

粉鉄鉱のペレタイジング法について

三本木 貢 治* 西田 信 直*

1. 結 言

現在鉄鉄の製造には、主としてマグネタイト、ヘマタイト系の鉱石、しかもある程度以上の塊鉱が好んで使用されている。しかし、世界的傾向として、高品位鉱はその埋蔵量が減少し、低品位鉱の活用に関心が向けられ、その富化塊成に多くの努力が重ねられている。

従来、整形法 (Briquetting), 焼結法 (Sintering), ノデュライジング法 (Nodulizing), ペレタイジング法 (Pelletizing) その他種々の粉鉱処理法が発明され、発展してきたが、現在最も広く利用されている焼結法は、極微粉鉱の処理に難点があり、硫酸焼鉱等の極微粉鉱を処理せねばならない本邦製鉄業においても、ペレタイジング法に、大きな注意が払われるに至つた。

2. ペレタイジング法の歴史及び現況

ペレタイジング法の歴史は比較的浅く、1912年にスウェーデンで¹⁾、1913年にドイツで²⁾、それぞれ別個に発明され、1926年にドイツの Rheinhausen³⁾ で、1935年に Magdeburg で取上げられたが、余り注目されずに終つてしまつた。しかし、アメリカで Taconite 鉱石の経済的処理法としてのペレタイジング法が、E.W. Davis 教授等^{4),5)} の手によつて完成されるに至り、大いに世の注目を惹くようになつた。その後、1948年に、Erie Mining Co. が年間 3×10^5 t の能力の中間工場を建設したが、さらに Erie Mining Co. 及び Reserve Mining Co. 等で大規模の工場を建設し現在 14×10^6 t 程度の生産設備を有するに至つた。一方スウェーデンにおいては、1946年に Jernkontoret に委員会を作り⁶⁾、スウェーデン磁選精鉱のペレタイジング法による利用について研究を開始し、1954年には6工場が操業するに至つた。

ドイツ、イギリスにおいては、中間試験が行われた程度で、大規模な工業化には着手していない^{7)~9)}。

我が国においては、1951年に日立金属安来工場に、1952年には川崎製鉄千葉製鉄所にペレタイジング処理工場が完成し、その他の製鉄所においても中間試験が実施されている。

3. ペレタイジング法の設備及び作業

a) ペレタイジング法の方式

良好なペレットを作るには、原鉱につきのような3段の処理を加えなければならない。(i) 原鉱の粉碎 (ii) グリーンペレットの成形 (iii) グリーンペレットの焼成。

(i) 原 鉱 の 粉 碎

原鉱を微細にすればするほど、選鉱及びペレットの成形は容易になるが、反対に設備、操業のコストは高くなることは明白である。従つて選鉱上必要な破碎は行わなければならないが、現実には大部分が -325mesh である。

(ii) グリーンペレットの成形

* 東北大学選鉱製錬研究所

1) Anderson, A.G. : Swedish Patent. 35,124.

2) Brackelsberg, C.A. : U. S. P. 192,114.

3) Stahl u. Eisen. 52 (1932), 690.

4) Dean, R.S. : U. S. P. 2,131,006.

5) Firth, C.V. : Blast Furnace Coke Oven Raw Materials. 4 (1944), 46.

6) Tigerschiöld, M. : J. Iron Steel Inst. 177 (1954), 13.

7) Sengfelder, G. : Stahl u. Eisen. 70 (1950), 765.

8) Sengfelder, G. : Stahl u. Eisen. 72 (1952), 1577.

9) Ridgion, J.M., E. Cohen and C. Lang : J. Iron Steel Inst. 177 (1954), 43.

グリーンペレットを作る方法は種々あるがいずれも機械的に行い、加熱はしない。そのため、粉碎した鉄鉱の粒度を調節し、鉄鉱に適した水分を与えてから、造粒機に装入される。この造粒機としては、主として円筒状のドラム、または傾斜した皿状テーブルが使用されている。成形されたグリーンペレットは、運搬その他の処理中破壊されない強度を持つていなければならない。従つて原料中に、ベントナイト、石灰、 CaCl_2 、 NaCl 、硼砂等の添加剤を混合したり、あるいは出来上つたグリーンペレットの表面に澱粉液等を撒布したのちに、乾燥、強化することもある。

(iii) グリーンペレットの焼成

上記のグリーンペレットは加熱焼成して強度をもたせる。この焼成炉には、堅型炉と Dwight-Lloyd 式焼結機のごとき、移動火格子炉が使用され、移動火格子炉は通風によつて、上向通風炉、上向・下向通風炉、下向通風炉の3種類に分けられる。

b) グリーンペレットの製造法

グリーンペレットの成形のごとき造粒操作は、石灰、褐炭のブリケット化、薬剤のタブレット製造、カーボンブラックの造粒等広く用いられているが、原則的には次のごとく分類される¹⁰⁾。

(i) 回轉ドラムまたは皿状テーブルによる方法

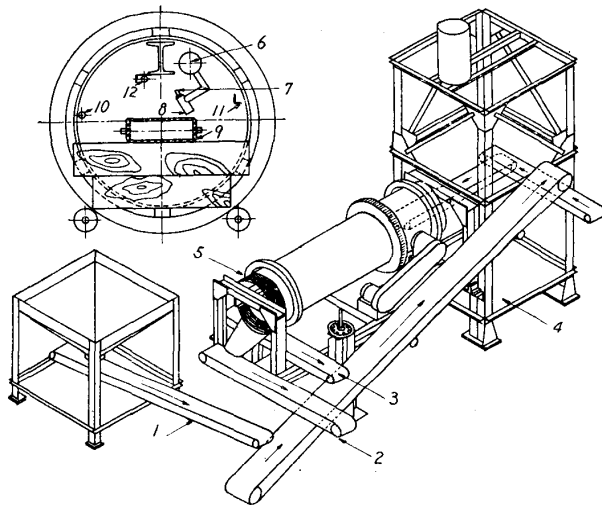
鉄鉱の粘性、浸潤表面の表面張力、軽い圧力、軽度の整粒作用により成型される。

(ii) 団鉄機、プレス機（常圧または真空にて）による方法

強力な機械圧により成型される。

(iii) 篩いながら回轉する運動を与える機械による方法

表面張力、粘性等を利用すると共に、ある粒度分布をしている粒子を最も良い状態に再排列して固める作用により成型される。



第1図 ボーリングドラムと附帯設備

- | | |
|--------------|--------------|
| 1: 原料 | 2: グリーンペレット |
| 3: リターン | 4: 操業台 |
| 5: バー篩 | 6: 圧搾空気管 |
| 7: 水散分機 | 8: ジェット |
| 9: コンベアー | 10: 固定式スクレパー |
| 11: 螺旋式スクレパー | 12: 電 球 |

ならない。しかも、この水分の変化は操業中 $\pm 0.25\%$ 以内に保つ必要があり、この問題は、特別なナイロン濾過布に水銀柱 64~66mm の真空吸引を適用することによつて解決された¹³⁾。

ボーリングドラムで作られるグリーンペレットの性質及び生産量には、ドラムの大きさ、傾斜、

上記3種類の方法で、(iii)が最も良い造粒効果を与え、振動回轉造粒機、縦型造粒機が考案されているが、複雑な機構となるため、いまだ工業化の段階に至っていない¹¹⁾。

(i) 回轉ドラムまたは皿状テーブルによる方法

イ) ボーリングドラムによる方法

ボーリングドラムによる造粒設備の一例を第1図に示した。

E.W. Davis¹²⁾ はボーリングドラムによつて造粒が良好に行われるための必要条件の第一に、使用する精鉄の粒度をあげ、精鉄は全部 -64mesh で、その中の60%が -325mesh であることが必要だとした。一方造粒すべき粉鉄の水分は、粉鉄の真比重、粒度分布、粒子の形などによつて決まるある範囲に保たなければ

10) 下村泰人：鉄鋼界，8 (1958)，79.

11) 神保元二：化学工学，20 (1956)，215.

12) Davis, E.W., and H.H. Wade : Mines Exp. Sta. Univ. of Minn., Circ. 6 (1951), 20.

13) Joseph, T.L. : 鉄鋼，41 (1955)，140. ; Blast Furnace Steel Plant. 43 (1955)，641, 745.

周速度、鉱石装入力、水分などの要因が影響し、生産量はこのほか要求するペレットの径によっても変化する。一般的傾向として、ドラムの傾斜が大きすぎるとか、周速度が遅いとか、ドラム中の原料の層が薄いとか、ドラムが長すぎる場合には、ボーリングドラムで生成されるペレットは大きくなる。粉鉄の水分が多すぎると軟かいペレットが早くでき、装入量が少ない時はペレットの径は小さく、返鉄の量を増し、生産量が低下する^{10),14)}。

このほかドラムの内面を適当な粗さとして、ボールが連続的に滝のように流れ、滑らないことが必要である。このためにスクレパーを必要とし、米国では水平に移動する鋼板を使用し、スウェーデンではスパイラルスクレパーを主として使用している。このスクレパーによっても適当な表面状態が保てない時は、装入口附近に水を撒いたり、ドラムの周速度や傾斜を変化させて調整することが必要になる。

普通ドラムの長さは直径の2.3~3倍に設計されている。ボーリング作業の実例を示すと¹³⁾ スウェーデンの例では 1.2m 径のドラムを 21~36m/min の周速度で回転させ、32mm φ のペレットを1日 120 t 程度生産し、アメリカでは 2.4m 径のドラムを傾斜 2~3.5°, 周速度 81 m/min で操業し、22mm φ のペレットを1日 1,000 t 程度生産している。

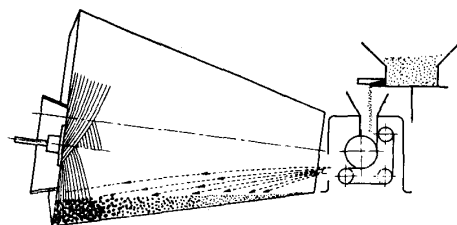
この方法の最大の欠点は、均一な粒径のものが出来ないので篩別を必要とし、この時のペレットの破壊を防ぐために種々の添加剤を加えなければならないことである。篩下は返鉄としてドラムに返されるが、この量は要求されるペレットの大きさにもよるが、100%から400%に達する。

この欠点を防ぐため、ドラムに装入前の原料を団鉄したり¹⁵⁾、特殊な給鉄機を併用して¹⁶⁾粗成型する方法が採用されている。更にスウェーデンの **Reymersholms Galma industria** では、第2図のような円錐形ドラムを使用してこの欠点を克服している¹⁷⁾。

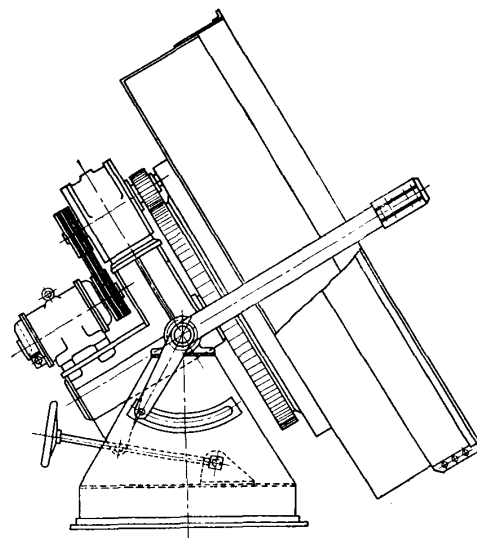
ロ) 皿状テーブルによる方法

従来は上述のごときボーリングドラムが主として使用されてきたが、これに代つてドイツのセメント工業に用いられている皿状テーブルが普及してきた。これは第3図¹⁸⁾に示すごとき、垂線に対し傾斜した円板で円筒形の縁(リム)を持ち、ディスクと呼ばれる。

原料をディスクに連続装入し、その上に水を撒布すると、回転につれて粒が成長し、径と強度が適当になつたもののみが自動的にリムをオーバーフローする。粒の強度や径は、リムの高さ、周速度、傾斜で調節する。パンの底及びリムに原料が次第に附着するのでスクレパーで連続的に除去する。リムをオーバーフローするペレットの径は大体一樣なので、篩を特別に必要とせず、更に特別に添加剤を加える必要もない。原鉄の粒度もボーリングドラム程の微粉を要求せず、-200mesh 50%程度で充分である。



第2図 円錐形ドラム



第3図 ペレタイジングディスク

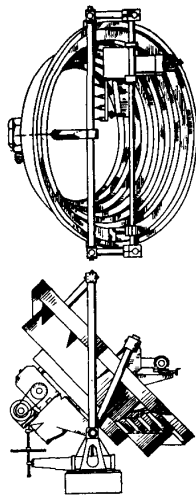
- 14) Tigerschiöld, M and P.A. Ilmoni : Blast Furnace Coke Oven Raw Materials. 9 (1950), 18.
 15) Bazanov, F.M., F.F. Kalesonov and I.L. Malkin : Stali. (1958), 290.
 16) 学振報告, 54 委-292 (1954).
 17) Meyer, K. : Stahl u. Eisen. 76 (1956), 590.
 18) 中安閉一 : 化学工学, 21 (1957), 322.

上述のごとくディスクによる造粒の成否には、リムの深さ、傾斜、周速度、原鉱の水分などが影響する^{19),20),21)}。一般にディスクの傾斜が大きすぎ、リムの高さが低すぎる時には、粉鉱の滞留時間が短いために、原料は粒状化せずに排出される。逆の場合は、粉鉱がディスクの底について排出されず、造粒に必要な **Cascading motion** が起らない。ペレットの径は、水分が多く、傾斜も深く、周速度の遅い程大きくなる。

ディスク中でペレットの回転及び分級作用が満足に行われるには、最少 0.6m 最大5m の径を必要とし、径がこれより大きくなると、単位面積当りの能力が低下する²²⁾。

アメリカの **Marquette Iron Mining Co.** では上述のディスクとその構造が少し異なるフライングソーサー (Flying Saucer) と称するものを使用している²³⁾。これは第4図に示すごとき多段式のリムを有し、造粒されたペレットは皿の外縁のリングで加熱に必要な石炭のコーティングを受ける。

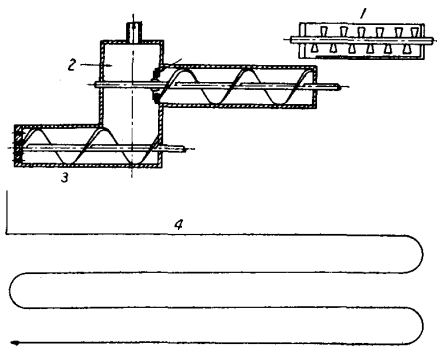
ボーリングドラムとディスクによる造粒作業の比較を第1表に示したが、近年の新設工場にはディスクによる造粒が多く採用されている。



第4図 フライングソーサー

第1表 ボーリングドラムとディスクの比較

	ボーリングドラム	デ イ ス ク
生産能力	大	小
据付面積	ディスクの2倍	ドラムの $\frac{1}{2}$
製作費(本体のみ)	ディスクの2倍	ドラムの $\frac{1}{2}$
維持費	高	安
操作	連続的	連続的
ペレットの均斉性	不均一	均一
ペレットの強度	小	大
ペレットの形状	楕円形に近い	球形に近い
篩分装置	必要	不要
水分の影響 造粒に大きな影響を与える要因	小 給鉱量, 周速度, 水分	大 傾斜, リムの深さ, 撒水量



第5図 真空押し出し機

- 1: ミキサー 2: 脱空気室
- 3: 切断機 4: コンベアー

(ii) 団鉱機, プレス機による方法

(i) の方法は技術的にかなりの熟練を要し、設備費もかなり高いものであるが、安価かつ容易なグリーンペレットの製造法として **Cavanagh²⁴⁾, Stirling²⁵⁾** は真空押し出し法 (**Vacuum Extrusion Process**) を発表した。

この方法は第5図に示すごとき、脱空気室で鉱石粉を真空にさらし、スクリューによつて押し出し整形し、コンベアー上で乾燥させるものである。こゝに使用する鉱石は、**-8mesh** 程度のものでも充分満足出来るペレットが出来た。成形されたペレットの内部には多数の空隙を有し、加熱などによつて個々の粒子が膨脹しても破壊す

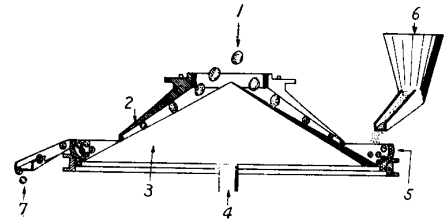
19) 学振報告, 54 委-408 (1956).
 20) 学振報告, 54 委-441 (1957).
 21) 学振報告, 54 委-484 (1958).
 22) Hower, E.N. and J.A. Anther : Iron Steel Eng. 2 (1956), 60.
 23) Eng. Min. J. 158 (1957), 76.
 24) Cavanagh, P.E. : Blast Furnace Coke Oven Raw Materials. 9 (1950), 54.
 25) Stirling, A : J. Iron Steel Inst. 177 (1954), 25.

ることが殆んどないため、焼成しなくとも充分高炉使用に耐えられる。

この方法の成否には、原鉄の粒度分布、最大粒度、水分量、水分による塑性などが関係し、粘土質の鉄石からは良好なペレットが得られるが、マグネタイト精鉄のごときものでは塑性を与えるため、粘土質の鉄石または添加剤を加える必要がある。

この方法は、他の方法と比較して色々な利点を有するが、大部分の鉄石が添加剤を必要とし、その種類と量を決定するのに困難があり、機械の移動部分がこわれ易い。生産能力が低い (50 t/hr) などの理由から数工場において、主として高炉灰の処理に使用されているに過ぎない。

Cavanagh²⁶⁾ は上記の欠点を克服し、第6図に示すときペレタイジングコーン (Pelletizing cone) と呼ばれるものを発表した。まず原鉄の約 $\frac{3}{4}$ をパグミルに装入し、余分なほどの水分を添加する。このパグミルの排出側には約 2.5cm 径の穴が多数あいていて、こゝから押し出され約 2.5 cm の長さに切断されたものがコーンに装入される。



第6図 ペレタイジングコーン操業図

- | | |
|----------|--------|
| 1: 湿ボール | 2: 固定覆 |
| 3: 廻転円錐板 | 4: 廻転軸 |
| 5: ゴム製堰 | 6: 乾精鉄 |
| 7: ペレット | |

ペレタイジングコーンは第6図でわかるように、回転する円錐形の台の上に円錐形の覆をしたもので、この両者の間隔や傾斜は作るべきペレットの径に応じて調節出来る。かくして出来た径の様なペレットは回転する台の縁にあるゴムの堰の所に溜つてころがり、

原鉄に余分なほどの水分を加えてあるので、表面はかなり湿っている。こゝへ残りの約 $\frac{1}{4}$ の乾いた精鉄を加えると、湿ペレットの表面に附着して必要な大きさのペレットが出来る。もし添加剤やコークス等を加える必要があるときは、乾精鉄と混合し最終段階で加えればよい。

この方法によつて作ったグリーンペレットの性質は、他の方法によるものに劣らず、機械の能力の高いこと、ペレットの径を揃え得ること、水分の調節が容易などの利点を有するが、成形し得るペレットの径に限度がある。

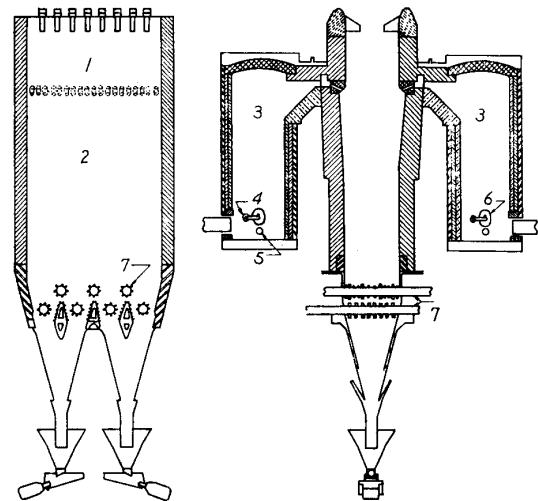
c) ペレットの焼成法

先に述べた方法で成形されたグリーンペレットは、貯蔵、運搬並びに製鉄製鋼作業に使用し得るように焼成しなければならない。

この焼成には、従来主としてシャフト炉が用いられていたが、近年になつて移動火床による焼成炉が採用されつゝある。

(i) シャフト炉による焼成

シャフト炉には、外部から熱を供給する外熱式と、精鉄に燃料粉を添加して成形したグリーンペレットを使用する内熱 (自熱) 式の2種類がある。また炉形によつて円形と第7図のごとき直方形²⁷⁾に分けられるが、何れが優れているか意見の一致をみない。



第7図 シャフト炉

- | | |
|----------|-----------|
| 1: 加熱帯 | 2: 冷却帯 |
| 3: 燃焼室 | 4: 主バーナー |
| 5: 空气管 | 6: 補助バーナー |
| 7: ブレーカー | |

グリーンペレットは炉に連続して装入され、順次下降し、燃焼室からのガスと、炉底からの空気によつて予熱され、燃焼室附近では 1,300°C 程度に加熱される。この温度は、ペレットが燃焼

26) Cavanagh, P.E. : Can. Min. Met. 50 (1957), 692.

27) De Vaney : J. Metals. 10 (1958), 125.

室の下に降下するまで保持され、それ以下に降下すると、下部からの空気で冷却され、この空気はペレットと逆に上昇して、装入直後のグリーンペレットを予熱する。こゝで熱を吸収されるので、炉頂温度は 150°C 程度である。下部からの送入空気によつて早く冷却されるので、ペレット同志がくつつきあつて、装入物の降下を妨げることが少くなる。

高品位のマグネタイト鉱を使用した場合や、炉が良好に操業されているときは、油またはガスと空気を混焼させただけで充分であるが、炉の能力を高めたい場合や、ヘマタイト鉱を使用するときには、適当量の石炭またはコークスを精鉱に添加する必要がある。

炉況不良で装入物がくつついたりしないため、また装入物が適当な速度で降下するように、**Chunk breaker** を炉の下部につけると都合がよい。これは水冷または空冷によつて保護されている。

シャフト炉は、その操業には種々の困難を伴うが、大型炉で、必要熱量が、151,000~200,000 kcal 程度という優秀な熱効率を有する点で捨て難い味を有する。第2表にシャフト炉の操業例を示した。

第2表 シャフト炉操業例

ペレット		添 加 剤 (kg/t)		
			ペレット	原 料
ペレット生産量 (t)	31,127			
原 料 Fe (%)	64.09	石 炭	7.2	6.5
ペレット Fe (%)	63.12	ベントナイト	7.1	6.3
強 度(タンブラー試験)	85.3	ソ ー ダ 灰	0.74	0.69
消 費 熱 量(kcal/t)	192,966	燃 料 油 (l/t)	19.88	17.57
操 業 デ ー タ				
ペレット生産量 (t/hr)	47.89	空気とペレットの比		1:1
空 気 圧 (kg/cm ²)	0.42	燃焼する空気 (%)		37
空 気 量 (m ³ /min)	631.5			
温 度 (°C)				
	炉 頂 温 度			114.4
	排 出 成 品 温 度			264.4
	燃 焼 室 温 度			1,287.8

(ii) 移動火格子炉による焼成

この炉は **Dwight-Lloyd** 焼結機を改良したもので、アメリカ及びドイツで急速に発達し、新設の炉の熱効率はシャフト炉のそれに近くなつたといわれている。現在操業されている型式には以下に述べる3種類がある。

イ) 下向通風炉(乾燥の一部を上向通風) **Allis-Chlamer Co.** は **Arthur G. Mckee Co.** と協同して下向通風によるペレットの焼成について研究し、焼成炉からの廃ガスは乾燥と点火に利用出来ることを確かめ、これによつて、熱効率を高め得ると考えた²⁸⁾。

そこで **Winsconsin** 州の **Carrollville** に下向通風炉による中間試験工場を作つてさらに実験を進めた^{29),30)}。この試験設備は、第8図に示すような配置となり、整粒されたグリーンペレットを石炭等の固体燃料でコーティングするために、第二のボーリングドラム(コールリロールドラム)が必要である。

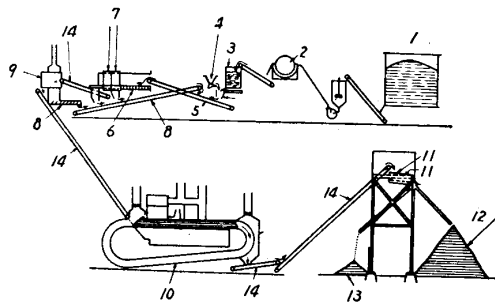
かくして作られたペレットを第9図に示した炉の火格子上に推積して焼成した。この炉は、長さ 5.1m、幅0.6m で4ヶの風函を有し、11.8%が上向通風による乾燥、70.6%が下向通風による乾燥、予熱、点火、燃焼、熱の回収、17.6%が下向通風による冷却となつている。上向通風で乾

28) Woody, G.V.: Blast Furnace Coke Oven Raw Materials. 11 (1953), 93.

29) Haven, W.A.: J. Iron Steel Inst. 180 (1955), 144.

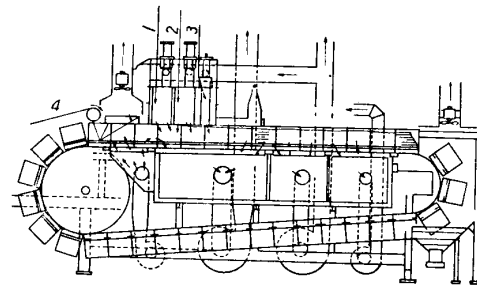
30) Woody, G.V.: Blast Furnace Steel Plant. 11 (1953), 314.

燥することにより、以後の作業で装入層の下部に水分が溜まり、装入層の重みでペレットがこわれることがなくなつた。この上向通風による乾燥に利用したガスは、約 200°C で冷却帯からの廃ガスを用いた。



第8図 Carrollville 工場の設備

- 1: 貯 鉱 槽 2: 濾 過 機 3: テーブルフィーダー
- 4: フィーダー 5: 原 料 6: ボーリングドラム
- 7: 篩 8: リターン 9: コールリールドラム
- 10: 移動火格子炉 11: 振 動 篩 12: 製 品
- 13: -10 mesh 粉 14: コンベアー



第9図 下向通風移動火格子炉

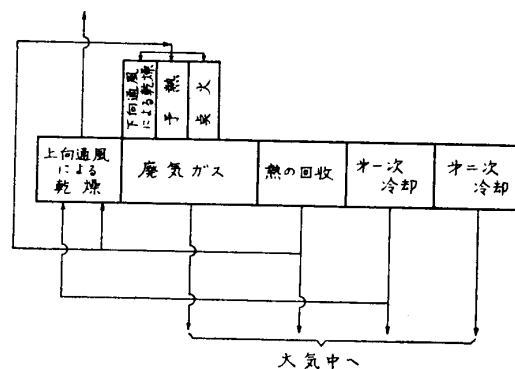
- 1: 乾 燥
- 2: 予 熱
- 3: 点 火
- 4: コ ン ベ ア ー

点火炉は乾燥、予熱、点火の3室にわかれ、側壁を移動させて、装入層の厚さの変化に対応して乾燥室と点火室の広さを調節出来るようになっていた。こゝに利用するガスも 370~500°C の廃ガスを用い、プロパンガスで点火した。

この実験の結果、得られたペレットは充分満足し得る性質を有し、生産量は常に一定に保ち得るし、シャフト炉にかなり近い熱効率とすることができるとわかつたので、Reserve Mining Co. は、Babitt に日産 1,000 t 試験工場を1954年に建設し、焼成ペレットの高炉試験を実施したところ十分な結果が得られた。そこで本格的生産に入り年産 5×10^6 t の能力の工場を Silver Bay に建設し、生産を行つている^{31)~34)}。

こゝで使用している焼成炉は大体第9図と同様の構造を有するが、長さ約 50m、幅 1.8m、能力は 90~110 t/hr で火格子は 150 mm/min の速度で移動する。28ヶの風函を有し、1~7は上向通風の乾燥に、8~11は乾燥と予熱、12, 13は点火に、14~22は燃焼と熱の回収に、23~25は第1次の冷却に、26~28は第2次の冷却に利用され、8~28は下向通風で作業される。

第10図にこの炉のガスの循環系統を示した。上向通風の乾燥は、熱の回収帯と第1次の冷却帯からの約 480°C の空気によつて行われるが、この部分は炉の全長の約25%である。下向通風による乾燥、予熱、点火は3室にわかれていた点火器に約 480°C のガスを送つて行く。しかし乾燥は 760°C、予熱は 1,093°C、点火は 1,287°C で行うので、油を燃焼させ循環ガスの温度を上げる必要がある。この部分は全長の約 21.5% である。残りの 53.5% が燃焼と冷却に用いられ、通過空気を増して、それぞれの進行を助成している。燃焼帯と第1次冷却帯から得られたガスは共に約 480°C で、乾



第10図 上向、下向通風炉のガス循環系統

31) J. Metals. 7 (1955), 538.; Mining Eng. 6 (1954), 974.; Eng. Min. J. 155 (1954), 10 96.; Blast Furnace Steel Plant. 42 (1954), 1299.
 32) Stowasser, W.F.: Mining Eng. 7 (1955), 473.
 33) English, A. and M.F. Morgan: J. Metals. 10 (1958), 122.
 34) 木寺 淳: 鉄鋼界, 7 (1957), 460.

燥, 予熱, 点火に利用される. 一方第2次冷却帯からのガスも約 371°C の温度を有するがまだ利用されていない. この炉の熱精算を第3表に示した.

第3表 Silver Bay 工場の下向通風炉の熱精算

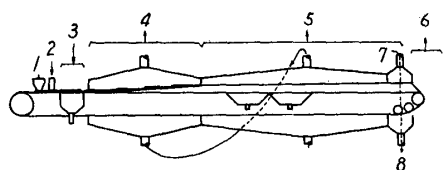
	ペレット (kcal/t)	(%)
入 熱		
燃料; 油	107,533	29.0
フ ロ バ ン ガ ス	768	0.2
添 加 石 炭	220,188	59.3
Fe ₃ O ₄ → Fe ₂ O ₃ の発熱反応	42,501	11.5
	370,990	100.0
出 熱		
ベ レ ッ ト	64,776	17.3
上向通風からの廃ガス	72,713	19.6
下向通風からの廃ガス	121,871	32.8
熱 損 耗	111,630	30.1
	370,990	100.0

ロ) 上向通風炉 ミネソタ大学の Mines Experimental station と Cleveland Cliff Iron Co.では, 1952年より上向通風炉についての種々の試験を行つて次のような利点を明らかにした.

- (1) 装入層の厚さに明確な制限がない.
- (2) 燃焼帯でダストを生ずるが, 上部のグリーンペレットがフィルターの働きをする.
- (3) 装入層中で同時に焼成の全過程が行える.
- (4) 上向通風により装入層が半流動状態となり, 通風を良好にする.
- (5) 火格子の損傷が少ない.

この結果にもとづき Marquette Iron Mining Co. が Eagle Mill に日産 2,000 t の工場を建設し, 1956年9月から操業を開始した.

第11図にこの炉の概略を示したが, グリーンペレットは4個のフライングソーサーで作られ, 同時に石炭のコーティングも受ける. 篩別し硬化したペレットを火格子の上に 100mm の厚さに敷



第11図 上向通風焼成炉の概略

- 1: 加熱したペレット
- 2: 点火用石炭
- 3: 点火帯
- 4: 燃焼帯
- 5: 冷却帯
- 6: 製品排出
- 7: 空気吸引口
- 8: 下向通風

いて点火層とし, 点火用の火をこの層の上に予め定めた高さに拵げてからゆつくり下向通風をかけ, 点火層を白熱せしめ, 上向通風になつたときに第1のソーサーからペレットを点火層上に 200 mm の厚さに装入する. すると点火層に保有されている熱は装入されたグリーンペレットの層に移り石炭を点火する. 硬化帯がこの層の上部に近づくとき, 第2のソーサーからのグリーンペレットを再び 200 mm の厚さまで装入する. このようにして 800 mm の高さまで装入し, 全装入

層が硬化したとき空気を増して加熱を完了させ, 排ガスは再び燃焼に利用し, 最後に下向通風で冷却する. かくして炉の能力は増大するが, 装入設備が複雑になる欠点を有する.

ハ) 下向通風炉 (冷却のみ上向通風) ドイツでは, 鉍石事情からスウェーデンやアメリカのように, マグネタイト精鉍を主とした処理を行うことができず, 造粒はディスク, 焼成は下向通風炉で行う Lurgi 法を案出した³⁶⁾.

この焼成炉は第12図に示すごとく上向通風で冷却を行い, このガスを乾燥及び燃焼に利用するようになってい. 上向通風で冷却すると, 火格子がまず冷却され, 次いでその上部の層が冷

35) Violetta, D.C.: J. Metals. 10 (1958), 118.

36) Meyer, K. and H. Rausch: J. Metal. 10 (1958), 129.

却されるので、火格子の損傷が少く、加熱されたペレットも強度を保ち易くなり、冷却速度も増加する。またこの炉は、温度調節が容易なことで焼成するときのガス雰囲気を変えられるという理由から、油またはガスを燃料とし、石炭のコーティングをしない。製品は高い酸化度のものが常に得られた。

この **Lurgi** 法によつて、鉱種の別なく良好なペレットが得られたと報告されている。

(iii) シャフト炉と火格子炉の比較

シャフト炉は火格子炉に比して熱効率が優れているが、加熱が不均一になり装入物が粘着し易い欠点を有す。

一方火格子炉には、次のごとき長所及び短所がある。

長 所

- ① 操業が単純で、その管理が容易である。
- ② 焼成中ペレットは比較的浅い床に安定して置かれ、余り荷重を受けないので、破損を最小にできる。
- ③ 焼成ペレットは、破損することなく容易に排出できる。
- ④ 廃ガス保有熱の回収によつて熱効率を高め得る。

短 所

- ① 火格子の補修費が高い（現在は相当低い）。
- ② シャフト炉に比し、燃料コストが高い。
- ③ 炉の側面に過剰の空気が流れるので、この部分のペレットの性質が劣る。

シャフト炉、火格子炉の何れが優れているかは、なお大規模工場における数年の操業結果によらなければならないが、新設工場の大部分は火格子炉による焼成を採用している。

d) 添加剤の影響

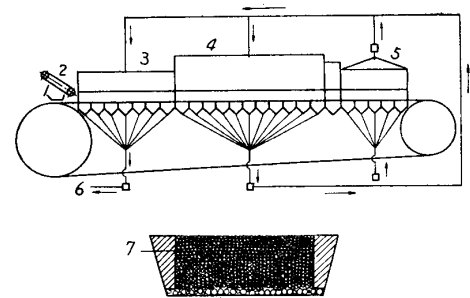
ペレットが高炉原料としての価値を有するためには、ある標準値以上の性質をもつていなければならない。このため種々の添加剤が試みられている。

Ilmoni, Uggla³⁷⁾ は高品位の **Malmberget** 精鉄 (99% Fe_3O_4) に種々の添加剤を加えてペレットの性質を研究した。その結果を第4表に示す。

イ) ベントナイト ベントナイトは、価格が安価なこと、その効果が大きいことのため広く用いられている。添加量は 0.5% までで充分で、この添加によつて、グリーンペレット、乾燥ペレット、焼成ペレットの耐圧強度は向上し、ショック温度も高くなつた。しかし、ベントナイトの効果は含有する Al_2O_3 によるもので第13図のごとく³⁹⁾ 高温ほどその効果が大きい³⁸⁾。

ロ) 生石灰 CaO の添加は安価なことと、自溶性の問題とも関連して、高炉で使用したときに真の価値が生れる。

CaO の添加によつて、グリーンペレットの落下強度、乾燥ペレットの耐圧強度は増加し、焼成ペレットの強度も CaO 量の増加に比例して増加した。しかし CaO の焼成ペレット強度に及ぼす効果は、焼成温度によつてかなりの相違があり、これは顕微鏡検査の結果、生成される鉄物組成によることがわかつた^{40), 41)}。ヘマタイト精鉄に CaO を添加しても、焼成温度が $1,000^\circ\text{C}$ 以上になると亀裂を生じ効果がなかつた⁴⁰⁾。



第12図 下向通風焼成炉の概略
(Lurgi 式)

- | | |
|-------------|---------|
| 1: 床敷き装入機 | 2: フィダー |
| 3: 乾燥帯 | 4: 燃焼帯 |
| 5: 冷却帯 | 6: 廃ガス |
| 7: グリーンペレット | |

37) Ilmoni, P.A. and J. Uggla: Unpublished Work. ref 6).

38) 吉井周雄: 学振報告, 54 委-370, (1955).

39) Cooke, S.R.B. and T.E. Ban: Chem. Eng. Progress. 51 (1955), 364.

40) Cooke, S.R.B. and W.F. Stowasser: Mining Eng. 4 (1952), 1223.

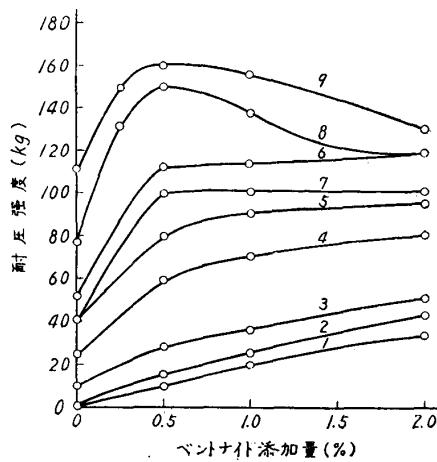
41) Pokhvisnev, A.N. and B.A. Savel'ev: Stali. (1958), 105

第4表 Malmberget ペレットに及ぼす添加剤の影響

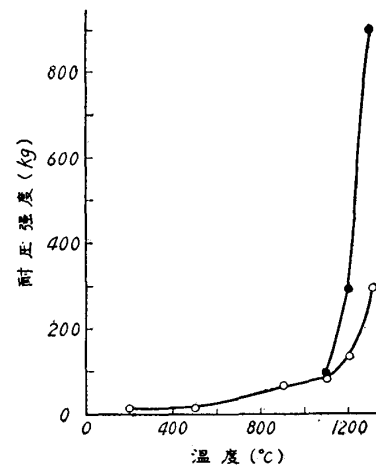
性 質	添 加 剤 なし		ベントナイト		CaO						NaCl	硼砂
	a	b	0.25 (%)	0.5 (%)	0.5 (%)	1.0 (%)	3.0 (%)	5.0 (%)	0.25 (%)	0.5 (%)	0.25 (%)	0.15 (%)
グリーンペレット; 水分 (%)	6.5	6.9	7.1	6.9	6.5	6.5	6.6	6.5	6.6	6.6	6.7	7.0
見掛け比重(g/cc)	3.59	3.52	3.54	3.47	3.53	3.55	3.49	3.37	3.56	3.57	3.55	3.52
気孔率 (%)	30.3	31.5	31.0	32.1	30.8	29.9	29.4	30.3	30.7	30.2	30.8	31.3
落下強度*(cm)	100	100	100	105	110	115	125	125	100	105	105	90
繰返し落下強度** (回数)	25	22	30	35	22	29	36	32	17	17	20	25
耐圧強度 (kg)	2.2	2.1	2.9	3.5	2.6	2.8	3.2	2.9	2.0	2.0	2.0	2.4
乾燥ペレット; 耐圧強度 (kg)	0.4	0.4	2.9	6.8	3.5	4.5	8.3	8.0	1.4	2.0	1.3	0.7
ショック温度*** (°C)	175	175	500	450	n.d.	n.d.	n.d.	350	350	350	+600	+600
焼成ペレット; 見掛け比重(g/cc)	3.97	3.95	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.0	3.9	3.95	3.92	n.d.
加熱時の収縮度 (%)	5.1	5.2	6.7	7.3	n.d.	n.d.	n.d.	13.6	45.3	5.4	5.2	5.7
耐圧強度 (kg)	1,130	1,520	1,750	1,970	1,260	1,770	1,930	2,310	1,250	1,250	1,650	1,475
還元時の強度 +10 mm (%)	89	90	83	96	94	99	91	99	94	93	19	20
+6 mm (%)	89	92	83	96	97	99	95	99	96	94	31	24
被還元性 50%還元時間 (min)	21	n.d.	n.d.	24	21	22	24	26	n.d.	19	20	n.d.
95%還元時間 (min)	85	n.d.	n.d.	90	120	95	96	98	n.d.	76	78	n.d.
還元時の容積変化(%)	+60	n.d.	n.d.	+33	-6	+8	-1	+9	n.d.	+18	+110	n.d.

n.d.: 測定せず.

- * 落下強度 一定の高さ(1m)から鉄板上に数回(3~4回)落下させて粒度で表示する方法と, 色々な高さから落下させ, ペレットがこわれなかつた高さで表示する方法がある.
- ** 繰返し落下強度 10 cm の高さから数回繰返し落下させ, ペレットがこわれなかつた回数で表示する.
- *** ショック温度 熱容量の大きい炉をある温度まで加熱し, この炉に1組10個以上のグリーンペレットを装入し, 装入したペレットが1個もこわれなときは更に温度を上げ, 別の1組のグリーンペレットを入れ, 数個のペレットがこわれるまでこの操作を繰返す. この時の温度をショック温度と称し, 急速加熱の抵抗度を示す.



第13図 ペレットの耐圧強度に及ぼすベントナイト添加量と加熱温度の影響
1: 200°C 2: 250°C 3: 400°C 4: 600°C
5: 700°C 6: 800°C 7: 900°C 8: 1,100°C
9: 1,200°C



第14図 ペレットの耐圧強度に及ぼす石灰石添加量と加熱温度の影響
●—●— 2.5%石灰石添加
○—○— 添加剤なし

ハ) 石灰石 Ban, Erck⁴²⁾ はヘマタイト精鉱に2.5%石灰石を添加した場合第14図に示すごとく、焼成温度1,100°C以上になると強度が著しく増加することを発見した。しかし石灰石の解離反応によつて、燃料消費は増加する。一方マグネタイト精鉱に石灰石を加えた場合は、ヘマタイト結合からスラグ結合に移行するためか、添加量の増加と共に強度は低下の傾向を示した⁴³⁾。

ニ) 塩化カルシウム CaCl₂ はスウェーデンで主に使用されている。0.5%添加しても、乾燥ペレット、焼成ペレットの強度には僅かに変化が見られ、ショック温度も幾分高くなるが、還元時の強度に著しい効果があるのが、他の添加剤と異つている。CaCl₂は可溶性なのであまり混合する必要はないが、塩酸を生じて炉壁を侵蝕する。

Ridgion等⁹⁾も第5表に示すような無機剤の添加試験を行つた。表中の添加剤は何れも水の表

第5表 Sierra leone ペレットに及ぼす添加剤の影響

添 加 剤	(%)	25 mm ペ レ ッ ト の 耐 圧 強 度		
		グリーンペレット (g)	急速乾燥ペレット (g)	1,300°C焼成ペレット (kg)
添 加 せ ず	—	1,000	300	675
NaOH	2	1,150	5,400	1,125
Na ₂ CO ₃	3	1,200	4,600	1,350
K ₂ CO ₃	3	750	1,500	—
CaCl ₂	3	800	2,000	900
MgCl ₂	3	1,300	4,000	315
MgSO ₄	3	750	2,700	—

面張力を高めるものであることは、グリーンペレットの生成機構にも関連し、興味深い問題である。

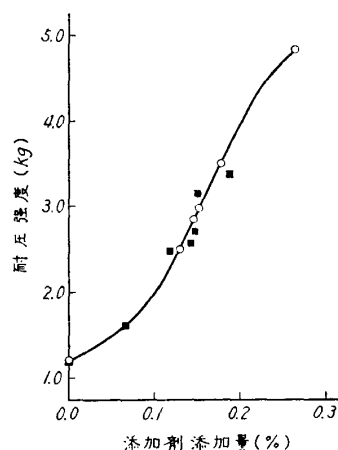
ホ) 食塩 NaCl 0.25%の添加によつて、種々の性質が向上したが、還元時の強度が低いのと、炉壁を侵蝕するので、あまり利用されていない。

ヘ) 硼砂 硼砂は食塩と大体同様の効果を示し、その効果は焼成温度に比例して大きくなつている⁴²⁾。

ト) Cooke, Ban の試み³⁹⁾ 添加剤は普通精鉱に加えるが、ペレットがある圧に耐えるには殻が硬ければ充分であること、添加量を少なくするという点から、添加剤でペレット表面をコーティングする方法が試みられた。この方法は、珪酸ナトリウムか澱粉の飽和溶液にマグネシアを懸濁させ、乾燥ボールに吹きつける。すると試薬は温いペレットの表面に層をなして付着し、皮は剥がれない。そして強度は第15図に示すように、添加量に比例して著しく増加する。この結果焼成ペレットの強度も増加し、被還元性も向上している。

チ) 固体燃料添加の影響 グリーンペレットの焼成に際し、固体燃料を加えて必要熱量の不足を補うことが多く行われている。

Tigerschiöld⁶⁾がスウェーデンのマグネタイト精鉱から作つたペレットで試験したところでは、COの燃焼の調節が困難な上、ペレット内部にCO₂を発生して亀裂の原因となり、局部的に還元雰囲気になるので、マグネタイトの酸化が遅れ、酸化度及び被還元性は低下の傾向を示した。ヘマタイト精鉱の場合も同様の現象はみられるが、不足熱量を加えるため是非加えなければならなかつた。



第15図 Cooke, Ban の試みによる耐圧強度と添加剤添加量の関係

○ 珪酸ソーダ ■ 澱粉

42) Ban, T.E. and L.J. Erck : Mining Eng. 5 (1953), 803.

43) 吉井周雄 : 学振報告, 54 委-424 (1956).

固体燃料の添加方法には2種類があり、内部に加える場合と、表面をコーティングする場合である。Tigerschiöldの実験は内部に添加した場合で、この場合は組織、強度の点で満足出来ず、酸化した外殻と還元した核の二重構造⁴⁴⁾になるので、ヘマタイト結合のペレットより強度が下がり、還元も困難になる⁴³⁾。表面をコーティングすると、内部までその影響が及ばず、良好なペレットが得られた。

e) ペレット焼結法

焼結法とペレタイジング法は、原料の粒度の面で明瞭に区分されている。この両者の長所を合わせて考えられたのが、ペレット焼結法である。

粒度分布の広い焼結原料に適当な水分を加え、ボーリングドラムまたはディスクで予備処理して焼結機に装入すると、装入層の気孔率が向上し、通気性もよくなるので、焼結の能率が高くなることが、実験により確かめられた^{45),46)}。

このときのペレットは、比較的小粒のため製造も容易で、ペレット焼結作業の成否は、グリーンペレットの粒度、燃料添加量、水分添加量により、製品は、高炉使用に充分耐える性質をもつていた⁴⁷⁾。

Oberhausen ではこの処理法を **Hartschaumverfahren** と称し、種々の鉱石について試験を行つたが、造粒処理によつて焼結時間が大幅に短縮され、燃料消費量も減少することが明らかになつた。また高炉試験の結果、ダスト発生量が著しく減少し、**Hartschaum sinter** は高炉の熔解帯の近くまでその形状を保ち、出銑能力が著しく向上した⁴⁸⁾と報告している。

National Steel Corp. が Weirton に 1955 年に建設した焼結工場も、ペレット焼結法を採用し、焼結困難といわれた褐鉄鉱の焼結に成功した⁴⁹⁾。

ペレット焼結法は焼結機えの全装入原料を造粒するので、造粒機を多数設置しなければならない。本邦では、硫酸滓、高炉灰等の微粉原料を 5mm 前後の小粒とし、他の焼結原料と混合して焼結するセミペレット焼結法が、試験されている^{50)~52)}。セミペレット配合量が増加すると、通気性は改善され、焼結時間は短縮し、成品の強度が向上するので、歩留及び生産量が増加する。

この方法は、セミペレットの粒度範囲にそれほどの制限がなく、ペレット焼結法に比較して手軽な方法なので、広く採用されると考えられる。

4. ペレットと高炉操業

ペレットの高炉での成績に関するデータはあまり公表されていない。しかし、従来高炉装入原料の塊成法として広く利用されている焼結法とペレタイジング法との比較を第6表に示したが、ペレットの物理化学的性質が、焼結鉱の性質より優れていることが明らかである^{53),17)}。

ペレットを高炉原料として使用した場合に、高炉操業が如何に改善されるかは、ペレットとおきかえられるべき鉱石の品質によつて支配される。一例を示すと、平均 50% Fe の Lake Superior 鉱石の50%を、62~64% Fe の Taconite ペレットにかえると、鉱滓量は銑鉄 t 当り約 100kg 減ずる。そして銑鉄 t 当り 40~50kg のコークスが節約される。更に装入物中の50%を占める均一な粒度のペレットによる良好な熱交換のため、更にコークスが節約され、良好な還

44) 中村信夫, 佐藤 豊: 鉄鋼, 43 (1957), 619.

45) Halowaty, M.O. and J.F. Elliot: Blast Furnace Coke Oven Raw Materials. 14 (1955), 26, 43.

46) Weilandt, B. und W. Storsberg: Stahl u. Eisen. 76 (1956), 870.

47) Hamilton, F.M. and H.F. Ameen: Blast Furnace Coke Oven Raw Materials. 14 (1955), 82.

48) Bogdanly, L. und R. Schmolck: Stahl u. Eisen. 77 (1957), 685.

49) Strassburger, J.H.: J. Metals. 8 (1956), 840.

50) 舟田四郎, 齋藤 剛: 鉄鋼, 43 (1957), 880; 学振報告, 54 委-452 (1957).

51) 学振報告, 54 委-471 (1957).

52) 芹沢正雄, 小田部精一, 高橋愛和, 宮川一男: 鉄鋼, 44 (1958), 286.

53) 高野 広: 鋼管技報, No. 11 (1958), 52.

元性と装入物中のガス流の均一性によつて、ソリューションロスも減少する。良好な熱伝導とソリューションロスの減少によるコークスの節約は、鉱滓量の減少によるコークスの節約と略々等

第6表 ペレタイジング法と焼結法との比較

	ペレタイジング法	焼結法
I. 原料粒度	-325mesh が程度必要, 残り 30% は多少粗いものでも使用可能	max, 15mm~min, 1/mm 但し -200 mesh を 10~20% 混合使用可能 註: 最近では微粉をペレット化して装入する装置が設けられつつある。
II. 燃料	(イ) ガス(コークス炉ガス, 天然ガス) 重油……………外部加熱用 (ロ) 石炭, コークス(原料に混合又はコーティング)	(イ) ガス(点火用) (ロ) コークス, 石炭(原料に混合)
III. 添加剤	結合剤 CaO, CaCl ₂ , 澱粉, ベントナイト等	自熔性剤 CaO, CaCO ₃ , 平炉滓
IV. 設備		
A. 原料関係	シックナー ボールミル 真空濾過機 混合機 造粒機	混合機
B. 焼成炉	(1) シャフト炉 (2) 移動火格子炉 (上向通風, 上向下向通風, 下向通風) 最大工場 (E.W. Davis 工場) 6'8"×168'×6 系列 100t/時 350万t/年	焼結機 最大工場 現存のもの 12'×168' (Black Wellzinc Co.) 計画中のもの 25m×90m (Lurgi A.G.) 8'3"×200'×3 基 (Gary Work 及び Saxomberg) 5,000t/日 500万t/年
C. 附属設備	冷却装置(成品)	冷却装置, 余熱ボイラー, ダストキャッチャー
D. 修理費	低い	高い
V. 成品及び原単位		
A. 製品	(1) 大きさ シャフト炉 18mm 移動火格子炉 9~15mm (2) 気孔率 30~40% (但し毛管気孔が多い) (3) 被還元性 よい	9mm 以上 50~60% (大きな気孔がある) ペレットより劣る。
B. 生産量	日本 360t/日 米国 1,000万t/年 (1957) 近い将来 2,000万~3,000万t	日本 360万t/年 米国 6,000万t/年
C. 燃料原単位	シャフト炉(ペレットt当り) 15×10 ⁴ kcal 移動火格子炉 42×10 ⁴ kcal	Dwight-Lloyd (焼結鉄t当り) 45×10 ⁴ kcal
D. コスト	成品t当り 1弗	2弗

しく、合計して10~20%のコークスが節約され、ペレットの性質が良好なため、出鉄量は15~20%増加した¹³⁾。

Reckmann 等⁵⁴⁾ はスウェーデン精鉄で作ったペレットを高炉装入物に配合して試験を行つたが、還元速度が大で炉頂温度が低下し、コークス消費量も減少することがわかつた。

5. 結 言

最近の世界的傾向として、粉鉄処理に注意が向けられ、自熔性焼結鉄の製造、低炉製鉄法の利

54) Reckmann, R. und W. Misch: Stahl u. Eisen. 78 (1958), 21.

用に, H-アイアン法, サイクロスチール法, **Orcarb Process** など枚挙にいとまがない。

新らしく高炉を増設して, 銑鉄需要の増加に応ずるより, 装入原料を予備処理して高炉作業の合理化を計つた方が安価なため, 鉄鉱石の予備処理の占める位置が高くなり, その新設増設の計画が活潑に行われている。

ペレタイジング法の技術は焼結法と異り, 歴史が浅く, 今後更に大きく発展してゆくものと考えられるが, この両者は原料の分野から両立して発展し, その何れを捨てることも出来ないし, 最近のペレット焼結法のごとき, 両者の長所を合わせ更にすぐれた処理法も一考の余地あるものと考えられる。