

川崎製鉄技報  
KAWASAKI STEEL GIHO  
Vol.17 (1985) No.1

---

新ビレット工場の計測制御システムおよび自動化技術

Advanced Instrumentation and Full Automatic Control System of the New Billet Mill

山崎 順次郎 (Junjiro Yamasaki) 中西 輝行 (Teruyuki Nakanishi) 中路 茂  
(Shigeru Nakaji) 馬場 和史 (Kazushi Baba) 菊川 裕幸 (Hiroyuki Kikugawa) 藤本  
隆史 (Takashi Fujimoto)

---

要旨：

新ビレット工場計測制御システムはプロセス機器の情報ネットワーク化とこれによる全自動運転を目指したもので、工場全域を制御・統括するプロセスコンピュータを中心に、熱間、冷間探傷機、自動化機器などから構成され、完全ピース管理と全自動運転プロセスを実現した。1984年2月に稼動し、連铸工場との連続化・同期化操業およびそれによる省力、省エネ、オンライン品質保証体制の確立などに大きく寄与している。ここでは、ミルロールチャンスフリーなどの連続化・同期化のための自動化技術、全自動ビーストラッキングなどの品質保証の自動化技術、また加熱炉制御などの省力・省エネの自動化技術を取りあげ、新ビレット工場計測制御システムの概要と特徴について記述した。

---

Synopsis：

Perfect automatic operation has been achieved by the information network of all process devices in construction of the new billet mill instrumentation and control system. Process computer is placed at the center of this system, which controls the entire billet mill process composed of defect detectors, automatic mechanical devices and so on. Kawasaki Steel realized fully piecewise control and management, and perfect automatic operation. The system started its operation in February 1984 and has contributed to fulfilling the fundamental purpose of the new mill construction, namely, a continuous and synchronous process aimed at continuous casting, labor and energy saving, and automatic quality assurance. This paper refers to the automating techniques to fulfill these fundamental purposes, which include roll chance free rolling, fully automatic and piecewise tracking of materials, control of the reheating furnace and so on, and presents an outline and features of the total automatic control system.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

山崎 順次郎\*<sup>2</sup> 中西 輝行\*<sup>3</sup> 中路 茂\*<sup>4</sup> 馬場 和史\*<sup>5</sup> 菊川 裕幸\*<sup>6</sup> 藤本 隆史\*<sup>7</sup>

## Advanced Instrumentation and Full Automatic Control System of the New Billet Mill

Junjiro Yamasaki, Teruyuki Nakanishi, Shigeru Nakaji, Kazushi Baba, Hiroyuki Kikugawa, Takashi Fujimoto

### 要旨

新ビレット工場計測制御システムはプロセス機器の情報ネットワーク化とこれによる全自動運転を目指したもので、工場全域を制御・統括するプロセスコンピュータを中心に、熱間、冷間探傷機、自動化機器などから構成され、完全ピース管理と全自動運転プロセスを実現した。1984年2月に稼動し、連铸工場との連続化・同期化操業およびそれによる省力、省エネ、オンライン品質保証体制の確立などに大きく寄与している。

ここでは、ミルロールチャンスフリーなどの連続化・同期化のための自動化技術、完全自動ビーストラッキングなどの品質保証の自動化技術、また加熱炉制御などの省力・省エネの自動化技術をとりあげ、新ビレット工場計測制御システムの概要と特徴について記述した。

### Synopsis:

Perfect automatic operation has been achieved by the information network of all process devices in construction of the new billet mill instrumentation and control system. Process computer is placed at the center of this system, which controls the entire billet mill process composed of defect detectors, automatic mechanical devices and so on. Kawasaki Steel realized fully piecewise control and management, and perfect automatic operation. The system started its operation in February 1984 and has contributed to fulfilling the fundamental purpose of the new mill construction, namely, a continuous and synchronous process aimed at continuous casting, labor and energy saving, and automatic quality assurance. This paper refers to the automating techniques to fulfill these fundamental purposes, which include roll chance free rolling, fully automatic and piecewise tracking of materials, control of the reheating furnace and so on, and presents an outline and features of the total automatic control system.

## 1 緒 言

新ビレット工場は水島製鉄所条鋼向け素材製造プロセスを合理化するため、連铸との連続化・同期化操業の達成、オンライン品質保証体制の確立、省力・省エネの徹底などを基本理念として建設された。これらの目的から、プロセスコンピュータ(以下P/C)を中心とした計測制御システムによる全自動運転と完全ピース管理を実現しなければ達成し得ないと判断し、一般に板圧延工場と比較してシステム化、自動化が遅れている条鋼圧延工場に、本格的な大規模プロセス制御システムを開発、導入した。

本システムの建設にあたって、HCCV<sup>1)</sup>(Highly computer controlled vehicle)による素材搬送から丸角ビレットの出荷まで、全ラインのプロセス機器のネットワーク化とネットワーク化による工場トータル最適化を目指した。このプロセス機器は、熱間渦流探傷機<sup>2)</sup>や冷間丸ビレット探傷機<sup>2,3)</sup>のような高度な品質測定機器から、トラッキング用センサに至る設備である。

この全ラインの一元ネットワーク化により工場建設の目的を達成すると共に、プロセス能力、設備の信頼性、およびプロセ

ス情報の品質を高めることが可能となった。これらは、単体自動化機器の創意による信頼性向上や探傷技術開発によるところはもちろんであるが、全自動を前提とした設備レイアウト、機械設備への反映によるところも大きい。

本報文は、これらのベースとなっている新ビレット工場計測制御システム、自動化技術の概要について紹介するものである。

## 2 計測制御システムの概要

条鋼圧延工場およびその素材製造工場は圧延製品の形状が多岐にわたり、かつ3次元変形を伴う圧延メカニズムの解明、センサ開発の困難さ、生産量の面からの投資効果の問題、またピース管理を行う際の対象となる材料本数の多さなどからシステム化、自動化が十分実現し得ていないのが現状である。新ビレット工場の建設に際しては、工場建設理念の達成のための自動化ニーズの大きさと、エレクトロニクス分野に代表される最近の技術進歩、探傷機に代表される新技術開発などを背景として、板圧延工場を凌駕する完全自動運転プロセスの実現を目指した計測制御システムを構築した。

本システムの特徴と狙いとしては次の点をあげることができ

\* 昭和59年11月7日原稿受付

\*<sup>2</sup> 水島製鉄所電気計装部電気計装技術室主任(課長)

\*<sup>3</sup> 水島製鉄所条鋼圧延部鋼片課課長

\*<sup>4</sup> 水島製鉄所電気計装部電気計装技術室主任(部長)

\*<sup>5</sup> 水島製鉄所電気計装部電気計装技術室主任(部長)

\*<sup>6</sup> 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室主任(部長)

\*<sup>7</sup> 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室

る。

- (1) HCCV から丸ビレット、角ビレット出荷設備までの工場全プロセスおよびセンサ、自動化機器、搬送用 DDC、計装 DDC などのすべてを P/C の制御下に置き、かつ、上位の生産管理用コンピュータ（以下 O/C）<sup>4)</sup> とオンラインリンケージすることにより、工場トータルプロセスとしての全自動運転システム、情報ネットワークを実現する。
- (2) P/C、探傷機などほとんどの計測制御設備の故障は操業停止につながるので、中核機能の 2 重化、自己診断機能の充実、制御の分散化などによる高信頼性、保全性を徹底的に追求する。
- (3) P/C トラッキング保証のため、刻印機、ラベル貼付機、ラベルリーダなどの自動化機器を積極的に導入し、自動運転の質的向上と省力を図る。
- (4) 冷間探傷、熱間探傷などの品質保証機器について、最新技術の導入と新技術開発を特に積極的に推進し、品質保証体制に万全を期する。
- (5) 圧延寸法精度向上のため、ミル制御専用 P/C、および高精度熱間寸法計（プロフィール計）を導入し、将来のより厳しいニーズにも対応できることを狙う。

Fig. 1 に、新ビレット工場計測制御システムの機器レイアウトを示す。また、本システムの中核となるビレットミル P/C の構成を Fig. 2 に、主要機能を Table 1 に示す。以下、新ビレット工場建設の目的を実現するための自動化技術の概要を説明する。

### 3 連続化、同期化のための自動化技術

連铸工場との連続化・同期化操業の達成は新ビレット工場建設の重要な課題の 1 つであり、これを実現した代表的な自動化

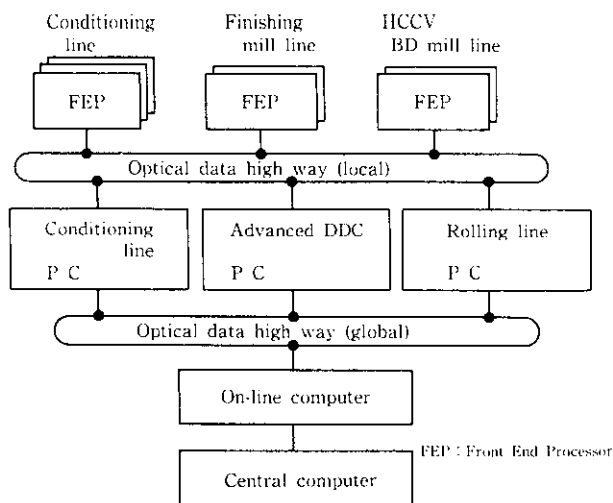


Fig. 2 Configuration of the process computer control system

技術として、加熱炉自動運転とミルロールチャンスフリー機能を取りあげ、以下に説明する。なお、HCCV については別に詳しく報告<sup>1)</sup>している。

#### 3.1 加熱炉自動運転

新ビレット工場加熱炉は、連铸圧延間の連続化・同期化操業を達成するため、両工場のピッチアンバランスを吸収する目的で炉内ウォーキングビーム（以下 WB）が 2 分割され、非同期運転を前提とした設備である。本加熱炉設備において連続化・同期化を達成するため、以下の特徴と機能を有する自動運転を実現した。

- (1) 素材の装入時に該当素材の炉抽出時刻を予測し、この予測抽出時刻に目標温度に焼き上げ、かつ、最抽出側位置に到

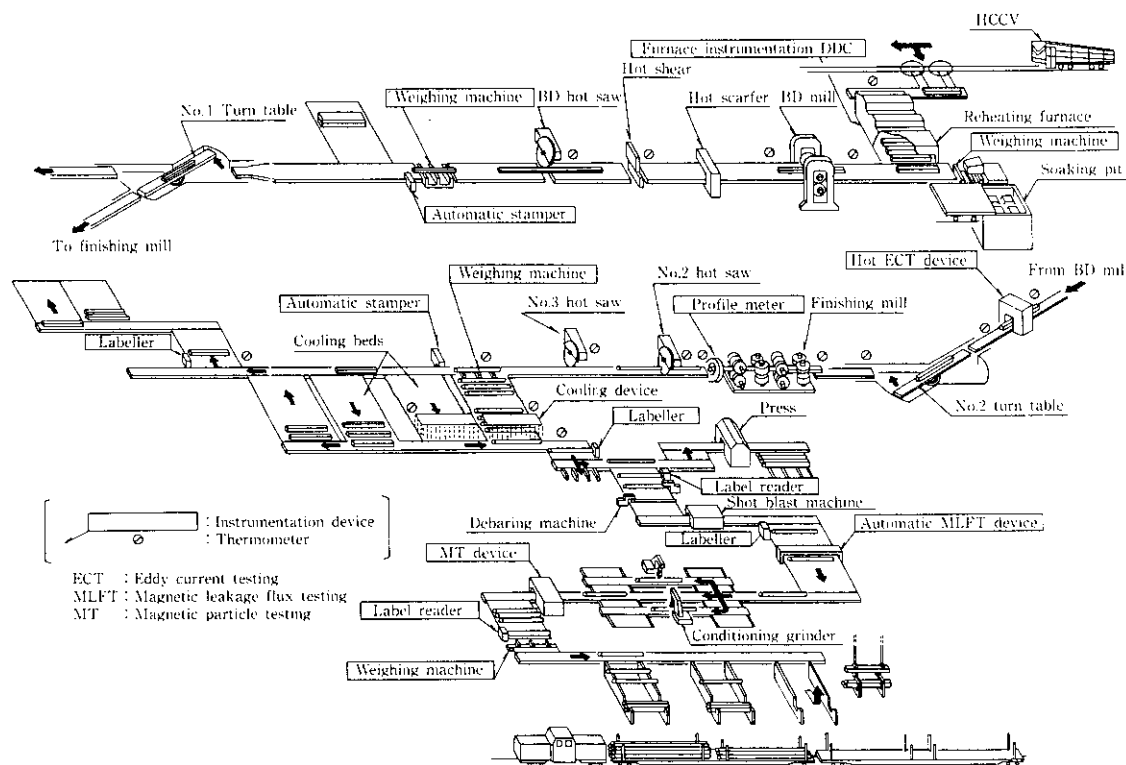


Fig. 1 Layout of the new billet mill

Table 1 Principal functions of the process computer control system

| Facilities          | Functions                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HCCV                | 1 Control of the vehicle operations                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Reheating furnace   | 1 Automatic combustion control<br>2 Control of position and moving time of pusher, walking beam and extractor                                                                                                                                                                                                          |
| BD mill line        | 1 BD mill set-up (roll gap, velocity of main motor, table, manipulator and so on)<br>2 Hot saw set-up (sawing length)                                                                                                                                                                                                  |
| Finishing mill line | 1 Making defect map with hot ECT device and decision of hot charge<br>2 Finishing mill set-up (roll gap, velocity of main motor, table lift and so on)<br>3 Hot saw set-up (sawing length)<br>4 Indication of a sectional profile of billets<br>5 Tension control                                                      |
| Conditioning line   | 1 Data set for automatic mechanical devices (stamper, labeller, label reader, grinder and so on)<br>2 Data set for automatic material conveyance<br>3 Making defect map with MLFT device for automatic grinding<br>4 Assorting control of billets<br>5 Rule-based control for automatic operation of the grinding line |
| General functions   | 1 Tracking of position and temperature of each billet<br>2 Operator guidance by CRT<br>3 Data gathering and construction of data base for management of operation and quality                                                                                                                                          |

達する自動燃焼制御、自動搬送制御を行う。本制御における抽出時刻予測は、従来の圧延ピッチと加熱能力に基づき決定する方法に加え、該当素材抽出時のが装入（連鋸からの供給）ピッチを予測することにより行っているのが大きな特徴である。これは、本加熱炉の搬送ピッチがほとんどの場合上工程からの素材供給ピッチで決定されるためである。抽出時刻予測の考え方を Fig. 3 に示す。Fig. 3 において、圧延スケジュール情報をもとにが装入中の素材から将来装入される素材情報をサーチし、素材幅と予定材料間隔の和が炉長に一致する素材を見出し、この見出した素材の予定供給ピッチを抽出時刻予測に使用している。圧延スケジュール情報は、操業の変化などによりリアルタイムにメンテナンスされる。

- (2) 生産バランス制御のため 2 分割した WB で、積極的に乗り移り制御（一方の WB から他方へ、WB と材料との衝突、材料の落下、転倒などを生じさせないように搬送する制御）を行う。このため炉内材料すべてについて P/C が位置認識し、この結果に基づいて装入側 WB の位置制御 (APC) を行うことにより自動 WB 乗り移りを実現した。また、APC 異常時の WB と材料衝突事故を防止するため、インターロック用としてレーザ式材料検知器を乗り移り点近傍に 8 式設置した。Photo 1 は乗り移り点近傍の P/C の材料位置認識と、レーザ検知器の検知状況をモニタする CRT 画面である。高精度の位置認識が達成できていることがわかる。また、乗り移り時

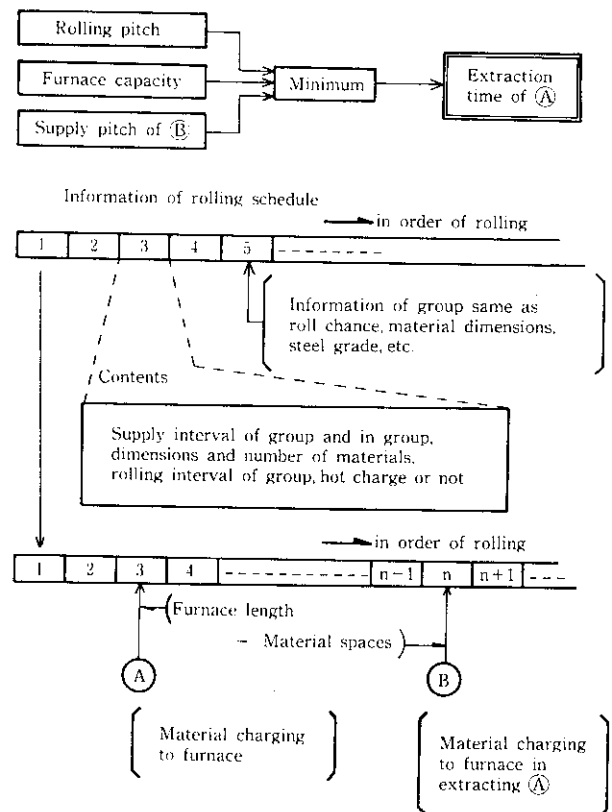


Fig. 3 Conception of extraction time prediction

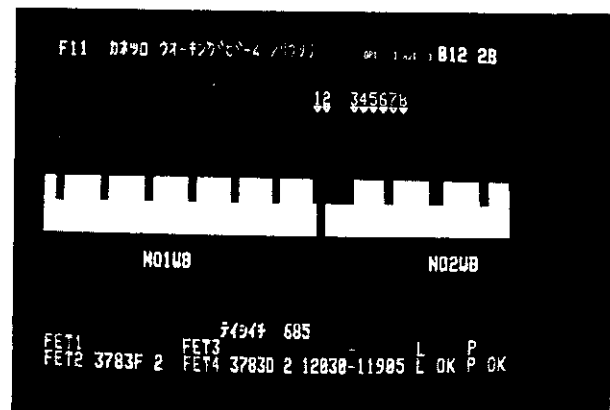


Photo 1 CRT indication of the circumference at separating point of walking beams

後続材が抽出側 WB と干渉する時、装入側 WB で自動逆送も行う。

- (3) Fig. 3 に示す圧延スケジュール情報に基づきミル休止を予測し、ミル休止時に装入側 WB が空になるよう自動的に搬送ピッチアップを行う。これにより、ミル休止でも継続して素材装入可能となる。

### 3.2 ミルロールチャンスフリーと計算機制御

#### 3.2.1 ミルロールチャンスフリー

連鋸、圧延の連続化に必要なロールチャンスフリー（オンラインスタンド交換 5 分、ロール交換 60 分）を達成するために、各組替設備を同時平行で完全自動運転する必要がある。このために O/C, P/C, DDC 連けいによるスタンド交換・ロール交

換の完全自動運転システムを開発した。Fig.4にオンラインスタンド交換およびロールショップでのロール交換のフローを示す。仕上ミル圧延サイズ替時、あらかじめロールショップで次

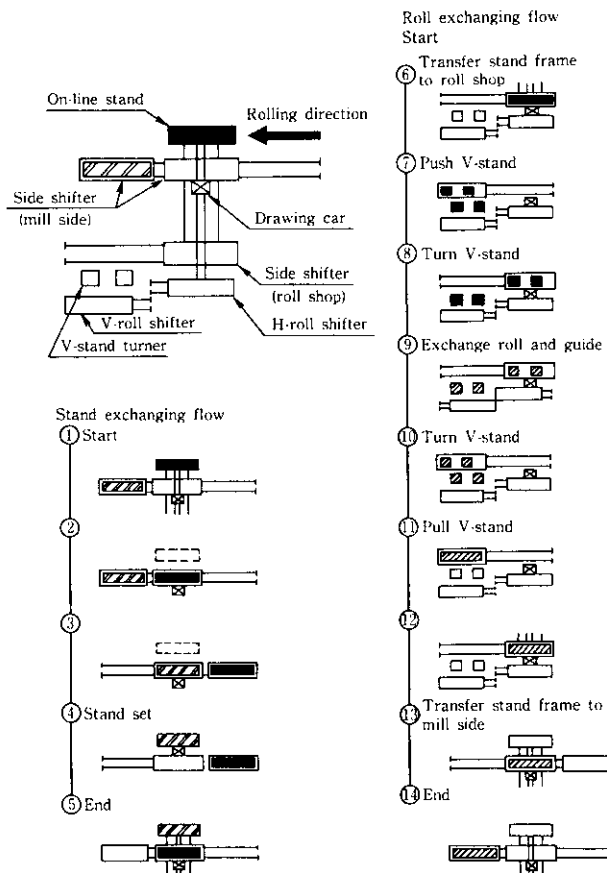


Fig. 4 Exchanging flow of stand and roll

圧延ロールを組み込んだ新スタンドとスタンド台車ごと交換する。この間に平行して、4スタンドのスピンドル位置設定、パスライン一定の圧延のためのミル前後ろ設備（テーブル、トングチルタ、ピンチロールなど）の昇降量設定を行っている。交換された圧延済スタンドはロールショップへ引き込まれ、Vスタンドは90°転回されHスタンドと同じ状態とした後、4スタンド同時にロールおよびガイドの交換を行う。圧上位置設定、ロール開度設定、プリロードキッキングによるロール開度のキャリブレーションも自動化し、スタンドを交換するだけでそのまま圧延可能な状態にまでロールショップでスタンドを組み上げる。

このような完全自動運転を達成するためには、各スタンド、各ロールに関する詳細な情報が設備動作と完全にマッチングしてハンドリングされる必要がある。今回、O/C、P/C、DDCによるロールショップ情報システムを構築した。Fig.5に情報の伝達フローを示す。スタンド情報は、オンライン位置、待機位置およびロールショップの3メッシュでトラッキングし、オンライン→待機位置→オンラインのルートにも対応可能である。前述の自動運転に必要なスピンドル位置、ミル前後ろ設備昇降量、圧上位置、ロール開度などはトラッキング情報にもとづいてP/C内で演算し、DDCにセットアップされる。また、情報の性格上長時間保存が要求されるため、O/C、P/Cでは同様の情報トラッキングを行い相互バックアップを行っている。

以上のように、スタンド交換とロール交換を完全自動化し、各々平均4分50秒および57分の実績で目標を達成した。Fig.6に実績圧延スケジュールの一例を示すが、図中\*印のところでわかるように、約1時間でNo.1スタンドが110 mmφから82 mm角へロール交換されている。これにより連鑄との同期化操業に大きく寄与している。

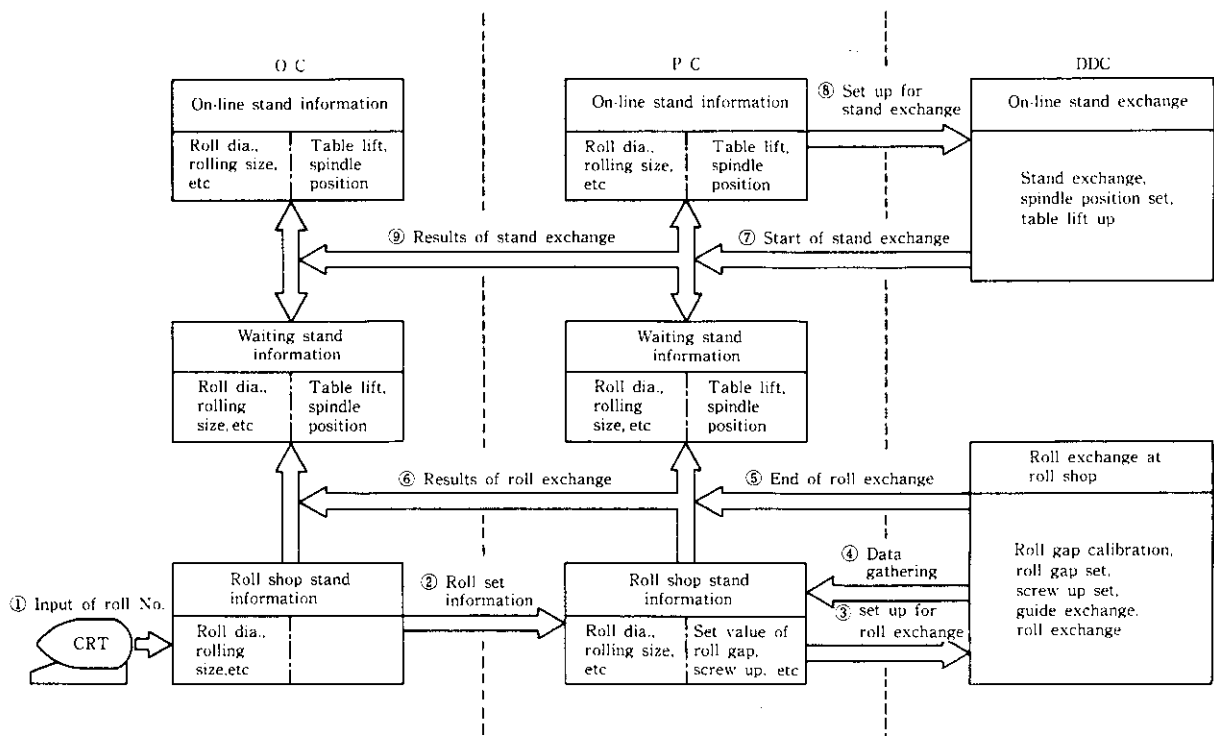


Fig. 5 Information flow of stand exchange and roll exchange

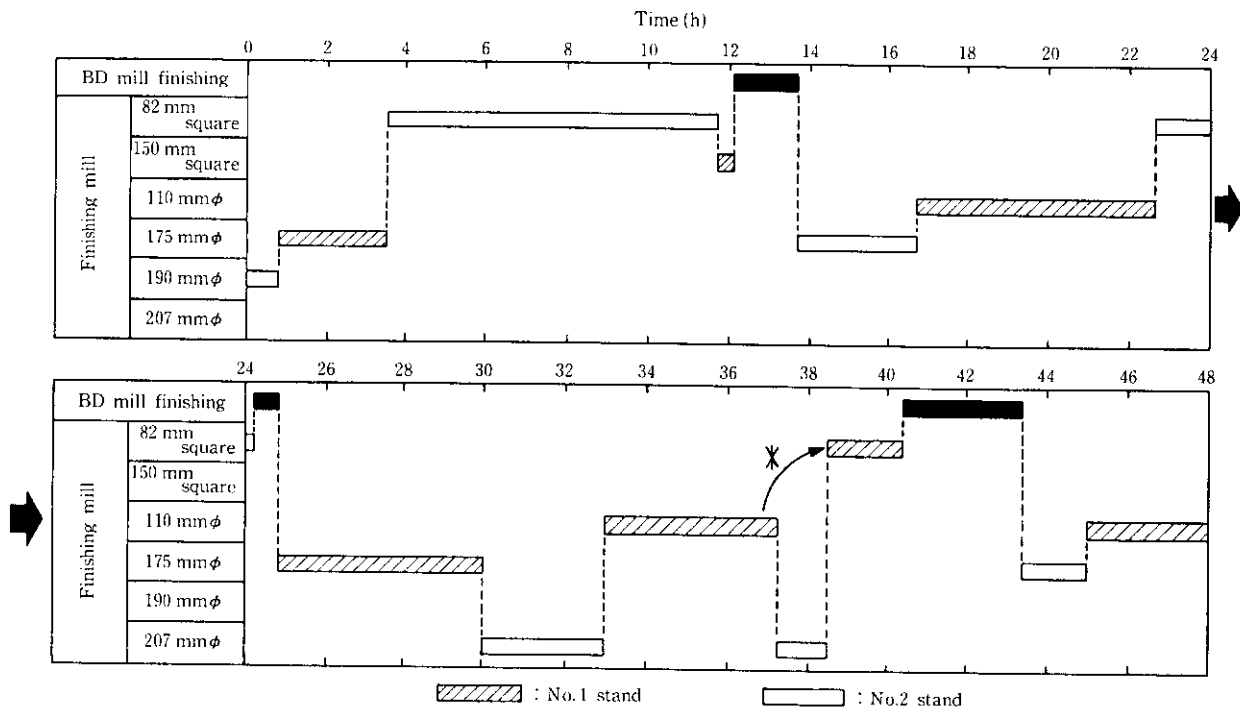


Fig. 6 Example of actual rolling schedule

### 3.2.2 ミル、ホットソー自動運転

ミルおよびホットソーにおける自動運転のポイントは、寸法精度と能率の両面がある。

ミルセットアップ制御は、P/C内にあらかじめ登録されたパススケジュールを検索し各設定値計算を行う、いわゆる、ストアードスケジュール方式を採用している。本方式によりBDミル（Break Down ミル）では、将来対応としたカント作業を除き、圧下、主機、テーブル、マニピュレータ、デスケリング噴射などのすべての作業を自動化した。仕上ミルでも同様に、4スタンドの圧下設定、主機速度設定を行い、完全自動圧延を達成した。

ホットソー（以下HS）において、素材重量と圧延寸法のばらつきはアズロール長のばらつきとなり、命令長さ通りの鋸断を行ってはいは、良質部切捨の増加による歩留低下および設備制約上クロップを数回に分けての鋸断が発生し、能率低下の原因となる。これらを防止する目的でミルでのアズロール長の測定実績にもとづき、下流工程の要求するビレット長さ区分（指定尺、定尺、乱尺）に応じてビレット1本ごとに種々の補正を加えて鋸断長を決定している。主な補正機能を以下に示す。

- (1) 均等な長さのビレットが必要である場合、アズロール長に対して等分割を行う等分割機能。
- (2) 長さ許容範囲の厳しい指定尺に対し、最終ビレットの上下限外れによる格落防止を図るため、素材内の全ビレットに対して上下限範囲内で長さ調整を行う危険率分散鋸断機能。
- (3) 良質部切捨減少を目的とし、最終ビレットを上下限範囲内で可能な限り長く採取し、上下限を外れる場合は順次前のビレットにさかのぼって鋸断長さの調整を行う調整鋸断機能。

このようなアズロール長の測定実績にもとづく鋸断長補正処理を行うためには高い測定精度が要求されるが、仕上ミルにおいてはすべての長さ範囲で±50 mm以下を達成している。Fig. 7にシームレス指定尺採取率の推移を示すように、危険率分散鋸断機能（5月中旬実用化）により指定尺採取率が大幅に向上し

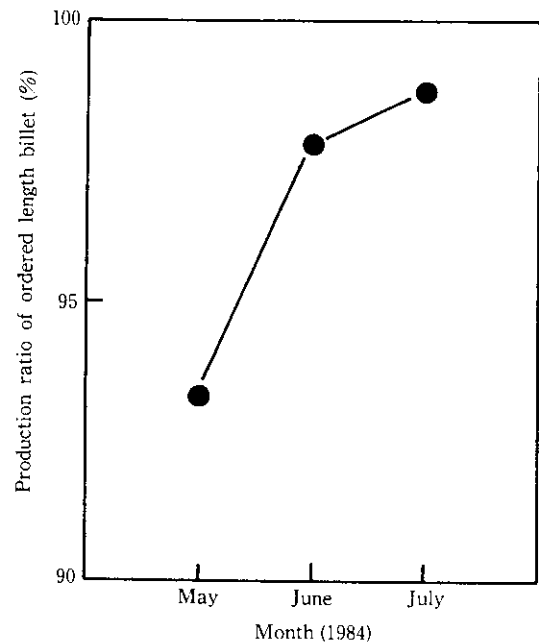


Fig. 7 Change of production ratio of ordered length billet

ている。以上のP/C鋸断長セットアップ制御とDDC搬送制御を組み合わせ、他では類をみない高精度・高能率の完全自動運転を達成した。

## 4 品質保証のための自動化技術

製品品質に対する要求は年々厳しくなっており、これに答えるためには中間素材段階からの品質作り込みが非常に重要な課題となっている。新ビレット工場建設に際し、下工程への無欠陥ビレットの供給を目指して万全の品質保証体制を整えた。こ

の中心となるのは熱間 ECT (Eddy current testing)、冷間 MLFT (Magnetic leakage flux testing) などの探傷機器群と、それに連動する手入れグラインダであるが、これらについては別に詳しく報告<sup>2)</sup>するので、ここでは完全ピース管理を実現したトラッキングシステム、寸法精度保証のためのプロフィール計、ライン上のピレットの温度管理を行う温度トラッキングシステムについて説明する。また、P/C を中心とする情報ネットワーク化により実績データ収集が容易となり、本システムでは品質操業管理を目的としてピレット 1 本あたり約 17 000 キャラクタ (BD ミルパス数で変わる) のデータと、約 4 000 キャラクタの設備情報 (定周期) とを P/C がセントラルコンピュータへ直送し、実績データベースを構築した。

なお、加熱炉燃焼制御に関しても種々の品質を考慮した機能を付加しているが、これは次章で述べる。

#### 4.1 完全自動ピーストラッキング

高度な品質保証、品質管理を行うためには、ピレット 1 本ごとに製造実績管理を行い、きめの細かいプロセス制御が必要である。すなわち、探傷実績に基づく自動研削、材料温度変動を考慮したミル制御、ホットソーにおける完全自動鋸断などはロット管理では実現し得ない。これまでピース管理を困難にしていた理由は、オンライン上の材料本数の膨大さ (今回約 2 000 本)、オフライン卸し、オンライン復帰、分岐、合流などの物流の複雑さ、1 本ごとの処理ピッチの高速性などであるが、P/C ハードの技術分野における処理速度の高速化と大容量メモリの普及、および、刻印機、ラベル貼付機、ラベルリーダなどの自動化機器を積極的に導入することにより完全ピース管理を実現した。

P/C にてピーストラッキングを行う範囲は、連铸工場における HCCV 積載から、丸角ピレット出荷までのオンライン設備すべてであり、この間を約 130 のゾーンに分割してピレットの位置認識を行っている。さらに

- (1) 加熱炉内では装入基準点から材料端面までの絶対距離を 1 本ごとに認識する。
  - (2) 冷却床 (CB) では丸ピレットをレーキ搬送しているが、ピレット 1 本ごとにレーキ位置認識する。
- などのきめの細かいトラッキングを行っている。

Table 2 に P/C トラッキングシステムの複雑なハードウェア部を有する端末機として位置づけられる自動化機器の仕様を示す。刻印機はトラッキングの最終バックアップ機器である。ラベル貼付機とラベルリーダは、ピレットのオンライン設備への復帰時にマニュアル介入することなくピース管理が行えること、および P/C トラッキングデータのバックアップとを目的とした

Table 2 Specifications of the automatic mechanical devices for piece tracking

| Devices                | Specifications                                                                     |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Automatic stamper      | Type : One wheel type<br>automatic stamping row selection by dimension             |
| Automatic labeller     | Type : Swing head type<br>Label : Heat proof (250°C)<br>& weather proof (6 months) |
| Automatic label reader | Type : Bar code reading type                                                       |

ものである。

#### 4.2 プロフィール計

本圧延ラインは計算機制御による高寸法精度圧延を指向しており、この検出端となるセンサおよび、寸法精度保証機器として、仕上ミル出側に光学式プロフィール計を設置した。

測定原理は Fig. 8 に示すように、パスラインに相対して置かれた 2 組の光学系 (光源、ハロゲンランプ; 受光素子、CCD アレイ) でピレット両エッジ部を検出し寸法測定するものである。さらに、直交した 2 方向から同時測定させ、全体を 90° 揺動させることにより、ピレット全周にわたる測定を可能にしている。

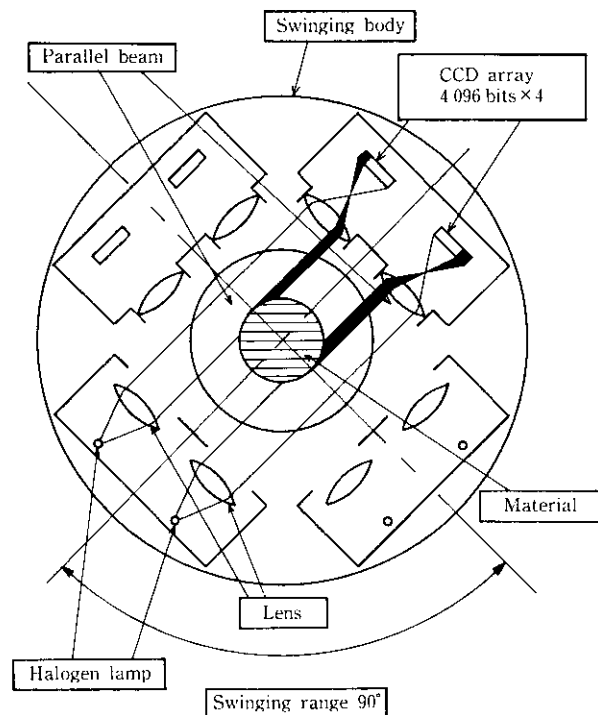


Fig. 8 Principle of profile meter

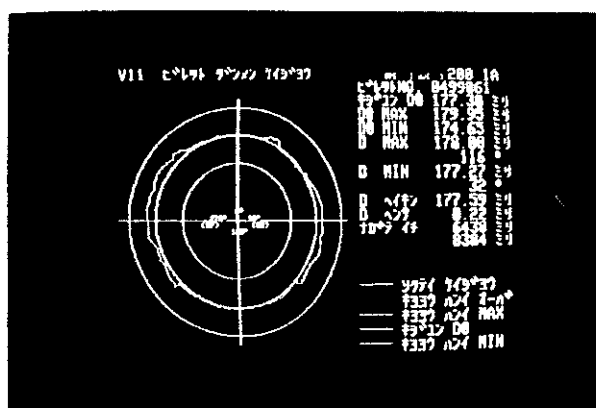
本装置の目標測定精度は最小径の径公差 (0.55 mm に相当) 以下であることはもちろん、将来の高寸法精度要求にも対応できるように 0.1 mm に設定した。この目標を達成するため、受光素子に 4 096 ビットの高密度 CCD アレイを採用し分解能の向上を図るとともに、レンズ収差をソフトウェアで補正した。この結果、オンライン測定精度 70  $\mu$ m を達成している。

測定結果の利用の一例として、Photo 2 にピレット断面形状の CRT 表示を示す。プロフィール計の測定信号を各エッジごとの変動量 (半径変動に相当) として独立にとり出し、ピレット断面中心の変動量を信号処理補正することにより、全周にわたって正確なプロフィールを表示したものである。本表示は圧延中約 4 秒 (揺動時間に相当) 周期でリアルタイム更新が可能であり、全長にわたって断面形状の管理が可能となった。この結果、実操業において寸法確認のためのサンプル採取が不要となった。

本プロフィール計は、断面形状表示と相まって仕上ミル操業に完全に定着している。

#### 4.3 温度トラッキング

ライン上の材料温度管理を行うことは、熱間寸法管理、材質



**Photo 2** CRT indication of sectional profile of billet

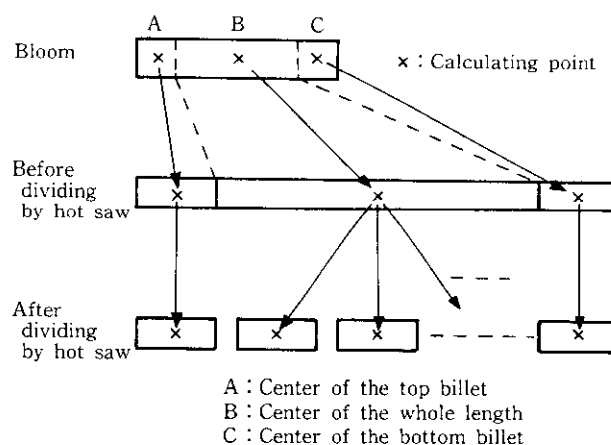
管理の面で重要なファクタである。新ビレット工場においても、圧延時、鋸断時の寸法精度向上、冷却床水制御などのニーズから、加熱炉抽出時を起点に冷却床からの払い出しまで全ビレット1本ごとの温度管理システムを実現した。

基本となるモデルは、

- (1) 大気放冷
- (2) 水冷
- (3) 保温ボックス放冷
- (4) 圧延加工発熱
- (5) ロール伝熱
- (6) 平均温度・表面温度換算

の6種で、平均温度と表面温度を管理する。また、変態顕熱の影響を冷却時間遅れとして扱え、変態点近傍および低温域までの温度トラッキングを可能にした。さらに、ホットソー鋸断後の各ピレットの温度精度を上げるため、Fig.9に示すように、素材段階では長手方向先端、中央、尾端の3箇所を独立に温度計算している。

材料温度計算ポイントは、Fig.1 に示すライン温度計設置位



**Fig. 9** Evaluation of the temperature of bloom at different three points

置とほぼ一致しており、実測値による補正演算を可能とした。

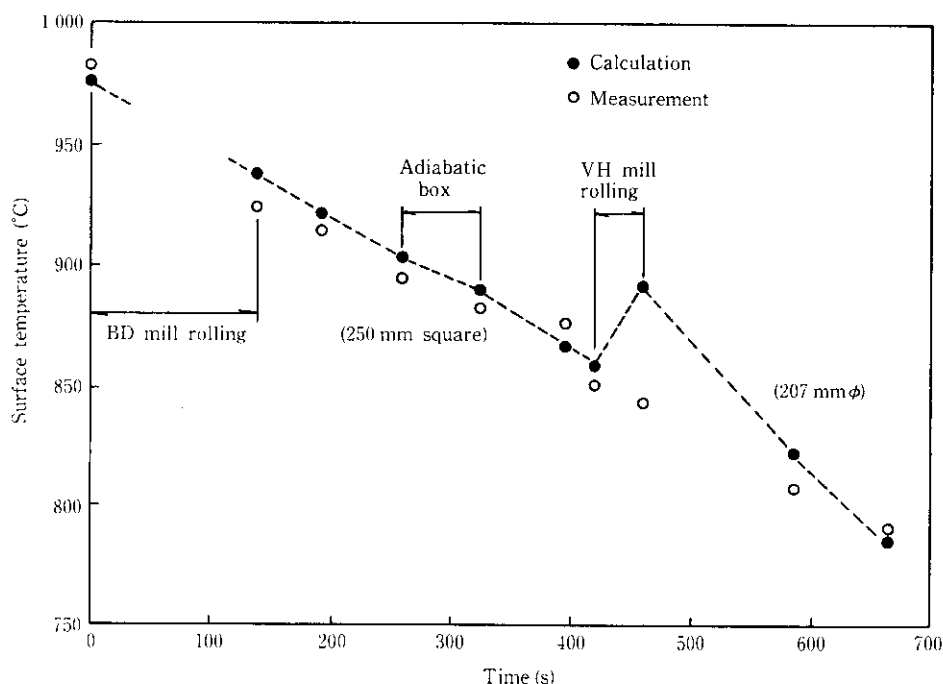
Fig. 10 にモデル計算値と温度計実測値とを表面温度で比較した一例を示す。熱間ラインにおいて寸法管理が行える精度であるが、特に低温域を中心として一層の精度向上に取り組んでいる。

## 5 省力，省エネのための自動化技術

連続化，自動化することが省力，省エネを図ることにつながり，したがって，これまで説明してきた各機能も省力，省エネに寄与していることはいうまでもない。ここでは加熱炉制御と知識工学的手法を取り入れたルール型制御方式の適用<sup>5)</sup>について述べる。

### 5.1 加熱炉燃焼制御

新ビレット工場加熱炉は、熱片冷片装入、連鑄との同期化操業による搬送ピッチ変動、均熱炉との複合操業など負荷変動要



**Fig. 10** Comparison of calculation with measurement of surface temperature



因が多く、また最高表面温度規制、最大偏熱度規制など、品質上種々の加熱制約が課せられている。加熱炉燃焼制御の開発導入に際して、このような操業条件を十分に考慮し対応できるようにした。Fig. 11 にその概要を示す。

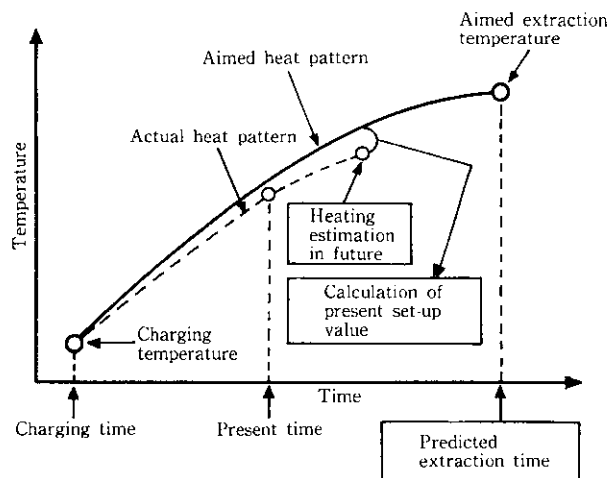


Fig. 11 Conception of furnace combustion control

各加熱対象材の最適昇温パターン目標を定め、昇温実績が目標昇温パターンに一致するように炉温制御を行う。すなわち、炉の時定数を考慮して現在時刻から一定時間後の材料温度を現状炉温が変化しないものと仮定して予測し、この予測値と目標昇温パターンとを比較評価して炉温設定値を決定する。

本制御の特徴は次のような点にある。

#### (1) 目標昇温パターン計算

種々の加熱制約を満足させ燃料最小となる最適昇温パターン計算に、線形計画法を適用している。線形計画問題としての制約式と目的関数を以下に示すが、品質上の加熱制約を制約条件式として取り込み目標昇温パターン決定に反映させている。

制約条件

$$\begin{aligned} \theta_L &\leq \theta \leq \theta_U && \text{抽出時平均温度} \\ \Delta\theta_L &\leq \Delta\theta \leq \Delta\theta_U && \text{抽出時均熱度} \\ \theta_S &\leq \theta_{SU} && \text{最高表面温度規制} \\ \Delta\theta_M &\leq \Delta\theta_{MU} && \text{最大偏熱度規制} \\ v_{iL} &\leq v_i \leq v_{iU} && \text{各帯燃料流量} \\ \xi_{iL} &\leq T_{i+1} - T_i \leq \xi_{iU} && \text{炉温バランス} \\ T_L &\leq T_i \leq T_U && \text{各帯炉温制約} \end{aligned}$$

目的関数

$$f = \sum v_i \quad \text{各帯燃料総和}$$

ここで

U, L ; 上下限制約の上限値, 下限値

S ; 材料表面

M ; 燃焼時間を通じての最大値

i ; 各燃焼炉帯

を示す添字で

$\theta$  ; 材料温度

$\Delta\theta$  ; 材料均熱度

$v$  ; 燃料流量

$T$  ; 炉温

$\xi$  ; 炉帯間炉温偏差

を示す。

#### (2) ブルーム温度推定計算

ブloom断面をメッシュ分割した物理モデル差分式をオンラインで計算することにより温度推定を行う。計算対象温度断面はFig. 12に示すように、炉幅方向中心に位置し隣接材を考慮した制御用断面、隣接材の影響を受けない最高温度断面、スキッド部の温度計算を行うためのスキッド用断面である。Fig. 13に抽出時の材料温度推定計算結果と実測値の比較を示すが、偏差が $\pm 12^\circ\text{C}$ 以内に入っていることがわかる。

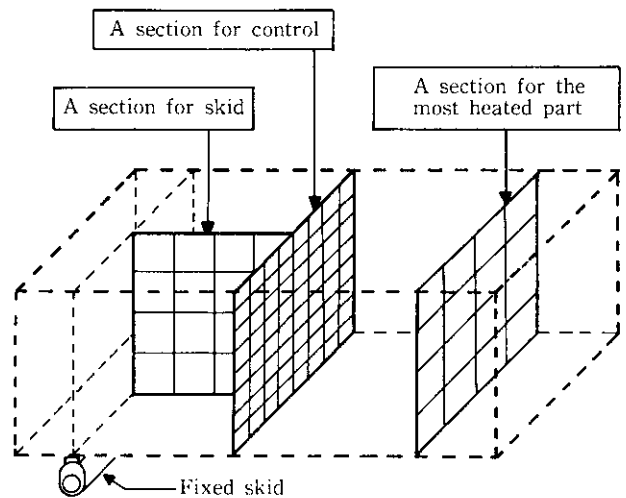


Fig. 12 Meshed sections for temperature calculation

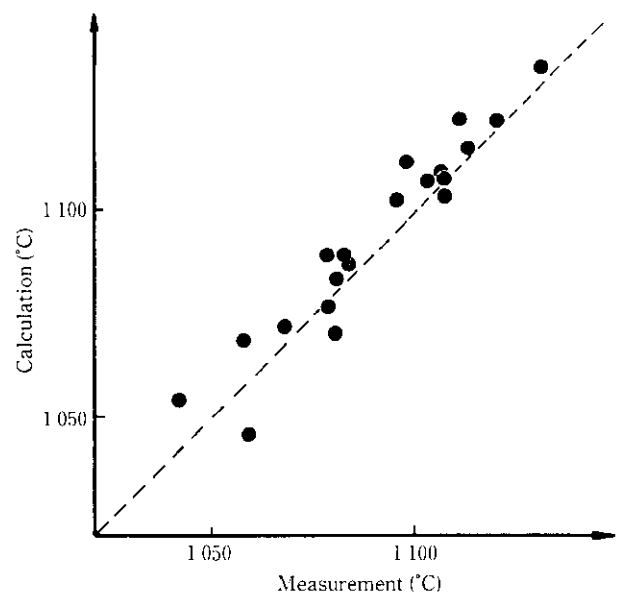


Fig. 13 Comparison of calculation with measurement of extraction temperature

以上述べた加熱炉制御の設定を受け炉を制御する計装DDCは、すべての監視、オペレーションをCRT画面から行えるパネルレスシステムとした。本システムでは、炉の大きな負荷変動にも十分対応できることを考慮して現場機器、制御系の設計を行い、低負荷域から高負荷域まで良好な燃焼制御性を持たせ

ている。Fig. 14 に本管燃料流量と  $O_2$  濃度の変化例を示すが、大きな負荷変動があっても、 $O_2$  濃度は、 $\pm 0.5\%$ 以下で制御できている。

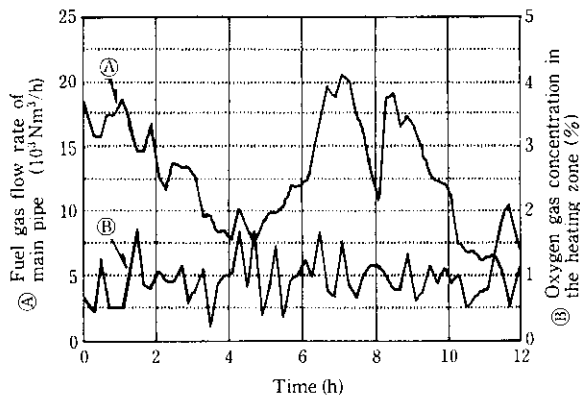


Fig. 14 Fuel gas flow rate of main pipe and oxygen gas concentration in the heating zone

## 5.2 ルール型制御方式の適用

生産プロセスの連続化および徹底した自動化を目指す工場では、プロセスコンピュータに対し、稼動当初からの完璧な立ち上げ、機能達成、また稼動後の制御方式のレベルアップに対する迅速な対応が強く要求される。このためには、高品質のソフトウェアとその生産性の向上が不可欠である。今回、このようなニーズに対応するためルール型制御方式の適用を試みた。

ルール型制御は Fig. 15 に示すように、IF-THEN 形式の運用ルールの集合（ルールベース）をもとに、プロセスの現況データベースから前向き推論型プロダクションシステムにより制御指令を決定するものである。本制御方式における推論メカニズムは、以下に示すような内容である。

- (1) 運用ルールベース内各ルールの IF 部の中で現況データと一致しているものを選び、一致したルールの THEN 部を取り出す（中間結論）。
- (2) 各ルールの IF 部の中で、中間結論と一致しているものを選び出す。
- (3) これをくり返すことにより最終結論を導出する。

本システムでは、ルール型制御方式を搬送が複雑なグラインダまわりの自動運転制御に適用した。本方式によれば、運用ルールをデータとして登録するのみで制御ソフトが構成でき、プログラム設計、コーディングなどのソフト開発工程が省略できると共に、その過程で発生するバグの減少が図れる。適用の結果、試運転段階からソフトウェアバグによる不具合は全く発生せず、本番稼動以降100%の自動運転を達成している。また、従来の手続き型言語を使用して同機能を達成した場合と比較して、ソフト開発工数を約3分の1に低減することができた。

## 6 結 言

水島製鉄所の条鋼向け素材製造プロセスの合理化を目指した新ビレット工場計測制御システムの技術概要について説明した。本プロセスは多くの特性を備えているが、連铸・圧延連続プロセスとしての位置付けが大きい。その中で、今回目標とした全自動、一貫品質管理、生産能率の向上は、ロールチャンスフリーを達成した圧延機、現品識別のための各種自動化機器に代表されるハードウェアをベースに、現品トラッキング用センサから非破壊検査装置などの高度なセンサ技術を駆使し、これらすべてを P/C によりネットワーク化することで達成できた。

本プロセスは当初から全自動モードで運転することを前提としており、プロセスの生産性と製品品質の保証は人間の判断のあいまいさと遅さを排除した全自動運転においてのみ達成されるものである。1984年2月営業運転開始以降、完全自動運転で生産が続けられ、過去に例を見ない早期立上げを実現できた。本プラントの操業技術も計測制御技術と不可分なレベルに達し

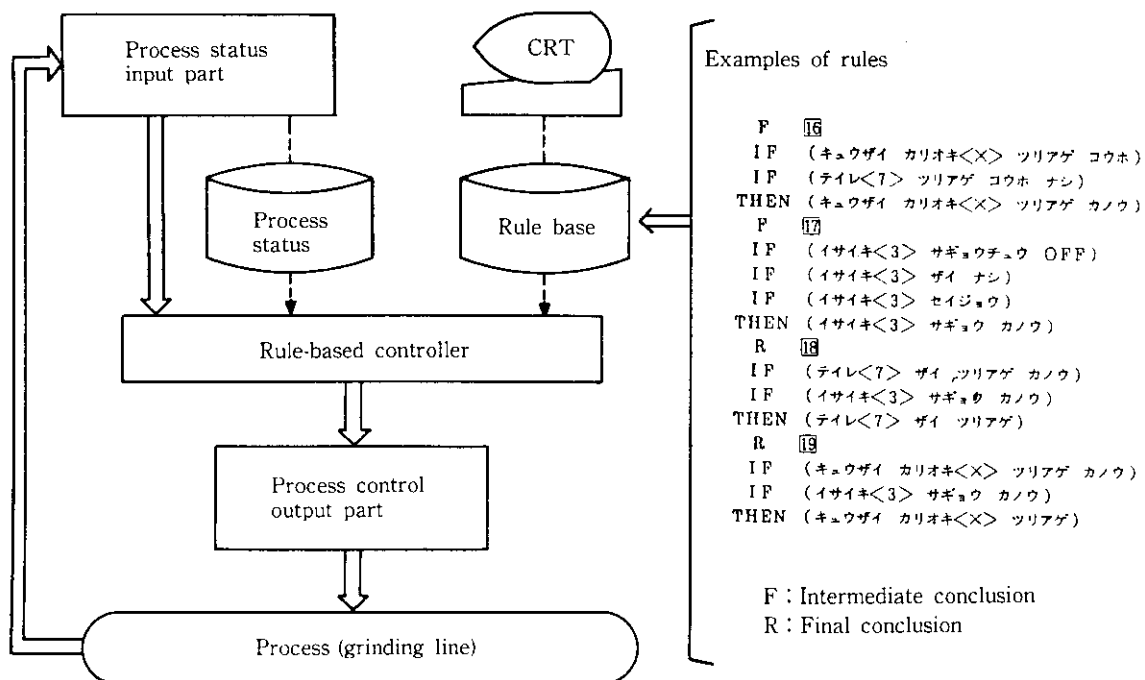


Fig. 15 Conceptual flow of rule-based control and examples of rules

ており、より高度な計測制御技術開発とシステムの安定化が直接操業に寄与する状態となった。今後とも一層の機能充実に努力してゆきたいと考えている。

最後に本システムの開発に御協力いただいた各メーカーの関係各位に感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 中西輝行, 芳村嘉夫, 瀬戸恒雄, 馬場和史, 有光 博, 渡辺修三: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 1, 32-38
- 2) 山中栄輔, 山崎順次郎, 中川康弘, 柴山卓真, 三浦隆義: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 1, 39-49
- 3) 石渡英房, 宇野義雄, 中西輝行, 東岡晃二: 日本非破壊検査協会昭和59年度秋季講演大会, 33 (1984) 9, 750
- 4) 大杉賢三, 上田徹雄, 谷利修己, 羽生正博, 中川康弘, 板倉仁志: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 1, 23-31
- 5) 都島 功, 馬場和史, 高倉修一, 田代 勤: 第23回 SICE 学術講演会, (1984) 7, 273