要約版

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol. 22(1990) No.1

鉱石ヤード運転制御システム
Computer Control System for Ore Yard Operation at Mizushima Works

谷吉　修一(Shuichi Taniyoshi) 兼田　経博(Tsunehiro Kaneda) 田村　輝男(Teruo Tamura) 斧田　大介(Daisuke Onoda) 宮崎　容治(Yasuharu Miyazaki) 池田　毅(Tsuyoshi Ikeda)

要旨：
水島製鉄所の製銑情報システムのリフレッシュ・フェーズ 2 として鉱石ヤード電気制御装置の更新を行い，コンベヤの斬新的な省エネルギー運転や，品質向上を目的とした鉱石の積付方式の改善を図った。知識工学，Fuzzy 制御，セルフチューニング技術等，最近注目されている制御理論の適用により，省エネルギー，自動化，品質面において従来では困難とされた高いレベルの目標を達成し，1987 年 4 月の稼動以来順調に運転されている。

Synopsis：
At Mizushima Works, ore yard control systems of electric equipment were renewed. This is the second step of iron making department information system. New belt conveyor control for energy-saving and staking control for quality improvement have been applied. Control technologies such as knowledge engineering, fuzzy control, and self-tuning control have been applied. The systems have been achieving great effects in what was difficult to obtain with a conventional way, and are working with no problem at all since April 1987.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鉱石ヤード運転制御システム*

川崎製鉄技報
22 (1990) 1, 6-11

Computer Control System for Ore Yard Operation at Mizushima Works

谷吉 修一
Shuichi Taniyoshi
水島製鉄所 電気・計装部電気・計装技術室 主査(掛長)

兼田 経博
Tsunehiro Kaneda
水島製鉄所 製銑部製銑技術室 主査(課長補)

田村 輝男
Teruo Tamura
水島製鉄所 電気・計装部電気・計装技術室

斧田 大介
Daisuke Onoda
水島製鉄所 電気・計装部電気・計装技術室

宮崎 容治
Yasuharu Miyazaki
水島製鉄所 電気・計装部長

池田 毅
Tsuyoshi Ikeda
水島製鉄所 電気・計装部電気・計装技術室 主査(課長)

要旨

水島製鉄所の製銑情報システムのリフレッシュ・フェーズ2として鉱石ヤード電気制御装置の更新を行い，コンベヤの斬新的な省エネルギー運転や，品質向上を目的とした鉱石の積付方式の改善を図った。

知識工学，Fuzzy 制御，セルフチューニング技術等，最近注目されている制御理論の適用により，省エネルギー，自動化，品質面において従来では困難とされた高いレベルの目標を達成し，1987年4月の稼働以来順調に運転されている。

Synopsis:

At Mizushima Works, ore yard control systems of electric equipment were renewed. This is the second step of iron making department information system. New belt conveyor control for energy-saving and staking control for quality improvement have been applied. Control technologies such as knowledge engineering, fuzzy control, and self-tuning control have been applied. The systems have been achieving great effects in what was difficult to obtain with a conventional way, and are working with no problem at all since April 1987.

1 緒　言

製銑原料ヤードの電気制御装置は1967年に稼働し，高炉の建設に合わせて段階的に増設を行ってきた。しかし，電気設備の制御系は腐食，振動を主因とする劣化と有接点のワイヤードロジック方式に起因する機能の陳腐化が顕著となってきた。

この間，製銑情報システムの一環として，原料ヤードシステムが1984年に稼働した。これは，セントラルコンピュータとプロセスコンピュータによる上位情報システム化をフェーズ1として実施したものである[1]。

次にフェーズ2として，1985年から1987年にかけて電気制御システムのリフレッシュを実施し，PLC 制御による CRT オペレーションシステムを完成させた。主幹コントローラーをセントラルコンピュータ，プロセスコンピュータとリンクさせ，操業計画に直結した自動運転を可能とした。

また，旧制御装置の機能上，導入が阻害されていたいくつかの新技術も本リフレッシュにより適応可能となった。省エネルギー，品質向上，省力自動化を目的として，知識工学，Fuzzy 制御，セルフチューニング技術などを用い原料ヤード制御のレベルアップを図った。今回のリフレッシュは，仕様検討，事前調査作業，既設制御回路への割り込み工事，新主幹制御装置での切替・試運転等を2年間で行い，1987年4月より操業を開始した。

本報では，これら制御技術の適用とその成果について述べる。

2 鉱石ヤード電気制御システムハードの概要

システム構成図を **Fig. 1** に示す。制御コントローラーとしては，上位より主幹コントローラー，PLC の2階層構成とし，ライトペン操作による CRT オペレーションを全面的に採用した。システムの特徴を以下に示す。

(1) すでに完成している原料ヤードシステム・フェーズ1とリンクし，上位計算機の操業計画と直結した CRT オペレーションによるベルトコンベヤ (BC) 全自動運転を可能とした。

(2) 主幹コントローラーとしてミニコンを設置し，PLC とプロセスコンピュータとのインターフェース，BC の自動運転制御，Fuzzy 制御等の機能を分担させ，制御の階層化を図り，シンプルでかつ信頼性の高いソフト構成とした。

(3) 地上 200 m に設置された ITV システムにより，広大な原料

* 平成元年11月9日原稿受付

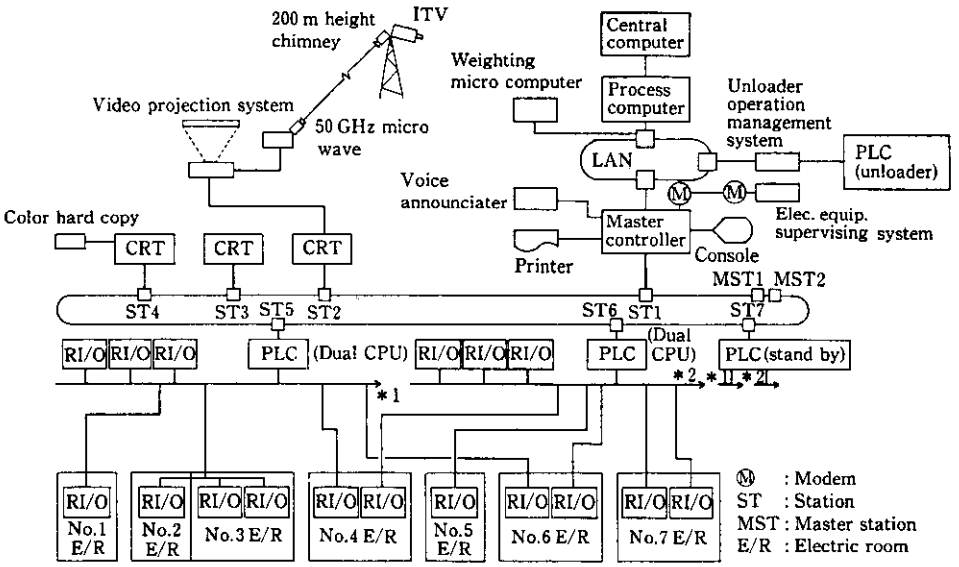

Fig. 1 Ore yard control system

ヤードの監視が中央制御室で行えるようにした。

(4) 設備故障のデータベースをパソコンとリンクし，設備監視システムによる保全作業の効率向上を図った。

(5) PLC，データウエイの CPU デュアル構成，光リモート I/O の採用により，システムの信頼性向上を図った。

本リフレッシュにより，以前から問題視されていたワイヤードロジック素子コントローラーの陳腐化した制御機能の限界，老朽化による設備トラブルなどが解消された。また，オペレーション，保全作業の負荷軽減を達成することができ，高生産下においても問題なく安定操業を維持している。

制御機能が向上したことにより，省エネルギー，自動化，品質向上を目的とした原料ヤード制御のレベルアップを実現することができた。次に，これら制御のレベルアップ機能について述べる。

3 制御システム機能

3.1 省エネルギー制御

水島製鉄所の鉱石ヤードは 26 面から構成され，面積 100 万 m^2，貯鉱能力約 230 万 t である。本ヤードには 30 台のヤード機械，460 連の BC 群，3 基の整粒工場，150 基の中継槽が配置されており，これら設備の効率的な運用が，省エネルギー面から重要である。

BC 搬送の基本制御は以下のとおりであるが，省エネルギーの観点から，上流順序起動，荷払停止制御を新たな機能として採用した。

(1) 起動制御 (**Fig. 2**)

下流順序起動: 一定時間差を持って下流機器より順序起動

上流順序起動: 原料をタイムトラッキングし，上流機器より順序起動

(2) 停止制御

一斉停止: 全系統機器を一斉に停止

荷払停止: 原料をタイムトラッキングし，上流機器より順序停止

順序停止: 一定の時間差を持って上流機器より順序停止

(3) 系統切替制御

運転中系統切替: 上流を共有する 2 系統間下流 BC を，運転中自動切替

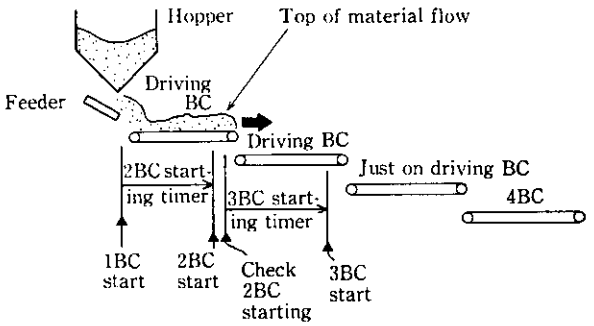

Fig. 2 Conveyor starting from upper side

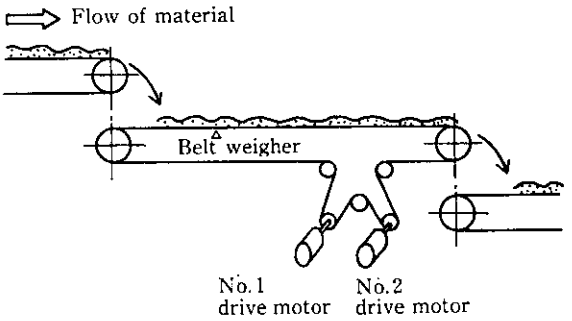

Fig. 3 Number control of driving motor

さらに以下に示す省エネルギー制御を実施した。

(1) BC の電動機台数制御 (**Fig. 3**)

複数電動機ドライブ駆動 BC を対象に，搬送時の負荷量の変化に応じ駆動モータの台数を制御する。

(2) 残量モード

槽ごとに対応した積荷検出器，またはベルトウエア瞬時値より，BC 上の荷無しを検出し，系統を荷払停止する。

(3) ベルトウエアによる停止，再起動

原料搬送の断続をベルトウエアにて検知し，その下流を荷無しにて荷払停止し，その後，荷有り検出にて再び上流順序起動

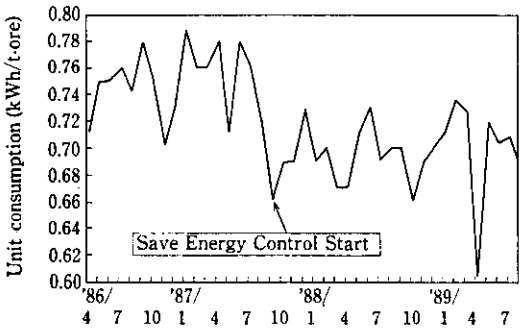

Fig. 4 Transition of electric energy consumption

する。

(4) 延べ輸送モード

ベルトウエアの値を用いて，終了目標ベルトウエア累積値が設定トン数に達した時点で，自動停止処理を行う。

以上の省エネルギー制御の適用により，約10%の省電力効果を達成している(**Fig. 4**)。

3.2 整粒工場遠隔自動制御 (Fuzzy 制御の適用)

整粒産物を評価する値としては，塊率，塊鉱石の粒度分布がある。これらの評価値は，破砕機のクリアランス，スクリーン篩目，原料粒度によって変化する。一方，操業を評価する値としては，処理能率（単位時間当たりの処理量）がある。従来，現場オペレータの経験的判断によりクリアランスおよびエプロンフィーダー (AF) 切出量の調整を行い，評価基準を満足させていた。そこで，省力・省エネルギーを目的とし，クリアランス，AF 切出量の自動制御を Fuzzy 制御を用いて開発した。

クリアランス制御および AF 定量切出制御を **Fig. 5** に示す。また，自動制御のシステム構成図を **Fig. 6** に示す。本制御系は，先にも述べたように複数の評価値を持ち，多入力，多出力であり，精密な数学モデルを適用することが困難である。そして，従来より現場オペレータの経験に基づいて操業されていることから，Fuzzy 制御を適用することとした。

一般に Fuzzy 制御は，①計測値の評価（大きい，小さい，等），②計測値の評価を制御規則に基づき Fuzzy 推論，③各種 Fuzzy 推論結果の複合，④複合した推論結果に基づく出力値の算出の4ステップにて行う。制御ロジックの作成および変更が柔軟かつ簡易に実施できるようにするために，各ステップをモジュール化（サブルーチン化）し，それらの組み合わせで制御ロジックの作成が行えるようにした。モジュールの組み合わせの例を **Fig. 7** に示す。

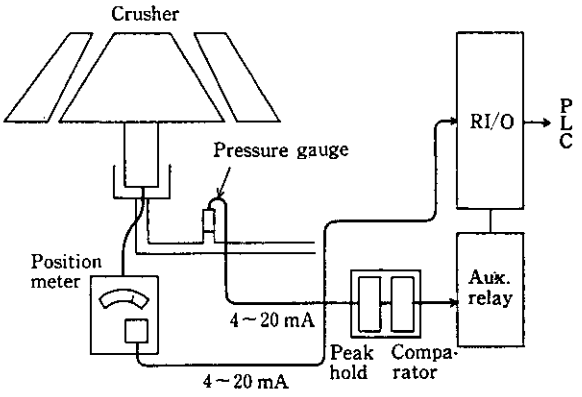

Fig. 5 Remote crusher's position control

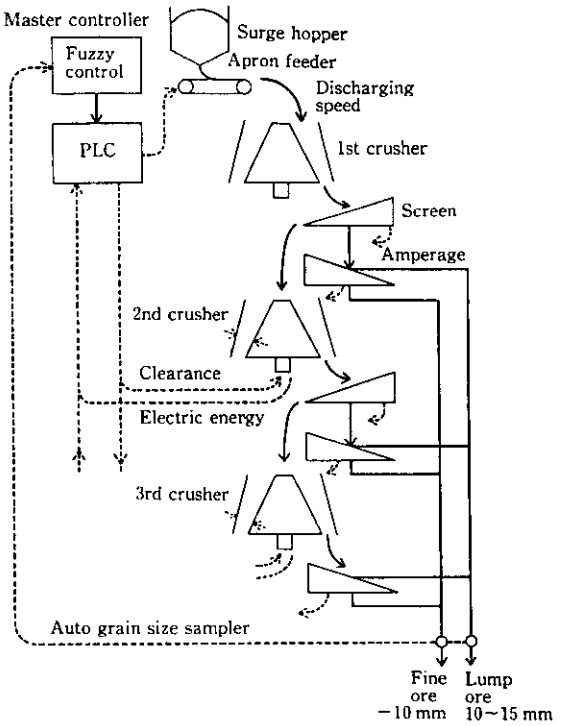

Fig. 6 Remote control system of sizing plant

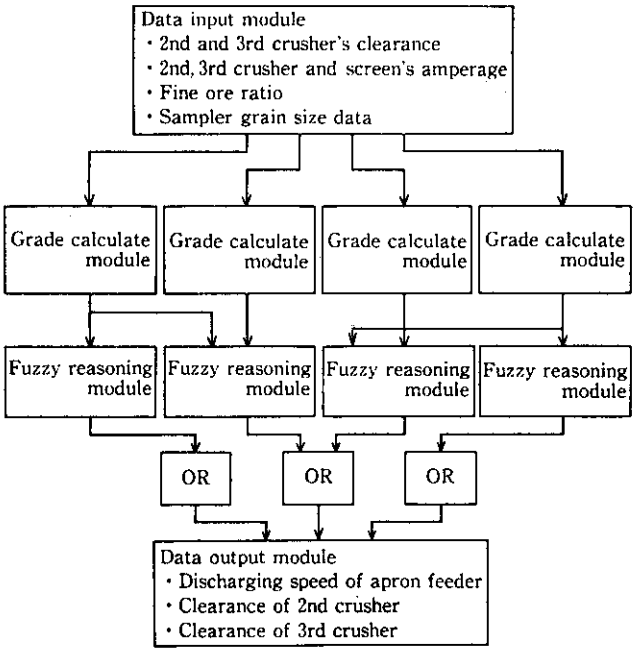

Fig. 7 Example of fuzzy module combination

制御系の開発は，電流値，電力値を用いた破砕状態推定モデルの開発，現場オペレータの操業ノウハウに基づく制御ロジックの作成，制御ロジックの確認，パラメータチューニングの4つのステップで実施した。

制御ロジックの部分に Fuzzy を適用しており省エネルギーロジック（過破砕防止制御，最大効率制御），品質制御ロジックから構成される。省エネルギーロジックは整粒産物が範囲内であるときに，一方，品質制御ロジックは粒度管理範囲外であるときに，それぞれ優先的に機能する。

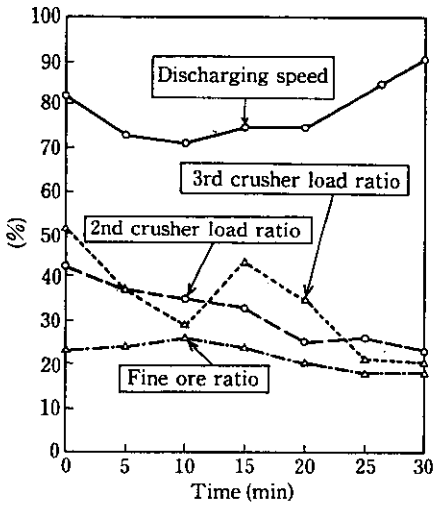

Fig. 8 Result of automatic sizing plant control

制御結果を **Fig. 8** に示す。破砕機の負荷は原料の粒度分布の変動に応じて変化するが，クリアランス，AF の切出量を自動制御することにより負荷率を常に目標値に維持することが可能となった。さらに，破砕後の粒度分布情報に基づき最終段破砕機のクリアランスを制御することにより，破砕製品の粒度分布を常時規格内に管理することも可能となった。

3.3 オアベッド積付均質化制御

オアベッディング工程の上流に位置するオアバンカから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。今回導入したオアベッドバンカ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）である。本システムの構成を **Fig. 9** に，制御ロジックを **Fig. 10** に示す。

サンプリング PID，セルフチューニングコントロール（STC），学習制御を PLC 内で展開し，外部の VVVF およびベルトウエアと閉ループ処理している。

STC については，1 step 影響信号方式，2 step 探索信号方式，3 step 偏差信号方式の段階的ドライブを図る構成を開発した。これは同定過程とパラメータ調整過程とを並行して行い，制御量制御系がいつでも一応は働くようにしておき，適応過程が進むにつれて性能が向上していくような漸近的収束過程を歩ませたいためである。

Fig. 11 は起動特性を示すチャートである。目標追従性 30 秒，外乱抑制 ±1% 以下の性能である。

3.4 槽内均質化積付制御

高炉貯鉱槽，焼結配合槽などの槽は，原料ヤードと次工場をつなぐ意味で重要な役割をもっている。従来より安定した品質（粒度，化学成分偏析）を確保するため，数々の試みがなされてきた。しかし，従来の原料装入方法は槽在庫量，もしくは時間により装入タイミング管理をするものであり，槽内装入位置の制御を行っている例は少ない。以下，今回採用した各種装入制御概要を示す。

（1） SS (super static) 装入

焼結配合槽を対象に実施した。従来の装入方法は，一定時間間隔で槽内への定点装入方式であった。しかし，この装入方式では粒度偏析により原料中の粗粒が槽内原料の山裾に集中す

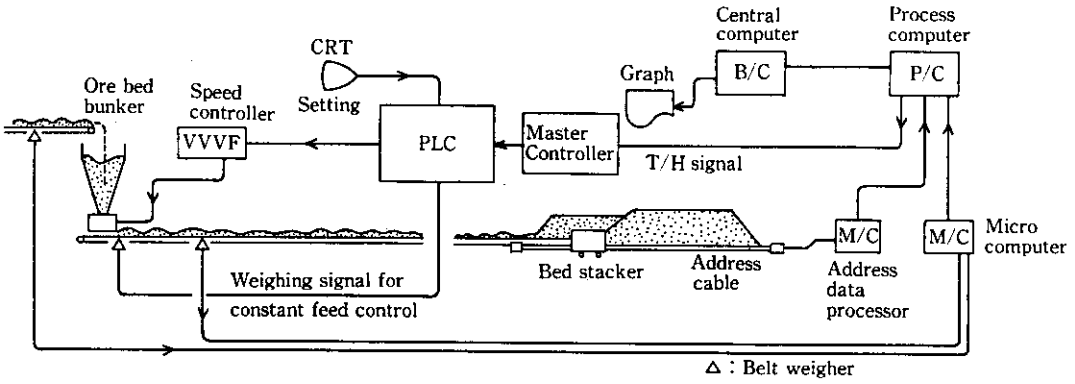

Fig. 9 Bed quality control

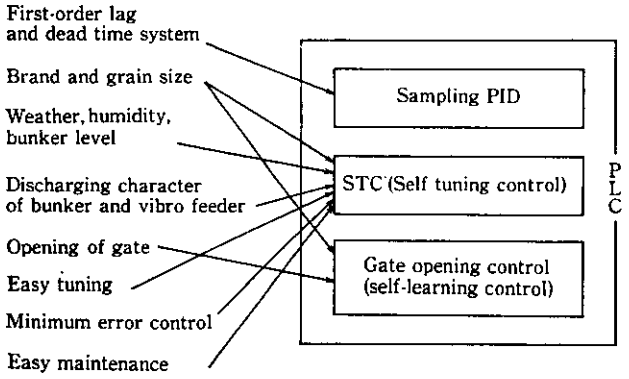

Fig. 10 Function of bed quality control

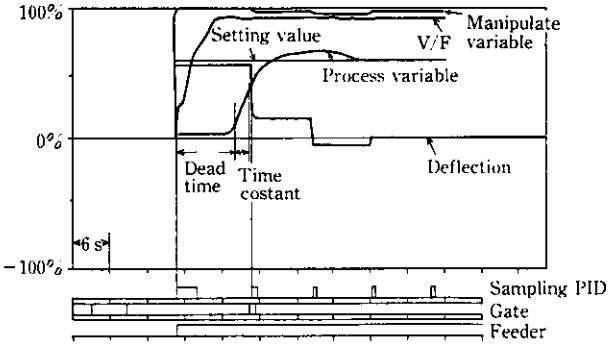

Fig. 11 Starting characteristic

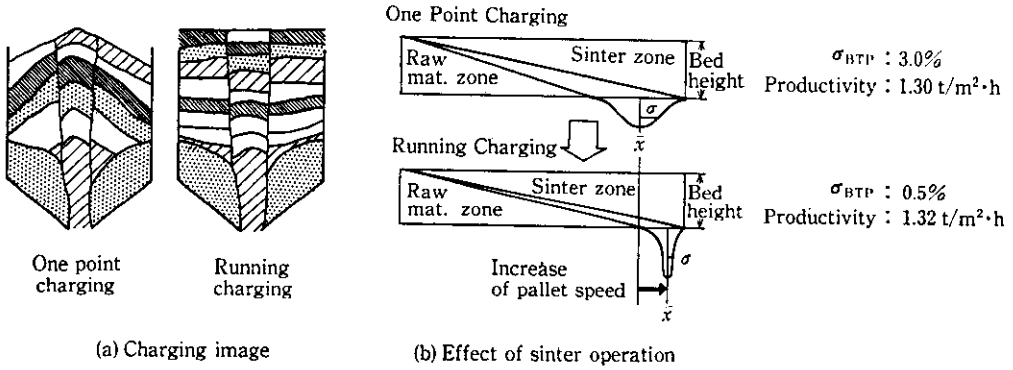

Fig. 12 Distinction of conventional charging and super static charging

る。したがって，槽から切り出される原料も時系列的に変化し，次工程である焼結安定操業を阻害する要因となっていた。この問題を解決するために，連続走行装入方式を採用した。配合槽上トリッパーを，VVVF にて走行速度制御を行い槽長手方向に原料を分散装入し，粒度偏析の防止を図っている。**Fig. 12** に従来の装入と SS 装入のイメージおよび操業効果の差異を示す。

(2) SD (super dynamic) 装入

全高炉貯鉱槽を対象に導入した。塊鉱石の装入時の粉化は，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を所定量確保すると同時に，槽ごとの在庫レベルを一定以上確保することが必要である。SD 装入は全高炉貯鉱槽間の在庫レベルのバラツキが最小となるように，装入系統の運転制御を行うシステムである。

以上に述べた制御以外に，指定槽間を一定時間ずつ装入する S (static) 装入（貯鉱槽，配合槽対象），一つの高炉貯鉱槽内の在庫量格差を解消することで焼結鉱の粉化防止を図る D (dynamic) 装入等の装入制御もあわせて実施した。

3.5 知識工学手法コンベヤ制御

BC 搬送制御のシーケンスは，装置条件，操業条件，BC 相互位置関係，輸送量，銘柄，優先・成功度，致命影響度などからなるまさに運用ルールが支配する世界である。今回，この運用ルールを知識ベースとして，知識工学手法を用い，複雑な BC 結合部の運転制御に適用した。従来の手続き型言語による画一的シーケンス制御から新しい柔軟な BC 搬送の展開が可能となった。

Fig. 13 に示すように，知識工学手法（KE）と PLC それぞれの特徴を生かし，かつ PLC 本来の DDC (BC の direct digital control) とを含めて一括処理することができる。

Fig. 14 にシステムブロック図を示す。本システムの特徴は，

(1) 前向き（前方連鎖，事象起動型）プロダクションシステムである (if LHS then RHS)。

(2) c. f. (certainty factor) を利用して人間的優先判断，成功確率度を表現している。

(3) 中間結論→最終結論という 2 段階の推論としている。BC 間結合状態を A, B, C の 3 レベルに重み付けして中間結論を表現している。

(4) ルール数: 106 ルール（システム診断ルール，オペガイダンスルールを含む）。

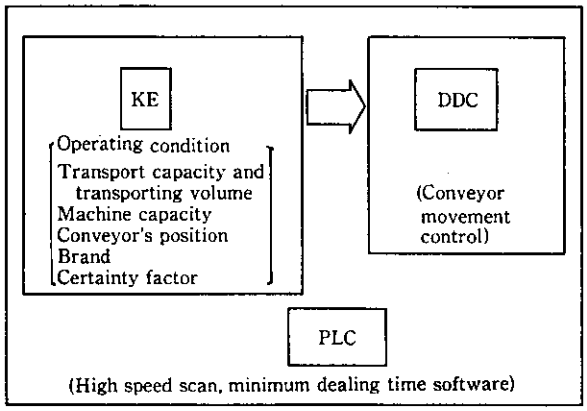

Fig. 13 Conveyor control of knowledge engineering style

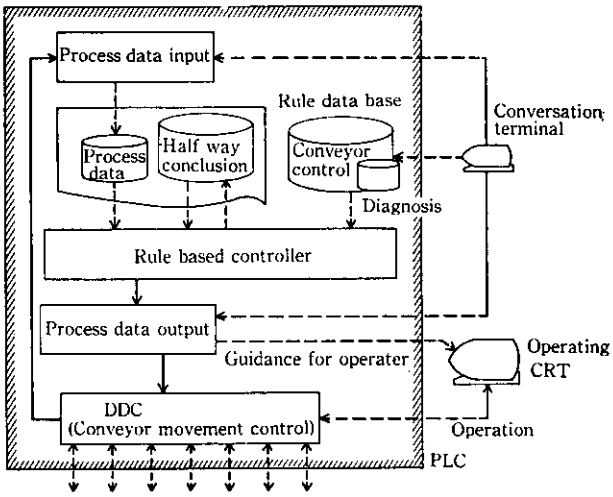

Fig. 14 System block diagram

(5) 従来の手続き型言語プログラムに比べ，ソフトウエアの作成，保守面において，①スマートでプログラミングが容易，②ソフトメンテナンスが容易，③操業条件の変化時に柔軟に対応可，また④シミュレーション，デバッグが容易である。

4 電気設備監視パソコンシステム

本リフレッシュの一環として，リモートメンテナンスを目的とした設備監視パソコンシステムを開発した。システム構成図を **Fig. 15**，機能構成図を **Fig. 16** に示す。設計に当たっては，保全担当者の要求に基づき，過去のトラブル事例を反映させ現場に密着したシステムとすることを方針とした。その特徴として，

(1) パソコンのデータフリーアクセス化により，主幹コントローラー，PLC のデータを自由に読み出すことができる。

(2) 予防保全の考え方に基づき，全機器の運転時間，センサー動作回数，重要機器の電流値等の監視機能を充実させた。

ということを挙げることができる。

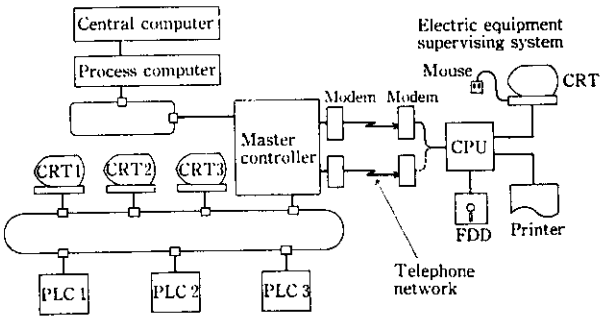

Fig. 15 Ore yard electric equipment supervising system

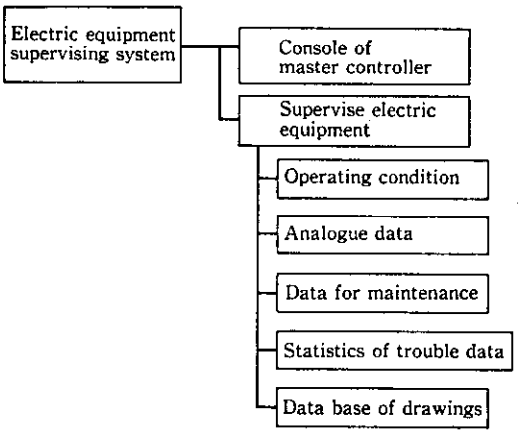

Fig. 16 Function of electric equipment supervising system

5 結　言

水島製鉄所の製銑情報システムのリフレッシュ・フェーズ2として，BC の省エネルギー運転や鉱石の積付方式の改善を目的として，鉱石ヤード電気制御装置の更新を行った。この結果は以下のとおりである。

(1) 鉱石ヤード電気制御システムに，主幹コントローラー，PLC の2階層のコントローラーを導入し，ライトペンによる CRT オペレーションを採用した。

(2) 上流順序起動，荷払停止を代表とする BC の効率的な運転制御により 10% の省電力効果を達成した。

(3) 整粒工場の Fuzzy 制御適用により，現場オペレーレータの操業技術を組み込んだ自動制御システムを開発した。

(4) オアベッド積付均質化制御，槽内均質化積付制御の採用により，原料搬送時の銘柄偏析，粒度偏析の緩和を図った。

(5) 知識工学手法コンベヤ制御の採用により，複雑な BC 結合部の自動運転制御を可能とした。

(6) 設備監視パソコンの採用により，電気設備保全性の向上を図った。

以上のように，省エネルギー，自動化，品質などの向上を目的とした新しい制御システムの導入を行い，大きな効果をあげることができた。

参 考 文 献

1) 山名紳一郎，児子精祐，小幡昊志，深川卓美，森永　昇，浮田正弘：「水島原料ヤードシステムの開発とその運用」，川崎製鉄技報，**16** (1984) 3，155