

UC-MILLによるホットストリップミルの高機能化

Hot Strip Mill Capability Enhanced by UC-MILL

熱間薄板製品を製造するホットストリップミルの分野では、近年ますます製品の薄肉化および高品質化圧延に対する要求が高まっている。すなわち、軽量化のすう勢から高張力鋼、特殊鋼などの硬質材の薄肉化製品、あるいは工程の省略を図る冷間圧延等価製品などに対する需要が増加している。これらの製品の圧延では、特に板厚が薄くなるホットストリップミルの後段スタンドで、圧延負荷の増大による作業効率の悪化、および平坦度不良などのトラブルが発生しがちである。

上記の問題は、圧延負荷を軽減するために小径の作業ロールが組み込まれ、かつ中間ロールシフト、作業および中間ロールベンダなどの高精度形状制御機構を備えたUC-MILL(Universal Crown Control Mill)を、ホットストリップミルの後段に配置することによって解決できることを明らかにした。

木村智明* Tomoaki Kimura

二瓶充雄** Mitsuo Nihei

都沢啓二* Keiji Miyakozawa

1 緒言

省資源、省エネルギーおよび利用分野の技術進展に伴って、熱間薄板圧延製品の薄肉化および高精度圧延が、ますます重要になってきている。ホットストリップミル(以下、HSMと略す。)に対して、最近、特にその必要性が強調されてきたニーズを図1に示す。高張力鋼、ステンレス鋼などの硬質材に対してはもちろんのこと、普通鋼に対しても製品の薄肉化が要求されている。すなわち、前者は主に軽量化を、後者は熱間圧延だけによって冷間圧延等価製品を生産して、冷間圧延工程を省略することを目的にしている。このように薄肉化され、かつ最終製品に近づくため、熱間薄板製品の平坦度、板クラウン、エッジドロップなどの形状品質に対する要求は、ますます高度なものになってきている。

日立製作所は熱間薄板圧延の分野に優れた形状制御機能を備えたHC-MILL、HCW-MILLなどの圧延機を導入し、いち早く圧延製品の形状精度向上に努めてきた²⁾。これらに加えて最近の上記ニーズにこたえるため、日立製作所で開発した小径作業ロールを備えるUC-MILL¹⁾(Universal Crown Control Mill)をHSMの後段に配置して、薄肉製品の高効率圧延を図った。すなわち、小径作業ロールによって圧延負荷を低減し、高圧下圧延を行うと同時に、中間ロールシフト、作業ロールおよび中間ロールベンダ機構による高精度形状制御を可能にするものである。本稿では、このUC-MILLをHSMの後段に配置することによって得られる圧延特性について述べる。

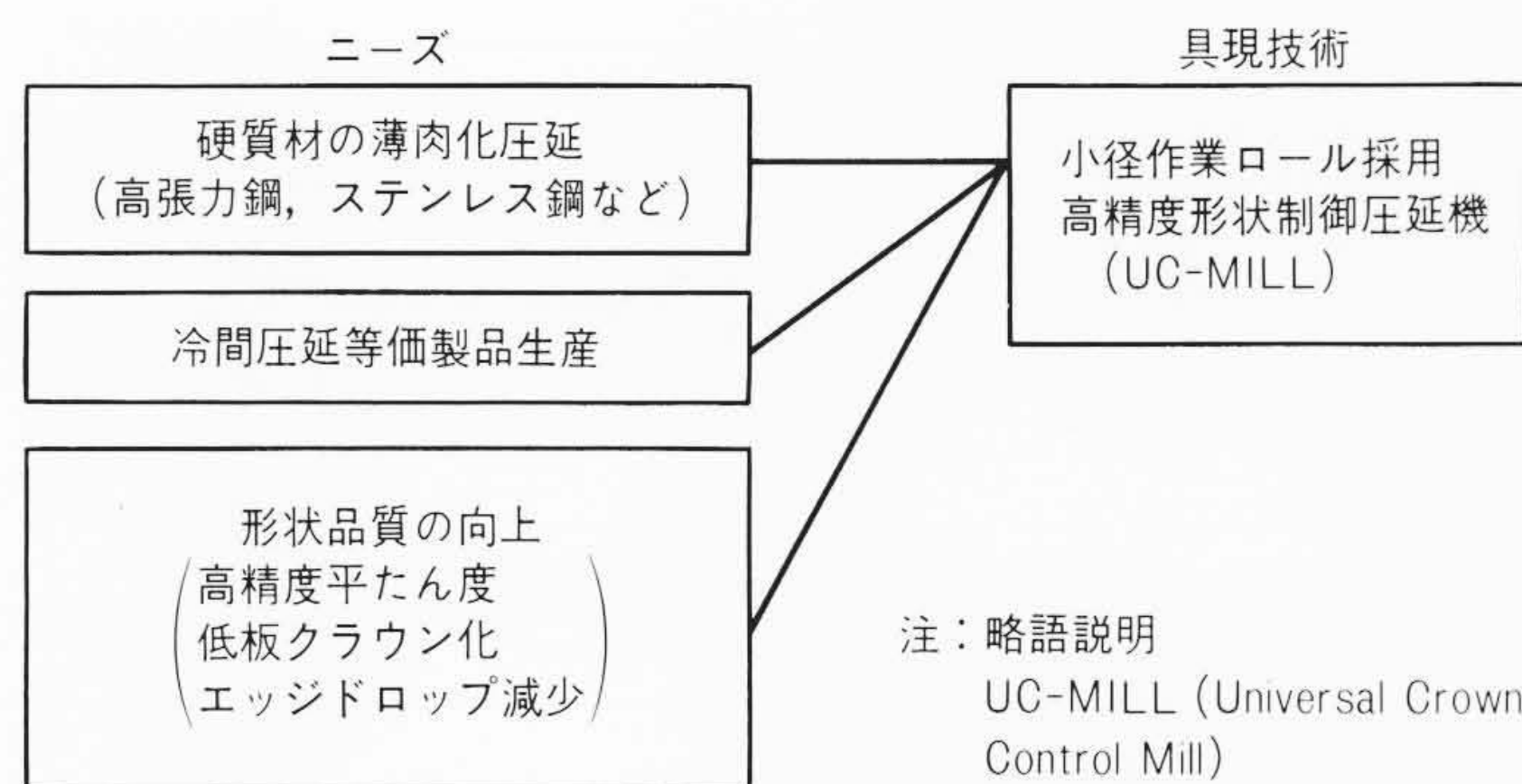


図1 最近の熱間薄板圧延でのニーズ 小径作業ロール採用UC-MILLは、高品質化、生産工程の革新を可能にする。

2 HSMに組み込まれる圧延機配置の変遷

HSMには通常6ないし7スタンドの圧延機が配置されるが、最近では、2.0 mm以下の薄肉製品が増加してきているため、7スタンド方式のものが多くなっている。このHSMに組み込まれる圧延機配置の変遷を表1に示す。1980年以前のHSMには、大量生産指向に基づき、太いロール径の作業ロールを備えた4段圧延機(4H-MILL)が配置されていた。ところが、オイルショックによるエネルギー危機の到来とともに、板材の薄肉化あるいは板クラウンと呼ばれる板幅中央での余分な厚みの発生防止が求められた。しかし、4H-MILLでは表2に示

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 機電事業本部

表1 作業ロールの径小化および形状制御機能装備の推移 圧延機各スタンドの役割を効果的に発揮するように、作業ロールの径小化および形状制御機能の装備が進められた。

年 代		1980年以前							1981～1989年							1990年以後						
ス タ ン ド No.		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
圧 延 ロール 配 置																						
圧 延 機 形 式		4H							4H		HC**					4H		HC		UC		
作業ロール径(mm)*		750							750		620					750		620		450		
形状制御機 能	平 た ん 度	制御効果 小							単純伸び不良修正可能							単純および複合伸び不良修正可能						
	板クラウン	制御効果 小							制御効果 大							同 左						
	エッジドロップ	制御効果 小							制御効果 中							制御効果 大						

注：* 作業ロールは代表的な径を示す。 ** HC-MILLは3台配置される例もある。

表2 圧延機形式と形状制御機能 UC-MILLは耳，中の単純伸びはもちろん，クォータ伸びなどの複合伸び不良の修正およびエッジドロップの減少が可能である。

		4H-MILL	HC-MILL	UC-MILL
ロール配置				
形状制御機能	端・中伸び修正	×	○	○
	クォータ伸び修正	×	△	○
	板クラウン			
	エッジドロップ (A部拡大)			

注：略語説明 F_w (作業ロールベンダ), WR (作業ロール), F_I (中間ロールベンダ), IMR (中間ロール), BUR (補強ロール)

すように、薄肉化圧延時に生じる端伸び、中伸びなどの平坦度不良、板幅中央部の板厚が大きくなる板クラウン、および板幅端で急激に板厚が減少するエッジドロップなどの形状不良の修正が困難であった。以上の背景のもとに、日立製作

所は同表に示す中間ロールシフト機構を備えた6段圧延機方式のHC-MILLを開発した。HC-MILLは、中間ロールの移動とこれによって拡大される作業ロールベンダの効果により、形状修正制御能力が大幅に向上した。このHC-MILLは、

表1のHSMの後段に3ないし4スタンド配置され、端伸びや中伸びの平坦度不良および板クラウンなどの修正制御に威力を発揮している²⁾。

しかし、最近では形状制御に対する要求がさらに高まり、従来の形状制御圧延機では修正できなかったクォータ伸び修正、あるいはエッジドロップの極小化が求められている。また、前述した硬質材および普通鋼材のなおいっそうの薄肉化圧延を、圧延負荷の増加を防止して効率的に行う必要がある。これらの要求にこたえるため、本稿では表1に示すように400 mm代の小径作業ロールを備えたUC-MILLを、最終後段に1ないし2スタンド配置するHSMを提案するものである。このUC-MILLは同表に示すように、クォータ伸びの修正およびエッジドロップを大幅に減少させることが可能である。

3 UC-MILLの形状制御特性

3.1 平坦度制御特性

UC-MILLでは、HC-MILLで制御できなかったクォータ伸び不良を、作業ロールの径小化および中間ロールベンダの設置によって修正可能にするものである。クォータ伸び不良は図2(a)に示すように、ロールの熱膨張によるロールカーブの変化(略称サーマルクラウン)が、台形状に生じることに起因して発生する。すなわち、従来の板の断面プロファイルを修正するための作業ロールの制御カーブは、同図の一点鎖線で示すように二次曲線に近いカーブに制御されている。このため、ハッチングで示したクォータ部で、圧延材が過度に圧延されクォータ伸び不良が発生していた。

UC-MILLでは、このクォータ伸びが図2(b)に示すように修正される。すなわち、作業ロールを小径にすることにより、作業ロールベンダによるロールのたわみを、一点鎖線で示すようにロール中央部では少なく、胴端部近傍に大きく発生させる。一方、中間ロールのロール径を作業ロール径よりも大きな径に選定し、中間ロールベンダによる中間ロールのたわみを鎖線で示すように、二次曲線に近い形に発生させる。この二つを合成したカーブは、実線で示すように、板幅の $\frac{1}{4}$ 近傍での圧下量を少なくするように作用するので、クォータ伸

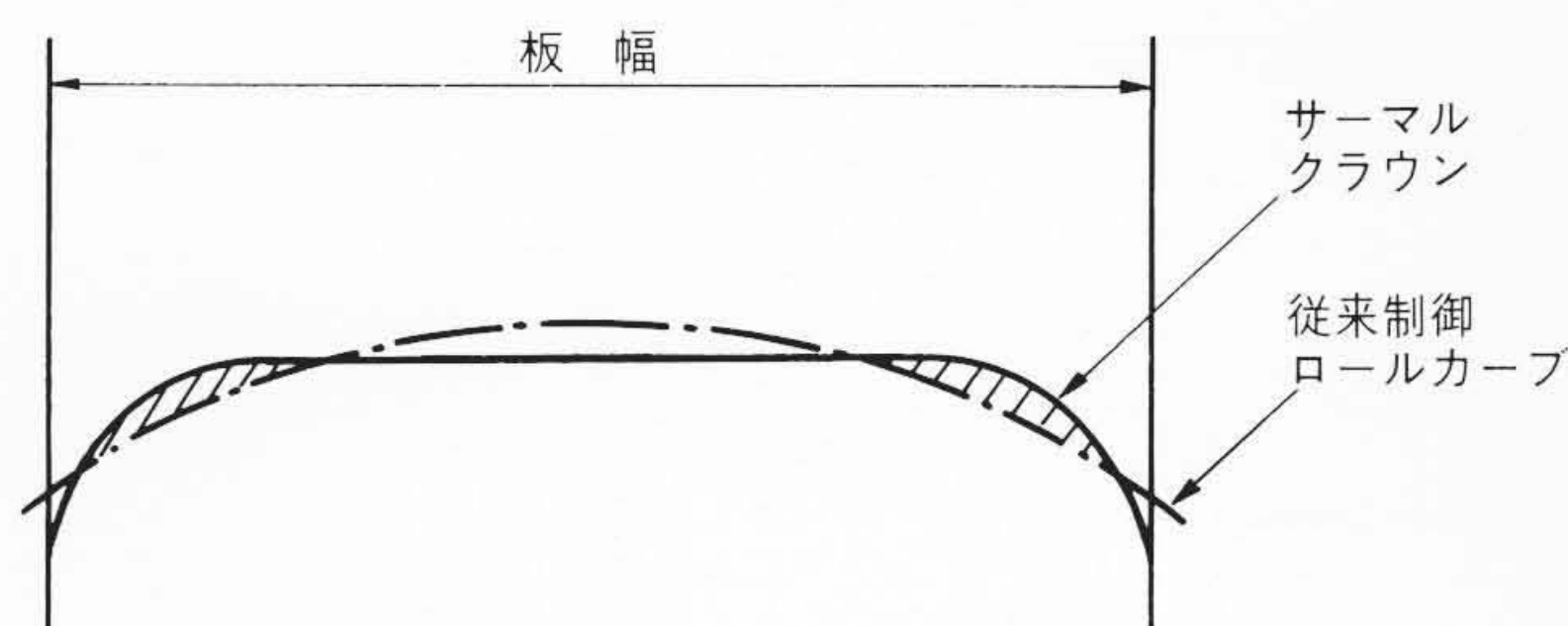
び不良の修正が可能である。

以上、UC-MILLによるクォータ伸びの修正制御について述べたが、もちろんUC-MILLは端伸び、中伸びの単純伸び不良の修正および板クラウンのフラットねらい制御なども可能である。すなわち、UC-MILLの中間ロールシフト δ 、作業および中間ロールベンダ F_w/F_l の適切な調整により、表3に示すように作業ロールを単純伸び不良修正のための凹凸、フラットあるいはクォータ伸び修正用カーブなどに自在に制御できる。

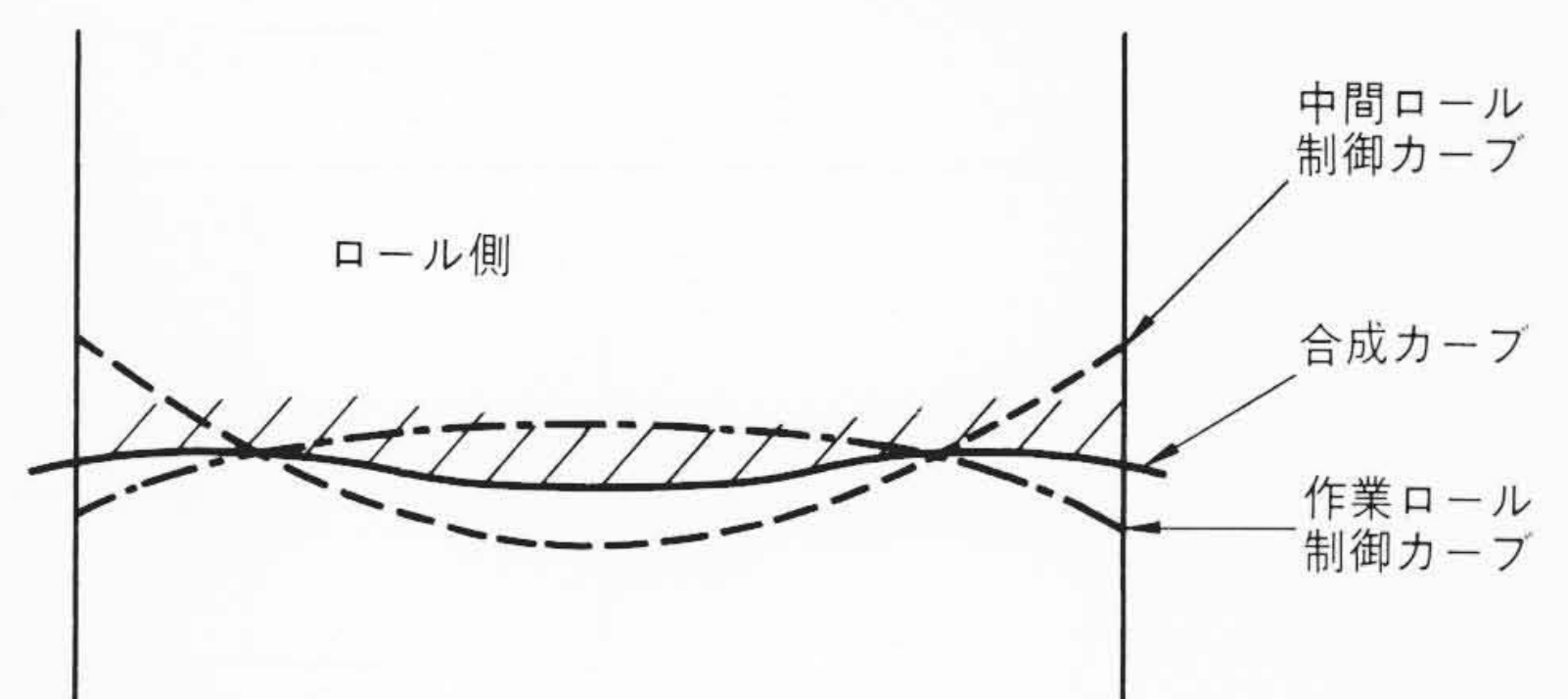
3.2 エッジドロップ減少

エッジドロップは、前述の表2に示したように板幅端での板厚が急激に減少する現象で、この量が多いと板幅端をトリミングすることが必要な場合が生じて問題になる。このエッジドロップは、圧延材と接触する作業ロール表面の圧延圧力による接触変形によって生じる。したがって、エッジドロップ量を減少させるには、圧延部での作業ロールと圧延材の接触長さを短くする必要がある。この接触長さが短いと、圧延材とロール表面の摺(しゅう)動摩擦によって生じるフリクションヒルと呼ばれる圧延圧力のピークが減少する。また、変形スパンが短いことによってロール表面の接触変形が減少し、エッジドロップ量が小さくなる³⁾。

圧延部でのロールと圧延材の接触長さは、UC-MILLによる作業ロールの径小化によって短縮することができる。板厚2.8 mm×板幅1,245 mmの製品を製造する場合の、UC-MILLの各種ロール径に対する圧延荷重および板断面プロファイルを表4に示す。圧延荷重は作業ロールの径小化とともに、ほぼロール径に比例して減少する。また、エッジドロップの調査は、板の断面プロファイルを板幅中央部を平坦にする条件にして調べた。同表の板幅端部Eの拡大図を図3に示すが、エッジドロップ量も作業ロールの径小化とともに、大幅に減少させられることがわかる。ただし、以上のような作業ロール径小化によるエッジドロップの減少効果は、表2に示すHC-MILL、UC-MILLでは得ることができない。すなわち、4H-MILL方式の圧延機では得ることができない。すなわち、4H-MILLでは板幅端を越える部分の補強ロールと作業ロールの接触圧力によって、小径化した作業ロールの板幅端での軸たわみが大き



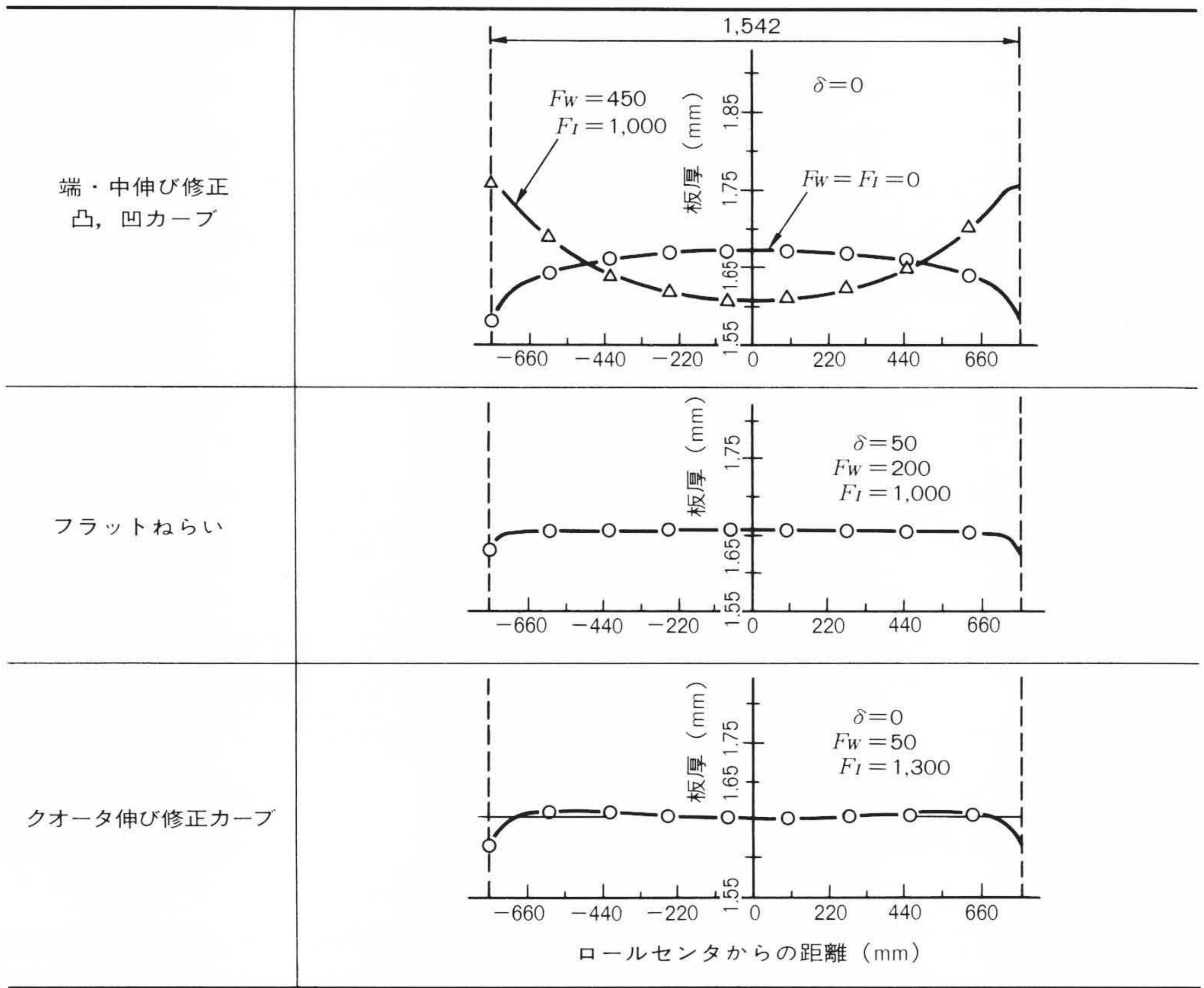
(a) 従来のロールカーブ制御



(b) UC-MILLでのロールカーブ制御

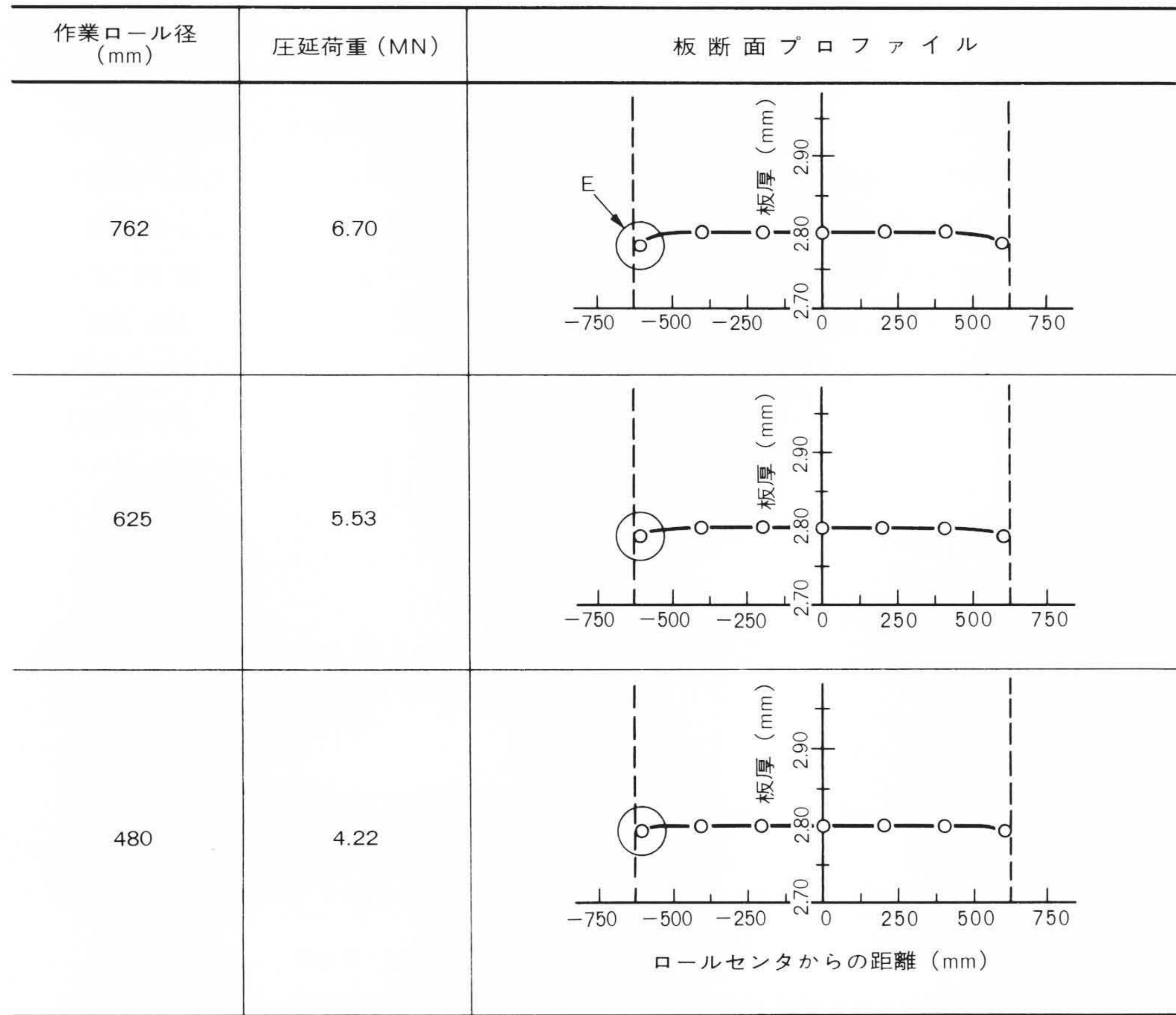
図2 UC-MILLでのロールカーブ制御 UC-MILLでは作業および中間ロールの合成曲げ制御効果により、クォータ伸びの修正が可能である。

表3 UC-MILLでのロール制御カーブ UC-MILLでは凸, 凹, フラットはもちろん, クォータ伸び修正のための高次のロールカーブ制御が可能である。



注：圧延条件
入側板厚 1.94 mm→出側板厚 1.65 mm
×板幅 1,542 mm (圧下率 15%)
作業ロール径 φ440・中間ロール φ560
圧延荷重：8.1 MN
δ：中間移動状態を示す記号 (mm)
表2 参照
F_W：作業ロールペンダ力 (kN/軸受箱)
F_I：中間ロールペンダ力 (kN/軸受箱)

表4 作業ロール径と板断面プロファイル 作業ロール径が大きいと, 板断面中央部のプロファイルがフラットでも, 板幅端のエッジドロップが大きくなる。



注：圧延条件
入側板厚 3.3→出側板厚 2.8 mm
×板幅 1,245 mm (圧下率 15%)

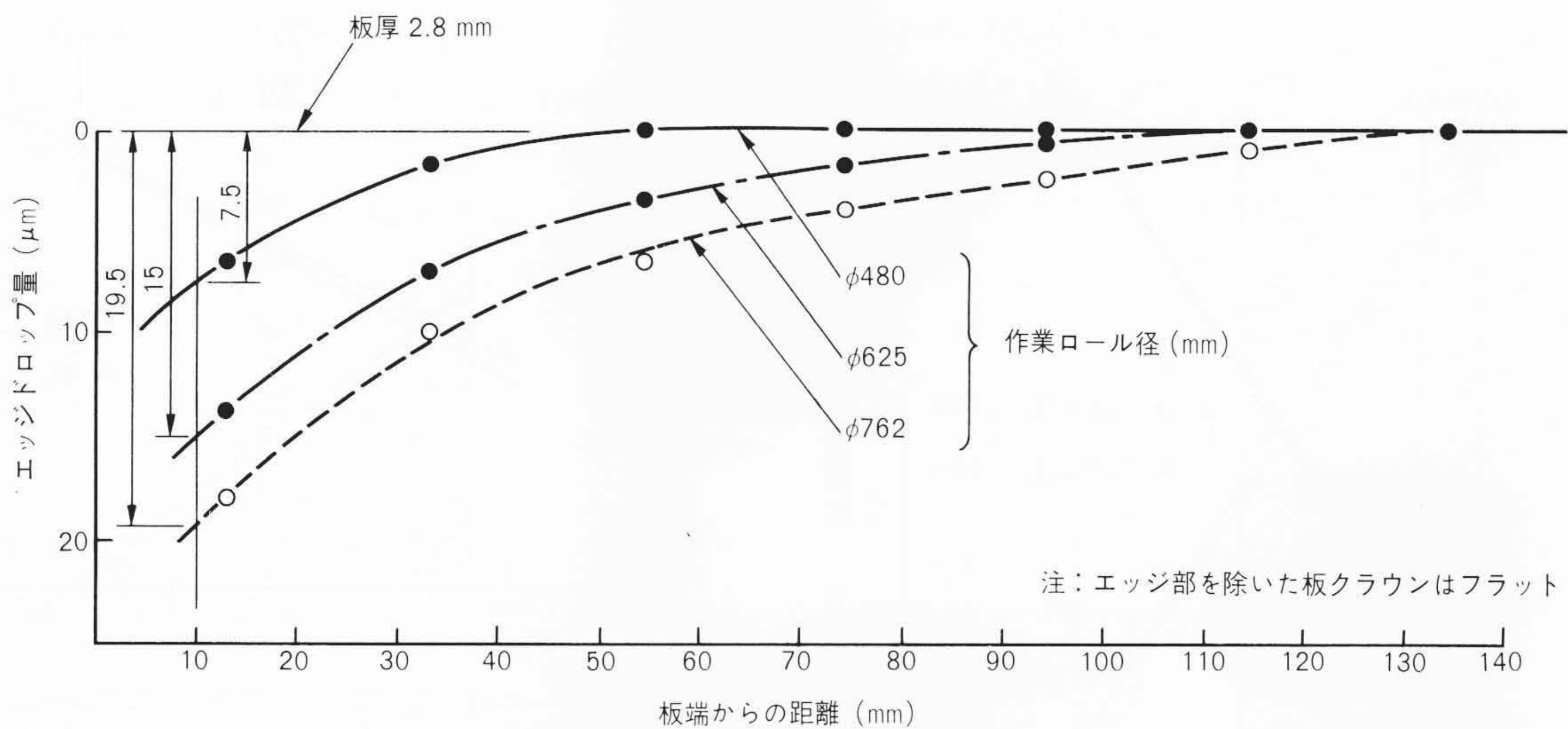


図3 作業ロール径とエッジドロップの関係 この図は表4の板幅端Eを拡大したものである。作業ロールが小径になるとともに、エッジドロップは小さくなる。

く生じるため、逆にエッジドロップが大きくなるためである。これに対し、HC-MILL、UC-MILLは中間ロールを板幅端近傍まで移動させることによって、上記4H-MILL方式で生じた有害なロール間の接触圧力の発生を防止することができる。したがって、作業ロールの板幅端での軸たわみは発生せず、作業ロール径小化による前述したロール表面の接触変形の減少効果によってエッジドロップを減少させることができる。

3.3 UC-MILLの作業ロール径小化

UC-MILLは作業ロールを径小化しても、ロール径の大きな中間ロールのベンディングにより、前述の表3に示すように二次曲線的な凹凸カーブはもちろん、クォータ伸び修正までのロールカーブの制御が可能である。これは、中間ロールベンディングのないHC-MILLで作業ロールを小径化した場合は、作業ロールベンダによるたわみがロール胴端部に集中し、滑らかなロールカーブが得られないため、径小化に限界がある場

合と異なる。しかし、UC-MILLでも作業ロールの径小化をさらに進めると、圧延動力の伝達が機械強度上困難になる。表1に示すHSMにUC-MILLを配置する場合、このような作業ロールの径小化限界は、対板幅比で0.2程度である。作業ロールを駆動できない程度に径小化したい場合は、表5に示すように中間ロール駆動方式にする必要がある。しかし、中間ロール駆動により、作業ロールには水平方向の接線力が加わるので、作業ロールの水平方向たわみ防止装置の設置が必要になる。これは冷間圧延の分野ではすでに実用されているが⁴⁾、熱間圧延での実用化には作業環境が悪いこと、また板のかみ込み性が悪いことなどの条件を克服するための改善が必要である。

4 UC-MILLによる圧延負荷の軽減

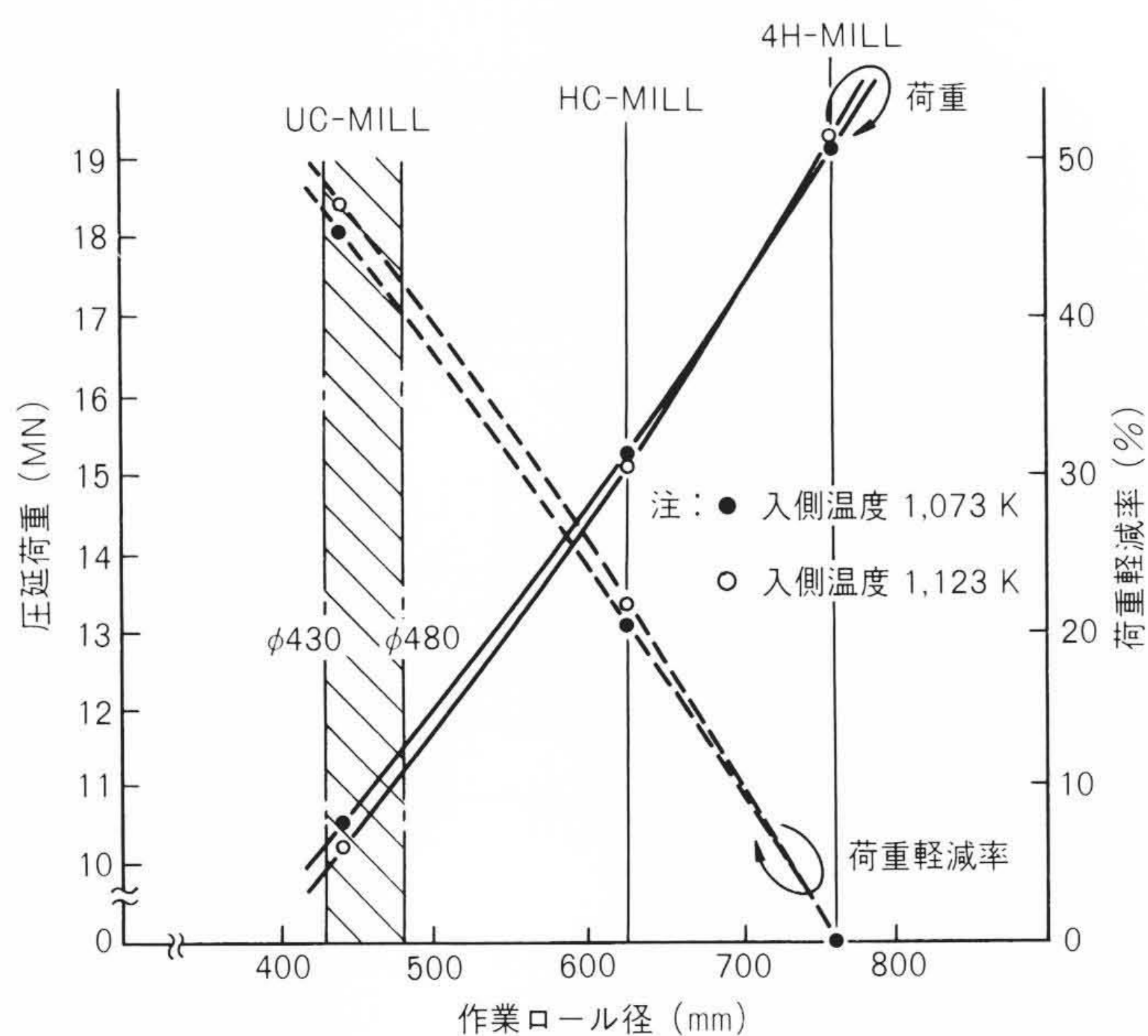
前述したように、軽量化のための硬質材の薄肉化圧延、および普通鋼でも結晶組織の微細化などのや金的特性の改善のため、HSMの後段スタンドで高圧下圧延が求められている。しかし、後段スタンドで高圧下圧延を行うと、圧延荷重の増加により板厚および形状精度が悪化する。このような問題を解決するうえで、本稿で述べたUC-MILLは最も好適な圧延機となっている。すなわち、小径作業ロールによる圧延負荷の防止、および高精度な形状制御が可能であることによる。

UC-MILLをHSMの最終段に配置し、低炭素鋼材の高圧下圧延を行う場合の圧延荷重および圧延動力の関係を図4、5に示す。すなわち、や金的特性の改善のため、1,073~1,123 Kの比較的低い温度で板厚2.0 mmから1.2 mmまで、40%の高圧下率で圧延される。従来のHSMの最終段では圧延温度が1,173 K程度と高温で、圧下率中25%以下であるものに対して、上記圧延はきわめて高圧下な圧延条件となっている。

表5 UC-MILLの作業ロール径小化 D_w (作業ロール径)/ W (板幅)が約0.2以下では、作業ロール駆動による圧延動力伝達は難しく、中間ロール駆動方式が採用され、かつ作業ロールは水平方向に支持される。

ロール配置		
駆動ロール	作業ロール	中間ロール

注：図中●は駆動ロールを示す。



注：圧延条件 鋼種（低炭素鋼）
板厚〔入側 2.0 mm→出側 1.2 mm（圧下率 40%）〕
板幅（1,000 mm）
圧延速度（620 m/min）

図4 作業ロール径と圧延荷重の関係 作業ロール径を従来の750 mmから450 mm程度に径小化することによって、圧延荷重を約45%軽減できる。

作業ロール径と圧延荷重および圧延荷重軽減率の関係を図4で示したが、作業ロール径 $\phi 750$ mmは、前述の表1に示す1980年以前の4H-MILL、 $\phi 620$ mmは1990年までのHC-MILLに対応する。ハッチング部の作業ロール径 $\phi 430 \sim \phi 480$ mmが本稿のUC-MILLに相当するが、このような作業ロールの径小化により、従来の4Hミル時に比較して、圧延荷重は18 MNから10 MNに約45%軽減される。これは、現状のHSMでの最終スタンドの圧延荷重と同程度に低く、板厚および形状精度向上のための制御を実施するうえで有利である。

図5には、図4と同じ圧延条件での作業ロール径と圧延動力の関係を示した。従来4H-MILLに比較してUC-MILLは、圧延動力を7,000 kWから5,000 kWに約20%軽減することができる。

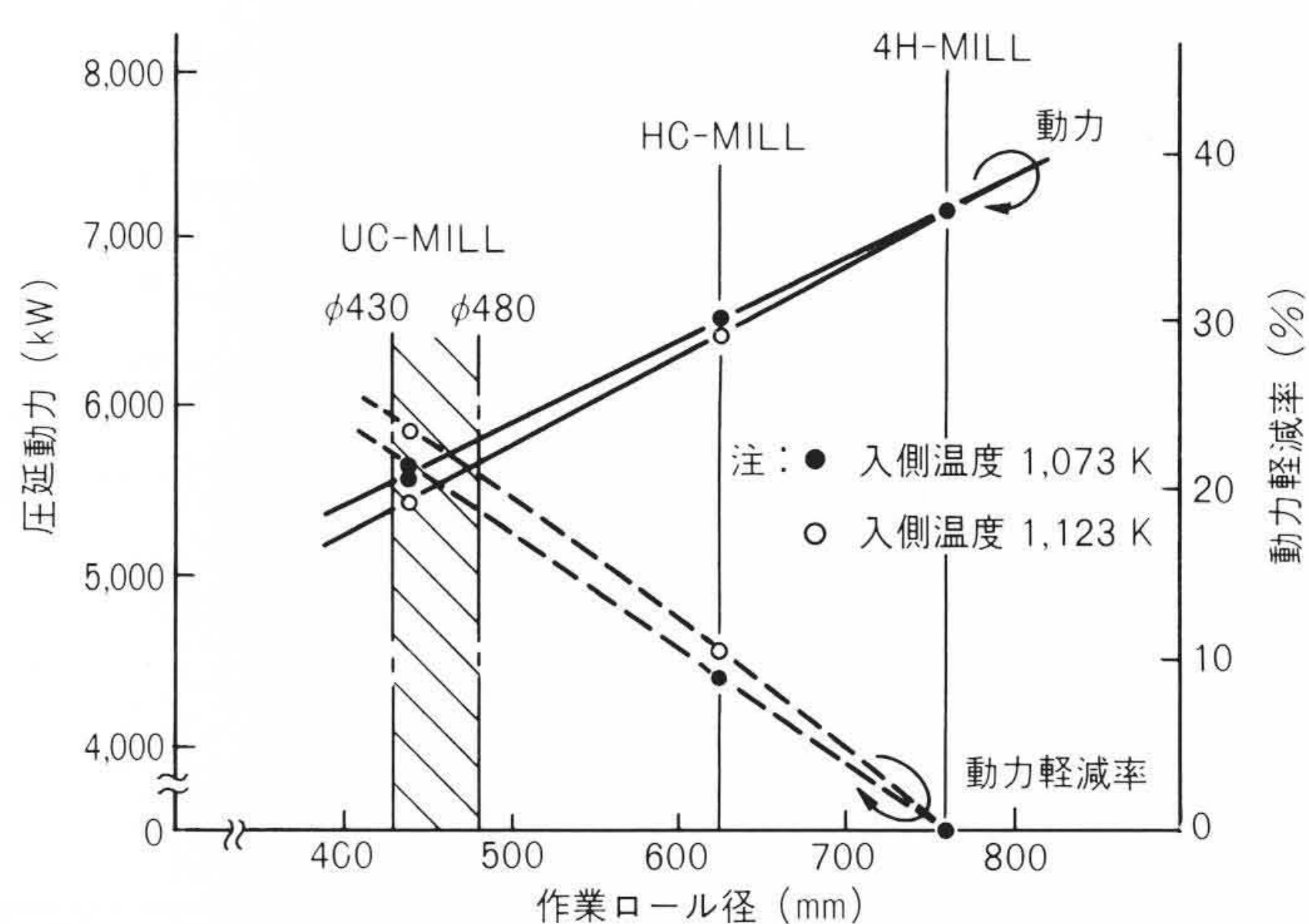


図5 作業ロール径と圧延動力の関係 作業ロール径を従来の750 mmから450 mm程度に径小化することによって、圧延動力を約20%軽減できる。

5 結 言

熱間薄板を製造するHSMでは、製品の薄肉化およびこれに伴う形状精度のなおいっそうの向上が求められているが、これらの課題はHSMの後段に小径の作業ロールを備えるUC-MILLを配置することによって解決できることを述べた。このUC-MILLは、HC-MILLの延長線上で開発された圧延機で、冷間圧延の分野では、すでに多数実用化されている。

終わりに、本稿に対するユーザーからの批判や意見を得て、熱間薄板圧延でのUC-MILLのなおいっそうの有効な活用を図っていく次第である。

参考文献

- 1) 秦，外：高精度形状制御圧延機“UC-MILL”，日立評論，67，4，287～292（昭60-4）
- 2) 木村，外：HC-MILLの熱間帯鋼圧延への適用，日立評論，70，6，615～620（昭63-6）
- 3) 圧延技術発展の歴史と最近の進歩，日本鉄鋼協会，442～465（昭60-3）
- 4) 小林，外：UC-MILLによる形状制御技術，日立評論，70，6，639～644（昭63-6）