなわち、ペレットAを構成する hematite 粒はB、Cに較べて一般に小さいが円味を帯びた形状を示し、粒間の拡散結合がよく進行しており焼結温度が比較的高かったことが推定される。一方B、Cでは hematite 粒はペレットAに較べてかなり大きいにもかかわらず angular な形状を示し拡散結合は進んでいない。ペレットCはBよりも hematite 粒の大きいのが特徴である。SlagはAがB、Cに較べて格段に多いが、Aでは SiO_2 が他の造滓成分に較べて異常に高いのであまり熔融せず粒として散在することが多い。ペレットCではBより slag が多く見られる。

IV. 結 言

還元気流中における膨脹、荷重軟化および回転還元による粉化性を9種類の試料について粒度 10~15mm の充填層試料について実験し、還元雰囲気下でペレットおよび焼結鉱の膨脹が大きいこと、荷重軟化試験にて回転還元試験と同一の粉化傾向が示された。なお軟化曲線にて塩基度 1・30 前後の焼結鉱が 900°C ~ 950°C で収縮開始後一時進行が遅れ 1050°C 附近より再び収縮が大となることがわかった。これはペレットおよび鉄鉱石では認められない現象である。なお、荷重軟化試験で荷重の増加とともに粉化率の増加および充填層試料の通気度が悪化することを明らかにするとともに、ペレットの顕微鏡下の組織について2、3の観察を行なった。

文 献

- 1) 渡辺, 大竹, 道祖田: 鉄と鋼, 50 (1964) p. 1672
- 2) 渡辺, 大竹, 道祖田: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 349~352
- 3) 児玉, 重見, 堀尾: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 327~330
- 4) G. SCHWABE u. H. RELLERMEYER: Stahl u. Eisen 82 (1962) 8, p. 449~457
- 5) 神戸製鋼所: 学振54委 667 (1962)

マルコナペレット高配合試験について

日本鋼管, 鶴見製鉄所

○長谷川友博・根本秀太郎

阪本英一・黒田浩一・中谷源治・中島龍一

Blast Furnace Operation Using Marcona Pellet up to 65% in Burden.

Tomohiro HASEGAWA, Hidetaro NEMOTO,

Eichi SAKAMOTO, Kōichi KURODA

Genji NAKATANI and Ryuichi NAKAJIMA.

I. 緒 言

最近、わが国においても、高炉装入原料としてペレットが注目されつつあり、出鉄量、コークス比については焼結鉱と同等ないしそれ以上の効果が期待されている。

当所においては、試験購入したマルコナペレット約20,000トンについて、S. 39. 3 下旬より約1ヶ月半にわたり第2高炉で焼結鉱と代替し、65%までの高配合試験を実施し、出鉄量、燃料比におよぼす影響、高配合時における低高滓比の問題などについて調査した。当第2高炉は、炉床径 5・4m, 内容積 516m³, 羽口数 10本の高炉で、酸素と重油の複合送風を行なっている。

II. マルコナペレットの性状

(1) 粒度組成

扇島本船受入時および高炉々前(3×3mmで篩分使用)粒度組成を Table 1 に示す。

(2) 化学分析

Table 2 に化学分析結果を示す。本ペレットは製造過程において、20lbs/t のベントナイトが添加されている。

(3) タンブラー強度および還元後の強度

Table 3 に A.S.T.M. 法に準拠したタンブラー強度と学振法還元後の耐摩耗強度を示す。

III. 操 業 結 果

当試験では、焼結鉱とマルコナペレットの比較評価を目的とし、生鉱配合率を 25% 一定とし、焼結鉱をペレットと漸次置換え、65%までの高配合操業を実施した。

Table 1. Size distribution of Marcona pellets.

(mm)	+16	16~10	10~6	-6
Size distribution at Oogishima berth (%)	7・0	81・0	7・0	5・0
(mm)	25~10	10~5	5~3	-3
Size distribution at Tsurumi blast furnaces (%)	80・0	16・8	1・0	2・2

Table 2. Chemical analysis of Marcona pellets.

Chemical analysis	Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
%	66・94	1・01	2・20	0・43	0・36
Chemical analysis	MgO	Mn	P	S	Cu
%	0・87	0・13	0・02	0・04	0・02

Table 3. Tumbler index and abrasion strength after reduction.

Size (mm)	+10	10~5	5~2	2~0.5	-0.5	-5
Tumbler index (%)	81.6	12.7	0.6	0.04	5.1	5.7
Abrasion* strength after reduction (%)	81.1	4.3	0.5	0.4	13.7	14.6

* Pellets after reduction by Gakushin process are charged in Linder's apparatus, rotating 900 rev. at $23 \pm \text{r.p.m.}$. Size distribution of discharged pellets shows degree of abrasion strength after reduction.

鉄滓率は 65% 配合時で 200 kg/t 程度に低下したが操業上支障は生じなかつた。操業結果を Table 4 に示す。

IV. 考 察

(1) 出鉄量

Fig. 1 に補正出鉄量 (酸素 Si% 補正) とペレット配合率の関係を示す。補正出鉄量はペレットと焼結の代替によりほぼ直線的に上昇し、10% のペレット使用に対し約 1% の出鉄増が得られた。これはペレットの使用により燃料比が低下したことならびに通気性の改善により若干送風量が上昇したことによる。しかし、第 2 高炉の現状では送風機の最大能力で操業しているの、ペレット高配合により P/V が低下し通気性の改善が見られても増風できず、送風機に余裕のある際には更に出鉄増が可能と思われる。

(2) 燃料比

Fig. 2 に、補正燃料比 (風熱、酸素、Si% 補正) とペ

Fig. 1. Relation between modified hot metal production and pellet percent in burden.

レット配合率の関係を示す。補正燃料比はペレット配合率の上昇に伴いほぼ直線的に低下し、ペレット10%配合につき、2.5 kg/t の節減が得られた。ペレットと焼結鉄 10% の代替により鉄滓率は 10 kg/t 低下するので、これによるコークス比の低下は $0.25 \text{ kg/kg} \times 10 \text{ kg} = 2.5 \text{ kg}$ となり、上記の 2.5 kg に対応する。一方、物質精算および熱精算上では、Table 5 に示すように、ペレット配合率の上昇に伴い、ソリューションロスカーボンが低下し、CO ガス利用率が上昇し、その結果、鉄鉄トンあたりの所要熱量は低下している。

(3) 低鉄滓比の影響

低 SiO_2 のマルコナペレット高配合時においては、鉄滓比が大巾に低下するので、脱硫、鉄鉄成分の調整、そ

Table 4. Operational results.

Period		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
		3/21~3/26	3/27~3/28	3/29~3/30	3/31~4/5	4/6~4/10	4/11~4/14	4/15~4/17	4/18~4/21	4/22~4/26
Item										
Pellet ratio	%	0	11.0	20.3	32.8	41.3	49.6	55.3	59.4	65.1
Sinter ratio	%	58.2	66.5	56.8	45.5	35.9	24.8	18.1	14.6	11.2
Hot metal	t/day	703	712	719	716	717	726	747	735	749
Coke ratio	kg/t	521	514	507	508	502	507	510	504	493
Oil ratio	kg/t	52	54	51	50	56	50	47	53	59
Fuel ratio	kg/t	573	568	558	558	558	557	557	557	552
Blast volume	Nm^3/min	640	637	631	633	639	642	649	649	650
Oxygen enrichment	%	2.61	2.68	2.59	2.48	1.88	3.35	3.56	3.54	2.26
Blast moisture	g/Nm^3	13.5	13.9	19.6	21.1	19.6	25.8	23.5	16.7	12.5
Blast pressure	g/Nm^3	995	1006	1014	1013	1002	999	970	952	967
Blast temperature	$^{\circ}\text{C}$	908	909	865	897	872	849	890	892	876
Hot metal Si	%	0.76	0.89	0.92	0.77	0.80	0.82	0.76	0.64	0.76
Hot metal S	%	0.038	0.037	0.038	0.033	0.034	0.036	0.040	0.046	0.038
Slag volume	kg/t	270	265	257	248	235	220	217	213	204
Slag CaO/SiO_2		1.20	1.21	1.27	1.24	1.24	1.23	1.22	1.20	1.26
Top gas CO	%	27.2	27.1	26.5	26.0	25.3	25.8	25.3	25.8	25.4
Top gas CO_2	%	16.8	17.2	17.6	17.3	17.3	18.7	19.3	18.6	18.4
Top gas H_2	%	3.4	3.5	3.6	3.8	3.3	3.3	3.1	3.6	3.5
Top gas temperature	$^{\circ}\text{C}$	283	288	267	257	274	265	236	236	276
D.C. Dust	kg/t	4.2	4.9	4.6	4.5	6.2	7.6	5.8	4.9	6.0
Iron flushing	kg/day	120	260	160	90	40	50	100	200	60
Hanging	No/day	0.2	0	0.5	0.1	0	0	0	0	0
Slip	No/day	0.5	0	0.5	0.4	1.0	0.5	2.0	0.5	1.5

Fig. 2. Relation between modified fuel ratio and pellet percent in burden.

Fig. 3. Relation between desulphurization index and pellet percent in burden.

Table 5. Material balance and heat balance.

Period		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		3/21~3/26	3/27~3/28	3/29~3/30	3/31~4/5	4/6~4/10	4/11~4/14	4/15~4/17	4/18~4/21	4/22~4/26
Item										
Combustion carbon	kg/t	345.2	339.5	334.5	345.0	343.3	345	348.8	349.1	330.1
Solution loss carbon		83.1	84.5	75.7	64.3	63.7	57.8	55.4	64.7	79.4
Dry blast volume	Nm ³ /t	1982.9	1957.7	1934.9	1983.0	1997.3	1917.7	1913.0	1928.2	1929.9
CO reduction ratio	%	63.9	63.7	66.1	69.3	69.6	72.1	73.4	70.0	65.6
H ₂ reduction ratio	"	7.94	8.04	9.41	8.91	12.52	13.35	12.51	9.07	9.07
Direct reduction ratio	"	28.2	28.3	24.5	21.8	17.9	14.6	14.1	20.9	25.4
H ₂ utilization	"	35.8	36.0	38.6	34.0	45.8	48.4	48.6	37.3	39.3
CO utilization	"	36.0	36.5	37.5	37.5	38.0	39.3	40.5	39.1	39.2
Combustion heat of C to CO at tuyeres	kcal/t	807,660	794,437	782,759	807,796	803,234	807,271	816,069	816,944	772,355
Reduction heat of ore by CO	"	41,250	41,291	42,844	42,624	42,898	44,613	45,401	43,593	40,753
Sensible heat of dry blast	"	414,910	407,359	383,400	412,141	408,920	375,979	395,024	396,659	388,550
Sensible heat of moisture	"	8,847	8,686	11,768	13,337	12,551	15,118	14,624	10,309	7,683
Sensible heat of burden	"	4,231	3,857	2,952	5,108	4,989	5,080	5,798	5,634	5,708
Sensible heat of oil	"	2,340	2,430	2,295	2,273	2,520	2,250	2,115	2,385	2,655
Formation heat of slag	"	39,200	35,560	34,440	35,420	32,900	31,360	31,500	30,380	29,260
Total input	"	1318,438	1293,619	1260,457	1318,698	1308,012	1281,670	1310,532	1305,904	1246,965
Sensible heat of top gas	"	188,447	189,616	173,985	170,672	184,108	171,803	152,949	153,786	179,884
Sensible heat of hot metal	"	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000
Sensible heat of slag	"	120,400	109,220	105,780	108,790	101,050	96,320	96,750	93,310	89,870
Reduction heat of Mn, P, Si	"	56,610	62,963	64,045	56,713	58,594	58,653	55,608	47,418	55,864
Decomposition heat of lime	"	27,118	29,700	32,713	38,955	39,170	43,044	46,057	45,196	44,766
Decomposition heat of moisture	"	30,129	29,548	42,070	45,944	44,510	55,064	50,813	35,739	27,122
Decomposition heat of oil	"	22,880	23,760	22,440	22,220	24,640	22,000	20,680	23,320	25,960
Reduction heat of ore by H ₂	"	8,524	8,509	9,983	8,956	12,460	13,124	12,301	8,884	8,798
Evaporation heat of burden	"	23,178	22,548	22,332	22,817	22,332	22,919	23,218	22,535	23,728
Solution loss heat	"	269,330	273,920	245,213	208,394	206,454	187,288	179,524	209,714	260,508
Emission and others	"	271,822	243,833	241,896	335,224	314,695	311,456	372,632	306,600	230,465
Total output	"	1318,438	1293,619	1260,457	1318,698	1308,012	1281,670	1310,532	1305,904	1246,965

Table 6. $\bar{X}$, σ of Si and S content in hot metal.

Period		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Si(%)	$\bar{X}$	0.76	0.89	0.92	0.77	0.80	0.82	0.76	0.64	0.76
	σ	0.15	0.12	0.17	0.19	0.18	0.15	0.19	0.21	0.11
S (%)	$\bar{X}$	0.038	0.037	0.038	0.033	0.034	0.036	0.040	0.046	0.038
	σ	0.007	0.007	0.007	0.009	0.006	0.006	0.008	0.009	0.008

の他実作業上の問題について検討した。

(i) 脱硫能力

Fig. 3 に 鉄滓比と Oelsen の脱硫指数 K_{Si-S} の関係を示す。鉄滓比の低下に従い、鉄滓中 S% が上昇し脱硫指数も上昇した。その結果、低鉄滓比においても塩基度を従来と同じく、 1.25 ± 0.05 の範囲で調整したが鉄中 S の上昇はみとめられなかった。

(ii) 鉄鉄成分の変動

Table 6 に、各操業期における鉄鉄成分 Si, S の平均値 $\bar{X}$ 、標準偏差 σ を示す。低高滓比においても、 $\bar{X}$ 、 σ は基準期と変わらず、成分調整上問題はなかった。

(iii) 流鉄量

Table 4 に示すように、滓口流鉄量は普通操業と変わらず、操業上問題はなかった。

V. 総 括

(1) 鶴見第 2 高炉において、焼結鉄をマルコナペレットに置換え、65% までの高配合試験を実施した、

(2) 出鉄量は、ペレット 10% の配合により約 1% 上昇し、燃料比は 2.5 kg/t 低下した。前者はコークス比の低下および若干の送風量上昇によつて得られ、後者は焼結鉄と比較し鉄滓比の低下に見合うものである。しかし、現状では、送風機の最大能力の操業を行なっているもので、増風可能な場合には、更に出鉄増が期待される。

(3) ペレット配合率 65% 時には、鉄滓比は 200 kg/t に低下したが、脱硫、鉄鉄成分の変動、滓口流鉄などにも問題がなく安定操業を維持し得た、