

技術報告

UDC 621.771.237.016.3 : 62-531 : 531.717.1

冷延加減速時における AGC ゲインの最適化

浅田 幸夫*・北村 章*・小西 正躬*²
森田 徹*・明渡 博*³

Dynamic Optimization of AGC Gain during Acceleration and Deseleration of Cold Strip Rolling

Yukio ASADA, Akira KITAMURA, Masami KONISHI,
Tohru MORITA, and Hiroshi AKEDO

Synopsis:

Bode diagram technique was used to design the appropriate gain of Automatic Gauge Control (AGC) system in cold rolling. Study was focused on non-stationary rolling conditions such as acceleration and deseleration periods.

Transfer time of strip between rolling stand and thickness meter depends on the rolling speed. In acceleration and deseleration periods, the rolling speed varies greatly. Therefore, the gauge control system has variable time lag in acceleration and deseleration periods. This leads to the instability of total gauge control and yields off gauges in strip thickness. Accordingly, for finer thickness control, there is a need to regulate control gain at optimal value during acceleration and deseleration periods.

Under such circumstances, an investigation has been made on optimal control gain using Bode diagram technique. Firstly, the gain margins of the gauge control system have been calculated for various rolling speeds. It is revealed that the gain margin varies greatly in acceleration and deseleration periods. For finer thickness control, it is necessary to maintain gain margin at a constant level for all rolling periods. Under this consideration, the optimal gain which depends on rolling speed is calculated. And the gain compensation curve is obtained, which represents the relation between calculated gain and rolling speed. This compensation curve is plotted for various strip sizes and steel grades.

The electrical circuit design, based on these compensation curves, has been developed and applied to cold strip mills at Kakogawa Works. The applied results are successful and off gauge length of the strip is remarkably reduced both in acceleration and deseleration periods.

1. 結 言

近年、冷延タンデムミルによる鋼板製造技術の進歩とともにコイル長手方向の板厚精度に対する要求がますます厳しくなつてきている。すなわち、ユーザからはより板厚変動の少ないコイルを、また、メーカの立場からは圧延歩留りの向上を、といったニーズがある。これらのニーズに答えるためミルに自動板厚制御装置が設置されこの働きにより板厚を目標値付近に制御している。

本報告でとりあげた冷延加減速時における AGC ゲインの最適化についてはすでに速度の 2 乗に比例し、加減速中にゲインを補償する方法が提案されている。しか

し、まだ不十分と考えて以下に示す改善策を検討した。

筆者らは制御理論で確立しているボード線図法を用いて圧延機系と制御系を含む総合制御系について加減速中のゲイン余有および位相余有の変化を解析し、加減速中の制御特性を改善するために必要な補償回路とそのゲインを検討した。すなわち、冷延自動板厚制御 (AGC) 系の各部分の伝達関数を計算し、ロール表面ごと、かつ、圧延速度ごとに一巡伝達関数のボード線図を描き、ゲイン余有が一定になるような補償回路の検討を行つた。従来からもこのような検討がなされているが、補償ゲインを種々変更したシミュレーションを行い、妥当な補償ゲインを決定する方法であり¹⁾、補償ゲインの決定のため、膨

昭和 56 年 3 月 16 日受付 (Received Mar. 16, 1981)

* (株)神戸製鋼所浅田研究所 (Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd. 53-3 Aza-Maruyama Gomo Nada-ku Kobe 657)

*² (株)神戸製鋼所浅田研究所 工博 (Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

*³ (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

大な計算をくり返す必要があつた。このため、通常は近似的に速度の2次曲線を補償ゲインとして使用している²⁾。本報告では従来法に比べ、より簡便な方法で厳密な補償ゲインを求めるため、つぎのように取り扱つた。すなわち、補償回路の伝達関数をロール速度による非線形関数で近似し、ロール速度の変化に応じて、補償回路の伝達係数を変化させ、ボード線図におけるゲイン余有を一定に保ち、制御の応答性を改善して、各非定常状態におけるオフゲージを減少させる方法を検討した。

すなわち、本方法を実圧延に適用するための鋼種別、サイズ別の補償回路ゲインの計算を行い、ゲイン補償線図を作成した。つぎに、ゲイン補償線図の特性を反映した補償回路を開発し、実機に適用しその効果を確認した。

2. 加減速時における AGC の動特性解析

本報告では、No. 5 スタンド速度 AGC 系を例に、ゲイン補償回路の検討を行つた。

No. 5 スタンド速度 AGC では No. 4, 5 スタンド間の張力を変化させて No. 5 スタンドの出側板厚を目標値に制御する。

すなわち、No. 5 スタンド出側に設置されている X 線厚さ計により板厚偏差量を検出し、その偏差量を 0 にするように No. 5 スタンドの速度操作量を計算し、その値を出力し、No. 5 スタンドの速度を変化させることによつて、No. 4, 5 スタンド間張力を変化させて板厚を制御する。

No. 5 スタンドの速度 AGC を含む板厚制御系の構成を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示すように、No. 5 スタンド速度 AGC 系は系内に No. 5 スタンドから X 線厚さ計までの移送おくれに起因するむだ時間おくれを含んでいる。

定常状態では板速度が速く、したがつて、上記むだ時間おくれは小さいが、加減速時の低速側では定常状態に比べて圧延速度が 1/10~1/5 倍とおそく、したがつて、むだ時間おくれが 5~10 倍と大きくなる。このため、加減速の途中では制御の安定性が悪化し、オフゲージを生じやすいため、AGC を使用することが困難となる。

この No. 5 スタンド速度 AGC 系を改善するためには制御理論の立場から速度 AGC 系の安定限界を把握し、妥当な制御ゲインの補償を行うことにより、低速時の安定性を保証することが必要である。

上記の解析を行うため、その手始めとして、AGC 系各部の動特性を数式化する必要がある。

以下で各部の動特性を記述する数式モデルを伝達関数

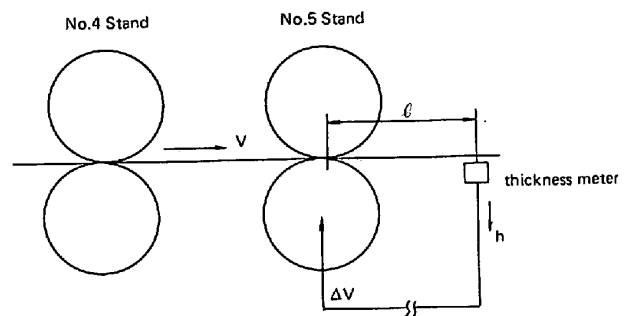


Fig. 1. Schematic diagram of thickness control at final stand.

の形で表現する。

(1) 板移送おくれの動特性

No. 5 スタンドから 2~3 m の間隔を置いたミル出側に X 線厚さ計が設置されているので、出側板厚変化がロール直下から X 線厚さ計に到達するまでの時間は上記間隔を圧延材の移動速度で割ると求まる。このような板の移送おくれの特性を伝達関数で表すと、以下のように表される。

$$f_1 = e^{-\frac{l}{V_{f5}} S} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 l : No. 5 スタンドのロール直下から X 線厚さ計までの距離 (mm), V_{f5} : No. 5 スタンドの出側板速度 (mm/s), S : ラプラス演算子

(2) X 線厚さ計の検出特性

X 線厚さ計が板厚を計測し、それが電気信号に変換されて検出されるまでの計測器がもつ固有のおくれを (2) 式で表されるような 1 次おくれ要素をもつた伝達係数で近似する。

$$f_2 = \frac{k_1}{1 + T_1 \cdot S} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 T_1 : 検出おくれの時定数, k_1 : X 線厚さ計の検出ゲイン

(3) 制御式の特性

No. 5 スタンドの速度 AGC の制御特性は一般によく知られているような比例積分制御であり、この伝達関数は次式で表される。

$$f_3 = a + \frac{b}{S} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 a : 比例制御ゲイン, b : 積分制御ゲイン

(4) モータ系の動特性

No. 5 スタンド AGC においては、No. 5 スタンドの出側板厚偏差 Δh_5 を用いて No. 5 スタンドのロール速度修正量 ΔV_5 を計算し、駆動モータの速度指令値を変化させる。この指令に対し実際に圧延速度が変化するまでのモータ系の応答特性を 1 次おくれ要素をもつた

伝達関数で近似する。すなわち、

$$f_4 = \frac{k_2}{1 + T_2 \cdot S} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 T_2 ：モータ系の時定数、 k_2 ：モータ系の応答ゲイン。

(5) No. 5 スタンドにおける圧延現象の数式化

以上で No. 5 スタンドの出側板厚偏差から圧延速度変更に至る動作特性が求まったが、つぎに圧延速度の変更に対して、出側板厚がどのように変化するかを知るために圧延機系の動特性を求める必要がある。

まず、出側板厚偏差量 Δh_5 と No. 4, 5 スタンド間のユニット張力変化量 Δt_{b5} の関係は次のようになる。

板厚変化量、ロール間隔変化量と荷重変化量の関係は(5)式で表される。また、荷重変化量は入出側の板厚変化量、前後方ユニット張力変化量と各要因の荷重に対する影響係数から(6)式で表される³⁾。

$$\Delta h_i = \Delta S_i + \frac{\Delta P_i}{K_i} \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial H_i} \cdot \Delta H_i + \frac{\partial P_i}{\partial h_i} \cdot \Delta h_i + \frac{\partial P_i}{\partial t_{fi}} \cdot \Delta t_{fi} + \frac{\partial P_i}{\partial t_{bi}} \cdot \Delta t_{bi} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 ΔS ：ロール間隔の変化量 (mm)、 ΔP ：荷重変化量 (kg)、 K ：ミル定数 (kg/mm)、 ΔH ：入側板厚変化量 (mm)、 Δh ：出側板厚変化量 (mm)、 Δt_f ：前方ユニット張力変化量 (kg/mm²)、 Δt_b ：後方ユニット張力変化量 (kg/mm²)、 $\frac{\partial P}{\partial H}$ ：入側板厚の荷重に対する影響係数 (kg/mm)、 $\frac{\partial P}{\partial h}$ ：出側板厚の荷重に対する影響係数 (kg/mm)、 $\frac{\partial P}{\partial t_f}$ ：前方ユニット張力の荷重に対する影響係数 (mm²)、 $\frac{\partial P}{\partial t_b}$ ：後方ユニット張力の荷重に対する影響係数 (mm²)、 i ：スタンド番号

(5)式の荷重変化量に(6)式を代入し、出側板厚に関して整理すると、(7)式になる。

$$\Delta h_i = \frac{K_i}{K_i - \partial P_i / \partial h_i} \cdot \Delta S_i + \frac{\partial P_i / \partial H_i}{K_i - \partial P_i / \partial h_i} \cdot \Delta H_i + \frac{\partial P_i / \partial t_{fi}}{K_i - \partial P_i / \partial h_i} \cdot \Delta t_{fi} + \frac{\partial P_i / \partial t_{bi}}{K_i - \partial P_i / \partial h_i} \cdot \Delta t_{bi} \dots\dots\dots (7)$$

速度 AGC においては、圧延速度を変化させることにより、(7)式における前後方ユニット張力を変更し、ロール間隙や入側板厚は変更しないものとする。さらに、上記変更時に前方張力はリール制御により、短時間に一定値に回復するとすれば、(7)式は後方ユニット張力と出側板厚の関係になる。

$$\Delta h_i = \frac{\partial P_i / \partial t_{bi}}{K_i - \partial P_i / \partial h_i} \cdot \Delta t_{bi} \dots\dots\dots (8)$$

また、No. 5 スタンドの入側板速度の変化量 ΔV_{b5} は No. 5 スタンドのロール速度の変化量 ΔV_5 と出側板厚偏差量 Δh_5 とから(9)式で表される。

$$V_{b5} = (1.0 + \epsilon_5) \cdot \Delta V_5 + \frac{\partial V_{b5}}{\partial h_5} \cdot \Delta h_5 = (1.0 + \epsilon_5) \cdot \Delta V_5 + V_5 \cdot \frac{\partial \epsilon_5}{\partial h_5} \cdot \Delta h_5 \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 ϵ_5 ：No. 5 スタンドの後進率 (-)、 $\partial V_{b5} / \partial h_5$ ：No. 5 スタンド出側板厚の No. 5 スタンドの入側板速度に対する影響係数

さらに、No. 5 スタンドの圧延機系における後方ユニット張力の変化量 Δt_{b5} と入側板速度の変化量 ΔV_{b5} の間には(10)式に示すような関係が存在する。

$$\Delta t_{b5} = \frac{E/L}{S} \cdot \Delta V_{b5} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 E ：ヤング率 (kg/mm²)、 L ：スタンド間距離 (mm)

以上の関係から圧延速度変化と板厚変化の関係が求まる。すなわち、(8)~(10)式より圧延速度変化に対する板厚変化の応答は(11)式に示すような1次おくれ式で表現できる。

$$\frac{\Delta h_5}{\Delta V_5} = \frac{k_3}{1 + T_3 \cdot S} \dots\dots\dots (11)$$

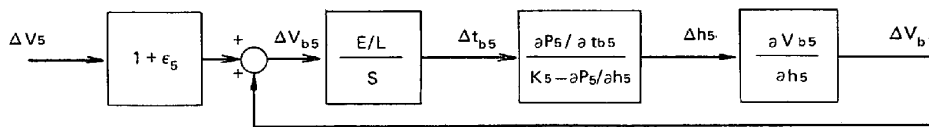


Fig. 2. Block diagram of rolling characteristics at No. 5 stand.

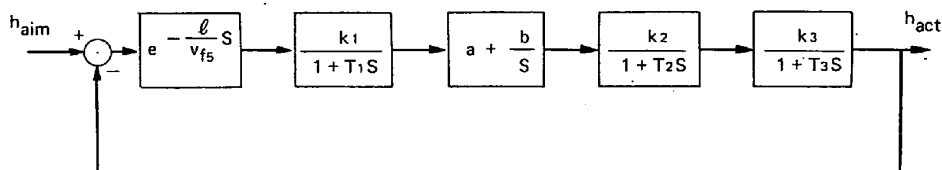


Fig. 3. Block diagram of thickness control at No. 5 stand.

ここで、

$$T_3 = - \frac{1}{\frac{\partial P_5 / \partial t_{b5}}{K_5 - \partial P_5 / \partial h_5} \cdot \frac{E}{L} \cdot \frac{\partial V_{b5}}{\partial h_5}} \dots\dots\dots (12)$$

$$K_3 = \frac{-(1 + \epsilon_5)}{\frac{\partial V_{b5}}{\partial h_5}} \dots\dots\dots (13)$$

この(8), (9), (10)式で表される圧延機系をブロック図で示すと Fig. 2 になる。

上記(1)~(5)項に示した板厚制御系各部の特性式を組み合わせ、No. 5 スタンド板厚制御系の特性モデルが作成できるが、そのブロック図を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 で示された No. 5 スタンド板厚制御系の一巡伝達関数 $G(s)$ は(14)式で表される。

$$G(s) = \exp\left(-\frac{l}{V_{f5}} S\right) \cdot \frac{k_1}{1 + T_1 \cdot S} \cdot \left(a + \frac{b}{S}\right) \times \frac{K_2}{1 + T_2 \cdot S} \cdot \frac{k_3}{1 + T_3 \cdot S} \dots\dots\dots (14)$$

この系の安定度を知るために、(14)式で示した一巡伝達関数のボード線図を描くと Fig. 4 になる。

Fig. 4 の上図はゲイン-周波特性であり、縦軸は、 $20 \log_{10}|G(s)|$ デンベル値を表し、横軸は $\log_{10} f$ で周波数(Hz)を表している。また、下図は位相おくれ-周波特性で縦軸は位相角、横軸は周波数を表している。

ゲイン余裕を求めるためには、位相おくれ-周波数カーブで位相角が -180° になる周波数を求め、ゲイン-周波数カーブから対応するゲイン値を求めればよい。

圧延速度の変化につれて板厚制御系に含まれるむだ時間おくれが変化するため、Fig. 4 中のカーブが上下する。このためゲイン余裕が圧延速度と共に変化する。種々の圧延速度に対応するゲイン余裕を計算し、ゲイン余裕と圧延速度の関係を求め Fig. 5 に示す。

ゲイン余裕については経験的に適正値があるとされており、ゲイン余裕が適正でない場合は制御性能が劣化する。たとえば、ゲイン余裕が負になればその系は不安定

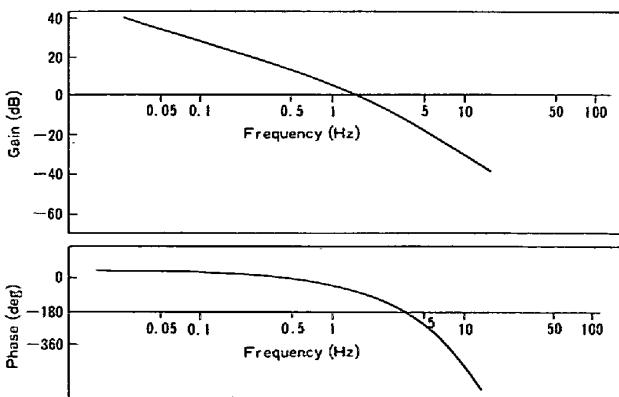


Fig. 4. Bode diagram of No. 5 stand AGC.

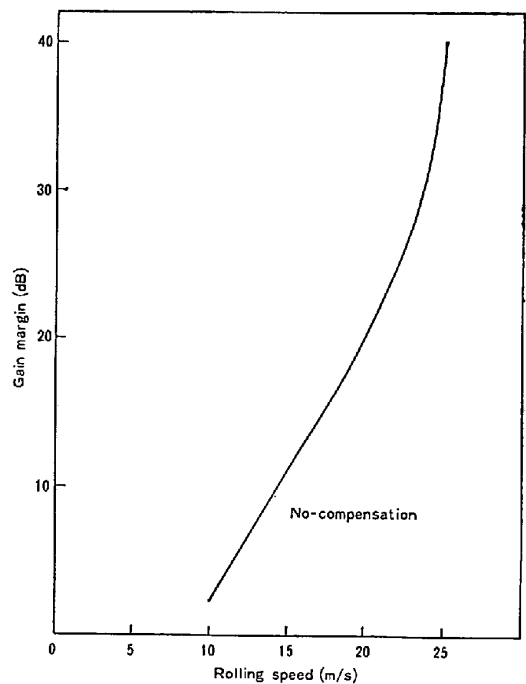


Fig. 5. Relation between gain margin and rolling speed.

である。また、ゲイン余裕が正で大きければ系の安定度はよいが外乱に対する追従性が悪い。さらに、ゲイン余裕が正で小さい場合には制御が過剰となりステップ状の外乱に対するオーバーシュート量が大きくなるなど不安定な制御に近づく。Fig. 5 は圧延速度が 10~15 m/s の場合を対象に適正な制御ゲイン g^s を定め、圧延速度がこれより遅い場合も速い場合もゲインを一定値 g^s にした場合の関係であり、上記の理由から低速時に不安定な制御特性を示すと予想される。すなわち、低速時にはゲインを小さくして安定性を確保する必要があり、高速時にはさらにゲインを大きくする必要があると予想される。したがって、圧延速度に応じたゲイン補償を行うことにより、加減速時に対応する低速時にも安定性を保ち良好な制御性能を維持することが必要である。

以下で、圧延速度に応じたゲイン補償方法を検討する。

3. AGC ゲインの最適調整

Fig. 5 に示したように、定常圧延時でゲイン調整を行い、加減速時においても、この値にゲインを固定した場合には、定常圧延時では非常に良好な板厚制御性能がえられるが、加減速時などの低速時にはゲインの値が適正値に比べ過大となり不安定な制御状態に近づくため制御性能が悪化すると予想される。したがって、低速時にはオフゲージが発生しやすいので、その対策として板厚制御系のプール内にゲイン補償回路を設け全体系の制御

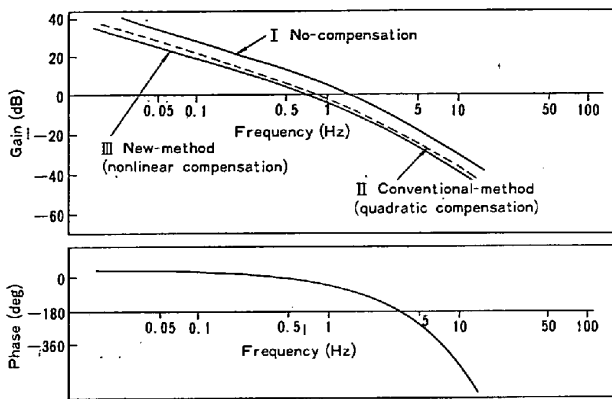


Fig. 6. Bode diagram showing effect of the compensation.

特性を改良する必要がある。Fig. 2 に示したブロック図の中にゲイン補償回路を設けると、ボード線図中のゲイン特性は(15)式に示すように変化する。

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= 20 \log_{10} |G(s) \cdot g| \\ &= 20 \log_{10} |G(s)| + 20 \log_{10} |g| \end{aligned} \quad (15)$$

ここで、 $G(s)$: 板厚制御系の伝達関数、 g : 補償回路のゲイン、 $G(s) \cdot g$: ゲイン補償後の板厚制御系の伝達関数。

本報告では、補償回路のゲインを圧延速度の非線形関数で近似し、板厚制御系のゲイン余裕が圧延速度によらず適正值となる方法を採用した。

このようなゲイン補償を行つた結果の一例を Fig. 6 に示す。Fig. 6 に示すようにゲイン補償を行つても位相-周波数線図はほとんど移動しないが、ゲイン-周波数線図は上下する。このため、ゲイン補償により位相余裕に大きな影響を与えずゲイン余裕を変化させ得ることがわかる。筆者らは、Fig. 5 に示したゲイン余裕、圧延速度の特性カーブをベースにゲイン補償量と圧延速度の関係を計算し、Fig. 2 の板厚制御系の補償に反映させた。

Fig. 7 はゲイン余裕と圧延速度の関係を示す図で I' は補償回路を含まない場合のゲイン余裕の変化である。II' は 2 次形の伝達関数をもつ補償回路を含んだ場合であり、III' は筆者らの方法によるゲイン余裕の変化である。

この III' の特性を得るための補償回路の伝達関数 g の求め方を以下に示す。

(15)式が III' になるような伝達関数 g を決定するために、(15)式を以下のように分解する。

$$20 \log_{10} |G(s) \cdot g| = 20 \log_{10} |G(s)| + 20 \log_{10} |g| \quad (16)$$

(16)式の各項を次のようにおく。

$$G_1(V) = 20 \log_{10} |G(s^*)| \quad (17)$$

$$G_2(V) = 20 \log_{10} |G(s)| \quad (18)$$

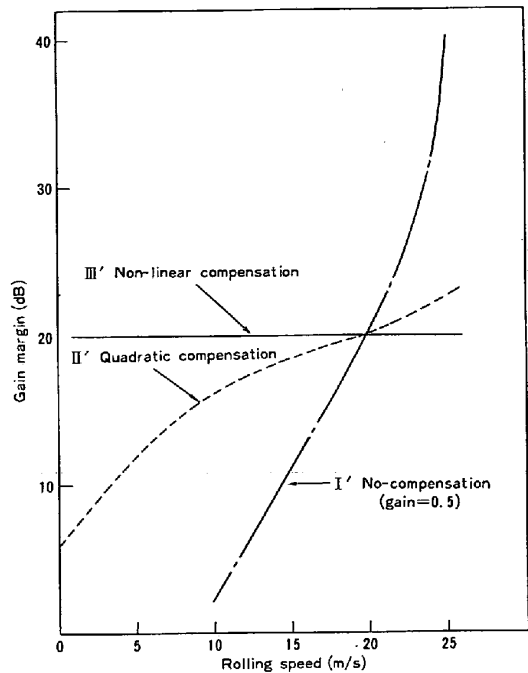


Fig. 7. Effect of compensation on the relation between gain margin and rolling speed.

(17), (18)式を(16)式に代入すると、

$$20 \log_{10} |g| = G_1(V) - G_2(V) \quad (19)$$

(19)式から、 g は(20)式で求まる。

$$g = 10^{(1/20)(G_1(V) - G_2(V))} \quad (20)$$

この(20)式から求まる補償回路の伝達関数 g と圧延速度 V の関係の 1 例を Fig. 8 に示す。

これを実際の速度 AGC 系に組み込んで使用するためには、鋼種、サイズごとに Fig. 8 に示すような $g-V$ 特性を求め、(20)式のような圧延速度についての非線形関数で近似する必要がある。

$$\begin{aligned} g &= a \cdot (V - V_0)^n + b \cdot (V - V_0)^{n-1} + \dots \\ &+ e \cdot (V - V_0) + f \end{aligned} \quad (21)$$

ここで、 V_0 : 基準圧延速度 (mm/s)、 V : 圧延速度 (mm/s) a, b, \dots, e, f : 鋼種、サイズごとの回帰係数

(21)式は $g-V$ 特性の回帰精度にもよるが、できるだけ低次にし、補償回路の設計を容易にした。

実際に Fig. 8 の $g-V$ 特性は鋼種、サイズごとにオフラインシミュレーションにより、次のようにして計算している。

(11)式に示される圧延機系の影響係数 $\partial P_s / \partial h_s, \partial P_s / \partial t_{bs}, \partial V_{bs} / \partial h_s$ は Hill の圧延荷重式と Hitchcock のロール扁平式を用いて、数値微分により計算した。さらに、後進率 ϵ_s は Bland & Ford の先進率式を用いて計算した。

このようにして、計算された各影響係数と後進率を用いて、各鋼種、サイズ (薄物、厚物) ごとに、圧延速度

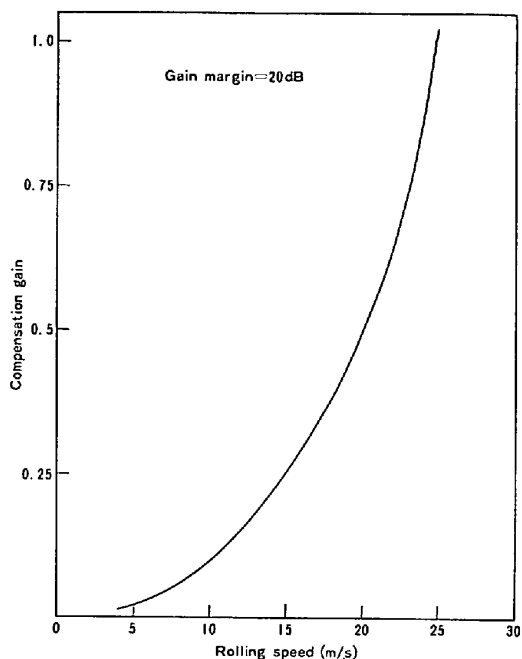


Fig. 8. Relation between compensation gain and rolling speed.

Table 1. Calculated gain compensation.

Grade	Thick-ness (mm)	Rolling Speed (m/s)					
		1	5	10	15	20	25
Rimmed steel	0.4	0.01	0.30	1.00	2.89	6.29	12.09
	1.25	0.01	0.30	0.84	2.87	5.97	11.28
Killed steel	0.4	0.01	0.34	1.06	3.06	6.85	12.98
	1.25	0.01	0.34	0.95	2.86	6.65	11.43

を 1, 5, 10, 15, 20, 25 (m/s) の 6 通りに変化させゲイン余有を計算し、この値が適正值に維持されるよう補償回路のゲイン g を求めて Table 1 に示した。

Table 1 に示したように厚物サイズに比べ、薄物サイズの方がゲイン補償量が大きい、数値計算によれば薄物サイズでは厚物サイズに比べ No. 5 スタンドまでの累積圧下率が大きく、このため、後進率、トルクに影響し、影響係数の $\partial V_{bs}/\partial h_s$ が大きくなる。したがって、板厚制御系の一巡伝達関数のゲインは薄物サイズで小さく、このため、ゲイン余有は大きくなると考えられる。ゲイン余有が大きいということは、安定度は高いが外乱に対する追従性は逆に悪化することを示しており、このことは薄物圧延の後段スタンドでは厚物に比べ、制御ゲインを大きくとり制御量を大きくとらないと、板厚制御の効果が改善されないという実際の現象と一致している。

実圧延では Table 1 の結果を回帰して、(21)式の関

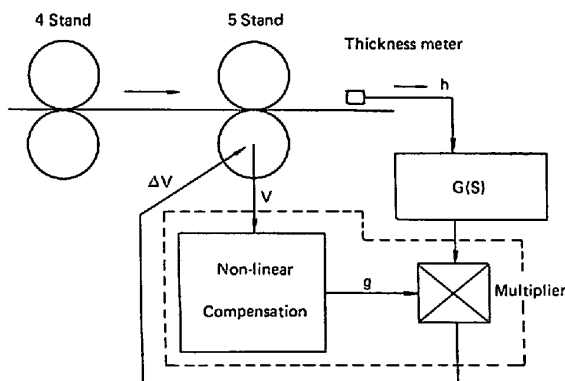


Fig. 9. Schematic diagram of non-linear compensation at final stand.

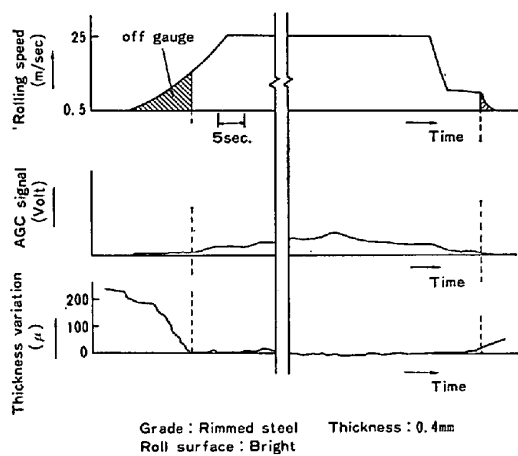


Fig. 10. Thickness variation resulting from non-linear compensation.

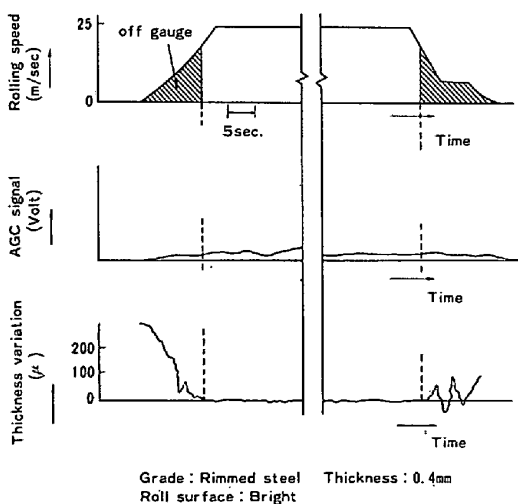


Fig. 11. Thickness variation resulting from linear compensation.

数の型で鋼種、サイズごとに組み込んで使用している。

次に、この求めた $g-V$ 特性の補償を Fig. 1 に示す冷間タンデムミルの速度 AGC 系に適用した例について説明する。

Fig. 9 にその回路図の概略を示す。ここで、破線で囲

んだ部分が本方法を構成した部分である。まず、No. 5 スタンドのロール速度を補償回路に入力し、現在圧延中の鋼種およびサイズに対応した補償ゲインを計算し出力する。このようにして、得られた補償回路の出力 g を、従来の張力 AGC によつて計算されている No. 5 スタンドの速度修正量に掛けることにより、その速度修正量を補正して、最終的な制御出力としている。

次に、本方法は実際の圧延に適用した結果を示す。Fig. 10 は本方法による圧延結果であり、Fig. 11 は従来方法による結果である。適用材はリムド鋼でうす物サイズである。Fig. 10, 11 で、上図は横軸が圧延時間、縦軸は圧延速度を表している。下図は横軸は圧延時間、縦軸は No. 5 スタンドの X 線厚さ計の目標値からの偏差を表している。また、斜線で示した面積は、オフゲージ長さを表している。この例では、本方法により、従来約 100m であつた。オフゲージ長が、約 20m に減少した。

4. 結 言

冷延タンデムミルにおける加減速時のオフゲージ長さ減少を目的として板厚制御系の制御ゲインを最適化する方法について検討した。

本報告では加減速時における板厚制御性能を高めるための制御ゲイン補償方法を検討し圧延速度変化に対する

最適なゲイン補償線図を設計した。すなわち、ミル特性と板厚制御系の動作特性を伝達関数で表現しボード線図法により種々の圧延速度における板厚制御系のゲイン余有を計算して、この値からゲイン余有が圧延速度によらず一定の適正值になるためのゲイン補償量を計算した。この効果を確認するため、鋼種・サイズ別のゲイン補償線図を計算し、その結果をもとに電気回路により補償器を試作した。この回路を実機に適用しテストしたところ、従来の加減速におけるオフゲージ長に比べ、補償器使用時には加減速時のオフゲージ長が大幅に減少し、その有効性が確認できた。筆者らのゲイン補償線図を実現する方法としては、電気回路による方法の他にマイクロコンピュータによる方法も考えられ、今後はこの方法も検討したいと考えている。

文 献

- 1) 山下了也, 美坂佳助, 近藤勝也: 第 12 回 SICE 学術講演会, (1973), p. 709
- 2) 山下了也, 川上義弘, 美坂佳助, 近藤勝也: 塑性と加工, 155 (1973) 14, p. 976
- 3) 日本鉄鋼協会編: 圧延理論とその応用 (1969) [誠文堂新光社]
- 4) 榎木義一, 砂原善文: 自動制御工学 I (1965) [養賢堂]