

# コールドタンデムミル

Cold Tandem Mill

## 一連続圧延機の最適のパススケジュールの計算法・第2報

On the Method of Calculation of Optimum Pass Schedules for Tandem Mills・2nd report

鈴木 弘\*・岡戸 克\*\*

Hiromu SUZUKI and Masaru OKADO

### 1. ま え が き

コールドタンデムミルにおいても、筆者らは前報と同様の手法を用いて、何らかの方針に基づいた評価基準が選定されたとき、最適パススケジュールを求める計算法を開発したので、その計算法と、製品の寸法精度の向上および圧延速度の増加を目的とした、5スタンドコールドタンデムミルへの応用例とを示す。

### 2. 記 号

前報と重複する記号は省略して、新たに以下を定める。

$t_b$ : 後方張力                     $\mu$ : まさつ係数  
 $t_f$ : 前方張力                     $E$ : ミルモータ消費動力

### 3. ダイナミックプログラミングによる定式化

製品の寸法精度の向上を目標とする場合、外乱の種類は前報とは異なるが、前報と同様に以下の5種類の評価関数をとる。

(a) 製品板厚の長手方向変動

外乱として、粗材の板厚変動・各スタンドロール間隙の変動・スタンド間張力の変動を考える。

(b) 製品形状

(c) 製品形状の長手方向変動

上記(a)と同様の外乱による形状係数変動の和をとる。

(d) 製品板厚および形状の長手方向変動

(e) 製品板厚の長手方向変動および製品形状

以上の評価関数に基づき最適化の計算を行なう。

圧延機の弾性特性は(1)で表わされる。

$$h_i = S_i + \frac{P_i}{K_i} \quad (1)$$

また圧延荷重を表わす塑性特性は、

$$P_i = P_i(H, h, t_b, t_f, V, \mu) \quad (2)$$

と表わされる。

(1), (2)より微小な外乱による変化分を求め、評価関数を求めると、(3)になる。

$$G_j = \sum_{i=1}^N g_{ji} \left( dS_i, dH_i, dt_{bi}, dt_{fi}; \frac{\partial P_i}{\partial H_i}, \frac{\partial P_i}{\partial h_i}, \frac{\partial P_i}{\partial t_{bi}}, \frac{\partial P_i}{\partial t_{fi}}, \frac{\partial P_i}{\partial \mu_i} \right) \quad (j=1 \sim 5) \quad (3)$$

外乱  $dS_i, dt_{bi}, dt_{fi}$  を与え、 $dH_i (i=2 \sim N)$  に近似値を用いると(3)は(9)で表わされる。

ここで最適化の手法として前報と同様、ダイナミックプログラミングを用いて定式化を行なうと、(10)に表わされる。したがって前報と同様の方法により最適パススケジュールが求まる。表1, 2に計算に先だち与えるべき条件と得られる解とを示す。ただし(2)にはHillの近似式<sup>1)</sup>を用いた。

表1 計算に先だち与えるべき条件

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| 粗材板厚         | $H_1$                |
| 仕上板厚         | $h_N$                |
| 材料幅          | $B$                  |
| 最終スタンドロール速度  | $V_N$                |
| ワークロール半径     | $R_i, i=1 \sim N$    |
| 圧延機剛性率       | $K_i, i=1 \sim N$    |
| まさつ係数        | $\mu_i, i=1 \sim N$  |
| スタンド間張力      | $t_{fi}, i=0 \sim N$ |
| 材料変形抵抗曲線     |                      |
| ロール設定速度上, 下限 |                      |
| 制限馬力         |                      |
| 各種外乱量        |                      |

表2 得られる解

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| スタンド出口板厚 | $h_i, i=1 \sim N$                     |
| 設定ロール間隙  | $S_{oi}, i=1 \sim N$                  |
| 設定ロール速度  | $V_i, i=1 \sim N$                     |
| 圧延荷重     | $P_i, i=1 \sim N$                     |
| スタンド所要動力 | $HP_i, i=1 \sim N$                    |
| 体積速度     | $U$                                   |
| 評価関数値    | $G_j, g_{ji}, i=1 \sim N, j=1 \sim 5$ |

### 4. 生産能率最大にする最適パススケジュール計算法

製品板厚・板幅が与えられたとき、生産能率を最大にするパススケジュールを決定する。すなわち、最終スタンドのストリップ流出速度を最大にし、各スタンドミルモータの消費動力が与えられた値に最も近くなるパススケジュールを求める。評価関数を次式で定義する。

$$G_6 = \sum_{i=1}^N |E_i - \bar{E}_i| \quad (4)$$

ここで $\bar{E}_i$ は与えられたミルモータ消費動力であり、 $E_i$ は

$$E_i = E_i(H, h, t_b, t_f, V, \mu) \quad (5)$$

と表わされる。(5)は同様にして、次式で表わされる。

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

\*\* 日本鋼管KK

研究速報

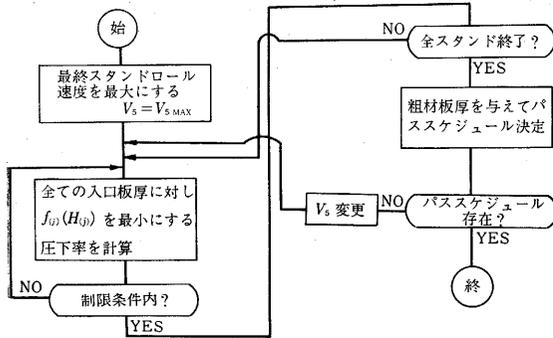


図1 計算の流れ

表3 計算条件

| 項目         | スタンド番号             | スタンド番号                    |      |      |      |      |
|------------|--------------------|---------------------------|------|------|------|------|
|            |                    | No.1                      | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 |
| ワークロール半径   | mm                 | 292                       | 292  | 292  | 292  | 292  |
| 圧延機剛性率     | ton/mm             | 500                       | 500  | 500  | 500  | 500  |
| まさつ係数      |                    | 0.07                      | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| スタンド間張力(剪) | kg/mm <sup>2</sup> | 13.0                      | 14.0 | 16.0 | 15.0 | 4.0  |
| ロール設定速度上限  | mpm                | 520                       | 725  | 955  | 1230 | 1670 |
| ロール設定速度下限  | mpm                | 210                       | 280  | 381  | 494  | 613  |
| 制限馬力       | HP                 | 5000                      | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 |
| 材料幅        | mm                 | 1000                      |      |      |      |      |
| 材料変形抵抗     | kg/mm <sup>2</sup> | $k=84.6(r+0.00817)^{0.3}$ |      |      |      |      |

$$G_6 = \sum_{i=1}^N g_{6i}(H_i, r_i)$$

したがって (10) のごとく定式化され、生産能率を最大にする最適パススケジュールが求まる。計算の流れを図1に示す。なおホットタンデムミルの場合にも全く同様にして、前述の手法を適用できる。

5. 計算結果

表3に示す5スタンドコールドタンデムミルの諸定数を用いて、製品板厚の長手方向変動および製品形状を最良にする最適パススケジュールと実際操業データとの比較を図2に示す。また生産能率を最大にする最適パススケジュールを図3に示す。

6. むすび

従来、最適性の概念の取り入れられていなかったコー

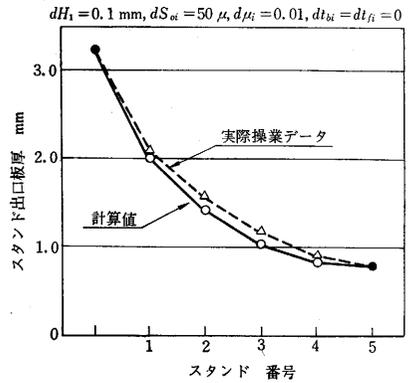


図2 製品板厚の長手方向変動および製品形状を最良にする最適パススケジュールと実際操業データとの比較

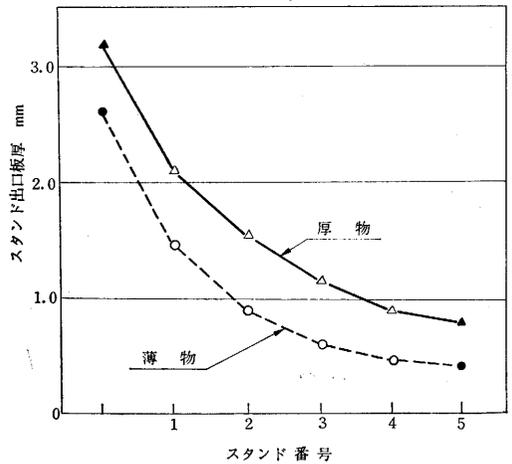


図3 生産能率を最大にする最適パススケジュール

ルドタンデムミルのパススケジュールの計算法に、製品品質(寸法精度)を最良にする、最適の考えを入れてあらたな計算法を開発し、その計算例を示した。

生産能率を最大にする最適パススケジュールの計算法とその計算例とを示した。(1969年3月17日受理)

文献

- 1) 塑性学, 培風館 (1954)

