
水島製鉄原料ヤードシステムの開発とその運用

Development and Operation of Total Ore Yard System in Ironmaking Department of Mizushima Works

山名 紳一郎(Shin-ichiro Yamana) 児子 精祐(Seisuke Nigo) 小幡 昊志(Hiroshi Obata) 深川 卓美(Takumi Fukagawa) 森永 昇(Noboru Morinaga) 浮田 正弘(Masahiro Ukita)

要旨：

水島製鉄所における製鉄システム開発の一環として、原料ヤード部門のシステム化を行った。広範囲の原料ヤードに散在する各種プロセス情報を、光ネットワークを経由しプロセスコンピュータで収集および処理した後、上位のビジネスコンピュータで大規模なデータベースを構築した。本システムの対象範囲はアンローダー水揚から原料ヤード工程全般であり、CRT 会話方式による運転計画作成、アンローダー作業管理、粉鉱ベディング工程の品質管理、バンカーダイナミック装入制御等から構成される。本システムの有効活用により、原料ヤード情報の集中一元管理が可能となり、作業性の改善や省力および粉鉱ベッド品質管理の強化が達成できた。

Synopsis：

The total ore yard system has been developed as a part of the totalized ironmaking system at the Ironmaking Department of Mizushima Works. Many kinds of information can be summarized by process computer through an optical fibre cable network, and stored in business computer for improvement on the departmental management level. The system consists of several functions; namely, the ore handling schedule plan, operation guidance for ship unloading and ore treatment in the yard, electric utility management, bed quality control for sinter, and dynamic hipper level control. This system has brought about large profits, saving in labour and energy and quality improvement in the blended ore bed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

山名 紳一郎^{*2} 児子 精祐^{*3} 小幡 晃志^{*4} 深川 卓美^{*5} 森永 昇^{*6} 浮田 正弘^{*7}

Development and Operation of Total Ore Yard System in Ironmaking Department of Mizushima Works

Shin-ichiro Yamana, Seisuke Nigo, Hiroshi Obata, Takumi Fukagawa, Noboru Morinaga, Masahiro Ukita

要旨

水島製鉄所における製鉄システム開発の一環として、原料ヤード部門のシステム化を行った。広範囲の原料ヤードに散在する各種プロセス情報を、光ネットワークを経由しプロセスコンピュータで収集及び処理した後、上位のビジネスコンピュータで大規模なデータベースを構築した。本システムの対象範囲はアンローダー水揚から原料ヤード工程全般であり、CRT 会話方式による運転計画作成、アンローダー作業管理、粉鉱ベディング工程の品質管理、バンカーダイナミック装入制御等から構成される。本システムの有効活用により、原料ヤード情報の集中一元管理が可能となり、作業性の改善や省力及び粉鉱ベッド品質管理の強化が達成できた。

Synopsis:

The total ore yard system has been developed as a part of the totalized ironmaking system at the Ironmaking Department of Mizushima Works. Many kinds of information can be summarized by process computer through an optical fibre cable network, and stored in business computer for improvement on the departmental management level.

The system consists of several functions; namely, the ore handling schedule plan, operation guidance for ship unloading and ore treatment in the yard, electric utility management, bed quality control for sinter, and dynamic hopper level control.

This system has brought about large profits, saving in labour and energy and quality improvement in the blended ore bed.

1 緒 言

昨今の製鉄部門を取り巻く環境の変化は著しく、技術力の向上と鉄鉄コスト削減がますます強く要求されている。この要求に対処するためには、高炉部門のみならず焼結及び原料ヤード部門の全てを含む、総合的な体質強化が重要となる。

原料ヤード部門の責務は、莫大な量の鉱石、石炭の水揚と物流及び品質管理であるが、従来までは効果的な工程管理を遂行するために必要な精度の高い操業データの収集と、その活用体制の確立が不十分であった。

この問題を解決するため、当所製鉄部門では原料配合計画、高炉、焼結の各システム開発を昭和53年から58年にかけて順次実施した後¹⁾、さらに原料ヤード部門のシステム化に着手し、このたび完成の運びとなった。以下本システムの機能内容と運用状況について報告する。

2 製鉄原料ヤードシステムの概要

製鉄トータルシステムの構成を Fig. 1 に示す。本システムは高炉、焼結、原料ヤードの3工程と、原料配合計画、汎用技術解析のサブシステムから構成される。機能的には階層別の計算機構成を成しており、ビジネスコンピュータによる情報管理システム、プロセ

スコンピュータによる制御システム、さらに焼結工場の CRT オペレーション²⁾などの運転システムを含む。

原料ヤードシステムの中核であるプロセスコンピュータは、各種の目的別マイクロコンピュータやコントローラーと光ローカルネットワークで結合されており、制御とプロセス情報の収集及び処理を担っている。さらに最上位のビジネスコンピュータは、光ハイウェイを介してプロセスコンピュータと結ばれており、工程管理に必要な各種データベースを格納し、解析業務に有効利用されている。なお本システムの特徴のひとつとして、光ファイバーケーブルの採用があるが、これは原料ヤードに散在する高圧電気設備からの誘導ノイズ防止を目的としている。

3 システム機能

本システムの機能は次の4項目に分類できる。

- (1) 作業計画の作成
- (2) 運転、制御
- (3) 作業監視
- (4) 実績情報の収集、活用

Fig. 2 にシステム構成を示す。

作業計画の作成はビジネスコンピュータの CRT を利用して対話方式で行う。計画の対象範囲は原料ヤード作業全般であり、鉱石ヤード入出庫計画、ベディング計画、整粒計画及び各種バンカ装入、

*1 昭和59年6月25日原稿受付

*2 水島製鉄所製鉄部製鉄技術室主査 (掛長)

*3 水島製鉄所製鉄部製鉄技術室主査 (課長)

*4 水島製鉄所製鉄部主査 (部長補)

*5 水島製鉄所システム部制御技術室

*6 水島製鉄所システム部システム室

*7 水島製鉄所動力部掛長

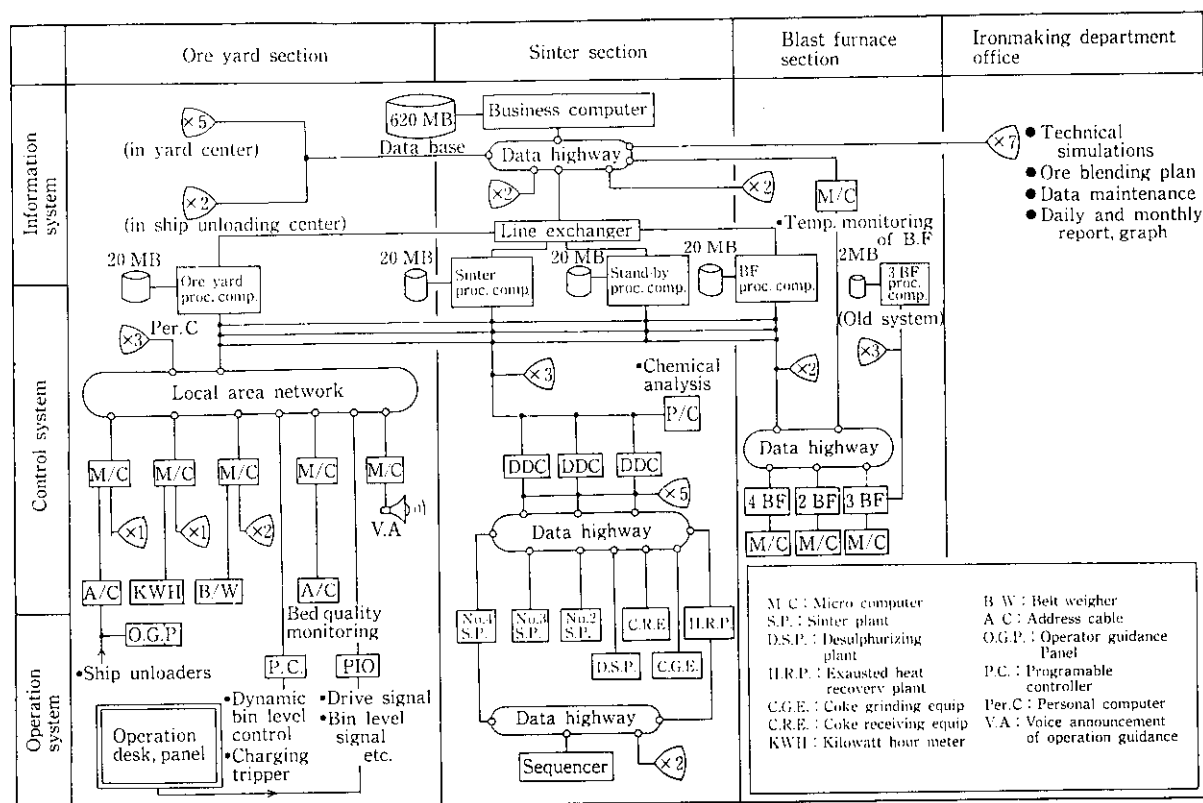


Fig. 1 Configuration of total ironmaking system

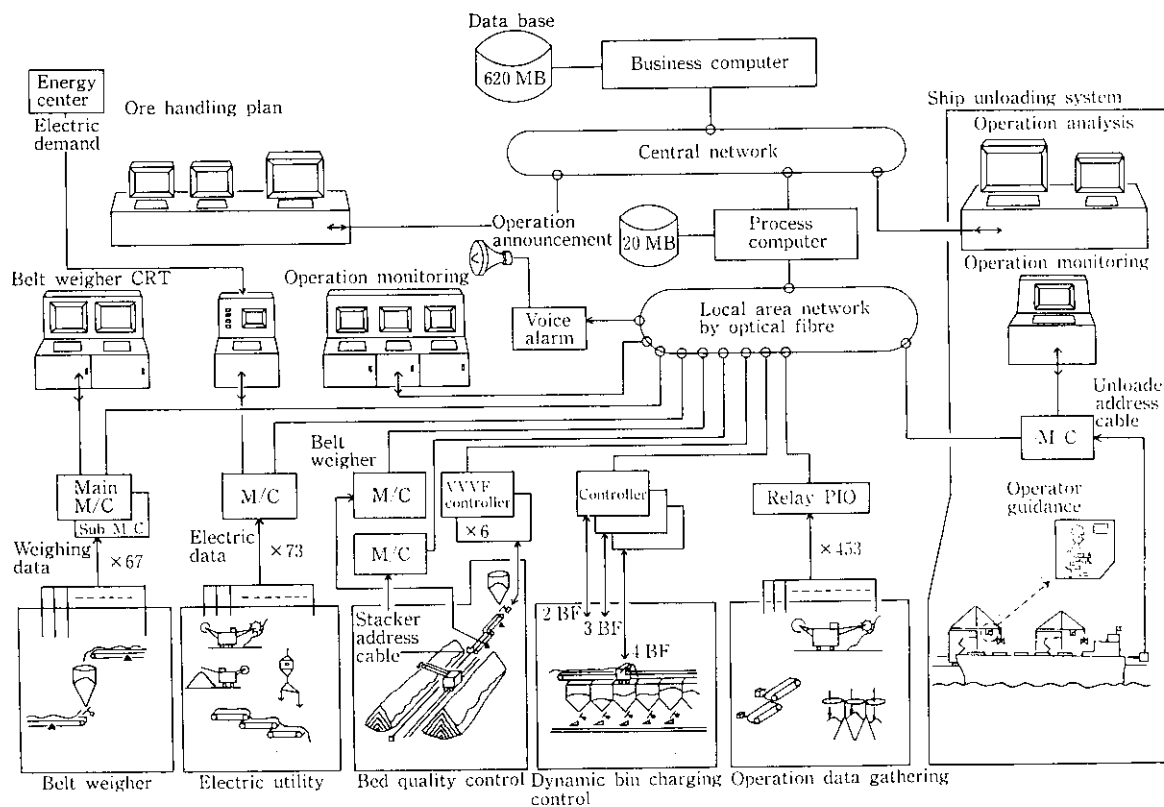


Fig. 2 Layout of ore yard system

払出計画等である。

制御システムは高炉貯鉄槽ダイナミック装入制御と焼結用粉鉄ベッドの品質制御がある。ダイナミック装入制御は、焼結鉄の貯鉄槽

・装入時の過剰粉化を抑制することを目的とする。焼結用粉鉄ベッドの品質管理は、ベッドバンカー切出制御によるベッド長手方向の化学成分の安定化と、ベッド品質モニタリングシステムによる品質評

Photo 2 Schedule monitor of ore yard handling (CRT display)

複数情報をプロセスコンピュータの CRT へ一括表示し、監視の効率化を図った。Photo 2 は本監視画面の一例であり、計画作業、実行中作業、完了作業を時系列的に色分けしてライン表示しており、スケジュール管理を容易にした。

3.2.2 ベルトウェア搬送監視

計画量に対して過不足のない搬送量を維持することは、原料配合計画の精度向上にとって重要である。原料ヤードに散在するベルトウェア群の累積及び瞬間輸送量をマイクロコンピュータの CRT へ一括表示し搬送監視を集約化した。

3.2.3 バンカ在庫監視

高炉貯鉱槽や焼結配合槽の在庫計算をプロセスコンピュータを用いて自動化した。それにより在庫管理の精度向上と在庫量査定に関する省力化を達成できた。本監視画面の一例を Photo 3 に示す。

バンカ在庫量の測定方法には、ベルトウェア秤量値による入出庫バランス計算法と、超音波計やサウンディング計によるレベル測定法とがある。レベル測定法では、容積から重量へ換算する場合、原料嵩比重による補正誤差が生じやすく、また、測定の範囲が狭く、データの代表性に欠ける等の欠点があるため、本システムでは入出庫バランス計算法を採用した。ベルトウェアの秤量誤差を解消するため、槽ごとの満量検知スイッチの信号による自動在庫補正を実施

Photo 3 CRT display of BF hopper level

し、データ精度の向上に努めている。

3.2.4 作業監視用ボイスアラーム (音声告知)

既に説明した CRT による作業監視に対し、オペレーターの聴覚を利用したボイスアラームによる作業監視及びガイド機能を開発した。ボイスアラームの起動はプロセスコンピュータで行い、バンカ在庫下限割れ、コンベア空運転警報、焼結鉱の生産量と使用量のバランス予測などの音声放送を行う。

3.3 焼結用粉鉱ベッド品質管理

安定した品質の焼結鉱を製造するためには、ベディング工程の品質管理を徹底する必要がある³⁾。本システムのベッド品質管理は、ベッドモデルによる最適積付計画の決定、積付実行段階での均質化積付制御、ベッド品質モニタリングシステムによる化学成分変動の評価から構成される。

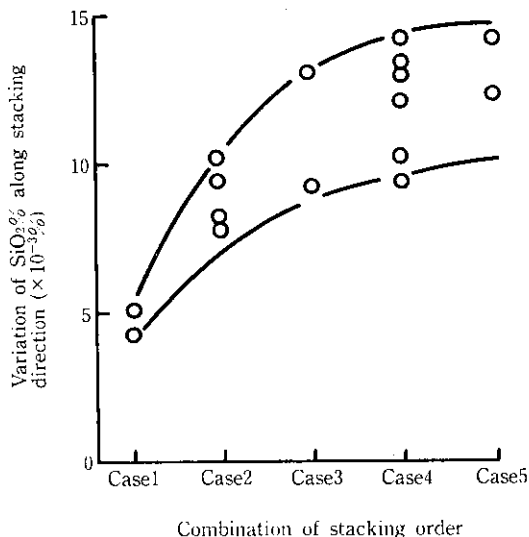
3.3.1 最適積付計画の決定

当所における粉鉱ベッドの積付銘柄は、約 25~35 種類であり、ベッド払出しはダブルホイール型ベッドリクレーマで行う。ベッド払出し時の化学成分変動は、複数の銘柄の積付順序により大きく影響を受けることが分っており、焼結鉱の化学成分を安定に保つ上で、最適なベッド積付順序が存在する。

以上の点を考慮し、ベッド払出し時の化学成分を予測するシミュレーションモデルを開発し、最適な積付順序の決定原理を見出した後、ビジネスコンピュータで積付計画の自動作成を図った。ベッドモデルと積付順序の決定原理の概要を簡単に説明する。

(1) ベッド長手モデルによるシミュレーション

化学成分の異なる複数の銘柄を連続して積付けた場合のベッド



- Case 1: + + + +, - - - -
(BCADE) (EDACB)
- Case 2: + + + -, - + + +, + - - -, - - - +
- Case 3: + + - -, - - + +
- Case 4: + - - +, - + + -, + + - +, - - + -,
- + - -, + - + +
- Case 5: + - + -, - + - +
- + : Increase of SiO_2
- : Decrease of SiO_2
- Kind of ore: A, B, C, D, E
Content of SiO_2 : A=5%, B=0%, C=4%, D=8%,
E=12%

Fig. 4 Effect of bed stacking combination on variation of $\text{SiO}_2\%$ along stacking direction

長手方向に沿ったベッド化学成分の変動をシミュレートするモデルである。種々のシミュレーションの結果、長手方向の化学成分を安定に保つためには、ベディングフィード量 (t/h) に管理対象の化学成分をかけあわせた値を漸次増加させるか又は減少させるように積付順序を決定すればよいことを確認した。その結果を Fig. 4 に示す。SiO₂ の含有量の異なる 5 種類の鉱石の積付順序を変えた場合、ベッド長手方向の SiO₂ 変動はケース 1 で最も小さくなるが分る。

(2) ベッド断面モデルによるシミュレーション⁴⁾

ダブルホイール型ベッドリクレーマで、幅方向にベッド断面を払い出す時の化学成分変動をシミュレートするモデルである。この場合の化学成分を安定に保つためには、ベッド合計積付量の約 40~45% に相当する積付前期に、管理対象の成分がベッド平均値になるべく近い値の銘柄を優先的に積付け、一方、積付後期では逆に、ベッド平均値からかけ離れた成分値をもつ銘柄を積付ければよいことを確認した。

以上、(1) と (2) の結果を総合化し、ベッド積付計画のシステム化を行った結果、計画作成負荷の軽減と、焼結鉱の化学成分の安定化に寄与することができた。

3.3.2 ベッド均質化積付制御

(1) オアベッドバンカー定量切出制御

ベディング工程の上流に位置するオアベッドバンカーの切出量の安定化は、ベッド長手方向の積付量を均一化する上で基本となる条件である。このたび導入したオアベッドバンカー定量切出は、切出電動フィーダーの回転数を制御する方式 (VVVF 制御) であり、コンスタントフィードウェアと比較して、同一の切出精度における建設コストが安価である利点を有する。

(2) ベッド終端積付制御

複数の銘柄を連続的に積付ける場合、銘柄と銘柄の接合部がベッド長手方向に沿ってランダムに発生し、長手方向に化学成分の変動をもたらす。この変動を解消するため、銘柄間の接合部をベッド端部に一致させる制御を開発した。Fig. 5 に本制御の効果計算例を示す。これによればベッド長手方向の SiO₂ 変動 (標準偏差) は、0.018% から 0.002% へ低減することが分る。

3.3.3 ベッド品質モニタリング

本システムの構成を Fig. 6 に示す。ベッドスタッカーの位置検出は誘導無線ケーブルで 1m 単位に行い、ベディング積付量は上流ベルトウェアの信号をコンベアトラッキング処理して求める。銘柄ごとのベッド長手方向の積付量分布データより、化学成分の計算

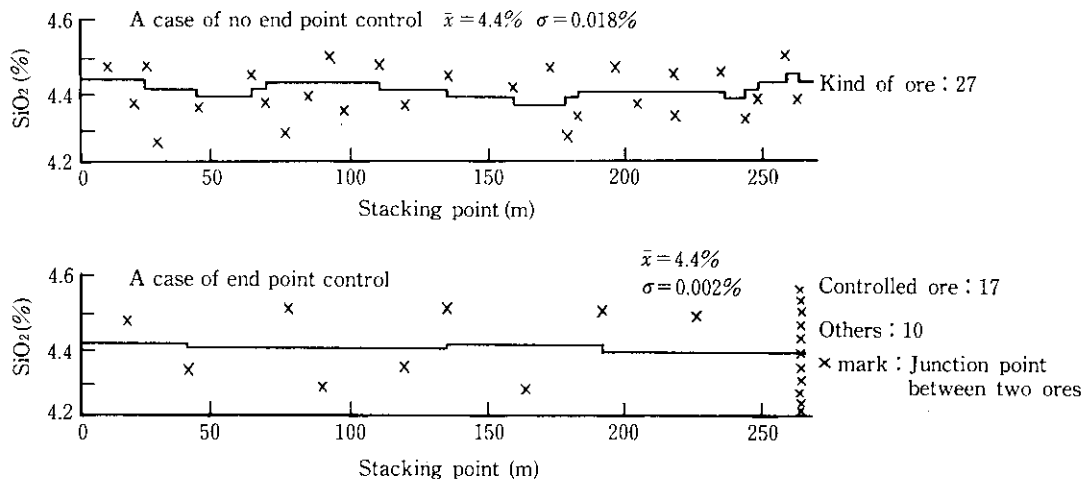


Fig. 5 Improvement of SiO₂ variation by end point stacking control

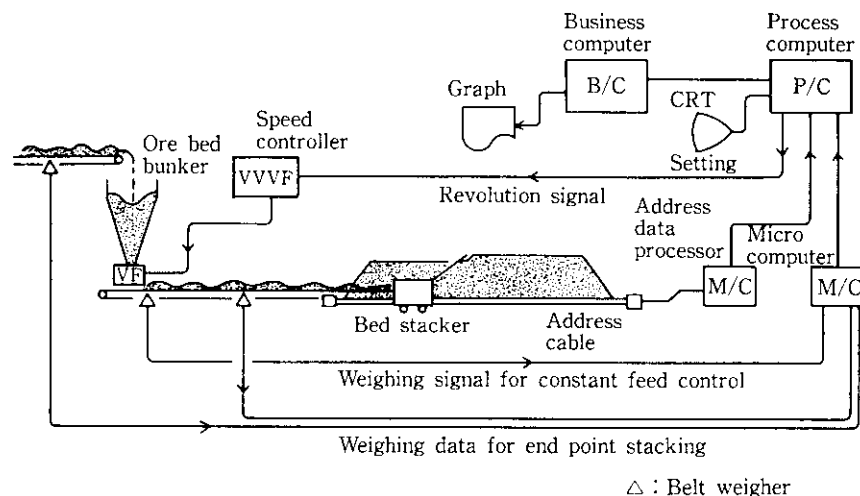


Fig. 6 Ore bed quality controls and monitoring system

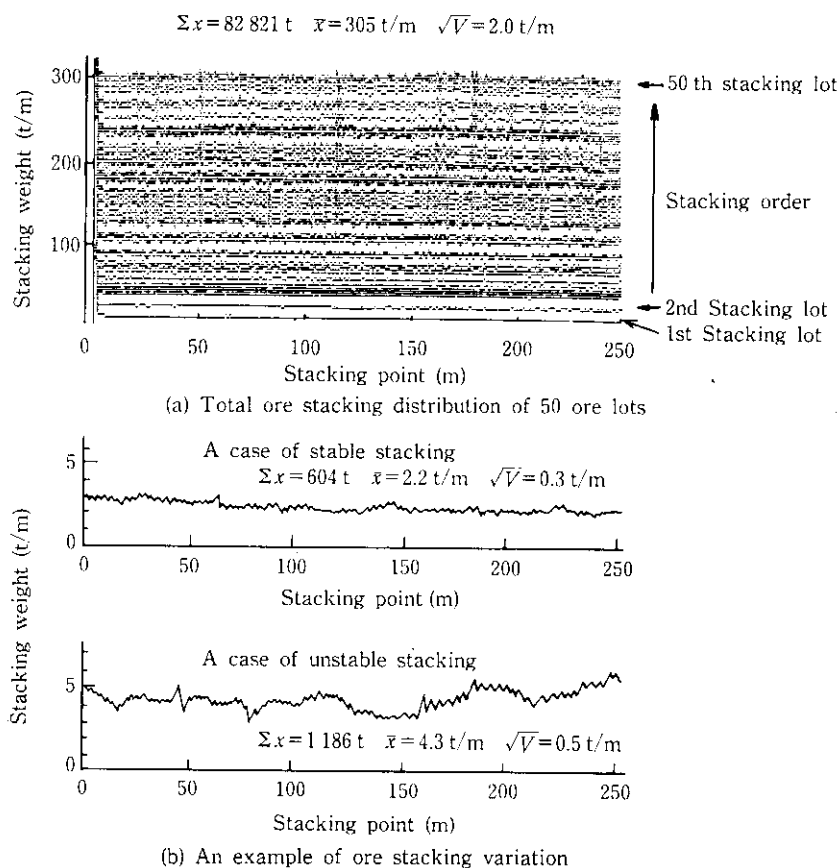


Fig. 7 Bed stacking distribution graphs by bed quality monitoring system

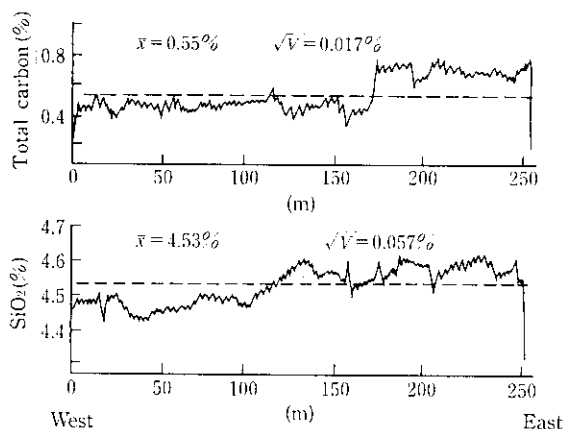


Fig. 8 Distribution of chemical components along bed stacking direction (35 ores)

を行い、成分変動を評価する。さらにベッド断面モデルを利用して、リクレーミング時の化学成分変動を予測する。これらの情報から、定量的なベッド品質の評価を行う一方、焼結操業へ原料品質の情報を役立てる。

Fig. 7 はベッドスタッカーで 82 000 t の鉱石を長手 250 m にわたりベディングした時の長手方向積付量分布を示す。銘柄は 35 種類、ロット数は 50 である。ロット数が銘柄数よりも多いのは、同一銘柄の鉱石を異なる時期に分割してベディングするためである。Fig. 7 (b) は単一銘柄のベッド長手方向の積付量分布であり、積付量の変動が大きい銘柄 ($\sqrt{V} = 0.5\text{ t/m}$) もあれば小さい銘柄 ($\sqrt{V}$

$= 0.3\text{ t/m}$) もある。これら複数の銘柄の積付量をベッド高さ方向に積み重ねたものを Fig. 7 (a) に示す。Fig. 7 (a) は数多くの横線から成り立つが、これは先に述べたロットの変わり目、すなわち銘柄の境界に相当する。この境界線の上下変動がロットごとの積付量の変動を表す。ベッド品質管理において Fig. 7 の積付分布グラフを利用し、銘柄及びベッド全体のベディング量の変動監視を定量的に行い、変動原因の究明と対策に役立てている。

以上の積付量情報から化学成分を計算した結果を Fig. 8 に示す。ベッド内部でのカーボンや SiO_2 の変動状況を把握し、ベッド品質保証を定量的に実施する一方、ベッド原料情報を使用前に焼結操業計画へ反映し、焼結鉱の品質管理の強化に役立てる。

3.4 高炉貯鉱槽ダイナミック装入制御

高炉貯鉱槽の生産焼結鉱の槽では、1 台の自走式装入装置が複数槽への装入を担っており、単純な一定時間ごとのシーケンシャル装入では槽間のレベル変動が発生する。塊鉱石のパンカ装入時の粉化は、落差が大きくなると急激に増加する。したがって装入時の過剰粉化を抑制するためには、全槽のトータル在庫量がたとえ同一でも、槽間のレベル変動をなくすることが粉化防止に役立つ。

以上の点を考慮して、高炉貯鉱槽における生産焼結鉱を対象としたダイナミック装入制御を開発した。本システム構成を Fig. 9 に示す。槽在庫量の自動計算はプロセスコンピュータで行い、制御対象槽の中から最低在庫量の槽を見出し、装入シーケンサーへ走行指令を出す。一方、装入時間の決定は、装入速度と排出速度より、制御対象槽の在庫量の差を最小化するように求められる。Fig. 10 に本制御の効果例を示す。これより槽間在庫量の変動は、短時間の後に大幅に減少することが分る。

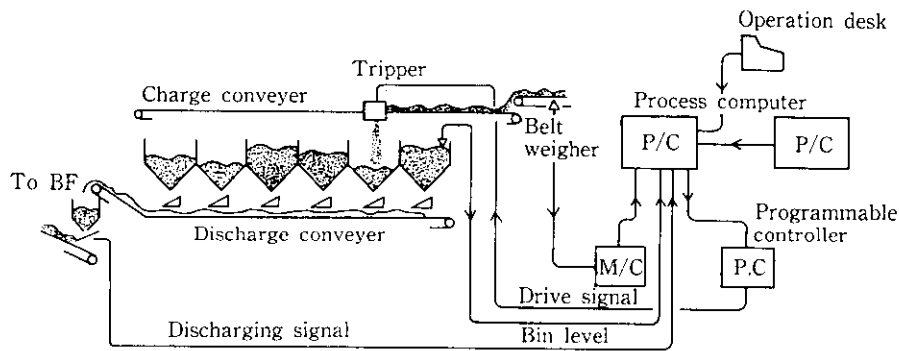


Fig. 9 Dynamic hopper level control system

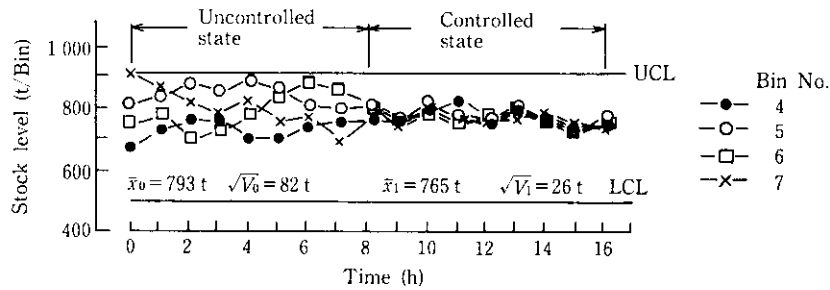


Fig. 10 Effect of dynamic hopper level control on variation between several bins

3.5 省電力管理

原料ヤードの鉱石処理コストに占める電力費の割合はきわめて大きい。電力原単位の低減のためには、搬送能率の向上と空運転の防止が必要であり、先に説明した各種の作業監視機能を活用することにより達成できる。一方、電力管理を徹底する上で、使用実態の定量的な把握と工程管理への適応が重要である。このたび、原料ヤードの重点管理設備に対して、約70台の電子式電力計を新設し、即時性に富む電力使用監視体制を導入した。電力収集データは、マイクロコンピュータを経由して、ビジネスコンピュータに保存され、管理用帳表に出力される。本システムの構成を Fig. 11 に示す。本システムを利用して、搬送設備ごとの電力輸送原単位を調査し、電気系と機械系を包含した設備特性の改善を図ることにより、ハードとソフトの両面より省電力を進めている。

さらに、当所全体の電力デマンド管理システムと本システムはオ

ンラインで結ばれており、全所的な電力尖頭使用防止のために必要に応じて原料ヤード作業の運転時間帯の調整を行っている。

3.6 アンローダー作業管理

当所原料岸壁は最大水深17m、総延長1.8kmの鉱石及び石炭バースから成り、ロープトローリー式アンローダー6機(定格能力1500t/h)、水平引込式アンローダー4機(定格500t/h)から構成される。原料水揚部門は臨海製鉄所の物流の玄関口であり、その作業性の向上は、原料水揚コストの低減のみならず、本船拘束時間の短縮による滞船料の減少と早出料の増加に結びつき、原料輸送コストの改善にもつながる。

特に最近では、海上輸送コスト低減のため、船型の大型化と多様化が進む結果、アンローダー部門に課せられた役割は、ますます高度化かつ複雑化している。これに対処するため、設備改造面では既設アンローダーの能力アップのほか、新方式のアンローディング設

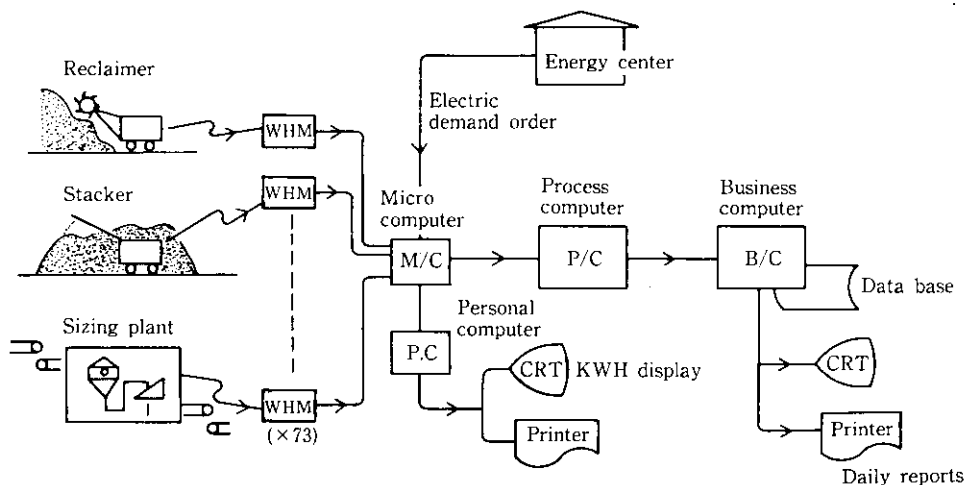


Fig. 11 Electric utility management system

備の開発も進められているが、一方、既存のアンローダーにおける運転技術の向上も重要な課題である。このたび開発したアンローダー作業管理システムは、従来まで不足していたきめの細かな運転実績情報をマイクロコンピュータで自動収集し、掴みごとデータを基本単位とする精度の高い作業管理を可能にした。

本システムの構成を Fig. 12 に示す。荷役作業中に機上で発生した各種データ（掴み量、サイクルタイム、アンローダ位置）は、そのつどリアルタイムにアンローダー運転室へデジタル表示され、オペレーターは自己の作業診断に役立てる。一方、これらのデータは、アンローダーの走行範囲に沿って設置された誘導無線ケーブル

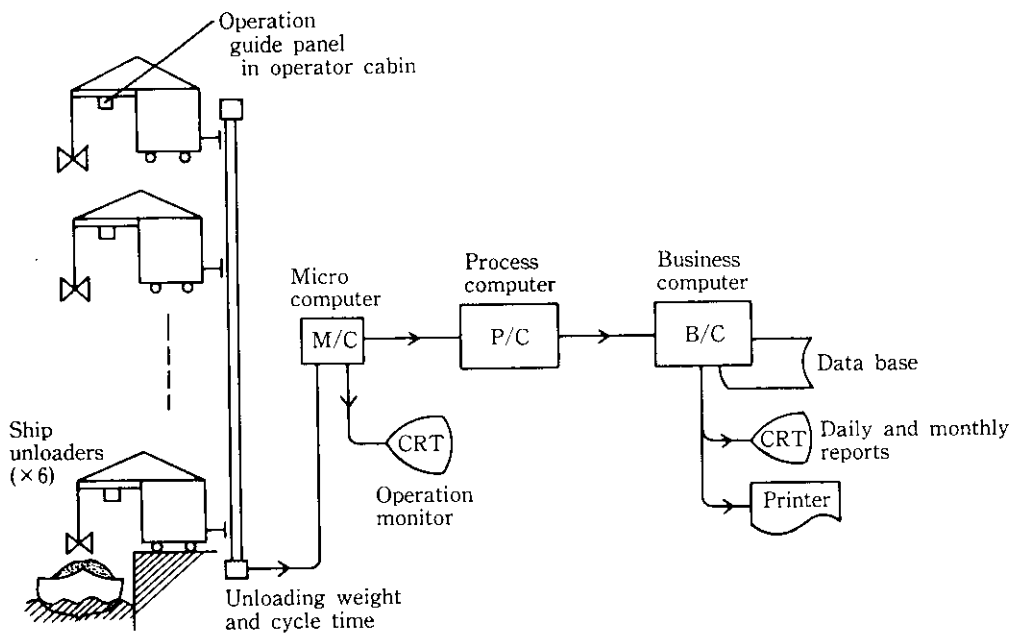


Fig. 12 Ship unloading management system

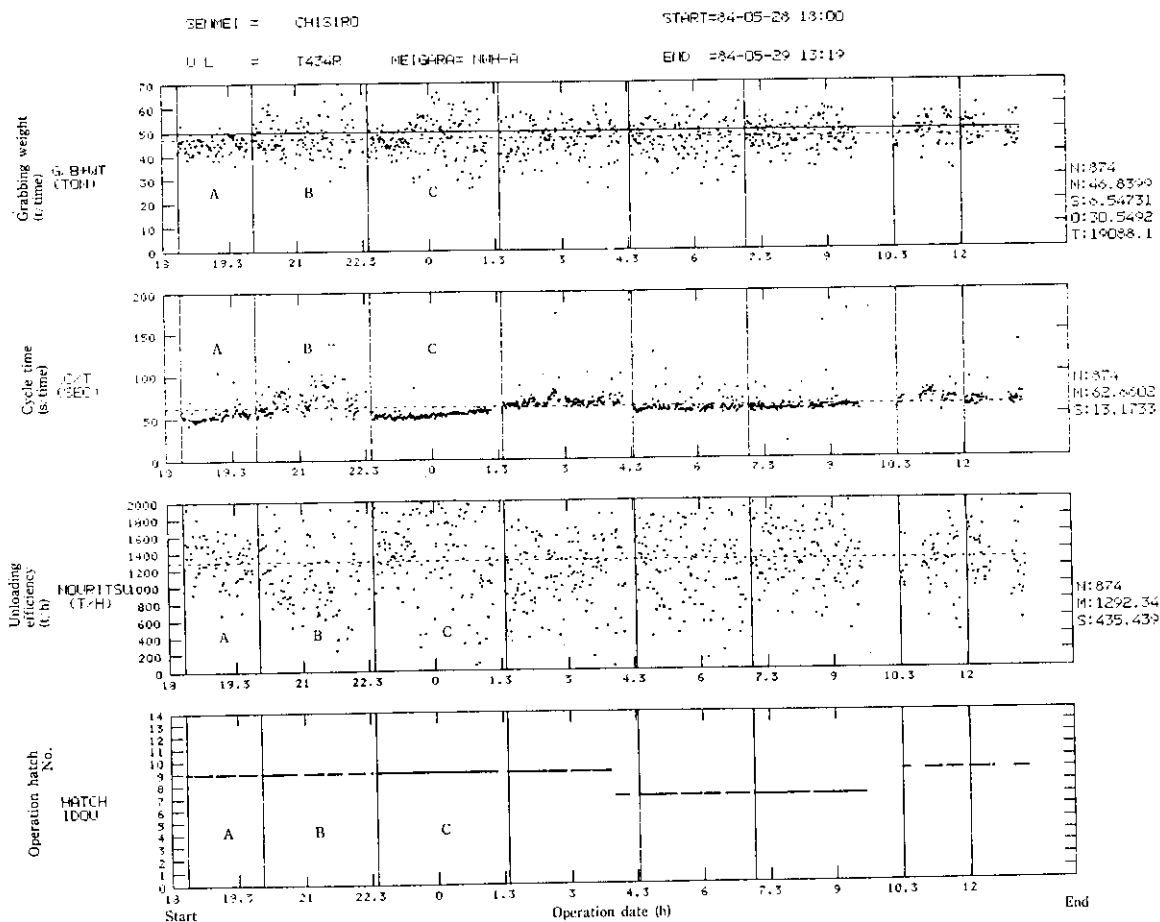


Fig. 13 Ship unloading trend graph of each grabbing data (A, B, C: operator)

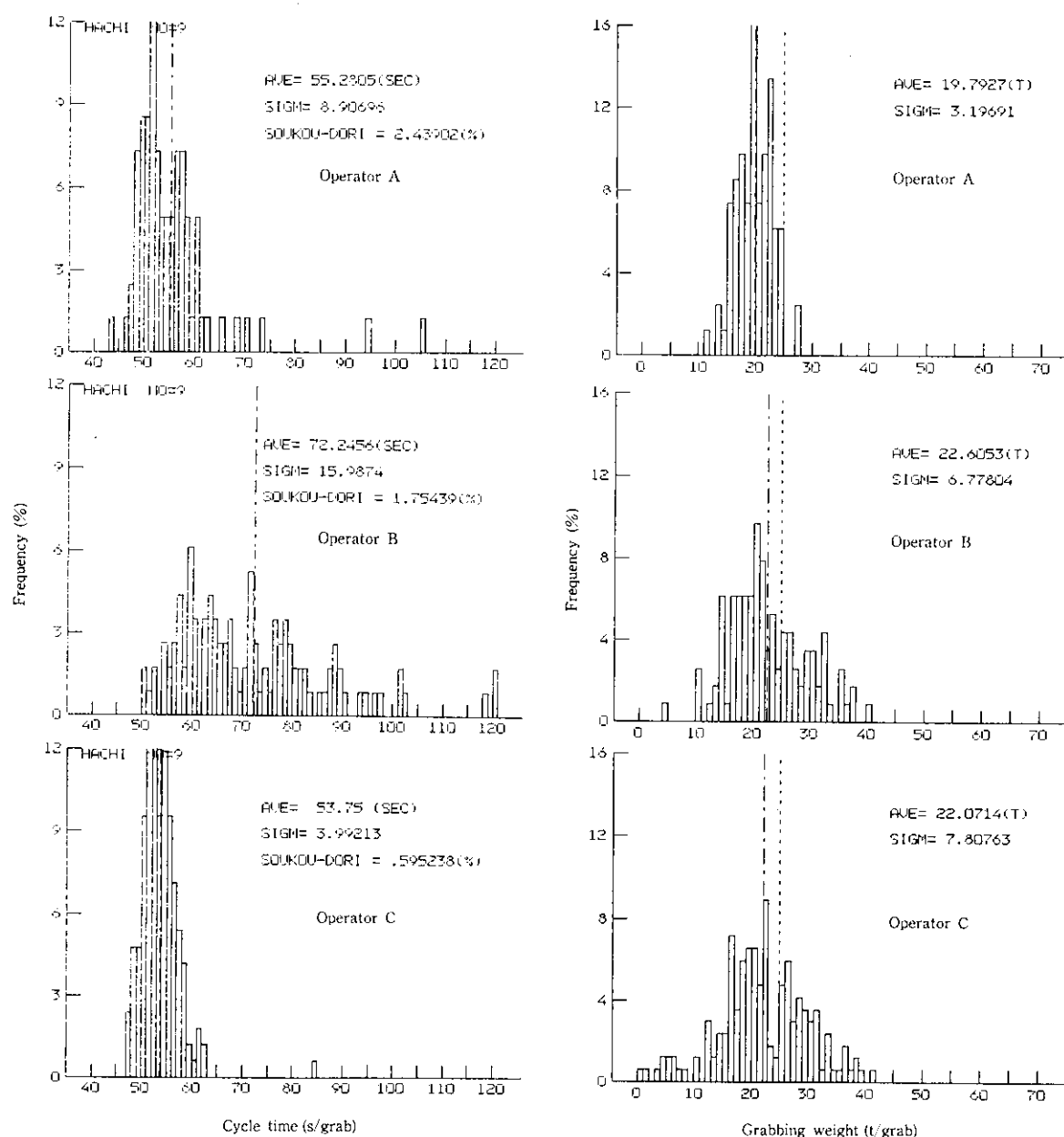


Fig. 14 Comparison of unloader operator's skills

(約 1.2 km) を経由して、地上指令室の作業監視 CRT へ表示され、運転監視に利用される。さらにビジネスコンピュータでは、船別あるいはアンローダー機別の作業実績データを長期間保存し、作業管理用グラフ、帳表の作成を行うとともに、作業解析に利用される。

Fig. 13 にビジネスコンピュータを利用して開発した作業管理用の荷役推移グラフを示す。本グラフは 6 機のアンローダーの内の 1 機が、ニューマン鉱を積載した千城丸を対象に水揚作業した例である。Fig. 13 は上から掴み量、サイクルタイム、荷役能率、アンローダーハッチ移動を示す。図中の記号 A, B, C は各々異なるオペレーターに対応している。この 3 人のオペレーターの特徴を比較するために、サイクルタイムと掴み量をヒストグラム化した結果を Fig. 14 に示す。

このうちオペレーター A が掴み量、サイクルタイムとも安定しており水揚能率が最も優れている。C はサイクルタイムが短く変動も少ないが、掴み量の変動がかなり大きく、グラブバケットの掴み

方法の技能向上に努める必要がある。一方、B はサイクルタイム、掴み量とも変動が大きく全般的なグラブバケット操作の技能改善が望まれる。

以上、オペレーター個人ごとの運転データを有効に活用し、運転方法の特性を定量的に把握した上で、オペレーター間の相互啓発と効果的な育成指導を行い水揚能率の改善に役立てている。さらに取扱い銘柄や船型などの水揚能率に対する影響を定量的に把握し、ベースプラン及びハッチプランの精度向上を目指している。

4 結 言

水島製鉄所の製鉄トータルシステム開発の一環として、原料ヤード部門のシステム化を完了した。本システムの開発により、原料ヤード工程の物流及び品質情報の集中一元管理が可能となり、工程管理の大幅改善を達成できた。今後とも本システムの有効利用により、原料ヤードの効率改善を積極的に進める方針である。

また、鉄鋼業を取り巻く労働及び経済環境は今後ともますます厳しくなることが予想され、製鉄所の原料ヤード部門においても大幅な合理化が要求されつつある。そのためには単に情報システムのみならず、ハード面の統廃合とリフレッシュを含む総合的な改善が必要となる。当所原料ヤードにおいても、このたび開発した情報及び制御システムを基盤として、さらにヤード軌条機械、アンローダー

等の自動化技術を開発し、省力、省エネを含む労働生産性の向上に努めてゆく予定である。

最後に本システムの建設にあたり、電気及び計装技術面で卓越した技術を惜しみなく発揮されました各メーカーの関係者各位に対し、本紙面をお借りして、厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 山田孝雄，才野光男，児子精祐，山名紳一郎，妹尾義和，守谷正一，芋谷暢重，瀬川佑二郎：「水島製鉄所における第Ⅰ期製鉄システム」，川崎製鉄技報，13（1981）4，118-128
- 2) 瀬川佑二郎，飯田 修，芋谷暢重，児子精祐，小幡晃志，谷吉修一：「水島焼結工場における自動化システム」，川崎製鉄技報，16（1984）1，1-7
- 3) 山名紳一郎，児子精祐，小幡晃志：日科技連サンプリング研究会，1981年7月
- 4) 山名紳一郎，児子精祐，福田明正，若井邦光，才野光男，山田孝雄：鉄と鋼，67（1981）4，S99