

特 別 講 演

ペレット製造技術の発展と高炉におけるその使用について*

土 居 寧 文

On the Technical Development of Pelletizing and the Utilization of Pellet for Blast Furnace Practice.

Yasubumi Doi

I. 緒 言

最近日本の製鉄業界においても製鉄原料として鉄鉱石をペレットにしたものを使用することが具体的な原料対策として打出される気運になつて来た。

製鉄原料の合理化としては従来鉄石の整粒と自容性焼結鉄の活用が2本の大きな柱であり、これにより高炉のいちじるしい生産性の向上と燃料原単位の低下がもたらされたが、最近に到り高品位ペレットの使用によるメリットが原料対策上別の面から検討されるに到つた。

ペレットに関しては既に多数の海外技術資料、或いは研究報告があり、また共同研究会製鉄部会においても共同テーマとしてとり上げられているが、将来の日本の製鉄原料として重要な問題であるのでこれを概観し、高炉への使用と併せて2、3の問題点について考察した。

1. ペレット法の開発

日本においては川崎製鉄が千葉製鉄所で昭和27年(1952年)より堅型炉による本格的なペレットの製造を開始

し高炉に大量使用して来ているが、海外における開発は1911年スウェーデンで A. G. ANDERSSON が考案しこれにより Sweden Patent No. 35124 を得たのに始まつている。これは G. W. 式焼結法の開発(1906年)におくれること5年であった。

その後焼結法は急速に発展し主要鉄鋼業国で広く採用され大量生産へ移行したのに反し、ペレタイジング法は考案以来約30年間企業的に殆んど顧られぬ状態にあった。1943年米国で実用的なペレット試験に成功し、特にタコナイト精鉄の処理に成功して以来脚光を浴びここ20年間の間に急速な発展を示した。

2. ペレット法と焼結法との比較

ペレット法と焼結法の各々の特徴を第1表に示す。

II. 世界におけるペレット生産量および製造設備

現在、世界のペレット生産量の大半は第1図に示す如く北米によつて占められている。これはタコナイト精鉄

第1表 ペレット法と焼結法との比較

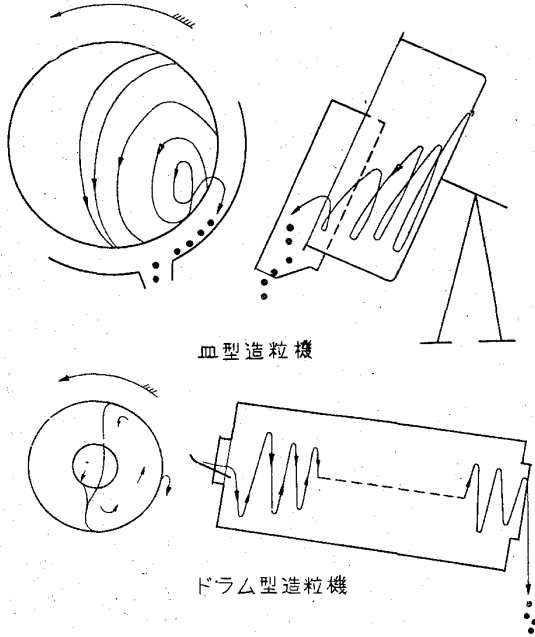
	ペレット法	焼結法
定 義	微粉原料を球状化しこれを焼成硬化したもの	粗粒粉鉄を焼成塊化したもの
立 地 条 件	微粉鉄を大量に産出する所、または低品位鉄の選鉄による精鉄を対象とするので設備は山元または選鉄場に直結して設置するに適している	粗粒の粉鉄石または製鉄所において各種銘柄の粗塊鉄を破碎篩分して整粒する際の篩下粉を対象とするので製鉄所での設置に適している
原 料 条 件	同一銘柄で均一な特性を有する微粉鉄が大量であることが望ましい。したがつて選鉄精鉄はこれに適している。また粒度は 100mesh 以下の微粉が望ましい	多種の銘柄であつても良く、また色々な成因による一定しない不均一な性質のものでも処理可能、粒度は 50mesh~5mm の間が適当である

* 昭和39年4月4日本会第49回通常総会における香村賞受賞記念特別講演
昭和39年5月2日受付

** 住友金属工業株式会社小倉製鉄所取締役所長、工博

第 4 表 ドラムおよび皿型造粒方式の比較

	ドラム型造粒機	皿型造粒機
造粒機構	rolling action を利用	classifying action を利用
適用条件	大量生産力大能力の設備に適する	少量生産設備あるいは pilot plant 用に適している
ボールの性状	粒度はやや不均一で多少楕円形をおび強度は小さい	粒度均一で球状に近く強度はドラム型のものより強い



第 2 図 皿型およびドラム型造粒機の比較

一般的な方法としてドラム型方式 (Drum Type) と皿型方式 (Disc Type) とがある。この特徴を比較すると第 4 表に示すごとくである。

尚造粒の二方式は第 2 図の通りである。

2. 焼成炉

既に述べたごとく 1960 年迄は堅型炉が多かったが、1961 年以降、横型水平炉が大半を占めるに到り、最近は

横型水平炉に回転炉を組合せた横型回転炉が 1 部使用され始めている。各焼成炉の比較を第 5 表に示す。

現在ペレットの主流をなすタコナイト処理は、米国のミネソタ大学の Mines Experiment Station の主任教授である Dr. E. W. Davis により開発され実に 40 年以上にわたる研究の成果であった。現在ペレットは米国で大量生産されているのでその製造方式も各メーカーによりそれぞれの特徴をもっている。

堅 型 炉……代表的メーカーは Surface Combustion であるが、それ以外にも多い。

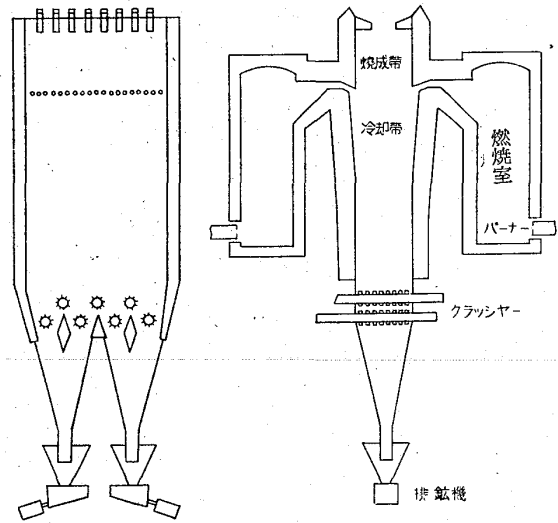
横型水平炉……Mckee, Lurgi, Dravo などが主要メーカーである。

横型回転炉……Allis-Chalmers

各方式の模型図を第 3 図～5 図に示す。

IV. 高炉における使用

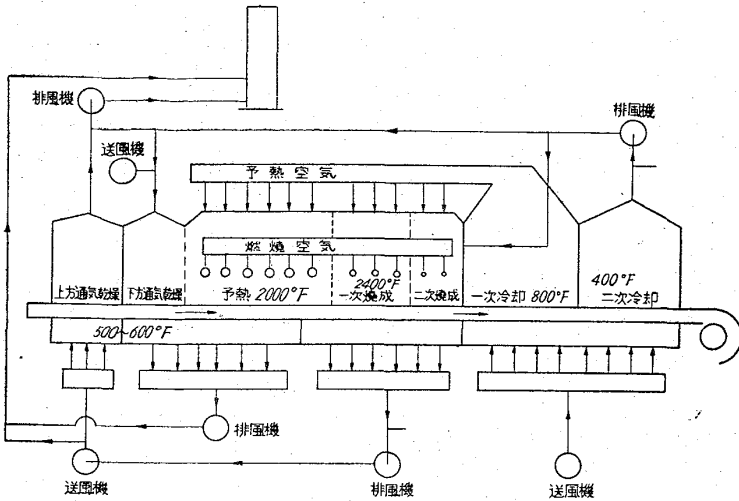
ペレットが製鉄原料として極めて有利であることは、その粒度および成分の均一性と還元性の良好な点にあることは既に周知の事実であり、米国においてその実験研



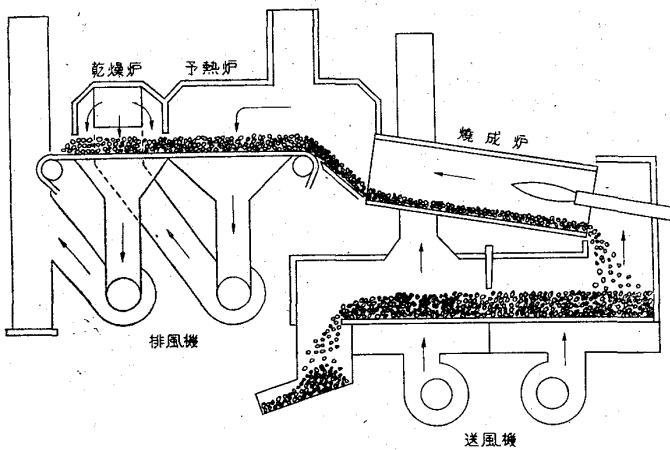
第 3 図 堅 型 炉

第 5 表 各 焼 成 炉 の 比 較

	堅 型 炉 Shaft	横型水平炉 Grate	横型回転炉 Grate and Kiln
特 徴	Design が単純で熱効率は良いが均一な加熱が困難であるという欠点がある。	Contral がやり易くどんな事故も速かに処理できる長所がある。しかしペレットが損耗しやすく高価な耐熱合金を使う必要がある。	乾燥と予熱を Grate 方式で行ない、高温の焼成帯を Rotary kiln で行なう方式で焼成帯の Design が一層単純化されている。
能 力	1 炉当たりの能力が小さい。日産 1000 t までの設備が限度である。	大量生産に適し能力が大きい。1 基で日産 3000~4000 t が可能である。	横型水平炉と同じ。
原 料	主として Magnetite に限定される。	Magnetite の外 Hema 系の原料の処理も可能	横型水平炉と同様。



第4図 横型炉



第5図 横型回転炉

究報告あるいは高炉での実際操業結果も多く報告されている。わが国では川崎製鉄以外、ペレットの大量使用の経験がなく最近 Erie pellet あるいは Marcona pellet を 1 部使用したが未だ実際操業で自溶性焼結鉄ないし整粒鉄石とのメリット比較を確認する迄には到っていない。

1. 小型試験高炉による最初のテスト

ミネソタ大学の Dr. DAVIS 教授の下で開発されたタコナイトペレットの Mines Experiment Station にお

ける小型試験高炉の操業テストは、ペレットの評価を決定づけた歴史的なものであるので第6表に特記することとする、

実験は 1943 年に炉床径 36 インチ (91cm) の実験用小型高炉でペレット配合 0~100% の各段階で行われ、米国の製鉄関係の学者、技術者の総合的協同の下に綿密な計画により遂行された。

2. Armco Steel の Middletown 工場におけるペレット使用実績

Armco の Middletown の高炉はタコナイトペレットを最も早くから使用している。すなわち1953年の火入後 1954 年から試験的使用を開始し、Silver Bay のタコナイトペレット工場 (Davis Works) が生産を開始してからその使用量は年々増加し 1961 年上期には、100% 配合を可能とした。使用高炉は高圧操業設備をもち炉床径約 8.4m、送風機能力は 2.5kg/cm² で 3115m³/min、熱風炉 3 基、伝熱面積計 58800m² である。使用ペレットの性状および使用実績は第7表、第6~8図に示す。

Armco Steel は Republic Steel と共に米国におけるペレットの高炉使用についての推進的役割を果たして来ている。特に、ここに報告されている Middletown における 1955 年以後の長期にわたる経験はタコナイトペレットの開発と共に貴重な技術的データを提供している。

ただ Middletown 工場には焼結設備がないので、ここに提供されているデータは生鉄石に対するペレットのメリットを評価することのみに役立つている。

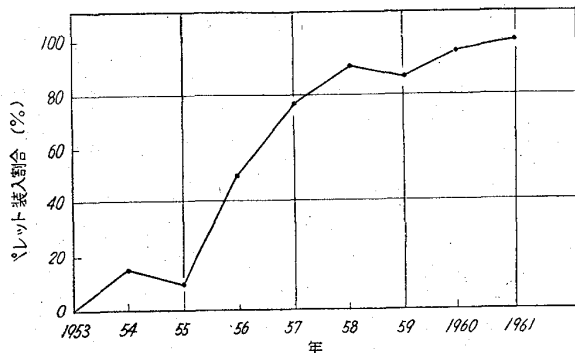
1954年に 14% のペレット配合に始まり 8 年間に逐次ペレット配合比を増加し 1961 年に 100% ペレット配合に到達している。その間 CO/CO₂ は 2.1 から 1.2 に低下、コークス比は 900kg から 625kg に低下している。また風量は 2450m³/min から 3050m³/minの増加 (125%) に対し出鉄量は 1250 t/day から 2350 t/day (188%) と大巾な向上を示した。もちろん、この間には

第6表 試験高炉による操業データ

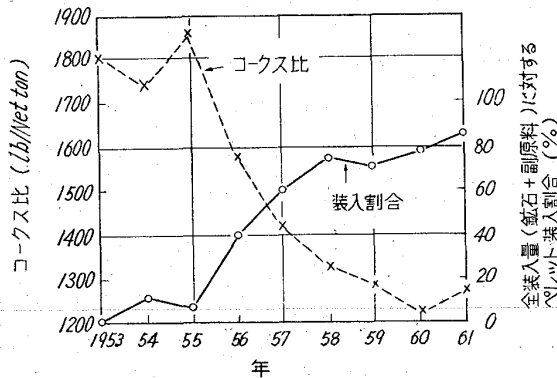
ペレット配合 (%)	送風温度 (°C)	送風量 (m ³ /min)	CO/CO ₂	コークス比 (kg/t)	t/day	ペレット配合なしに対する変化 (%)	
						コークス比	t/day
0	576	15.7	2.51	1085	5.68	± 0	± 0
30	527	15.2	2.15	944	6.73	-13	+18
30	557	16.2	2.35	966	6.68	-11	+18
60	552	13.9	1.90	824	7.75	-24	+36
60	549	17.2	1.88	848	7.77	-22	+37
100	546	16.4	1.61	690	9.63	-36	+70
100	531	16.9	1.47	654	10.00	-40	+70

第 7 表 1956年以降各年における
ペレットの品質推移

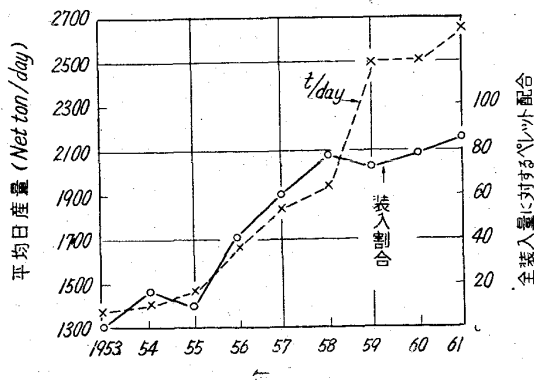
	強度タンブラー テスト後 -28 mesh	SiO ₂ %		Fe %	
		平均	バラツキ	平均	バラツキ
1956	13.4%	9.4	0.60	63.7	0.45
1957	9.7	8.8	0.90	63.3	0.45
1958	8.4	7.7	0.30	63.6	0.25
1959	7.3	8.0	0.15	63.3	0.20
1960	6.3	8.0	0.25	63.2	0.25



第 6 図 各年次のペレット使用量



第 7 図 ペレット配合とコークス比



第 8 図 ペレット配合と生産量

(注) 1958年の送風量は 83,000ft³/min
 1959年 " " 100,000ft³/min
 1960年 " " 92,000ft³/min
 1961年 " " 107,000ft³/min

装入物の品位と粒度条件の向上、送風温度の上昇、あるいは高炉操業技術の改善などの要素が織り込まれているが、ペレット配合の増加が最も大きく寄与していると考えられる。

このデータは生鉱石に対するペレットの優位性を示す決定的なものとなるであろう。

しからばわれわれは日本の製鉄原料処理技術の一つの頂点である自溶性焼結鉱とペレットとのメリット比較という重要な問題に逢着するわけであるが、残念ながら日本においては未だこの問題に対する決定的な回答は得られていない。ここに Middletown のデータと鉄と鋼 vol 49 No.9 の製鉄部会報告書のデータを示すこととする。

第 8 表 ペレットと焼結鉱の使用実績の比較の一例

Middletown			
実施時期	配合割合 (%)		コークス比 kg/t
	ペレット	生 鉱 石	
1953年	0	100	900
1956	50	50	790
1961	100	0	625

富 士 広 畑			
実施時期	配合割合 (%)		コークス比 kg/t
	自溶性焼結鉱	生 鉱 石	
1961年	0	100	625
1961	50	50	590
1961	100	0	515

1961年における Middletown の 100% ペレットのコークス比と広畑の 100% 生鉱のコークス比が共に 625 kg であることは偶然の一致とは云え米国と日本の製鉄技術(原料処理技術をも含めて)の水準の差を示すものとして興味深い。

米国の 100% ペレットのコークス比 625 kg に対し、日本の 100% 焼結鉱のコークス比が 515 kg である点を数字上から比較すると自溶性焼結鉱の方がメリットが高いように考えられるが両国の技術水準を勘案すれば更に検討の要がある。

1963年10月の Bethlehem Steel Sparrows Point の“J”高炉の実績は Pellet 70%, 自溶性焼結鉱 30% の配合で 545 kg のコークス比を記録していることを注目すべきであろう。

3. Bethlehem Steel の Sparrow Point におけるペレット使用実績

第9表 操業諸元

配合原料	Carol lake ペレット	%	68.4
	Sparrow point 焼結鉄	%	31.6
操業	送風量	m ³ /min	3750
	送風温度	°C	880
	炉頂圧力	kg/cm ²	0.7(高圧操業)
	コークス比	kg/t	500
	重油比	"	44
	スラグ量	"	235
	日産量	t/day	3030(1.87t/day/m ³)

第10表 装入物の分析成分

	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	備考
ペレット	64.69	0.50	4.90	0.70	
焼結鉄	59.89	5.30	4.90	2.40	(自溶性)

Bethlehem Steel の Sparrow Point 工場の J 高炉においてペレットおよび焼結鉄による操業を行った。この高炉は炉床径 8763mm, 有効内容積 1435m³ (推定内容積 1625m³) で 10~15 lb/in² の高圧操業設備をもっている。1963年10月の操業実績を第9, 10表に示す。

この Sparrows Point J 高炉の実績は米国の高炉の操業実績としては能率および原単位の面で米国の製鉄業界において極めて高く評価されたものである。そしてこれにはペレットの高配合と自溶性焼結鉄の使用が有効であったと述べられている。

たしかに燃料比 544 kg/t, (Coke 500 kg, Oil 44 kg) および能率炉容 1m³ 当り 1.87 t/day の成績は優秀である。しかし能率の面では高圧操業 (炉頂圧 0.7 kg/cm²) が採用されていることを考慮する必要がある。

燃料原単位についてはわが国では自溶性焼結鉄60%, 整粒鉄石 40% の配合で 540 kg/t は既に一般通常の水準であり, 既に 500 kg/t 以下の高炉実績が毎月数例記録されている。能率 1.87 t/day/m³ は優秀な成績であるがわが国においても室蘭, 水江, 東田などの高圧高炉は top press 0.5 kg/cm² で 1.70 以上の実績をあげており, 室蘭の test における炉頂圧 0.7 kg/cm² (Sparrows Point J. 高炉の 0.7 kg/cm² と同じ) では短期間ではあったが, 2.0 t/day/m³ を記録している。

したがってわが国の水準と高炉実績からみてペレットが自溶性焼結鉄と整粒鉄石に比し大巾なメリットがあるとは考えられない。ただ, 米国の技術水準においてのペレットの有効性は大きく認識する必要がある。

4. 高炉使用上の問題

米国におけるペレットの天然鉄石との置換使用は高炉の能率および燃料原単位の向上に大なる成果をもたらしているが, 一方高炉に長期にわたり, かつ大量使用した場合に 2, 3 の問題点を生じているのでその主なものについて述べることにする。

a. ペレットの粉化によるトラブル

ペレット中に混在する粉鉄は少量であるが, 微粉であるので取扱運搬作業中に偏在する傾向がある。また鉄石がヤードに長期間貯蔵されている間に多少の風化および降雨などにより粉鉄が堆積の底部に集る傾向がある。これ等は特にペレットの在庫量が少なくなった時期に高炉装入物の粉率が増加し炉況の悪化, ダスト発生量の増加を来す。

これを防止するためには, 篩分設備が必要であり, 根本的には粉化しないような強度の高い完全なペレットを生産することである。

b. 炉壁煉瓦の損耗

ペレットを大量配合した場合, その粒度の均一性と球状の為に炉内還元ガスは炉内周辺部を通過上昇し易くなり, いわゆる炉壁操業となり炉壁部分の反応が活発となり温度の上昇と共に朝顔部炉腹部の炉壁煉瓦の損耗を促進することが考えられる。またそのために融解帯も上昇するものと考えられる。Middletown において 1959 年ペレット 90% 配合で 2850m³/min (炉床径 8.4m) の高操業度に移行した際, 炉腹部および朝顔部の炉壁煉瓦が数ヶ所損耗により脱落し, またその他の部分も非常に薄くなつており, 操業を一時中止し補修および冷却強化を必要とする事態がおこつた。

この炉は火入後約 90 万トンしか生産していなかつたのでこのトラブルは明かにペレット高配合による過度の炉壁操業と溶解帯の上昇によるものと考えられる。炉壁の損耗脱落部は従来冷却盤がなかつたので 193 コの冷却盤を取付け冷却強化により, その後の操業を可能としている。

c. 炉内における還元過程中的膨脹粉化

ある特定の鉄石の場合, その品位が高く Slag Base の Binding Bond が少なくてしかも焼成温度が低い (1200 °C 位) とこのようにして作られたペレットは CO gas による高温急速還元過程中的膨脹粉化し, 高炉の棚吊りを誘起して炉況を悪化せしめることがある。この例は日本で Marcona pellet 使用の初期の段階で見られた。

原鉄石の化学的性状, Binding Bond および焼成温度は高炉炉内における pellet の挙動に重要な関係があるので Pellet 大量生産化の前に充分研究されねばならない。

V. 今後のペレットの技術上の問題点

1. 自溶性ペレット

焼結鉱の自溶性化による大巾な品質改善および高炉操業上のメリットに刺激されてペレットの自溶性化の問題が採り上げられるにいたつた。

1962年米国 Cleveland-Cliffs 社の Republic Mine にある横型回転炉で自溶性ペレットが約 35000 トン生産され Johns & Laughlin Steel の高炉で使用テストが行われたが、その結果は特に良好であつたとは云えない。石灰石添加量約 10% で塩基度約 1.0 であつた。

ペレット製造上の問題としては生産性の若干の低下と燃料原単位の約 10% の増大があつた。

現在の所、ペレットの自溶性化は焼結鉱のそれほどに大きな期待はもてないように考えられる。

焼結鉱の自溶性化の場合は

- a. 難還元性の Fayalite の分解と還元性の良好な Ca Ferrite の生成により被還元性が大巾に増大する。
- b. 生産性が向上する。
- c. 気孔率の高い拡散型焼結鉱が得られる。
(還元性の向上)

しかるにペレットの場合は石灰石の添加がなくても Hematite 化しており FeO はきわめて少くまた Micro Porosity が高く既に還元性は極めて良好であるので自溶性化の意義は少いように考えられる。

2. 半還元ペレット

ペレットの原料性状(微粉)および製造条件(外部強制加熱)からして今後注目すべき技術上の問題として半還元ペレット (Semi-reduced or pre-reduced pellet) の開発がある。

この問題は米国では既に研究試験の段階にあり、小規模な構型回転炉で試作された半還元ペレットを日産 20 t の試験高炉で使用した結果、生産能率と燃料原単位の著しい向上が見られた。

日本のごとく海外より鉄源を輸入する必要のある製鉄原料条件では半還元ペレットの使用は Fe トン当りの輸送費の低減と高炉の生産性向上のために早急に開発されねばならぬ問題と考えられる。

半還元ペレット製造については次のような諸点が指摘されている。

- a. 原料粒度は細かい方が還元速度が早く成品強度も高い。

第11表 普通ペレットと半還元ペレットの成分

		Fe	SiO ₂	CaO	MgO	給 源
A	普通ペレット	62.82	8.53	0.63	0.39	Hoyt Lakes Hilton Mine
B	〃	66.69	2.14	0.30	1.71	
C	半還元ペレット (低)	83.80	3.06	0.58	2.06	〃
D	〃 (高)	91.28	3.04	0.39	2.40	〃

第12表 半還元ペレット使用による高炉操業実績

		試 験 期 間			
		基準期間	Test I	Test II	Test III
配合比 (%)	Aペレット	13	15	0	17
	B 〃	87	0	0	0
	Cペレット	0	85	36	0
	D 〃	0	0	64	83
平均 Fe (装入ペレット)		66.19	80.57	88.54	86.49
送風温度 °C		945	930	943	953
Ore/Coke		2.60	3.33	3.50	3.55
スラグ kg/t		140	122	148	141
炉頂ガス CO ₂ %		16.5	10.2	8.8	5.7
CO/CO ₂		1.35	2.61	3.11	5.07
日産量 t/day		16.3	22.5	24.6	25.2
増産率 %		Base	38.1	51.4	54.7
コークス比 kg/t		553	366	313	311
コークス比低下率 %		Base	33.8	43.4	43.8
天然 Gas 比 m ³ /t		41.5	30.0	27.3	26.7

- b. 焼成温度は普通ペレットの場合 (1250°C 以上) より高くする必要があり 1300°C 程度が望ましい。
- c. 焼成時間は 15min 位で大部分還元される。
- d. 還元剤の添加量は 100% 還元に要する理論計算量を最小限必要とする。
- e. 石灰の添加は強度を下げ還元率を減少させる。

第 11 表, 第 12 表に米国鉱山局における小型試験高炉による半還元ペレットの試用結果を示す。

VI. 日本におけるペレット問題

最初に述べたごとく日本鉄鋼業の発展, 特に転炉鋼の生産比重の急激な増大は高炉溶銑の増産ピッチを早めている。ここ数年の内に日本の銑鉄生産量は現在の年間 2300 万トンペースから 3300 万トンペースに達するものと考えられる。

日本の製銑原料は鉱石の整粒処理と自溶性焼結銑を中心として, 発展してきたが, この段階において将来の原料としてペレットは当然考慮されねばならないであろう。すなわち

- a. ペレットは本来山元にて製造されるべき性格をもっているため輸入原料として好適である。
- b. 高品位ペレット(磁選精銑)は Fe トン当りの輸送費を低減せしめる。
- c. 天然鉱石に比し高炉使用上のメリットが大きい。
- d. 完全に良質なペレットには破碎篩分の整粒作業を必要としない。
- e. 100% のペレット配合による高炉操業では焼結設備を不要とする。

(注) ペレットと生銑石の併用の場合は生銑石の整粒, 従つて篩下粉の焼結という問題が派生する。

1. 日本を対象とした海外ペレット供給源
- 2~3 年前に米国の Erie Mining のペレットが試験的に輸入され, 富士製鉄, 日本鋼管などで高炉に使用されたがその結果は使用量も少ないので焼結銑と同程度であるという定性的な結論しか得られなかつた。現在日本を対象として計画されているペレット供給源のおもなものは次の通りである。

第13表 日本を対象としたペレット供給源

銘柄	Fe	年間生産量	開始時期
ペルーマルコナ	67%	100万 t	S 38年
北米カイザー	65	100	40
ゴアチョーグル	65	30	40
豪州スコットリバー	60	50	41
豪州ローブリバー	62	—	—
タスマニヤサベジリバー	68	—	—

濠州ローブリバーは米国の鉱山会社 Cleveland Cliffs タスマニヤサベジリバーは同じく米国の Pikards Mather 社で日本を対象に開発せんとするものでいずれもペレット関係で世界的に活躍している会社である。両方とも少くとも 100 万トン以上の年産 unit となるであろう。

2. マルコナペレット

マルコナペレットは S. 38 年夏より南米ペルーマルコナにて年産 100 万トンの規模を以て生産を開始している。生産方式はルルギ式の模型水平炉(DL式)である。八幡, 富士, 日本鋼管, 住友がこれを対象とした。

品位

Fe	FeO	SiO ₂	CaO
66~68	0.1~0.3	1.5~1.8	0.3~0.35
Al ₂ O ₃	S	P	Cu
0.30~0.35	0.02~0.03	0.01	0.02

S. 38 年 9 月より住友, 日本鋼管, 富士で逐次使用されたが, 最初の高炉での使用結果は何れも芳しいものではなかつた。すなわち高炉で 20~30% 以上配合すると風圧が上昇し, 棚吊り, スリップを誘発し炉況が不安定となった。これはマルコナペレットが CO ガスにより高温下で急速還元をうけると膨脹粉化崩壊するという特異な性状を有するためと考えられている。これについてはマルコナのペレットフィードである鉱石自体にそういう基本的な化学的結合組成があるとも考えられるが, 現段階では未だ充分解明されていない。

これの対策としては次の技術的事項が考えられる。

- a. 原精銑の粒度を更に微粉化する。
- b. 焼成温度を 1250°C 以上出来れば 1280°C 以上とする。
- c. ベントナイト, 石灰などの slag base の Binding 剤を増量添加する。
- d. 焼成時間を長くする。

いずれにしてもマルコナペレットの使用は日本製銑関係に貴重な教訓と経験をあたえたものであり, 今後海外ペレットの使用に当つては次の事項を事前に充分調査検討しておく必要がある。

- a. 鉱山の立地条件とその現模, 輸送系統
- b. ペレット生産方式と技術水準
- c. 原銑の化学的結合組成と各種のペレット確性試験
- d. 製造条件(粒度, 焼成温度, 結合添加剤など)

VII. 結 言

以上現在迄のペレット製造技術発展の趨勢とその高炉使用による実績および今後の技術上の問題点などについて

て展望した。

近時、わが国鉄鋼界の発展、特に転炉鋼の生産比重の急激な増大は当然、高炉溶銑の急速な増産を強要している折柄、高炉操業能率向上策の一つとして従来の整粒鉍石、自溶性焼結鉍に変るべき優秀なる品質を有するペレットの出現を期待している。

しかしながら、前述のごとく現在では日本で使用した輸入ペレットの成績は決して満足なものではなくまだまだ品質上の改善研究の余地あることを示したが、必ずや近き将来品質上の諸問題は解決され、半還元ペレットなどの新技術の開発と相俟つて有効なる高炉原料として高炉操業の合理化に大いに寄与すべきであろうし、またわれわれもその方向に大いに努力すべきであると考え。

文 献

- 1) Iron & Steel Inst. Special Rept. 72 (1962) p. 180~189
- 2) Iron & Steel Engr. (1961) 3, p. 119~124
- 3) KURT MEYER: Stahl u. Eisen (1963) 22, p. 1337~1345
- 4) 第14回製銑部会資料, ペレット法と焼結法との比較
- 5) 木下産商編, 北米ペレット事情調査報告書 昭38. 12月
- 6) 学振, 銑54委. 昭39. 2月
- 7) Utah Const, Summary Report of Dayton Metallurgical Studies, 各種ペレタイジング法の比較.