

ステンレス鋼ホットコイルの厚さおよびクラウンの制御*

川崎製鉄技報
25 (1993) 2, 85-89

Thickness and Crown Control in Hot Rolling Stainless Steel Strip



福井 義光
Yoshimitsu Fukui
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室



足立 明夫
Akio Adachi
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室 主査(部
長補)



竹谷 昭彦
Akihiko Takeya
千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室 主査(掛
長)

要旨

ステンレス鋼および特殊鋼の熱延鋼板の寸法精度向上を図るために、千葉製鉄所 No.2 熱延工場では、1990 年 4 月に仕上圧延機のリフレッシュ工事を完了した。ワークロールシフトと強力ワークロールベンダーを組み合わせたクラウン制御手段を全スタンドに導入した。また従来の電動 AGC に比べ、より応答性の高い油圧 AGC 設備を仕上後段 3 スタンドに導入し、高精度な板厚制御を可能とした。さらにステンレス鋼板のような高圧延負荷材の表面品質・寸法精度のレベル向上を目的とした、日本初のコイルボックス設備を導入した。その結果、従来の熱間圧延機に比較し、板クラウン・板厚精度を大幅に向上させることが可能となり、断面形状が限りなく矩形でかつ板厚偏差が非常に小さいステンレス鋼板の製造が可能となった。

Synopsis:

To improve gauge accuracy of hot rolled strip of stainless and special alloy steels, fundamental modification to finisher stands was done at the No.2 Hot Strip Mill, Chiba Works in April 1990. Crown control system with work roll shifting and heavy duty-work roll bender was installed to all seven stands. The hydraulic AGC, which has quicker response time compared with the electro-mechanical AGC, was introduced to the last three stands to attain much better gauge performance. Further, a coil box was installed to the mill for the first time in Japan to obtain a good surface quality and gauge accuracy for hard steel strip, such as stainless steel. Consequently, the capability of controlling the strip crown and gauge has been improved drastically to produce excellent quality stainless steel with a very small crown and good gauge accuracy.

1 緒 言

熱延鋼板の寸法精度を決定する要素には、板厚、板幅および板クラウン（幅方向における板中央部と両端部との板厚の差）がある。このうち板幅制御に関しては、自動板幅制御（automatic width control）が各社の熱延ミルにおいて導入されている。当社においても、油圧 AWC 制御システムを導入し対応を図ってきた。

板厚に関しては、自動板厚制御（automatic gauge control）による板厚制御が一般的であるが、電動 AGC を制御手段とした従来の方法では、変形抵抗が極めて高いステンレス鋼板に対しては、十分な板厚精度を得るにいたらなかった。板クラウンに関しては、ロールカーブの選択、ワークロールベンダー¹⁾などによる低減が一般的であった。また特別な方法として、当社の台形ロール圧延法²⁾や異径ロール圧延法³⁾などがあった。しかし、いずれの方法も板の断面形状が矩形に近い板が要求される場合には十分対応しきれず、後工程にて幅方向での板端部の切り捨てが実施されていたのが実情であった。

近年、板クラウンに対する需要家要求が厳格化するにつれて、鉄鋼各社とも板クラウン制御ミルの導入を実施してきた。当社においてもクラウン制御を目的とし、1983 年 6 月に千葉製鉄所 No.1 熱間

仕上ミルに K-WRS ミル (Kawasaki Steel-work roll shifting mill)⁴⁾を導入するとともに、1983 年 9 月には水島製鉄所熱間仕上ミルの後段スタンドに、6 段圧延機である HC ミル (high crown control mill)⁵⁾を導入し、ステンレス鋼クラウンの改善を進めてきた。そこで得られた技術のまとめとして、当社のステンレス生産の中心である千葉 No.2 熱間仕上ミルの全スタンド (1986 年 4 月 F5~F7 スタンド、1990 年 4 月 F1~F4 スタンド) に K-WRS と強力ロールベンダー (WRB) を組み合わせたクラウン制御ミルを導入した。また、後段 3 スタンドを従来の電動 AGC に比較し応答性の高い油圧 AGC に改造することにより、より厳格な長手方向の板厚制御を可能とした。さらに、ステンレス鋼板の製造範囲の拡大および表面品質のレベル向上を目的として、仕上圧延機の入側にて板を巻取ることにより材料の表面からの放熱を阻止するコイルボックス設備の導入を日本で初めて行った。

本報告では、K-WRS、油圧 AGC、コイルボックス等を備えた熱間仕上圧延機において、最新の板厚・板クラウン制御方法を適用した、ステンレス鋼板の圧延結果について述べる。

2 熱延鋼板のクラウンおよび制御方法

熱間圧延の板クラウンは、ロールのたわみ、材料とロールとの偏平、ロールの摩耗、熱膨張の四つの要素により支配される。仕上圧

* 平成 5 年 2 月 15 日原稿受付

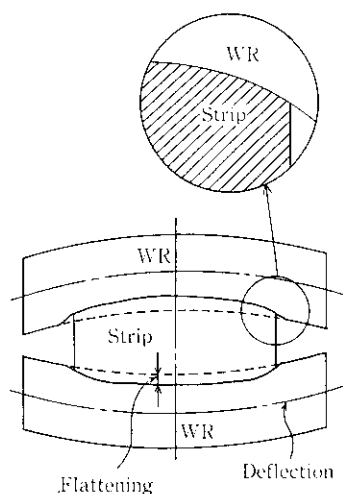


Fig. 1 Deformation of strip and work rolls during rolling

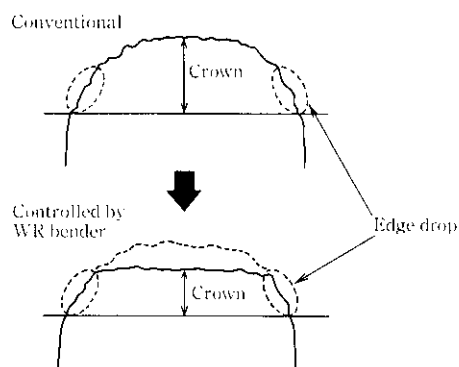


Fig. 2 Effect of WR bender on crown and edge drop of stainless steel strip

延では、ロールによって圧延材に圧下を加えるとき、圧延材から受ける反力によって Fig. 1 に示すようにロールの軸心がたわみ、かつロール表面が偏平する。特にステンレス鋼板のように、一般材に比較して変形抵抗が高い材料についてはロールの受ける反力が大きく、たわみや偏平が大きくなる。またロールは圧延を重ねていくにつれて摩耗と熱膨張を生じる。摩耗はロールへの圧延負荷と圧延長の積にほぼ比例する。ロールの熱膨張は、被圧延材との接触、摩擦、幅射による入熱のために生じる。

クラウン制御ミル導入以前のクラウン制御方法としては、仕上ワークロールの初期形状、圧延負荷配分⁹⁾、圧延ピッチなどを調整する方法が行われてきた。しかし、これらの方法は、主にワークロール (WR) のたわみを緩和する方法であったため、Fig. 2 に示す板クラウン中央部の膨らみ (ボディクラウンと呼ばれる) を低減させることにはある程度の効果はあったが、板エッジ近傍の局部的に板厚が急激に減少する現象 (エッジドロップと呼ばれる) については、ほとんど効果がなかった。

その欠点を解決するために、当社では WR の胴端部をテーパ状に逃がし、板端部の圧下量を積極的に小さくすることによりエッジドロップを小さくする両台形ロール圧延法を開発してきた。Fig. 3 にその概念図を従来法と比較して示す。しかし、その方法では同一の台形ロールが、その改善効果を発揮できる板幅に制約があるという欠点があった。

そこで 1983 年 6 月、千葉 No.1 熱間仕上ミル (F 3 ~ F 5) に、

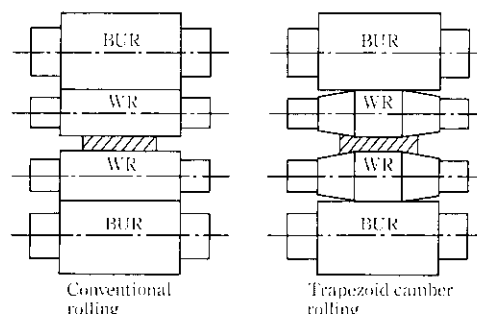


Fig. 3 Schematic diagram of conventional and trapezoid camber rolling

WR の片側にテーパを切り点对称に配置し、上下 WR を圧延材の板幅に応じて軸方向に可動させ、最適位置にて圧延する K-WRS を導入した。また 1986 年 4 月には、千葉 No.2 熱間仕上ミルの後段スタンド (F 5 ~ F 7) に、K-WRS ミルと強力 WR ベンダーを組み合わせたクラウン制御ミルの導入を開始した。さらに 1990 年 4 月、仕上前段スタンド (F 1 ~ F 4) にも、後段並の WR シフト量とベンダー力を兼ね備えたクラウン制御ミルを導入し、より高度な板クラウン低減を可能とした。

3 K-WRS ミルのクラウン制御

Table 1 に、千葉 No.2 熱間仕上ミルに設置された K-WRS ミルの設備仕様を示す。また Fig. 4 に設備の概念図を示す。

K-WRS ミルの使用方法には大別して二通りある。一つは、一般冷延材等を対象として、クラウン制御よりはむしろハイスポット (ロールの局部摩耗によって生じる鋼板の異常突起) などを防止するため、テーパを付与しないロールを用い、それをサイクリックにシ

Table 1 Specifications of work roll shift

Stands	F 1 ~ 4	F 5 ~ 7
Shift stroke	0 ~ 450 mm (±225 mm)	
Shift speed	40 mm/s	
WR bending force	50 ~ 250 t/chock (only increase)	
Start up	Apr. 1990	1986

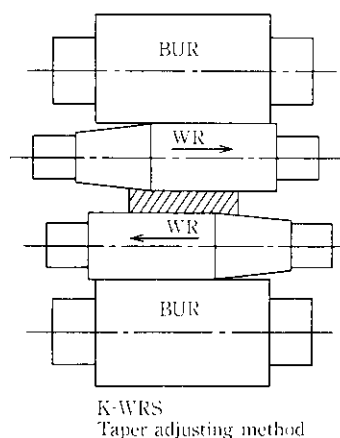
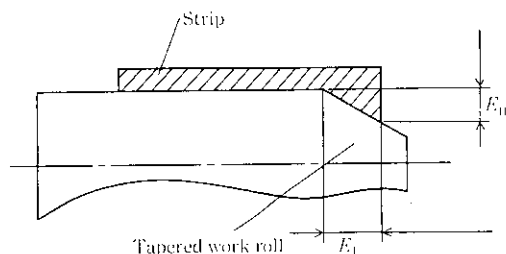


Fig. 4 Schematic diagram of K-WRS mill


Fig 5 Definition of E_H and E_L

フトさせる方法 (CS 法) である。もう一つは、両台形より発展した片台形 WR シフト方法 (テーパアジャスト (TA) 法) である。変形抵抗の高いステンレス鋼板には、TA 法を適用することによって、WR と被圧延材の両端部との接触圧力を減少させて、ロール扁平変形量の急激な変化や荷重によるロールたわみを緩和し、板クラウンを制御している。

TA 法におけるクラウン制御パラメータは圧延材に対するテーパ量、すなわち Fig. 5 に示す E_L (effective length) および E_H (effective height) の値である。千葉 No. 2 ミルにおいて、 E_L 値は最大シフト量 ± 225 mm の範囲で変更できる。従来の両台形ロール圧延法では、同一圧延スケジュール内に組み込む材料の幅の範囲を限定していた。これに対し、TA 法では、同一圧延スケジュール内に組み込まれた圧延材の幅ごとに最適なテーパ量を選択できるため、圧延単位内の板幅変化を最大 900 mm までクラウン制御対応可能とし、圧延スケジュール作成上の制約を大幅に緩和した。

4 自動クラウン制御の概要⁷⁾

K-WRS 方法と WR ベンダーとを組み合わせた板クラウン・形状制御について述べる。熱間仕上ミルでは、ロール組替えサイクル内すべての鋼板に対して、常に目標どおりの板クラウンおよび形状を得る必要がある。当社ではそれらを考慮した計算機による WR ベンダーの自動セットアップの開発を進めてきた。Fig. 6 にその概念図を示すが、特徴は以下のとおりである。

(1) いったん、仕上全スタンドを対象に、ハード能力と形状限界

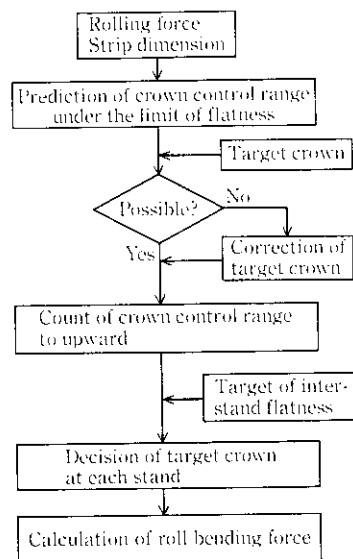


Fig 6 Schematic diagram of crown correction plan

から達成し得る最終スタンド出側クラウン範囲を求める。つぎに最終目標クラウン値から、後段スタンドは形状変化を少なくする方向で、中間スタンドの目標クラウンを決める。

- (2) その中間スタンドの目標クラウンを達成するように前段スタンドのベンダー力を計算する。同様に後段のベンダー力も計算する。
- (3) 各スタンドのクラウン変更能力、形状変化限界が守られない場合は守られるように最終目標クラウンを変更する。

5 板クラウン改善結果

5.1 板クラウン・プロフィール

K-WRS ミルが設置されている千葉 No. 2 熱間圧延工場は、フェライト系 SUS 430 鋼およびオーステナイト系 SUS 304 鋼を圧延している。Fig. 7 に TA 法による SUS 304 鋼の圧延スケジュール内の板クラウンの推移を示す。K-WRS とロールベンダーを組み合わせたことにより、種々の圧延条件の変化に対しても、目標クラウンに対し変動の少ないクラウンに制御されている。さらに Fig. 8 には、

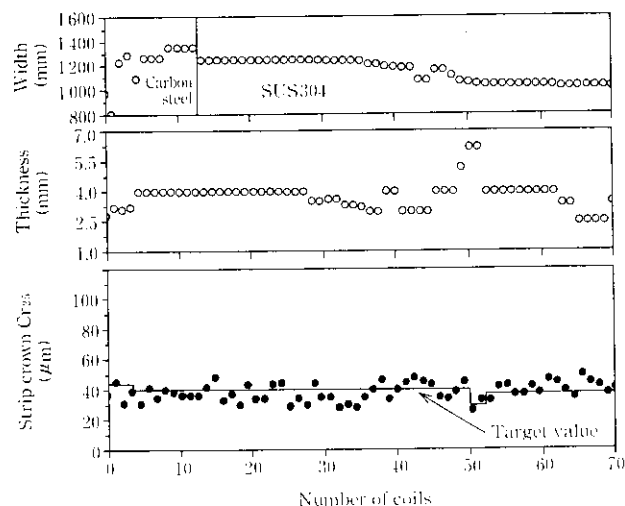


Fig 7 Change in stirp crown with hot rolling schedule at K-WRS mill (SUS304)

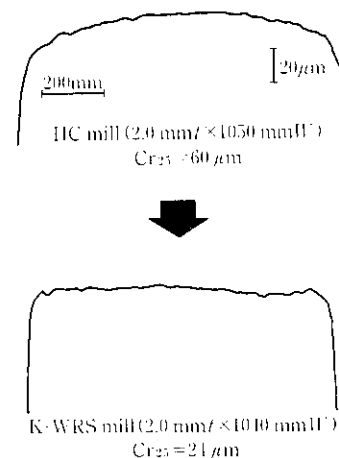


Fig 8 Comparison of typical profiles of SUS304 steel strips between by HC mill at Mizushima Works and by K-WRS mill at Chiba Works

水島の HC ミル⁹⁾にて適用した板厚 2.0 mm の SUS 304 鋼の板プロフィール(クラウン、エッジドロップ、ハイスポットなどからなる幅方向の板厚分布)と全スタンド K-WRS ミルとの比較を示す。高変形抵抗材であるステンレス鋼の圧延は、WR と材料間の偏平が大きいため、HC ミルでのフラットロールではエッジドロップが大きく、板クラウンは 60 μm 程度が限界であった。しかし、千葉 No. 2 ミルでは、仕上全スタンドに K-WRS、WRB を増設したことにより、

- (1) K-WRS の多スタンド化による、1 スタンド当りのクラウン変更量の分散
- (2) 板厚が厚く、形状感受性の小さい領域(仕上前段スタンド)でのボディクラウン低減

などが可能となり、板クラウンは 40 μm 以下へと制御可能となった。

5.2 制御結果

Table 2 に、現在まで適用してきたクラウン制御技術とその制御限界を示す。板厚 2.0 mm × 板幅 1 050 mm の SUS 304 の板クラウンは、従来 180 μm 程度だったものが、40 μm 以下となり、板厚 4.0 mm × 板幅 1 250 mm の SUS 304 の板クラウンは従来 100 μm 程度だったものが、30 μm 以下となった。従来法のそれと比較すると、1/3 以下に低減することができた。

Table 2 Crown control capability of K-WRS in terms of Cr_{25} (μm)

Materials size*	Method	K-WRS mill (F1~7TA)	HC mill (F5~7)	Convention mill
SUS304 2.0×1 050		≤40	≤60	≤180
SUS304 4.0×1 245		≤30	≤40	≤100

* Thickness×width (mm)

6 コイルボックスの導入⁹⁾

コイルボックスとは、熱間圧延ミルの粗最終圧延機と仕上圧延機間に設置され、粗圧延を完了した板(シートバー)を巻き取り、巻き戻す機能を備えた装置である。その設備概要を Fig. 9 に示す。

高圧延負荷材の表面品質レベル向上およびステンレス材の製造範囲の拡大を目的として、1986 年 8 月コイルボックスの導入をした。従来の圧延方法では、シートバーの仕上圧延機の入側温度は、圧延の進行につれて徐々に低下する。ところが、コイルボックスを用い

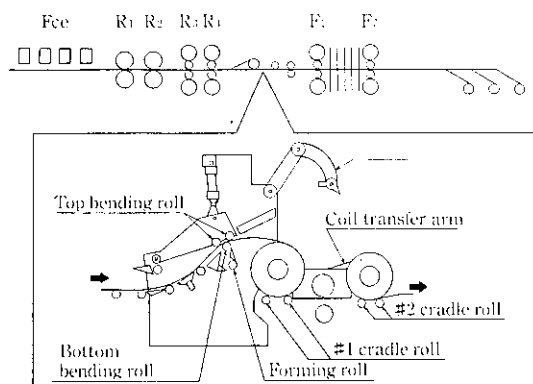


Fig. 9 General arrangement

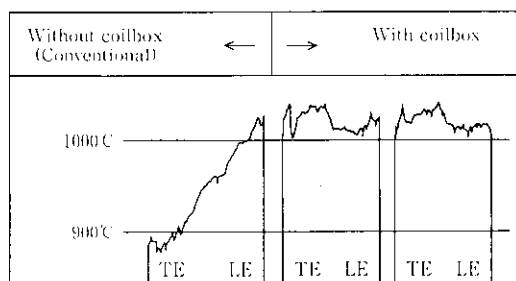


Fig. 10 Effect of coilbox on finisher entry temperature

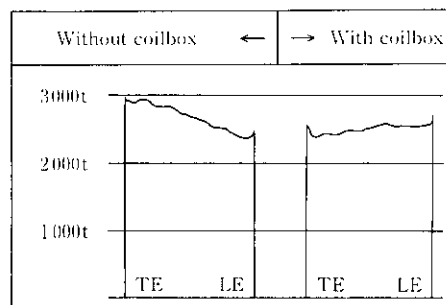


Fig. 11 Effect of coilbox on finisher rolling load

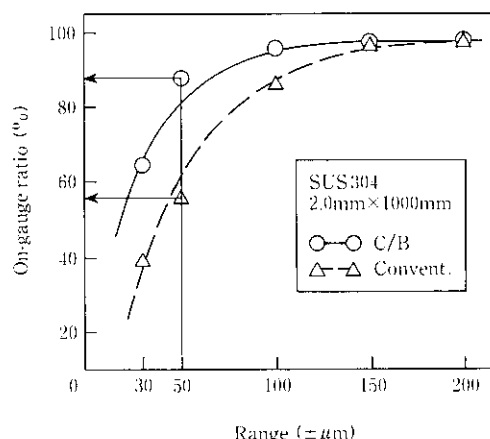


Fig. 12 Comparison of thickness gauge in rolling with coilbox (C/B) with those in conventional rolling without coilbox

場合、シートバーは一度コイル上に巻き取られるため、表面からの放熱は大幅に減少し、Fig. 10 に示すように仕上入側温度のランダウンは現れない。また、コイルボックス適用時の仕上入側温度は、スキッドマーク(加熱炉での支え台によって生じる温度差)の低減が認められる。その結果、Fig. 11 に示すように仕上圧延での最大荷重および平均値が減少し、均一化する。その効果により、ロールに対する負荷が減少し、高圧延負荷材の表面品質が改善される。また、Fig. 12 に SUS 304 におけるコイルボックスを適用した場合での板厚精度の比較を示すが、オンゲージ長さ率(±50 μm 以内)が従来 56% であったものが、88% に改善されている。

7 板厚精度の改善

Table 3 に千葉 No. 2 熱間仕上ミル後段 3 スタンドに設置された油圧 AGC の仕様を示す。より応答性の高い油圧 AGC 設備とコイル

Table 3 Specifications of hydraulic AGC

		F 5	F 6・7
Cylinder stroke		16 mm	20 mm
Cylinder diameter		φ1 060 mm	φ1 000 mm
Speed		5mm/s	
Response		25Hz at phase lag 90 deg.	
Control	AGC	Gage-meter X-ray monitor Absolute gage	
	Steering control	Sensor type	Load difference type
	Others	Roll eccentricity control	
Start-up		Jul. 1989	Apr. 1986

ボックスを併用し、SUS 304 材 (2.0 mm×1 000 mm) に適用した板厚例を Fig. 13 に示すが、定常部における板厚変動は±20 μm 以内と、高精度に制御されている。

8 まとめ

千葉製鉄所 No. 2 熱間仕上ミルでは、K-WRS ミルと強力ワーク

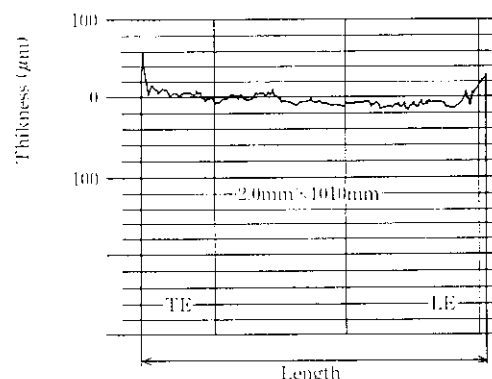


Fig 13 Typical thickness of SUS304 steel

ロールベンダーとを組み合わせたクラウン制御ミルを導入し、ステンレス鋼板の製造を実施した。その結果、SUS 304 鋼の場合、板厚 4.0×板幅 1 245 mm の例で、板クラウン値を 30 μm 以下へと、従来レベルに比較して 1/3 以下に減少させることができた。またベンダーの自動制御は、圧延スケジュールの全体を通してクラウン制御を可能とした。さらに、コイルボックスと仕上後段 3 スタンドへの油圧 AGC 設備を組み合わせたことは、板厚偏差が少ないステンレス鋼板の製造を可能とした。

参考文献

- 1) 本城恒, 木崎 司, 宮坂清人: 「ダブルチョク ワークロールベンディングによるクラウンと形状の制御」, 塑性と加工, **23**(1982) 263, 1132
- 2) 足立明夫, 豊島貢, 福島誠, 浅川長生, 北村邦雄, 鎌田征雄, 片岡健二, 中川吉左衛門: 「台形クラウン付ワークロールによるホットストリップのエッジドロップ減少圧延方法の適正化」, 昭和 53 年 塑性加工春期講演会論文集, (1978), 45
- 3) 神居詮正, 寺門良二: 「ホットストリップミル仕上圧延における異径ロール圧延法の研究」, 塑性と加工, **17**(1976) 191, 966
- 4) 仲田卓史, 豊川明, 市井康雄, 音田聡一郎, 豊島 貢, 鎌田征雄: 「設備仕様 (片台形ワークロールシフトにおける熱延鋼板のクラウン制御…4)」, 鉄と鋼, **70**(1984) 4, 434
- 5) 広瀬勇次, 春日弘夫, 浜田圭一, 直井孝之, 山本義之, 金田逸規: 「水島熱延ハイクラウン制御ミルの板クラウン制御特性 (ハイクラウン制御ミルの操業と品質)」, 鉄と鋼, **70**(1984) 4, 433
- 6) 鎌田征雄, 北村邦雄ら: 「圧下率配分の変更によるホットストリップのクラウン制御」, 塑性と加工, **21**(1980), 238
- 7) 豊島貢, 相原正樹, 音田聡一郎, 竹中久雄, 前田政和, 新田純三: 「千葉製鉄所 No. 2 ホットストリップミルにおける高品質対応設備改造」, 川崎製鉄技報, **23**(1991) 4, 272-299
- 8) 田野村忠男, 菱沼至, 足立明夫, 竹谷明彦, 広瀬勇次, 三宅祐史: 「ステンレスホットコイルのクラウン制御」, 川崎製鉄技報, **17**(1985) 3, 225-230
- 9) 若林浩一, 豊島貢, 青木富士夫, 市井康雄, 野村信彰, 伊藤伸宏: 「千葉 No. 2 ホットストリップミルへのコイルボックス導入」, 鉄と鋼, **73**(1987) 4, S 376