

圧延工程における計算機制御

Computer Control of Rolling Mills

宅 間 豊* 北之園 英 博*
Yutaka Takuma Hidehiro Kitanosono

要 旨

圧延工程の計算機制御は、生産工程の情報処理、製品品質の向上、生産効率の向上を目的とし、分塊圧延機、プレートミル、ホットストリップミル、コールドストリップミルなどに採用され、急速に発展している。各圧延工程の計算制御システムにつき説明し、分塊圧延の均熱炉段取計算、各工程のパススケジュール計算、ホットストリップの巻取温度制御など問題点につき述べた。

1. 緒 言

圧延工程の計算機制御は、まずアメリカにおいて、ホットストリップミルの制御が最も早く試みられたが、その後他の圧延工程にも採用された。わが国においても、最近急速に計算機制御圧延プラントが増加し、分塊、プレート、ホットストリップ、コールドタンデムミルに及んでいる。その内容においても、圧延ラインの情報処理と自動化において、世界の最先端をいく高度の計算制御に進みつつある。制御用計算機も、演算速度は加減算約 $2 \sim 10 \mu s$ 程度の高速のものとなり、記憶容量もコア $16 \sim 32 k W$ 、磁気ドラム $50 \sim 300 k W$ の大容量のものが使われている。

日立製作所は、制御用として高信頼度に設計された第3世代の計算機といわれる HITAC 7250 システム⁽¹⁾ をいち早く実用化した⁽²⁾ が、圧延工程の計算機制御装置としては、すでに分塊圧延機用として3セット、ホットストリップミル用として3セット、タンデムコールドミル用として1セットを納入あるいは製作中である。

このように圧延工程の計算制御は他の分野にくらべ、高度の制御段階に進んでいるが、プロセスがバッチ処理である点、制御に高速性が要求される点、プロセスの検出がむずかしい点、プロセスの現象が複雑な点などで多くの問題を有する。

以下、各圧延工程における計算制御システムの概要を説明し、問題点をとりあげることとする。

2. 分 塊 圧 延 機

分塊圧延機は一次製品の圧延機であるため、計算制御の目的は、主として生産効率の向上と、生産の自動化および情報処理である。ホットストリップミルに比べ、計算機制御の実現が遅れたが、均熱炉工程、可逆圧延パススケジュールの最適化の解析などが進められた結果、全ラインの高度な計算機制御を行なう設備が増加しつつある。

2.1 計算機制御システム

最近の製鉄所においては、製鋼から最終製品に至るまでの生産管理用オフライン計算機を有するものが多い。この計算機からの直接の情報あるいは別に準備された計画に基づく出鋼計画が第一次情報として分塊圧延機用計算機制御システムに与えられる。次に転炉側からの出鋼実績が入力される。これらの情報に基づきインゴットの均熱炉への装入、均熱炉からの抽出計画を作成する段取り計算が行なわれる。均熱炉から抽出されたインゴットは、インゴットバギーによりミルラインに運ばれ、インゴットスケールで秤量され、あらかじめ与えられた情報とチェック、記録されたのち、圧延機に送り

* 日立製作所日立工場

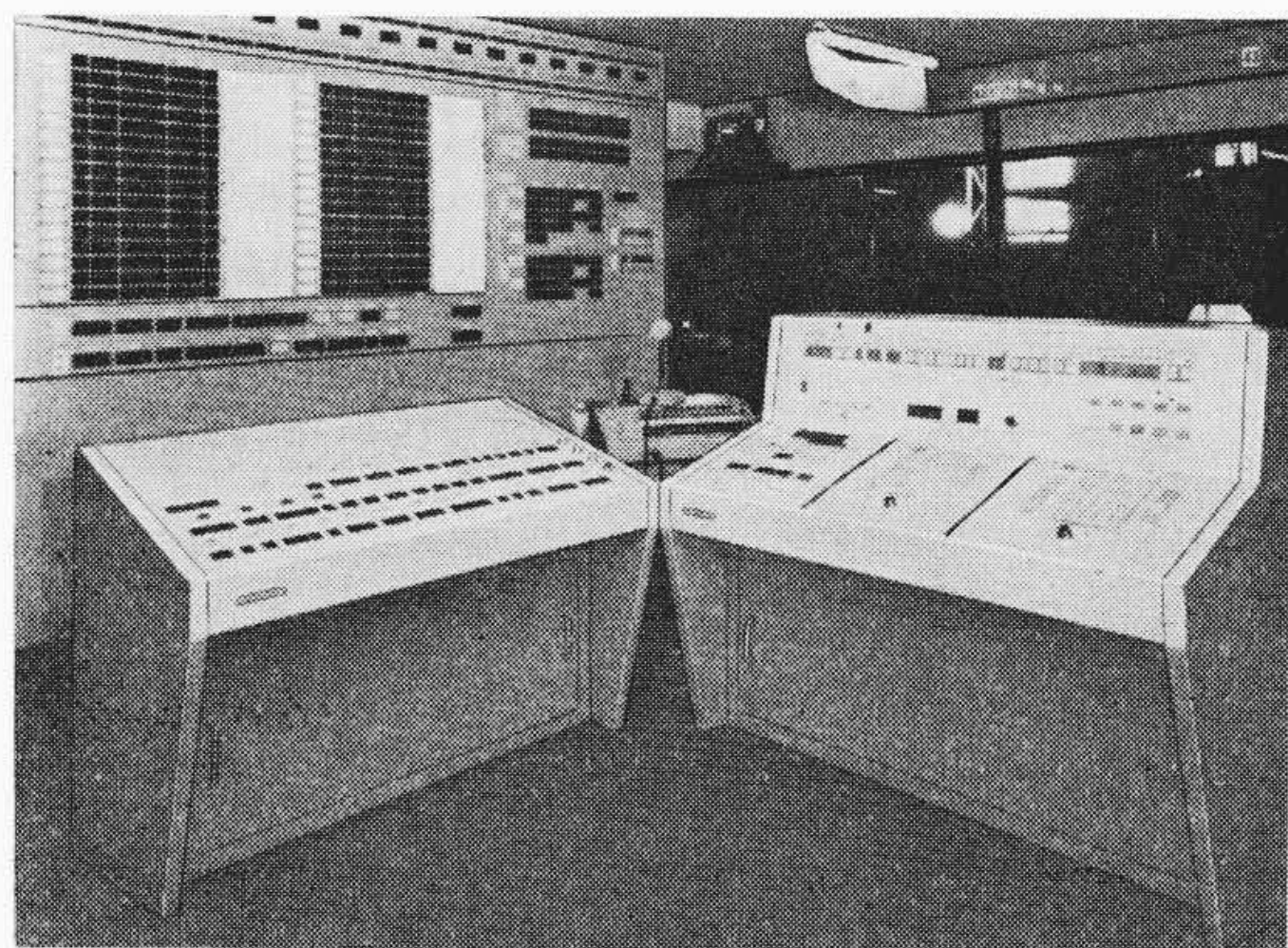


図1 計算制御装置の一例

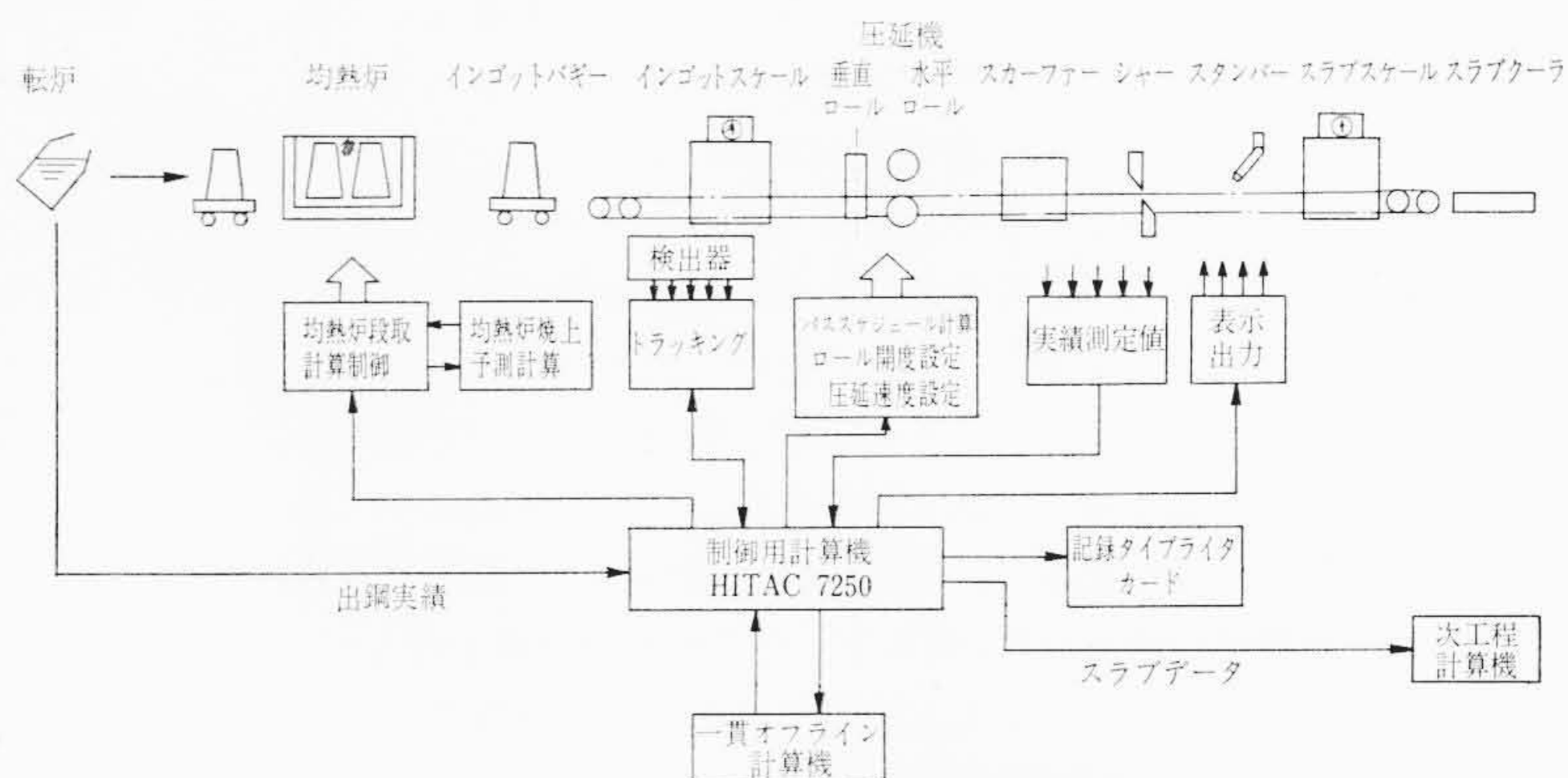


図2 分塊圧延機制御システム

込まれる。圧延機においては、最適パススケジュール計算がなされ自動運転装置により自動的に圧延される。圧延実績は同様に計算機により記録される。圧延されたスラブは、スカーファ、シャー、スラブスケールを経てスラブクーラに送られる。その間、作業実績、スラブデータが記録されるとともに、スラブデータは次工程のホットストリップミルあるいはプレートミルの入力情報としてカードの形で出力されるか、あるいは工程管理用オフライン計算機に直接送られる。

2.2 分塊圧延機計算制御の問題点

上述のように、分塊圧延機の計算機制御の機能は次の3項目に大別することができる。

- (1) 均熱炉段取りおよび焼上げ予測制御
- (2) 圧延ラインの自動運転制御
- (3) 全ラインの情報処理

以下、このおのおのにおける制御と問題点につき述べる。

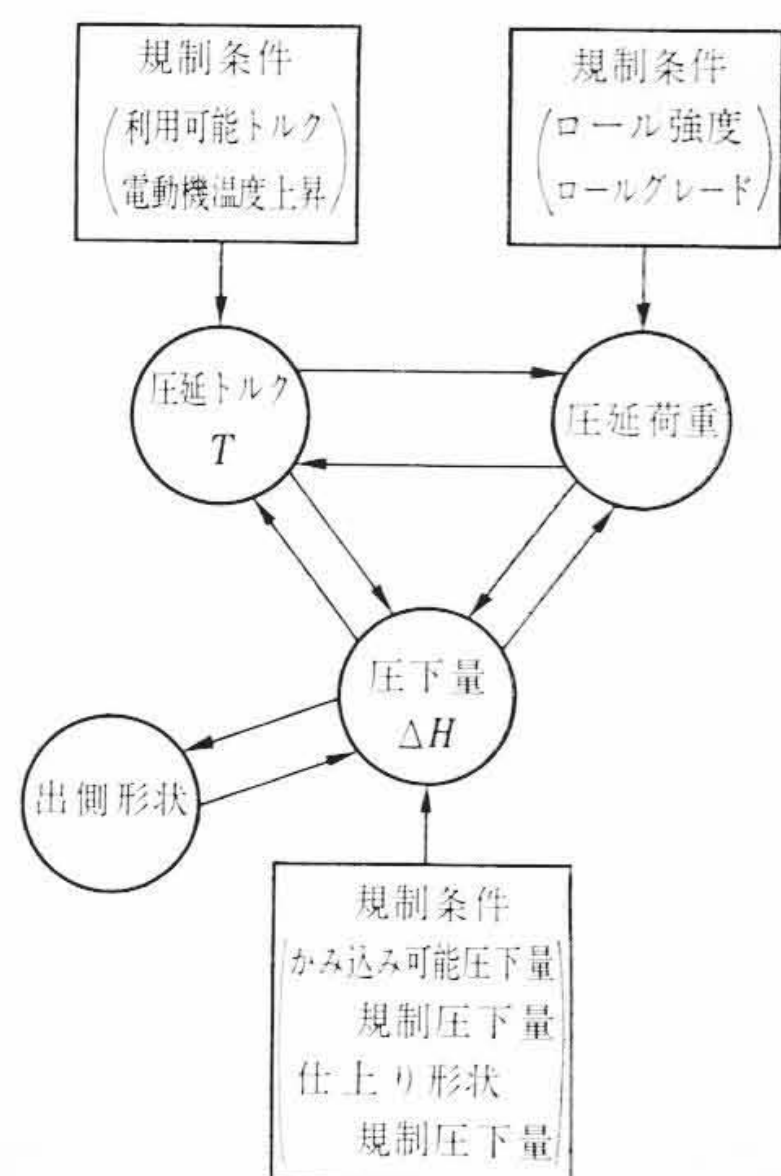


図3 圧延スケジュール決定条件

2.2.1 均熱炉段取りおよび焼上げ予測制御

圧延工程はインゴットごとにシリアルな作業であるのに対し、均熱工程はパラレルな作業である。したがって均熱炉工程において、圧延工程のシリアルな作業を受ける順序を決めてやらねばならない。ここに、段取計算の必要が生ずる。

段取計算とは、正確には「製鋼工場の出鋼予定および実績、分塊工場の圧延休止予定および実績、装入抽出作業実績をもとに、現在および将来の均熱炉の装入抽出作業、圧延の各種休止時刻を指示するもの」である。その最適性については、種々の考えがあるが、最も簡明なものは、「種々の制約下での生産コストを最低にする」ことであり、コストとはガス代、在炉時間、過均熱などを総合した評価である。これは均熱炉が最もむだなく使用されていることを意味するので、これを達成することにより、ひいては均熱炉数の減少も可能であり、その意味は大きい。従来均熱炉作業に関する若干の文献⁽²⁾⁽³⁾が発表されているが、直接最適計算に役だつような解析については報告されていない。われわれはこれを分岐合流システムと呼ぶ、シリアルな工程の前のパラレル工程での順序決定の問題として解く方法を開発した。この方法により、焼上げ予測計算を行ないながら、均熱鋼塊の過均熱度、圧延時間を考慮した抽出順序の決定計算、装入予定材の炉配分計算を行ない、指示し、さらに実績データをもとに逐次修正計算を行なう。

2.2.2 圧延ラインの自動運転制御

圧延ラインの自動運転制御の最も重要なものは、パススケジュール計算と、それに伴う圧延機の自動運転である。

分塊圧延における最適パススケジュールとは、「所定の寸法精度を得ることおよび圧延設備の規制条件のもとにおいて、圧延所要時間最短のスケジュール」と考えられる。

可逆圧延機における基本的規制条件は、(1) 圧延荷重制限、(2) トルク制限 (3) ドラフト制限である。分塊圧延の場合トルク制限が条件となることが最も多いが、これらのすべての条件を満足するようにパススケジュールを決定することが必要である。図3に圧延スケジュール決定条件の関係を示す。実際の圧延作業は、水平および垂直ロールの速度および压下位置を指定することにより行なわれるが、これと上記規制条件との関係を知るためには、これらの諸量に関する数式モデルが必要である。オンライン計算機制御のための数式モデルは、適中度が十分に高いこととともに、オンライン計算に適した計算時間の短いもの、極力線形に近い関数形のものが望ましい。このような数式モデルは、理論的なアプローチと、実プラントにおけるエンジニアリングデー

タの回帰分析によって得られるが、数式モデル各項の係数をその使用範囲に対して適切に決定することにより、簡単な計算式で実用上十分な適中度を得ることができる。数式モデルの一例として下記の計算式が発表されている⁽⁴⁾。

圧延荷重を P とすると

$$P = P_m b \sqrt{R \Delta h} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \log P_m = & \beta_0 + \beta_1 \log \left(\frac{R}{H} \right) + \beta_2 \log \left(\frac{\Delta h}{H} \right) \\ & + \beta_3 \log \left(\frac{\Delta h}{H} \right) \log \left(\frac{R}{H} \right) + \beta_4 T + \beta_5 T \log \left(\frac{\Delta h}{H} \right) \\ & + \beta_6 \log \left(\frac{\Delta h}{H} \right) \left(\log \frac{R}{H} \right)^2 + \beta_7 T^2 \quad (2) \end{aligned}$$

ここで、 P_m : 平均圧延圧力

b : スラブ幅

R : ロール径

Δh : ドラフト (压下量)

H : 圧延前スラブ厚

T : 圧延時スラブ温度

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_7$: 材料によって定まる定数

また圧延トルクを τ とすると

$$\tau = F(H) P \sqrt{R \Delta h} \quad (3)$$

$$F(H) = \alpha_0 + \alpha_1 H \quad (4)$$

このほか、従来から用いられていた伸び率と圧延所要パワーの関係に基づく式などがある。

パススケジュール計算は、これらの数式モデルを用い、 $\Delta h, P, \tau$ のいずれから出発してもよいが、 Δh からスタートする例をとると、第 n パスのドラフト Δh_n が与えられると、第 n パスの出側厚み h_n は、 h_{n-1} が前回の計算によって既知であるから、

$$h_n = h_{n-1} - \Delta h_n \quad (5)$$

次に、第 n パスにおける幅広がり計算しておく必要がある。

幅広がり Δb は Siebel の式から

$$\Delta b = \xi \mu \left(\sqrt{\frac{h_{n-1}}{h_n}} - 1 \right) \quad (6)$$

$$\text{ここで、} \mu = \sqrt{R(h_{n-1} - h_n)} \quad (7)$$

ξ : 補正係数

次に P_n を計算するためには (2) 式のように圧延温度 T_n の評価が必要である。圧延温度は放射冷却の式

$$\sigma \bar{\epsilon} A_s (T^4 - T_A^4) = -C \rho V_s \frac{dT}{dt} \quad (8)$$

ここで、 σ : Stefan-Boltzman 定数

$\bar{\epsilon}$: 実効幅射率

A_s : 表面積

T : 板の平均温度 (°K)

T_A : 周囲温度

C : 比熱

ρ : 密度

V_s : 体積

t : 時間

を示す。

(8) 式を偏分形とし、また圧延動力による発熱の補正を加えると

$$\Delta T = \frac{\sigma \bar{\epsilon} K_X T^4 A_s}{K_K} \Delta t - \frac{E_w}{K_K} \quad (9)$$

ここで、 E_w : 動力

K_K, K_X : 常数

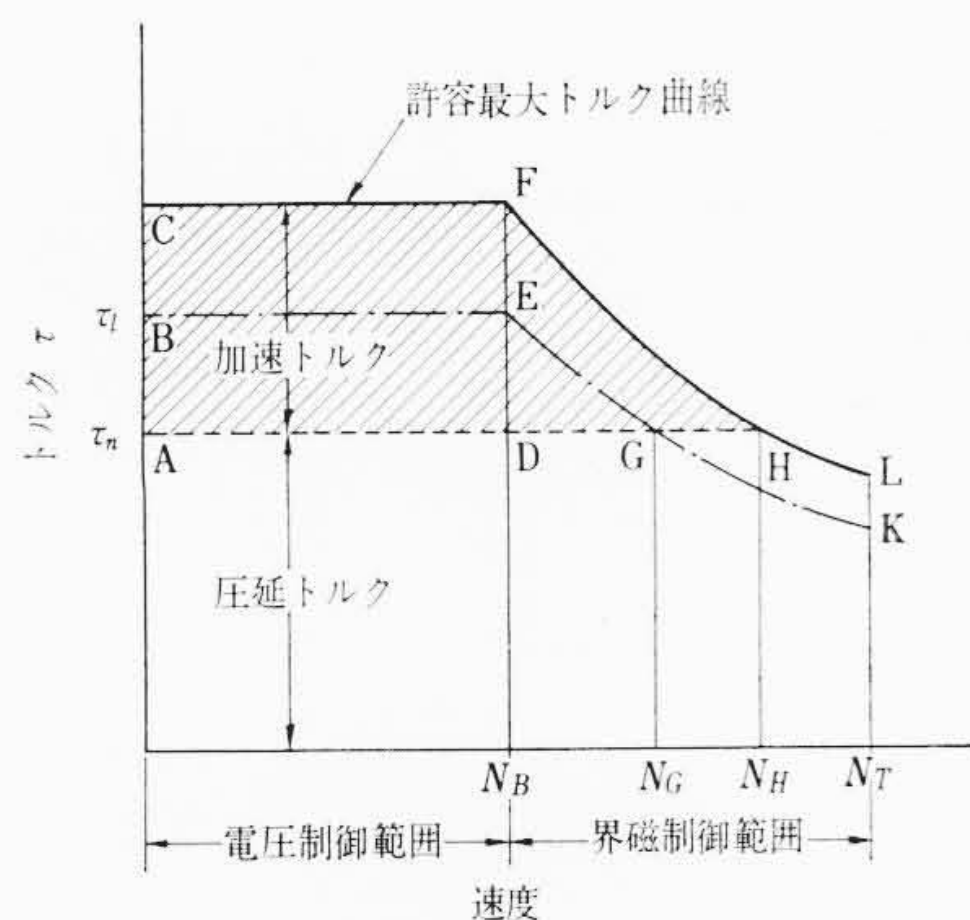


図4 圧延電動機トルク-速度特性

これより第 n パスの圧延温度

$$T_n = T_{n-1} - \Delta T_n \quad (10)$$

この T_n により (1) (2) 式より第 n パスの圧延荷重 P_n が計算される。計算された P_n は、圧延荷重制限と比較されるが、 P_n が、圧延荷重制限を越える場合には、ドラフトの修正が必要である。その際くり返し計算は好ましくないで、

$$\Delta h = C_1 + C_2(P_n - P_{MAX}) \quad (11)$$

$$\Delta h_n^{(2)} = \Delta h_n^{(1)} - \Delta h_n \quad (12)$$

ここで、 P_{MAX} : 荷重制限値

$\Delta h_n^{(1)}$: 修正前ドラフト

$\Delta h_n^{(2)}$: 修正後ドラフト

C_1, C_2 : 定数

として Δh_n が極端に大きくなければ 1 回の補正計算ですませることができる。

同様に圧延トルクは (3) 式から計算され、トルク制限と比較され、トルク制限を越える場合は (12) 式と同様にして補正計算される。

このようにして、 $\Delta h_n, P_n, \tau_n$ が計算されると、ロール開度 S_n は

$$S_n = h_n - \frac{P_n}{M} + \varepsilon \quad (13)$$

で計算される。

ここで、 M : 圧延機のパネ定数

ε : 定数

パススケジュールとしては、圧延速度を決める必要がある。

一般に電動機の許容最大トルクと回転数の関係は図4のCFHL曲線のように表わされる。圧延材かみ込み後の加速が通常必須であるので、圧延トルクをこの許容最大トルクいっぱいにとることはできない。また τ_n が与えられた場合、 τ_n が許容最大となる N_H まで速度をあげるのは実際的ではない。それは、加速時間が長くなり、また、電動機電流の自乗平均値が大となるからである。したがって、図4のBEGK曲線のような実用上の速度制限曲線を置き、速度を N_G にとどめる。

以上のようにして、パススケジュールが計算されるが、このスケジュールは必ずしも最適条件、すなわち最短時間条件を満足しているとは言えない。圧延時間を決定しているのは、パス回数と圧延速度であるが、これを与える基本規制条件は、圧延トルク制限である。したがって、圧延トルク制限条件を変えて圧延時間をチェックし、最適値のパススケジュールを求める。

オンラインのパススケジュール計算においての問題点の一つに、インゴットの温度の不確定の問題がある。そのため、第2パスにおける圧延荷重、トルクを測定し、変形抵抗および温度評価を決定している。

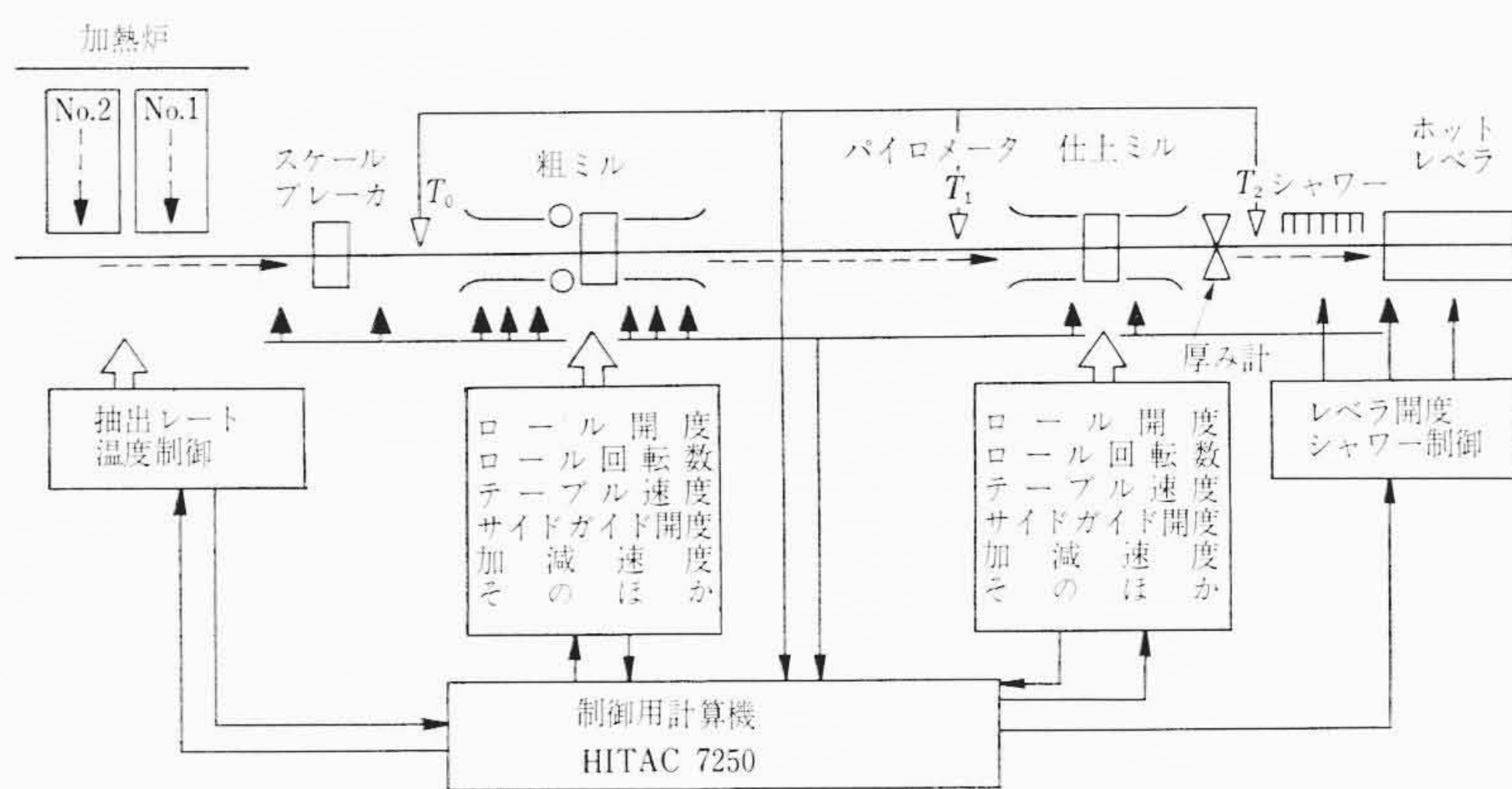


図5 プレートミル制御システム

2.3 全ラインの情報処理

情報処理システムは、圧延材料の動きの追跡、トラッキングを中心として進められ、圧延工程の自動運転に正しい情報を与える必要性のほか、その出力情報および記録は、ホットストリップミル、プレートミルなど次工程の入力情報となるので、その正確な管理のためにも信頼性が要求される。

分塊圧延機におけるトラッキングは、圧延材料が短いこと、またスケール、蒸気などにより検出がむずかしいこと、シングル圧延、タンデム圧延の切換が行なわれること、圧延材の炉戻しなど異常操作が多いことなどにより、他のミルのトラッキングに比べてむずかしく、検出器の合理性チェック、異常操業に対する計算機処理のフレキシビリティを十分考慮しておく必要がある。また、ある程度の手動設定入力情報を置くこともやむを得ないので、計算機-人-圧延プラントのリンケージを簡明にし、設定による誤りの導入されるチャンスを少なくすると同時に、運転者の計算機制御操業に対する教育および訓練が必要である。

3. プレートミル

プレートミルでは加熱炉からレベラーに至るミルラインとそれ以降の工程に大別される。計算機制御によって品質の向上と生産性の向上の点で期待されるのはミルラインである。

3.1 ミルラインの計算機制御システム

分塊工程から送られてきたスラブは、一般的には秤量されて加熱炉に装入される。加熱炉には連続式とバッチ式とがある。連続式加熱炉では装入されたスラブはプッシュまたはウォーキングビームによって炉内を移動し、予熱帯、加熱帯を経て均熱帯に至る。ここでは計算機は仕上り温度を制御すると同時にラインからの要求に従って抽出レートを制御する。炉から抽出されたスラブはテーブル上で可逆式粗ミルへ送り込まれる。ここで数パス圧延されると仕上ミルへ送られさらに数パス圧延されてレベラーに達する。

計算機は粗、仕上ミルを通して材料を所定の形状に仕上げるが、内容的には板厚の制御、板幅の制御、プロフィールの制御、自動運転に分けられる。材料によってはこのほかに温度制御を要求されることがある。

こうして所定の形状で仕上げられた材料はホットレベラーを経てクーリングベッドへ送られる。

図5はこの一連のラインを示している。

3.2 プレートミル計算機制御の問題点

基本的なパススケジュール計算はスラブミルと同様であるが、プレートミルでは最終製品となるので、仕様のにはスラブミルよりきびしい。したがって最適修正制御はスラブミルより高度化が要求される。

次にプレートミルでは厚み計を仕上ミルの入側または出側に設けて自動板厚制御を行なう。実際には板厚の測定範囲に限界があるので終期のパスで板厚を実測しフィードバックする。この板厚の制御の場合、プロフィールとも関係して問題となるのはバネ定数 M である。板厚は

$$h = S + \frac{P}{M} + \varepsilon \dots\dots\dots (13')$$

と表現される。

ここに、 h : 圧延後板厚
 S : ロール開度
 P : 圧延荷重
 ε : 補正項

である。

プレートの場合材料の幅が大幅に変動するため、 M が大幅に変わる。バックアップロール径の影響もあり一例として次式で表わされる⁽⁵⁾。

$$\frac{1}{M} = d_0 + d_1 \frac{d_3 - b}{D^{d_2}} \dots\dots\dots (14)$$

ここに、 D : バックアップロール径
 b : 材料幅

である。

かつ低荷重のときは弾性特性曲線が大きく湾曲することもある。一般に終期パスでは整形するため低荷重とするからである。

プレートミルの特殊性として幅出し制御がある。基本的には圧延前後の体積が等しいことから圧延前後の板厚、板幅、長さをそれぞれ $h_1, b_1, L_1; h_2, b_2, L_2$ とすると

$$h_1 b_1 L_1 = h_2 b_2 L_2 \dots\dots\dots (15)$$

が成立する。したがって所定の幅を L_0 とし $L_0 < L_2$ までパスが進んだとき、 $L_2 = L_0$ となるよう h_2 を定め、

$$h_2 = \frac{h_1 b_1 L_1}{b_2 L_0} \dots\dots\dots (16)$$

として、この h_2 を満足するよう S_2 を決める。すなわち

$$S_2 = \frac{h_1 b_1 L_1}{b_2 L_0} - \frac{P_2}{M} - \varepsilon \dots\dots\dots (17)$$

とする。このとき P_2 は上記 h_1 と h_2 の条件のもとに算出される。こうして圧延を実行すると仕上りの長さは L_0 となり、ここで 90 度ターンすると L_0 が幅となる。

このとき注意を要するのは材料は圧延が進むにつれて少しずつ形がくづれるため単純に $h_i b_i L_i$ がその体積を示さないことと幅広がり幅出しの精度に効いてくることである。

プレートミルのほかの特殊性はプロフィールである。プレートでは材料の幅が広いいため荷重の変化は断面形状（これをここではプロフィールという）に微妙に効いてくる。このためプロフィールを制御する専用のデバイスを設けるか、荷重を調整して所望のプロフィールを出すことを考える必要がある。前者の方法は一般にロール径が大きいため相当の動力が必要となるので、一般にはロール替え時間を短縮する方法をとってひん繁にロール替えを行ない、荷重によって調整する方法がとられている。

ミルユーティリティを制御することはさきに述べた加熱炉の抽出レート制御につながるが、これについては次項で述べる。

計算機はこうした条件をすべて考慮して水平ロール速度、水平ロール開度、垂直ロール速度、垂直ロール開度、などを算出し、あわせてフィードローラ、テーブル、加減速度を制御する。プレートミルでは計算機は制御量をスタティックに決定するだけでなく、ダイ

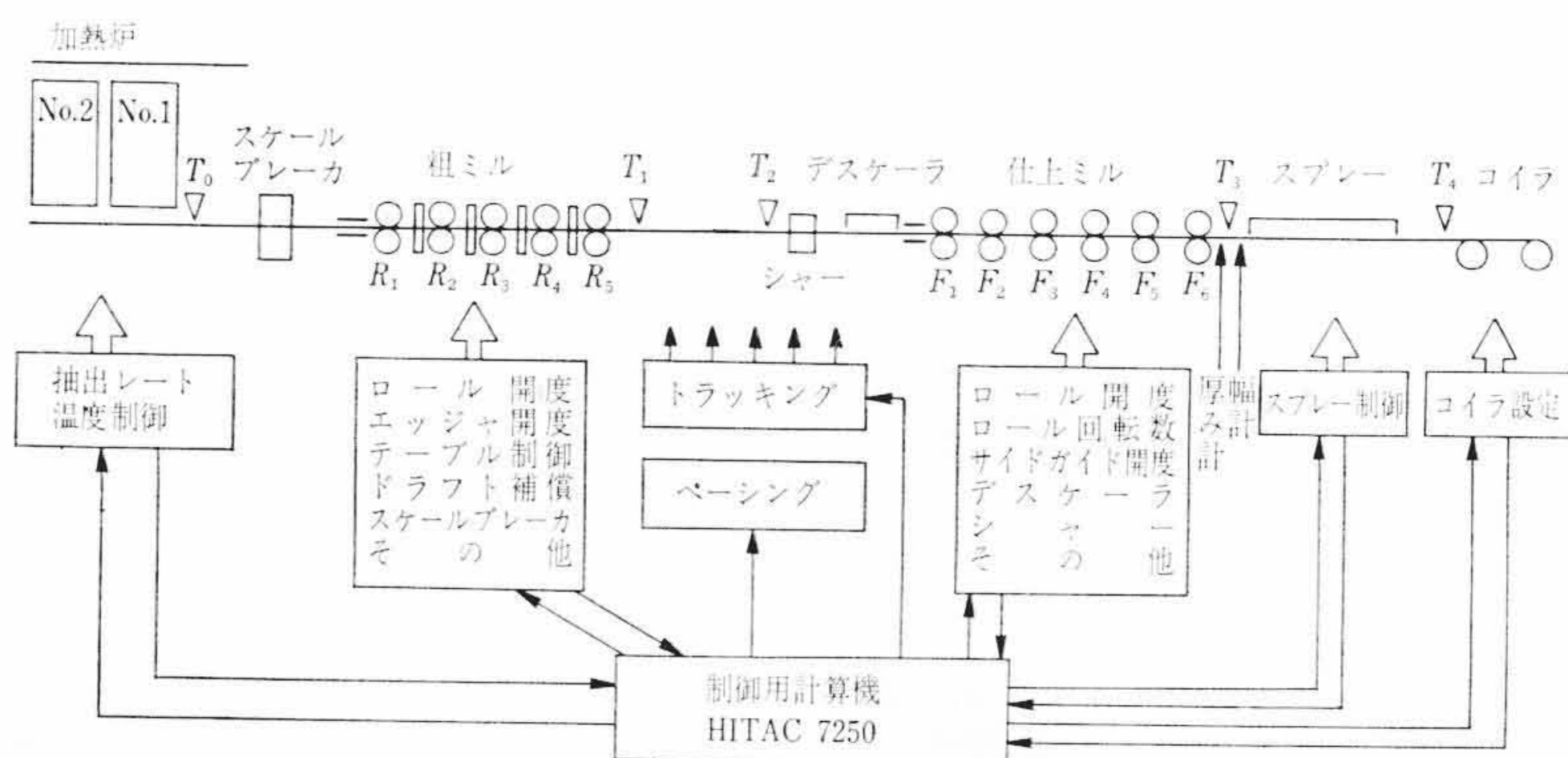


図 6 ホットストリップミル制御システム

ナミックに制御している。そして従来の手動運転を単に自動化するのみでなく、高度化を図り、手動以上の性能、精度を実現することができる。

4. ホットストリップミル

ホットストリップミルは圧延設備中最も早く計算機制御が適用されたものであって、計算制御のための投下資本が短期間に回収されるといわれている。

このミルの場合、計算機制御のねらいとするところは品質、歩留りの向上に最も重点がおかれている。

4.1 計算機制御システム

図 6 にホットストリップミル制御システムを示す。

材料が分塊工程から送られて来ると、いったん秤量機で秤量され加熱炉に装入される。計算機とのつなぎは、秤量完または炉装入でマッチングが行なわれる。これよりミルラインを経てコイル秤量機に達するまで材料のトラッキングが行なわれる。

まず材料が計算機とのマッチングラインに達すると、材料の寸法仕様と鋼種、および仕上寸法を含む基礎的な圧延指示が計算機に取り込まれる。方法としてはカード、またはテープの形でリンクするものと上位計算機とのダイレクトリンクによるものとがある。計算機はこれらの情報を記憶装置に取り込み必要に応じて使用する。

材料が炉に装入されると計算機はチャージログをタイプアウトしオペレータの参考資料に供する。一方圧延ラインよりの要求と材料の加熱状態に応じて材料の抽出が行なわれデイスチャージログにスラブ仕様がタイプアウトされる。

材料はスケールブレイカを経て粗ミルに達するが、これに先立って計算機はスケールブレイカの開度を含む粗ミル開度、ドラフト補償などを計算し所定のタイミングが来るまで待機している。粗ミルではロール開度、エッジャ速度、エッジャ開度、サイドガイドの設定値を計算する。主ロール駆動モータが直流機の場合はその回転速度を計算する。一般的には粗ミルで幅制御が行なわれる。

粗ミルで圧延された材料はディレーテーブルへ送り出されクロップシャで先端カットされたのちデスケーラで表面スケールを除いて仕上ミルにかみ込む。計算機はこれに先立ちデスケーラ入側以前にある温度計で材料温度を知り、さきにカードなどによって与えられたスラブ情報と、粗ミル出側に一般的に設置されている厚み計、幅計の情報とから仕上ミルのセットアップ計算が行なわれる。この結果仕上ミルのロール開度、ロール回転数、サイドガイド開度などが出力される。

実際に仕上第 1 スタンドにかみ込むと、そのときの圧延荷重を取り込み、あらかじめ計算された値と比較される。この差は主として材料温度の評価エラーに依存する。そこでこの差に対する修正を第 2 スタンド以降に対して実行する。

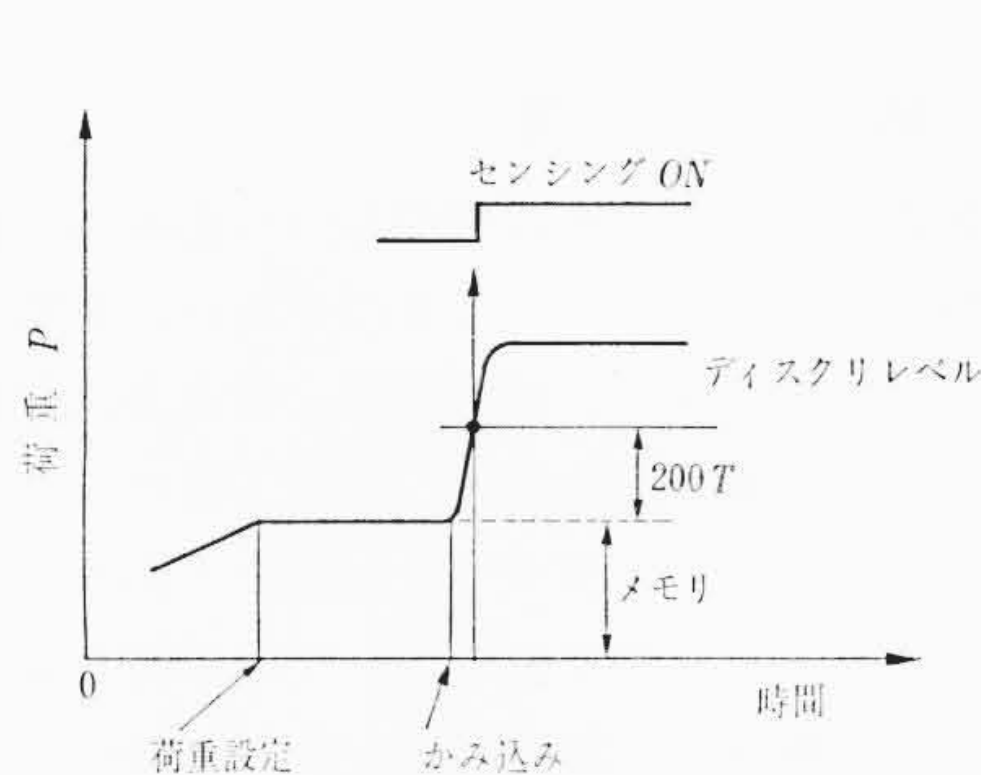


図7 ロードセンシング

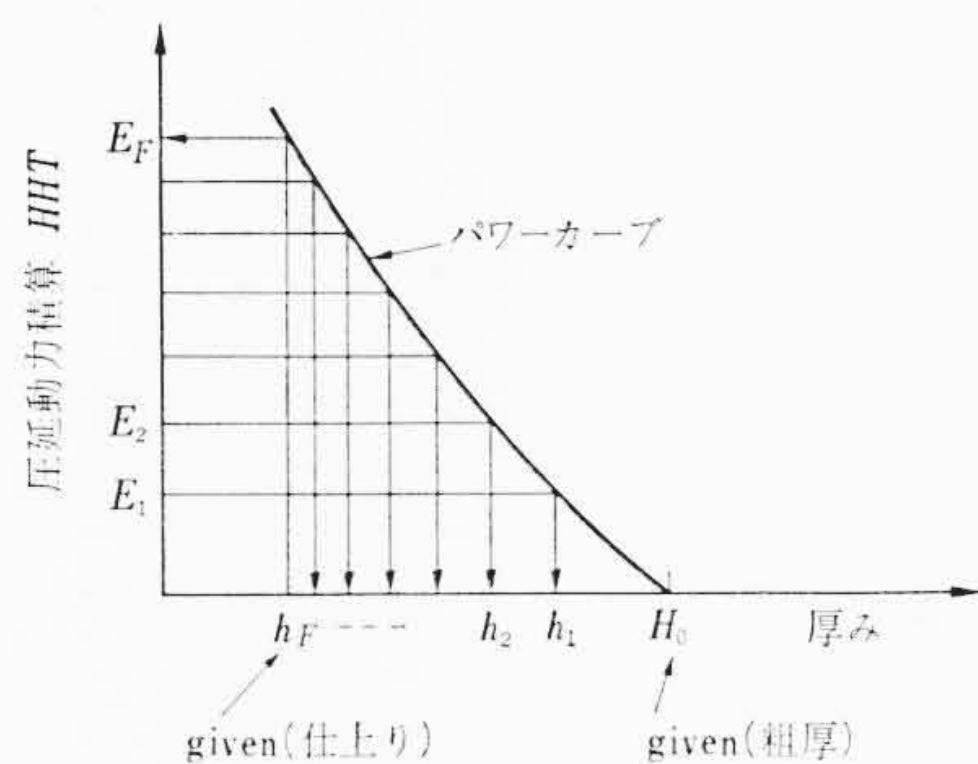


図8 パワーカーブ

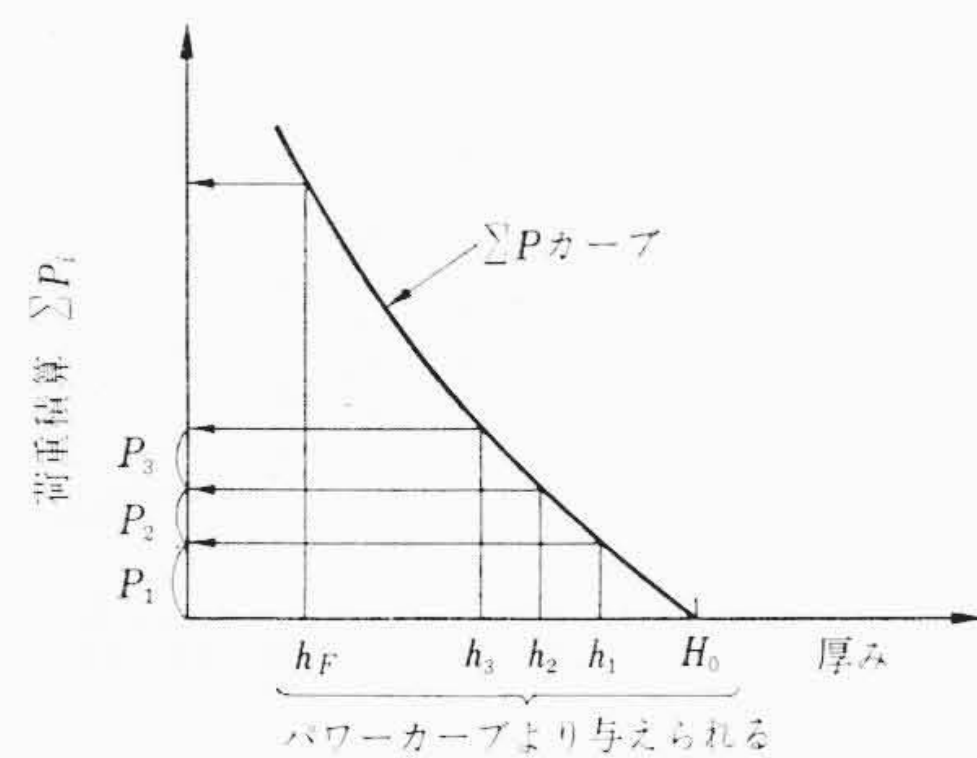


図9 荷重カーブ

材料は仕上ミルを出るとホットランテーブル上で適度に冷却されてコイラに巻き取られる。一般には先端が巻き取られると圧延速度を上昇する。これには二つのケースがある。一つは t/h を向上させるためと、他は圧延仕上温度を制御するためである。この仕上温度と巻取温度とは材料の冶金学的品質に関係するので、きめの細かい制御が必要である。

4.2 ホットストリップミル制御上の諸問題

ホットストリップミルの基本的な機能は大別すると次のようになる。

- (i) スラブトラッキング
- (ii) ミルペーシング
- (iii) 粗ミルセットアップ
- (iv) 仕上ミルセットアップ
- (v) 巻取温度制御
- (vi) ロギング

これらのそれぞれについて問題点を述べる。

スラブトラッキングでは材料の動きにつれて情報の転送を行なうが問題となるのは検出器である。鋼片検出器とロードセンシングがその主体をなすが、特にロードセンシングはロードセルの信号を処理する方法に問題がある。材料のかみ込みでロードセルの信号が立ち上がるが一般的にはあるレベル以上に立ち上がることで材料の到達を知るが、最終スタンドでは圧延前にすでに締込んでおくことが多く、かつその値がスケジュールによって変わるため微分方式が採用される。しかし最終スタンドでは軽負荷であることが多くしかも全般的に立上り、立下りは必ずしも急しゅんではないから常に検出に成功するとは限らない。そこで圧延前の荷重を記憶しておきそれよりさらに、あるレベル立ち上がったときに材料かみと判断することが一つの方法として考えられる。図7はその原理を示したものである。

ミルペーシングにはいくつかのステップがあるが要は、ミルユーティリティを最高とするための最適圧延ピッチを算出し、それに追従できるよう加熱炉の温度制御を行なうことである。

粗ミルセットアップはタンデムとレバースでは制御方法が異なるがレバースの場合はスラブミル、プレートミルと方針的には同一である。タンデムの場合は各スタンドの負荷バランスと圧延温度の最適化を図って水平ロール開度と垂直ロール開度、速度を決める。一般的には各スタンドの圧延温度を考慮して材料の冷却を防ぐため後半のスタンドに負荷をかける。水平ロールモータが同期電動機でないときはその速度を決める。垂直ロールは幅制御の唯一の手段であるため粗ミル出口に一般的には設置される幅計を見ながら大きな意味でのクローズドループを形成する。粗ミルでは材料の形状を支配することになるので単純に最高効率運転のみで設定計算をしてはならない。

仕上ミルでは各スタンドのロール開度、ロール回転数を決定するが、ミルラインを通してこれが技術的には最高度である。各スタン

ドの出口板厚を h_i 、板速度を v_i とすると、任意の時点で次式が成り立つ。

$$h_i v_i = \text{一定} \quad (18)$$

一方各スタンドの負荷分配比率を決めると図8に示すパワーカーブによって各スタンドの出側板厚が決まる。

まずこのようにドラフトスケジュールを決めたあと、各スタンドの荷重 $P_1 \sim P_6$ を計算する。荷重の計算式は一般的に次式で示される。

$$P = b k_p \sqrt{R'(H-h)} Q_p(H_1 h_1 R') \quad (19)$$

ここに、 b : 板幅
 k_p : 平均変形抵抗
 R' : 扁平を考慮したロール半径
 H : 入側板厚
 h : 出側板厚

である。一つの手法はパワーカーブと同様に $\sum P_i$ カーブを作っておき、すでに決めたドラフトスケジュールに応じて h_i から P_i を求めるのである。図9はこれを示している。こうして P_i 、 h_i が決まればロール開度 S_i は

$$S_i = h_i - \frac{P_i}{M_i} + \varepsilon_i \quad (20)$$

より求められる。ここに ε_i は補正項である。

次にロール回転数 V_i は(18)式より求まるのでこれに先進率 f_i の補正を加えると

$$V_i(1+f_i) = v_i \quad (21)$$

から計算することができる。 V_i はロール周速で示される。

以上のようにしてロール開度とロール回転数は決まるが一般的には材料温度の評価に誤差があるため必ずしも上記の一回だけの計算で所望の精度を得ることができない。そこで第1スタンドにかみ込んだ時点で、その圧延荷重を測定し図9で予測した値 P_1 と比較し、実測値 $\bar{P}_1$ に対する偏差分

$$\Delta P_1 = \bar{P}_1 - P_1 \quad (22)$$

による誤差 Δh_{61} を補正する。

圧延速度 v_6 は上記計算で与えられるものとしたが、これは圧延仕上温度と密接に関係する。一例として仕上温度 T_F は

$$T_F = a_0 - a_1 h_6^{a_2} v_6^{a_3} \quad (23)$$

という関係が成り立つ。この式より目標値 T_F 、 h_6 に対する v_6 が求められる。一般的に圧延が進むと温度はランダウンするので、 v_6 を上昇することによって T_F を一定の許容範囲に押えるよう制御することが望ましい。

巻取温度の制御は品質上きわめて重要な機能となるが、これはAGCに匹敵する高速応性を要求されるので特に急速昇速を要求されるミルでは専用の巻取温制御装置を設けることが望ましい。詳細については本誌⁽⁶⁾に発表されているが、基本となる数式モデルは

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{h} \left\{ \frac{dK}{dK} T + \frac{K'}{3} (T+273)^4 \right\} \quad (24)$$

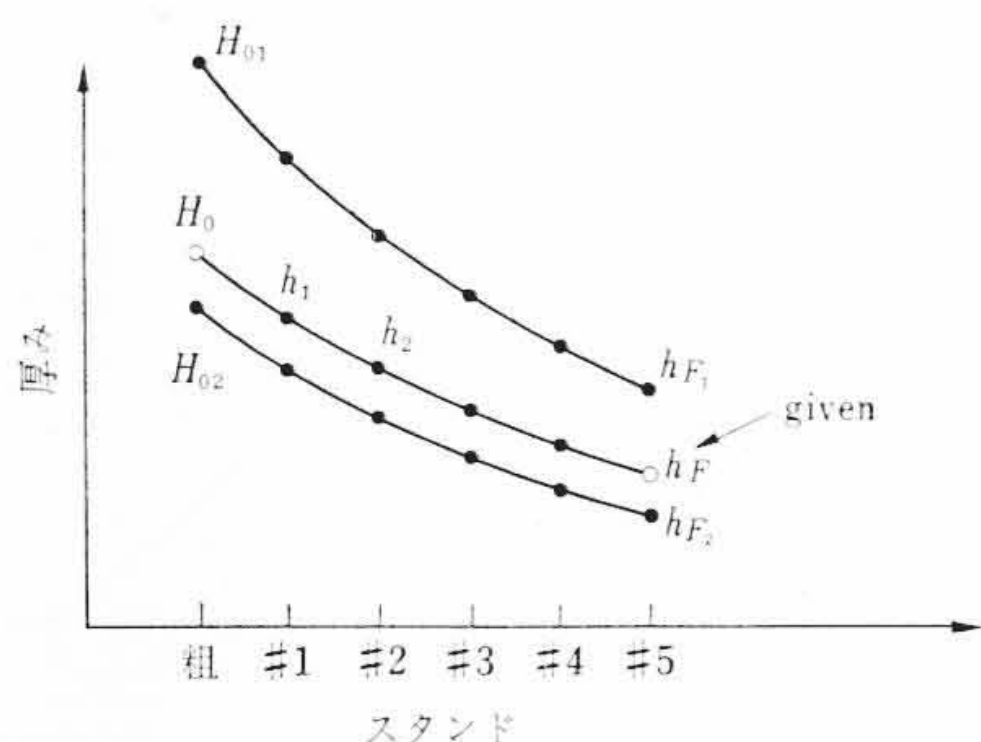


図 10 モードパターン

である。

ここに、 T ： ストリップ上の一点の温度
 t ： 時 間
 K ： スプレー冷却能力
 L ： 仕上温度計からの距離
 K' ： 放射冷却係数

である。

この数式を基本としたダイナミックシミュレータを構成し、時々刻々変わるストリップ各点の温度を算出し制御する。

ホットストリップについては技術は確立されたと見てよい。現在はさらに精度向上をねらいとした努力が続けられている。

5. コールドストリップミル

コールドストリップでは計算機制御は主としてミルセッアップに重点が置かれている。この場合ホットよりもさらに細かい設定が要求されるため、方針的には実績データを重視したパターン方式によるのが賢明である。図 10 はその具体例であるが、図中 $H_{01} \sim h_{F1}$ と $H_{02} \sim h_{F2}$ の 2 本のカーブは実績データより作成したパターンである。このパターンに対し圧延指示が $H_0 \sim h_F$ だとすると同図より各スタンドの出側板厚がきまる。同様にして圧延荷重、張力などを求める。注意を要するのはパターンの数が少ないとパターンと圧延指示との差が大きくなるため単純な比例計算では誤差が大きくなるので、ある程度の修正計算が必要である。

6. 結 言

圧延工程の計算機制御装置は、最近急速に実現しつつあるが、現時点においては、国内において完成したものはまだ少ない。したがってその評価は確立していない。ユーザー側の評価、考え方、体制もまちまちである。しかし、計算機制御装置が、圧延工程にとってなくてはならぬものになりつつあるのは明りょうな事実である。本文においては、各圧延工程のプロセス的な面についてのシステムの問題点を述べたが、いずれも今後さらに解析発展を続けていくべきものである。また、計算機制御装置の重要度が高まるにつれ、システムとしての信頼性向上の方法、ソフトウェア製作と保守の問題などが大きくなるであろう。今後さらに、ユーザーのご協力を仰いで、これら問題点を解析していきたいと考える。

終わりに、計算機制御装置設計製作に当たり種々ご指導を賜った八幡製鉄株式会社、住友金属工業株式会社その他ユーザーのかたがた、日立製作所日立研究所および中央研究所の各位に厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 岩田： オートメーション 11, 12~76 (1966-11)
- (2) 松永： 制御工学 11, 50 (1967-10)
- (3) 平本ほか： 日新製鋼技報 16, 59 (1967-5)
- (4) 北之園： 日立評論 49, 721 (昭 42-7)
- (5) R. G. Schultz： Iron and Steel Eng. 127 (May 1965)
- (6) 伊佐早ほか： 日立評論 49, 996 (昭 42-10)
- (7) A. Haalman： Cont. Eng. 7 (1965)
- (8) R. Meredith： Iron and Steel Eng. 73 (Dec. 1965)
- (9) J. T. Jones： Electronics 80 (Jan. 1965)
- (10) R. W. Kirkland： Iron and Steel Eng. 115 (Feb. 1965)
- (11) W. E. Miller： Iron and Steel Eng. 98 (Jun 1964)
- (12) B. Avitzur： Iron and Steel Eng. 104 (Dec. 1962)
- (13) R. G. Beodle： Iron and Steel Eng. 71 (Jul. 1964)
- (14) R. J. Mikee： Iron and Steel Eng. 59 (Aug. 1966)
- (15) J. S. Deliyannides： Iron and Steel Eng. 129 (Apr. 1966)
- (16) P. M. Auman： Iron and Steel Eng. 74 (Sep. 1967)
- (17) H. D. Morgan： Iron and Steel Eng. 109 (Sep. 1966)