
水島製鉄所冷間タンデム圧延機の計算機制御

Computer Control of 5-Stand Cold Mill at Mizushima Works

西出 輝幸(Teruyuki Nishide) 岸田 朗(Akira Kishida) 北尾 斉治(Nariharu Kitao)

要旨：

水島製鉄所の5スタンド冷間圧延機に制御用コンピュータが導入され、1971年3月より稼働を始めた。このコンピュータシステムは、次のような特長をもっている。(1) 冷延工場の工程管理用計算機と直接結合し、情報処理の全自動化システムを構成している。(2) セットアップ計算に圧延理論式を基本とした「絶対計算方式」を取り入れたため、材料サイズの変動や圧延状態の変化に対して融通性を持っている。(3) 従来のAGCでは良好な制御が困難な通板・加減速・尻抜き時にコンピュータより直接板厚制御信号を出力することによってAGCシステムを補っている。従来の圧延機制御は、プリセット中心であったが、(3)の機能により冷間圧延機固有の種々の圧延状態に発生する外乱を制御することができるようになった。現在当システムは機能を十分発揮し、オフゲージの減少、圧延能率の向上、作業人員の削減などの効果をあげている。

Synopsis：

The computer control system of 68" 5-stand cold tandem mill at Mizushima Works started its operation in March, 1971. The outstanding features of this system are as follows: (1) This computer is on line connected with the line computer of cold rolling plant and composes a full automatic system of data treatment. (2) This system adopts a "direct calculating method" based on Hill's equation for set up calculation of mill. This has much flexibility for the change of coil size and rolling conditions. (3) This system makes up the weak points of wire logic AGC system during threading, acceleration, deceleration and tailing out. Former computer control systems of cold tandem mill are mostly limited to data logging and mill set up. But adding the third function to the control system, it becomes possible to control noises peculiar process, obtaining increased yield decreased downtime, manpower saving and improved quality.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

水島製鉄所冷間タンデム圧延機の計算機制御

Computer Control of 5-Stand Cold Mill at Mizushima Works

西 出 輝 幸*

Teruyuki Nishide

岸 田 朗**

Akira Kishida

北 尾 斉 治***

Nariharu Kitao

Synopsis:

The computer control system of 68" 5-stand cold tandem mill at Mizushima Works started its operation in March, 1971. The outstanding features of this system are as follows:

- (1) This computer is on line connected with the line computer of cold rolling plant and composes a full automatic system of data treatment.
- (2) This system adopts a "direct calculating method" based on Hill's equation for set up calculation of mill. This has much flexibility for the change of coil size and rolling conditions.
- (3) This system makes up the weak points of wire logic AGC system during threading, acceleration, deceleration and tailing out.

Former computer control systems of cold tandem mill are mostly limited to data logging and mill set up. But adding the third function to the control system, it becomes possible to control noises peculiar to the cold strip mill. Now this control system is operating successfully and is an integral part of the process, obtaining increased yield, decreased downtime, manpower saving and improved quality.

1. 緒 言

製鉄所における最近の自動化は、コンピュータを導入することによってより高度化しつつあり、圧延部門では工程管理を行なうコンピュータと、圧延機などのプロセスを制御するコンピュータが結合されたハイアラーキな制御システムが設置されるまでになっている。冷間タンデムミルにおいては、ホットストリップミルやプレートミルに比較して投資効果が小さいと考えられることや、技術的に困難な面が多いために一般的なものとはなっていないが、ここ数年來いくつかの設備にコン

ピュータが導入されつつある。

水島製鉄所の5スタン্ড冷間圧延機には制御用コンピュータが導入され、1971年3月より稼動を始めた。このコンピュータシステムは、次の3つの特徴を持っている。

- (1) 冷延工場の工程管理用計算機と直接結合し、情報処理の全自動化システムを構成している
- (2) セットアップ計算に、圧延理論式を基本とした「絶対値計算方式」を取り入れたため、材料サイズの変動や圧延状態の変化に対して融通性を持っている。
- (3) 従来のAGCでは良好な制御が困難な通板・加減速・尻抜き時に、コンピュータより直接板

* 水島製鉄所設計部第2設計課掛長

*** 水島製鉄所システム部計測課

** 水島製鉄所第2圧延部冷圧課掛長

厚制御信号を出力すること(ダイナミック制御)によって、AGCシステムを補っている。

従来の圧延機制御は、プリセット中心であったが、(3)の機能により冷間圧延機固有の種々の圧延状態に発生する外乱を制御することができるようになり、歩止まり向上と稼働率向上に大きな寄与をなしうるものである。

現在当システムは機能を十分発揮し、オフゲージの減少、圧延能率の向上、作業人員の削減などの効果を生み、圧延機の重要な構成部分となっている。

以下に計算機導入のねらい、計算機制御システム、計算機導入の効果などについて報告する。

2. 計算機導入のねらいと導入経過

2.1 計算機導入のねらい

従来の圧延方式では、長年の経験と勘によりミルのセットアップおよびゲージ調整を行なっており、またその方法も各オペレータによりさまざまに行なわれるのが実情であった。計算機導入にあたっては、このような状況を考慮して次のような点をねらいとして、計画した。

(1) ミルのセットアップ

従来のミルでは、各スタンドのオペレータが経験により圧下、スピードを設定し、圧延中にそれぞれを調整して最適な圧延状態にもっていく。したがって、同一ロット内のコイルの圧延が続く場合には問題はないが、ロットが変わった場合には安定した圧延状態がえられず、それによる能率ダウンとオフゲージの増大が著しい。これを適応修正機能を持つ数式モデルを使ってセットアップすることにより、安定した操業と品質、能率の向上を図る。

(2) AGCのバックアップと操業全自動化

当ミルは、BISRA方式およびGE方式の自動板厚制御装置が設置されているが、通板・加速・減速・戻抜きなどの場合のように板厚偏差が大きく張力も規定値から大きく変動する場合には、オペレータの手動介入により調整する必要がある。しかし張力のバランスを取りながら板厚偏

差を小さくすることは短時間では行ないえないため、オフゲージが発生せざるをえなくなる。このように手動介入を必要とするところでAGCの制御を助けること、さらには手動介入を必要としないようにすることを、コンピュータ導入のねらいとする。これらの操作をコンピュータに任せることができれば、オペレータは形状や全体の工程、各機器の監視にあたることができる。

(3) 作業報告書、解析データ収集

圧延作業の記録としての日報は、手書きにより作成されていたが、記録項目が多いために報告書作成要員が必要であった。これを計算機で処理すれば、人員の削減と記録の内容の正確さを図ることができる。さらに圧延状況の問題点をより正確に詳しく把握し、品質上、能率上の問題にアプローチしやすくする。また定常状態の圧延記録により、品質、能率に及ぼす要因を摘出し、その解析により圧延条件の再検討を行ない、冷延工程の中で圧延原因による問題点の改善を図る。

2.2 完成までの経過

冷間タンデムミルの計算機制御の計画は、前記の目標のもとに進められた。千葉製鉄所6スタンド冷間タンデムミルの操業データの解析を行なって、計算機制御の可能性を検討した。さらに日立製作所から、実験ミルを使った圧延に関する基礎研究にもとずき、計算機制御の提案が出された。これらを基礎に1969年8月計算機システムの導入を決定した。以後同年10月計算機稼動と同時にオフラインでセットアップ計算し、プリセットすることに成功したことや、翌年1月から4月までデーターロガーを設置し、実操業データによる数式モデルの検討を行なうなどの経過を経て、1970年9月計算機が搬入されて以来、比較的スムーズに計算機制御の完成をみた。以下にその経過を記述する。

・導入計画(1969年8月まで)

日立製作所; 実験ミルによる基礎研究

当社; 千葉製鉄所6スタンド冷間タンデムミルのデータ収集および検討

・1969年8月

導入決定

・同年10月

- 圧延機稼動、オフラインセットアップ計算によるプリセットに成功
- 1970年1月 データロガーを設置して、データ採取、数式モデルの最終検討
 - 同年8月 設置工事
 - 同年9月 計算機搬入、調整およびデバッグ
 - 1971年1月 情報処理開始
 - 同年2月 プリセット開始
 - 同年7月 ダイナミック制御開始以後レベルアップを継続中

コイル外径	915~2,650 mm
(2) ミル仕様	
ロール径	ワークロール 610 mmφ バックアップロール 1,520 mmφ
ロール幅	1,730 mm
圧延速度	1,500 m/min
圧下方式	油圧圧下

板厚精度の向上とロール替えなどの作業時間の短縮のため高性能の油圧圧下 (HYROP) を設置し、品質と能率に大いに寄与している。また運転方法は将来ワンマンコントロールが可能のように5スタンド出側に集中監視室を設けている。集中監視室では現在一人の監視者により操業している。

当冷間圧延機は、図1に示す構成の制御装置で制御されている。各スタンドに自動厚さ制御装置 (AGC) がある。AGCは、低速圧延状態においては BISA 方式を基本とする制御系が動作する。高速圧延状態になると No.1 スタンド出側 X線厚さ計偏差信号による圧下制御と、No.5 スタンド出側 X線厚さ計偏差による張力制御を基本とする制御に移る。さらに AGC には、バックアップロール軸受けの油膜厚さが速度によって変化することを補償する速度補償機能がある。No.2 スタンド出側にも X線厚さ計が取り付けられてい

3. 計算機制御システム

3.1 圧延設備および圧延機制御装置

水島製鉄所の5スタンド冷間タンデムミルは、1969年10月に稼動した。圧延機的主要仕様は次のとおりである。

(1) コイル仕様

入側板厚	1.8~6.0 mm
出側板厚	0.25~3.2 mm
板 幅	600~1,600 mm
コイル重量	最大50 t

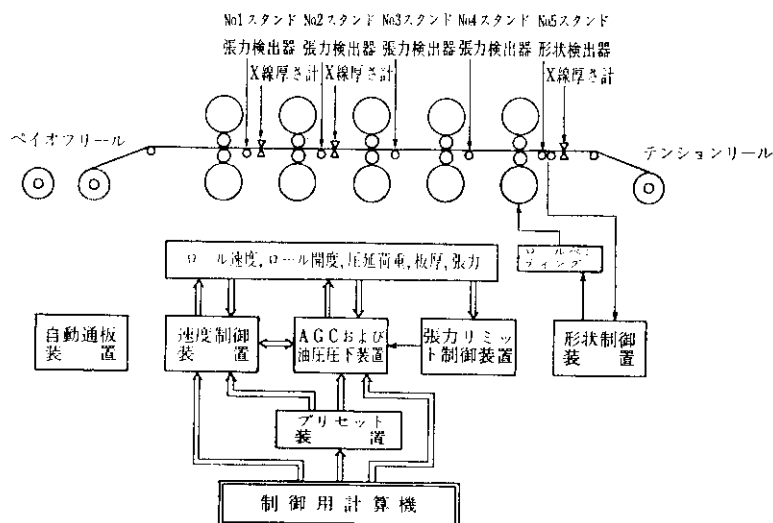


図1 冷間圧延材の制御システム

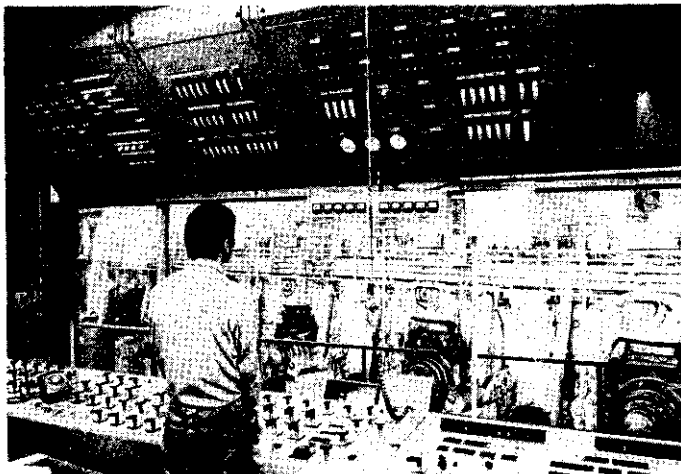


写真 1 圧延機運転室

るが、この信号は計算機の入力信号となるだけである。最終スタンドには形状制御装置が取り付けられている。この装置は No.5 スタンド出側の形状検出器により、No.5 スタンドのロールベンド圧力を変えるものである。速度制御装置と圧下制御装置は、プリセット装置から設定値を受ける。手動圧延時には、設定値は運転室にあるデスクからディジスイッチを介してインプットされるが、自動圧延時は制御用計算機によって与えられる。計算機はプリセット装置にロール開度、モータ

タ回転数、張力中央値、厚さ計設定値、AGCの定数などを設定するが、さらに圧下制御系と速度制御系に直接制御信号を出力することによって、ロール開度とモータ速度を変更できる。

これらの制御系とは別に、自動通板装置があり通板が自動的に行なわれるようになっている。写真1はこれらの圧延機制御装置によって装備された圧延機の運転室である。

3.2 計算機システム

前述の圧延機制御装置の中に占める計算機の役割は、各装置を有機的に結合して各装置の機能をさらに拡大するとともに、運転を容易にしながら、計算機が持つ大容量の情報量と演算速度の速さを生かして、さらに大きな成果を生むことである。

このような機能を満たすために導入された計算機制御システムは、図2に示すシステムであり制御用計算機 HITAC 7250 を中心として構成されている。HITAC 7250 中央処理装置は、サイクルタイムが $2\mu\text{sec}$ であり、比較的高速の中型計算機である。

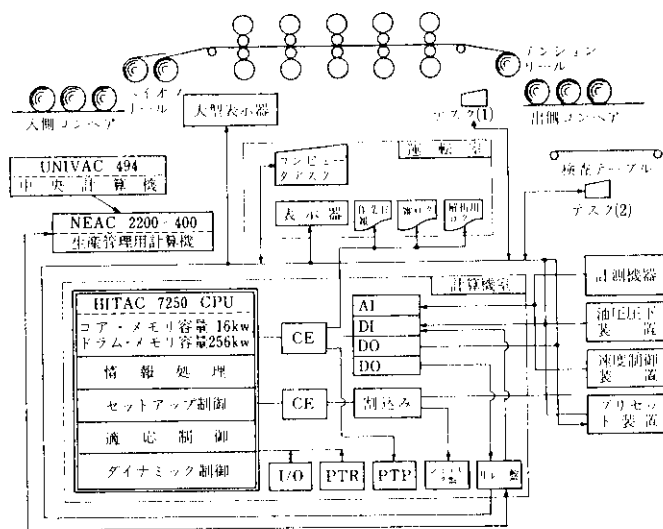


図 2 計算機システム

当システムを作るにあたり以下に述べることを重視した。まず信頼性のあるシステムであること。これは計算機が直接制御する機能を有している以上当然のことであり、このため、安全のために出力は水銀リレーを経由すること、直接出力には適切な切換スイッチを入れることなどのハード的な処置のほか、合理性チェックを十分に行なうて、誤った処置をすることがないよう考慮した。次にダイナミック制御が計算機の他の処理によって制御性が損なわれることのないよう同時並行処理を大幅に取り入れた。さらにオペレータが新しいシステムを容易に使いこなせるようにするために、最終スタンド出側板速度や全体的なパワーバランスなどの修正が容易に行なえるように考慮した。また冷間圧延機の本格的な計算機制御はまだ始まったばかりであり、解析的作業が少なくないと考えられたので解析用表を充実させることや、デバッグを行ないやすいようにした。

本システムは以上のような基本的な考え方によって設計された。

この計算機制御システムは大別して、情報処理、セットアップ計算と数式モデルの適応制御、ダイナミック制御に分けられる。個々については、それぞれの使用状況とともに次節以降に記述する。

3.3 情報処理

当システムの情報処理は、冷延工場のデータ処理システムの一部であり、冷間圧延作業に付随するデータ処理をすべて自動化したものである。

中央計算機システムは、水島製鉄所の生産計画を立てる。冷延部門に関する生産計画は、中央計算機から冷延工場の工程管理用計算機（NEAC 2200-400）に送られる。工程管理用計算機システムは、冷延工場の酸洗、圧延、洗浄、焼鈍、調質、精整各ラインの作業と工程を管理している。圧延ラインでは、図2に示す入側コンベアにコイルが乗せられると、工程管理用計算機は当制御用計算機にデータを送信する。内容は、圧延命令、コイルに関する仕様、品質データなどである。コンベア上のコイルの変更、入替え、取消しなどは工程管理用計算機がトラッキングし、変更があった場合はそのつど当制御用計算機に送信する。巻

取機に装備された後は、当制御用計算機がトラッキングを行なう。当制御用計算機では通板から尻抜きまでの各圧延状態に応じて制御する機能を持つため、トラッキングは緻密に行なわれる。各圧延状態の認識ばかりではなく、先端部または尾端部がどのスタンドに到達しているかとか、特にデータを収集すべき制御点（コントロールポイント）の追跡などである。さらにダイナミック制御機能の信頼性を高めるためにトラッキングには十分な合理性チェックを行なっている。たとえば圧延荷重の変化によって計算機にスタンドかみ込み信号が割り込むが、計算機は前後のスタンドのかみ込み状態、そのスタンドの荷重値、張力の状況を総合的に判定して、かみ込みを認識する。このトラッキング機能を基礎に種々の制御やロギングを行なう。

大型表示器には、現在圧延されているコイルと次回圧延されるコイルに関する情報が表示される。運転室内の表示器には、現在圧延しているコイルと次回圧延されるコイルについて、コイルの仕様とセットアップ計算で計算したプリセット値が表示される。アラームプリンタには、圧延作業に応じて発生する異常情報や、工程管理用計算機から送られる情報の内容、コンピュータデスクからインプットされるロール情報が印字される。コンピュータデスクからはこの他に休止理由や破断の場合の処置の方法などいくつかの情報が、必要に応じてインプットされる。No.5 スタンド出側にある設定盤からは形状の情報がインプットされ、検査テーブルの設定盤からは、検査情報がインプットされる。

コイルが最終スタンドを抜けると、そのコイルについての情報一伝送情報、圧延状態の情報、休止情報、形状・検査情報などが集計され、コイル毎の製品ロギングが行なわれる。さらに解析用に詳細な圧延情報がロギングされる。解析用データは、必要に応じて計算機室の紙テープパンチャーでタイプアウトされる。このテープは別計算機で解析処理される。解析用ロギングはコイルごとの定常速度圧延時のもの以外に、必要な時に任意の時点の解析データを打ち出すことができる。

ロギング機能としてさらに次のものがある。

- (1) シフト交代時の集計ロギング
- (2) 稼働率を表わす月報
- (3) ロール情報を集計する月報

3.4 セットアップ

圧延が定常速度に達すると、変動の少ない操作データを取込み、後で述べる数式モデルの適応修正を行なった後、次のコイルのセットアップ計算が始まる。この計算は、図3に示すフローに従ってなされる。まず工程管理用計算機から送られる圧延命令とコイル仕様によりスケジュール計算が行なわれ、その後セットアップの諸計算が行なわれる。

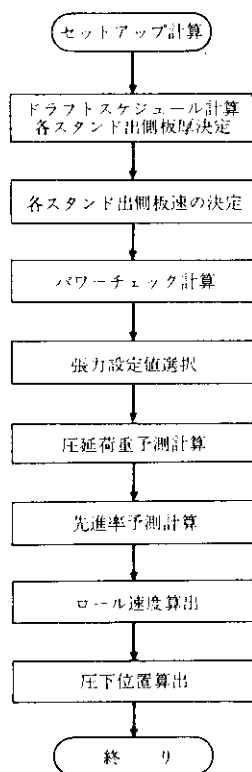


図3 セットアップ計算のフロー

3.4.1 スケジュール計算

ドラフトスケジュールは、板の形状と圧延能率の2面から決定すべきものである。当システムはこの2つの観点を考慮したドラフトスケジュールを採用したが、「良い形状を与えるスケジュール」

に関してはまだまだ未解決な問題が多いことを考えて、発展性を持たせることに留意した。

冷間圧延においては、板の形状を決定する種々の因子がある。母板の形状、張力、初期クラウン、ロール摩耗や膨張、ロールベンド圧などである。しかし母板の形状は測定することが困難であること、ロール摩耗と膨張の形状に与える影響を除去しようとすれば、ロールベンド圧力をコイルごとに適応修正させながらプリセットするという手法を取らざるを得ないことなど非常に複雑である。しかしながら伸びが大きいほど各スタンドの幅方向の厚み差は小さくなるため母板形状の影響が小さくなり形状が良くなる。したがって前半スタンドでの圧下を大きくすれば、後半スタンドの板の形状を一定に保ちやすいということがいえる。この観点から母板の形状などの外乱に対して強いドラフトスケジュールを決めることにし、ドラフトスケジュールの決定には圧下率配分法を採用した。多くの操作データから、母板厚み、仕上り厚さなどによる数式で表わされる圧下率基準値の係数を決定した。各スタンドの圧下率は、この基準値に基づき、全圧下率を合わせるための補正計算によって決定される。

圧延能率を下げないようにするために、このドラフトスケジュールはパワーチェックを受ける。母板に応じて数種の圧延パワーパターンが用意されており、このパターンのある上下限值内にはいっていないければ再度ドラフトスケジュールを計算しなおす。

ドラフトスケジュールの良否は、まだまだオペレータの判断に負うところが大きいためスケジュール変更は、オペレータが容易に行なえるようにした。

このようにして決められるドラフトスケジュールは、プリセットに使用されてその有効性を発揮している。

3.4.2 セットアップ計算

セットアップ計算に用いられる数式モデルは、圧延理論式から出発し、オンラインに適用できるように実験ミルのデータと実操業データで修正したものである²⁾。これは Hill の圧延荷重式を中心

にし、ロール開度モデル、先進率モデル、圧延トルクモデル、圧延パワーモデルなどから成立っている。ドラフトスケジュール計算で各スタンド出側板厚が決定されると、各スタンドの出側板速が決定され、パワーチェックされた後、張力設定値を選択し、圧延荷重予測計算が始まる。その後圧延荷重予測値にもとずき圧下位置が算出され、一方先進率予測計算値にもとづきロール速度が算出される。

ここでは当システムに採用された数式モデルの特徴的なものを述べる。圧延荷重予測の精度は主として変形抵抗と摩擦係数に依存する。したがってこの2つについては十分検討された。変形抵抗は鋼種や材質によって層別された。さらに鋼塊のトップとボトムとで変形抵抗が異なることに着目し、工程管理用計算機から送られるトップ圧延かボトム圧延かの信号により、変形抵抗を選択して使用している。摩擦係数は操業データから数式モデルを使用して逆算し、速度依存性、圧延油による相異など多くの角度から検討した。図4はこのように計算した摩擦係数の一例である。摩擦係数は圧延油により明確に区別されている。

表1は圧延荷重予測の精度を表にしたものである。予測精度が10%を越えるものが若干存在する。誤差として変形抵抗と摩擦係数以外に、母板

厚さ、母板幅の予測に使用する値と実際値の差、数式モデルの誤差などが考えられる。オフラインで測定可能な変形抵抗、母板厚さ、幅の誤差を測定すると標準偏差で7%程度に達する。その中でも変形抵抗の変動が大きい。変形抵抗による誤差は、後述するダイナミック制御で通板始めて修正され、さらにコイルごとに適応修正される。他の要因による誤差は、コイルごとに適応修正される。

3.5 数式モデルの適応修正

コイルを1本圧延するごとに圧延状況は変化していく。この圧延状況の変化に対して正しいプリセットを続けるために、常に数式モデルを修正していく必要がある。冷間圧延において経時的に変化する要素には次のものが考えられる。圧延ロールは圧延すると摩耗していくため、ロール径が変化する。さらにロール径は、ロール替後徐々に熱を帯びるために膨張する。この変動は300~400 μ にもおよぶ。圧延の潤滑油は同一の液が何度も使用されるためにしだいに汚れ、摩擦係数が変化していく。経時的な変動以外に数式モデルの誤差、信号の校正の誤差も数式モデルの修正を必要としている。

当システムでは数式モデルに絶対値方式を採用

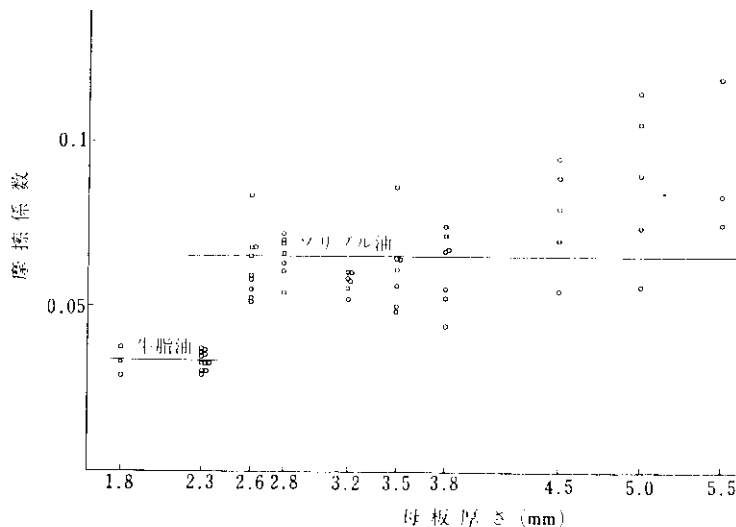


図4 圧延油による摩擦係数の相違の一例

表 1 圧延荷重予測精度

母 板		No.1 スタンド (%)	No.2 スタンド (%)	No.3 スタンド (%)	No.4 スタンド (%)	No.5 スタンド (%)
2.3 mm	全コイル数	37	35	43	43	37
	±5%内	22 (59.5)	21 (60.0)	22 (51.2)	22 (51.2)	12 (32.4)
	±10%内	29 (78.4)	28 (80.0)	39 (90.7)	34 (79.1)	21 (56.8)
2.6 mm	全コイル数	41	41	38	46	42
	±5%内	31 (75.6)	23 (56.1)	26 (68.4)	27 (58.7)	19 (45.2)
	±10%内	33 (80.5)	33 (80.5)	34 (89.5)	40 (87.0)	31 (73.8)
2.8 mm	全コイル数	50	52	56	48	50
	±5%内	38 (76.0)	28 (55.6)	33 (58.9)	33 (68.8)	24 (48.0)
	±10%内	44 (88.0)	46 (88.5)	47 (83.9)	42 (87.5)	37 (74.0)
3.2 mm	全コイル数	50	50	45	43	44
	±5%内	24 (48.0)	30 (60.0)	29 (64.4)	26 (60.5)	23 (52.3)
	±10%内	47 (94.0)	45 (90.0)	39 (86.7)	37 (86.0)	36 (81.8)
3.5 mm	全コイル数	50	48	48	51	48
	±5%内	32 (64.0)	25 (52.1)	25 (52.1)	29 (56.9)	22 (45.8)
	±10%内	47 (94.0)	42 (87.5)	39 (81.3)	45 (88.2)	31 (64.6)
3.8 mm	全コイル数	40	41	40	40	38
	±5%内	31 (77.5)	25 (61.0)	27 (67.5)	28 (70.0)	20 (52.6)
	±10%内	35 (87.5)	33 (80.5)	35 (87.5)	37 (92.5)	31 (81.6)
平 均	全コイル数	286	267	270	271	259
	±5%内	178 (66.4)	152 (56.9)	162 (60.0)	165 (60.9)	120 (46.3)
	±10%内	235 (87.5)	227 (85.0)	233 (86.3)	235 (86.7)	187 (72.2)

しているため、適応修正にこの利点を生かして誤差の要因をできるだけ細かく分離し、精度を上げること努めた。適応修正として次の式を修正している。

- (1) 摩擦係数の経時的変化を主要因として誤差が発生する圧延荷重式
- (2) 摩擦係数の変化、ロール径の変化により誤差が発生する先進率式
- (3) ロール摩耗、熱膨張によるロール径の変化に

起因して誤差が生じるゲージメータ式

(4) 圧延トルク式

これらの適応修正にあたって問題となったのは各スタンド出側板厚の実績値をいかに正確に計算するかということであった。当システムでは2スタンド出側にX線厚さ計があるので、マスフローゲージを2スタンドX線厚さ計ゲージで補正することにより、信頼性が高く、比較的精度の良い出側厚さを計算することができた。図5は適応修正

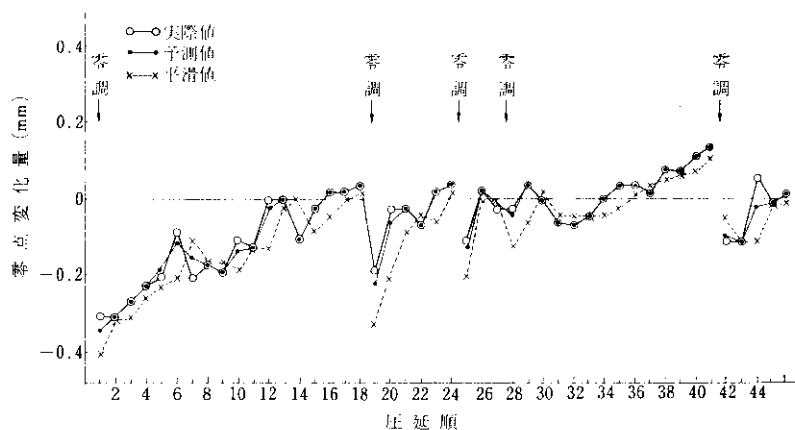


図 5 零点変化とその適応修正値 (No.1 スタンド)

の一例であり、零点の変動と、適応修正により変動を追っていくようすを示したものである。図では零調により零点が変動しているが、これは適応修正を行なうためのデータサンプリングが定常圧延速度時であるために生じた。ここでは零点の適応修正が、零点の大きな変動に対してよく追従していることがわかる。

3-6 ダイナミック制御

セットアップ制御では、ロール開度、ロール回転数などが予測計算され設定される。この設定計算はコイルごとの適応修正により、より正確なものになる。ホットストリップミルやプレートミルの計算機制御、さらに従来のコールドタンデムミルの計算機制御ではこのセットアップ制御が中心であり、圧延が開始されるとAGCに制御が移る。しかしながら冷間圧延では、通板・尻抜き・加減速・定常圧延という多くの圧延速度状態を取るために、ワイヤロジックのAGCだけでは十分な効果をあげえない。ダイナミック制御は、コイル仕様や圧延中の状態変化に応じて適切な計算を行ない、圧延中に制御信号を出力する。ダイナミック制御は、速度補償の修正、硬度補正、張力・板厚制御の3つに分かれる。

3-6-1 速度補償の修正

ロール回転数が変化すると、バックアップロールの軸受けにおける油膜厚さが変動するために、

板厚が変動する。この影響をなくすためにAGCに速度補償の機能があることは前述した。速度補償は連続的に行なう必要があるのでワイヤロジックの方が便利である。しかし、油膜厚さは圧延荷重の変化によっても変動するため、画一的な関係では不十分で、変動を吸収しきれない。速度補償の修正は、各コイルごとに速度に対する油膜厚さの変動量を計算しておき、速度補償との差を修正値として出力している。

3-6-2 硬度補正

セットアップ計算に使用される変形抵抗が予測誤差の最大のものである。硬度補正はNo.1スタンドかみ込み時に実圧延データをサンプリングし、変形抵抗を計算して全スタンドのロール開度を再設定するものである。変形抵抗はセットアップ計算で用いられる数式により逆算される。したがって、オペレータが通板のために手動介入している場合でも、補正値を算出しうる。図6は定常速度圧延時にサンプリングしたデータで計算した硬度と、通板時に硬度補正のために計算した硬度とをプロットしたものである。通板時は先方張力が無いことや低速であるために、摩擦係数が定常速度時と異なることが考えられる。図6で両者が良く一致していることは、張力の補正項や摩擦係数の速度依存性に関する数式モデルが正確であることを示すとともに、硬度補正の有効性を示している。圧延順14, 33では大きな相異がみられるが、

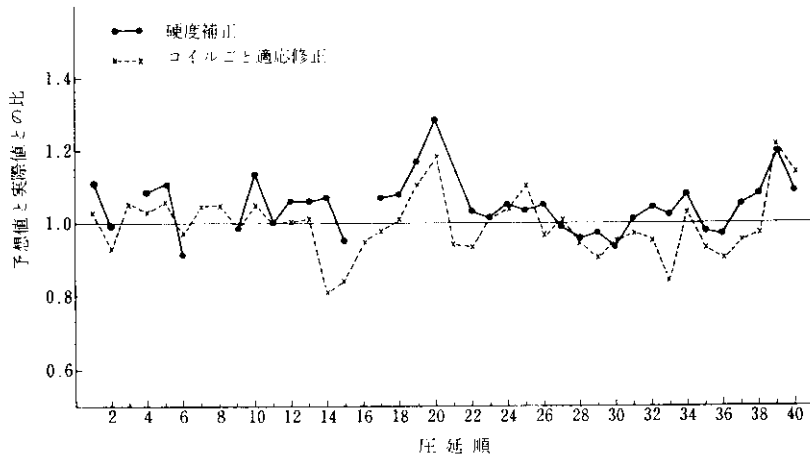


図6 硬度補正修正値とコイルごと変形抵抗計算値との比較

これは入側板厚の誤差が大きいためと考えられる。

3・6・3 張力・板厚制御

通板時は通板を行ないやすくするためにゲージが無視される。したがって先端部は偏差が大きすぎてAGCが制御することは困難であり、AGCが正常に効果を発揮するまでには時間がかかる。

さらに通板時は張力の発生を始めとする外乱が多い。張力一板厚制御は、AGCが制御しえない大きな偏差を迅速に小さくするために取り入れられた、フィードバックを中心とする制御である。張力一板厚制御は、通板から尻抜きまでの全圧延中厚さと張力をモニターし、その偏差に対して最適なロール開度およびロール速度の修正を行なう。さらに通板、尻抜き時の無張力の補正を行なうこ

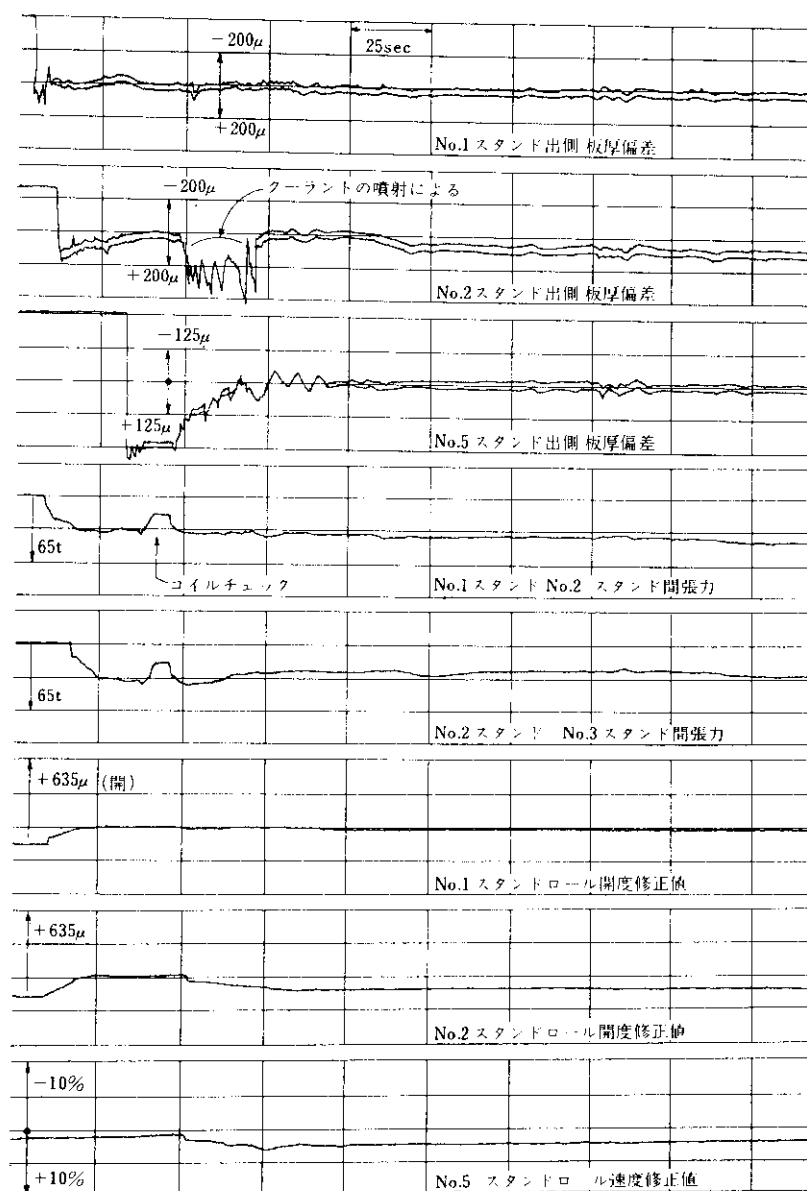


図 7 計算機制御結果 (出側厚み 1.2 mm)

と、通板時の張力の発生の状況に応じて張力により板厚を制御することも含まれる。フィードバック制御は、制御ゲインがコイルごとに修正される。この修正は、セットアップ計算時に各影響係数を計算することによってなされる。そして次サンプリング区間内の制御偏差を予測しながら偏差によって定まる評価関数を最小とするような、最適なロール開度と速度の修正値が出力される³⁾。図7はこの張力-板厚制御の一例である。この例では約15secでオンゲージとなっている。通板速度は60 m/minであるから、オフゲージ長は約15 mである。この張力-板厚制御を行なうことによってオフゲージは25~30%減少した。

4. 計算機導入の効果

計算機による圧延機の運転を、1971年3月から開始して以来9ヶ月近くなる。当初はプリセット、情報処理の導入から始め、ダイナミック制御については実験を重ねてオンライン化させていった。ダイナミック制御については操業全自動化という点からみて、レベルアップしていく必要があるが、所期の成果はあがっている。計算機導入の

効果についてまとめてみると次のようになる。

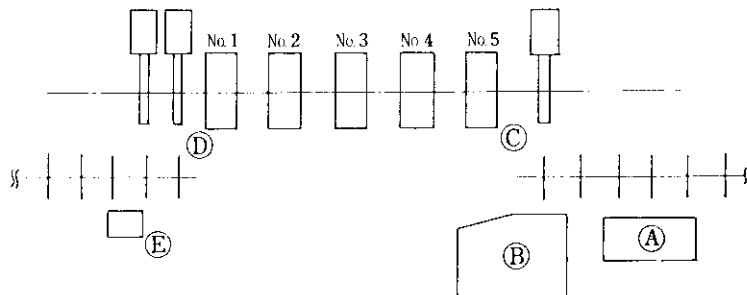
(1) 省力化

省力化に関しては2つの面が考えられる。一つは単純に人員の削減である。当タンデムミルの運転方式は4つのモードがあり、それらは手動運転、ディジススイッチによる運転、カードリーダーによる運転、コンピュータによる運転である。コンピュータ運転以前においてはもっぱらディジススイッチによる運転が行なわれてきたが、この方式では、圧延材料の鋼種、寸法により類別された圧延定常値を選定して1コイルごとにプリセットする必要があった。プリセットと並行して圧延作業を、集中監視室で1人で行なうことは不可能なため、2人で運転していた。コンピュータ運転以後これらの作業を計算機に任せることができるので、集中監視室の運転は1人で行なえるようになった。

いま一つの面は熟練度の問題である。従来の圧延機では、圧延機全体の運転に関しては相当の経験と熟練を必要としたため、長期にわたるオペレータの養成が行なわれてきた。現在では、当タンデムミルの運転は表2に示すような人員構成で行なっている。表2でわかるように、作業人員はネ

表2 水島製鉄所タンデムミル作業員配置

	経験年数	作業名	作業内容
A	10~20年	検査、点検	総指揮、板面斑点検
B	2~5年	MAIN 運転	ライン運転、ゲージ・形状監視
C	2~3年	出側運転	出側ハンドリング、形状調整
D	1~2年	入側運転	入側ハンドリング、入側板監視
E	1~2年	コイル段取	コイル要求、コイル準備、通板補助



ット5名であり、しかも経験2年前後の作業者である。

(2) 能率の向上

計算機導入によって生産能率の向上に寄与しているものは次のようなものである。

- セットアップの変更が自動的に行なわれるから、以前にセットアップに要していたロスタイムがなくなったこと。
- 経験の浅い者でも、以前の熟練者に近い運転が可能となったため、セットミス、通板、加減速時の未熟練のために発生するはずのダウンタイムがなくなったこと。
- 情報処理データにより、ダウンタイム要因を正確に詳しく分析することができるため、能率向上対策が明確となったこと。

総合的には図8で効果を見ることができる。図8は1971年1月から12月までの稼働率、能率の変動を示している。圧延能率、稼働率とも計算機稼働後上昇を続けている。圧延能率で20t/h稼働率で3%の上昇が見られる。

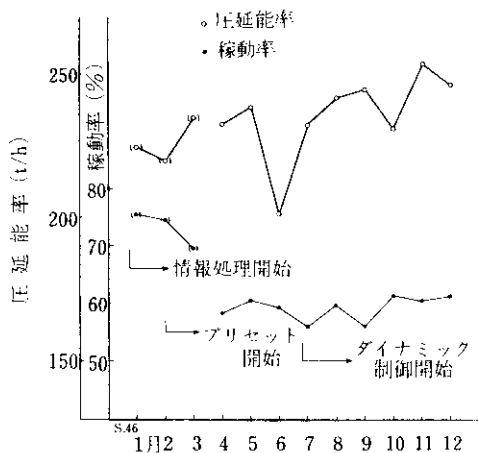


図8 圧延能率、稼働率推移

稼働率が3月以前と4月以後でギャップがあるのは、1, 2, 3月が手書きのデータで稼働率が計算されているのに対して4月以降は計算機が自動的に休止を集計しており、数秒の停止も休止として累計したためである。なおこのデータは、4月以降圧延ゲージが薄くなっているのを考慮して、板厚0.6mm以上のものについて集計した。

(3) 品質の向上

品質に関しては、次のような効果があげられる。

- セットアップの精度向上とダイナミック制御により、オフゲージが減少した。
- 計算機による運転により、作業者が異なることによる差がなくなり、安定した品質の製品を製作することが可能となった。
- 計算機が打ち出す報告書、解析データにより、品質レベルおよび圧延状況を厳密に監視することができるようになった。

図9は計算機が情報処理を開始した後のオフゲージの推移である。計算機導入によりオフゲージが約0.4%減少した。

品質に関しては、主として形状についてまだまだレベルアップしていく必要があるだろう。またダイナミック制御を充実させれば、さらにオフゲージも減少させる可能性が残っていると考えられる。

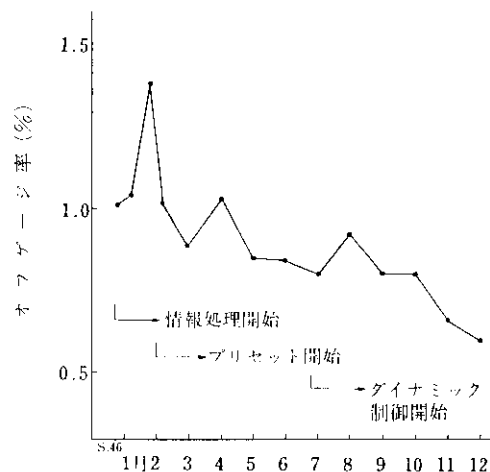


図9 オフゲージ率の推移

5. 結 言

計算機導入の段階で問題となったのは、投資効果を果たしてあげうるかどうかということであったが、十分機能を発揮しており投資に見合う成果があがりつつあると考えられる。技術的にはAGCシステムと絡み合うダイナミックコントロール

が緒についた所であり、今後調整しレベルアップを図らなければならないが、セットアップ、情報処理はすでに圧延設備の一部を構成しており、計算機が故障すればほとんど圧延不能に近い状態となっている。従来の圧延方式から大きく脱皮し、作業者の技能差による品質の不安定要素を少

なくして安定した操業で良品質のものが製作できるようになった。

最後に計算機導入に当たって製作、試運転、調整にご尽力をいただいた日立大みか工場と日立研究所の担当者の方々に厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) T. Kawamata, M. Hotta and T. Kajiwara : Rolling of Iron and Steel, (1970), [ICSTIS]
- 2) T. Kawamata, S. Shida and H. Kitano : Rolling Mill Conf., April, 1971, (1971), [AISE]
- 3) 諸岡, 中井, 北尾 : 1971年度自動制御連合講演会, (1971)

