

板形状矯正設備の最前線

阿部 敬三 (スチールプランテック(株))

1. はじめに

近年、金属板には高強度でかつ高い靱性や高い溶接性も併せ持ち、更に自動化に対応できる高い寸法精度や平坦度等の高機能要求が高まってきている。一方で生産性に対する要求も年々高くなってきている。その金属板の機能を本質的に決定する、製鋼、圧延、熱処理の技術の発展は目覚ましいものがあるが、それに伴い、その後の工程である矯正工程にもより高度な技術が求められてきている。これらの要求に応えるため、矯正設備も大きく進歩を遂げてきている。本稿では、金属板の矯正設備として代表される、スキンプスミル、テンションレベラ、ローラレベラ（特に近年、技術発展が見られる厚板レベラ）という 3 種類の矯正設備について最近の技術を紹介する。

2. 矯正設備の種類と特徴

金属板の矯正機の歴史は長く、現在でも様々な形式の矯正機が存在する。大きく分けると、部分曲げ戻し型、軽圧延型、繰り返し曲げ戻し型、熱処理型、引張型とその組合せの形式に分類される。その特徴を表 1¹⁾に示す。表 1 の設備の内、プレスレベラ、ストレッチャー、テンションアニラーは生産性が低く、対象材が限られるため、ここでは幅広く適用されているスキンプスミル、テンションレベラ、ローラレベラ（特に近年の厚板レベラの技術）について紹介することとする。

3. スキンプスミル、ローラレベラ、テンションレベラの矯正原理

矯正能力の中で最も重要とされる能力は、圧延工程で発生する耳波、中伸び、クォーターバックルなどの圧延歪（図 1）¹⁾である。熱処理過程で生ずる同様の平坦度不良も、実際には圧延直後は圧延歪が材料剛性のため内部残留応力として蓄積され、表面的には平坦度不良として顕在していなかったものが、熱処理中に残留応力が解放されることによって発生していることが多いため、これも圧延歪による形状不良が原因と考えられる。

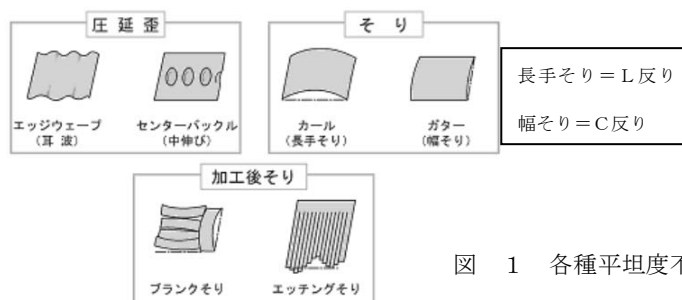
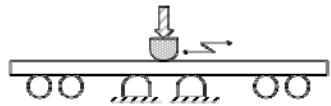
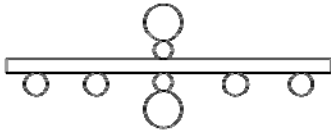
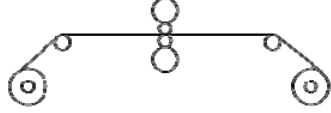


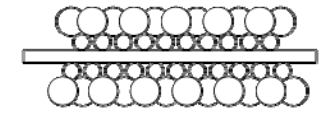
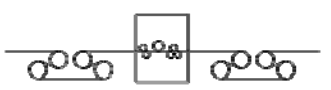
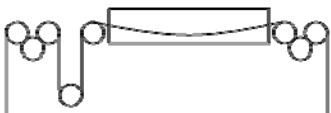


図 1 各種平坦度不良

表 1 板矯正機の種類

	矯正概念	原理	対象材	表面性状調整	降伏点伸び除去	圧延歪除去 (耳波、中伸び)	そり除去 (L反り、C反り)	残留応力除去
プレスレベラ		部分曲げ戻し	厚板	×	×	×	L反り: ○ C反り: ○	×
切板用スキンパスミル		軽圧延	厚板シート	○	○	△	L反り: ○ C反り: ○	△
(連続)スキンパスミル		引張+軽圧延	コイル	○	○	○	L反り: ○ C反り: ○	△
ストレッチャー		引張	シート	×	×	◎	L反り: ◎ C反り: ×	○
連続ストレッチャー		引張	コイル	×	×	◎	L反り: ○ C反り: ×	○
ローラレベラ		繰り返し曲げ	シート及びコイル	×	△	○	L反り: ◎ C反り: ○	○
テンションレベラ		引張+繰り返し曲げ	コイル	×	△	◎	L反り: ◎ C反り: ◎	△
テンションアニーラー		引張+熱処理	コイル極薄材	×	×	○	L反り: ○ C反り: ×	○

評価 ◎2重丸:非常に能力が高い ○:能力が高い △:能力は低い ×:能力は無い

3-1 スキンパスミルの矯正原理

スキンパスミルによる圧延歪 (中伸び、耳波、クォーターバックル等) の矯正は、前後張力が無い、または低い場合は、単純な圧延作業により、波の無い短い部分を圧延し、波のある長い部分の長さに揃えることにより波をなくすという原理である。従い、単純な圧延作業での矯正は、入側の材料の板厚プロファイルや平坦度不良の状況 (波の位置や大きさ) で、圧延条件を変える必要があ

り、特に薄い板の場合は安定して平坦度を確保する事が難しい。

一方、張力を付与した圧延の場合は、波の無い短い部分に高い張力がかかり、波のある長い部分は張力がかからないか、かかっても低い張力となるため、圧延荷重が、板幅方向に均一にかかれば、短い部分から圧延されてゆき、長い部分と同じ長さとなる。従って、張力を付与したスキンプラス圧延の方が、圧延歪に起因する形状不良の矯正効果が高くなる。図 2 は張力と圧延による圧縮応力による塑性開始条件を最大せん断エネルギー説にて模式的に示したもので、導き出された(1)式は張力が高い部分程、低い圧延力で降伏点に達することが判る。張力と平坦度の関係を確認した実験結果を図 3 2)に示す。図 3 ではユニット張力は降伏応力の 20-30%以上かけるのが平坦度を向上させるのに効果が大きいことを示している。

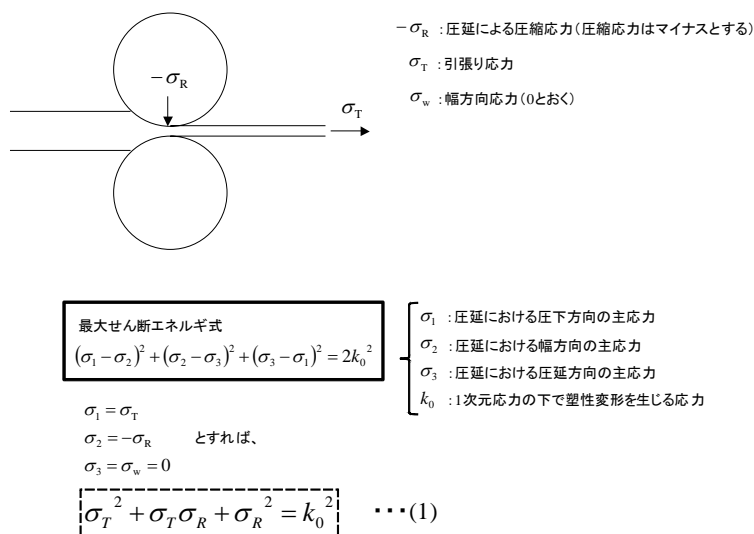


図 3 張力と圧延による圧縮応力による塑性開始条件

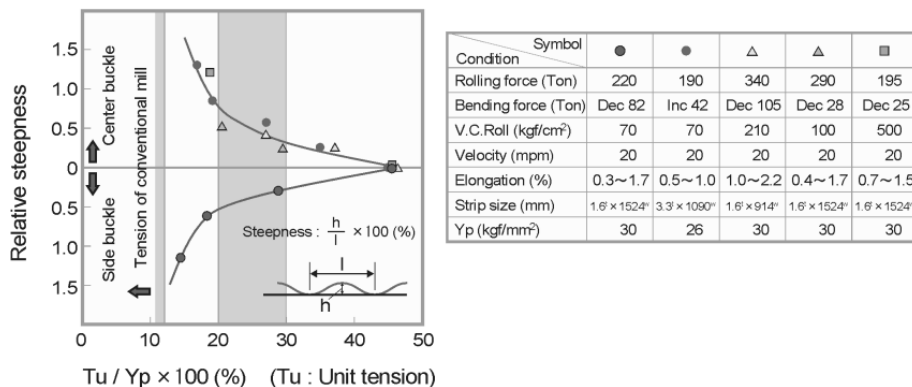


図 4 張力と平坦度の関係を確認した実験結果

3-2 ローラレベラの矯正原理

ローラレベラによる圧延歪の矯正は材料に均一な曲げ戻しを与えて、長い部分は短く、短い部分は長くして、長さをそろえるという原理である。図5にその原理を示す。曲げを与えることにより、板の表裏に塑性変形領域を発生させた状態下において、圧延歪により発生する軸力（すなわち長い部分は短い部分に引っ張られる長手方向圧縮応力、短い部分は長い部分に引っ張られる長手方向引張応力）で長さを均一にしようとする原理である。入側で強く曲げ、出側になるに従って曲率を下げてゆき最終的に反りも矯正する。入側での強い曲げは、一般には降伏率（ $\eta=1-(2 \times \sigma_y \times \rho / (E \times T))$ ）ここで η :降伏率、 σ_y :降伏応力、 ρ :曲率半径、 E :ヤング率、 T :板厚）を70-80%を与える必要があるとされている。図6は板厚10-30mm、降伏応力400-1100MPa、板幅2500-3000mmの厚板の平坦度を測定したものである。この時のローラレベラ入り側での降伏率は75%である。

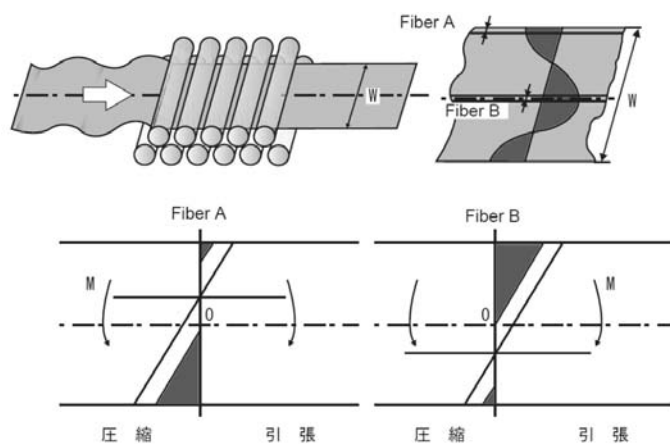


図5 ローラレベラの矯正原理

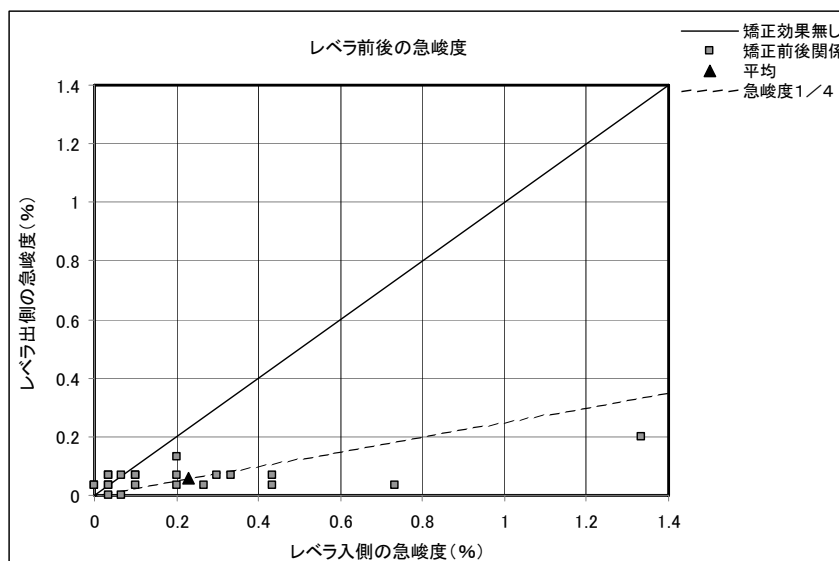


図6 ローラレベラの矯正効果（一例）

3-3 テンションレベラの矯正原理

テンションレベラは引張矯正（引張矯正原理を図 7³⁾ に示す。）と同じ様に、板幅全体にわたり、同じ長さとなる様に長さ方向に塑性変形を与え、長さを均一にする原理であるが、引張矯正と異なる点は引張を与える時に曲げを与えて曲げによって表面を降伏状態にしておけば、引張矯正に比べて格段に低い張力で長さを均一にそろえることが出来るという利点がある。

このテンションレベラが圧延歪除去と言う意味では、最も矯正効果が高く、かつ高速矯正が可能があるということで最も広く使われている矯正装置である。

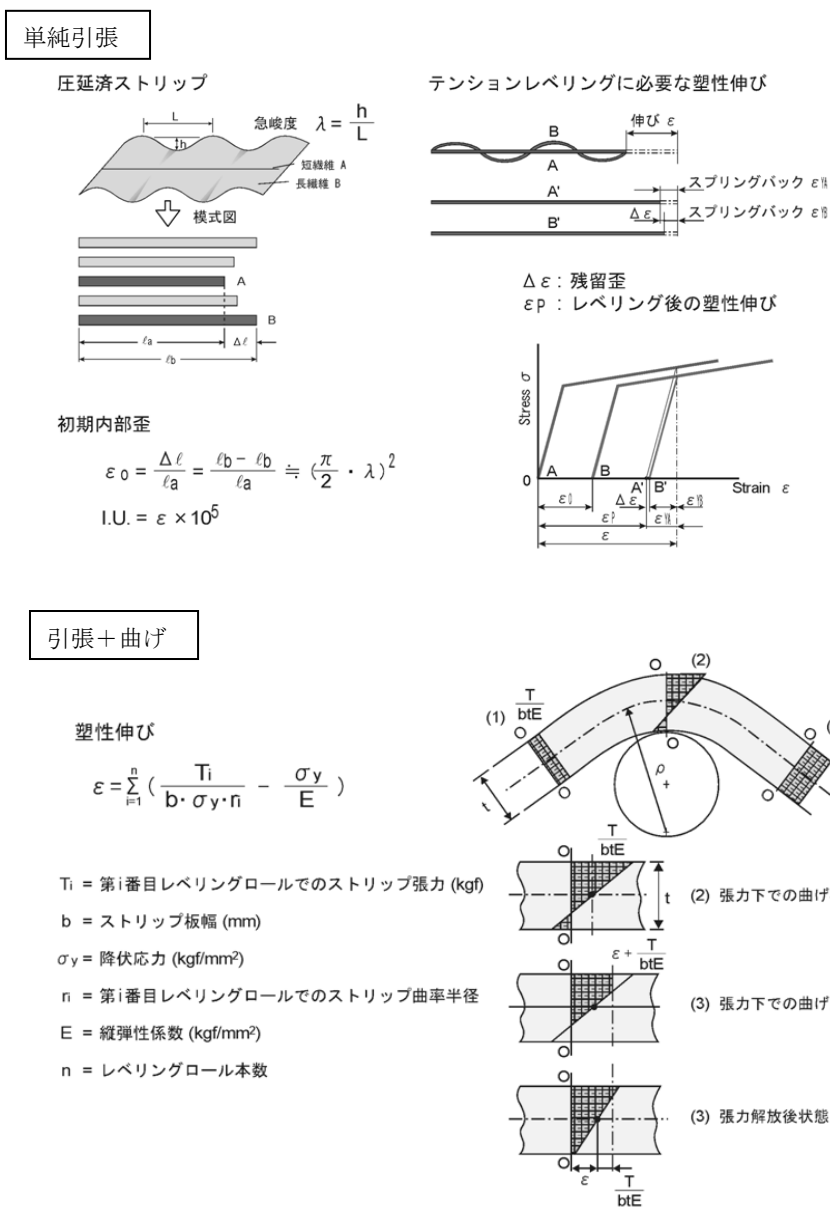


図 7 テンションレベラの矯正原理

4. スキンパスミル

4-1 スキンパスミルの機能及び適用設備

スキンパスミルは一般的に 0.3-5.0%(2.0%までが一般的)の圧延率で軽圧延をする事により、①形状矯正の機能の他に、②表面粗さの調整（製品として必要とする表面粗さに整える、またはより高い光沢を与える）機能と、③降伏点伸びが存在する材料の場合、次工程の絞り加工等で生じる、たたみ皺や、リューダースマークを防止するために、降伏点伸びを消すという、材料機械的特性の改善といった3つの機能も併せ持つ。また、すずめっき鋼板母材の降伏応力（または硬度）等の機械的性質を調整するためのテンパーミルもここではスキンパスミルとして取り扱う。

スキンパスミルは、一般炭素鋼の焼鈍済冷間圧延材、一般炭素鋼の熱間圧延材、ステンレス鋼の焼鈍済冷間圧延材に適用されることが多い。表2はスキンパスミルが設置されている設備とその設置目的、圧延率等をまとめたものである。

表 2 スキンパスミルの適用設備

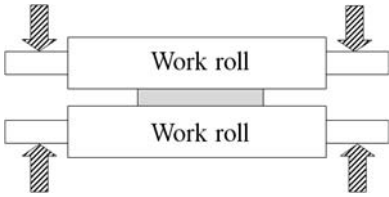
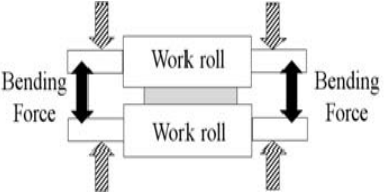
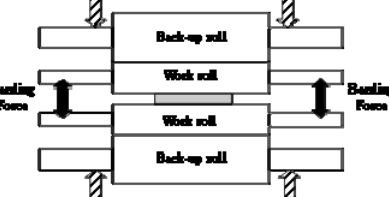
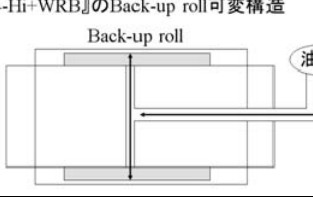
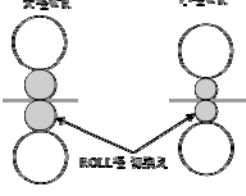
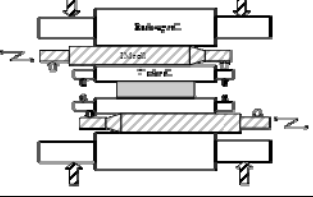
対象材	適用設備	目的	圧下率	注記
炭素鋼 熱間圧延鋼板	ホットスキンパスミル	熱間圧延鋼板の降伏点除去 表面の平滑化 平坦度の向上	0.5-2.0%	DRY圧延
	連続酸洗ライン 酸洗タンク入側スキンパスミル (スケールプレーカ)	表面のスケールにクラックを入れる ことによる酸洗時間の短縮 平坦度の向上	2.0-5.0%	DRY/WET圧延
	連続酸洗ライン 酸洗済鋼板 ホットスキンパスミル	酸洗後表面の平滑化 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	1.0-3.0%	DRY圧延
炭素鋼 冷間圧延鋼板	シート材用連続焼鈍設備(SHEET CAL) インラインスキンパスミル(テンパーミル)	表面粗さの調整 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.5-2.0%	WET圧延
	ブリキ原板用連続焼鈍設備(TIN CAL) インラインスキンパスミル(テンパーミル)	表面粗さの調整 機械的性質の調整 平坦度の向上	1.0-5.0%	DRY圧延
	(独立)テンパーミル、テンパープロセス ライン	表面粗さの調整 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.5-2.0%	バッチ式焼鈍コ イルが主たる 対象 WET圧延
	連続亜鉛めっき設備インラインスキンパ スミル	亜鉛めっき表面の調整 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.5-2.0%	WET圧延
ステンレス鋼冷間 圧延鋼板	連続焼鈍酸洗設備インラインスキンパス ミル	光沢の改善 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.2-1.5%	DRY/WET圧延
	連続光輝焼鈍設備インラインスキンパス ミル	光沢の改善 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.2-1.5%	DRY圧延
	(独立)スキンパスミル	光沢の改善 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.2-1.5%	DRY/WET圧延

4-2 スキンパスミル本体の構成

スキンパスミル本体の構造は、2 段、4 段、6 段の基本構成、形状制御能力と、表面粗さ調整能力により選択される。表2に現在一般的に適用されている形式を示す。一般的にスキンパスミルの場合

は、均一な表面粗さの調整の必要性から、一般的には冷間圧延よりもより大きなロール径を選定し、板幅全体に均一な圧延圧力を与える事を優先している。

表 3 スキンパスミル本体の構造

形式名称	説明図	作業 ロール径	対象材	備考
2Hi		650mm -1200mm	ステンレス鋼 熱延炭素鋼	独立スキンパスミル ラインが多い。
2Hi+WRB		650mm -1000mm	ステンレス鋼	4Hi+WRBに比べると形状制 御性は劣る。
4Hi+WRB		280mm -650mm	冷延炭素鋼 熱延炭素鋼 ステンレス鋼	最も一般的な形式。
4Hi+WRB+ プロファイル 可変BUR		280mm -650mm	冷延炭素鋼 熱延炭素鋼 ステンレス鋼	VCロール、TPロール等が 日本で開発された。小径 作業ロールでも形状矯正 能力が高いとされる。
4Hi+WRB+ ロール径切替 式		小径 280 -450mm 大径 600mm -750mm	冷延炭素鋼 ステンレス鋼	近年の連続重鉛メッキ設 備の適用が多い。
6Hi+WRB+IMRB + IMRshift		400mm -600mm	冷延炭素鋼 ステンレス鋼	近年の連続焼鈍設備への 適用が多い。

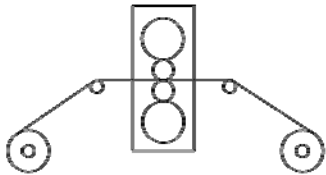
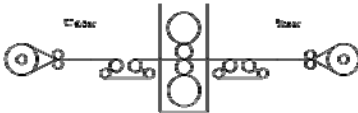
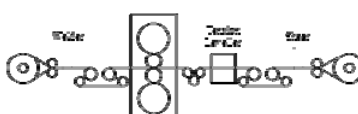
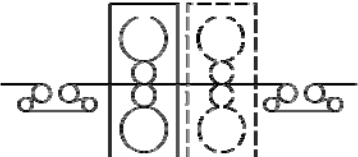
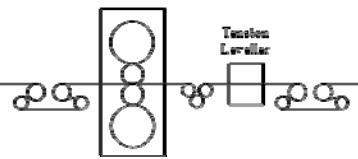
WRB:作業ロールベンダー IMRB:中間ロールベンダー IMRshift:中間ロール軸方向移動式

一般に $2\text{Hi} < 4\text{Hi} < 6\text{Hi}$ で平坦度矯正能力は向上するが、製品光沢を重要視しているステンレス用では現在でも 2Hi を使うことが一般的である。 4HiWRB +ロール径切替式は最近の自動車用連続亜鉛メッキラインにしばしば適用され、大径ロールは軟質材及び極軟質材に適用し、従来より大きな荷重で圧延することにより、圧延ロール粗さの転写率を上げられる。一方、小径ロールは高強度材に適用し、伸び率を確保して高い平坦度を達成することが出来る様に使い分けられている。 $6\text{Hi}+\text{WRB}+\text{IMRshift}$ は一般冷延鋼板及びびずめつき鋼板母材を製造する連続焼鈍設備の出側に良く設置されている。

4-3 スキンパスミルの前後設備を含む構成

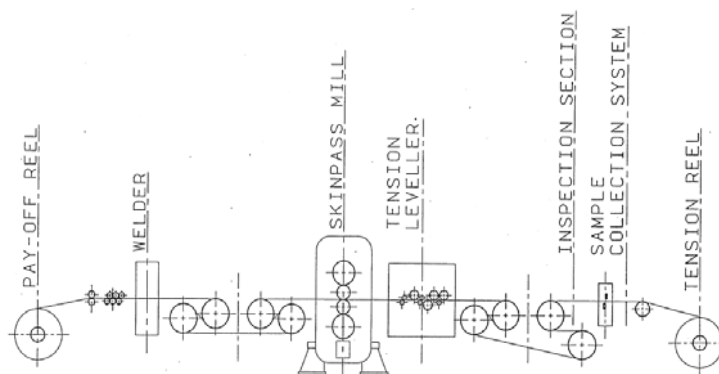
また、スキンパスミルの前後設備を含む構成としては表 4 に分類される。

表 4 スキンパスミルの前後設備を含む構成

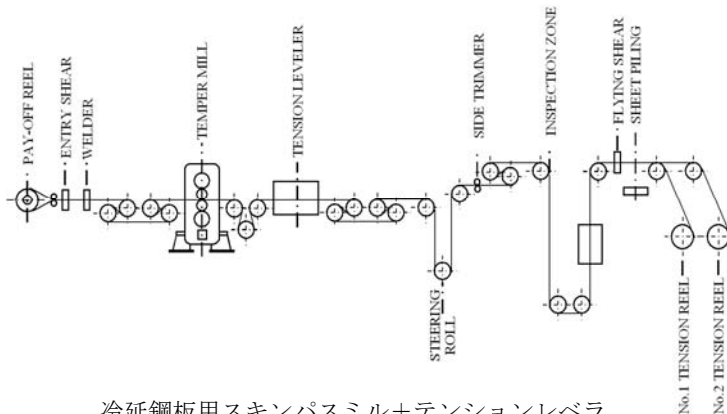
区分	説明図	対象材	一般的な達成平坦度 (4Hiスキンパスミルの場合)
独立式スキンパスミル		一般炭素鋼冷延鋼板用スキンパスミル (冷延材用テンパーミル) 熱間圧延鋼板用スキンパスミル (ホットスキンパスミル) ステンレス鋼冷延鋼板用スキンパスミル	10-25 I-unit (急峻度: 0.6-1.0%)
独立式ハイテンション型 スキンパスミル		一般冷延材用スキンパスミル (冷延材用テンパーミル) 熱間圧延材用スキンパスミル (ホットスキンパスミル) ステンレス冷延材用スキンパスミル	3-6 I-unit (急峻度: 0.4-0.6%)
独立式ハイテンション型 スキンパスミル +テンションレベラ		一般冷延材用スキンパスミル (冷延材用テンパーミル) 熱間圧延材用スキンパスミル (ホットスキンパスミル) ステンレス冷延材用スキンパスミル	1-2 I-unit (急峻度: 0.2-0.3%)
インラインスキンパスミル (ハイテンション型) 1stand または 2stand		連続亜鉛メッキライン用スキンパスミル 連続焼鈍ライン用スキンパスミル(炭素鋼) 連続酸洗ライン用スキンパスミル (スケールブレーカ) 酸洗焼鈍ライン用スキンパスミル 光輝焼鈍ライン用スキンパスミル	3-6 I-unit (急峻度: 0.4-0.6%)
インラインスキンパスミル (ハイテンション型) +テンションレベラ		連続亜鉛メッキライン用スキンパスミル 連続焼鈍ライン用スキンパスミル(炭素鋼) 連続酸洗ライン用スキンパスミル (スケールブレーカ) 酸洗焼鈍ライン用スキンパスミル 光輝焼鈍ライン用スキンパスミル	1-2 I-unit (急峻度: 0.2-0.3%)

形状矯正能力はハイテンション型スキンパスミル+テンションレベラ>ハイテンション型スキンパスミル>独立式スキンパスミルの順番である。独立型スキンパスミルの場合は、ミル前後張力は巻取り及び巻き出しリールであるため、高いユニットテンションがかけられない事や、リールのドラムの張力による曲がりやコイルの形状の影響で板幅方向に均一な張力を維持することが困難なため形状矯正能力はブライドルロールで張力を発生させるハイテンション型に比べると平坦度矯正能力が落ちる。近年はシンプルな独立型の新設が減少し、高い形状矯正能力を有するハイテンション型の設置が増加している。

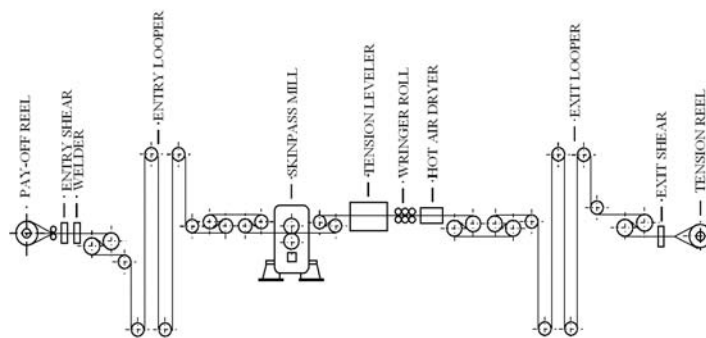
図 8 はいずれも、独立型ハイテンションスキンパスミル+テンションレベラの実績レイアウトである。



熱延鋼板用スキンパスミル+テンションレベラ



冷延鋼板用スキンパスミル+テンションレベラ



ステンレス鋼板用スキンパスミル+テンションレベラ

図 8 独立型ハイテンションスキンパスミル+テンションレベラの実績レイアウト

4-4 平坦度フィードバック制御

スキンプスミルの場合、ミル入側の形状や、圧延荷重、速度などによってベンダー等の平坦度調整機能の設定を変える必要があり、最近では平坦度計を設置して、その計測結果をスキンプスミルの形状制御アクチュエータにフィードバックしているものがある。ミル形式は 2 Hi、4 Hi、6 Hi のいずれにも実績がある。但し、あくまでもフィードバック制御であるので、形状不良部を感知してから補正にかかるため、応答遅れは必ず存在する。例えば連続焼鈍ラインの場合は、平坦度計を設置したラインであっても、溶接点前後で、板厚、板幅、速度が変動するときは、圧延荷重が大きく変動するため、平坦度計でのフィードバックは行わず、圧延荷重に直接形状制御アクチュエータが応答する制御を取り入れている。

4-5 伸び率制御

一般に伸び率制御は伸び率をオンラインで測定し、圧延荷重を調整することが多いが、ブライドルロールが前後に設置されたハイテンション型スキンプスミルでは、特に薄い板を生産する場合は、ブライドルロールで伸び率を制御し、圧延荷重は一定としているものもある。(ブライドルロールで伸び率を制御するため、結果的に張力が変化する。) この制御方法は圧延荷重が変わらないので比較的平坦度達成効果が高い。

4-6 WET 圧延/DRY 圧延

スキンプスミルでは、目的により圧延中に液を供給する WET 圧延方式と、何も液を供給しない DRY 圧延方式がある。一般には DRY 圧延はロール粗さの転写率が高く、目的の表面粗さに調整しやすい。WET 圧延は押し傷防止効果や場合によっては防錆効果が期待できる。

4-7 スキンプスミルのロールクリーニング装置

スキンプスミルでは何らかの形でロールクリーニング装置が設置されている。最近連続亜鉛メッキライン用スキンプスミルでは、高圧水を吹き付けるクリーニング装置が設置され始めた。これを適用することにより、ワークロールの粗さが、それまで一般的に採用されていた回転ブラシ式に比べ、長持ちするという利点があり、採用が進んでいる。

5. テンションレベラ

5-1 テンションレベラの機能及び適用設備

テンションレベラは一般的に 0.1-2.0% (1.0%までが一般的) の伸び率を与えることにより、形状矯正を行う。形状矯正機能が最大の機能であるが、酸洗前の鋼板では表面スケールにクラックを入れて、酸洗時間の短縮を図るスケールブレイキングの目的、電解メッキ槽でのメッキ品質や、めっき効率を向上させる目的、残留応力を調整する目的で通板性を向上させる目的で設置されることもある。

表 5 はテンションレベラの適用設備と、その目的、適用伸び率、図 9 に示すテンションレベラのロール配置の形式を一覧表で示したものである。

表 5 テンションレベラの機能及び適用設備

対象材	適用設備	目的	伸び率	ロール配置	注記
炭素鋼 熱間圧延鋼板	ホットスキンパスミルライン (スキンパスミルの出側に設置)	スキンパスミルでは達成できないレベルまで平坦度を向上させる。	0.1-0.3%	A	
	連続酸洗ライン (酸洗タンク入側に設置) (スケールブレーカとも呼ぶ)	表面のスケールにクラックを入れることによる酸洗時間の短縮 平坦度の向上	0.5-3.0%	A	スキンパスミルと組合せの場合もある。
炭素鋼 冷間圧延鋼板	テンションレベリングライン リコイルングライン コイルプリレーションライン	平坦度の向上	0.3-0.5%	A, B, C	ライン速度、最大1340m/分と高速のものもある。
	連続焼鈍設備 (テンパーミルの出側に設置)	スキンパスミルでは達成できないレベルまで平坦度を向上させる。	0.5-2.0%	B, C	焼鈍炉内の通板性向上のために入り側に設置する場合もある。
	テンパープロセスライン (テンパーミルの出側に設置)	スキンパスミルでは達成できないレベルまで平坦度を向上させる。	0.5-2.0%	B	バッチ式焼鈍コイルが主たる対象
	連続亜鉛メッキ設備 (メッキ設備出側に設置)	亜鉛めつき表面の調整 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.5-2.0%	B	スキンパスミルとの組み合わせが多い。
	連続電気(亜鉛、すず)メッキ設備 メッキ槽入側	平坦度の向上 C反りの除去(電解メッキの電極間距離を短くする目的)	0.1-0.3%	C	ブランク反り要求ある。
	連続塗装ライン (塗装後のオープン出側に設置)	平坦度の向上	0.1-0.5%	A, B	
ステンレス鋼 熱間圧延鋼板	連続焼鈍酸洗設備 (酸洗タンクの入り側に設置) (スケールブレーカとも呼ぶ)	表面のスケールにクラックを入れることによる酸洗時間の短縮 平坦度の向上	0.5-2.0%	A	
ステンレス鋼 冷間圧延鋼板	連続焼鈍酸洗設備 (スキンパスミルの出側に設置)	光沢の改善 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.1-0.3%	A	
	連続光輝焼鈍設備 (スキンパスミルの出側に設置)	光沢の改善 降伏点伸びの除去 平坦度の向上	0.1-0.3%	A	
	テンションレベリングライン	平坦度の向上	0.1-0.3%	A, B, C	降伏応力1800MPaの超ハード材もある。
アルミ アルミ合金	テンションレベリングライン	平坦度の向上	0.1-0.3%	C	
	缶材塗装ライン (塗装前処理設備入り側に設置)	平坦度の向上	0.1-0.3%	C	ブランク反り要求ある。
銅 銅合金	テンションレベリングライン	平坦度の向上 残留応力の低減	0.1-0.3%	C	エッチング反り要求ある。
ニッケル-鉄合金	テンションレベリングライン	平坦度の向上 残留応力の低減	0.1-0.3%	C	エッチング反り要求ある。

5-2 テンションレベラの本体の構成

テンションレベラは、レベリングロールスタンドと張力発生装置である、入り側及び出側のブライドルロールから構成されている。テンションレベラ本体は、対象材料、設置目的、ライン速度等で異なるが、概ね図 9¹⁾の構成が最近では標準となっている。

最初に伸長ユニット (E) で、伸び率を与え、圧延歪を矯正したあと、その後の矯正ユニット (F1、F2、MU) で、伸長ユニットで発生した、C反りとL反りを矯正するという機能分離をしたユニット構成としている。

Type (A) は一般炭素鋼、ステンレス鋼の焼鈍材用の構成であり、矯正張力が比較的低いため、伸長ユニットでC反りが発生しないので、L反り矯正ユニットが設置されているだけの比較的簡素な

構成である。Type (B) は一般炭素鋼、ステンレス鋼のハード材（降伏応力 800MPa 位まで）の対象としたロール構成である。この場合は伸長ユニットで C 反りを発生させることが多く、C 反り矯正ユニット (F1) と L 反り矯正ユニット (F2) を持つ。Type (C) は L 反りを Type (B) より更に安定させる必要が有る場合に適用する。降伏応力が 800MPa を超える材料一般炭素鋼、ステンレス鋼、速度が 800m/分を超える速度の設備、ブランク反りが問われる材料などはこの構成となっている。

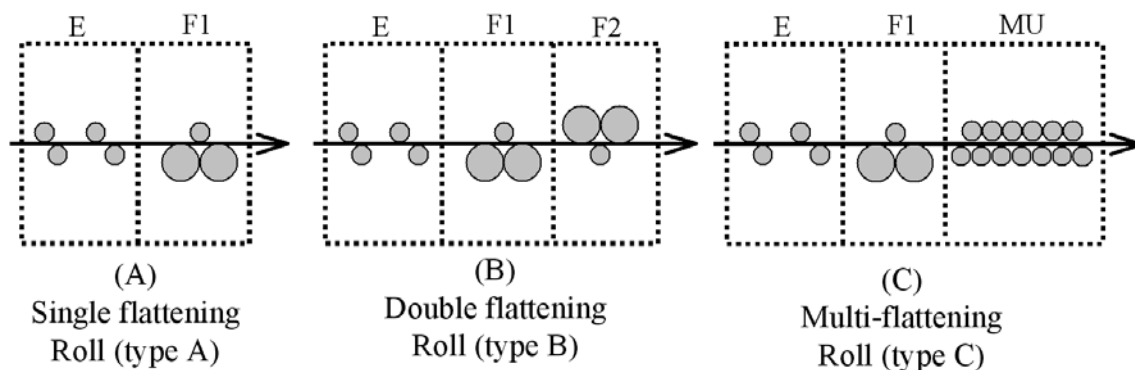


図 9 テンションレベラの本体の構成

5-4 前後ブライドルロール及びその駆動装置

前後ブライドルロールは、対象材料により、大きく鋼製ロールに硬質クロムメッキをしたものや、タングステンカーバイドを溶射したもの、またはポリウレタンをライニングしたものが多く使われている。そのブライドルロールの駆動は、ロール 1 本に対し 1 台のモータで駆動する方式 (INDIVIDUAL DRIVE 方式) が一般的になってきているが、800mpm 以上の超高速で操業するものや、0.1%程度の非常に小さな伸び率で操業するものは、現在でも 1 台の主駆動モータと伸び率制御モータで駆動する方式 (MECHANICAL TIED 方式) も多く適用されている。

5-5 WET レベリング/DRY レベリング

近年、表面品質要求が非常に高くなっており、レベラロールマーク (チャターマーク) や押し傷などの表面欠陥は特に嫌われる傾向となっている。押し傷については、レベラ内に材料に付着した異物が入りレベリングロールに付着することにより、その後、その異物が何度も製品に押し傷をつけてゆくという欠陥であるが、これを防止するために、殆どのロールスタンドで、液体をかけながらレベリングする設備となっている。液体は、水、洗浄性能を持った原液を水で希釈したもの、溶剤、低粘度鉱物油など様々であり、矯正対象材によって使い分けられている。また、高速での WET 矯正はロールが回転しない現象も頻発するので、レベリングロールを補助駆動して、ロールの回転をライン速度に合わせる技術も非常に重要である。ステンレス鋼板用のテンションレベラは、すべての板の接触するロールの補助駆動を行っており、この機能の優劣がテンションレベラの優劣を決めることさえある。

6. ローラレベラ

ローラレベラは L 反りを安定して矯正できるため、熱延鋼板、冷延鋼板、ステンレス鋼、アルミ及びアルミ合金、銅及び銅合金などすべての金属板の矯正に用いられている。最も多く適用されているのが、コイル材から切板にする設備である、シャーラインであり、切断前に、材料の反りを除去することが最大の機能となっている。一方、コイル材とは別に最初から長さが切断されている厚板にも、平坦度を向上させる目的で適用されている。以降近年技術発展が著しい厚板レベラについて紹介する。

7. 厚板ローラレベラ

7-1 厚板ローラレベラについて

厚板工場で生産される圧延鋼板（主として板厚 6mm-150mm、板幅 1,500mm-5,400mm、以降「厚板」と記載）の矯正設備は、プレス矯正機と呼ばれる鋼板の曲がりを矯正する設備の他に、図 10⁴⁾に示す様に複数本のロールで繰り返し曲げ戻しを行って、曲がりのみではなく、圧延歪に代表される形状不良の矯正や残留応力の低減を行う効果も兼ね備えたローラ矯正式厚板レベラ（以降「厚板レベラ」と記載）がある。

日本国内の厚板レベラは戦後しばらくの間は欧米メーカーの輸入設備またはそのライセンスで製作された設備であったが、ここ最近の平坦度や、残留応力低減の要求品質の高まり、また生産性向上の要求から、日本国内で開発された新しい厚板レベラが採用されるようになってきた。

当社においても 1965 年より自社開発の厚板レベラを納入してきたが、最新鋭の厚板レベラとして、ダイナミッククラウニング制御という第 4 世代の撓み補正機能を持つ厚板レベラを 1998 年に実用化した。その後、2012 年末現在 16 台の設計、納入実績を通じて、この撓み補正技術と、その技術を核として付随する周辺技術も確立してきている。

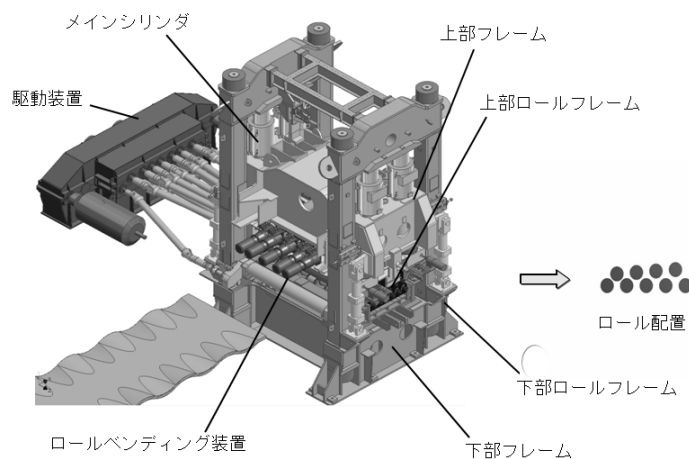


図 10 厚板ローラレベラの構造

7-2 厚板工場内の厚板レベラ

日本の製鉄所の厚板工場においては、一般的に下記の厚板レベラが設置されている。図 11 に標準的な厚板工場のレイアウトを示す。

(ア) 加速冷却装置前厚板レベラ (プリレベラ PL)

加速冷却装置の直前に設置し、均一な冷却効果を得るために、大きなそりを熱間で矯正するローラ式矯正機

(イ) 熱間厚板レベラ (ホットレベラ HL)

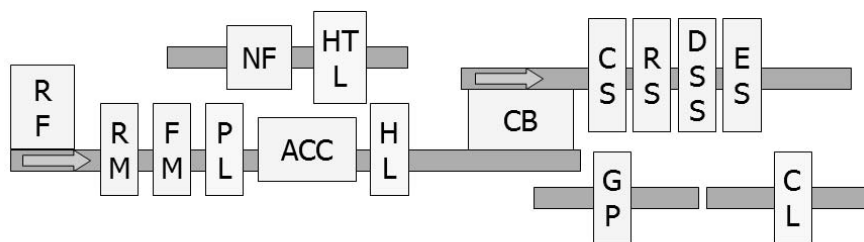
熱間圧延や加速冷却装置の後段に設置し、圧延や冷却で発生した歪を熱間で矯正するローラ式矯正機

(ウ) 冷間厚板レベラ (コールドレベラ CL)

冷却床の後段、またはオフラインに設置し、冷却後に残った圧延歪、熱歪、残留応力を冷間で矯正するローラ式矯正機

④ 熱処理厚板レベラ (ヒートトリートレベラ HTL)

熱処理設備 (焼ならし、焼入れ、焼戻し設備) の後段に設置し、これらの熱処理で発生した歪や残留応力を温間または冷間で矯正するローラ式矯正機



RF:再加熱炉 CB:冷却床 CS:クロープシャ RS:ロータリーサイドシャ
 DSS:ダブルサイドシャ RM:粗圧延機 FM:仕上げ圧延機 ACC:加速冷却
 ES:エンドシャ NF: 焼ならし炉 GP: プレス矯正機 PL:プリレベラ HL:ホットレベラ
 CL:コールドレベラ HTL:熱処理レベラ

図 1 1 厚板工場における矯正設備と配置

7-3 撓み補正機能の進歩

初期の厚板レベラは、一般的に 20MN (約 2040tonf) 程度の矯正荷重能力を持つが、この様な荷重で厚板を矯正した場合、レベラ自身に撓みが生じ、厚板に所定の曲げが与えることが出来なかったり、幅方向の曲げの強さが不均一となるなどの問題が生じ、結果的に矯正能力が発揮されない問題があった。

これらの問題を解決するために、新しい撓み補正機能が順次追加されていった。この撓み補正機能の進歩に従い、第 1 世代 (撓み補正機能が全く無いレベラ) から第 4 世代 (最新の撓み補正機能を有し、矯正中の曲げ強さが初期設定どおりに常時与えられることを保証するレベラ) に区分されている。

図 1 2 は厚板レベラの矯正前と矯正中の撓みを示したもの。表 6 は世代別の撓み補正機能をまと

めたものである。

第 4 世代の厚板レベラは図 1 3 に示す様に、ロールギャップ（上下のレベリングロール間の間隔）の設定機能と縦撓み（ハウジングの縦伸び）の動的補正機能を持つ 4 個の油圧メインシリンダと、更に横撓み（上下フレーム曲げ撓み）と圧縮撓み（矯正ロールやロールサポート等の部品の圧縮変形）の動的補正機能を持つ合計 14 個（進行方向 2 列、幅方向 7 列が上部フレームか下面に取り付けられている。）のクラウニングシリンダにより、矯正中の荷重が変化してもロールギャップを一定に保持できる能力を持っている。この能力を持ちあわすことにより、第 4 世代は剛性無限大制御機能を持った厚板レベラとも呼ばれている。ちなみに矯正中のロールギャップの初期設定値からの変化は概ね 0.2mm から 0.3mm 以下に抑えられており、同じ荷重条件では当社の第 3 世代に比べて 1/5 以下に抑えられている。実際の矯正荷重とメインシリンダとクラウニングシリンダによる撓み補正量の関係の一例を図 1 4⁴⁾に示す。

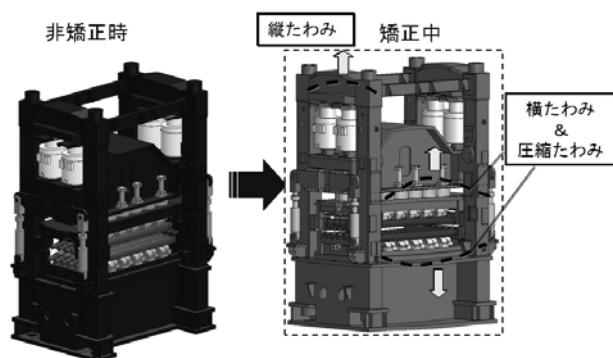


図 1 2 厚板レベラの撓み変形

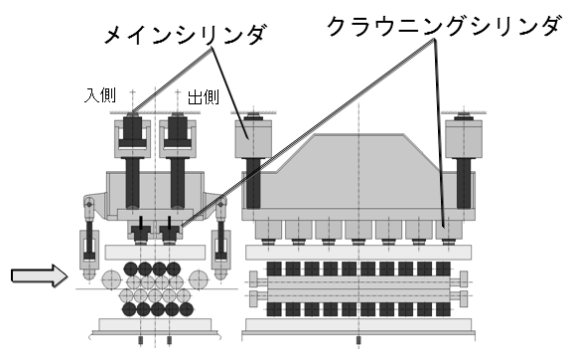


図 1 3 第 4 世代の厚板レベラ

表 6 撓み補正機能の進歩

世代	主要機能	压下形式	ロール曲げ機構	縦たわみ補正	横たわみ補正	圧縮変形補正	矯正中のロールギャップ保証	年代
第 1 世代		Screw down (Motor 駆動)	無し	無し	無し	無し	無し	-1975
第 2 世代		Screw down (Motor 駆動)	Pre-set 曲げ機構	無し	Pre-set 補正	無し	無し	1975-1985
第 3 世代		ARGC 油圧压下	Pre-set 曲げ機構	動的補正	Pre-set 補正	無し	無し	1985-
第 3.5 世代		ARGC 油圧压下	動的曲げ機構	動的補正	動的補正	無し	無し	1992-
第 4 世代		ARGC 油圧压下	動的曲げ機構	動的補正	動的補正	動的補正	可能	1998-

7-4 矯正能力の向上

第 4 世代厚板レベラは従来の第 3 世代以前の厚板レベラに比べて大幅に矯正効果を向上させている。これは厚板の全長、全幅に対して、矯正中の矯正荷重が変化しても均一な繰り返し曲げ戻しが与えられることが大きく寄与している。第 3 世代以前の厚板レベラに比べると下記の改善が確認できた。

① 平坦度の向上

これまでの第 3 世代の厚板レベラに比べて、特に矯正荷重が高くなる比較的板厚が厚い、または降伏応力が高い厚板での平坦度が大幅に向上している。特に幅反りと呼ばれる板幅方向の反りに対して効果が高い結果が得られている。適正な曲げを与えられる領域の材料に対して、高張力鋼板を含めて JIS 規格 (G3193) に規定されている平坦度の 1/4 以下の平坦度を達成している。

これは、第 3 世代までが荷重予測に基づいて撓み補正量を事前設定する方式 (プリセット方式) を取っていたが、その予想荷重が実際の矯正荷重と合っていないと、形状矯正効果が得られなかったため、矯正結果がばらつくことが多かったためである。また、1 枚の厚板のなかで圧延方向に降伏応力がばらつく場合や、温度がばらつく場合においても、矯正荷重変化に対応して撓み補正量を変化させてロールギャップを一定にする第 4 世代厚板レベラの矯正効果の信頼性は大きく向上している。

② 厚板先端部と尾端部の平坦度の大幅な向上

これまでの第 3 世代以前の厚板レベラが、事前に一定の矯正荷重を予測し、横撓みや圧縮撓みを事前補正するため、矯正荷重が予測荷重を大きく下回り、さらに大きく変化する厚板先端部と尾端部にはどうしても均一な曲げを付与できなかったため、矯正効果を得られなかったばかりか、場合によっては平坦度を悪化させることもあった。一方で第 4 世代は荷重変化に合わせた撓み補正をしているため、均一な曲げ矯正が可能であり、この先端部、尾端部でも矯正効果が得られている。

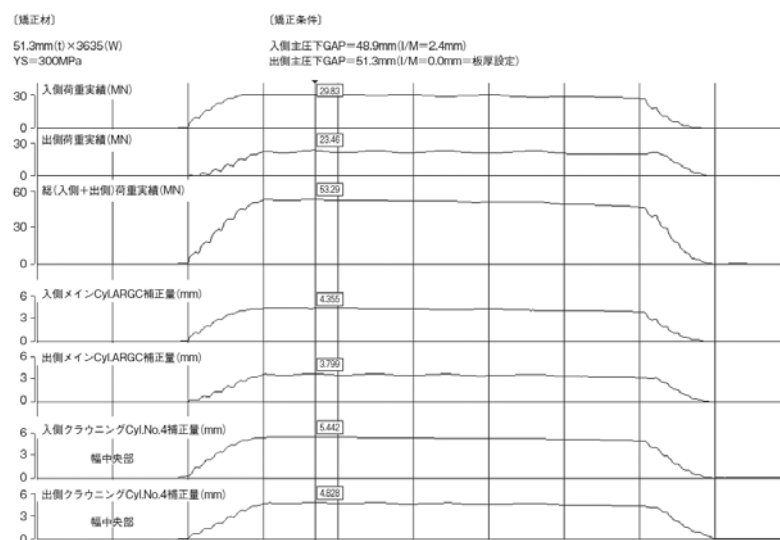


図 14 メインシリンダ、クラウニングシリンダの補正量の例

③ 残留応力低減効果の向上

厚板を最終顧客で小さな部品に切断すると、厚板内の残留応力の影響で変形することがある。これは特に加速冷却処理をした材料や、焼入処理をした材料に多く見られる。特に近年はこのような処理をしている材料が増えているため、顧客からクレームが出る場合も少なくない。この、残留応力についても、第 4 世代の厚板レベラでは、全幅、全長にわたる均一な繰り返し曲げ戻し効果により、第 3 世代に比較して大きく残留応力を低減させている。造船用の厚板や建設機械用の高抗張力厚板で、大きく効果を発揮している。

7-5 矯正範囲の拡大

第 4 世代の厚板レベラはすべてのバックアップロールが 14 個の油圧クラウニングシリンダーで支持されていることから、この油圧シリンダーが安全弁の働きをして、矯正荷重の局部集中を防止している。従い、従来に比べより大きな荷重を安心して負荷できることとなり、矯正荷重を大きく取ることが可能となった。現在では最大矯正荷重が 100MN (10,200tonf) の第 4 世代厚板レベラもある。この効果と、当社で開発した高負荷能力を持つバックアップロールの効果と相まって、従来の矯正可能最大板厚が従来の約 1.5 倍となっている。また、レベリングロールの個別駆動化により、従来の共通駆動方式に比べて約 2 倍の降伏応力を持つ高抗張力厚板の矯正が可能となっている。更には、最小板厚も従来の噛み込み限界を特殊な自動制御を採用することで制限をなくし、従来より薄くて高抗張力の厚板が矯正できるようになった。図 1 5 に当社の第 3 世代のレベラとの矯正可能範囲の比較を示す。

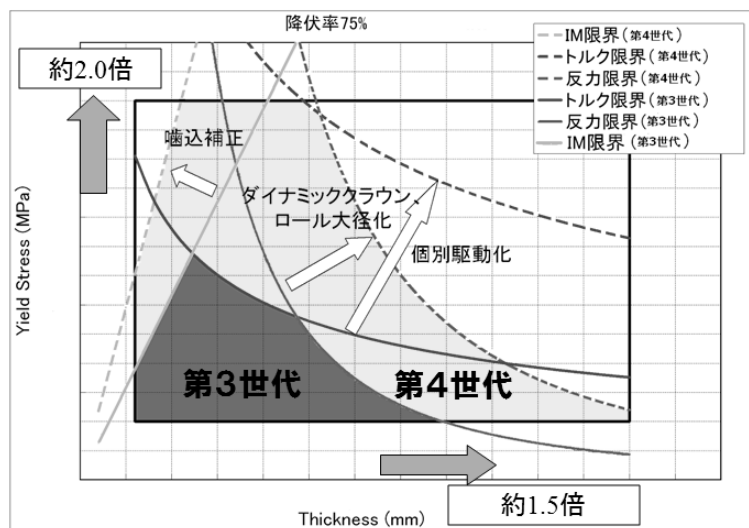


図 1 5 矯正可能範囲の拡大

7-6 個別駆動方式の採用による高抗張力厚板の矯正能力の向上

2005 年以降、急速に個別駆動方式の厚板レベラが普及している。これは特に大きな矯正動力を必

要とする高抗張力の厚板を矯正するのに有効である。今までの 1 台モータによる共通駆動方式ではトルク循環と呼ばれる現象で、必要矯正トルクをはるかに超えるトルクが駆動部に負荷される現象が発生していた。この現象を緩和するために、駆動モータの数を 2 台、3 台と徐々に増やしてグループ駆動方式にしていたが、それでも必要トルクの 2 倍以上のトルクが発生していた。個別駆動方式ではそのトルク循環機能を完全に除去することが出来るため、飛躍的に矯正範囲を広げることが出来ている。

図 1 6 に駆動方式の比較を示す。

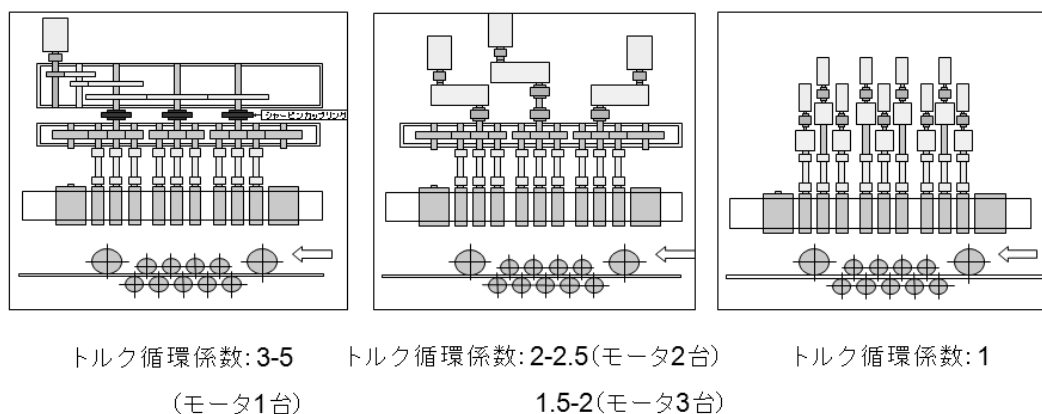


図 1 6 駆動方式の比較

7-7 生産性の向上とオンライン厚板レベラ

第 4 世代のレベラは、平坦度の改善効果を格段に向上させるだけでなく、矯正作業の信頼性も大きく向上させた。その結果として、今までのレベラでは 3 パス以上必要であった矯正作業の多くが 1 パスで完了することが出来るようになったため、第 4 世代の厚板レベラを従来のオフラインではなく、メイン搬送テーブル上に設置し、すべての厚板を矯正することも可能となった。(従来は全製品厚板枚数の 5% から 30% 程度のみをオフラインに運んで矯正していた。) 第 4 世代の厚板コールドレベラを冷却床の直後に設置し、厚板製品のすべてを矯正をしている例もある。ホットレベラに関しては、現在は第 3 世代以前の厚板レベラでもオンライン矯正を実施しているが、これは 600°C 以上の軟質状態の厚板を処理しているためであり、強力な加速冷却設備や、オンラインの焼入れ設備が設置された場合には、第 4 世代型の厚板ホットレベラがその矯正効果を十分に発揮してくるものと期待されている。

7-8 スケール付厚板の矯正

厚板レベラは、被矯正材である厚板を強力に繰り返し曲げ戻すことにより高い矯正効果を発揮するものであるが、一方でスケール付の厚板を矯正するには上流側のレベリングロールで剥離させたスケールを下流側のレベリングロールで押し込んでスケールの押し込み傷を発生させることがあった。また、剥離したスケールが機械装置に堆積し、機械装置の機能を低下させることもしばしば

ば発生している。それを回避するため、厚板レベラにかけるすべての厚板を事前にショットブラスト設備でスケールを除去させてから矯正作業を行うことでその問題を回避している設備メーカーもある。しかしながらすべての矯正対象材のスケールを事前に除去することは無駄な工程を持つことになり、非効率であった。当社では、第 4 世代の厚板レベラを、遊離スケールが落下しても問題が無い様、すべての機械的な調整装置を厚板の通過する面より上方に配置すると共に、スケールをレベリングロール間で機外に排出してしまう、スケールブロー装置を開発し、実用化させている。これによりスケールが付着した状態の厚板のまま矯正作業を行える事を実現させている。

7-9 厚板レベラの今後の展望

1998 年に第 4 世代の厚板レベラを実用化し、その後も引き続いて多くの顧客に設備を供給するとともに、技術的にも改良を重ねてきた。今までの第 3 世代では机上の理論と、実際の操業データの整合性が取れず、矯正してみなければ結果が判らない「ファジーな」設備と呼ばれていたし、オペレータのスキルも矯正結果に影響するものであった。また、同じ矯正対象材料に対し、設備メーカーがそれぞれに、多様な仕様を決定していた。しかしながら、第 4 世代の厚板レベラでは矯正中のロールギャップが変化しなくなったことから、矯正反力や矯正動力をはじめとして、理論と実操業データの関連付けが大きく進み、矯正効果の信頼性も大きく向上している。平坦度、矯正範囲、生産性、残留応力低減効果が大幅に向上した第 4 世代の厚板レベラはコールドレベラ、熱処理レベラでは「世界標準」となりつつある。当社では技術開発を強力で推し進めており、今後ホットレベラでも採用が大きく増えてくるものと期待されている。

8 おわりに

本稿では、金属板矯正機最も一般的に使用されている、テンションレベラ及びローラレベラにスキンパスミルを加えて、その矯正原理、矯正能力、さらにはそれらの近年の技術動向について論じた。製鉄業をはじめとした日本の金属産業は、日本でしか生産出来ない高品質で高い機能を持つ材料を生み出してゆくことにより生き残りを図っている。矯正設備もその様な高品質、高機能材により高い付加価値をつけるべく前進してゆくことが期待される。

〈参考文献〉

- 1) 山本啓二 他：板矯正機の進歩、伸銅技術研究会紙 31 巻 (1992)
- 2) 布川剛 他：熱延鋼板用ハイテンションスキンパスミルの開発、日本鉄鋼協会 講演論文集 (443) S1235 (1986)
- 3) 山崎平 他：テンションレベラについての一考察、住友重機械技報 25-75(1977)
- 4) 阿部敬三：厚板レベラの最新技術の紹介、産業機械 2011.2