
千葉製鉄所第3熱延工場における自動化・無人化技術

Automatic Operation Technologies Adapted in No.3 Hot Strip Mill at Chiba Works

吉村 宏之(Hiroyuki Yoshimura) 川瀬 隆志(Takashi Kawase) 前田 一郎(Ichiro Maeda)

要旨：

川崎製鉄千葉製鉄所では、1995年5月第3熱延工場の建設を完了した。建設にあたっては、「3人のオペレーターにより1ヶ所の管制室で圧延操業を実現すること」を目標に、徹底した自動化・無人化技術の開発、適用を行った。主な適用技術は、入側におけるスラブ受入時の置場自動決定、圧延操業における品質制御とミルペーシングの高精度化、出側ではコイラー全自動巻取制御、コイル全自動搬送などであり、さらにオペレーターの作業負荷軽減のため仕上ミルワークロール供給自動化、マンマシンインターフェースの充実などを実施した結果、品質レベルの高位安定化を達成するとともに、労働生産性も従来の約5倍に向上した。

Synopsis：

In the construction of No.3 hot strip mill, completed in May 1995 at Kawasaki Steel Chiba Works, thoroughgoing automation and unmanned operation technologies were developed and applied to realize a rolling operation with only one control room and a crew of three operators. The main technologies applied for this purpose include automatic positioning of slabs when received at the entry side, high-level quality control in the rolling operation, high-accuracy mill pacing, fully-automatic coiling control at the delivery side coilers, fully-automatic coil transportation, and others. To lighten the loads on operators, automatic work roll supply was adopted at the finishing mill and man-machine interface was upgraded. As a result, product quality has been stabilized at a high level and labor productivity has been improved to approximately five times the former level.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Automatic Operation Technologies Adapted in No.3 Hot Strip Mill at Chiba Works



吉村 宏之
Hiroyuki Yoshimura
プロセス技術部 主査
(課長)



川瀬 隆志
Takashi Kawase
千葉製鉄所 制御技術
部熱延制御課 主任部
員(課長補)



前田 一郎
Ichiro Maeda
千葉製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(掛長)

要旨

川崎製鉄千葉製鉄所では、1995年5月第3熱延工場の建設を完了した。建設にあたっては、「3人のオペレーターにより1ヶ所の管制室で圧延操業を実現すること」を目標に、徹底した自動化・無人化技術の開発、適用を行った。主な適用技術は、入側におけるスラブ受入時の置場自動決定、圧延操業における品質制御とミルベージングの高精度化、出側ではコイラー全自動巻取制御、コイル全自動搬送などであり、さらにオペレーターの作業負荷軽減のため仕上ミルワークロール供給自動化、マンマシンインターフェースの充実などを実施した結果、品質レベルの高位安定化を達成するとともに、労働生産性も従来の約5倍に向上した。

Synopsis:

In the construction of No.3 hot strip mill, completed in May 1995 at Kawasaki Steel Chiba Works, thoroughgoing automation and unmanned operation technologies were developed and applied to realize a rolling operation with only one control room and a crew of three operators. The main technologies applied for this purpose include automatic positioning of slabs when received at the entry side, high-level quality control in the rolling operation, high-accuracy mill pacing, fully-automatic coiling control at the delivery side coilers, fully-automatic coil transportation, and others. To lighten the loads on operators, automatic work roll supply was adopted at the finishing mill and man-machine interface was upgraded. As a result, product quality has been stabilized at a high level and labor productivity has been improved to approximately five times the former level.

1 緒 言

「高機能で信頼性の高い競争優位のホットプロセス」の実現を目指し千葉製鉄所西工場に第3熱延工場を建設した¹⁻⁶⁾。この新しいプロセスでは「エンドレス熱間圧延技術」を中核とした、当社がこれまでに開発した多くの圧延技術を具現化した。さらに、品質レベルの高位安定化、最強のコスト競争力、魅力ある職場環境の実現などを旨として徹底した自動化、無人化を達成した。本報では、自動化・無人化導入の考え方と特徴的な設備技術について述べる。

2 自動化・無人化技術のコンセプトと概要

第3熱延工場における自動化・無人化のコンセプトは以下の4項目である。

- (1) 人の介入を排除することによる操業の安定化
- (2) 中規模製鉄所として国際競争力を維持するための労働生産性向上
- (3) 前後プロセスとの同期連続操業の実現
- (4) 快適職場環境の構築

そこで、これらを実現するために必要な技術や仕組みについて検討を行った(Fig. 1)。その結果より圧延操業の要員数および配置としては「1ヶ所の管制室で、3人のオペレーターによる圧延操業の実現」を自動化・無人化の目標とした。適用した技術のマップおよび第3熱延工場のレイアウトを Fig. 2 に示す。

まず、入側設備においてはDHCR(direct hot charge rolling)材、HCR(hot charge rolling)材、CCR(cold charge rolling)材の受入から加熱炉装入までを自動化した。DHCR材は、連铸設備と同期して受け入れ⁷⁾、加熱炉に装入する。HCR材、CCR材についてはスラブヤードを経由するが、スラブ受け入れ時の置き場自動決定および圧延順決定後のスラブハンドリング、加熱炉への装入の自動化を実施した。

次に、圧延操業に関しては「オペレーター手動介入ゼロ」を目標とし、品質制御の高度化および、ミルベージング制御の高精度化をはかった。板厚制御、板幅制御、クラウン・形状制御、ストリップ冷却制御など品質制御についてはスタンド間センサーをはじめ計測情報の充実をはかり、ダイナミック制御の高応答化、セットアップの高精度化を達成した⁸⁾。また、ミルベージング制御については、搬送予測モデルの厳密化および加熱炉燃焼制御、コイルヤード操業との連動により自動化を実現した。

さらに、出側においてはコイラーの全自動巻取制御、コイルの全自動搬送を実施して無人化を達成している。

* 平成8年11月12日原稿受付

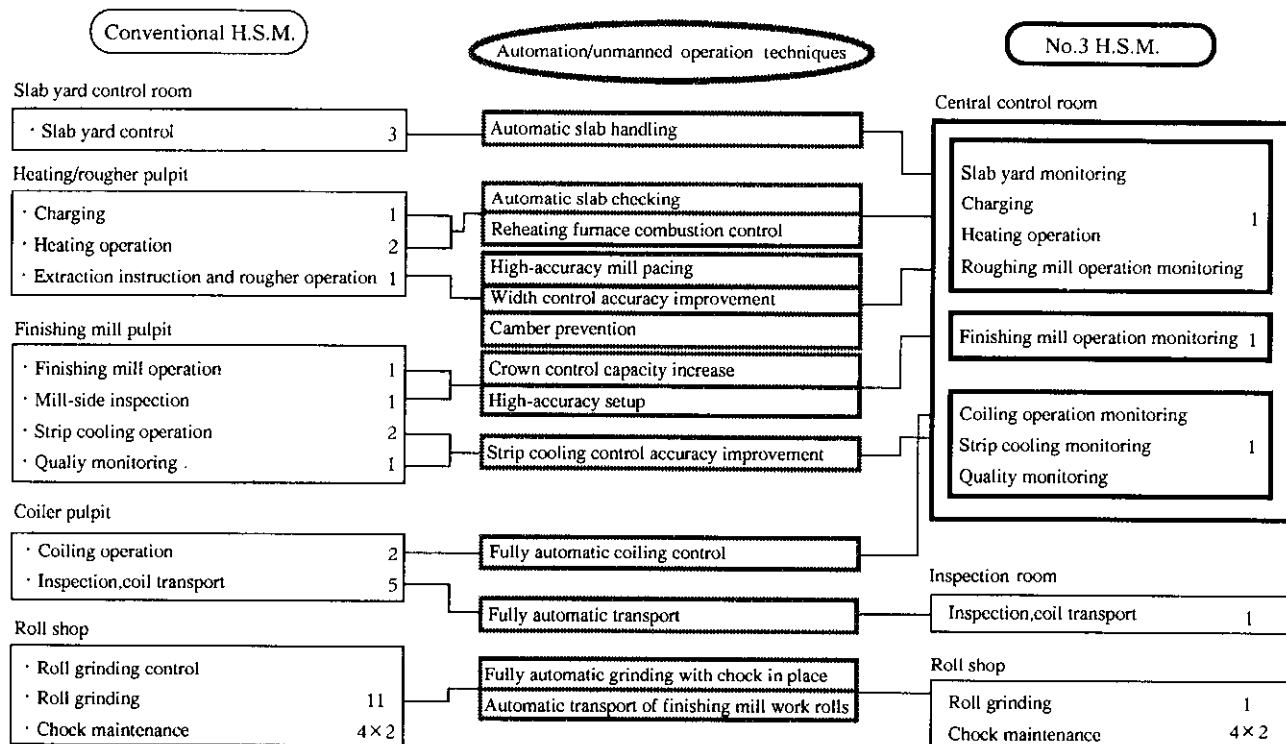


Figure : number of operators

Fig. 1 Scheme and techniques for automation/unmanned operation

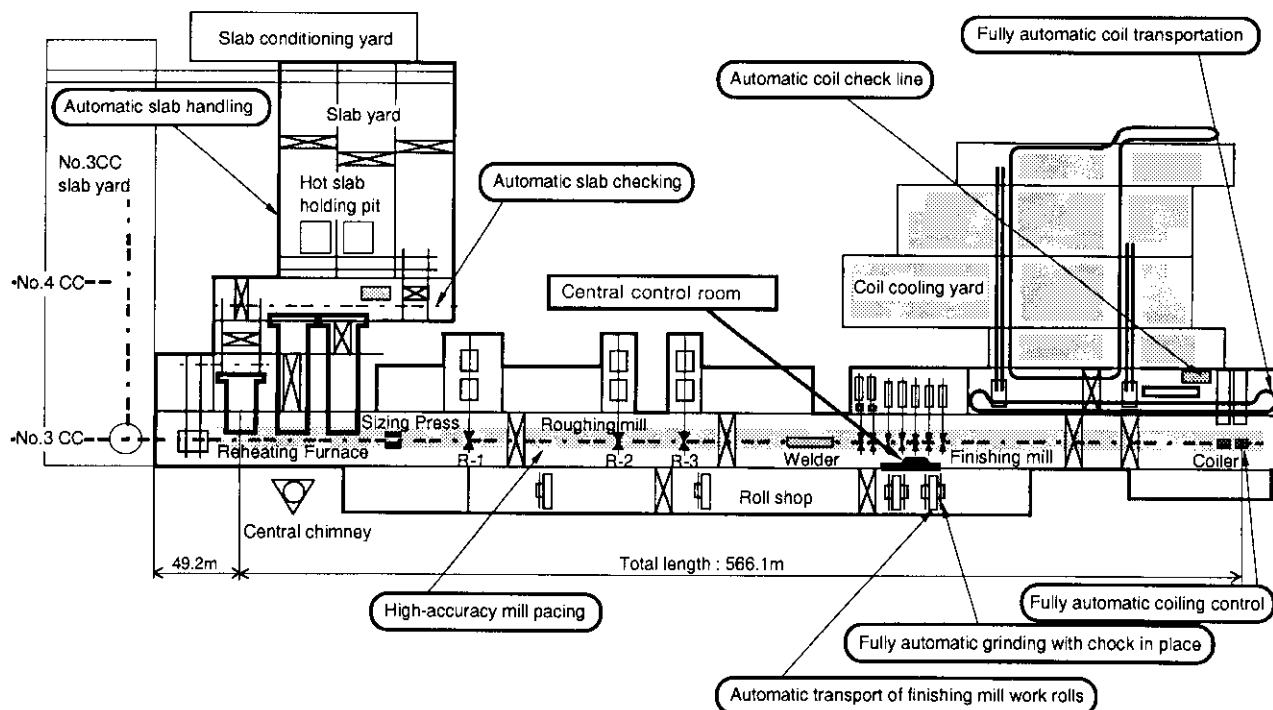


Fig. 2 Layout of Chiba No.3 hot strip mill

一方、自動化の達成すべき内容としては、圧延操業に直結する業務だけでなく、これに付帯して発生する業務にも少人数で対応できる事が不可欠である。そこで、これらを達成するために、仕上ミルへのワークロール供給の自動化、マンマシーンインターフェイスの

高機能化を実施した。

これらの結果、「オペレーター3人による操業」が実現し、従来に比べ約5倍の労働生産性向上を達成することができた (Fig. 3)。

以下に適用した自動化・無人化技術について述べる。

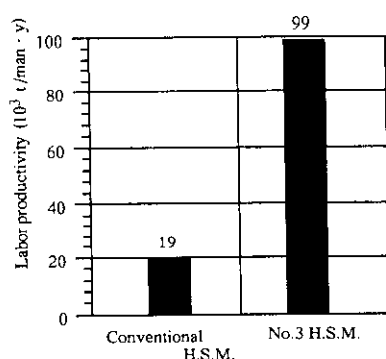


Fig. 3 Labor productivity

3 スラブヤードと装入の自動化

スラブヤード→加熱炉の設備レイアウトとスラブ搬送ルートを Fig. 4 に示す。

連続鋳造工場、熱延工場の操業状態の変化を吸収しつつ最適操業を行うために以下のような仕組みを導入することでスラブ搬送の自動化を達成し、従来に比較して狭いスラブヤード（面積比が第2熱延工場の45%）での操業が可能になった。

自動化を達成した最大のポイントは、スラブヤードでの配替を最小限に抑えられる設備、システムを構築したことである。

設備的にはレイアウトを Fig. 4 のようにし、スラブを連続工場から受け入れ、配替せずとも一方向の流れで加熱炉まで搬送することを可能とした。

システムのには、スラブ受入において、事前に圧延計画を作成し、スラブ装入、加熱、圧延を想定して同一属性のスラブを同じ山に積むように、自動でスラブ置き場を決定することを基本とした。しかし、スラブヤードに滞留スラブが多く、同一山の全スラブが同一属性にならないこともある。そこで、加熱炉装入の前日に行う命令組（圧延順の仮決定）において、すでにある山のスラブ構成をもとに圧延順を決めることにより、配替を最小限にしている。

さらに、加熱炉装入数時間前に命令組の最終決定をオペレータが実施し、自動で加熱炉まで搬送される。

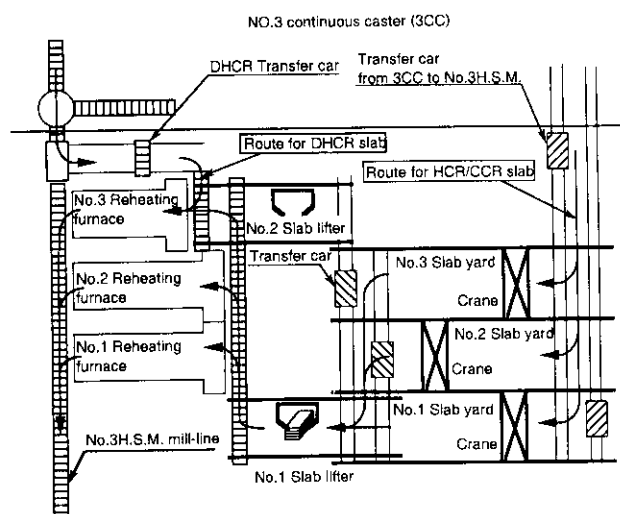


Fig. 4 Layout of slab yard and reheating furnace

このように、スラブヤードから加熱炉にいたるスラブ搬送の自動化を達成したので、入側担当オペレータの主体業務は、スラブ搬送の監視、DHCR 材と HCR/CCR 材の圧延順の計画となった。

4 コイラーとコイル搬送の自動化

本工場ではコイラーおよびコイル搬送設備の完全自動化を実施して、出側の無人化を達成した。以下に主要なポイントを示す。

4.1 巻取り運転の完全自動化

従来、巻取り運転におけるオペレータの手動介入としては、ピンチロールギャップ調整、巻取り後のコイル尾端合わせ、圧延材先端曲がり発生時のサイドガイド開放操作の3つが主なものであった。これらの手動介入を一掃すべく設備および制御系の設計を行った。

コイラー設備の設備諸元を Table 1 に示す。

ピンチロールについては、圧下装置に油圧サーボシステムを採用し、Fig. 5 に示す押し力制御を導入したことにより、ギャップ調整の完全自動化を達成した。

コイル尾端合わせについては、マンドレル駆動への極低速運転可能な交流モータの適用、高応答尾端検出センサーの採用により、設備性能の向上を図った上で、Fig. 6 に示す精密演算による尾端位置停止制御を導入したことにより、高精度なコイル尾端位置停止が可能となり、オペレータの手動調整は不要となった。

サイドガイドについては、全ストローク高速油圧サーボ方式のサイドガイドを採用したことにより、先端曲がり発生時の通板性を確保しながらセンタリング性能を大幅に向上することができ、手動介入は不要となった。

4.2 コイル抜取搬送作業の完全自動化

コイラー出側ではコイルの抜取搬送、マーキング、バンド掛け、コイル内径端合わせなど、コイル抜取から次工程への搬送まで完全

Table 1 Specification of down coiler equipment

Mandrel	Type	Double expand mandrel
	Drive system	Direct coupled with motor
	Coiling speed (m/min)	Max. 1 680
	Diameter (mm)	772(at full expansion)
	Motor (kW)	500 ~ 200/535 rpm × 2
Wrapper roll	Number	4(for each down coiler)
	Gap adjustment	Hydraulic servo system
	Wrapping force (kN)	700
	Diameter (mm)	380
Pinch roll	Motor (kW)	40 ~ 1 000/1 600 rpm
	Diameter (mm)	900(top)/500(bottom)
	Gap adjustment	Hydraulic servo system
	Pinching force (kN)	600
Side-guide	Motor (kW)	265 ~ 380/1 165 rpm × 2 (twin drive)
	Gap adjustment	Hydraulic servo system
	Opening range (mm)	500 ~ 2 030
	Opening speed (mm/s)	500

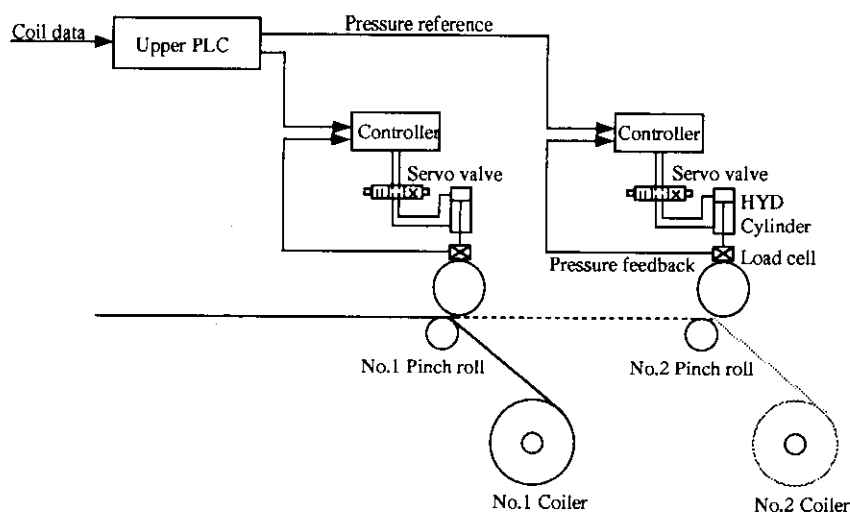


Fig. 5 Block diagram of pinch roll control

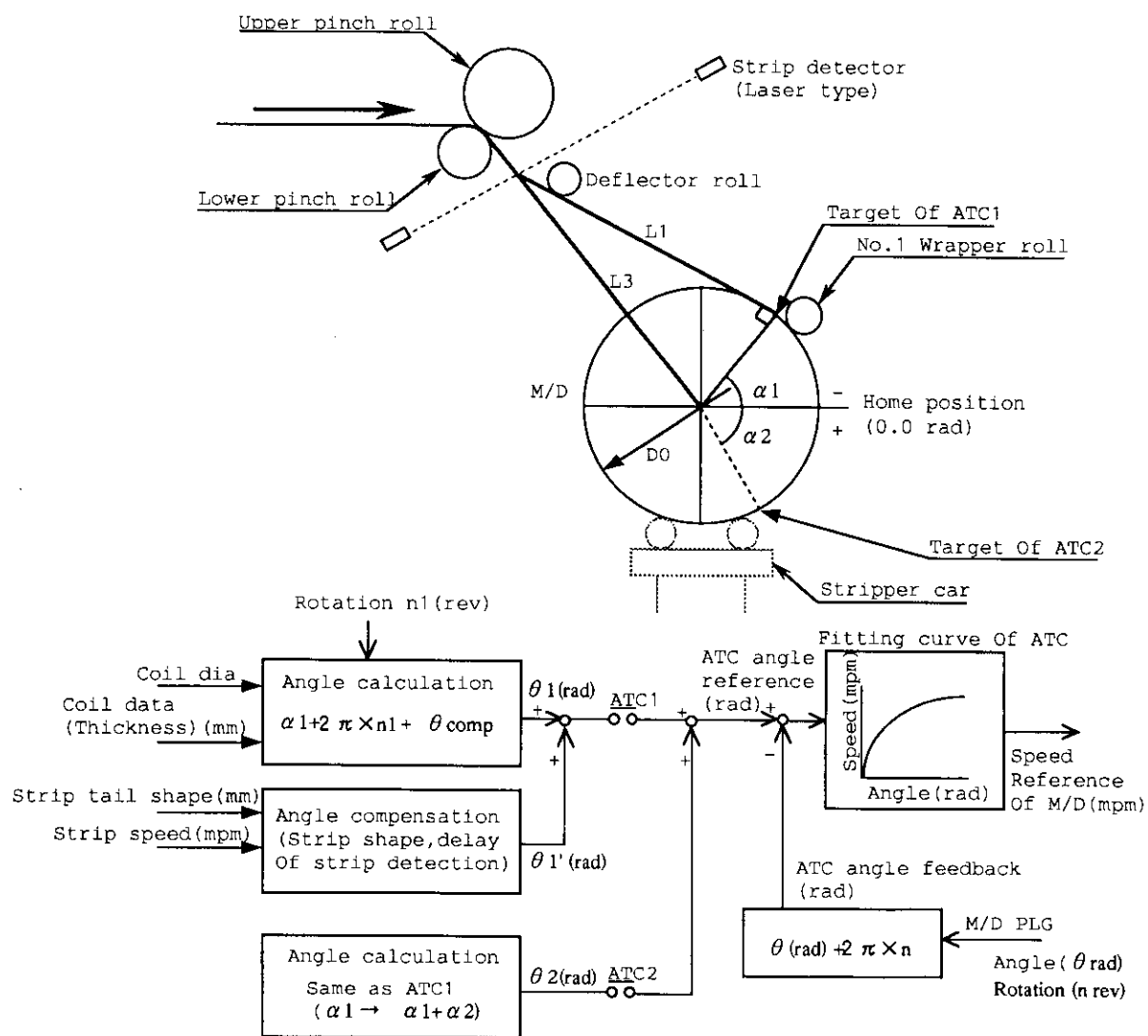


Fig. 6 Block diagram of automatic tail end position control

自動操業としたが、これらの仕組みを阻害するのがコイルのテレスコ発生でありこれを徹底して防止する必要があった。

テレスコ発生防止対策としては、高応答油圧サイドガイド採用によるストリップオフセンター防止技術、交流モータ駆動のマンドレ

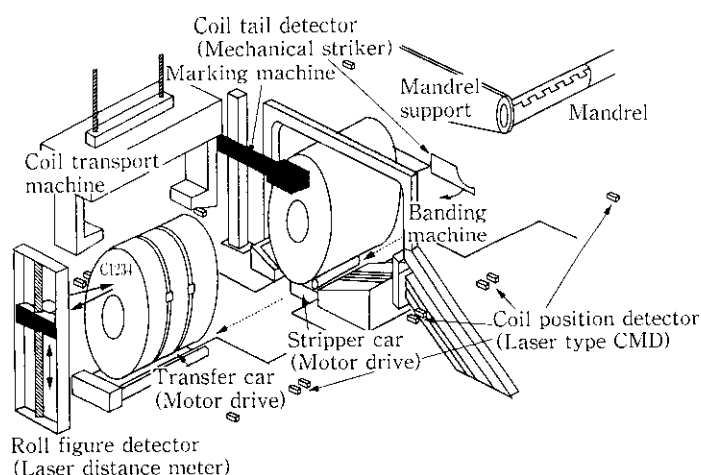


Fig. 7 Arrangement of down coiler delivery area

ル・ピンチロール採用による高応答・高精度巻取り張力制御技術、2段拡張マンドレル採用によるスリップ防止技術など、当社が従来培ってきた制御技術を高精度、高応答設備と組合せることによって改善した。

さらに、コイラー出側に巻き形状計測装置、外径垂れ検出器、テレスコ検知フォトセンサーなど、各種センサによる自動監視システムを備えコイル形状監視を徹底することにより無人運転を達成した。コイラー出側の設備構成を Fig. 7 に示す。

4.3 コイル点検作業の合理化

従来コイラー出側でゲージャーが実施していた圧延直後のコイル表面疵検査およびサンプル採取作業を実施するコイル面点検設備をコイル搬送台車システム内に設置した。設備レイアウトを Fig. 8 に示す。

表面疵点検に関しては、定期チェックはプロセスコンピューターの命令により、また、仕上ミルにおいて絞りが発生した時など、突発で点検が必要となった場合には、オペレーター入力により、コイル搬送ラインからコイルが自動的にリジェクトされ面点検設備に搬入される。コイル面点検設備内ではコイルの巻戻し展開および検査後の巻取り、コイル搬送台車への移載などが自動で行われる。また、検査は表面についてはコイル展開時展開テーブル下より、裏面は展開テーブル上を移動する台車上より検査員が目視点検する方式とした。なお、巻戻し展開長さは約 30 m、面検査サイクルタイムは約 20 min である。

さらに、本コイル面点検設備にはサンプル採取機能も備えており板厚 6 mm 未満の圧延材はシャーにより、6 mm 以上の厚物はガスカッターにより切断することによってサンプル採取ができ、規格ごとに指定された製品サンプル採取命令および実験圧延材のサンプル採取命令により自動的にサンプル採取する。

5 ミルペーシングの自動化

ミルペーシングに求められる要件は、ミルラインにおいて圧延材の衝突、各設備セットアップ完了前の進入などのトラブルを発生させずに、最大の圧延能率を達成することである。

このため、ミルラインにおける圧延材の先端・尾端の軌跡を厳密なペーシングモデルで表現して、高精度なペーシング制御を達成し

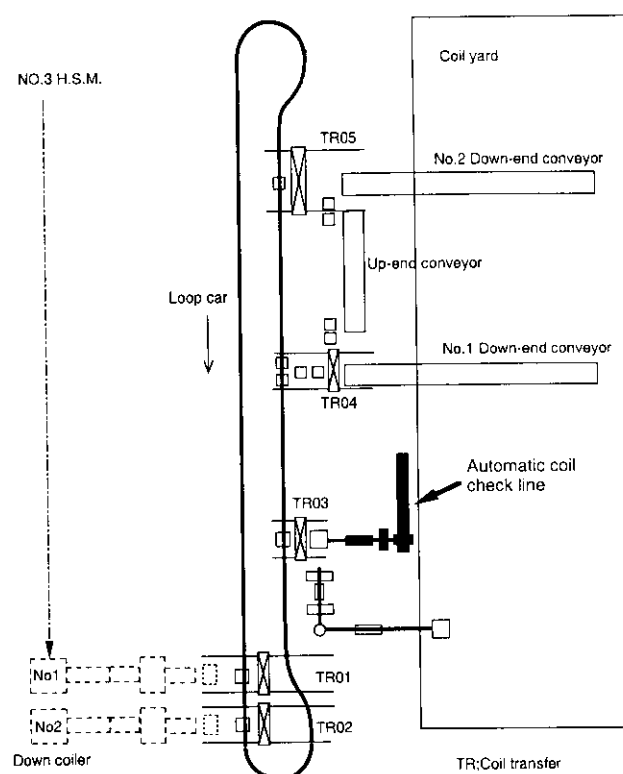


Fig. 8 Layout of automatic coil check line

ている。具体的には、各設備の圧延材毎の設定替時間、ロールなどの組替時間、圧延での加減速、搬送の加減速などを考慮することで精度向上をはかった。Fig. 9 は、ミルペーシングモデルで算出した圧延材の先端、尾端の軌跡をエンドレス圧延の例で示している。順番に圧延される圧延材間の折線が交差しないことが、衝突しないことの条件となる。すなわち、ミルペーシング制御では、各圧延材の先端、尾端の軌跡を算出してから、折線が交差しない加熱炉抽出インターバルを決定し、抽出制御を実施している。これにより、最大圧延能率を達成できるシステムを実現した。さらに、エンドレス圧延においては、シートバー巻取、巻戻装置からの巻きだし時に先行材の尾端軌跡と当該材先端軌跡が一致するように加熱炉抽出インターバルとシートバー巻取、巻戻装置巻きだしタイミングを決定している。これらの高精度な予測には、全圧延設備のセットアップを全自動で実施できているということが大きく寄与している。

以上が、ミルペーシング制御の基本技術であるが、完全に自動でペーシング制御を実現するためには、加熱炉燃焼制御との連動が必須である。

圧延材により、ミルラインでの最大圧延能率で操業した時に、加熱炉の加熱能力が不足して、予定の抽出タイミングまでに所望の温度まで焼きあがらない場合が発生する。そこで、ペーシングモデルで算出した結果を高精度な加熱炉燃焼制御モデルによりリアルタイムに評価して加熱ネック材（ペーシングモデルで算出した予定のミル操業のベースでは在炉時間が短く、加熱が不十分なスラブ）が存在する場合は、ペーシング結果を補正し、両者を満足する結果を得られるようにした。

さらに、上記に加えてコイル搬送内の面点検ライン、アップエンドコンベアの状態により、加熱炉抽出可否を決定する機能も備え、ミルペーシングを完全自動化した。

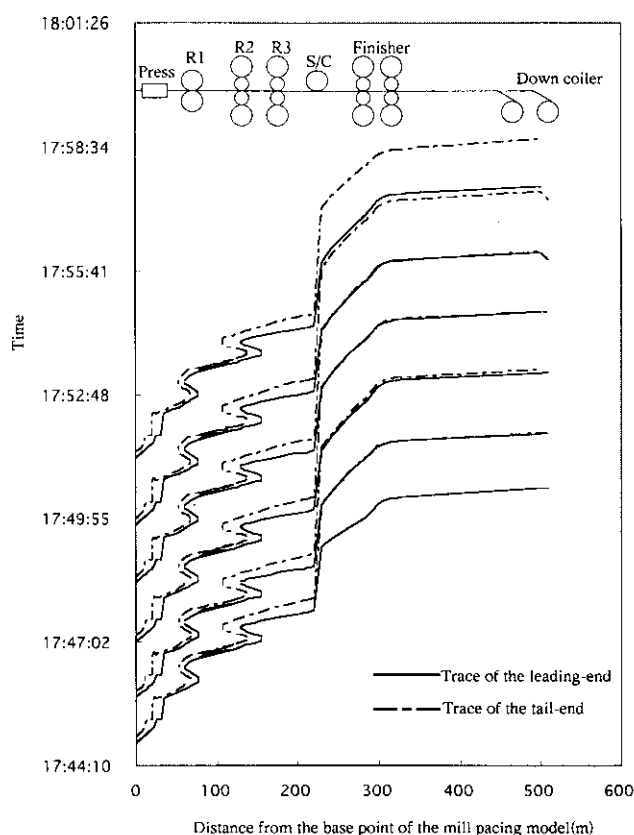


Fig. 9 Example of the result calculated by the mill pacing control system

6 仕上ワークロール供給自動化

圧延計画時に仕上ミルへのワークロール投入計画も作成することによりロールの研削順、投入順、投入タイミングをプロセスコンピュータで自動決定すること、研削および搬送作業におけるクレーン作業を専用機械化すること、そして使用済みロールの受け入れ検査を含むロール研削作業の自動化を図ることにより、仕上ミルに対するロール供給の完全自動化を達成した。

ワークロール搬送設備のレイアウトを Fig. 10 に示す。ワークロールはミルヤード内の WR 組替台車、ロールショップ内の WR 搬送台車により仕上ミル、ロールグライNDER、ロール格納庫間をハンドリングされる。また、グライNDERには上下積み重ね状態で搬入された WR を上下別々の専用グライNDERに分離固定する機能を備えさせた。この方式のポイントは仕上ワークロールのチョック付き研削が可能なことである。そこで、既存グライNDERを使用したチョック付き研削のテストを繰り返し、実操業に問題ないことを確認した上で導入をはかった。

これらにより従来行われていたクレーン作業を無くし完全自動搬送が行えるようになった。

一方、ロールグライNDERにはロールプロフィールメーター、ロール表面温度自動測定装置、自動探傷装置、ロール表面粗度計を備え使用済みロールの受け入れ検査および研削後のロールの品質保証も含めて自動化を達成した。

7 マンマシンインターフェイス

本工場は全ラインを自動化しているため、オペレーターが機械や

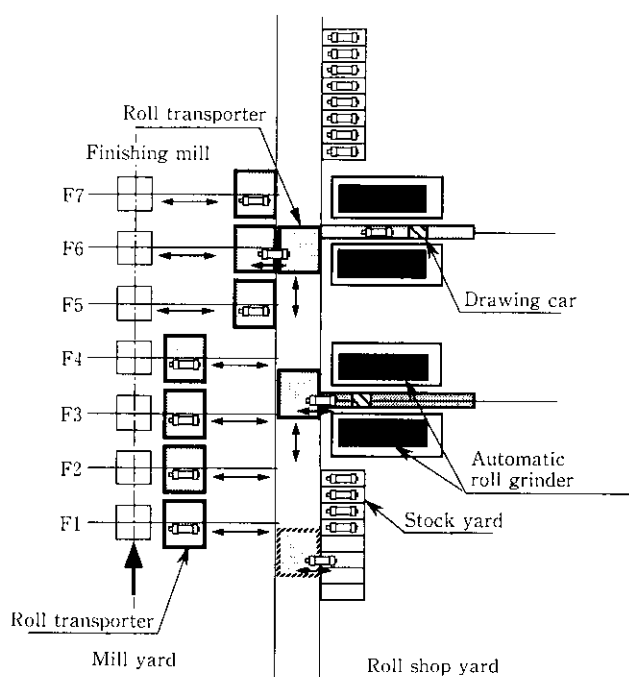


Fig. 10 Full-automatized work-roll transportation system

材料を肉眼で監視しながら運転操作をする必要のないシステムとなっている。したがって、従来のように運転室をスラブヤード、加熱炉出側、仕上圧延機、コイラーなどに分散配置するのは、いたずらに運転要員を増やすことになり得策ではない。

このような背景から、すべての監視機能を仕上圧延機前の総合管制室 1 カ所に集中し、ライン運転を 3 人で可能なよう設計した。これを成り立たせたのは集積度の高い CRT オペレーションシステムの開発と、異常発生時にオペレーターの迅速な判断をサポートするシステムの構築である。Table 2 に、総合管制室におけるマンマシンインターフェイスの概要を、Fig. 11 にシステム構成図を示す。

7.1 CRT オペレーション

本工場ではライン全体を 3 人で運転監視しているため、1 人当たりのスパンが広い。従来の CRT オペレーションシステムでは CRT 装置ごとに監視できる設備対象が限定されていたが、本システムは任意の CRT から全設備の画面へアクセスすることが可能となっており、あらゆる設備の EIC 全階層の情報をオペレーターは座ったままで入手できるようになっている。

Table 2 Man-machine interface system at central control room

System	Item	Quantity
CRT operation system	CRT	11
	Picture	630
ITV system	Monitor	36
	Camera	140
	Automatic VTR	18
Annunciation system	Alarm display in CRT	11 000 messages
	Voice annunciator	500 messages

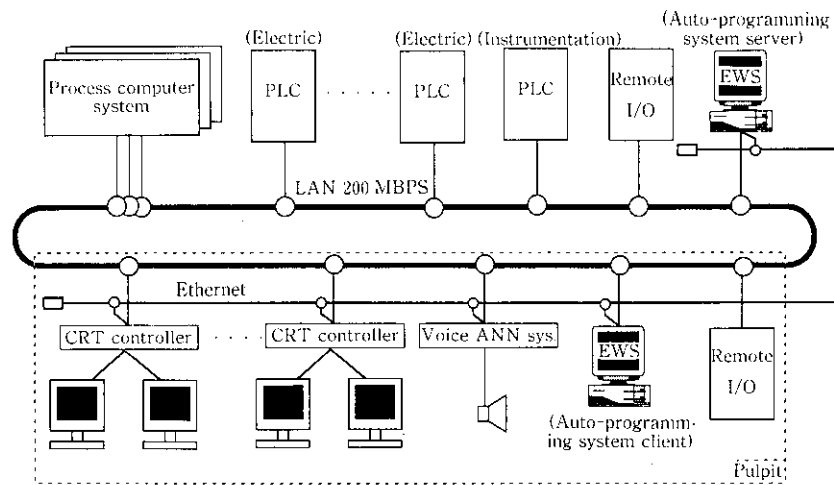


Fig. 11 System configuration

さらに、機械の起動スイッチは操作権を特定のCRTに限定して誤操作を防止したり、寸動操作などで微妙な操作感覚が必要なものについてウィンドウ画面と押しボタンスイッチを併用するなど、操作性確保のための工夫を施している。

7.2 運転支援機能

ラインを少ない人数で運転監視するためには、異常時の処理を従来にも増して的確かつ迅速に行う必要がある。この観点から異常発生時の処理を徹底的に自動化するとともに、CRTアラームメッセージやボイスアナランシェータなど、アラームシステムの充実を図っている。

これに加えて、当社が水島製鉄所CGLの建設において開発した自動プログラミングシステム⁹⁾をオペレータの運転支援に積極的に活用した。

本システムの運転支援機能面の特徴は、運転方案言語で記述されたソフトウェアの操業CRT上でのモニタ機能である。本システムでは従来ものからさらにTable 3に示すように操作の即時性を狙ってレベルアップを実施したことで、非常に有効な運転支援ツールとしてオペレータに活用されており、特に異常処理の迅速化に効果を発揮している。

8 結 言

第3熱延工場に適用した自動化・無人化技術についてその基本的

Table 3 Comparison of auto-programming system

Item	Conventional system	No.3 H.S.M.
Required times of operation for display changing (Operation display → Program monitor)	4	1
Required time for display changing (s) (Operation display → Program monitor)	12	4
Newly-developed function	—	Cross-reference
	—	SFC automatic tracking
	—	Rough SFC display
	—	Signal force-on/off

SFC; sequence flow chart

な考え方と主要な自動化設備、無人化システムについて述べた。これらの技術は熱間圧延工場の生産性を飛躍的に向上させるとともに、高品質の安定化にも大きく貢献している。今後はエンドレス熱間圧延を中心とした新圧延技術の開発にも大いに寄与していくものと考ええる。

参 考 文 献

- 1) 小川靖夫, 中村武尚, 北尾齊治: 川崎製鉄技報, 27(1995)3, 131
- 2) 武智敏貞, 吉田邦雄, 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), 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), 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), 335
- 5) 伊藤伸宏, 竹川英夫, 吉田聡一郎, 市井康雄, 藤澤昭雄, 今関敏夫: 材料とプロセス, 9(1996), 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), 265
- 7) 竹本茂夫, 吉田邦雄, 高岡弘宗, 北島洋明, 梶山政司: 材料とプロセス, 9(1996), 220
- 8) 今江敏夫, 野村信彰, 三吉貞行: 川崎製鉄技報, 28(1996)4, 219
- 9) 上原義人, 土井克彦, 宮崎容治, 岩本周治, 佐藤和彦, 桜井孝貞: 川崎製鉄技報, 22(1990)3, 209-213