

最近の圧延設備とその制御の動向

Recent Trends of Advanced Rolling Mill and Its Control Technology

鉄鋼業では膨大な素材及びエネルギーを使用することから、歩留まり向上・省エネルギーは最重要項目である。

これに対し日立製作所は、特に鉄鋼業の圧延及び精整設備の分野で、上記要望にこたえられる各種の新しい技術を開発することに成功した。

すなわち、機械設備としては、HC-MILLを中心とする圧延設備、ロータリキャストあるいは片面めっきなどの精整設備である。一方、これらを駆動する電気システムでは、新形プロセス計算機及びプログラマブルコントローラから成る新しい制御システム、速度制御のオールデジタル化、可変速交流電動機化などの開発が進められ、かつ実用化された。

これらの技術により、大幅な歩留まり・品質の向上、及び省エネルギー化に貢献することが可能となった。

谷口哲二* Tetsuji Taniguchi
梶原利幸** Toshiyuki Kajiwara
斉藤奎二*** Keiji Saitô

1 緒言

鉄鋼業では大量の原料が使用され、かつ膨大なエネルギーが消費される。したがって、製品製造の各工程での歩留まり向上・省エネルギー化は、膨大な効果をもたらすことになり、資源ひっばくの情勢からこれらの早期達成が強く要請されている。

日立製作所でも、上記要請にこたえるため、各機器のなおいっそうの性能向上はもちろん、工程の連続化を中心とする製造システムの改善に対する各種新技術の開発を進めてきた。

ここでは、鉄鋼業での製鋼以降最終製品を得るまでの製品製造工程、すなわち、連続铸造、熱延、冷延及び精整に至る各設備での機械、並びに電気システムについて、最近開発した新技術の概要に関し紹介する。

2 圧延製品製造設備の動向

2.1 連続铸造設備

省エネルギー・歩留まり向上の面から、国内の連続铸造化率は急増し、連続铸造化が困難なごく少量の鋼種以外はすべて連続铸造により素材が製造されるに至った。このような連続铸造機の普及により、現状での省エネルギー化の研究は、次工程の熱間圧延へいかにして铸造顕熱の損失が少ない高温の铸片を供給するかに焦点が絞られている。この铸造顕熱の利用は、図1(a)に示す熱片挿入方式により主に行なわれているが、同図(b)に示す直接圧延方式も一部実施されるに至った。しかし、最近の最も改善された方式でも、铸片の加熱に平均15万kcal/tの多量のエネルギーが消費されており、铸造顕熱の利用は完全とは言えない。

この理由の第一は、現状での1台当たりの連続铸造機の生産能力が、この前後での製鋼、熱間圧延機に比較して劣ることによる。したがって、数台の連続铸造機が配置されるので、铸片の切断及び切断後铸片の集合整理の工程が必要となり、铸造直後は高温であった铸片温度が低下する。

第二の理由は次工程熱間圧延、特に板材圧延で圧延スケジュールに制限があり、铸造後直ちに圧延することができない場合が多いことにある。

このスケジュール制限の解決法については次章で述べるが、

ここでは第一の問題点の解決に対する取組み方について紹介する。

この問題を解決するには、連続铸造機を大幅に高速化することが必要である。この目的を達成するために、従来の摺動引抜方式に代わって、铸型と铸片間に摺動のないロータリキャスト(同期回転式連続铸造機)の開発を行なった¹⁾。このロータリキャストはビレット用で実用化され、圧延機と同等の生産能力をもっていることが立証された。したがって、1台の連続铸造機を配置するだけで圧延機へ高温铸片を直接供給することが可能となる。

このロータリキャストと圧延機との接続は図1(c)に示す長尺圧延、及び同図(d)の完全直結圧延の2方式が考えられ、いずれも大幅な省エネルギーはもとより、クロップ損失をも減少させるので、これらの早期実現が望まれている。

なお、溶湯から一挙に最終製品を得るストリップキャストの分野では、非晶質合金用として図1(e)に示す製造法が検討されている。この非晶質合金材製造装置としては、厚さ20～50 μ 、幅100mmの製品を速度25～30m/sで製造し、これを直接巻き取るまでの装置の設計製造技術を確立した。

2.2 HC-MILLの形式

圧延設備の動向について述べる前に、日立製作所で開発されたHC-MILLの形式について紹介する。

図2に現在までに製作されたHC-MILLの各形式について、構造、機能及び主な用途について示す。

HC-MILLが実用化された当初では、図2(b)に示す中間ロール移動式の6段ミルが主にコールドミルに適用されていたが、ホットの分野に適用されるに及んで作業ロールの移動によるロール摩耗、及び熱膨脹対策の機能が追加された。またこの作業ロール移動は、同図(d)に示す6段ミルで行なわれるものと、同図(a)に示す4段ミルで行なわれる場合の二つの形式がある。

コールドストリップミルでは、広幅薄厚材あるいは高硬度材用に、図2(c)に示す移動する中間ロールにベンダが付与され、より高度の複合形状修正を可能にするUC-MILLが新た

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所日立工場 工学博士 *** 日立製作所大みか工場

方 式	設 備 配 置	ね ら い
熱 片 挿 入 (a)		● 高温铸片(200~800℃)の顕熱利用
直 接 圧 延 (b)		● 高温铸片(1,100℃)の顕熱利用 (仕上圧延前で補助加熱必要)
長 尺 圧 延 (c)		● 铸片顕熱利用(再加熱不要) ● 長尺材による歩留まり向上
直 結 圧 延 (d)		● 铸造顕熱利用(再加熱不要) ● 直結圧延による歩留まり向上
極 薄 板 铸 造 (e)		● 溶湯から直接極薄厚製品製造

注：略語説明：RC〔ロータリキャスト(同期回転式高速連続铸造機)〕

図1 連続铸造材の铸片顕熱利用法 現状での铸片顕熱の利用法は、再加熱炉への熱片挿入方式が主で、一部直接圧延方式も行なわれている。日立製作所では、ロータリキャスト(同期回転式高速連続铸造機)により、更に進んだ長尺圧延、直結圧延を実現するための検討を進めている。

名 称 (略称)		HCW (a)	HCM (b)	UCM (c)	HCMW (d)
構 造					
機 構	ロール移動	作 業 ロ ー ル	中 間 ロ ー ル	中 間 ロ ー ル	作業ロール・中間ロール
	ベンダ	作 業 ロ ー ル	作 業 ロ ー ル	作業ロール・中間ロール	作 業 ロ ー ル
機 能		1. 形状・板クラウン制御 2. ロール摩耗，熱膨脹分散 3. エッジドロップ制御	1. 形状・板クラウン制御 2. エッジドロップ軽減	1. 形状・板クラウン制御 (複合形状修正効果大) 2. エッジドロップ軽減	1. 形状・板クラウン制御 2. ロール摩耗，熱膨脹分散 3. エッジドロップ制御
主 な 用 途		ホットストリップミル厚板	ホットストリップミル，コールドストリップミル調質圧延機	コールドストリップミル	ホットストリップミル

図2 HC-MILLの形式 当初本図(b)の6段形のHC-MILLが主にコールドストリップミルに適用されていたが、ホットへの適用、コールド材の複合形状修正などのために各種形式のHC-MILLが開発・実用化された。

に開発された。

2.3 熱間圧延設備

熱間圧延の分野は、条鋼、ホットストリップ、厚板と各種のものがあ、各々省エネルギー化を中心とした改善が図られている。

条鋼では前述のロータリキャストと圧延機の直結のほかにも、スタンド間を極端に短縮し、材料の温度低下を少なくする圧延装置、また保守性などの改善が図られている。

板用については、代表的なホットストリップ圧延設備での技術動向を紹介する。図3にホットストリップミルの機器配

置とこれの主なニーズを、図4にこれらを具現する新しく開発された技術を示す。省エネルギーの面から最も重要な項目は、前述した連続铸造材の铸造顕熱を利用する直接圧延技術の確立である。このためには、本質的に幅変更が困難な連続铸造機への対応、及び铸造後即圧延のためには既に発表²⁾されているようにスケジュールフリー圧延、並びに、より低温な連続铸造材への対応が要望される。

すなわち、直接圧延をより完全に行なうには、第一に圧延により铸片スラブ幅の大幅な調整を可能にする必要がある。しかし現状の圧延による幅調整量は、図5(b)に示すようなフ

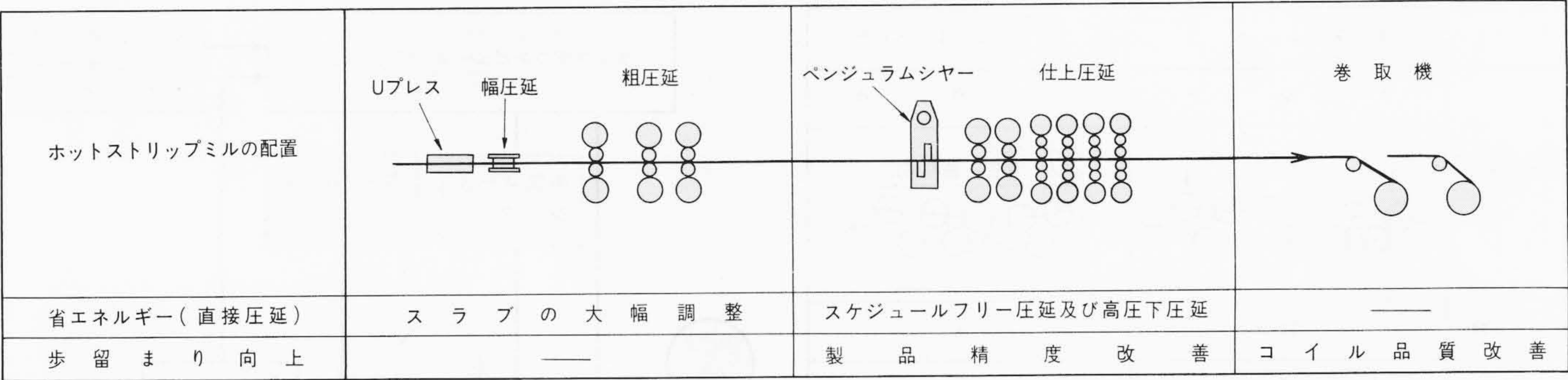


図3 ホットストリップミルの配置とニーズ ホットストリップミルは、幅圧延、粗圧延、仕上圧延及び巻取機から構成され、直接圧延による省エネルギー、製品精度改善による歩留まり向上が望まれている。

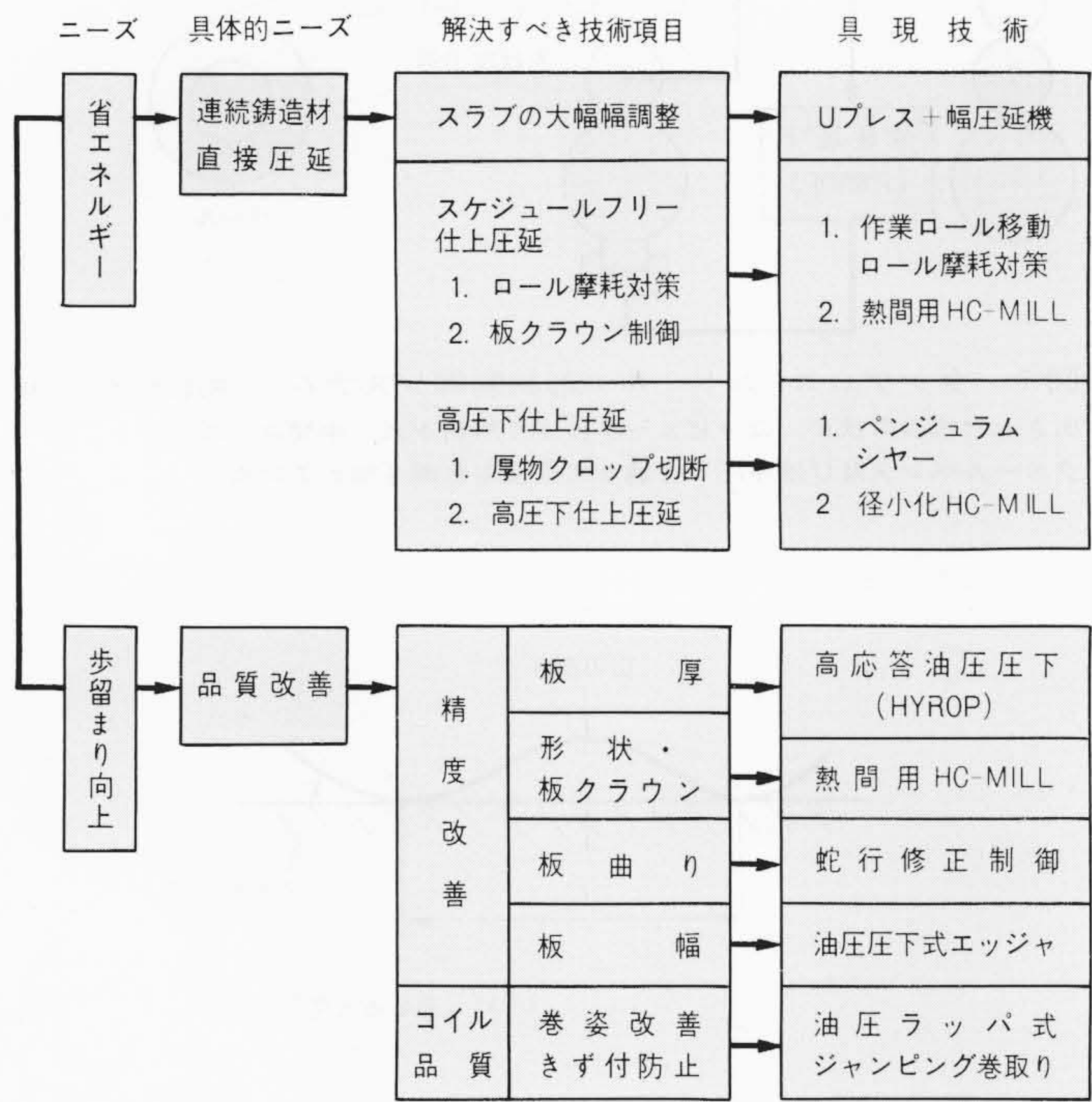


図4 ホットストリップミルのニーズとこれを具現する新技術 ホットストリップミルのニーズを解決するため、各種の新技術が開発された。

フィッシュテールがスラブの先後端に発生し歩留まりが低下するので、100mm程度以下に制限されている。これに対し同図(a)に示すようなスラブ先後端へのテーパ状の予成形をプレスで行ない、その後幅調整圧延することによってフィッシュテールの発生を軽減できることが、基礎研究により明らかになることができた³⁾。これによれば、300～400mmの幅調整圧延を行なっても、フィッシュテールによる歩留まり低下は少なくできるので、本幅圧延方式の早期実現が望まれている。

次に、熱間圧延のロールは経時的に摩耗するので、従来は広幅から狭幅の順に圧延がなされていたが、鋳造後鋳片を即圧延するには、この制限を解除するスケジュールフリー圧延を可能にする必要がある。これに対し、図2(d)に示す圧延機の作業ロールを圧延ピッチごとに、圧延機中心に対し点对称的に移動し、ロール表面をなだらかに摩耗させ、かつHC-MILLによりロール形状変化分を補償制御する技術確立し、スケジュールフリー圧延を可能にした。

更に、直送される連続鋳造材は、従来再加熱材に比較して低温なので、これを圧延工程内で補償する必要がある。このための有力な手段として粗圧延後の板厚を大にし、次の仕上

圧延での熱放散を少なくする圧延方法がとられる。これに対し、厚物せん断用ペンジュラムシヤを完成させ⁴⁾、また仕上圧延機にはHC-MILLを採用し、径小ロール化による高圧下圧延システムを可能にした。

製品の板厚及び板幅制御については、従来から各種の方式が開発適用されているが、ストリップのクラウン、形状についても、日立製作所では塑性変形の3次元モデルを開発し、HC-MILLをホットストリップの仕上ミルに適用した場合のクラウン、形状制御システムを開発し、実用化している。また、従来から仕上スタンドのスタンド間に設置されている機械的ルーバは保守上、省エネルギー上も問題あり、かつかなり複雑な制御を加える必要があるが、2～3年前からこの機械的ルーバをやめ、純電気的方法によりスタンド間のストリップ張力を制御する、いわゆるルーパレス制御⁵⁾が開発適用されている。スタンド間のストリップ張力をこのルーパレス制御系の高レスポンスで積極的に制御し、ストリップの板幅を制御することも可能となっている。

以上に述べた新しく開発された技術を活用することにより、連続鋳造材の直接圧延を効果的に実施することを可能にした。

一方、歩留まり向上の面では、特に仕上圧延機に關与する割合が多いが、これについても、HC-MILLによる形状・板クラウン精度、高応答油圧圧下装置(HYROP)による板厚精度向上、蛇行制御による板曲りの防止などの改善を可能にした。

このようにして製造される製品はコイルに巻き取られるが、この巻取機に關しても巻姿の改善、コイルのきず付防止技術などを確立し、なおいっそうの性能向上を図った。

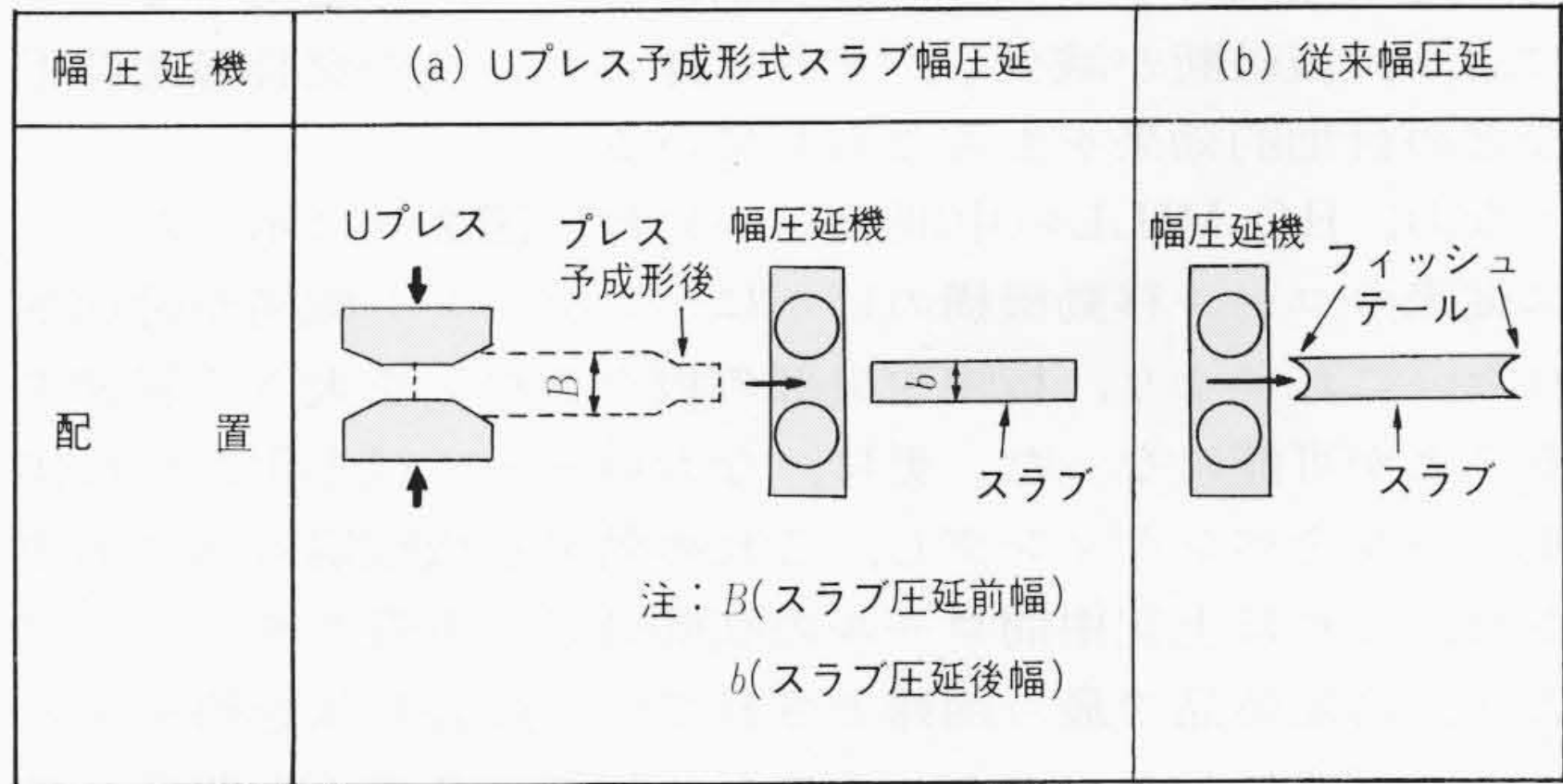


図5 幅圧延方式の改善 従来スラブ幅圧延では、スラブの先後端にフィッシュテールが生ずるので、幅調整を大きくできなかった。これに対し、幅圧延前にスラブの先後端にU形プレスによりテーパ状の予成形を行ない、その後、幅圧延を行なう方式を開発し、フィッシュテール発生を軽減するとともに、大幅な幅調整を可能にした。

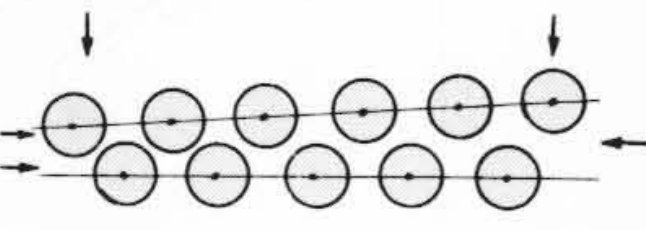
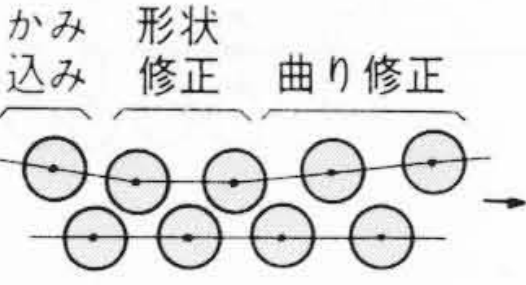
	従 来 レ ベ ラ	新 方 式 レ ベ ラ
	チ ル ト	K 形 式
圧下方式		
ロール数	11	9
パス 数	3	1

図6 K形圧下式レベラ 新方式レベラの圧下は、レベラに必要な機能、すなわち板のかみ込み、形状修正、曲り修正を各々分離して行なうローラ圧下機構となっており、ローラ本数を必要最少限にするとともに、矯正精度の大幅改善を可能にした。

これらの品質改善制御には、マイクロコンピュータの活用が貢献している。

このホットストリップでの直接圧延及び品質改善の技術は厚板圧延にも応用可能で、この分野での早期実現が望まれている。

なお、厚板圧延設備では、強力な矯正を可能にするローラレベラの登場が望まれていたが、図6に示す従来のチルト圧下方式に代わる強圧下が可能なK形圧下方式のレベラを開発し、板の平坦精度を大幅に改善することを可能にした。また、このK形圧下方式のレベラにより、板の形状矯正のためのパス数も、従来方式の3パスに対し1パスに減少させることが可能になった。

また、シームレスパイプ圧延では、パイプの肉厚一定制御、偏肉防止制御などの新しい技術が開発され実用化が近い。

2.4 冷間圧延設備

HC-MILLが実用化されて以来、冷延でのHC-MILL化は鉄鋼はもちろん、非鉄金属の分野でも進められ、その適用数は急速に増加している。このHC-MILLは板の形状精度及び作業性などを改善するとともに、形状・安定性と径小ロール化によって高圧下圧延を可能にした。これにより、冷延の素材厚を厚くすることができ、熱延での消費エネルギー、及びスケール損失率を低減する効果をもたらした。

HC-MILLでの製品の板形状制御システムについては、リバースミル、タンデムミル、更にアルミニウムミルなどで具体化している。図7にその制御システムを、図8にタンデムミルでの効果を示す。この形状制御システムを適用することにより、板破断が減少し、それに伴いロールの交替頻度低下などの付加的効果をももたらしている。

なお、HC-MILLの中間ロールには、図2(c)に示したように従来のロール移動機構のほかにベンディング機構が付加された。これにより、板幅中央部の板クラウンを大きく制御することが可能になった。更に、なおいっそう径小化された作業ロールをベンディングし、この効果を板幅端近傍に集中させ、これに上記中間ロールの制御効果を重畳させることにより、冷延製品で最も困難とされていた複合形状を修正することを可能にした。また、その形状制御システムも開発している。コールドタンデムミルでの品質制御で最も古くから行なわれており、しかも常に新しいニーズにこたえる技術開発が行なわれているのがAGC(Automatic Gauge Control)システムであるが、現在残された中心課題は、圧延機の加減速時

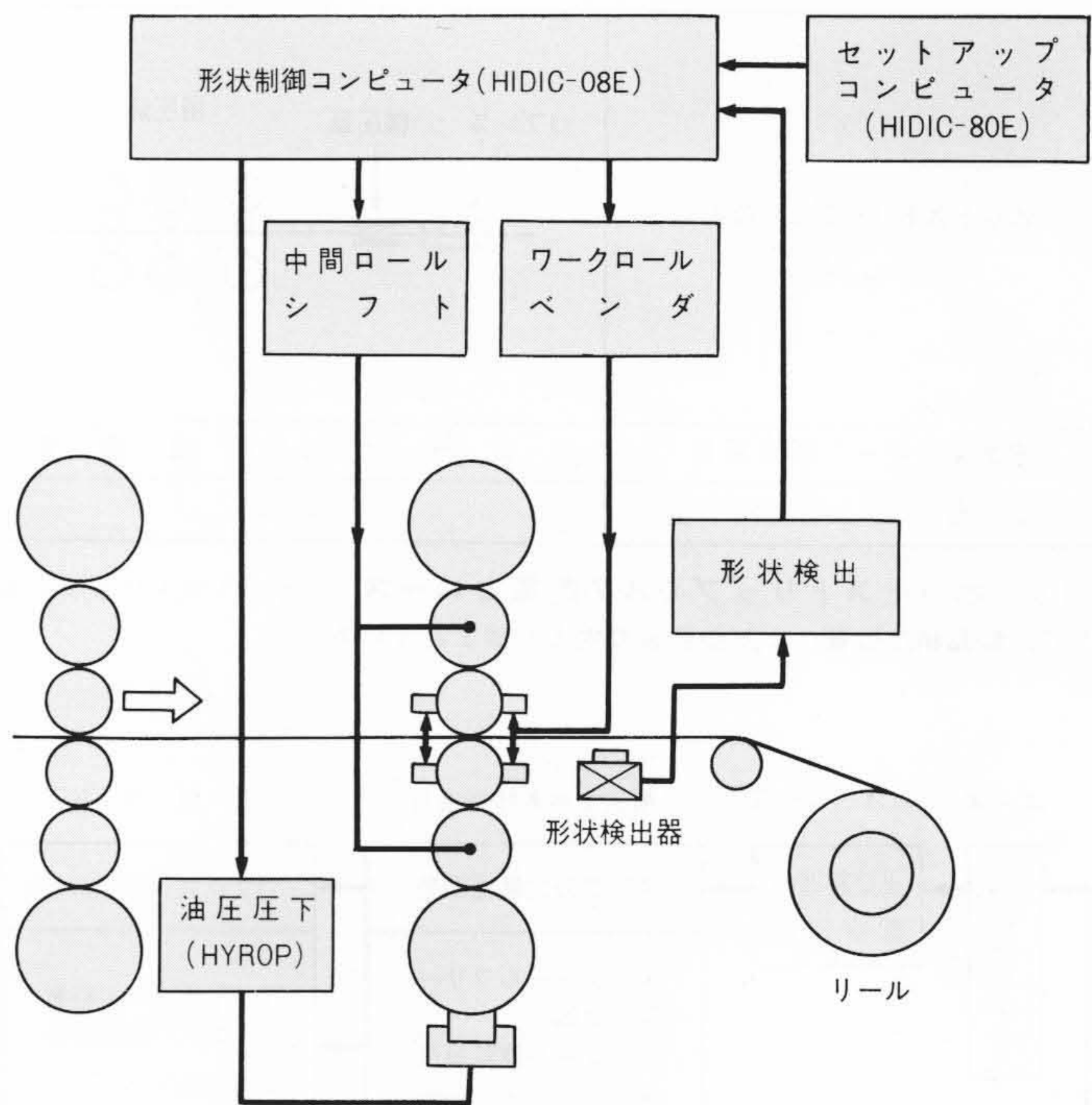


図7 タンデムコールドミルの形状制御システム 形状検出器で検出された板の形状が、コンピュータにより解析され、中間ロールシフト、ワークロールベンダ及び油圧圧下を通して最適な制御を加えている。

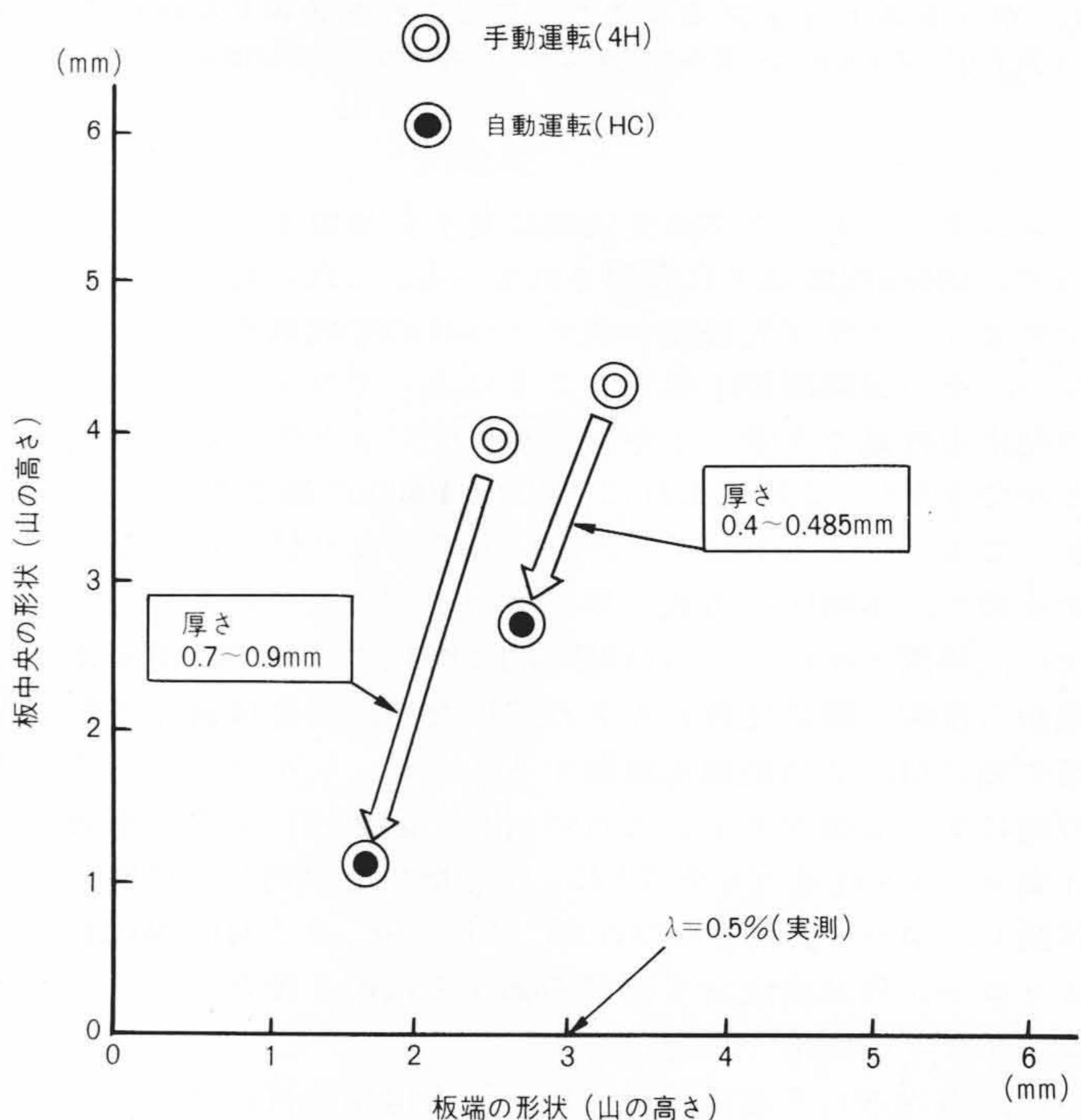
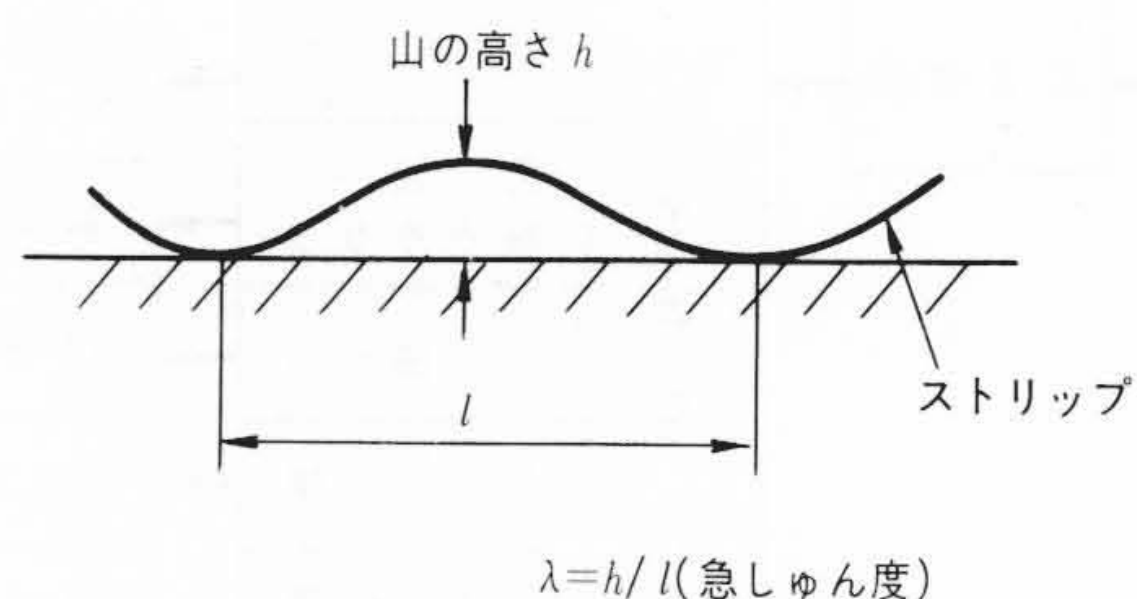


図8 形状制御の結果 HC-MILL自動運転は4H手動運転に比べて大幅に改善されていることが分かる。

に発生するストリップの先後端のオフゲージ、及びロール偏心による板厚変動をいかに小さく抑えるかである。先後端のオフゲージは、圧延スタンドのロールベアリングの油膜変動、ロール〜ストリップ間の摩擦係数の変動のほか、大きな要因としてスタンド相互間のせん速性、すなわちそれから発生する張力変動がある。このせん速性の改善をねらって、スタンドの速度制御系に高精度が得られるマイクロコンピュータによるフルデジタルの速度制御系を業界に先駆けて適用し^{6), 7)}、このゲージ精度に極めて効果的結果をもたらすことが判明した。オフゲージ零の圧延の実現も可能となっている。またロール偏心の問題は、機械的解決法として補強ロール用ローラベアリングの採用、又は低減法としてキーレス油膜軸受の採用などもあるが、積極的偏心補償法として高応答のHYROPを用いた独自の制御方式も開発されている。

また冷延では、これの前後の工程、すなわちデスケリング、アニーリングと冷間圧延機を直結する工程連続化に対する要望が強い。これに対しコイルを連続的に供給、あるいは巻き取ることをコンパクトな構造で可能にするカラーゼルコイルの採用、ロール組替え時間の大幅短縮などが実現している。一方、本システムの中心となる冷間圧延機にHC-MILLを採用することにより、生産スケジュールの変更に柔軟に対応でき、常に安定したストリップを送り出すことによってライン全体の安定操業を確実にしている。

2.5 精整設備

連続溶融めっき設備の分野では、品質を向上する二つの新しい技術、すなわち均一厚めっき技術と耐食性を大幅に向上する片面アルミめっき技術を実用開発した。

酸洗設備では、ステンレス用に強力メカニカルデスケアラを配置する高能率酸洗システムを完成した。

また、これら精整設備を構成する各機器、テンションレベラ、トリミング装置の性能改善、巻取機のカローゼル化などが進められた。

精整設備での制御では⁸⁾、連続めっき焼鈍ラインなどでの炉の内外の張力制御、カラー及びピックアップラインでのストリップのカテナリ制御などがあるが、精整ラインでのストリップの挙動を解析できるシミュレーション技術を開発し、合わせてデジタル化速度制御装置を適用することにより、炉内張力変動を±3%以内に、またカテナリ制御では±25mmの結果を得ている。

3 圧延プラントでの電気制御システムの動向

圧延プラントでは早くからマイクロコンピュータの導入が行なわれ自動運転制御に適用されてきたが、更に駆動制御系にも用いられるようになってきている。また一方、プロセス側からのニーズとして集中運転監視、設備の故障診断などの充実が要求され、代表的な制御システムは図9に示したものとなっている。この制御システム構成の特徴は、

- (1) PC(プログラマブルコントローラ)はバス結合方式により、マルチマイクロコンピュータシステムを構成し、高速信号伝送、PI/O(プロセス入出力装置)の共用化ができる。
- (2) PCグループとプロセス計算機間の信号、データ伝送には光通信も採用される。
- (3) 集中故障監視計算機の導入。制御系のマイクロコンピュータ化の拡大により、容易に制御系の情報が収集可能となった。
- (4) CRT(Cathode Ray Tube)とキーボードによるワンマンオペレーション(完全運転の自動化)
- (5) 信号伝送には、インタフェースの最少化を図るとともに、

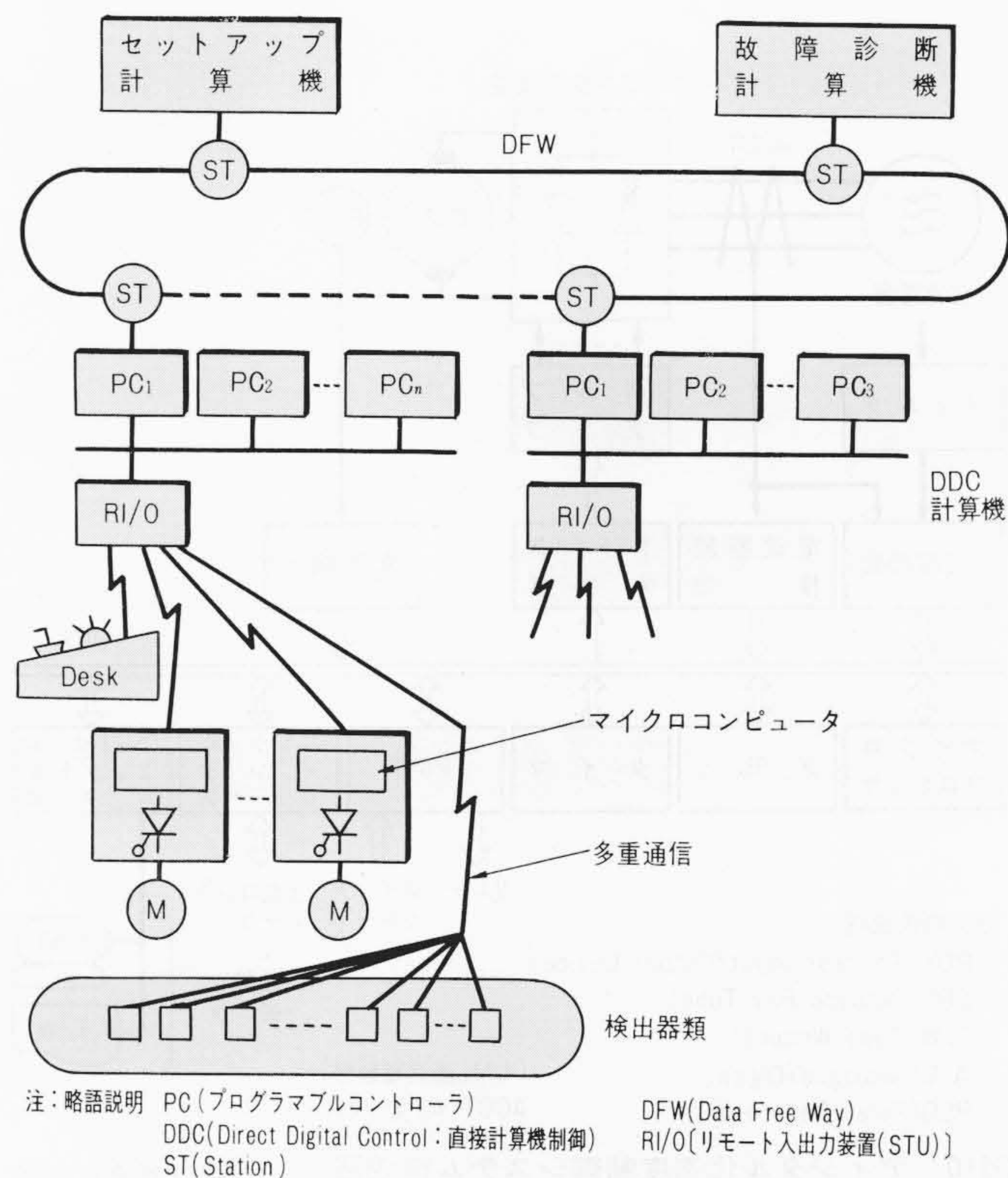


図9 代表的制御システム構成図 末端の制御までマイクロコンピュータが駆使され、信号通信には光通信、多重通信により高速・高精度の制御が行なわれている。

STU(Serial Signal Transmission Unit: 多重伝送装置)を用い、外部配線のミニマム化を図っている。

(6) 駆動制御系はデジタル化が図られるとともに、GTO(ゲートターンオフサイリスタ)などの新しい素子を採用したAC可変速駆動装置⁸⁾が用いられてきた。

などがある。各プロセスごとのアプリケーション制御システムについては、前章及び本特集号の他の論文に詳述してあるので、ここでは、電気システムを構成している新しい共通技術について紹介しておく。

3.1 デジタル化速度制御システム¹⁰⁾

マイクロコンピュータの高速化、廉価化により、従来のアナログ制御系に代わって、完全デジタル化した速度制御系が1982年から実稼動に入っている。図10にその構成図を、また表1にその特長を示す。高精度と故障診断機能などのメリットからその応用が拡大しているが、ホットストリップミル仕上スタンド、コールドタンデムミル、プロセッシングラインなどすべての分野に採用され、1年間に約200セットが稼動に入り好評を博している。

3.2 PC(HISEC 04-E)システム

PCは一般電気技術者が容易に取り扱えるように、使いやすさを重視し、機能面では高速、高機能化を図り、数値演算機能の充実を図るとともに、RAS(Reliability, Availability, Serviceability)機能を徹底的に追究したHISEC 04-Eを開発した。またPCと上位計算機とのリンケージを可能とし、PC間ではバス結合により高速情報伝送を可能とし、マルチマイクロコンピュータシステムを形成できPI/Oの共有化ほか、各種の特長をもっている。

3.3 可変速AC駆動システム

省エネルギー、保守性の改善から可変速AC駆動のニーズは久しくあったが、DC駆動に比べ、制御系の複雑さから割高と

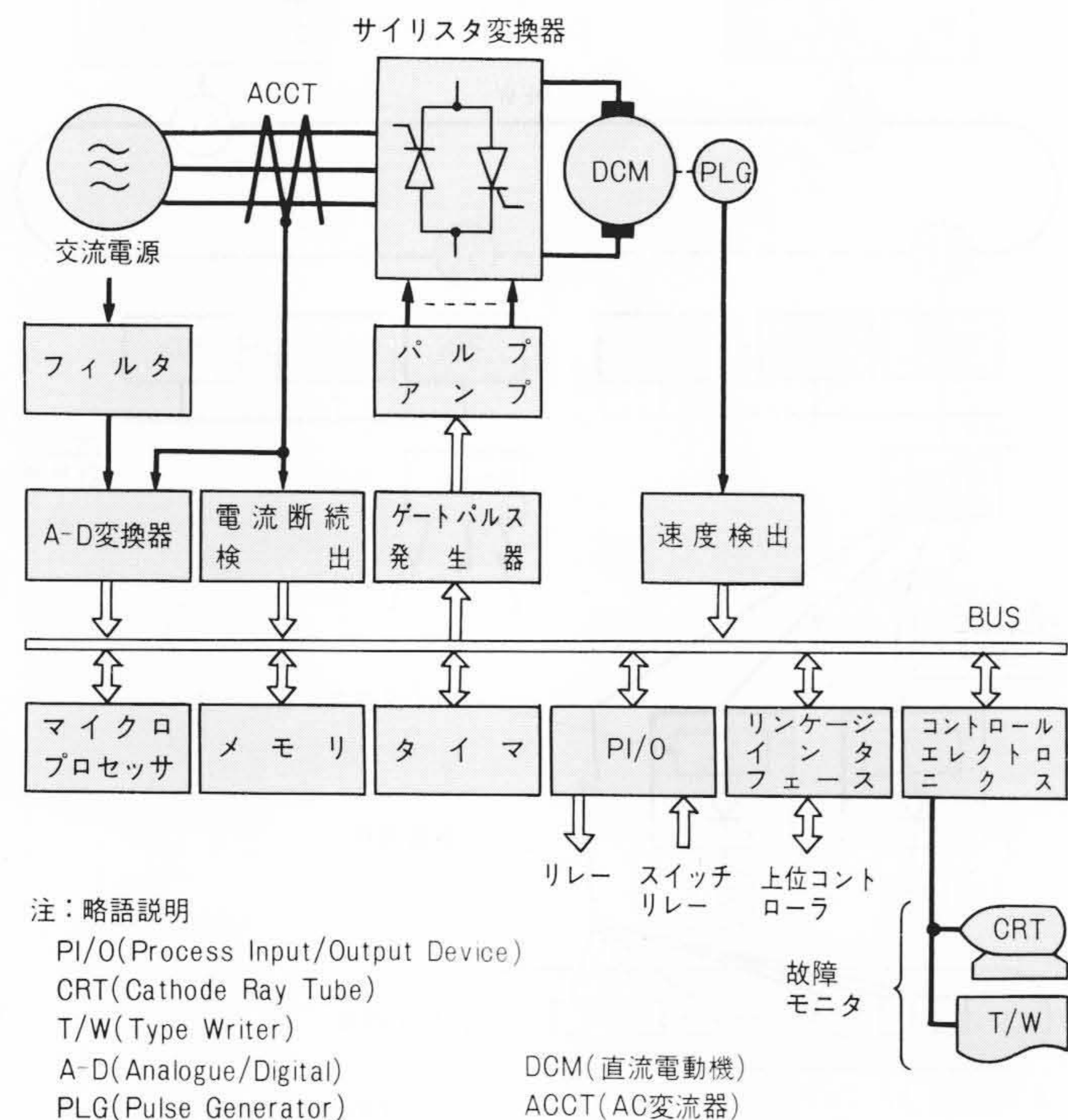


図10 デジタル化速度制御システム構成図 1 台のマイクロコンピュータにより、マイナーループ電流レート制御、電流制御とメジャーループの速度制御が高精度に行なわれる。

表1 アナログ及びデジタル速度制御の比較 デジタル制御があらゆる点で優れていることがよく分かる。

項目	方式	アナログ制	デジタル制	備考
精度	1. 向上	△	◎	検出のデジタル化
	2. 温度電圧変化	×	◎	零ドリフト調整不要
	3. 経年変化	×	◎	制御定数の変動なし
応答性		○	○	—
保護機能		△	○	二重読込合理性チェック
拡張性	1. 機能	△	○	ソフトウェアで対応
	2. 設備の自動化	△	○	総合デジタル化
保守性	1. 故障診断	×	◎	合理性チェックデータメモリ
	2. 監視	△	◎	データメモリ

注：◎ 優る。○ 良い。△ やや劣る。× 劣る。

なり、更に固有のトルクリップルの問題からその実用化拡大が阻害されていたが、自己消弧形サイリスタGTOの実用化によりPWM(Pulse Width Modulation)方式ベクトル制御付インバータが開発されるに及んで(図11)、全AC化の大形プロセッシングラインが出現するようになり、更に制御系のデジタル化が行なわれつつあり、従来のDCアナログ制御駆動系からAC、デジタル制御駆動系へと変遷しつつあると言える。

4 結 言

以上、圧延設備を中心に最近の新技术について若干の展望をも含めて紹介した。世界のトップに躍進した我が国鉄鋼業界が膨大な資源・エネルギー消費形であるために、その重荷

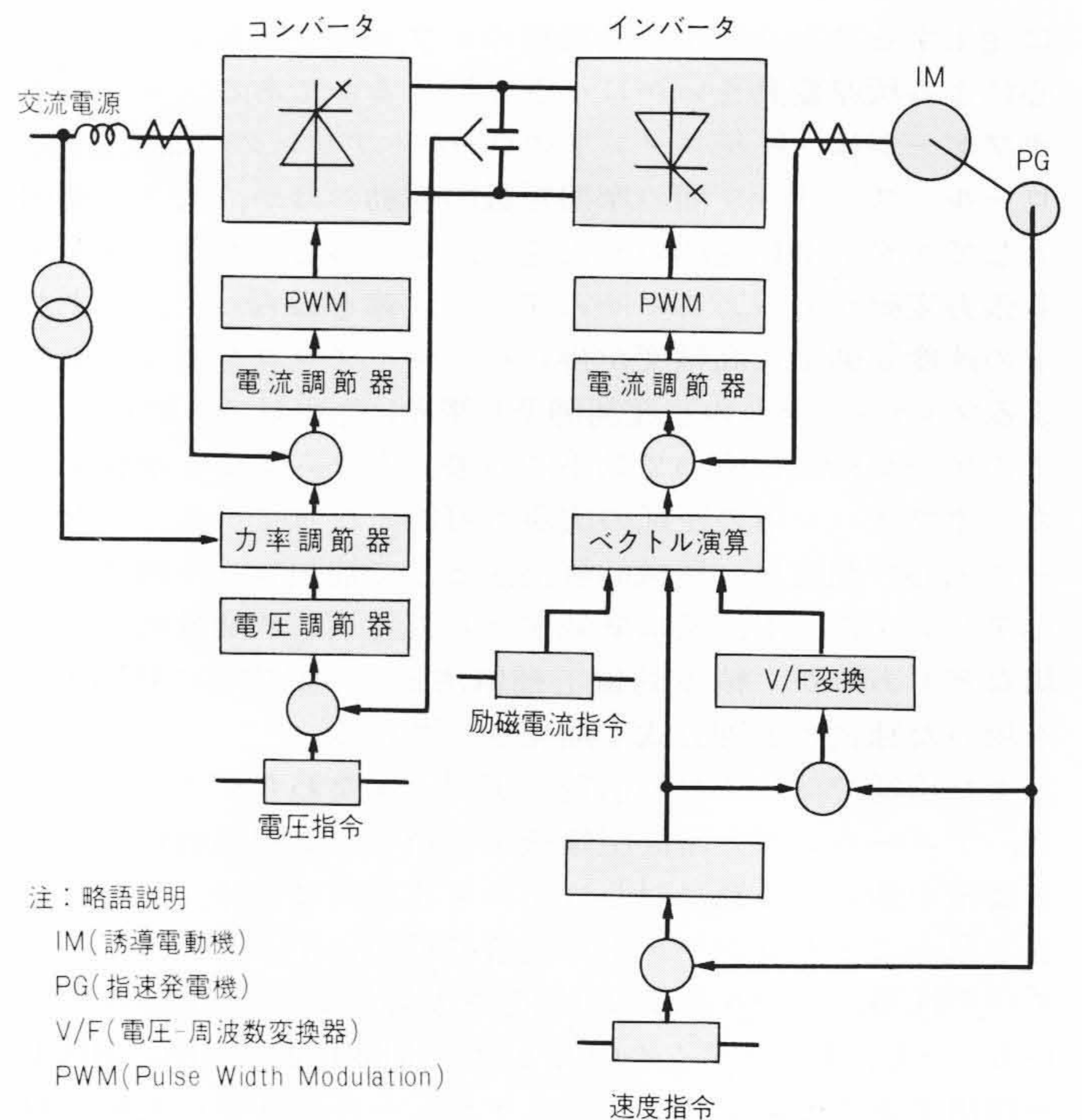


図11 GTO式電圧形PWM方式インバータ ベクトル制御方式により、零速度から安定な運転が可能でPWM方式でトルクリップルの低減が行なわれている。

を克服し、産業の米としての鉄鋼を確保するため開発に力一杯努力がなされている現在、設備メーカーとしてもよりいっそうの有効技術開発の必要性を痛感するものである。

想うに、鉄鋼生産技術は、金属・機械・電気・化学・制御などの独立した技術で対応するのではなく、対象を偏りのない物理現象としてとらえ、これに必要な技術を有機的に機能させることによってこそその進歩改善が果たされるであろう。

参考文献

- 1) 木村：特殊連铸機について、第69、70回西山記念講座、353～397 (昭55-9)
- 2) 福田：日本における圧延技術の進歩、製鉄の研究、No. 304、129～142 (昭56-6)
- 3) 栗津原、外：スラブ幅圧延、第67回圧延理論部会、67-2 (昭55-11)
- 4) 福井、外：ホットストリップミルにおける極厚板用ベンジュラム形フライングシャアの開発、日立評論、61、9、619～624(昭54-9)
- 5) S. Tanifuji, et al. : Development of a Tension Control System for Hot Finishing Mills, IFAC 8th Triennial World Congress Aug. 1981. Kyoto Japan Vol. XVIII Sessions 86-90
- 6) K. Saito, et al. : Microprocessor-Based High-Speed Internal Controllers for Industrial Drives 1982 VDE, Microelectronics in Power Electronics and Electrical Drives Conference
- 7) 土井、外：全デジタル化圧延機用サイリスタレオナード、OHM p. 20～22 (1982-3)
- 8) 清水、外：鉄鋼プロセッシングラインの最新制御技術、日立評論、65、2、159～164(昭58-2)
- 9) T. Yoshioka, et al. : Quick Response AC Motor Drives System Hitachi Review Vol. 31 No. 2 p. 179～184 (1982)
- 10) 川崎、外：マイクロコンピュータ応用を中心とした圧延プラントの制御システム、日立評論、65、2、147～152(昭58-2)