

プロセッシングラインの計算機制御システム

Computer Control System for Processing Line

The computer control system for processing lines including continuous and cleaning lines, continuous annealing lines and continuous galvanizing lines, which lagged behind its counterparts in the rolling mill field, made remarkable strides in the last few years. In this article, the objectives of introducing computer control systems into the processing lines and their function are reviewed. The computer control system for processing lines, especially DDC (direct digital control system), is mainly intended for such special purposes as weld point tracking, automatic slowing down, entry and delivery side automation, speed and tension set-up, and other various sorts of control covering furnace temperature control, plater current control and thickness control. The system can also be used for shift and data logging. The article also deals with the matching of the DDC with other mechanical equipment as this is one of the major problems for this type of control systems.

松香茂道* *Shigemichi Matsuka*桜井孝員* *Takakazu Sakurai*木谷 進* *Susumu Kitani*本山幸彦** *Yukihiko Motoyama*

1 緒 言

鉄鋼における清浄、焼鈍、めっきなどのいわゆるプロセッシングラインへの計算機制御の導入は、他の圧延設備への計算機制御の適用と比較すると遅れているが、ここ2、3年ようやくその機運が高まり、国内の新設備にはほとんど計算機が導入されるようになってきた。本稿では、酸洗ライン、連続焼鈍ライン、連続亜鉛めっきラインなどに、直接計算機制御(DDC)を中心として、計算機制御システムを数セット製作納入してきた実績をもとに、プロセッシングラインの計算機制御システムの目的、技術的特徴、問題点、今後の動向などについて概観したい。

2 最近のプロセッシングラインの計算機制御の動向

最近のプロセッシングラインの計算機制御導入状況を見ると世界全体では、表1に示すようになる⁽¹⁾。世界全体では10%前後の導入状況であり、高炉の24.7%、転炉の32.1%、ホットストリップミルの30.9%、分塊圧延機の24.7%、冷間圧延機の24.7%などと比較すると、約1/2の導入状況である。国内のみでみると、プロセッシングラインへの導入状況は約25%で、圧延設備の50%に比較し約半分であり、今後の発展が期待される。

まず、プロセッシングラインの特徴について、計算機制御の立場から考えてみる。プロセッシングラインでは通常入側部、中央部、出側部に分けられる。この3部分を結ぶものとして、一般には入側と中央、中央と出側の間にループカーがあるが、クリーニングラインのようにループタワーになるもの、あるいはシヤーラインのようにこれのないものもある。

- (1) 入側では、ペイオフリールよりコイルを巻き戻し、先端部を切断して先行コイルに溶接する。溶接時先行コイル尾端を溶接機の個所で一時的に停止させ、この間、中央部、出側は運転を続けるので入側ループカーがバッファの働きをする。
- (2) 中央では、各ラインにより洗浄、焼鈍、めっきなどの化

表1 プロセッシングラインへの計算機制御導入状況 旧設備を含めた世界の平均を示す。

Table 1 Percentage of Computer Control System Introduced in Processing Line

ライン名称	平均 (%)
酸洗ライン	6.2
すずめっきライン	12.1
亜鉛めっきライン	7.4
焼鈍ライン	9.9
シヤーライン	4.9

学処理が行なわれる。

- (3) 出側では化学処理された材料をリールに巻き取り、適当な個所で切断し、次のリールに巻き替える。このとき、出側ループカーがやはりバッファの働きをする。

これらのプロセッシングラインの運転における特徴的なことは、

- (1) ラインが非常に長いうえ、ループカーを介して入側、中央および出側がそれぞれ独立に運転され、相互の運転状況の把握が難しい。
- (2) ラインは次々にコイルを溶接しつつ連続的に運転されるので、1週間から1ヶ月以上ラインは停止しない。
- (3) 入側でのコイル替え、溶接、出側でのリール替え、切断時、入側または出側を一時的に停止するが、ループカーのバッファ分がなくならないうちに、すばやく、かつ適切なタイミングでコイル処理、加減速を行なわねばならない。
- (4) サイズ替えのとき、各部の速度、張力および化学処理量の設定替えを適切に行なうため、溶接点位置の認識や巻取量の把握が必要である。

以上のように、プロセッシングラインは、品質の確保を最重点とする圧延ラインとやや趣が異なっており、計算機制御

* 日立製作所大みか工場

** 日立製作所機電事業本部鉄鋼技術本部

導入の目的も、

(1) 入側、中央および出側への必要情報の迅速かつ適切な伝達

(2) 入側、出側でのコイル替えの自動的かつ迅速な処理

(3) サイズ変更時の各部設定値の適切なタイミングでの変更が主体となる。このために要求される機能は、計算機介入の直接的制御（いわゆるDDC）と、情報処理を兼ね備えたものであり、具体的には一般に次のような機能を持っている。

(1) 溶接点トラッキングおよび表示

(2) コイル情報の各部への表示

(3) 入側の各種自動運転

(4) 出側の各種自動運転

(5) 自動減速停止、自動加速および重量分割

(6) 速度、張力、化学処理量（焼鈍ラインの温度、めっきラインのめっき厚さなど）の設定および設定変更

(7) 生産日報作成、技術情報収集および製品カード作成

上記した具体的機能の詳細は3.に記すが、計算機制御導入の期待効果は、要約すると下記のとおりである。

(1) 運転能率の向上

(2) 省力化および運転員の負荷軽減

(3) 歩どまり向上

(4) オペレータ個人差の解消

3 制御説明

3.1 トラッキングと全体の制御

前工程からコンベヤなどによって送られてきたコイルは、コイルカーにより入側部でペイオフリールに装着され、オフゲージ分の先端スクラップ処理後、ウエルダ内定位置に先端が停止する。そこで、尾端のオフゲージ分をスクラップ処理されて同じくウエルダ内に尾端停止している前回処理コイルと溶接される。ラインの全体図は図1に示すとおりである。溶接中も、ラインを停止させないため、中央処理に入る前にループカーを設け、溶接中は、ここの余裕分を消費しつつ処理を行ない、溶接完了後はループ余裕を定量に戻すため、速度の制御を行なう。入側部処理を経た後、鋼板はラインに固有な中央部処理を受け、出側部において整形されて、テンションリールに巻き取られる。製品コイルを所定の重量にするため、自動減速、停止が行なわれシャーで切断分割される。

コイルによって、その材料仕様、製品仕様が変化するため、端点あるいは溶接点のトラッキングはきわめて重要となる。鋼板の追跡は次のように行なわれる。

入側部においては、端点の定位置停止の必要上Cold Metal Detector（以下、CMDと略す）によって端点を検出し、以降の追跡は所定のパルス発信器（以下、PLGと略す）およびカウンタの値によって行なわれる。中央部に関してはウエルダ内で溶接時につけられた溶接マークを適当な検出器を用いてトラッキングする。溶接マークとしては溶接部に穴をあけるとか、あるいは溶接部の厚み方向のふくらみを検出する方法を用いている。前者の場合はCMDで検出し、後者の場合はγ線厚み計などを用いる。出側部においては送り出されてくる材料長をカウントし、これにより重量分割制御のタイミングを与える。このカウンタの値は出側部においてシャーで切断されるごとにその対応分だけ減算される。一方、溶接点の検出は中央部と同様に行なわれ、これも減速のタイミングを与えるのに寄与している。コイルの端点あるいは溶接点の追跡は、すべての制御の基礎になるのでCMDあるいは溶接点検出器による直接検出のほかに、PLG信号を用いて、計算域内で各種バックアップをしている（図1）。

3.2 入側ハンドリング

材料コイルをペイオフリールまで運び、正常な位置に装着させ通板が円滑に行なわれることが重要である。コンベヤの配置など工場のレイアウトによってその方法は異なるが、計算機はコンベヤおよびコイルカーの動作信号、CMD信号からコイルのトラッキングを行ない、その結果によりコンベヤおよびコイルカーの自動運転を行なっている。またコイルは、コイルカーにてペイオフリールに装着されるが、コンベヤ上のコイルは幅方向にずれているので、ペイオフリールに装着時にずれ分の修正（幅調心）を行ない、またコイル径により高さ方向の修正（高さ調心）を行なう⁽²⁾。

3.3 入側端部処理

ペイオフリールに装着され、口出しを行なった後のコイルの先端のオフゲージ部分をスクラップにして切断し、かつ現在通板中の材料の尾端を切断して両者をウエルダ内で溶接する。

このためまず口出し後のコイルの先端をダブルカットシャー内に一定長送り、フライングマイクロメータなどによる厚み検

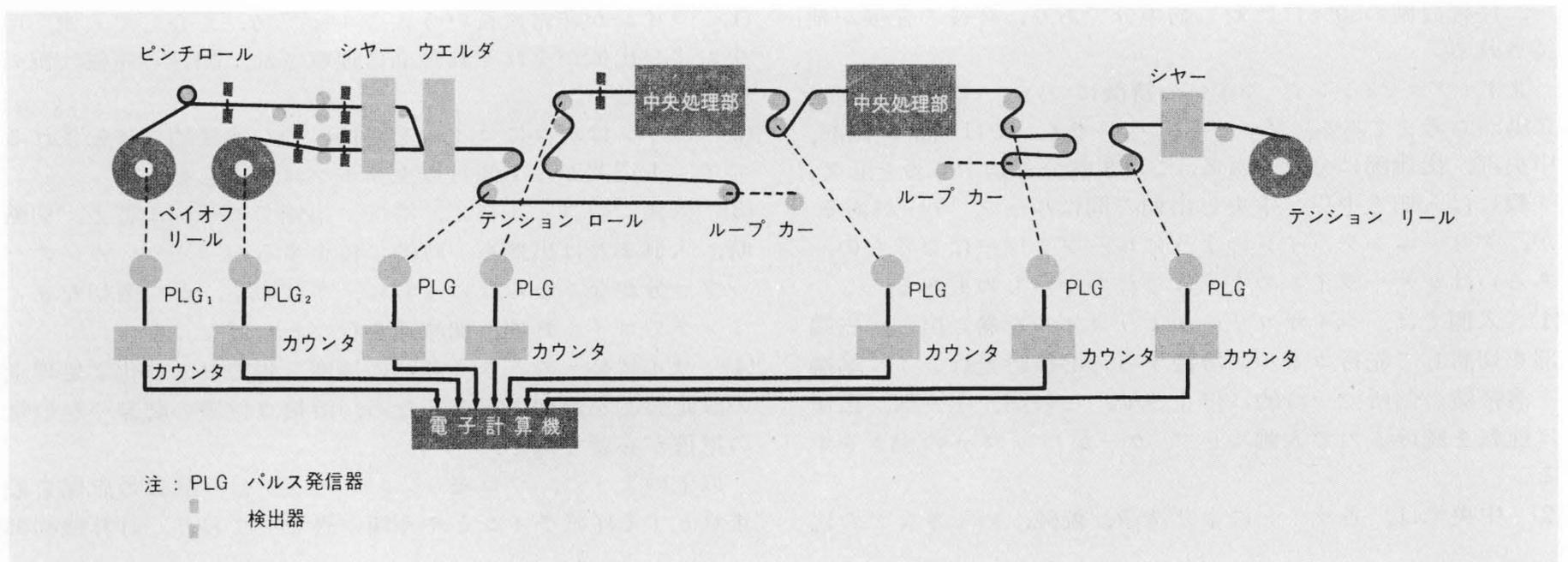


図1 システム構成図 プロセッシングラインの一般的ライン構成および計算機制御用検出器類を示す。

Fig. 1 Outline of System

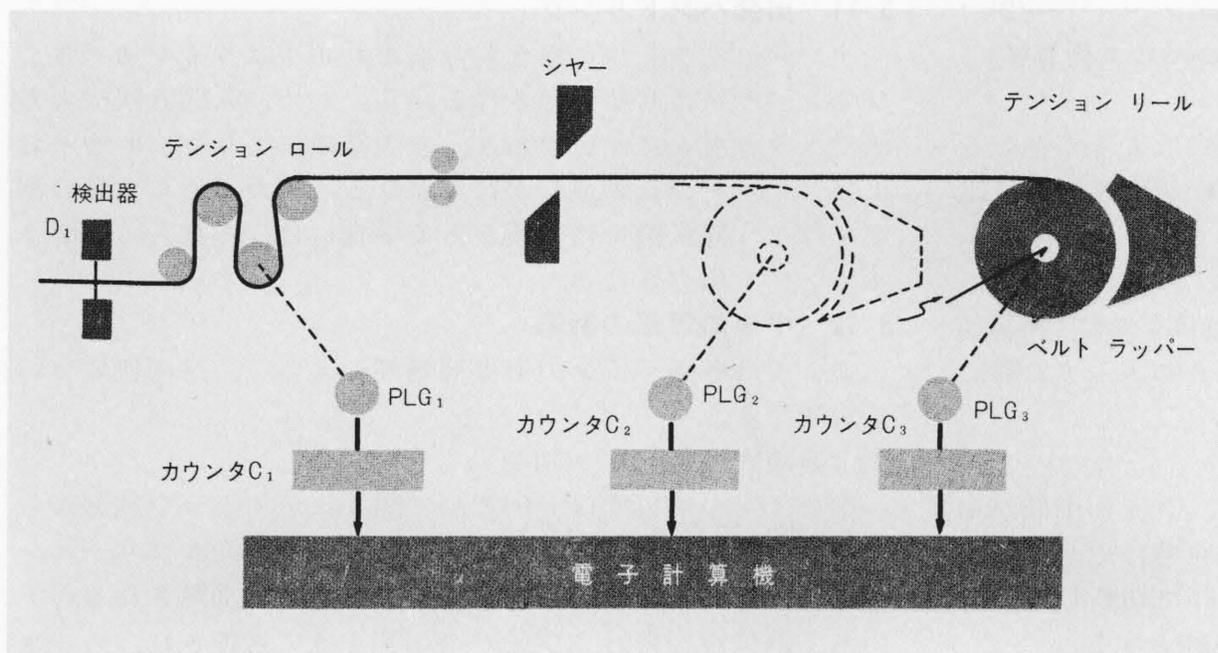


図2 出側部構成図 出側部機械レイアウトと演算システムを示す。

Fig. 2 Outline of Delivery Side

出の結果、オフゲージならば切断する。その後、待機位置まで移動させ停止する。巻き戻した材料長はPLGにより測定され、先端はCMDにより検出される。

一方、現在通板中の材料の尾部を自動減速後、シヤ-前で停止し、切断後、次コイルとの溶接のため尾端をウエルダ内定位置まで移動する。

待機中の次コイルの先端をウエルダ内の定位置まで移動し、溶接時に必要なたるみ量を作製するためペイオフリールを巻き戻す。

前記が完了後にウエルダを起動して溶接が行われた後、加速される。そのときたるみなどがあり、張力が急激にかかるので、これを防ぐため張力の段階制御を合わせて行なう。

3.4 入側自動減速制御

ペイオフリールに所定の残ターン数を残した状態で高速より所望の速度まで減速を行なう制御で、初期残ターン数測定、後期残ターン数測定および減速点決定から構成される。

(1) 初期残ターン数測定

入側の速度とペイオフリールの回転速度よりコイル径を求める。これを一定回数行ない、統計的手法により異常データを排除し正確なコイル径を求め、同時に残ターン数を計算して後期残ターン数測定開始までの巻き戻しターン数を計算する。

(2) 後期残ターン数測定

初期残ターン数測定完了時より巻き戻しターン数をカウントし、初期残ターン数測定にて計算した値と等しくなった時点より初期残ターン数測定と同様の方法でコイル径を求め、残ターン数を計算する。

(3) 減速点決定

後期残ターン数測定完了後、巻き戻しターン数をカウントし計算された残ターン数より減算を行なう。またこのときの速度より減速距離を計算し、残ターン数と比較して減速開始点を決定する。

3.5 張力設定

溶接点が通過すると板の断面積が変わるので、張力値を変更する必要がある。このため、トラッキングにて各セクションの板の断面積が変わったことを検出するとそのセクションの張力値を新しい板に対応させるため変更する。設定する張力には、

- (1) ペイオフリール張力
- (2) 入側ループ張力

- (3) 中央処理張力
 - (4) 出側ループ張力
 - (5) テンション リール張力
- などがある。

上記中テンション リール張力に関しては、通常リール コイル径によりテーパ テンション制御を行なう。

3.6 センタ速度設定

中央処理部を板が通る速度は、材質や製品により異なる。これらの情報をあらかじめ計算機にインプットしておき、トラッキングにより自動的にセンタ速度の設定を行なう。

3.7 入側および出側ループ制御

(1) 入側ループ制御

入側ループ量はストリップの蛇行防止のため、短いほうがよいが溶接時間と中央部速度などから決定される最適値を保つように入側速度をコントロールする。ただし、自動減速前にはループ量を増すため、入側速度を速くする。これは溶接時、中央処理部で消費されるループ量を確保するものである。溶接完了後自動加速してループ量を所定値に戻す制御を行なう。

(2) 出側ループ制御

出側ループは、一般に常にループ量を最小に保つよう速度制御を行なう。

3.8 出側自動減速

図2に見るように検出器D1によって溶接点を検出後、カウンタC1により求まる速度などにより減速に必要な距離を求め、カウンタC1のカウント値Nが次式の値となったとき、減速指令を出力する。

$$N = N_0 + N_L - N_D + N_S \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 N_0 : 検出器D1が溶接点を検出する時のカウンタC1の値

N_L : PLG1からシヤ-までの距離のパルス換算値

N_D : 停止までに必要な距離のパルス換算値

N_S : 溶接点後方切断などのための補正量

多段階減速、停止の場合も同様である。

3.9 出側尾端処理

出側シヤ-にて切断された材料は、切断後尾端が所定位置にくるようにテンション リールに巻き取られる。つまり、図2に示すカウンタC2またはC3はシヤ-切断よりカウントを開始し、その値が次式で求まる N_T になったとき停止指令を出力する。それまでは徐動でテンション リールに巻き取られる。

$$N_T = N_{ST} - (t_1 v_N + \frac{1}{2} t_2 v_N) \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 N_{ST} ：シャーより所定位置までのパルス換算値

t_1 ：dead time

t_2 ：減速時間（電動機制御方式によって異なるが、一般的には GD^2 と回転速度 N の積に比例し、回生制動トルクとフリクショントルクの和に反比例する。

v_N ：テンション リールの回転速度(パルス換算値)

その後、コイル尾端をスナバ ローラとコイル リッタで抑え、自動的に払い出す。

3.10 重量分割

素コイルを所望の重量に分割するために、コイル中間部を自動停止（徐動速度に減速し、停止させない場合や全く減速を必要としない場合もある）させ、シャーにて切断してテンション リールに所定重量巻き取することを目的とする。

図2において、出側部のカウンタ C_1 の値 N が次式の値となったとき、減速指令を出力する。

$$N = N_0 + N_w - N_d + N_c \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 N_0 ：前回切断直後のカウンタ C_1 の値

N_w ：分割重量分パルス換算値

N_d ：停止までに必要な距離のパルス換算値

N_c ：補正分

重量算出には、板幅、板厚情報および途中での伸びならびに比重を考慮して行なう。

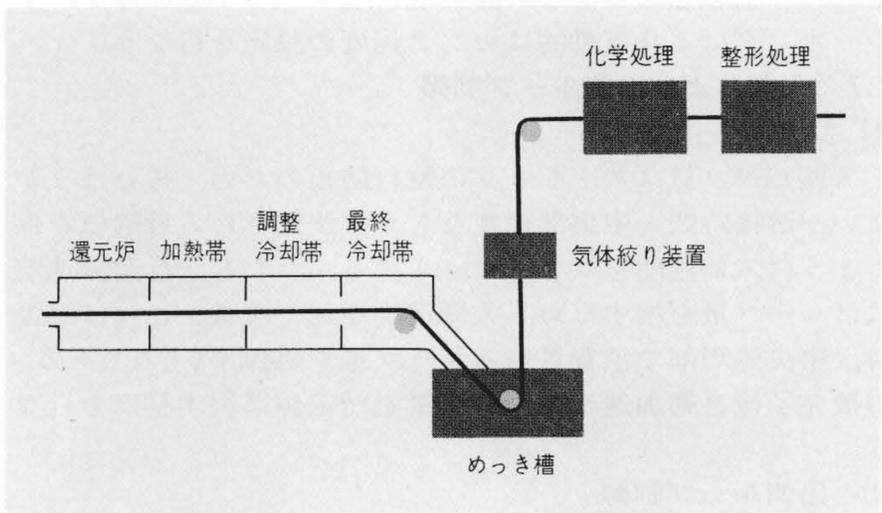


図3 連続式亜鉛めっきライン中央部 連続式亜鉛めっきラインの中央処理部の一般的なライン構成を示す。

Fig. 3 Center Part of Continuous Galvanizing Line

表2 タイプアウト項目 プロセッシングラインにおける標準的タイプアウト項目を示す。

Table 2 Typeout Items in Processing Line

	製品コイルの コイル仕様	制御データ	生産日報
ロ ギ ン グ 項 目	コイルNo.	張 力	生産重量
	板 厚	炉内温度	生産重量の分類
	板 幅	炉内圧力	生産時間
	コイル長	速 度	生産年月日
	コイル重量	めっき厚	組 名
	鋼 種	(これは、ライン の種類により異 なる。)	
	出鋼番号		

3.11 出側ハンドリング

テンション リールに巻き取られたコイルはコイルカーおよびコンベヤにより払い出される。このため、入側と同様の方法でトラッキングが行なわれ、その結果によりコイルカーおよびコンベヤの自動運転が行なわれる。またコイル重量の測定を行なう秤量機や結束機がある場合には、それらの制御タイミングも出力される。

3.12 中央処理部の制御

ここでは各種ラインの中央部処理のうち二、三の例について説明する。

(1) 連続式亜鉛めっき制御

本ラインの中央部は一例として図3に示すような制御からなる。ストリップは、まず還元炉において表面がクリーニングされ、加熱帯において輻射管で焼鈍のため加熱される。その後調整冷却帯および最終冷却帯を経て銑鈍され、めっき槽において最適めっき温度になるよう制御されめっき槽に入る。

上記の各炉においては内部で数点、出側で1点温度をフィードバックし、PI制御にて温度制御を行なう。さらに所定の焼鈍効果を得るため、冷却帯の出側温度フィードバック値により冷却帯内の温度こう配が一定となるようライン速度を制御する。

亜鉛めっき槽においてストリップ表面に付着した亜鉛めっき厚さ β 線厚み計などで測定し、そのフィードバック値によりめっき厚の調整を行なっている(図3)。

(2) 電気めっき制御

電解槽のタンク電流の制御について述べる。ライン速度、加速度をカウンタなどで測定し、これと外部から設定されるめっき厚、材料仕様などを合わせて電流制御量を決定する。1電解槽当りの電流には許容量に上限があり、これを超える程度の電流を必要とするようなライン速度になると使用電解槽を増加させる。逆にライン速度が小さくなれば、電解槽の使用数を減少させる。めっき厚は流れた電気量に比例することより、総電流をライン速度に比例させればめっき厚は一定となる。

(3) 焼鈍ライン

本ラインは次工程(めっきラインなど)のため焼鈍を行なうもので、前述の連続式亜鉛めっき制御における焼鈍と同様の温度制御を行なう。このとき、材料、最終製品によりその温度を変更する必要があり、各コイルの仕様をトラッキングし溶接点通過によりそのコイルの指定温度を決定し設定値変更を行なう。

(4) 酸洗ライン

酸洗ラインのDDCにおいては、酸洗槽の温度管理、濃度管理などが主体となろう。酸洗槽のDDC化に関する要望は少ないようである。たとえば、従来、槽内埋込みの検出器によるカタナリ制御を槽内への材料の出入量をカウンタで測定し、最適値に制御することも考えられるが、現状では酸洗槽のDDC化に関する要望は少ないようである。

3.13 生産管理とデータ ロギング

各素コイルの仕様およびそれからの製品の仕様は、一般にはテープ入力あるいは上位計算機とのリンケージによって制御用計算機に知らされる。この仕様に基づいて生産される製品コイルに関する各種の情報は、制御用計算機あるいはそれとリンケージしている上位計算機が編集し、タイプアウトする。これらの情報は次段階としてスケジューリングに使用される。タイプアウトされる情報としては、たとえば表2に示

すものがある。

4 計算機のハードウェア構成

本システムは小形制御用計算機HIDICシリーズを中心としたシステムで、その仕様と周辺機器の構成例は表3に示すとおりである。

DDCシステムの場合、一般に高速記憶装置を中心に演算されており、外部記憶装置は主としてロギングに使用される。周辺機器としてタイプライタは、同じくロギング用を主体とし、CRTは母コイルや製品のスケジュール、溶接点位置などのオペレータガイドに使用される。入出力点数は適用例によって異なる。検出器は溶接点検出器、CMD、PLGが主体となるが、取付位置、方法は十分に検討する必要がある。特にPLGは、スリップの問題と、ライン各部の基準速度となるデフレクタロールの選択に注意を要する。溶接点検出器は、応答速度とライン速度の兼ね合いから選択する必要がある。

5 今後のシステム構成

以上の説明からもわかるように、プロセッシングラインの制御ではDDCが不可欠となりつつある。入出側ハンドリング、溶接点トラッキングを基本におく各種タイミング制御は、技術的には一応の完成を見るに至っていると言っているが、中央の処理部についてはや金学的、化学的な数々のKnow Howが必要であり、メーカーサイドとしてはユーザーに十分協力して行くことが肝要と思われる。すなわち、メーカーとしてはユーザーが複雑な操作業務から解放され、製品品質向上、歩どまり向上などへ力を注げるよう、システム構成を考えるべきであると考え。したがって、今後は中央部の炉温制御などのソフトウェアは、ユーザー側にて担当し、操業開始後も時間をかけて改良して行くことが多くなるものと思われる。

次にプロセッシングラインにかぎらず、圧延設備一般に採用される自動化の傾向について述べる。

自動化の傾向は、前述の計算機制御というものから、いわゆるワイヤードロジックに至るまで、現在各種混在している。リレー接点で構成される程度のシーケンス動作を行なうのにプログラム可能なワンビットマシンが使用されはじめている。また、このプログラマブルロジックコントローラ(PLC)と制御用計算機との中間を行く、大規模集積回路(LSI)を用いたワンチップコントローラも出現し、従来のIC化論理素子で構成されていたワイヤードロジック方式の自動運転装置に置き換えられつつある。

システム取りまとめ上、どのように取り組むべきかはケースバイケースによるものと思われるが、一応の目安としては、

- (1) プログラマブルコントローラ
シーケンス動作を対象とする。
- (2) ワンチップコンピュータ

演算を必要とする制御でシステムの信頼性の点から、制御を項目ごとになるべくローカライズする場合は有効である。

(3) 制御用計算機

プロセッシングラインのようなトラッキングに基づいて、データとか各種情報を処理して行くような場合にきわめて有効である。

ハードウェア構成面から言うと(3)の制御用計算機の下に、(1)のプログラマブルコントローラ、(2)のワンチップコンピュ

表3 ハードウェア構成 一般的亜鉛めっきライン用および連続焼鈍ライン用のハードウェア構成を例示した。

Table 3 Examples of Hardware Specifications

項目	ライン	亜鉛めっきライン	焼鈍ライン
中央処理装置		HIDIC 100 コア容量 16k語 割込レベル 4レベル×16ビット	HIDIC 350 コア容量 28k語 割込レベル 5レベル×16ビット
外部記憶装置		ドラム 32k語	なし
コンソール 入出力装置		ASR PTR	ASR PTR
周辺入出力装置		タイプライタ 3台 CRT "	タイプライタ 1台
入出力点数		デジタル入力 16W アナログ入力 56点 デジタル出力 16W アナログ出力 19点 カウンタ 10台	デジタル入力 69W アナログ入力 48点 デジタル出力 34W アナログ出力 8点 カウンタ 15点
検出器		CMD 5台 CMD(溶接点検出用) 3台 パルス発信機 9台	CMD 10台 CMD(溶接点検出用) 4台 パルス発信機 13台 位置検出器 9台
入出力盤		制御盤 2面 設定器(操作卓に組込)一式	制御盤 8面 設定卓 4面

ータを適宜リンケージすることになる。

ソフトウェアの面から言うと、ハードウェアがストアードプログラムの方向に向かっているのとあいまって、従来から千差万別と言われる圧延設備のハンドリング操作についても各動作を単位動作の集合としてとらえ定量化することにより、システム計画の当初において、記憶容量、入出力点数の決定ができるようになってきた。またシステム計画においてユーザーと交わされる運転方案についても、シーケンス動作を当初からシンボリックに表現し、運転方案から直接プログラミング可能な、表記法も開発されている。

最後に常に言われていることであるが、自動運転を成功させるためには、

- (1) 検出器の改良開発
 - (2) 自動化しやすい機械設備改良開発
- が必要で、ユーザー各位、機械メーカーおよび検出器メーカーとそれぞれ密接に協力し、たゆまざる努力をして行かねばならない。

6 結 言

以上、これまでの経験により、プロセッシングラインに計算機制御を導入した場合の、目的、機能、効果などについて述べた。今後、ますます計算機採用が増加するであろうが、特にプロセッシングラインでは、機械の動きをよく知って制御するとともに、機械側においても自動運転に適したような配慮が必要と思われる。また、プロセッシングラインの特徴として、連続運転されることを考えると、一段と高い信頼性が要求されるとともに、故障時のことを考えて機能のローカライズを考えていく必要がある。

参考文献

- (1) "Steel takes many mini steps in control", Iron Age 4 (1973)
- (2) 水野, 松香ほか: 日立評論 53, 746 (昭46-8)