
千葉製鉄所第3熱延工場における高品質製品製造技術

High Quality Production Technology in Chiba No.3 Hot Strip Mill

今江 敏夫(Toshio Imae) 野村 信彰(Nobuaki Nomura) 三吉 貞行(Sadayuki Miyoshi)

要旨：

川崎製鉄千葉製鉄所では1995年5月に第3熱延工場を稼働させた。これは世界初の完全連続仕上ミルである。需要家からの厳しい品質要求に応えるために、本ミルは以下の特長を有している。粗ミルでは板幅精度の向上、曲がりの防止、温度降下の抑制を目的として油圧圧下式エッジャー、長尺サイドガイド、高速圧延を採用した。仕上ミルでは板厚、板幅、クラウン、形状の向上を目的として高応答性交流モータ、高速油圧圧下装置、ペアクロスミル、低慣性ルーパ、スタンド間板厚計、板幅計、クラウン計を導入した。ランアウトテーブルでは巻取り温度の精度向上を目的として水冷ゾーンを細分化し精密に冷却制御できるようにした。これらの装置を高精度に制御することにより、板厚、板幅、クラウン・形状、仕上出側温度、巻取り温度の精度を従来より飛躍的に向上させた。

Synopsis：

Kawasaki Steel started the operation of No.3 hot strip mill in Chiba Works in May 1995. This is the first fully continuous hot strip mill in the world. To satisfy customer requirements for the improvement of product qualities, the mill has the following features：(1) A high skid button was installed in reheating furnace to remove skid marks. (2) High speed processing, hydraulic edgers and long side guides were introduced in rougher mill. (3) A pair cross mill, a hydraulic screw down, an AC motor-drive and a low inertia looper were installed in finisher mill. (4) Subdivided control valves were installed in water cooling zone. These arrangements are controlled precisely and thus, improved product accuracy in strip gauge, crown and width and the quality of the material.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

High Quality Production Technology in Chiba No.3 Hot Strip Mill



今江 敏夫

Toshio Imae

技術研究所 加工・制御
研究部門 主任研究員
(課長)・工博

野村 信彰

Nobuaki Nomura

千葉製鉄所 熱間圧延
部熱延技術室 主任
(課長)

三吉 貞行

Sadayuki Miyoshi

千葉製鉄所 制御技術
部制御技術室 主任
(課長)

要旨

川崎製鉄千葉製鉄所では1995年5月に第3熱延工場を稼働させた。これは世界初の完全連続仕上ミルである。需要家からの厳しい品質要求に応えるために、本ミルは以下の特長を有している。粗ミルでは板幅精度の向上、曲がりの防止、温度降下の抑制を目的として油圧圧下式エッジャー、長尺サイドガイド、高速圧延を採用した。仕上ミルでは板厚、板幅、クラウン、形状の向上を目的として高応答性交流モータ、高速油圧圧下装置、ベアクロスミル、低慣性ルーバ、スタンド間板厚計、板幅計、クラウン計を導入した。ランアウトテーブルでは巻取り温度の精度向上を目的として水冷ゾーンを細分化し精密に冷却制御できるようにした。これらの装置を高精度に制御することにより、板厚、板幅、クラウン・形状、仕上出側温度、巻取り温度の精度を従来より飛躍的に向上させた。

Synopsis:

Kawasaki Steel started the operation of No.3 hot strip mill in Chiba Works in May 1995. This is the first fully continuous hot strip mill in the world. To satisfy customer requirements for the improvement of product qualities, the mill has the following features: (1) A high skid button was installed in reheating furnace to remove skid marks. (2) High speed processing, hydraulic edgers and long side guides were introduced in rougher mill. (3) A pair cross mill, a hydraulic screw down, an AC motor-drive and a low inertia looper were installed in finisher mill. (4) Subdivided control valves were installed in water cooling zone. These arrangements are controlled precisely and thus, improved product accuracy in strip gauge, crown and width and the quality of the material.

1 緒 言

川崎製鉄千葉製鉄所では1995年5月に第3熱延工場を稼働させたり。本ミルは需要家からの厳しい品質要求および寸法領域拡大、特に薄物化のニーズに応えつつ製造コストを大幅に削減し、21世紀においても高い競争力を保持することを目的として建設されたものである。本ミルの特長は、①仕上エンドレス圧延技術を導入し、寸法材質精度の一層の向上と圧延可能寸法の拡大、新機能製品の製造を可能としたこと、②高寸法精度、高材質精度を造り込むためのセンサーおよび制御機能が充実していること、③低温加熱、高速高圧下圧延を実現するため高定格荷重・大容量モータのミルを採用したこと、④劣悪環境下での作業の根絶と操業の安定化を目的に徹底的に自動化・無人化を図ったことである。本報告では特に高品質製品製造技術について述べる。

2 新熱延工場の概要

本ミルで圧延する主要製品は、缶用鋼板、自動車用鋼板、各種ステンレス鋼板・高炭特殊鋼板など的高級鋼である。これらの製品については表面品質、寸法精度、材質改善に対し需要家から厳しい品質要求がよせられている。高品質を造り込むことを目的に、本ミル

は従来のミルに比して板厚、板幅、プロフィール、形状、温度を高精度に制御する機能とそれらを計測するためのセンサーを大幅に充実させている。

Fig. 1 に第3熱延工場のレイアウト概要図を示す^{2) 9)}。3基の加熱炉、サイジングプレス、3基の粗ミル、シートバーコイラー、接合装置、7基の仕上ミル、冷却装置、ストリップシャー、2基の巻取り機から構成されている。これらの装置の特長は、①加熱炉にハイスキッドボタンを採用しスキッドマークを解消してスラブ温度を均一化したこと、②幅プレス装置と粗ミルを高速化し材料の温度降下を抑制したこと、③粗ミル全スタンドに油圧圧下式エッジャーと長いサイドガイドを採用し板幅精度を向上させ曲がりを解消したこと、④仕上ミル全スタンドにベアクロスミル、高速油圧圧下装置、高応答交流ミルモータ、低慣性ルーバを採用し、張力と板厚の制御精度を大幅に向上させたこと、⑤ランアウトテーブルの水冷ゾーンを細分化し、精密に冷却制御できるようにして巻取り温度の精度を飛躍的に向上させたことである。これらの装置はすべてオペレータが介入することなく完全自動運転できるようになっている。総合管制室では、わずか3名のオペレータがスラブヤードから巻取り・搬送までのすべての装置を監視している。

Fig. 2 に第3熱延工場の制御システム構成の概要図を示す⁹⁾。プロセスコンピュータ(プロコン)、プログラマブルロジックコントローラ(PLC)、デジタルコントロールシステム(DCS)およびCRTを高速・大容量の制御用ネットワークにより結合している。各種設定計算はミル統括プロコンが、張力制御と板厚制御はPLCが実施している。

* 平成8年10月7日原稿受付

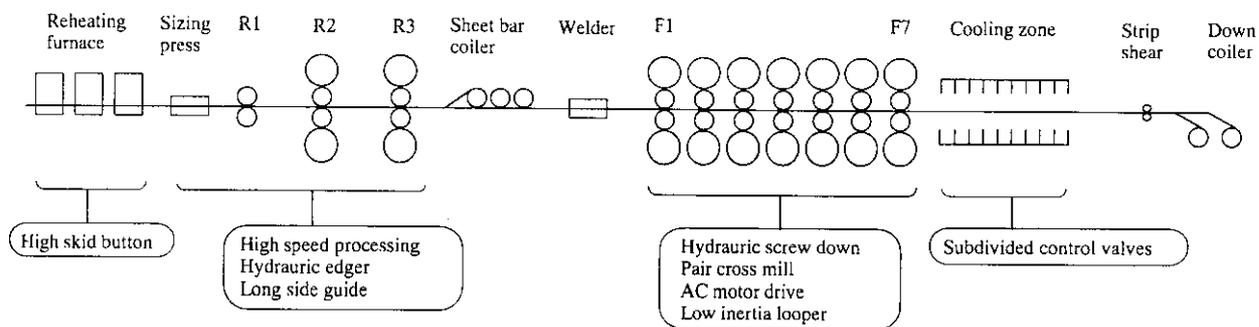


Fig. 1 Layout of No.3 hot strip mill

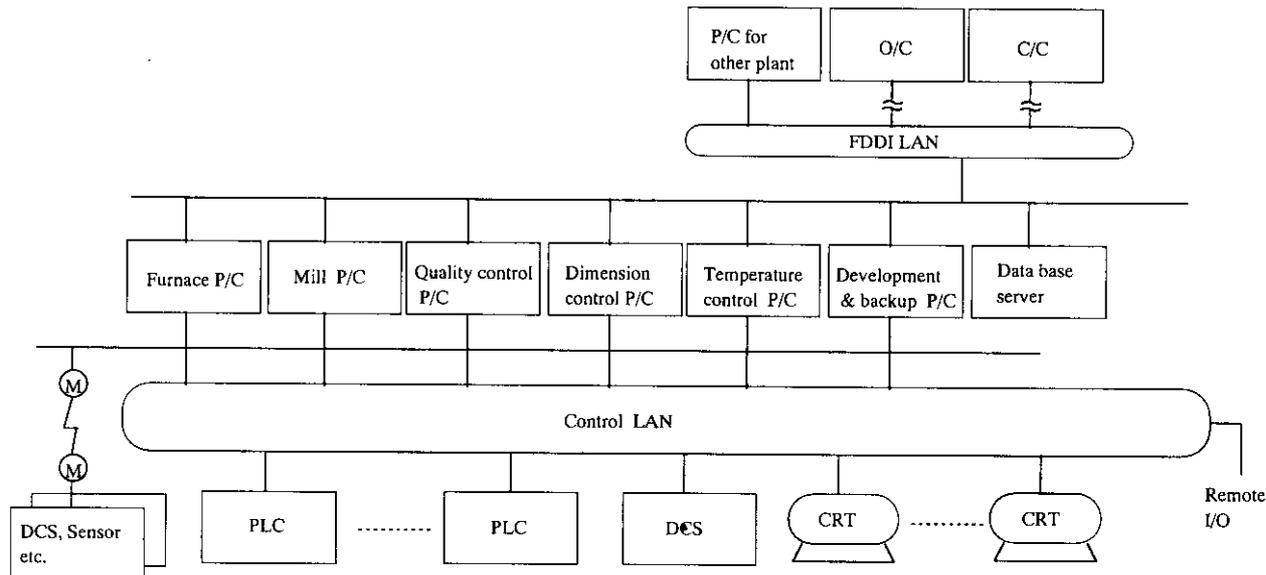


Fig. 2 Process computer system of No.3 hot strip mill

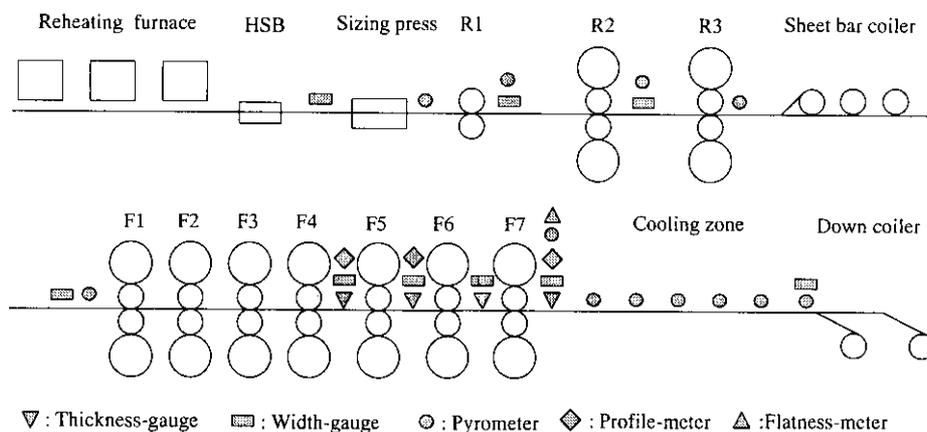


Fig. 3 Sensor arrangement in No.3 hot strip mill

板幅制御とクラウン・形状制御は寸法・形状制御用プロコンが、仕上ミル出側温度(FDT)制御と巻取り温度(CT)制御は温度制御用プロコンで実施されている。Fig. 3にセンサー配置一覧図を示す。サイジングプレスからダウンコイラーまでの間に温度計を12台、板幅計を9台、仕上ミルのスタンド間および出側に板厚計を4台、プロフィール計を3台、平坦度計を1台設置している。

3 高品質製品製造技術

3.1 スタンド間ルーバ・張力制御技術

板厚・板幅精度の向上と安定圧延のため、高応答交流ミルモータと低慣性ルーバの特長を生かしたスタンド間張力・ルーバ制御系を

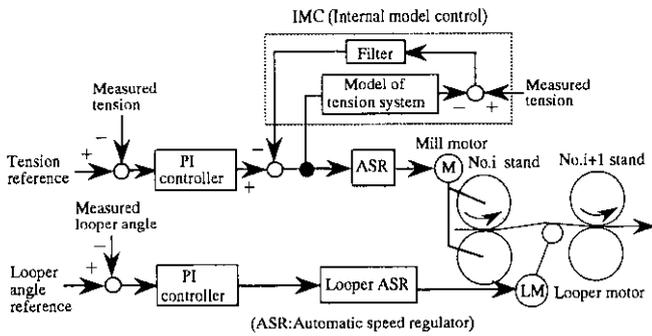


Fig. 4 Schematic diagram of tension and looper control system in No.3 hot strip mill

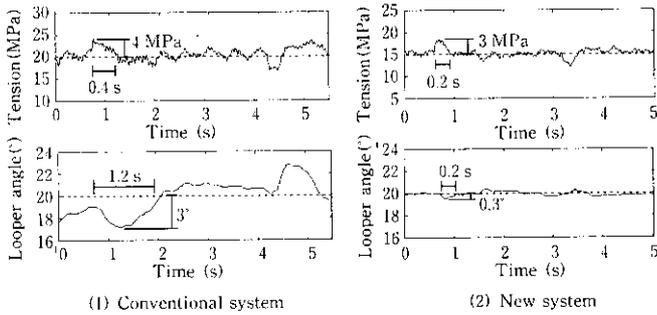


Fig. 5 Response to 1% thickness deviation in the actual system

開発した⁸⁾。通常のバッチ圧延の他に走間板厚変更時と接合部通板時の張力変動を抑制することも考慮した。Fig. 4にルーバ・張力制御システム構成図を示す。調整・メンテナンス性を重視し、簡単な基本制御系に高応答な制御ループを付加する構成としている。基本制御系は、張力を主機モータの速度制御系にフィードバックする張力制御ループと、ルーバ角度をルーバ角速度制御系にフィードバックするルーバ角度制御ループの2つのPI制御ループで構成されている。

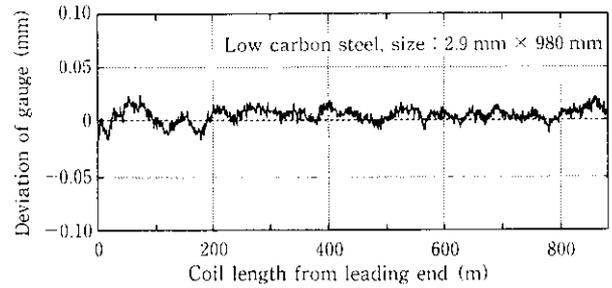


Fig. 7 Example of strip gauge in longitudinal direction

張力制御ループは高応答化するとともにさらに internal model control(IMC)を付加した。すなわち、ルーバ角度制御性よりも張力制御性を高応答化した系とした。Fig. 5に実機における本制御系と従来制御系の性能を比較した結果を示す。約1%の板厚変動に対する張力とルーバ角度の変動を比較した。張力変動は従来制御系では最大4 MPa、0.4 s生じるのに対し、本制御系ではそれが最大3 MPa、0.2 sにまで抑制されている。ルーバ角度変動は従来制御系では最大3°、1.2 s生じるのに対し、本制御系ではそれが最大0.3°、0.2 sにまで抑制されている。本制御系では従来制御系に比べて、張力変動が速やかに抑制され、ルーバ角度が安定していることがわかる。

3.2 板厚の制御技術

全スタンドに高応答交流モータと高速油圧压下装置を導入し、F4、F5、F6、F7スタンド出側に配置したX線厚み計を使って高精度の板厚制御を実施している。Fig. 6に板厚制御システム構成図を示す。板厚制御は圧延前に圧延荷重を予測してロール压下位置を決めるセットアップ制御、ミル剛性可変制御(MMC)、絶対値ゲージメータ方式による自動板厚制御(AG-AGC)、X線厚み計によるモニター板厚制御(M-AGC)から構成されている。Fig. 7に実機における板厚のコイル長手方向分布の例を示す。コイル全長にわたり板厚は±25 μm以内に制御されており優れた板厚精度を実現している。

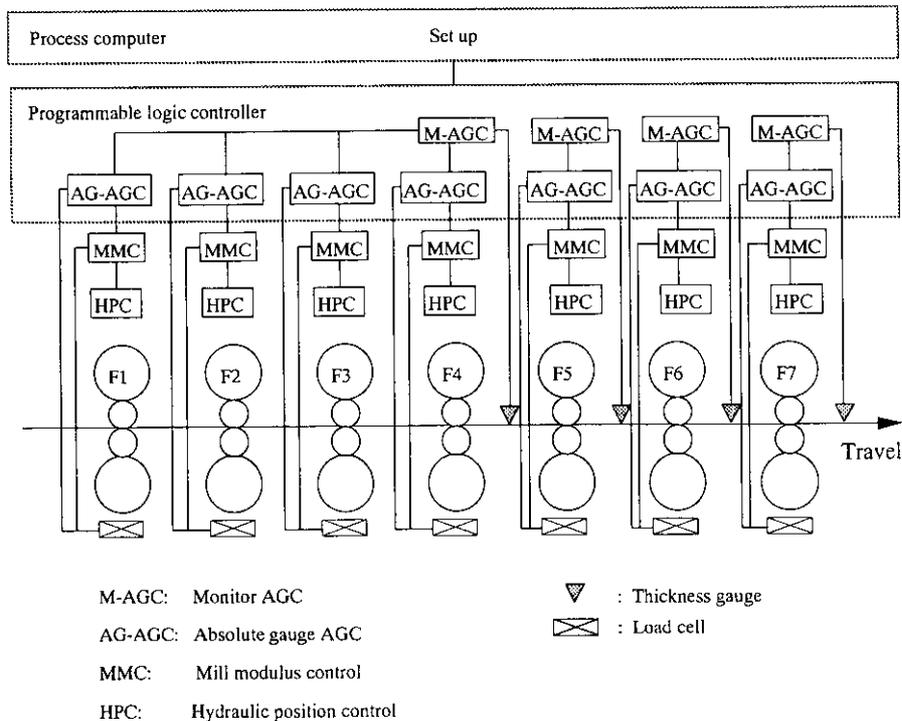


Fig. 6 Outline of automatic gauge control system in No.3 hot finishing mill

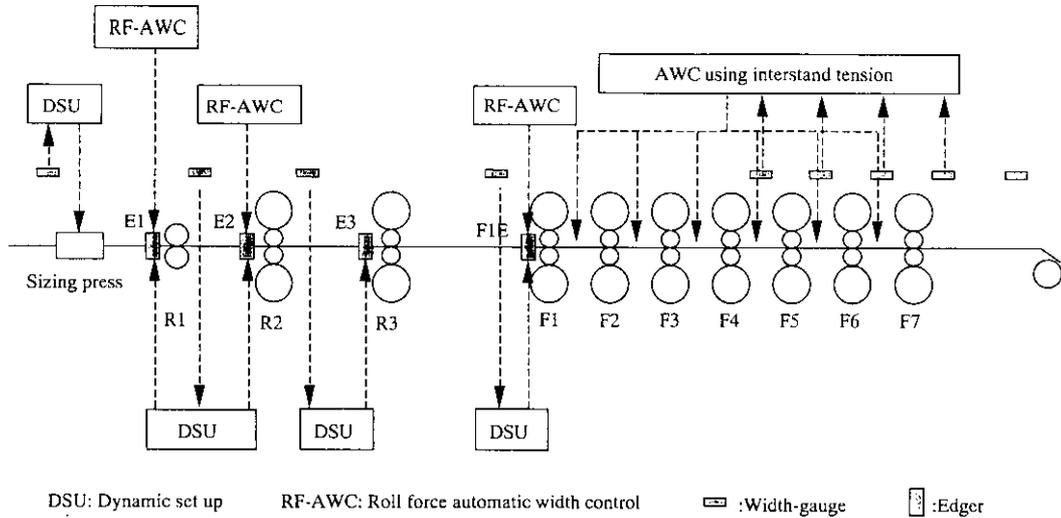


Fig. 8 Outline of automatic width control system in No.3 hot strip mill

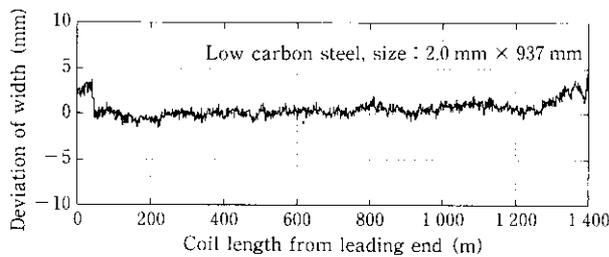


Fig. 9 Example of strip width in longitudinal direction

3.3 板幅の制御技術

巻取り時のコイルの板幅精度を向上させるためには圧延ライン各工程での板幅制御精度を向上させる必要がある。Fig. 8に板幅制御の概要図を示す。幅プレスからダウンコイラーまでの間に9台の板幅計があり、それらの測定結果に基づいて、幅プレスでは金型の圧下量を、粗ミルではエッジャーの圧下量を、仕上ミルではF1エッジャーとスタンド間張力を制御している。Fig. 9に実機における巻取りコイル幅の目標値からの偏差を示す。コイル全長にわたり板幅は目標値に対し+4mm、-2mm以内に制御されており優れた板幅精度を実現している。

3.4 クラウン・形状の制御技術

全スタンドにクラウン制御能力の高いベアクロスミルと強力なワークロールベンダー(WRベンダー)を採用し、クラウンを広い範囲で高精度に制御できるようにしている。Fig. 10にクラウン・形状制御の概要図を示す。予測圧延荷重とロールのプロファイルを用いて、各スタンドで所要のクラウンが得られるように初期クロス角とWRベンディング力をセットアップしている。プロフィール計の実測値を用いて圧延中にプロフィールを制御している。プロフィール計の実測値はセットアップモデルの学習に使われている。F7スタンド出側の平坦度計の出力に基づき目標の板形状になるようにフィードバック制御している。さらに全スタンドでWRベンディング力の荷重運動制御を実施し、荷重変動によるクラウン・形状の変動を抑制している。Fig. 11にクラウンの代表例を示す。板幅方向にほぼ均一な板厚が得られており優れたクラウン精度を示している。

3.5 FDTの制御技術

FDTとCTを高精度に制御することは所要の機械的性質を有する鋼板を得る上で重要である。完全自動の高精度FDT、CT制御シス

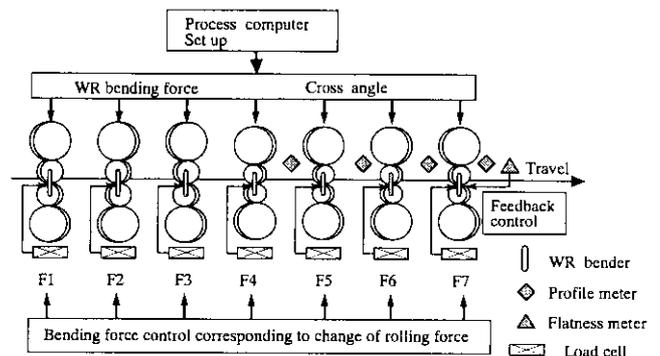


Fig. 10 Outline of crown and flatness control system in No.3 hot strip mill

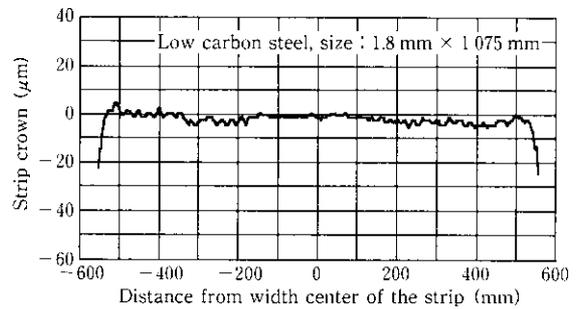


Fig. 11 Example of strip crown

テムを開発した⁹⁾。Fig. 12にFDT制御システムの概要図を示す。トラッキングはFDT制御システムとCT制御システムで情報を共有しておりコイルを仮想分割した切板ごとに仕上ミル入側からコイラーまで一括して行っている。制御は、①シートバー先端が仕上入側温度計(FET)を通過した時点で全長にわたるストリップクーラント噴射パターンを設定する比較的単純なセットアップ制御、②一定長ごとにFET実績と速度パターンからストリップクーラントをON/OFF制御する精度の高いフィードフォワード制御、③仕上出側温度実績からストリップクーラントをON/OFF制御するフィードバック制御から構成されている。①と②は鋼種によって使い分けており、③はすべての鋼種に適用している。Fig. 13に代表例として極低炭素鋼のコイル長手方向のFDT実績チャートを示す。コイル全長にわたりFDTは目標値に対し±15℃以内に制御されており優れた制御精度を

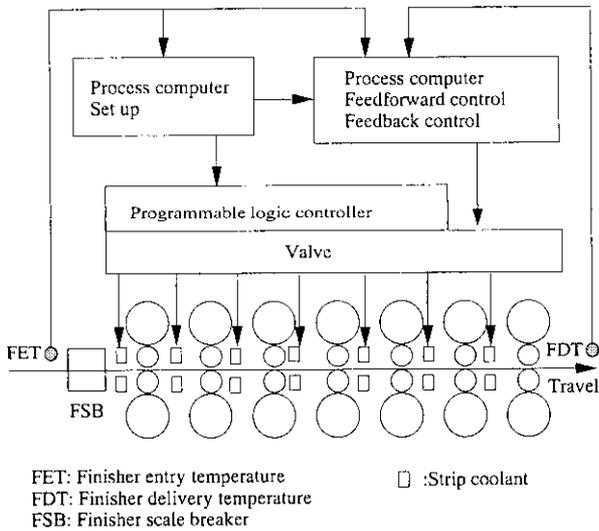


Fig. 12 Outline of finisher delivery temperature control system in No.3 hot strip mill

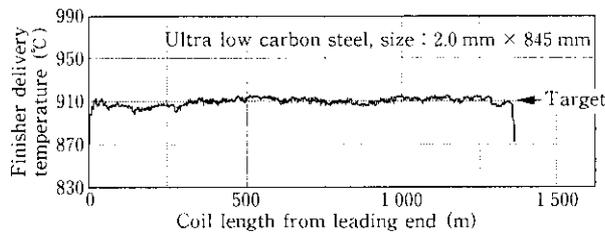


Fig. 13 Example of finisher delivery temperature

実現している。

3.6 CTの制御技術

完全無人化の巻取り温度制御システムを開発した¹⁰⁾。Fig. 14にCT制御システム概要図を示す。水冷ゾーンは21のセクションに細分化されている。注水制御は、①各仮想切板が仕上スタンドに進入する際に行うプリセット、②仕上出側温度実績を取り込んだ後に行うダイナミックセットアップ、③中間温度計からのフィードフォ

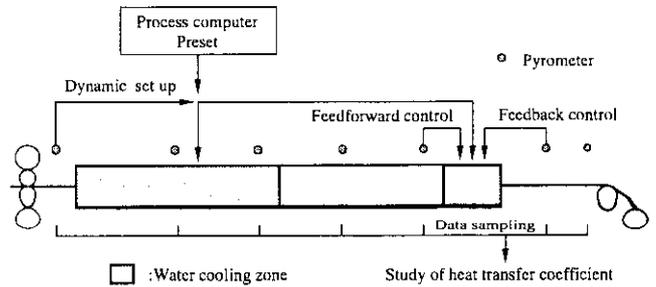


Fig. 14 Outline of coiling temperature control system in No.3 hot strip mill

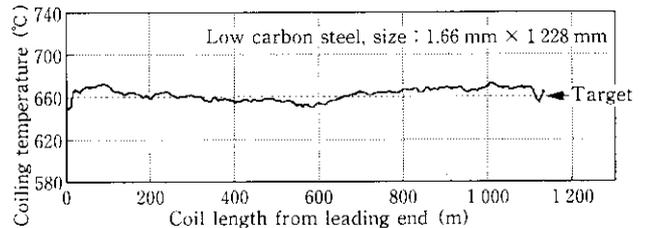


Fig. 15 Example of coiling temperature

ード制御、④冷却設備出側温度計からのフィードバック制御から構成される。Fig. 15に巻取り温度の長手方向分布を示す。コイル全長にわたりCTは目標値に対し±10°C以内に制御されている。制御はすべての切板ごとに行うので、高速通板時や加減速比率が大きい場合でも巻取り温度の変動は小さく、高精度の温度制御を実現している。

4 結 言

千葉製鉄所第3熱延工場は需要家からの厳しい品質要求に応えるため、高寸法精度、高材質精度を造り込むことを目的に建設したミルである。高品質製品製造技術として、ルーバ・張力制御技術、板厚の制御技術、板幅の制御技術、クラウン・形状の制御技術、FDTの制御技術、CTの制御技術の精度向上を図った。いずれの項目においても従来のミルに比較して飛躍的に優れた制御精度を達成することができた。

参 考 文 献

- 1) 小川培夫, 中村武尚, 北尾齊治: 川鉄技報, 27(1995)3, 131-135
- 2) 武智敏貞, 吉田那雄, 中塚伸治, 竹嶋力男, 新田純三, 前田一郎: 材料とプロセス, 9(1996)2, 333
- 3) 及川良介, 竹川英夫, 石川 孝, 弓手崇生, 長田雅史: 材料とプロセス, 9(1996)2, 334
- 4) 福井義光, 竹川英夫, 野村信彰, 吉村宏之, 川瀬隆志, 三吉貞行: 材料とプロセス, 9(1996)2, 335
- 5) 伊藤伸宏, 竹川英夫, 菅田聡一郎, 市井康雄, 藤澤昭雄, 今岡敏夫: 材料とプロセス, 9(1996)2, 336
- 6) 北尾齊治, 新田純三, 市井康雄, 三吉貞行, 湯沢秀行, 金田欣亮: 材料とプロセス, 9(1996)2, 265
- 7) 後藤義人, 吉村宏之: 材料とプロセス, 9(1996)5, 945
- 8) 山本和宏, 加地孝行, 浅野一哉, 川瀬隆志, 新田純三, 野村信彰: 材料とプロセス, 9(1996)5, 936
- 9) 橋本高男, 中田直樹, 前田一郎, 八尋和広: 材料とプロセス, 9(1996)5, 999
- 10) 中田直樹, 前田一郎, 内牧信三, 伊藤伸宏: 材料とプロセス, 9(1996)5, 1000