

HC-MILLの熱間帯鋼圧延への適用 — 操業実績と効果 —

HC-MILL for Hot Strip Mill Plants — Operational Data and Effects —

近年の産業界の軽量化と多様化のすう勢、及び一段と厳しさを増している市場での競争力確保のため、鉄鋼業界では多品種少量生産体制への脱皮と省エネルギーによる大幅なコストダウンを必要としている。この要求を満たすためには、薄くて硬質の製品や種々の特殊材製品を高品位に安定して圧延できること、及び鋼種の用途、サイズ(板厚、板幅)の順序に関係のないスケジュールフリー圧延をベースとした連続鋳造鋳片直送熱間圧延が不可欠である。

本稿では、これら新技術実現の中核となって威力を発揮しているHC-MILLの諸特性を実圧延での操業データによって確認し、合わせて品質向上、歩留まり向上及び生産性向上への寄与を明らかにする。

木村智明* *Tomoaki Kimura*
杉山徳治* *Tokuji Sugiyama*
芳村泰嗣* *Yasutsugu Yoshimura*
都沢啓二** *Keiji Miyakozawa*

1 緒 言

熱間帯鋼圧延への作業ロールシフトミル“HCW-MILL”の適用と効果については、本誌第67巻、4号に述べたが¹⁾、このHCW-MILLを含めたHC-MILLの熱間帯鋼圧延設備への適用件数は、図1に示すように著しい伸びを示している。

国内では1982年以降7年間に16プラントのうち既に13プラントに適用され、海外でも台湾、カナダ、イタリア、ブラジル、韓国と急速に適用が拡大されつつある。

一方、熱間帯鋼製品に対する最近の動向は、硬質薄板材、特殊鋼材などの需要が急増しており、また新しい傾向としてより低い温度で高圧下圧延を行い、や金的特性の改善を図ることが検討されている。このためには、圧延荷重の増大を抑制する小径作業ロールを備えた圧延機での圧延が望ましいものとなる。

もちろん、板の平たん度・板クラウンを高精度に制御できる機能を備え、高品質の薄板製品を生産できるとともに、連続鋳造鋳片の顕熱を利用する鋳片の直送あるいは直接圧延を可能にする設備でなければならない。

この二つの要求を両立させながら、安定な圧延操業を行うには、小径作業ロールを備えた6段形の高剛性のHC-MILLを設置するのが好適である。

本稿では、主にこのような小径作業ロールを備えるHC-MILLを配置した熱間帯鋼圧延設備の操業実績と効果について述べる。

2 連続鋳造鋳片直送熱間圧延設備

連続鋳造設備と熱間圧延設備を直線的に配置し、省エネルギー

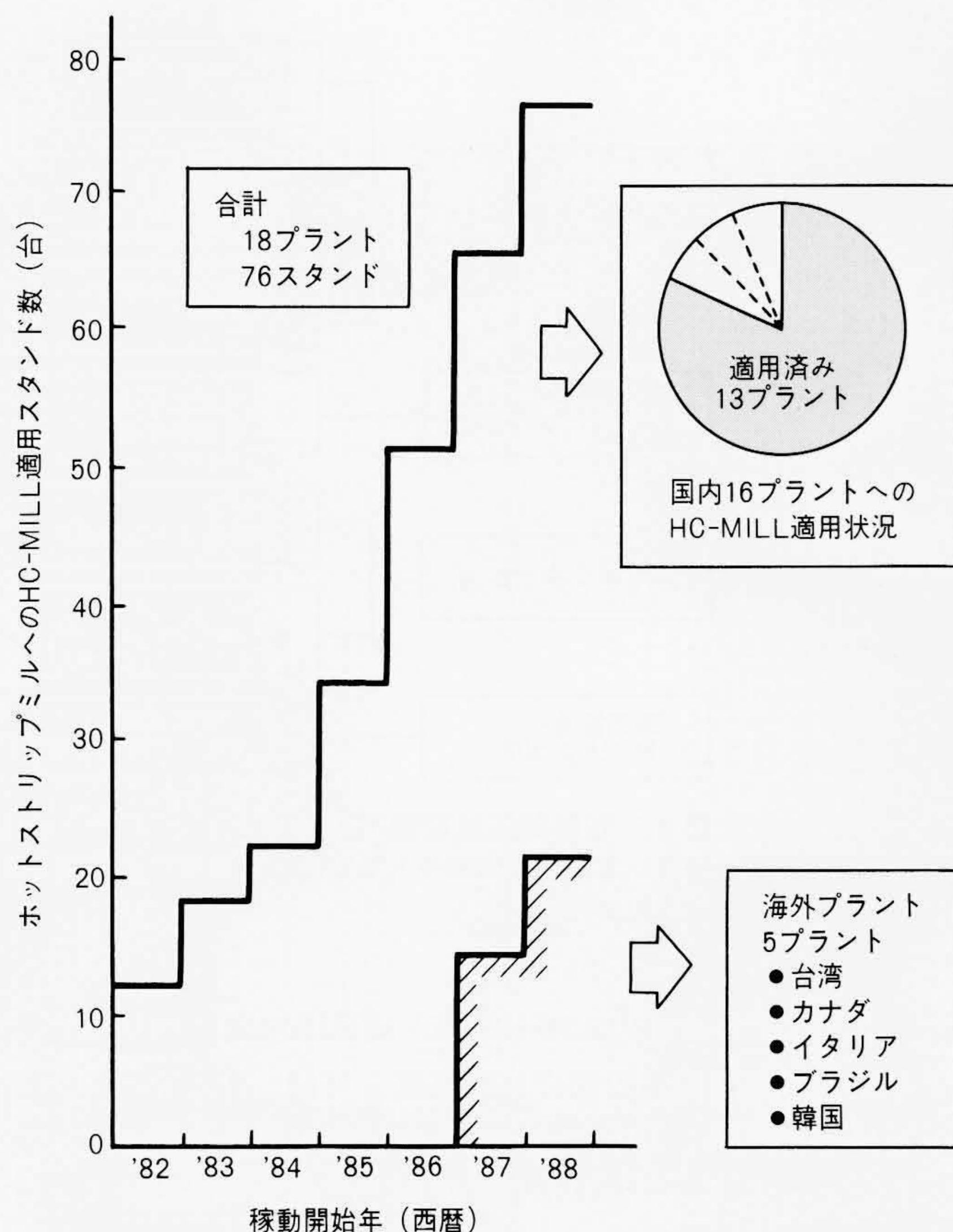


図1 ホットストリップミルへのHC-MILL適用台数 国内では16プラント中13プラントにHC-MILLが適用され、1987年以後海外でもホット用HC-MILLが稼働を始めた。

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所機電事業本部

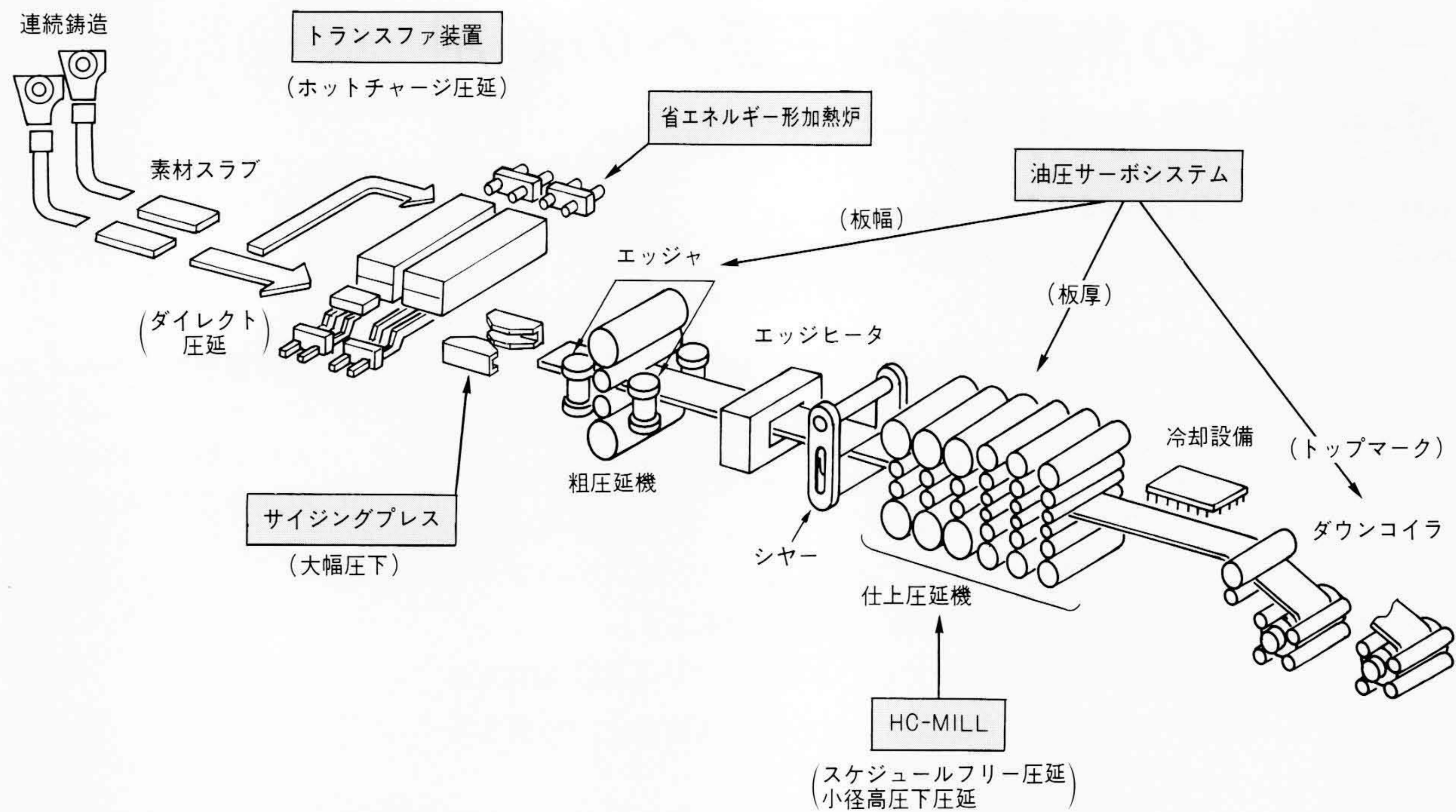


図2 新熱間圧延設備の配置 連続 casting 鋳片のダイレクト圧延及び特殊材などのためのホットチャージ圧延も可能な、新しい熱間圧延設備の配置計画例を示す。

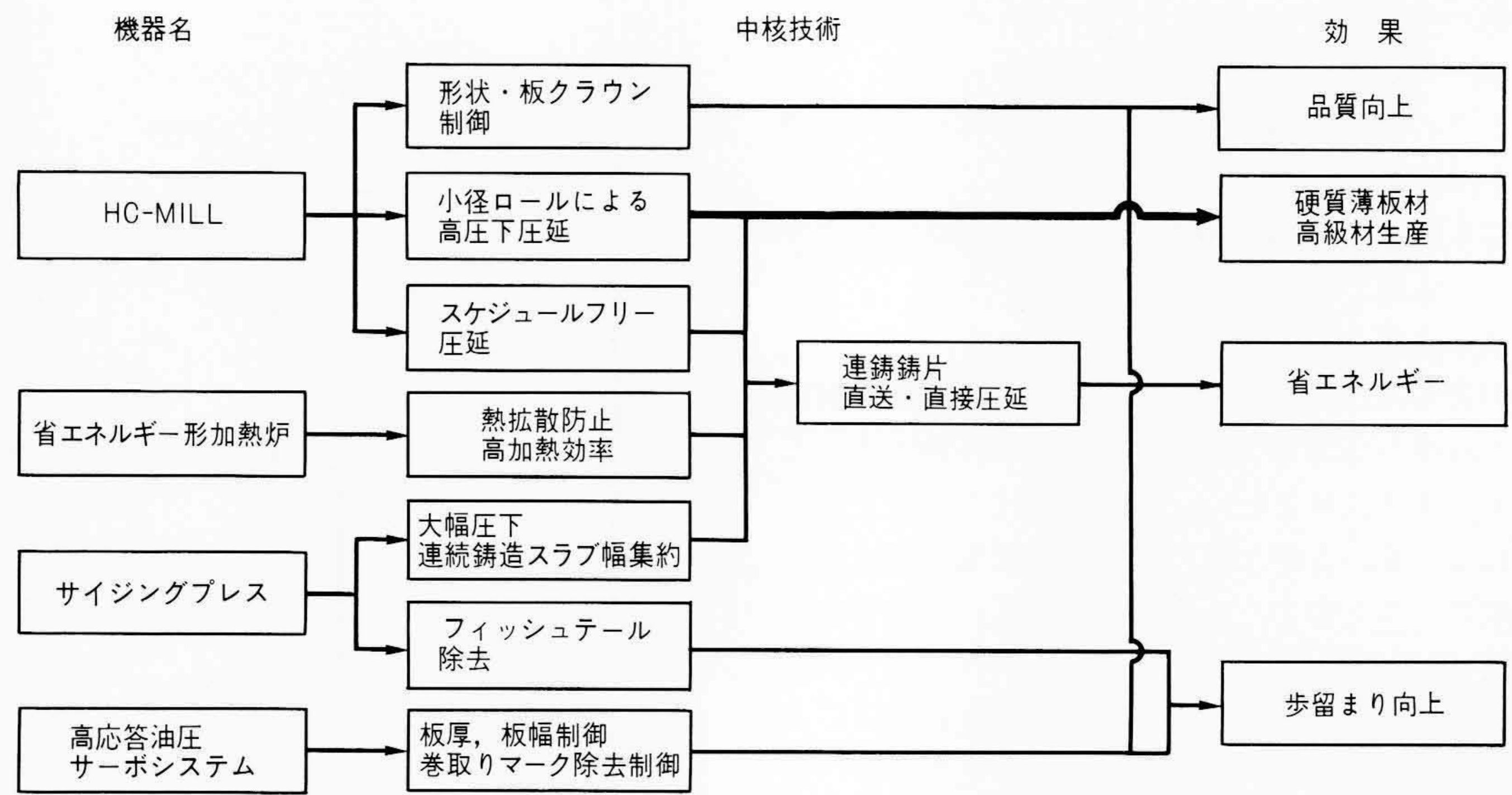


図3 新熱間圧延設備で期待される効果 HC-MILL、省エネルギー形加熱炉、サイジングプレスと高応答性油圧システムを骨組みとした新しい熱間圧延設備では、大幅な品質向上、硬質薄板材、高級材の生産など歩留まりの向上が期待できる

ギーやスラブ在庫量の大幅な削減と硬質薄板材、特殊鋼材などを含む高品質製品の即応生産体制を可能にする新しい熱間圧延設備計画例を図2に示す。この設備は図3に示すように品質、省エネルギー及び歩留まり向上に多大の効果を発揮する機器配置に構成されている。

すなわち、連続 casting で得られた素材スラブは、通常、直接、熱間圧延される。したがって、スラブの再加熱を不要にし、大幅な省エネルギーを図ることができる。品質上の理由によって直接圧延ができない場合、また操業スケジュールの変動を吸収するために、直送圧延も可能なようにスラブトランス

ファ装置と省エネルギー形加熱炉が設置されている。

そして、連続 casting 機での幅替え頻度を少なくするため、粗圧延機の入側にテーパ状工具によってスラブ幅を大幅に縮幅調整できるサイジングプレスが配置されている。

このサイジングプレスについては、本誌の別論文で詳細な説明がなされているが、この装置では最大350 mmの縮幅調整が可能である。すなわち、従来、立て形ロールでこのような大きなスラブの縮幅を行った場合には、スラブ先後端にフィッシュテールと呼ばれる不具合部分が生じ、歩留まりが低下することにより、縮幅量は制限して使用していた。ところが、

サイジングプレスは幅圧縮工具の等価加工半径は、立て形ロールに対し数倍大きくすることができるので、フィッシュテールの少ない歩留まりのよいスラブの縮幅が可能である。

このようなサイジングプレスの実用化によって従来25～50 mmピッチで連続鋳造機の幅替えを行っていたものを、約300 mmピッチに大きく緩和することが可能になった。

仕上圧延機列には前段に4段形HC-MILL、後段に小径作業ロールを備えた6段形HC-MILLが採用されている。そして、すべての圧延スタンドの作業ロールは、軸方向に経時的にサイクリックシフトされ、ロール摩耗及び熱膨張の分散が図られる。これによって圧延ロール表面が平滑となり、板幅順に制限のないスケジュールフリー圧延を可能にすることができる。

後段側の小径作業ロールを備えた6段形HC-MILLは、中間ロールのシフトとこれにより拡大される作業ロールベンダ機構により大きな板クラウン制御能力を持ち、常時平坦でしかも所望の板クラウンを持つ製品を製造することが可能である。しかも、中間ロールをシフトすることによって、小径作業ロール採用にもかかわらず、ロール軸のたわみの少ない高剛性の圧延が可能である。これによって硬質材や特殊材の圧延及び高圧下圧延を安定して行うことができる。すなわち、6スタンドと従来よりも少ないスタンド数にもかかわらず、多品種小ロッドの生産を効率よく行うことが可能である。

なお、本設備ではその他にも板厚と板幅の制御、及びダウンコイルでのトップマーク除去制御のために、高応答性の油圧サーボ制御システムが採用されており、各々の項目に対する品質向上が図られている。

以下に、この効果を生み出す原動力となったHC-MILLの作業ロールシフト、板クラウン制御及び小径作業ロール採用の効果を操業実績に基づいて述べる。

3 HC-MILL及び操業実績

3.1 HC-MILL

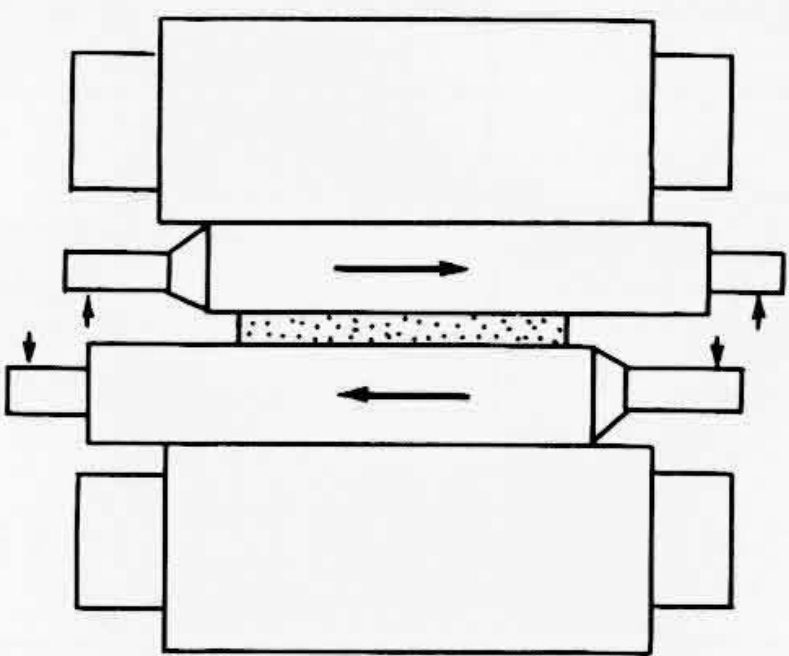
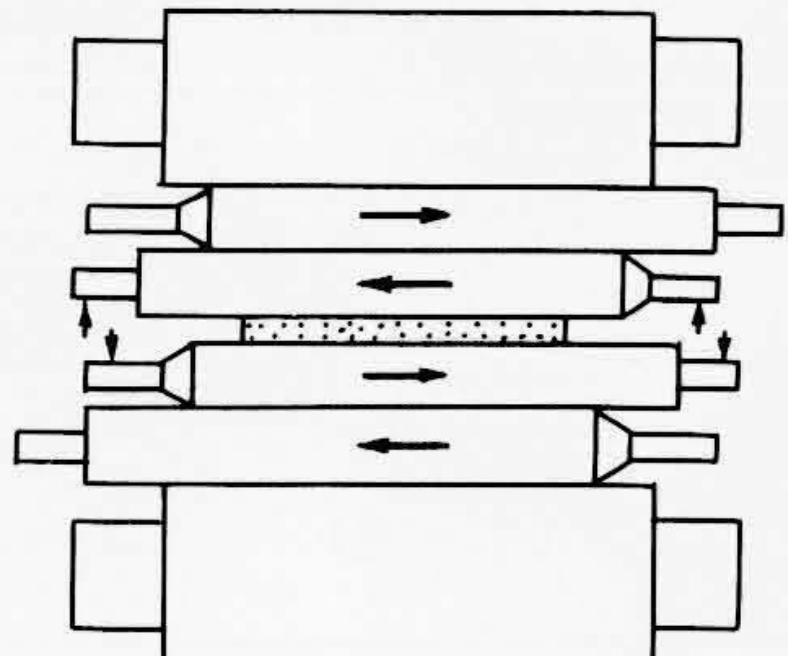
HC-MILLは、板用圧延機の理想形が追求された結果として1970年に発表された。そして、熱間圧延では品質上最も重要な平坦度・板クラウンの改善に始まり、作業ロールシフトを用いたスケジュールフリー圧延、更に特殊材のエッジドロップ改善などのように応用範囲が拡大されてきた。

図2の仕上圧延機に配置される前段の4段形HCW-MILL及び後段の6段形HCMW-MILLの構造・機構並びに機能を表1に示す。作業ロールシフトは、平坦度・板クラウン制御、ロール摩耗・熱膨張分散、エッジドロップ減少の三つの機能を持っているが、これらの機能を同時に発揮することは困難で、いずれか一方の機能が選択的に使用される。

4段形HCW-MILLの適用は、ロールの摩耗と熱膨張の分散によりロールプロフィールを滑らかなものとしスケジュールフリー圧延を可能とするとともに、この滑らかな摩耗が熱膨張により打ち消される関係にあるため板クラウンを一定にする。したがって、作業ロールのベンダー効果を組み合わせることによって4H-MILLよりも大きなクラウン制御能力も得られる。しかしながら異鋼種を含む圧延をも考慮すると、クラウン制御能力は十分とは言えない。

一方、6段形のHCMW-MILLでは、中間ロールシフトが平坦度・板クラウン制御のために使用されるので、作業ロールシフトはロール摩耗・熱膨張分散あるいはエッジドロップ減少だけの機能に限って使用することが可能である。すなわち、平坦度・板クラウンとロール摩耗・熱膨張分散を同時に、あるいは平坦度・板クラウンとエッジドロップ減少を同時にコントロールすることができる。

表1 熱間圧延用HC-MILLのタイプと基本特性 熱間圧延用HC-MILLとしてはHCMW形、HCW形が用いられ、板クラウンコントロールとスケジュールフリー圧延などに貢献する。

形 式 名 称		HCW-MILL		HCMW-MILL		
ロ ー ル 配 置						
機 構		作業ロール		作業ロール		中間ロール
		ベンダ	シフト	ベンダ	シフト	シフト
制 御 機 能	平 た ん 度	○	○	○	○	○
	板 ク ラ ウ ン	○	○	○	○	○
	ロール摩耗、熱膨張分散	—	○	—	○	—
	エッジドロップ減少	—	○	—	○	—
	硬 質 材 高 圧 下 圧 延	—	—	○	—	○
主な適用圧延分野		厚板、熱間・冷間帯鋼		熱間・冷間帯鋼		

3.2 操業実績

3.2.1 作業ロールサイクリックシフトによる摩耗及び熱膨脹分散

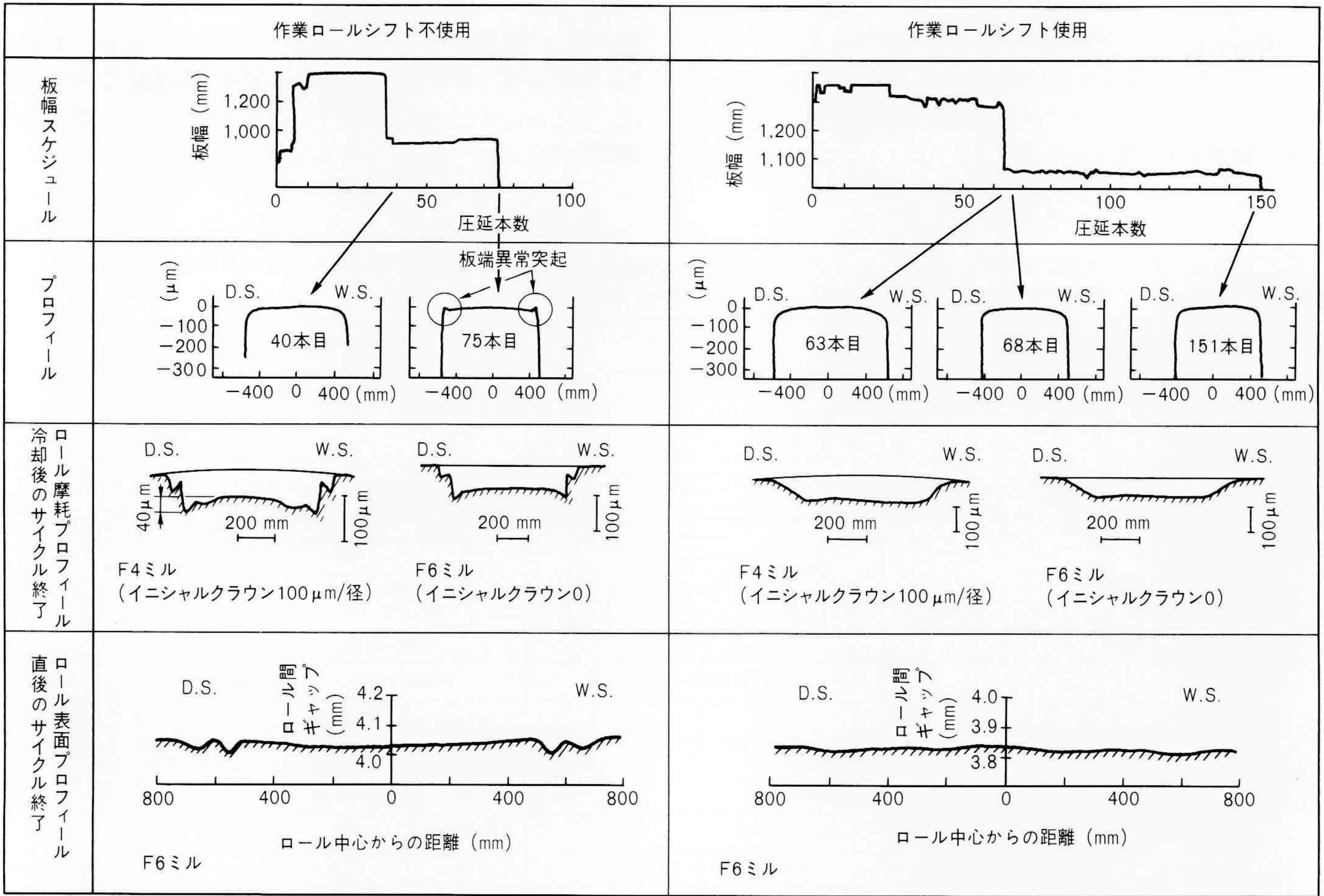
熱間圧延では、作業ロールが経時的に摩耗かつ熱膨脹する。これは製品品質に悪影響を及ぼすとともに、広幅材から狭幅材へと圧延を行わねばならないスケジュール上の制約となり、連続鋳造鋳片直送熱間圧延の実現を困難にしていた。この問題は作業ロールをサイクリックにシフトすることによって解決された。すなわち、これにより局部摩耗の発生を防止し、段付き摩耗を緩やかな曲線を持つ摩耗分布に変え、鋼種や板幅に関するスケジュール上の制約を取り除くことを可能にした。その効果を図4に示す²⁾。作業ロールシフト不使用の場合は、同一幅コイルを40本程度圧延すると板端部近傍にロールの局部摩耗による異常突起が現れる。この突起は冷間圧延時「条伸び」と呼ばれる細い帯状の形状不良を発生させ品質を著しく低下させるので、同一幅コイルでの圧延本数は40本程度に制限されていた。一方、作業ロールシフトを使用した場合には、この板端部の段付き摩耗を緩やかなカーブのプロファイルを持つ摩耗に改善できる。そして図4に示すように、151本目のコイルにも異常突起が現れていない。この結果、同一幅圧延量は従来の2倍程度に拡大された。同図にはロール冷却後のロール摩耗を示す図のほかに、圧延サイクル終了直後の

ロールカーブが示されている。同図から作業ロールシフト時には摩耗の分散と同時に熱膨脹も分散され、かつこの二つの量が相打ち消すように作用して平滑なロールカーブが得られることが明らかにされた。

このため、サイクリックシフト適用の圧延では、従来の圧延法、すなわち広幅材から狭幅材に圧延を進めるコフィンスケジュール圧延法の制約を解除して、自由な板幅順の材料を圧延できるスケジュールフリー圧延を可能にした。6スタンド中前段2スタンドにHCWを、後段4スタンドにHCMWを適用した熱間圧延設備の例では、図5に示す生産スケジュール結果からも板厚順はもちろん、板幅順に無関係な圧延、すなわち広範囲なスケジュールフリー圧延を行うことが可能になったことが報告されている³⁾。すなわち、従来は1サイクル内の板厚はほぼ同一かつ鋼種も同じで、しかも板幅は前述のコフィンスケジュールで圧延が行われる。これに対しHCMWを組み込む設備では、板厚、板幅順はもちろん、冷薄、熱薄、特殊鋼、ブリキ、パイプミックス圧延のように鋼種にも無関係な圧延が可能となった。すなわち、多品種少量生産に十分対応できるようになった。

3.2.2 板クラウン制御能力

3.2.1項で作業ロールシフトによって摩耗を分散させることを述べたが、所望の板クラウンを得るためには摩耗を分散さ



注：略語説明 D.S.(駆動側), W.S.(操作側)

図4 作業ロールシフトによるロールの摩耗分散 摩耗分散効果によって同一幅圧延長さを長く、また板端部の異常突起を除くことができた。

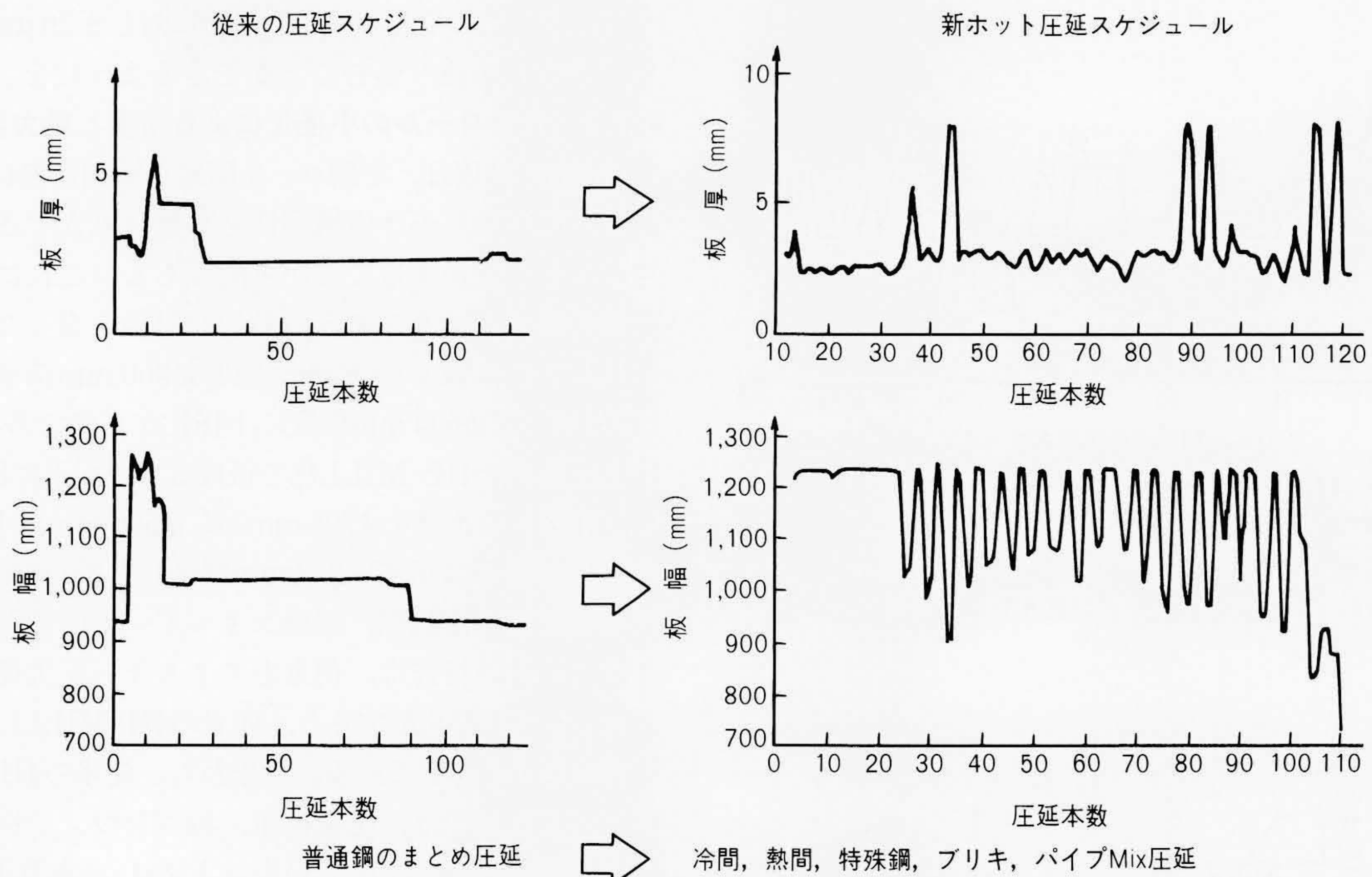


図5 スケジュールフリー圧延の実施例 作業ロールシフト効果によって、広幅→狭幅→広幅と自由に圧延順序を組み立てることが可能となった。

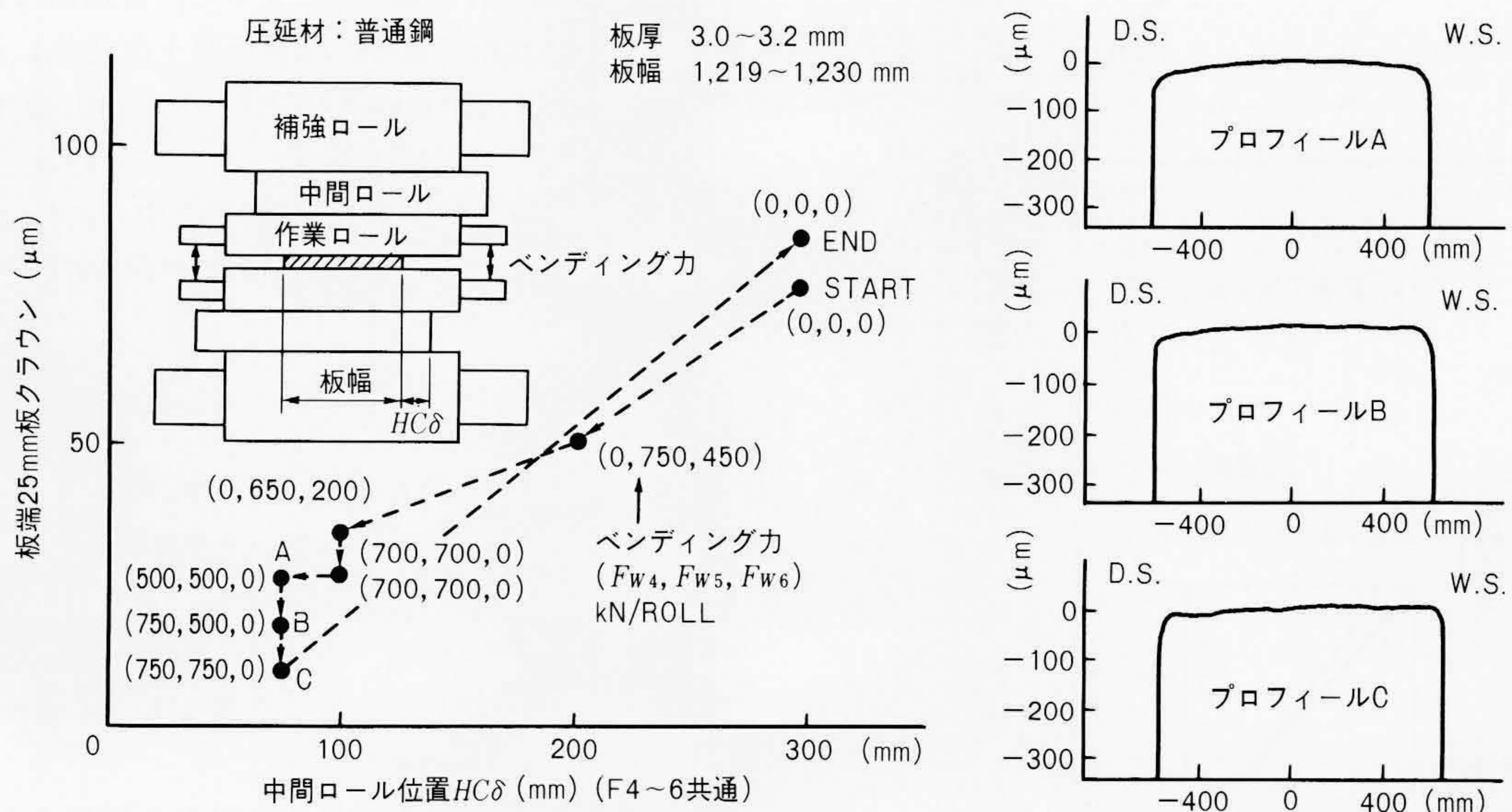
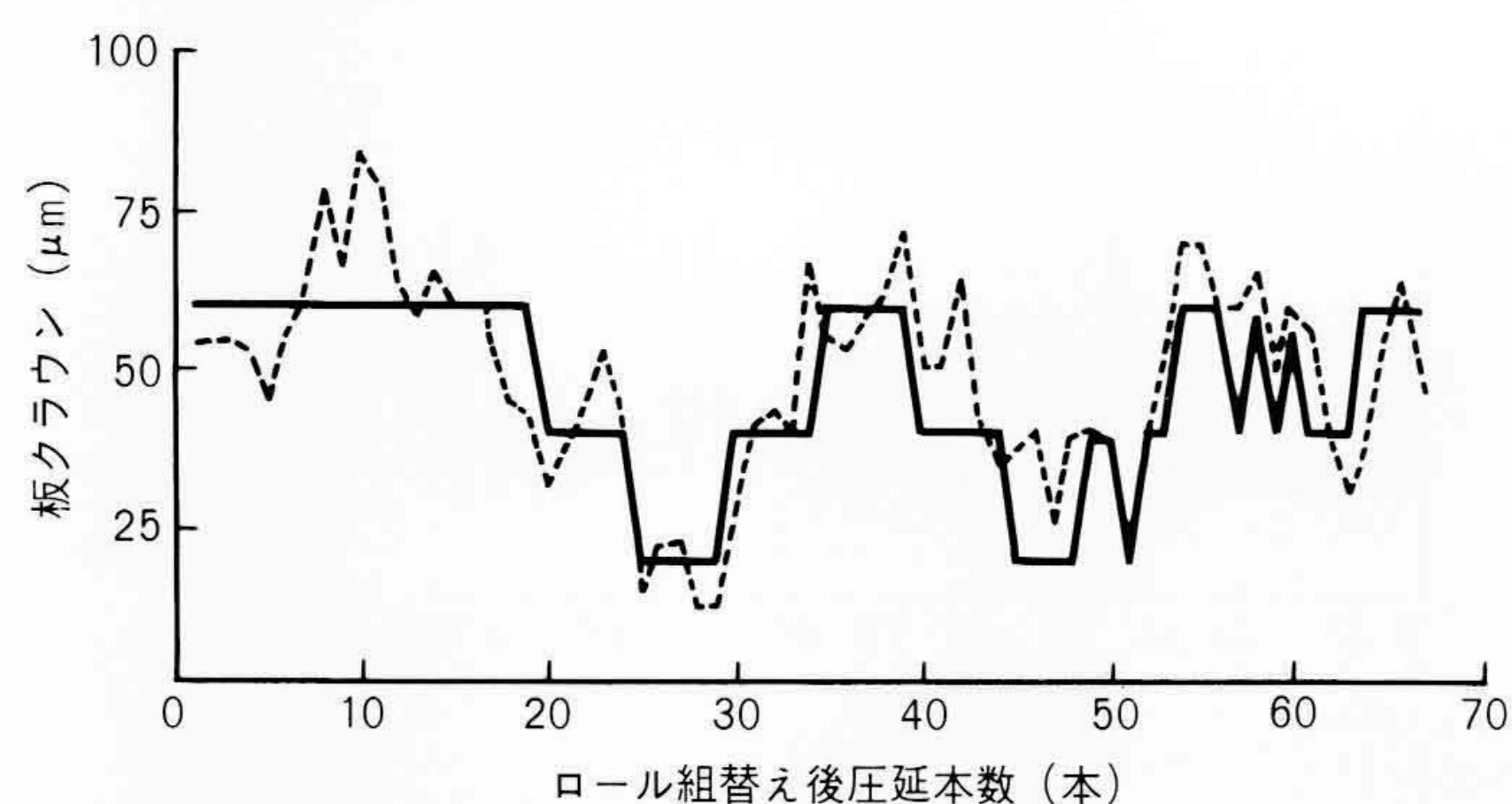


図6 中間ロール位置、作業ロールベンディング力と板クラウン調整例 中間ロールシフトと作業ロールベンディングによって、板クラウンを大幅に調整した一操業例を示す。

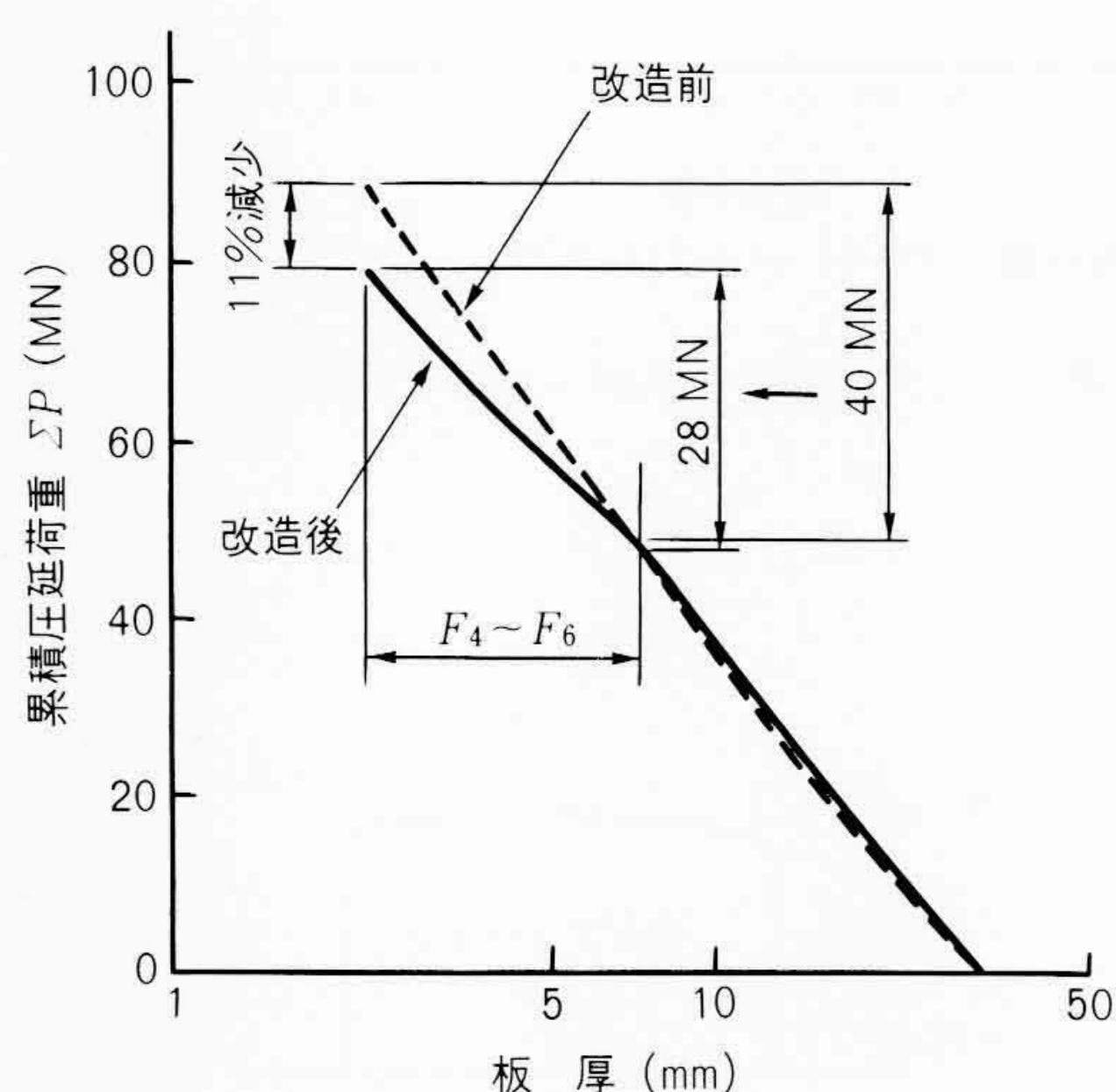
せるだけでなく、大きな板クラウン制御能力が必要である。6段形HCMWを後段3スタンドに組み込んだ熱間圧延機の操業例では、作業ロールベンディングと中間ロールシフトを適切に組み合わせて使用することによって、板形状を崩すことなく、図6に示すように板クラウン量を広範囲に制御することが可能である²⁾。同図は、(3.0~3.2)mm厚×(1,219~1,230)mm幅の材料について圧延開始後66コイル目から中間ロールの位置(No.4~No.6スタンド共通)をロールバレル端から板端に近づけ($HC\delta=296\rightarrow80$ mm)、同時に作業ロールベ

ンディング力を大きく($F_{W4}, F_{W5}, F_{W6}=0, 0, 0\rightarrow750, 750, 0$ kN)した実施例であり、これによって板クラウンを約70μm小さくできたことを示している。このように大きく板クラウンを制御できることにより、次工程の作業性や最終製品用途などによってそれぞれ目標板クラウンレベルの異なる製品をランダムな圧延順序で得ることができるようになった。図7はこの技術を更に一步押し進め、同一作業ロールを用いた圧延チャンスの中での板クラウン造り分け実施例を示したものである³⁾。平たん度・板クラウンコントロール圧延法によ

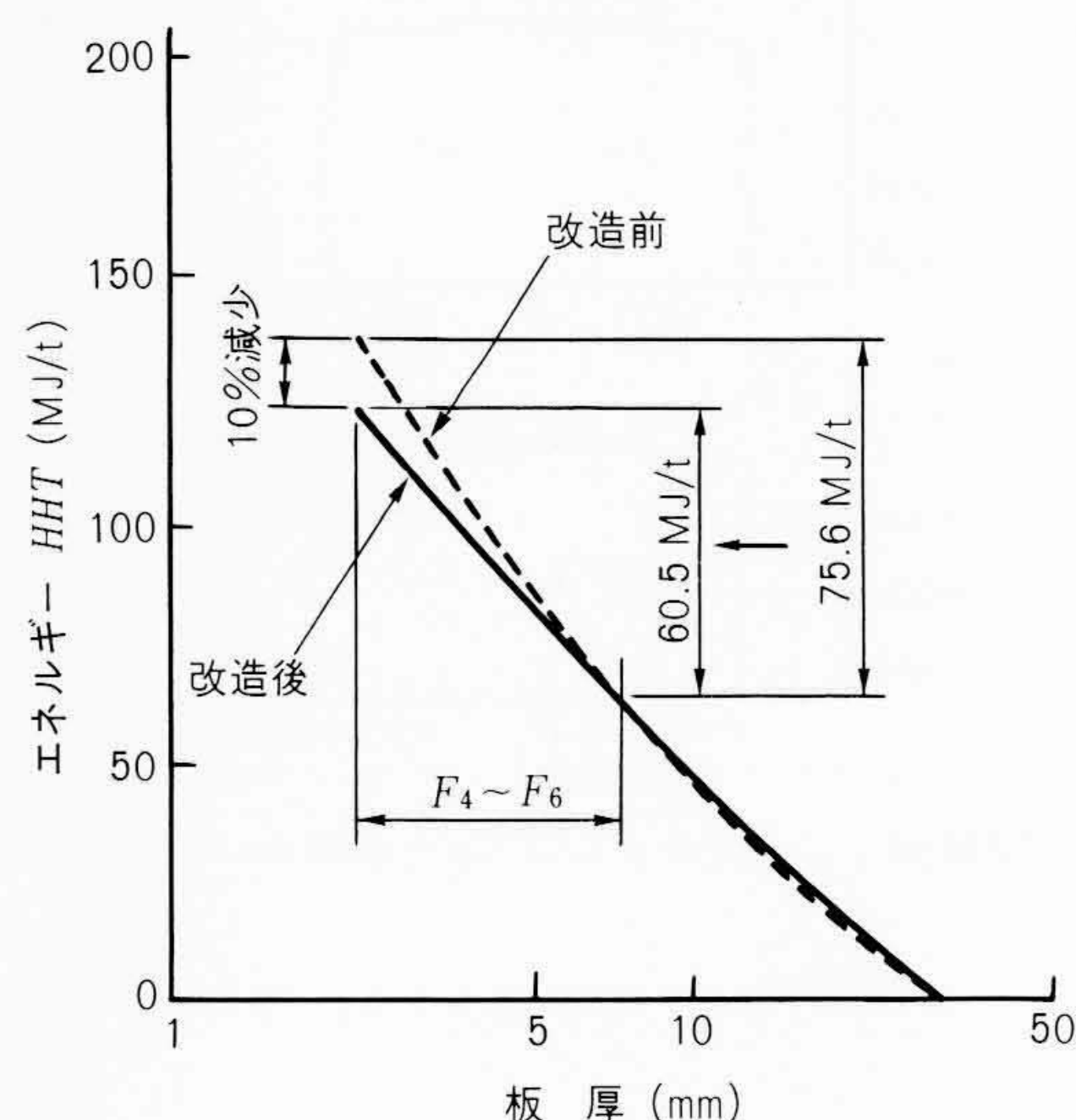


注：コイル厚 2.3～3.0 mm (— 目標クラウン)
コイル幅 789～1,162 mm (--- 実績クラウン)

図7 板クラウン造り分け実施例 目標の板クラウンに対し $\pm 20 \mu\text{m}$ 程度の精度で、細かくはコイル1本ごとの造り分けが可能である。



(a) 累積圧延荷重カーブ



(b) エネルギーカーブ

	ロール径 (mm)	バー厚 (mm)	ストリップ厚 (mm)	板幅 (mm)	通板速度 (mm)	仕上 入, 出温度 (℃)
改造前	798	30	2.3	1,218	604	1,050/900
改造後	600	30	2.3	1,228	618	1,050/900

図8 作業ロール小径化による荷重とエネルギー低減効果
798 mm→600 mmの作業ロール小径化により、荷重、エネルギーは各々11%と10%の低減が達成された。

って、ランダムな目標板クラウンに対し $\pm 20 \mu\text{m}$ 程度の精度で板クラウンを造り込むことができるようになった。

3.2.3 作業ロールの小径化による荷重と動力減少

6段HCMWは、中間ロール胴端を板幅近傍に移動することによって作業ロールの横剛性を大幅に拡大できるので、作業ロールを小径化することが可能である。これによって、圧延荷重の減少とエネルギーの節約が可能となった。従来の4H-MILLでの作業ロール径は通常 $\phi 800 \text{ mm}$ 前後であったが、HCMWでは $\phi 600 \text{ mm}$ 程度に小径化が可能である。6スタンド仕上圧延機のHC-MILL化で後段3スタンドにHCMWを適用し、作業ロール径を $\phi 798 \text{ mm}$ から $\phi 600 \text{ mm}$ に小さくした場合の効果を図8に示す²⁾。2.3 mm厚×1,218 mm幅材の圧延で累積圧延荷重では11%、累積エネルギーでは10%の低減が達成された。この特性は、荷重とエネルギーを大径作業ロール時と同じレベルで比較すると、従来の4H-MILLに比べ強圧下が可能であることを示している。すなわち、従来の4H-MILLによる薄ゲージ圧延では、圧延荷重、板クラウン、板平坦度の面から制限が加えられていた。しかし、小径作業ロールのHCMW-MILLを配置する熱間帯鋼圧延設備では、前述したように圧延荷重の大幅減少効果と、板クラウン、平坦度制御能力が大きく、かつ安定性が高いことから、これらの制限が大幅に緩和された。そして、6スタンド設備であるにもかかわらず後段強圧下することによって、普通鋼は1,250 mm幅で改造前は1.6 mmであった限界板厚を改造後1.2 mmに、ステンレス鋼では1,000 mm幅で同様に3.0 mmを2.0 mmまで薄ゲージ圧延することが可能になった。すなわち、通常材はもちろん、高張力鋼及びステンレス鋼を中心にした特殊鋼などの硬質材をより薄く、しかも省動力で圧延することを可能にした。

4 結 言

以上、連続鋳造鋳片直送、直接熱間圧延を可能にする新しい設備の機能と効果を述べるとともに、この連続鋳造鋳片直送、直接圧延実現の原動力となったHC-MILLの作業ロールシフト、板クラウン制御、小径作業ロールの効果を種々の操業データを通し確認し、品質、歩留まり、生産性向上への寄与について明らかにした。

これらの技術は顧客の絶大な協力と指導のもとではぐくまれてきたものであり、深謝の意を表す次第である。今後とも、高品質・高生産性・省エネルギーという基本命題を更に追求してゆく考えであり、なおいっそうの指導と協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 中西, 外: 熱間板圧延におけるワークロールシフトミル“HCW-MILL”の適用と効果, 日立評論, 67, 4, 275～280(昭60-4)
- 2) 小林, 外: 熱間仕上用6段圧延機の圧延特性, 第34回塑性加工連合講演会, No.224, 1983, 11
- 3) 浅村, 外: 熱延設備技術の最近の発展, 製鉄研究, 第316号, 1984