

棒線フリーサイズ圧延技術の開発

Outline of Free Size Rolling for Hikari Wire Rod & Bar Mill

1. 概 要

棒線工場は、1955年に日本初の全連続式線材圧延ミル(炭素鋼用)として営業運転を開始した。ステンレス鋼線材の製造は1963年に開始し、現在ではステンレス鋼専用ミルとなっている。

この間、1981年に二中間列以降の新鋭化、1982年には圧延インラインでの溶体化熱処理を実機化した。1995年には高効率鋼片加熱(ウォーキングビーム式加熱炉とインダクションヒーターの組合せによる複合加熱方式適用)による高品質化、傾斜圧延機の導入による分塊工程のインライン化など、体質強化技術を開発、導入してきた。

ステンレス鋼棒線は、二次、三次加工の後、ねじなどの締結部材、ピン、シャフト、ばね、溶接用材料として、自動車部品、OA機器等で広く使用されている。これらの多様な品質ニーズに応えるため、製造鋼種は多岐に亘っており、小ロット多鋼種生産の特徴を持っている。

当工場では線材(5.5~34mm ϕ)、棒鋼(22~62mm ϕ)を1ストランドで圧延しており、線材はNo Twist Mill(以下、NTミル)で仕上圧延後、レーシングヘッドで捲取っている。太物線材(バーインコイル)はポーリングリールで捲取り、棒鋼は線材の中間圧延後の分岐ラインに設置した冷却床に集材している(図1参照)。

近年、ステンレス鋼製品への市場要求が厳格化し、素材であるステンレス鋼棒線に対する高寸法精度化、短納期化、表面疵厳格化要求も顕在化してきた。

これらに応えるべく、品質向上と生産性向上の両立を狙い、2002年11月にKOCKS社製の高剛性3ロール圧延機(Reducing Sizing Block, 以下RSB)及び、疵レス鋼材誘導方式を導入した改造工事を実施した。

圧延設備としては、中間列後段に3ロール圧延機を導入し、太物線材、棒鋼の仕上圧延機とし、これらの寸法精度向上やフリーサイズ圧延の実現を図った。また、RSB導入に伴うNTミル入口鋼材寸法の安定化による細物線材の寸法

精度向上も図った。さらに、RSB圧延スタンドのカセット組替方式などの機能により、組替時間の短縮を図った。

また、表面疵対策として、それまで中間圧延列と仕上圧延列間の鋼材誘導に適用していたレピーターを、連続ローラーガイドによる新しい誘導方式に変更した。

これらの改造工事により、寸法精度向上、フリーサイズ圧延による組替時間の短縮、表面疵低減の効果を得ることができた。

本報では、3ロール圧延機導入に伴い、工業的に世界で初めて成功したフリーサイズ精密圧延技術の開発を中心に、改造工事について述べる。

2. 基本構想

棒線工場では、近年の顧客ニーズに応えるために以下の観点で圧延ラインの総合的な体質強化を図ることとした。

- 1) 細物線材、太物線材、棒鋼のすべてに亘る高寸法精度化¹⁾(最大径と最小径の差分である偏径差0.15mm以内)
- 2) 圧延サイズ<34mm ϕ は直径の9%の範囲、圧延サイズ34mm ϕ ≥では1.5mmの範囲で、偏径差≤0.15mmを満足しながら、任意サイズをロールの交換無しに圧延するフリーサイズ圧延を3ロール圧延機で実施
- 3) 組替作業の高速化による組替時間短縮による生産性向上
- 4) 圧延中の搬送疵の防止による表面疵品質ニーズへの対応

これらのすべての狙いを満足させるために、RSBを中間列後面に設置することとした。RSBには、精密圧延を狙うために圧延サイズ毎に個別の孔型を有するピンポイント孔型と、フリーサイズ孔型とがあるが、フリーサイズ精密圧延を実現するために、フリーサイズ孔型を採用した。

太物線材(16~34mm ϕ)、棒鋼はRSB仕上げとなるため、フリーサイズ圧延が可能となる。また、NTミルで仕上げる細物線材については、入口材寸法を従来よりも高精度化させることが可能となる。

NTミル仕上材の寸法精度は、入口材の寸法精度と、NTミルの特性に依存する。事前検討において、入口材の寸法精度を変化させた実機圧延試験を行い、入口材の寸法精度を高くすることで、NTミル仕上材すなわち細物線材の寸法精度向上が図られることを確認した。つまり、中間列後面にRSBを導入することにより、全サイズ(5.5~34mm ϕ)の寸法精度向上を可能とした。

NTミル仕上サイズについてはRSB出口からNTミルまでの鋼材搬送が必要である。搬送時の摺動疵発生を防止すべく、連続ローラーガイドによる搬送方式を採用することとした。

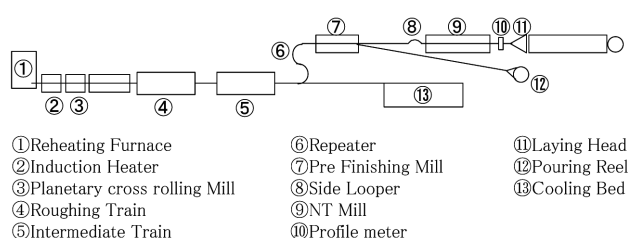


図1 改造前の圧延ラインレイアウト
Layout of Hikari Wire Rod & Bar Mill before Installation of RSB

3. 基本仕様

図2に改造後の圧延ラインレイアウトを示す。新設備の配置には以下の特徴がある。

- 1) 中間列後面にRSBを設置することで、全サイズの寸法精度向上を可能とした。
- 2) RSBからNTミルまでの誘導は、鋼材をローラーガイドで保持することにより摺動を防止する方式とし既設ラインと合流させた。また、RSBからポーリングリールまでの誘導ラインを更新した。
- 3) RSB後にNo.1プロフィールメーターを新設し、RSB圧延における寸法造り込みへのフィードバックを可能とした。
- 4) 既設ラインの稼動中にRSB設置工事を実施し、生産休止の短縮を図った。

4. 圧延設備の改造内容

4.1 改造概要

表1に導入したRSBの主仕様を、図3に圧延機の外観を示す。主な特徴は以下の通りであり、いずれも改造目的に合致したものである。

- 1) 3ロール圧延方式のため、幅広がり2ロール法に比べて小さく、高寸法精度圧延に適する(図4²⁾参照)。
- 2) 3軸駆動式により圧延スタンド内のベベルギアを不要とし、ロール軸径アップにより250トン/mmの高剛性を得たことにより高寸法精度圧延に適する。
- 3) スタンド間距離が720mmと短く、鋼材の座屈、倒れに対して有利。
- 4) ロールおよびローラーガイドのローラー間ギャップは遠隔操作で0.01mm単位の調整が可能。
- 5) フリーサイズ圧延を可能とするために、4スタンドを個別のモーターで駆動する方式を採用した。さらにこのた

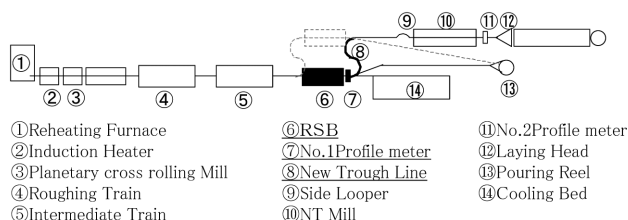


図2 改造後の圧延ラインレイアウト
Layout of Hikari Wire Rod & Bar Mill after Installation of RSB

表1 RSB主仕様
Specifications of RSB

Stand	Roll (mm ϕ)	Motor (kW)	Base/top (rpm)	Gear ratio	Interval (mm)	Manufacturer
17	380×75	DC450	650/1 750	1/4.63, 1/2.43	720	Kocks GMBH & Co. (Germany)
18	〃	DC750	500/1 000	1/2.16, 1/1.18	720	
19	〃	DC450	650/1 750	1/4.64, 1/1.92	720	
20	〃	DC200	650/1 750	1/4.64, 1/1.92	-	

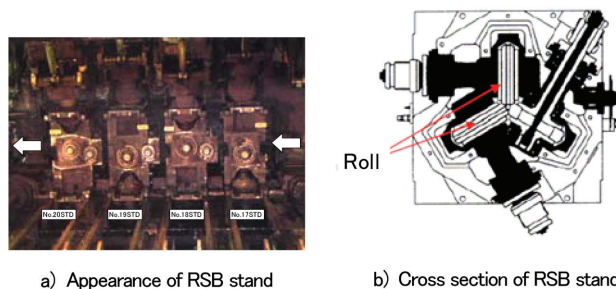


図3 RSB外観
Appearance of RSB

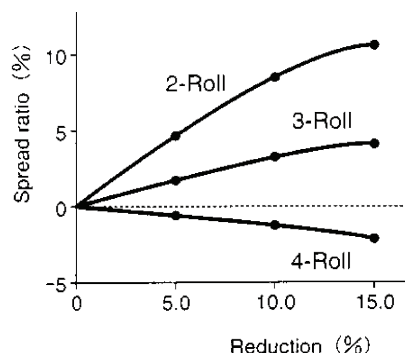


図4 圧延法別の幅広がり特性²⁾
Spread ratio

め、各スタンドで使用するロールの径を揃える必要が無い。

- 6) 圧延スタンドの交換は、全スタンド一括のカセット交換方式であり、オンラインでのスタンド交換時間は約5分間である。

4.2 フリーサイズ圧延技術の開発

4.2.1 フリーサイズ圧延概要

フリーサイズ圧延は、単一孔型で複数断面サイズの鋼材を作り分けることを指す。3ロール法は、3つの孔型で全周を圧延し、個々の孔型で成形する範囲が2ロール法に比べて小さいため、ロールギャップを変更した際に中心対称性の悪化が少ない。また、図4に示すとおり、3ロール法は、幅広がり特性が2ロール法に比べて小さい。これらの特性により、3ロール法は、広いフリーサイズ範囲を有している。

4.2.2 フリーサイズ圧延の要件

RSBは、前段2スタンドを高圧下パス、後段2スタンドを成形パスとして軽圧下で使用する。特に最終スタンドの減面率は2～6％とし、幅広がり少ない減面率範囲で圧延することで、高寸法精度を確保している。また、寸法精度確保のために、最終2スタンドの孔型は円弧形状に近い。これらの特徴のため、フリーサイズ圧延実現のためには、以下の要件のすべてを満足する必要がある。

1) フリーサイズ孔型の採用(適正化)

フリーサイズ孔型形状の適正化およびロールギャップやロール回転数など圧延条件のセットアップの適正化は、汎用FEMソフトウェア^{3,4)}による形状予測計算をベースに、自製ソフトウェアにより最適化を図った。

2) 各スタンドのロール回転数の独立調整

リダクション配分の制約を排除するために、全スタンド個別駆動とすることで各スタンドの回転数を独立に調整可能とした。

3) 成形パスにおける鋼材の捻転(倒れ)防止

幅広がり小さい領域で圧延を行い、高寸法精度を確保するためには、成形パスでの減面率を小さくする方が有利である。ところが、この場合、最終スタンド圧延において、鋼材が捻転し、最終-1スタンドでの成形面が再び成形される倒れと呼ばれる現象が発生し易い。倒れが発生すると、形状、寸法精度は極端に悪化する。

RSBでは各スタンドの入口にてローラーガイドで圧延鋼材を保持している。図5にローラーガイドによる鋼材保持の模式図を示す。図5a)に例を示すとおり、高減面率パスでは、鋼材の真円度が低いため、鋼材の保持が容易であり、倒れは発生し難い。

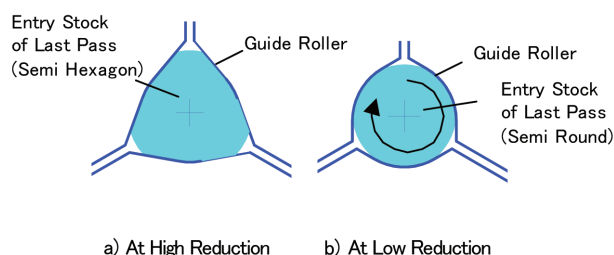


図5 鋼材保持模式図
Guiding condition

表2に示すように、ピンポイント圧延の場合、最終スタンドでの減面率は6％程度であり、同様に倒れの現象は発生し難い。

一方、フリーサイズ圧延の場合、特に減面率の低い最終スタンドの入口材は丸形状に近くなる。最終スタンド入口材が丸形状に近くなると、倒れ防止力は、ローラーと鋼材との摩擦抵抗のみとなるので、ローラーが若干開いた場合、鋼材を保持できなくなり、倒れが発生し易い。

4.2.3 ローラーガイドの改良

倒れ現象を起こす際、鋼材は図6の矢印の方向にローラーを押し広げようとする。真円度の高い鋼材をローラーガイドで保持して倒れを防止するためには、ガイドホルダーのばね定数を大きくすることが必要である。ばね定数を大きくすることで、微小なローラーの開きに対して大きな力で鋼材を支えることが可能となる。

そこで、ガイドホルダーのばね定数を種々変更して最適なばね定数を確認した。その結果、ローラーをパスラインから遠ざける方向に負荷を掛けた時のばね定数が、圧延条件に応じて30～300KN/mmであれば倒れを防止できることが判明した。このことから、ばね定数を300KN/mmまで引き上げ鋼材保持力を上げることで、最終パス圧延時の倒れを防止した⁵⁾。これにより、最終2パスでの適正な成形が

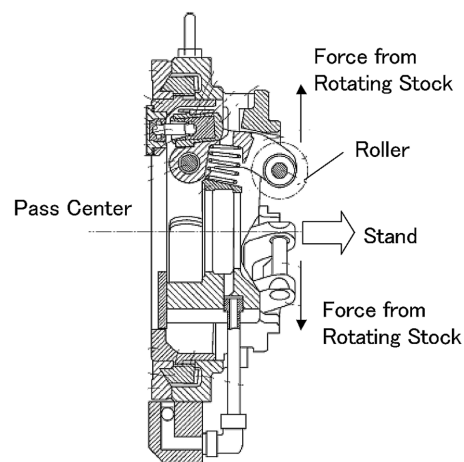


図6 ローラーガイド断面図
Cross section of roller guide

表2 最終パスにおける耐倒れ性
Stability for rotating at the last pass of RSB

	Reduction of last pass	Shape of entry stock of last pass	Stability for rotating
Precision rolling (not free size)	6%	Semi hexagon	Stable
Free size rolling	6%	Semi hexagon	Stable
	2%	Semi round	Unstable

確保され、フリーサイズ圧延が可能となった。

4.2.4 ローラーガイドベアリングの改良

ガイドホルダーのばね定数を大きくすると、ローラーによる鋼材保持力が大きくなる一方、ベアリングへの負荷は大きくなり、ベアリングの短期間で破損が発生しやすくなる。ベアリングが破損すると、ローラーの回転が停止し、ローラーと鋼材が摺動し表面疵が発生する。

そこで、ローラーの構造を変更し、高負荷対応ベアリングへの改良変更を実施した。さらに、ベアリングへの潤滑油供給の安定化対策も合わせて行った。これらの改良により、倒れを防止するための鋼材保持を行いながらも、ベアリングを長寿命で使用することが可能になった。

4.2.5 スタンド間張力制御の開発

導入したRSBは、各スタンドの速度調整の自由度を大きくしフリーサイズ圧延を実現するために、各スタンド個別駆動方式としている。スタンド間の速度比は、鋼材面積比と逆比例しており、ある圧延条件(入口鋼材径、使用孔型、出口鋼材径)においては一定となる。ところが、実際には、鋼材温度の長手方向変化などに起因した鋼材断面積の変化が発生する。このような場合に、一定速度条件で圧延を行うと、最終製品にも長手方向の寸法変動が発生する。そこで、最終製品の寸法変動安定化を目的として、棒線圧延機の速度制御として初めて、スタンド間張力制御を自社開発した。

この方法は、最終スタンドのモーター電流値のフィードバックを受け、その値が設定値となるように、上流スタンドの回転数を自動調整する制御である。この制御により、最終スタンド入口鋼材の微小な寸法変化などが発生した場合でも、鋼材の供給速度により補償することで、高寸法精度の確保が図られた。

5. 付帯設備の改造内容

5.1 新誘導ライン

NTミルのパスラインレベルは中間列までのパスラインレベルよりも約2m高く、水平方向にも離れている。RSB導入以前は、中間列からプレフィニッシングミル(以下、PFM)間の鋼材誘導をレピーターにより実施していたが、レピーターは鋼材との相対速度を全ての通路でゼロとすることはできないため、表面疵の防止の観点から改良が求められていた。

新誘導方法として、連続ローラーガイドによる新しい誘導方法を開発した。この方法では、2つのパスラインを含む斜面上で曲率半径の大きな2個の円弧を接続したS字状の曲線ライン(図7参照)に沿って鋼材を誘導している。このため、鋼材に対する曲げ加工最小化により無理なく最短距離で誘導することが可能となり、曲げ半径を大きくとるこ

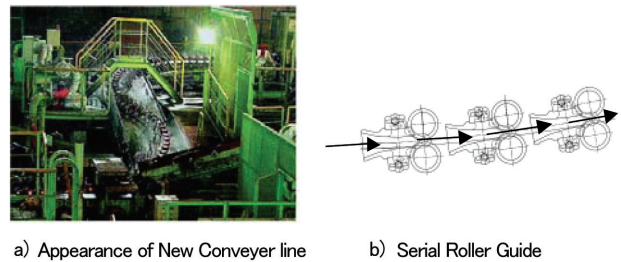


図7 新鋼材誘導方法
New conveyor line

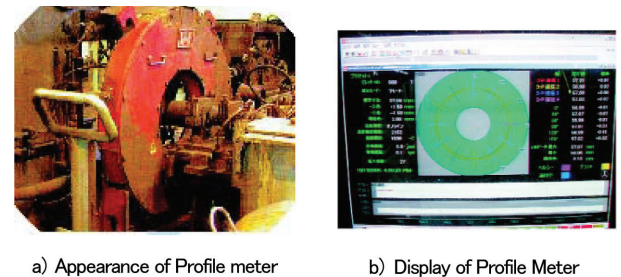


図8 RSB後プロフィールメーター
Profile meter located after RSB

とにより、鋼材先端の誘導不良防止、擦り疵防止、パスライン短縮による温度低下防止の効果が得られた⁶⁾。

連続ローラーガイドによる誘導方式は、圧延中の鋼材に加わる張力除去の機能は持たない。張力除去は、この誘導ラインの下流でNTミル入口に配置しているサイドルーパーにて実施している。

5.2 プロフィールメーター

RSBで寸法精度良く圧延を実施するには、RSB圧延材の形状をオンラインで精度良く測定し、寸法造り込みにフィードバックすることが必要である。そこで、RSB後にLAP社製(LAP GmbH Laser Applikationen, Lueneburg, Germany)のプロフィールメーター(図8参照)を導入した。

当該装置は、ライン方向の機器寸法が約130mmと短く、圧延機直後に近接して設置することが可能であり、鋼材の捻じれなどの影響を受けにくい。また、6軸のレーザー投影により形状測定を実施する方式で、投受光部が非回転式であるため、可動部を持たず設備信頼性も高い。

6. 改造による効果

この改造により、以下の効果が得られた。

- ① RSB仕上げサイズ、NTミル仕上げサイズの何れも目標の寸法精度を達成することができた。
- ② フリーサイズ圧延により、全サイズの圧延に必要なロール種類は約40%減少した。
- ③ パススケジュール統合等の効果により、組替時間は約15

%削減した。

- ④ 新誘導方式の導入により、摺動起因の疵個数は約60%低減した。

6.1 フリーサイズ圧延実施結果

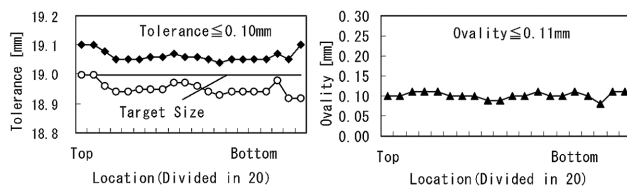
図9に19.0mm ϕ と20.5mm ϕ を同じ孔型にて圧延した結果を示す。この2サイズはフリーサイズ範囲の上下限近傍サイズであるが、いずれも目標偏径差 $\leq 0.15\text{mm}$ を達成している。フリーサイズ圧延の実現により、従来0.5mmもしくは1.0mmであったサイズピッチを細分化可能となった。

6.2 NTミル仕上線材の寸法精度向上

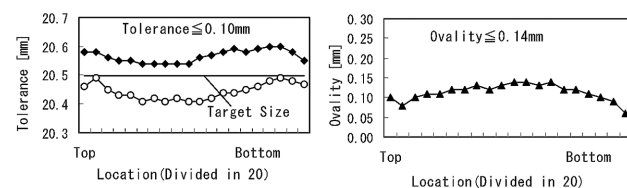
NTミル入口鋼材の寸法精度向上を図ったことにより、図10に例を示すとおり、NTミル仕上げ線材の寸法精度も向上した。

6.3 パススケジュール

図11に改造前後のパススケジュールの例を示す。中間列の統合、RSBでのフリーサイズ圧延による削減により、全

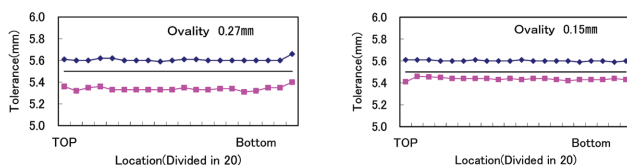


a) Minimum Size of Free Size Range (19.0mm ϕ)



b) Maximum Size of Free Size Range (20.5mm ϕ)

図9 フリーサイズ圧延材の寸法実績
Tolerance & ovality of free size rolling



a) Before installation of RSB

b) After installation of RSB

図10 NTミル仕上線材の寸法変化例
Tolerance of wire rod

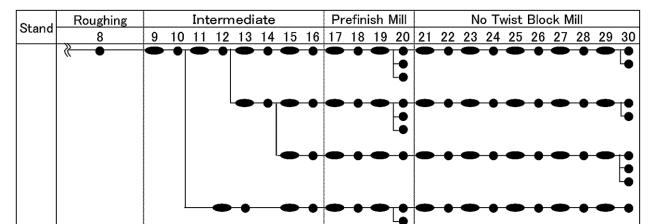
サイズの圧延に必要なロール種類は、従来218種(粗列7, 中間列58, PFM63, NTミル91)に対し、対策後は、138種(粗列7, 中間列12, RSB28, NTミル91)となり、大幅なロール数の削減効果が得られている。

6.4 組替時間

フリーサイズ圧延の実現により中間列のパススケジュールが統一されたことで、中間列の組替を必要としない圧延サイズ変更が多くなった。RSBについては、全スタンド一括の組替方式を採用しており、組替時間の短縮に寄与している。さらに、RSB仕上サイズのフリーサイズ範囲内のサイズ替えについては、遠隔操作でロールやローラーガイドのギャップを調整するのみでサイズ替えが可能である。これらの効果により、図12に示すとおり、組替時間の短縮効果が得られた。

6.5 鋼材誘導方式変更による表面疵改善

中間圧延列から仕上圧延列への誘導方式を変更し、鋼材



a) Before Installation of RSB

b) After Installation of RSB

図11 改造前後のパススケジュール
Change of pass schedule

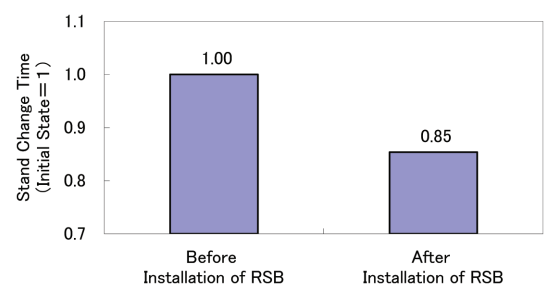


図12 組替時間短縮実績
Time for stand change

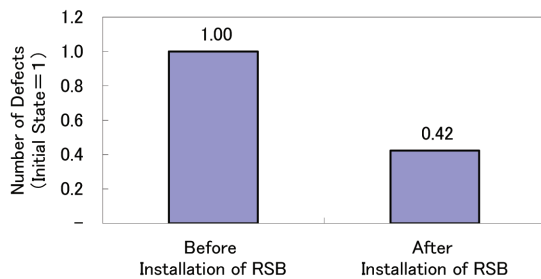


図13 NTミル仕上線材の摺動疵の改善効果
Number of defects in wire rod

と圧延ラインとの摺動を防止したことにより、図13に例を示すように、圧延ラインとの摺動に起因すると考えられる表面疵に改善効果が見られた。

7. 結 言

ステンレス鋼の製造に特化している棒線工場は、これま

で圧延インラインでの溶体化熱処理の実機化、高効率加熱化、分塊工程のインライン化など、体質強化の追求を行ってきた。

工業的に初めて成功したフリーサイズ圧延を中心とする改造工事を行ったことで、寸法精度、表面疵レベルの改善効果に加え、組替時間短縮による生産性の向上にも寄与することができた。

益々多様化するニーズにこたえるため、今後も不断の改善に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 佐々木健 ほか：鉄と鋼. 75(3), 185(1992)
- 2) 小川隆生 ほか：川崎製鉄技報. 1(32), 54(2000)
- 3) 柳本潤 ほか：第41回塑性加工連合講演会. 長野, 1990-10
- 4) 中村充 ほか：塑性と加工. 34(384), 87(1993)
- 5) 日本特許出願公開. 特開 2005-246431. 2005-09-15
- 6) 日本特許出願公開. 特開 2005-177855. 2005-07-07

お問い合わせ先
新日鐵住金ステンレス(株) 光製造所
TEL(0833)71-5069