

## 論 文

UDC 621.771.237 : 62-531 : 531.717.8

## 冷間圧延におけるオフゲージ低減の理論と実際

安 藤 成 海\*・才 木 孝\*

## Methods of Reducing Off Gauge Lengths in Cold Rolling

Narumi ANDOU and Takashi SAIKI

## Synopsis:

The causes of off gauge at the top and tail end of strip cold rolled on a tandem mill have been clarified theoretically and experimentally. Some counter-measures for reducing the length of off gauge have been adopted at the No. 3 cold tandem mill in Kimitsu Works of Nippon Steel Corp.,

(1) The off gauge at the top of strip is caused by reducing the rolling speed when the top edge of the strip is threaded through each stand by the off set of the rolling speed and by the decreasing in front slip. As the counter measures taken for these phenomena, current delay compensation and minor speed control by digital computer are efficient in reducing off gauge at the top of strip.

(2) The off gauge at the bottom of strip is caused by the rapid increasing of strip thickness at the *i* stand which is caused by the loss in back tension immediately after the tail end of strip leaves the *i-1* stand. The counter-measure developed, reducing the back tension by narrowing the roll gap of the *i* stand before the tail end of the strip leaves the *i-1* stand, is efficient in reducing off gauge at the bottom of strip.

The off gauge length of strip has been reduced by almost 50% by the adoption of these counter-measures.

## 1. 緒 言

鉄鋼の冷間圧延工程で発生するオフゲージは、最終工程での歩留りに大きく影響するため、オフゲージ減少が長年にわたる課題となってきた。このために、油圧圧下装置、サイリスターによる速度制御、ローラー式バックアップロール軸受等が採用され、さらにはコイルの大型化などにより、オフゲージによる歩留り落ちは減少してきた。しかしながら、いまだ対ホットコイル歩留り落ちの0.5~0.7%はオフゲージが原因であり、体質強化の一環としてより一層のオフゲージ減少が必要とされている。また、昭和47年には、電気清浄・焼鈍・防錆冷却・調質圧延・精整の5工程を連続化した冷延鋼板用連続焼鈍設備(CAPL)<sup>1)</sup>が稼動を開始したが、これにより、コイルハンドリング回数が減少したためコイル外捲・内捲の取り扱い疵が減少し、歩留り向上の上から冷間圧延工程でのオフゲージ減少が一層望まれる状況となってきた。

コイルトップ部、ボトム部におけるオフゲージを減少させるための抜本的対策としては、昭和46年に、完全連続式圧延機<sup>2)</sup>が稼動を開始し、オフゲージの大幅な減

少を見るに至っている。しかしながら、他のタンデム圧延機においては、通板・尻抜け作業によるコイルトップ部、ボトム部のオフゲージは依然として歩留り落ちの大きな部分を占めている。これらのオフゲージは、通板・尻抜け時の非定常な圧延現象に起因するものであり、これを減少させるには、第一に、その発生原因を明確にし、それに対する適確な対応策をたてる必要がある<sup>3)~5)</sup>。本論文では、君津製鉄所第3冷間圧延機を対象として、コイルトップ部、ボトム部のオフゲージ発生原因について考察し、その減少対策を紹介する。

## 2. 第3冷間圧延機の概要

第3冷間圧延機は<sup>6)</sup>、Table 1に示すように、油圧圧下装置、サイリスターによる速度制御系、さらには1号、2号スタンドにローラー式バックアップロール軸受を備えた世界最高圧延速度(2500mpm)の6スタンドタンデム圧延機として、昭和46年3月に稼動を開始し、さらに、昭和49年6月には板厚制御、形状制御などの機能を有するプロセスコンピュータ(以下、プロコンと略称する)が設置された。

第3冷間圧延機の自動板厚制御(AGC)システムは

昭和56年3月13日受付 (Received Mar. 13, 1981)

\* 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

Table 1. Specification of the No. 3 Cold Tandem Mill.

Item		Specification			
Coil	Entry strip thickness	2.0~4.5 mm			
	Delivery strip thickness	0.18~1.6 mm			
	Width of strip	500~1 280 mm			
	Coil weight	45 t /coil			
Roll positioning device		Hydraulic roll positioning device			
Driving system	Stand	Mill type	BuR bearing	Motor Power	GD <sup>2</sup>
	No. 1	Four-high	Roller bearing	950 kW × 4	27.05T · m <sup>2</sup>
	No. 2			1 320 × 4	32.33
	No. 3		Oil Film bearing	1 320 × 4	37.45
	No. 4			1 320 × 4	45.83
	No. 5			950 × 6	60.09
	No. 6			Six-high	950 × 6

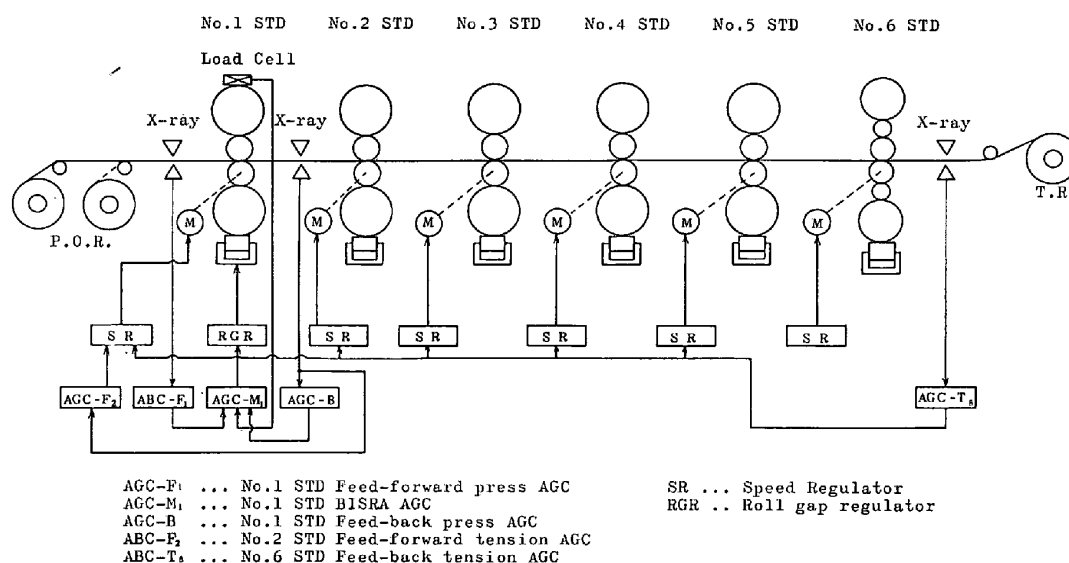


Fig. 1. Diagram of the automatic gauge control system in the No. 3 cold tandem mill.

Fig. 1 に示すように、前段スタンドでの圧下および張力 AGC と最終スタンドでの張力 AGC からなっている。これらの AGC によりコイル定常部での板厚精度は従来の圧延機に比べて向上し、板厚 0.8 mm に対して板厚精度  $\pm 0.5\%$  を有している。

また、圧延機の初期設定（圧下位置、ロール速度）の精度はコイルトップ部のオフゲージ長さに大きな影響を与えるが、プロコンの導入により、正確な初期設定が可

能となっている。すなわち、本プロコンの初期設定モデルの特徴は、各種学習制御機能を持たせて、ロールのヒートクラウンの生成、圧延潤滑状況の変化などの圧延機諸特性の変化に追従可能としている。

しかしながら、上述のような AGC およびプロコン初期設定を行つた後も、コイルトップ部、ボトム部のオフゲージ歩留り落ちは、0.5~0.7% 程度発生し、さらに積極的なオフゲージ減少対策が必要とされた。

### 3. コイルトップオフゲージ減少対策

#### 3.1 コイルトップオフゲージの発生原因

ストリップ圧延においては一般にマスフロー一定則が成り立つが、コイルトップ部についても同様に、下式が成立する。

$$h_i V_i (1+f_i) = H_i V_{i-1} (1+f_{i-1}) \dots\dots\dots (1)$$

$H$  : 入側板厚       $V$  : ロール速度  
 $h$  : 出側板厚       $f$  : 先進率

一方、 $i-1$  スタンドと  $i$  スタンド間のストリップ移送時間を  $\tau_{i-1,i}$  とすると、 $i-1$  スタンド出側板厚  $h_{i-1}$  と  $i$  スタンド入側板厚  $H_i$  には

$$H_i = h_{i-1} e^{-\tau_{i-1,i} S} \quad S : \text{ラプラス演算子} \dots\dots (2)$$

なる関係が成立する。したがって、(1)式は、

$$h_i = \frac{V_{i-1}(1+f_{i-1})}{V_i(1+f_i)} h_{i-1} e^{-\tau_{i-1,i} S} \dots\dots\dots (3)$$

と表すことができる。(3)式の繰返しにより、最終スタンド出側板厚  $h_N$  は次式となる。

$$h_N = h_1 e^{-\tau_{1,N} S} \prod_{i=2-N} \left\{ \frac{V_{i-1}(1+f_{i-1})}{V_i(1+f_i)} e^{-\tau_{i-1,i} S} \right\} \dots\dots (4)$$

したがって、(4)式よりコイルトップ部のオフゲージ発生原因として考えられるのは、1号スタンド出側板厚  $h_1$  の変化、ロール速度  $V$  の変化、および先進率  $f$  の変化の3点である。この中で、1号スタンド出側板厚  $h_1$  の変動については BISTRA-AGC により防止でき問題はない。

しかし、ロール速度については

- (1) ストリップかみこみ時の速度制御系 (ASR 系) の遅れ。
- (2) ストリップかみこみ時の速度制御系のオフセット (垂下率、張力の影響) により変動を生じ、また、先進率も張力変化により変動が生じる。

以上のことより、コイルトップ部のオフゲージ減少には、ロール速度変動および先進率変動を抑制する対策が必要であると言える。

#### 3.2 速度制御系の応答性

コイルトップ咬み込み時には、急激にモータに負荷がかかるため当該スタンドのロール速度が低下し、オフゲージの原因となる。以下に、速度制御系の応答性改善対策について述べる。

タンデム圧延機の速度制御系ブロック図は Fig. 2 のように表すことができる。この中で、まず、スタンド間張力の影響について解析する。

タンデム圧延機においては、圧延中はスタンド間張力を介して当該スタンドと上流および下流スタンドとが結合されており、このスタンド間張力が速度制御系の特性に影響を与えていると考えられるので以下に解析を行う。スタンド間張力は下式に示すようにフックの法則<sup>8)</sup>に従い前後スタンドの速度差の積分値に比例する。

$$T = \frac{A E}{L} \int_0^t (v_{in,i+1} - v_{out,i}) dt \dots\dots\dots (5)$$

$v_{out,i}$  :  $i$  スタンド出側板速度       $T$  : 張力  
 $v_{in,i+1}$  :  $i+1$  スタンド入側板速度       $t$  : 時間  
 $L$  : スタンド間距離  
 $A$  : ストリップ断面積  
 $E$  : ヤング率

しかし、スタンド間張力の変化により、前後スタンドの先進率・後進率が変化するため張力はある値に落ちつく。この考え方に基づくると、ロール速度に対するスタンド間張力の変化は Fig. 3 のように表すことができる。

Fig. 3 において、 $\Delta T_{b,i} = \Delta T_{f,i+1} = 0$  とすれば、次式を得る。

$$\Delta T_{f,i} = \Delta T_{b,i+1} = \frac{\frac{\Delta V_{i+1}(1+\epsilon_{i+1}) - \Delta V_i(1+f_i)}{(\partial f_i/\partial T) V_i} \mid \frac{(\partial \epsilon_{i+1}/\partial T) V_{i+1}}{L/A \cdot E}}{1 + \frac{(\partial f_i/\partial T) V_i - (\partial \epsilon_{i+1}/\partial T) V_{i+1}}{L/A \cdot E}} S \dots\dots\dots (6)$$

(6)式により  $\Delta T_{fi}/\Delta V_i$  を抽出すると

$$\frac{\Delta T_{fi}}{\Delta V_i} = \frac{K_p}{1 + T_p S} \dots\dots\dots (7)$$

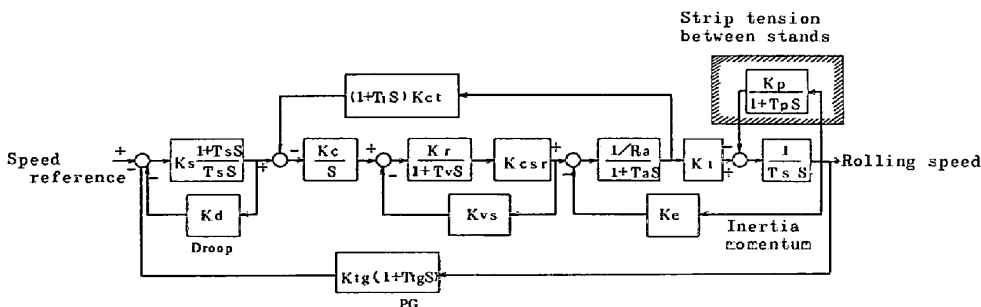
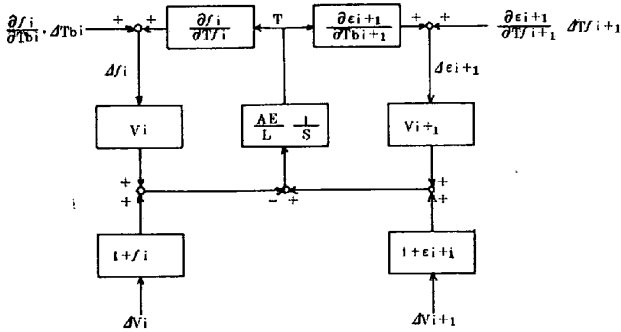


Fig. 2. Block diagram of automatic speed regulator, including the effect of strip tension.



$T_f$  : Front tension stress on strip  
 $T_b$  : Back tension stress on strip  
 $f$  : Forward slip  
 $\epsilon$  : Back slip  
 $V$  : Roll speed  
 $A$  : Cross section area of strip  
 $E$  : Young's modulus of strip  
 $L$  : Length between stands  
 $S$  : Laplace operator

Fig. 3. Block diagram of relationship between roll speed and strip tension.

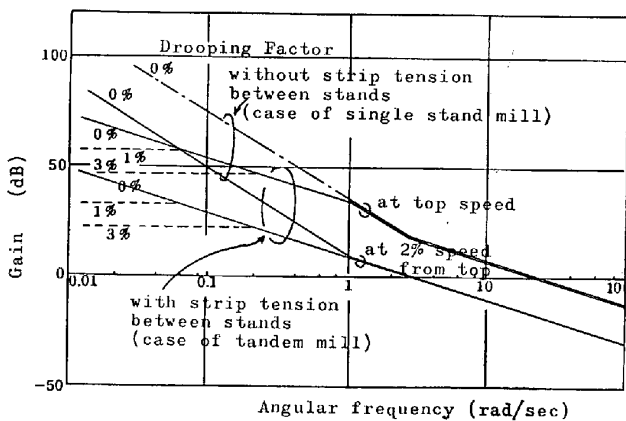


Fig. 4. Bode diagram of speed control system.

となり、ロール速度に対するスタンド間張力の変化は1次遅れとなることがわかる。第3冷間圧延機での測定結果では、 $T_p=0.01$  s,  $K_p=200\sim 2000$  kg/mpm (at 2% Speed) であつた。

以上の結果を Fig. 3 に適用して、スタンド間張力の影響を受けないシングルスタンドミルの場合と、スタンド間張力の影響を受けるタンデムミルの場合の速度制御系の周波数応答を計算すると Fig. 4 のようになる。これから明らかのように、シングルスタンドミルの場合は、張力フィードバック要素がないため、応答は極めて速い。またタンデムミルにおいても、高速圧延時は張力フィードバックループのゲインが小さいため応答は速い。しかしながら、低速時は、張力フィードバックループゲインが極めて高くなり、応答は遅くなる。低速時の場合の応答時間は、高速時の数 10 倍のオーダーで時定数は約 0.3~1.0s と大きな遅れを生じることが推定さ

れる。実際に、コイルトップ咬み込み時には、Fig. 5 に示すように張力の確立に数秒を要している。

したがつて、コイルトップ咬み込み時のロール速度の立ち上がりの遅れ分だけ(4)式の中のスタンド速度比が乱れ、オフゲージを発生させる。この速度ドロップによるオフゲージ減少対策としては速度制御系の遅れ補償が必要となる。遅れ補償としては制御系のゲインアップが考えられるが、駆動系の機械的共振の問題からゲインアップは困難である。そこで、Fig. 6 に示すような遅れ補償回路を設置した。この速度制御系遅れ補償回路は、当該スタンドにストリップが咬み込んだ後、電流値が急速に目標値に達するよう速度制御系外から電流指令値を与えるものである。実機でのテスト結果の1例を Fig. 7 に示すが、遅れ補償回路の作動により電流の立ち上がり時定数は 2 s から 0.2s に短縮され、張力の確立時間が短くなり、オフゲージの減少が可能であることがわかる。2号スタンド出側での板厚の実測値を Fig. 8 に示すが、遅れ補償回路の作動によりオフゲージ長さば短くなっている。

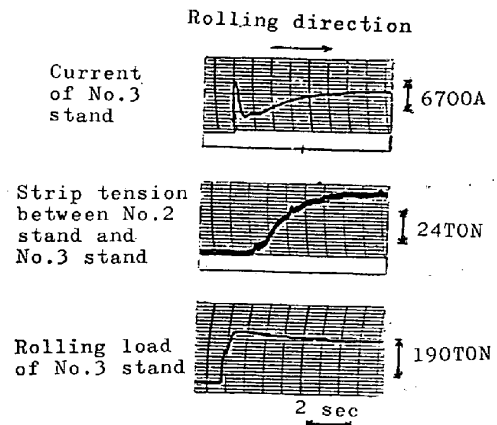


Fig. 5. Example of current response without current delay compensation.

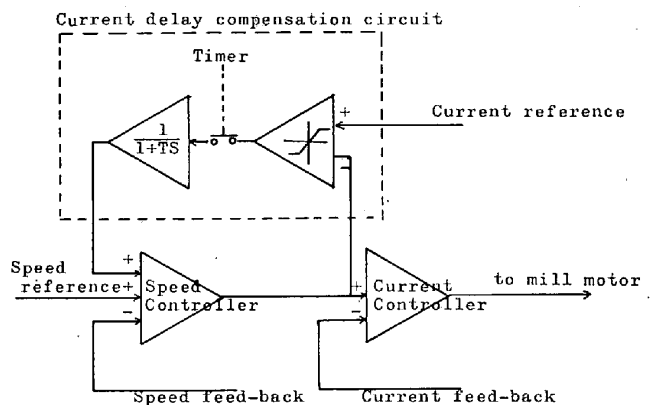


Fig. 6. Diagram of current delay compensation circuit in speed control system.

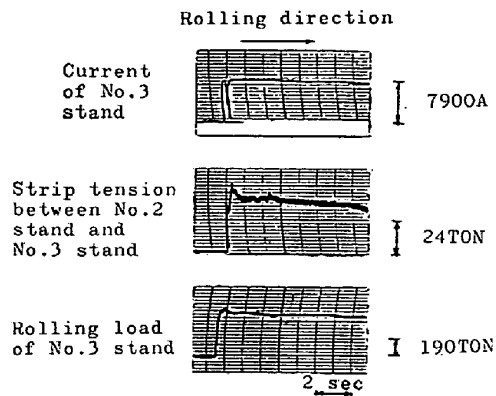


Fig. 7. Example of current response with current delay compensation.

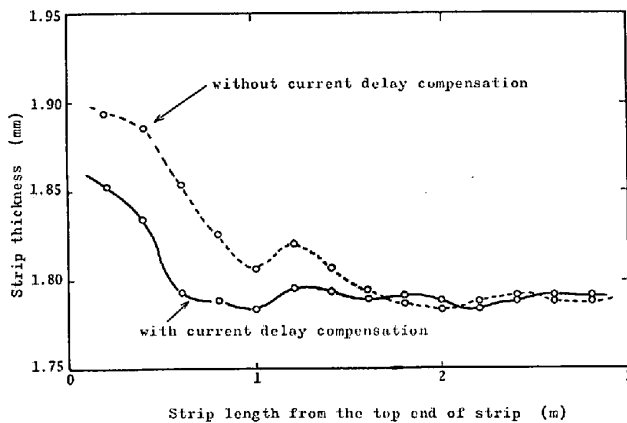


Fig. 8. Effect of current delay compensation.

### 3.3 速度制御系のオフセット

速度制御系の応答性改善により、トップ咬み込み時の速度回復を速くすることが可能となつたが、速度制御系のもう一つの問題点として、オフセットがある。冷間タンデム圧延機では安定な圧延のためにはスタンド間張力の安定が不可欠である。サイリスターによる速度制御を備えた圧延機においても張力の安定化のために速度制御系に垂下をもたせるのが一般的であり、これがオフセットの原因になると考えられる。以下に垂下率が、オフゲージに与える影響について述べる。

Fig.4 に示した速度制御系のボード線図より明らかなように、スタンド間張力の影響を受けないシングルスタンドミルにおいて垂下率0の場合、速度制御系は2次の積分項をもつ2形の系となり、ステップ状の速度指令に対してオフセットを生じないことがわかる。しかし、シングルスタンドミルでも垂下をもたせると速度制御系は1次の積分項をもつ1形の系となる。さらに、スタンド間張力の影響を受けるタンデム圧延機の場合には速度制御系は積分項をもたない0形の系となり、ステップ状の

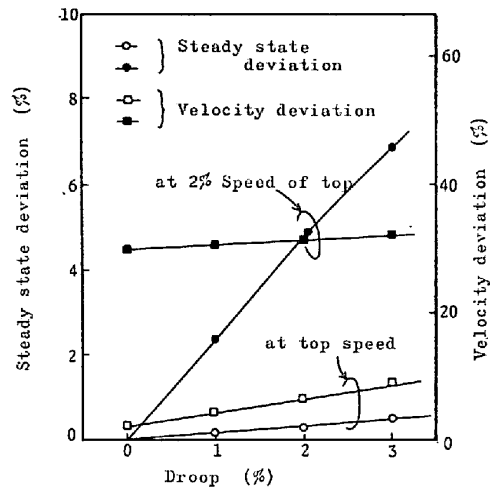


Fig. 9. Calculation of steady state deviation and velocity deviation as function of droop.

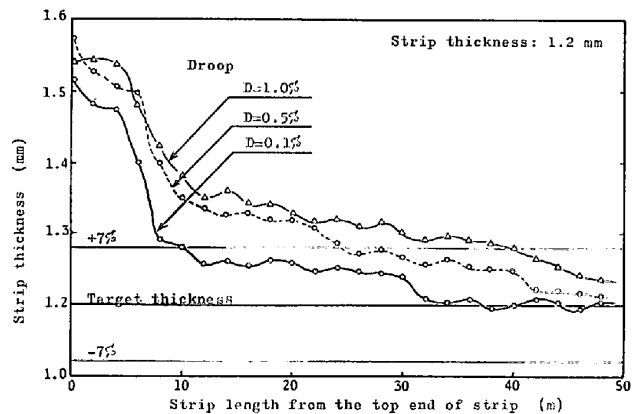


Fig. 10. Effect of drooping.

速度指令に対してオフセットが生じる。Fig. 9 に、タンデム圧延機における速度制御系のステップ入力に対する偏差 (定常偏差) とランプ入力に対する偏差 (速度偏差)<sup>9)</sup> の計算例を示す。特に低速時において、垂下率を大きくするとオフセットが大きくなることわかる。

以上のことより、コイルトップがスタンドに咬み込み、当該スタンドの電流値が上昇するに従つてオフセットを生じ、オフゲージが発生することがわかる。さらに、垂下率が大きいほど、また、通板速度が低いほどオフゲージが長くなることが推測される。垂下率による速度制御のオフセットがオフゲージに与える影響を確認すべく、実機テストを行つた結果を Fig. 10 に示す。垂下率を変化させた場合のコイルトップ部のオフゲージを示すが、図より明らかなように、小垂下率の方が短い。

オフゲージ減少には垂下率ゼロが望ましいが、垂下率を0としたタイトな速度制御系にすると速度指令値の誤差等による張力変動が大となり、圧延は不安定となる。一般的に、サイリスター制御による速度制御圧延機では

垂下を持たせており、特に薄手材圧延時は数%の垂下率を持たせている。したがって、トップオフゲージ減少にはロール速度のオフセット解消対策が必要となる。

3.4 コイルトップオフゲージ減少対策

以上述べてきたように、コイルトップ部のオフゲージ減少対策としては速度制御誤差対策が必要である。そこで、低速通板時の速度制御系オフセット対策として、プロコンによる低速時専用のマイナー速度制御ループを構成した。制御方式は2号スタンドをピボットスタンドとして3号スタンド以降の速度比が目標速度比となるようにプロコンによりサンプリング制御を行うものである。なお、速度の目標値は次スタンド咬み込みまでの「前方張力ゼロ」による先進率低下を補償するために、Fig. 11のような制御パターンとして、前方張力有無による先進率の変化を補償できるようにしている。

i スタンドの目標速度を  $V_{i0}$ 、実速度を  $V_i$  とすると速度修正量  $\Delta V_i$  は

$$\Delta V_i = \frac{V_{i0}}{V_{20}} V_2 - V_i \dots\dots\dots (8)$$

となり、速度制御系に与える速度修正出力  $\Delta V_{out i}$  は、

$$\Delta V_{out i}(t + \Delta t) = \Delta V_{out i}(t) + G \cdot \Delta V_i(t) \dots\dots (9)$$

なるサンプリング積分方式をとっている。本制御の等価

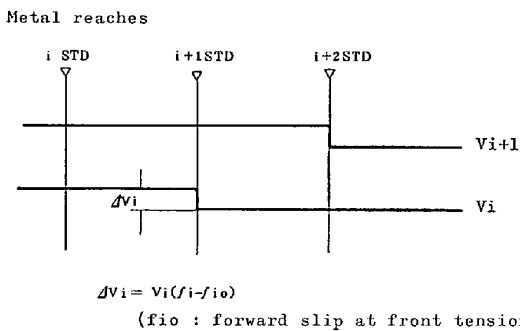


Fig. 11. Pattern of speed reference ordered by process computer.

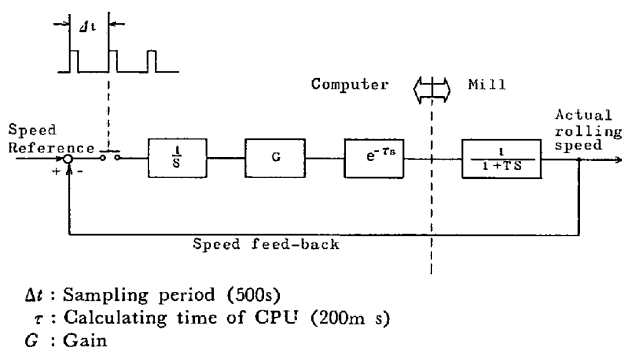


Fig. 12. Block diagram of minor speed control system by process computer.

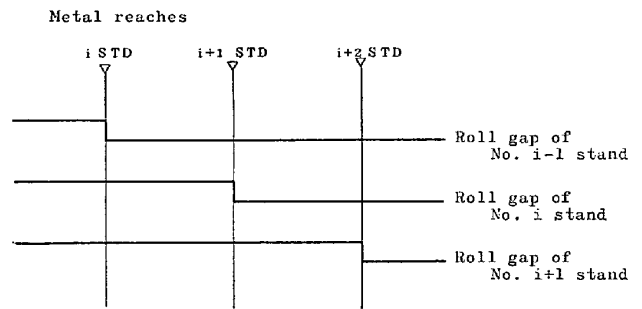


Fig. 13. Pattern of roll gap ordered by process computer.

ブロック図は Fig. 12 のようになるが、応答性をあげるためにはサンプリングピッチをできるだけ短くする必要がある。しかし、現状プロコンの処理能力よりサンプリングピッチは 0.5s が限界であり、系の安定性を考慮してゲイン  $G$  は 0.4 としている。したがって、マイナー速度制御ループの周波数応答は 0.2 Hz 程度となる。

前述したように、コイルトップ咬み込み後の後方張力変化により、速度制御系にオフセットを生じるが、このオフセットは、後方張力が小さいほど小さくなる。そこで、ストリップ咬み込み後の張力確立時、ロール速度のオフセットをできるだけ小さくするために、コイルトップ咬み込み前に当該スタンドの圧下を締め込む操作を行っている。この圧下出力パターンを Fig. 13 に示す。圧下締め込み量は板厚ごとのテーブルにより出力を行っている。また、圧下締め込みによる通板形状悪化を防止するために圧下と同時にロールベンダーの予測修正を行っている。

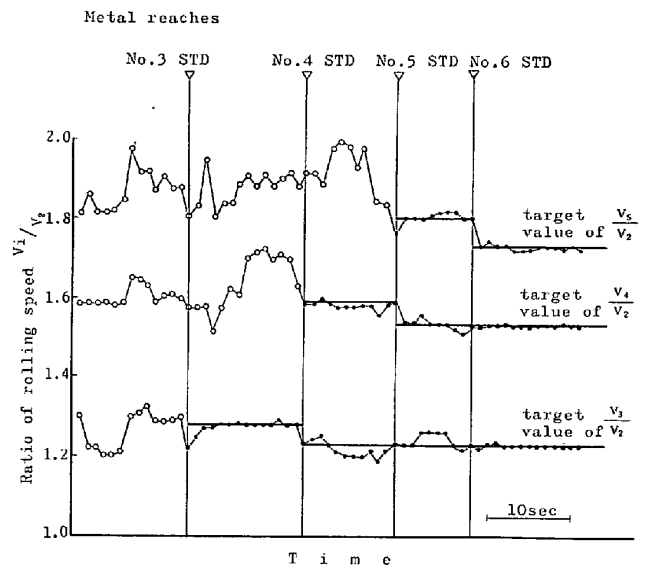


Fig. 14. Example of off gauge control of the top of strip.

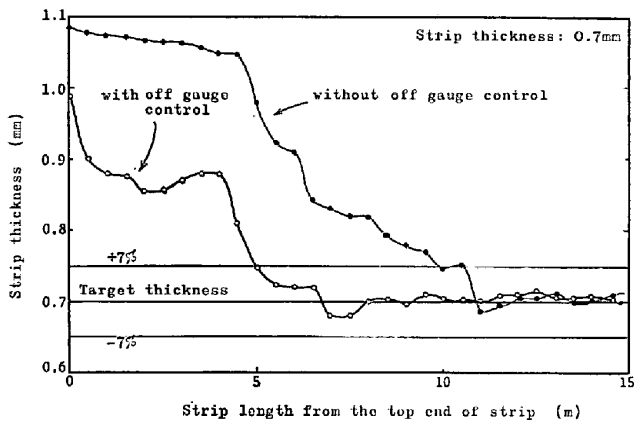


Fig. 15. Effect of off gauge control of the top of strip.

プロコンでのマイナー速度制御によるコイルトップオフゲージ減少対策実施時の速度比を Fig 14 に、また、コイルトップ部の板厚実測例を Fig. 15 に示す。Fig. 15 より明らかなように、コイルトップオフゲージ減少対策によりトップ部オフゲージは従来に比べ大幅に減少し、50% 以上のオフゲージ減少効果が得られている。

4. コイルボトムオフゲージ減少対策

4-1 コイルボトムオフゲージの発生原因

コイルボトム尻抜け時についても(1)式が成立し、コイルトップ部のオフゲージと同様の議論が展開できる。しかし、コイルボトム部とコイルトップ部のオフゲージ発生機構の大きな相違は、コイルボトム尻抜け時の急激な後方張力消失にある。すなわち、コイルボトム部のオフゲージ発生の主要因は、前スタンド抜け時に当該スタンドの後方張力が瞬時にゼロとなり、当該スタンド直下の板厚が急激に増加することに起因していると考えられる。

コイルボトム尻抜け時の板厚変化を Fig. 16 にて解析すると、i-1 スタンド尻抜けによる後方張力消失により塑性曲線は M' から M'' へと変化し、i スタンドの直下の板厚が H' から H'' へ増大する。また、圧延力 P' は Hull の式より下式のように表すことができる<sup>10)</sup>。

$$P' = \bar{k} \left( 1 - \frac{0.3 \times t_f + 0.7 \times t_b}{\bar{k}} \right) \times Q \text{ (圧下率, 摩擦係数, 偏平ロール径)} \dots (9)$$

$\bar{k}$ : 平均変形抵抗,  $t_f$ : 前方張力,  $t_b$ : 後方張力

(9)式において、摩擦係数、偏平ロール径、 $\bar{k}$ は不変とすると、a点での圧延力 P''' は近似的に、

$$P''' = \frac{1 - \frac{0.3 \times t_f}{\bar{k}}}{1 - \frac{0.3 \times t_f + 0.7 \times t_b}{\bar{k}}} \times P' = \alpha P' \dots (10)$$

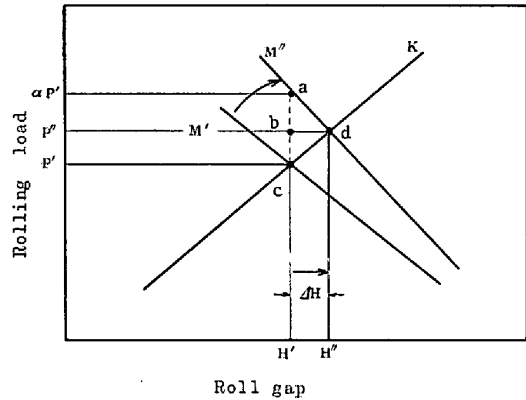


Fig. 16. Thickness change at tail out of i-1 stand.

と表すことができる。また、幾何学的関係より、

$$\frac{a}{b} = M'' \frac{b}{d} = \alpha M' \Delta H \dots (11)$$

$$\frac{b}{c} = K \Delta H \dots (12)$$

$$\frac{a}{c} = \alpha P' - P' = (\alpha - 1) P' \dots (13)$$

の関係を用いると、

$$\Delta H = (\alpha - 1) \frac{P'}{K + \alpha M'} \dots (14)$$

となる。(14)式より、i-1 スタンド尻抜け時の i スタンド直下での板厚変化量は、

- (1) 消失張力の大きい程
- (2) ミル定数の小さい程
- (3) 塑性定数の小さい程

大きくなるのがわかる。

また、同様に、i-1 スタンド尻抜け時の i+1 スタンド直下での板厚変化量は、同様にして、張力変化量から求めることができる。しかし、i-1 スタンド尻抜け時の i~i+1 スタンド間張力の減少代は実測によると 20~30% であり、i+1 スタンド直下での板厚変化のオフゲージへの影響は i スタンドに比べて小さいものである。

この解析結果を確認すべく、1号スタンド尻抜け後、2号スタンド尻抜け前にラインストップして板厚変化量を実測した。板厚測定結果と(14)式による計算結果を Fig. 17 に示すが、1号スタンド尻抜け時における、2号スタンド直下での板厚変化は 150 μ と、極めて大きく、しかも、その板厚変化が急激に起こっていることがわかる。また、実圧延データより(14)式を用いた理論板厚変化量と実測板厚変化量とはよく対応しており、この急激な板厚上昇が、張力の消失によるものであることが確認された。それに対し、2号スタンド抜け時における、3号スタンド直下での板厚変化は 40 μ と比較的小さい。

以上の結果より、一般的冷間圧延作業におけるコイルボトム部のオフゲージの主要因は、i-1 スタンド尻抜け

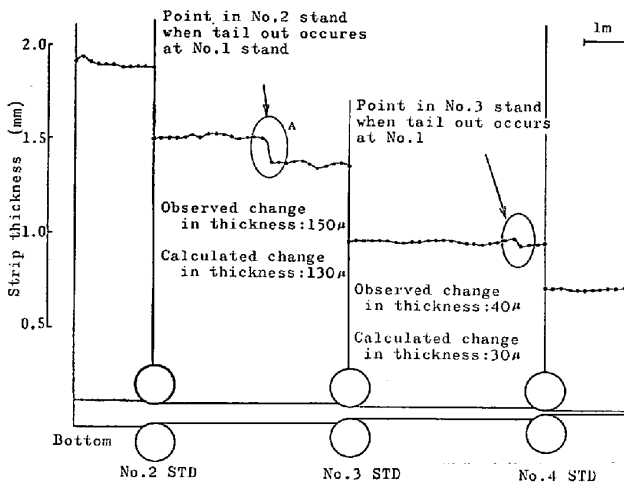


Fig. 17. Example of change in thickness at tail out of No. 1 stand.

時の

- (1)  $i$  スタンドの後方張力消失による板厚大幅アップ
  - (2)  $i+1$  スタンドの後方張力減少による板厚アップ
- に起因するものであることがわかる。

#### 4.2 コイルボトムオフゲージ減少対策

コイルボトム部のオフゲージ減少対策としては、前記(1)の「 $i$  スタンド直下での急激かつ大幅な板厚変化」を解消する必要があり、その方策としては以下の3法が考えられる。

- (1)  $i-1$  スタンド尻抜け後、直ちに、 $i$  スタンド速度を低下させる。
- (2)  $i-1$  スタンド尻抜け後、直ちに、 $i$  スタンド圧下を締め込む。
- (3)  $i-1$  スタンド尻抜け前に、 $i$  スタンド圧下を締め込み、 $i-1 \sim i$  スタンド間張力をあらかじめ低下させておく。

従来のコイルボトムオフゲージ減少対策としては、前スタンド尻抜け後の(1)の速度変更方式、(2)の圧下変更方式、または、(1)と(2)の組み合わせによる方案が採用されていた。そこで、従来方案の効果を確認すべく、実機テストを行った。

Fig. 18 にテスト結果を示すが、(1)の速度変更方式は、 $i+1$  スタンドでの板厚修正効果は見られるものの、 $i$  スタンドでの板厚修正効果はほとんどなく、コイルボトムオフゲージ減少効果は満足すべきものではない。これはトップオフゲージの解析によっても理解できごとく、1号スタンド速度を変更した時、主に板厚が変化するのは、2号スタンド直下であることによる。(2)の圧

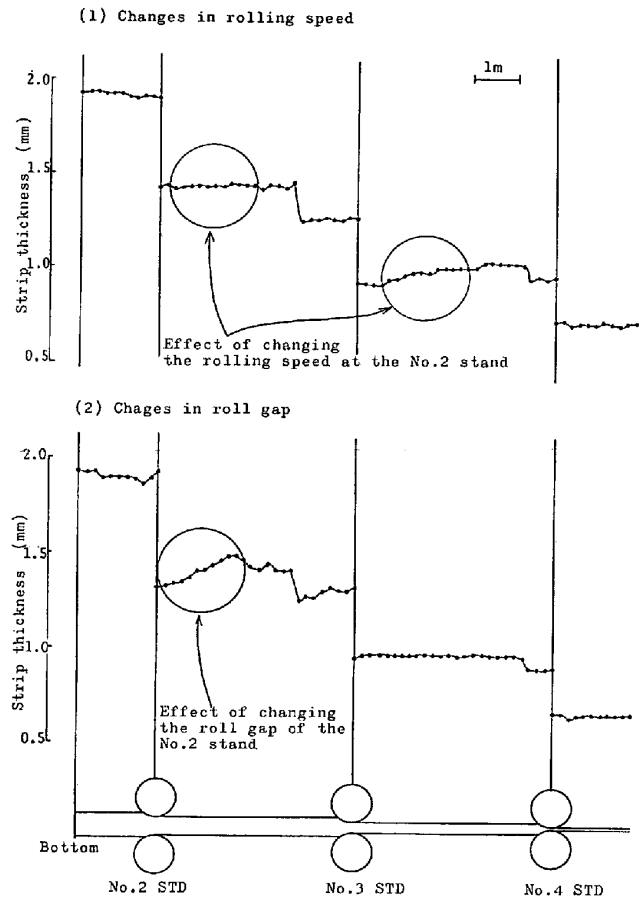


Fig. 18. Effect of conventional off gauge control of the bottom of strip.

下変更方式の場合、 $i$  スタンド尻抜け直後の $i$  スタンド直下での板厚変化は極めて急激であり、これを修正するには、 $i$  スタンドの圧下を 150 mm/min 程度の圧下速度にて締め込む必要がある、現状この圧下速度を満足する圧下装置は実用化されていない。したがって、(2)の圧下変更方式でもコイルボトム部のオフゲージを完全に解消することはできない。

従来の方策では、後方張力消失後に後方張力消失時の板厚変化を吸収しようとするものであり、その急激な板厚変化を解消することは困難であると言える。したがって、コイルボトム部のオフゲージ減少対策としては後方張力消失時の影響を極力小さくすることが必要となる。そこで、この考えに基づいて、(3)の『前スタンド尻抜け前の当該スタンド圧下締め込み』によるテストを行ったところ良好な結果が得られたので、第3冷間圧延機にて実機化を行った。

コイルボトムオフゲージ減少対策として、Fig. 19 の構成よりなる回路を新設した。圧下の締め込み量は、プロコンにて尻抜け前の実績圧延データより圧下締め込み後の張力低下率が 60~80% となるよう(14)式を用いて



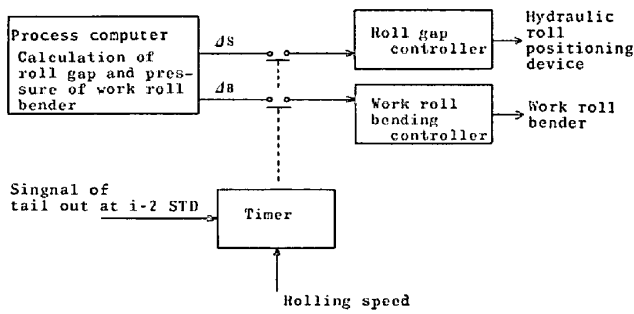


Fig. 19. Diagram of off gauge control of the bottom of strip.

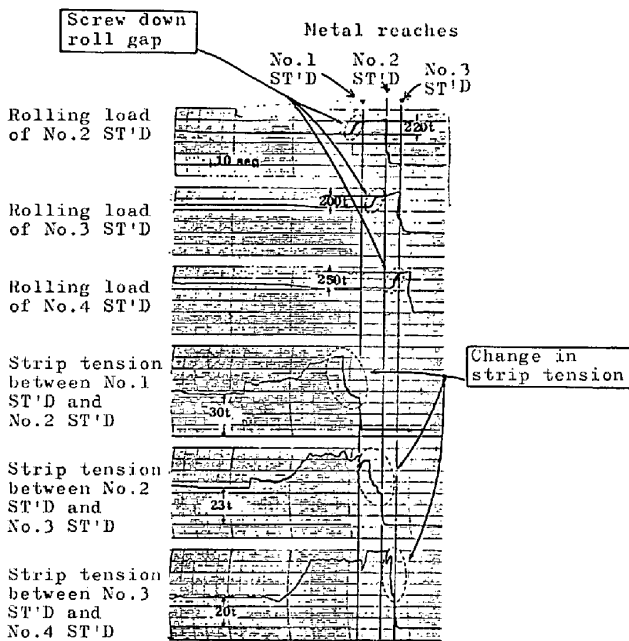


Fig. 20. Example of off gauge control of the bottom of strip.

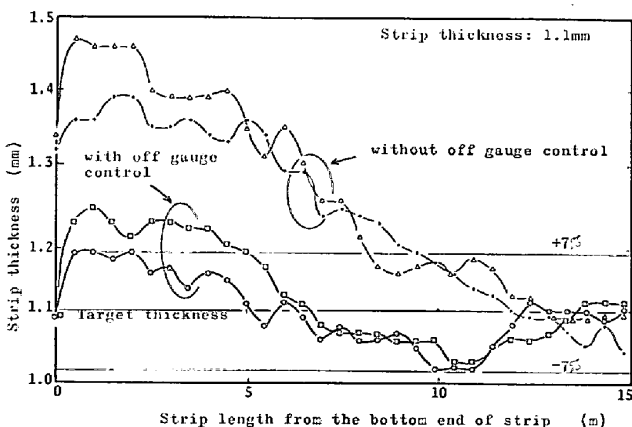


Fig. 21. Effect of off gauge control of the bottom of strip.

計算した。 圧下出力タイミングは、 前々スタンド尻抜け後よりスタンド速度に同期したタイマーにより前スタンド尻抜け前に 圧下締め込みが完了するようにセットし

た。

コイルボトムオフゲージ減少対策実施時のスタンド間張力の測定例を Fig.20に、また、コイルボトム部の板厚実測値を Fig. 21 に示す。Fig. 21 より明らかなように、『前スタンド尻抜け前の当該スタンド圧下締め込み』によるコイルボトムオフゲージ減少対策によりコイルボトム部オフゲージは従来に比べて大幅に減少し、50%以上のオフゲージ減少効果が得られている。

### 5. 走間板厚変更

以上述べてきたように、コイルトップ部、ボトム部でのオフゲージは、コイルトップの咬み込み、ボトムの尻抜けという非正常圧延現象によるものであり、コイルトップ部、ボトム部オフゲージの抜本的対策としては、コイルの通板・尻抜け作業を必要としないタンデム圧延機の完全連続化が最も効果的と考えられる。

君津製鉄所にも、昭和 47 年 2 月の第 2 冷間圧延機へのプロコン導入時より、コイル内での板厚変更を可能とすべく、走間板厚変更機能を備している。

#### 5.1 走間板厚変更技術

Fig. 22 に走間板厚変更時の圧下位置および速度の設定替タイミングを示す。速度は 4 号スタンドをピボットスタンドとして速度の変更回数を最少とするようにしている。また、速度変更時の張力変動対策として、圧下による張力制御系を使用している。

走間板厚変更時の板厚実測例を Fig. 23 に示すが、連続圧延によりコイルトップ部、ボトム部のオフゲージは従来の通板・尻抜け作業を必要とする圧延作業において、トップ、ボトム部のオフゲージ制御を行つた場合に比べて 1/5 に減少する。

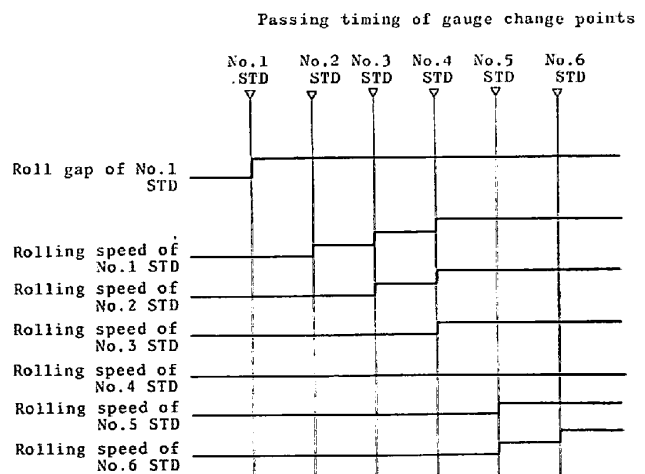


Fig. 22. Change timing of flying gauge change techniques.

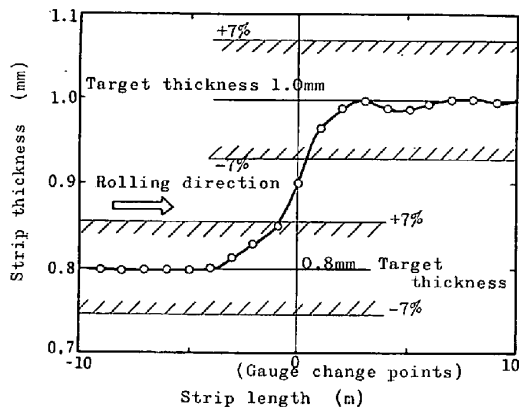


Fig. 23. Effect of flying gauge changes.

## 6. 結 言

コイルトップ部、ボトム部のオフゲージは、コイルトップ通板、ボトム尻抜けという非定常圧延現象に起因しており、君津製鉄所第3冷間圧延機を対象としてコイルトップ部、ボトム部オフゲージの発生原因とその対策について検討し以下の結論を得た。

(1) コイルトップ部のオフゲージ発生の主原因は、コイルトップ咬み込み後の後方張力トルクによるロール速度ドロップ、および、張力確立後のロール速度オフセットと前方張力0による先進率低下に起因している。

(2) ロール速度ドロップに対しては、速度制御系遅れ補償回路による電流立上げ補償が有効であり、また、ロール速度オフセットと先進率低下については、プロコンによるマイナー速度制御が有効である。本コイルトップオフゲージ減少対策の実施により、コイルトップ部のオ

フゲージは従来に比べて50%以上減少した。

(3) コイルボトム部のオフゲージ発生の主原因は、前スタンド尻抜け時の後方張力瞬時消失による当該スタンド直下の板厚の急激な増大に起因している。

(4) コイルボトムオフゲージ減少対策としては、前スタンド尻抜け前の当該スタンド圧下締め込みが有効であり本対策によりコイルボトム部のオフゲージは従来に比べて50%以上減少した。

(5) コイルトップ部、ボトム部オフゲージ減少の抜本的対策としては、コイルトップの通板、ボトムの尻抜きを行わない走間板厚変更の効果が大きく、今後はこの方向に進むものと期待されている。

## 文 献

- 1) 戸田健三, 原田利夫, 安藤成海, 尾崎康二, 勝谷良碩, 西村輝彦, 白田松男: 鉄と鋼, 61(1975) 13, p. 91
- 2) OKAMOTO, KAWASOKO, FUJII, ARIMURA: Iron Steel Eng. Year Book (1972), p. 79
- 3) 才木 孝: 製鉄研究, (1965) 251, p.
- 4) 阿高松男: 塑性と加工, 12 (1971) 126, p. 508
- 5) 美坂佳助, 大橋保威, 渡辺和彦, 近藤勝也: 塑性と加工, 15 (1974) 159, p. 309
- 6) 森本磨瑗雄, 石橋典彦, 才木 孝, 村上 靖, 市田弘三郎: 製鉄研究, (1972) 276, p. 10
- 7) 田沼正也: 塑性と加工, 14 (1973) 148, p. 358
- 8) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼便覧, 第3版Ⅲ(1), p. 43 [丸善]
- 9) 伊藤政八: 自動制御システム (1974), p. 71 [電気書院]
- 10) 美坂佳助: 塑性と加工, 8 (1967) 75, p. 188