
排ガス分析および排鉱部赤熱帯比による焼成エネルギー制御システムの開発

Sintering Energy Control System Using Carbon Analysis of Waste Gas and Hot-Zone-Ratio Measurement of Sinter Cake

佐々木 豊(Yutaka Sasaki) 渡辺 実(Minoru Watanabe) 高橋 博保(Hiroyasu Takahashi) 加藤 明(Akira Kato) 安田 素郎(Motoo Yasuda) 三木 克之(Katsuyuki Miki)

要旨：

千葉製鉄所第3焼結工場と第4焼結工場で、焼結プロセスでの投入熱量レベルを迅速に精度良く検出し制御するシステム(SECOS)を開発した。本システムは、焼結排ガス分析から求めたカーボンバランスによる原料層中炭材熱焼量および固体撮像素子イメージセンサーによる排鉱部焼結ケーキ断面の赤熱面積という異なる指標から投入熱量レベルを総合的に判定し、コークス切出量により設定値からの偏差を自動補正する。昭和61年7月以来順調に稼働中であり、焼結鉱の品質安定と歩留りの向上に寄与している。

Synopsis：

Kawasaki Steel has developed a new sintering energy control system, SECOS, which can detect and control the thermal energy level rapidly within an allowable range. The system is applied to No.3 and No.4 Sintering Plants in Chiba Works. It uses two parameters. One is a carbon quantity of sinter mix which is burnt on pallets. This is calculated through carbon balance by detecting the waste gas volume and composition. Another is a hot zone ratio of the sinter cake cross section at the discharge end measured by an ITV camera. The system executes overall evaluation of the thermal energy level with these two parameters and controls the level within an allowable range by adjustment of the coke blending ratio. this is one of the subsystem of sintering operation guide system "OGS" and contributes to reducing the fluctuation of sinter quality and productivity.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

排ガス分析および排鉱部赤熱帯比による 焼成エネルギー制御システムの開発*

川崎製鉄技報
19 (1987) 2, 93-97

Sintering Energy Control System Using Carbon Analysis of Waste Gas and Hot-Zone-Ratio Measurement of Sinter Cake



佐々木 豊
Yutaka Sasaki
千葉製鉄所 製鉄部原料
処理課



渡辺 実
Minoru Watanabe
千葉製鉄所 製鉄部原料
処理課 課長



高橋 博保
Hiroyasu Takahashi
千葉製鉄所 製鉄部原料
処理課 課長



加藤 明
Akira Kato
千葉製鉄所 製鉄部製
鉄技術室 主査(掛長)



安田 素郎
Motoo Yasuda
千葉製鉄所 製鉄部製
鉄技術室 主査(掛長)



三木 克之
Katsuyuki Miki
千葉製鉄所 設備部電
気計装技術室

要旨

千葉製鉄所第3焼結工場と第4焼結工場で、焼結プロセスでの投入熱量レベルを迅速に精度良く検出し制御するシステム (SECOS) を開発した。本システムは、焼結排ガス分析から求めたカーボンバランスによる原料層中炭材燃焼量および固体撮像素子イメージセンサーによる排鉱部焼結ケーキ断面の赤熱面積という異なる指標から投入熱量レベルを総合的に判定し、コークス切出量により設定値からの偏差を自動補正する。昭和61年7月以来順調に稼動中であり、焼結鉱の品質安定と歩留りの向上に寄与している。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed a new sintering energy control system, SECOS, which can detect and control the thermal energy level rapidly within an allowable range. The system is applied to No. 3 and No. 4 Sintering Plants in Chiba Works. It uses two parameters. One is a carbon quantity of sinter mix which is burnt on pallets. This is calculated through carbon balance by detecting the waste gas volume and composition. Another is a hot zone ratio of the sinter cake cross section at the discharge end measured by an ITV camera. The system executes overall evaluation of the thermal energy level with these two parameters and controls the level within an allowable range by adjustment of the coke blending ratio. This is one of the subsystem of sintering operation guide system "OGS" and contributes to reducing the fluctuation of sinter quality and productivity.

1 緒 言

焼結鉱の製造プロセスでは、配合原料中の炭材量の変動防止は焼成エネルギーと焼結鉱品質の安定のみならず製造コスト低減を図るうえで重要なものの一つである。

従来、オペレータは炭材量の過不足を成品試験結果や排鉱部の観察結果などにより判断しコークス切出量を調整していた。このため変動検出タイミングの遅れや個人差などから適正な制御が困難で、迅速化および標準化の観点からも自動制御システムの開発が望まれていた。そこで、千葉製鉄所の製鉄部門で進めている新製鉄情報システム構築^{1,2,3)}の一環として行われた第3および第4焼結工場の計装設備リフレッシュに際し、原料中の炭材量変動を焼成中に検出しこれを自動的に調整する機能を持つ焼成エネルギー制御システム SECOS (Sintering energy control system) を開発した。

本システムを適用した結果、焼結鉱品質の安定および製造コスト

の低減に有効に機能することを確認した。

本報では本システムの機能概要と適用結果について報告する。

2 開発の背景

2.1 炭材量管理の必要性

焼成エネルギー制御システム SECOS は、当初、第3焼結工場を対象に開発されたものである。第3焼結工場は所内で発生する約20種類のダストをリサイクル使用しており、ダスト中の含有炭材量の変動等に起因する原料中のカーボン変動が大きかった。また、焼結工場全体のコストミニマム化のため第4焼結工場への傾斜生産を実施しており減産操業であることと、排熱回収設備を有していないので限界に近い低いコークス比操業を行っていた。このため原料中のカーボン量の変動が品質、歩留りなどに与える影響が大きく、このカーボン量の管理が強く望まれていた。

* 昭和62年1月27日原稿受付

2.2 システム化実現の背景

本システムは後述する Real carbon (RC) および Hot zone ratio (HZR) の両機能からなりそれぞれカーボンレベル検知およびむら焼け管理として独自に実用化を進めて来たものである⁴⁾。しかし、当初の計算機はその容量が小さくデータ処理の面で十分なオンライン操業化はなされていなかった。焼結工場で、昭和60年7月に新製鉄情報システムの一環として分散型デジタル計装制御(以下DDCと呼ぶ)、千葉製鉄所の中央計算機に連絡した大容量プロセス計算機(以下総合プロコンと呼ぶ)の導入による焼結サブシステム(Fig. 1)が稼動したことが今回の焼成エネルギー制御システムの実現の契機となった。

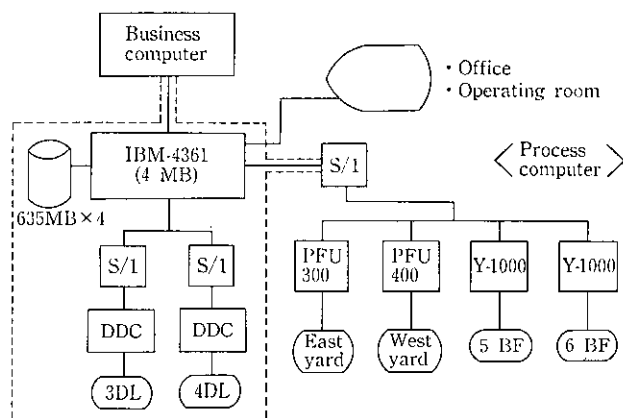


Fig. 1 System construction at the first step

3 制御システムの構成

3.1 システムの概要

SECOSは次の2変量の組合せにより焼成熱量変動を検出しコークス切出量を自動制御するシステムである。

RC: 焼結排ガス分析値から求めたカーボンバランスにより推定

する焼結機上のカーボン燃焼量

HZR: 焼結機排鉱部の ITV モニターで計測した焼結層断面における 600℃ 以上の領域

以下に SECOS の機能概要を示す (Fig. 2)。

- (1) RC および HZR を 5 分ごとに計算し、計算値と目標値の偏差により各々の 7 段階の焼成レベルに評価する。次に各々の評価を組合せたアクションマトリックスに従って焼成エネルギーが過剰か不足かの総合評価を行う。
- (2) 総合評価結果をもとにコークス配合の適正量を算出し、下位 DDC のコークス切出量設定値として与える。
- (3) RC および HZR の現状レベルを評価する 7 段階の各レベル境界値は操業度、品質設計などにより変化するもので 30 分ごとに計算する標準偏差と定数から境界値を修正する方法を採用している。

以上、本システムの概要を述べたが本システムは以下の特徴を有する。

- (1) 状況判定の信頼性が高い (異種のセンサーの組合せ)
- (2) 状況判定の迅速性 (焼結焼成過程での検出)
- (3) レベル判定境界値の自動修正機能 (操業状況に応じてシステム自身による自己修正)

3.2 RC 推定

3.2.1 RC 定義式

RC は、焼結排ガス中の CO および CO₂ 濃度と排ガス流量から求めたカーボン総量から、点火炉でのガス燃焼および原料中炭酸塩が分解して発生した CO₂ 中のカーボン量を除外した値で、配合原料中のコークス配合比に換算したものである。

RC 計算式は次式で表わされる。

$$RC (\%) = [V_{ex} (CO + CO_2) - V_{CaCO_3} - V_{Dolo} - V_{MG}] \times \frac{12}{22.4} \times \frac{1}{M \times FC} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 V_{ex} : 排ガス量 (dry) (Nm³/h)

CO, CO₂: 排ガス中の濃度

V_{CaCO_3} : 石灰石の熱分解で発生する CO₂ 量 (Nm³/h)

V_{Dolo} : ドロマイトの熱分解で発生する CO₂ 量 (Nm³/h)

V_{MG} : ガスの燃焼で発生する CO₂ 量 (Nm³/h)

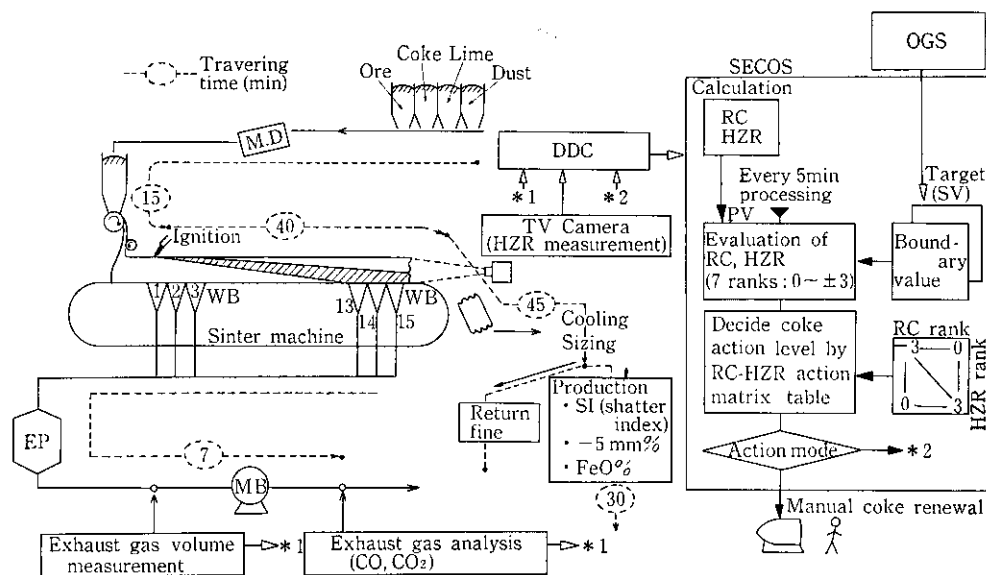


Fig. 2 Schematic diagram of SECOS function

FC: コークス中フリーカーボン含有量

M: 配合原料使用量 (kg/h)

3.2.2 排ガス分析方法

焼結排ガス成分の分析は Table 1 に示すように第 3 焼結工場ではガスクロマトグラフ法を、第 4 焼結工場では赤外線分光分析法を用いている。とくに分析にあたっては、ダクト内の排ガスの偏流と排ガス中のダストの悪影響を考慮して主排風機吐出側にサンプリングプローブを設置した。

3.2.3 RC 計算処理方法

(1) 式に使用する諸データは全て DDC から 2^n (現在 2^8) 秒周期に入力する。RC 計算に際して精度、信頼性向上を図るために次の点を考慮している。

(1) 貯鉱槽から切出された原料が焼結機上で焼成され、その排ガス成分として定量化されるまでには約 30 分のタイムラグを有する。したがって (1) 式中の石灰石およびドロマイト使用量はトラッキング時間を持たせ計算に使用している。

(2) (1) 式中の配合原料使用量 M は (2) 式により求める。

$$M(t/h) = PS \times H \times W \times \rho \times 60 \dots \dots \dots (2)$$

ここで、PS: 焼結機移動速度の計測値 (m/min)

H: 焼結機上の原料層厚の計測値 (m)

W: 焼結機の幅 (m)

ρ : 焼結機上の原料密度の計算値 (t/m^3)

なお上記計算方法により得られた RC は、外乱の影響を極力抑えるため時系列方向に指数平滑処理 (フィルタリング) を施し判定処理に供している。

3.3 HZR 測定

3.3.1 HZR の定義

焼結機排鉱部に設置した ITV モニター (Photo 1) で落下直前の焼結ケーキ断面を撮影し、この画像をもとに算出したケーキ断面の 600°C 以上の赤熱帯領域比を HZR と表わす。

3.3.2 HZR の測定方法

Fig. 3 に HZR 計測システムハードウェア構成を示す。固体撮像素子 CCD (Charge coupled device) を採用した撮像カメラからの画像信号は、画像処理装置および擬似カラー装置により処理され、

Table 1 Specifications of exhaust-gas analyzer

Plant	No. 3 Sinter Plant	No. 4 Sinter Plant
Analysis		
Method	Gas-chromatography	Infrared ray
Measuring range	CO : 0~ 2% CO ₂ : 0~ 10% O ₂ : 0~ 25% N ₂ : 0~100%	CO : 0~ 5% CO ₂ : 0~15%
Cycle	5 min/sample-gas	Continuous
Accuracy	±1% FS*	±2% FS*

* FS: Full scale

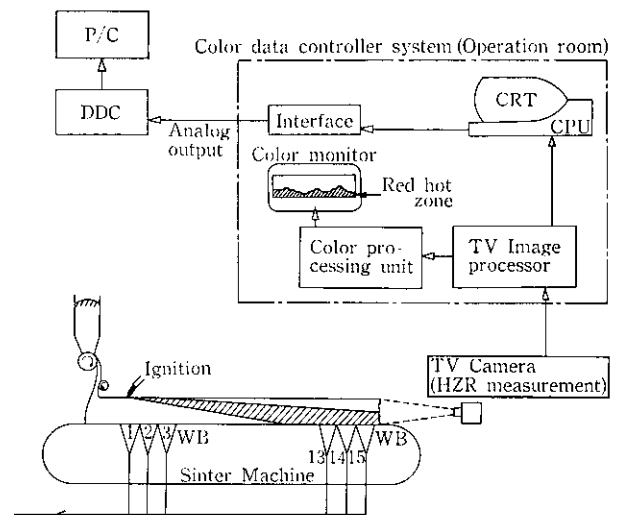


Fig. 3 Hardware composition of HZR

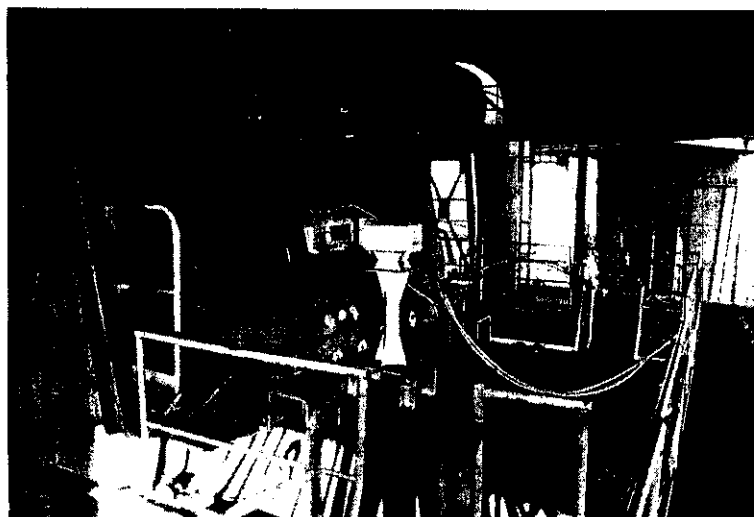


Photo 1 ITV monitor

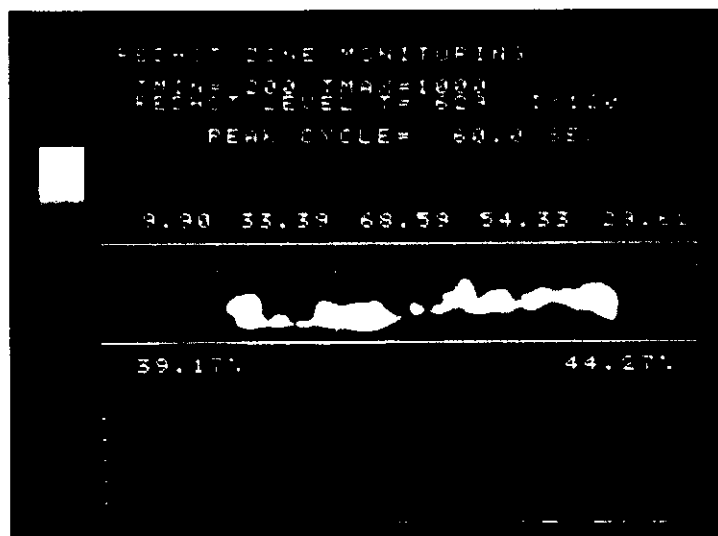


Photo 2 HZR display on color monitor

Photo 2に示すように温度に対応したカラモニターに表示される。同時に画像処理装置で分離した600℃以上の赤熱帯領域比は計算され統合プロコンへ伝送される。

3.3.3 HZRの計算処理方法

HZRはFig. 2に示すように排鉱部での焼結ケーキの断面を測定するものであるが、碎断落下するケーキが一部残留し新断面の正確な測定値が得られない場合がある。このため以下の方法により対処している。

- (1) 1秒単位でHZR演算しバレットごとの最大値を管理値とする。
- (2) 総合プロコンによる平滑処理の実施。

3.4 制御機構

3.4.1 RCおよびHZRの現状評価

RC, HZRそれぞれの現在値は、Fig. 4に示す境界値テーブルにより目標値との偏差程度に応じ7段階のレベル、すなわち0～±3という指数で評価する。例えば評価0は現状のカーボン量は基準内であることを意味し、評価-3は基準値に比べ大幅に少ないことを表わしている。

3.4.2 アクションマトリックス

RC, HZRそれぞれの評価結果をPhoto 3に示すRC, HZRの2次元マトリックスにより総合的な評価がなされる。マトリックスの総合評価0～±3は必要コークス調整量の強度（基準単位調整量の倍

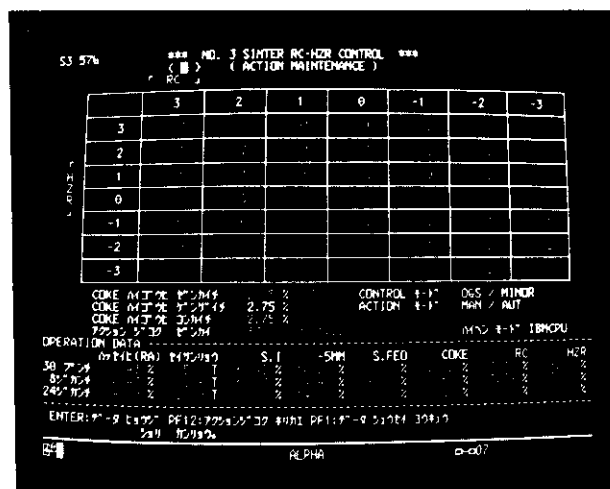


Photo 3 Action matrix display

S3 572 *** NO 3 SINTER DGS キョウカイ ショウキウ PAGE = 2 DATE: 03.04 TIME: 11.37

項目	HHH	HH	H	L	LL	LLL	MODE	52"V
RC	3.50	3.20	3.00	2.60	2.20	2.00	AUT	0.53
DEP	150.00	147.75	145.50	143.25	141.00	138.75	AUT	53.78
TEP	130.00	124.05	118.10	101.35	95.40	90.00	AUT	18.88
RCL	321.03	314.50	307.97	291.44	284.91	280.04	AUT	15.46
TCL	80.00	74.45	73.60	36.40	33.35	30.00	AUT	5.00
T11WR	214.25	197.47	192.23	150.28	145.03	138.25	AUT	20.25
T14WR	391.72	359.11	348.93	267.41	257.22	224.82	AUT	50.95
PRO	240.80	236.43	229.04	212.80	205.41	201.04	AUT	12.12
S-T	93.00	92.23	91.52	88.98	88.22	87.50	AUT	1.15
-SHM	16.00	14.85	13.81	12.12	11.15	10.00	AUT	0.71
RED	19.50	12.56	12.05	12.05	12.05	12.05	AUT	0.94
RDI	46.00	44.27	42.62	33.31	31.73	30.00	AUT	0.88
RC	4.32	4.25	4.13	3.89	3.77	3.70	AUT	0.17
HZR	24.17	23.48	20.78	15.36	13.59	12.50	AUT	4.01
LEVEL	95.00	87.45	79.91	90.09	82.55	75.00	AUT	5.90
COKE	3.75	3.74	3.30	2.30	1.86	1.85	AUT	0.09
P.S	684.43	663.88	669.00	609.00	570.53	570.53	AUT	0.01
DAMP	109.00	109.00	109.00	10.00	10.00	10.00	AUT	0.00

PF1: MODE アップ PF2: キョウカイ PF3: テーザ ニョウリョク PF4: DATE ENTER: キョウ

Fig. 4 Boundary value maintenance display

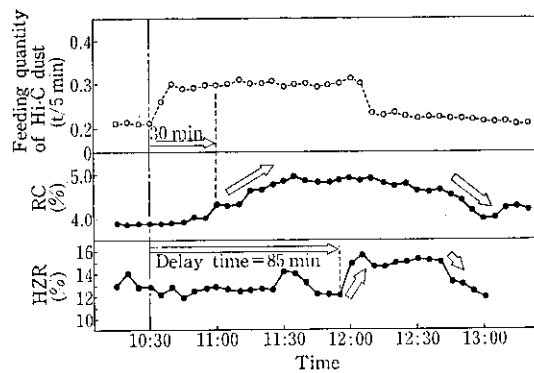


Fig. 5 Results of response test

数)と方向を表わし、RC および HZR が同方向に偏差がある時のみ、アクションを選択する。

3.4.3 制御方法

本システムでは炭材量変動に対する制御性向上を図る目的で PID 制御化を実施し最終的なコークス調整量を決定している。コークス切出量の制御は下位 DDC 設定値を修正して実施されるが、その影響がプロセスに現われる時間遅れを考慮して連続コークス量調整を停止するデッドタイムを設定している。

カーボン含有率の高いダストの配合量をパルス状に変化させ RC および HZR の応答性を調査した結果を Fig. 5 に示す。RC はカーボン変動に対応して応答が早く (約 30 分) 感度も良い。HZR に関してはトラベリング時間に由来する応答遅れが大きく (約 85 分)、かつカーボン量以外の影響も受けやすいため短時間の急激な変動の検知には不向きである。このようなケースに対しては通常の RC および HZR マトリックス管理から RC 単独管理に切替るシステムとしている。

4 オンライン操業結果

昭和 61 年 7 月から本システムによる全自動コークス配合比管理を開始した。その結果を Fig. 6 および 7 に示す。Fig. 7 は焼結層内熱量レベルの変動に敏感な返鉱発生比の 8 時間平均値の推移を示す。SECOS 操業以降はその変動は低減している。Fig. 7 は SECOS 操業前後における RC, HZR および品質の変動状況の推移を示したものである。SECOS 操業ではきめ細かなコークス配合量管理を実施することにより焼成エネルギーおよび品質の変動低減に寄与している。

5 結 言

千葉製鉄所の焼結工場において、焼成過程に原料中カーボン量のレベルを検出しそのレベルが一定になるようにコークス切出量を自動修正する機能を持つ焼成エネルギー制御システム (SECOS) を

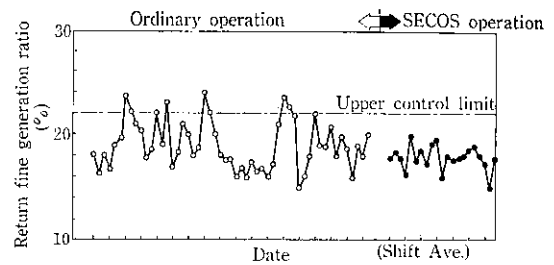


Fig. 6 Transition of return fine generation ratio

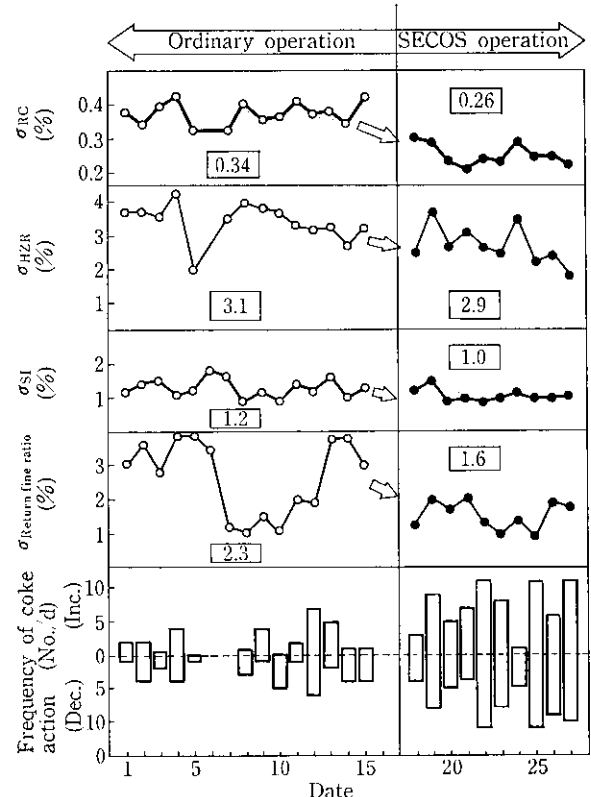


Fig. 7 Transition of standard deviations and coke action frequency

開発した。

本システムは、排ガス分析値から求めたカーボン燃焼量 (RC) および焼結機の排鉱部モニターで計測した焼結ケーキ断面の赤熱帯面積比 (HZR) の値を求め、RC-HZR の 2 次元判定マトリックスから焼成熱量レベルおよびそれに対するコークス補正量を決定するものである。

従来法に比べ原料中炭材量の変動を迅速にかつ精度良く判定し、コークス切出量を自動補正する特長を持ち、昭和 61 年 7 月の稼働以来焼結鉱の品質のバラツキ低減と歩留りの向上に寄与している。

参 考 文 献

- 1) 三木克之, 高橋博保, 渡辺 実: 鉄と鋼, 71 (1985) 4, S36
- 2) 加藤 明, 富田貞雄, 高橋博保, 近崎秀明, 秋山 守, 崎村 博: 鉄と鋼, 71 (1985) 12, S34
- 3) 船島武誠, 植崎義一, 高橋博保, 加藤 明, 富田貞雄, 崎村 博: 鉄と鋼, 72 (1986) 4, S102
- 4) 高島暢宏, 渡辺 実, 篠崎佳二, 佐々木 豊, 佐藤幸男, 竹原亜生: 鉄と鋼, 70 (1984) 12, S764