

最近におけるコールド タンデム ミルの動向

Recent Trend and New Techniques in Cold Tandem Mill

Based on their manufacturing experience, the authors describe hydraulic roll positioning devices, automatic gauge control, shape control, high speed rolling, automation, full continuous cold tandem mills, computer control, and other latest techniques and their future prospects.

秦 和宣* Kazunori Hata
 藤野伸弘* Nobuhiro Fujino
 松香茂道** Shigemichi Matsuka
 平輪憲道** Norimichi Hirawa

1 緒 言

過去7年間に我が国で建設されたタンデム コールド ミルはすべて国内メーカーの製作によるものである。これらの設備はいずれも世界最高水準の新鋭設備であって、新機軸の積極的な開発と大胆な実機への採用を押し進めたミルメーカーとユーザーとの信頼関係と協力が結実したものである。日立製作所も(1)新日本製鐵株式会社君津製鐵所納め2,180mm幅5スタンド タンデム ミル、(2)川崎製鐵株式会社水島製鐵所納め1,700mm幅5スタンド タンデム ミル、(3)新日本製鐵株式会社君津製鐵所納め1,420mm幅6スタンド タンデム ミル、(4)ジョンライサート(オーストラリア)社納め2,080mm幅5スタンド タンデム ミルなど数多くの新鋭設備製作の機会を得た。(1)、(2)の設備については既に報告済み⁽¹⁾であるので、本稿では(3)、(4)2設備の製作を通じて開発された新技術と、その後新たに開発した最新技術について述べる。

2 最近のコールド タンデム ミルの新技術

コールド タンデム ミルは膨大な設備費を要し、また生産性も極めて高い。従って、生産上経済的に能率よく、品質の良い製品を容易に製造することが不可欠の条件であり、これを満たす命題は次に述べるとおりで、これらを達成するため開発された新技術及びその効果を総括図示したのが図1である。

- (1) 高品質圧延
- (2) 高能率圧延
- (3) 生産の自動化

3 製品品質向上のための新技術

3.1 油圧圧下装置

昭和43年日立製作所が新日本製鐵株式会社君津製鐵所納めの2,180mm幅5スタンド コールド タンデム ミルの全スタンドに油圧圧下方式を適用して以来、その性能の優秀性が認められ、それ以後我が国及びヨーロッパで油圧圧下装置を備えたタンデム コールド ミルが多数出現し、今やコールド ストリップ ミルの分野では完全に「油圧ミル時代」に入った。

3.1.1 油圧圧下装置の分類

ミルにおける圧下装置が具備すべき機能は、

- (1) 所定のロール間隙の調整ができること。
- (2) ロールを常に確実に平行に動かせること及び必要に応

じ片圧下のできること。

- (3) ロールの位置保持が確実にこなえること。

であり、これらを満たすため種々の方式がとられている。図2は、これらを原理別に分類して示したものである。大別すると機械的に左右の平行性を保つ自己平行形と、平行性を計測器の精度に依存する平行性計器依存形とに分類され、前者は日立製作所の「HYROP-M」であり、後者はこれ以外のすべてが属し、弁は電油サーボ弁が用いられている。これは計器の種類により、アナログ式とデジタル式に分かれるが、測定長に制限があること、精度が劣ることにより、現在では、アナログ式は廃れ、デジタル式へ移行している。日立製作

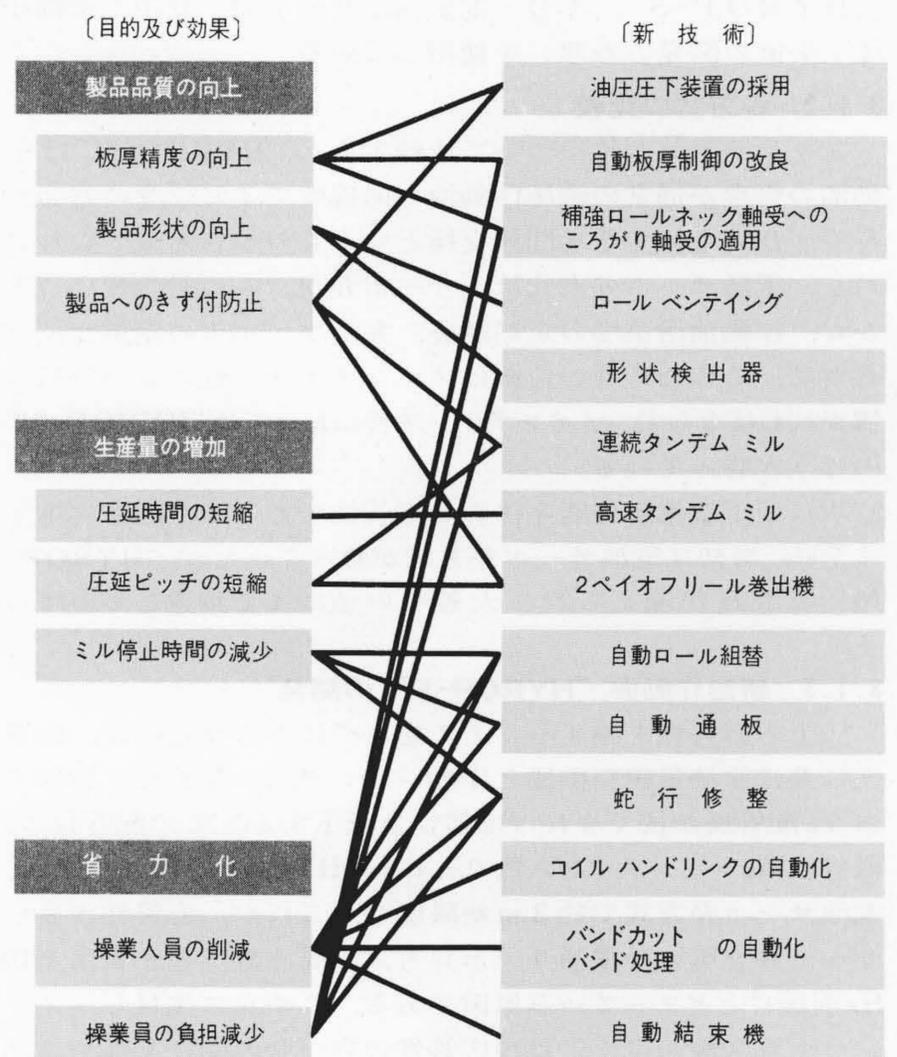


図1 コールド タンデム ミルの新技術 最新のコールド タンデム ミルに採用されている新技術とその適用効果の位置付けを示したものである。

Fig. 1 New Techniques and their Effects in Cold Tandem Mill

*日立製作所日立工場 **日立製作所 大みか工場

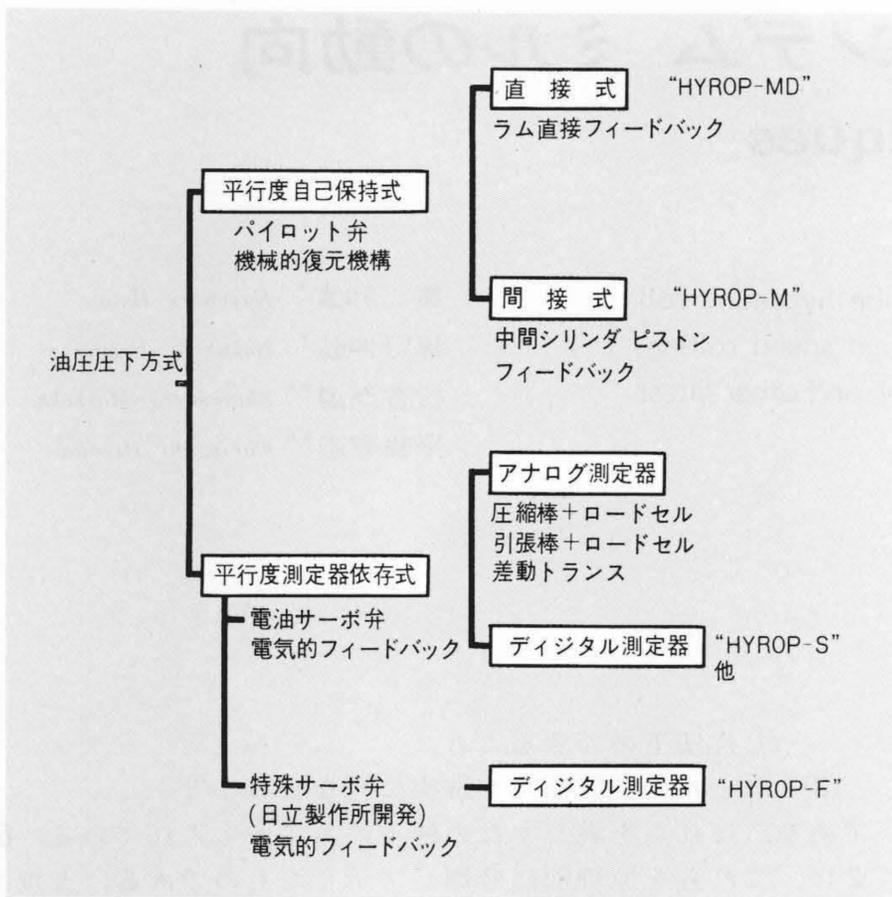


図2 油圧圧下装置の分類 原理別に分類した油圧圧下装置を示す。
Fig. 2 Classification of Hydraulic Roll Positioning Device

所では電油サーボ弁を用い、油圧シリンダのラム位置をデジタル測定器で検出し、フィードバックする新油圧圧下装置“HYROP-S”(本号「電氣油圧サーボ弁を使用した油圧圧下装置の開発」参照)を使用している。

3.1.2 各方式の比較

メンテナンス性について比較すると、“HYROP-M”は作動油の管理が通常の油圧作動油と同程度でよく、弁の寿命は長く、長いもので7年間無交換というものすらある。これに対し、電油サーボ弁方式は、サーボ弁がごみに対し弱いことから、作動油汚染度の定期調査、弁、フィルタの定期交換が必要で、このため弁の位置はメンテナンス性のよい位置へ置かれねばならず、メンテナンス性においては“HYROP-M”のほうが勝っている。

次に圧下装置の性能を決める応答性であるが、図3に示すように、当初は電油サーボ弁方式が勝っていたが、“HYROP-M”も改良が加えられ、大差ない値にまで到達してきている。

3.1.3 新形作動弁“HYROP-F”の開発

圧下の応答性を論ずるうえで忘れてはならないのは、応答性に及ぼす油量調整機構と作動シリンダ間の配管長の影響であり、配管長が長くなれば応答性は低下する。この配管長は、取付位置、メンテナンス性で決まり、“HYROP-M”で約4m、電油サーボ弁方式で約3mが限度で、これが、応答性の良いサーボ弁を用いた電油サーボ弁方式の周波数応答が実用上10Hz前後にとどまっている原因である。この点に注目し、メンテナンス性が良く、且つ応答性の良い弁の開発を進めこれに成功した。本弁を前述の“HYROP-S”の電油サーボ弁と置換した方式“HYROP-F”は、

- (1) 配管長をゼロ近くに短縮できる。
 - (2) 応答性は従来方式の約2倍程度が期待できる。
 - (3) 作動油の管理は通常の油圧作動油と同程度でよい。
- など極めて優れた特性を有しており、今後の油圧圧下装置の

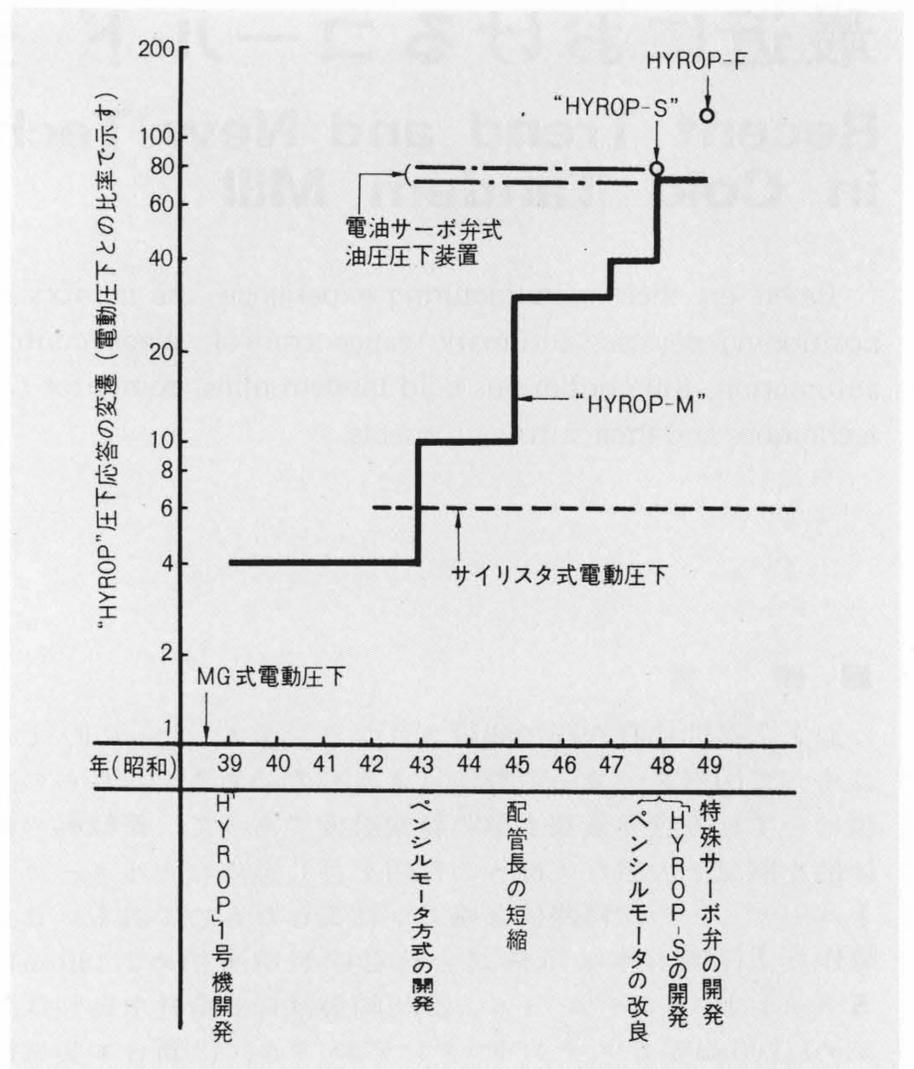


図3 HYROPの応答性向上の変遷 昭和39年に世に出た“HYROP”は年々改良を加えられ応答性が著しく向上してきた。

Fig. 3 Improvement of Responce in HYROP

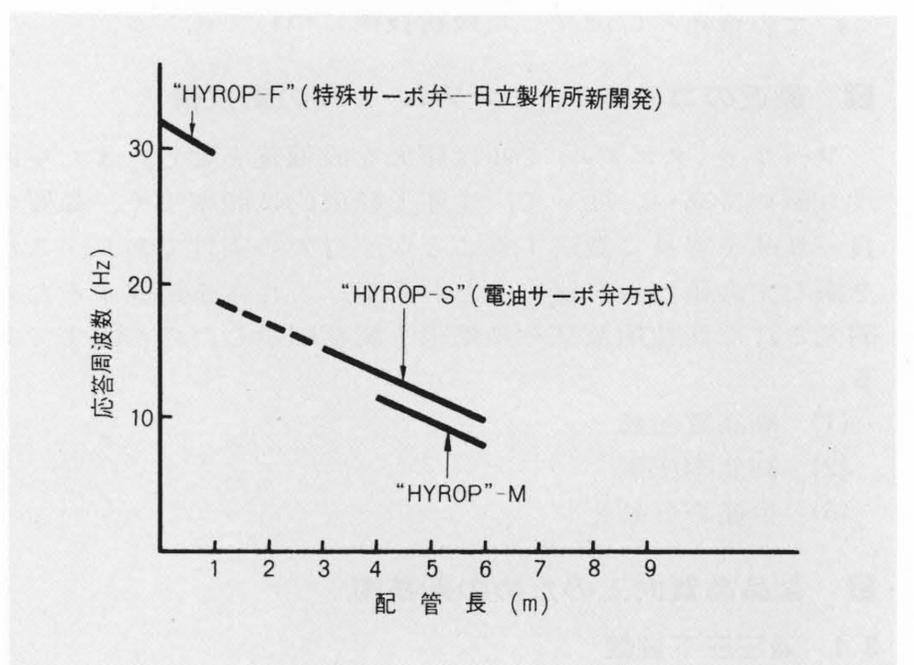


図4 油圧圧下装置の応答性に及ぼす配管長の影響 各種油圧圧下装置について配管長さが応答性に及ぼす影響を示したもので、配管長さを短くしたほど応答性は向上する。

Fig. 4 Effect of the Length of Piping on the Responce of Hydraulic Roll Positioning Device

決定版として、各ユーザーに推奨してゆきたい。

3.2 板厚制御

自動板厚制御(以下、AGCと略す)としては精度が問題になるが、この場合、定常圧延中、加減速中及び先・後端部に分けて考える必要がある。

- (1) 定常圧延中のAGC

定常圧延中のAGCとしては、圧下主体の制御と張力主体の制御とがある。前者は最近の油圧圧下系の急速な応答性の改善により、ゲージメータ方式のAGCを中心としたもので、通常第1スタンドにかけるが、スタンド間張力一定制御を行ないながら中間スタンドに加えることも考えられる。ゲージメータ方式ではねらい厚が当たりにくいので、例えば第1スタンドの出側に厚み計を置いて入側での板厚をねらい厚どおりにするモニタ制御が付加される。またこの厚み計を用いて、ゲージメータ式のゼロ点を適応修正してゆくことも重要である⁽⁴⁾。圧下主体の制御の場合にも、最終スタンドは形状の点から圧下を制御しないで、速度を介して張力制御を行なう。このほか入側に厚み計を配置して次スタンドの圧下を予測制御するのも極めて有効な方法である。なお、圧下系の高速化に伴い、張力との干渉、ロール偏心、あるいは圧下系のヒステリシスなどは考慮すべき重要な問題である。

一方、張力主体のAGCは、まず全スタンド間に張力一定制御をかける。この場合、各スタンドの出側に厚み計を設けその偏差信号にて各スタンドの張力を制御するのが望ましいが⁽⁵⁾、設備的に高価になるので、体積速度一定の原理を用いて速度偏差より板厚偏差を算出して制御信号に用いる方法がある。

また中間スタンドは、圧下制御によりミル定数を高めて、

ロール位置と張力とを一定にして板厚を一定にすれば、各スタンドごとの厚み計を不要とするが、張力系の応答が圧下系に追従しないと効果が少ない。この場合、厚み計を第1スタンドと最終スタンド出側に設ける。特に第1スタンド出側の厚み計は、予測制御信号に用いるとロール偏心のような高周波外乱を除去するのに有効である。

(2) 加減速中のAGC

従来、加減速中の外乱として考えられていたバックアップロールの油膜厚み変化は、ローラベアリングの採用により、問題にしないでよくなった。一方、加減速中の摩擦係数変化は、比較的变化が緩やかであり、ゲージメータ方式AGCと厚み計からのフィードバックAGCにより十分吸収可能である。また加減速開始、終了時の張力変化は、自動速度調整(ASR)系のコーナリングで十分逃げる事ができる。

(3) 先・後端部AGC

最近のAGCでは、定常部は前記の方式により所定精度に入るので、先・後端部のオフゲージ減少が最大目標になっている。このためには、セットアップ計算機により適正な設定をして先端部のオンゲージ率を高めるとともに、主として先・後端部の無張力の影響を補正する必要がある。圧下主体のAGCではゲージメータ方式AGCの効果が期待されるが、

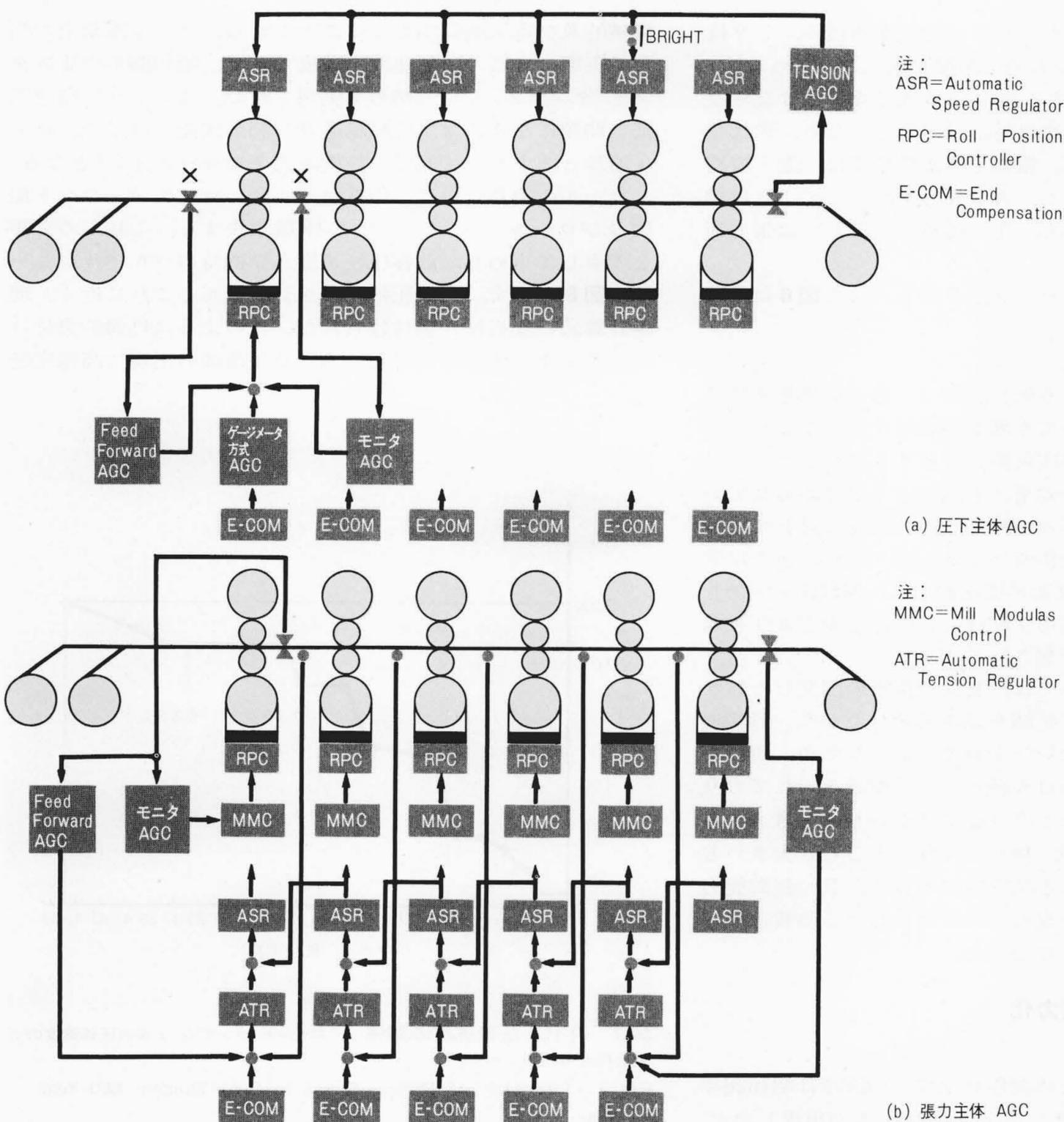


図5 ゴールドタンデムミルのAGC 代表的なAGCのブロック図で、(a)は圧下を主体に行なうもの、(b)は張力を主体に行なうものを示したものである。 Fig.5 AGC System for Cold Tandem Mill

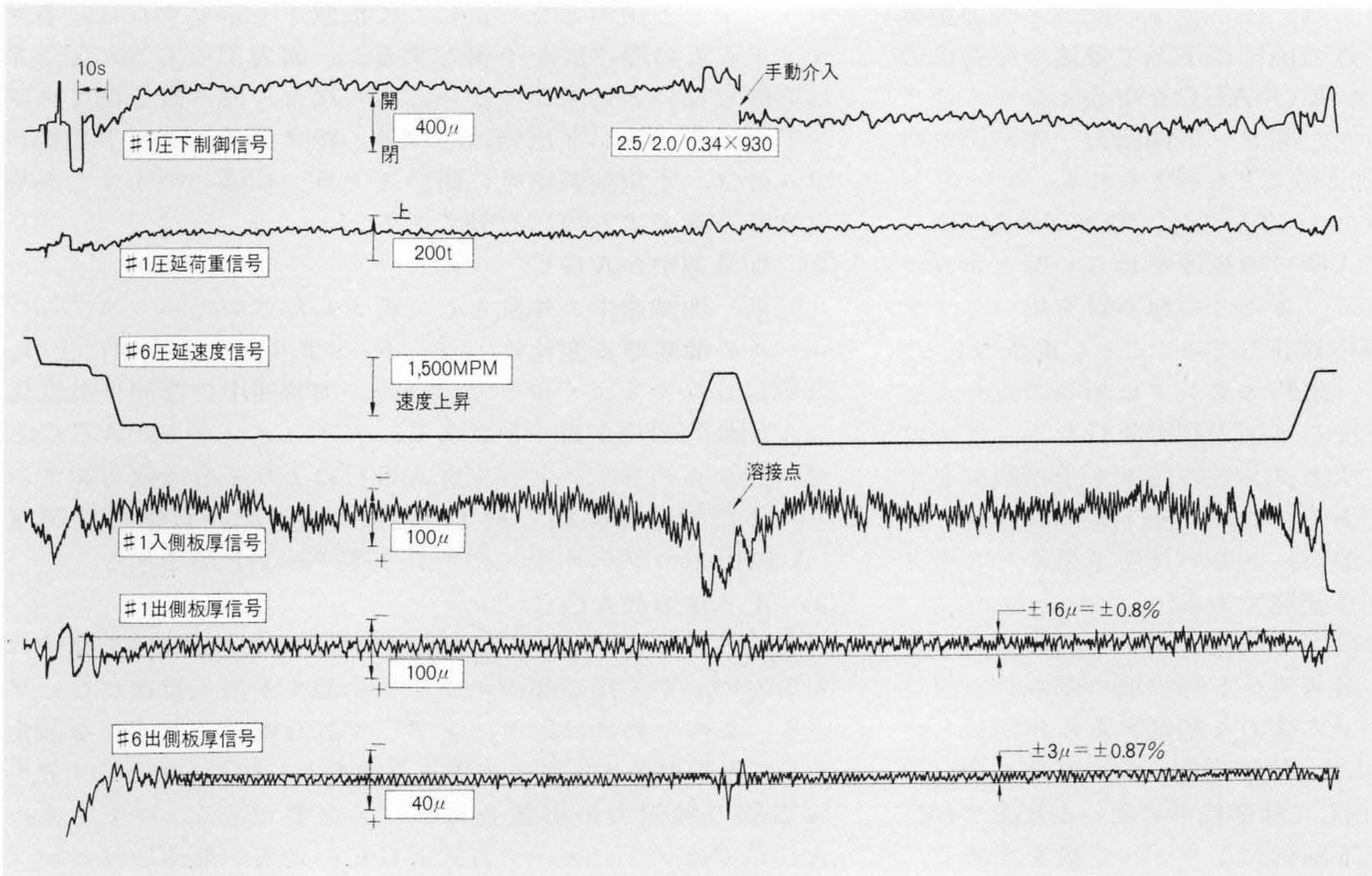


図6 予測AGCの一例
コールド タンデム ミルで予測AGCを行なった制御例を示したものである。
Fig. 6 Actual Data of Feed Forward Type AGC

外乱量が大きいため制御遅れが出るので、かみ込み、しり抜け信号により圧下をプログラムの制御する。このためには、圧下速度が外乱量を制御するだけ十分速くなければならない。しかし、圧下制御のみでは外乱量が大きいため、形状及び作業性に問題が出てくる。張力主体AGCでは、先・後端部にて張力シフトをするほか、ASR形を固くしてこれに対処する。圧下主体の場合にも、先・後端部に対しては張力制御のサポートが必要である。

図5は最近のAGCのブロック図2例を、また図6は、制御例を示す。

3.3 形状制御

ロールベンディングによる形状制御は一応の成果をあげている。またその特性についても理論的裏付けが行なわれ、形状制御効果の予測がある程度可能となってきた⁽⁶⁾。

ロールベンディング法の効果は上記のように認められているが、各種製品サイズ、種々の圧延条件の変化に対して十分とは言えない。日立製作所はこれを補うため、新たに開発したHCミル(本号「日立新形圧延機(HC-MILL)の特性」参照)をタンデムミルに応用すれば製品形状と歩どまりを飛躍的に改善できることが予想される。

次に自動形状制御については、日立製作所の開発した形状検出器を用いサンプリング制御を試み成功したが⁽²⁾、形状検出器が長期間の連続使用に対し十分でなかったため、現在では使用されていない。このほか種々の方式が試みられており、その実用化が一般化するのも余り遠くはないものと考えられる。自動形状制御の成否が、検出器に負うところが大きいとは言え、HCミルのように形状安定性が良く、且つ制御能力も大きい圧延機が出現した現在、形状面における品質は飛躍的な向上が期待できることになった。

4 生産性の向上及び省力化

4.1 高速化

図7に年代と圧延速度との関係を示す。同図では昭和28年に公称2,100m/minの5スタンドタンデムミルが出現したが、

機械的及び電気的問題もさることながら、ロール冷却上の問題で実際にはこの圧延速度を達成できず、昭和36年の6スタンドタンデムミルで初めて実現された。このように高速圧延で問題になるのは、機械構造及び制御機能のほかに、ロール冷却とストリップ潤滑の性能が大きなキーポイントとなる。

ロールの冷却能力は、作業ロール径、ロールクーラント温度及びロールクーラント油の種類で決まる。これらの影響を考慮して求めた、許容圧延速度と計画時のパススケジュールを図8に示す。実際圧延のスケジュールもこれに近く、理論計算式の妥当性が裏付けられた。このように理論的裏付けによるミルの仕様の検討と、優れた圧延油の出現で高速圧延

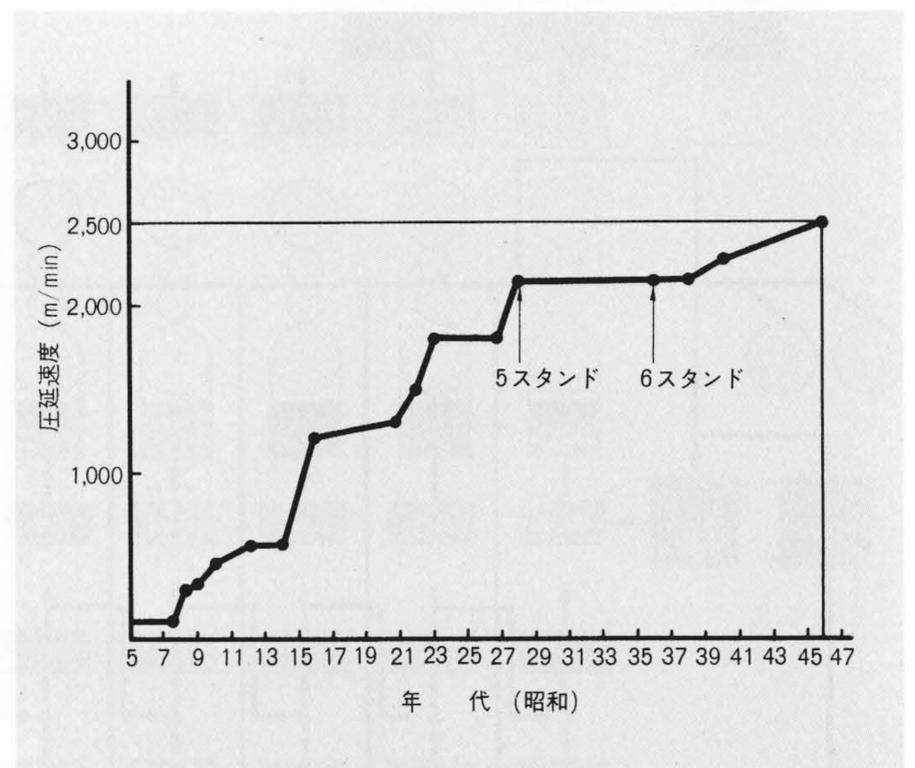


図7 年代と圧延速度の関係 コールド タンデム ミルの圧延速度の上昇過程を年代順に示す。
Fig. 7 Increase of Rolling Speed in Cold Tandem Mill Year by Year

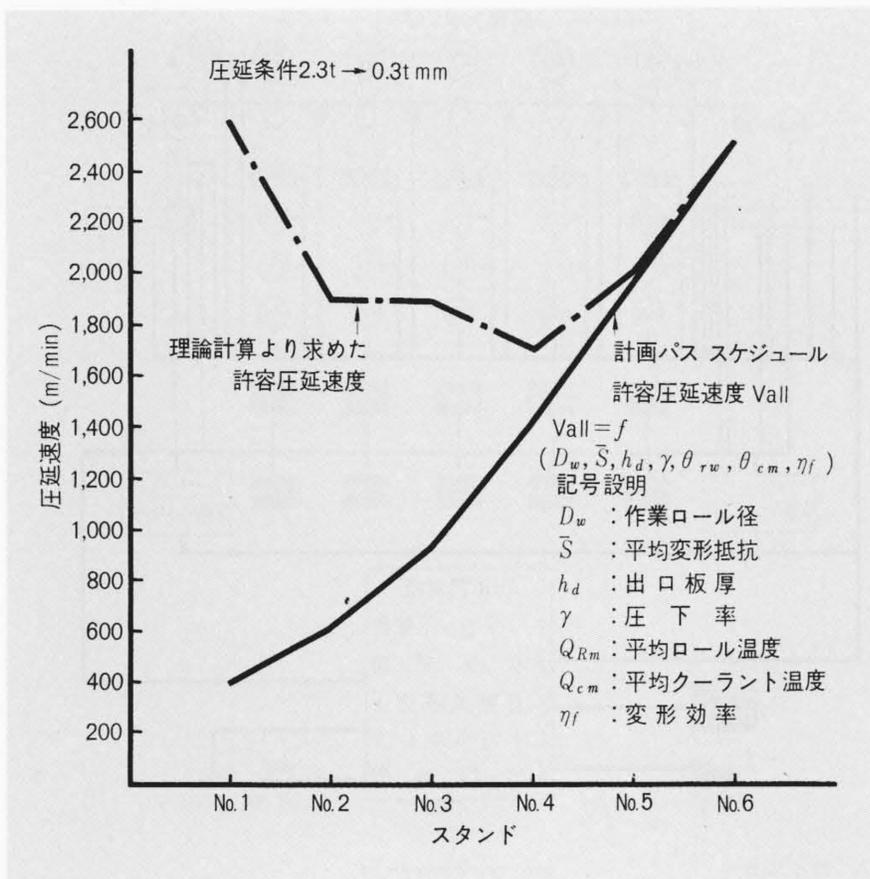


図8 ロール冷却より求めた許容圧延速度 ロール冷却条件から求めた許容圧延速度と計画時の各スタンドの圧延速度を示している。

Fig. 8 Allowable Rolling Speed Related with Roll Cooling in Cold Tandem Mill

が可能となったと言えよう。

次に高速性に対する機械的問題は、作業ロール軸受の潤滑とスピンドルカップリングの歯面強さと潤滑油の密封方式である。これらについて次のような技術を確認し、高速ミルを実現できた。

- (1) 作業ロール軸受潤滑用適性オイル ミスト量の把握
- (2) 高速ミル用軸受及びショック構造の改革

(3) ギヤタイプスピンドルのシール方法の確立

4.2 自動化と信頼性の向上

自動化は2に示したように、生産性向上、操業人員の低減、人間の能力では困難な作業や危険な作業の排除を目的として行なわれる。必要以上、又は不確実なものを自動化すると逆に目的に反する結果になりかねない。表1⁽³⁾は、今までの経験により実施可能と考えられる自動化の内容と目的を示すものである。

自動化を行なうため種々のアクチュエータ、検出器などを多く使用するが、これらの適用を誤ると故障率が高くなり、ダウンタイムを増しかえて生産能率を低下させるおそれがある。これに対処するには、

- (1) 検出器の数を必要最小限で済ませるくふうを行なう。
- (2) 検出器の取付場所にくふうを加える。
- (3) 配管を含めた油圧機器の特性を正確に把握しておく。

などが挙げられ、このような配慮を行なった設備は立上りが極めて良好で、その後の故障も少なく、生産性が向上している。

4.3 連続式コールドタンデムミル

タンデムミルの圧延において、高度の技術を要する通板、しり抜け作業をなくして連続的に圧延する、いわゆる連続式タンデムミルは冷延業界永年の夢であった。連続化の目的は、

- (1) 通板時間の減少による生産性向上
- (2) 通板時のロールの傷付防止
- (3) 歩どまりの向上
- (4) 省力化

である。

連続式コールドタンデムミルは、日立製作所が昭和44年日新製鋼株式会社周南製鋼所に納入した世界初のコールドタンデムセンジマーミルで、これは小径作業ロール使用のため通常に通板方法がとれず、タンデム化のため必然的に連続化されたものである。⁽⁷⁾次いで昭和46年に日本鋼管株式会社福山製鉄所で稼動に入った⁽⁸⁾連続式コールドタンデムミルは、普通鋼用の世界第1号機で2台のテンションリールを備

表1 自動化の目的と内容 各作業区分ごとの自動化の目的とその可能な内容を示す。

Fig. 1 Purposes and Effect of the Automatization of Cold Tandem Mill

区分	目的						
	内容	生産能率向上	品質向上及び安定化	製品歩どまり向上	操業人員の低減	操業員の負担軽減	危険な作業の排除
コイルハンドリング	コイル移送 コイルバンド処理 ミル入側 コイルセンタリング コイル自動結束	△			○ ○ ○ ○	○ ○	△ ○
通板	自動通板, しり抜け	○			○	○	○
加減速	自動減速 自動停止	○ ○		○		○ ○	
ロール組替	作業ロール組替の機械化	○			○	○	○
品質	自動板厚制御 自動形状制御	○	○ ○	○ ○		○ ○	
スケジュール換え	プリセット 圧下, 圧延速度 張力 ガイド幅	○			○		

注：○印は関係あり △印は少し関係あり

えた本格的な連続ミルである。引き続きアメリカのWeirton Steel社に世界で3番目の連続ミル(Blaw Knox社設計製作)が建設中である。

連続化のために必要な設備技術は、

- (1) ルーパはストリップ貯蔵量が多く、ライン長さが短いこと。
 - (2) ストリップがミル内にある状態で作業ロール組替えができること。
 - (3) 高速フライングシャアの開発。
 - (4) 出口側での2本のマンドレルへの迅速巻換え
 - (5) 板幅の変化に対応する幅広い形状修正能力
- などであろう。これらに対応する新技術はほぼ開発済みであり、更にカラーゼル形ペイオフリール、テンションリール¹⁰⁾、形状修正能力の高いHCミル、高性能油圧圧下装置“HYROP-F”などの新技術の組合せにより、優れた連続タンデムミルを供給できるものと確信している。

5 計算機制御システム

コールドタンデムミルの計算機制御システムとしては、図9に示すようにセットアップ計算機、直接制御(以下、DDCと略す)計算機、プログラマブルロジックコントローラ(以下、PLCと略す)などの組合せにより最適なシステム構成が考えられている。

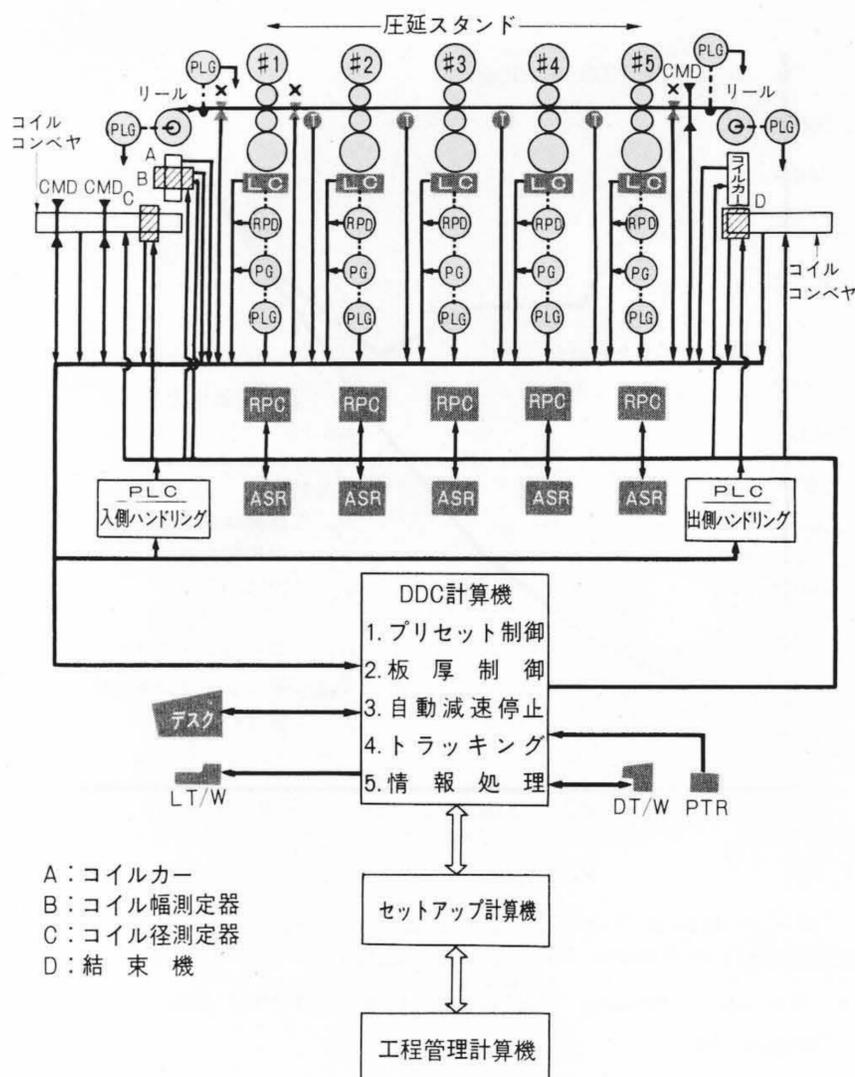
セットアップ計算機では⁹⁾、圧下位置、スタンド間及びリール張力、圧延速度、入出側厚み計などのスケジュール設定値を数式モデルにて計算し、DDC計算機に指令する。設定精度を上げるため、圧延荷重、厚み計信号などのオンライン情報によりモデルの適応修正をするとともに、かみ込通板時に圧下及び速度をダイナミックに制御する。情報処理としては、上位工程管理計算機より、セットアップに必要なスケジュールを取り込むとともに、オンラインデータや生産情報をタイプアウトし、必要に応じて上位計算機にも伝送する。

一方、DDC計算機は、セットアップ計算機のもとにあつて、プリセット制御、板厚制御、自動減速制御など、短いサンプリングピッチでの高速演算制御を行なう¹⁰⁾。制御では、各の制御ループはいわゆるWIRED LOGICにて行ない、計算機としてはスケジュールごと影響係数を計算し、それに基づいて各AGCの利得及び制御指令値を与える。これらの各制御はラインに配置された各種検出器信号に基づくマイクロトラッキングシステムにより統括される。なお従来は入出側コイルハンドリングもDDCシステムの中に組み込まれていたが、前記PLCの出現により、これらはPLCの対象となり、計算機ユーティリティの向上が図られている。

6 結 言

以上、最新のコールドタンデムミルの製作経験と最新の開発技術を基に現在及び今後のコールドタンデムミルの動向について述べた。これらの新技術が生み出されたのは、圧延機を使用される各ユーザーの生の声に接し、それを実現するよう努力した結果生み出されたものであり、これら貴重な御教示をいただいたユーザー各位に対し深く謝意を表わす次第である。

我々は今後、新油圧圧下装置“HYROP-F”、HCミルなどの新技術を応用し、より高性能のコールドタンデムミルの製作に努力してゆく所存であり、更によりいっそうの御教導をお願いする次第である。



A: コイルカー
B: コイル幅測定器
C: コイル径測定器
D: 結束機

注: 略字説明
X: X線厚み計
LC: 荷重計
T: 張力計
CMT: コールドメタル検出器
RPD: ロール位置検出器
PG: 回転発電機
PLG: パルス発生器
RPC: ロール位置制御装置
ASR: 自動速度制御系
LT/W: ログタイプライタ
DT/W: データタイプライタ
PTR: 紙テープ読取機

図9 コールドタンデムミルのDDCシステム 計算機を用いたDDCシステムのブロック図を示したものである。
Fig.9 DDC System for Cold Tandem Mill

参考文献

- (1) 森本, 才木ほか「君津, 名古屋両製鉄所第3冷間圧延機について」製鉄研究 276, 10196 (昭47)
- (2) 加藤, 梶原ほか「最新のコールドタンデムミル」日立評論 52, 744 (昭45-8)
- (3) 梶原, 藤野「冷間ストリップ圧延機の進歩」鉄と鋼 第59年, 1863 (昭48-11)
- (4) 諸岡, 大成「連続圧延機における板厚検出装置」(特公昭48-24633)
- (5) G. G. LAPHAM, "Computerized Cold Reduction Inlands 80in. Tandem Mill" 49, 11039 (1972)
- (6) 梶原, 西「冷間圧延に於けるストリップ形状とロール変形の解析」機械学会日立地方講演論文集 113 (1969-11)
- (7) 西村, 尾本ほか「センジミア・コールド・タンデム圧延機について」日新製鋼技報 25, 1 (昭46)
- (8) 一九, 比企野「福山製鉄所No.2コールドタンデムミルの概要」日本鋼管技報 56, 273 (昭47)
- (9) 北之園, 久保ほか「冷間タンデムミル計算機制御」日立評論 53, 847 (昭46-9)
- (10) 松香, 桜井ほか「調質圧延機の自動制御」日立評論 53, 746 (昭46-8)