
焼結操業における通気性制御

Permeability Control in Iron Ore Sintering Operarion

奥山 雅義(Masayoshi Okuyama) 井山 俊司(Shunji Iyama) 田中 周(Shu Tanaka) 嶋村 鋈郎(Hideo Shimamura) 岡部 俠児(Kyoji Okabe)

要旨：

焼結機上の原料層の通気性を安定させることを目的に、通気性の評価を、点火前のウィンドボックスの圧力・風量から求めた通気性指数で行い、この指数をカット量で調節する制御方法を開発した。この通気性制御システム水島製作所第4焼結機に適用したところ、従来の操縦に比較して、B.T.P.の変動が小さくなり、焼結鉱品質の変動も小さくなった。

Synopsis：

For the purpose of stabilizing the permeability of mix bed on the sinter stand, a new permeability control system was developed. In this system the bed permeability was estimated by the permeability index calculated by pressure and the gas volume passing through the wind box just before the ignition furnace, and the permeability index was controlled by properly setting the cut-off plate. This system was applied to No.4 sintering plant at Mizushima Works. Compared with conventional operation results, variations in B. T. P. and in product quality have been remarkably reduced.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

焼結操業における通気性制御 Permeability Control in Iron Ore Sintering Operation

奥山 雅義*
Masayoshi Okuyama

井山 俊司*
Shunji Iyama

田中 周**
Shu Tanaka

嶋村 鉄郎***
Hideo Shimamura

岡部 俠児****
Kyoji Okabe

Synopsis:

For the purpose of stabilizing the permeability of mix bed on the sinter strand, a new permeability control system was developed. In this system the bed permeability was estimated by the permeability index calculated by pressure and the gas volume passing through the wind box just before the ignition furnace, and the permeability index was controlled by properly setting the cut-off plate. This system was applied to No. 4 sintering plant at Mizushima Works. Compared with conventional operation results, variations in B.T.P. and in product quality have been remarkably reduced.

1. 緒 言

焼結機に装入された原料の通気性は、焼結速度を左右し、焼結鉱の品質・生産性に大きな影響を与える。このため、安定した操業を確保するには、装入された原料の通気性を正確に把握し、制御することが不可欠である。焼結機での通気性制御に関しては、従来、たとえば下村ら¹⁾あるいは、G. Meunier ら²⁾の報告のように多くの方法があるが、実用性を持った通気性制御にまで発展していないのが現状である。

そこで著者らは、焼結操業の安定を目標として、従来の通気性測定の問題点を検討し、これを改良する形で焼結操業と対応のある装入原料の通気性測定方法を確立し、さらに通気性の制御方法・制御システムを開発した。

2. 従来の通気性制御と問題点

2-1 J.P.U. 指数¹⁾

J.P.U. 指数は(1)式で定義され、焼結原料の通気性を表わす指数である。Fig.1(a)に示すように、焼結機のウインドボックスで圧力損失と風量を測定して算出する。

$$J.P.U. = \frac{Q}{A} \left(\frac{H}{\Delta P} \right)^{0.6} \dots\dots\dots (1)$$

J.P.U.: 通気性指数 (Nm³/min)
Q: 通過風量 (m²)
A: ウインドボックス面積 (m²)
H: 層厚 (m)
 ΔP : ウインドボックスの吸引圧力 (mmH₂O)

この方法による原料の通気性の測定は、現在稼

* 水島製鉄所製鉄部製鉄技術室
*** 技術研究所第1研究部製鉄研究室主任研究員
(昭和56年6月5日原稿受付)

** 水島製鉄所製鉄部製鉄技術室主査(掛長)
**** 技術研究所副所長・工博

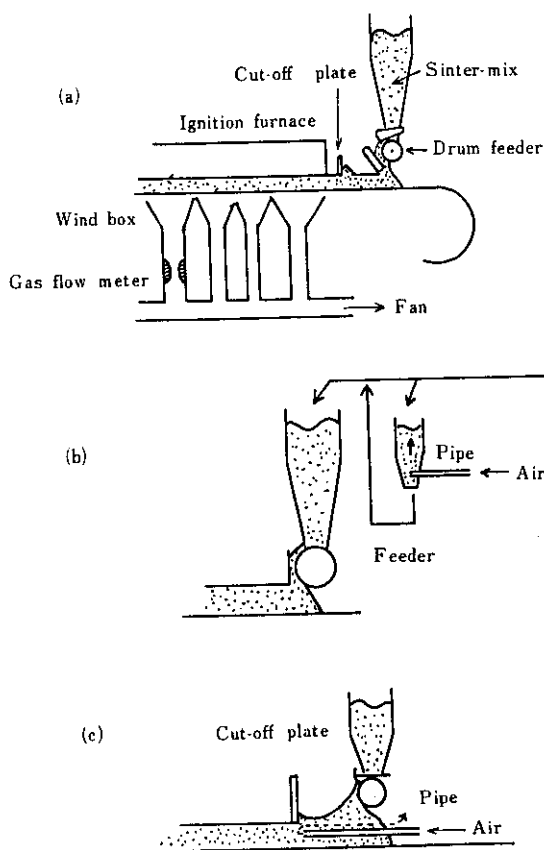


Fig. 1 Schematic diagram of measuring methods for permeability

動中のほとんどの焼結機で実施されているが、一般に、焼結機は漏風が多く、排ガス量の測定値の信頼性が乏しいため、実際の操業管理に使用されている例はほとんどないのが現状である。

2.2 G.Meuiuer の方法^{2,3)}

G.Meuiuer らの開発した原料通気度の測定方法の例を Fig.1(b) に示す。この方法は焼結機に装入される原料の通気抵抗を装入ホッパー、あるいは通気測定用のホッパーにて、Fig.1(b) のような配管から空気を送って測定するもので、この測定結果は、混合機での添加水分調整にフィードバックされる。しかしながら、この方法には、通気度測定値がホッパー内原料レベルの変動の影響を受けること、および、焼結機上の原料の充填状態によって、焼結機での原料層の通気度が変化する欠

点がある。

2.3 その他の方法

Fig.1(c)の方法は、パレット上に給鉱された原料中に水平に設置した配管から、一定圧力の空気を吹込み、原料層の通気抵抗を測るものである。この方法は、焼結機上での直接測定という長所があるが、反面、通気測定パイプ周辺にガスの通路が形成され、測定誤差原因となる欠点がある。

このように、焼結原料の通気度の測定には、種々の方法が提案されているが、

(1) 焼結機の制御を目的とする場合には、焼結機への充填の影響を反映した通気度の測定が必要である、

(2) ウインドボックスで風量を測定する場合、漏風を極力おさえて、測定値の信頼性を上げる必要がある、
の2点が、通気度測定の要点となる。

3. 通気抵抗の測定と指数化

先に述べたように、焼結機上の原料の通気性の有効な評価のためには、焼結機への原料の装入状態の影響を反映させる必要があり、焼結機上における原料の通気度測定が不可欠である。Fig.2 に焼結ベッドの断面を示すが、焼結が開始されると焼結ベッドには原料帯、焼結帯、焼結完了帯の3ゾーンが形成される。木村ら⁴⁾は、各ゾーンの通気抵抗が異なることを指摘している。したがって焼結進行過程の影響を受けずに焼結機上で原料の通気性を評価するには、点火前の原料層の通気度測定が必要である。

焼結原料層を通過するガス流れの状態を、菅原

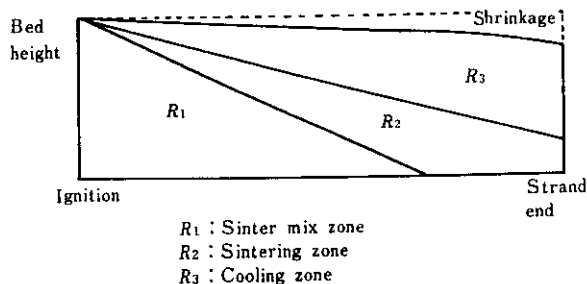


Fig. 2 Cross section of sinter bed

ら⁵⁾と同様に層流とみなすと、圧力損失 ΔP に関して次の Carman-Kozeny の式が適用できる。

$$\Delta P = 200 \frac{H}{\phi_s^2 D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{\mu_F}{g_C} \cdot U_0 \quad \cdots (2)$$

ΔP : 圧力損失 (kgf/m²)

U_0 : ガスの空塔速度 (m/s)

μ_F : ガスの粘度 (kg/m·s)

g_C : 重力換算係数 (kgm/kgf·s²)

H : 層厚 (m)

ϕ_s : 粒子の形状係数 (—)

D_p : 粒子の調平均径 (m)

ϵ : 空隙率 (—)

(2) 式より焼結ベッドの層厚が一定ならば、圧力損失 (ΔP) はガスの空塔速度 (U_0) に比例するから、焼結ベッドの通気抵抗を示す指数 R_p を次式で定義する。

$$R_p = \frac{\Delta P}{U_0} \times 10\,000 \quad \cdots (3)$$

実機での R_p は、上述の検討より、Fig. 3 に示すように点火炉下の No.1 ウインドボックスを使用し、ここでの負圧を ΔP 、また通過風速を U_0 として (3) 式から評価することとし、上述の検討から測定精度の向上を図るため下記の改善を施した。

(1) No.1 ウインドボックス上の点火炉は使用しない。

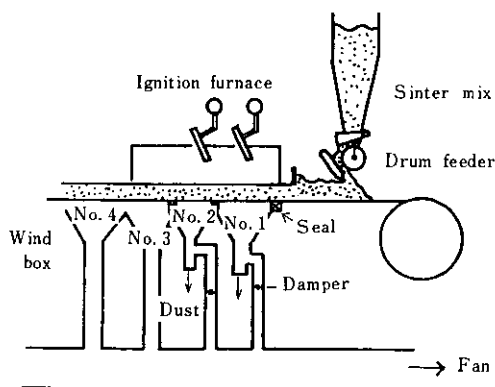


Fig. 3 Schematic diagram of sinter mix charging installations and ignition furnace

(2) No.1, 2 ウインドボックスの吸引風圧は、他のウインドボックスとは独立制御とし、No.1 を 450mmH₂O、No.2 を 500mmH₂O の負圧とした。

(3) 漏風を防ぐため、No.1~No.3 のウインドボックスの仕切りを強化し、仕切板とパレット下部の間隙を 40mm から 10mm に減少させた。

Fig. 4 に、吸引負圧および層厚が一定の場合の上記方法で測定した通気抵抗指数の 6 分間の平均値 (R_p) と主排風機の風量 (IDF gas volume) の関係を示す。Fig. 4 より、 R_p が増加すると排風量が直線的に減少している。また、樋口⁶⁾、浜田

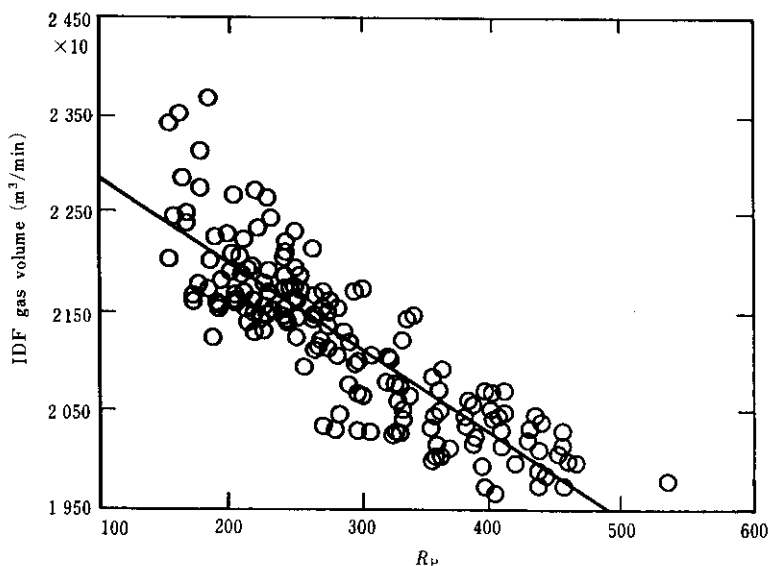


Fig. 4 Relation between R_p and IDF gas volume

ら⁷⁾の焼結シュミレーションモデルからは、Flame Front Speed (F.F.S.)は焼結ベッドを通過する風量と直線関係にあることが報告されている。実機におけるF.F.S.(mm/s)は、(4)式で示される。

$$F.F.S. = \frac{60H}{L/P.S.} \quad \dots\dots\dots(4)$$

H : 層厚 (mm)

L : 焼結完了距離 (m)

P.S. : パレット速度 (m/min)

ここで、焼結完了距離は、操業データでは、Burn Through Point (B.T.P.)として表示され、焼結機の最後端のウインドボックスの中央を原点とし、焼結完了点位置の原点からの偏差をウインドボックスの長さに対する相対距離 (%) で示される。Fig.5は、ストランド速度が一定の条件でのB.T.P.と R_p の関係を示したもので、 R_p が増加するとB.T.P.が増加している。これは R_p が増加すると、F.F.S.が小さくなることを示唆している。これらの結果から、 R_p は焼結ベッドの通気性評価に対して有効な指数であることがわかる。

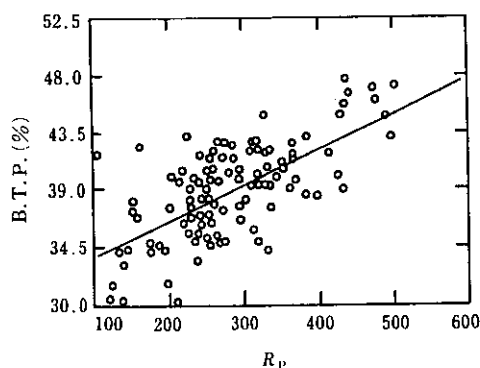


Fig. 5 Relation between R_p and B.T.P. at constant strand speed

4. 通気性制御

4.1 制御方法

以上の検討から、 R_p が焼結ベッドの通気性評価に有効であるという結果が得られた。従来、焼結鉱の強度とF.F.S.の間には、強い関係があり、F.F.S.が大きくなると、強度が低下することが報告されて⁸⁾おり、安定した品質の焼結鉱を得た

めには、通気性を制御する必要がある。このような通気性の制御に対して、(2)式から下記的手段が示唆される。

- (1) 焼結ベッドの空隙率(ϵ)の変更
- (2) 層厚の変更
- (3) 焼結原料粒子径(D_p)の変更

ここで、層厚の変更については、設備上短時間での応答に問題があること、ならびに、通常原料の混合は、原料に対する最大生産性をもたらす条件からきめられるため、短時間での通気性制御に適用するには問題がある。

焼結ベッドの空隙率 ϵ は、装入原料の充填密度と(5)式の関係があり、装入原料の充填密度の変更により変化できる⁹⁾。

$$\epsilon = 1 - \rho_b / \rho_a \quad \dots\dots\dots(5)$$

ρ_a : 原料のみかけ密度 (擬似粒子のみかけ密度)

ρ_b : 原料の高密度

Fig.6は焼結機での充填密度の変更方法を示したもので、カットプレートの前にたまる原料の量 (カット量: カットプレートに対する原料の高さ (%)) で表示される。)を調整することで充填密度が変更される。

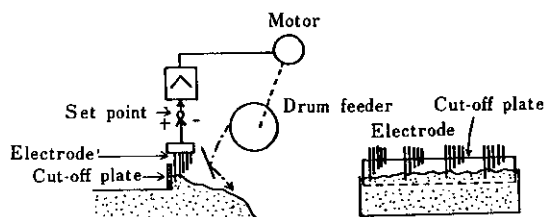


Fig. 6 Schematic diagrams of feeder part

Fig.7は、カット量と充填密度の関係を、また、Fig.8は、カット量と R_p の関係を示す。Fig.7,8より、カット量変更により焼結ベッドの通気性が制御できることがわかる。また、Fig.6からわかるように、このカットプレートは、 R_p を測定するNo.1 ウインドボックスの直前に位置するため、 R_p の測定結果を直ちにフィードバック操作できる長所を有する。

4.2 通気性制御システム

以上の結果にもとづいて、同一原料を使用する

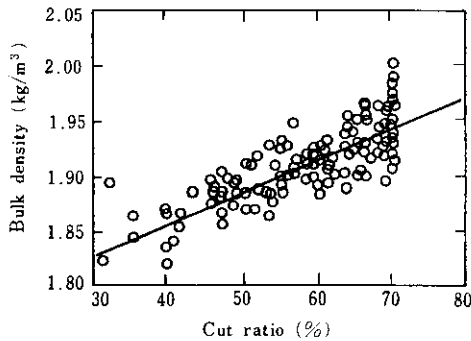


Fig. 7 Relation between cut ratio and bulk density

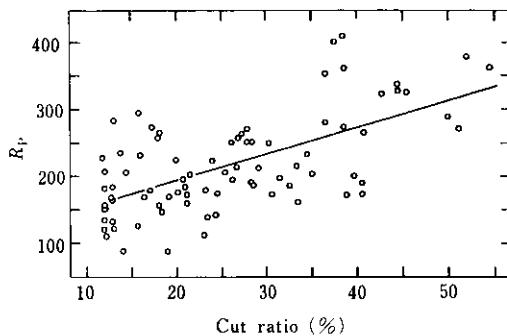


Fig. 8 Relation between cut ratio and R_p

期間の焼結鉱の品質安定を図るため、通気性制御システムを開発した。通気性制御の概要を Fig. 9 に示す。すなわち、操業は一定層厚、一定焼結機速度で行うものとし、 R_p は、6 分間の平均値を1 個の R_p 値とし、通気性の判定は 3 個の R_p 値の平均値 ($\bar{R}_p$) で評価する。 $\bar{R}_p$ が管理範囲外の場合は、Fig. 7, 8 の関係にしたがってカット量を変更、その後21分間を制御禁止時間として、過操作となることを防止している。カット量の変更幅は 30~80 %とした。また、原料配合変更、あるいは層厚、コークス量、パレット速度など他の操業条件を変更したときは、変更後30分間を制御禁止時間とし、 R_p の水準変化を確認後、新たな管理範囲で制御するものとした。

5. 通気性制御結果

水島第4 焼結機で通気性制御を適用した場合と適用しなかった場合について、比較操業実験を行った。実験条件を Table 1 に、実験結果の一例を

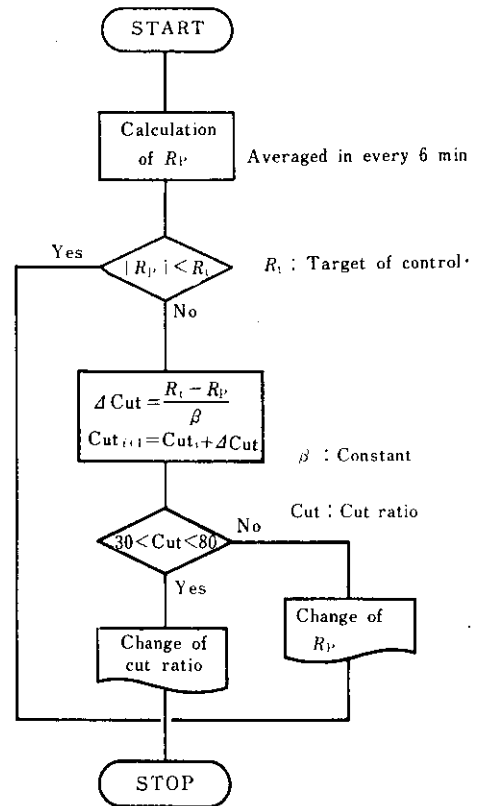


Fig. 9 Flow chart for the permeability control system

Table 1 Test operation conditions of No.4 sintering machine

Item	Data
Bed height (mm)	470
Strand speed (m/min)	2.8
Mix moisture (%)	6.0
Coke ratio (%)	3.4
Return fine ratio (%)	30.0
Suction pressure (mmH ₂ O)	-2200
B.T.P. (%)	40~50
Control cycle (min)	18
Forbidden time (min)	
(to control)	21
Corrected cut value*	2.7
Control region of cut-off plate (%)	20~80

*) Corrected cut value : cut value/ R_p value ;

Fig. 10, Table 2 に示す。Fig. 10 から通気性制御を行った場合には、カット量の変更頻度が増しているが、 R_p 指数の変動は減少し、管理範囲にほと

Table 2 Results of R_p control test

	Normal	Tested
R_p index	265 (30)	270 (20)
Cut ratio (%)	24 (15)	36 (10)
B.T.P. (%)	39 (9.0)	39 (5.0)
SI (%)	91.0 (0.7)	90.5 (0.5)
FeO	4.5 (0.5)	4.2 (0.2)

(): Standard deviation

んど入っており、この結果 B.T.P. の変動が減少していることがわかる。これは、通気性制御が有効に働いていることを示唆するものである。Table 2 から通気性制御を行なうことにより焼結強度、FeO 量とも変動が減少していることがわかる。以上のように、本制御システムは、初期の目標を達成し、焼結操業の安定に寄与している。

6. 今後の課題

通気性制御の適用により、操業の安定が図られてきたが、本方法をさらに効率よく実施するには、以下の点に留意する必要がある。

(1) R_p 指数が安定していても B.T.P. が変化する現象がときおりみられる。これは、パレット幅方向の原料充填密度の片寄りに起因すると考えられる。

Fig. 11 は、パレット幅方向の充填密度分布を正弦曲線で仮定し、この振幅と R_p 測定値 ($\bar{R}_p$) と

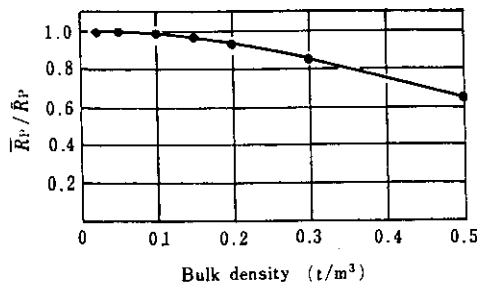


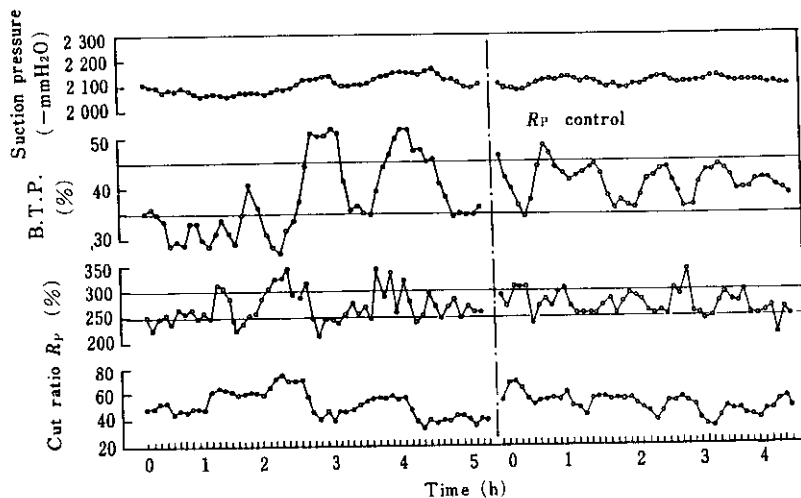
Fig. 11 Effect of permeability on bulk density in the width direction

最も通気の良い部分の R_p の比の関係を計算したもので、充填密度が不均一の場合には、通気抵抗に大きな分布が生じることがわかる。充填密度の不均一は、原料切出し部の調整不良、異物詰り、原料の付着により発生するが、カット量の検出が Fig. 6 のように、幅方向の平均値で検出するため、本システムでは検出できず、片寄りの検出と設備メンテナンスの強化が必要である。

(2) R_p の測定を行うウインドボックスの漏風を防止する仕切壁の摩耗が激しい。このため、仕切壁の定期的な補修、および耐久性のすぐれた密封方法の開発が必要である。

7. 結 言

焼結機上の原料層の通気性を安定させるため、

Fig. 10 Results of R_p control in No.4 sintering machine

原料層の通気性を制御するシステムを開発した。

本システムは、No. 1 ウインドボックスを密封して、点火前の状態で風量、風圧を測定し、通気性指数 R_p を定義し、この R_p 指数をカット量で調節するものである。

この通気性制御を実施することにより、操作が安定し、焼結鉱品質のバラツキが減少する等の効果が確認できた。さらに、今後他の焼結機にも適用する予定である。

参 考 文 献

- 1) 下村：富士製鉄技報，9 (1960) 4, P389
- 2) G.Meunier：CRM, 9 (1966) Dec. No. 79882
- 3) 宮木：住友金属，30 (1978) 4, 72
- 4) 木村ら：鉄と鋼，66 (1980) 4, S6
- 5) 菅原ら：鉄と鋼，63 (1977) 11, S512
- 6) 樋口ら：鉄と鋼，53 (1967) 11, 1171
- 7) 浜田ら：鉄と鋼，58 (1972) 12, 1567
- 8) 前川ら：鉄と鋼，51 (1965) 4, 603
- 9) D.F.Ball, et al：Agglomeration of Iron ore, Heineman Educational Books Limited, London