
水島製鉄所第2厚板工場の自動化

Automatization of No.2 Plate Mill at Mizushima Works

三浦 恒(Hisashi Miura) 守谷 正一(Shoichi Moriya) 飯田 永久(Nagahisa Iida)
瀬川 佑二郎(Yujiro Segawa) 佐藤 明宗(Akimune Sato) 増田 邦彦(Kunihiko
Masuda) 石井 功一(Koichi Ishii)

要旨：

大型厚板工場の効率的な操業は、高能率設備と自動化技術を有効に結合して初めて達成される。第2厚板工場の建設に際しては、品質、歩留まり、能率の向上はもとより、労働生産性の向上のための自動化に特に力点がおかれた。慎重な検討の結果次に述べる3つの分野の開発技術より構成されたトータルシステムの導入を決定した。(1)リアルタイム情報システム(2)プロセスコンピュータ(3)自動機器。このトータルシステムは昭和51年3月のプラント稼働と同期して完全に実用化され、操業に定着している。本報文は第2厚板工場の自動化について、その概要と技術的な特徴を紹介するものである。

Synopsis：

An efficient operation of a jumbo plate mill can be achieved by the incorporation of automation to a point where both high capacity facilities and automation techniques are well organized. Therefore, since an early planning stage of No.2 plate mill, special emphasis had been placed on automatization for an increase in labour productivity as well as an improvement of quality, yield and productivity. Finally it was decided to introduce an advanced total system comprising the following three fields of automation systems: (1) Real time operations control system (2) Process computer systems (3) Automatization facilities This total system has been put into full practical use, synchronised with the commission of No.2 plate mill in March 1976. this paper outlines technical features of its automatization.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

水島製鉄所第2厚板工場の自動化

Automatization of No. 2 Plate Mill at Mizushima Works

三浦 恒*

Hisashi Miura

飯田 永久*

Nagahisa Iida

佐藤 明宗***

Akimune Sato

石井 功一*****

Koichi Ishii

守谷 正一*

Shoichi Moriya

瀬川 佑二郎**

Yujiro Segawa

増田 邦彦****

Kunihiko Masuda

Synopsis:

An efficient operation of a jumbo plate mill can be achieved by the incorporation of automation to a point where both high capacity facilities and automation techniques are well organized. Therefore, since an early planning stage of No. 2 plate mill, special emphasis had been placed on automatization for an increase in labour productivity as well as an improvement of quality, yield and productivity. Finally it was decided to introduce an advanced total system comprising the following three fields of automation systems:

- (1) Real time operations control system
- (2) Process computer systems
- (3) Automatization facilities

This total system has been put into full practical use, synchronised with the commission of No. 2 plate mill in March 1976. This paper outlines technical features of its automatization.

1. まえがき

水島製鉄所第2厚板工場の建設にあたっては自動化の徹底を主要テーマとして設定した。自動化による品質、歩留まり、能率の向上はいうまでもなく、特に労働生産性の向上に力点を置いた。

厚板工場は多品種大量生産プラントであり、素材から製品に至るまでには多くの工程を必要とし、かつ各工程ごとに多量の情報に基づいて作業が実施されるという特徴を持っている。したがって高度に自動化された厚板工場の実現のためには、作業指示、実績収集ならびに情報処理の自動化、プロセス制御の開発、特に精整ラインになお多く残

* 水島製鉄所システム部計測課掛長
 *** 水島製鉄所システム部自動化技術室掛長
 ***** 水島製鉄所第1圧延部掛長

** 水島製鉄所システム部計測課
 **** 水島製鉄所システム部システム課掛長

されている悪環境労働の自動化と多岐にわたる課題を解決すると同時に、それらを系統的に結合することによって高度に合目的な諸機能を果たすシステムを作ることが必要である。

当所における厚板工場のシステム化は、昭和42年4月第1厚板工場の稼動を契機として導入されたオンライン情報システム、ミルコンピュータコントロールシステムなど我が国で先駆的役割を果たした厚板1次システム^{1,2)}に始まった。ついで厚板2次システムの導入³⁾により大幅な制御範囲の拡大と機能の向上を達成し、第2厚板工場建設計画において大目標として推進された厚板トータルシステムの導入へと継承された。第2厚板工場の建設に際しては、最近の自動化に関する固有技術の発達と操業技術向上の手段としての自動化に対する強い期待とがあいまって、きわめて多項目の自動化課題と取組むことになった。

第2厚板工場は徹底した自動化を前提としてレイアウトおよび設備の設計を行った。そのため厚板トータルシステムの計画に際しては、信頼性の向上と全構成設備のプラント稼動当初からの完全実用化に特に留意して工程推進にあたった。この目標は完全に達成され、プラント稼動と同時に厚板トータルシステムを操業に定着させることができた。

本報文は、当所第2厚板工場の自動化についてその概要と技術的特徴について紹介するものである。

2. スラブヤードの自動化

従来スラブヤードは素材のハンドリング、置場管理など人手に依存する作業が多かった。

第2厚板工場では、厚板素材としてのきめ細かな管理をすることによって得られる品質、工程上の利点を考慮して、管理レベルの向上と省力を主要目標とする自動化の検討を行った。

その結果、スラブヤードを全面的にリアルタイム作業情報システム（以下ラインコンピュータという）の管理下におき、スラブのトラッキング、ヤード管理を自動化するとともに、テーブルおよび片脚橋型クレーン（以下半門クレーンという）によるスラブの搬送を全面的に自動化した。さら

にクレーンオペレータ用のマンマシンインターフェイスとして、誘導無線方式の表示器やスラブ山番マーキング装置を導入し、少ない要員で円滑な操業を可能にした。

(1) 半門クレーンの自動化

第2厚板工場では、素材は可能なかぎりテーブルによって搬送する方式を採用したが、テーブルラインとヤード間はクレーンに依存せざるを得ない。スラブヤードにおいても受入れたスラブを手入れラインに載せるときおよび手入れ後不合格と判定されたスラブをヤードに戻すときは、半門クレーンを使用している。半門クレーンについては番地指示により自動走行、自動位置決めを行う方式を採用し、クレーン操作を地上運転室へ移すとともに玉掛合図者を不要とした。

(2) スラブ山積ヤードの自動化

Fig. 1 にスラブ山積ヤードにおける自動運転の概念を示す。手入れ後の検査、秤量チェックに合

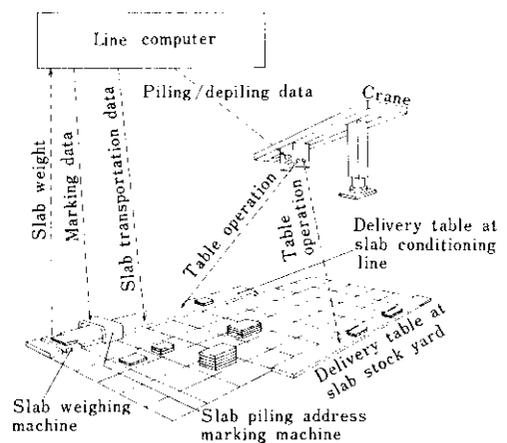


Fig. 1 Concept of stock control and one man operation at slab yard

格したスラブは当ヤードに山積されるが、山積番地は圧延ロールチャンスと加熱条件をキーとし、さらに山高さ、納期上の配慮をも行ったうえで自動的に決定される。この山積番地はスラブ山番マーキング装置によりスラブ表面に自動マーキングされ、手入れラインデリベリテーブル上を山積番地に近い位置にまで自動搬送される。クレーンオペレータはクレーン上の表示器の情報とスラブ表面にマーキングされた山積番地にに基づき、スラブ

を指示された位置に山積する。

一方、装入順位が決定すると払出しスラブの情報クレーン内に表示される。オペレータは指示された番地よりスラブを吊上げスラブ払出しテーブルに載せ、さらにクレーン上よりテーブルの起動を行うとスラブは加熱炉へと自動搬送される。このようにスラブ山積ヤードの操業は、すべてクレーン上でワンマンコントロールしている。

3. 圧延ラインの自動化

圧延ラインは前後のスラブヤード、精整ラインと比べると、早くから自動板厚制御（以下AGCという）、圧延機計算機制御をはじめとする各種の自動制御装置の導入、開発が積極的に進められてきた分野である。しかしながら大型厚板圧延設備の持つ能力を十分発揮させ、高品質の製品を効率よく生産し、一方では可能なかぎりの省力を図るには、さらに自動化を徹底させることが必要である。自動化といった観点から圧延ラインをみると、

新規に開発する必要のある設備は多くはなかった。しかし、既存技術を徹底的に調査し、個々の設備についてより信頼性の高い高度な機能を開発すると同時に、それら個々の機能を合理的に結合することにより、現時点で実現可能な最高レベルの自動化を目標とした。

第2厚板工場圧延ラインの自動化の特徴は次のとおりである。

- (1) 圧延ラインは、Fig. 2 に示すようにプロセスコンピュータ（以下ミルプロコンという）を中心とする自動制御システムでカバーされ、厚板トータルシステムの一環に組み込まれている。本システムはラインコンピュータからの情報に基づき、圧延ラインの制御を行うとともに、実績データをプロセスコンピュータ経由で上位システムへ一元的に集約した。
- (2) 投資効果が得にくく制御の確実性に欠けるため、従来やや自動化の遅れていた加熱炉およびレベラまわりを徹底的に自動化するとともに、操作、監視を極力集中化し、最小限の

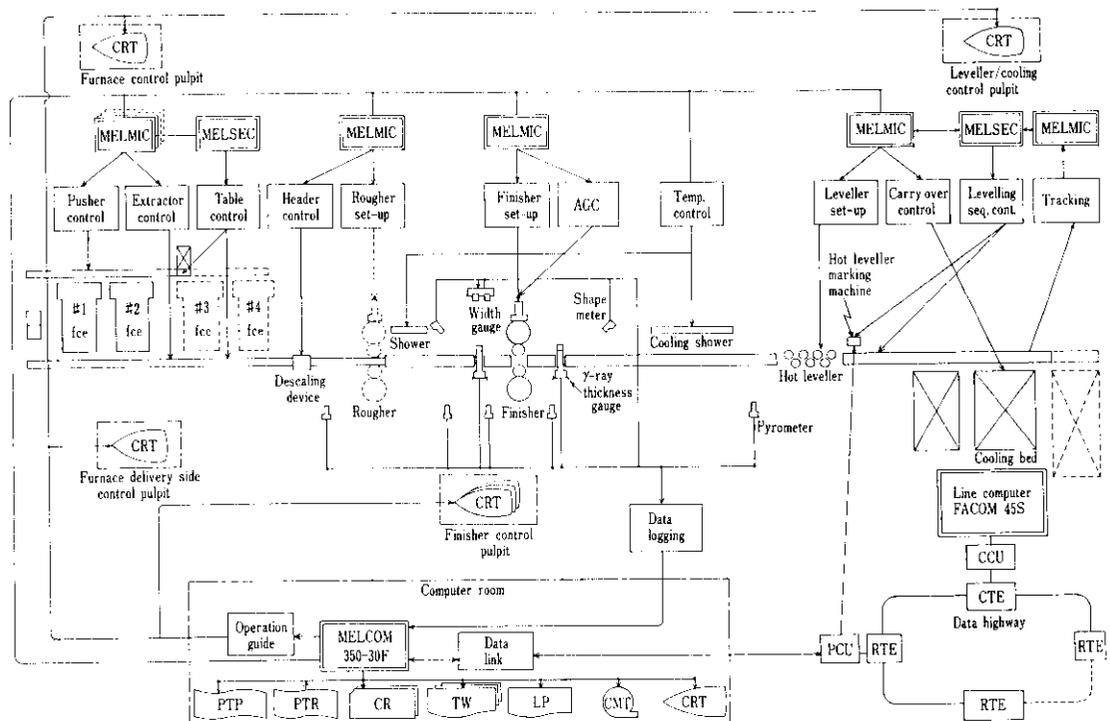


Fig. 2 System configuration of No.2 plate mill computer control system

要員で円滑な操業を可能とした。

- (3) 圧延機制御については当所第1厚板工場で十分な経験と実績を持っているため、プラント稼動時は第1厚板工場と同等の機能でスタートした。しかしハードウェア、ソフトウェアともに将来の開発機能を先取りしたものを準備し、稼動後これら高度な制御機能の開発を行うこととした。
- (4) システム構成上はプロセスコンピュータの下に数台のマイクロコントローラ、シーケンサなどを配置し、機能およびハードウェアの分散方式を採用し、信頼性および制御性の向上を図るとともにイニシャルコストの削減に努めた。

この結果、圧延ラインにおいては、ハンドルによる手動操作はほとんど不要となり、監視および押ボタンによる自動シーケンスの起動といった作業が主体となっている。

3・1 加熱炉まわりの自動化

加熱炉まわりではすべてのテーブル運転、スラブの装入、抽出作業を自動化するとともに、操作、監視の集中化を図った。従来加熱炉抽出側にあった操炉関係の制御盤、操作盤を装入側へ移し、抽出関係の操作のみを加熱炉出側に設けた仮設運転台に残してはいるが、これとても将来はミル運転室に移せるよう考慮してある。

スラブヤードから払出されたスラブはトランスファ上で秤量され、この秤量値に基づく異材チェックがなされる。この秤量機は異材チェックが主目的であり、精度よりも秤量時間の短縮が要求される。そこでトランスファ下にロードセルを組込む方式とし、秤量時間を1sec以下と無視しうるまでに短縮し、かつ設備費の削減を図った。

スラブの異材チェック後オペレータが装入炉列を指定し、テーブル起動ボタンを押すとスラブは自動搬送され、装入位置にて自動停止される。ついで直前に装入されたスラブとの間隔が一定となるようプッシャにて自動装入される。自動定位置停止および自動装入のためにはスラブの幅、長さを知る必要があるが、設備構成を単純化し信頼性を向上させるために、上位システムから情報を与える方式とはせず、鋼塊検出器とパルスゼネレー

タにより自動検出する方式を採用している。

装入されたスラブは加熱されつつウォーキングビームにより抽出側へ自動搬送される。ミルプロコンはスラブ位置をトラッキングするとともに操炉データを採取する。自動燃焼制御装置についてもスラブの長手方向の温度差制御、レキュベレータの偏流防止、燃料性状の変化への対処など多くの点でくふうをこらしている。

加熱炉出側にはγ線方式のスラブ位置検出器を装備し、先頭スラブの基準位置到達を検出するとその位置で待機させる。一方、エキストラクタ制御装置は、抽出開始タイミングが与えられるとスラブ幅を基にストロークを決定し、ドア開閉を含めてスラブを自動抽出する。抽出完了と同時にファネスデリベリテーブルが起動され、スラブは仕上圧延機へと搬送される。

3・2 厚板圧延機の計算機制御

第2厚板工場の仕上圧延機はワークロール胴長5490mm、主電動機も8000kW2台という世界最大の厚板圧延機である。このような大型厚板圧延機で寸法精度、形状の優れた製品を生産するために、ミル常数、ロール径を大きくするなど設備設計上も十分な考慮を払った。しかしながら、圧延機の能力を最大限に活かし高品質の製品を生産するには、いわゆる計算機制御システムを導入し、高精度の制御を行うことが不可欠である。

従来、制御モデルはプラント稼動後に操業データをもとに解析を行って作りあげるのが一般的手法であった。しかし当所第1厚板工場における長年の開発経験と実績により、当社の厚板圧延機の制御モデルは新規プラントの操業に十分耐えうるだけの適合性と普遍性を有していると判断し、試圧1本日から計算機による自動圧延を完全実施することを目標として準備を進めた。さらにコントロールドロリングの能率向上のため、自動ダブルローリングを当初から実施した。

以下に計算機制御システムのセンサ、制御モデルの特徴、実績について簡単に紹介する。

3・2・1 圧延ラインのセンサ

圧延ラインに設置される各種センサは管理用計器として使用されるだけでなく、計算機制御やAGC

の検出端としての役割を担っている。その性能は直接製品の品質や歩留りに影響を与える。現在圧延ラインにおいて使用されているセンサ類は実用レベルに達してはいるものの、性能上完全に満足なものも得られておらず、また精度維持に多くの保全工数を要している。そこで第2厚板工場のセンサ類の選定にあたっては広く内外の技術を調査した。

その結果、精度、安定性ともに従来のものをはるかに超えるデジタル方式のγ線厚さ計、幅計、安定性に優れ距離係数の大きい Si 素子を用いたライン温度計、それに平坦度検出用のシェープセンサなどを導入した。これらはすべてミルプロコンと接続されている。

3・2・2 厚板圧延機の制御モデル

制御モデルはミルプロコンの制御性を直接左右するものであり、鋼板温度予測式、圧延荷重予測式をはじめとする各種サブモデルの開発を進めてきた。ここでは、当社が開発した厚板制御モデルの特徴である平坦度のよい板を能率よく圧延する形状制御モデルと、AGCの動作を考慮した板厚制御モデル⁴⁾とについてその概要を説明する。

(1) 形状制御

厚板圧延機では、Fig. 3 に示すように各種制約条件を満足する最小パス回数のパススケジュールをたて、圧延能率の向上を図る。一般に初めの方のパスでは圧下量、圧延荷重、圧延トルクが制約条件となるが、最終パス付近では形状制御のための圧延荷重が制約条件となる。

形状制御のためのパススケジュール決定方法として、クラウン比率一定の原則に基づく方式がある。各パスの板クラウンと板厚との比を一定に保つことにより伸び率分布を一定にし、形状を損わないように圧延する方式である。すなわち、各パスを(1)式で与えられるようなクラウンに相当する圧延荷重で圧延する。

$$\frac{Cr_n}{H_n} = \frac{Cr_{n-1}}{H_{n-1}} = \dots = \frac{Cr_i}{H_i} = \dots = \frac{Cr_m}{H_m} \quad \dots (1)$$

ここで

Cr_i : 板クラウン量
 H_i : 板厚

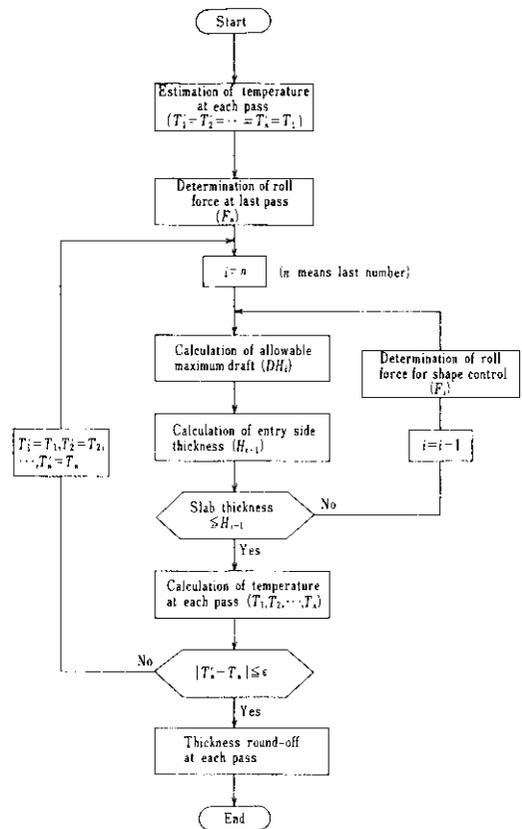


Fig. 3 Flow chart of pass schedule calculation

i : パス回数

m : 形状制御開始パス回数

n : 最終パス回数

である。

しかし、厚板圧延においては最終パス終了時に良好な形状が得られればよい。そこで途中パスでは最終製品に悪影響を与えない範囲で圧下量を大きくとり、耳波加減で圧延し、最終パスのクラウン比率を形状制御開始パスのクラウン比率にほぼ一致させ、平坦度の優れた鋼板を能率よく圧延する方式を開発した。すなわち、形状制御パスでは(2)、(3)式で決まるクラウンに相当する圧延荷重で圧延する。

$$\frac{Cr_{i-1}}{H_{i-1}} = \frac{Cr_i}{H_i} + \Delta C_{Pi} \quad \dots (2)$$

$$\frac{Cr_n}{H_n} = \frac{Cr_m}{H_m} + \epsilon \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで

- $4Cp_i$: 許容耳波に相当する板クラウン量
- ϵ : 圧延材の横流れに相当するクラウン比率

である。Fig. 4 に示すようにクラウン比率一定の方式に比較してパス回数を削減できる。

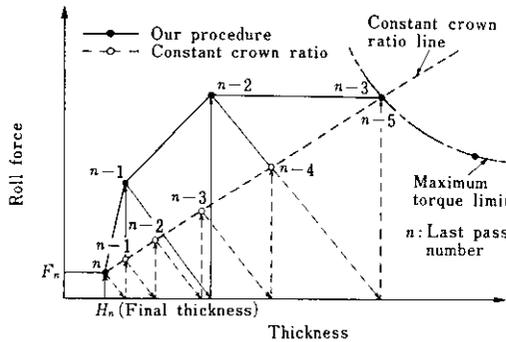


Fig. 4 Comparison of draft pattern calculation procedure at shape control stage

板クラウンは主として圧延荷重によって決定されるが、圧延時のロール摩耗、熱膨張の影響も受ける。第2厚板ではこれらの影響を定量化し形状制御モデルに組み入れるとともに、シェープセンサによる形状の適応制御の開発を行っている。

(2) 板厚制御

厚板圧延においては、パススケジュールで決定した板厚が得られるよう各パスの圧下を設定する。板厚精度は圧延荷重予測精度の影響を大きく受ける。そこで素材の変形抵抗などの違いによる予測誤差を補償するために、各パス終了後に予測および実測圧延圧力の比較に基づく数式モデルの修正を行う。

したがって、板厚精度を向上させるには予測精度のよい数式モデルの開発もさることながら、モデル修正に使用する代表性のあるデータを精度よく検出する必要がある。

厚板圧延機では一般にロックオン方式のAGCを

装備している。最終3, 4パスは板厚を均一に制御するためにAGCを使用するので、圧下位置、圧延荷重が大きく変動する。そのためデータの読みには特に注意する必要がある。ロックオン方式のAGCでは板厚は噛込み直後のロックオン時の板厚に制御される。また厚板圧延機は可逆圧延機であるためにロックオン点、すなわち板の先端と尾端が交互に入れ替わる。このような厚板圧延機とAGCの特性を考慮し、計算機が板の先端、尾端の特定の1点のみの圧延荷重および板厚を用いて適応板厚制御を行う方式⁵⁾を開発した。特定の1点のデータに着目する場合はパスの進行とともに板が長くなるので、初期のパスでは早いタイミングで読みとり、パスが進むにつれてタイミングを遅らせ、最終的にロックオン点でのデータを採取する方式としている。この方式によりスキッドマークの大きい板でも十分な板厚精度が得られるようになった。

3・2・3 計算機制御の実績

第2厚板工場においては、試圧1枚目より加熱炉装入からクーリングベッド装入にいたるまでの一連の制御が計算機モードで実施され、稼働当初からのミルプロコンの完全実用化という目的を達成できた。Fig. 5 は自動圧延率の推移を示すものであるが、稼働と同時に自動圧延が操業に定着したことを示している。

制御性については、実操業データの解析に基づく予測式がまだ得られていない試圧延時の最初の30枚の鋼板について調査した。その結果、板厚精度は平均値が0.21mm、標準偏差が0.21mm、板幅精度は平均値が9.1mm、標準偏差が23.2mmであった。

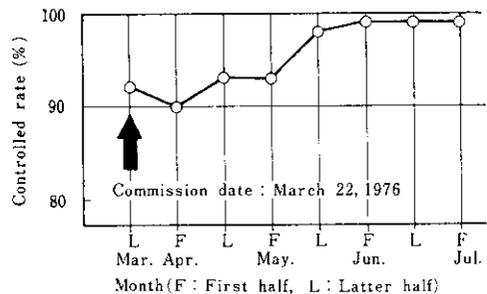


Fig. 5 Percentage of plates rolled under computer control

その後の調整により、現在ではすでに第1厚板工場での実績を上まわる結果が得られている (Fig. 6 (a)参照)。

形状制御については稼動時はクラウン比率一定の方式でスタートし、約1ヶ月後に3・2・2で述べた方式にまでレベルアップした。当社の方式では板クラウンの小さな板を能率よく圧延でき、Fig. 6 (b)に示すような優れた結果が得られた。

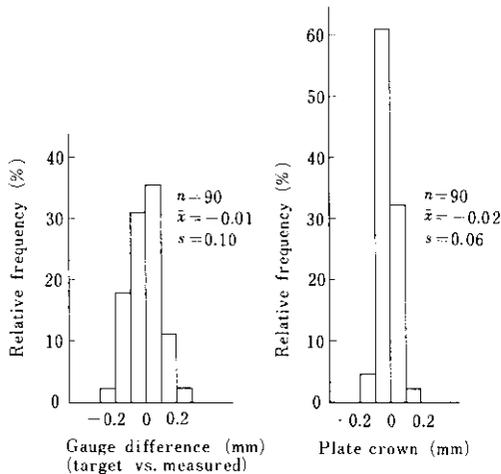


Fig. 6 Gauge and crown performance

3.3 レベラまわりの自動化

従来、レベラおよびクーリングベッド入側はハンドル操作による手動運転が主体であった。第2厚板工場ではこの領域も完全自動化することとし、レベラ圧下、クーリングベッドのキャリオーバに自動プリセット制御装置を装備するとともに、ミルランナウトテーブル以降の全テーブルを自動化した。さらに、レベラとクーリングベッド装入側の運転台を1ヶ所に統合し、レベラ出側に Photo. 1 に示すホットレベラマーキング装置を導入して高熱作業を廃し、省力を図った。

ホットレベラマーキング装置は、後続工程での現品確認用にゴムチョークでマーキングしていたものを、粉体塗料を扁平なラップ管より吹付ける方式に変えて自動化したものである。このマーキング装置の設計にあたっては、マーキング時間の短縮、耐熱性、ノズル詰り、鋼板の衝突に対して特別の考慮を払った。

このような完全自動化により、圧延終了後、鋼

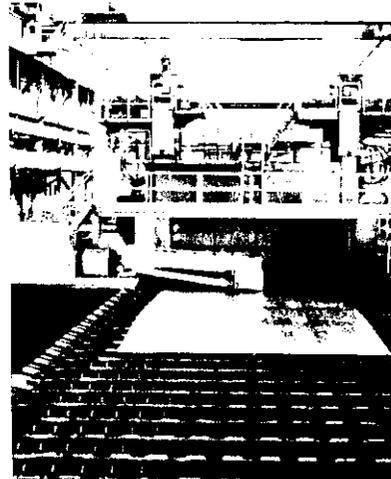


Photo. 1 Automatic plate number marker

板は前方の鋼板の動きを考慮しながら自動的にレベラ領域へ搬送される。レベラで複数パスシーケンスを含み自動矯正が行われ、ついで指示されたクーリングベッドまで自動搬送され、キャリオーバにてクーリングベッドへ装入される。

4. 精整ラインの自動化

一般に精整ラインは圧延ラインに比べて処理工程が複雑である。特に厚板工場の場合は処理工程が多く、かつ受注生産に基づき多種多様の製品を処理するため、操業が鋼板1枚ごとに異なっている。このため自動化が難しく、また自動化しても投資効果が得にくかったために従来は多くの操業要員を必要としていた。しかし最近の経済情勢の変化がもたらした労働生産性の向上に対する強い要求に対処するためには、精整ラインの自動化が不可欠であり、第2厚板工場の建設にあたってはこの課題について特に詳細な検討を加えた。

その結果、Fig. 7 に示すように、クーリングベッドから倉庫にいたる総延長 1km に及ぶ全ラインを制御する精整ライン全自動運転システムの開発を行った。このシステムはラインコンピュータ、精整ライン自動運転システム (以下精整プロコンという)、自動化機器を3本の柱として構成され、相互に密接な連携をとりつつ Table 1 に示す機能を遂行する。

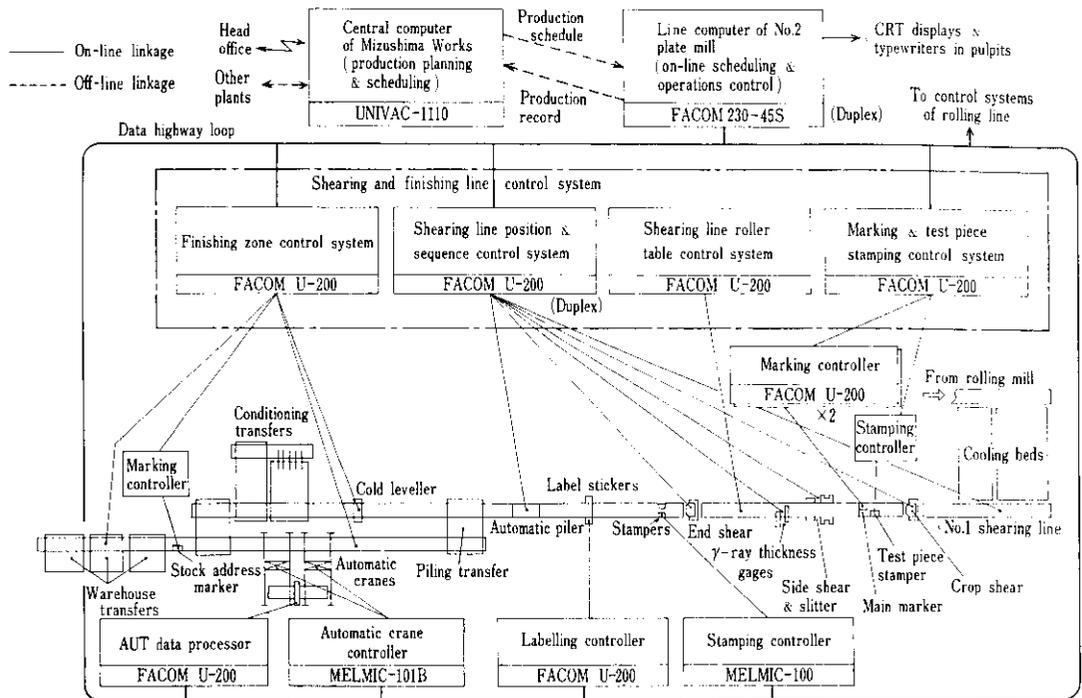


Fig. 7 Configuration of automation system of No.2 plate mill shearing and finishing lines

本システムの特徴は、これを構成する各単体システムが高度な自動操業機能を持っているだけでなく、単体システムの総合化により、従来のイメージを一新する精整ラインを実現したことにあつた。すなわち、機側デスクの手動ハンドル操作で鋼板を搬送し、テーブルライン上でマーキングなどを行う従来の労働集約的作業は一掃され、オペレータの作業としては、一部に運転室内での監視、確認が残るだけの他に例をみない精整ラインを実現し、かつ作業の高速化、正確化、省力に大きく貢献した。

4.1 せん断作業の自動化

精整ラインにおけるせん断作業は精整プロコンによって制御される。前工程の実績に基づき、きめ細かいせん断命令がラインコンピュータから精整プロコンに与えられる。精整プロコンはこの情報を基にシアの刃幅、ナイフギャップ設定等の準備作業を行う。オペレータは前工程から自動搬送されてきた鋼板の先端形状を見ながらシアに引込み、起動ボタンを押すだけで自動せん断シーケ

ンスが実行される。実際のせん断シーケンスは専用のハードロジックで制御する方式とし、計算機故障時の全面的なせん断機能停止の防止と計算機の負荷軽減を図っている。せん断結果は精整プロコンよりラインコンピュータへフィードバックされ、実績データとして取込まれるとともに後続工程における作業指示の修正に使用される。精整ラインにはクロップシア、サイドシア、スリット、エンドシアと4つのせん断設備があり、Table 2に示すような自動機能を持っている。ここでは各せん断作業の概要と技術的な特徴について記述する

(1) クーリングベッドからクロップシアまで

クーリングベッド本体はシーケンサによって自動運転される。鋼板が抽出位置に達すると、精整プロコンはラインコンピュータから与えられた板幅情報に基づき鋼板をシアラインテーブル上に自動抽出する。従来はここで採寸、け書作業が行われていたが、第2厚板工場では、後続工程の自動化とクロップシアによる測長機能とによってこれらの作業そのものを廃止しており、クーリングベッド出側を完全に無人化した。

Table 1 Functions of automation system of shearing and finishing lines

Facility		Functions
Line computer (operations control system)		1) Transmission of operational instructions 2) Data communication with lower facilities via data highway 3) Data gathering and processing of production results
Shearing and finishing lines control system	Position and sequence control system	1) Position control around shearing devices 2) Position control of plates for automation facilities 3) Sequence control around shearing devices 4) Data gathering of plate dimensions
	Marking and test piece stamping control system	1) Data set and sequence control for main marker and test piece stamper 2) Plate position control for marking and stamping
	Shearing zone table control system	1) Automatization of roller-table operation for shearing line
	Finishing zone control system	1) Automatization of roller-table operation for finishing line 2) Position control of cold leveller and warehouse transfer 3) Data set and sequence control for stock address marker
Automation facilities	Test piece stamper (1)	1) Stamping identification number on test pieces by compressed air
	Main marker (2)	1) Marking specifications on plates with rotary print-type marking heads
	Stamper (2)	1) Stamping specifications on plates by compressed air
	Labeller (2)	1) Label printing and sticking on side edges of plates
	Automatic piler (1)	1) Plate piling on roller-table with overhead magnetic rollers
	Stock address marker (1)	1) Marking product stock address on piles of plates with rotary print-type marking head
Automatic inspection equipment	Automatic crane (2)	1) Plate handling between main roller-table and AUT table
	γ -ray thickness gage (2)	1) Measuring thickness of plates
	Automatic ultrasonic testing device (AUT) (1)	1) Ultrasonic testing of inner defects of plates

Note: Figures in () show the quantity of devices installed

Table 2 Automated operations of shearing devices

Name of shear	Automated items
Crop shear	1) Automatic position control (APC) of knife gap and cutting line indicator 2) Cutting length control 3) Roller-table operation
Side shear and slitter	1) APC of 3 cutting line indicators, 7 magnetic plate shifters, 2 knife gaps, 2 knife lifts, 2 shearing widths and side guide width 2) Stroke control of plate carrying 3) Roller-table operation
End shear	1) APC of a plate lifter, knife gap, roller bridge width and pinch roll width 2) Cutting length control 3) Roller-table operation

抽出された鋼板はクロップシアまで自動搬送され、オペレータが先端クロップを切断し送り起動ボタンを押す。鋼板は予定せん断長に達するまでメジャリングロールで測長されつつ前進する。オペレータは板が停止した後、余長があるときは後端形状を見ながら予定せん断長を修正して切断することも可能であり、実績切断長はラインコンピュータに伝送される。この機能が自動採寸を兼ねている。

せん断にあたっては鋼板温度の補正を行う必要があるために、クロップシア前に温度計を設置し、精整プロコンは温度計からの信号に基づいてクロップシア予定せん断長の補正を行う。また、この温度情報はラインコンピュータに伝送され、板厚と経過時間とにより各後続シアの温度が予測され、せん断長の補正が行われる。

(2) サイドシアおよびスリット

サイドシア前まで自動搬送された鋼板は、手動でアライニングされ、せん断開始位置まで引込まれる。シアの刃幅、ナイフギャップ等はあらかじめ自動設定されていて、オペレータがせん断開始ボタンを押すと、自動的にサイドトリミングあるいは中央部でのスリットが行われる。せん断時に発生する端板はコンベアで自動結束機に運ばれて結束される。

(3) エンドシア

ラインコンピュータからの情報に基づき、クロップシアと同様にメジャリングロールによる自動測長せん断が行われる。またスリット材に対しては幅方向に2枚並んだ板の同時せん断、および2枚の板を分離してシリアルにせん断する作業も可能となっている。

4.2 鋼板搬送の自動化

クーリングベッド出側から倉庫にいたるテーブルの鋼板搬送はすべて自動化されている。従来、精整ラインのテーブル運転が自動化されなかったのは、テーブルに沿って多数のフォトセル方式などの鋼板検出器を設置した程度では、人間の目視によるきめ細かい搬送に能率の点で及ばず、また鋼板検出器の寿命、芯ずれなどを考慮すると十分な信頼性が得られないためであった。第2厚板工場ではテーブルに直結したパルス発生器からの信

号により、鋼板位置を正確に検出するデジタルトレース方式のトラッキングを開発し、鋼板搬送の自動化を実現した。基本原理は Fig. 8 に示すとおりであり、次に列記するような特徴を持っている。

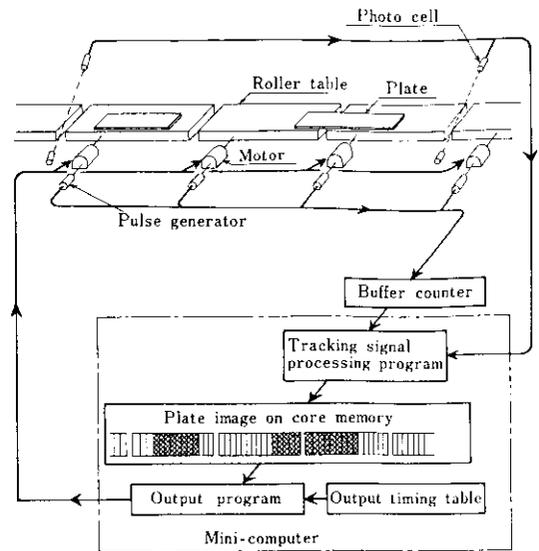


Fig. 8 Conception of roller-table control

- (1) テーブル上の鋼板位置に対応したイメージを計算機のメモリ上に持っているため、同一テーブルセクション上に複数枚の鋼板を載せることや、互いに接近した鋼板をテーブルセクションの境界で分離することが可能であり、テーブル設備を有効に活用できる。
- (2) 搬送に必要なテーブルセクションの選択を正確に行えるために、鋼板表面にローラによるスリップ痕を生じることがなく、また、無駄なテーブルを駆動して電力を消費したりすることもない。
- (3) ソフトウェアによるデジタルトレース方式のトラッキングであるために、停止点等の変更がプログラムの修正のみで実施でき、システムに柔軟性がある。
- (4) トラッキング用検出器にはパルスジェネレータを主体とし、フォトセル方式の鋼板検出器は鋼板位置の較正用としてごく少数使用されているだけであり、信頼性が向上し保守負

担は軽減した。

このようなトラッキングに基づいてテーブルラインに適切な駆動指令を与えるので、熟練労働者以上のきめ細かい運転が可能となり鋼板の高速搬送が可能となった。ちなみに当精整ラインの主要テーブル速度は従来の1.5m/secに対し2m/secとなっている。

4.3 クレーンの自動化

第2厚板工場では鋼板搬送には極力テーブルを使用しているが、テーブル間およびテーブルとヤード間の鋼板搬送あるいはパイリングには、7台の半門クレーンなどが使用されている。これら半門クレーンは2.で述べたようにすべて自動化されている。

とくに、自動超音波探傷（以下AUTという）ヤードへの搬入搬出クレーン2台は、マイクロコントローラを用いて制御を行う無人運転が可能なシステムであり、ここにその概要を紹介する。

このクレーンは、Fig. 9 に示すようにせん断ラインから倉庫へ搬送される鋼板の一部を取込み、AUTを経て再び倉庫行きテーブルへ戻すものである。

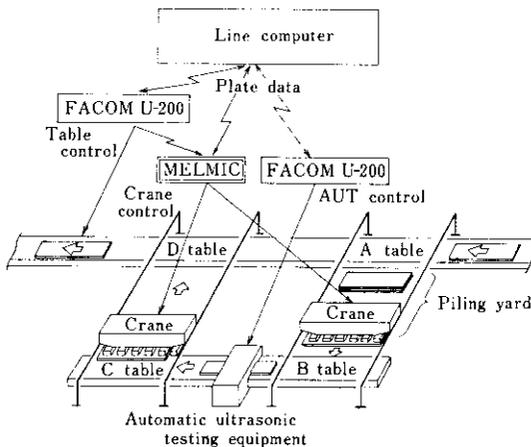


Fig. 9 Example of automated crane

(1) クレーン仕様

巻上荷重は23tと30tで、パイリングされた鋼板多数枚を一度に吊ることができる。走行速度は125m/min、加速度は 0.26m/sec^2 で比較的大きい。走行距離が約40mと小さいので、動力などの伝達

はカーテンケーブルを用いている。

(2) システム概要

クレーンの自動盤としては、マイクロコントローラを用い、ラインコンピュータやテーブルを制御するプロコンと接続し、鋼板情報と起動指令の授受を行っている。

位置検出は、クレーン従動輪にシンクロ発信機を設け、零点調整のためシンクロ差動発信機を介した後、シンクロ-デジタル変換器を用いて行っている。

(3) 自動化された機能

鋼板は、テーブル上の片側基準線にそって移送されるので、クレーンは、板幅に応じ停止すべき位置を計算して自動位置決めを行っている。

入側クレーンでは、取込み番地をあらかじめインプットしておく、Aテーブルへの板到着信号により、自動的に走行し吊り作業を行って取込み番地へ運ぶ。出側クレーンでは、Dテーブルへ自動走行降ろし作業を行いCテーブルへ戻ってくる。

運転室から離れたAおよびDテーブルでは、運転室からの手動位置決めは困難で、機側にオペレータが各々1名必要であったが、この自動化により2名/班×4班=8名の省力が可能となった。

正確な位置決めとサイクルタイムの短縮には、減速開始をいつ行うかが重要となる。そのため、最高速度に達する走行区間と、そうでない区間で計算式を変えるなどの考慮を払っている。

さらに停止位置の確認のため、クレーン本体側へ発光ダイオードの投受光器を設け、それが地上側の各土間中心に設けた幅150mmのしゃへい板によって確実にさえぎられているかチェックしている。

停止精度が $\pm 75\text{mm}$ を外れている時は、位置修正を3回まで繰り返す機能も設けている。

4.4 表示、打刻、ラベル貼付の自動化

精整ラインでは表示、打刻、ラベル貼付といった多様なマーキング作業にこれまで多くの人手を必要としていた。これらの作業は単調かつ煩雑であり、マーキングのミスや不鮮明化を生じやすく、処理にも時間を要していた。さらに、移動する鋼板に接する危険作業でもあるため、テーブルによる鋼板搬送を自動化、高速化するには、これら作

業の自動化が不可欠な課題であった。第2厚板工場においては、ラインコンピュータから情報を、精整プロコンから起動指令を受けるといった完全な自動化を完成させることができ、精整ラインの省力化、高速化、マーキングの正確化、美化化に大きく貢献している。

4・4・1 製品表示機

厚板の製品表示は、鋼板1枚ごとに60個近い文字板を組合わせた文字板枠を作り、液体塗料を噴霧してマーキングするという最も煩雑な作業であった。今回、Photo. 2 に示す輪転印刷式の表示機による走間表示を実現し、これまで少なくとも5名以上必要としていた作業を監視のみの1名に省力し、処理時間も1サイクル10sec以下に短縮した。この装置は、各々に最大36個のゴム印が接着されたベルト64本をミニコンを用いて選字して輪転印刷するもので、この方式自体は次の特徴を有する。

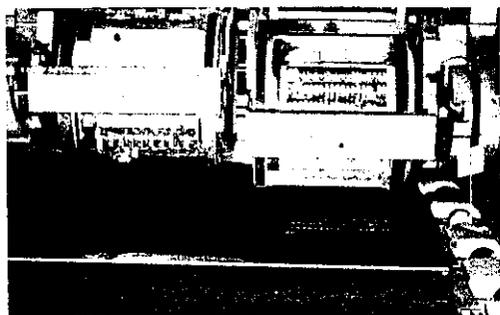


Photo. 2 Marking heads of automatic main marker

- (1) 1m/secで走行中の鋼板に、そのまま停止させることなくマーキングできる。
- (2) 紙ステンシルなどを用いず、使用する塗料の量が少ないためランニングコストが低い。
- (3) 表示が鮮明かつ美麗である。
- (4) 複雑な形状のマークや特殊文字もそのままの形を表示できる。

設備導入にあたっては処理時間、保全性を考慮し、次のような点に努力を払い当所独自の機能をもたせた。

- (1) 走行中の1枚の鋼板の数ヶ所に印字位置をあらかじめ書き示さずとも正確に所定の位置

に印字している。これは印刷機版胴の回転量と鋼板の移送量とを、テーブルを制御する精整プロコンによって同期制御させたものである。

- (2) ベルトの選字制御を、それまでのハードカウンタで行う方式をやめ、直接DDC化し、ハード構成をシンプル化し、ミニコンの機能を最大限に有効利用した。

- (3) スリット板を同時処理するため、マーキングヘッドを2台設け、板幅に応じて位置制御を行う方式とした。

- (4) マーキングヘッド2台のうち1台が故障しても、残り1台でもスリット板の処理を可能とした。

- (5) 各ヘッドに対応させミニコンも2台とし、一方が故障しても残り1台で制御可能とした。

4・4・2 製品打刻機

板番、協会刻印など19桁の文字を一度に自動打刻するもので、次の特徴を有する。

- (1) 打刻サイクル6sec/回、打刻のための鋼板停止時間3secと処理が速い。

- (2) スリット板を同時打刻するため、打刻ヘッドは2基有し、板幅に応じて位置制御を行っている。

- (3) 打刻ヘッドの一方が故障しても、残り一方でスリット板の処理が可能である。

4・4・3 供試材打刻機

材料試験用の供試材に板番6桁を打刻するもので、打刻ヘッドが1基であること以外はほぼ製品打刻機と同じ仕様であり、打刻ヘッド自体は保守性を考慮し、製品打刻機と互換性をもたせている。

4・4・4 ラベル貼付機

幅5.5mm、長さ165mmの細長い厚板製品ラベルを鋼板側面に自動的に貼付するものである。鋼板搬送機能と同期をとりつつ、ラベルの印字から貼付までを完全自動化したシステムを完成した。

機能的には下記のような特徴をもつ。

- (1) 鋼板厚み6mmにも正確に貼付できる。
- (2) 貼付後、後処理を行いラベルの脱落はまったく生じない。
- (3) 貼付のための鋼板停止時間は約3secと非常

に短い。

またシステムとして当所独自の機能をもたせるため特に次のような点を考慮した。

(1) 鋼板側面のできるだけ板厚中心部に貼付するため、鋼板下面を検知しかつミニコンにより貼付ヘッドの高さ制御を行うようシステムを構成した。

(2) サイクルタイムの短縮のため貼付機を2ヘッドとし、スリッタ板の同時貼付を図り、かつ移動側のヘッドは板幅に応じてミニコンにより位置制御を行っている。

(3) このような自動化機器は構造が複雑で故障を発見し難い。そこでミニコンによる高度の故障監視を行い、故障内容をランプ表示する以外にシステムタイプライタで詳しく打ち出す機能をもっている。

(4) 鋼板に接触するこの種の自動化機器は、種々のインターロックを設けていても鋼板衝突による長期ダウンをしばしば発生する。そこで、かりに衝突しても回転して逃げる機構を設けた。

4.4.5 倉庫山番表示機

製品倉庫はラインコンピュータによる地番管理を行い、クレーンオペレータは玉掛合図者なしで鋼板を搬走する。鋼板上面に先行山番をマーキングすることによってクレーンオペレータに搬走先を知らせる。このため、前述の製品表示機と同じ輪転印刷方式により英数字を含む6桁の倉庫山番表示機を倉庫入口に設け、精整プロコンより起動指令と表示情報を受けとり完全自動運転されている。

特徴は、鋼板移送と同期をとり、最大90m/minで移送中の鋼板を停止させることなく先端から±150mmの精度でマーキングすること、需要家に対して不要な記号のついた鋼板を納入しないよう短期間に消失しやすい特殊塗料を用いていることなどである。

4.5 検査の自動化

検査は品質保証のかなめであり、検査精度の向上と省力のために検査の自動化が必要である。製品については多くの検査項目があるが、人間の官能検査に頼らざるをえないものおよび投資効果の

得られないものを除き、寸法検査、秤量、超音波探傷を自動化した。

(1) 寸法検査

高精度のデジタル方式γ線厚さ計2台をサイドシア出側に設置し、それぞれ鋼板のエッジ、センタの板厚を測定する。測定データは精整プロコンで事前処理され、ラインコンピュータへ伝送される。

幅、長さについてはそれぞれサイドシアの刃幅、およびエンドシアの測長せん断制御装置からのフィードバック値を使用している。幅、長さについては専用の計器の導入も検討したが、せん断制御装置からの実績値により現状の計器と同等以上の精度が得られることを確認し、採用を中止した。

(2) 秤量

テーブル下に秤量機を組込み、製品重量を実測する。精度向上のために容量10tの秤量機を2台設置し、最大20tまでの秤量を可能としている。

(3) 超音波探傷装置

超音波探傷装置については別に詳しく報告⁶⁾するが、処理能力10000枚/月の全自動式のものを導入した。この装置は64チャンネルのプロープを持ち鋼板の全面探傷が可能であり、かつデータ処理、合否判定までが自動化されている。

4.6 精整ライン全自動運転システムの実績

本システムもプラント稼動時よりすべての機能が自動モードで運転され、完全に操業に定着している。省力を主目的とする自動運転システムは、稼働率が高いレベルに維持されることによってはじめてその効果を発揮することができる。そこで、計画時点より信頼性の向上に対しては十分な考慮を払った。精整プロコンはもとより、いわゆる自動化機器も予期以上の高い信頼性が得られ、稼働率は99.5%に達している。精整ラインの能率も大板ベースで月平均50枚/hに達しており、またせん断精度もFig. 10に示すような高い精度が得られている。

5. あとがき

以上、水島製鉄所第2厚板工場の自動化について、その概要と技術上の特徴を説明した。厚板工

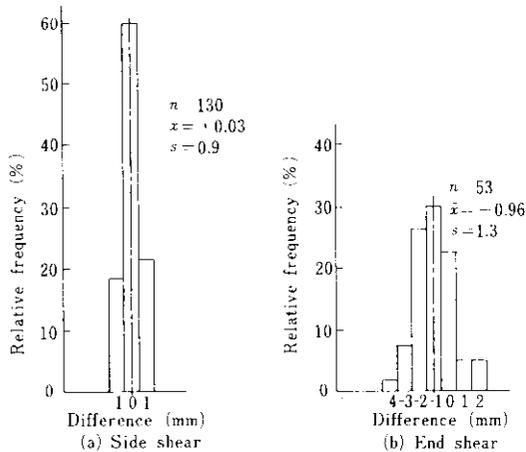


Fig. 10 Accuracy of shearing (difference between set and measured values)

場において作業情報処理システム、プロセスコンピュータ、自動化機器を有機的に結合し、スラブの受入れから製品の出荷までの全工程を自動化するトータルシステムを我が国で初めて実用化した。本トータルシステムは、計画時点での詳細な検討と事前の入念な調整により、プラント稼動と同時にすべての設備がオンライン化され、完全に操

業に定着している。しかも、各設備ともに極めて高い稼働率が維持されていて、当初目標とした労働生産性の向上、品質、歩留まりの向上に著しい効果が得られている。

このように高度に自動化された圧延工場における操業技術の向上は、自動化レベルの向上によって達成される項目が多く、今後とも機能の拡充と向上をめざして絶えざる開発努力を続ける所存である。また、自動化の効果は高い信頼性の維持によって初めて得られるものであり、このように多くの自動化設備を効果的に保守する保全体制の確立を図りたいと考えている。

鉄鋼業主要プラントにおける自動化は、今後ますますトータル化され、無人化をめざした開発が強力に進められると思うが、本システムが無人自動圧延工場実現への道を切開くうえで大きな役割を果たしたものと確信している。

おわりに本システムの開発に御協力いただいた富士通㈱、富士電機製造㈱、三菱電機㈱を始めとする各メーカーの関係者各位に深く感謝するしだいである。

参 考 文 献

- 1) Oshima, Hirai, Miura: International Meeting on Iron and Steel Making Automation II, (1970), F-7
- 2) 大島, 平井, 三浦: 川崎製鉄技報, 2 (1970)1, 58
- 3) Iidaほか: International Meeting on Iron and Steel Making IIa. (1976), 5.2.2
- 4) 大島, 三浦, 坪田, 瀬川: 鉄と鋼, 61 (1970) 12, 199
- 5) 川崎製鉄㈱水島製鉄所: 計測部会資料 (計測 58-3-5), 厚板ミルの計算機制御, (1974)
- 6) 宇野ほか: 川崎製鉄技報, 8 (1976) 3, 88