

新しい技術

UDC 621.771.23.016.2-519

熱延工場における無人化技術の開発と実用化

藤井 靖治\*・津久井孝史\*・渡辺 就市\*<sup>2</sup>・野間吉之介\*<sup>2</sup>

Development and Application of the Unmanned Operation Technology of the Hot Strip Mill.

Seiji FUJII, Takashi TSUKUI, Syuichi WATANABE, and Yoshinosuke NOMA

無公害で高生産性の新鋭製鉄所をめざした京浜製鉄所の扇島移転計画の一環として、昭和 54 年に操業を開始した熱延工場は、特殊な工場レイアウト、運搬機器の全面的な無人化、物流管理の完全なシステム化により、従来の常識を破つた全く新しい発想にもとづく製造体制の確立に成功した。

その結果、昭和 54 年 5 月の稼働から 2 年をへた現在、すべての初期調整も終了し、世界一の生産性を誇る新鋭工場として順調な操業をつづけている。また製造工期の短縮、省エネルギー、品質の向上安定といった成果もでていいる。当工場のような素材の受入から製品出荷までの完全自動化は世界に例がなく、諸外国からも注目されている。

本技術は関連した広範囲の開発技術の総合された成果を示すもので、レイアウト、設備、製造技術、生産管理、品質管理等と有機的に関連している。また開発技術同志が相互に他の関連技術の不可欠な要素となり、無人化システムを形成している。

たのたび、この「無人化技術の開発と実用化」に関して「第 32 回毎日工業技術賞」受賞の荣誉に浴した。ここにその概要を紹介し参考供したい。

1. 無人化技術開発の背景と経過

熱延工場の製造工程は、図 1 のように要約される。素

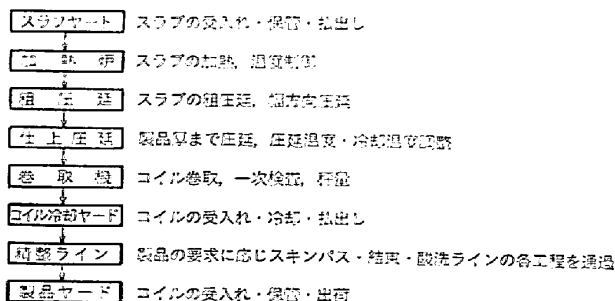


図 1 熱延工場製造工程

材受入から出荷までの工期は通常 10 日間かかるが、このうち加熱炉～巻取機までが 3 時間、精整ライン通過は数 10 分で済み、製造工期の大半は、スラブヤード、コイル冷却ヤード、製品ヤードといった置場における滞留で占められている。

表 1 に各製造工程別の自動化の現状と作業要員を示す。これであきらかなように、今までの熱延工場の自動化は、加熱炉から巻取機までについて行われてきた。しかし素材、製品の多様さ、製造工程の錯綜、異常発生対策、緊急受注対策等の理由で、多くの要員と所要時間を要するその前後工程の合理化については、ほとんど手が

表 1 熱延工場自動化の現状(人員は 4 交代の総数)

工程	主要作業内容	自動化レベルと要員	
		従来工場	京浜新工場
1.スラブヤード	(1) スラブの受入、保管、払出	×	◎
	(2) スラブの置場管理	×	○
	(3) 圧延準備、計画	×	○
	(4) 加熱炉装入	△ 約70人	◎ 12人
2.加熱炉	(1) 機械運転監視	○	○
	(2) 燃焼制御	△ 20人	○ 12人
3.粗圧延	(1) 圧延機運転、監視	○	○
	(2) 補機運転監視	○ 12人	○ 8人
4.仕上圧延	(1) 圧延機運転監視	○	○
	(3) 補機運転監視	○ 24人	○ 20人
	(4) 秤量	◎ 24人	◎ 20人
5.巻取機	(1) 巻取機運転監視	△	○
	(2) スプレー制御	△	◎
	(3) 結束・マーキング	△	◎
	(4) 秤量	◎ 24人	◎ 20人
6.コイル冷却ヤード	(1) コイル受入、保管(冷却)払出	×	◎
	(2) コイルの置場管理	×	○
	(3) 精整準備、計画	×	○ 8人
7.製品ヤード出荷	(1) コイル受入、保管、払出	×	◎
	(2) コイルの置場管理	×	○
	(3) 出荷積込作業	×	△ 40人

◎完全無人化 ○自動化(監視主体) △自動化(手動介入多し) ×人手作業

昭和 56 年 1 月 19 日受付 (Received Jan. 19, 1981) (依頼新しい技術)

\* 日本鋼管(株) (Nippon Kokan K. K.)

\*<sup>2</sup> 日本鋼管(株)京浜製鉄所 (Keihin Works, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

つけられていなかった。また自動化された圧延ラインにくらべ、これらの工程は作業環境も悪く、労働災害防止の面からも改善が必要であった。

このように熱延工場の自動化は、素材から製品出荷までの全工程の自動化が必要であるにもかかわらず、実施されていなかったのが実状であった。

これらの現状をふまえ、本熱延工場の建設に際しては、旧来の圧延ラインの自動化にとどまらず、置場の完全無人化をはじめ品質制御、物流制御にも新技術を採用することを目標に開発を進め、操業の無人化を指向した。

開発の具体策の検討は昭和48年より開始し、昭和51年には細部設計にとりかかり、昭和54年の工場稼働に至ったものである。

これらの技術のなかの主なものの開発経過は、以下の通りである。

**1.1 無人化ヤードシステムの開発経過**

無人化ヤード構想の基本となる製品フローとヤードレイアウトの検討を昭和48年から開始した。構想に従って昭和51年から無人化ヤードレイアウトが熱延工場に実際に適用される条件でシミュレーションを行った。併行して完全無人化を実現するための設備技術の開発が行なわれ、昭和52年本方式による完全無人化ヤードの設計・製作にふみきつた。

ヤード管理システムについては昭和51年に開発をはじめ、昭和52年設計開始し、53年プログラム作成を完了した。

**1.2 自動化技術の開発経過**

無人化ヤード以外の自動化技術は、我国においては既に基本型が確立されていた。昭和52年より検討開始したポイントは、従来の自動制御化の一層の精度アップと、これまでなおざりにされていた付帯作業（検査、表示、整備等）をもれなくシステムにとり入れることに置き、ラベルの自動貼付、自動読取をはじめ、数多くの新

技術の採用にふみきつた。

**1.3 生産管理システムの開発経過**

生産管理システムは、熱延工場の特殊な条件を、製鉄所全体のシステムと結びつけることを主眼に開発を進めた。昭和48年製鉄所生産管理システムの開発をはじめ、昭和51年ダイナミック生産管理システム（総合物流制御および薄板オンラインシステム）に着手、昭和54年完成し、ここではじめて無人化設備を制御するシステムが集大成された。

**2. 開発の内容**

図2に熱延工場の全体図、図3にシステム構成図を示す。センターコンピュータは、本社よりのオーダー受理から、熱延工場のみならず全製鉄所の管理、計画を担当し、下位のローカルコンピュータは、工場の設備、物流と対応させて配置し、現品管理、トラッキングおよび設備、品質制御を行っている。当熱延工場の場合、図3に示す5台のローカルコンピュータが操業の全範囲をカバーし、多くのコントローラー及び設備を駆使して無人化操業を現実のものとした。

以下に無人化ヤードをはじめとする当工場の特徴をなす代表例を紹介する。

**2.1 無人化ヤード**

スラブヤード、コイルヤードの完全無人化は、最も多くの開発技術のおりこまれた分野である。大重量で、かつ一品ごとに寸法形状の異なる素材を、高温、じんあい等の中で高精度かつ信頼度高くハンドリングし、システム、管理運用および設備の自動化を、バランスよくかつ経済的に全体システムとして組立てるため、数々の新技術が採用された。

**2.1.1 無人化のためのレイアウト**

物流の単純化とヤード効率の向上を目的として、1棟1クレーンの特殊レイアウトを採用した。かつこれらのヤードを多棟並列配置し、物流の入口および出口を1個

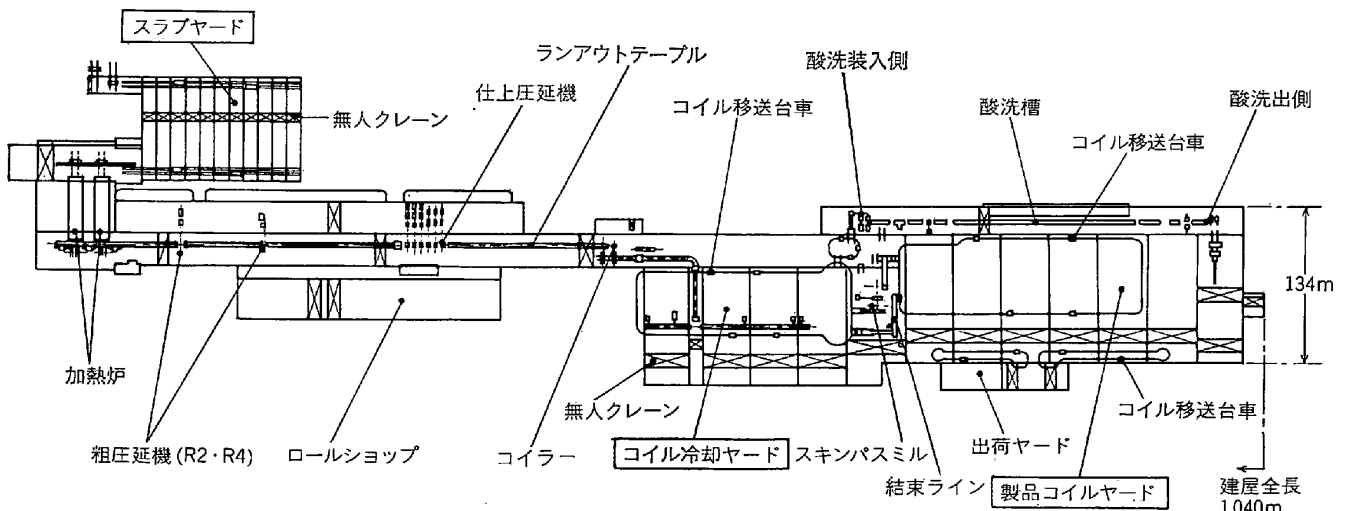


図2 熱延工場全体図

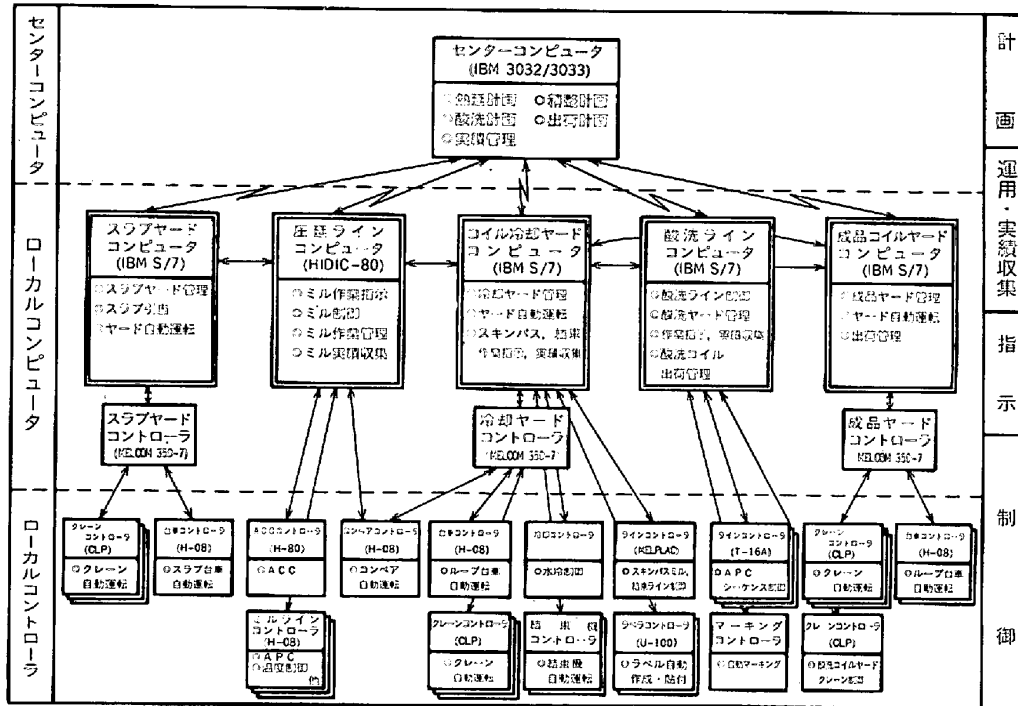


図 3 熱延工場計算機システム

所に限定した。この新しいレイアウトの採用により、天井クレーン同志の干渉の排除、物流制御、現品認識の容易さといった効果が生まれ、無人化操業における信頼性の確保に大きな役割をはたした。

2.1.2 無人化クレーン

天井走行クレーンはその構造上、走行中に生ずる歪やたわみが大きく、クレーン位置決めに非常な障害となる。またワイヤー巻上げにともなう、走行停止時の荷振れも解決せねばならない大きな問題であった。

位置検出装置については、ラックピニオン方式を採用した。検出器の駆動装置はクレーン本体から分離し、専用のレールに懸垂されている。検出器と駆動装置とはユニバーサルジョイントで連結されていて、振動の伝達を防止している。さらに絶対番地検出方式を採用しているため、クレーン走行につきもののスリップの影響を完全に排除している。本方式の精度および信頼性は抜群で、最大負荷 (36 t) 時の停止精度 ±2.5 ミリというすばらしい結果が得られた。

吊り荷の振れどめについては、巻き上げ上限での横行方式を採用し、姿勢制御の考え方は排除した。スラブのハンドリング時に重要な着地寸前の振れどめに対しては、リフマガの昇降機構にパンタグラフ式振れどめと、リフマガ案内装置を設置して解決した。

2.1.3 無人搬出入装置

無人化ヤードに対する搬出入装置としては、スラブヤードに直線走行台車、コイルヤードにチェーンコンベアおよび曲線軌条走行型 (ループ式) 複数台車システムを採用したが、ここではループ式コイル台車について特記

する。

従来、次工程への運搬はクレーン、棟越台車、チェーンコンベア等で直線的に運搬する形態がとられていたが、これらにくらべて今回開発したコイル台車は次の点で極めて効果ある設備である。

- (1) 曲線軌条を使えるので、いかなる立地にあつても運搬可能である
- (2) 複数の台車を独立に運行できるので運搬効率が高い。特に積、降し個所が多い場合に有利である。
- (3) ループ式走行であるため、戻り台車が運行能力を阻害しないので長距離運搬に威力を発揮し、各ヤードを距離に関し等価に扱い、ヤード運用上の制約がなくなる。

なおこの無人コイル台車は、一軸一輪駆動、案内軌条方式ほか機構的にも多くの新設計をおこなったユニークなものである。

2.1.4 ヤード管理運用システム

上述の設備・操業上の新機軸に効果的に適合してヤードの活用効率を最大に維持し、かつ工程運用の柔軟性を確保するため、先例のないヤード管理・運用システムを開発せねばならなかつた。このなかで、特に重要な役割をはたした材料ハンドリングの最適指示システムについて説明する。(図4参照)

スラブヤードおよびコイルヤードの搬出入設備は、すべてヤードに専属しているコンピュータで直接自動運転されている。たとえば、スラブヤードの場合下記の計算を行い、その解答を設備に指令している。

- (1) 受入れ材料の最適な置場のえらび方は各ヤード

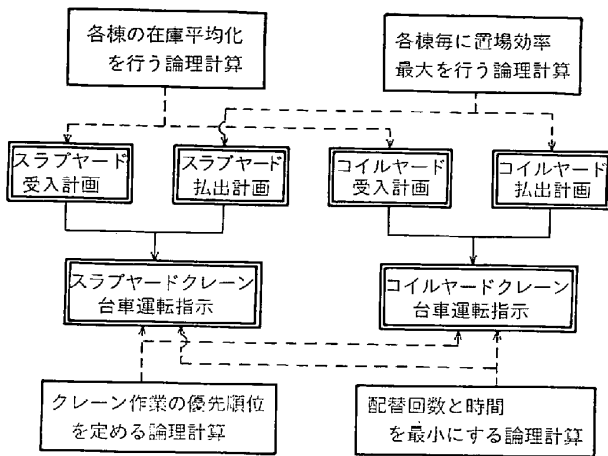


図 4 ヤード運用計画システムの構成

の在庫を平均化するよう計算する。

(2) 払出しの最適化はどのヤードのどの山から何枚ずつ引当てれば置場効率が最大になるかを計算する。

本無人化システムを開発するにあたり、配置可能なヤード面積で実際の運用が可能かどうか、実際の運用を推定した計算をくり返した。この計算は、前述したヤードの設計、自動化機器の開発状況との関連で試行錯誤をくり返し、最終的に総合的なシステムとして成立つことを確認した。

そのほか、無人でのヤード管理に、現品の管理、表示システムは不可欠のものである。スラブの場合を例にとると、スラブヤードへ入庫する前にバーコードを利用した現品表示ラベルを自動貼付し、スラブヤード出庫時に自動読取を行い、トラッキングチェックを行っている。また精整ラインでは、最終製品に対するラベルを自動貼付し、需要家の要望に応じている。

2.2 制御モデルの開発

加熱圧延工程の自動化は、従来の工場でもある水準に達していたことは前述の通りである。当工場の建設にあたっては、過去の制御モデルについて完全な再検討をして、更に改善された精度の高い新モデルを追求した。主要なものとしては、

- (1) 省エネルギーを主目的とした加熱炉燃焼制御モデル。
- (2) 100 ミリ間隔で製造されたスラブから、任意の幅のコイルを製造するための粗圧延幅制御モデル。
- (3) 従来の制御モデルに加え、制御圧延に対する対応や形状制御要素をおりこんだ仕上げ圧延厚さ制御モデル。
- (4) 高精度巻取温度制御モデル。
- (5) コイル巻姿向上をはかる巻取制御モデル。

などがあがるが、ここでは一例として幅制御モデルについて説明する。

この幅圧延モデルはエッジロールに接する部分の盛り上り（ドッグボーン部）量を推定し、その後の水平ミ

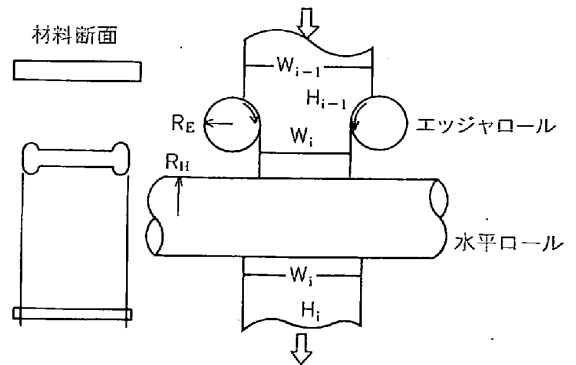


図 5 粗圧延機における幅拡がり

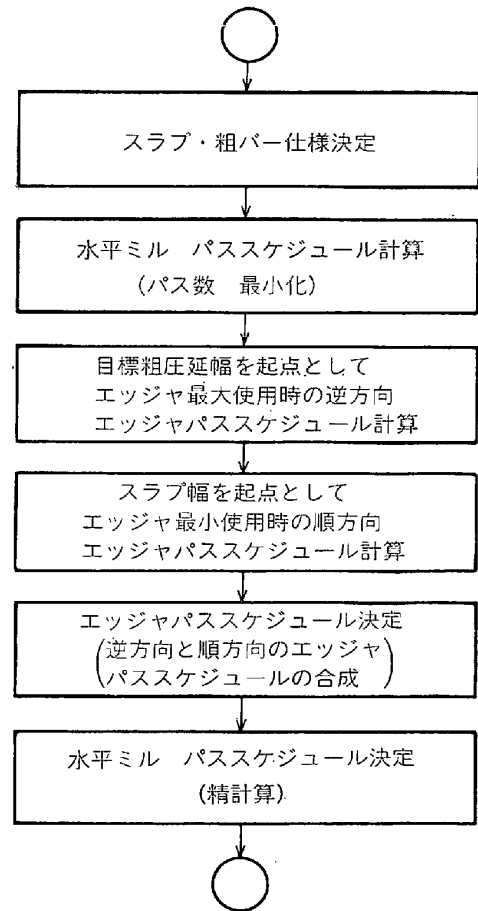


図 6 粗圧延スケジュール

ルにおいてどの程度横流れするかを記述する幅拡がり式である。今回開発した幅拡がりは次式であらわされる。

(図 5 参照)

$$W_i - W_i' = f\{H_i, H_{i-1}, K_f, (W_{i-1} - W_i')H_{i-1}/H_i, W_s\}$$

$K_f$ : 変形抵抗

$W_s$ : スラブ幅

実際の幅圧延のためのエッジパススケジュールは、スラブ幅および粗圧延における目標幅の境界条件をみだし、かつエッジ荷重、かみ込み角、トルク、座屈の諸制限の範囲で可能な限り下流パスで幅強圧下するように上記および下記の各式を用いて計算される。図 6 に粗圧

延スケジュール計算のフローを示す。

エッジ荷重式

$$P_1 = K_{FE} \cdot H_{i-1} \cdot \{R_E \cdot (W_{i-1} - W_i')\}^{1/2} \cdot Q_P$$

変形抵抗式

$$K_{FE} = \alpha \cdot \exp\{\beta/T_{kc} \cdot \epsilon \cdot \dot{\epsilon}^{\gamma}(T_{ki}, C_{eq})\}$$

$R_E$  : エッジロールの半径

$Q_P$  : 圧下力関数

$K_{FE}$  : エッジング変形抵抗

$T_{ki}$  :  $i$  パス目の材料温度

$C_{eq}$  : 材料のカーボン当量

$\alpha, \beta, \gamma$  : 係数

本モデルは工場稼働前にプラスチック圧延実験により確性され、工場稼働後、大量の実圧延データにより改善、同定されたものであり、あらゆるスラブ幅に対し-75 ミリ~+25 ミリの幅圧延を高い構度で実現している。

2.3 品質実績の自動判定

従来、圧延された製品品質の合否判定は、寸法・温度の測定チャートにより目視判定するのが一般的であり、正確な判定がされにくい面があった。全長 2000 メートルにわたるストリップに対して、所定の数点のサンプリング値により判定される方式であった。このことは操業管理の面で問題点の抽出、解析に時間がかかり定量的に検討しにくい欠点があった。そこでこの欠点を解決し、品質異常に対しすみやかに対処して、高品質安定操業を実現するために、次のような新しい管理方式を開発、採用した。

(1) ストリップ先端から全長にわたり 5 メートルごと仕上げ厚さ、幅、温度を測定し、公差にてらしてチェックを行う。

(2) ローカルコンピュータにおける実績自動判定処理において、1 点でも不合格と判定されたコイルについては、コイル全長にわたる実績データがセンターコンピュータに伝送される。センターコンピュータはその実績データを解析し、不良部分の切落し指示等のかたちで次工程作業指示に反映させる。また不合格の内容は寸法、鋼種、発生部位等により分類、集計され、モデルの精度向上、操業管理基準の見直し等にただちに反映できるよう配慮されている。

2.4 その他の新技術

これまで述べた範囲以外にも、工場操業に改善を要する点は数多くあった。工場操業のシステム化以外の面で今回開発したユニークな新技術としては次のようなものがある。

- (1) ロール運搬の機械化
- (2) 軸受箱つきのままあらゆるロールを研削する

技術の実用化

- (3) ベアリング分解洗滌の機械化
- (4) 精整ラインにおけるコイル結束作業の自動化
- (5) 中間工程でのコイルマーキング作業の自動化
- (6) コイル水冷の本格採用

このうちコイル水冷の本格採用は、工期短縮、置場スペースの節減に大きな効果を発揮している。圧延終了後のコイルは通常 600°C の高温であり、従来は 72 h 程度の冷却期間を置かないと精整ラインに装入できなかつたが、水冷を適用すると、10 時間前後の冷却時間で常温になり、工程運用上の大きな武器となつている。

3. 開発の効果

本熱延工場は操業要員 216 名 (54 人/1 交代) で生産量 25 万 t/月の生産を行っており、その労働生産性は従来の約 2 倍と大幅に向上した。特に高温で重量物を取り扱うスラブヤード、コイルヤードの要員は 196 名から 24 名に減少した。材料取扱のための現場作業員は皆無となり、「肉体」から「頭脳」の職場に替えた成果は大きい。

操業の無人化による生産性の向上にとどまらず、品質、歩留り、製造工期、ストック量等においても大きな成果をあげた。(表 2 参照)

以上、無人化技術開発と実用化のあらましを述べたが、操業開始 2 年を経過した現在、いくつかのレベルアップ項目が生まれつつあり、今後の期待も大きい。

表 2 本技術の効果

項	目	効	果
労働生産性		1 250 t/人・月	
要員	スラブヤード	12人	(3人×4交代)
	加熱炉・圧延	60	(15×4)
	コイル冷却ヤード	8	(2×4)
	精整(調圧, 結束, 酸洗)	56	(14×4)
	製品ヤード	4	(1×4)
	出荷	36	(9×4)
	ロールショップ	40	(10×4)
計		216人(54人×4交代)	
歩留		0.5% 向上	
品質	寸法・形状 材 質	寸法精度向上 品質安定化	
工	期	6.5 日短縮	
作	業 環 境	現品ハンドリング要員の ゼロ化による安全性向上	