© 1992 ISIJ

論文

加古川2高炉におけるペレット多配合操業

小野 玲児*・後藤 哲也*・木口 淳平*
堀 隆一*・桑野 恵二*

High Pellets Ratio Operation at Kakogawa No. 2 Blast Furnace

Reiji ONO, *Tetsuya* GOTO, *Junpei* KIGUCHI,
Ryuichi HORI and *Keiji* KUWANO

Synopsis :

At Kakogawa Works of Kobe Steel, Ltd. a sinter plant and a pelletizing plant have been operated for pretreatment of ores and the ore are used for source of pellets or sinter according to the brand, grain size and chemical composition. This builds an extension to the variety of raw material. In future, as the ratio of fine ore in raw material increases, the importance of pelletizing is considered to increase. Therefore, to establish the predominance of pellets over sinter, advantages of not only cost but also applicability is needed.

From this point of view, test operation was conducted for raising the mixing ratio of pellets from the conventional 35% to 70% at Kakogawa No. 2 blast furnace, where pulverized coal is continuously injected at 120 kg/t. By means of adjustment of burden distribution and mixing small coke into ore, the stable operation was continued with no conspicuous changes in the furnace condition.

Key words : blast furnace ; pellets ; pulverized coal ; burden distribution.

1. 緒　言

加古川製鉄所では原料の事前処理工場として焼結工場とペレット工場を有しており，鉄鉱石の銘柄，粒度，成分に応じて，ペレットと焼結原料に使い分けている．これにより事前処理鉱の原料ソースは拡大される．また，ペレットは焼結鉱とほぼ同等の製造コストで生産でき，さらに今後原料の微粉鉱の割合は増加すると予想されるため，微粉鉱を多量に使用できるペレットが重要になると思われる．

しかしながら，ペレットの焼結鉱に対する高炉原料としての優位性を確立するためには，製造面だけでなく，使用面での焼結鉱に対する競争力を持つ必要がある．しかしながら，ペレットは焼結鉱に比し形状特性や熱間性状に難点があるため，従来高炉での多量使用が困難とされていた．そのため当所ではペレットの品質面での改善としてドロマイトの添加により熱間性状の向上[1)~9)]などを図ってきた．

そこでこの効果を見極めることに加えて，高炉での焼成鉱配合率を柔軟に変化させる技術の確立を目的に，ムーバブル・アーマー，コークス中心装入装置を有し微粉炭多量吹き込み（120 kg/t レベル）を継続している加古川2高炉において，ペレットの配合率を従来の 35%（焼結鉱配合率 40%）から 70%（焼結鉱配合率 15%）まで増加させる操業を実施した．以下このペレット多配合操業の概要，炉内状況，解析結果について述べる．

2. ペレットと焼結鉱の比較

2・1 ペレット，焼結鉱の性状比較

本操業で使用したペレットは自社製のドロマイト添加自溶性ペレットであり，一部輸入ペレットも使用した．Table 1 にペレット，焼結鉱の平均的な化学組成，粒度を示す．

2・2 ペレット，焼結鉱の高温荷重還元試験結果

上記のペレットと焼結鉱を小型の高温荷重還元試験[10)]に供した結果を Fig. 1 に示す．装置の仕様と試験条件は Table 2 に示すが，CO-N_2 系の還元ガスで昇温速度の速い炉内中心部を想定した条件では，焼結鉱に比べペ

平成3年11月15日受付　平成4年4月10日受理（Received on Nov. 15, 1991 ; Accepted on Apr. 10, 1992）

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

Table 1. Average properties of pellets and sinter.

	Chemical composition (%)						Basicity (—)	Size (mm)
	T. Fe	FeO	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO		
Pellet	61.8	0.2	3.0	4.3	1.31	2.29	1.42	11.7
Sinter	56.3	7.6	5.6	11.7	1.85	0.28	2.08	10.4

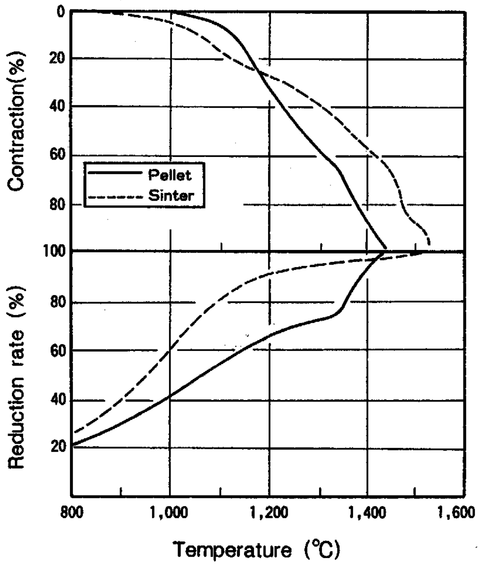

Fig. 1. Test results of high-temperature reduction of pellets and sinter under load.

Table 2. Test conditions.

Items	Conditions
1) Grain size	Pellets : Grain size of the product Sinter : 3-6 mm
2) Maximum temperature	Melting-down temperature
3) Heating-up rate	< 1 000°C : 10°C/min > 1 000°C : 5°C/min
4) Holding time at 1 000°C	0
5) Flow rate of reducing gas	8.3 cm^3/s
6) Composition of reducing gas	CO/N_2 (30/70)
7) Load	1 kg/cm^2
8) Vessel material	Graphite

レットは1 100°Cから1 300°Cにおいて還元率が低く，かつ還元停滞現象を示し，溶け落ち温度も焼結鉱に比べ低いことがわかる．なお，焼結鉱の粒度は炉内サンプリングの測定結果[12]からシャフト下部の焼結鉱粒度を考慮して，3～6 mmとし，ペレットは焼結鉱に比し，炉内での還元粉化量が少ないため製造品粒度とした．

2·3 ペレット，焼結鉱の配合率による傾斜角変化

ペレットと焼結鉱の配合率を変化させて傾斜角度の変化を装入物分布実験装置[11]で調査した結果をFig. 2に示す．ペレット配合率35%から70%への増加に対して傾斜角度がほぼ2.5°低下した．

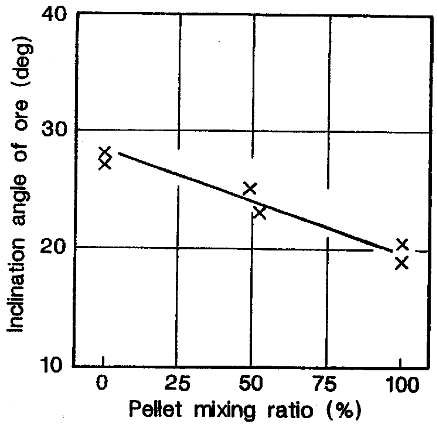

Fig. 2. Relationship between pellet mixing ratio and inclination angle on an experiment model (Bell charging).

3. ペレット多配合操業に向けての操業方針

Fig. 3にペレット多配合操業により予想される現象を思考フローにまとめた．これらの対策として以下に示す操業方針でのぞんだ．またこの考え方は5章にて後述する．

1)ガス分布については，ペレット多配合操業により傾斜角が低下し周辺流が増加しすぎることが予想されるため，Fig. 4に示すようにコークス中心装入[13]により安定した中心ガス流を形成させ，さらにムーバブルアーマーを用いて周辺ガス流の制御を行うこととした．ムーバブルアーマーによる装入物分布制御法は，コークス，鉱石を各2バッチに分割した C_1 C_2 O_1 O_2 の装入方式で，C_1, C_2 のアーマーを炉内側に押し出し，コークスのM型分布を作った後，M型の山の部分を O_1 で削り取り，炉中間部～周辺部にかけてのOre/Coke分布を平滑化させる．

2)傾斜角の低下に対しては，鉱石層中に小粒コークス(8～32 mm)を混合し，傾斜角度を大きくする．

3)炉芯コークスを健全にするために，コークス中心装入により中心部にペレットが入り込まないようにし，炉芯中央部のコークスの劣化を防止した．またその周辺部に対してはペレットの還元停滞に起因する直接還元量の増加が予想されるため，鉱石層中への小粒コークスの混合[14]を実施し，小粒コークスによる優先的なソルーションロス反応で塊コークスの粒径低下を防止し，炉芯の通気·通液性を保つ．

4. ペレット多配合操業推移

加古川2高炉におけるペレット多配合操業時の操業推移をFig. 5に示す．'91年3月中旬よりペレット配合

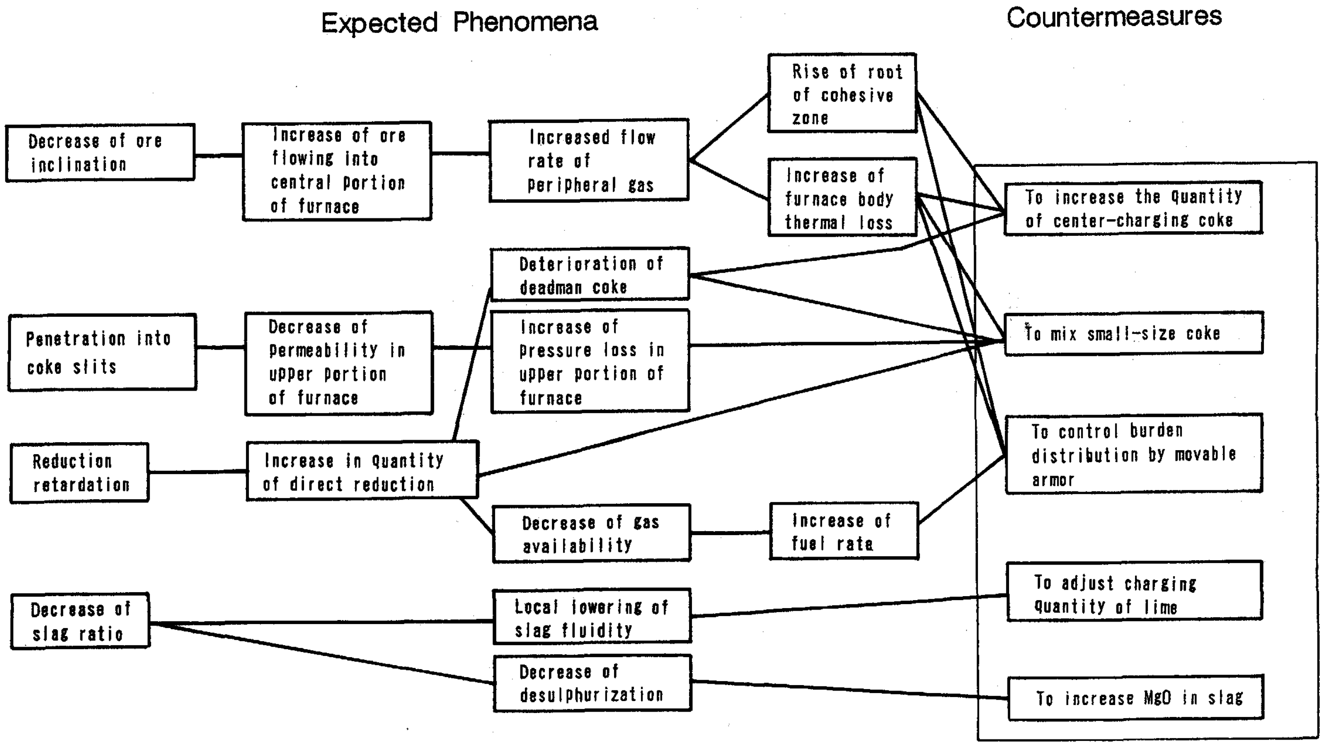

Fig. 3. Phenomena expected of operation at high pellet ratio and countermeasures.

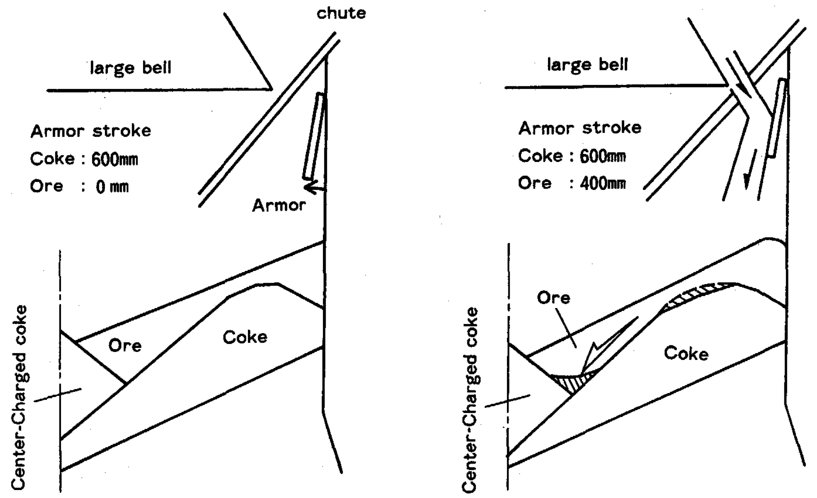

Fig. 4. Burden distribution control by coke center charging and movable armor (C_2 and O_1).

率を従来の35%から漸次増加させ，4月上旬には操業上特に問題もなく61%まで達した．中旬にはシャフト下部のステーブ鋳物温度の変動やスリップの発生，一時的な炉熱低下が見られた．これらの現象は，鉱石層の堆積傾斜角度の低下により，炉下部の周辺ガス流が増加したためと推定されたので，C_2のアーマーを押し出し，周辺部のOre/Cokeを増大させるとともに，コークス中心装入量を1チャージ当たり0.7tから1tまで増加させ周辺ガス流の抑制，さらに中心ガス流の安定を図った．

4月下旬には小粒コークス（8～32 mm）の鉱石層中への混合を開始し，5月上旬には30 kg/tまで増量した．これらの効果により，ガス利用率の上昇，スリップ回数の減少等に見られるように炉況は安定し，5月中旬にはペレット配合率を70%まで上昇させることができた．その後，ペレット70%配合でもスリップは皆無となり，燃料比の低下がはかられ，ガス利用率もさらに上昇させることができ，炉況面では大きな変化もなく安定した操業が継続できた．

6月中旬に1ヶ月にわたるペレット配合率70%の操業を終了し，その後，ペレットの減配を行った．このペレット配合率70%の操業期間中，スラグ比は従来の

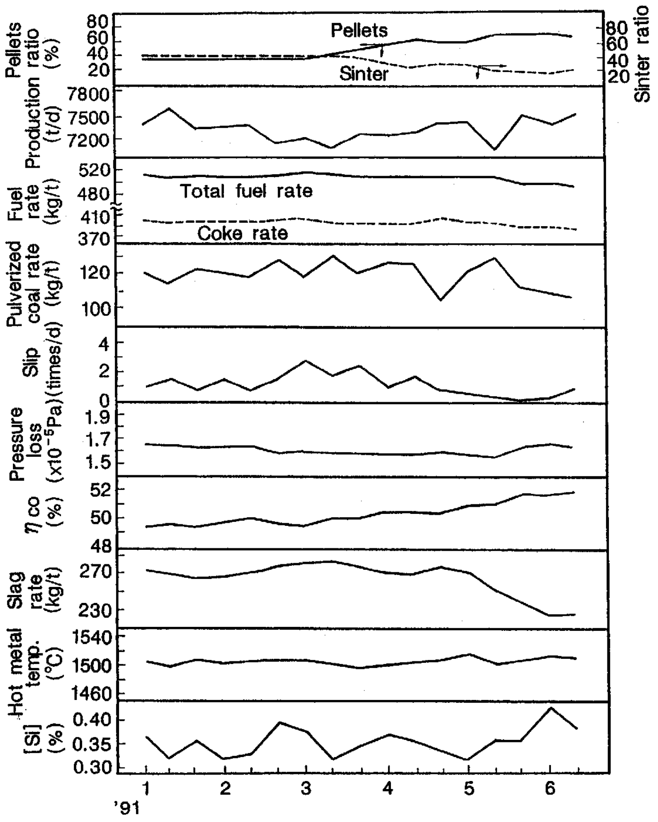

Fig. 5. Transition of test operations at high pellet ratio of at Kakogawa BF No. 2.

270 kg/t から 220 kg/t まで低下し，装入石灰石は 30 kg/t から 50 kg/t まで達したが，通気性に関しては，ほぼ問題なく推移した.

5. ペレット多配合操業時の現象と考察

5・1 装入物分布

1)ペレット多配合時の装入物分布

ペレットと焼結鉱の傾斜角度の違いにより，ペレット多配合操業では焼結鉱多配合操業に比較し，炉中心部の Ore/Coke が増加し，中心ガス流が低下しやすい[15]. Fig. 6 に装入物分布シミュレーションモデル[16]を用いて計算したペレット配合率変更時の径方向装入物堆積形状と層厚比（*Lo/Lc*）分布を示す.

Fig. 6(a) はペレット配合率 35% のベース条件である. コークス中心装入を実施し，さらに C_1 と C_2 のムーバブル・アーマーを炉内側に押し出し，コークスの M 型分布を作ることにより，層厚比分布は中心部で低く，周辺部で高くなっている.

Fig. 6(b) はコークス中心装入を実施せず，さらにムーバブル・アーマーも使用しない場合のペレット配合率 70% での装入物堆積形状と層厚比分布である. この場合鉱石層傾斜角度の低下により中心部近傍の層厚比は 2.5 まで上昇することがわかる.

Fig. 6(c) は同じくペレット配合率 70% の装入物分

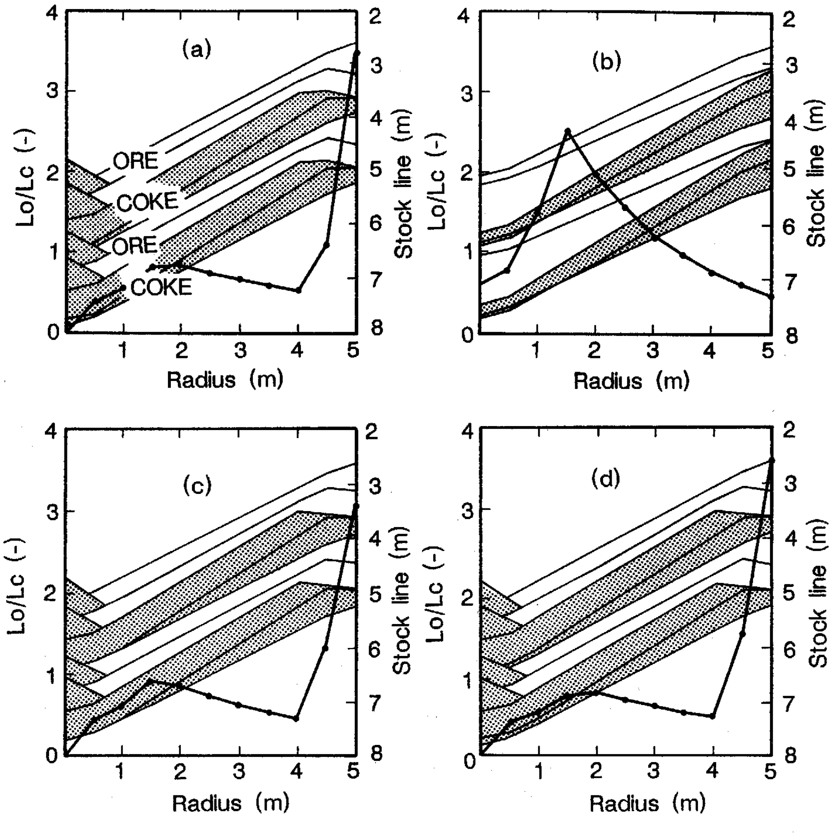

Fig. 6. Simulation of burden accumulation shape and distribution of layer thickness ratio (*Lo/Lc*).

布であるが，(a) と同様に C_1, C_2 及び O_1 でムーバブル・アーマーを使用し，コークス中心装入を行った場合のものである．これら二つの対策により，ペレット70%配合率の場合でも，炉中間部の層厚比は (a) よりやや大きくなっているものの，中心部の Ore/Coke は低下し，ほぼ (a) に近い層厚比分布が可能なことが推定された．

2)小粒コークスの鉱石層中混合による装入物分布

ペレット配合率増加時の炉中間部における傾斜角度の低下を抑制する目的で鉱石層中に小粒コークスを混合することを検討した．鉱石層中への小粒コークス混合量を変化させて，装入物の安息角を測定した結果を Fig. 7 に示す．小粒コークスの混合量が増加することにより装入物の安息角は大きくなっていることがわかる．また，この小粒コークスの混合による安息角への影響を，前述の装入物分布シミュレーションモデルへ反映させた計算結果を，Fig. 6(d) に示す．これによると小粒コークス30 kg/t 混合した時の装入物分布は，傾斜角度の増加により中間部の Ore/Coke は低下し，ほぼペレット35%配合時の装入物分布の Fig. 6(a) と同等の分布が得られることが推定された．

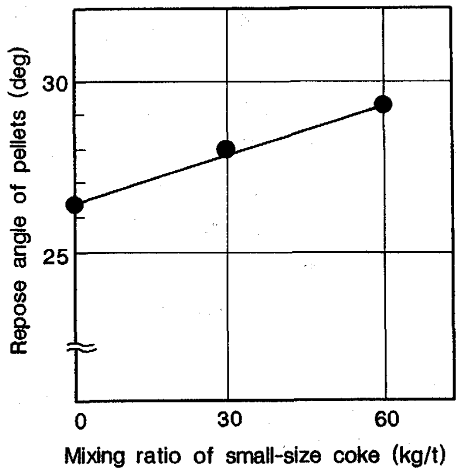

Fig. 7. Effect of mixed small-size coke on repose angle of pellets.

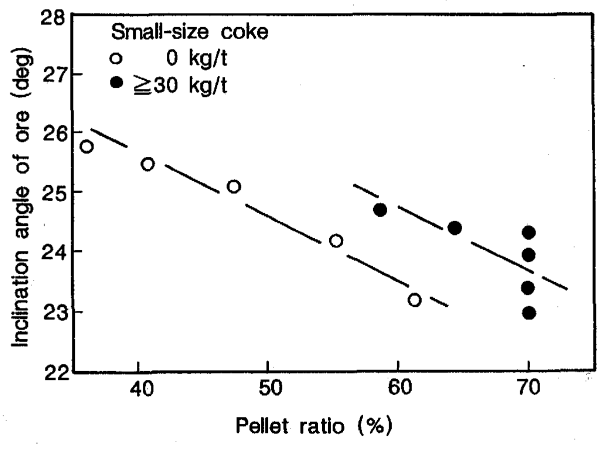

Fig. 8. Relationship between pellet ratio and inclination angle of ore with/without mixing small-size coke in actual operation.

3)実操業における装入物分布制御

ペレット配合率とプロフィールメーターによって測定した実炉の鉱石の傾斜角度の関係を，小粒コークスの有無により層別して Fig. 8 に示す．小粒コークスの混合がない場合，ペレット配合率10%の上昇に対して約1°の傾斜角の低下となっているが，これは Fig. 2 の実験結果とほぼ対応している．また，小粒コークスを混合した場合の傾斜角は，Fig. 7 の実験結果と同様に，小粒コークス30 kg/t につき約1.5°の増加となり，実炉においても，小粒コークスを鉱石層中に混合することによって，ペレット増配による装入物堆積傾斜角の低下を抑制できることがわかった．

また，本操業期間中のガス分布は安定した中心ガス流を維持しており，ペレット多配合操業下での中心ガス流が低下しやすいという問題点は，コークス中心装入とムーバブル・アーマーおよび小粒コークスの鉱石層中への混合による Ore/Coke の径方向分布制御で解消可能と判断できる．

5・2 炉内現象

1)ガス流れシミュレーションモデルによるペレット多配合操業時の炉内温度推定

ペレット多配合操業時の軟化融着帯形状を推定するために，O_1 によるコークス (M形状部) の削り取りを考慮したガス流れシミュレーションモデル[17]での炉内温度を算出した．その結果を Fig. 9 に示す．

Case 1 はペレット配合率35%で，コークス中心装入と C_2, O_1 でムーバブル・アーマーの押し出しを行ったベース条件のものであるが，炉内温度分布は明らかな逆V型を呈している．

Case 2 はペレット配合率70%で，コークス中心装入やムーバブル・アーマーを用いない場合であり，ペレット増配による装入物の傾斜角度の低下から，中心部の Ore/Coke が増加し炉内温度分布は W 型を呈する．

Case 3 はペレット配合率70%で，コークス中心装入の実施，及び C_2, O_1 のムーバブル・アーマーの押し出しを行った条件のものであるが，炉内温度分布は Case 1 に比べ，中間部の Ore/Coke が上昇しているため塊状帯の大きさが増加している．

2)炉内温度分布

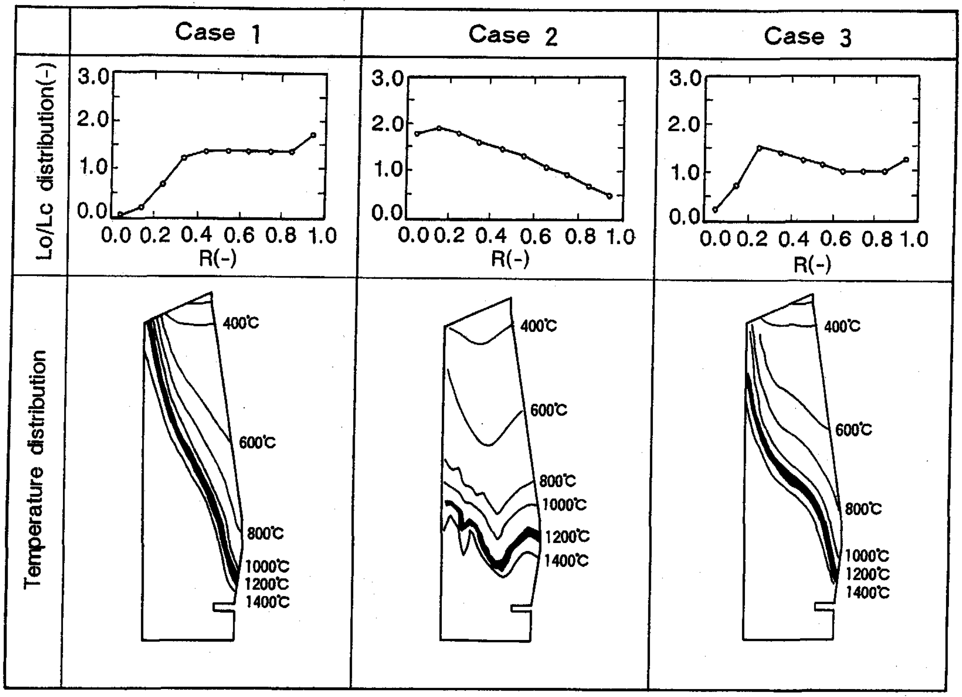

Fig. 9. Estimated temperature distribution by gas flow simulation.

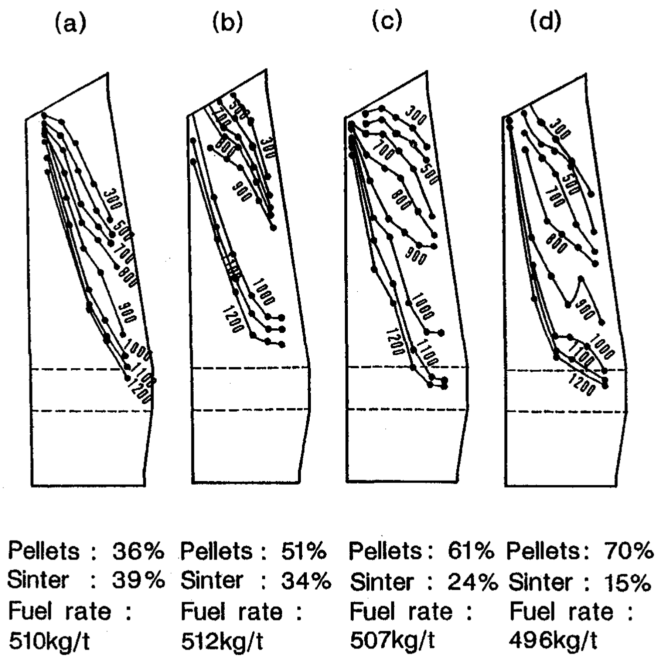

Fig. 10. Change in the temperature distribution according to increase of pellets ratio.

垂直水平ゾンデ[18]によるペレット多配合操業中の炉内温度分布の測定結果を Fig. 10 に示す．ペレット増配前のベース期間（a）に比べ，ペレット 50% 配合時の炉内温度分布（b）は 1 200°C レベルから想定される融着帯の根位置が上昇した．これはペレット多配合により周辺のガス流が強化したためと推定され，これによりシャフト下部の温度が変動したものと思われる．

ペレット 60% 配合時の炉内温度分布（c）はコークス中心装入量の増加，及び C_2 のムーバブル・アーマーの押し出しを実施した後の測定結果であるが，ペレット 50% 配合時に比べ，1 200°C レベルは逆 V 型を呈し，周辺ガス流が抑制され，融着帯の根位置が低下したことと推定される．

ペレット 70% 配合時の炉内温度分布（d）は，小粒コークス 30 kg/t を鉱石層中へ混合した結果，Ore/Coke 分布は（c）よりも均一になり，1 200°C レベルはやや L 型に近い形になった．また，融着帯根位置も下降し，塊状帯も大きく，ガス利用率も増大したと推定される．

5・3 低スラグ比操業

ペレット増配により，スラグ比は 220 kg/t まで低下した．低スラグ比操業で懸念されることは，一時的な炉熱変動が発生した場合，溶銑中の［Si］値の変動に伴って，スラグ中の（SiO_2）値も変化し，スラグ塩基度の変化率が大きくなり，その結果，スラグの流動性に大きな影響を与えることである．

しかしながら，Fig. 11 に示すように，このペレット多配合操業中，スラグ比の低下に伴って，溶銑中［Si］値の変動係数（σ[Si]/[Si]）は，低下している．これは装入物分布制御等による炉況改善の結果，融着帯が安定したものと推定される．

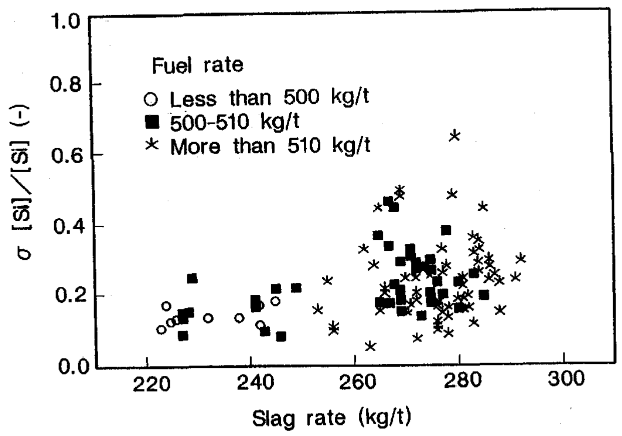

Fig. 11. Relationship between fluctuation coefficient of [Si] and slag rate.

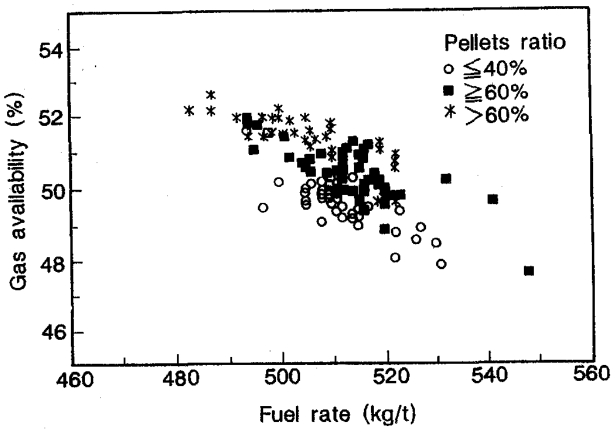

Fig. 12. Relationship between fuel rate and gas availability according to pellets ratio.

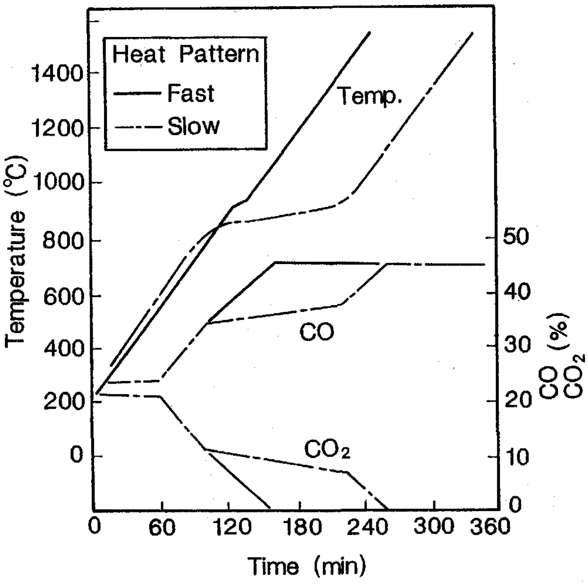

Fig. 13. Test conditions of high-temperature reduction under load per heat pattern.

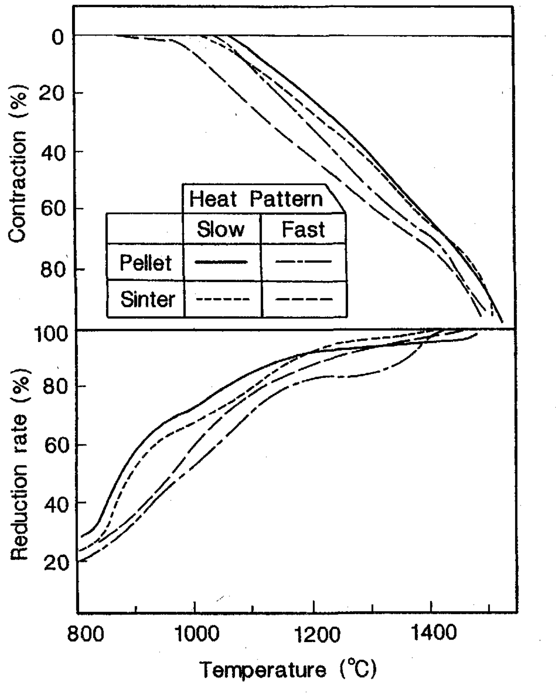

Fig. 14. Effect of reducing gas and heat patterns on properties of pellets and sinter at high temperature.

5·4 ペレット多配合時の還元性

Fig. 1 に示したように，ペレットは焼結鉱に比べて被還元性が劣ることが懸念された．Fig. 12 に本ペレット多配合操業期間中の燃料比とガス利用率の関係を示すが，ペレット配合率変更に伴う両者の関係は大きな変化もなく順調に操業できた．

そこで，ペレットと焼結鉱の被還元性を調べるために，実炉の昇温パターンとガス組成条件（Fig. 13）で両者の高温荷重還元試験を実施した．その結果，Fig. 14 に示すように 900°C での熱保存帯があれば，ペレットは焼結鉱に比し還元性が良くなるが，熱保存帯がない場合は焼結鉱の方がペレットよりも還元性が良いことがわかった．実炉の炉内温度分布は，Fig. 10 に示したように中心部で熱保存帯はなく，中間部から周辺部にかけて存在している．このペレット多配合操業時にはコークス中心装入により，中心部にはほとんどペレットは存在していないことから，中心部でのペレットの還元性悪化の影響はないものと考えられる．

また，本ペレット多配合操業は微粉炭多量吹き込み操業下で行われており，従来のオール・コークス操業に比べ，熱流比は Fig. 15 に示すように大幅に低下し，鉱石の高温域における滞留時等は延びている．

Fig. 16 に 1 000°C の滞留時間を変化させたペレットの高温荷重還元結果を示すが，滞留時間が長いほど，還

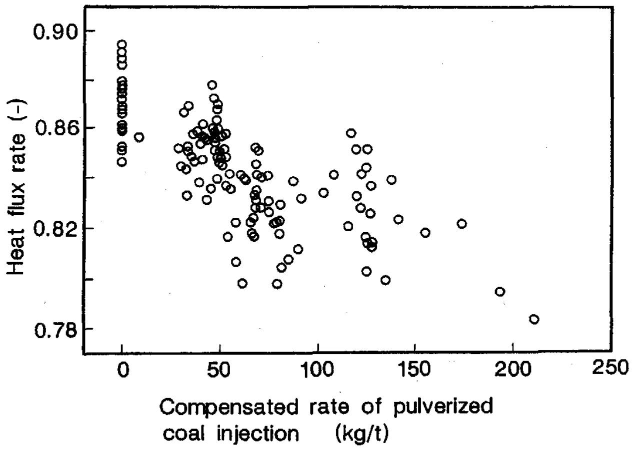

Fig. 15. Relationship between heat flux rate and compensated rate of pulverized coal injection.

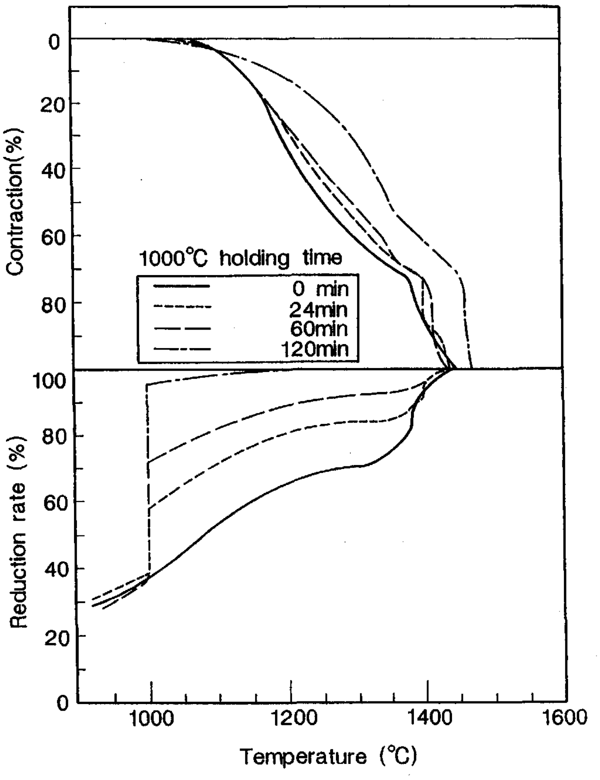

Fig. 16. Test results of pellet high-temperature reduction under load according to effect of 1 000°C holding time (another condition ; Table 2).

元率が向上していることがわかる．これにより，ペレット多配合操業では，微粉炭多量吹き込み操業がオール・コークス操業より，還元性の面でより有利に働くものと思われる．

ペレットの炉下部での還元停滞という現象は，コークス中心装入により炉中心部にペレットを存在させないことと微粉炭吹き込み操業という条件により改善されるものと考えられる．

6. 結　　言

微粉炭多量吹き込みを継続している加古川2高炉において，ペレット配合率を70%（焼結鉱15%）まで増配し，この間，順調な操業が継続できた．また，本操業において以下の知見が得られた．

1)コークス中心装入，ムーバブル・アーマーによる装入物分布制御，小粒コークスの鉱石への混合による装入物傾斜角度の制御により，ペレット多配合操業下でも安定した中心ガス流が維持できた．

2)ペレット多配合による低スラグ比操業でも，溶銑中Siの変動が低減でき，安定した操業が可能である．

3)ペレット多配合下でも熱保存帯があれば，還元停滞の改善が可能であることが推定された．

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，稲葉晉一，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. Int. Sympo. on Agglomeration, Vol. 2 (1977), p. 803
6) 土屋　修，大槻　健，杉山　健，小野田守，藤田勇雄：鉄と鋼，**66** (1980)，p. 1057
7) 土屋　修，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 Sympo., Sydney (1980), p. 179
9) 田口和正，上仲俊行，井硲　弘，水口征之，德嵩国彦，梅地　馨，金山宏志：鉄と鋼，**68** (1982)，p. 2231
10) 井上勝彦，池田　孜，上仲俊行：鉄と鋼，**68** (1982)，p. 2431
11) 成田貴一，稲葉晉一，小林　勲，沖本憲市，清水正賢，矢場田武，玉田愼一：鉄と鋼，**65** (1979)，p. 358
12) 杉山　健，稲葉晉一，門口維人，木口淳平，明田　莞，星野剛一：鉄と鋼，**73** (1987)，A187
13) T. Uenaka, H. Miyatani, R. Hori, F. Noma, M. Simizu, Y. Kimura and S. Inaba : Iron and Steel Maker (1988), p. 34
14) 奥田康介，天野　繁，石岡信雄，小野　創，古川高司，井上　強：鉄と鋼，**69** (1983)，S731
15) 成田貴一，稲葉晉一，清水正賢，小林　勲，沖本憲市，山口荒太：鉄と鋼，**66** (1980)，p. 459
16) 沖本憲市，稲葉晉一，小野玲児，高田　稔：鉄と鋼，**71** (1985)，A 9
17) 大塚喜久，田村繁彦，小西正躬，小野玲児，堀　隆一：神戸製鋼所技報，**37** (1987)4，p. 3
18) 小林　勲，稲葉晉一，堀　隆一，後藤哲也，清水正賢：鉄と鋼，**73** (1987)，p. 2092