

# 冷間タンデム ミルの ダイナミック シミュレータとその応用

## Dynamic Simulator of Cold Tandem Mill and Its Application

田沼正也\* Masaya Tanuma

松香茂道\*\* Shigemichi Matsuka

A dynamic simulation method of a cold tandem mill has been developed. The dynamic behaviors of a cold tandem mill are expressed by several nonlinear equations and differential equations. In the new simulation method using a digital computer, nonlinear equations are directly calculated by the Newton-Raphson method and differential equations are calculated by the Runge-Kutta method.

The simulator DYSCOM which uses this new simulation method has been developed. The DYSCOM has the following features:

- (1) Dynamic behaviors in the whole rolling stage can be calculated.
- (2) Various controllers can be included in the simulation.

Applying DYSCOM to a five-stand cold mill, the dynamics in the acceleration stage were analyzed. The simulation results revealed the following facts:

- (1) Thickness change due to the response time of the ASR is practically negligible.
- (2) The drooping function of the ASR causes thickness to change largely, and so should be improved.
- (3) Effects of the change in bearing oil film thickness and the friction coefficient change on thickness and tension can be eliminated by controlling screw down position.

### 1 緒 言

冷間タンデム ミルでは圧延歩どまりの向上が常に要求される。圧延歩どまりを上げるためには製品の板厚精度を良くする必要がある。以前から、厚板精度を上げるため自動板厚制御装置（以下、AGCと略す）が用いられていたが、最近ではより高い精度を得るため、AGCの改良や計算機制御の導入が進められている。AGCや計算機制御システムの開発に際しては、対象であるミルの特性把握および制御系の性能評価が必要となる。その場合、実圧延機を用いることも考えられるが、次に述べる理由からミルの挙動をデジタル計算機で模擬するダイナミック シミュレータがより有効であると思われる。

- (1) 実操業データからでは、インプリシットな要因の影響を定量的に把握するのは難しい。シミュレーションでは各要因の値を任意に変化できるので、要因の圧延への影響を容易に把握できる。
- (2) 実ミルでは、圧延コイルが高価なため圧延の失敗は極力避ける必要があり、制御系の試行錯誤的実験はできない。シミュレーションでは、そのような実験は容易にできる。

筆者らは、冷間タンデム ミルのシミュレータの研究とそれを用いた動特性解析を数年間にわたって行ってきた<sup>(1)</sup>。本稿でその研究の一部について報告する。

### 2 冷間タンデム ミルのダイナミック シミュレータ

ミルの挙動を模擬するためには、圧延現象を表わす圧延モデルと制御系を表わす制御モデルの計算が必要になる。このうち、従来その計算法が問題となっていた圧延モデルに関し、精度良く計算できる直接計算法を開発した。この直接計算法を用いて、どんな圧延状態の解析にも用いることができるシミュレータ“DYSCOM”を開発した。

#### 2.1 冷間タンデム ミルの概要

図1は、5スタンド ミルの概要を示すものである。ここで重要視される要因は、圧延機の厚みと張力である。張力の制御は圧延を安全に行なうため必要となる。これらの制御はロール速度、開度を調節することにより行なわれる。タンデムミルの特性を考慮すると、シミュレータは次の機能を持つ必要がある。

- (1) 隣接スタンドは、張力を介して相互に干渉する。このため、全スタンドの圧延現象を模擬できる機能が必要となる。
- (2) ミルは、圧延機とその駆動装置から成る。圧延状態を正確に模擬するためには、圧延特性の外に駆動系の特性が考慮できる機能が必要となる。
- (3) 1本のコイルは同一状態で圧延されるのではなく、通板→加速→定常→減速→ティル抜けという過程を経て圧延される。各圧延段階では固有の外乱や現象が生ずるので、圧延の

\* 日立製作所日立研究所

\*\* 日立製作所大みか工場

全容を把握するためには全圧延段階にわたる特性解析ができる機能が必要である。

2.2 シミュレーション モデル

圧延の動的モデルは、ロールの速度、開度が与えられたとき、それに対してどのような板厚、張力が生ずるかを示す圧延モデルとロールの速度、開度の挙動を示す制御モデルから構成される。各モデルについて次に概説する。

(1) 圧延モデル

図2は、主要な圧延パラメータを示すものである。出口板厚 $h_i$ 、ロール開度 $S_i$ と圧延荷重 $P_i$ は、圧延機の弾性変形特性

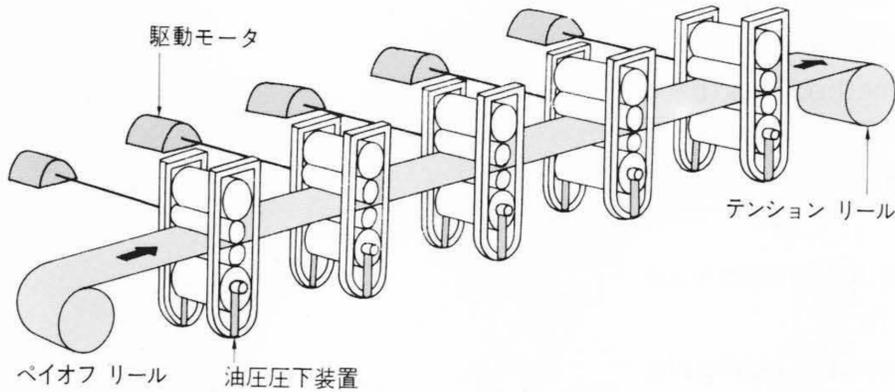


図1 5スタンドミルの概要 冷間タンデムミルは、圧延機とその駆動系より成る複合システムであり、シミュレーションモデルは圧延モデルと制御モデルから構成される。

Fig. 1 Schematic Diagram of a Five Stand Cold Mill

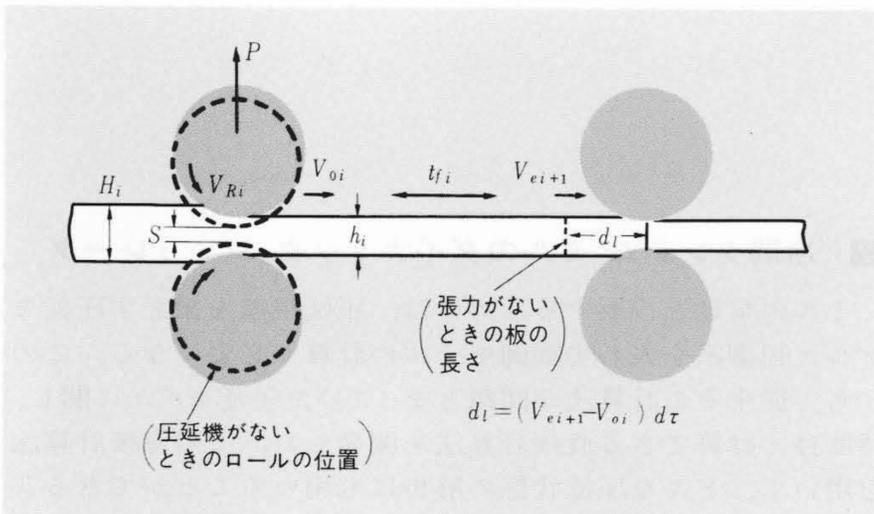


図2 主要圧延パラメータ 出口板厚 $h_i$ および張力 $t_{fi}$ はロール開度 $S_i$ 、ロール速度 $V_{Ri}$ を用いて制御される。それらの変数はミルの弾性伸び、圧延材の弾性伸びの式により関係づけられる。

Fig. 2 Schematic Diagram of a Stand Illustrating Main Variables

$$P_i = K_i (h_i - S_i) \quad (K_i: \text{ミルのばね定数}) \dots\dots(1)$$

によって関係づけられる。一方、材料の塑性変形特性

$$P_i = P(H_i, h_i, t_{fi}, t_{fi-1}, \mu_i, \Omega) \dots\dots(2)$$

によって $P_i$ は入口板厚 $H_i$ 、出口板厚 $h_i$ 、張力 $t_{fi}$ 、ロールと材料の摩擦係数 $\mu_i$ 、変形抵抗 $\Omega$ の関数となる。張力 $t_{fi}$ は、圧延機の両端の速度差 $(V_{ei+1} - V_{oi})$ により生じた伸びに対する応力であり、次式で表わされる<sup>(2)</sup>。

$$\frac{dt_{fi}}{d\tau} = \frac{E}{L_i} (V_{ei+1} - V_{oi}) \dots\dots(3)$$

( $E$ : ヤング率,  $\tau$ : 時間,  $L$ : スタンド間距離)

$V_{ei+1}$ ,  $V_{oi}$ はロール速度 $V_{Ri}$ ,  $V_{Ri+1}$ と先進スリップ $f_i$ 、後進スリップ $\zeta_{i+1}$ を用いて関係づけられる。

$$V_{oi} = (1 + f_i) V_{Ri} \dots\dots(4)$$

$$V_{ei+1} = (1 + \zeta_{i+1}) V_{Ri+1} \dots\dots(5)$$

$f_i$ ,  $\zeta_{i+1}$ は圧延パラメータの関数で表わされる。シミュレーションでは、これらのモデルを全スタンド連立させて計算する。

(2) 制御モデル

制御モデルにはロール速度制御装置(以下、ASRと略す)、压下装置、AGCのモデルがある。図3は、一例としてASRモデルを示すものである。実際のASRはモータ、サイリスタ装置などを含む複雑なシステムであり、厳密に模擬しようとすると複雑なモデルとなる。本研究はASRの厳密な解析が目的でないので、モデルとしては精度を落とさず単純化した線形化モデルを用いている。

2.3 直接計算法

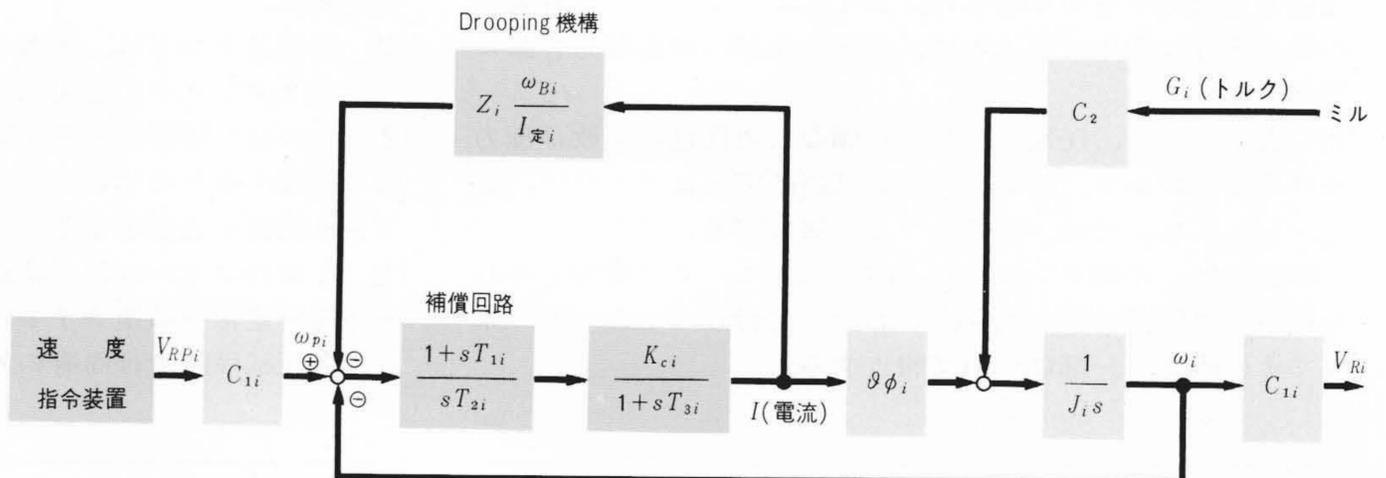
圧延モデルの非線形性から生ずる計算の困難さを避けるため、従来のシミュレーションでは線形化されたモデルが用いられてきた<sup>(4)(5)</sup>。線形化モデルを、板厚、張力が大きく変化する通板時、加速時のシミュレーションに用いた場合、線形化により生ずる誤差が心配される。このため、圧延モデルをそのまま計算する直接計算法を開発した<sup>(6)</sup>。直接計算法による圧延モデルの計算法を5ステップに分けて説明する。

[ステップ1] …初期条件の設定…微小時間 $\Delta$ 後の $t_{fi}$ 計算のため、前回の $t_{fi}$ ,  $H_i$ を今回の計算初期値とする。なおここでは、 $V_{Ri}$ ,  $S_i$ ,  $\mu_i$ ,  $\Omega$ は与えられているものとする。

[ステップ2] …出口板厚計算… $S_i$ ,  $t_{fi}$ ,  $H_i$ ,  $\mu_i$ ,  $\Omega$ を用いて(1), (2)式から $h_i$ を求める。それらは非線形式であり解析的に解けないので、数値計算で良く用いられるNewton-Raphson法を適用した。図4に示すように、 $h$ の第1近似値 $h_i(1)$ に対応する曲線 $PL$ ((2)式)上の点から接線を引き、接線と $EL$ ((1)式)との交点から第2近似値 $h_i(2)$ を求める。この過程を $n$ 回くり返したとき、 $h_i(n)$ と $h_i(n-1)$ の差が非常に小さくな

図3 ロール駆動モータ速度制御系ブロック図 ASRは、モータ、サイリスタ装置などから成る複雑なシステムであるが、ここでは、精度を落とさず単純化した線形モデルを用いている。

Fig. 3 Block Diagram of Automatic Roll Speed Regulator



注:  $C_1, C_2$  = 定数,  $\omega_B$  = モータベース回転数,  $I_N$  = モータ定格電流,  $s$  = ラプラス演算子

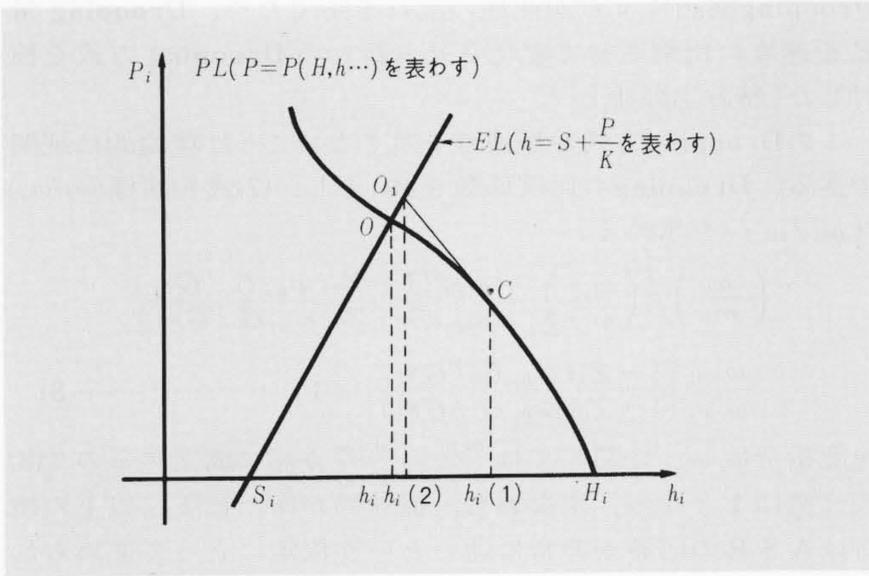


図4 圧延荷重と板厚 Newton-Raphson法により第1近似値 $h_i(1)$ から第2近似値 $h_i(2)$ を求める。この過程をくり返し、真の板厚 $h_i$ を求める。

Fig. 4 Rolling Pressure Versus Thickness Diagram

ったならば、 $h_i(n)$ を $h_i$ と見なすことができる。

〔ステップ3〕…板速度の計算…圧延パラメータから $f_i$ ,  $\zeta_i$ を求め(4), (5)式から $V_{ei}$ ,  $V_{oi}$ を求める。

〔ステップ4〕…張力計算… $V_{ei}$ ,  $V_{oi}$ を用いて, (3)式から微小時間 $\Delta\tau$ 後の $t_{fi}$ を求める。

〔ステップ5〕…入口板厚の計算… $h_i$ はある時間の後, 次スタンドの入口板厚 $H_{i+1}$ となる。この板の移送状態を計算する。速度が変化する加減速時には, 移送時間が変化するので注意を要する。加減速時の板の移送を模擬する一つの方法として, ある時点でロールを通過した板の進んだ距離を常に計算し, その距離がスタンド間距離と等しくなったとき, その板が次スタンドに到着したと判断する方法がある。完了後ステップ1へもどる。

各ステップの計算は全スタンドについて行なわれる。

### 2.4 総合シミュレータ“DYSCOM”

直接計算法の利点は, 状態が大きく変化する圧延も正確に模擬できることである。これを生かして, 全圧延段階のシミュレーションに適用できるシミュレータ“DYSCOM”を開発した。図5は, “DYSCOM”の計算フローを示すものである。“DYSCOM”は表1に示すような機能を持っており, あらゆるシミュレーションを行なうことができる。プログラムの特長は下記の2点である。

- (1) 各サブルーチンと実際の装置をできるだけ対応させ, プログラムの保守を容易にした。
- (2) 張力の立上り時間が圧延速度に依存することから, 計算時間刻みを速度とともに変え, 計算時間の短縮を図った。

### 3 加速時の圧延特性の解析

板厚精度を改善する方法として, フィードバックAGCの外に予測制御系が用いられつつある。予測制御を行なうためにはミルの特性を把握しておく必要がある。このため, シミュレータを用いて, 各種外乱が圧延に及ぼす影響を全圧延段階にわたって検討した。通板, 加減速, ティル抜け時には大きな外乱が発生するので, それらの圧延段階における板厚制御が問題となるが, ここでは加速圧延に関する解析結果を報告する。

#### 3.1 加速時に板厚, 張力に影響を及ぼす要因

5スタンドミルでは, 加速時には圧延速度は通常100 m/minから1,500m/minまで約10秒間で上昇する。この速度変化

表1 “DYSCOM”の機能 “DYSCOM”は多様な機能を持つので, 種々のシミュレーションに用いることができる。

Table 1 Function of Simulator DYSCOM

項目	シミュレーションできる範囲
圧延段階	(1)通板, (2)加速, (3)定常, (4)溶接点, (5)減速, (6)ティル抜け このうちどれでも, また全段階にわたるシミュレーションも可能
駆動系	(1)ASR, (2)圧下系
外乱	(1)母材厚変化(ステップ, ランプ, 正弦波状), (2)軸受油膜厚み変化, (3)摩擦係数変化, (4)ロール偏心, (5)速度変化, (6)圧下変化
AGC	(1)サンプリング圧下AGC, (2)ゲージメータAGC, (3)張力AGC, (4)ロール偏心除去制御, (5)予測AGC, (6)油膜厚み変化補償制御, (7)摩擦係数変化補償制御

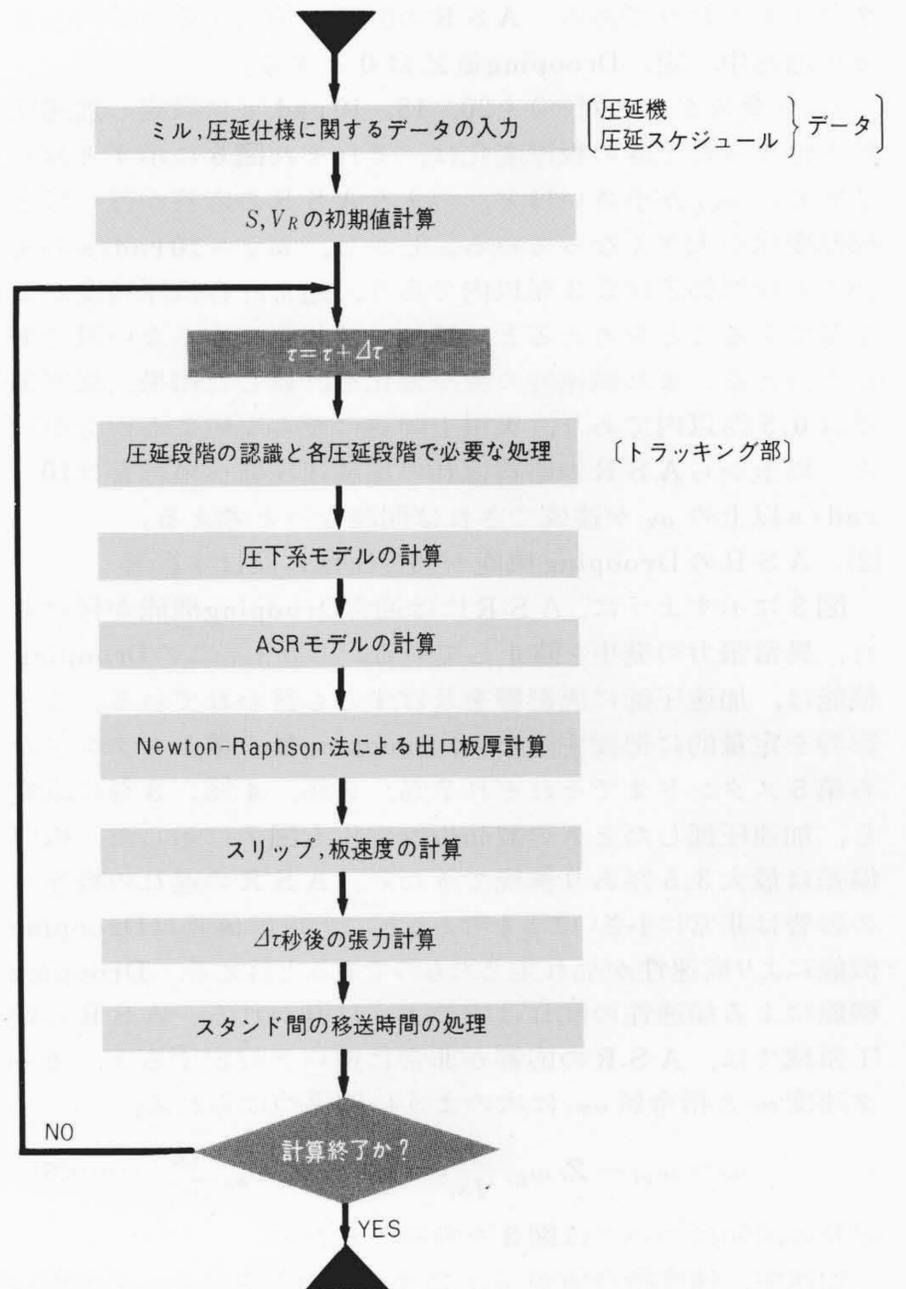


図5 “DYSCOM”のフローチャート トラッキング部は, 通板時にはスタンド数を逐次増加させ, ティル抜け時には減少させるなどシミュレーション条件を制御する。これにより全圧延段階のシミュレーションが可能となる。

Fig. 5 Flowchart for Calculating Dynamic Characteristics

は, 次のような過程を通して圧延に影響を及ぼす。

- (1) ミルは, ASRの指令値をえることにより加速されるが, ASRの遅れのためASRは指令値の変化に完全には追従できず, 揃速性が乱れ, 圧延状態が変化する。

(2) バックアップロール軸受としてモーゴイル軸受が用いられている場合、油膜厚み  $\delta$  は速度とともに変化する。この結果、ロール開度が変化し、圧延状態も変化する。

(3) 圧延材とロールの間の摩擦係数  $\mu_i$  は、ロール速度により変化する。この結果、 $P_i, f_i, \zeta_i, h_i, t_{fi}$  が変化する。

これらの影響を、シミュレーションにより定量的に把握する。

### 3.2 A S Rの板厚、張力に及ぼす影響

A S Rが加速中圧延を乱す原因としては、二つのことが考えられる。

- (1) A S Rの応答遅れによる揃速性の乱れ
  - (2) A S RのDrooping機能により発生する揃速性の乱れ
- 以上二つの影響をそれぞれ検討する。

(1) A S Rの応答遅れにより生ずる圧延状態の変化

A S Rの応答性の指標として、しゃ断周波数  $\omega_c$  が良く用いられる。ここでは  $\omega_c$  を種々変えて加速圧延のシミュレーションを行ない、A S Rの応答遅れの影響を抽出する。シミュレーションに用いるミルおよび圧延スケジュールのデータは表2に示すとおりである。A S Rの影響を抽出するため、 $\mu$  と  $\delta$  は加速中一定、Drooping量  $Z_i$  は0とする。

$\omega_{ci}$  (全スタンド同一) を20, 15, 10 rad/sに設定し加速圧延を行なったときの板厚変化は、それぞれ図6に示すとおりである。 $\omega_{ci}$  が小さいほど、つまりA S Rの応答が遅いほど板厚変化が大きくなっている。しかし、 $\omega_{ci} = 10$  rad/sの場合でも板厚偏差は0.3%以内であり、通常許容板厚精度が±1%であることを考えると、単独では問題にならない量であると言える。また減速時の板厚変化を計算した結果、板厚偏差は0.5%以内であり、実用上問題にならないことが分かった。以上からA S Rの応答遅れの加減速圧延への影響は10 rad/s以上の  $\omega_c$  が達成できれば問題ないと考える。

(2) A S RのDrooping機能が加速圧延に及ぼす影響

図3に示すように、A S Rには通常Drooping機能が付けられ、異常張力の発生を防止している。しかし、このDrooping機能は、加速圧延に悪影響を及ぼすとも言われている。この影響を定量的に把握するため、Drooping量を第1スタンドから第5スタンドまでそれぞれ7%, 5%, 4%, 3%に設定し、加速圧延したときの製品板厚変化を図7に示した。板厚偏差は最大3.5%あり無視できない。A S Rの遅れの板厚への影響は非常に小さいことを考えると、この板厚偏差はDrooping機能により揃速性が乱れ生じたものであると言える。Drooping機能による揃速性の乱れは次のように導かれる。A S Rの電圧領域では、A S Rの応答が非常に速いと仮定すると、モータ速度  $\omega_i$  と指令値  $\omega_{pi}$  は次のように関係づけられる。

$$\omega_i = \omega_{pi} - Z_i \omega_{Bi} \frac{I_i}{I_{Ni}} = \omega_{pi} - Z_i \omega_{Bi} \frac{G_i}{G_{Ni}} \dots\dots(6)$$

記号の説明については図3を参照されたい。

加速中、速度指令値が  $\omega_{pi}$  に変化したときのモータ速度  $\omega_i$  も上式と同様な式で表わされる。揃速性が保たれるということは、異なるスタンドの速度比が常に一定であることを意味する。速度比の変化率  $(\omega_i/\omega_j)/(\omega'_i/\omega'_j)$  を(6)式で求めてみると、

$$\left(\frac{\omega_i}{\omega_j}\right) / \left(\frac{\omega'_i}{\omega'_j}\right) \doteq 1 - \left\{ Z_i \omega_{Bi} \frac{G_i}{G_{Ni}} \left(\frac{1}{\omega_{pi}} - \frac{1}{\omega_{pj}}\right) - Z_j \omega_{Bj} \frac{G_j}{G_{Nj}} \left(\frac{1}{\omega_{pj}} - \frac{1}{\omega'_{pj}}\right) \right\} \neq 1$$

(一般に).....(7)

となり、特殊な場合を除いては1とならず、揃速性が乱れる。

Drooping機能による揃速性の乱れを防ぐため、Drooping量  $Z_i$  を速度に比例させて変化させる新しいDrooping方式を検討した(特許出願中)。

このDrooping方式が揃速性を乱さないことは理論的に証明できる。Droopingの比例係数を  $Z_{0i}$  とし、(7)式と同様  $(\omega_j/\omega_j)/(\omega'_i/\omega'_j)$  を求める。

$$\left(\frac{\omega_i}{\omega_j}\right) / \left(\frac{\omega'_i}{\omega'_j}\right) = \frac{\omega_{pi} (1 - Z_{0i} \omega_{Bi} G_i / G_{Ni})}{\omega_{pj} (1 - Z_{0j} \omega_{Bj} G_j / G_{Nj})} \frac{\omega'_{pj} (1 - Z_{0j} \omega_{Bj} G_j / G_{Nj})}{\omega'_{pi} (1 - Z_{0i} \omega_{Bi} G_i / G_{Ni})} = 1 \dots\dots(8)$$

速度指令値  $\omega_{pi}$  に関しては  $\frac{\omega_{pi}}{\omega_{pj}} = \frac{\omega'_{pi}}{\omega'_{pj}}$  が常に成立するので(8)式は常に1となる。すなわち、揃速性が保たれる。以上の検討はA S Rの応答が非常に速いという仮定に立って進められてきた。改良Drooping方式がA S Rの遅れを考慮した場合、

表2 計算に用いた圧延データ ここに示したデータは、標準的な圧延機と圧延スケジュールである。

Table 2 Data on Rolling Mill and Rolling Schedule

項目 \ スタンド	1	2	3	4	5
ワークロール径(mm)	610	610	610	610	610
ミルばね定数(kg/mm)	$500 \times 10^3$				
スタンド間距離(mm)	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600

(a) ミルに関するデータ

項目 \ スタンド	1	2	3	4	5
出口板厚(mm)	1.50	0.99	0.67	0.46	0.40
前方張力(kg/mm <sup>2</sup> )	17.9	21.4	24.1	23.1	10.8

(b) 圧延スケジュール

注：(母材=厚2.0mm, 幅930mm)

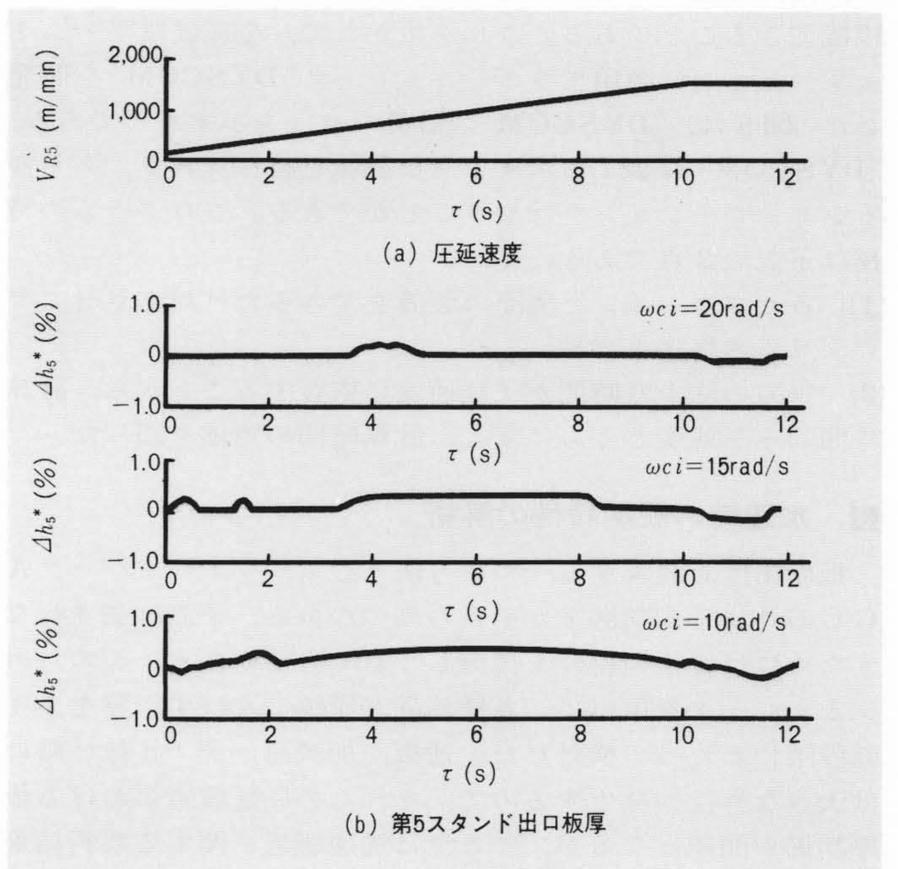


図6 加速時の板厚変化 A S Rの揃速性の乱れによる板厚偏差は0.3%以内であり、あまり問題にならない。

Fig. 6 Deviation of Thickness in Acceleration Stage

どの程度効果があるかシミュレーションにより検討する。計算結果は図7中の点線に示すとおりである。板厚偏差は0.3%以内であり、Drooping機能の改良が非常に大きな効果を持つことが分かる。

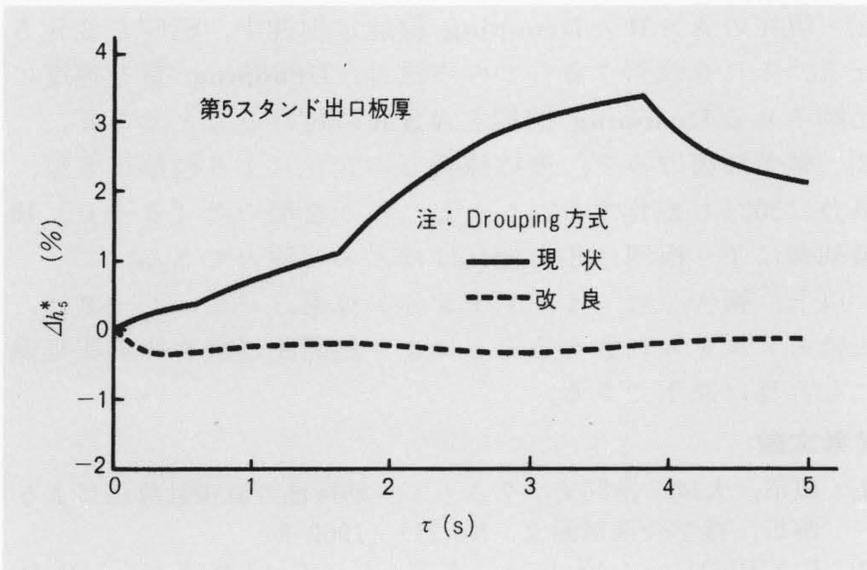


図7 Drooping機能により生じた加速中の板厚偏差 現状のDrooping機能による板厚偏差は、最大3.5%あり無視できない。このため、Drooping機能の改善が必要である。

Fig. 7 Deviation of Exit Thickness in Final Stand Caused by Drooping Function of ASR

### 3.4 軸受油膜厚み $\delta$ 、摩擦係数 $\mu$ の変化による板厚・張力変化とその制御法<sup>7)</sup>

#### (1) $\delta$ 、 $\mu$ の変化が板厚、張力に及ぼす影響

$\delta$  および  $\mu$  の圧延への影響を抽出するため、ASRの遅れはないものとし、またDrooping量をゼロに設定し、加速圧延のシミュレーションを行なった。板厚、張力変化の計算結果は、図8、9に示すとおりである。図中の実線で示されるように、板厚、張力はそれぞれ減少しているが、これは実圧延でよく経験される現象である。加速終了時には、張力は50%も減少し、加速圧延が不安定になることが分かる。また、板厚の減少も8%と大きく、加速時において、 $\mu$ 、 $\delta$ の影響は無視できないことが分かる。

#### (2) 加速時の板厚、張力の制御方法

低速時には、圧延スタンドから約2m離れて設置されている板厚検出計による板厚変化の検出が遅れるため、フィードバック制御系の応答が遅くなる。このため、低速時の板厚精度を上げるためには予測制御が必要となる。加速時の予測制御の方法としては、(1)速度を用いた制御方法、(2)圧下を用いた制御方法、(3)速度、圧下両者を用いた方法が考えられる。それらの制御方法について、その効果をシミュレーションで種々検討した。その結果、図10に示す圧下を用いた $[\delta + \mu]$ 補償制御装置が板厚、張力の制御に効果があることが分かった。 $[\delta + \mu]$ 補償制御装置を加速圧延に用いたときの板厚、張力変化は、図8、9中の点線に示すとおりである。両者と

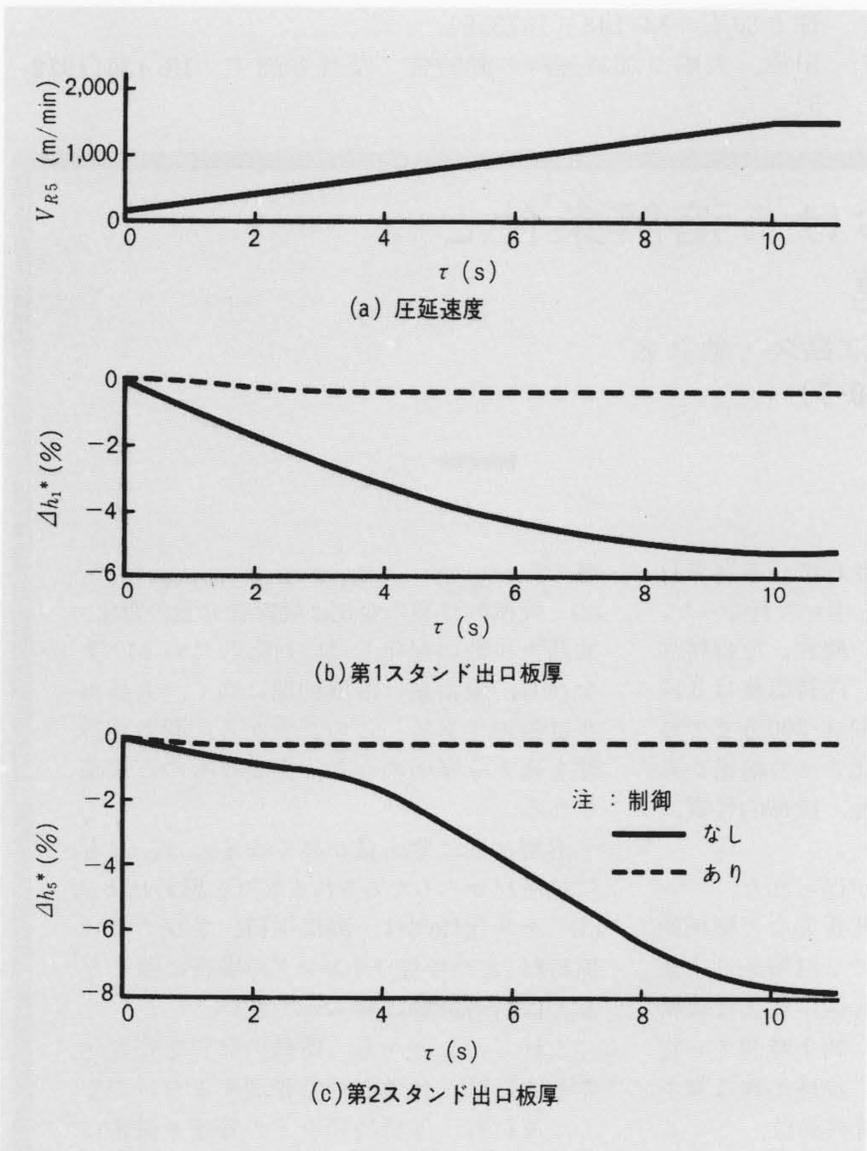


図8 加速中の油膜厚み、摩擦係数変化により生じた板厚変化 最終スタンドでは、無制御の場合板厚が約8%も変化する。しかし、 $[\delta + \mu]$ 補償制御がある場合、板厚偏差はほとんど生ぜず制御効果の大きいことが分かる。

Fig. 8 Thickness Variation Due to Oil Film Thickness Change and Friction Coefficient Change

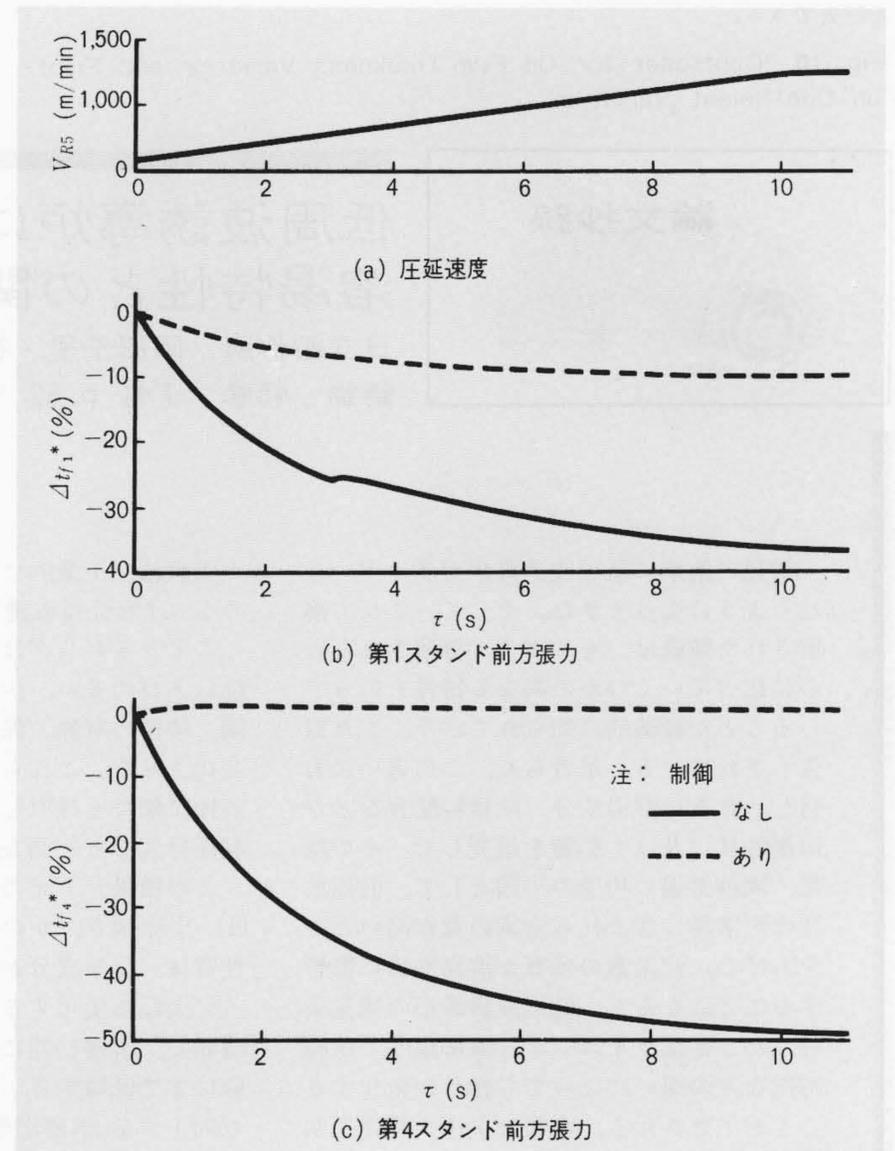


図9 加速中の油膜厚み、摩擦係数変化による張力変化 無制御の場合、張力は50%も減少し、絞り込みなどのおそれも出てくる。このため、加速中は張力制御も必要となる。

Fig. 9 Tension Variation Due to Oil Film Thickness Change and Friction Coefficient Change

も加速中変化せず、制御効果が大きいことが分かる。なお、この〔 $\delta + \mu$ 〕補償制御は計算機により簡単に実施できる。

#### 4 結 言

冷間タンデムミルの新しいシミュレーション方法として圧延モデルを精度良く計算する直接計算法を開発した。この方

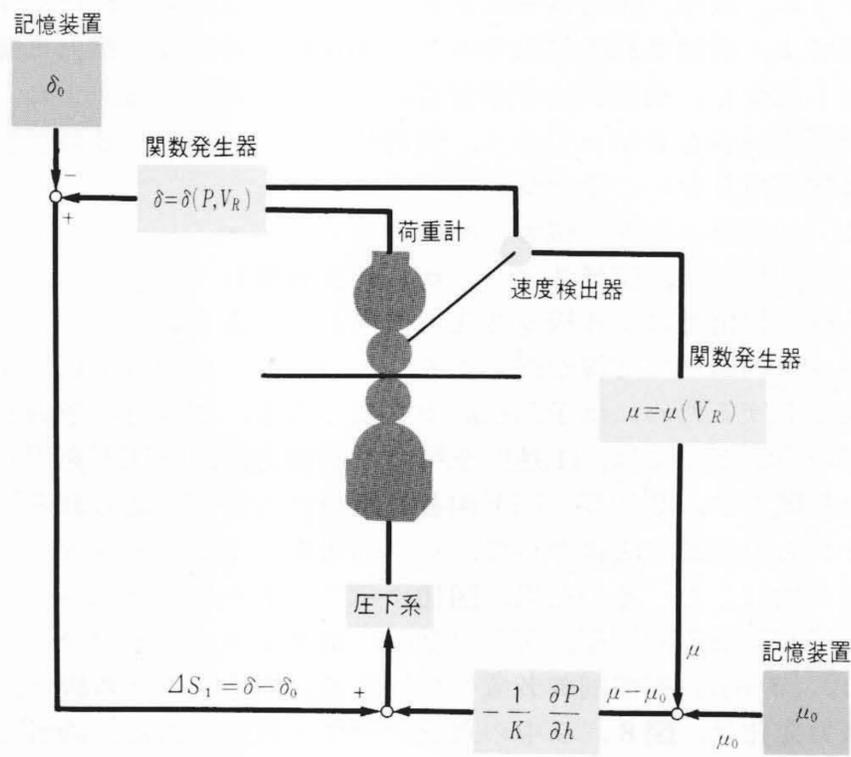


図10 油膜厚みおよび摩擦係数変化補償制御装置 この装置を用いることにより、油膜厚み変化および摩擦係数変化により生ずる板厚、張力変化を除去できる。

Fig. 10 Controller for Oil Film Thickness Variation and Friction Coefficient Variation

法の利点は、状態が大きく変化する圧延を正確に模擬できることである。これを生かして、全圧延段階に適用できる総合シミュレータ“DYSCOM”を開発した。

“DYSCOM”を用いて、加速時の圧延特性を解析し次のことを明らかにした。

- (1) A S Rの遅れの圧延への影響は無視できる。
- (2) 現在のA S RのDrooping機能は加速中、板厚を変化させる。それを改善する一つの方法は、Drooping量を速度に比例させるDrooping機能をA S Rに付けることである。
- (3) 軸受油膜厚み $\delta$ 、摩擦係数 $\mu$ の変化により板厚は8%、張力は50%も変化する。しかし、圧下を用いた〔 $\delta + \mu$ 〕補償制御により板厚、張力変化はほとんど除去できる。

以上、報告したシミュレーション技術、シミュレータは、圧延モデルを入れ替えることにより熱間圧延機や棒鋼圧延機にも容易に適用できる。

#### 参考文献

- (1) 田沼, 大成: 冷間タンデム・ミル動特性の直接計算法による解析, 機学会講演論文 No.211 (1969-8)
- (2) R.A.Phillips: Analysis of Tandem Cold Reduction Mill with Automatic Gage Control, AIEE, 76-6 (1957-6)
- (3) 浜田, 堀: 機械振動を考慮した静止レオナード系の設定法, 第13回自動制御連合講演会 (1970-10)
- (4) 有村, 鎌田, 齊藤: タンデム圧延機の動特性とAGCについて, 第24回塑性加工シンポジウム (1968-7)
- (5) 田沼, 大成: 直接計算による動特性解析法, 塑性と加工13-133 (1972-2)
- (6) 田沼: 張力・板厚変化に及ぼすロール速度制御系の影響, 塑性と加工 14-148 (1973-5)
- (7) 田沼, 大成: 加減速時の動特性, 塑性と加工 13-136(1972-5)

### 論文抄録



## 低周波誘導炉における溶解条件と溶湯特性との関連

日立製作所 岡田千里・祖父江昌久・他2名  
 鋳物 45巻 7号 p.32 (昭48-7)

鋳鉄の溶解に低周波誘導炉が多く用いられるようになってきた。そして、これで溶解された鋳鉄は、キュボラで溶解されたものに比べていくつかの異なる特性を持っていることが経験的に知られており、また報告もされている。筆者らも、この違いに着目し、さきに溶湯成分、原材料配合などが溶湯性状に及ぼす影響を追究した。その結果、兩種溶湯の相違の一因として、低周波誘導炉溶湯に含まれる窒素の量が高いことをあげた。窒素量の多寡が溶湯性状に影響することになると、低周波誘導炉の操作条件、たとえばライニング、溶解温度、保持時間などの違いによっても性状が変化することが予想される。本報は上述の関連を明確にしたものである。

実験は、工業的に利用されている容量1tのろつば形低周波誘導炉を用いて行なった。ここでライニングは中性、酸性。原材料品位はさびの多い、少ない。保持温度は3段階。接種の有無。保持時間は300分までに变化させた。これらを変化させた溶湯から各種試験片を採取し、成分、機械的性質、凝固特性などを調査した。

この結果、下記の結論が得られた。  
 (1) 引張強さ、かたさ、抗折力など機械的性質は、化学成分が同一でも溶解条件によって大幅に変化する。最も強い要因は保持時間で、溶解初期に強く、約1時間で一定値にまで低減する。また、接種処理は強さを向上する。溶解温度、原材料品位、ライニングの相違が機械的性質に及ぼす影響は明

確でない。

(2) 機械的性質の変化は窒素含有量の変化、共晶セル数の変化とはほぼ対応している。すなわち、窒素量は溶解初期に高く、共晶セルは微細である。このことから、両者が特性を変える原因のうち、主要なものと推論される。

溶解初期に窒素量が高くなるのは、おもに加炭材からもたらされるものと思われる。  
 (3) チル化傾向は、高温保持、さびの多い原材料、また中性ライニングの場合に強くなる。保持の影響は明らかでない。

これらのことから、鋳鉄の品質を安定化させるには、化学成分を管理するだけでなく、原材料、保持時間などの管理を厳密にし、窒素量の一定化にも留意する必要があることがわかった。