

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.18 (1986) No.1

線材棒鋼工場の計測制御システム

Process Instrumentation and Control System of Wire Rod and Bar Mill at Mizushima Works

飯田 永久(Nagahisa Iida) 鳥越 英俊(Hidetoshi Torikoshi) 西島 真也(Shin-ya Nishijima) 川原 真博(Masahiro Kawahara)

要旨：

水島製鉄所線材棒鋼工場の計測制御システムは製品品質の向上と安定化を主な目的として、1984年9月に同工場に新しい線材圧延設備が建設されたのに同期して導入された。このシステムは加熱炉入側からコイル精整ラインまでを制御・統括するプロセスコンピュータを中心に、計装 DDC や各種のセンサで構成され、操業管理用オンラインコンピュータ、電気設備用 DDC などとリンクして品質保証体制の強化に大きく寄与している。システムの主な機能には加熱炉の計算機制御、圧延設備の自動設定、高密度の実績データ収集などがあり、相互に結びついて圧延機能の向上や省力化、操業の安定化をもたらしている。

Synopsis：

A process instrumentation and control system, whose main aims were the improvement of the product quality and security of stable production, was introduced to the wire rod and bar mill of the Mizushima Works, synchronized with the installation of new rod rolling facilities, in September 1984. The system, which consists of a process computer system, process control DDC system and various sensors, controls processes from the entry of the reheating furnace to the coil finishing line, closely exchanging many items of information with an on-line operational computer system and DDC systems for the electric equipment, etc. Among the functions of the system, computer control of the reheating furnace, automatic setting up of the rolling equipment and high-density data gathering are the major ones, which have greatly contributed to the automatization and stabilization of the rod and bar production, and reinforcement of the quality assurance system of the mill.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Process Instrumentation and Control System of Wire Rod and Bar Mill at Mizushima Works



飯田 永久
Nagahisa Iida
水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室 主
査(課長)



鳥越 英俊
Hidetoshi Torikoshi
水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室 主
査(掛長)



西島 貞也
Shin-ya Nishijima
水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室



川原 貞博
Masahiro Kawahara
水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室

1 緒 言

鉄鋼製品に対する品質上の要求は、日を追って厳しさを増してきており、棒鋼や線材の場合も例外ではない。しかしながら、棒鋼や線材は一般にその製品長が非常に長いので、その全長にわたって品質を完全に保証するためには、製造プロセス自体を極力安定した状態に維持すると共に、製品の全長に沿って大量のデータを採取し、それらを正確な製品1本ごとのトラッキングのもとに管理することが必要である。水島製鉄所ではこのような品質保証の一層の強化を主な目的の1つとして、1984年9月に再スタートした線棒工場¹⁾に、プロセスコンピュータシステム(以下P/C)を中心とした計測制御システムを導入した。このシステムはP/Cと製造ラインに沿って配置されたセンサ群、および計装DDCとで構成され、上位の操業管理システムであるオンラインコンピュータシステム(以下O/C)²⁾、製鉄所の中央コンピュータ(以下C/C)および電気設備用DDCなどとリンクして、棒鋼と線材の品質の安定化とその保証に大きく寄与しており、また操業の自動化と安定化にも重要な役割を

要旨

水島製鉄所線材棒鋼工場の計測制御システムは製品品質の向上と安定化を主な目的として、1984年9月に同工場に新しい線材圧延設備が建設されたのに同期して導入された。このシステムは加熱炉入側からコイル精整ラインまでを制御・統括するプロセスコンピュータを中心に、計装DDCや各種のセンサで構成され、操業管理用オンラインコンピュータ、電気設備用DDCなどとリンクして品質保証体制の強化に大きく寄与している。システムの主な機能には加熱炉の計算機制御、圧延設備の自動設定、高密度の実績データ収集などがあり、相互に結びついて圧延能率の向上や省力化、操業の安定化をもたらしている。

Synopsis:

A process instrumentation and control system, whose main aims were the improvement of the product quality and security of stable production, was introduced to the wire rod and bar mill of the Mizushima Works, synchronized with the installation of new rod rolling facilities, in September 1984.

The system, which consists of a process computer system, process control DDC systems and various sensors, controls processes from the entry of the reheating furnace to the coil finishing line, closely exchanging many items of information with an on-line operational computer system and DDC systems for the electric equipment, etc.

Among the functions of the system, computer control of the reheating furnace, automatic setting up of the rolling equipment and high-density data gathering are the major ones, which have greatly contributed to the automatization and stabilization of the rod and bar production, and reinforcement of the quality assurance system of the mill.

果たしている。本稿ではこのP/Cを中心とした線棒工場の計測制御システムの概要と特徴を紹介する。

2 計測制御システム導入のねらい

今回の線棒工場への計測制御システム、特にP/Cの導入に際し、以下のように品質の向上、安定化に重点をおいた目的が設定された。

(1) 品質保証体制の強化

製品品質に直接関係する製造プロセスでのデータを高密度で自動採取し、これを用いてオンラインリアルタイムで品質の可否を自動判定することにより、製品および製造プロセスの異常を早期に発見し、迅速な処置、対策をとる。

(2) 品質管理と操業管理の強化

品質の設計や製造仕様を決めるためのベースとなるデータ、な

* 昭和60年11月13日原稿受付

らびに操業の管理のためのデータをきめ細かく収集し、これらの管理レベルを高める。

(3) 操業の安定化と省力

製造命令作成システムから製造現場への製造仕様の伝達、あるいは操業条件の決定作業を自動化して人間の介入を排除する。このことにより、人間のミスや個人間のばらつきに伴う品質上の問題が減少すると共に、結果として省力にもなる。

以上のことを最小限の投資で実現するために、次の条件を設定して計測制御システムを企画し、設計した。

- (1) P/C とセンサ群および DDC などの制御装置とのリンケージをできるだけ密にし、高速で大量のデータ授受が行えるようにする。
- (2) プロセスの上流での、いわゆる品質のつくり込みと安定化とに P/C 機能の重点をおく。
- (3) 将来予想される機能追加を予測し、可能な範囲内で対応を考慮しておく。
- (4) 既存のリソース（棒鋼圧延関係の設備など）を最大限に活用する。

条件(4)があるのは、今回の当システムの導入が、既設の棒鋼圧延設備に線材圧延設備を追加設置するという工事に同期して行われたためである。

以上のようなことから、具体的には次のことを実施した。

- (1) 既設の棒鋼生産設備は原則として大幅な改造はしない。このため、ピレットヤード、直棒精整ヤードの設備は今回は本計測制御システムの対象外とした。
- (2) 加熱炉などの既設の設備については、半自動レベルを基本とした自動化とし、線材圧延設備を中心とする新設設備については全自動運転を可能にした。
- (3) 加熱炉では P/C による高精度の温度管理、温度制御を実施して、圧延以降のプロセスに安定した温度の材料を供給させる。
- (4) P/C の構成は開発性を高くするために、デュプレックスシス

テムとし、オンラインで並行ランができるシステムとした。

3 システムの構成

Fig. 1 に計測制御システムの構成を示す。本システムは P/C を中心として、加熱炉燃焼制御と線材冷却温度制御の 2 つの計装 DDC システム、および温度計、プロフィール計などのセンサ群とで構成されており、上位の O/C、C/C のビジネスコンピュータシステム、下位の電気設備 DDC などとリンクしている。

3.1 P/C システム

Fig. 2 に P/C システムの構成を³⁾、Table 1 にその主な機能を

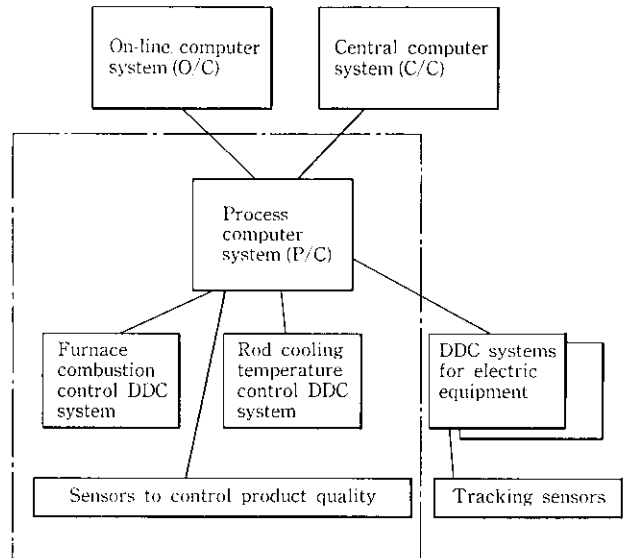


Fig. 1 Configuration of the process instrumentation and control system

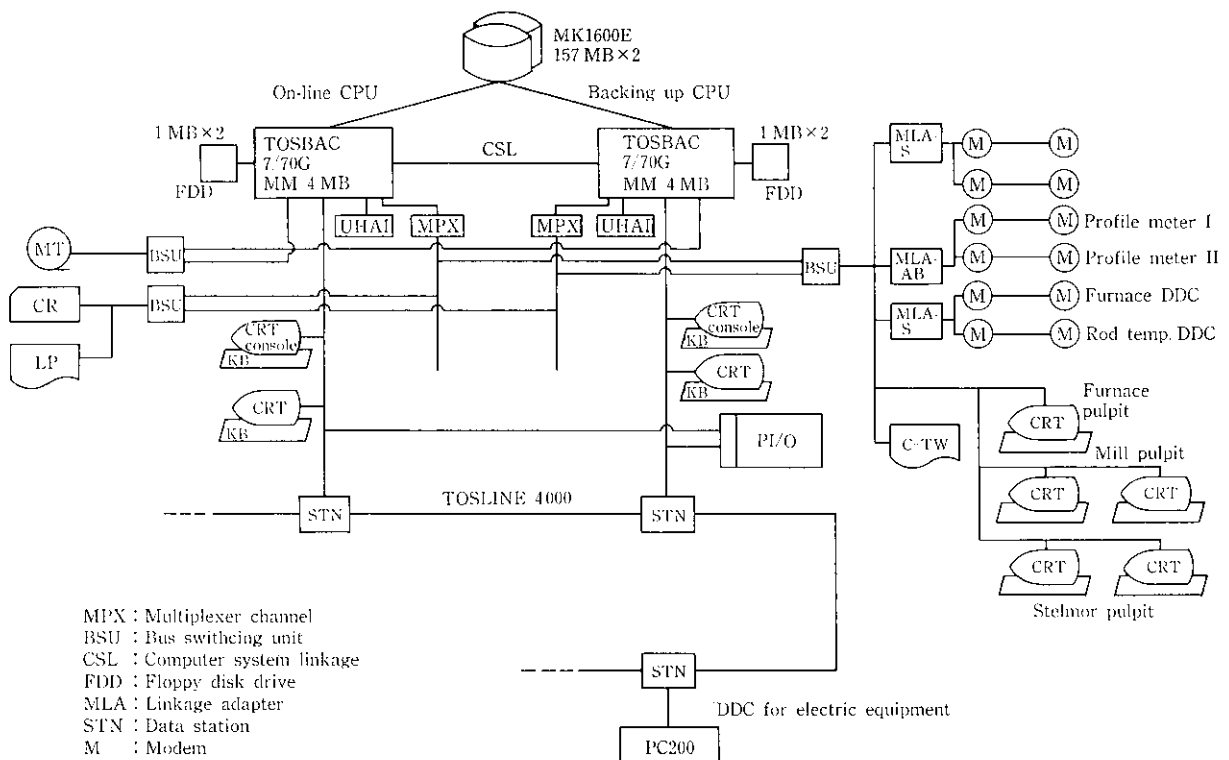


Fig. 2 Configuration of the process computer system

MPX : Multiplexer channel
 BSU : Bus switching unit
 CSL : Computer system linkage
 FDD : Floppy disk drive
 MLA : Linkage adapter
 STN : Data station
 M : Modem

示す。CPU は 2 台用い、片側はシステム開発およびバックアップ用としてデュプレックスシステムを構成させている。機能的には 1 台の CPU に加熱炉からコイル精整ラインまでをカバーさせている

多機能集中型の構成である。上下のシステム、サブシステムとは 6 回線のモデムによって情報を授受しているが、高応答性の必要な電気設備 DDC とは 1 メガビット/s のデータウェイで、その他の機器とはプロセス入出力制御装置でデータを授受している。

Table 1 Major functions of the process computer system

Process	Functions
Reheating furnace	<ol style="list-style-type: none"> 1 Material tracking 2 Automatic operation of the furnace entry roll-er tables 3 Automatic transferring of billets in the furnace 4 Control of extraction of billets 5 Calculation of the temperature of billets 6 Set up of the temperature for the furnace (future) 7 Gathering and transmission of the actual data 8 Automatic qualification of heated billets
Rolling line	<ol style="list-style-type: none"> 1 Material tracking 2 Set up of the revolution of the mill rolls Set up of the speed and cutting length for the shears Set up of the control parameter of the block mill Set up of the speed of the stelmor conveyor Set up of the revolution of the blowers, etc. 3 Gathering and transmission of the product 4 Automatic qualification of the product (based on the rolling temperature, coiling temperature, diameter, and defect)
Finishing line for coils	<ol style="list-style-type: none"> 1 Material tracking 2 Control of loading of coils to a hook Control of transferring (from hook to hook) of coils Control of unloading of coils from a hook Control of the binding machines Control of the coil scale, etc.

3.2 計装 DDC システム

加熱炉燃焼制御および線材の冷却温度制御装置は、P/C とのデータリンクに有利であり、アドバンストコントロールの採用しやすいスプリット型計装 DDC とした。これらの構成を Fig. 3 および 4 に示した。両 DDC システム間での直接のデータ授受はないが、データウェイのループを共有化して主要機器の相互バックアップを可能とすることにより、信頼性の向上を図っている。

3.3 センサ

Fig. 5 に本システムの主要なセンサを示す。当線棒工場には鋼材用の放射温度計が全部で 21 台設置されており、製品種別ごとに使い分けられている。ロードセルは、現在、粗圧延機にのみ設置されているが、近い将来全スタンドに設置される予定である。プロフィール計は棒鋼用と線材用ともに全周回転型で、6 度ごとの太さ出力が得られる。渦流探傷機は長手方向のシーム状態もある程度検出できるように設計されたものを設置した。

4 システムの機能

4.1 基本機能

4.1.1 データリンク

本計測制御システムのデータリンク機能のうち最も重要なものは P/C と O/C 間のリンクである。O/C から P/C への情報は、最大 1300 桁のロットごとの製造予定情報をはじめとする製造命令が中心であり、P/C から O/C へは Fig. 6 に示すような操業実績情報が主要なものである。P/C と C/C 間は、もっぱら P/C から C/C へ、後述する実績プロセスデータのみが送信される。P/C から電気設備

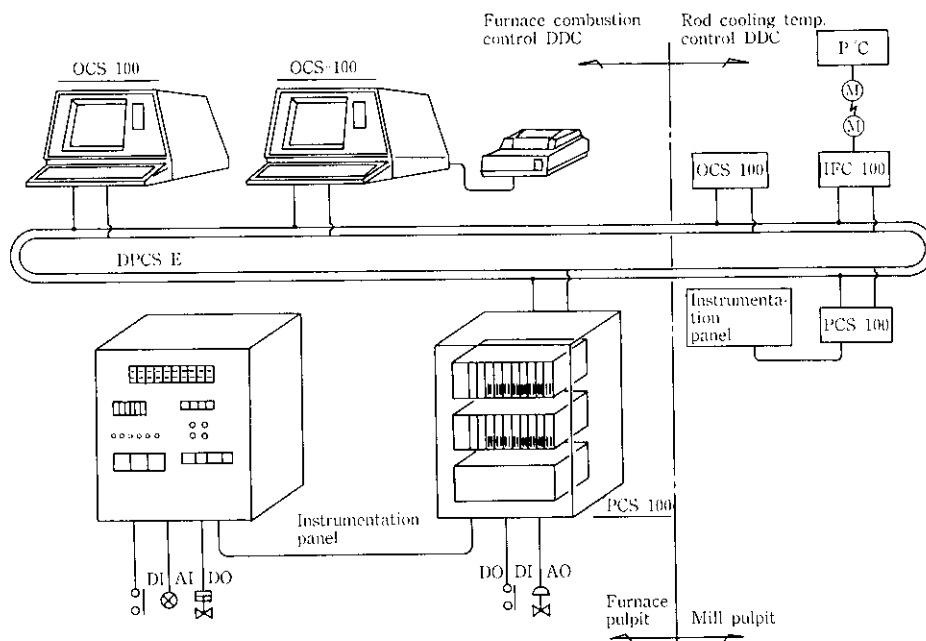


Fig. 3 Configuration of the furnace combustion control DDC system

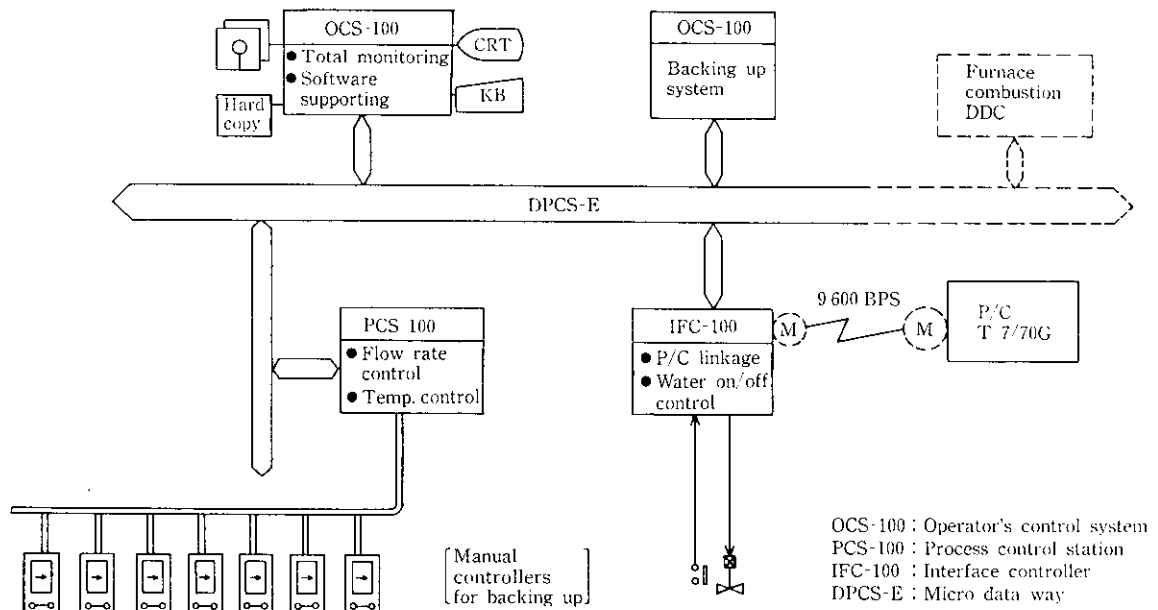
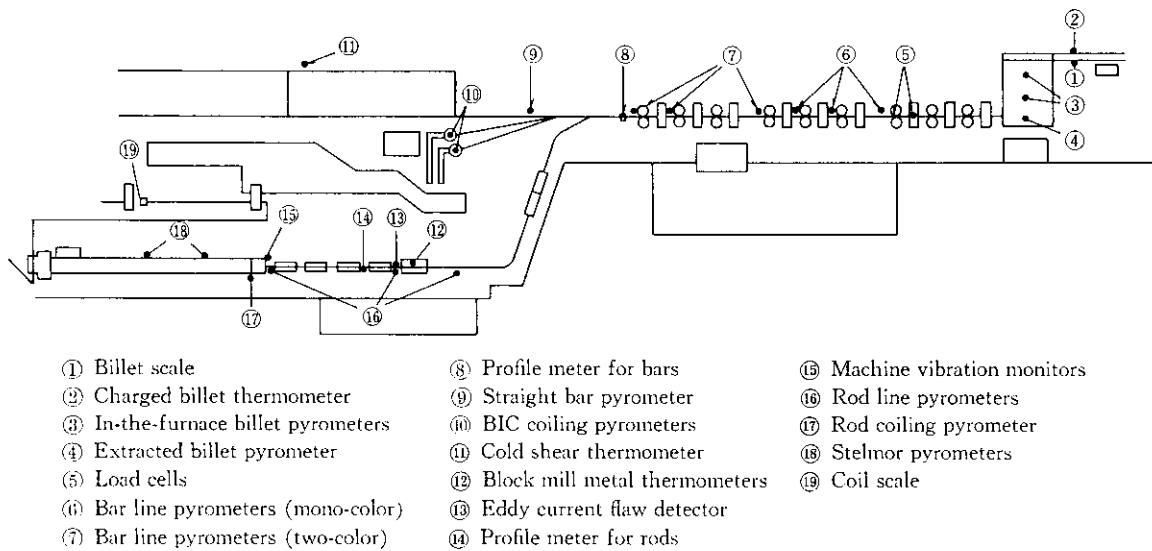


Fig. 4 Configuration of the rod cooling temperature control system



- ① Billet scale
- ② Charged billet thermometer
- ③ In-the-furnace billet pyrometers
- ④ Extracted billet pyrometer
- ⑤ Load cells
- ⑥ Bar line pyrometers (mono-color)
- ⑦ Bar line pyrometers (two-color)
- ⑧ Profile meter for bars
- ⑨ Straight bar pyrometer
- ⑩ BIC coiling pyrometers
- ⑪ Cold shear thermometer
- ⑫ Block mill metal thermometers
- ⑬ Eddy current flaw detector
- ⑭ Profile meter for rods
- ⑮ Machine vibration monitors
- ⑯ Rod line pyrometers
- ⑰ Rod coiling pyrometer
- ⑱ Stelmor pyrometers
- ⑲ Coil scale

Fig. 5 Locations of the sensors

DDC 間はデータウェイによる送受信であり、P/C から DDC への設定データなどが、50~100 ms の時間で授受される。

4.1.2 トラッキング

計測制御システムの材料トラッキング機能は、フォトセルおよびHMDなどをセンサとする情報用トラッキングと、個々の制御機能ごとに持っている制御用トラッキングとに大別される。制御用トラッキング機能の主なものとしては、加熱炉内のビレット位置のトラッキングと線材ラインでの線材先尾端のトラッキングとがある。前者はウォーキングビームの動きを積算する方式、後者はミルモータからのパルスを計数するマイクロなトラッキングである。

4.1.3 シミュレーション

本計測制御システムでは、P/C 内部での主としてソフト的なシミュレーション機能のほかに、Fig. 7 に示すような構成の、電気設備 DDC を包含した総合シミュレータを有している。これは主として圧延ラインを対象とした、高速のシミュレーションが可能なシ

ステムである。P/C 単独の機能の場合は、開発系の CPU を利用することにより、ほぼ完全なオンラインでの並行ラン・シミュレーションが可能である。

4.2 実績データ収集と品質保証

本システムにより製品1本ごとに収集される実績データ項目は100項目にのぼるが、これらのうち約2/3は加熱炉内滞在時間や製品重量などの1データ/項目のものであり、残りは製品径、圧延仕上り温度などの製品の長さ方向に沿って複数のデータが採られるものである。後者は圧延ラインでの温度、圧延荷重、表面疵の程度などの項目であり、項目によって異なるが、0.2~1秒の一定周期で製品全長にわたってデータが採られる。このデータは生に近い形で品質保証のための判定に用いられ、若干処理が施されたものが品質管理や操業管理用に用いられる。本システムの品質保証機能の特徴は、P/C がリアルタイムで品質の合否判断を行うという点である。

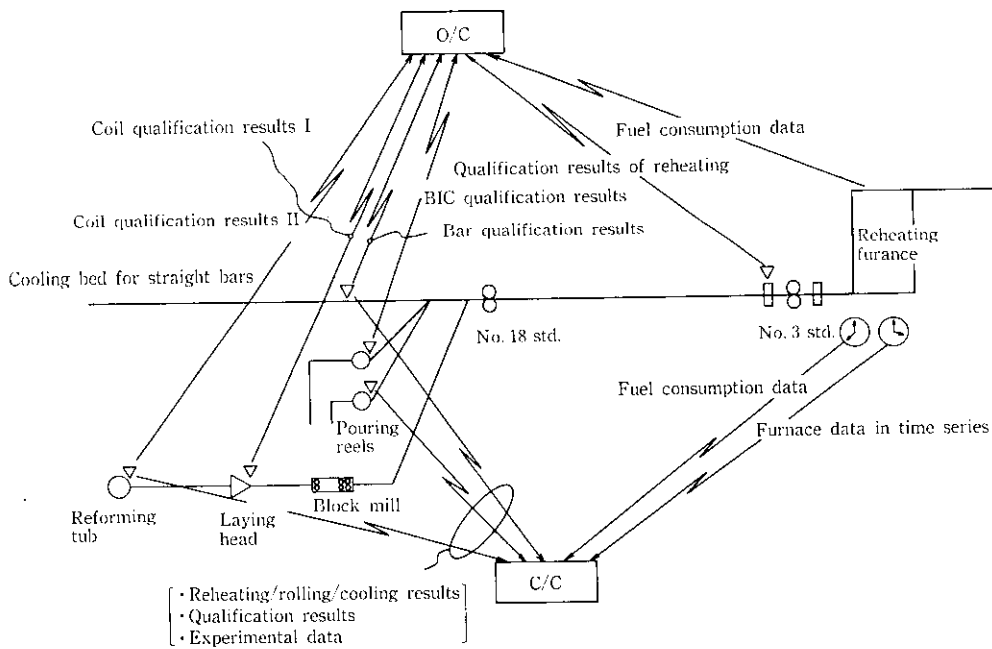


Fig. 6 Information flow of operation results

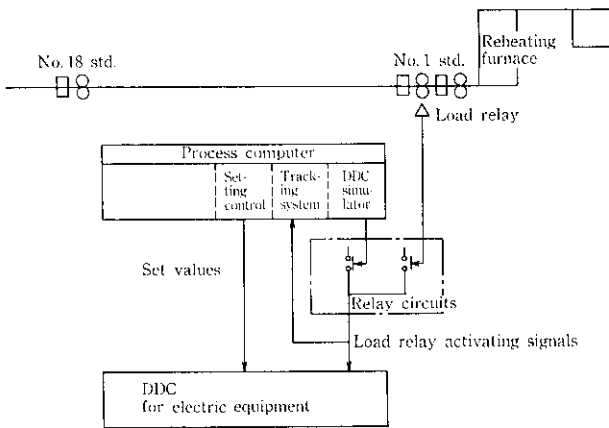


Fig. 7 Concept of the total simulation system for P/C and DDC

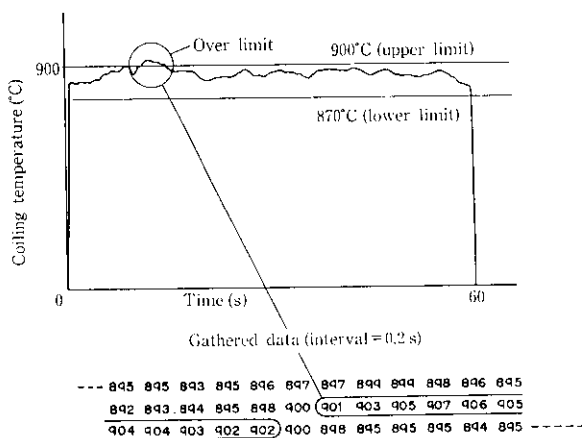


Fig. 8 Processing of the process data

Fig. 8 にコイル巻取温度の処理の例を示す。この例では 0.2 秒周期で温度の合否がチェックされている。

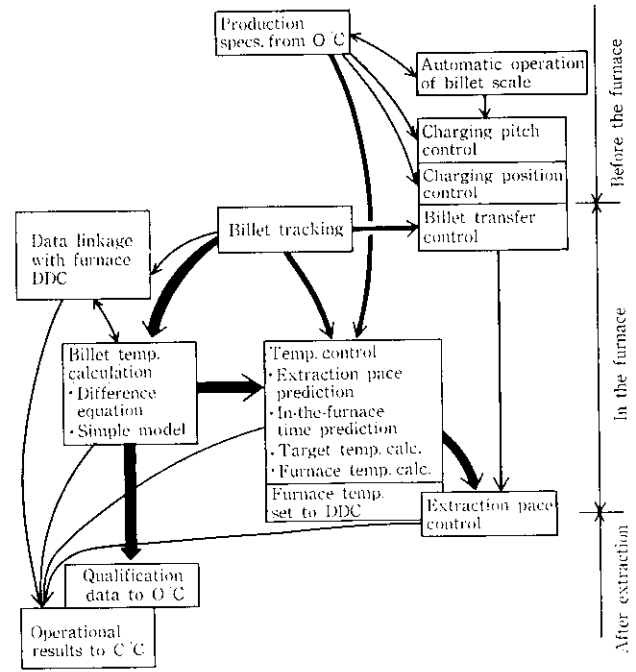


Fig. 9 Relations among the FCC functions

4.3 加熱炉回りの制御

計測制御システムの加熱炉回りの制御機能は次のとおりである。

- (1) 加熱炉入測テーブルから加熱炉抽出炉床までのビレットの自動搬送
- (2) 加熱炉の自動燃焼制御
- (3) 加熱炉内ビレットの実績温度計算と温度制御
- (4) ビレットの抽出ピッチ制御 (ミルペーシング)

上記のうち (2) は計装 DDC がつかさどり、他の機能は P/C によって実行される。後者は FCC (Furnace computer control) として、詳細には Fig. 9 に示したような機能で構成されている。以下に FCC の主要な機能について説明する。

4.3.1 ビレット温度実績計算

棒鋼線材製品は加熱炉からの抽出温度だけでなく、装入から抽出までの、ビレット各部の昇温パターン自体が品質を大きく左右する。したがって、この温度管理のためには、ビレット各部の温度を精度よく知ることが必要である。本システムではビレットを Fig. 10 のようにメッシュ分割し、3次元の熱伝導差分方程式をオンラインで一定のタイミングごとに、全ビレットについて解くことにより、温度実績値を得ている。ビレット表面温度の計算値と実績値との誤差は、加熱帯で ±40°C 程度、抽出温度で ±20°C 程度である (Fig. 11)。Fig. 9 の中の温度制御機能はこの実績温度に基づいて必要な炉温を計算し、計装 DDC に対してその値を設定することにより、所定のビレット加熱パターンを得る。また実績計算温度は、加熱炉の天井に設置されたビレット表面温度計の出力と比較され、チェックされている。

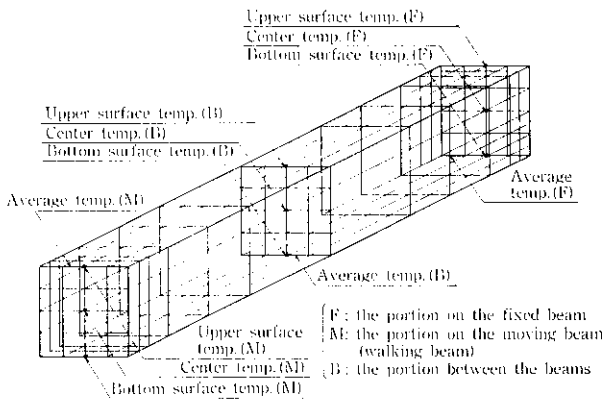


Fig. 10 Division of a billet and the points of temperature calculation

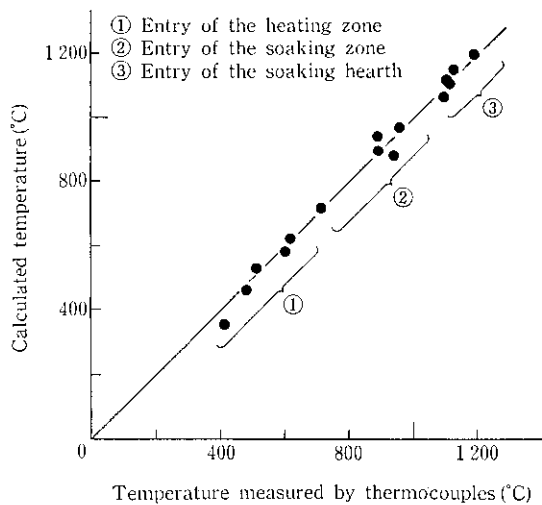


Fig. 11 Comparison between calculated and measured billet surface temperature

4.3.2 抽出ピッチ制御

棒鋼工場では直棒、バーインコイルおよび線材の3種類の製品がそれぞれ異なった処理を受けて出荷される。また、同種の製品でも、仕様により1本のビレットの処理時間は種々異なる。これらの条件と加熱炉の加熱能力とのバランスを調整して、生産能率が最大になるように、加熱炉の抽出時間間隔を決めるのが抽出ピッチ制御である。抽出ピッチは製品品種によって、材料間の時間 (Bar to bar pitch) が問題となる場合、前材の先端から次材の先端までの時

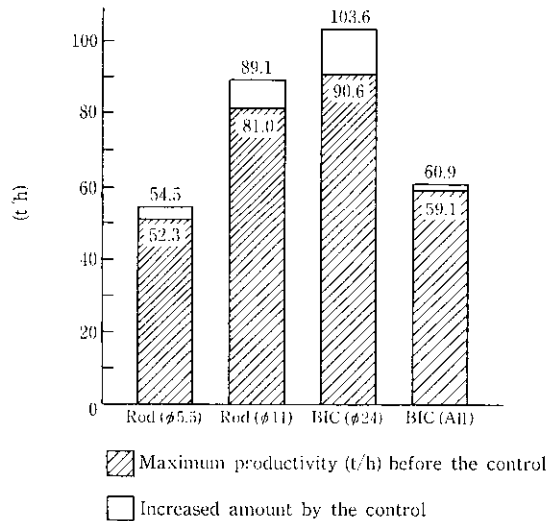


Fig. 12 Increase in tonnage per hour by extraction pace control

間 (On pitch) が問題となる場合、および2本前の材料の尾端から当該材の先端までの時間 (Set up pitch) が問題となる場合があり、これらを製品品種ごとに最適値となるように P/C にて制御する。この機能には、圧延以下の工程の処理能力がネックになる場合と、加熱炉の加熱能力がネックとなる場合とがあるが、いずれも前の材料の実績処理時間に基づいて予測値を修正してゆく学習機能や修正機能を持ち、実際の操業に適合させやすいものとなっている。Fig. 12 に本機能を試用した時の圧延能率の向上の例を示した。なお、抽出は計測制御システムからはタイミングが出力されるのみで、抽出ラムの操作自体は現在は手動である。

4.4 圧延設備の自動運転

計測制御システムは上位の O/C から送られてくる製造仕様と操業条件に基づいて、各設備に対して自動設定を行う。主な設定項目は Table 1 に示されたとおりである。いずれの項目も材料の進行に同期して、必要なタイミングに自動的に設定されるが、実際の設備を駆動し、制御するのは主として電気設備 DDC である。前述の加熱炉からの抽出ピッチ制御は、これらの設備の設定替えに要する時間を考慮して次材の抽出タイミングを決定する。ステルモアに対する設定は10分割されたゾーンごとに行うことが可能であり、ロット間での設定変更の場合も間隔を大きく空ける必要がない。この機能のためのステルモア上のトラッキングは、材料検出器とステルモア各ゾーンの速度のソフト的加算とによって行われている。

4.5 線材冷却制御

線材の水冷および空冷による冷却温度制御は P/C および Fig. 4 の計装 DDC によって行われる。その機能概要を Fig. 13 に示す。線材ブロックミル入側の2ゾーンの水冷帯では、ミル入側温度計によるフィードバック制御と棒鋼ミル 18 スタンド出側温度計によるフィードフォワードの併用、ブロックミル出側の4ゾーンの水冷帯では、レイニングヘッド下の巻取温度計によるフィードバック制御を行っている。ステルモアコンベア上では、3点の温度測定と20点の風圧測定とが行われている。風圧測定は10ゾーンのステルモア各ゾーンのそれぞれセンタ部とエッジ部である。風圧制御は P/C の DDC 機能で行っており、±7 mm H₂O の精度で制御されている。

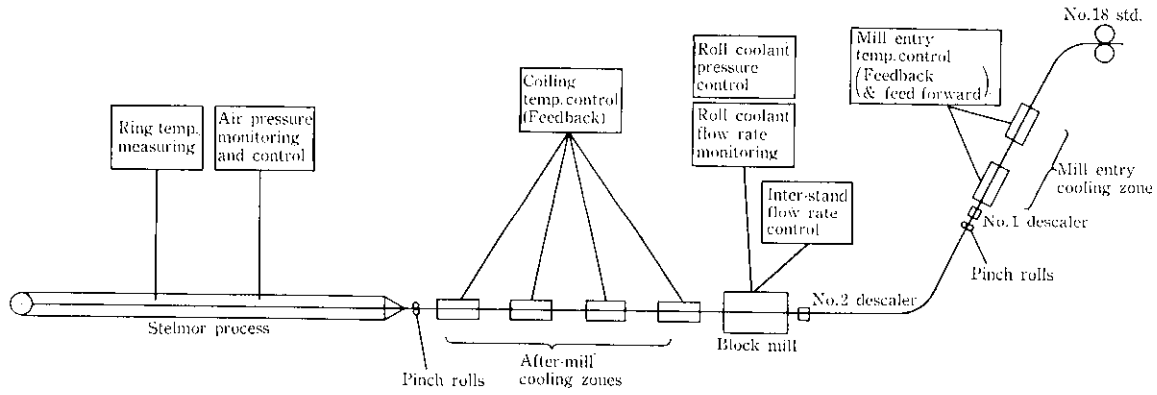


Fig. 13 Functions of the rod cooling temperature control system

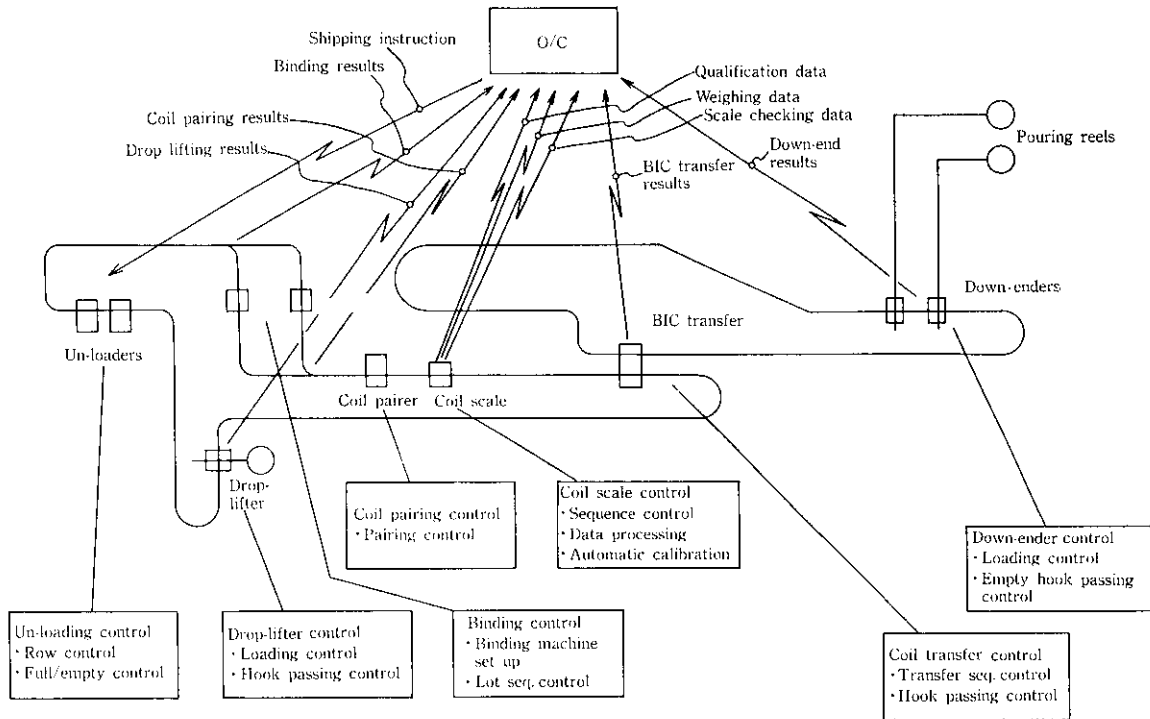


Fig. 14 Finishing line facilities for rods and bars in coil

4.6 コイル精整ラインの自動運転

Fig. 14 に線材棒鋼工場のコイル精整ラインの概略を示す。計測制御システムは O/C とコイルの情報を受受しながら、コイルコンベア駆動用の DDC に運転指示を出力し、コイルの積み込みからアンローダでの積み降ろしまでの自動運転をつかさどる。精整ラインには、搬送設備のほか、コイル秤量機、結束機、メタルタグ打刻機などがあり、多くは P/C と信号を受受して、精整ラインの自動運転機能の一部をそれぞれが担っている。O/C, P/C, DDC のこの機能における分担は次のとおりである。

(1) O/C

P/C からの情報に基づいてコイルのトラッキングを行い、P/C の制御に必要な情報を要所で P/C に与える。物理的なトラッキングのメッシュは P/C より粗いが、情報のうえでは最も正確なトラッキングが確保できるように構成されている。

(2) P/C

DDC からのトラッキング信号を受けて全ラインのコイルおよ

びフックのトラッキングを行う。積み込み、移載などの各作業ステーションにフックが到着するたびに DDC から作業指示要求が来るので、これに対して作業指示を出力する。通過したライン No., コイルの秤量実績などの実績情報は作業完了のつど O/C に対して送信する。

(3) DDC

全ラインのフックをトラッキングしながら、各作業ステーションにフックが着くとそのフックに対する作業要求を P/C に出し、P/C からの作業指示を受けてそれによって機械装置を動作させる。要所に設置されたフック No. リーダは DDC の入力装置となっており、またフックにコイルが乗っているか否かの検知も DDC が行っている。

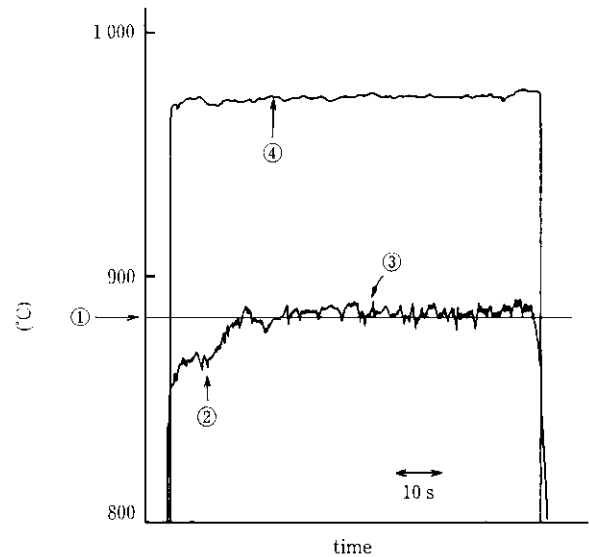
5 稼働の状況

計測制御システムはほぼ計画どおりの稼働状況であり、項目別には次のとおりである。

- (1) 基本機能についてはほとんど問題はないが、P/Cの加熱炉からリフォーミングタブまでのトラッキングに関し、ごくまれにエラーが発生する。トラッキング用センサのチャタリングや材料間隔が極端に短い場合があることなどが原因となっており、それぞれ対策を実施して改善されてきている。
- (2) 実績データによるオンラインでの品質合否の判定は、項目によっては従来人間がチャートを目で見えて判断していた評価より著しく厳しくなることがあった。従来の記録計の応答よりも、P/Cのアナログ入力処理の方が高速であるためである。このため、判定がリーズナブルになるよう、判定のロジックを一部調整した。データの収集機能そのものは順調に稼働しており、操業管理、実験データの収集と処理、プロセスモデルの開発などの場で大きな役割を果たしている。
- (3) 加熱炉の制御機能のうち、ビレット温度実績計算は、おおむね安定して機能しており、加熱に関する品質解析に威力を発揮している。しかし加熱炉の大規模な改修時には実績計算モデルの中の定数の同定をやり直す必要があり、この方法の基準化について検討している。抽出ピッチ制御に関しては、線材、バーインコイルについては Fig. 12 に示したような成果が得られているが、直棒については調整を続けている。炉温の設定の自動化も現在は開発途上である。
- (4) 圧延機、ステルモフなどに対する自動設定機能は順調に稼働しており、省力化、誤操作の減少、圧延能率の向上などに寄与している。
- (5) 線材冷却温度制御では、ほぼ満足すべき制御結果が得られている (Fig. 15) が、さらに安定させるべく P/C および DDC の機能の向上を図っている。
- (6) コイル精整の自動運転ではトラッキングの正確さを増すために DDC と P/C とのデータ授受回数を増やすなどの改造を重ねた結果、安定した操業を続けている。
- (7) システム全体の信頼性は高く、稼働率も良好であるが、P/C の CPU 負荷が 65~70% とこの種のシステムとしては高めである。CRT の画面更新量の削減など、種々の負荷低減策を施しながら、全体の機能の維持に努めている。

6 結 言

本計測制御システムは、水島製鉄所の線材棒鋼製造部門としては



- ① Aimed value of coiling temperature
 ② Starting point of automatic temperature control
 ③ Coiling temperature
 ④ Temperature at the entry of the cooling zones (after the mill)

Fig. 15 Example of the rod coiling temperature

初めての P/C と DDC などとを組合わせたオンラインシステムであったが、運転操作や情報の処理を高度に計算化したため、稼働後直ちに操業に不可欠のシステムとして定着した。加熱炉の計算機制御は抽出温度の安定化と圧延能率の向上をもたらし、圧延設備からコイル精整設備に至る自動運転機能は安定した高速線材圧延を可能とした。

現在、計画機能のうちのいくつかを段階的に開発し、レベルアップを進めているが、これらの作業にも当システムの主要な機能のひとつであるデータ収集機能が大いに役立っており、当システムの有用性の証となっている。

製品品質の向上に対しては、限りない努力を傾けねばならないが、今後とも、機能の拡充とあいまって、本システムがその強力な支えになることを確信している。

参 考 文 献

- 野田昭雄, 金堂秀範, 小西幸一, 小松重之, 福田 実: 「線材棒鋼工場新ブロックミル設備概要と操業」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 1, 38-46
- 石毛 稔, 川西 肇, 野田昭雄, 井野清治, 青木勝男, 青木光生: 「線材

- 棒鋼総合生産管理システムの概要」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 1, 47-53
- 飯田永久, 鳥越英俊, 西島京也, 野田昭雄: 「水島棒線工場のプロコンシステム」, 鉄と鋼, 71 (1985) 5, S383