

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vo2. (1970) No.1

水島製鉄所厚板工場のコンピュータ・システム

Integrated Computer System of Plate Mill at Mizushima Works

大島 真(Makoto Oshima) 平井 信恒(Nobutsune Hirai) 三浦 恒(Hisashi Miura)

要旨：

水島製鉄所厚板工場では昭和 42 年 4 月に稼働していらい順調な操業を続け、高品質の鋼板を大量に生産している。当厚板工場の計算機システムは作業情報管理システムと圧延機の計算機制御システムとで構成される。前者は生産管理システムから受け取った圧延命令を処理し、各運転台にリアルタイムで作業指示を流すとともに、実績収集を行ない、後者は前者より圧延に必要な情報を自動的に受け取り、全圧延ラインを制御する。現在までの稼働実績により、この Integrated Computer System が生産ラインの円滑な操業、要員削減、特に熟練労働者の削減、作業指示の最適化ならびに適応板厚制御による品質、歩止りの向上に著しい効果のあることが実証された。

Synopsis：

Since its commissioning in April 1967, the plate mill at Mizushima Works has successfully been turning out a large quantity of high quality plates, due largely to the advantage of the integrated computer system which consists of an operation control system and a process control system. The operation control system, after processing the rolling schedules sent from the central production control system, sends operational instructions to each pulpit concerned and collects production results in real-time. The process control system controls the entire rolling line, according to the data automatically received from the operation control system. Operating results to date have proved that the integrated computer system contributes remarkably to the smooth operation, the reduction of manpower especially skilled labor, the increase in production yield, the quality improvement by optimized operational instructions and adaptive gage control.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

水島製鉄所厚板工場のコンピュータ・システム

Integrated Computer System of Plate Mill at Mizushima Works

大 島 真* 平 井 信 恒**
 Makoto Oshima Nobutsune Hirai
 三 浦 恒***
 Hisashi Miura

Synopsis:

Since its commissioning in April 1967, the plate mill at Mizushima Works has successfully been turning out a large quantity of high quality plates, due largely to the advantage of the integrated computer system which consists of an operation control system and a process control system. The operation control system, after processing the rolling schedules sent from the central production control system, sends operational instructions to each pulpit concerned and collects production results in real-time. The process control system controls the entire rolling line, according to the data automatically received from the operation control system.

Operating results to date have proved that the integrated computer system contributes remarkably to the smooth operation, the reduction of manpower especially skilled labor, the increase in production yield, the quality improvement by optimized operational instructions and adaptive gage control.

1. 緒 言

昭和42年4月、当水島製鉄所はすでに稼動していた分塊、鋼片、線材工場に加えて、高炉、転炉、厚板工場が完成し、鉄鋼一貫体制を確立した。したがって水島製鉄所で生産される厚板は、水島製鉄所の製品の真価を需要家に問う重要な役割を果たすものであり、品質、コスト、納期、すべての点

で最高水準をいくものでなければならなかった。

さらに、この厚板工場は、水島製鉄所完成時の年間1,000万t生産規模に対応して、年産200万t以上の大量生産プラントとなる予定であり、昭和40年の計画段階において、品質のすぐれた厚板を大量生産するためのレイアウトおよび生産方式の基礎を確立する必要があった。

このため当社荻合工場や千葉製鉄所における長年の経験にもとづいて、厚板工場の機械設備およ

* 水島製鉄所管理部計測課課長

*** 水島製鉄所管理部計測課

** 水島製鉄所第一広延部技術管理掛長

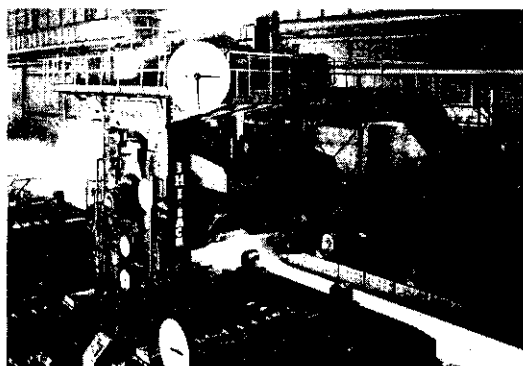


写真 1 仕上圧延機

びそのレイアウトについての検討と平行して、生産管理における情報処理、オペレーションおよびコントロールについて、一貫した検討と計画が行なわれた。

高い品質水準の厚板を大量生産するため、とくに“省力化”と、“素材から製品にいたる円滑な流れの達成”に目標がおかれ、

(1) 生産計画の機械計算化

(2) 厚板工場における生産管理のリアルタイ

表 1 設備概要

設備名	型式	基数	公称能力	その他
連続式加熱炉	ホットスキッド6帯式	2	150 t/h	スラブ寸法 110×1,000×1,900~ 320×2,000×3,200
パッチ炉	上部一方焚上部閉閉式	1	8 t/h	スラブ寸法 厚 80~500 mm 幅 800~2,400 mm 長さ 1,500~4,000 mm
仕上圧延機	4,100 mm 閉頭型 4重逆転式 (主電動機 DC 3,750 kW×2)	1	60万 t/y	ロール寸法 バックアップロール 1,900mmφ×4,000mm ワークロール 1,000mmφ×4,100mm
ホットレベラ	内部水冷 4重クレードル式	1		矯正板厚 6~40mm 矯正板幅 4,150mm
クーリングベッ	複式ウォーキング グリッド式	2		
クロップシャ	前傾ダウンカット式	1		
サイドシャ	対向型ダウンカット式	1		剪断可能寸法 厚 4.5~40 mm 幅 915~3,850 mm 長さ 7,000~32,000 mm
エンドシャ	前傾ダウンカット式	1		剪断可能寸法 厚 40mm max 幅 4,000mm max
パイラ	単式ローラチェン 入側油圧リフト式	2		最大積載重量8t, 120 t
焼準加	ローラハース 無酸化連続式 (加熱方法 レジアントチューブ式)	1	8 t/h	処理可能寸法 厚 6~50 mm 幅最大 4,000 mm 長さ 3,000~28,000 mm
焼入加	ローラハース 無酸化連続式	1	6,000t/month	処理可能寸法 厚 6~100 mm 幅 900~4,000 mm 長さ 1,800~25,000 mm

ム化

(3) 圧延機のコンピュータ・コントロール

の3つの主題が取り上げられた。

これらのシステムは、昭和42年12月に第1ステップを完成し、生産管理リアルタイム・システムの基礎を固めることが出来た。

その後も順次レベルアップと機能の拡張を行ないながら、厚板生産管理のトータルシステムへと発展しつつあるが、ここでは厚板工場における作業管理とプロセス・コントロールを目的とした2つのサブシステムよりなる計算機システムについて、機能の概要と開発の成果について述べる。

2. 設備概要

当厚板工場の設備概要を表1に示す。建設に当ってはバックアップロール径1,900 mmの世界最大級の圧延機を始め、ホットスキッドを具備する連続式加熱炉、製品に疵をつけないウォーキンググリッド式のクーリングベッ、ツォンサイドシアなど最新鋭の設備を採用し、さらに運転の自動化、作業情報の処理、伝送の自動化を導入することにより、生産性、品質、歩どまりの向上を計っている。

また、生産量の大幅な増大に対処するため、現在粗圧延機、3号加熱炉、第2精整ラインの建設が進められている。

3. コンピュータ・システムの構成

図1は、水島製鉄所における厚板の受注より製造、出荷に至る計算機システムの構成を示したものである。本社(神戸)のUNIVAC-494を中心とした営業情報システムは、東京、名古屋、広島

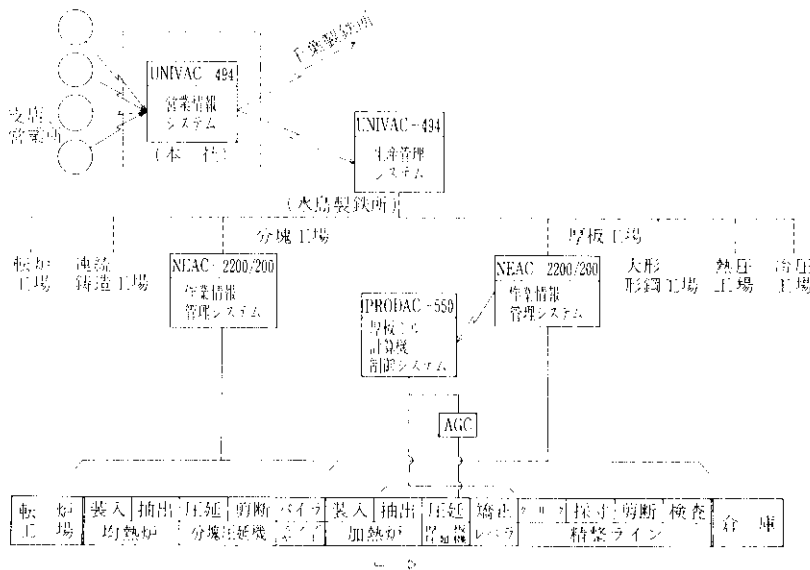


図1 厚板工場の計算機システム

など、各営業所および商社からの受注オーダーに関する情報をオンラインで迅速に集め、オーダー処理を行ない、千葉または水島製鉄所へ製作依頼を伝送する。

水島製鉄所にも生産管理を主業務とする UNIVAC-494 が設置されており、ここで日程計画が組まれ、素材計算、製鋼、分塊命令、厚板、形鋼、ストリップなどの生産命令がアウトプットされる。厚板工場など生産部門でも、この命令にもとづいて品質の保証、日程計画にもとづいた円滑な生産を行ない、諸管理情報を正確かつ迅速に収集し、生産管理部門へフィードバックするための情報処理機能が必要である。このために、厚板工場内に次の2つのリアルタイム・コンピュータ・システムが設置され、両者はオンラインで階層的に結合されている。

- (1) 作業指示、実績収集を主体とした作業管理情報システム
- (2) 厚板圧延プロセスの制御を行なう計算機制御システム

作業管理情報システムの第一の機能は、作業情報伝達および収集のオンライン・リアルタイム化である。

現品と情報の対応が自動的にとられるリアルタイム方式はいわば情報シーケンスの自動化であり、厚板工場のようにサイクルが短かくかつ多段

階的な工程に対してはとくに正確、円滑なオペレーションを行なうために有効な手段である。

作業情報管理システムは、NEAC-2200/200を中央処理装置としたシステムで、64チャンネルの多重通信制御装置を介して、ブラウン管表示装置 (CRT)、50B プリンタ、カードパンチ、表示盤、インプット盤、秤量機などの端末機器と結合され、これらの端末機器は、後述するようにスラ

ブヤード、加熱炉、圧延ライン、精整ライン、情報管制室、厚板分室などに配置されている。

さらにこのシステムは、プロセス・コンピュータとデータ・リンクを介して結合されている。圧延機制御のための素材と製品の仕様はすべて自動的にプロセス・コンピュータにインプットされるので、従来の圧延機のコンピュータ・コントロールにおける煩雑なパンチカードの選択、インプット作業は不要となっている。

仕上圧延機には、AGC (Automatic Gauge Control) システムが設置され、鋼板の厚みを均一に制御する。

4. 生産管理システム・リアルタイム化の意義

リアルタイム・コンピュータ・システムは、諸工業におけるプロセス・コントロールに始まり、最近では座席予約、パンキング、メッセージ交換などのシステムにみられるように、データ通信との結合により広い地域にまたがる大規模なシステムに発展している。

鉄鋼界でも、昭和39年頃、すでに英国の RTB Spencer¹⁾ 工場や Park Gate Iron & Steel²⁾ 会社などでリアルタイムの生産管理システムが稼働していた。

一方リアルタイム・システムは、多額の費用

表 2 リアルタイム・システムの機能

おもな機能	機 能 レ ベ ル 発 展 の 段 階	効 果
作業指示	第1レベル 上位システムよりの指示をリアルタイムに伝送表示	正確な作業
	第2レベル 固々の作業に最も適した内容に変換して指示	熟練者不要
	第3レベル 実績に基づいた最適化の処理を行なって指示	作業性改善による能率向上
実績収集	第1レベル マニュアルのインプット盤より、実績やトラッキング情報をインプットして収集	省力
	第2レベル 計測装置による自動データ収集	工程状況把握が迅速で、納期の確保が容易となる
	第3レベル 自動トラッキングおよび認識の自動化	
機器の制御	第1レベル オペレータへ目標値、セット値を指示する	品質の向上
	第2レベル マイナーループ制御装置へのプリセット	省力
	第3レベル 閉ループ、フィードバック、フィードフォワード制御	
最適化	第1レベル 実績データによる作業指示の修正	
	第2レベル 実績データによる工程の最適スケジューリング	歩どまり、生産性の向上
	第3レベル 受注・計画・製造・出荷にまたがる最適化	
総合化	第1レベル 単一プロセスの生産管理	大量生産が可能
	第2レベル 素材より製品に至る一連の工程における生産管理	省力
	第3レベル 受注・製造・出荷・トータルシステム	納期の確保

と、長期にわたって多数の開発要員を必要とし、また信頼性に対する危惧も明確ではなかったため、システムの評価はきわめて難しいものであった。しかしながらリアルタイム・システムは次の3つの機能によって鉄鋼のような大量生産工程にも大きなメリットをもたらすものである。

(1) ダイナミックな応答性

管理機能の根底であるフィードバック機能を、管理対象の必要とする適時性をもって可能とする。

(2) 大量一括情報処理

大量生産プラントに応じられる大量情報処理システムを可能にする。

(3) 総合化

受注オーダー処理・生産計画および命令・生産・出荷の諸機能の情報処理のトータル化を可能とする。

厚板工場においてリアルタイム・システムのもつこれらの機能が、具体的にどのようなかたちで、また技術レベルで適用可能であり、またどのような効果をもたらすかを表2に示す。ここでレベルというのはこれらの機能が業務解析、システムの設計、自動化技術などにより段階的に進んできた

レベルを意味する。

水島製鉄所におけるリアルタイム・システムは第一レベルより出発し、すでに2年の稼働実績をもつに至り、その効果は十分確認され、現在では確信をもって順次その機能のレベルアップならびに総合化を進めている。近い将来において、リアルタイム・システムの機能を最大限に生かしたシステムとして完成されるであろう。

5. 作業管理情報システム

5.1 構成機器

作業管理用コンピュータ・システムを構成している機器の概要は次のとおりである。

中央処理装置 NEAC-2200/200

主記憶装置 65k字

周辺装置

磁気ドラム 327k字 2台

多重通信制御装置 64チャンネル

ラインプリンタ 2台

紙テープリーダー 1台

紙テープパンチ 2台

磁気テープ装置 4台

端末装置

CRT表示装置 6台

プリンタ 14台

カードパンチ 2台

インプット盤 3面

表示盤 5面

図2にこれらの機器の配置を示す。

5.2 システムの機能

作業管理情報システムの機能を、材料の流れに沿って概略説明する。

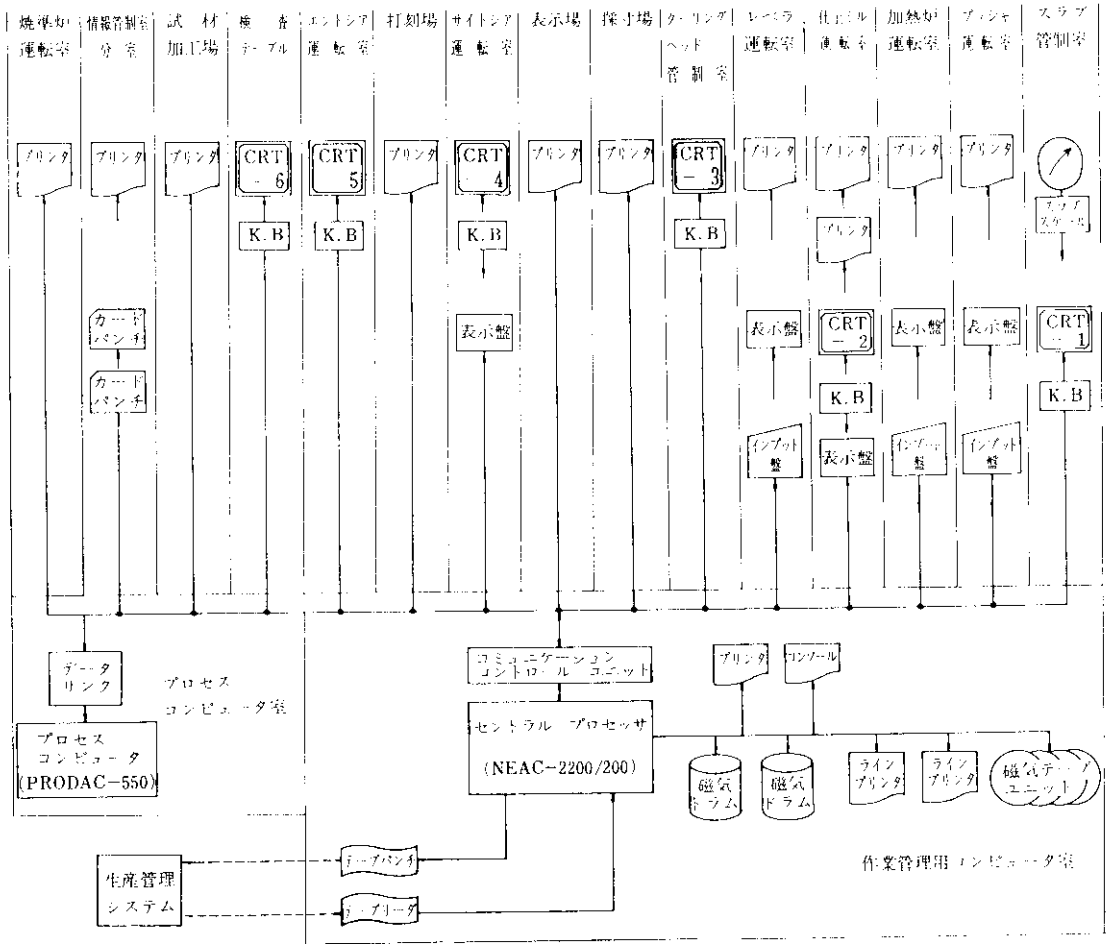


図 2 厚板工場の作業情報管理システム

5・2・1 加熱炉装入

厚板素材のスラブは受注した厚板の仕様に合わせて製造され、分塊工場で手入された後厚板スラブヤードに山積される。個々のスラブについて厚板工場諸工程における製作仕様が細かく定められており、これらのスラブ情報は、加熱炉装入に先立って、圧延命令情報として磁気ドラムの中にファイルされている。

仕上圧延機で圧延されるまでは、スラブの個別番号としてロット No. および装入順位がつけられ、現品識別および情報処理のキー No. として用いられる。

スラブは装入順にロット単位で山積みされており、加熱炉に装入するため、クレーンによってスラブ・レシーピング・テーブルにのせられる。

作業管理は、まずスラブ管制室(写真2)に置かれた、計算機端末の一つであるブラウン管表示装置(CRT-1)のキーボードから装入するスラブのロットNo.をインプットすることによって



写真 2 スラブ管制室におけるオペレーション

始められる。CRT-1 上には、そのロットの一番初めに装入される装入順01のスラブ情報が表示される。スラブが秤量機で秤量され、コンピュータに重量値が読み込まれると、コンピュータは下記のいくつかの処理を行なう。

- (1) スラブの実質重量とファイル内の計算重量値とを比較して、CRT-1 に表示されているものと現物が一致しているかどうかチェックする。
- (2) 厚板工場内の各工程における諸作業仕様、たとえば目標仕上厚み、仕上温度、圧延方向、輻出し幅、などを作業標準テーブルからの検索や計算によって求めマスタ・ファイルに追記する。

加熱炉に装入するため、CRT-1 から装入行列のインプットを行なうと、諸作業指示情報が加熱炉ブッシャ、加熱炉、仕上圧延機の各運転室にあるプリンタにアウトプットされるとともにプロセス・コンピュータに、データ・リンクを経由して圧延プロセスの制御に必要なデータが伝送される。

5.2.2 圧 延

スラブの抽出に際し、加熱炉管制室のインプット盤より抽出すべき炉列をコンピュータにインプットすると、コンピュータは加熱炉管制室の表示盤に抽出されるスラブ情報を表示するとともにプロセス・コンピュータにこのスラブの番号を伝送する。スラブ・エキストラクタによって、抽出待ちスラブの先頭スラブが抽出され、“スタート”のボタンが押されると、プロセス・コンピュータは自動運転を開始する。(写真3)

まずHMD (Hot Metal Detector) でスラブ位置を検出し、加熱炉デリバリー・テーブルを順次駆動してスラブをガスケーリング・デバイスに送り込む。ここでスプレーをかけスケールを落した後、スラブをトランスファ・カーにのせる。トランスファ・カー、アプローチ・テーブルを経て、スラブがミル前面テーブルに達すると、プロセス・コンピュータは圧延スケジュールを計算し圧延機を制御する。

圧延が終了すると、鋼板はランアウト・テーブ

ルに送り出され、X線厚み計で板厚を測定後、レベラに送られる。レベラにかけられた後、オペレータが、“レベラ完了” ボタンを押すと、プロセス・コンピュータはロギングデータをアウトプットし、その板についての自動運転を完了する。

この一連の圧延工程において、オペレータは輻出し圧延前後のスラブの転回操作のみを行なう。

この間ライン・コンピュータは、スラブの流れに同期して作業指示情報を仕上ミル運転室の CRT、表示盤およびレベラ運転室の表示盤に表示していくとともに、仕上ミルでの圧延完了信号によって、圧延された板の板番を発番する。この板番は以後の工程のキー No. として使用される。



写真3 仕上圧延機運転室

5.2.3 精 整

レベラを通過した鋼板が、クーリングベッド入口に送られてくると、オペレータはクーリングベッド運転室の CRT-3 に表示されているプレート情報にもとづいて、送られてきた鋼板をクーリングベッドで冷却するか、ガス切り場に送るかを決定し、CRT キーボードよりインプットする。それにもとづいてコンピュータは工程カードのアウトプットならびに後続工程の採寸、第1形状検査、打刻などの作業指示情報を各作業場のプリンタにプリントアウトする。作業員はこれら帳票の内容

にしたがって採寸、吹付などの作業を行なう。

次に鋼板は、吹付場で規格、寸法、需要家名などがマーキングされると、クロップ・シャーを経て、サイドシャーに送られる。サイドシャー運転室のCRT-4には、送られてくる鋼板に同期してその鋼板に対する作業指示が表示され、耳の切落しが行なわれる。

ついで、打刻場で刻印された鋼板が、エンドシャーに送られてくると、ここにあるCRT-5の作業指示情報にしたがって、鋼板の長さ方向の切断が行なわれ、注文に合った寸法の鋼板となる。

これらの精整工程は一般に連続したローラーテーブルからなるライン上で行われるが、製作仕様や検査結果によってはこのラインの途中からおろされ、オフラインの諸工程を経て製品となる場合がある。

このような場合には、鋼板がおろされる工程のCRTキーボードから行先情報をインプットすれば、この鋼板の情報は以後のオンライン工程の情報待ち列から除かれる。

エンドシャーを通過した鋼板は、最終工程である第2形状検査に送られる。ここでは、厚み、幅、長さ、重量の測定、表面検査、合格または不合格の判定が行なわれる。これらの結果をCRT-6よりコンピュータにインプットすると、コンピュータはこの結果にもとづいて、工程管理室に合格速報としてプリントアウトするとともに、製品カードなどをパンチアウトする。

このほか、コンピュータは、加熱炉、圧延機、剪断機などの処理トン数、作業能率、諸原単位、情報の収集、累積を行ない、班ごと、1日ごとの集計を日報としてプリントアウトする。

5.3 リアルタイム・システムの信頼性向上に対する考慮

リアルタイム・システムの開発に関して、最も大きな問題の一つは信頼性についてであった。メリットの大きく見込まれる機能を数多くもったシステムであればそれだけシステムダウンによって蒙る損失は大きい。したがって維持されなければならない信頼性の下限は、システム設計時に設定されるべき性格のものである。

このシステムでは、中央処理装置、周辺機器、通信制御部で構成されるシステム主要機器の稼働率99.5%以上を前提として、システムのデグレード稼働、バックアップ方式などを設計し、機能を満足に発揮できる状態の割合、すなわち総合稼働率を99%以上確保することを目標とした。総合稼働率は構成機器の信頼性と、保守技術およびその体制によって基本的に影響されるばかりでなく、さらにシステム設計の良否によっても大きく左右される。以下にこのシステムにおける信頼性向上対策の二、三について述べる。

5.3.1 端末機器についての考慮

マン・マシンインタフェイスとしての端末機器の適否は、システム信頼性に大きな影響を与える。操作が容易なこと、誤りのチャンスを少なくすることなどが、端末機器に要求される基本的な性能である。

本システムでは、CRTディスプレイを作業指示およびオペレータのインプット・マシンとして積極的に採用した。

計画段階では、CRTの利用はまだ生産現場には普及しておらず、また機械の運転とCRTの操作を1で行なうことや、高温、塵埃の多い環境で使用する場合の信頼性などはまだ確認されていなかった。

しかしながら、表示フォーマットの単純化、インプットの際のフォーマット作成の自動化、キーボード配列の単純化を行なった結果、十分満足出来る性能を発揮している。実稼働後、CRTを使用しているオペレータ約30人に対して、表示の見易さ、キーボードの使い易さ、命令書方式との比較、応答性などに関して調査を行なったが、いずれも90%以上のオペレータから“良い”との回答を得ている。

このシステムにおいては約20台近くのタイプライタを使用している。タイプライタについては、故障率、耐環境性、負荷、誤字率、寿命など多くの問題の検討を行なった。

精整ラインでは、作業員がたとえば採寸などの作業をしながら、アウトプット帳票の取扱いが出来なければならないため、タイプライタはローラ

ー・テーブルに沿った運転室外の作業現場に配置しなければならなかった。このため、タイプライタは防塵ボックスの中に入れ、ボックス内を冷却空気で常時エアージを行ない、帳票のみボックスの外に出している。

またタイプライタなどへの伝送に関しては、すべて受信側でパリティチェックを行ない、誤りは自動再送で訂正する方式を採用している。

この結果、約7,800本のスラブ圧延について、情報のエラーチェックを行なった結果、タイプライタの故障率は、1台当り0.8件/月に維持され、誤字率は、タイプライタの機械的な誤動作に起因するものも含めて、 10^{-5} 字以下であることを確認している。

5.3.2 バックアップ方式について

CRT、タイプライタなどの端末機器は予備をもち、故障発生時に入れ替える方式をとっている。この際、交換完了までの約30分間の情報は、ドラム内のアウトプット・バッファに格納し、予備に切替後アウトプットさせる。このほか予備チャンネル、別の端末機器によるインプットの代行などを準備している。

作業指示情報は現品の先行工程および作業仕様が確定した時点でプリントアウトされ、これは現品到着より2～4時間先行しているので、短時間のシステム・ダウンに対してはこの帳票で作業を行なっている。

これ以上長時間にわたるシステム・ダウンの場合には、中央処理装置およびドラムが使用可能であれば、パッチ的に作業指示書を作成し配布する。中央処理装置の故障回復までに長時間かかることが予想される時は、上位システムの、UNIVAC-494で圧延命令書を作成し、各作業場に配布する。

5.3.3 再スタートのための考慮

修理完了後、正規のシステム機能が短時間に回復出来るようステイタス・ストア (status store) の機能を付している。ステイタス・ストアの機能というのはコア上にある、Queue Table、ファイル・インデックス・テーブルなどの材料仕掛状況

を表わすテーブルを一定周期でドラムに格納することである。したがって故障回復時にはドラムのステイタスをコアにもどすことによってシステム・ダウンが生じた直前の状態が自動的に再現できるため、短時間のダウンの修復時や、週休後の再スタートはきわめて容易に行なえる。休日にドラムの点検を行なう時は、ドラムの内容を磁気テープに写し保存している。

以上述べた信頼性向上対策により、シングルシステムではあるが、稼動後現在まで約2年間を通算して総合稼動率は98.4%であり、ほぼ当初設定した稼動率の維持が可能となっている。

このシステムは、現在より高度の機能をもたせ、対象工程も大幅に拡大したトータル化の計画を進めているが、これらの実績と稼動経験によって、これ以上大きなシステムにあっては、シングル・システムにおけるダウン時の損失とシステム機器の保守計画の困難さの二つの面から、二重化システムが必要であるとの結論を得ている。

6. 厚板ミルのコンピュータ・コントロール

6.1 構成機器

厚板ミル計算機制御システムの構成図を図3に示す。ここでは計算機本体と、システム構成機器について概要を述べる。

6.1.1 計算機本体と周辺装置

主演算制御装置	PRODAC-550	
主記憶装置	容量	16k語
	サイクルタイム	2μs
	1語	18ビット+パリティ
補助記憶装置		65k語
入出力制御装置	割込入力	96点
	アナログ入力	56点
	接点入力	300点
	接点出力	560点
周辺機器	タイプライタ	2台
	紙テープパンチ	1台
	紙テープリーダー	1台
プログラマーズ・コンソール	入出力タイプライタ	1台

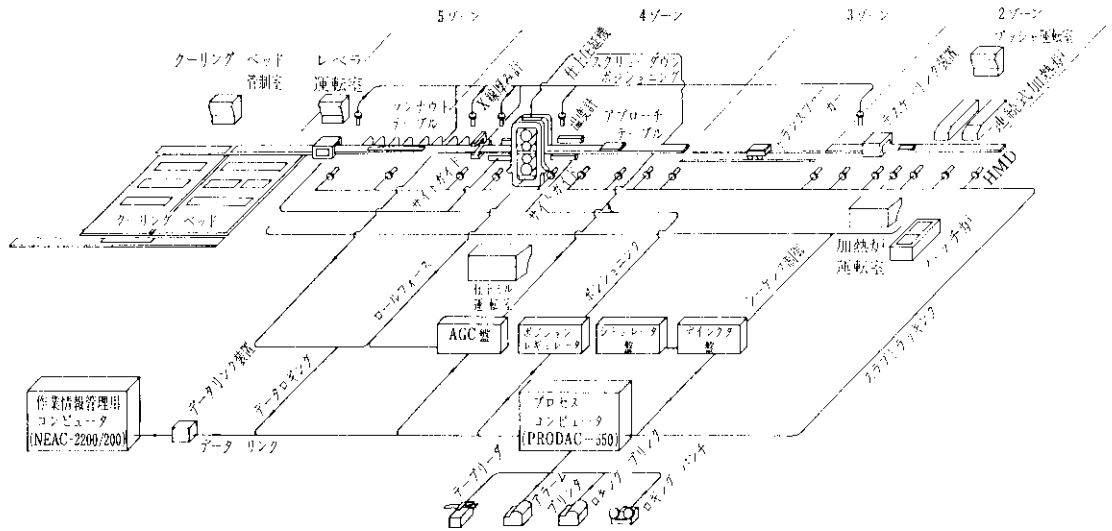


図 3 厚板ミルの計算機制御システム構成図

紙テープパンチ	1台	仕上ミルスクリュードダウン:	$\pm 50 \mu$
紙テープリーダー	1台	前後面サイドガイド:	$\pm 10 \text{ mm}$
		レベラスクリュードダウン	$\pm 1 \text{ mm}$

6.1.2 サブシステム機器

計算機制御システムを構成するサブシステム機器のうち、特徴あるものについて概要を述べる。

(1) ポジション・レギュレータ

仕上圧延機のスクリュードダウン、前後面サイドガイド、レベラのスクリュードダウンにデジタル方式のポジションレギュレータを採用している。ポジションレギュレータは検出部、制御部ともにデジタル方式を採用したため、高精度の設定が可能であり、またプロセスコンピュータへの開度フィードバックも精度よく行なえる。

厚板ミルではスクリュードダウン・ポジションレギュレータの設定速度と精度は、直接圧延能率と板厚精度に影響をおよぼすものであるが、能率向上をはかるために設定速度を上げると、精度が落ちるという問題がある。しかし、当ミルはロール開度設定用モータとは別に、減速比の大きいAGC用圧下モータを装備したので、AGC用圧下モータによる開度設定も可能とし、圧下量の大きい最初のパスはロール開度設定用モータで、また精度の要求される最終パス付近はAGC用圧下モータで設定する方式とした。設定精度は

を得ている。

(2) ディレクタ盤とシミュレータ盤

コンピュータが自動シーケンス制御を行なう場合、制御出力はすべてディレクタ盤を経由して外部プロセスに接続されている。ディレクタ盤では各機器ごとに種々のインターロックを取り、これらの条件が満足された時に計算機に permissive 信号が入り、コンピュータはこの信号を検出して制御出力をアウトプットする。またいったんアウトプットされた出力信号も、手動介入の際には permissive 信号が切れ、ディレクタ盤で計算機出力がカットされるようになっていて、自動運転の安全性、信頼性を高めるとともに、オペレータの手動介入を容易なものにしている。

ディレクタ盤は写真4に示すシミュレータ盤とも接続されていて、テストを容易にしている。すなわち、コンピュータ室のシミュレータ盤の切替スイッチを“運転”から“試験”に切り替えると、プロセスへの制御出力はディレクタ盤でカットされ、シミュレータ盤上のプロセスに対応する表示ランプのみを点灯する。またトラッキング信号はシミュレータ盤上の押しボタンよりインプット可

能なように設計されていて、当システムの大部分のプログラムはこのシミュレータ盤を利用して完全なデバッグが可能であり、デバッグ時間の短縮とオンラインテストの円滑化に貢献している。

図4にミルのメインモータを例にディレクタ盤とシミュレータ盤の基本シーケンスを図示する。

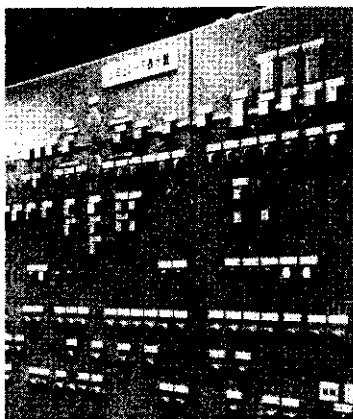


写真4 シミュレータパネル

(3) X線厚み計

仕上ミル出側には測定範囲50mmのX線厚み計を設置している。計算機は厚み計トランスレータを経由して厚みと成分補正の設定を行なうとも

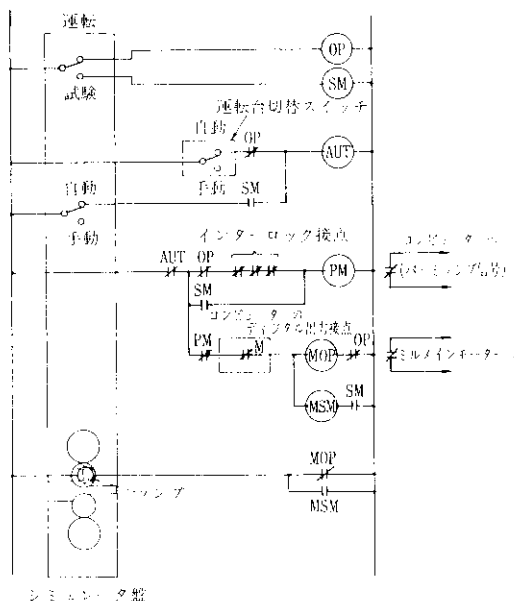


図4 ディレクタ盤、シミュレータ盤の基本シーケンス

に、厚み計の設定値を読み取るようになっている。稼動当初において、X線厚み計はドリフトや板厚による偏差感度の誤差に問題を生じたが、板厚による偏差感度の補償回路を付加するなどして逐次問題を解決し、現在では測定範囲の全域にわたり、精度を0.1mm以内に維持できるようになった。

(4) 自動板厚制御装置 (AGC)

加熱炉でスラブを加熱する際に、スキッドに当たる部分は他の部分に比較して温度が低く、圧延時の塑性変形抗抵が大きくなるため、板厚が厚くなる。したがってこのような部分の板厚が厚くなるのを防ぎ、全長にわたって厚みを均一に制御することを目的としたロックオン方式のAGCを採用した。このAGCの基本ブロック図を図5に示す。

この圧延機ではロール開度設定用モータとは別にAGC用圧下モータを装備し、減速機を経由してスクリュウダウンを駆動し、強力な圧下トルクを得るとともに、SCRのスピードレギュレータによりすぐれた応答特性が得られている。この結果、精度、信頼性いずれも満足し、順調な稼動を続けている。

6-2 厚板ミル計算機制御の機能

厚板ミルの計算機制御システムは図3に示すように、加熱炉出側からレベラまでを制御範囲とし、その間の機器の自動運転による省力化と能率の向上、ならびに製品の板厚、板幅、仕上温度を所定の値に制御することによって、品質、歩どまりの向上をはかろうとするものである。ここでは厚板ミル計算機制御システムの機能について簡単

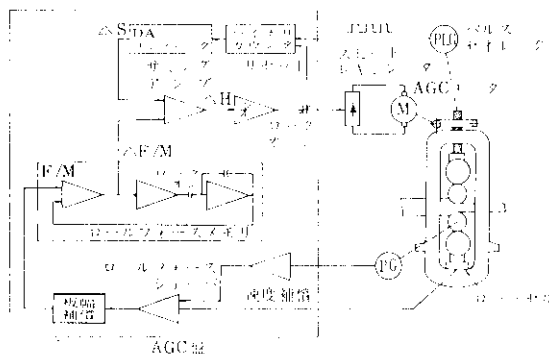


図5 圧延機AGCブロック図

に説明する。

6.2.1 スラブラッキングとシーケンス制御

圧延ラインをリアルタイムで制御するためには、まずライン上のスラブ位置を常時把握する必要がある。コンピュータはライン上に設置したHMD, ロードリレーおよび2, 3の押ボタン信号にもとづき、スラブラッキングを行ない、プロセスに対し適切な指令を与える。

シーケンス制御の区分のために、圧延ラインを次の5つのゾーンに分割した。

- 1 ゾーン：加熱炉内
- 2 ゾーン：加熱炉出側テーブルからデスケーリングテーブルまで
- 3 ゾーン：トランスファーカー領域（将来の粗ミル領域）
- 4 ゾーン：仕上ミル領域
- 5 ゾーン：レベラ領域

現在計算機は2, 4, 5ゾーンについて自動運転を行なっているが、自動、手動の切り替えは各ゾーンごとに可能であり、また4ゾーンについては圧延機のロール開度のみと自動設定する半自動運転が可能である。

6.2.2 圧下スケジュール計算と適応制御

圧下スケジュール計算の基本的なフローチャートを図6に示す³⁾。各種制限条件を満足する最大圧下量で圧延を続けた場合の最小パス回数を求め、次いで終りの数パスでは板形状を損わない圧延圧力になるよう考慮しながら、目標の厚さに一致するよう各パスの圧下量を調整する。この場合の制限条件としては次のものがあげられる。

- (1) 最大圧下量
- (2) 最大圧下率
- (3) ミルモータの許容最大トルク
- (4) ミルに許容される最大圧延圧力
- (5) 板形状を損なわないための最適圧延圧力スケジュール計算が終了すると、予測圧延圧力

にもとづきミルの伸びを考慮してロール開度を設定し圧延に入るが、各パス終了後は圧延中に採集した実測圧延圧力、圧延トルクと予測値との比較を行ない、素材の硬さや温度の違いから生ずる誤差をなくすよう予測モデルを修正する。また圧延の途中で次パスがオーバーロードになったり、パス回数を減らせる可能性がある場合は再度スケジュール計算を行ない次パスの設定に進む⁴⁾。

1本のスラブの圧延が終了すると、X線厚み計

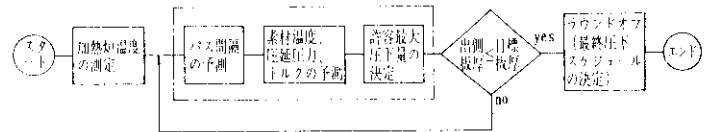


図6 圧下スケジュール計算の基本フローネット

で板厚を測定し、ゲージメータ式で計算した板厚との比較を行ない、ロール膨張や摩耗に起因するゲージメータ式の誤差を修正する。このようにパスからパスへの予測モデルの修正および、スラブからスラブへのゲージメータ式の修正をリアルタイムで行なうことによって正確な仕上板厚が得られる。

6.2.3 データロギング

圧延実績の把握とプロセスモデル解析のために、計算機は圧延中に各種のデータを採集する。仕上ミル運転台にロギング用タイプライタが1台設置され、通常は圧延実績ロギングを、また必要に応じて解析用ロギングデータがプリントされる。計算機室には紙テープパンチが1台設置されていて、これに解析用データがパンチアウトされ、この紙テープをオフライン計算機にかけてプロセスモデルの解析を行なっている。表2はログシートの例である。

コンピュータは手動運転中にもデータ採集を行なうとともに、採集したデータをプロセス・モデルに入れて予測圧延圧力、圧延トルク、素材温度を計算し、実測データと比較した結果をログシートにプリントする。このようなモデル監視機能を持っているために、手動運転中でもプロセス・モデルの適合性がきわめて容易にチェックできるよ

うになっている。

6.2.4 テータ・リンク

このシステムの特徴の1つに自動データ伝送を挙げることができる。プロセス・コンピュータは作業管理用コンピュータより、データ・リンク装置を経由して、プロセス・コントロールに必要な情報を自動的に受取るので、従来のパンチカードによるインプットなどの煩雑な操作は一切不要となり、計算機制御システムの内滑な運転に貢献し

だけである。

(4) メッセージD

任意のタイミングで受け取ることができるもので、メッセージAの修正データである。コンピュータはこの情報を受け取ると、前に格納してあるスラブデータをドラムのファイルより探し、修正データと入換える。

6.3 プロセスモデル

計算機制御に用いられるプロセスモデルは、

Westinghouse 社より提供されたものであり、当厚板ミルに適用した結果、基本的には十分満足出来る予測精度を持つことが確認された。⁹⁾ これらの予測モデルはすでに文献に詳しく述べられているので、ここでは簡単に紹介するにとどめる。

6.3.1 鋼板温度予測式

素材の変形抵抗は温度によって大きく変化するため、高精度の温度予測式が必要とされるが、ここでは温度降下は次の式で与えられる。

$$\Delta T = \frac{k\varepsilon(T+273)^4 A_s}{K_k} \Delta t - K_u E_w \quad (1)$$

$$E_w = VIK_m \Delta t_d \quad (2)$$

$$K_k = c\rho V_s \quad (3)$$

ここで

k : ステファンボルツマン定数

ε : 鋼板の実効放射率

T : スラブの平均温度

A_s : 鋼板の平均表面積

V_s : 鋼板の平均体積

V : メインモータ電圧

I : メインモータ電流

K_m : 効率

K_u : 変換係数

Δt : バス間隔

Δt_d : 噴出中の時間

c : 比熱

表 2 ログシートの1例

命令回数順位 632- 8 2													
スラブ寸法 125 X 1585 X 2616 3058 4020 1 111													
プレート寸法 8.00 X 1500 X 35000 8.05 8.05 160 AGCコード 20 3													
1	2	1	91.31	93.44	93.56	87.00	195	1.03	332	1.17	160	33	
2	2	2	57.00	59.01	60.00	.00	234	1.10	376	1.10	161	51	
3			30.55	30.00	34.00	.00	262	1.01	374	1.17	161	90	
4		3	16.30	19.66	19.64	.00	252	1.00	264	1.21	162	158	
5		3	11.55	13.50	13.48	.00	183	.95	96	.91	162	227	
6		1	9.34	10.57	10.67	.00	154	1.02	56	1.05	162	295	
7		1	8.14	8.97	8.96	.00	129	1.00	33	.91	162	349	
8		1	7.94	8.13	8.15	8.07	102	1.01	22	1.17	162	391	
↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑													
バス回数 AGCコード コール順度 板厚 (スケジューリング計算) 板厚 (スケジューリング計算) 板厚 X軸厚み計算による板厚値 圧延力 実測圧延力/計算圧延力 圧延リンク 集約圧延リンク/計算圧延リンク													

ている。伝送されるデータにはつぎの4種類のメッセージがある。

(1) メッセージA

スラブの圧延に必要な情報で、スラブが加熱炉に装入される時点に送られてくる。

(2) メッセージB

次に抽出するスラブのキー No. で前のスラブが抽出され、圧延機前面へ送り出された時点で送られてくる。この情報を受け取ると、プロセスコンピュータはキー No. をもとにドラムよりスラブデータを抽出し、デスケリング装置のヘッダ位置の設定を開始して、圧延の準備を行なう。

(3) メッセージC

スラブの圧延が終了した時点で発番される板番であり、計算機の制御には直接関係はなく、単にロギングデータのバッファ・エリアに格納される

ρ : 比重

である。

この式により、抽出時の鋼板温度をもとにして、各バスの温度を予測する。

6・3・2 圧延圧力、圧延トルクの予測式

圧延時の圧延圧力および圧延トルクの予測にはつぎのような数式を用いている。

$$Y = \ln P$$

$$= b_0 + b_1 \ln \left(\frac{R}{h_1} \right) + b_2 \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) + b_3 \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) \ln \left(\frac{R}{h_1} \right) + b_4 T + b_5 T \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) + b_6 \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) \left[\ln \left(\frac{R}{h_1} \right) \right]^2 + b_7 T^2$$

.....(4)

$$F = [\text{antilog } Y] \times w \sqrt{R \Delta h} \quad \text{.....(5)}$$

ここで

$b_0 \sim b_7$: 定数
 P : 変形抵抗
 F : 圧延圧力
 $\Delta h (= h_1 - h_2)$: 圧下量
 h_1 : 入側板厚
 h_2 : 出側板厚
 T : 鋼板の平均温度
 w : 鋼板の幅
 R : ワークロール半径

である。

圧延トルクは式(6)で求めた圧延圧力を用いて、次式で与えられる。

$$T_Q = (C_0 + C_1 h_1) F \sqrt{R \Delta h} \quad \text{.....(6)}$$

ここで

T_Q : 圧延トルク

C_0, C_1 : 定数

である。

この圧延圧力、トルクの予測式はミルの計算機制御のなめともなるもので、前にも述べたように、これら数式モデルの予測精度はきわめて高いものであるが、ただ圧下量の小さい時に予測精度が幾分落ちる欠点があった。これは厚さの薄い製品のゲージ精度に影響するので、現在は(4)式に圧下量の項を入れることにより、圧延圧力の適合性はさらに改善された。板厚が7mm以下で、板幅が3,000mm以上の鋼板の圧延における終り4バスの予測精度を、(4)式と新しい式で比較した結果を図7に示す。

6・3・3 スプレ冷却モデル

鋼板の金属学的特性を制御するために、仕上温度を制御する場合がある。温度制御を行なう場合は圧延の途中でいったんランナウトテーブルに送り出し、その時の鋼板温度と仕上目標温度から計算される時間だけシャワをかけて冷却する。この

場合の冷却モデルには、放射の項以外に冷却水への熱伝達と対流による熱放散を考慮する必要があり、三菱電機で開発した次のような冷却モデルを用いている。³⁾

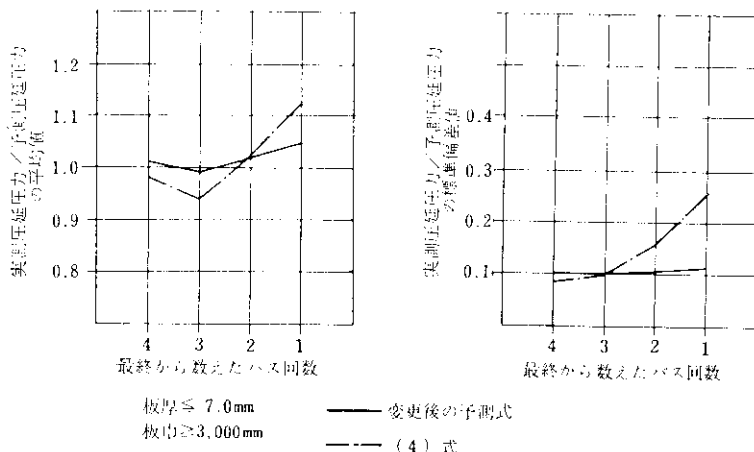


図7 圧延圧力予測式の予測精度

$$\Delta Th = a \cdot (T_c + 273)^4 \cdot t_{air} + b \cdot T_c \cdot t_{water} + C \cdot T_c \cdot (t_{air} - t_{water}) + d \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで

h : 板厚
 ΔT : 温度降下
 T_c : 冷却開始温度
 t_{water} : 水冷時間
 t_{air} : 空冷時間
 $a \sim d$: 定数

である。

6.3.4 形状制御のための最適圧延圧力

圧延の終りの数パスは製品の形状を良くするために、圧延圧力を制限する必要がある。当初この形状制御のための圧延圧力は、残り圧下量、目標板厚、板幅で決まる式の形で与えられ、単にこの圧延圧力を越えない範囲で圧延するようになっていた。このように圧延圧力の上限のみを制限する方法では、同一寸法の鋼板の圧延でも最終パス付近の圧下パターンにばらつきを生じる欠点があった。そこで熟練したオペレータの圧延データをもとに、最適圧延圧力を求める方法について検討するとともに、終り数パスは最適圧延圧力を忠実に守もって圧延するようにスケジュール計算プログラムを修正した。

現在は次のような考え方で、最終近くの数パスの圧下パターンを決めている。まず最終パスの圧下量は手動圧延データの解析結果より、次式で決められる。

$$\Delta h_{last} = h_{aim} \cdot (a - b \cdot w) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで

Δh_{last} : 最終パスの圧下量
 h_{aim} : 目標板厚
 w : 板幅
 a, b : 定数

である。

また途中の圧下量は最終パスに対して一般に、等比級数的に変化させている。そこで残り圧下量が求まると、最終何パスの圧延に相当するかが決まり、かつ最適圧下量が求められるので、これを圧延圧力予測式に入れて形状制御のための最適圧延圧力を求めている。

6.4 効果

6.4.1 AGCの効果

AGCシステムは昭和42年7月より稼動し、製品の品質、歩どまりの向上と、加熱炉の実質的な能力アップという面で著しい効果をあげている。

図8に示すようにAGCをかけた場合の長さ方向の板厚変動は97%以上が0.2mm (peak to peak) 以内に制御されている。

また実測板厚(先端)×板幅×板長×比重で求めた製品の計算重量と実貫重量を比較すると、AGCを使用した場合は両者がほぼ一致するのに対し、AGCを使用しなかった場合は実貫重量の方が約0.9%大きくなっている。

以上の結果からもわかるように、AGCシステムは需要家に対し形状のすぐれた高品質の製品を供給するとともに、鋼板メーカーにとっては歩どまりの向上をもたらすといえる。

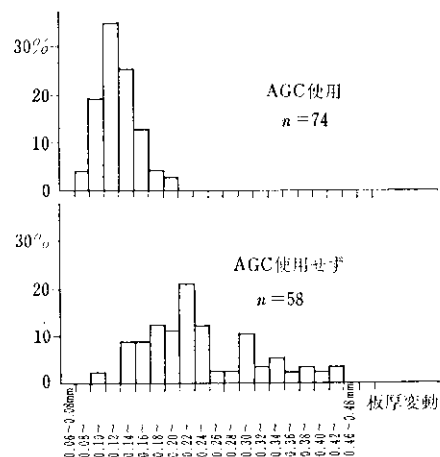


図8 AGCの効果

6.4.2 計算機制御の効果

計算機制御システムは昭和42年12月より稼動に入っているが、ここでは種々の角度からその効果について述べる。

(1) 板厚精度

計算機制御システムの最大の狙いは、予測適応

制御による板厚精度の向上であり、また板厚精度はシステムの性能を表わすパラメータともいえる。図9は目標板厚が13mm以下の板を自動で圧延した場合の、X線厚み計による実測値と目標板厚との差をヒストグラムで表わしたものである。それによると平均値は -0.01mm で目標よりやや薄く、 σ は 0.107mm であり、手動圧延の結果よりかなりよい値を示している。

(2) 板幅精度

幅出し比が1.5以上であった板の幅精度について、データを調べたところ、標準偏差値は約15mmであり、手動圧延の結果に比べるとはるかによい結果を得ている。これは計算機が幅出し圧延前後の板厚を正確に制御するためであり、この結果自動圧延の場合の厚さ、幅、長さ不足による不合格品の発生率は、手動の場合の約1/3になっている。

(3) 圧延能率

厚板ミル計算機制御システムの実用化のためには、プロセスモデルの改善とともに、圧延能率の向上をはかり、オペレータにとって操作しやすいシステムにするよう種々のシーケンスプログラムの変更が必要であった。その結果、圧延能率は当初よりかなり改善され、平均的には手動と差がない値となっている。オペレータも能率向上のために自動圧延の長所を学習し、手動圧延にとり入れていくので、現在でも両者が競争しながら向上を続けている。

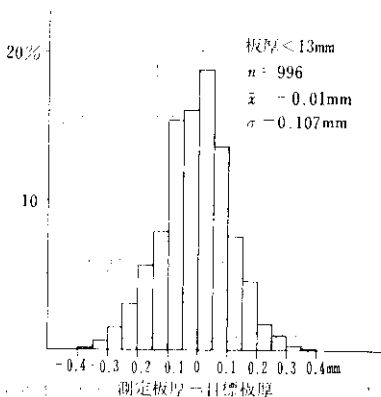


図9 コンピュータ・コントロールによる板厚精度

7. 結 言

以上水島製鉄所厚板工場のコンピュータ・システムの機能と成果について説明した。厚板工場におけるリアルタイム情報システムおよび厚板ミルのコンピュータ・コントロールはいずれもわが国初めてのシステムであったが、とくに両者を結合したオンライン・リアルタイム方式による、integrated computer systemが生産ラインの円滑な運転と製品の品質、歩どまり向上の面で著しい効果を挙げ得ることが実証された。この結果、需要家に対しては正確な納期、仕様の確保が達成され、また所内にあつた熟練オペレータの不足などのために現在の急務となっている省力化に大きな貢献を果すことができた。

生産量の増大をはかるために、現在当厚板工場は粗圧延機を始めとし、各種の設備増強が進められている。これにともなつて作業管理情報システムにあっては、本システムの実績をもとに対象工程、機能を大幅に拡大した本格的トータル・システムの導入を進めている。プロセス・コンピュータシステムにあっては、粗圧延機と仕上圧延機の両者を総合した最適圧延を目的とした制御の開発を進めている。

さらに鉄鋼工場の主要なプロセスにおいて、リアルタイム情報システムとコンピュータ・コントロール・システムによる総合システムの適用は急速に広まりつつあり、本開発が鉄鋼工場におけるコンピュータ利用技術の上で果たした役割はきわめて大きいものと確信している。

おわりに本システムの開発にご協力いただいた日本電気株式会社、三菱電機株式会社、Westinghouse Electric Co.の関係者各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) J. F. Roth: Iron and Steel, 37 (1964) 3, 93
- 2) N. J. Williams, Rotherham, J. T. Jones, Stafford: International Conference on Iron and Steel Making Automation II, (1965) 85
- 3) 小林, 今道, 川崎: 計測と制御, 8 (1969) 12, 895
- 4) D. R. Johns, A. W. Smith: Iron and Steel Eng., 42 (1965) 5, 134
- 5) R. G. Schlutz, A. W. Smith: Iron and Steel Eng., 42 (1965) 5, 127

