

3. 焼結鉍製造方法の進歩

焼結法は粉鉍の塊状化方法として今日最も広く採用されている方法である。焼結方式が採用された当初は単に粉鉍を塊状化するという単純な目的であつた。したがつて焼結鉍も熔融型ガラス質状のものでフェアライトが多く還元性も悪く一般塊状鉍石に比して必ずしも高炉原料としての優位性はなかつた。

しかし最近における焼結技術の進歩は設備の大型化による連続大量生産方式とあいまつて焼結鉍は高炉原料の主体となつてきた。すなわち焼結過程における有害成分の除去、酸化度、気孔率、強度の向上による還元性の向上、さらに自溶性焼結鉍の発展とあいまつて焼結設備は高炉にとって不可欠の存在となつた。

さらに最近における鉍石の整粒による予備処理の進歩はそれによつて生ずる篩下の粉鉍を処理する必要に迫られた。焼結設備はこれらの粉鉍あるいは選鉍処理により生ずる粉鉍の処理手段としてもきわめて重要な意義をもつにいたり、鉍石の整粒化と焼結鉍の品質向上および高配合は、高炉の生産性向上の重要な原動力となつている。

3.1 自溶性焼結鉍の製造

粉鉍処理という単純な目的で出発した焼結技術はその後鉍石の篩分が強化されるとともに、その際発生する多量の篩下粉鉍の処理という面で、鉍石予備処理の重要な手段となつて来た。したがつて高炉における焼結鉍の配合割合は年々増加し、昭和30年には45%に達し昭和36年には実に55%に達した。

このように焼結鉍が高炉原料の主力となるに伴ない、人工鉍石としての焼結鉍の品質改善が重要な問題として採り上げられるにいたつた。高炉原料としての適性は酸化度、強度、気孔率、鉄分、還元性、などがあげられる。

すなわち酸化度は出来るだけ高い方が被還元性は良好であり、また同時に微細気孔率も大きい、いわゆる拡散型焼結鉍は高炉原料としても良好なものである。また一方高炉原料としての焼結鉍は落下強度とともに、耐圧強度を要求される。この強度を上げようとすれば、粉コークスを多量に使用して高温で焼結せねばならぬので、どうしても熔融型焼結鉍となりやすく、気孔率も低下することになる。しかもこの場合には焼結鉍の鉍物学的組成からみると、焼結過程において生じたFeOがSiO₂と化合して、フェアライトなどの難還元性化合物を生ずる。

このように焼結鉍を生産するときには以上のような矛盾する要素を克服してその特性をできるだけ生かすことが焼結技術に要求されているのである。しかし従来の焼結鉍ではこの要求を満足することはなかなか困難であつた。この問題に解決を与えたものが自溶性焼結鉍である。

自溶性焼結鉍の前身ともいべき石灰添加焼結鉍(石灰石粉約5%、塩基度約0.6)は、昭和30年中頃より量産にうつされ高炉に使用されたが、その効果は十分確認されていながつた。昭和32年にいたり本格的な自溶性焼結鉍の試作と、100%装入による高炉操業試験が行われ、その結果はコークス比の大巾な低下(約100kg)という画期的な成果となり、その後量産体制移行のため検討が行われ昭和33年頃より全面的な量産と、高炉への使用が逐次開始されるにいたつた。

現在ではわが国の製鉄所は特殊の場合を除きすべて自溶性焼結鉍の生産に切り替わつている。

3.1.1 自溶性焼結鉍の製造技術の概況

主要各所の製造の状況は次のとおりである。

(1) 八幡・洞岡

第11、12回部会における報告によれば、昭和33年5月から洞岡DL工場で石灰石5~10%配合の自溶性焼結鉍の製造を開始した。石灰石5%配合時の操業は普通焼結と何ら変わりなく操業されるが、配10%合時においては所要の粒度の確保、塩基度の管理などが問題となつてくる。

自溶性焼結鉍の粒度は普通焼結に比して明らかに低下しているが、細粒(-5mm)部分はむしろ減少している。強度はほとんど変わらない。全体的に見て石灰焼結の物理的性質は、普通焼結とほとんど変わらない結果を得ている。生産量は石灰石5~10%配合により4~6.5%増加し、生産性の向上が見られている。

a. 操業条件

コークス配合量は本来ならば石灰石の分解熱に相当するコークスを増量しなければならぬが、実際には若干の増量に止つている。層高は普通焼結の場合270mmで操業されているが、自溶性焼結鉍の場合には赤熱層の降下速度の増加を見込んで290~310mmで操業されている。成品の物理的性質の低下は避けられないので、原料の配合管理、篩分の強化を計つている。

b. 石灰石

石灰石は 3mm 以下に破碎使用する。粒度分布は表 3・1 のとおりである。

表 3・1 石灰石粒度分布 (%)

+10mm	~5	~3	~1	~65 メッシュ	~100	~200	-200	平均粒度
0	0	4	33	29	9	15	10	1.1mm

石灰石の整粒工程は、図 3・1 に示すとおりである。

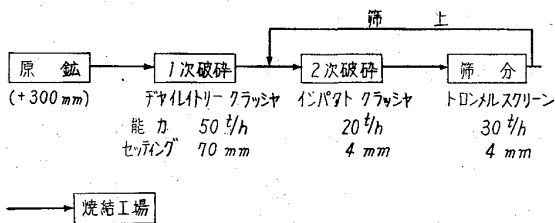


図 3・1 石灰石の整粒工程

c. 層高, パレット速度, 焼結速度

層高, パレット速度, 焼結速度を表 3・2 に示す。

表 3・2 層高, パレット速度, 焼結速度の比較

石灰石 (%)	層 高 (mm)		パレット速度 (m/mn)		焼 結 速 度 (m/mn)	
	1号DL	2号DL	1号DL	2号DL	1号DL	2号DL
0	290	280	1.80	2.20	18	16
5	295	300	1.86	2.13	19	16
10	290	310	1.75	2.00	17	18

(註)： 焼結速度 = 層高 × パレット速度 / ストランドの有効長さ

層高が 1号DL では石灰石配合後も変化していないのは石灰石配合時にシール・バーの不良により漏風が増加したための作業条件の異常のためで、実際は層高は 2号DL のような傾向を示すべきである。パレット速度は自溶性焼結鉱の場合、粉率の低下、品質向上をねらって極力抑えて操業されている。したがって焼結速度は石灰配合によつて見掛上いくらか増加したに過ぎないが、実際には普通焼結の場合最終ウインド・ボックスで、かなりの赤熱層を残して排鉱していたのを自溶性焼結時には十分焼成した後、排鉱するようにした。したがって焼結の進行は実質的にはかなり早くなっている。

(2) 住金・小倉

石灰添加焼結鉱 (石灰石約 5%, 塩基度 0.6) の生産は、昭和30年 6月頃より行なわれたが、自溶性焼結鉱の量産に移行したのは昭和33年 3月からである。

a. 石灰石とコークス配合が生産諸要素におよぼす影響

(i) 石灰石添加量を一定にしてコークス量を変えた場合

成品落下強度はコークス量を増すにしたがつて大となり、+10mm 歩留についてはコークス使用量 3~5% において焼けもよくコークスを 3% 以上増しても意味がない。

焼結歩留はコークス添加量が増すと若干低下の傾向を示す。焼結時間についてはコークス 2% では焼けが悪くて時間を要し、3% が最も早く、4~5% では少し時間が長くなる。また脱硫率については添加石灰石量によるが、コークス量を 5% に増すと脱硫率は低下する。この傾向は 15% 石灰石の場合とくにいちじるしい。酸化度はコークス量が増すにしたがつて低下の傾向にある。

以上のように自溶性焼結鉱においてはコークス添加量が生産諸要素に大きく影響することがわかる。

(ii) コークス添加量を一定にして石灰石添加量を変えた場合

a. 石灰石量を増すと落下強度は低下の傾向を示し、+10mm 歩留は少し低下の傾向を示す。また石灰石が多くなれば当然焼結歩留は若干低下し、石灰石 15% コークス 4% の場合は 92% となつた。焼結時間については石灰石量を増すと、少し早くなる傾向を示す。また脱硫率は石灰石添加量の増加とともに低下する。とくにコークス 5% の場合はその傾向がいちじるしい。酸化度は石灰石量を増すとともにわずかではあるが向上する。

b. 製造上の管理ポイント

(i) コークス添加量の変動が焼結速度および成品強度に大きく影響するので、コークス添加量の管理は重要である。

(ii) コークス粒度は +5mm の粗いものはさけ、3mm 以下で 1mm 以下 60~70% が適当である。したがってコークス破碎粒度に留意すべきである。

(iii) 石灰石粒度はなるべく細粒のものがよく、-4mm が好ましい。石灰石が粗いと反応性が悪く、そのまま成品中に残る。

(3) 富士・広畑

富士広畑においては硫酸滓の配合比が多いので、成品強度、粒度の低下の関係で石灰石の添加に問題があつたが、33年 12月より石灰石、平炉滓の添加を行なつている。

石灰石6%添加または石灰石6%平炉滓5%添加したものは、普通のものに比し焼結時間は10~12%短縮されている。

通気度と生産量との関係より解析すると歩留の低下と焼結時間の短縮とが相殺して、1日の生産量は余り変わらない。

石灰石または平炉滓添加により、強度が4~6%低下している。

(4) 尼崎製鉄

昭和33年4月以降石灰焼結鉍を製造し、同年11月より全面的に自溶性焼結鉍の生産に移行した。

尼鉄においては硫酸滓が原料として60%以上使用されているのが特異な点である。その原料配合と生産諸要素を比較すると、表3.3のとおりである。

表 3.3 普通焼結と自溶性焼結との比較

	原料配合(%)			普通	自溶性
	普通	自溶性		焼結	焼結
			生産量 (t/h)	16.8	18.1
			層厚 (mm)	290	300
			焼結時間 (mn)	17.3	14.4
			成品歩留 (%)	73.9	69.7
			配合水分 (%)	14.4	13.0
			C ガス (m ³)	8.1	7.8
			コークス (kg)	56.2	65.1
脱銅焼鉍	69.2	64.5			
ガス灰	6.0	3.9			
スケール	8.6	7.3			
外地混合鉍	16.2	13.1			
石灰石粉	—	11.2			

(5) 中山製鋼

昭和33年11月より石灰添加焼結鉍の量産を行つている。製造上特に着目している点は、石灰石および粉コークスの粒度である。焼結鉍の強度と歩留におよぼす影響については表3.4、3.5のような結果が得られた。

表 3.4 コークス配合, 石灰石粒度と焼結鉍の強度(%)

コークス配合 %	石灰石粒度 -1 mm	石灰石粒度 -6 mm
2.5	50	44
3.0	66	59
3.5	70	65
4.0	73	67
4.5	72	70
5.0	75	66

表 3.5 コークス配合, 石灰石粒度と焼結鉍の歩留(%)

コークス配合 %	石灰石粒度 -1 mm	石灰石粒度 -6 mm
2.5	34	36
3.0	53	42
3.5	61	60
4.0	63	63
4.5	67	64
5.0	69	63

すなわち強度は石灰石の粒度とコークス配合の両者と相関があるが歩留は石灰石粒度とは相関なくコークス配合と相関がある。

(6) 鋼管・川崎

昭和33年2月より石灰石添加5%焼結鉍の製造を始め、34年2月以降自溶性焼結鉍の量産に移行している。製造上の主要点は次のとおりである。

a. 生産能率

自溶性焼結鉍の生産により通気度の向上と焼結時間の短縮がみられた。したがって成品粒度を改善するため、スクリーンの篩目を大にし返鉍が増加したが、装入厚を増加することが可能となり、結果として成品粒度の改善(粉率低下)と能率の若干の向上が認められた。

b. コークス原単位, 脱硫率

石灰石の配合により石灰石の分解反応のため、コークス原単位の上昇が予想されたが、粉コークスの微細化による燃焼性の向上により、コークス原単位はほとんど変わらない。また脱硫率は石灰石5%で96%であつたが、石灰石10%で90%に低下した。

c. 塩基度の管理

自溶性焼結鉍の塩基度の変動は高炉操業におよぼす影響が大きいため次のような管理方式を確立している。

- (i) 外地鉍の成分をチェックし、外地鉍の銘柄変更ごとに石灰石の配合計算を行なう。
- (ii) 塩基度の管理目標は、目標値 ± 0.10 とし、外れた場合は直ちに処置をとる。
- (iii) 成品分析回数を1日1回より3回に増加し、検出力を高めた。

(7) 富士・釜石

昭和33年7月より5%石灰石焼結鉍の製造を開始し、34年6月からさらに高配合の焼結試験生産を行なつている。工場実験計画は、石灰石配合0.5, 10, 15%の4段階に分け、原燃料条件を一定として行なつた。その結果を表3.6、図3.2、3.3に示す。

表 3.6 石灰石配合と焼結性との関係

石灰石配合 (%)	焼結時間 (mn)	焼結進行速度 (mm/mn)	ベッド表面風速・点火後 (15mm/mn)	層厚 mm
0	26.5	12.6	26.4	333.0
5	23.6	14.3	34.8	337.8
10	20.9	16.0	34.2	333.5
15	20.6	16.2	33.6	334.0

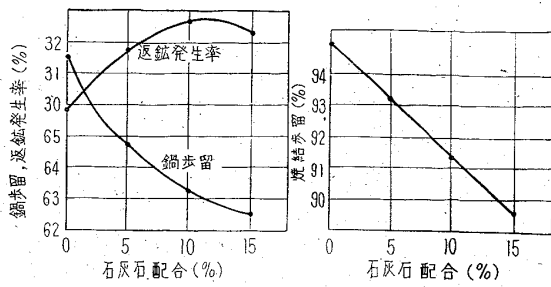


図 3.2 石灰石配合割合の鍋歩留におよぼす影響

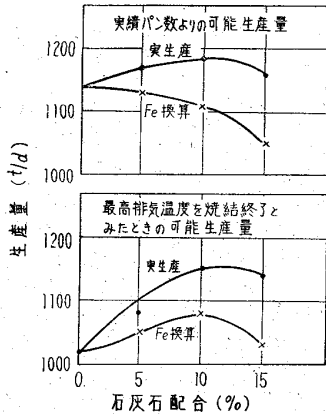


図 3.3 稼働率 97% 時の可能生産量

a. 石灰石配合割合の焼結鉄の物理的性質におよぼす影響

(i) 粒度組成

石灰石配合を増しても粉率は上昇しない。これは石灰石配合割合をますと軟い焼結鉄になり、粉が多く発生する。しかし篩分の強化により、返鉄の増大はあるが、粉率はほぼ一定におさえられることを示している。75mm 以上の塊率は石灰増とともに低下し、高炉にとってはむしろよい結果をあたえようと考えられる。

(ii) 落下強度

+10mm 指数では 0% 石灰石配合のものに比して石灰焼結の方が若干低くなっているが、+5mm 指数では有意差がない。これは石灰石配合を増した場合、外見上は非常に軟くなっているが、落下強度は低下しないこと。特に 5mm 以上に碎けることがないという点に興味がある。

(iii) 気孔率

SK 気孔率について調査した結果、石灰石添加焼結鉄は一般に気孔率が高いが、石灰石を増加してもそれともなつて気孔率が大きくなるという傾向は示さない。

(8) 富士・室蘭

自溶性化の溶剤として石灰石、生石灰、ドロマイトに

よる製造をおこない、その結果を検討している。

a. 脱硫率は一般に低下する。その低下の割合は生石灰の場合は直線的に低下し、生石灰 1% につき脱硫率 2% の低下となつている。石灰石の場合は 15% まで直線的に低下し、石灰石 1% につき脱硫率 1.7% の低下となつているが、それ以上は低下がゆるやかである。ドロマイトの場合は脱硫率の低下は少なく 5% 添加では低下しない。

b. 成品歩留については石灰石添加量 15% までは有利であり、これ以上は急激に低下する。生石灰は添加量の増すほど歩留は向上する。ドロマイトの場合はあまり明瞭な変化はない。

c. 成品粒度については石灰石 15% までは大巾に向上するが、20% となると急激に悪化し、添加しない場合より悪い。生石灰、ドロマイトは添加により若干の向上が認められた。

d. 落下強度の場合石灰石 10% までは向上するが、15% をこえると急激に低下する。生石灰は 5~10% で若干低下するが 10% 以上では明らかに向上する。ドロマイト添加の効果は明瞭でない。

e. 生産率については成品歩留と同様な傾向を示している。

(9) 神鋼・神戸

昭和34年5月から石灰石添加を開始し、逐次塩基度を高めて自溶性化の方向に進んだ。昭和35年以降は塩基度 1.2~1.3 の自溶性焼結鉄の生産を続けている。

a. 還元性

普通焼結鉄の還元性は磁鉄鉱のみであり、自溶性焼結鉄の場合は赤鉄鉱に近く約 30% の向上を示している。そしていずれの場合も FeO の減少は還元率の向上をもたらす。塩基度の上昇は FeO の減少すなわち還元性の向上をもたらしている。

b. 落下強度

原料中の FeO (11~15% の範囲) および塩基度は落下強度にあまり影響しない結果が得られている。返鉄の減少、鉄滓量の増加は強度を向上させる。コークス配合比は 3.4% までは強度と正相関にあるが、それ以上は明瞭な相関を示さない。

3.1.2 自溶性焼結鉄製造上の問題点

自溶性焼結鉄については石灰石の添加による通気性の改善が生産性の向上をもたらしている。またこれを高炉に使用した場合は還元性の向上、解離熱量の減少によるコークス比の低下、高炉能率の向上がみられたが、一方において製造上種々の問題点を生じている。その主要な

ものについて述べることにする。

(1) 塩基度の管理

自溶性焼結鉄の場合高炉における配合比率の増加と、焼結鉄自体の塩基度の増加（石灰添加量の増加）は高炉における鉄滓塩基度の管理調整を困難にするので、焼結鉄自体の塩基度の安定は極めて重要な問題である。管理基準としては目標値 ± 0.10 が理想的であるが、少なくとも ± 0.10 以内のバラッキに管理する必要がある。この対策としては

- 焼結成品の分析回数の増加による検出力の強化
- 配合原料の成分（特に CaO , SiO_2 ）の確実な事前把握
- 精度の高い切出配合装置（自動定量）による配合管理の強化

などが実施され、それぞれ効果をあげている。

(2) 強度および粒度条件の維持

石灰石添加による焼結成品の強度については原燃料条件により必ずしも明瞭な関係は得られないが、一般に石灰石添加量の増加にともない成品強度は低下の傾向にある。したがって粒度条件の悪化も考えられるが、粒度については10mm以下の粉率は増大するが、5mm以下についてはあまり増加せず、また大塊率の減少により整粒の傾向が認められる。強度維持のための対策としては

- 粉コークスの粒度を小さくし（ -3mm ）適当に増量する。ただし4%以上の配合はむしろ強度を低下させる傾向がある。
- 硫酸滓等の成品強度に悪影響のある銘柄の使用を減らす。
- 返鉄の減少、鉄滓量（ $\text{CaO} + \text{SiO}_2$ ）の増加をはかる。
- 石灰石の粒度は3mm以下を目標とする。粗粒の場合は強度が低下する。

3.2 焼結鉄の品質および生産性向上に関する方策および各種試験

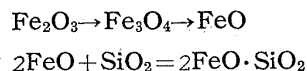
最近における焼結鉄の使用割合の増加は、その品質の良否が直接高炉の成績を大きく左右するので、焼結技術は製鉄技術に密着して発展して来た。すなわち焼結技術の目的はただ単に粉鉄を塊成することより一歩前進してどのようにすれば高炉原料としてより適性のものが得られるかに焦点が移行している。この観点から高炉原料としての焼結鉄は酸化度、強度、気孔率、鉄分、還元性、鉄物学的組成等の品質特性の優れたものであることが必要である。

酸化度；酸化度の高い焼結鉄は還元性が良好である。これはヘマタイトの還元により生成される二次のウースタイトの還元性による所が大きい。また酸化度が高いことは被還元性の悪いフェライトの存在の減少を意味する。高度の酸化度は従来の素朴な強度のみに主体をおいた熔融型焼結鉄からは得られない。

強度；高炉原料としての焼結鉄は適度の強度を要求される。この強度は耐圧・強度と耐衝撃強度を包むもので、輸送装入途上の落差の大きい場合、問題である。しかしながら強度のみに重点を置き焼結温度を高くして熔融型に移行した場合は、酸化度の低下すなわち被還元性の低下を来す。このように強度と還元性は普通の焼結過程ではあい反する要素であり、この両者の調和は焼結技術上の重要な問題である。

気孔率；高炉内の還元はガス還元が主体であるので、還元ガスとの接触面積および還元ガスの浸透性からして気孔率は被還元性および還元速度の向上に重要である。特に微細気孔率が重要な要素である。

化学的結合組成；焼結鉄が一般の原鉄石とことなる大きな特性として、その化学的結合組成を人為的に調節できる点があげられる。たとえば従来の熔融型焼結鉄においては次のような反応過程が行なわれた。



このため被還元性の極めて悪いフェライトを生成し、高炉原料としての価値を低下せしめたが、これらは焼結反応と原料条件を適当に調節することによりある程度、場合によつては完全に阻止することができるのである。

一般に焼結の生産性は装入密度、焼結歩留および焼結時間によつて次式のように示すことができる。

$$\text{焼結生産性} = (\text{装入密度} \times \text{焼結歩留}) / \text{焼結時間}$$

以前高炉においては塊鉄石の粒度条件は十分管理されておらず、また、焼結機は粉原料を単に塊成するのが目的であつた時期においては、焼結生産性はあまり重要視されなかつた。しかし最近にいたり高炉装入原料の粒度管理が強化され、原鉄石はすべて破碎と篩分によるいわゆる整粒が行なわれるにいたつた。その結果として整粒過程において発生する粉鉄は、処理量の25~50%におよび、これを焼結するためにも焼結機を生産性の向上は、原料対策上重要な問題となつて来ている。また焼結鉄の品質向上は高炉原料としての比重を大きくし、この面からも生産性の向上が望まれる。

焼結生産性の向上については設備上の問題、原料上の

問題、焼結技術上の問題があるが、上記3要素については次の主要素が考えられる。

- 装入密度；原料の物理的・化学的条件（主として粒度）、水分装入方法
- 焼結歩留；強度、原料の化学的組成、成品の粒度標準（篩分）
- 焼結時間；原料の化学的組成、装入原料層の通気性（粒度、水分）風量、装入量、燃料の種類および添加量、添加物（石灰石等）の種類および量

これらの要素は相互に関連があり、また排反的な性格をもつものもあるので一要素のみの面から論ずることはできない。また生産性と品質との関係も複雑であり、焼結技術はこれらを総合的に解析すべきものである。

以下焼結鉄の改善についての各種の方策、試験について述べることにする。

3.2.1 焼結原料と焼結鉄の品質との関係

(1) 褐鉄鉱と磁鉄鉱の配合比と焼結鉄の品質

富士・室蘭の試験結果を表3.7に示す。

表 3.7 褐鉄鉱と磁鉄鉱の配合比と焼結鉄の品質

褐鉄鉱 (%)	磁鉄鉱 (%)	返 鉄 (%)	成品歩留 (%)	強 度 (%)	脱硫率 (%)
70 (100)	0 (0)	30	29	51	87.4
56 (80)	14 (20)	30	44	57	90.3
42 (60)	28 (40)	30	55	62	93.6
28 (40)	42 (60)	30	67	69	93.5
14 (20)	56 (80)	30	79	75	92.5
0 (0)	70 (100)	30	83	80	90.0

この結果によれば次のようなことが言える。

- a. 磁鉄鉱配合比が高いほど落下強度は大きくなる。ただしコークス配合比は5%までは強度を高めるが、それ以上は効果がないか、逆に強度を低下させる傾向がある。
- b. コークスの添加を少なくし、磁鉄鉱の配合を増加することにより成品の FeO あるいは FeO (成品)/FeO (原料) は低下し焼結品質が改善される。
- c. FeO の増加にともなつて成品中の S も増加する。
- d. FeO より焼結鉄強度、歩留や S を管理し成品の品質を一定水準以上に調節するために処置をとる場合には純原料中の磁鉄鉱の配合比は40%以上が望まし

い。

(2) 磁鉄鉱と赤鉄鉱の焼結特性

神鋼・神戸において磁鉄鉱としてラップ、赤鉄鉱としてズングンを選び、返鉄なしの単味使用とし、水分5, 7, 9, 11%の4水準、粉コークス配合、3, 5, 7%の3水準、石灰石は0, 5, 10%の各配合として試験した結果強度に関しては図3.4, 図3.5に示した。

焼結鉄の落下強度、成品中の FeO および S におよぼす影響を述べることにする。

試験した結果、強度に関しては図3.4, 3.5に示した。

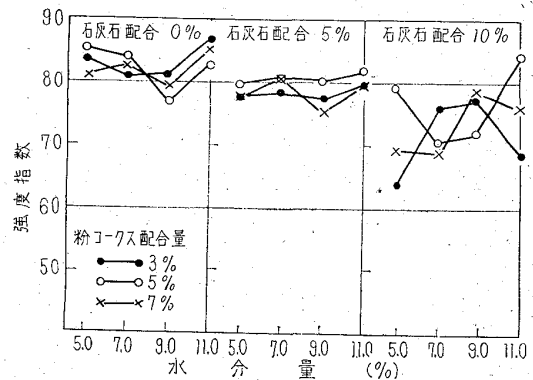


図 3.4 成品強度におよぼす焼結条件との関係 (ラップ鉄)

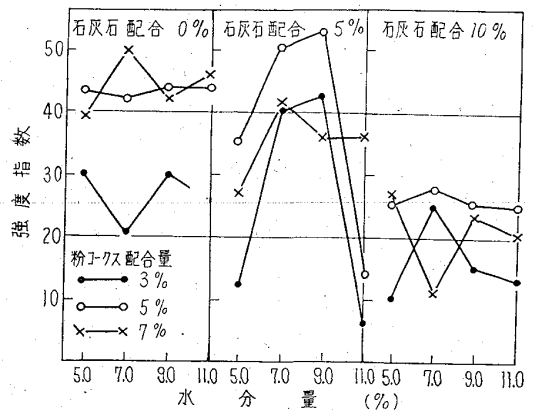


図 3.5 成品強度におよぼす焼結条件との関係 (ズングン鉄)

a. 成品強度

磁鉄鉱の場合、強度に関する最大の要因は石灰石の配合量で、その増加とともに強度は低下する。粉コークス配合量は3~7%の範囲ではほとんど関係がない。また水分量もほとんど影響がないが、石灰石配合量10%の場合には水分量が強度に相当影響するので、適正水分量を管理する必要がある。赤鉄鉱の場合、石灰石配合量、粉コークス配合量ともに大きく影響が認められる。すなわち、石灰石配合量が10%になると強度は急激に低下する。また粉コーク

表 3.8 標準配合の配合割合 (%)

ラップ鉄	ヅングン鉄	粗硫酸滓	微粉硫酸滓	砂 鉄	国内鉄	スケール	平均滓	返 鉄
20	15	20	15	15	5	5	5	全原料当り 25%

表 3.9 各原料の粒度, 飽和水分, 化学組成

	+ 5 mm	5~3 mm	3~1 mm	1~100 mesh	-100 mesh	飽和水分 (%)	FeO (%)	S (%)
ラップ鉄	28.4	17.3	26.4	20.3	6.6	13.4	23.4	1.89
ヅングン鉄	—	6.5	35.3	50.7	7.5	14.9	8.4	0.09
テキサダ鉄	—	—	—	38.6	61.4	13.8	26.5	0.39
粗 硫 粉	5.2	6.5	10.5	41.2	36.6	27.0	8.9	0.68
微 硫 粉	—	—	—	15.3	84.7	31.5	5.4	0.21
砂 鉄	—	—	—	25.3	74.7	14.6	30.1	0.15
標準配合	11.7	9.0	17.1	28.0	34.2	19.1	19.6	1.33
返 鉄	—	36.3	37.7	19.7	6.3	9.0	17.5	0.20

ス配合量が3%の場合は, かなり強度の低下が認められる。水分の影響は石灰石5%配合の場合, 水分5%および11%で強度が非常に低下する。また水分の影響は赤鉄鉄の場合は磁鉄鉄に比しその強度におよぼす影響が大きいので適正水分量の管理を強化しなければならない。

b. 成品中の FeO と脱硫率

ラップ鉄, ズングンともに粉コークス配合量の増加とともに成品中の FeO は増加する。石灰石配合量の影響はラップ鉄の場合はあまり認められないが, ズングン鉄の場合は配合量の増加とともに減少する傾向がある。石灰石0%の場合の FeO は平均27%であるが, 石灰石10%では20%以下に低下する。また水分量によつて FeO はかなり変動するが, 一定の傾向は認められない。

脱硫率については粉コークス配合量の増加にもなつていづれの場合も低下する。なお石灰石配合量の影響はラップ鉄では認められないが, ズングン鉄では石灰石配合量の増加もとに脱硫率は低下する傾向を示す。なお, 水分の影響も相当あるので脱硫率の向上には水分管理の適正化が必要である。焼結鉄中の FeO 含有量の増加は脱硫率の低下をもたらす。また石灰石配合の影響も含有量の増加にも増大している。

(3) 各種焼結原料の焼結特性

使用する原料の種類, 銘柄等によりそれぞれ操業法がことなり生産性, 焼結鉄の品質に著しい影響がある。焼結原料は大別すると磁鉄鉄系, 赤鉄鉄系, 褐鉄鉄系に分れるが同系統のものでも銘柄により焼結特性は大きく変

動する。八幡製鉄では標準となる焼結原料(標準配合)をとりこれに主要銘柄の原料を置換配合して各原料の焼結性を比較調査し, 操業の合理化をはかることができるとしている。

各原料の配合比および性状を表3.8, 3.9に示す。

置換の対象は, 輸入磁鉄鉄の粗粒銘柄としてラップ鉄, 微粉系としてテキサダ鉄, 輸入赤鉄鉄としてヅングン鉄, 国産原料としては最も普遍的に使用される粗粒硫酸滓, 微粉硫酸滓および砂鉄の6銘柄とする。

a. 強 度

各原料の配合割合およびコークスの強度におよぼす影響を解析し, その回帰式を表3.10に示す。回帰式の Y は強度(%), x は原料配合(%), z はコークス配合(%)を表わす。

強度の表示法は全焼成物を十分放冷後秤量して W_1 とし, これを高さ2mより厚さ20mmの鋼板上に1回落下させて5mm以上を篩分け, さらにこれを4回落下させて10mm上の重量を W_2 とする, W_2/W_1 をもつて強度指数としてする。したがつてこの指数は強度のみならず, 成品歩留をも含んでいる。この強度指数, 50%は比較実験の結果, 学振法の強度84%に相当するので, 一応この強度指数50%以上ならば焼結成品の強度として十分であると考えられる。

標準配合に粉コークスを5%以上添加すると焼結帯の溶融が激しくなり, むら焼けを生じ歩留が低下するため強度は増大しない。これを粉コークス4%で焼結すると強度は50%(学振法84%)となり, これがすなわち標準配合の適正コークス量である。粉

表 3-10 各原料配合割合およびコークスの強度指数におよぼす影響

銘 柄	回 帰 式 (有意水準 5%)
ララップ 鈹	$Y = 0.260x + 16.09z - 12.31$
ヅングン 鈹	$Y = -0.114x + 15.90z - 12.70$
テキサダ 鈹	$Y = 0.521x + 16.17z - 14.41$
粗 硫 粉	$Y = -0.260x + 15.50z - 11.93$
微 硫 粉	$Y = -0.802x + 15.25z - 13.84$
砂 鉄	$Y = 0.510x + 15.30z - 11.48$

コークス 4% の標準配合に各種原料を置換配合させた場合の強度は図 3-6 のようになる。

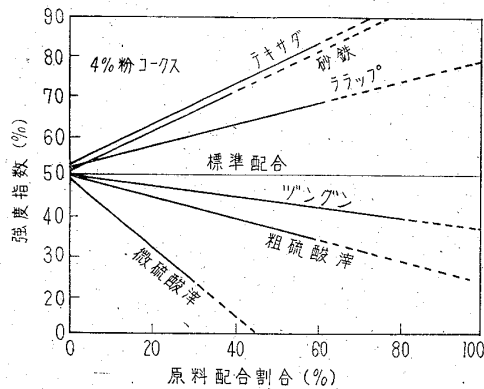


図 3-6 各原料の強度指数におよぼす影響の比較

標準配合より強度が増大するのは、ララップ、テキサダおよび砂鉄でいずれも磁鉄鈹系鈹石であり、ヅングン、硫酸滓の赤鉄鈹系が増大すると強度は低下する。

また、磁鉄鈹系、赤鉄鈹系とも粒度の小さいものほど顕著な傾向を示している。これは原料の粒度が小さいほど、通気性が低下し、むら焼けを生じ焼結歩留が低下するためである。しかし、磁鉄鈹系鈹石は粒度が小さいほど通気性は低下するがこの反面、粒度の微細化にとまなう FeO の反応表面積の増加のため酸化発熱が促進され強度は著しく向上する。したがって赤鉄鈹系と磁鉄鈹系との間の強度特性の差は、その粒度の微細化によりさらに顕著な差異を生じて来るので、実際の生産に当つては生産量と強度の面からその選択には注意を要する。

b. 各種原料の適正粉コークス量

焼結速度は装入層の通気性により左右されるが、また粉コークスの増加にとまなない焼結時間は著しく短縮されている。この場合装入層の通気性におよぼす粉コークスの量的効果は大したことはなく、むしろコークスの増加にとまなない、原料の予熱が迅速に

行われ、焼結速度が大になると考えられる。粉コークス 2% から 4% までは焼結時間は直線的に減少し、4% の場合の焼結時間は 2% の場合の約 70% である。焼結時間は 4.0~4.5% の所で最小となり、5% をこえると逆に延長する。これは発熱量の過大のため赤熱層が大きくなるため、粘性抵抗が増加し、通気度が減退するためと考えられる。

標準配合は 4% の粉コークス添加で、強度 50% (学振法 84%) が得られるので、この強度 50% を保持するために各原料の配合に応じて、この適正粉コークス量を求めたものを図 3-7 に示す。前述したように磁鉄鈹系原料は燃料所要量が減少し、赤鉄鈹系原料は増加する。また粒度の微細なものほどこの傾向は著しい。

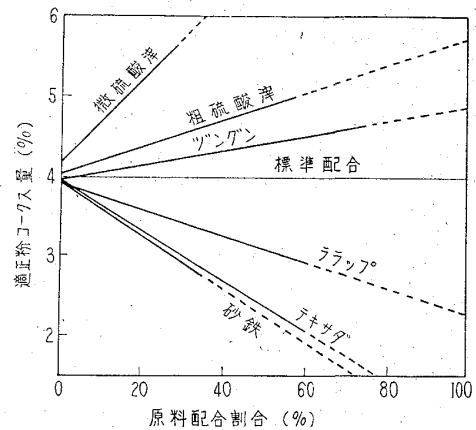


図 3-7 各原料配合量と適正粉コークス量との関係

c. 生産性

焼結生産性 = (装入密度 × 焼結歩留) / 焼結時間として考察する場合、焼結時間に関しては、各原料の配合割合と粉コークス添加量の影響をみると表 3-11 のとおりであり、磁鉄鈹系原料の場合粉コークスの影響も有意に現われるが、赤鉄鈹系原料の場合は粉

表 3-11 各原料の配合割合と粉コークス添加量が焼結時間におよぼす影響

Y; 焼結時間 (mm), x; 原料配合割合 (%)
z; 粉コークス添加量 (%)

銘 柄	回 帰 式
ララップ	$Y = 0.0397x - 1.942z + 24.75$
ヅングン	$Y = -0.0358x + 16.97$
テキサダ	$Y = 0.0232x - 3.25z + 28.70$
粗 硫 粉	$Y = -0.0273x + 16.46$
微 硫 粉	$Y = 0.1155x + 16.97$
砂 鉄	$Y = 0.0453x - 0.500z^2 + 2.30z + 15.04$

コークスの影響は誤差内に入ってしまう。ズングン、粗硫酸滓のような赤鉄鉍系の粗粒原料は、焼結速度を増大させるが磁鉄鉍系および微粉硫酸滓はいずれも焼結速度を低下させる。これは微粉による通気性の問題と、磁鉄鉍系は酸化発熱により赤熱層が膨大するため粘性抵抗が増加し、通気度が低下するためである。

次に生産性との関係を図3.8に示す。ここに生産性は装入密度 (t/m³) × 焼結歩留である。

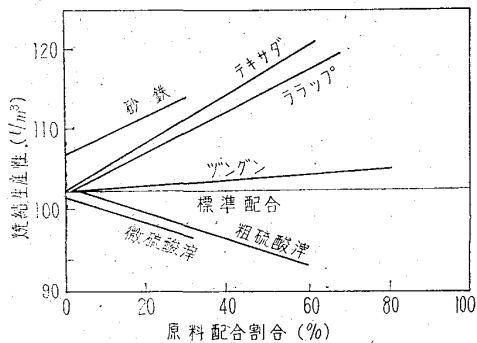


図 3.8 各原料の焼結生産性におよぼす影響

以上を総括すると製鉄原料として直接高炉に装入するとその難還元性のために不利な磁鉄鉍系鉍石は、焼結原料としてはきわめてすぐれており、成品強度の増大と粉コークス量の減少、生産性の向上をもたらす。また赤鉄鉍系でもズングンのような粒度構成の良好なものは、少量の粉コークスの増加により十分な品質の焼結鉍を製造し得るが、微粉硫酸滓のようなものは歩留および強度の点で使用量に限界がある。

3.2.2 微粉原料対策

最近の焼結原料の傾向として微粉化があげられる。硫酸滓については硫酸工場における硫化鉄鉍の焙焼方式の進歩にともない、微粉系のもが逐次増加の傾向にあり、その粒度も100メッシュ以下が60~80%となつている。また海外原料においては山元における品位向上のための選鉍の強化により、粒度は逐次微粉化の方向にあり、その粒度も100メッシュ以下50%以上のものが増加している。

一方焼結の生産性と品質保持のための適正粒度は5mm~50メッシュといわれている。

原料の微粉化は通気性を阻害し、焼結時間の延長による生産性の低下をきたす。また通気性の低下はミクロ的なむら焼けを生じ、焼結歩留りの低下の原因となつている。この対策としては排風機的能力増強等、設備的な面もあるが最近ではペレット化により疑似粒度を向上させる

方式が各社で行われている。

(1) セミペレット方式による焼結

この方式は焼結原料中のいわゆる微粉系に属する硫酸滓、輸入磁鉄鉍等100メッシュ以下が50%以上のものを直接装入せず、これを造粒機により小粒ペレットとして配合することにより焼結作業の効率を高めようとするものである。

a. 造粒機

造粒機にはドラム型造粒機と皿型造粒機とがある。ドラム型は成品の粒度が不揃いになり勝ちである。皿型のは粒度も3~5mmが90%以上でよく整つており強度も高く水分の調整も容易である。ただ問題は処理量で、その構造とともにまだ研究の余地がある。

b. 生産性

試験機によるテストあるいは実際工場における量産でセミペレットの生産性に対する効果が確認されている。図3.9は富士広畑における試験結果であり、微粉硫酸滓のペレット化による生産性の向上に対する効果を示している。成品の品質におよぼす影響についてはセミペレット20~30%までは落下強度は増大するがそれ以上は低下の傾向を示している。

この場合配合原料は外国粉鉍30%、スケール10%、砂鉄10%を一定とし、残り50%を微粉硫酸滓としてこれを逐次セミペレット化することによつてその生産性を調査したものである。返鉍、コークスは原料に対しそれぞれ30%、5%とした。

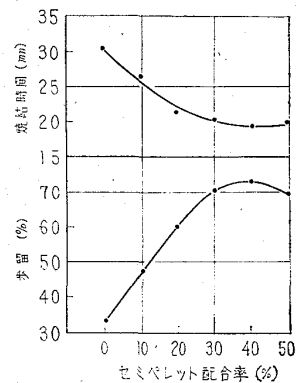


図3.9 セミペレットの生産性におよぼす影響

(2) ホアペレット方式による焼結

セミペレット方式が微粉系原料のみを事前処理するのに対し、ホアペレット方式は微粉を含めた焼結全原料をポーリングドラムにより造粒し、その効果を得ようとするものである。ドラム通過後の原料の形状はセミペレットほど良好ではないが、粗粒に微粉が附着した状態となり、疑似粒度組成は良好となり通気度も2倍近く向上する結果も得られている。

ただ、ホアペレット化の場合は、ドラム通過後の原料水分が12~13%となり焼結適正水分より若干過

剩となる点が問題である。

3.2.3 その他の作業上の改善方策および試験

(1) 焼結原料層に関するもの

a. 加圧焼結法

焼結鉄の強度、歩留の向上をはかるため最上層の強度不足の対策として、鍋に装入した原料に上部より圧力を加えて焼成する方法である。加圧の結果焼結時間はほとんど変化しないが、あまり加圧重量が大きくなると加圧の影響が装入原料の下層部までおよび通気度の低下をきたすので、注意を要する。また強度の向上にはある一定以上の圧力 (50 g/cm²) を必要とし、他の焼結条件とあわせ検討されねばならない。

b. 焼結原料層内のカーボン分布

焼結鍋内で均一な粒度分布および燃料分布をもつように装入された原料を焼結した場合に上層部では未焼結部分の通気抵抗による通気度の低下および冷風による急冷、排熱利用度の低調等により下層部に比べて強度は低く酸化度は高くなる傾向にある。また下層部はその逆の傾向にあるので、このような傾向を防止し、上下層とも均質な焼結鉄を得るために装入直前に原料および燃料に偏析を起させることは有効な方法である。

焼結時間および FeO 増減率よりみた場合、燃料分布は上層に多く下層に少なくして、その範囲を平均燃料添加量の10%前後にするのが最も得策と考えられる。この場合の焼結時間の短縮は10~15%である。耐圧強度は燃料添加量も影響するが表面よりの深度が大きく影響しているようである。

c. 適正層厚について

焼結作業において原料の性状および配合燃料が一定であれば焼結反応は焼結層通過量に大きな影響をうけるので、焼結時間は装入層厚によつて変化する。層厚が薄過ぎると焼結時間は早くなるが成品歩留は低下し、反対に厚過ぎるとその逆の現象を起す。したがって生産性を最大にするためには焼結条件、原料条件に応じた最適装入量を決定することが重要である。

焼結原料条件のうち粒度による層厚の検討を行な

つた結果を示すこととする。表3.12のような2つの粒度条件の原料について層厚と生産率との関係を示したものが3.10図である。

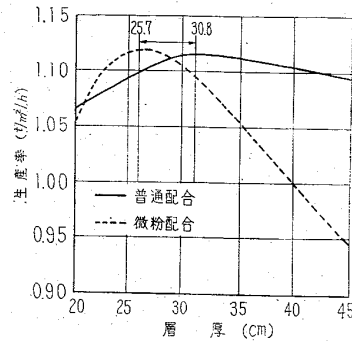


図3.10 層厚と生産率の関係 (住金・小倉)

各配合原料について生産率を最大にする適正層厚が存在する。その層厚は原料の微細化するにともなわち通気性の低下とともに低くなり、かつこの場合は原料粒度が粗である場合より曲線は急激に変化し層厚の生産率におよぼす影響は大きい。

3.3 粉コークスに代る各種代用燃料の使用

焼結鉄の使用比率および生産量の増大にともなつて燃料としての粉コークスの使用量も増大した。一般に焼結用の粉コークスは高炉用コークスを整粒する場合の篩下粉を利用するが、焼結鉄の生産と使用比率の高い場合は焼結用粉コークスとして購入されている。粉コークスは比較的高価であり、これにかわる熱源の研究が行われている。焼結反応は酸化発熱によるのでその熱源としては炭素以外のものも当然考えられる。これを大別すると、

炭素系のもの；粉コークス、無煙炭、オイルコークス、高炉ダスト

原料の化学成分によるもの；高硫鉄石（硫化鉄鉄等のSを熱源とする）
磁鉄鉱（FeOの酸化熱を利用する）

以下代用燃料の使用の主なものについて述べる。

3.3.1 無煙炭の使用

無煙炭は粉コークスの代用として最も有力なものである。ただ高揮発分の場合は通気度の阻害により焼結時間の延長および焼結温度の低下等がもたらされ生産性と焼結鉄の品質に悪影響を与える。尼鉄で行なつた比較試験に使用された無煙炭はペルーのもので粉コークスと比較すると表3.13のとおりである。

表 3.12 各配合の粒度比較 (住金・小倉)

	-150 メッシュ	150~100	100~1 mm	1~5	5~10	+10 mm	平均粒度 mm
普通配合 (%)	10	4	23	32	28	3	3.31
微粉配合 (%)	13	5	26	32	22	2	2.83

表 3.13 ペルー無煙炭と粉コークスの性状 (尼鉄)

	灰分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	発熱量 (kcal/kg)	+4 mm (%)	4~1 mm (%)	-1 mm (%)
ペルー無煙炭	12.60	3.45	79.42	6,532	10.4	45.6	44.0
粉コークス	14.24	2.11	83.63	7,131	7.3	39.7	53.0

表 3.14 オイルコークスと粉コークスの性状

	灰分 (%)	揮発分 (%)	固定炭素 (%)	発熱量 (kcal/kg)	+5 mm (%)	5~1 mm (%)	1~0.125 mm (%)	-0.125 mm (φ)
オイルコークス	0.60	13.50	85.90	8,300	14.7	41.0	34.6	9.7
粉コークス	12.30	0.45	85.70	6,960	0	34.3	50.3	15.4

試験の結果は

- (1) 無煙炭使用により生産性は若干低下する。
- (2) 成品の物理的品質 (強度, 粉率等) は大差なく無煙炭使用時の方がやや良い。
- (3) 無煙炭使用時は配合原料中の FeO をあまり高くしない方が生産性の面から得策のように考えられる。
- (4) 燃料原単位は大差ない。

さらに約 10,000 t の無煙炭を使用した長期間の量産操業の結果は

- (1) 無煙炭の使用による生産率の低下はほとんどみられない。
- (2) 無煙炭を使用すると粉コークス使用時よりも強度は若干上昇する。
- (3) 配合原料の粒度と燃料粒度のバランスが重要で、その平均粒度の比は 0.54 位が適当であり、これが 0.45 となると生産率と歩留が低下する。

3.3.2 オイルコークスの使用

オイルコークスの性状の 1 例として、粉コークスと比較したものを表 3.14 に示す。

粉コークスに対比してオイルコークスの利点は灰分少く発熱量の高いこと、欠点としては揮発分および S 含有量の高いことである。

オイルコークスの試験結果では強度、成品歩留、通気度は良くなる可能性がある。成品中の FeO および硫黄はかなり増加している。FeO の増加はオイルコークスの発熱量が高いためと考えられ、実際の焼結において FeO 含有量を一定とした場合粉コークスに比べてその配合量を減少させることができるので、好ましい結果と思われる。成品中の S 含有量は FeO の増加するにしたがい、2 次曲線的に上昇している。以上は神鋼・神戸における試験結果である。

3.3.3 硫化鉄鉱の使用

硫化鉄鉱中の S の酸化燃焼熱を利用するものでパイラ

イトおよびピロータイト中の Fe の酸化熱を加味すると理論的には FeS_2 または FeS 1 kg はコークス 0.24 kg に相当する。硫化鉄鉱は国内資源であり Fe 分も 40~50 % あるので鉄源としての価値もあり、これの有効な活用は興味ある問題である。

硫化鉄鉱をコークスと逐次置換して使用した結果は

- (1) 焼結性におよぼす影響

焼結鉄は緻密な拡散型焼結鉄となり強度の上昇と被還元性の向上が見られた。歩留も上昇するが焼結層の通気性が低下し、焼結時間は著しく長くなる。したがって焼結時間を著しく長くしない範囲での硫化鉄鉱の使用限度は 6~7% と考えられる。ただし自溶性の場合は 10% 程度まで配合出来るであろう。

- (2) 脱硫の問題

焼結鉄中の S を 0.05% 以下に目標をおくと、硫化鉄鉱の配合限度は 7~10% となる。石灰石を添加し自溶性とする場合は

$\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{FeO} + \text{CaS}$ の反応が右へ進むため、脱硫率は低下し、また S が燃料として働かなくなる。この場合はコークスをさらに 0.5~1.0% (石灰石添加 5~10%) 増加する必要がある。硫化鉄鉱の配合限度も 5% 位になるものと考えられる。

3.4 焼結鉄とペレットの比較

粉状鉄鉱石の処理法としてのペレタイジング法は G W 式焼結法 (1906年) よりわずかに遅れて 1911 年スウェーデンにおいて考案された。その後焼結法は急速に発展し、広く採用され、大量生産に移行したのに反し、ペレタイジング法は企業的には約 30 年間の空白があつた。ペレタイジング法が大量処理方式として開発されたのは、1940 年以後の米国のダコナイト精鉄の処理であり、その後微粉精鉄の事前処理として顕著な発展を示した。

現在までのところ、焼結法とペレット法の適用分野は

表 3-15 ペレットと焼結鉄の酸還元性比較

	T・Fe (%)	Fe ⁺⁺ (%)	酸化率 (%)	還 元 試 験		
				還元後のMFe (%)	60 mm還元率 (%)	180 mm還元率 (%)
ペレット	61.75	3.11	95.8	76.60	54.8	94.5
自溶性焼結鉄	56.33	8.61	86.5	45.98	36.4	71.7
普通焼結鉄	57.52	13.30	76.9	34.56	25.0	59.2

原料粒度分布よりみて明確であり、この両者は互に競争するものではなく、互に補足し合うものと考えられている。ここにペレットは、微粉鉄石を球状化しこれを焼成硬化させたもの、焼結鉄は粗粒粉鉄石を焼成塊化したもの、と定義してその比較を行なうこととする。

3.4.1 組織と被還元性

ここに八幡製鉄で行なわれた硫酸率34%、テキサダ鉄石 43.7%、砂鉄 19.4%、ベントナイト 1.4%の配合により焼成したペレットと普通焼結鉄、自溶性焼結鉄との比較試験結果を表 3-15 に示した。

ペレットの性状は焼結鉄に比較して粒度の均一性、多孔性、被還元性等の面でかなりの優秀さを示している。しかしペレタイジングは物理的・化学的に均質安定した原料を要求し、原料組成の変化が極めて敏感に生産性や成品の品質に影響するといわれている。この点は焼結法の方が原料条件の変化に対して許容性が大きい。特に最近のように鉄石の整粒処理が強化されると、篩下粉の発生が多くなるので、大規模な製鉄所で事前処理としてペレット法だけに依存することは、整粒強化をさまたげることになるので好ましくない。ペレット法は磁選等により微粉鉄が大量に発生する山元において実施する方が得策であろう。

3.4.2 原料の粒度

前述したように貧鉄処理の結果、発生する微粉鉄や流動焙焼にともなう硫酸率の微粉化により、従来の吸気焼結法においては通気性を障害し、塊状化は困難となり、また生産性の著しい低下があるので、その結果としてペレット法が発達した。その原料粒度条件はほぼ 100~200 メッシュを境として、粗い方が焼結用、微細の方が

表3-16 ペレット、焼結に適する原料粒度分布

	+10 mm	10~3	3~0.3	0.3~0.075	0.075~0.06	-0.06 mm
ペレット原料 (%)	—	—	—	12.0	11.3	76.7
焼結原料 (%)	4.1	14.0	52.3	26.5	3.1	—

表 3-17 焼結法とペレット法比較

項 目	焼 結 法	連続式焼結機におけるペレット法
鉄石粒度	15 mm以下	0.2 mm以下
燃 料	固体揮発分の少ない燃料、特に良いのは粉コークス、点火用はガスか重油	ガス状、液状、ごく少量の固体石炭
装入原料の粒度および粒の形	砕けやすい15 mm以下	球状 0.2 mm以下
成品粒度およびその形	大きな焼結塊も多少できる。形状不規則 5~75 mm	球状15~30 mm
層 厚	35 cm 以下	約 50 cm
返 鉄	成品の15~50%	5~10%
排風機差圧	800~1,200mmAq	約 200 mmAq
燃料消費	成品 kg 当り 約600~700kcal	磁鉄鉄: 約 200 kcal/kg ペレット 赤鉄鉄: 400 kcal/kg ペレット
粉の発生および耐輸送性	粉鉄の発生多く、これの処理を必要とする 耐輸送性に問題あり	非常に少なく、微粉分離装置不要
生産性 (t/日 ² /d)	普通は30以下、焼結機の後で焼結鉄の冷却を行う場合は40以下、ペレット法と同粒度の原料の場合は10~12	普通は15以下、焙焼前乾燥、焙焼後冷却する場合には25以下
修理作業	角ばった高熱物を扱うので碎鉄機、 篩分機および輸送装置の修理作業が比較的多い	比較的少ない。
設備費	ほとんど同程度。 ペレット法の場合、同一生産量の焼結機に比較して大きな火格子面積を要するが、この費用は附属設備の費用が比較的少ないことにより相殺される。	

レット用に適すると考えられる。一例表を 3・16 に示す。(K. Meyer)

3・4・3 焼結法とペレット法の比較

3・4・1 および 3・4・2 項において高炉原料としての焼結鉍とペレットの比較および各々の原料条件について述べたが、その製造設備および生産諸条件の比較については

残念ながらわが国においては両方式を有する製鉄所の多年の実績経験がない。すなわち焼結方式が主体で量産方式のペレット設備は川鉄・千葉のみである。また同所は従来焼結設備を有せず最近になつて焼結工場を設置するにいたつたので、その得失比較は今後の問題である。

焼結法とペレット法の比較を表にまとめると表3・17のとおりである。