

住金小倉 3 焼結における焼成安定化制御システムの開発

Development of Sintering Control System in Kokura No.3 Sintering Plant

住友金属工業(株)システムエンジニアリング事業本部
住友金属工業(株)小倉製鉄所浜田勝成・西川淳一*
辻川 宏・川口善澄
波多野康彦・吉田謙治

1. 緒言

焼結プロセスは、高炉から要求される所定品質の焼結鉱を必要量高炉に供給する使命があり、操業及び成品品質の安定化と製造コスト低減が重要課題である。しかし、焼結プロセスは遅れ時間が長く、また複雑な相互干渉のある多入力多出力という特性を持ち、制御困難なプロセスである。

当社の小倉3焼結では、1992年3月のプロコン更新と共に、実操業データ解析によりこの特性を考慮した焼成安定化制御システムを開発した。本制御システムは、焼結機の機長方向の焼成安定化を狙った焼成点制御と、幅方向の焼成安定化を狙った幅方向制御より構成されている。今回、実機適用試験を実施し、その有効性を確認したので、以下に概要及びその効果について報告する。

2. 設備概要

Fig1に焼結プロセスの設備概要を示す。焼結とは、高炉に装入する鉄鉱石の前処理工程であり、平均の粒径が2mm程度の細かい鉄鉱石を焼き固めて25mm程度にまで大きくするプロセスである。Fig1のように原料槽から切り出された焼結原料は、燃料である粉コークスと共にミキサーで混合・造粒され、サージホッパーを経由して焼結機のパレット上に給鉱される。パレット上に給鉱された原料は、パレットの移動によって排鉱部へと搬送される。この間に、点火炉で表面に点火され、燃焼ガスが各ウインドボックス(WB)を通して主排風機等により下向きに吸引される。この時に、焼成が上から下に進行して最初に焼き上がる点を焼成点(FFP)と定義している。

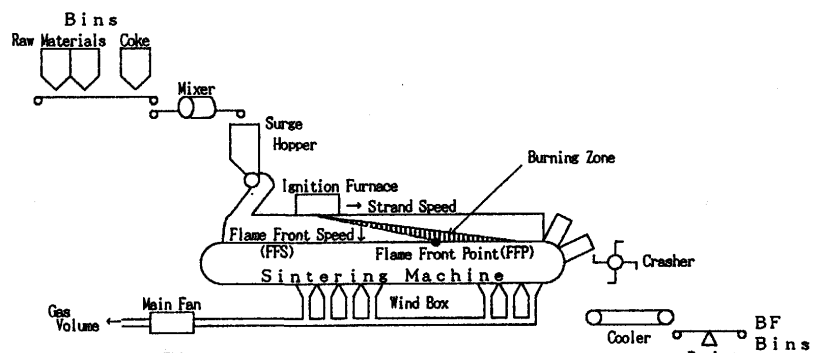


Fig1. Schematic Diagram of Sinter Plant

3. システム概要

焼成点制御及び幅方向制御のシステム概要をFig2に示す。焼成点制御は、各WB温度により焼成点を検出し、パレット速度を調整して制御する。ここでパレット速度の調整は生産量変動の原因となるため、中長期的には目標の生産量が得られるパレット速度となるよう主排風量を調整し、焼成点と生産量とを同時に制御する。

幅方向制御は、排鉱側に設置した5点のパレット直下温度計により幅方向の温度分布を測定し、その温度分布の制御を行う。この時、サージホッパーの出口に設置されている分割ゲートの開度を操作することによって、給鉱部の原料装入嵩高の幅方向分布を調整して制御する。

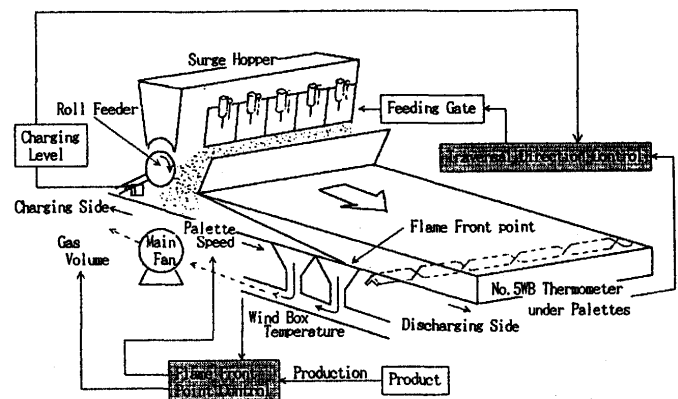


Fig2. Schematic Diagram of Sintering Control System

4. 制御の内容

(1) 焼成点制御

A. プロセス特性

焼成点は機長方向の送り速度であるパレット速度と、焼成速度と概ね比例関係にある主排風量を変更することによって変化する[Fig1参照]。

これらの関係の動特性を調査した結果の一例をFig3-(1) [パレット速度を変更した場合]とFig3-(2) [主排風量を変更した場合]に示す。最終応答量は図中の④、④'、過渡応答時間は⑤、⑤'で求められるので、これらの影響を考慮して無駄時間を求めると、Fig3-(1)では22分、Fig3-(2)では33分という結果になった。それにより、主排風量の方が応答が遅いことが判明した。この結果から本制御では、短期的な安定化が求められる焼成点はパレット速度調整により制御し、パレット速度調整に伴う生産量変動に関しては、中長期的には目標の生産量が得られるパレット速度となる様、主排風量を調整するモデルを開発した。[注:0(給鉱側)←FFP→100%(排鉱側)]

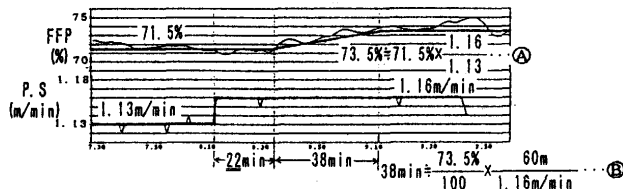


Fig3-(1). Response of FFP to a Step Change in Strand Speed

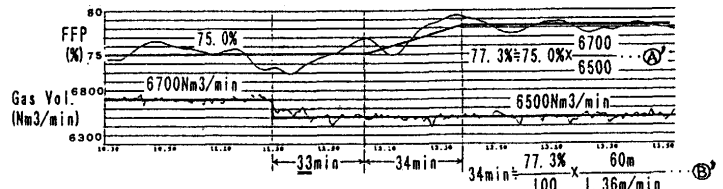


Fig3-(2). Response of FFP to a Step Change in Main Fan Gas Volume

B. 制御ロジック

焼成点制御内容をFig4に示し、パレット速度調整を行う基本制御を以下に示す。

- ①排鉱側のNo. 1~9WB温度より焼成点を検出する。
- ②パレット速度の無駄時間を考慮して焼成速度を算出する。
- ③主排風量の無駄時間を考慮して今後の焼成速度を予測する。
- ④目標の焼成点を得られるパレット速度を求め、制御出力する。また、①~④と同時に、主排風量調整を行う生産量キープ制御を以下に示す。
- ⑤過去の実績データを基に物質収支計算により歩留を算出する。
- ⑥④のパレット速度と⑤の歩留より今後の生産量を予測する。
- ⑦目標の生産量が得られる主排風量を求め、制御出力する。

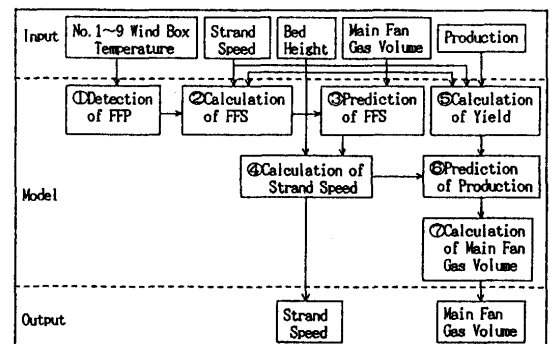


Fig4. Function Concept of FFP Control

C. 制御状況例

焼成点制御を実操業に適用した状況を、マニュアル時の操業と比較してFig5に示す。マニュアル操業時は、パレット速度・主排風量とも操作幅が小さく、原料性状の変化等による外乱に対して焼成点の追従性が悪い。その結果、焼成点・生産量共にバラツキが大きい。

一方、モデル適用時は焼成点・生産量の変動に対応してパレット速度・主排風量を操作している。このため、焼成点・生産量共にほぼ満足すべき結果が得られ、制御モデルの有効性を確認できた。

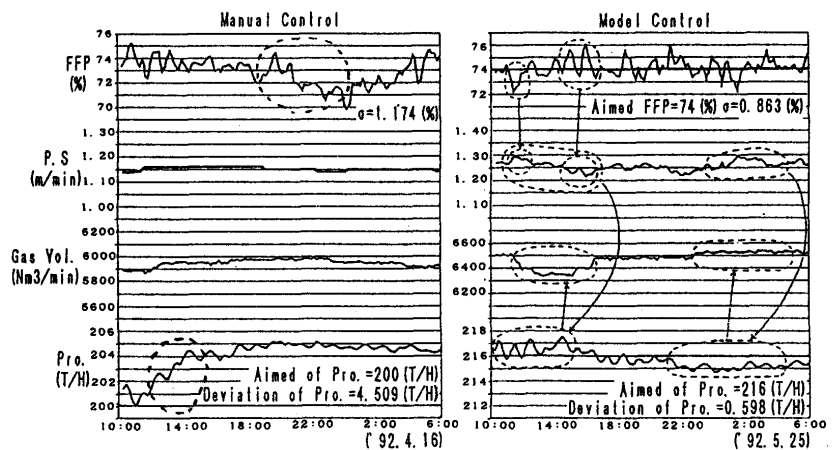


Fig5. Example of Results of FFP Control

(2) 幅方向制御

A. プロセス特性

幅方向のパレット直下温度分布は、給鉱部の原料装入嵩高の幅方向分布を変更することによって変化する。この動特性を調査した結果の一例がFig6であり、幅方向5点のうち左側の分割ゲートの開度をステップ的に変更して、嵩高を変更させた場合である。

この例では、無駄時間が約40分ある上に、隣の左中への干渉があることが判明した。これらの結果から、本制御ではこの特性を解析・同定し、原料給鉱時にパレット直下温度の幅方向分布を予測・非干渉制御するモデルを開発した。

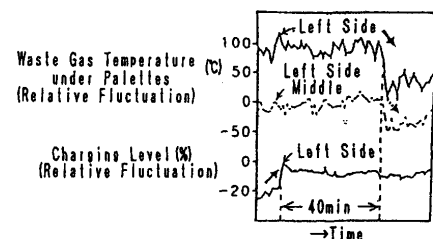


Fig6. Response of Waste Gas Temperature under Palettes to a Step Change in Charging Level

B. 制御ロジック

幅方向制御の内容をFig7に示し、以下に制御の手順を示す。

- ①パレット速度を用い分割ゲート開度操作がパレット直下温度に
応答の出る無駄時間を求める。
- ②現在給鉱中の原料がパレット直下温度測定位置に到達時の幅方
向温度を予測する。
- ③隣への干渉補償等を考慮して目標の温度分布が得られる嵩高分
布を求める。
- ④この嵩高分布が得られる分割ゲート開度分布を求め、制御出力
する。

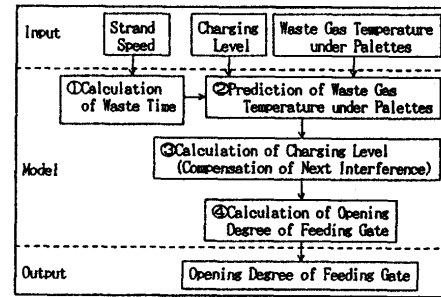


Fig7. Function Concept of Traversal Direction Control

C. 制御状況例

幅方向制御を実操業に適用した制御状況例をマニュアル操業時と比較してFig8に示す。マニュアル操業時は、分割ゲートの操作幅が小さく、原料給鉱状況の変化による嵩高変動等の外乱に対して追従性が悪い。その結果、パレット直下温度の幅方向偏差のパラツキが大きい。

一方、モデル適用時は適用開始直後の操作の様に、パレット直下温度の幅方向分布の変動に対し追従良く分割ゲート開度を操作している。その結果、パレット直下温度の幅方向偏差は80℃から30℃に減少し、制御モデルの有効性を確認できた。

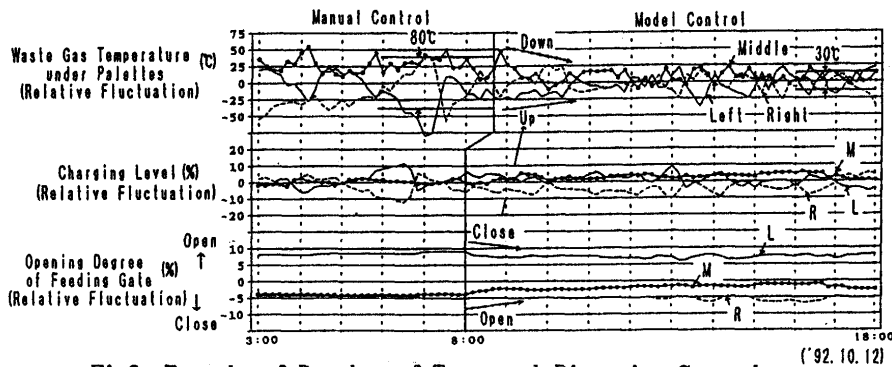


Fig8. Example of Results of Traversal Direction Control

5. 焼成安定化制御システム適用状況

(1) 適用結果

マニュアル操業時と本システム(焼成点制御及び幅方向制御)適用時の操業の比較をFig9に示す。モデル適用時には以下の結果が得られた。

- ①平均FFPを排鉱側に移行できた。
[73.5%(マニュアル)→74.1%(モデル)]
- ②生産量増加[5050T/D(マニュアル)→5497T/D(モデル)]に伴う主排風量の増加が抑制された。
[6615Nm³/min(マニュアル)→6634Nm³/min(モデル)]
- ③T I, R D I等品質のレベルを維持できた。

(2) 効果

(1)の結果より、以下の操業効果が得られた。

- ①主排風量増加抑制に伴う電力原単位の低減
[通常マニュアル時より-0.5KWh/t]
- ②焼成安定によるコークス原単位の低減
[通常マニュアル時より-0.4Kg/t]
- ③T Iの安定 [$\sigma=0.98\%$ (マニュアル)→ $\sigma=0.65\%$ (モデル)]
- ④R D Iの安定 [$\sigma=1.7\%$ (マニュアル)→ $\sigma=1.3\%$ (モデル)]

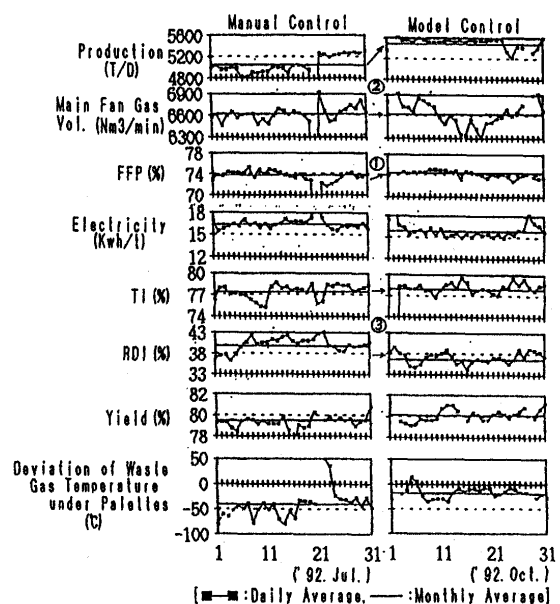


Fig9. Comparison of Operation Results between Manual and Model Control

(3)考察

主排風量増加抑制に着目すると、その原因として以下の2つが推察される。

- ①焼成点制御により、FFPの σ が0.874%(マニュアル)→0.623%(モデル)となり、平均FFPを排鉱側に移行できた。
その結果、風量の低減が図れた。
- ②幅方向制御により、幅方向の焼成が安定し、歩留が好転した。[79.5%(マニュアル)→80.1%(モデル)]
その結果、風量の低減が図れた。

6. 結言

小倉3焼結で、焼成安定化制御システムを開発し、実機適用試験を行った。その結果、焼成が安定し、風量の低減による電力原単位の向上並びに歩留好転に有効との知見が得られた。今後、更に焼結の品位向上、コスト低減を狙ったシステムの開発を進めていく予定である。

[参考文献]

- 1)浜田勝成, 西川淳一, 辻川宏, 川口善澄, 波多野康彦, 吉田謙治: 材料とプロセス, Vol.6(1993), p307