# 熱間アルミニウム圧延機の制御システム

## Electric and Computer Control System for Aluminum Hot Strip Mill

アルミニウム用熱間圧延機の制御システムについて、その電気設備諸元、アルミ ニウム熱間用特殊検出器,電子計算機直接制御システム及びセットアップ電子計算 機システムについて、概略を紹介する。本設備は世界最新の設備として昭和49年3 月より稼動しており、今回は特にその電気制御設備の概要と、アルミニウム圧延設 備として、特殊検出器を含めて特徴的なことを概説する。また設備は全電子計算機 制御システムであり、電子計算機の機能分担などについても述べる。

尾崎太郎\* 田宮 進\*\* Susumu Tamiya 松香茂道\*\*\* Shigemichi Matsuka 桜井孝員\*\*\* Takakazu Sakurai 鮏川 隆\*\*\* Takashi Sukegawa

富樫伸行\*\*\* Nobuyuki Togashi

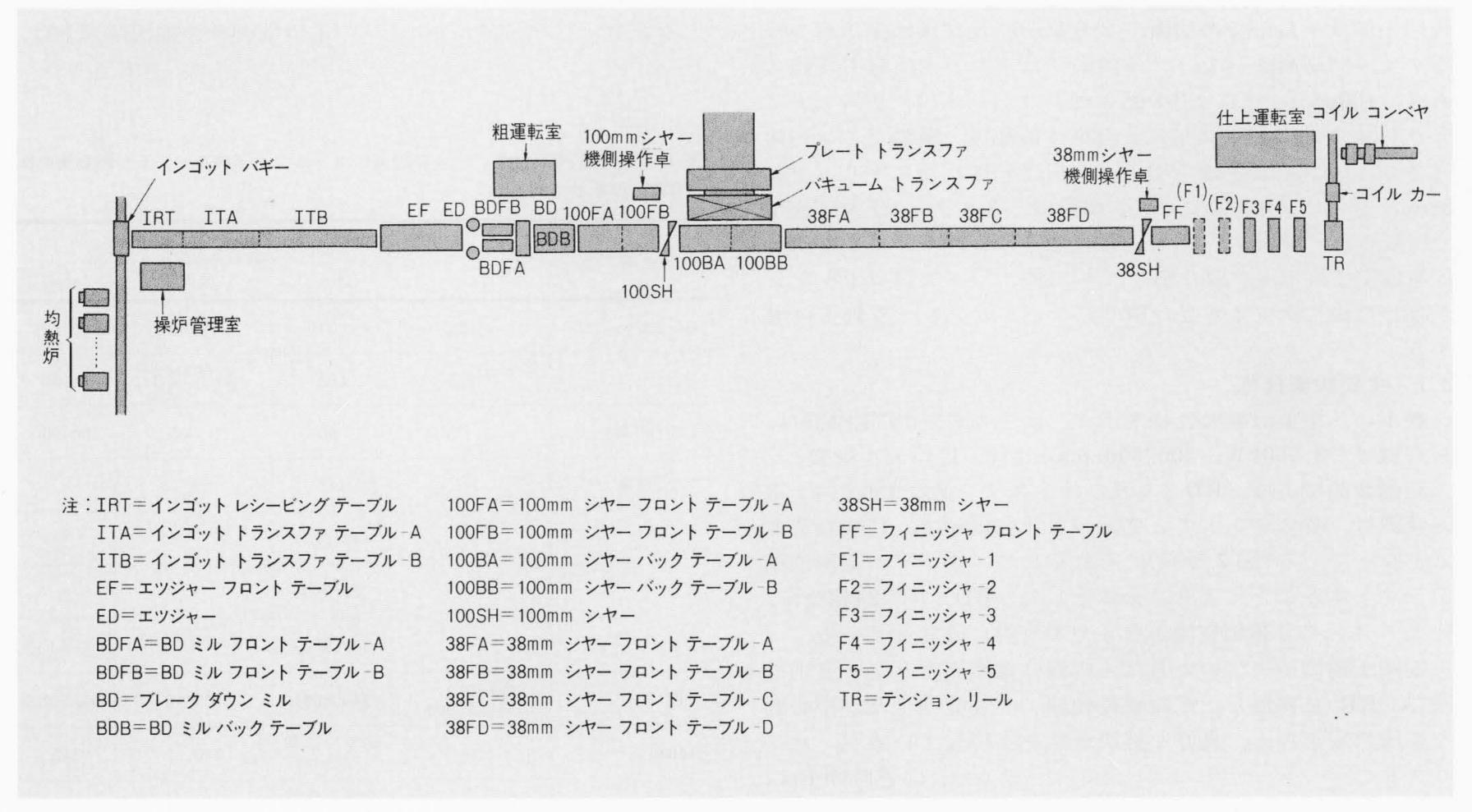
Tarô Ozaki

#### 言 1 緒

このたび株式会社神戸製鋼所真岡工場に建設された熱間ア ルミニウム圧延設備は世界でも最新のものであるが、ここに 採用された制御技術は、各種の新しい技術を採り入れている。 設備はプレート圧延兼用の可逆粗圧延機1基と、3スタンド タンデム仕上圧延機より構成される。制御システムとしては, セットアップ電子計算機にて面削より巻取りに至るまで全工 程の情報処理と、粗及び仕上げミルのセットアップ計算を行 なっている。下位の直接計算制御(以下, DDCと略す)用電子 計算機では、プリセット、板厚制御、シャー制御及び自動減 速停止を行なっている。アルミニウム圧延に付随する各種特 殊検出器は新たに開発されたものが多く、電子計算機からの 補正により精度の良い検出が実施された。以下, 主として電 気設備及び制御システムについて、その概要と特徴について 紹介する。

### 2 電気関係制御システム

図1に熱間アルミニウム圧延設備のレイアウトを示す。ピ ット クレーンにより抽出されたインゴットは自走式バギーに 積載される。クレーン運転員の起動指令により、バギーはレ シービング テーブル前へ走行し、ポット傾倒後、レシービン グ テーブルヘインゴットを送り出す。先行圧延材が最終パス になると、レシービング テーブル上の待機インゴットは圧延 エリアへ引き込まれ, エッジャー(以下, EDと略す), ブレー クダウン ミル(以下、BDミルと略す)により最大41パスの可



熱間アルミニウム圧延設備レイアウト 均熱炉,バギー,テーブル,粗圧延機,シヤー,仕上圧延機, リール及び運転室の配置を示す。

<sup>\*</sup> 株式会社神戸製鋼所真岡工場熱延課 課長 \*\* 株式会社神戸製鋼所真岡工場熱延課 \*\*\* 日立製作所大みか工場

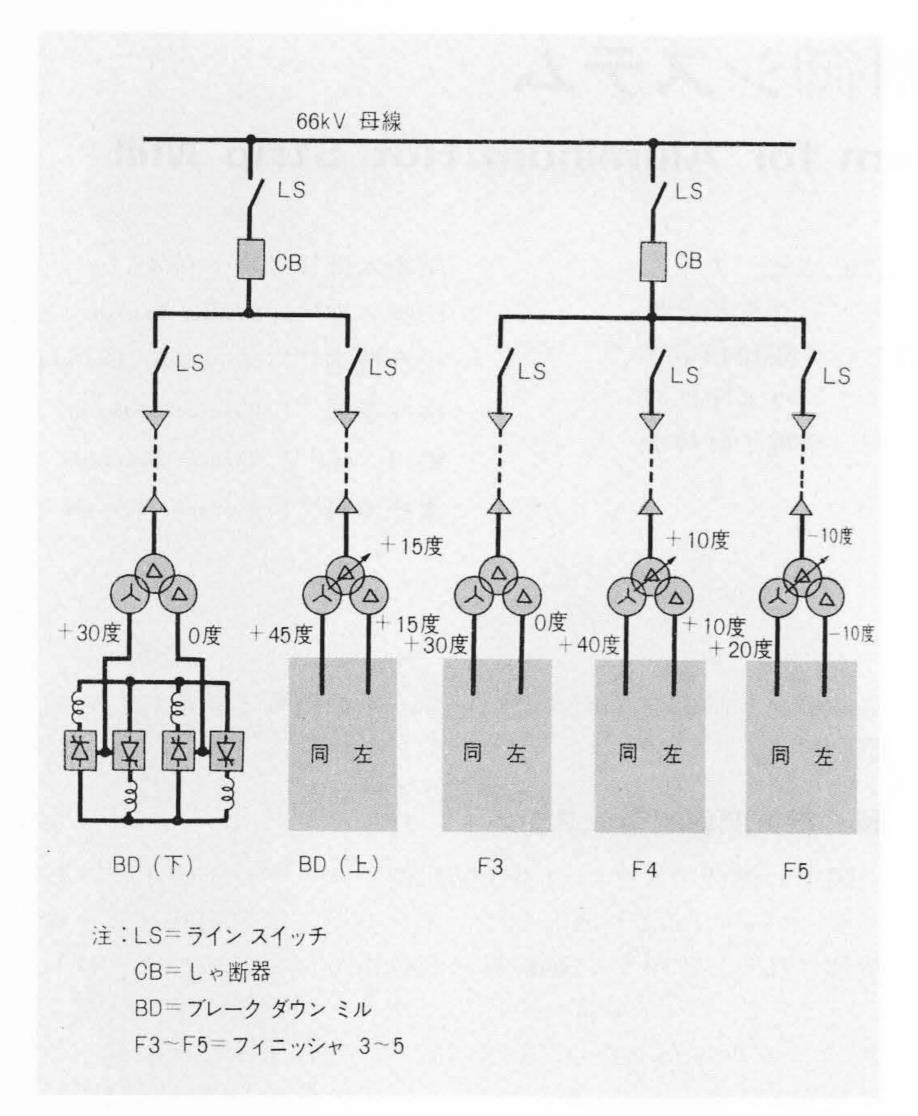


図 2 主回路結線方式 粗圧延機及び仕上圧延機の主回路結線方式である。

逆圧延が行なわれる。100mmシャーは、圧延途中における先・後端の形状不良部分の切断、2分割切断及び圧延完了材の後端クロップ切断を行なう。本設備ではプレート圧延も可能であり、100mmシャーにより分断されたプレートは、バキュームトランスファによりプレート台車に積載後、精整ラインへ搬送される。コイル圧延の場合は、粗圧延されたストリップは38mmシャーにより先端クロップ切断後、3スタンド仕上圧延機で圧延され、テンションリールに巻き取られる。コイルカーは巻取完了コイルを取り出し、コンベヤラインにコイルを引き渡した後、次コイル受け取りにテンションリール側へ復帰する。

#### 2.1 主要設備仕様

表1に、主要設備の仕様を示す。仕上スタンド用電動機は、 単電機子で3,000kW、200/500rpmと高速、且つ大容量機として記録製品である。BDミル及び仕上スタンドのサイリスタ電源装置は、各スタンドごと2セット並列接続で、12相整流方式となっている(図2参照)。それぞれのスタンドの電源位相をシフトすることにより、全体としてはBDミルで24相整流、仕上スタンドで36相整流となり力率改善に役立っている。

電機子制御ループのいちばん内側に電流立上りレート制御系(ACRR)を採用し、電流断続範囲での性能向上及び不必要な電流急変を押え、良好な整流状態を実現している(\*)。サイリスタのゲート サプレッション システムは、応答時間1ms以内、デュアル システムにより信頼性の向上を図り、保護を完璧なものとするとともに、従来採用されていたサイリスタ装置側の高速度しゃ断器を不要とし、設備費低減に貢献している。

可変電圧補機は直流電動機368台に及び、標準化された"HI

LECTOL"(2) 28セットより駆動されている。"HILECTOL"は主として逆並列接続方式のH-2形を採用しているが、可逆頻度の少ない一部のテーブルには電機子切換方式のH-3形を採用している。電動ルーパには、切換デッド タイムをなくすため循環電流制御方式であるH-0形を採用している。

#### 2.2 ローラ テーブルの制御

本設備のテーブル ローラにはすべてテーパ付ローラを採用し、軟らかいアルミ材に対するきず防止を図っている。レシービング テーブルより仕上入口テーブルまでの約270mに及ぶラインは、約350本のインディビデュアル ローラ及びコモン シャフト ドライブのターン テーブル、BDミル バックテーブルより構成される。制御区分は、引込操作、粗圧延、シヤー切断制御、送出し操作及び仕上圧延の同時操作を容易にするため、また省エネルギーをも考慮し16セクションに分けている。

ローラ テーブルの制御はストリップとローラの速度マッチング、スリップ防止を最大目標とし次のものが採用されている。

#### (1) 速度制御(ASR)

インディビデュアル ローラは代表ローラの速度検出による ASR

- (2) ストリップ幅によるテーパ ロール径補正
- (3) ドラフト補正

BDミル, EDミルの後進率, 先進率のすべてを補正

#### (4) 指令急変防止

ミル連動及び連動切換,引込操作,送出し操作,シャー切断操作など,各テーブルに対する指令は数多く,必ずしも停止状態で切換が行なわれないが,ステップ的変化がなくしかも加減速指令遅れのない特殊速度指令装置の採用

#### (5) 最大電流制御

インディビデュアル ローラの電流制御系の電流帰還値は、

表 | 主要設備仕様 主要設備のロール径,運転速度,及び駆動電動機の容量,回転数である。

用途名	ワークロール径	速度	DCM	
	(mm)	(mpm)	(kW)	(rpm)
EDミル	1,066	207	1,200	250/625
BDミル	965	182	2,600×2 (ツイン ドライブ)	24/60
FI(将来)	725	80	3,000	200/500
F 2 (将来)	"	143	"	"
F 3	"	143(222)	"	"
F 4	"	222(300)	"	"
F 5	"	300(350)	"	"
TR	内径610~ 外径1,900	345(403)	700×2	300/1,000
100mmシヤー		クランク軸 8rpm	370×2	340
38mmシヤー		クランク軸 16.7rpm	AC 75	750
サイド トリマー	610	345(403)	185/(370)	435/870

#### 注:DCM=直流電動機

TR=テンション リール

FI~F5=フィニッシャ-I~5

各ローラ及びサイリスタ装置のうち、パーセント マキシマム を帰還することにより負荷のアンバランスが生じても最大値 を抑える電流制御系を採用し、トリップ防止に役立たせた。

#### 2.3 電動ルーパ

仕上スタンド間には電動ルーパが採用されている。機械系, 電動機ともに低慣性能率を,制御系は急速応答,定張力制御 を主眼とし設計,製作されている。本装備の特長は,次のと おりである。

#### (1) 循環電流制御方式

ストリップ尾端のスタンド通過前下降操作時、インバータ 運転となるが本方式によりサイリスタ切換のデッド タイムを なくし張力変動を抑えている。

#### (2) 先行上昇

ルーパ アーム角度ゼロ付近は、電動機 トルクに対するストリップ張力ゲインが非常に大きいので、ループ形成前にルーパ ローラを規定位置まで上昇させることにより、張力変動

の防止を図っている。

#### (3) フォーシング

上昇,下降時の加減速補償を行なうことにより先,後端部の張力変動の防止を図っている。

(4) 各種非線形補償

#### **図** DDCシステム

#### 3.1 DDCの概要

本設備はバギーから仕上ミルの出側コイラに至るまで完全に自動化されている。自動化の中核となるのが制御用電子計算機 HIDIC 350によるDDCシステムである。図 3に示すとおり、上位電子計算機HIDIC 500とコミュニケーション リンケージコントロール(CLC)を介してリンケージされ、必要圧延情報を受信するとともに、実績データなどをフィードバックする。DDCの制御項目は表 2に示すとおりであるが、これを 1台のHIDIC 350、32 K語、コアオンリーで制御し、極めて経済的

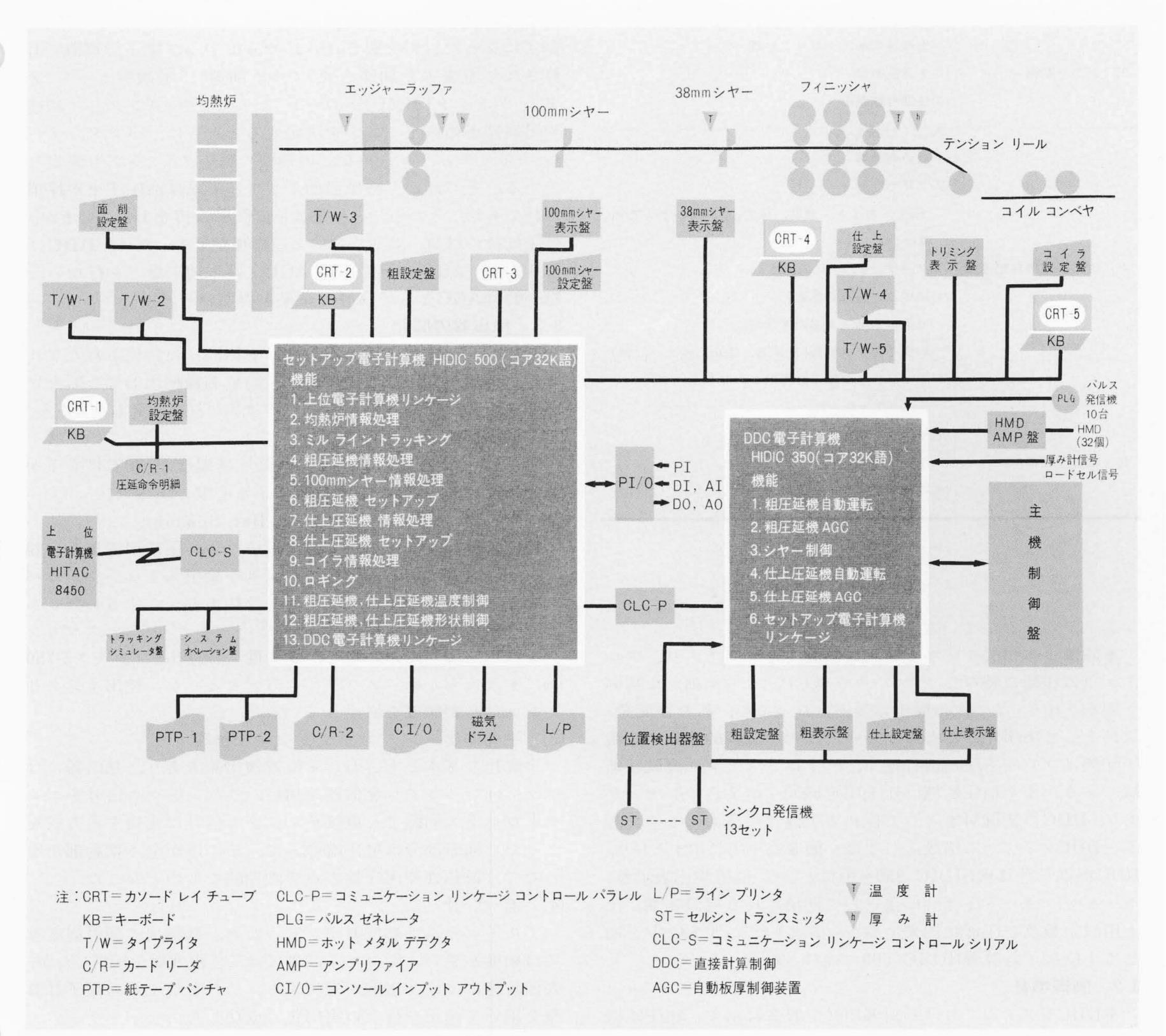


図 3 熱間アルミニウム圧延機電子計算機制御システム セットアップ電子計算機, DDC電子計算機, 周辺機器, 設定盤及びラインとの信号授受ブロック図である。

表 2 DDC電子計算機制御項目 粗圧延機及び仕上圧延機のDDCによる設定制御項目である。

大 項 目	制 御 項 目			
	(1)引込み制御			
	(2)ミル可逆運転(最大41パス)			
	(a)主ロール速度制御			
	(b) プリセット(圧下, ガイド, 先後進率, Xレイ			
1 地区在地内和第二	(c)テーブル速度制御(連動, 各種補償)			
1. 粗圧延機自動運転	(d)引もどし制御			
	(e)ブラッシュ ロール制御			
	(f)クーラント バルブ選択制御			
	(3)送出し制御			
	(4)セットアップ電子計算機とのリンケージ			
2 VELT 77 148 A O O	(I)BISRA AGC			
2. 粗圧延機AGC	(2)予測 AGC			
	(3)モニタ AGC			
	(1)先後端切断, クロップ処理			
3. シヤー制御	(2) 2 分割制御			
	(3)任意分割制御			
	(1)引込み制御			
	(2)プリセット			
	(圧下,ガイド,速度,張力,Xレイ,トリマー			
	幅 ほ か )			
4. 仕上圧延機自動運転	(3)クーラント バルブ選択			
	(4)通板及び圧延自動運転			
	(a)通板速度,加減速度設定			
	(b)タイミング制御(加減速,停止,ルーパ,他)			
	(5)セットアップ電子計算機とのリンケージ			
	(I)モニタ AGC			
5. 仕上圧延機AGC	(2) 予測 AGC			
	(3)各種補正			

なシステムとなっている。

本設備は本格的なアルミニウム熱間圧延設備であり、アルミニウム圧延に特有なノウ ハウを織り込んだきめ細かな制御が要求される。このため検出器関係においても、新たに開発、改良をして実用化したものが多い。また、設備的に見ても粗圧延機はプレート圧延機に近く、仕上は3スタンド連続圧延機である。また粗圧延機、仕上圧延機間には2台のシヤーがあり、DDCの制御対象として極めて多様性に富んだものである。DDCのシステム構成としては、図3右下方に示すとおり、DDC用電子計算機HIDIC 350を中核として、位置検出表示盤、プリセット モード圧延時に主として使用される粗設定盤、仕上用設定盤及び圧延状況表示盤から構成される。CLC-Pを通じて上位電子計算機HIDIC 500に接続される。

#### 3.2 制御項目

本DDCシステムにおける制御項目を表2に示す。粗圧延機における制御はミル回りのマイクロ トラッキング システムによるミル可逆運転,自動板厚制御装置(以下,AGCと略す)

で、いずれもDDCによる多数の実績を有するものであるが、 特に今回アルミニウム圧延設備としての特徴として、

- (1) 板のスリップ防止のため板幅,先進率及び後進率を考慮した正確なテーブル制御
- (2) 板の形状を考慮したED ミル及びガイドの独特な使用法
- (3) ロール クーラントによる温度制御
- (4) ブラッシュ ロールの制御

などが挙げられる。

シヤー制御もDDCで行なわれており、その利点はオペレータの人員削減である。この制御は粗圧延機、仕上圧延機より制御されるテーブル群をシヤー制御時使用するため、相互のインターロックが非常に複雑になる。また材料の長さ、製品の区別により切断モードが異なりこれも同様に制御を複雑にし更にそのうえ高い精度も要求される。これらはDDCを採用することにより初めて可能となるものである。また、DDC採用により粗圧延機、仕上圧延機間のテーブル長の削減も可能となる。

仕上圧延機においては、主として速度、圧下、ガイド、張力などのプリセットを行なっている。また粗圧延機にて圧延完了になった材料を引き込み、セットアップ電子計算機で計算された加速率で加速させ(ズーム加速)、尾端をホットメタルデテクタ(HMD)、ロードセルでトラッキングし、減速や尾端停止のタイミングを決定するとともに、ベンダ、テールキャッチャ、ルーパなどの補機の動作タイミングも決定している。そのほか、機械設備として圧下系は油圧圧下が採用されており、その中でミル定数可変制御が行なわれているが、被圧延材の材質、温度などによる影響が大きいため、DDCによりモニタAGC、予測(FF)AGC、端末補正などを行ない、総合的にAGCとして良好な結果を得ている。

#### 3.3 検出器の開発

3.1でも述べたとおり、本設備は本格的に自動化されたアルミニウム用熱間圧延設備であり、特に各種検出器類を新たに開発する必要があった。主なものは次に述べるとおりである。

#### (1) 低温形HMD

アルミニウム圧延においては最低圧延温度が180°Cにも下がるため、180°C程度でも十分動作する必要があった。

(2) トップ ハット センサ(Top Hat Sensor)

粗圧延機はプレート圧延機に近いため、圧下用電気品は親子モータ方式である。従って、大きな検出ストロークをカバーするとともに、インクリメントは相当細かくする必要がある。今回のものは、従来のトップ ハットがリーフ スプリングを採用していたのに対し、本設備では検出ストロークが750mmにも及んだため、スプライン方式をとった。検出インクリメントは必要精度を満足している。

(3) 半導体形シンクロ ディジタル変換器

自動化の基本とも言われる位置検出器であり、発信器には ブラシレス シンクロ発信器を用い、このシンクロ信号をエレ クトロニクス回路で、直接ディジタル信号に変換する方式を とった。回転部分は検出端のみで、そのほか全く摺動部がな いので、信頼性や保守性の点で画期的なものとなった。

### (4) 温度計

アルミニウムは熱放射率が低いため、鉄鋼用の輻射温度計では精度が悪い。従って本設備では二色温度計を採用したが、表面状態によって温度が変化する。これを防ぐため電子計算機を用いて補正を行ない実用化に成功した。

#### (5) X線厚み計

アルミニウムのX線吸収率は鉄に比べて約½と小さいため、

含有成分による厚み誤差が無視できない。従って,これも各材質ごとにその含有成分と X 線吸収率により自動的に材質補正の設定を行ない,必要精度を確保するようにした。

#### 4 セットアップ電子計算機システム

#### 4.1 システム構成

図3にセットアップ電子計算機システムのシステム構成を示す。セットアップ電子計算機は中央処理装置(CPU)としてHIDIC 500, コア容量32K語, ドラム容量1,152K語のメモリを有しており, プログラムはプロセス コンパイラ ランゲージ(PCL)で作成され, オンライン中にもプログラム作成が可能であるタイム シエアリング エグゼクティブ システム(TSES)が採用されている。

システムの情報の流れは次に述べるとおりである。まず1 日分の圧延命令明細が上位の生産管理システムであるHITAC 8450より通信回線を通じて送られてくる。圧延命令明細はイ ンゴット情報,粗圧延情報(プレート圧延,コイル圧延),仕 上圧延情報(コイル圧延)を含んでいる。HITAC 8450がダウ ンしたときは既にパンチされているカードにより入力される。 アルミ インゴットはまず面削場にて面削され、この面削実績 情報が面削設定盤より,また秤量値が秤量機より入力される。 次いでインゴットは均熱炉に装入されブラウン管 1 (CRT-1) に表示されているインゴットの装入炉マッチングを行ない, 圧延順に従って炉マップが作成される。均熱炉において均熱 されたインゴットが炉より抽出された時点よりミル ライン上 の情報処理が開始される。まず粗圧延情報がCRT-2に表示さ れオペレータにガイダンスを行なう。また、粗セットアップ 情報は通信回線を通ってDDC電子計算機に送信される。圧下、 速度などの各種プリセットが粗圧延機に対して設定され自動 運転が始まり、圧延開始より粗ミルデータ収集を行なう。デ ータは各パスごとに整理されエンジニアリング ロギング、又 はアダプティブに用いられる。粗圧延途中にてスラブの先, 後端カットが100mmシャーにて行なわれオペレータ ガイダン スがCRT-3に表示される。粗圧延, 100mmシヤー カットの明 細が指令と異なったときは、実績情報として各設定盤より入 力される。100mmシャー表示盤にはカットしたくずの品種を表 示し、くずの区分けを指示する。粗圧延がプレート圧延であ った場合は粗圧延完了で、プレートは手入れ場に搬送される が、コイル圧延のときはバーは38mmシヤーに搬送され先端を カットされる。この時点で既にCRT-4には仕上圧延情報が表 示されている。また、仕上圧延機は仕上セットアップ計算完 了とともにDDC電子計算機により圧下,速度などのプリセッ トが行なわれる。仕上データ収集は、バーが仕上の各スタン ドをかむごとに行なわれ、更にテンションリールに巻き付い てから定常状態のデータ収集が始まる。仕上設定盤上から, 明細変更の実績入力が可能であることは粗の場合と同じであ る。トリミング表示盤には各シャー表示盤と同様くず区分け の品種表示がなされる。圧延完了でテンション リールに巻き 取られたコイルは、コイル コンベヤ上に運ばれる。CRT-5 上には圧延完了のコイルのコイル ナンバー, 仕様が表示され 検査結果の実績入力がなされる。コンベヤ上にて秤量された コイルの秤量値は電子計算機に取り込まれ歩どまり計算の情 報となる。この秤量完了の時点でそのコイルのトラッキング は終了しそのコイルに関するすべての情報が消去される。ロ ギングに関しては、タイプライタ1(T/W-1)にその日の圧延 予定の熱延指令書が、T/W-2にはアラーム ログ及び炉関係 雑打ち、T/W-3には勤報及びプレート圧延関係のプロダクシ

ョン ロギングが打ち出される。T/W-4にはコイル関係のプロダクション ロギング、T/W-5にはエンジニヤリング ロギングが打ち出される。なお、粗圧延仕上圧延のモデル解析用の詳細なエンジニヤリング ロギングは電子計算機室のラインプリンタ(L/P)に打ち出される。この詳細なエンジニヤリング ロギングは、CLC-Sを通して上位電子計算機HITAC 8450にも送られ大容量のファイルに格納された後、モデルの解析がなされる。HIDIC 500よりCLC-Sを通してHITAC 8450に送られるのはエンジニヤリング ロギングのほか、プロダクション ロギングがある。CLC-S ダウン時、あるいはHITAC 8450 ダウン時は各種ロギングが $PTP-1 \sim 2$  に打ち出されテープの形で後にHITAC 8450に入力される。

アルミニウム圧延の特徴は、小量多品種生産であること、 更に粗圧延機でのプレート圧延が重なり複雑な圧延方法、圧 延ルートがある。このためトラッキング システムは様々な圧 延方法、圧延ルートにもミスなくトラッキングするよう各種 合理性チェック、ルートの判定などを大幅に採用している。

#### 4.2 制 御

制御の機能は**図3**内に示すとおりである。アルミニウム熱間圧延におけるセットアップの困難さは圧延荷重の予測にある。すなわち、荷重モデル内のパラメータである温度検出、変形抵抗の算定の困難さである。アルミニウム温度実測は、アルミニウムの放射率の低さにより鉄の熱間圧延で用いられている温度計は採用できず、またアルミニウム用であってもすべての品種を実測するのは困難であったがソフトにより各種の校正を行ない実用化にまで到達した。変形抵抗に関しては試験片のカムプラストメータによる変形抵抗の実験を行ないモデルを確立した。セットアップモデルは前述した温度と変形抵抗の問題の解決により精度の良い設定が行なわれている。

アルミニウム熱間圧延における特徴はアルミニウムの表面 形状と潤滑である。ロールの形状、コーティング、圧延温度 及び潤滑油が複雑にからみ合い均一な品質の製品を得ること は困難である。このため、セットアップ電子計算機では圧延 中に最適ロール ベンディング力のDDCを、また潤滑油流量 DDCを行なって品質の向上を図っている。

上記の新しく開発された数式モデルによる粗及び仕上圧延機の圧下,速度,張力などの設定値は,CLC-Pを通してDDC電子計算機に伝送され、プリセット制御にて実際の設定が行なわれる。セットアップモデルは昭和49年6月に粗調整が完了し、密調整は昭和49年末完了した。

#### 5 結 言

熱間アルミニウム圧延機の本格的な計算機制御システムが 世界で初めて完成し、順調に稼動に入った。本システムは短 期間のうちに、設計、製作、調整されたが、この間にアルミ ニウム熱間用セットアップ モデルの開発、温度計、HMD、 厚み計、トップハットなど、アルミニウム用特殊検出器の開 発改良を重ねて実用に供することができた。

#### 参考文献

- (1) 平輪,神山ほか「直流電動機のエレクトロニクス制御」 日立評論 55,648 (昭48-6)
- (2) 斉藤, 神山ほか「HILECTOLシリーズ サイリスタ・レオナード装置」 **53**, 1052 (昭46-11)