

© 1982 ISIJ

## 加古川製鉄所におけるペレット製造技術の最近の進歩

技術報告

田口 和正\*・上仲 俊行\*・井裕 弘\*・水口 征之\*  
徳嵩 国彦\*・梅地 馨\*・金山 宏志\*<sup>2</sup>

## Recent Improvements of Pelletizing Process and Pellet Quality at Kakogawa Works

Kazumasa TAGUCHI, Toshiyuki UENAKA, Hiroshi ISAKO, Ikyuki MIZUGUCHI  
Kunihiko TOKUTAKE, Kaoru UMEJI, and Hiroshi KANAYAMA

### Synopsis:

The energy cost of pelletizing process has become higher than that of sintering process after the first and second oil crisis. In order to solve this problem, the following improvements were made on :

- (1) The firing system of indurating process has been changed into the pulverized coal injection from oil and coke oven gas injection.
- (2) The coke breeze has been inserted into the green pellets.
- (3) The modification for the grate process and process fan has been carried out.

As the result of these improvements, the energy cost has become almost equal to sintering process. Also, for the improvement of shape character, crushed pellets have been developed. The operation test was carried out with this new pellets in Kakogawa No. 2 BF, and the successful result was obtained.

## 1. 結 言

加古川製鉄所における事前処理鉱設備は将来の原料事情を勘案し、ペレットと焼結よりなる構成としている。これによつて事前処理鉱の原料ソースは拡大され、原料需給面で有利となるが、しかしこれを真に有利な条件として活用していくためには、ペレットの焼結鉱に対する競争力が前提となる。したがつて、当所においてはペレットの製造、使用両面の改善とそれに伴う競争力の強化が最大の問題であり、なかでも石油危機以降のエネルギーコストの上昇による対焼結格差の減少と成品品質の改善が当面の課題であつた。前者に対しては、焼成燃料の石油系から石炭系への転換と焼成プロセスの改善による省エネルギーにより、エネルギーコストは焼結のそれと同等もしくはそれ以下のレベルにまで低下させることができた。後者の成品品質に関しては、これまでの熱間性状の改善<sup>1)~3)</sup>に加えて形状特性の改善、すなわち破碎ペレットの開発を行い焼結鉱に近い高炉使用結果を得ることができた。以下これらのエネルギー体質ならびに成品品質の改善について報告する。

## 2. ペレットのエネルギー体質の改善

加古川製鉄所におけるペレットおよび焼結鉱のエネル

ギー原単位とエネルギーコストの推移を Fig. 1 に示す。エネルギー原単位およびエネルギーコストのいずれについても 1973 年のペレットのそれを 100 とした値で示した。この図から明らかなように、エネルギー原単位はペレットのほうが焼結よりも低い値を示している。これは、ペレタイジングプロセスが焼結プロセスに比して熱効率が高かつ成品歩留りの良いプロセスであるためである。しかしながら、エネルギーコストの比較では、'73 年の第 1 次石油危機以降ペレットは焼結鉱より高い値を示しており、この傾向は第 2 次石油危機直後の '80 年において最も顕著である。これは、使用エネルギーの大半を焼結プロセスでは石炭系エネルギーで賄っているのに対して、ペレタイジングプロセスでは石油系エネルギーに依存していたためである。

このように、石油危機による石油系エネルギーの高騰によりペレットと焼結鉱のエネルギーコスト格差は著しく拡大し、ペレットの競争力を低下させる結果となつた。しかしながら、'81 年後半においてはペレットのエネルギーコストは再び焼結のそれと同等まで低下しており、これは以下のエネルギー体質の改善により達成されたものである。

- |             |                      |
|-------------|----------------------|
| ① 微粉炭燃焼     | } 石油系から石炭系への燃料<br>転換 |
| ② ブリーズの内装使用 |                      |

昭和 57 年 3 月 25 日受付 (Received Mar. 25, 1982)

\* (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., 1 Kanazawa-cho Kakogawa 675-01)

\*<sup>2</sup> (株)神戸製鋼所中央研究所 (Central Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

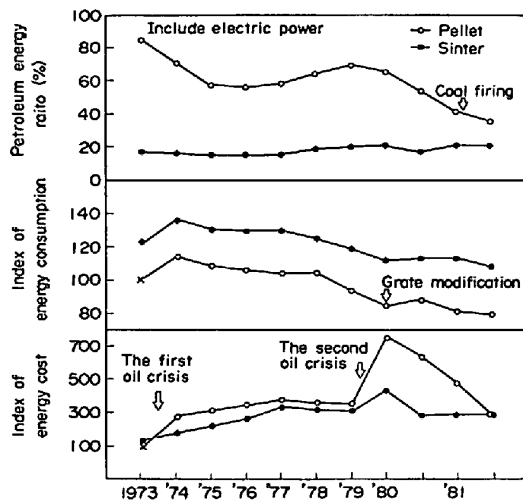


Fig. 1. Trend of energy consumption and energy cost at Kakogawa pelletising plant and sintering plant.

### ③ 焼成プロセスの改善による省エネルギー

#### 2.1 焼成用燃料の石炭系への転換

従来、ペレットの焼成用燃料としてはコークス炉ガス(COG)と重油を併用しており、重油の使用割合は約40%であった。しかし微粉炭燃焼、ペレット中へのブリーズ内装使用などの燃料転換後の重油の使用割合はほぼ0%となり、現在の焼成用燃料の内訳は石炭80%、ブリーズ10%およびCOG10%である。

##### 2.1.1 微粉炭燃焼

微粉炭燃焼システムとしては、大きく分けて粉碎された石炭を直接バーナーに輸送して燃焼する直接燃焼方式(Direct Firing System)と粉碎した微粉炭を貯蔵槽にストックしたのち燃焼する貯蔵燃焼方式(Bin System)がある<sup>9)</sup>。

システムの採用に際しては、安全性、運転操作性、保全性および経済性などの観点から直接燃焼方式を採用した。

燃焼用石炭銘柄の選定にあたっては、各種石炭炭種を対象に粉碎性、燃焼性、爆発性ならびに経済性を比較検討した。さらに、ペレタイジング設備においてはキルン内壁へのリング付着がきわめて重要な要素であるので、付着指数(Deposition Parameter)およびリング指数(Ringing Parameter)<sup>10)</sup>に重点をおいてTable 1に示す基準を設け管理することとした。

微粉炭燃焼は1981年3月より開始し、逐次重油ならびにCOGから石炭へと切り換え、現在は石炭90%、COG10%(除く内装ブリーズ10%)とオイルレス化はもちろんCOG比率も大幅に下げた状態で順調な操業を実施している。この結果エネルギーコストは大幅に低

Table 1. Quality control for firing coal.

Items	Group	Unit			
			A	B	C
Ash		%	<8	9~10	9~12
Melting point of ash		°C	>1350	1350~1300	<1300
Deposition parameter		—	<500	500~1000	>1000
Ringing parameter		—	<50	50~100	>100
Hardgrove Grindability Index		—	>70	50~70	<50
Volatile Matter		%	20~30	30~34	34~40
Method		—	Single	Single	Mixed with A

下し、微粉炭燃焼前のそれと比して約60%となった。

今後は、燃焼用炭種の低質炭への移行および石炭からブリーズへの一部置換などを検討し、さらにエネルギーコストの低減を図っていきたい。

#### 2.1.2 ブリーズの内装使用

ブリーズを内装使用するに際して問題となるのは成品品質への影響である<sup>11)~16)</sup>。すなわち、

① ペレット内酸素分圧の低下にともなう成品中FeOおよびRDIの上昇

② 内装ブリーズの燃焼による成品ペレットの二重構造化にともなう強度の低下

③ 内装量変動にともなう品質のばらつき増大  
これら成品品質への影響については、ベンチスケールテストにて事前に調査し、内装量1%程度までは品質に大きな影響をおよぼさないことを確認した後、実操業に適用することとした。

現在、内装ブリーズ量として0.4%の配合を実施しており、残留炭素量、成品中FeO量、破面検査、造粒原料のプレンドイング強化、キルン排ガス酸素濃度管理などを行うことにより品質変動を防止している。

ブリーズ内装によりキルン焼成燃料の節減効果は約29000 kcal/tと大きく(ブリーズ0.1%当たり7200 kcal/tの節減)、熱量換算計算を行うと内装ブリーズとキルン焼成燃料との燃料置換率はほぼ100%となる。

#### 2.2 省エネルギー

ペレタイジングプロセスは大別すると粉碎・造粒・焼成・冷却の各工程より成っている。このうち、エネルギー消費の大きい工程は、燃料面では焼成工程、電力面では粉碎と焼成の各工程である。したがって、省エネルギーの対象となるのもこれらの工程であるが、焼成工程における熱バランスとその改善策をTable 2に、粉碎、焼成工程における電力消費内訳とその低減策をTable 3にそれぞれ示した。Table 2, 3の改善策について実施の難易、効果量について検討し、まず焼成工程の省エ

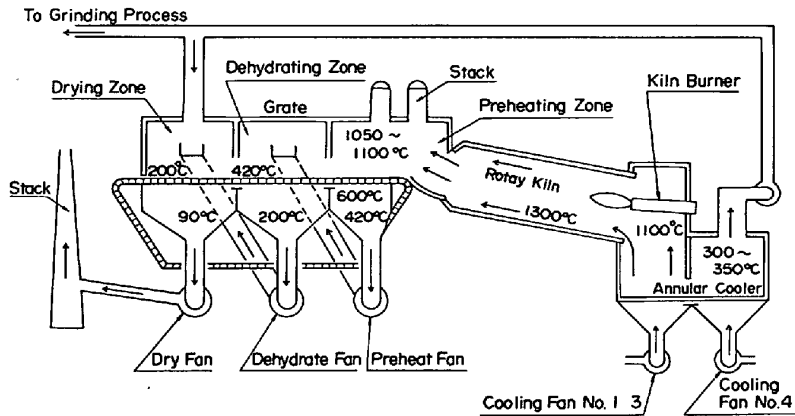


Fig. 2. Flowsheet of indurating process at Kakogawa.

Table 2. Heat balance on indurating process.

	Items	Proportion(%)	Improvements
Grinding process	Ball mill	28.0	Increasing of ground product Increasing of grinding efficiency
	Process fan	4.5	Decreasing of waste gas Prevent of leakage
	Other equipments	6.6	Increasing of equipment efficiency Increasing of ground product
	Environmental control equipments	1.7	
	Total	40.8	
Indurating process	Process fan	36.7	Decreasing of waste gas Prevent of leakage Increasing of equipment efficiency
	Other equipments	19.8	Increasing of equipment efficiency
	Environmental control equipments	2.7	
	Total	59.2	
Total electric power consumption		72.2 KWh/t	

\*1 Waste gas of high temperature chamber in cooler.  
\*2 Waste gas of low temperature chamber in cooler

Table 3. Proportion of electric power consumption.

	Items	X10 <sup>3</sup> Kcal/t	Improvements
Input energy	Sensible heat of green pellets	19.5	
	Oxidation heat of ore	27.2	
	Calorific value of fuel	231.8	
	Recovery heat of waste gas 1	263.2	
	Total	541.7	
Output energy	Heat radiation of equipments	65.7	Heat resistance Heat recovery
	Evaporation heat of attached water	56.2	Decreasing of moisture content
	Decarbonization heat	47.3	
	Heat loss of waste gas	32.8	Decreasing of waste gas
	Evaporation heat of combined water	21.0	Decreasing of blending ratio
	Sensible heat of pellets	6.0	Heat recovery
	Recovery heat of waste gas 1*1	263.2	
	Recovery heat of waste gas 2*2	49.5	
	Total	541.7	

エネルギーを推進することとした。焼成工程のフローを Fig. 2 に示す。

焼成工程は Table 2 に示されるように、排熱回収が出熱で 60% 入熱中で 50% をしめめた、熱損失（機器放熱、排ガス損失）が約 15% と低く、著しく熱効率の高い設備である。一方、電力消費割合をみると、Table

3 に示すように焼成工程におけるプロセスファンのしめる割合が大きい。しかし、ペレットプロセスでエネルギー消費量を下げするためには、エネルギー使用割合の大きい焼成工程でのより一層の省エネルギーが必要である。したがって燃料消費量および電力消費量の低減を図るためには、焼成工程での熱効率の向上と各機器の負荷低減が最も効果的であり、その具体的な方策としてグレート熱効率の向上とこれにともなうプロセス風量の低減を進めることとした。

グレートは低温側から順次乾燥室、離水室、予熱室で構成されているが、グレートでの熱効率を向上させる方法としては、最高温部である予熱室における熱交換機能を向上させることが有効であると考えた。そこで、予熱室の面積割合を 35% から 45% へ、乾燥室・離水室について 40% から 35%、25% から 20% へと変更した。

この結果、生ペレットへの装入水分の低下効果も合まって、Fig. 3 に示すようにグレート内でのペレットの温度は上昇し、ガス量原単位（空気/ペレット比）が減少した。ガス量原単位の低下は循環ガス量を減少させることになり、プロセスファンの負荷が低下し、各プロセスファンを低負荷高効率型に改造することができた。

これら設備改造を主体とした省エネルギー対策による

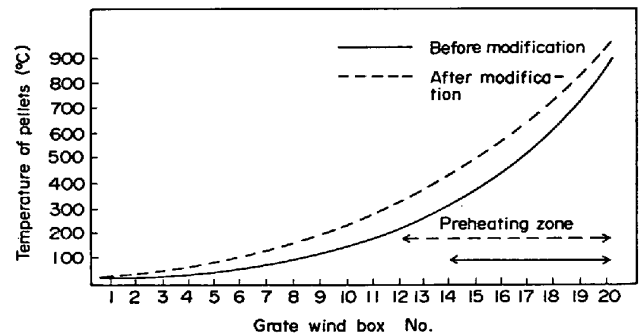


Fig. 3. Heat pattern of pellets.

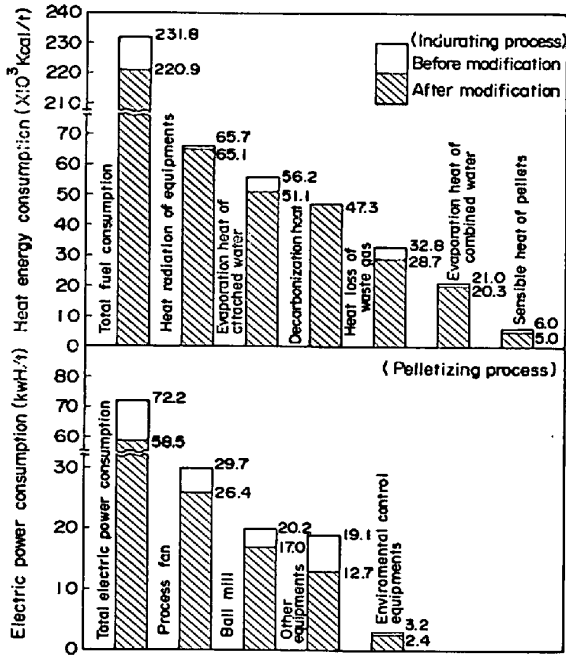


Fig. 4. Comparison between energy consumption before and after modification of the grate.

エネルギー原単位の変化を Fig. 4 に示すが、燃料原単位で約 5% (11 000 kcal/t)、電力原単位で約 20% (16 kWh/t) 低下した。

### 3. ペレットの品質改善

ペレットと焼結鉱の性状を比較すると、冷間強度および成品粒度分布の面では、ペレットは焼結よりも優位にあるものの、形状特性や熱間性状に関して高炉使用上以下の問題があった。

- ① 球形であるため安定した装入物分布を確保し難く、かつ炉内降下時にコークス層へもぐり込みやすい。
- ② 軟化溶融温度が低く、かつ還元停滞現象を生じやすい。

このため、(株)神戸製鋼所ではこれまで熱間性状に主眼をおいて、ペレットの品質改善を実施してきた<sup>1)~8)</sup>。

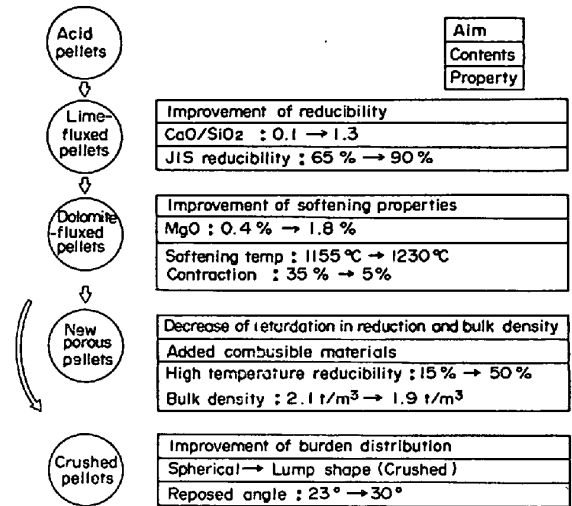


Fig. 5. Progress of pellet quality in Kobe Steel.

(株)神戸製鋼所におけるペレット品質改善の経緯を Fig. 5 にこれら各種改質ペレットの性状を Table 4 に示す。Fig. 5, Table 4 に示されるように、ドロマイトペレットの段階にいたり上記問題点のうち②項の熱間性状の問題はほぼ解消され、高炉操業成績も大幅に向上する結果となった。しかし、形状特性に係る問題は残されたままであり、ペレット多配合下において高炉操業成績のより一層の向上を図るためには、この面での改善が必要となり、その具体的な方策として破碎ペレットの開発を進めることとした。

#### 3.1 破碎ペレットの性状

Jumbo ペレットおよび破碎ペレットの外観写真を Photo. 1 に示す。破碎ペレットは、大粒径のペレットを破碎することにより得られるものであり、Table 4, Fig. 6 に示されるように以下の特徴がある。

- ① 安息角が通常ペレット (普通粒径ドロマイトペレットで非破碎) より大きく焼結並みである。
- ② 被還元性に優れ還元停滞が少ない。

加古川 I 高炉解体時の通常ペレット、破碎ペレットお

Table 4. Properties of various pellets and sinter.

	Unit	Acid pellets	Fluxed pellets	Dolomite pellets	New-porous pellets	Crushed pellets	Sinter	
Total porosity	%	28.3	26.2	26.3	34.7	25.0	-	
Bulk density	T/m <sup>3</sup>	1.9	2.1	2.1	1.9	2.0	1.6	
Reposed angle	degree	-	23	23	25	30	31	
JIS reduction degree	%	63.1	88.6	83.7	90.3	89.0	64.8	
Reduction under load to 1100°C	Contraction	%	43.2	35.6	4.7	9.9	7.0	16.4
	Reduction degree	%	58.2	89.4	81.0	90.5	89.0	70.4
Softening temp.	°C	1150	1155	1230	1230	1200	1220	
Melting down temp.	°C	1260	1380	1430	1410	1380	1510	

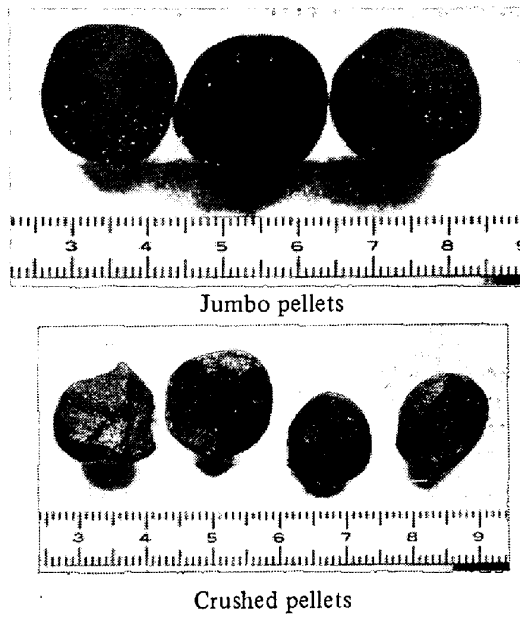


Photo. 1. Appearance of jumbo and crushed pellets.

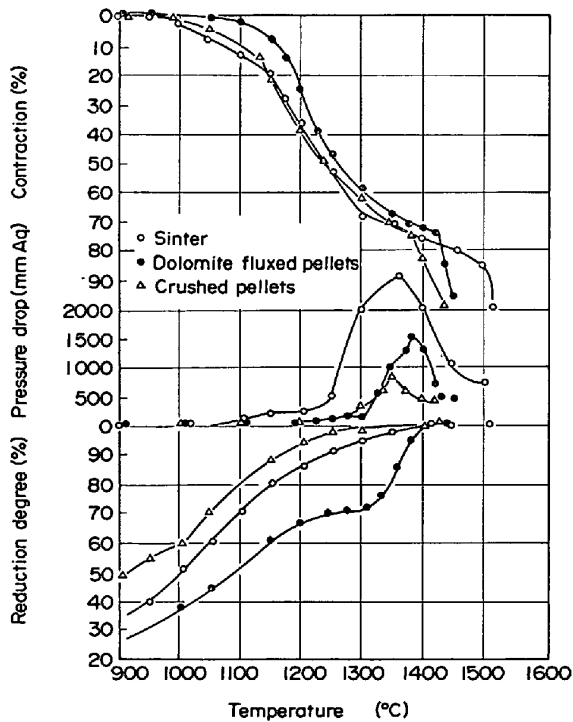


Fig. 6. Results of heating and reducing tests under load with various pellets.

よび焼結鉱の炉内観察写真を Photo. 2 に、これらの下部コークス層へのもぐり込み状況を Fig. 7 に示すが、破碎ペレットは通常ペレットに比較して下部コークス層へのもぐり込み量が著しく少ないことがわかる。また、コールドモデルを用いて炉口ガス速度による装入物分布への影響を調査した結果からも<sup>1)</sup>、安息角の大きな焼結および破碎ペレットは通常ペレットに比して装入物層の安定性が大きいことがわかる。このように破碎すること

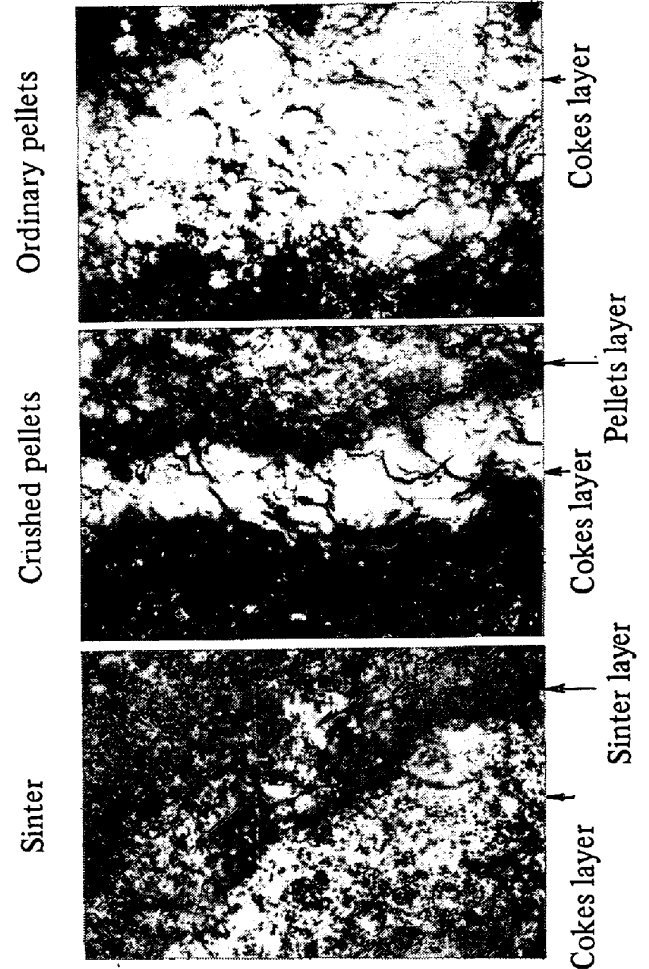


Photo. 2. Appearance of ore sinking into coke layer with observed ones after dissection at Kakogawa No. 1 BF.

により、通常ペレットのもつ形状に起因する短所を一応解消し得たものと考えられる。

また、破碎により被還元性が向上し、還元停滞現象が改善されたことに関しては以下のように考える。

- ① 破碎による比表面積の増大
- ② 破碎による半径方向での気孔分布の変化
- ③ 破碎による還元相当半径の減少

このうち上記②項に関しては、以下のように考える。Jumbo ペレットと通常ペレットの半径方向での気孔径ならびに気孔率分布を Fig. 8 に示す。Fig. 8 から明らかなように、Jumbo ペレットでは、気孔径、気孔率とも内部にいくにしたがつて大きくなっており、また通常ペレットとの比較でも Jumbo ペレットのほうが大きい。すなわち、このような特徴を有した Jumbo ペレットを破碎することによつて、破碎ペレットの気孔径分布が通常ペレットのそれに比して、被還元性を良化させる方向に変化したものと推定される。

破碎ペレットは以上のように、通常ペレットに比して

Table 5. Size distribution of Jumbo pellets, Crushed pellets and Ordinary pellets.

	Unit	Jumbo pellets		Crushed pellets		Ordinary pellets		
		$\bar{x}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{x}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{x}$	$\bar{\sigma}$	
Size distribution	20~25 (mm)	%	4.5	2.5	—	—	—	—
"	15~20 ( " )	%	81.5	3.5	5.6	0.4	1.3	0.6
"	10~15 ( " )	%	8.9	0.9	47.7	6.0	71.6	8.2
"	5~10 ( " )	%	4.5	1.2	45.5	5.4	26.9	6.0
"	-5 ( " )	%	0.6	0.2	1.2	0.5	0.2	0.1
Mean size		mm	16.8	0.1	10.6	0.3	11.0	0.3

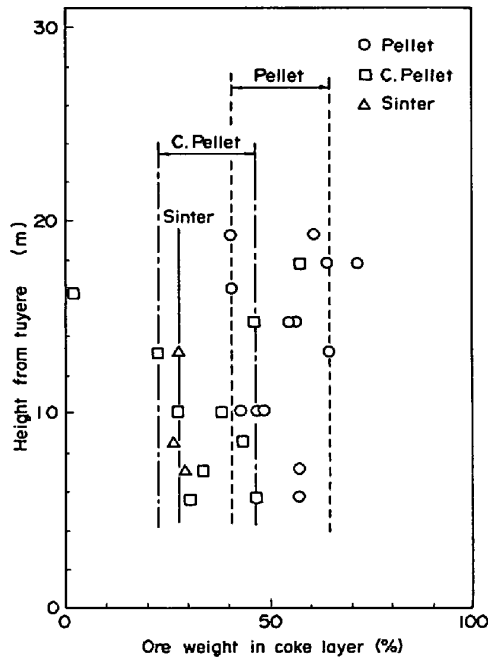


Fig. 7. Sinking of ore into coke layer. (Results with observed ones after dissection at Kakogawa No. 1 BF)

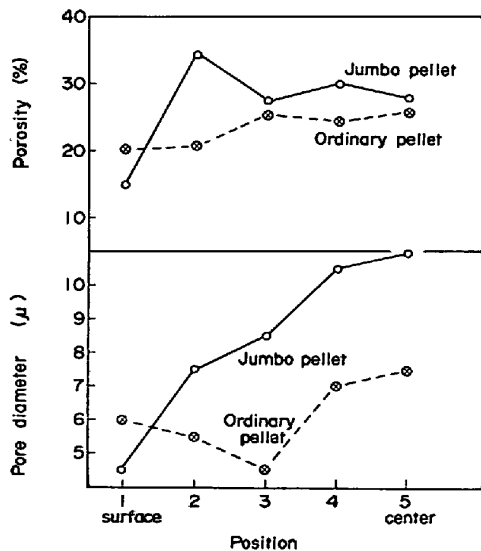


Fig. 8. Distribution of porosity and pore diameter. (Result of image analyzer)

優れた性状を有しているが、実操業に際して問題となるのは粒度分布の変動とこれに起因する性状の変動であ

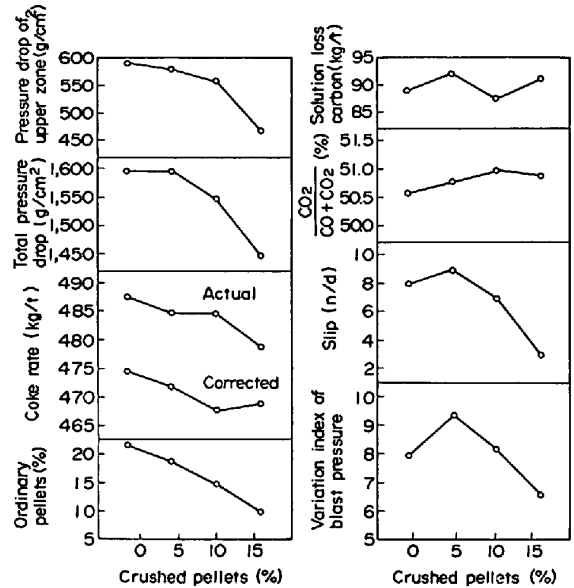


Fig. 9. Results of test operation with crushed pellets at Kakogawa No. 2 BF.

る。これに関しては、破碎方法や Jumbo ペレットの粒度分布を改善し、ほぼ満足な結果を得るにいたつた。Jumbo ペレットならびに破碎ペレットの粒度分布を Table 5 に示す。

3.2 破碎ペレットの高炉使用試験結果

破碎ペレットの使用試験は、1981年10月から12月までに加古川2号高炉(有効内容積: 3850 m<sup>3</sup>, 炉床径: 13100 mm)にて行つた。本テストに際しては、焼結鉱および塊鉱石配合率をそれぞれ50%, 25%と一定とし、破碎ペレットは通常ペレットと置換える形で使用テストを行つた。

テスト期間中の高炉操業推移を Fig. 9 に示す。図から明らかのように、破碎ペレットの増配によつて、

① 炉内圧損が著しく低下した。特に、炉上部での低下が顕著である。

② スリップ回数が減少した。

③ 風圧変動が減少した。

④ ガス利用率も若干向上した。

これらの結果、燃料比が約 6 kg/t 低下した。このように、炉況が良化したことについては通常ペレ

トから破碎ペレットへの置換により、前項で述べたように、

- ① 装入物分布表面形状が安定化した。
- ② 炉内降下時のペレットのコークス層へのもぐり込み量が低下した。
- ③ 被還元性ならびに還元停滞現象など熱間性状が良化した。

ことなどによる、炉内通気性の改善によりもたらされたものとする。

しかし、炉内圧損の低下が炉上部帯において特に顕著であったことを考えあわせれば、今回の破碎ペレットによる炉況良化は、形状特性の改善による部分が大きいと判断している。今後は破碎ペレットの品質改善をさらに進めるとともに使用テストを重ねることによつて、より詳細な検討を実施していきたい。

#### 4. 結 言

これまで、特に石油危機以降ペレタイジングプロセスは焼結プロセスと比較して、エネルギー消費量が少ないにもかかわらず、エネルギーコストの高いものであった。これは、使用エネルギーがペレットではこれまで、石油系燃料に依存していたためである。今回、焼成用燃料の石油系から石炭系への転換ならびに各種省エネルギーを推進することにより、エネルギーコストに関しては焼結と遜色ないレベルに到達した。今後さらにブリーズ内装量の増加と微粉炭燃焼用炭種の改善により一層のコスト低減を図っていきたい。

また一方、品質面についてもドロマイトペレット、軽量ペレットの開発等ペレット熱間性状の改善に加えて、ペレットの形状特性を改善した破碎ペレットの開発により焼結鉄とほぼ同等のものとする事ができた。

現段階では、破碎ペレットの歩留りは80%程度であり焼結鉄に比して経済性の面ではやや劣る結果となつてはいるが、今後破碎設備の改造および破碎技術の向上により改善が可能であり十分に競争力のあるものと考えている。

以上、ペレットプロセスはエネルギーコスト、品質い

ずれの面についても焼結プロセスのそれとほぼ比肩し得るレベルまで改善された。これによつて、原料事情に応じたペレットと焼結の生産配分が可能となり、当所のペレット—焼結設備体制のメリットを十分に活用し得る日も近いものとする。

#### 文 献

- 1) 藤井成美, 田村節夫, 田口和正, 国井和扶, 西田礼次郎: 鉄と鋼, 54 (1968), p. 1241
- 2) 小野田守, 川口二三一, 竹中芳通, 藤田勇雄: 鉄と鋼, 62 (1976), S1
- 3) 佐伯 修, 西田 功, 上仲俊行, 田中孝三, 金本勝, 松本忠夫, 田口和正, 明田 莞: 鉄と鋼, 62 (1976), S429
- 4) 佐伯 修, 西田 功, 上仲俊行, 田中孝三, 池田耕一, 稲葉晋一, 沖本憲市, 小林 勲: 鉄と鋼, 62 (1976), S430
- 5) O. SAEKI, K. TAGUCHI, I. NISHIDA, I. FUJITA, M. ONODA, and O. TUCHIYA: Agglomeration '77, Proc. International Symposium on Agglomeration, 2 (1977), p. 803 [AIME, New York]
- 6) 土屋 脩, 大槻 健, 杉山 健, 小野田守, 藤田勇雄: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 1057
- 7) 土屋 脩, 大槻 健, 杉山 健, 小野田守, 藤田勇雄: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 1297
- 8) K. TAGUCHI, K. HANAOKA, and K. IKEDA: Australia Japan Extractive Symposium, Sydney (1980), p. 179
- 9) 中村恭之: エネルギー・資源, 3, 2, (1982), p. 132
- 10) B. P. FAULKNER, E. T. LOSIN, and R. F. CNARE: the 50th Annual Meeting Minnesota Section, AIME Duluth, Minnesota, January (1977), p. 12
- 11) 西田礼次郎, 金子伝太郎, 谷村 享, 金本 勝: 鉄と鋼, 59 (1973), S319
- 12) 岩瀬喜八郎, 金山有治, 相馬英明, 今野乃光: 鉄と鋼, 60 (1974), S17
- 13) 島崎利治, 池田正夫: 鉄と鋼, 60 (1974), S373
- 14) 下村泰人, 沖川幸生, 蜂須賀邦夫, 高橋愛和, 石井正夫: 鉄と鋼, 62 (1976), S4
- 15) 坂本 登, 宮下恒雄: 鉄と鋼, 67 (1981), S745
- 16) 宮下恒雄, 坂本 登, 福与 寛: 鉄と鋼, 68 (1982), S23
- 17) M. ONODA, O. TUCHIYA T. SUGIYAMA, and I. FUJITA: Ironmaking Proceeding, Vol. 40, (1981), p. 286