

© 1988 ISIJ

技術報告

# オアベッドにおける $\text{SiO}_2$ 変動低減技術 の開発

新田 昭二\*・山名紳一郎\*・兒子 精祐\*<sup>2</sup>  
末森 昱\*・小島 信司\*・秋月 英美\*<sup>3</sup>

## Development of an Advanced Technique for Reducing the $\text{SiO}_2$ Variation in Fine Ore Bed

Shoji NITTA, Shinichiro YAMANA, Sheisuke NIGO,  
Akira SUEMORI, Shinji KOJIMA and Hidemi AKIZUKI

### Synopsis :

It is very important for reducing the fluctuation of sinter qualities to decrease the  $\text{SiO}_2$  variation of the fine ore bed in sinter feed. In order to reduce the variation, a new bed monitoring system and an advanced bed stacker which controls the segregation of a stocked pile have been developed and applied to the actual plants.

The results obtained from these activities are as follows ;

- 1) The  $\text{SiO}_2$  variation is very remarkable at the bed reclaiming stage between fine ore bed and sinter pallet.
- 2) The  $\text{SiO}_2$  variation can be estimated by the longitudinal and cross sectional bed model.
- 3) The  $\text{SiO}_2$  variation of bed cross section ( $\sigma_w$ ) is about seven times as large as in longitudinal bed direction ( $\sigma_L$ ), and is related with the variation of sinter ( $\sigma_S$ ).
- 4) It is effective for reducing the variation to adopt the advanced bed stacker. The variation can be reduced to half compared with result of the conventional system.
- 5) About 3 to 5% of returned fine and 3 to 4 kg/t of coke consumption can be reduced by introducing both the new monitoring system and the advanced bed stacker.
- 6) The  $\text{SiO}_2$  variation of sinter ( $\sigma_S$ ) can be reduced from 0.06~0.09 wt% to 0.04~0.05 wt% by introducing this system.

**Key words :** iron ore; quality control;  $\text{SiO}_2$  variation; bed monitoring; separation chute; ore bed; reclaiming; stacking.

## 1. 結 言

焼結用原料の代表的化学成分である  $\text{SiO}_2$  の変動を低減することは、焼結鉱の  $\text{SiO}_2$  を安定化し高炉の炉況安定および銑鉄品質の向上に寄与する。また、焼結時の不均一焼成を防止し返鉱の発生を抑制する効果があり、焼結操業にとって重要な品質管理指標となっている。

このオアベッドの原料積付けおよび払出し時における  $\text{SiO}_2$  変動を低減するため、名種の改善がなされている<sup>1)~4)</sup>。水島製鉄所では、焼結原料の化学成分の評価をオアベッドの原料積付けおよび払出し段階で立体的に行

うオアベッドの品質モニタリングシステムを開発するとともに、縮分器の原理を応用した分割式積付け装置を開発し、実機スタッカに設置してオアベッド断面内の  $\text{SiO}_2$  変動の低減を図った。

以下、それらオアベッドにおける成分変動の低減対策について報告する。

## 2. オアベッドの品質モニタリングシステムの開発

オアベッドの積付け状況を定量的に把握し、焼結鉱の成分変動を安定化するためのシステムを開発した<sup>5)</sup>。

昭和 56 年 4 月・62 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 62 年 11 月 13 日受付 (Received Nov. 13, 1987)

- \* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Mizushimakawasakidori Kurashiki 712)
- \*2 川崎製鉄(株)化学事業部 (Chemical Division, Kawasaki Steel Corp.)
- \*3 Companhia Siderurgica de Tubarao (Plan Alto Serra, Espirito Santo Brasil)

2.1 システムの構成および機能

Fig. 1 に本システムの構成を示す。オアベッドの積付け量は、原料積付け系統に設置してある秤量器の通過量を、スタッカまでの輸送距離で補正して求める。また、積付け位置の検出は、スタッカの走行範囲（約 300 m）にわたり敷設した誘導無線ケーブルにより行う。さらに、銘柄ごとの積付け量と化学成分（本船分析値）を用い、オアベッド長手方向の化学成分をコンピューターで計算して画面表示できるようになっている。計算可能な化学成分は、SiO<sub>2</sub>, TFe, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TC および平均粒径等である。また、本システムの機能は下記のとおりである。

- (1) 銘柄ごとのオアベッド長手方向の積付け量の分布および変動状況の監視。
- (2) オアベッド長手方向の化学成分の分布および変動状況の監視。
- (3) 焼結操業へのオアベッド成分情報の提供および活用。
- (4) オアベッド積付け中における誤積付け監視および警報。

本システムは、昭和 59 年 8 月よりオンラインでデータ収集を開始し、オアベッドごとの化学成分の評価を行っている。

2.2 オアベッドのシミュレーションモデル

本システムの演算処理は、下記のオアベッド長手方向

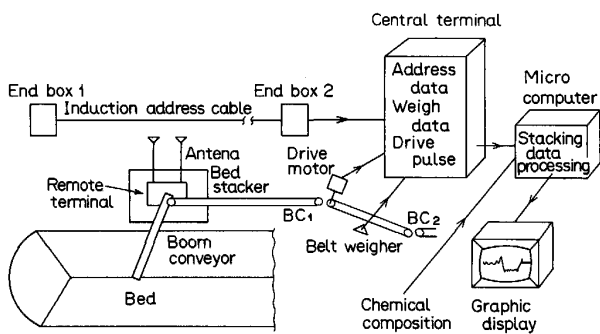


Fig. 1. Schematic diagram of bed monitoring system.

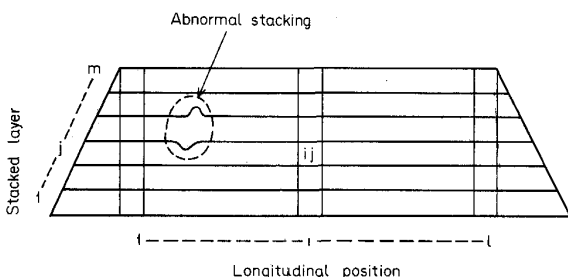


Fig. 2. Diagram of bed longitudinal model.

モデルおよび幅方向モデルにより行う。

2.2.1 長手方向モデル

オアベッドの長手方向に沿った化学成分の分布を計算するもので、Fig. 2 にそのモデルの概念図を示す。オアベッド長手平面を微小要素に分割し、長手方向位置  $i$ 、高さ方向位置  $j$  の要素に積付けた鉄鉱石の量を  $W_{ij}$ 、化学成分を  $A_{ij}$  とする。位置  $i$  での高さ方向全量を含む化学成分の平均値  $A_i$  は、次式で表される。

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^m \cdot W_{ij} \cdot A_{ij}}{\sum_{j=1}^m W_{ij}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $m$  は積付け層数、 $W_{ij}$  は積付け量 (t)、 $A_{ij}$  および  $A_i$  は化学成分 (wt%) を示す。(1)式を用い、オアベッド長手方向の化学成分を計算した結果の一例を Fig. 3 に示す。オアベッド積付け時の荷切れ、銘柄変更による積付け開始位置のずれ等によつて積付け異常が生じた場合、成分異常として表示される。

2.2.2 幅方向モデル

Fig. 4 は、リクレーマによりオアベッドを払い出す時の時系列的な化学成分を計算するモデルの概念図を示す。リクレーマは、9.7 m 間隔で 2 対のバケットホイールからなり、このバケットホイールがオアベッド断面の右端から左端へ横行移動する際、払い出された原料中の

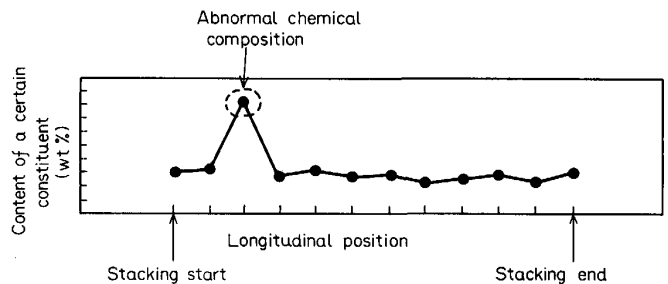


Fig. 3. Longitudinal fluctuation of chemical composition of bed.

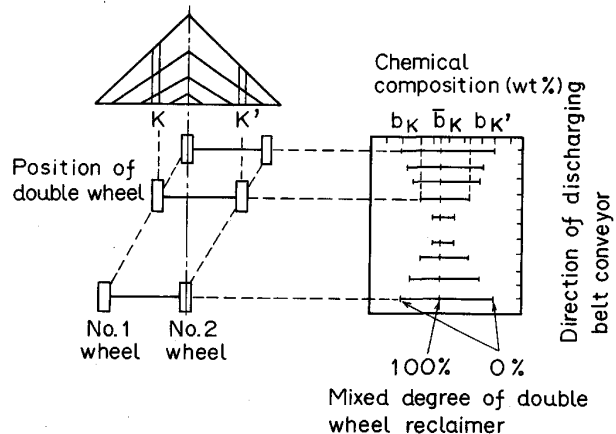


Fig. 4. Bed reclaiming model.

化学成分が求められる。オアベッド幅方向を微小分割し、No. 1 ホイールの位置  $K$  での払出し量を  $W_K$ 、化学成分を  $b_K$ 、また No. 2 ホイールの位置  $K'$  での払出し量を  $W_{K'}$ 、化学成分を  $b_{K'}$  とすると、2 対のバケットホイールにより原料が完全混合されたときの化学成分  $\bar{b}_K$  は、次式で表される。

$$\bar{b}_K = (b_K \cdot W_K + b_{K'} \cdot W_{K'}) / (W_K + W_{K'}) \dots\dots (2)$$

ここで、 $W_K$  および  $W_{K'}$  は原料払出し量 (t)、 $b_K$ 、 $b_{K'}$  および  $\bar{b}_K$  は化学成分 (wt%) を示す。また、払出し状態での化学成分は混合度に応じ、 $b_K$  と  $b_{K'}$  との間になるものと予想される。

2.3 モデルの検証および SiO<sub>2</sub> の変動調査

前述した数式モデルの検証と焼結鉱の代表的な化学成分 (SiO<sub>2</sub>) の変動原因を定量的に把握するため、系統的な焼結原料のサンプリングを行った<sup>6)</sup>。

2.3.1 調査方法

2 段サンプリング方法で行い、目標精度  $\alpha$  (%) より次式にて必要サンプル数を計算した結果、1 次サンプル数  $m=4$  インクリメント、2 次サンプル数  $n=30$  インクリメントを得た。

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_w^2}{m \cdot n} + \frac{\sigma_L^2}{m} \leq \alpha^2 \dots\dots (3)$$

ここで、 $\sigma_w$  は断面内変動 (wt%)、 $\sigma_L$  は断面間変動 (wt%)、 $\sigma_x$  は推定精度 (wt%) である。

さらに、オアベッド原料中の SiO<sub>2</sub> が焼結工場までの輸送過程でどのように変化しているかを調査するため、オアベッド同一断面について 30 m 間隔でマーカを投入し、Fig. 5 に示す各位置でサンプリングした。

2.3.2 調査結果

Fig. 5 は、焼結工場までの輸送過程における SiO<sub>2</sub> 変

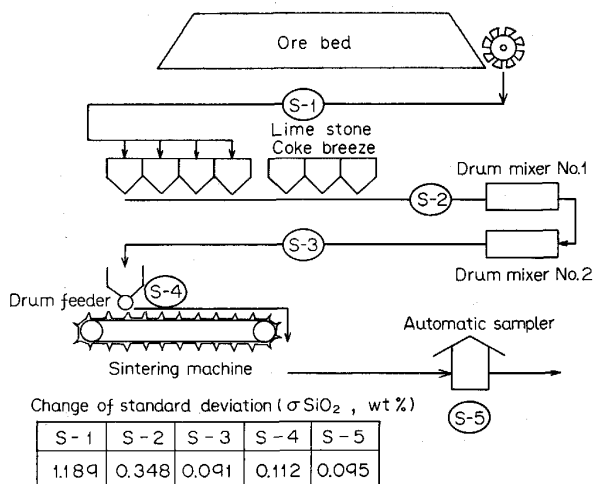


Fig. 5. Change of standard deviation ( $\sigma_{SiO_2}$ ) through sintering process.

動を示す。変動はオアベッドの原料払出し段階で最大であることがわかった。また Fig. 6 は長手方向モデルによる計算値と実測値の対比を示し、Fig. 7 は幅方向モデルによる計算値と実測値の対比を示している。これらより SiO<sub>2</sub> の計算値は、オアベッド長手方向および幅方向の SiO<sub>2</sub> の実測値とほぼ一致している。

2.3.3 オアベッドモニタリングシステムの活用

本システムを用いて、焼結鉱中の SiO<sub>2</sub> 変動とオアベッド原料中の SiO<sub>2</sub> 変動との相関について調査解析した<sup>7)</sup>。

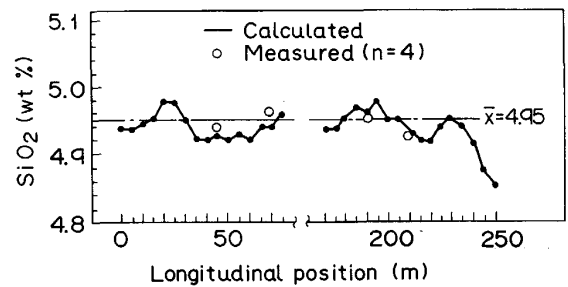


Fig. 6. Comparison of chemical composition between calculation and measurement value.

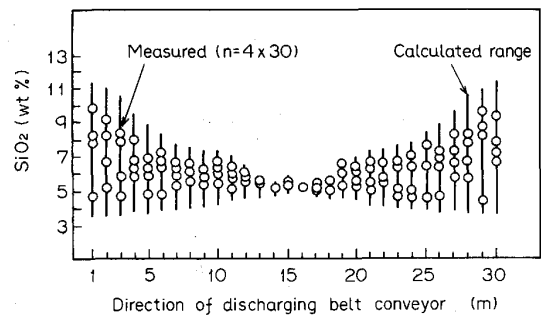


Fig. 7. Calculated and measured SiO<sub>2</sub> amount in cross-sections of bed pile.

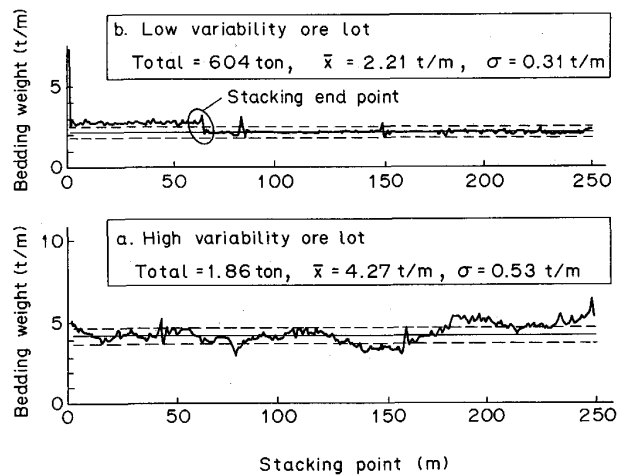


Fig. 8. Examples of bedding weight distribution.

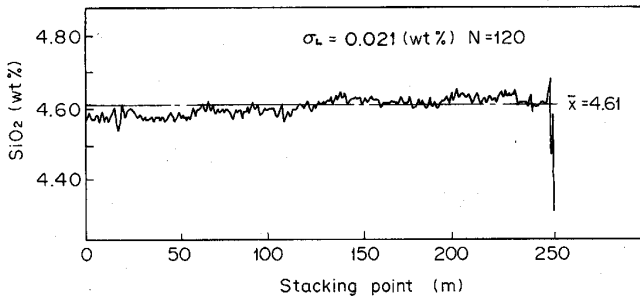


Fig. 9. SiO<sub>2</sub> (wt%) distribution along stacking direction.

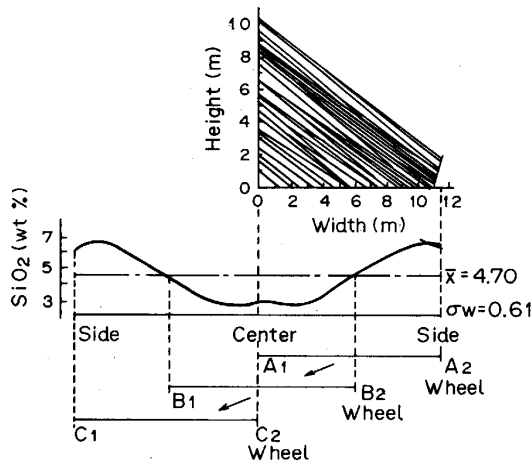


Fig. 10. SiO<sub>2</sub> (wt%) distribution along bed width.

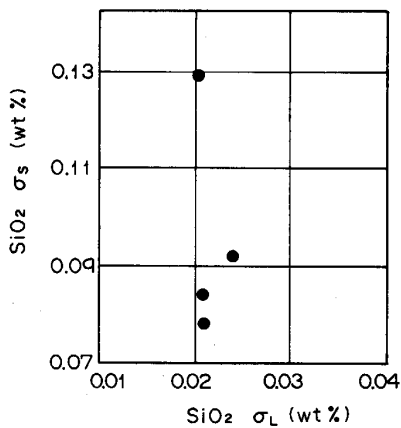


Fig. 11. Relation between  $\sigma_L$  of bed and  $\sigma_S$  of sinter.

Fig. 8 は、積付け量の変動が大きい鉍石と変動の小さい鉍石についてのモニタリング結果の一例を示す。

一鉍柄あたりの積付け量の変動は、0.31~0.53 t/m であつたが、これは鉍柄により異なる。また、Fig. 9 はオアベッド長手方向の SiO<sub>2</sub> 変動 ( $\sigma_L$ ) を示し、Fig. 10 はバケットホイールの位置 A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub> が C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> まで横

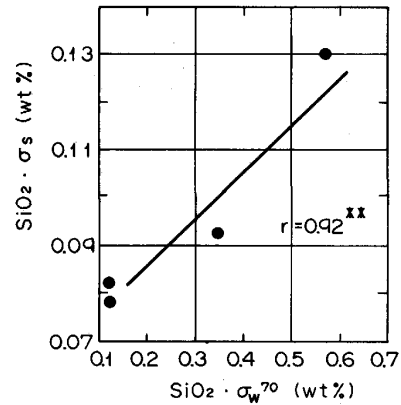


Fig. 12. Relation between  $\sigma_W^{70}$  of bed and  $\sigma_S$  of sinter.

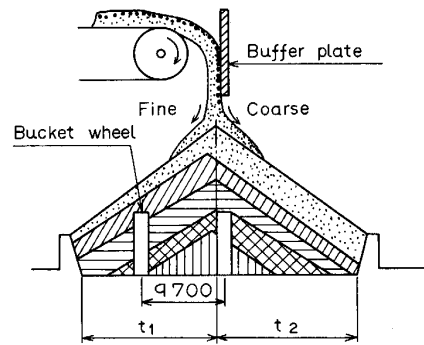


Fig. 13. Segregation of stacked pile in the section of bed.

行したときのオアベッド断面内の SiO<sub>2</sub> 変動 ( $\sigma_W$ ) を示している。これらの例では、( $\sigma_L$ )=0.021%, ( $\sigma_W$ )=0.16% であり、( $\sigma_W$ ) は ( $\sigma_L$ ) に比べて約 7 倍大きい。

一方、Fig. 11 は焼結鉍成品の SiO<sub>2</sub> 変動 ( $\sigma_S$ ) とオアベッド ( $\sigma_L$ ) との相関を示し、Fig. 12 は ( $\sigma_S$ ) とバケットホイールの混合度を 70% としたときのオアベッド ( $\sigma_W$ ) との相関を示している。これらから ( $\sigma_S$ ) と ( $\sigma_L$ ) との間には相関はみられないが、( $\sigma_S$ ) と ( $\sigma_W$ ) との間には強い相関のあることがわかつた。したがつて ( $\sigma_L$ ) が低レベル (0.02 wt%) に管理されている状態で、さらに ( $\sigma_S$ ) を低減するには、( $\sigma_W$ ) の管理強化およびオアベッド断面内における成分変動の低減が重要である。

### 3. 分割式積付け装置の開発

#### 3.1 オアベッド成分偏析の現象考察

オアベッド断面内の偏析現象は、Fig. 13 に示すように原料積付け時に発生する。ブームコンベヤ上で粒度偏析 (上層が粗粒、下層が細粒) した原料を平らな衝突板に当てて積付ける際、オアベッドの左断面に細粒が多く、

右断面に粗粒が多く分布するためオアベッドの左右断面で粒度偏析が生じる。また、ブームコンベヤの巡回角度を補正し、山の積付け高さを制御する機構を設けても、なおかつ山の頂点の位置は一定しない。そのため、オアベッド断面の左側と右側で積付け量および粒度が不均一となる。このように偏析積付けされた原料を、バケットホイール式リクレーマにて払い出す際、前述の Fig. 7 および Fig. 10 に示すようにバケットホイールの横行時間  $t_1, t_2$  で  $\text{SiO}_2$  の周期変動がみられる。また Fig. 14 はリクレーマで払い出された原料中の  $\text{SiO}_2$  変動を経時変化で示したもので、変動はオアベッド長さ方向の変動とオアベッド断面内の変動で表される。このオアベッド断面内の変動は、ミクロの偏析として、焼結機パレットへ装入されるまで存在し、原料が着火焼成していく過程で、融体の生成に大きな影響をおよぼし、返鉱発生の一要因になっていると推察する。

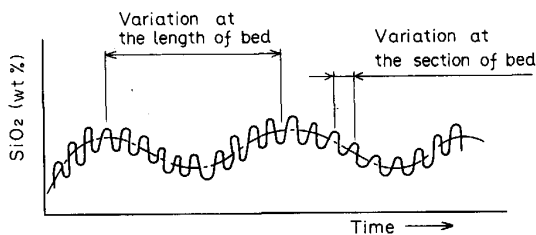


Fig. 14. Trend of  $\text{SiO}_2$  variation at bed reclaiming.

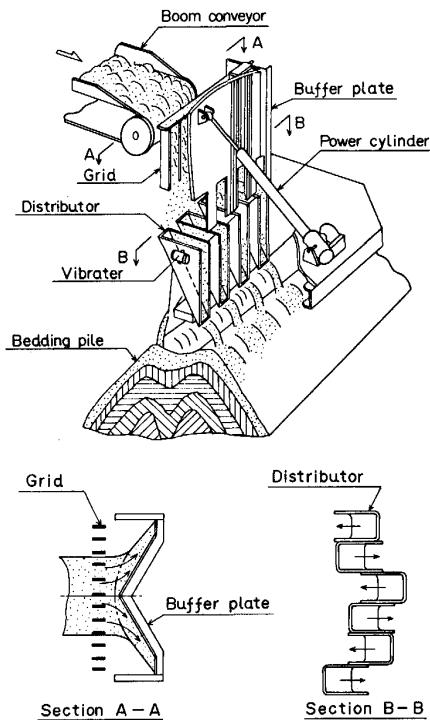


Fig. 15. Appearance of the segregation controlling apparatus.

### 3.2 装置の構成

そこで、オアベッド断面内の成分変動を低減するため、分割式積付け装置を開発した<sup>8)</sup>。

本装置は、Fig. 15 に示すように、大塊除去用の格子、原料拡幅用の衝突板、分割シュート、傾転用シリンダ、および粉鉱付着防止用の加振機等からなる。本装置の特徴として、ブームコンベヤから放出された原料を、A-A 矢視に示すように格子を經由して三角状の衝突板に当て、いつたん幅方向に拡幅する。拡幅された原料は、そのまま衝突板に沿って落下し、下部に設置した分割シュートにより、オアベッドの左右断面に強制的に2分割しながら積付けされる。なお、分割シュートは B-B 矢視に示すように幅方向を6分割し、下端の排出口をオアベッド断面に対し、それぞれ交互に配置した。

### 3.3 装置の特性

本装置を開発する上で最大の問題は、粉鉱付着によるシュート詰まりであるが、これには下記の対策をとった。

#### 3.3.1 シュート詰まりおよび摩耗対策

シュート上における静止状態の粉体層の重力と壁面摩擦力との釣り合いは、Fig. 16 に示すような関係にあり、粉体が架橋を起こさない条件は、次の(4)式を満足する必要がある。

$$\frac{W \cdot \sin \theta}{\mu \cdot W \left( \cos \theta + \frac{K \cdot H^2}{B \cdot A \cdot \tan \theta} \right)} > 1 \dots\dots\dots (4)$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $P$ : 粉体層内の垂直方向の圧力 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ),  $W$ : 粉体自重 ( $\text{kg}$ ),  $K$ : 土圧係数 (-),  $\theta$ : シュート傾斜角度 ( $^\circ$ ),  $\mu$ : 壁面摩擦係数 (-),  $H$ : シュート高さ ( $\text{m}$ ),  $B$ : シュート幅 ( $\text{m}$ ),  $A$ : シュート斜面の水平距離 ( $\text{m}$ ),  $\phi$ : 内部摩擦角 ( $^\circ$ ) である。Fig. 17 は  $\theta$  と(4)式による計算値との関係を示す。1 回目の実験では  $\theta = 60^\circ$ ,  $B = 100 \text{ mm}$  で実施したが、原料の積付けを開始して 10 min 後には完全にシュート詰まりを起こし、分割

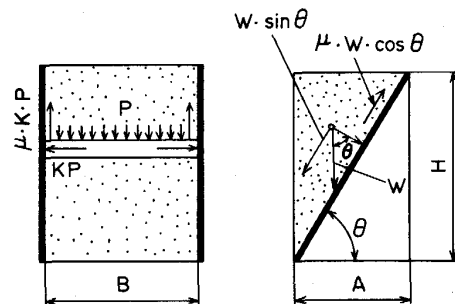


Fig. 16. Balance of strength at the slant face.

機能が得られなかった。2回目の実験では  $\theta=80^\circ$ ,  $B=200\text{ mm}$  で実施した結果, 26 銘柄積付けて, シュート詰まりを起こしたのは, 一部の粘着鉱であり, 大部分の銘柄は問題なく積付けることができた。

さらに, 加振機を取り付け, 10 min 間隔で約 30 s 作動で, シュート自体を強制振動させることにより全銘柄とも問題なく原料積付けが可能となった。

また, シュートの摩耗については, 母材が SS 製, 板厚 12 mm, ライナなしの条件で耐久テストを実施したところ, 摩耗速度は約 0.06 mm/10 万 t であり, 約 6 か月の寿命であった。実機化に当たっては, シュート内部にセラミックライナを設置し, 寿命延長を図っている。

3.4 装置の設置効果

3.4.1 原料積付け時の偏析調査結果

高さ 5 m まで積付けられた原料の左右斜面にシートを敷き, 1000 t/h の積付け量でスタッカを走行させ, 左右断面に堆積した試料をサンプリングし, 積付け量,

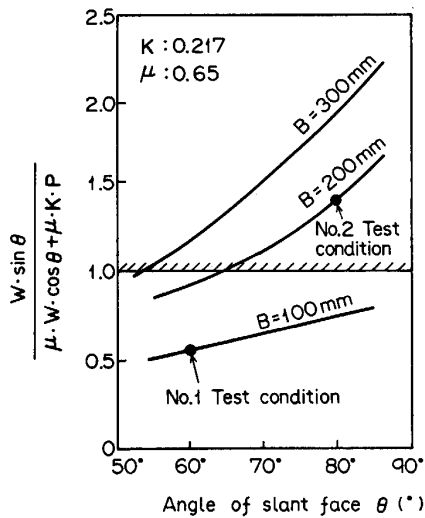
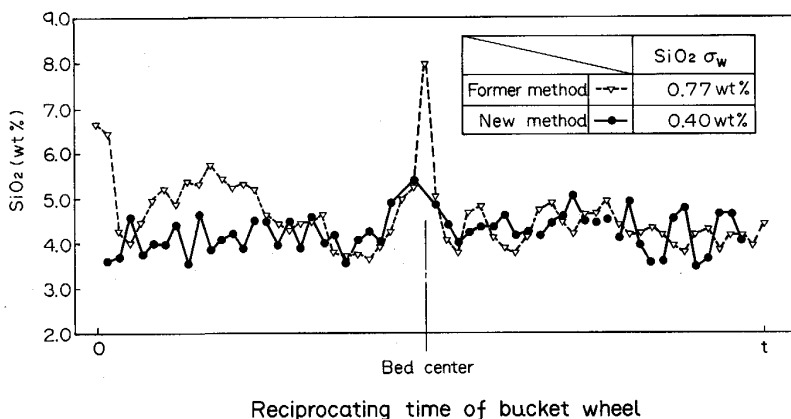


Fig. 17. Relation between  $\theta$  and balance of strength at the slant face.



粒度および成分を調査した。Table 1 は, 従来法と本開発法による原料積付け時の偏析調査結果を示すが, これより次の知見を得た。

(1) 左右断面の積付け量の差 ( $|W_R - W_L| / W_R + W_L$ ) は, 従来法の 18.1% に対し, 本開発法では 6.7% と約 1/3 に偏析が低減している。

(2) 左右断面の SiO<sub>2</sub> 成分の差は, 従来法の 0.09% に対し, 本開発法では 0.02% と約 1/5 に偏析が低減している。

(3) 左右断面の調和平均粒径の差は, 従来法の 0.017 mm に対し, 本開発法では 0.007 mm と約 1/3 に低減している。

3.4.2 原料払出し時の偏析調査結果

バケットホイールをオフィット断面の右端から左端まで走行させ, そのとき切出された原料を下流コンベヤ上に払い出した後コンベヤを停止して所定の間隔で試料をサンプリングし, SiO<sub>2</sub> 成分を分析した。Fig. 18 は, 従来法と本開発法により積付けした原料を, 別々にリクレマにて切出した時の SiO<sub>2</sub> 成分変動を示す。Fig. 18 より, 従来法の  $\sigma_w=0.77\%$  に対し, 本開発法では,

Table 1. Segregation at bed stacking.

	Former method			New method		
	Right section	Left section	Difference	Right section	Left section	Difference
Stacking method						
Stacking volume (wt%)	$ W_R - W_L  / W_R + W_L = 18.1$			6.7		
SiO <sub>2</sub> (wt%)	2.21	2.30	0.09	2.37	2.39	0.02
Mean size (mm)	0.535	0.518	0.017	0.516	0.510	0.006

Fig. 18. Segregation of SiO<sub>2</sub> at bed reclaiming.

Table 2. Result of operation at sinter plant.

Case	I (at 2 DL)			II (at 4 DL)		
	Former method	New method	Difference	Former method	New method	Difference
Productivity (t/h·m <sup>2</sup> )	1.45	1.47	+0.02	1.40	1.35	△0.05
Rate of return ore (%)	25.0	20.0	△5.0	23.2	20.8	△2.4
Used volume of coke (kg/t)	46.2	42.2	△4.2	42.2	38.2	△4.0

$r_w=0.40\%$  とばらつきは約 1/2 に低減されており、本装置は偏析防止に効果のあることが確認できた。

### 3・4・3 焼結使用テスト結果

同一銘柄構成の条件で、従来法および本開発法で積付けした原料を用い、実機にて焼結した結果の一例を Table 2 に示す。Table 2 より、従来法に比べ、返鉱発生比が 2~5% 低減し、その結果コークス原単位 3~4 kg/t が低減されている。これは、ミクロの成分変動の減少が、焼成時のむら焼け防止に寄与しているものと考えられる。

## 4. 結 言

焼結鉱の品質を安定化するには、オアベッドの  $\text{SiO}_2$  変動を低減することが重要であり、その改善策として、オアベッドの品質モニタリングシステムおよび分割式積付け装置を開発した。これらを実機に適用し、次の知見を得た。

1) オアベッドから焼結工場までの輸送過程における  $\text{SiO}_2$  変動は、オアベッドの原料払出し段階で最大である。

2) 長手方向および幅方向モデルによる  $\text{SiO}_2$  変動の計算値と実測値はほぼ一致している。

3) オアベッド幅方向の  $\text{SiO}_2$  変動 ( $\sigma_w$ ) は、長手方向の  $\text{SiO}_2$  変動 ( $\sigma_L$ ) に比べ、約 7 倍ほど大きく、また

焼結鉱の  $\text{SiO}_2$  変動 ( $\sigma_S$ ) と強い相関がある。

4) 分割式積付装置は、 $\text{SiO}_2$  変動 ( $\sigma_w$ ) の低減に効果があり、従来法に比較して、約 1/2 に低減できる。

5) 焼結使用テスト結果では、本開発法が従来法に比べ返鉱発生比が 3~5% 低減し、その結果コークス原単位 3~4 kg/t の低減が可能となった。

6) 焼結鉱の  $\text{SiO}_2$  変動 ( $\sigma_S$ ) は、従来の ( $\sigma_S$ )=0.06~0.09 wt% から ( $\sigma_S$ )=0.04~0.05 wt% に低減できた。

## 文 献

- 1) 鈴木 達, 高橋いずみ, 大塩義高, 南 隆志, 佐藤幸男, 夏見敏彦: 鉄と鋼, 65 (1979), S517
- 2) 原田嵩試, 早瀬鉱一, 佐藤幸男, 中村 勝, 高橋いずみ, 内山英夫: 鉄と鋼, 67 (1981), S654
- 3) 斉藤 汎, 中尾亜男, 平井慶太郎, 野沢光男, 松永吉史: 鉄と鋼, 68 (1982), S34
- 4) 佐藤幸男, 竹原亜生, 春 富夫, 佐藤和彦, 田口整司, 早瀬鉱一, 佐々木晃: 鉄と鋼, 69 (1983), S830
- 5) 山名紳一郎, 兒子精祐, 福田明正, 若井邦光, 才野光男, 山田孝雄: 鉄と鋼, 67 (1981), S99
- 6) 山名紳一郎, 兒子精祐, 福田明正, 若井邦光, 才野光男, 山田孝雄: 鉄と鋼, 67 (1981), S100
- 7) 山名紳一郎, 兼田経博, 兒子精祐, 福田明正, 浮田正弘, 瀬川佑二郎: 鉄と鋼, 67 (1983), S67
- 8) 新田昭二, 小島信司, 末森 昱, 山名紳一郎, 伊東正博, 兒子精祐: 鉄と鋼, 73 (1987), S63