

ホットストリップミルの計算機制御

Computer Control of a Hot Strip Mill

北之園 英博* 植山 正名*
Hidehiro Kitanosono Masana Ueyama
西 知 正 二* 大 成 幹 彦**
Shôji Nishitomo Mikihiro Ohnari

要 旨

ホットストリップミルの計算機制御は鉄鋼関係でいち早く実用化されたものの一つで、ここではホットストリップミルの全ラインについて計算機制御の概要を述べ、ハードウェアシステムの問題点、粗ミル、仕上ミルの制御の要点を制御モデルの考え方を含めながら概観する。計算機制御のねらいは品質および生産性を向上させることであり、全自動化は当然考慮される。

1. 緒 言

ホットストリップミルの計算機制御は McLouth で実用化されて以来、国内外の多くの技術者がその高度化の努力を続けている。制御の範囲も初期のものは仕上ミルに限っていたが現時点では加熱炉から粗ミル、仕上ミルを経てダウンコイラ、コンベヤラインに至るまで計算機のカバーする範囲となり、かつ制御も単に板厚の精度のみが評価関数ではなく、冶金学的性質や生産原単位も大きな要因として考慮されている。

こうした計算機制御で最も重要なシステム設計のフィロソフィーは圧延機械品、電気品、計算機システムが相互に協調がとれ圧延に対し有機的に一体となったシステムになっていることである。第2にとくに計算機制御システムに要求されるのはタフネス (toughness) である。たとえば一つの検出器が不調に陥ったために制御システムの機能が停止することを極力避けるよう考慮されていなければならない。

以下制御システム全般、粗ミル制御システム、仕上ミル制御などについて技術的にいかに制御が行なわれ、時代のすう勢はどのようなになっているかについて述べる。

2. 計算機制御システム

2.1 システムの構成と機能

ホットストリップミルでは加熱炉から粗圧延機、仕上圧延機を経て巻取機に至る全域が計算機制御の対象となる。そのシステム構成

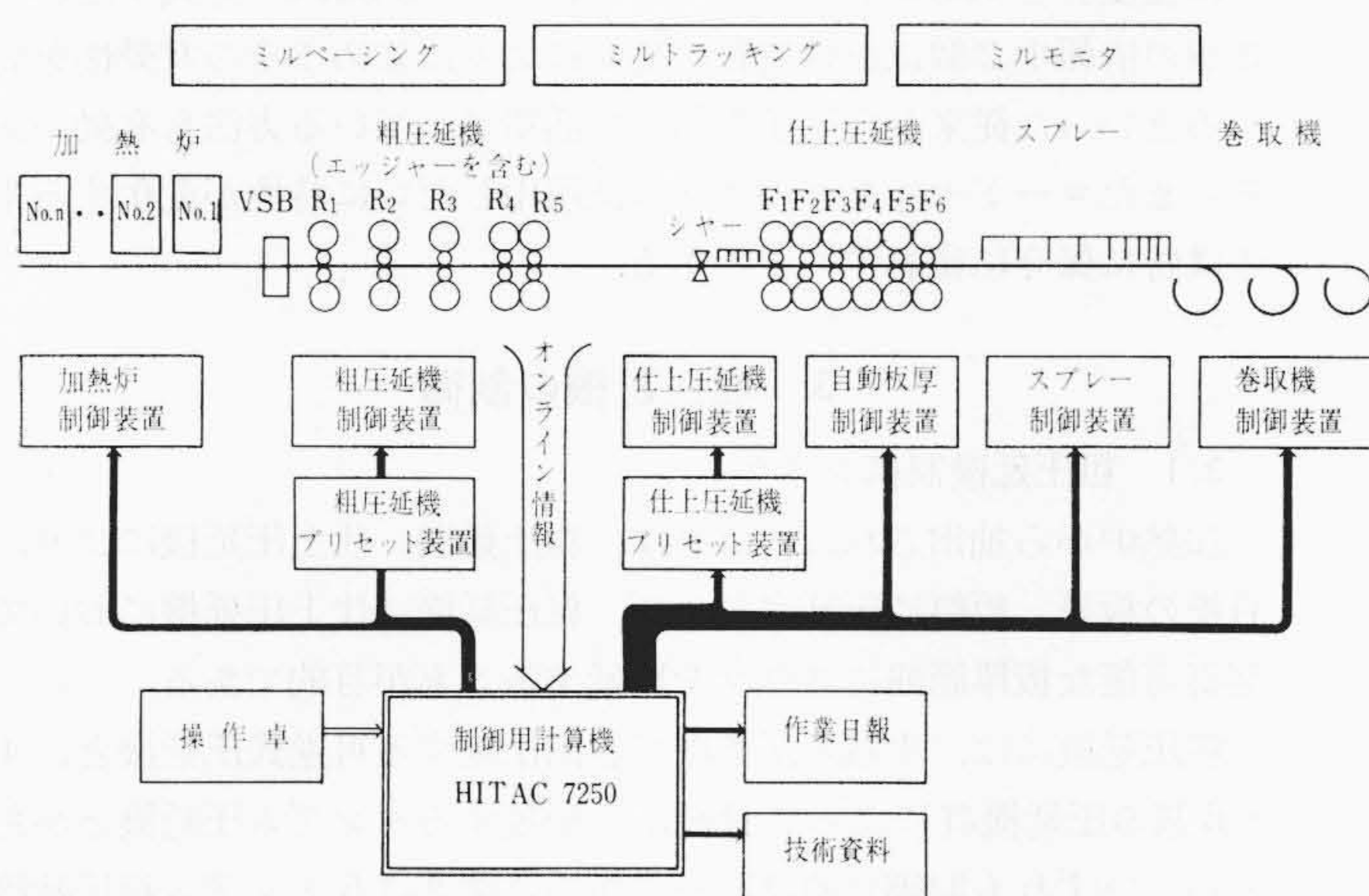


図1 計算機制御システム

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所日立研究所

の一例を図1に示す。ミルラインは可視プロセスであることから、機能的には比較的明確で（1）所定の鋼材がラインのどの位置に進行しているかを示すミルトラッキング（2）抽出ピッチと加熱温度を制御する加熱炉制御（3）エッジャーを含む粗圧延機群のセットアップ（4）製品の寸法品質をほとんど決定する仕上圧延機のセットアップ（5）ピンチロールやラッパロールのギャップを決定する巻取機のセットアップ（6）ミルラインのユーティリティを最大にするためのミルベising（7）製品の冶金学的品質を向上するための仕上圧延機の出口温度および巻取温度の制御（8）作業日報の作成など狭義の情報処理（9）プロセス自体を解析するためのエンジニアリングロギング（10）ミルラインを監視し異常の発生した場合に警報を発するなどのミルモニタといった広範囲の機能を計算機制御システムで総合的に実現することができる。

計算機制御では上記の機能を部分的に実現することも可能であるが、最近では加熱炉から巻取機までの全ラインにわたり計算機制御を適用する例が多くなった。さらにはRTB社のSpencer製鉄所にみられるようにプラントまたは事業所の生産出荷などの計画管理レベルから、単一プロセスの実時間直接制御のレベルまで多重レベル系への発展が注目される⁽⁴⁾。また他の傾向としてDDC (Direct Digital Control) 方式の試作開発の努力が実現しつつある。

2.2 計算機システム

ホットストリップミルの計算機システムはデータの収集と主機および制御用入出力装置などを含む総合システムであるためアナログシステムの能力をはるかに越えるものであるから、デジタル計算機が広く採用されている。その代表例を示したのが図2である。圧延指示情報は前工程で作成されたカード情報または前工程で使われる計算機との直接的情報交換によって得られる。

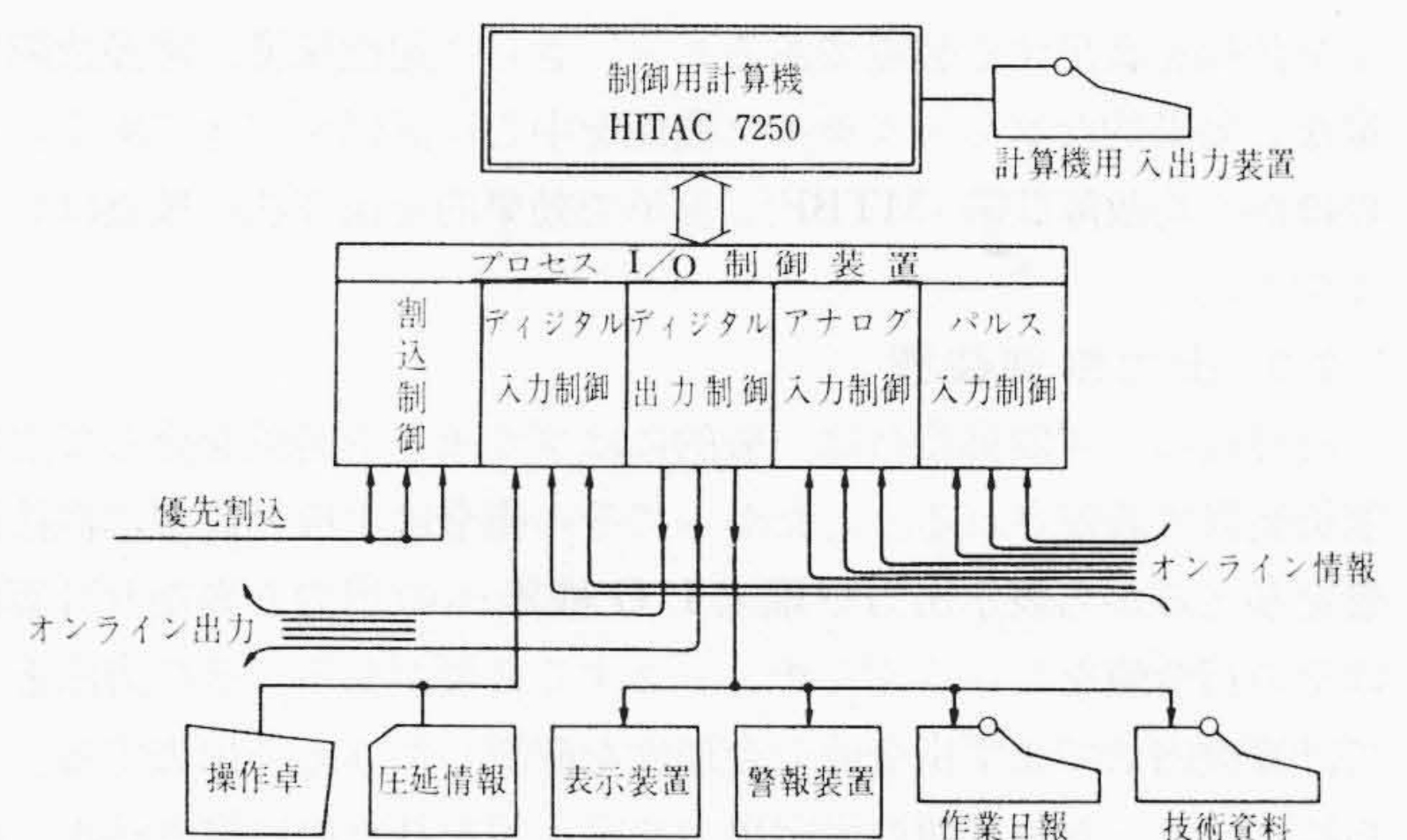


図2 計算機システム

表 1 HITAC 7250 の仕様		
項 目	性 能	
回 路 素 子	M I C	
プ ロ グ ラ ム	並列マイクロプログラム方式	
演 算 速 度	加減算 (固 定) 4.5 μ s (浮 動) 22.5~ 47.5 μ s 乗 算 (固 定) 22.5~ 38.5 μ s (浮 動) 65.5~102.5 μ s 除 算 (固 定) 43.5~ 49.5 μ s (浮 動) 103.0~110.0 μ s	
数 値 語	符 号 1 bit+数値 15 bit 符 号 1 bit+数値 31 bit (浮 動) 指 数 7 bit+仮数 24 bit	
命 令 語	1 $\frac{1}{2}$ アドレス方式 1 語 命 令 16 bit 2 語 命 令 32 bit	
記 憶 装 置	磁気コア 8 K 語, 16 K 語, 32 K 語 サイクルタイム 2 μ s	
固 定 記 憶 装 置	磁気コア 1 K 語 サイクルタイム 500 ナノセカンド	
優 先 割 込	32 $\times$ 16 レベル	

表 2 HIDIC 100 の 仕 様		
項 目	性 能	
回 路 素 子	M I C	
プ ロ グ ラ ム	ストアプログラム	
ア ド レ ス 方 式	インダレイクト指定 インデックス修正可能	
演 算 方 式	2 進 並 列	
演 算 速 度	加 減 算 16.5 μ s 乗 除 算 ソフトウェアによる。	
数 値 語	(固 定) 符 号 1 bit+数値 15 bit	
命 令 語	1 語命令および 2 語命令	
記 憶 装 置	磁気コア 2 K 語, 4 K 語, 8 K 語, 16 K 語	
優 先 割 込	6 $\times$ 16 レベル	

計算機システムに要求される重要な特性、項目は（１）演算処理能力（２）入出力処理能力（３）稼働能力である。演算処理の能力としては演算速度、高速アクセス内部記憶装置、大容量補助記憶装置、多重レベルの優先割込機能、所定の精度を得るにじゅうぶんな語長などが必須条件となる。表 1 は制御用デジタル計算機の基本仕様の一例である。ホットストリップミルの計算制御装置では高速アクセス内部記憶容量は 16~32K 語⁽²⁾、外部補助記憶容量は 100~300K 語が必要である。入出力処理の能力としてはアナログ入力精度 0.1%，走査能力としてアナログ入力 100 点/秒、デジタル 1,000 点/秒 程度の性能が必要である。またデジタル入出力部は自動入出力、手動操作入力、表示出力、端末 I/O 機器入出力の種々の機能を自由に選定できるようモジュール化と拡張性を備えていることが必要とされる。稼働能力としては特に耐振性、耐衝撃性が要求され工業仕様を満足する装置であること、さらに記憶保護、電源故障対策など効果的なフェールセーフ機能を中心に評価すべきである。そのほか平均故障間隔 (MTBF)、簡単で効果的な保守法の確立はいうまでもない。

2.3 出力制御装置

計算機のミル制御指令は一般的にはプリセット装置を介して主機制御装置で設定される。したがってその指令は主機の設定に直接影響を与えるから表示出力や端末 I/O 機器への出力と異なり計算機はその指令値をじゅうぶんチェックする必要がある。その方法として計算機内部でまず指令値の合理性を確認したうえで出力する。さらにプリセット装置側の設定出力や実行値を計算機に取り込んで確認する方法がとられる。

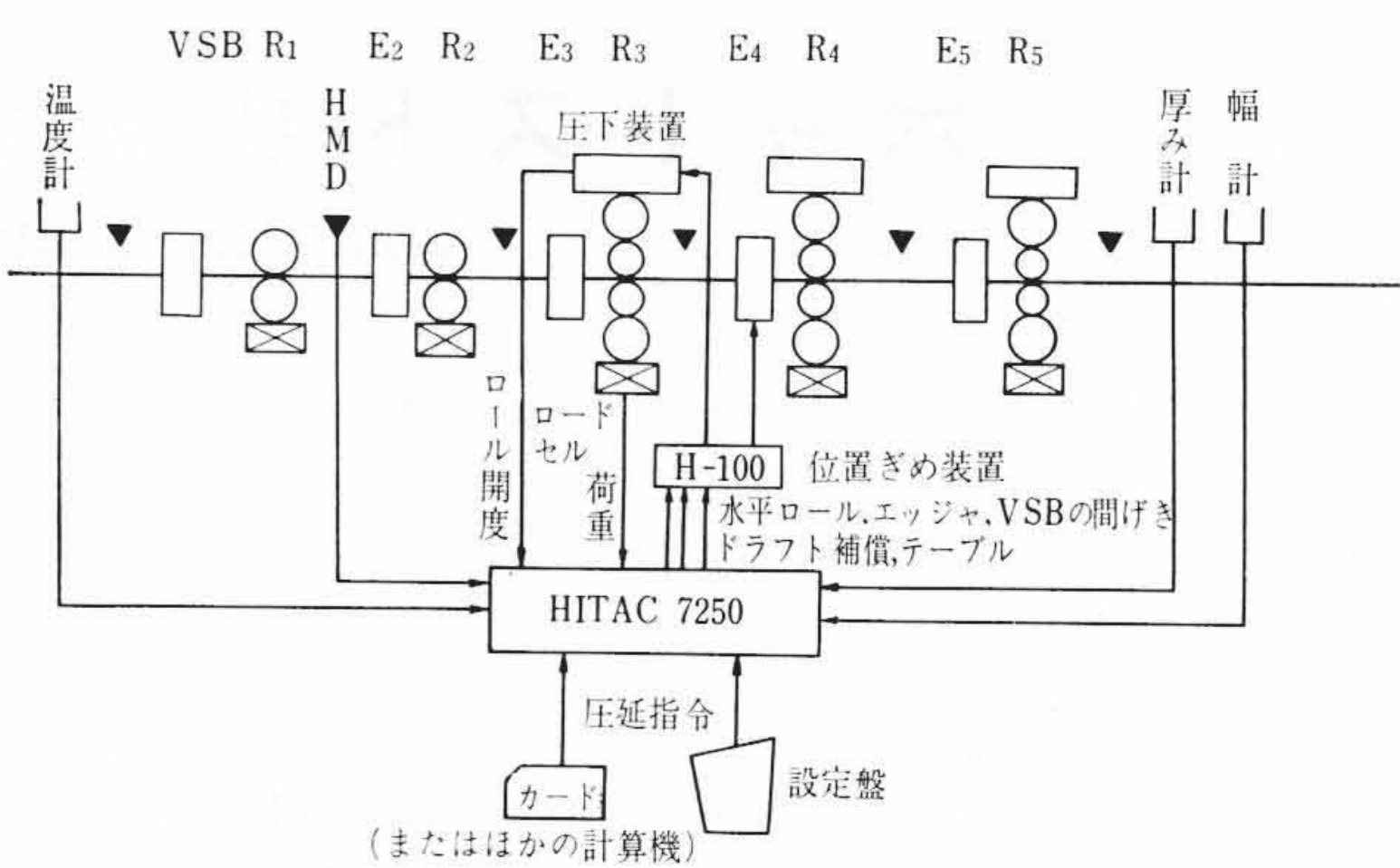


図 3 粗圧延機のシステム概略図

デジタル計算機の即応性をミルの制御に生かすためには出力制御装置の応答が問題になる。たとえば材質の公称値と実際の差を修正するとき鋼材がスタンドにかみ込んだ直後、次のスタンドのロール間げきを修正してやる方法がとられるが、鋼材が次のスタンドに到達するまでにロール間げきの修正は完了していなければならない。これらの問題の解決にはミル（機械設計）、出力制御装置（電気設計）と計算制御方式（計算制御技術）との総合的、密接な協調が必要である。

一方、自動板厚制御装置やプリセット装置はデジタル化へ、“Wired Logic” から “Stored Program Logic” へ移行しつつある⁽³⁾。その利点は単に精度の向上、ドリフトの解決やスタートアップの容易性といった単なる制御性能に基づく直接的な利益ばかりでなく、制御技術者は Stored Program 方式によって容易に最新の制御技術を適用できるので特定のループの動特性に最もよく合致した融通性のある制御方式を採用できるなどである。これらに使用される単能デジタル計算機の基本仕様例は表 2 に示すとおりである。

2.4 検出器関係

検出器はその精度が直接計算機制御の精度に影響すること、その設置場所が過酷な条件にあることから種々の問題がある⁽⁴⁾。ホットストリップミルでは温度計、鋼塊検出器 (HMD)、幅計、厚計、ロードセルなどがこれに属する。検出器類はそれ自体の精度の向上と信頼性を確保することが第 1 に考慮されるべきであるが、そのうえにシステム的安全性の確保が必要である。これには同一場所に検出器を 2 個使用した二重方式とする方法、検出器の出力値または感温の有無などを計算機で合理性チェックする方法や計算機内部のタイマーによるバックアップなどの方法がある。鋼材の位置の確実な判断に温度計と HMD およびタイマーによる “2 out 3” 方式すなわち 3 個の情報中 2 個以上の情報の変化によりはじめてその有効性を認めるといった従来から原子力関係で活用されている方法も有効である。またロードセルなどのように使用中しだいに特性が変化するのは特に保守に留意すべきである。

3. 粗圧延機の制御

3.1 粗圧延機制御システム

加熱炉から抽出されたスラブは、粗圧延機、仕上圧延機により、目標の板厚、板幅に圧延されるが、粗圧延機は仕上圧延機において制御可能な板厚範囲にスラブを圧延することが目的である。

粗圧延機には、1 基の圧延機で数回圧延する可逆式圧延機と、4~6 基の圧延機群によって連続的に圧延するタンデム圧延機とがあるが、いずれも制御目的は同一である。図 3 は 5 タンデム粗圧延機の計算機制御システムを示し、その制御項目は次のとおりである。

- (1) スラブラッキング
- (2) 水平ロール間げき設定（直流機の場合はロール回転数を含

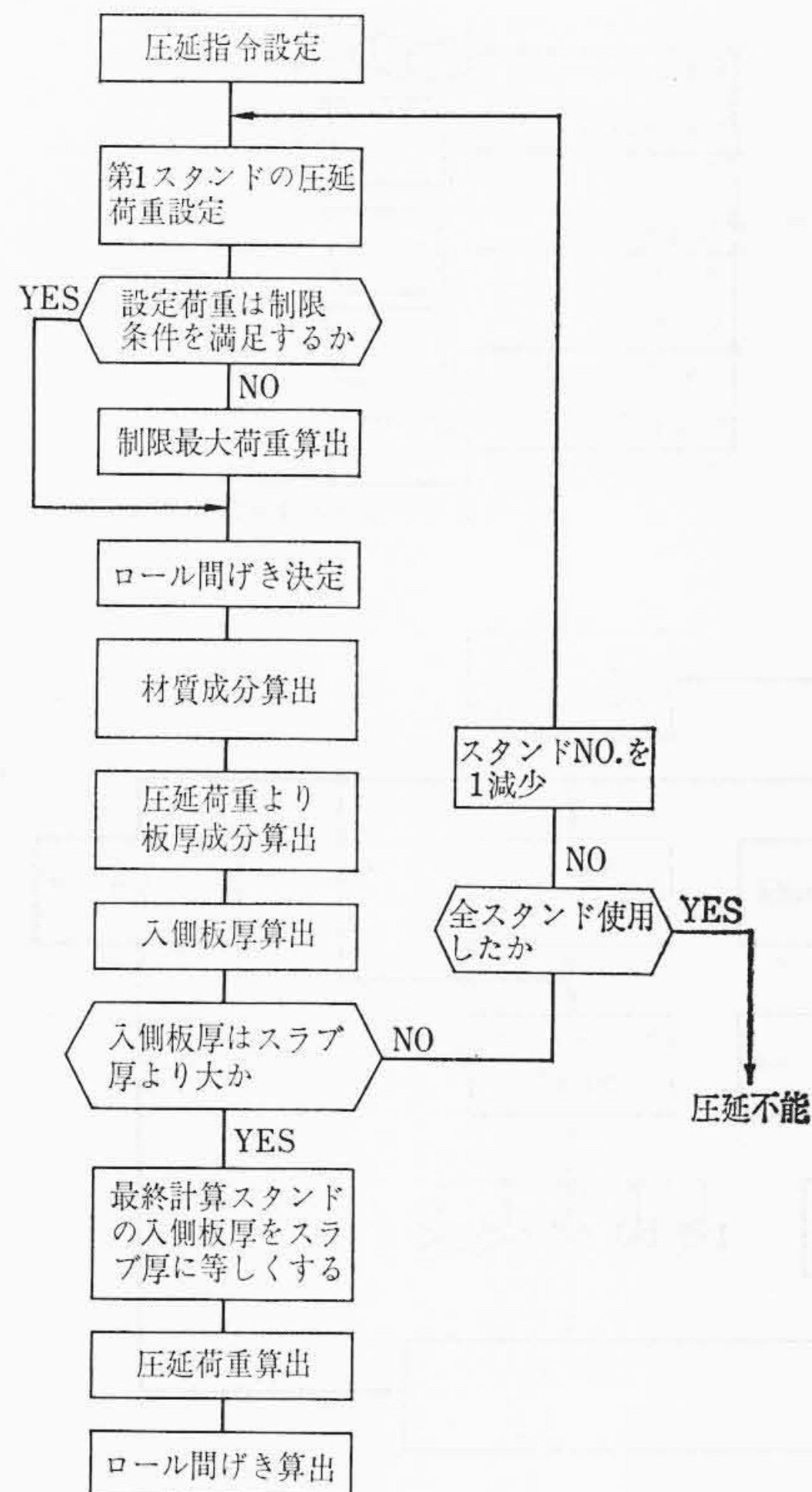


図4 粗圧延機のスケジュール計算

む)

(3) 垂直スケールブレーカ (VSB) とエッジャー間げきの設定
ならびに、エッジャーのドラフト補償設定

スラブトラッキングは、粗圧延機ライン上にある処理の異なる2～3本のスラブを同時に制御する必要がある。このため計算機は各スラブの位置、状態を常時確実に把握しておくねばならない。スラブトラッキングは加熱炉抽出時にミルライン側に渡され、計算機とのマッチングを取り、熱塊検出機、ロードセンシングリレーなどの検出器により、スラブの走行を監視する。

粗圧延機群のセットアップは、まずカードないしは設定盤などから入力される圧延指令に従って、粗圧延機群と仕上圧延機との稼働配分や、材料の温度降下などの品質面ならびに粗圧延機出側長さなどの作業面からの各種制約条件を考慮して、粗厚(粗圧延機出側板厚)を決定する。

粗厚が決まると、後述の方式により、各水平ロール、垂直ロールのロール間げきならびに直列機については回転数ないしはドラフト補償設定値が決定される。これら各スタンドの設定は、他スラブの圧延状況を考慮し、適正なタイミングで実施されなければならない。このため計算機はスラブトラッキングで得た圧延状況より判断し、ライン上に他のスラブが全然ないときには、全スタンドに対し、先行スラブのあるときには、そのスラブが通過したスタンドまでに対し、設定をダイナミックに実施する。計算機から設定する中には、粗圧延機の入側、出側に設置される厚み計、幅計の設定値も含まれる。

これらの設定の多くは、従来はプリセット装置において個々に位置決め制御ループが構成されていたが、近年時分割位置決め方式の採用により、個々の設定器には検出端と操作端のみを備え、サーボ機能は時分割で実施するすう勢にある。このような時分割位置決め装置の中心となる小形制御用計算機としては HIDIC 100 が準備されている。

3.2 制御の基本的な考え方

粗圧延機の制御の中心は各スタンドの水平、垂直ロールの間げき

ならびに回転数の設定であり、このためのドラフトスケジュールの決定である。

ドラフトスケジュール決定に際し、考慮しなければならないことは、材料の温度と断面形状の制御と安全な操業である。品質制御上、仕上圧延機を出る材料は A3 変態点以上の温度であることが望ましく、粗圧延機を出るスラブも可及的に高温状態を維持することが、仕上圧延機での制御を容易にする。このためには、粗圧延機での温度の空冷降下を少なくするよう後半スタンドで集中的に圧延するのが望ましい。断面形状の面からは、通常ロールベンディング装置のない粗圧延機では、後半スタンドの荷重バランスを考慮した設定が望まれる。

一方、圧延機の事故を軽減し、安全な操業を維持するためには、一般に (1) ドラフト制限、(2) 荷重制限、(3) 馬力制限などの制限条件が課せられ、ドラフトスケジュールとしては、これらを満足するものでなければならない。

ドラフトスケジュール決定の方式としては、パワーカーブを用い、各スタンドの馬力配分より各スタンドの出口板厚を決定する方式⁽⁵⁾や各スタンドの最大ドラフト量をまず与え、制限条件に引かかるごとにドラフトを順次減少しながらくり返し計算により求める方式⁽⁶⁾があるが、前者は最適馬力配分を与えることが困難であり、後者はオンラインでくり返し計算を行なわねばならぬという問題がある。またこれら方式は、圧延荷重を直接操作できないため、形状の制御が困難である。

筆者らは、上述の要請を取り入れ、しかも形状制御を重視し、各スタンドの圧延荷重の所望値を与えることによりスケジュール決定を行なう方式を開発した。

圧延荷重 P は熱間圧延の場合通常次式で表わされる。

$$P = b \cdot k_p \cdot Q_p \cdot \sqrt{R(H-h)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 b は板幅、 k_p は二次元平均変形抵抗、 Q_p は圧延荷重補正項、 R はワークロール半径、 H は入側板厚、 h は出側板厚である。上式において k_p は通常圧延温度 T 、材質 C 、ひずみ、ひずみ速度の関数として表わされるが、表現形式を変え実測データなどより回帰分析により求めると、次式のように T 、 C を含む項と板厚 H 、 h の項の積として表わされる。

$$k_p = f(T, C, N) \cdot g(R, H, h) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 N はロール回転数である。

荷重式に含まれる Q_p は、粗圧延でよく合う志田の式⁽⁷⁾を用いれば、次式で表わされる。

$$Q_p = \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{4} \frac{l_d}{h_m} \right) \cdot Q_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{ここで、} Q_s = \begin{cases} 3 + \frac{l_d}{h_m} & \frac{h_m}{l_d} < 1 \\ 3 + \frac{h_m}{l_d} & \frac{h_m}{l_d} \geq 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$h_m = \frac{H+h}{2}, \quad l_d = \sqrt{R(H-h)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

以上より圧延荷重 P は表現形式を変えることにより、次式のように、 T 、 C を含む材質成分と、 H 、 h を含む板厚成分の積の形に表わすことができる。

$$P = b \cdot P_T(T, C, N) \cdot P_H(R, H, h) \quad \dots\dots\dots (6)$$

この表現形式を採用することにより、所望の圧延荷重を達成するドラフトスケジュールが容易に得られる。すなわち板幅 b ならびに材質成分 P_T を知り、所望荷重 P を与えることにより、板厚成分が求まり、この板厚成分より、陽に入側板厚 H を求めると次式のようになる。

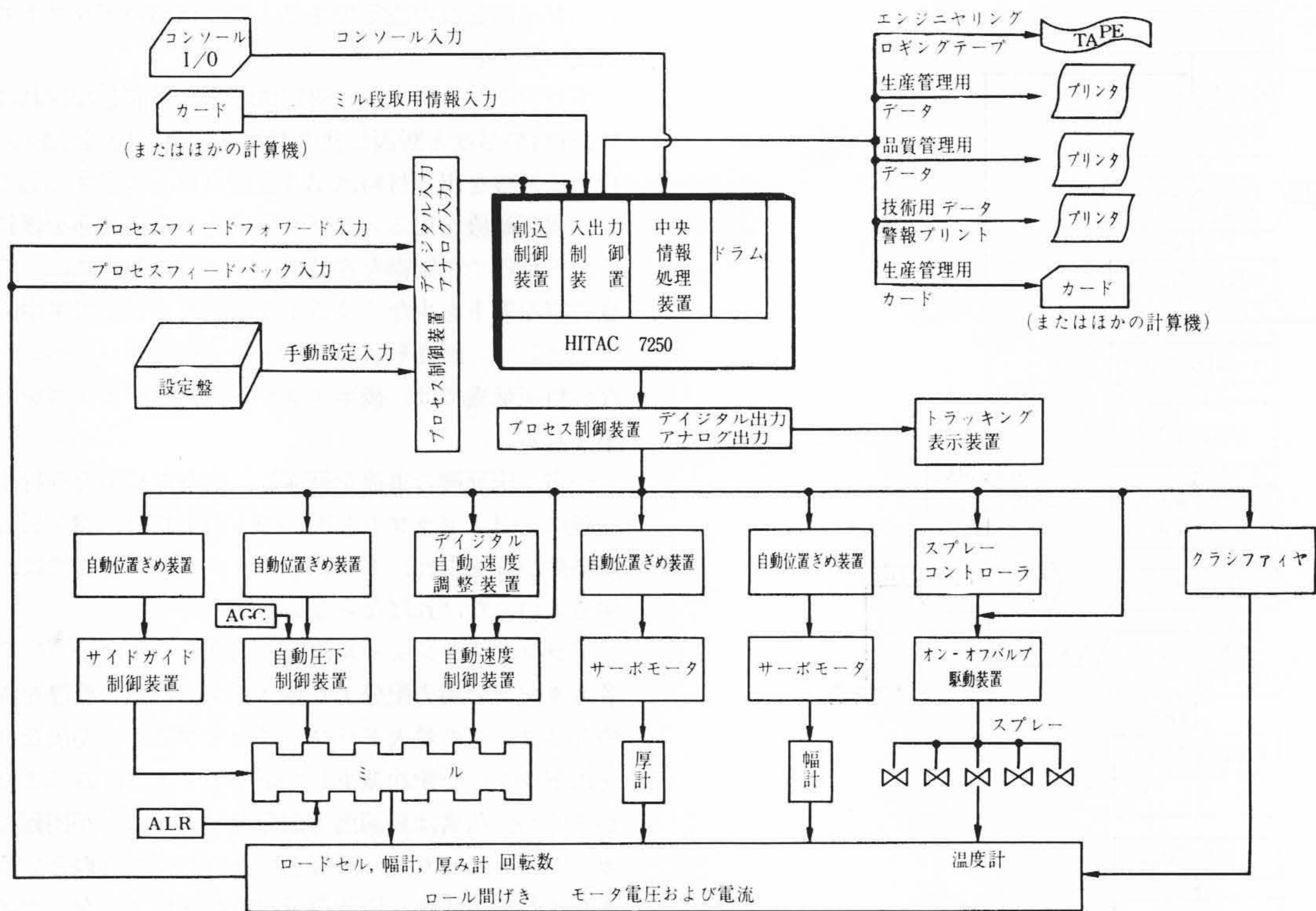


図 5 仕上圧延機の計算制御システム図

$$H=H_P(R,h,P_H) \dots\dots\dots (7)$$

以上は所望の荷重と出側板厚を与えれば入側板厚が容易に求まることを示し、この関係を最終スタンドより順次第1スタンドの方向へ適用すると、所望の荷重バランスのドラフトスケジュールが得られることを示す。この基本思想より作成したスケジュール計算の概略を示したのが図4である。この方式によれば、粗圧延機の制限いっぱいのスケジュールも容易に作成できる。

水平ロール間げきは出側板厚に、上記の設定圧延荷重ないしは制限条件より決まる圧延荷重に基づく圧延機の伸びを考慮して決定され、垂直ロール間げきは、材料の幅拡がりを考慮して決定される。

4. 仕上圧延機の制御

4.1 制御の概要

仕上圧延は最終製品のためにも、または次工程コールドミルに対する中間製品のためにも、ホットストリップミルプラント中最も高度のセットアップ制御を要求されるが、近年までは手動による試行錯誤的な制御がなされていた。しかし制御用計算機の導入により複雑な計算と処理とを高速にかつ正確に実施でき、ホットストリップにおける品質向上および生産性向上に大きく寄与し得るようになった。

仕上圧延機の制御内容のうち重要なものは各スタンドのロール間げきとロール回転数を設定するミルセットアップおよび仕上出口温度、巻取温度を制御することである。

これらの制御を実施するためには制御システムとして下記条件を満たさねばならない。

- (1) じゅうぶん信頼できるオンライン入力情報が得られること。
- (2) 各種情報を優先順に処理するプログラムを内蔵した高速度計算機を有すること。
- (3) 制御用高精度の数字モデルを有すること。
- (4) 計算機出力値どおり高速度、高設定精度で位置決めする制御装置を有すること。

図5は上記条件を満足すべき仕上圧延機の制御システムを示したものである。

粗圧延機の出側には厚み計および幅計、温度計を設け中間情報を正しくは握する。仕上圧延機入側には仕上入側温度計を設けるのが一般である。各スタンドにはロール間げきおよびモータ回転数、圧延荷重などを測定する各検出器を設け、仕上圧延機の出側には仕上厚み計、幅計、仕上出側温度計を、コイラの手前には巻取温度計を設置し、仕上圧延の結果を認識するよう構成する。

計算機制御ではこれら検出器による情報を基本的オンライン情報として各制御を実施するのであるからノイズに対する対策、入力部を含むタイムディレー、ドリフトなどの検討をじゅうぶに行ない信頼すべき情報とすることがたいせつである。

次に上記情報による制御方式について述べる。材料が粗圧延機を出ると出側の板厚と板幅および粗出側温度を測定する。そしてこれらオンライン情報と材料に関する情報(材料寸法、鋼種など)および圧延規制情報(最終スタンド通板速度、最高速度など)により仕上寸法、圧延温度などの条件を満たすセットアップ計算を行なう(この計算をPhase-Iと名づける)。各Phaseの方式については次項で述べる。

こうして仕上第1スタンドから最終スタンドまでのモータ回転数とロール間げきが決定する。材料が第1スタンドにかみ込むと計算機は第1スタンドロール間げき、モータ回転数および圧延荷重を取り込む。計算した荷重 $\bar{P}_1$ と実測値 P_1 は一般的には一致しない。鋼種、成分などによる評価の誤差は粗ミル圧延の実績により認識できるので、それは主として材料温度の評価に誤差があるためとみてよい。したがってその状態のままで圧延を実行すると必ずしも正しい板厚を得ることはできない。そこで $\Delta P_1=\bar{P}_1-P_1$ に応じた修正を行なわねばならない(この修正計算をPhase IIと呼ぶ)。このようにして最終スタンドを材料が通過すると、出側に設けた厚み計で板厚が実測され所期の板厚に対する変分が認識される。ここで偏差があれば一般的にはマイナーループの自動板厚制御装置(AGC)がこれを吸収する。

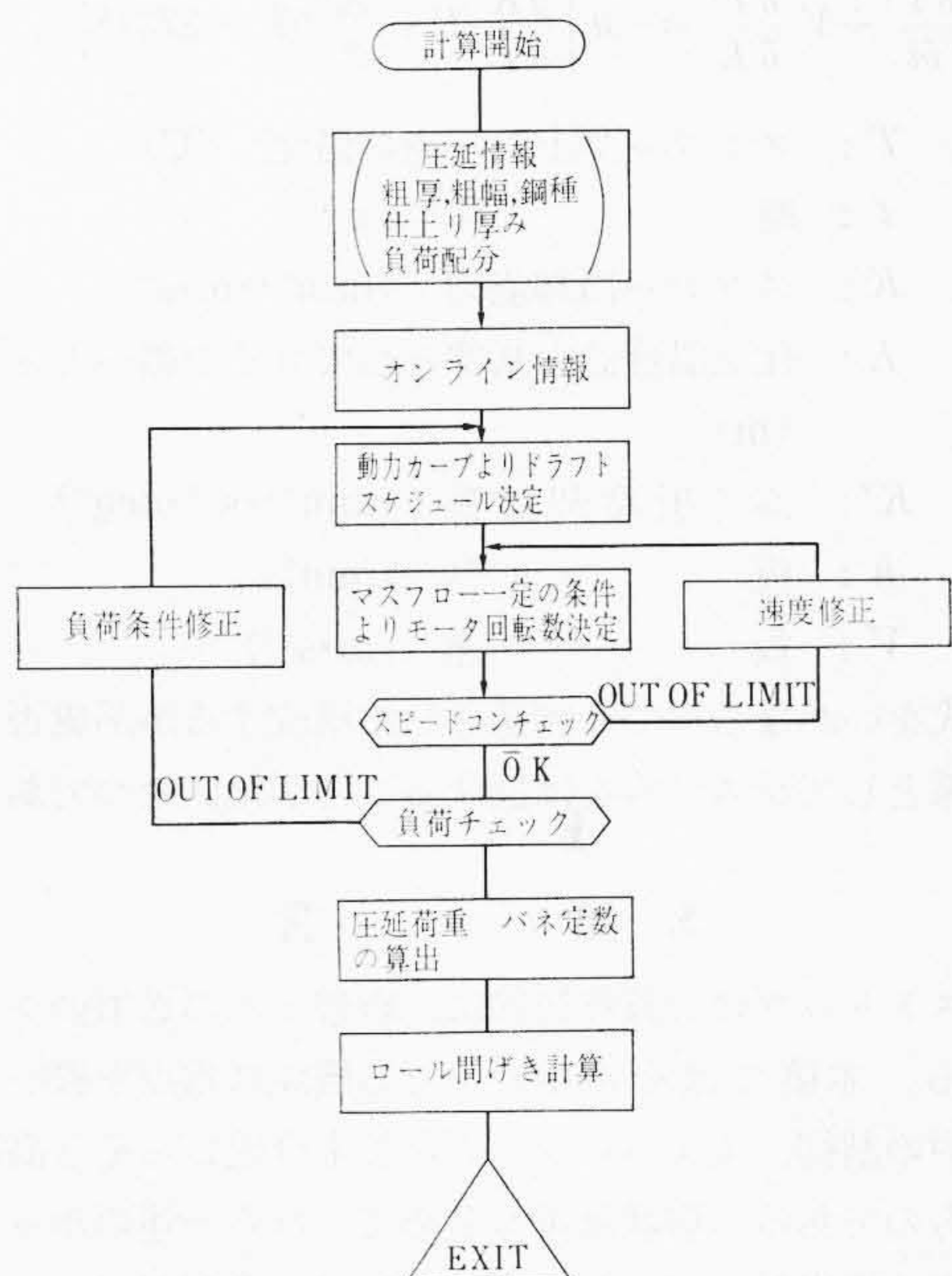


図 6 仕上圧延機セットアップのフローチャート

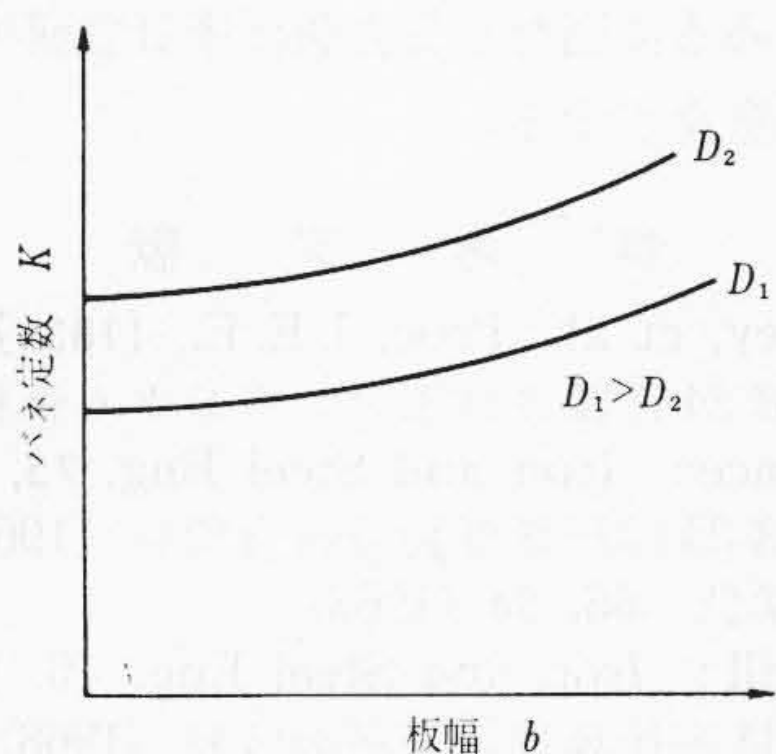


図 7 仕上圧延機のパネ定数

さらに仕上出口温度を取り込み、実測不可能な情報たとえばロール摩耗、ロール熱膨張、ゼロイング誤差などの修正計算を実施し、次圧延材に対するフィードバックとする（この計算を Phase III と呼ぶ）。

最後に圧延材は巻取温度制御により制御されたスプレー領域を通り最適巻取温度となってコイラに巻かれる。

以上は 1 本の圧延材についての制御方式を述べたのであるが通常は圧延ラインに数本の圧延材が存在する。したがって計算機はそれらの圧延材を同時に追跡し、どの処理を優先的に行なうかを判断し制御する必要がある。

計算機制御装置としては自動速度調整装置、自動圧下制御装置、その他デジタル位置制御装置を必要とする。さきに述べた Phase II のように通板中に圧下、速度を調整する必要性からこれらの制御装置はじゅうぶんな応答性をもつ制御装置でなければならないが、機械的にも電気的にも計算機制御システムとして全体的に協調のとれた制御システムとせねばならない。

4.2 仕上ミルセットアップ

仕上ミルでは前項で述べたように基本的には Phase I～III でセットアップが構成される。そしてこれらはそれぞれの Phase に応じて制御技術的に数学モデルの特質が異なる。

図 6 はセットアップの Phase I におけるフローを示したものであるがこの中で最も基本となるのはドラフトスケジュールと荷重の算出である。

圧延荷重はロール間げきの算出に当たりその精度を大きく左右す

る要因である。このモデルは圧延理論式からアプローチする手法と、実績データを分析して求める手法とがある。前者の例は Sims の式⁽⁸⁾であり、後者の例は Beadle らの式⁽¹⁰⁾である。Sims の式はオフラインでは広く用いられているが、形が複雑なためオンラインモデルとしては適していない。

Beadle の式は次のとおりである。

$$P = \sum_{i=1}^i P_i \dots\dots\dots (8)$$

$$P = P_B b K_G \left\{ 1 + K_V \left(\frac{U_B - U}{U_B} \right) \right\} \{ 1 + K_T (T_B - T) \} \dots (9)$$

ここに、 P_B : 基準荷重累積値
 U_B : 基準マスフロー
 T_B : 基準圧延温度
 K_G : 鋼種倍率
 K_V : マスフロー補正係数
 K_T : 温度補正計数
 P_i : 各スタンド圧延荷重
 b : 板幅
 T : 平均圧延温度

である。

圧延荷重を正確に算出するためには圧延温度のは握が大きな問題となる。Beadle らの累積荷重式は Sims らの式に比較し簡単であるが、制御技術の協調のうえに決定されねばならない。

圧延荷重を正確には握するとともにバネ定数 K に対するこまかい配慮が必要である。バネ定数は厳密な意味で一定ではない。傾向的には図 7 に示すとおりである。すなわち材料の幅が大きくなると K は増大しバックアップロール径が大になると K は小さくなる。この関係を数式に表わす方法にはいろいろあるが、現在までに公表されているものとして Schultz らの次式がある⁽⁹⁾。

$$K = \left(d_0 + d_1 \frac{d_2 - b}{D d_3} \right)^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 $d_0 \sim d_3$: 定数
 b : 板幅
 D : バックアップロール径

この式は厳密には成り立たないがわれわれは荷重そのもの、バネ定数そのものが知りたいのではなく、最終的にロール間げきとしては握するのであるから

$$S = h - \left(d_0 + d_1 \frac{d_2 - b}{D d_3} \right) P + \varepsilon \dots\dots\dots (11)$$

としてオンライン修正項とを考慮すればよい。なお低荷重時の特性にも注意を払う必要がある。

次にドラフトスケジュールを算出する基本的な考え方として、圧延に適した動力分配比率を与えこれを満足するようドラフトを決める。この比率は各スタンド圧延後の材料形状に関係する。

ドラフトスケジュールを算出するために動力カーブを用いるが、その表現にはいろいろな方法が発表されている。一例は⁽⁶⁾

$$E = E_0 \left\{ \left(\frac{H}{h} \right)^m - 1 \right\} \dots\dots\dots (12)$$

ここで E は動力 (horse power hours per ton) H は圧延前、 h は圧延後板厚である。これに対し動力を鋼種、温度などで正規化する正規化動力曲線 (Normalized Power Curve; NPC) による方法⁽¹¹⁾は簡単で使いやすい。この方法では粗厚 H によって分類する必要はなく単純な関数で表現される。

4.3 仕上出口温度制御

仕上出口温度の制御目的は下記のとおりである。

(1) 温度品質の向上

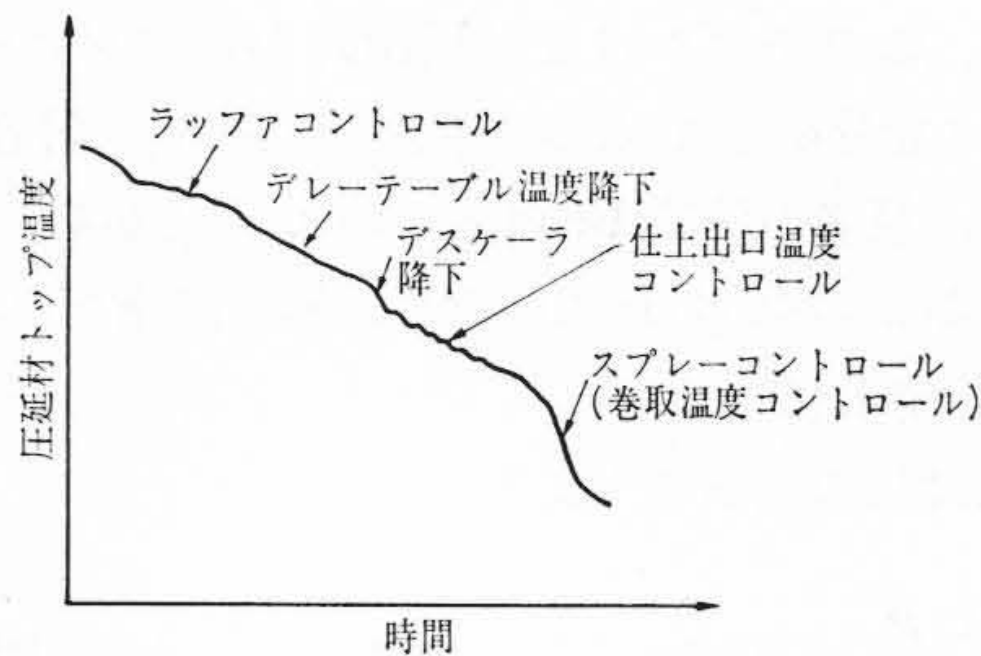


図8 ホットストリップミルライン上の圧延材の温度降下

(2) 圧延温度の規制によるミルセッアップに対する外乱減少
 (3) AGCに対する温度外乱を減少させる。
 仕上出口温度の制御量は圧延速度およびデスケーラで圧延時間の長短と水冷により仕上出口温度が制御される。仕上出口温度予測式として次式が発表されている⁽¹²⁾。

$$\log (T_F-30)=0.516+0.76 \log T_s+0.142 \log N_F+0.108 \log h_F \quad \cdots \cdots (13)$$

ここに、 T_F : 仕上圧延機出口温度 (°F)
 T_s : 仕上圧延機入口温度 (°F)
 N_F : 最終スタンド回転数 (FPM)
 h_F : 最終仕上り板厚 (inch)

である。
 この式は多重回帰分析により各係数が決定されている。
 全長にわたって圧延温度を一定に保つため、通板後加速を行ない圧延時間を調整している。

図8は圧延材の温度降下の状態を示したものである。

4.4 巻取温度制御

巻取温度の制御は冶金学的見地から品質向上のために必要不可欠のものであり、巻取温度は抗張力や伸びなどに大きく影響する。そのため現在までに多くの技術的検討がなされている⁽¹³⁾。ホットランテーブル上での圧延材の温度分布はダイナミックに変化し、そのため巻取温度制御としてはハイブリッド計算機を使用し制御技術を駆使した方式をとらなければならない⁽¹³⁾。基本となるダイナミックモデルは次のとおりである。

$$\frac{\partial T}{\partial t}+V \frac{\partial T}{\partial L}=-h\left\{\frac{d K}{d L} T+\frac{K'}{3}(T+273)^4\right\} \quad \cdots \cdots (14)$$

ここに、 T : ストリップ上の一点の温度 (°C)
 t : 時間 (s)
 K : スプレー冷却能力 ($\text{mm}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 L : 仕上温度計を基準としてコイラ側へとった距離 (m)
 K' : ふく射冷却係数 ($\text{mm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{deg}^{-3}$)
 h : 板厚 (mm)
 V : 板速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

この数式をいかなる形で制御系として構成するかが成否を左右する。分布系としてシステムをは握することがたいせつである。

5. 結 言

ホットストリップの計算機制御は、新鋭ミルの必須のシステムとなっている。本稿ではその中の主たる機能に重点を置いて述べたが、加熱炉の制御、ミルペーシングなども今後いっそう高度化していくべきものである。形状制御も含めてこれら一連のホットタンデム制御技術は検出器を含めたハードウェアの進歩が、システム制御技術の進歩と相まって品質および生産性の向上に寄与するものと思う。

なお本稿をまとめるに当たり日立製作所日立研究所諸岡氏の協力を得た。ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) R. G. Massey, et al.: Proc. I. E. E., 1183 Jun. (1964)
- (2) 北之園: 第24回塑性加工シンポジウム資料 (1968-7)
- (3) J. W. Wallace: Iron and Steel Eng. 75, Dec. (1967)
- (4) 北之園: 第35回圧延理論分科会資料 (1968-7)
- (5) 今井: 機学誌 66, 54 (1963)
- (6) R. J. Darnall: Iron and Steel Eng. 45, 128, Apr. (1968)
- (7) 志田: 第34回圧延理論分科会資料 (1968)
- (8) R. B. Sims: PIME 168, 191 (1954)
- (9) R. G. Schultz: Iron and Steel Eng. 127, May (1965)
- (10) R. G. Beadle: U. S. A. Patent 339048 (1963)
- (11) 北之園: 東大ミル計算機制御研究集会資料 (1966-6)
- (12) AISE: Annual Report (1960)
- (13) 北之園ほか: 日立評論 49, 996 (昭42-10)

Vol. 51

日立評論

No. 5

目次

■論 文

- ・高圧配電線・地絡故障時の電圧・電流
- ・ヒステリシスモータの動特性
- ・大容量変圧器巻線の短絡強度
- ・DE10形ディーゼル機関車用自動操縦装置
- ・抵抗溶接機用熱量制御装置
- ・コンデンサ電動機の運転特性の解析
- ・CP20形自動式構内交換装置
- ・自動車工業におけるオン・ライン・システム

- ・日立プラスチック高圧ホースの諸特性
 - ・磁石応用の自動鋼板搬送装置
- #### ■空調特集
- ・吸収式冷凍機の熱伝達率の向上
 - ・空調機用全密閉形圧縮機の騒音低減
 - ・空調用熱交換器の熱伝達特性
 - ・ルームクーラの実用冷房能力の解析
 - ・日立エアコンボイラの諸特性
 - ・ポット形油バーナの全自動制御機構の諸特性

発所所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地
 郵便番号 100
 取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 郵便番号 100
 振替口座 東京20018番