

新形圧延機“HC-MILL”の圧延特性

Properties of Large-Scale HC-MILL

新日本製鐵株式会社八幡製鐵所で昭和49年8月“HC-MILL”の大形1号機が稼動を開始した。“HC-MILL”は板材圧延における形状制御性能の飛躍的向上と、これに伴う設備効率及び操業効率の向上を目的とした新形圧延機である。“HC-MILL”の優れた特性は、理論及び小形機で既に確認されているが、今回新日本製鐵株式会社と日立製作所とで本大形機を対象とした共同研究を行ない、大形機でも予想通りの優れた性能をもち機械的特性も実用機として十分信頼できるものであることを確認した。

本稿は、これらの結果及び“HC-MILL”の効果につき報告する。

梶原利幸* Kajiwara Toshiyuki
 藤野伸弘** Fujino Nobuhiro
 西 英俊** Nishi Hidetoshi
 芳村泰嗣** Yoshimura Yasutsugu
 志田 茂*** Shida Shigeru

1 緒 言

日立製作所は、板材圧延機のロール変形に対する新しい理念に基づき、新形圧延機High Crown Control Mill（以下、“HC-MILL”と称する）を創案し、理論解析と小形実験機での実験により、その特性を確認した^{1),2)}。更に、新日本製鐵株式会社より大形実用“HC-MILL”を受注し、本機は昭和49年8月から稼動を開始し、新日本製鐵株式会社と日立製作所との共同研究により、大形機でも“HC-MILL”の優れた性能が発揮できることが確認され、目下順調に稼動中である。引き続き、大洋製鋼株式会社船橋工場向け世界最高速(1,200m/min)の可逆式冷間圧延設備に“HC-MILL”を採用し、昭和51年8月稼動に入った。

本稿は新日本製鐵株式会社納め大形実用“HC-MILL”にて実証された“HC-MILL”の特性について報告する。

2 “HC-MILL”概説

“HC-MILL”については既に本誌で紹介したので¹⁾、ここでは以後の理解を助ける程度に簡単に説明する。

2.1 “HC-MILL”の原理

図1に、従来の4 HIGH MILLの荷重状態を示す。従来は作業ロールのたわみは補強ロールの軸心のたわみにならうと考えられていたが、実際には作業ロールと補強ロールとの接触部は円筒同士の接触でばね性を持ち、このため圧延材の外側の部分(図1の①部)ではばね力により作業ロールが曲げられ、補強ロールのたわみと無関係に大きくたわむことになる。“HC-MILL”はこの欠点を補うため、図2に示すように、作業ロールと補強ロールの間に軸方向に移動可能な中間ロールを設け、板幅の変化に応じ、中間ロール端の位置を板端部近くに設定することにより前記の有害な①部の影響を取り除き、

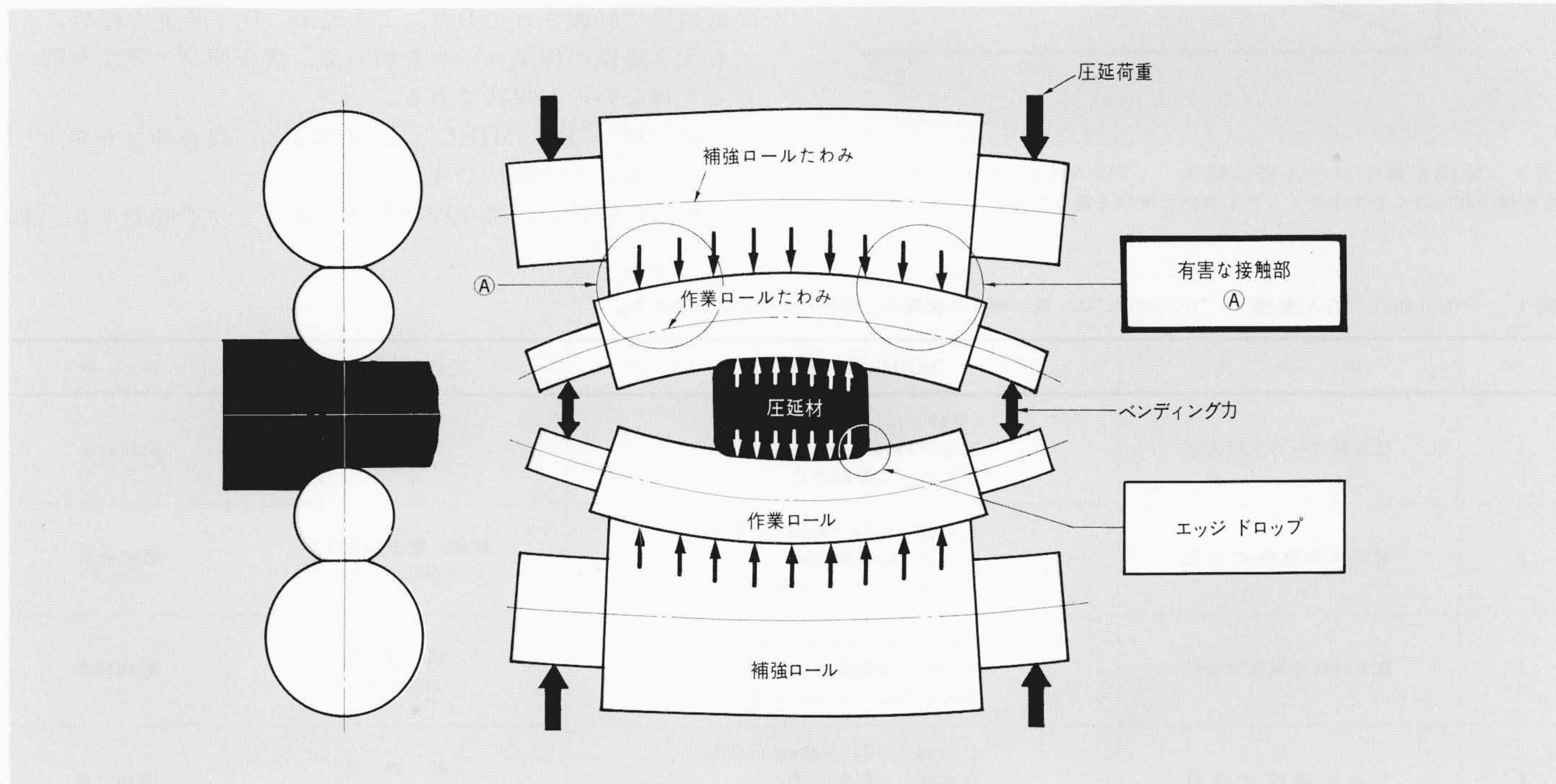


図1 4 HIGH MILL 4 HIGH MILLでは、有害な接触部①により作業ロールが大きくたわむ。

* 日立製作所日立工場 工学博士 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所日立研究所 工学博士

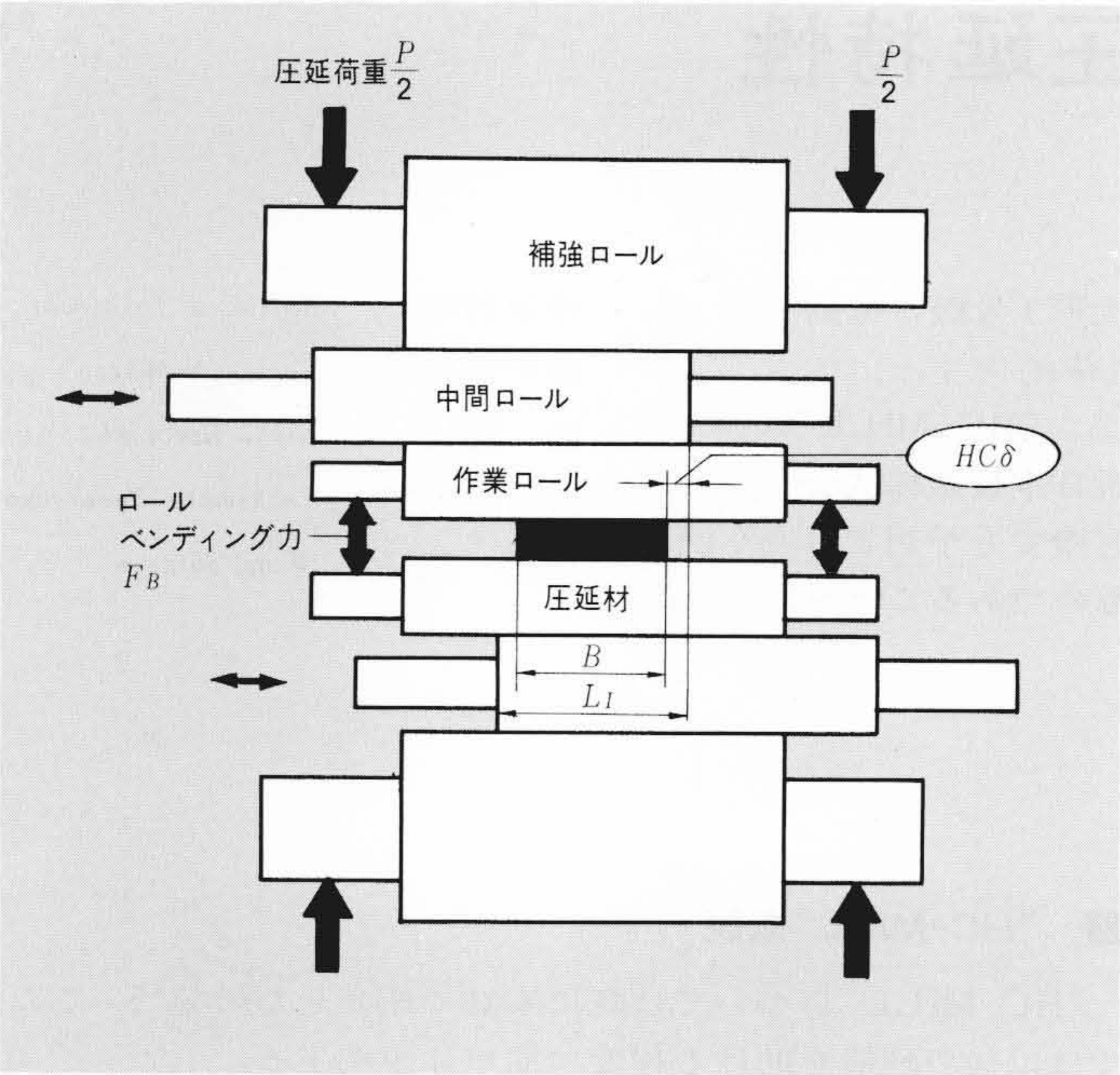


図2 “HC-MILL” “HC-MILL”は、軸方向に移動可能な中間ロールをもつ。

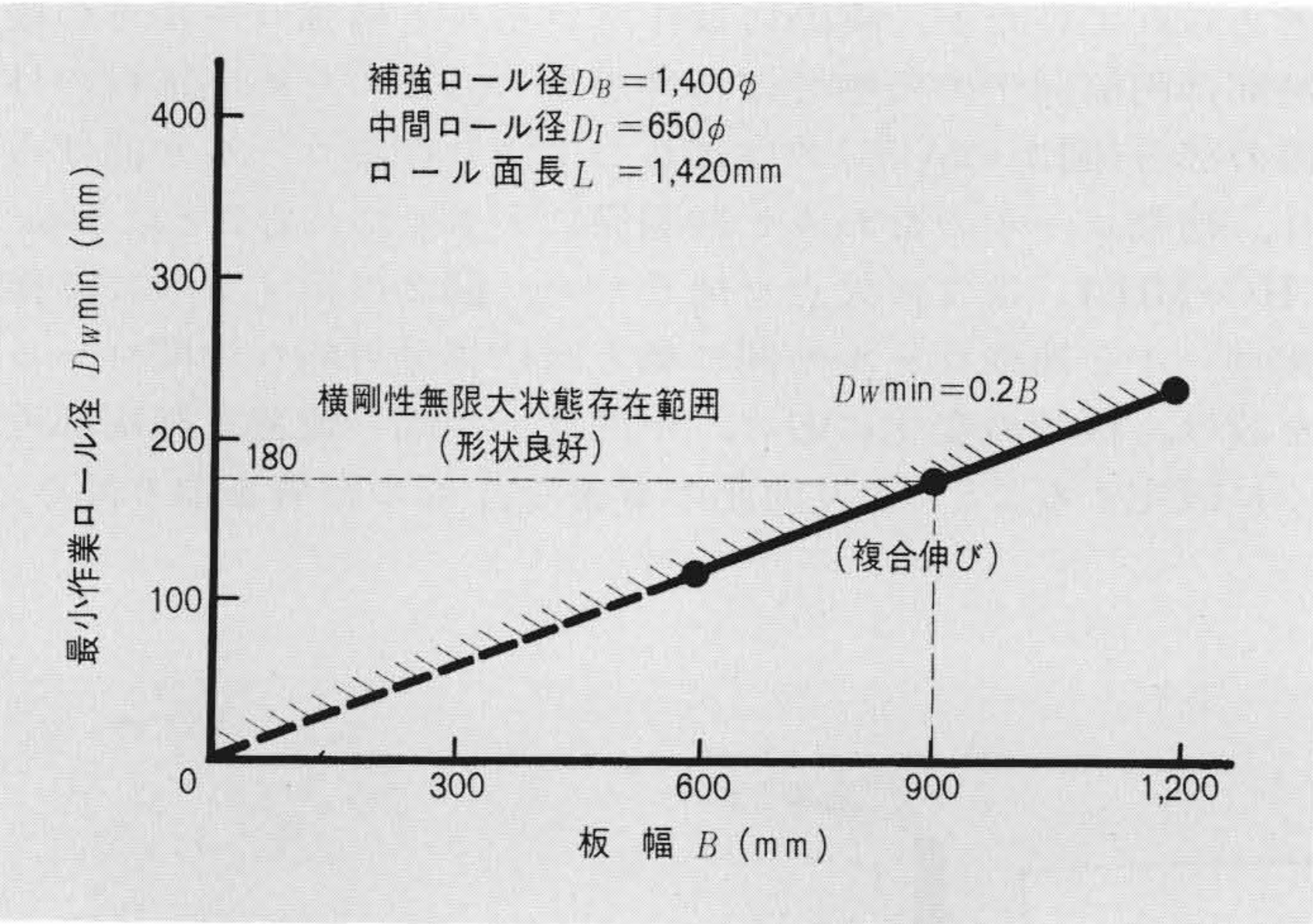


図3 板幅と最小ロール径の関係 “HC-MILL”では、作業ロール径を板幅の20%近くまで小さくしても良好な形状を得ることができる。

作業ロールのたわみを小さくして圧延材の形状を良くするものである。

2.2 “HC-MILL”の特長

- (1) 圧延荷重による作業ロール軸の曲がりがなく、大きな圧延荷重を加えても圧延材の形状が悪くならない。
- (2) 形状を損なわずに小径作業ロールが使用でき、したがって大きな圧下かけられる。
- (3) 形状修正能力が大きいので、1種類の作業ロールクラウンで種々の圧延ができる。
- (4) 圧延荷重の変化にかかわらず形状の安定している点、すなわち、横剛性無限大点が存在する。
- (5) 中間ロールを適切な位置に設定することにより、板材のエッジドロップ量を減少できる。

2.3 “HC-MILL”の納入実績

表1に“HC-MILL”の納入実績を示す。

3 “HC-MILL”における最小作業ロール径

前述したように、“HC-MILL”では作業ロールのたわみを小さくできるので、形状を損なうことなく小径の作業ロールが使用できるが、“HC-MILL”の特性を損なわずに使用できる小径作業ロールの限界を把握することは、“HC-MILL”の実用化上興味のある問題である。

一般に圧延機の作業ロール径は、最小板厚、最大圧下量、冷却性、ロール強度、軸受強度及び圧延材形状を良好にできるロール剛性など、多くの要因を考慮して決定されるが、ここでは、圧延材の形状を良好にできるロール径の最小限界につき検討してみる。

圧延材の形状を良好にできるかどうかは、一般には形状修正が非常に困難な複合伸び(端伸びと中伸びが共存する形状)の発生の有無により判別できる。従来の4 HIGH MILLでは、図1に示す①部が作業ロールを拘束しているため、作業ロールベンディング力を大きくすると複合伸びが出ることは広く圧延現場で経験されており、このため、圧下性能を犠牲にしても大きな径の作業ロールを用いて、複合伸びの発生を避けざるを得ないのが現状である。

これに対し“HC-MILL”は、①部がなく複合伸びが発生しにくくなることが期待できる。

これらの特性は、現在理論解析により十分把握できる。本

表1 “HC-MILL”納入実績 “HC-MILL”は、既に種々の金属の圧延分野に使用されている。

No.	納入先	“HC-MILL” 主要仕様	圧延速度・材料	納入年
1.	日立製作所日立研究所	(実験ミル) 300φ/130φ/100φ×400l 中間ロール駆動方式	Steelほか 190m/min	昭和47年
2.	新日本製鐵株式会社	1,420φ/530φ/320φ×1,420l 中間ロール駆動方式 Single Stand Reversing	軟鋼, 電磁鋼板ほか 600m/min	昭和49年
3.	東京特殊金属株式会社	500φ/165φ/135φ×550l 中間ロール駆動方式 Single Stand Reversing	銅合金 200m/min	昭和50年
4.	大洋製鋼株式会社	1,345φ/510φ/440φ×1,420l 作業ロール駆動方式 Single Stand Reversing	軟鋼板 1,200m/min	昭和51年
5.	株式会社片木アルミニウム製作所	500φ/250φ/250φ×750l 作業ロール駆動方式 Single Stand Reversing	アルミニウム 450m/min	“

稿は詳細は省略するが、“HC-MILL”で複合伸びを避け得る作業ロール径は前述の横剛性無限大点で最小となり、この最小ロール径よりも小さな径では複合伸びが生じ、横剛性を無限大にする機能は失われる。しかし、この条件より定まる最小ロール径は、後述するように従来形4段圧延機に用いられて

いるロール径より十分に小さいので、実際上の制約とはならない。

図3は図中に示すロール寸法の大形“HC-MILL”を対象として、理論計算により求めた板幅と最小ロール径との関係を示すものである。同図より明らかなように、良好な形状を得る作業ロール径 D_w は板幅 B に対して、

$$D_w \geq 0.2B$$

となる。この関係は、実用的ロール寸法範囲で一般に成り立ち、従来形4段圧延機が $D_w = (0.35 \sim 0.5)B$ であるのに対し、はるかに小さなロール径で良好な形状が得られることが分かる。

なおまた、軸方向に移動可能な中間ロールをもつセンジマーミルでは、更に小径の作業ロールを使用できるよう垂直、水平方向の荷重に耐えられるロール配列となっているが、一般に $D_w = 0.05B$ 程度と極度に小さく横剛性を大きくする機能は存在し得ない。

4 大形実用“HC-MILL”

4.1 大形実用“HC-MILL”の仕様

- (1) 設置場所：新日本製鐵株式会社八幡製鐵所
- (2) 稼動開始：昭和49年8月
- (3) ロール寸法：320φ/530φ/1,420φ×1,420l(mm)
- (4) 圧延速度：最大600m/min
- (5) 主電動機：2×1,500kW
- (6) 駆動：中間ロール駆動(小径作業ロール使用のため。一般の大形機は作業ロール駆動)
- (7) 中間ロール移動：油圧式
- (8) 圧下：油圧圧下(“HYROP-M”)

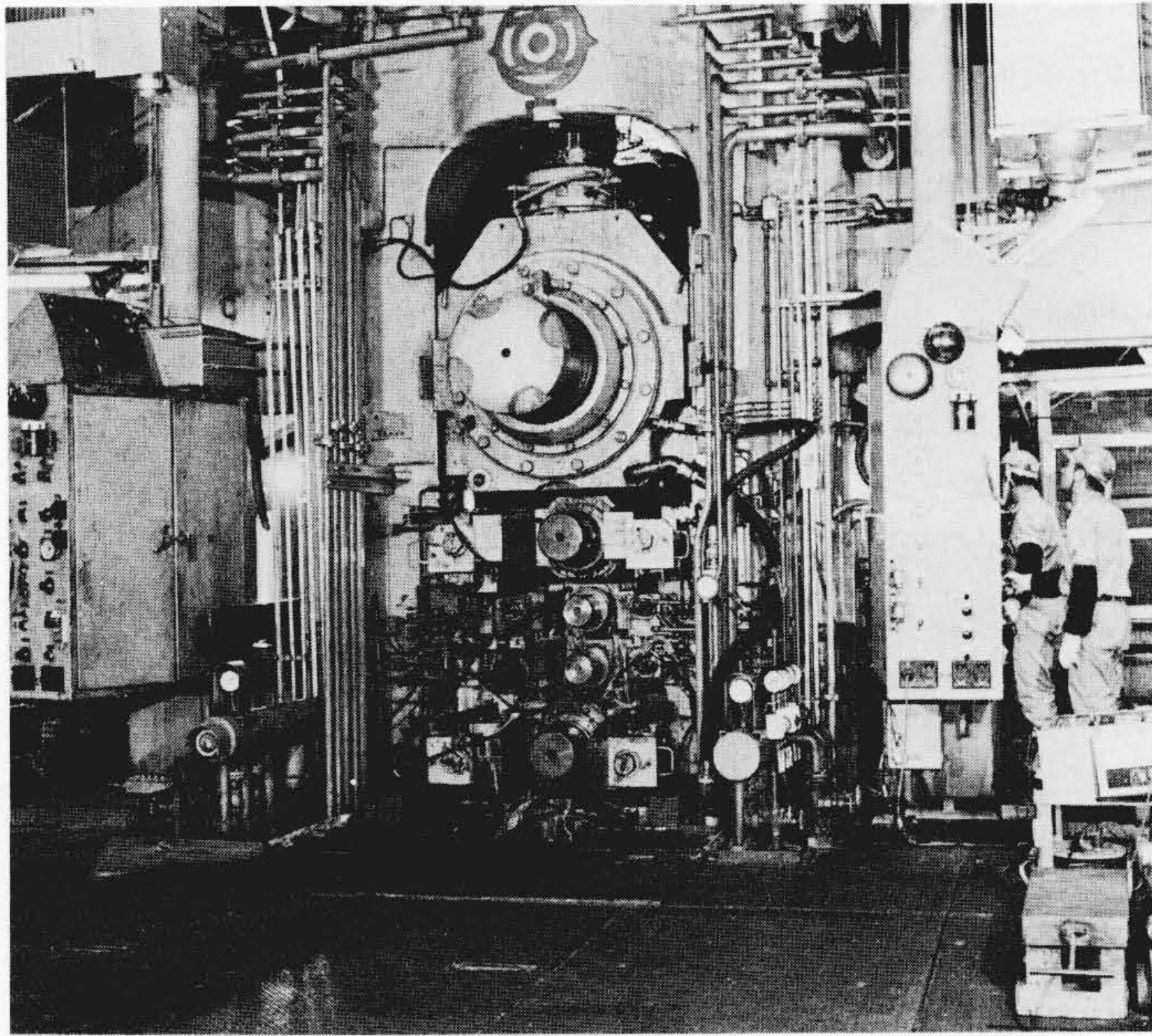


図4 新形圧延機“HC-MILL” 大形実機“HC-MILL”の稼動状況を示す。

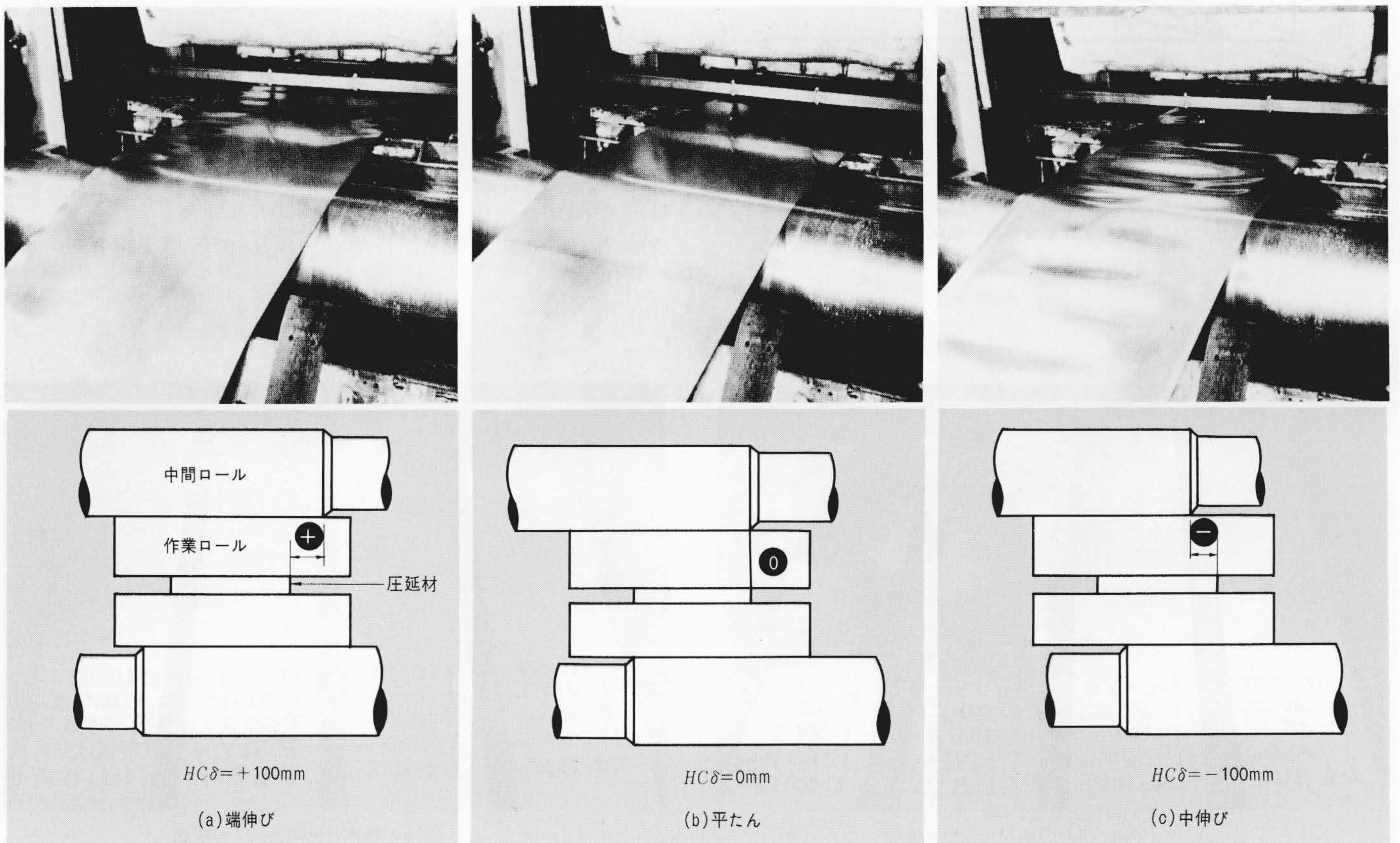


図5 中間ロール位置と板形状 “HC-MILL”では、中間ロール移動により形状を大きく修正することができる。

(9) ロール組替：作業ロール、中間ロール；サイド シフト台車式、補強ロール；Cフック

図4に本大形“HC-MILL”を示す。

4.2 大形実用機による圧延特性

4.2.1 形状制御性

図5に、中間ロール位置と圧延材形状の関係を示す。同図より明らかなように、中間ロールの移動により、圧延材の形状を、端伸びより中伸びまで大幅に変化させることができる。すなわち、 $HC\delta = +100$ で端伸び、 $HC\delta = 0$ で平たん、 $HC\delta = -100$ で中伸びとなっている。このことは、例えば圧延材の形状が中伸びの場合、中間ロールをHC+方向に移動させれば、形状を平たんにできることを示している。更に、“HC-MILL”では、中間ロール端部を圧延材端部近くに合わせることができるので、ロールベンディングの効果を従来の4 HIGH MILLに比べ著しく高め得る。このため、ストレートワークロールだけで広範囲な圧延領域をカバーし、更に大きなベンディング力をかけても4 HIGH MILLにみられるような複合伸びも

なく、良好な形状を得ることができる。

4.2.2 形状安定性と横剛性無限大状態の確認

図6は、“HC-MILL”で平たんな形状を得るために必要なロールベンディング力(最適ロールベンディング力)が中間ロールの位置によってどのように変わるかを大形“HC-MILL”の実圧延で求めたものである。この結果、ロールの強度以上のベンディング力が要求されるような場合、“HC-MILL”では中間ロールの位置を変えれば、より小さなベンディング力で形状修正ができることを示しており、“HC-MILL”の形状修正能力の高いことを示している。同図で、中間ロールのある位置で圧延荷重と無関係に一定の最適ベンディング力が存在する。すなわち、この $HC\delta$ 及びベンディング力の下で、圧延荷重に無関係に平たんな形状が得られる横剛性無限大状態が存在することが、大形実用圧延機での圧延結果からも確認できた。

図7はこの横剛性無限大状態を小形機で確認した一例である。

4.2.3 エッジドロップの修正

圧延材の板幅端部には急激に板厚が減少するエッジドロップがあり、“HC-MILL”では中間ロールの位置を適切に選ぶことにより、エッジドロップ量を減少できることを示したが²⁾、これを大形実用機で確認した結果を図8に示す。これは、板端部より80mmと15mmの点の板厚の比をエッジドロップ比率 E_R と定義し、これと中間ロール位置との関係を示したものである。同図より、“HC-MILL”では4 HIGH MILLと比較して約2%エッジドロップ比率が良くなり、これは板厚0.3mmの板材の板端より15mmの点で、エッジドロップ量がそれぞれ 6μ 、 11μ となり、“HC-MILL”では4 HIGH MILLに比べ、エッジドロップ量を約半に減少させることができるといえる。

4.3 大形“HC-MILL”の機械的特性

4.3.1 ロール間荷重分布とロールのきず付

“HC-MILL”では上下ロールが点对称で、ロール間荷重分布がロール軸方向に非対称分布となる。この圧力分布は、理論計算により求められ実測値ともよく一致しており、図9にその一例を示す。このような圧力分布の下では、ロール端部でのロールの偏摩耗、疲労の蓄積が懸念されたが、種々の予備試験により、

- (1) 中間ロールの肩部を500~1,500Rにする。
- (2) 各ロールの硬度を、作業ロールHs 95度以上、中間ロール

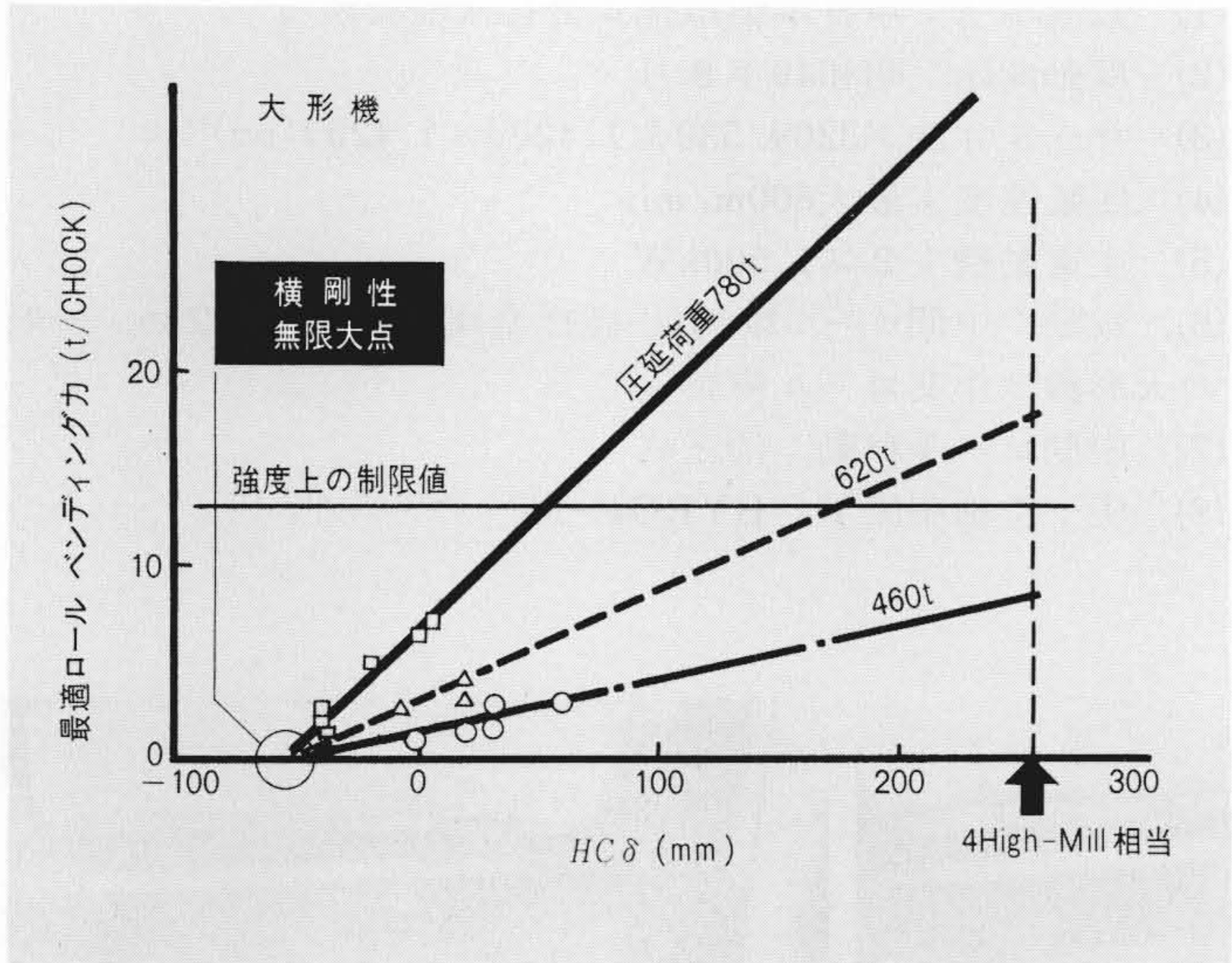
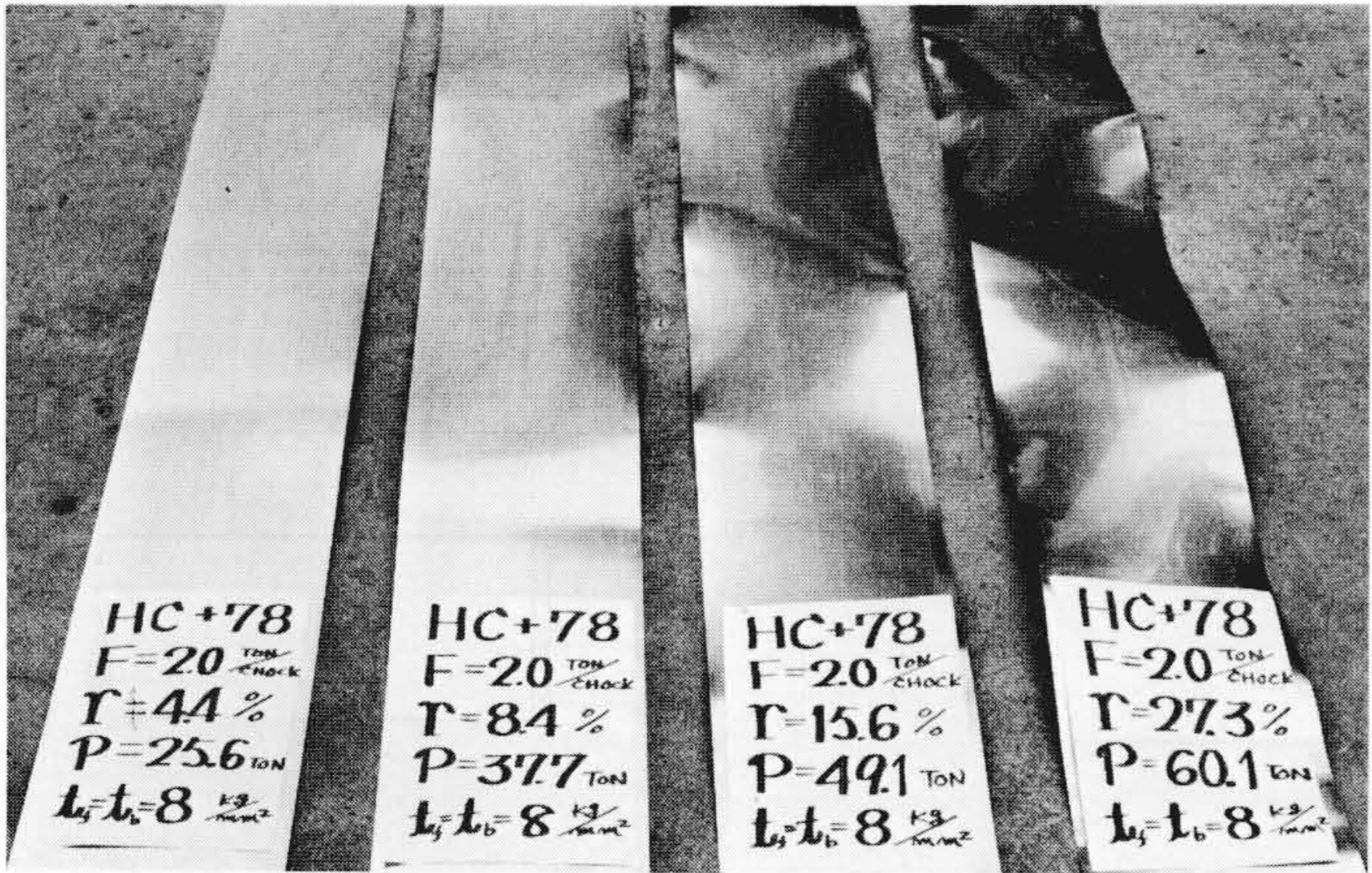
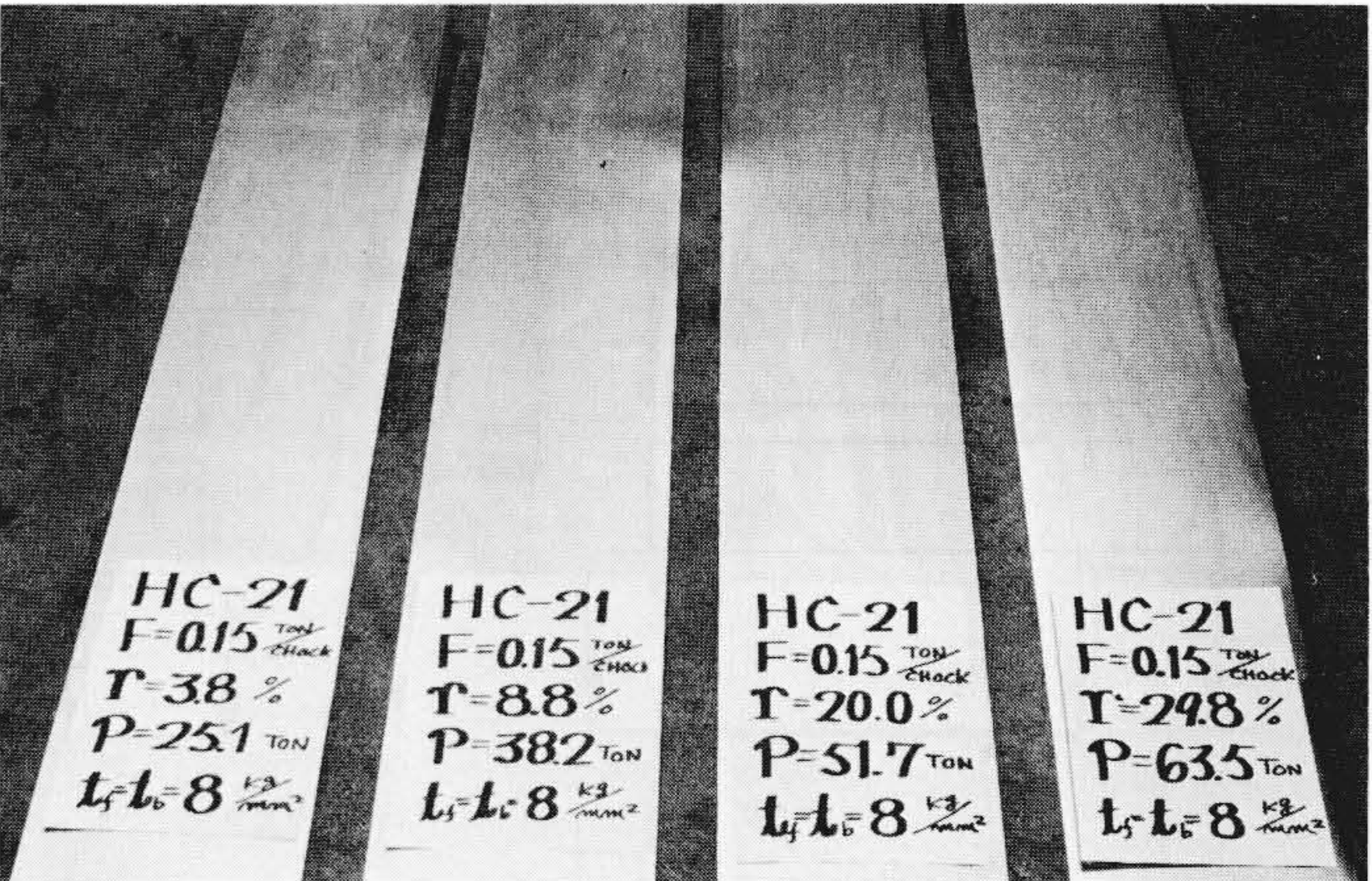


図6 $HC\delta$ と最適ベンディング力の関係 “HC-MILL”では中間ロールの位置を変えれば、最適ベンディング力も変化する。一定のベンディング力で圧延荷重の変化に対し形状の変化しない点—横剛性無限大点が存在する。



(a) 4 HIGH MILL 相当圧延



(b) 横剛性無限大点での圧延

図7 形状安定性の比較 中間ロールを4 HIGH MILL 相当位置にした場合と横剛性無限大点に設定した場合の形状の比較を示す。後者では圧延荷重が増えても形状はほとんど変化していない。

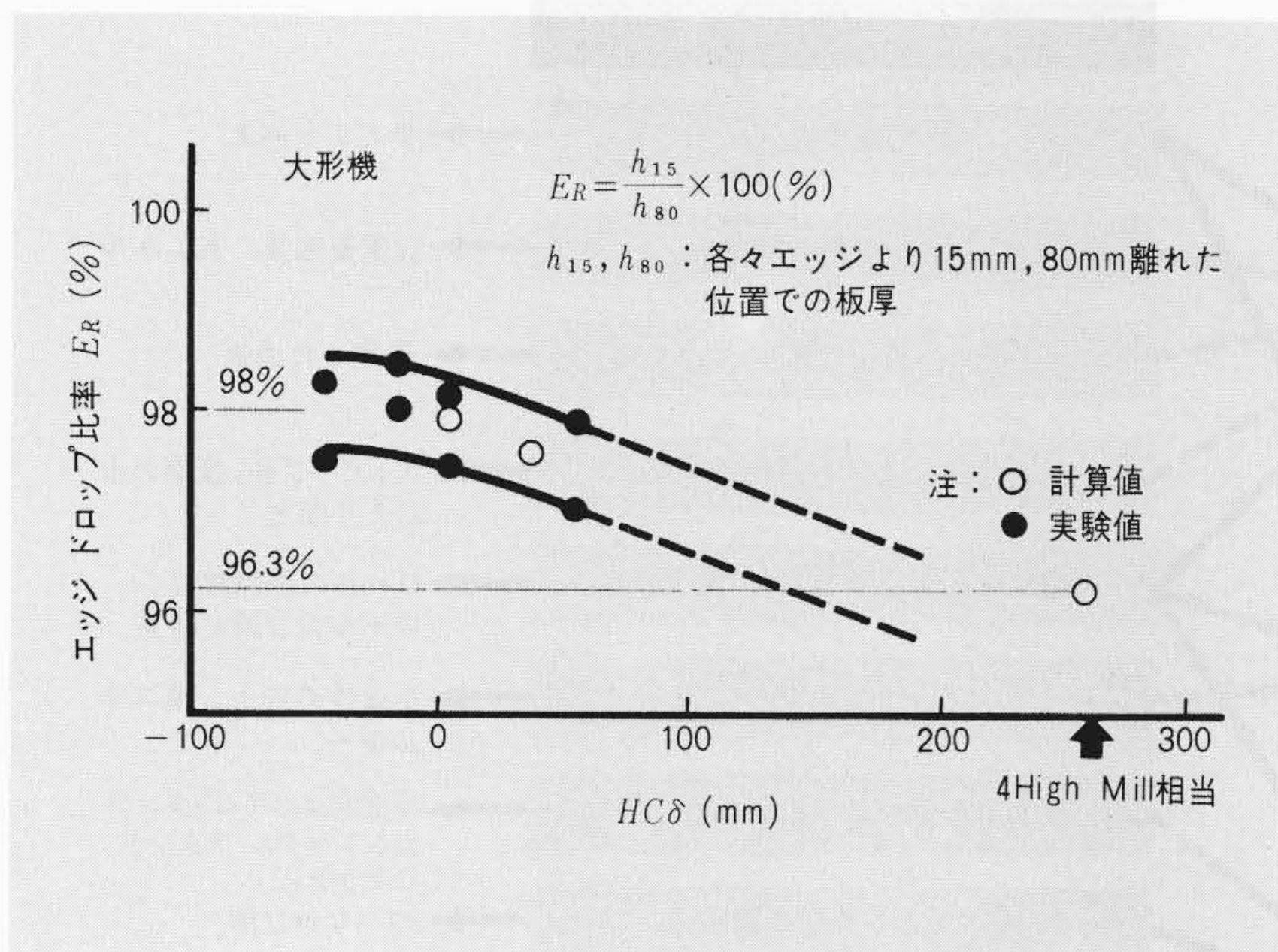


図8 エッジドロップの低減 “HC-MILL”で圧延した場合と4 HIGH MILLで圧延した場合のエッジドロップの比較を示す。“HC-MILL”ではエッジドロップ比率を2%改善できる。

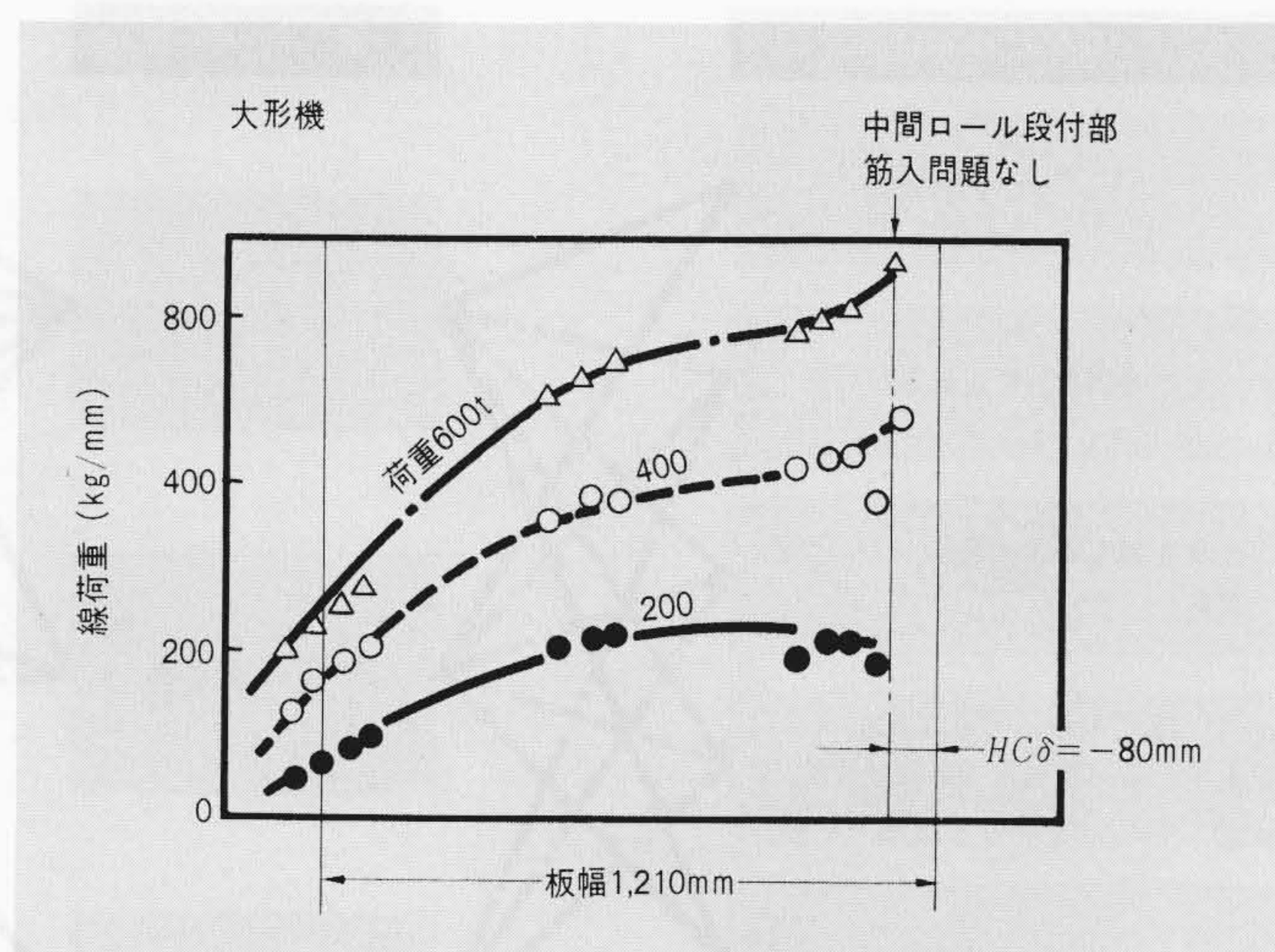


図9 作業ロール～中間ロール間接触圧力分布 “HC-MILL”では作業ロールと中間ロール間の圧力分布は非対称となる。

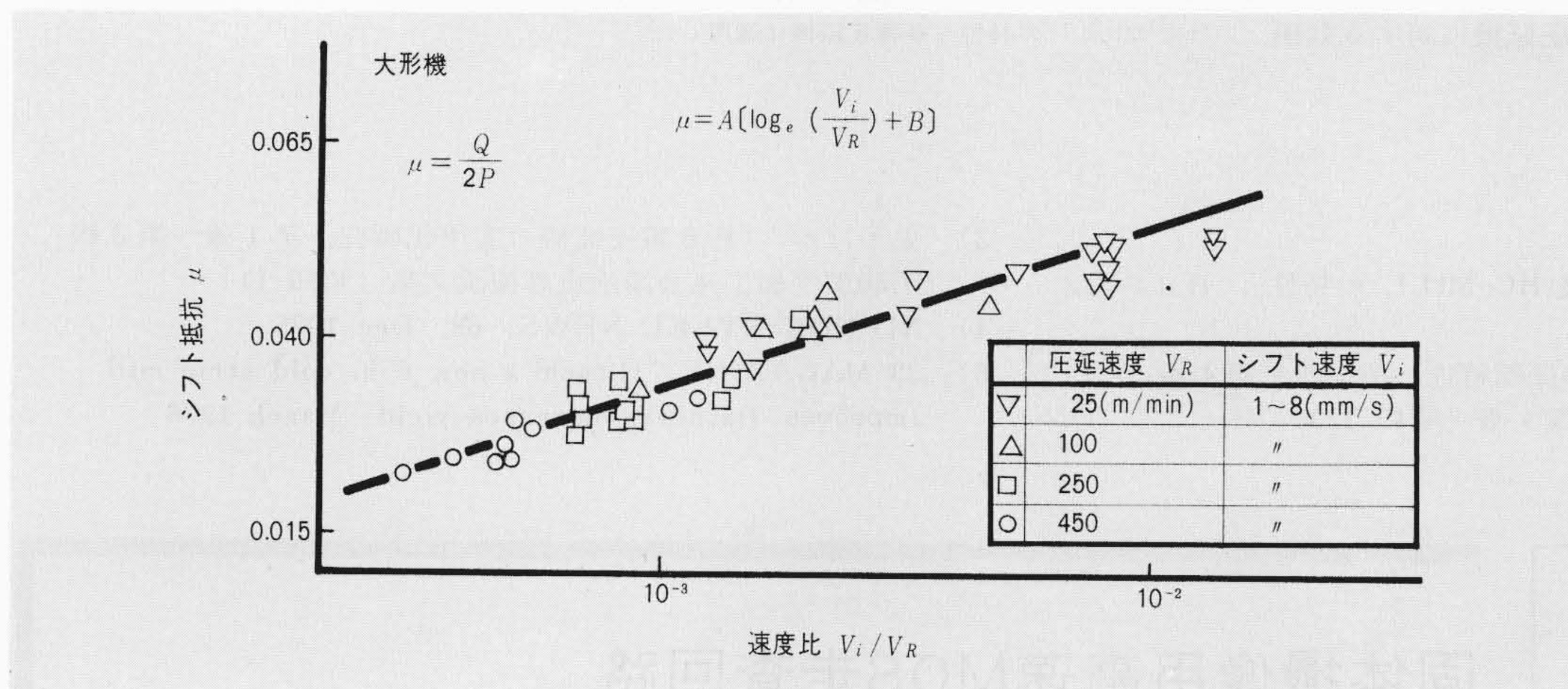


図10 中間ロールの移動抵抗 中間ロールを移動する際の抵抗は、移動速度と圧延速度の比との関係で示される。

HS 75～80度、補強ロール HS 60～65度程度とする。

などにより、これらの問題を防止できることが分かり、実用機でもこれらが正しいことが証明された。

4.3.2 ロールの寿命

ロールの寿命も、従来の4 HIGH MILLと比べ劣らず、本大形機のフル稼働下でのロール組替ひん度は、作業ロールは従来の作業ロールと同様、中間ロール及び補強ロールについても従来の補強ロールと同程度でよいことを確認した。

4.3.3 中間ロールの移動抵抗

中間ロールを圧延中に動かすのに必要な力を求めるため、ロールの移動抵抗を求めた。この結果を図10に示す。移動抵抗 Q は圧延速度と移動速度との比によって決定され、実用範囲では次式で示される。

$$Q = 2\mu P = 2A \left\{ \ln \frac{V_i}{V_R} + B \right\} P \dots\dots\dots(1)$$

ここに Q : 移動抵抗
 μ : 抵抗係数
 P : 圧延荷重
 V_i : 移動速度
 V_R : 圧延速度
 A, B : 常数

5 “HC-MILL”の適用とその効果

以上の特性をもっている“HC-MILL”の適用と、その効果を図11に示す。同図に示すように“HC-MILL”は従来の4 HIGH MILLにない大きな効果が得られることが分かり、今後の各方面への応用が期待される。

6 結 言

以上述べたように、新日本製鐵株式会社八幡製鐵所納めの大形実機でも、小形実験機と同様に“HC-MILL”の数々の優れた特性が確認できたとともに、実用上懸念のあったロールのきず付や寿命などの問題もなく、“HC-MILL”が実機に適用でき、十分実用できることが確認された。その後、更に高速の“HC-MILL”も稼働に入り、また、アルミニウム圧延の分野も“HC-MILL”を適用してその優れた特性を確認しているが、今後、更に“HC-MILL”の特性を生かした応用面の拡大にいつそう努力していきたい。

終わりに、大形実機製作と共同研究の機会を与えられ、研究に種々御協力と御便宜をちょうだいした新日本製鐵株式会社技術開発部、生産管理部、設備技術センター、並びに同社八幡製鐵所薄板部及び技術研究所の関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

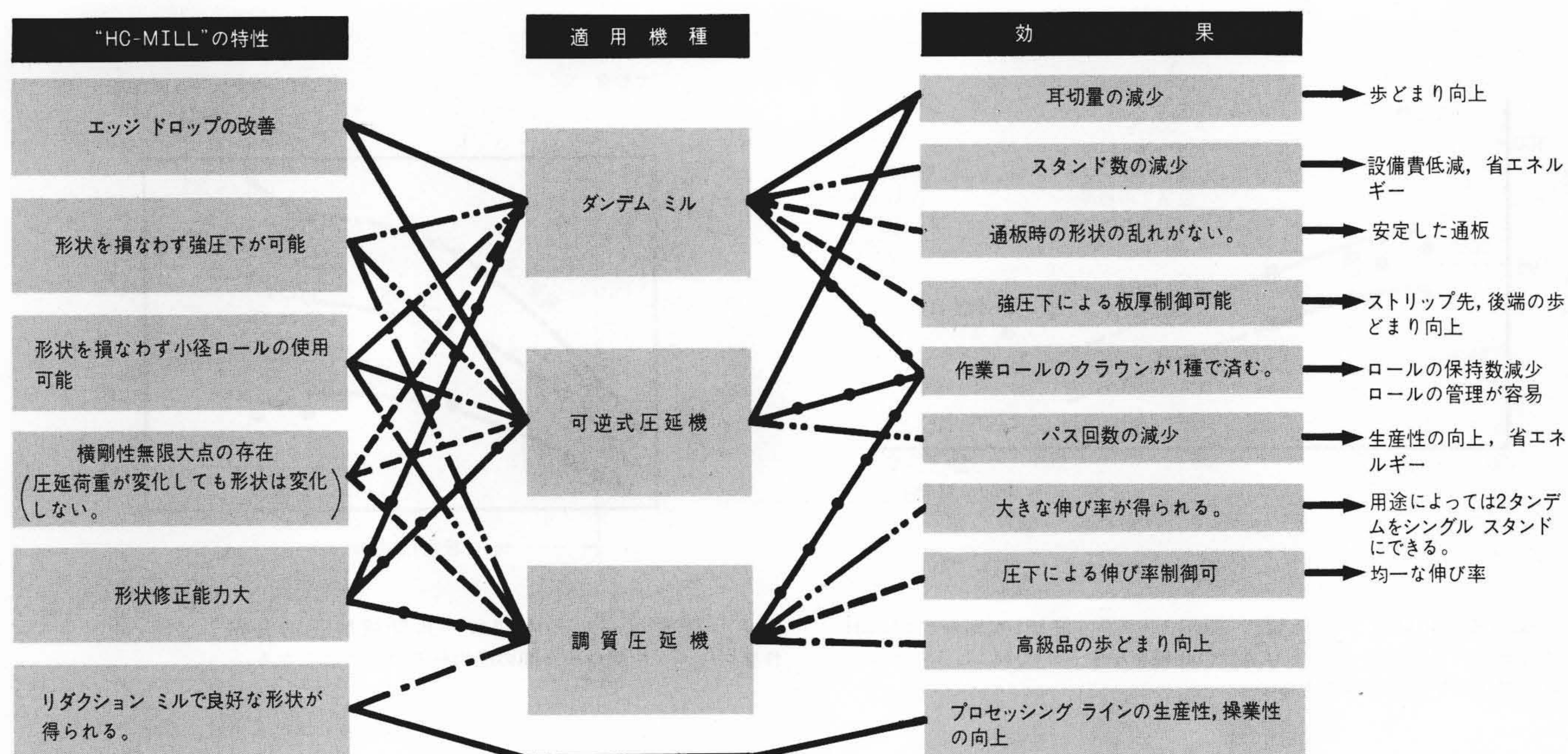


図11 “HC-MILL”の特性と各種圧延機に対する効果 “HC-MILL”の特性を各種圧延機に適用した場合の効果を示す。

参考文献

- 1) 梶原ほか：「日立新形圧延機(HC-MILL)の特性」，日立評論，56，919（昭49-10）
- 2) 梶原ほか：「新6段圧延機の圧延特性，第1報～第4報」，昭49塑性加工連合講演会講演論文集（昭49-11）
- 3) 兒子ほか：「新6重圧延機の実用化研究，第1報～第3報」，昭50塑性加工連合講演会講演論文集（昭50-11）
- 4) NIPPON STEEL NEWS, 68, Dec. 1975
- 5) 33 MAGAZINE “Hitachi's new 6-hi cold strip mill improves flatness, increases yield” March 1976

論文抄録

固体撮像用高速MOS走査回路

日立製作所 小池紀雄・神山孝光，他1名
テレビジョン学会誌 29—12，993（昭50-12）

固体撮像素子の研究開発が始まって以来、約10年が経過するが、開発の最終目標は現行のテレビジョン放送で広く使用されている撮像電子管を固体素子で置き換えることである。MOSトランジスタのソース接合を光ダイオードとして利用できるMOS撮像素子は、電荷移送素子（CCD）と並んで将来の撮像素子を実現する有力な担い手である。開発の当初心配されていた500組の絵素を同一基板上に集積化しなければならないという数の障壁も、MOS・LSI技術の目覚ましい発展に助けられて解決のきざしが見え始めている。また、性能の面でも光情報処理用など撮像以外に幅広い用途が期待されるため、内外で活発な研究が進められ日ごとの進歩を重ねている。

しかし、撮像管を比較の相手にとると、固体素子はまだ劣点が多く電子管並みの性能を得るためには抜本的改善策が必要とされている。数の障壁については、微細加工技術の今後の発展に期待するという楽観的見方をすれば、現在の固体素子、特にM

OS素子が抱えている問題点は次の二つに要約できる。

- (1) 走査回路にはMOSシフトレジスタを利用するが、回路にはMOSトランジスタ特有の遅延時間が存在するため、駆動に用いるクロックパルスの周波数が高くなると、回路動作がクロックに追従できなくなり、高い走査速度を得ることができない。
- (2) 上記クロックパルスの誘導性雑音が信号に混入し、SN比が低い。

走査回路として見たシフトレジスタの上限度は通常の二相クロック型で3MHzである。最近ではクロックの相数を増やして、実効的に速度を上げる方法も採られているが、SN比が更に低下するなど問題が多い。また、SN比を上げる方法として、従来フィルタ法、サンプリング法などが利用されてきたが、一度発生した雑音をこれらの信号処理で除くことは非常に難しい。

本論文は雑音を発生することなく高い走査速度を得る方法として、駆動にクロックパルスをを用いない新しい高速走査方式を提

案し、その動作原理と解析、次いで本方式を採用して実験試作した一次元固体撮像素子の諸特性について報告したものである。

この走査方式は、速度を落とす要因として前述した回路の遅延時間を積極的に利用して、一定時間ずつシフトした走査用パルスを得るもので、直流電圧により駆動し印加電圧の大小により遅延時間、すなわち走査速度の制御を行なうものである。

試作一次元素子は34 μ mの間隔で670個の絵素が並んでおり、製作には通常のAlゲートMOSプロセスを使用した。その結果、電圧15Vで15MHz、雑音はクロック型に比べ二けた小さくなるなど撮像用走査回路として優れた特性が得られた。反面、遅延時間のばらつきという問題点をもっていることが分かり、試作素子では数パーセントの不規則なばらつきをもっている。現在、このばらつきを減らす検討を行なっており、固体カメラを対象とした高性能二次元撮像素子の走査回路として使用するための努力を重ねている。