

最近のホットスキンパスミルラインの紹介



スチールプランテック株式会社
技術企画部 企画管理室

技師 植松 宏晋



スチールプランテック株式会社
板圧延エンジニアリング部
プロセス機器第二グループ

主任技師 太田 龍太郎

1. はじめに

ホットストリップミルで生産された熱延コイルを、顧客に販売するための精整処理設備として、または自社内での次工程のための準備設備として、熱延後、冷却されたホットコイルを扱うホットスキンパスミルライン（以下、HSPML）は重要な役割を持ち、従来から熱間圧延設備とともに設置されてきた。近年、従来設備では対応が困難な新しいニーズを受けて新設備の建設が続いた。2015年以降、その新しいニーズに応えるべく6ラインのHSPMLを国内外の顧客にて立ち上げたので、その技術について紹介する。

2. HSPMLの機能

従来からのHSPMLに要求されている基本的な機能に加えて、近年建設された設備に要求された高い機能は下記となる。これらについて、次章以降で説明する。

(1) 従来からのHSPMLに要求されていた機能

- ① 降伏点伸び（ストレッチャストレイン）の解消
- ② 平坦度の向上、キャンバの改善
- ③ 表面粗さのスムーズ化
- ④ 先端及び尾端のフィッシュテール部の除去

(2) 近年新しく要求された高い機能

- ① 更なる高生産性・歩留まり向上

- ② 更に安定した製品品質（伸率、平坦度）
- ③ 各種品質データの自動採取と記録
- ④ 極厚ゲージ対応（最大12.7mm）
- ⑤ 自動車用超高強度熱延鋼板の平坦度向上

3. 更なる高生産性・歩留まり向上への対応

更なる高生産性・歩留まり向上のため、

- ・ライン速度高速化（最高800m/min）
- ・先端部（先端通板時）の圧延及び形状制御
- ・オフラインコイル先端クロップ処理設備
- ・スクラップコイル自動巻取り・取り出し機能

等の機能を実装した。

近年のスキンパス材の需要増加に応じて、設備の新設が続いているが、更なる高生産性実現のために、ライン速度を高速化する傾向がある。当社では、ライン速度800m/min（世界最速）のHSPMLを2ライン納入した。

板先端通板時の圧下力・形状制御については、先端通板中は板に張力を付与できないため、形状計が使用できず、また圧下力を上げると板の形状が悪化（耳波傾向）する。そのため、先端通板に最適な圧下力制御と形状制御（オートベンダ機能）により、平坦度、先端通板性及び歩留まり向上に効果を上げている。

オフラインコイル先端クロップ処理設備は、熱延ラインからのクロップ長の情報を元に、コイル先端クロップの

自動切断を行う。ライン内でのコイル先端クランプ除去時間を短縮することにより、ライン通板時間短縮による生産性向上が図れる。

スクラップコイル自動巻取り制御は、熱延ラインからのクランプ長の情報を元にコイル先端・尾端のクランプを自動でカットし、スクラップコイルとして巻き取り、取り出しができる機能である。スクラップコイルの巻き取り、取り出しはオペレータが手動で行っている現場が多いが、この自動化技術により、サイクルタイム短縮と省力化に効果がある。

4. 更に安定した製品品質(伸率、平坦度)への対応及び品質データの自動採取と記録

(1) 品質検査・制御用機器の構成

図1にHSPMLに設置される各種の品質検査・制御用の機器を示す。

形状計(図3参照)は、板幅方向に複数個の圧力センサを配置し、板長手方向の伸び差を検出し、板の平坦度に換算して、表示・記録・制御するものである。

板厚計は、X線により板の厚みを計測する。また、板幅計は光学式の投光器・受光器を用いて、板幅及び蛇行量を計測する。

ASIS (Automatic Surface Inspection System) は、表裏面疵検査装置の一種であり、CCDカメラにより撮影し、画像処理とパターンマッチングにより、自動的に板表面の疵の種類、程度を判定し、表示・記録を行う。

伸率計は、スキンプスミル(以下、SPM)の入側と出側のロールにより速度差を検出し、伸率に換算する。

計測ロールは、ペイオフリール(以下、POR)直後及びテンションリール(以下、TR)直前のデフレクタロールを用いる形式と、SPM前後の板の水平部にロールを設置する形式がある。

板厚、板幅、形状(平坦度)、伸率及び疵等の品質情報はリアルタイムに計測され、板先端からの位置情報とともに、上位の制御コンピュータ(Lv.2システム)に記録される。

(2) 伸率制御

SPMの目的の1つとして機械的性質の改善が挙げられるが、圧延加工により約0.5~2%の塑性伸びを与え、降伏点伸びを除去し、後工程のプレス加工でのしわ(ストレッチャストレイン)防止を図る。他の塑性伸びを与える加工法に比べ、圧延加工では加工後の降伏点伸びの回復(時効)の遅延の効果があるため、

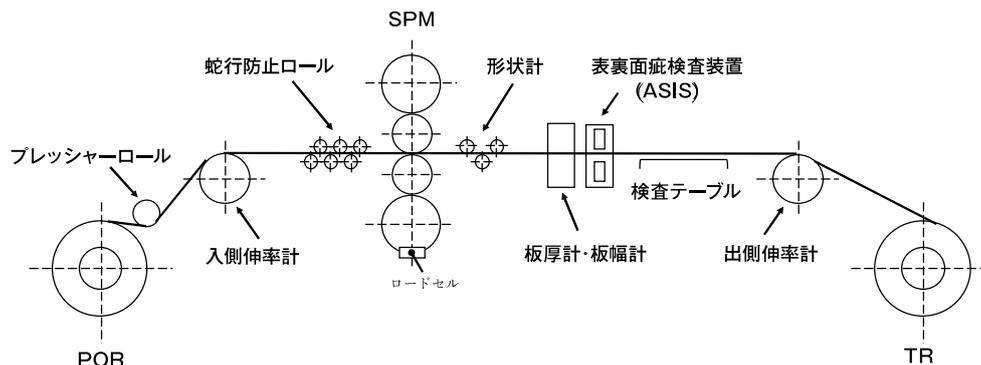


図1 HSPMLの品質検査・制御用機器(例)

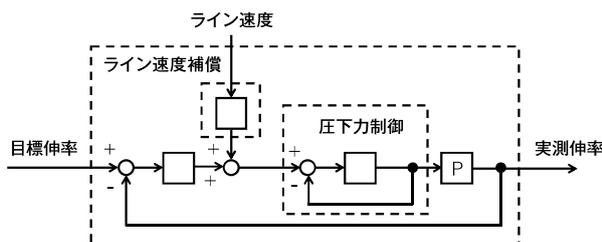


図2 伸率制御

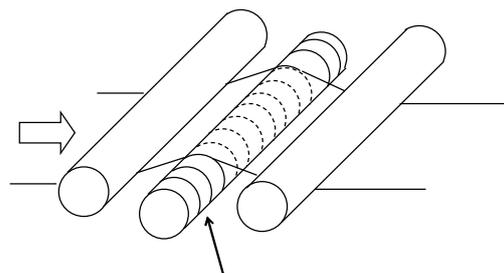


図3 形状計

主にスキンパス圧延(調質圧延)が用いられる。

上位制御系(Lv.3システム)より、鋼種、板厚ごとに必要な伸率の目標値が与えられ、伸率計により計測された伸率が目標値に達するよう、圧延圧下力の制御を行う。

板の変形抵抗はライン速度(歪速度)に応じて変化し、ライン加減速時に伸率が時間とともに変化する。伸率計によるフィードバック制御の時間遅れを補うため、ライン速度に応じて圧延圧下力を増減するリアルタイム制御を導入し、伸率制御の応答速度の向上に効果を発揮している。

(3) 形状制御

SPMの目的の1つである平坦の矯正のため、圧延機ワークロールのベンディング機能とチルティング機能により、板の耳波、中伸びを取り除き、板を平坦にする。板の平坦度は、形状計により検出する。

特にハイテン材では、熱延ラインでの急冷により平坦度、及びコイル巻き形状が悪いため、SPMにより平坦度矯正とコイル巻き形状の改善を行う。

伸率制御により圧延圧下力を変動させると、板形状にも影響を与える。「オートベンダ」機能は、形状計によるフィードバック制御の時間遅れを補うため、圧下力に応じてベンディング力を増減するリアルタイム制御であり、形状制御の応答速度の向上に効果を発揮している。

例として、実測伸率が目標伸率より低いとき、伸率制御により圧下力を増加させるが、圧下力が増加するとワークロールのたわみにより板中央より板端の圧下率・伸率が増え、板は耳波の傾向が出る。それに対し、圧下力の増加に合わせてベンディング力

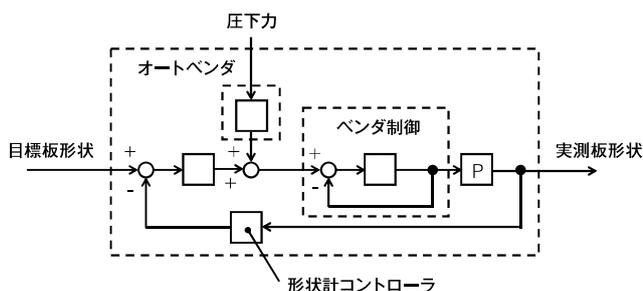


図4 形状制御

を増加させる「オートベンダ」により早い応答速度を保ちつつ、形状計によるフィードバック制御により精度の高い形状制御(ベンディング、チルティング)を行い、平坦度を保つことができる。

(4) 蛇行低減

板のキャンバやウェッジ、母材コイルの巻き形状、板の変形抵抗の板幅方向のばらつき、ピンチロールのロール押し力や圧延機の圧延荷重の作業側、駆動側の偏り等の様々な要因により、ライン上の板は板幅方向に動き(蛇行)、先端通板、圧延、板の巻き取りの障害となる。蛇行低減のため、(1)蛇行防止ロール、(2)トータル圧下荷重制御+マイナー位置制御、(3)板先端通板時の圧下・形状制御、(4)CPC、(5)先端通板・尾端巻取時のピンチロール開閉タイミング・張力の最適化等の対応を行った。

蛇行防止ロールは、圧延機直前に配置した5~6本に板を巻き付かせることにより、板幅方向への板の移動の低減、及び圧延しわの防止に効果がある。

作業側・駆動側の圧下を個別に制御する「個別圧下制御」は、硬度・板厚・形状にむらがある板に対し調質圧延の安定性が良いが、図4の通り、圧延機にて板が蛇行したとき、蛇行側の圧延ギャップ増大、圧下率低下、後進率増大により、板に曲がりが発生し、蛇行が進展しやすい¹⁾(蛇行は板クラウンが小さいほど顕著となる)。

「トータル圧下荷重制御+マイナー位置制御」は、作業側・駆動側のギャップ差を保持したまま、作業側・駆動側の合計圧下力を制御する方式であり、前述の蛇行の進展が発生しにくい。

また、圧延機入側に蛇行センサを配置し、蛇行発生

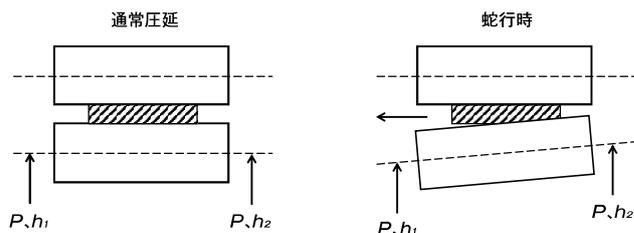


図5 圧延機での蛇行(例)

に合わせて、作業側・駆動側の圧延ギャップを補正する制御も納入実績がある。

(5) 統計的プロセス制御 (Statistical Process Control、以下、SPC)

SPCは、熱延ライン及びSPMLの各種の操業・品質情報をSPCサーバにビックデータとして蓄積し、多変量解析等の統計手法や機械学習等を用いて、品質・生産性・歩留まり及びトラブルに影響するパラメータの分析、及び操業パラメータの最適化を行うシステムである。

当社が設置した一部のラインでは、板先端から一定長さごとの板厚、板幅、平坦度、疵情報、伸率、張力、圧下力等の情報をLv.2サーバに蓄積し、SPCと連携するシステムを検討中である。

5. 極厚ゲージ対応

板の引張強度：最大1,200MPa、最大板厚：12.7mmに対応するために、最大圧延荷重：14,700kN (1,500tonf)、POR最大張力：164.6kN (16.8tonf)、TR最大張力：323kN (33tonf) と、従来より大幅に仕様を向上させた設備を2ライン納入した。

6. 自動車用超高強度熱延鋼板の平坦度向上

(1) 概要

自動車のエンジンから排出される二酸化炭素を削減するために、自動車を軽量化する努力が進められてきた。軽量化のためには、高強度鋼板が必須である。そのため、フレームやシャーシに使用される材料は、近年では降伏応力800MPa以上の超高張力鋼板の適用が進んでいる。また、これらの鋼板には優れた機械的

特性も求められる。この要求は、近年大きく取り上げられている冷延鋼板に限らず、熱延鋼板にも拡大している。

自動車用生産ラインでは、原板の高い寸法精度や良好な板形状、優れた表面品質が要求されるが、一方で、超高強度材の製造には、熱間圧延設備のRun Outテーブル上での急速冷却が必要なため、従来材に比べて、製品の平坦度が問題となることが多い。

上記のような超高強度熱延鋼板を矯正し、より付加価値の高い製品とするために、当社ではテンションレベラ (以下、TL) 付きのHSPMLを1ライン納入した。本ラインには、当社が蓄積してきた、様々な技術と工夫が活かされている。

(2) 当社実績のHSPMLの構成

① Type A：従来のHSPML

図6に従来のHSPMLを示す。これは、入側、出側にリール (POR、TR) があり、中央にSPMがあるシンプルな構成のラインである。一般的な達成平坦度 (急峻度)²⁾ は、0.6~1.0%²⁾ である。

本ラインにおいて、超高強度熱延鋼板の平坦度を確保するには、次のような問題点があった。

- ・リール間で板に張力は付与されるが、特に、降伏点強度の高い高張力鋼板に対する平坦度矯正能力を満足するだけの張力値を得られない。
- ・リールのドラムが変形し、また、巻きつけているコイルの形状が完全な円筒形でないため、板の板幅全体に均一な引張力を付与できない。
- ・平坦度矯正にて最重要項目である、伸率の制御が正確にできない。
- ・超高張力鋼板の矯正に必要な高い張力をPORとTRに付与できない。

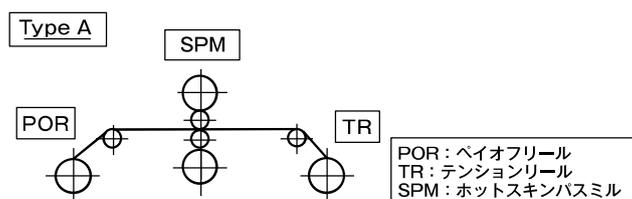


図6 従来のHSPML (Type A)

② Type B：ハイテンション型HSPML

図7に従来のHSPML (Type A) に、板に高張力を与えるためのプライドルロール (以下、BR) 装置を設置した、ハイテンション型HSPMLを示す。一般的な達成平坦度 (急峻度) は、0.4~0.6%²⁾である。

圧延機の前後にBRを設置することで、板にリール間張力よりも高い張力を安定して付与することができる。また、安定した張力付与により、正確な伸率を得ることが可能になる。よって、Type Aにおける4つの問題点は解決され、超高強度材の平坦度矯正能力は (Type Aに比べて) 格段に良好となる。図8³⁾に形状矯正試験を実施した際の試験結果 (実績例) を示す。横軸にコイル材に付与するユニット張力を、

縦軸にSPMにて矯正した後の相対急峻度を示す。ただし、縦軸は、中央の0を基準に、上側に中伸びを、下側に耳波を示している。

矯正前には、相対急峻度が1.5%程度であった板が、板の降伏応力の20~30%程度の張力を板に付与すれば、0.5%以内の良好な相対急峻度を達成できることが分かる。

③ Type C：ハイテンション型HSPML & TL

図9にType BにTLを設置した、ハイテンション型HSPML & TLを示す。一般的な達成平坦度 (急峻度) は0.2~0.3%²⁾である。

Type BにTLを設置することで、SPM及びBRで平坦度要求を満足しきれない板の矯正を行う。TLにおいて、更に塑性伸びを付与することで、

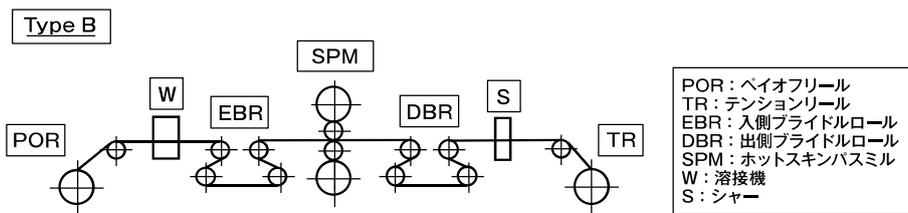
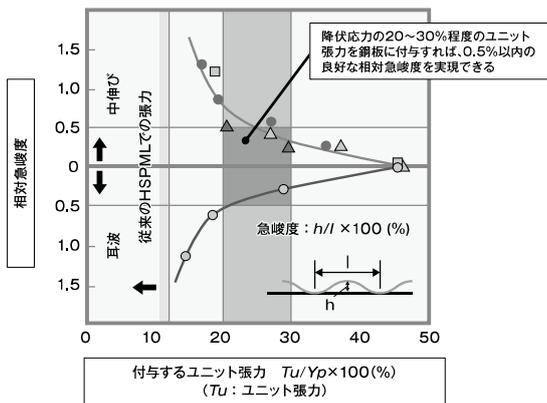


図7 ハイテンション型HSPML (Type B)



記号	○	●	△	▲	■
圧延荷重 kN	220	190	340	290	195
ベンダー力 kN	Dec 82	Inc 42	Dec 105	Dec 28	Dec 25
VCロール 油圧 MPa	70	70	210	100	500
ライン速度 m/min	20	20	20	20	20
伸率 %	0.3~1.7	0.5~1.0	1.0~2.2	0.4~1.7	0.7~1.5
板サイズ mm	1.6' × 1.524"	3.3' × 1.090"	1.6' × 914"	1.6' × 1.524"	1.6' × 1.524"
降伏応力 Yp MPa	300	260	300	300	300

図8 ハイテンション型HSPML (Type B) での平坦度矯正の試験結果³⁾

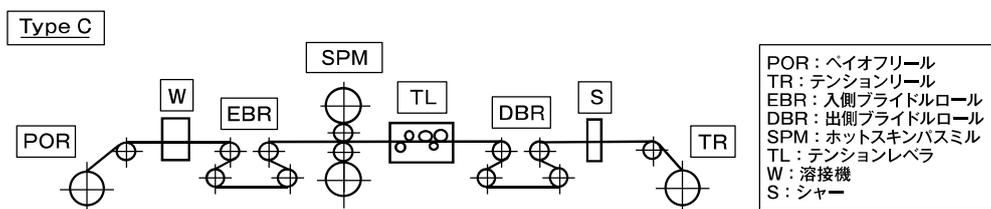


図9 ハイテンション型HSPML & TL (Type C)

板の平坦度はType Bに比べて更に良好となる。図10⁴⁾に形状矯正試験を実施した際の試験結果(実績例)を示す。横軸に矯正前の板平坦度を、縦軸にSPM及びTLにて矯正した後の板平坦度を示す。ただし、横軸は、中央の0を基準に、右側に耳波を、左側に中伸びを示している。

矯正前には、平坦度不良(耳波、中伸びともに)が2%以上あった板が、矯正後には0.2~0.3%まで平坦度(急峻度)が向上(耳波、中伸びともに)していることが分かる。

(3) 今回納入した自動車用超高強度熱延鋼板用 HSPML

今回納入した自動車用超高強度熱延鋼板用HSPMLを図11に示す。本稿では、本章(2)項との整合性をとるために、本ラインをType C' とする。

TLの出側張力値を増加させることで、従来に比べて

矯正可能な板厚と降伏応力の範囲を増やすことができた。具体的には、従来のTL付きHSPMLでは、TLの出側張力値は416.5kN(42.5tonf)であったものを、今回の納入設備では約1.5倍に当たる637kN(65tonf)とし、HSPMの圧下荷重も11,760kN(1,200tonf)から16,660kN(1,700tonf)とした。その結果、矯正可能な板の降伏応力値が784MPaから1,350MPaに拡大できた。

Type B及びCでは板の形状は良くなるが、下記の問題が発生する。

- ・BRの形式上、板の先端通板を行うことができず、溶接機を必要とする
 - ・BRの形式上及び溶接機のスペース確保のため、通板距離が長くなり、歩留が低下する
- 上記の問題点を克服するため、今回納入したラインではBRのロール配置を変更した。具体的にはロール

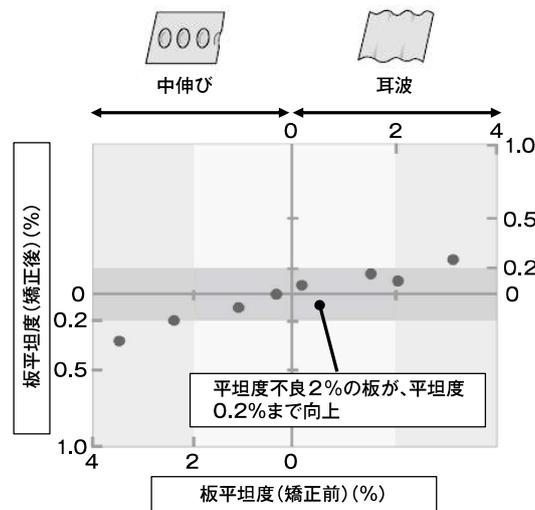


図10 ハイテンション型HSPML & TL(Type C)での形状矯正の試験結果⁴⁾

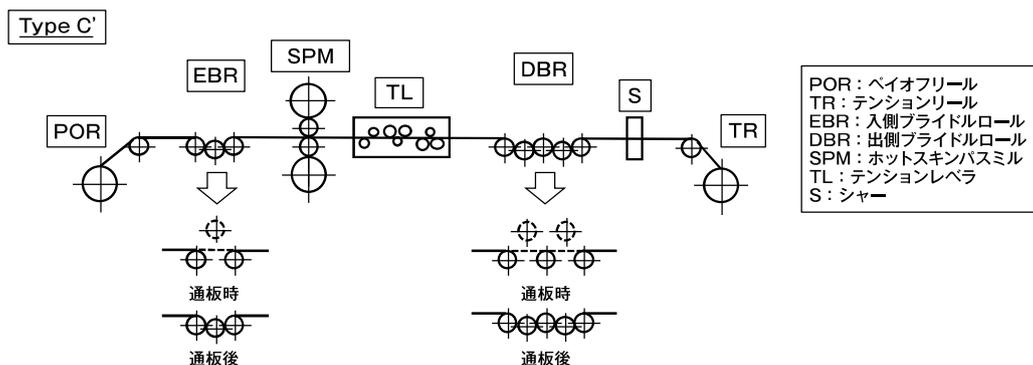


図11 自動車用超高強度熱延鋼板用HSPML(Type C')

を昇降式とした。つまり、通板時にロールを上昇させておき、通板後にロールを下降させ、板に張力を与える。これにより、

- ・通板の距離が短くなる
 - ・溶接機が不要となる（1 コイルずつ処理が可能になる）
 - ・ラインがコンパクトになる
 - ・コストも安くなる
- といったメリットが得られた。

後述の通り、Type C の板に比べて、更に高強度な板を処理しているにも関わらず、平坦度（急峻度）は0.2~0.3%²⁾を達成している。

(4) 自動車用超高強度熱延鋼板用HSPML (Type C') での平坦度矯正

写真1に自動車用超高強度熱延鋼板用HSPML (Type C')において、実際に板が矯正されている様子を示す。左がSPM及びTLで矯正される前の状態、右が矯正された後（出側BRを通過した後の低張力状態での写真）の状態を表している。

矯正前の写真では、耳波（写真の右側）や大きな

反り（写真中央）が認められるが、矯正後の写真では、それらの平坦度不良が非常に良く矯正されていることが分かる。

7. おわりに

本稿では、近年納入したHSPMLの機能や、新しく適用した技術について紹介した。HSPMLは近年の熱間圧延製品の高機能化、高品質化を達成するための精整工程設備として、従来以上に高いニーズが求められており、近年納入したラインはそれらのニーズに対応した設備となっている。今後はAI、IoT等の技術を適用し、顧客のより新しい、より高い要求に応えるHSPMLとしていく所存である。

<参考文献>

- 1) 「板圧延の理論と実際」、社団法人日本鉄鋼協会、1984年、P.242
- 2) 阿部敬三「板形状矯正設備の最前線」、第129回塑性加工学講座、2013年、P.156
- 3) 加納勝雄・布川剛・西野憲・原田典・益居健「熱延鋼板用ハイテンションスキンバスマルの開発」、CAMP-ISIJ、'86-S1235、1986年、P.443
- 4) 檜垣聡・小出正人・下向央修・東野建夫・北浜正法・兼尾昌宏「水島ホットNo.1 SKの形状矯正効果」、CAMP-ISIJ、Vol.7、1994年、P.371

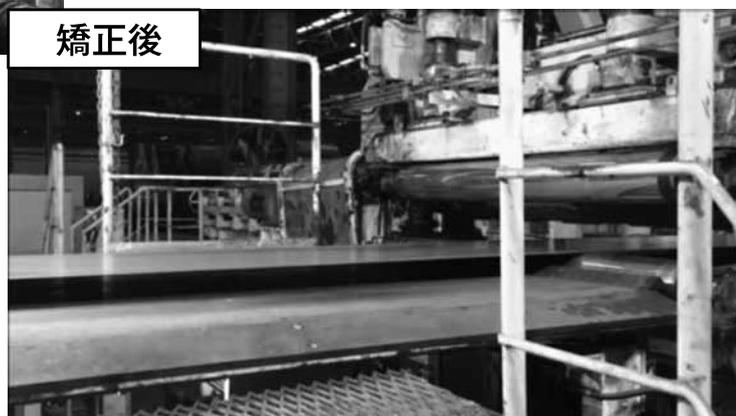
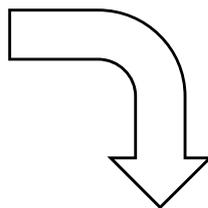


写真1 自動車用超高強度熱延鋼板用HSPML (Type C')での平坦度矯正前後の試験結果