

光製鐵所のステンレス鋼用第四冷間圧延機の建設と操業

A New No.4 Mill for Stainless Steel Cold Rolling at Hikari Works, Its Construction and Operation

| | | | |
|---|---|--|--|
| 橋本哲郎 ^{*⁽¹⁾} Tetsuro HASHIMOTO | 辻井謙一郎 ^{*⁽²⁾} Kenichiro TSUJII | 賤部謙 ^{*⁽³⁾} Ken TAKARABE | 阿部光範 ^{*⁽⁴⁾} Mitsunori ABE |
| 植松伸夫 ^{*⁽⁵⁾} Nobuo UEMATSU | 篠朝幸 ^{*⁽⁶⁾} Asayuki SHINO | | |

抄 録

ステンレス鋼冷延製品の生産性向上及び品質競争力向上を目的として、光製鐵所に最高速度1200m/minの12段クラスター型圧延機を導入し、1994年11月に操業を開始した。当ミルの特徴は、1)安定した高速圧延の実現、2)高品質冷延材の製造のための高精度制御機能の導入、3)労働生産性を高めるための自動化装置の設置である。本稼働以降、本設備は順調に生産を行い、生産性及び品質の大幅な向上を実現している。

Abstract

For the purpose of improving the productivity and the quality of cold rolled stainless steel sheet products, a new cold rolling mill of the 12-high cluster type with the maximum rolling speed of 1,200m/min was introduced in Hikari Works of Nippon Steel, and started its operation in November 1994. The characteristic features of this mill are; (1) realization of a stable high-speed cold rolling, (2) introduction of various high resolution control systems for the higher quality of sheets, and (3) installation of automatic control equipments for improving labor productivity. The new mill has been running smoothly since its start-up, and has gone far toward improving the productivity and the quality.

1. 緒 言

ステンレス鋼は、耐食性、耐熱性、高強度等に優れた特性を有し、これらの特性を活用した新しい用途拡大と、普通鋼からの品種転換等により、その需要は年々増加している。

このステンレス鋼の中で、ステンレス鋼冷間圧延(以下、冷延と記す)製品は、板の表面品位が商品価値を決定する最大の因子である。また、ステンレス鋼は一般的に普通鋼よりも変形抵抗が大きく、例えば、タンデム圧延などの効率的な圧延が困難である。これらの理由から、ステンレス鋼の冷延には小径ワークロールの圧延機を用いる必要があり、従来より20段のクラスターミル(ゼンジミアミル)が一般的に採用されており、新日本製鐵 光製鐵所においても、3機のゼンジミアミルが稼働中である。

一方、ステンレス鋼冷延製品の市場の拡がりと共に、従来から求められていた表面品位に加えて、板厚精度や板の平坦度に対する市場要求も厳しくなっている。

これらの要求に対応するために、今回、12段クラスター型圧延機(No. 4冷延機、以下4CMと称す)を建設し、1994年11月より稼働を開始した。ここでは、その設備概要及び操業状況について紹介する。

2. 4CMの基本設計

4CMの基本設計として

- (1) 高速圧延による生産性向上
- (2) 高品質冷延材の製造
- (3) 自動化の推進による省力化

の3点を掲げ、これらを実現するために以下の方針で設備設計を行った。

2.1 圧延速度1200m/minの実現

近年、建設されたステンレス鋼冷延用圧延機の最高圧延速度は、年々大きくなる傾向にある(図1参照)。4CM建設にあたり、更な

*⁽¹⁾ 光製鐵所 ステンレス鋼板工場

*⁽²⁾ 光製鐵所 生産管理部 部長代理

*⁽³⁾ 光製鐵所 設備部 掛長

*⁽⁴⁾ ステンレス鋼板営業部 部長代理

*⁽⁵⁾ 日鐵プラント設計(株)

*⁽⁶⁾ 技術開発本部 設備技術センター システム制御技術部
部長代理

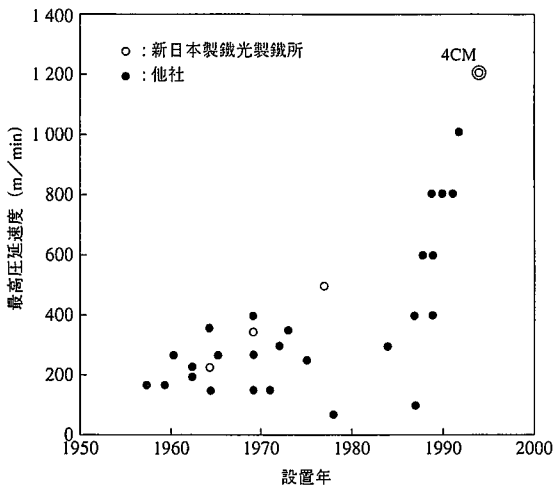


図 1 国内ステンレス鋼冷延用圧延機の最高速度の推移

る高速圧延機的设计を行った。

新日本製鐵は、従来から既設のゼンジミamilで板とワークロールの冷却性に優れたソリュブル系圧延油を採用している。このソリュブル系圧延油を用いたステンレス鋼冷延の表面品位造込み技術と高速圧延時の圧延形状安定性を確保するための自動形状制御(Automatic Shape Control: ASC)機能を組み合わせることにより、表面品位にも優れ、かつ、業界最高の最高圧延速度1200m/minの高速圧延を実現した。

2.2 板厚、形状制御機能の充実

電子機器製品の加工精度厳格化等、板厚精度に対する厳格化が進んでいる。これに対応するために、4CMの自動板厚制御(Automatic Gauge Control: AGC)機能として、フィードフォワードAGC、フィードバックAGC、マスフローAGCに加えて、張力外乱による板厚精度低下を抑制する機能を導入し、従来レベルをはるかに上回る板厚精度を実現した。

また、形状精度についても、形状検出器及び自動形状制御機能を導入し、更に、12段クラスター型圧延機の形状制御性を拡大するための初期設定条件の改善を図ることにより、平坦度に優れたステンレス鋼冷延製品の製造を可能とした。

2.3 自動化設備の導入

4CMの生産性向上及び省力化を図るために、受入れコイルの現品識別作業以後、圧延完了後の次工程へのコイル搬送まで、コイルハンドリング、圧延、ロール搬送等の圧延にかかわるほぼ全作業についての自動化を行った。特に、従来のリバース圧延機が生産性阻害要因の一つであったアイドルタイムを短縮するための自動化設備を重点的に設置した。

3. 設備仕様及び設備構成

3.1 本体装置

4CMの設備レイアウトを図2に、4CMの主な仕様を表1に示す。圧延されるコイルは入側テンションリールに挿入され、圧延を終了したコイルは出側のテンションリールから抜き取られ、コイルカーにて移動された後に、フープ結束及び識別記号を自動マーキングされ、次工程に送られる。

表 1 設備仕様

| 区分 | 項目 | 仕様 |
|-------|---------|---|
| ライン仕様 | ミルタイプ | 12段クラスターミル |
| | 生産能力 | 10 000 t / 月 |
| | 最高圧延速度 | 1 200 m / min |
| | 最大圧下力 | 1 000 t |
| | 最大張力 | 50 t |
| | ロール径 | ワークロール : φ80~120mm 中間ロール : φ210~225mm バックアップロール 大径 : φ547~550mm 小径 : φ297~300mm |
| | 圧延油 | ソリュブル系圧延油 |
| | フィルター | ホフマンフィルター |
| 材料仕様 | 品種 | ステンレス鋼 |
| | 板厚 | 素材板厚 : 0.7~4.0mm 製品板厚 : 0.2~1.0mm |
| | 板幅 | 600~1 300mm |
| | 最大コイル重量 | 27.3 t |
| | コイル内径 | φ660mm |
| | 最大コイル外径 | φ2 300mm |

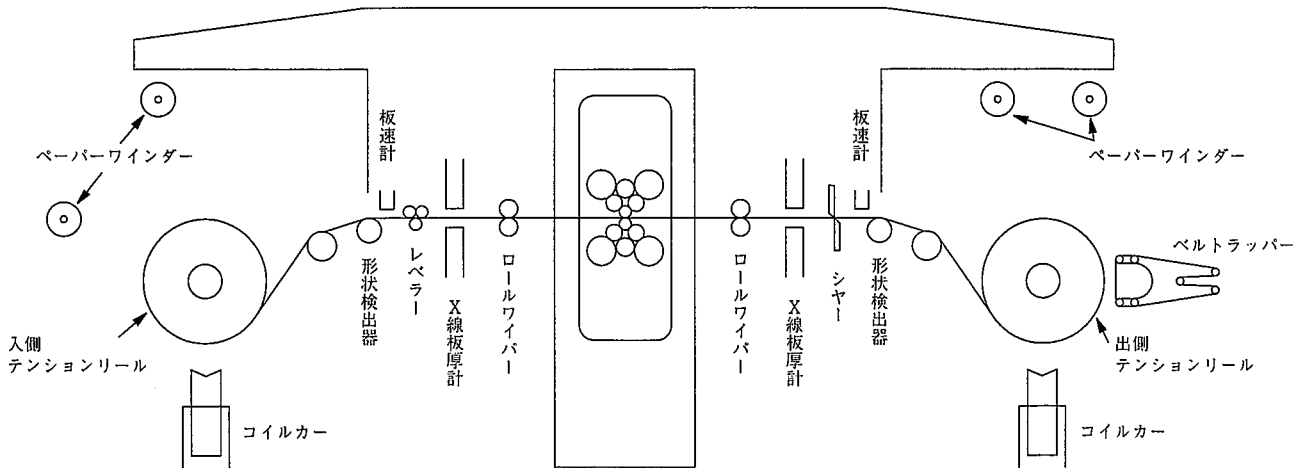


図 2 設備レイアウト

また、板厚精度、板形状精度の向上を目的として、ミルの左右に一对のX線板厚計、レーザ式速度計、圧電素子組込形状検出器を設置した。

ミルは交流モータにより減速機を介して、上下二組の中間ローンを駆動している。ミル本体の圧下力は最大1000tであり、油圧押し上げ方式の直動型のサーボ制御を行っている。最大圧延速度は1200m/minであり、板及びロールの冷却性を確保するために、ソリュブル系圧延油を使用している。その濾過設備としてホフマンフィルターを、更に圧延油汚れの板への付着を防ぐために、圧延油中の鉄分除去装置としてマグネットセパレーターを設置した。

また、電気設備面においては、主機(ミル及び左右テンションリール)には、高いトルク応答性を得るために、サイクロコンバータ駆動を採用した。リール電動機は1:6の界磁コーンを持つが、高加減速率時に必要な高精度、高応答の界磁弱め電流制御を実現するために、界磁磁束補正制御を行っている。サイクロコンバータより発生する無効電力の変動抑制制御は、サイクロコンバータ循環電流制御とフィルタ及びコンデンサの組み合わせにより行うようにした。

3.2 付帯装置

ステンレス鋼の冷延においては、圧延張力が大きいために、コイル層間のスリップによる表面疵を防止するために合紙が使用さ

れている。4CMには、このロール状に巻かれた合紙をコイルに挿入する装置として、左右のテンションリールの上部にペーパーワインダーがあり、ミルの背面にそれぞれのペーパーワインダーとの合紙の受払いのための搬送装置を設置した。

ワークロール組替は、ミル前面から軌条に載せた組替台車によって、使用したワークロールを抜き出すと同時に研削済のワークロールを挿入できるようにした。

3.3 制御装置

4CMの制御システム構成を図3に示す。制御装置は、プロセスコンピュータ(PC)1台、プログラマブルロジックコントローラ(PLC)10台、高速データウェイで構成される。PCは上位生産管理計算機と圧延機用PLCとの各種情報の演算伝達の外、ロールショップ内のロール情報及びトラッキング機能を受け持つ。PLCの構成は、高精度AGCの高速演算用としてAGC-PLCを2台、自動圧延を可能とするために主幹-PLCを2台使用していることを特徴としている。

4. 4CMの操業と品質

4.1 板厚制御方式と板厚精度

4CMのAGCシステム構成を図4に、各AGC機能の概要を表2に示す。高精度の板厚制御を実現するために、フィードフォワード

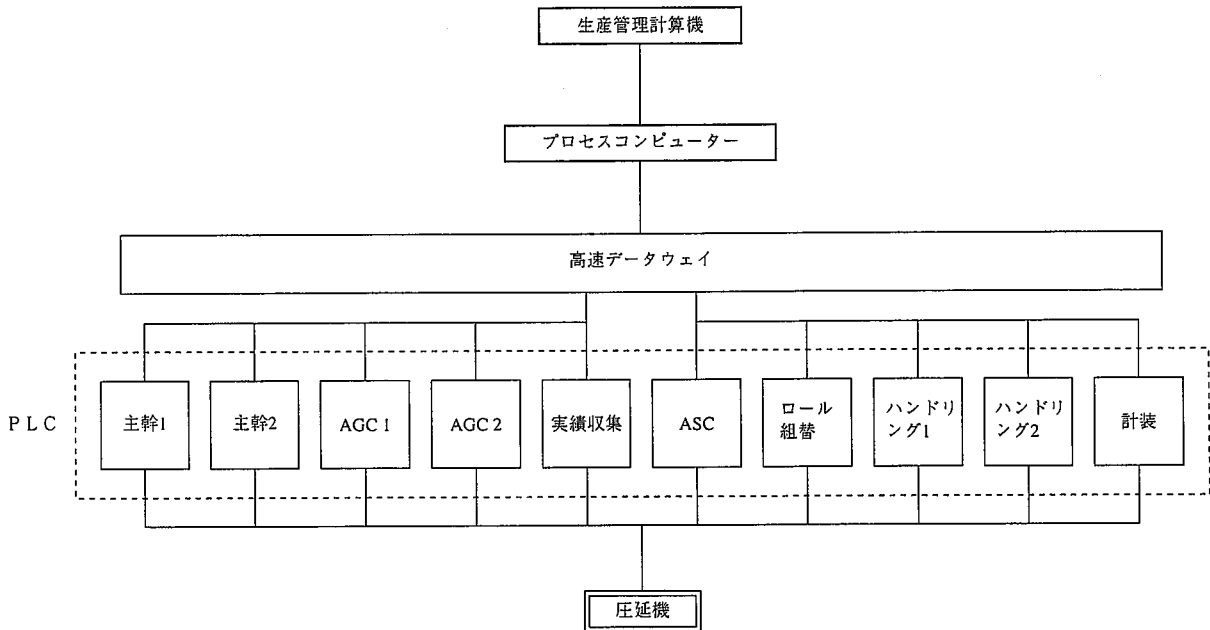


図3 制御システム構成図

表2 4CMのAGC機能概要

| 制御方式 | 機能 | 制御方法 | |
|--------------|--|-----------|------|
| | | ロールギャップ制御 | 張力制御 |
| フィードフォワードAGC | 入側設定板厚と入側板厚計出力との偏差を検出し、入側板厚の周期的変動を修正する。 | ○ | ○ |
| フィードバックAGC | 出側設定板厚と出側板厚計出力との偏差を検出し、出側板厚のオフセット的誤差を修正する。 | ○ | ○ |
| マスフローAGC | 入側板厚、入側板速、出側板速から出側板厚を推定し、出側設定板厚との偏差により板厚制御を行う。 | ○ | ○ |
| コイル径変動補償 | コイル先端の段差によるコイル周速変化を抑制し、張力変動を抑制する。 | × | ○ |

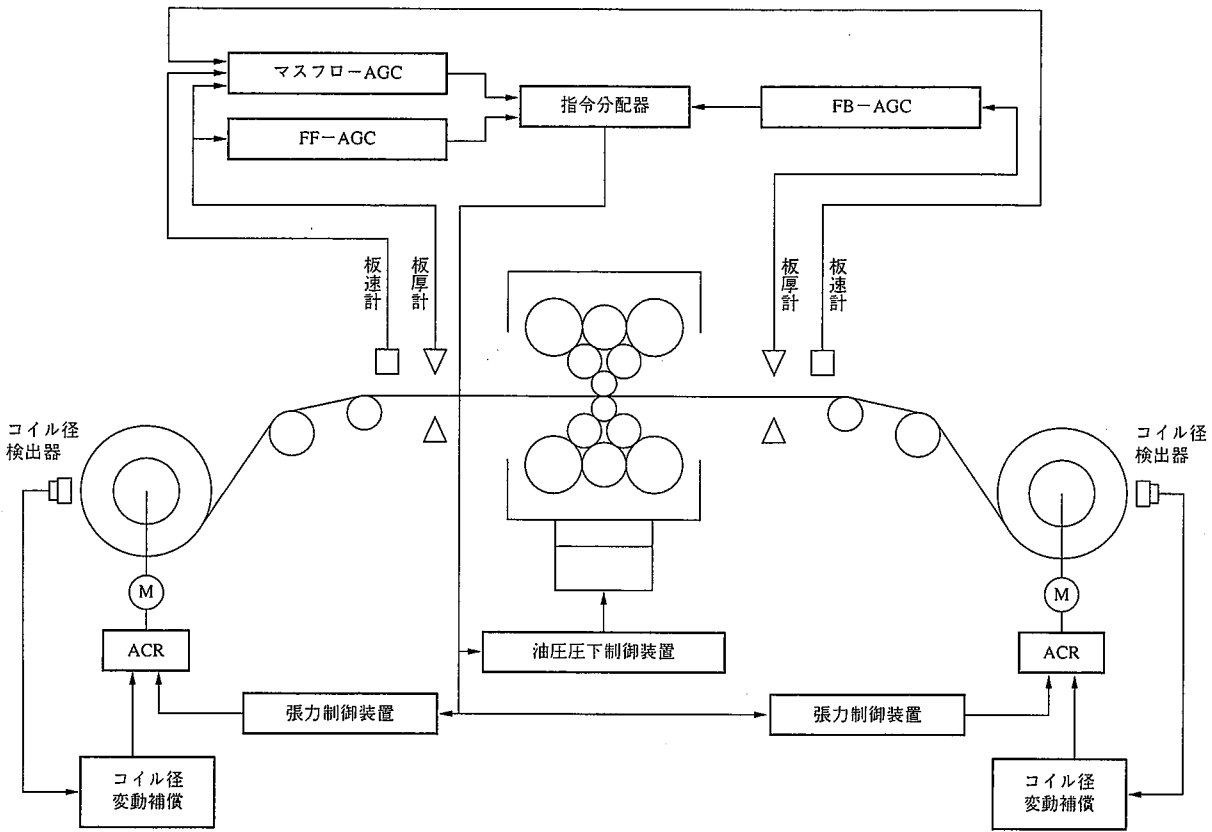


図4 AGCシステム構成図

AGC, フィードバックAGC, マスフローAGCを採用し, ロールギャップ及び圧延張力の制御により, 板厚制御を行っている。

また, 従来のリバース圧延機の多くは, テンションリールにより圧延張力を確保させているため, テンションリールに巻き付けられたコイル先端の段差に起因した微小なコイル径変動が, 圧延の張力変動を引き起こし, この張力変動が板厚精度を低下させる要因となっていた。そこで, 4CMではこの張力変動を抑制する機能として, コイル径変動補償機能を導入した。これは, コイル径の変化をギャップセンサによって検出し, コイル周方向のトラッキングによるコイル周速一定制御を行う機能である(図5参照)。これにより, コイル径変化による張力変動の抑制が可能となり(図6参照), 大幅な板厚精度の改善が図られた。

この結果, コイル中央の板厚変動を1.3%以下にし, 既設のミルに比べて板厚精度を大幅に向上させた。更に, 熱間圧延工程でクラウンを小さくしたホットコイルの製造技術と, 4CM圧延機を組み合わせることにより, 板幅方向の板厚偏差までを含めた総合板厚精度として2.5%を実現した(図7参照)。

4.2 自動形状制御機能と形状実績

4CMのASCシステム構成を図8に示す。形状制御は, バックアップロールクラウン調整, 中間ロールベンディング及び油圧压下レベリングにより行っている。本ASC機能の概要を表3に示す。自動形状制御方式として, 鋼種, 板幅, 压下率等の圧延条件の変化に対応して初期条件設定を行うプリセット制御と, 圧延下力や圧延張力の変動による圧延中の形状変化に対応するための, 形状検出信号によるフィードバック制御を用いている。また, 圧延実績に基づいた学習制御機能を取り入れており, プリセット制御の精度向上を

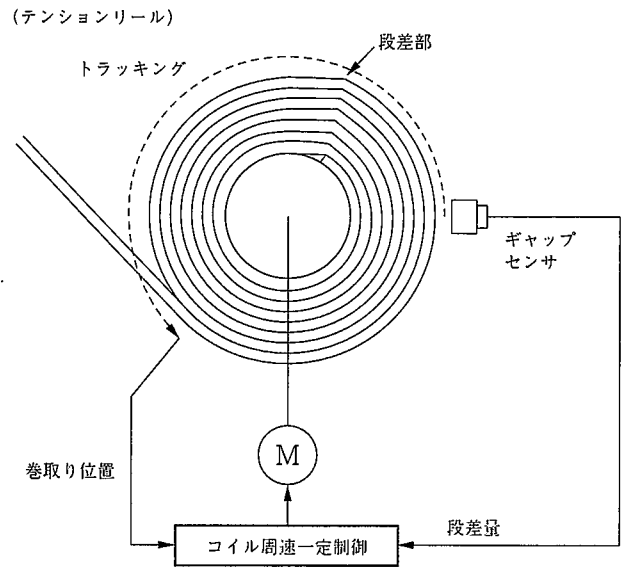


図5 コイル径変動補償概念図

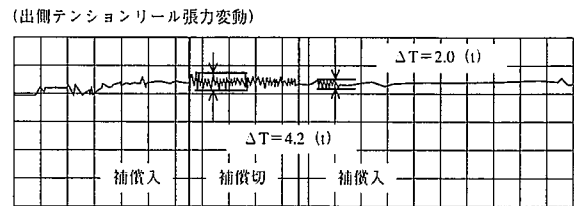


図6 コイル径変動補償による張力変動実績

図っている。

4 CMの自動形状制御は、板の形状を6次の直交関数に近似、展開することによって、各次数成分の形状修正に最適なアクチュエータの制御を行っており、主として1次成分は圧下レベリング、2次成分は中間ロールベンダー、4次及び6次成分はバックアップロールクラウン調整で行っている。特に、コータバックルなどの複合伸び形状の制御には、適切なバックアップロールクラウン調整が必要である。従来の12段クラスターミルのバックアップロールクラウンの動作方法は、上バックアップロールクラウンについては、圧延

中のフィードバック制御のために各ロールが幅方向で対称に独立したロール偏心機構を有している。しかし、下バックアップロールクラウンについては、プリセット制御のみであるため、軸回転のみの偏心機構であった。4 CMでは、形状制御能力を拡大するために、新日本製鐵独自の方法として、下バックアップロールクラウンについても幅方向対称に独立したロール偏心機構を持たせ、より多くのプリセット条件の選択を可能とした。

これらの機能により、圧延中の形状安定性が向上している。図9に耳伸び形状を狙った圧延における目標形状と実績形状の例を示

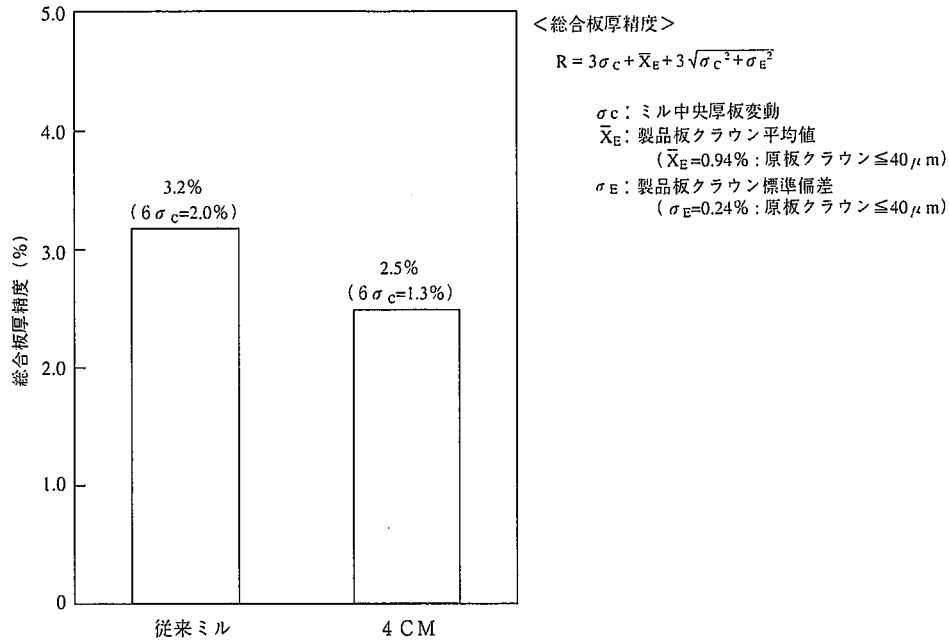


図7 総合板厚精度比較

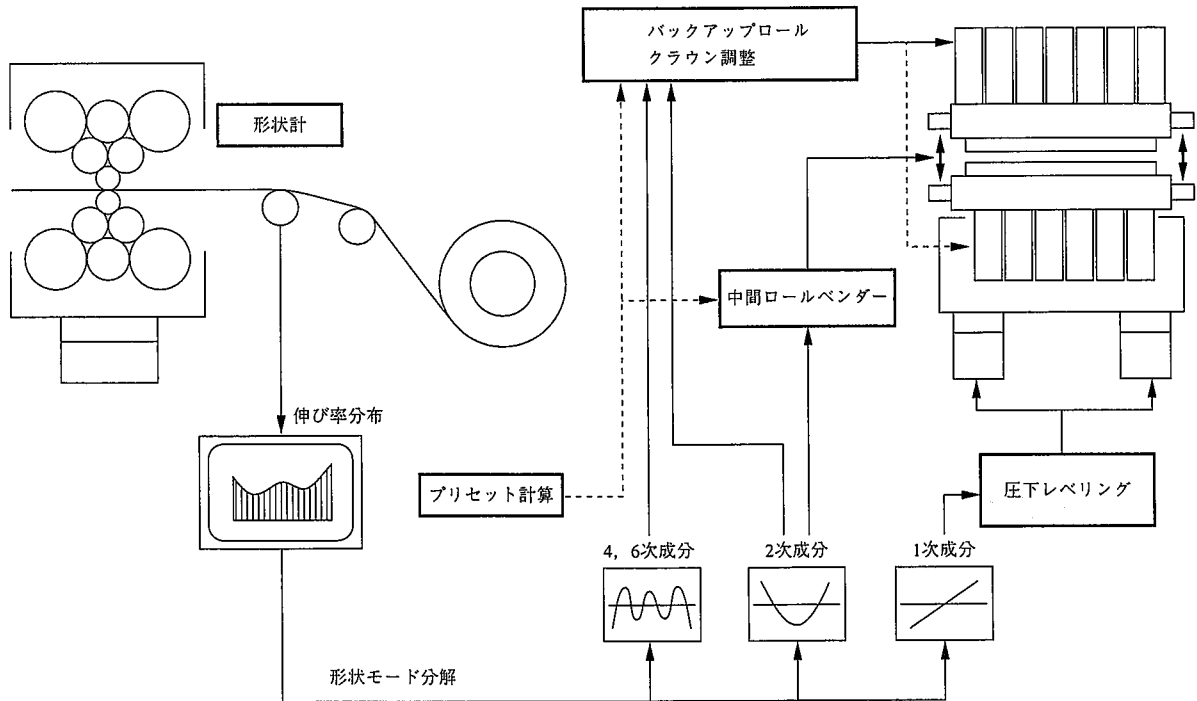


図8 ASCシステム構成図

表 3 4CMのASC機能概要

| 制御方式 | 機能 | 制御方法 | | |
|-----------|--|---------------|-----------|----------|
| | | BURクラウン調整* | 中間ロールベンダー | 油圧下レベリング |
| プリセット制御 | 圧延開始前の初期設定を行う。 | ○ | ○ | × |
| フィードバック制御 | 目標形状と圧延中の形状検出器出力との偏差によりオンライン形状制御を行う。 | ○ (上BURのみ) | ○ | ○ |
| 学習制御 | 圧延実績とプリセット値との偏差を、それ以降のプリセット制御に反映し、プリセット制御の精度向上を図る。 | ○ (上BURのみ) | × | × |

* BUR：バックアップロール

鋼種 SUS304
 入側板厚 0.66mm
 出側板厚 0.59mm
 板幅 1020mm

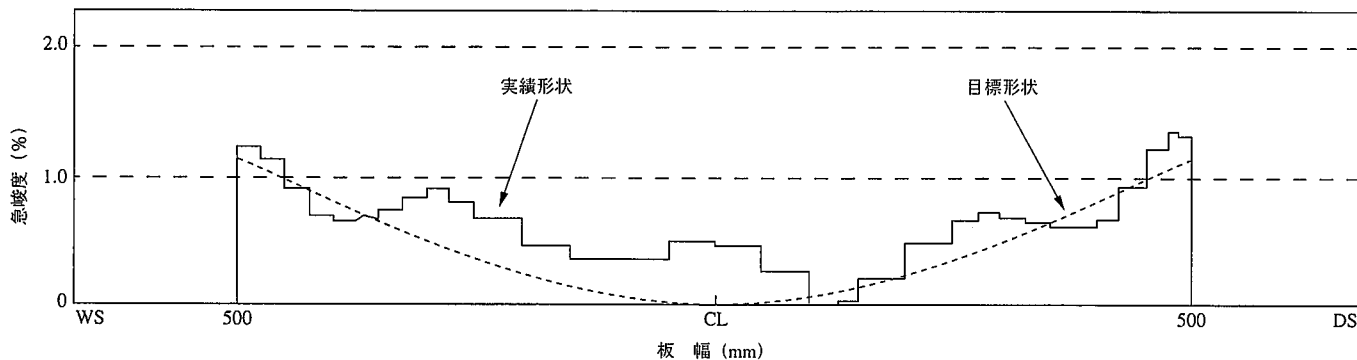


図 9 形状制御実績例

す。非常に高い形状制御性が確保されることが確認されており、これにより、形状制約による能率低下が防止できた。更に、図10に示すように、既設のミルに比較して、形状厳格材の平坦度が飛躍的に良好となり、冷延製品の非価格競争力の向上が図ることができた。

計算及び形状プリセット計算の各機能により自動的に実施される。また、尾端減速停止、パス切替等のリバース圧延の通常圧延作業に加えて、コイル内の板厚変更点での走間板厚変更やパス数調整のための空パス等の非定常圧延作業についても自動化を実現した。

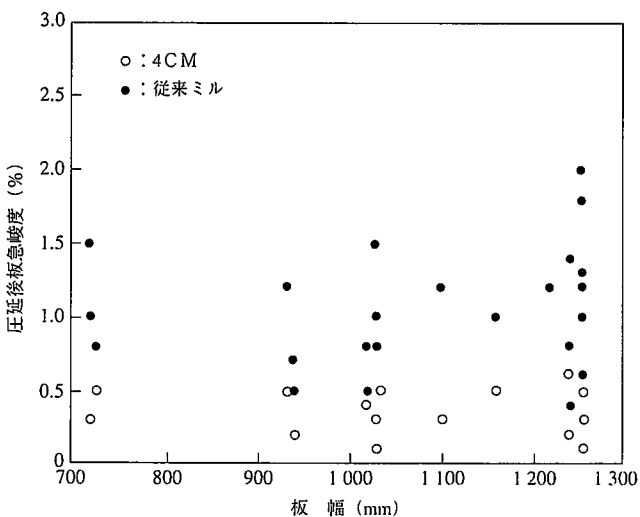


図 10 形状厳格材圧延後板形状実績

コイルチェンジ作業においては、スイングアーム式のコイル先端誘導装置の導入によりコイルスレディング作業を自動化し、また、専用のスリーブチャージャーの設置によりスリーブ挿入作業を自動化すると共に、コイル払出し作業との干渉を回避することにより時間短縮を図った。

ワークロール組替については、専用の組替台車により、ミル内の板の有無にかかわらず自動組替を可能とし、更に各シーケンスを最適化することによってむだ時間の排除を行った。

付帯作業についても以下の自動化設備を設置した。合紙のハンドリングについては、上位の生産管理計算機からの指示に基づき、合紙を圧延コイルにタイムリーに供給するために、ミル背面に合紙の仮置き台を設置し、ストッカーからペーパーワインダーへの合紙の搬送を迅速自動化した。また、右テンションリール上部に可動式のペーパーデフロールを設置し、コイルへの合紙挿入の自動化及び高速圧延中における合紙の安定挿入を可能とした。

ワークロールハンドリングについては、ロールの識別及びトラッキングをミルのプロセスコンピュータによって管理しており、ロール研削及びロール搬送作業を自動化し、研削、搬送のスケジュールリングはオペレータ作業とした。

これらの自動化設備により、ミルの運転要員の2名に削減を実現した。更に、リバース圧延機におけるアイドルタイムの短縮が可能となり、既設ミルに比較してミルモーター稼働率を約24%向上させた(図11、12参照)。

4.3 自動化による省力化

圧延機及びその付帯作業に、省力化及びミルモーター稼働率向上のための自動化設備を積極的に導入した。

まず、圧延作業開始時の圧延条件の初期設定はプロセスコンピュータによるパススケジュール計算、圧延荷重と張力プリセット

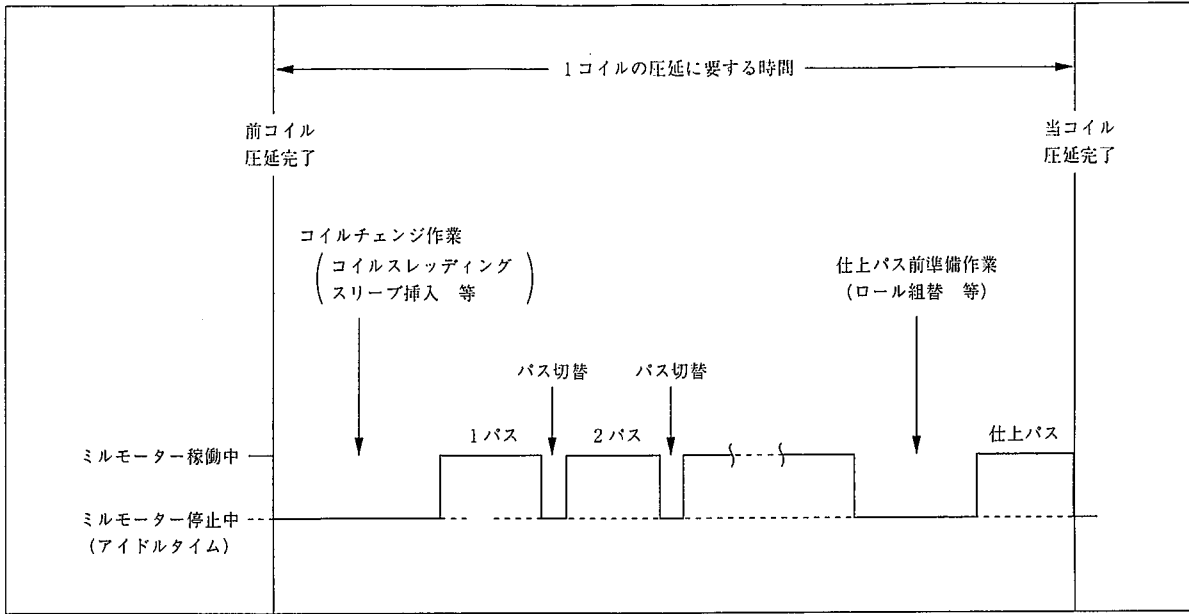


図 11 リバースミル圧延パターン

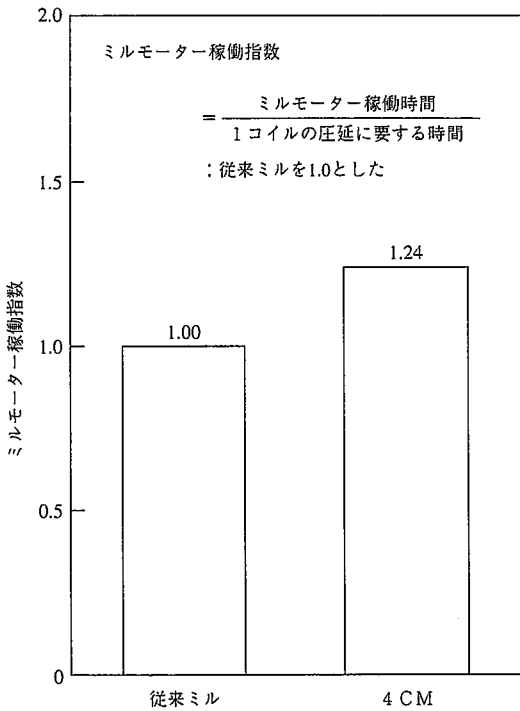


図 12 ミルモーター稼働指数の比較

5. 結 言

ステンレス鋼板の生産性向上、品質向上を目的に建設した本設備は、稼働開始から順調に立ち上がり、光製鐵所の主力ミルとして、その性能を十分に発揮している。

最後に、本設備の建設にあたり、多大なご協力をいただいた各社に深い感謝の意を表します。