

鉄鋼業における電子式はかりについて

Electronic Weighers Used in Iron and Steel Industry

角 田 辰 亥*

Tatsui Tsunoda

瀬 川 嘉 一**

Kaichi Segawa

Synopsis :

Following a brief review of the background how electronic weighers came to be used in recent years in iron and steel industry, this article discusses the structure, merits and practical applications of the load cell weigher, digital weigher, electronic belt weigher and constant feed weigher.

Above all, emphasis is laid on the explanation on the transducer for load cell, optical pulse generator, reversible counter, integrator for belt weigher, current to pulse frequency converter, and frequency to voltage converter, which are the principal elements of these electronic weighers.

The article, in closing, touches on the current problems and prospective aspects regarding weighers used in iron and steel industry.

1. はじめに

重量測定は物の管理や社会秩序の基準となるために、種々の秤量機や秤量方法が古来より考案、使用されてきた。一方現代の鉄鋼業は、多様な工程からなり、その間、多種、多量の物の移動があり、使用されているはかりの数、種類も多く、またその機能も重要となってきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

はかりはその目的により次のように大別できる。

(1) 原材料の受入れ、製品の積出しなど、取引に用いる「取引用はかり」で、ベルトウェア、トラックスケール、各種製品用台はかりなどがこれにあたる。

(2) 各工程での歩止まり管理や製品検査に用いる「管理用はかり」で、インゴットおよびスラブスケール、各工程での受け払いの各種はかり、メッキ付着量測定用はかりや鉱石の破碎テストに使用するはかり、などがこれにあたる。

(3) 「配合用秤量システム」などに使用される

「作業用はかり」で、高炉の原料装入用ホップスケール、転炉の副原料投入ホップスケール、焼結のコンスタントフィーダなどがこれにあたる。

これらのはかりはその使用目的に応じて、いろいろの注文があるが、いずれも高精度であること、信頼性が高いこと、自動化が容易なこと、即応性のあること、保守の容易なことが望ましく、プラントの大規模化、高速・連続化が進むにつれ、これらの要求は厳しくなってきた。特にはかりのオン・ライン化が進むとともに、自動化さらには無人化の可能性が追求されるようになり、即応性および信号処理の容易さが第一要件となって、サーボ機構など電気・機械的な要素やエレクトロニクス技術が導入され、はかりの電子化が促進された。しかし、ロードセルなどを使用した本格的な電気式はかりは、まだ機械式はかりに比較して、精度と安定性において劣るために、全面的に従来からのはかりにとって代わることができず、まず機械式はかりが使用できなかったクレーン作業用はかり、すなわちクレーンスケール⁵⁾や、機械的はかりでは精度向上の期待ができないベルトウェ

* 計量器工場開発設計室室長

** 計量器工場開発設計室掛長

アやコンスタントフィードウェアとしての応用研究が行なわれた。

しかもクレーンスケールやベルトウェアは製鉄所においても主要な役割を果たす「はかり」であるから、鉄鋼共同研究会秤量分科会などにおいてもその開発が促進された。

その結果、電子技術の採用となり、電子技術の向上とともにはかりの精度その他の特性が向上し、所望の日標に達することができるようになった。

当社計量器工場でも、このテーマに取組み、ある程度の成果を得た。

もちろんこれらの技術、特にロードセル使用の技術は、クレーンスケールのみでなく一般のはかりにも、直ちに利用できるものであり、はかりの大きな分野として、機械式はかりに代わるようになったが、それは応答速度の速いこと、出力信号が電気量であることに加えて、機械的な可動部分がなく長寿命が期待できること、信号処理部がプラグインシステム化でき、保守負担が減少するなどの利点があるからである。

一方はかりの自動化のための電子化は順調な発展経過をたどり、工程の自動化はもちろん、計測値の伝送、記録、集計などデータ処理の自動化の分野でも大きな効果をあげたが、特にデジタル化の研究は、従来の機械式はかりがもつ高い精度をほとんど損なわずに伝送、利用できるのも、自動化の質も高くなり、電算機による工程管理も可能になった。

以上のごとく、「はかりの電子化」は鉄鋼業によって開発、実用化ともに推進されてきたといえる。

筆者らは「はかりの電子化」に取りくんできたので、それらの一部をここに紹介し、標題の責を果たしたいと思う。

2. ロードセル式はかり

ロードセルは荷重をその大きさに比例した電気信号に変換する機械量—電気量の変換器の総称であって、これを重量の検出器として用い重量測定をするはかりをロードセル式は

かりという。したがってロードセル式はかりは、ロードセルとその出力信号を制御、指示、記録を行なう部分とで構成され、特に後者の信号処理部に電子技術が多く用いられるので、「電子式はかり」の代表的なものである。

ロードセルにはストレンゲージ式、磁歪効果式、差動変圧器式などがあるが、現状では精度、安定性の面から、ストレンゲージ式が優れているのはかりとしてはもっぱらこれが使用されている。

2.1 原理と特徴

ストレンゲージ式ロードセルは図1(a)(b)に示すように、金属弾性体(起わい体と呼ぶ)に、伸縮によりその電気抵抗値の増減するストレンゲージを貼りつけたもので、荷重方向に貼りつけたものをアクティブゲージ、これと直角方向のものをダミーゲージと呼ぶ。さらに温度補償の目的で制温ゲージを荷重により歪の生じない位置に付加し、プロテクタで一体とし、これらのゲージを図2のようにブリッジに接続し、電源Eを供給する。

いま起歪体に荷重が加わると、アクティブゲージAA'の抵抗値は大きく変化し、ダミーゲージBB'のそれはあまり変化しないので、図2のAA'BB'から成るブリッジは、不平衡となり出力端に、出力電圧 e_0 が発生する。したがって起歪体に生ずる歪が、荷重に比例する限り、この出力電圧は荷重に比例する。なお制温ゲージCC'は電氣的に温度に応じてブリッジの感度を変えるので、起

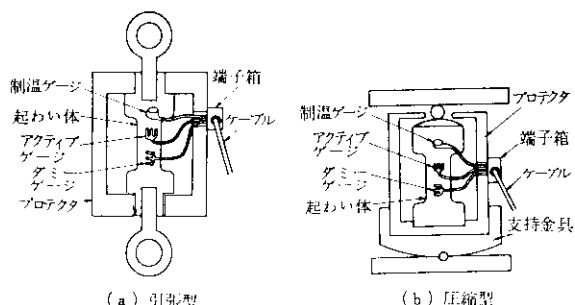


図1 ストレンゲージ型ロードセル

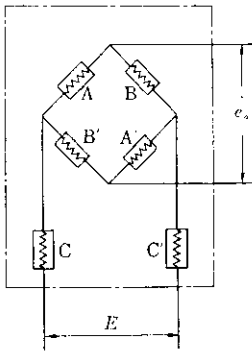


図2 ストレンゲージ
ロードセル結線図

歪体のヤング率の温度変化を補償することができる。

このロードセルをはかりに用いると、一般の機械的なはかりに比し次のような利点がある。

(i) 取り付けスペースが小さくてすむので、設置が容易になり、適用

できる範囲も広がる。たとえば、クレーンスケールなどとして利用できる。

(2) 出力信号が本質的に電気信号なので、信号の処理（伝送、指示、データ処理、制御）が行ないやすい。

(3) はかり系の固有振動数を高くできるので、即応性が得られる。（ $10^2 \sim 10^3$ Hz 程度）

(4) 特に大型のものになると、価格的にも割安となる。

その反面、次のような欠点を有する。

(1) 出力信号電圧が低い（約 10mV 程度）誘導雑音・熱起電力や回路素子のドリフトなどの影響をうけ易く、結果的に精度が阻害される。

(2) 制温ゲージや補償抵抗による温度補償を行なってもなお、必要精度が高いと温度の影響によるゼロ点変動が無視できないことがある。

(3) 過負荷に対して弱く振動や衝撃をうける場所での使用に制限をうける。

(4) 故障が突発的に生じ、かつ目に見えない

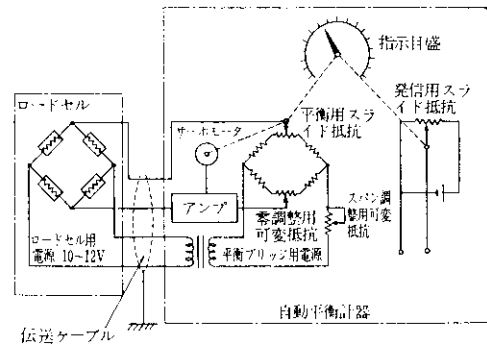
め作業上、保守上の不安が大きい。

(5) 保守にある程度の専門的知識を要する。

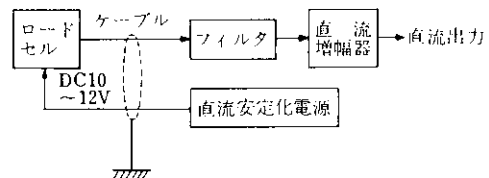
いろいろの欠点にもかかわらず、応用の途が拡大の一途をたどったのは、上記の利点が魅力的であったためであり、当社でもこの利点を生かし、欠点を克服すべく後述の LCT 変換器による方式を開発した。

2.2 構成と用途

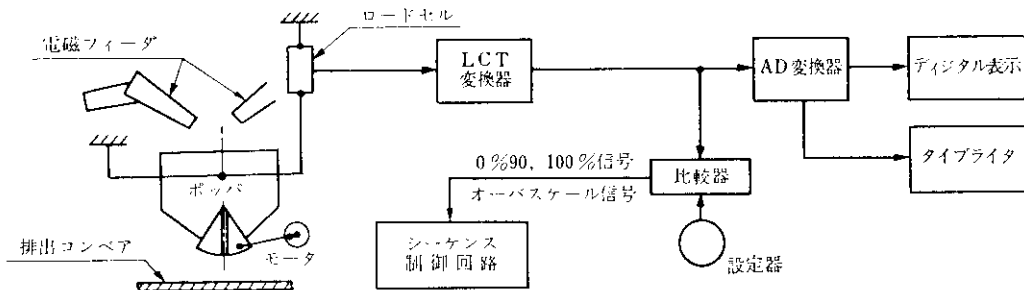
図3にロードセル式はかりの構成例をあげる。図(a)は従来行なわれている交流方式で、ロードセルに交流を印加し、その出力をケーブルで伝送し自動平衡計器でこれを受信表示する。



(a) 交流方式ロードセル式はかり



(b) 直流方式ロードセル式はかり



(c) LCT 交換器を用いたロードセル式はかり

図3 各種ロードセル式はかりの構成例

この場合、微弱なロードセル出力を伝送するため外来雑音の影響を受け易く、またサーボ系としての精度にも上限がある。

特に制御もしくは記録のために、直流信号が必要な場合は、スライド抵抗と直流電源を用い、またデジタル信号が必要ならば、機械的なシャフトエンコーダを用いるか、前述の直流信号をデジタルに変換して用いる。

図(b)は直流方式で、ロードセル電源として直流電圧を用いるものである。これは交流方式と異なり外来雑音はフィルタによって消去することができ、信号処理もやり易いが、直流増幅器の安定性とロードセルの熱起電力が問題となる。

図(c)は矩形波をロードセル電源として用いるもので、2・3項において詳述する変換器により、ロードセル出力を直流電流に変換し、これを伝送する。この方式は出力が高レベルであるために、雑音の影響を受けにくいばかりでなく、AD変換や設定値との比較などの信号処理がただちに行なえるという利点がある。これら3例の得失の比較を表1にまとめておく。

製鉄所においてロードセルそのものは、圧延機その他に広く使用されているが、はかりとしては

あまり高精度が期待できないため、普及は遅かった。しかし特に高精度を要する個所以外では、前記の利点に着目して研究が進められた。中でもクレーンスケールには、機械式はかりが使用できないため、特に開発に重点がおかれ、その過程で精度と安定性の向上が促進され、最近では他のはかりと競合、代替する所まで成長し、クレーンスケールの他、ベルトウェア、ホップスケール、台はかりなどに広く用いられている。

2・3 高精度増幅変換器 (LCT 変換器)

ロードセルはかりの精度を阻害する最大の問題は前述のように、ロードセルの微弱な出力電圧を伝送線に乗せる前に上手に増幅、処理する方法にあると判断し、これをもとにロードセル式はかりの開発項目として、次の4項目を選んだ。

- (1) ロードセル用高精度増幅変換器
- (2) 雑音、温度変化に強いAD変換器
- (3) デジタル型表示器
- (4) 誘導無線方式によるデータ伝送方式

いずれもクレーンスケール、装炭車といった移動体に対する適用を当面の目標としているが、上記目標中(1)項が、最も基本的な役割を果たすの

表1 ロードセル印加電圧による性能比較

印加電圧	基準電源	雑音外乱による影響	増幅	伝送	精度	信頼性・寿命	データ処理
直流電圧	得易い。 ツェナダイオードなどにより容易に0.1%/50deg.程度が得られる。	接統点の温度差による熱起電力 自動平衡回路の場合はスライド抵抗の熱起電力が大き。 商用周波からの雑音はフィルタにより除けるが時定数が大きく応答が遅くなる。	困難、増幅器のドリフトが大	フィルタを用いれば商用周波のノイズは防げる	直流増幅器と熱起電力で決まる0.5%位	ソリッド化可能、小型長寿命	必ず直流増幅器を要する。その後指示、記録AD変換後データ処理可
交流電圧	得にくい。 必然的に自動平衡回路による電源電圧補償を必要とする。	直流分の変化は誤差にならない。商用周波の雑音は除けない。平衡回路、増幅器などは雑音除去比が高くなるよう注意しなければならない。	容易	動力線を分離し配線、配管に留意。高価。100~200mが限度容量バランスが必要	注意すれば指示精度0.1%位、それ以上はスライド抵抗の非直線性ギアのバックラッシュにより不可能	高精度を得るには自動平衡メカニズムが必要なので信頼性、寿命に限界	データ処理には直流が必要であるためいったん自動平衡計器で受けて改めて直流電圧に変換または符号化する
矩形波	得易い。 直流と同様	矩形波の周波数を選ぶことにより商用周波の影響を防げる。 熱起電力に対しては影響なし。	容易	高レベルなので距離は数kmまで可 配線、配管は特別留意する要なし	遠距離伝送しても0.1%以上	ソリッド化、小型長寿命	直ちに指示記録AD変換可能 工業計器と直接接続可能

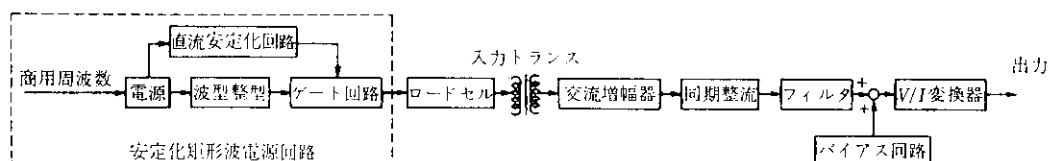


図4 LCT変換器ブロック図

で、これについて以下に詳述する。

LCT変換器の原理は図4のブロック図に示すように、ロードセルに矩形波電圧をかけ、この出力を入力トランスで絶縁した後、交流増幅器で増幅し、その出力をスイッチングトランジスタで同期整流する。この出力をフィルタしてのち、バイパス電圧を加えて電圧—電流(V/I)変換器により電流信号に変換する。このようにロードセル電源として、矩形波を用いると増幅器のドリフトや接続部の熱起電力など従来の直流方式で問題になった点が全く誤差とならず、また商用電源からの雑音も図5に示すように、矩形波電源の周波数を商用電源の $\frac{1}{2}$ にすることにより防止することができる。

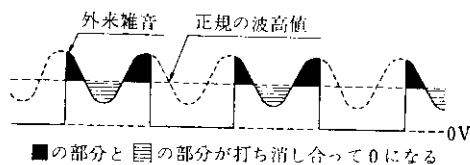


図5 商用周波数雑音に対する説明

また交流方式と比べても、誘導雑音が除去できること、サーボ機構につきものの非直線性、部品の損耗が避けられるなど、精度、寿命いずれの面でも優れている。

なお交流増幅器とV/I変換器には高ゲインのICや高密度モジュールを用いて、精度と安定性を確保している。V/I変換後の出力はレベルが高いので特別な伝送線を用いなくても、数kmの遠距離伝送が行なえる。

LCT変換器の主要仕様と特徴を次に記す。

(仕様)

入 力：ロードセル（内部抵抗350または120

オーム）最大4個並列まで。

出 力：4~20 mA 直流 リップル 1/2000

以下

直 線 性：0.1%フルスケール

ゼロ調範囲：50%フルスケール

スパン調範囲：±5%フルスケール

温度変化：±50 ppm/deg.

使用温度範囲：-10°C~+50°C

電 源：AC 100V 60または50 Hz

外形寸法：250 mm(幅)×300 mm(高さ)×

150 mm(奥行) 防塵型

重 量：6.0 kg

(特徴)

- (1) 高精度。熱起電力・誘導雑音に強い。
- (2) 長寿命、シリコントランジスタによるソリッド化。
- (3) 遠距離伝送が安価かつ容易。
- (4) 信号処理が容易かつ融通性に富む。
- (5) 入出力が絶縁されている。
- (6) 電源内蔵、セルを接続すれば直ちに測定可能。
- (7) 保守が簡便。切換えスイッチにより容易にセルの良否と変換器の良否が判定でき、変換器はカード化されている。

2.4 使用例

2.4.1 造塊用クレーンスケール⁶⁾

造塊作業は製鉄所の中でも自動化困難な工程であるが、これはインゴットケースへの溶鋼注入量が、時々刻々秤量できる秤量機がなかったからで、溶鋼注入用クレーンスケールが久しく渴望されていた。

そこで当工場でもロードセルとLCT変換器な

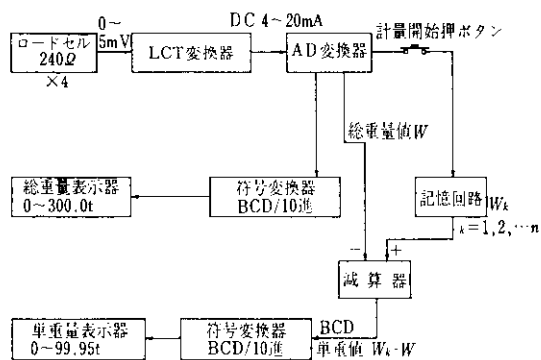


図6 クレーンスケールブロック図

らびにAD変換器を用いたクレーンスケールを企画し、本年初頭より、水島製鉄所において使用し好成績を得た。

図6に示すブロック図によりそのあらましを説明すると、吊りビームに設置された4個のロードセルからの信号を、巻揚げドラムを経て、クラブ上に置かれたLCT変換器に入れて4~20mAの電流に変換し、ケーブルキャリアにより伝送し、AD変換する。この値は総重量 W の瞬時値を与える。一方計量開始押しボタンを押すとその時の総重量 W_k が一時記憶され、それ以後は単重量 $W_k - W$ が時々刻々演算されて、クレーンの下部に大型デジタル表示器で表示される。同時に総重量も表示される。

このクレーンスケール自体の運転時の成績は表2に示す。これはインゴットの注入を下り寸で行ない、その時のクレーンスケールの読みをインゴットスケールの読みと比較したものである。

一方、表3にクレーンスケールを用いて注入作業を行なった場合の鋼重偏差を示す。

表2 クレーンスケールの精度

鋼塊単重	10~16t	18~35t
データ数	64	109
分散	104 kg	126 kg
平均値	-73 kg	-93 kg

この場合の偏差は下り寸による方式に比し、約1/2位となり、改善の傾向がみえる。

また信頼性に関しては設置以来10ヶ月にわたり、無故障で作動しており、精度、信頼性の両面からこの方式が優れていると判断できる。

表3 鋼重偏差の比較
(数値はインゴット1tあたりの偏重)

鋳型	クレーンスケール注入			下り寸注入		
	データ数	平均値 (kg)	分散 (kg)	データ数	平均値 (kg)	分散 (kg)
C 23 F	132	2.7	5.26	222	4.1	9.70
C 24 F	309	3.2	3.87	627	8.6	10.28
M30 F	55	1.8	4.92	156	10.5	9.67

2.4.2 転炉副原料秤量システム

ロードセルとLCT変換器の組み合わせ応用例として、転炉の副原料投入秤量機がある。図7に秤量制御系を示す。

ここでは炉体一基に対し4台のホップスケールが設置され、予定された量の副原料を所定のパターンに従って炉内に投入する。

ホップ内の副原料はレバー系を経てロードセルにその荷重を伝える。ロードセルの出力信号はLCT変換器で増幅され、重量検出信号として、コンパレータ(電圧比較器)に入る。一方秤量目標

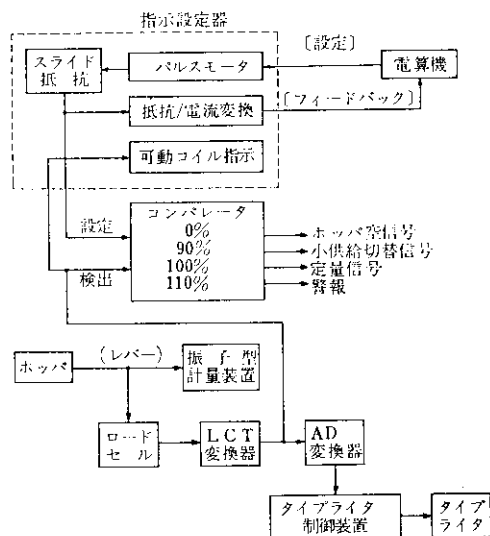


図7 副原料投入はかりブロック図

値は電算機からパルス列で与えられ、パルスモータにより指示設定器内のスライド抵抗を動かす。この抵抗値は電圧に変換されて、前述の重量検出信号とコンパレータにより比較され、ホッパに供給するフィーダの制御を行なう。

指示設定器には秤量値のアナログ指示計が付属しており、目標値との照合が行なえる。

検出信号はAD変換器にも分岐しており、ここでデジタル信号に変換された重量値はタイプライタにより記録される。

このはかりは苛酷な使用条件にあるため、可動部のないことや種々の制御信号を必要とするため信号処理のし易いことなどの点から、ロードセルを使用し、さらに荷重検出端から制御室までの距離が長いことから、LCT変換器を用いた。

この方式により精度、信頼性とも満足できる結果が得られた。

3. デジタル式ばかり

従来のはかりは重量指示が指針または送りおりの位置による、いわゆるアナログ表示が大部分であった。

しかるに最近、デジタル技術がはかりにも導入され、指示、記録のみならず制御の面でも広く利用されるようになった。

はかりのデジタル化は直接、間接の利益をもたらした。まず直接の利益として、従来のアナログ表示に比し、高精度表示ができ、読取り誤差がないこと、数値の丸めに伴う判断が不要なこと、製鉄所では1つの要件ではあるが遠方からもよく見えること、などである。

また、間接的には表示結果にあいまいさがないため、朔って検出、伝送などの精度そのものが向上し、さらにデジタル化がパルス技術あるいは半導体技術の成果の上に進められた結果、装置のソリッド化ひいては信頼性向上に結びついたことである。

デジタル式ばかりは荷重検出の方法とそれに対応していかなるAD変換方式を採用するかにより次のいくつかのパターンに分類できる。

(荷重検出方法)

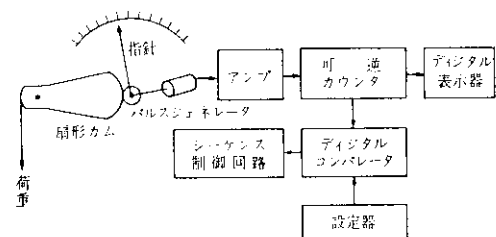
回転角	ステップカム方式
	パルスジェネレータ方式
	シャフトエンコーダ方式
変位	パルスジェネレータ方式
	電気量-電子式AD変換方式
力	電気量-電子式AD変換方式

これらのうちパルスジェネレータ方式は加減算やゼロリセットのし易さ、トランスジューサの信頼性の点から、はかり用として好適であり、また電子式AD変換器は、ロードセル式ばかりのように信号が電気量で与えられる場合に必須の要素であり精度、信頼性ともに高いレベルにあるので、これについて説明を加える。

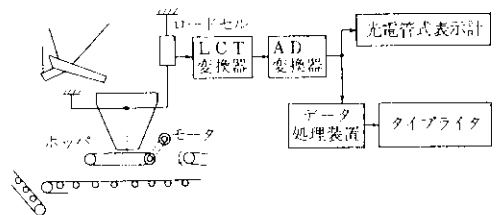
3-1 構成

図8にデジタルばかりの構成例をあげる。図(a)は指針軸回転角をAD変換する例で、扇形カムに伝えられた荷重は指針軸と連結された光電式パルスジェネレータを回す。パルスジェネレータは回転方向に応じて正逆転パルスを発生し、このパルスはアンプで増幅されて、伝送される。これを可逆カウンタで数えて重量のデジタル値を得る。

この信号はデジタル表示を行ない、一方デジタル的に設定された設定値とデジタルコンパレ



(a) パルスジェネレータを用いたデジタル式ばかり



(b) LCT変換器を用いたデジタル式ばかり

図8 各種デジタル式ばかりの構成例

ータで比較され、はかりのシーケンスの制御に使われる。

図(b)はロードセルとLCT変換器により、荷重をいったんアナログ信号に変換し、これを電子式のAD変換器によりデジタル信号にした例で、デジタル表示および印字を行なうものである。

3.2 光電式パルスジェネレータ

振子式計量装置などのような機械的な角変位を回転方向により位相の異なるパルス列に変換するもので、いわゆる回転角一パルス変換器である。発生するパルスは、入力軸単位回転角当り1パルスずつ発生するので、この後段の可逆カウンタの内容を任意の時点でゼロまたは適当な数値にセットできるため、多銘柄の秤量の際、個々の銘柄量の表示が簡明になること、2チャンネル以上の入力パルスをデジタル的に加算または減算できること、繰り返し秤量するとき累積が行なえること、変換器の構造が割合簡単に1回転当りのパルスが多くとれ、また信頼性も向上することなど、いくつかの利点が考えられる。

図9(a)はパルスジェネレータの内部の円板に開

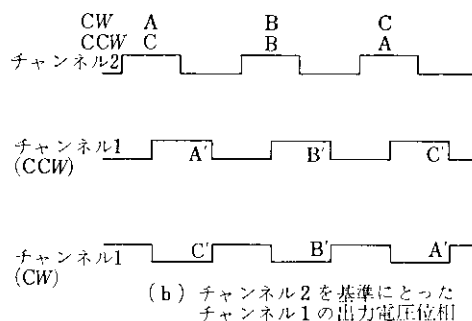
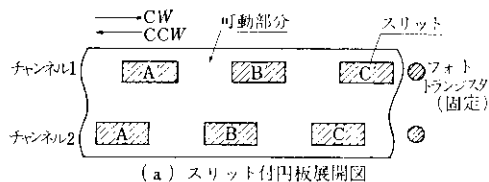


図9 パルスジェネレータの説明

かれたスリットの展開図である。多数のスリット・・・・A～C・・・, A'～C'・・・があり、これらは光源により照射されている。一方、2個のフォトランスタチャンネル1、チャンネル2があり、これらの出力はCW方向のときはC'C, B'B, A'A・・・C CW方向のときはAA', BB', CC'となり、得られるパルス列はチャンネル2を基準にとると図9(b)のようになる。すなわち、チャンネル1の出力はチャンネル2を基準と考えると、回転方向により位相が180°異なっている。これを可逆カウンタで方向弁別し、加算または減算方向に数える。

主な仕様は次のとおりである。

メーカー、および型式：小野測器 PP-6M

起動トルク：3 g・cm 以下

慣性モーメント：150 g・cm²

温度範囲：-5～55°C

パルス数：600パルス／1回転

最高分解度：10 kHz

ランプ寿命：10000 hr

このパルスジェネレータの単体は、開発したものではなく選定したものであり、問題は利用方法にあった。すなわち、外部からの機械振動による誤動作と、電気機器ノイズによる誤動作との調和をいかにとるかにあった。前者は特にスクラップはかりなどにおいて、重くて固いものを高所から落下させるときや圧延設備の床振動などに見られ、その振動数は速いもので10 kHz 前後に達することがある。後者については電気機器より発生する雑音が広い帯域にあり、両者が混在する帯域では、誤動作が避けられなかった。したがって両者の帯域を分けるくふうを施し、機械ノイズは数え、電気ノイズは避けることにより誤動作を防いだ。このタイプのトランスジューサの信頼性については、当初懸念が少なからずあったが、現今では使用実績も増加し、期間も長いもので2年に達し、かつ光源ランプも発光ダイオードに変更するなどして、工業用用途に十分使用し得る状態になった。

3.3 可逆カウンタ

(1) 原理

パルスジェネレータからの信号を数えるためのカウンタは次のようになっている。

入力パルスは正または逆回転の判別をされ、正転または逆転に従って加減算母線が切り換えられる。一方入力パルスは遅延回路を通して母線切り換えの過渡現象が十分終了してから、4個のフリップフロップで構成された可逆カウンタに入る。ここで計数が行なわれ、この内容は転送指令により、必要なときに転送ゲートを経てバッファメモリに移される。このメモリから表示管用デコーダドライバを駆動し、あるいは外部にBCD電圧出力を供給する。したがって信号取り出しとカウンタ動作は独立に行なえるので、読みとり便利な周期で信号を読み出すことや表示を固定することもできる。

なお可逆カウンタそのものの応答速度は耐ノイズの関係上約 20 kHz 以下となっており、通常の電源ノイズにも乱されないようくふうしている。

(2) 主仕様

入力：2チャンネル180°異なる矩形波入力
分解度：50μsec

BCD出力：5V 1kΩ 電圧出力

電源：+12, -6V, +200V (内蔵)

その他：表示管付、バッファメモリ付

(3) 用途

可逆カウンタ：EI-500-50型

積分型AD変換器：EI-500-41型

自動送錘型計量装置：AUE-540型

可逆カウンタは秤量値の表示のために、パルスジェネレータのパルスを計数表示するEI-500-50型表示器としてまとめたが、その他電流入力(ロードセルなどの場合)のデジタル表示器として、次項で説明するAD変換器の計数部に組み込み、EI-500-41型を作った。さらに、パルスモータと組み合わせて、自動送錘型計量装置AUE-500型の計数部に用いている。さらにはパルス除算回路としても応用できる。

3.4 電流入力型AD変換器

LCT変換器その他の電流入力を機械的な手段を用いず、直接デジタル化するには、AD変換器を用いるが、一般に温度特性と耐雑音特性が悪

いので、独自の積分型変換方式を開発した。

この型のデジタル表示器であるEI-500-41型の構成は電流一周波数(I/F)変換器と可逆カウンタおよびゲート制御回路より成り、ブロック図を図10に示す。

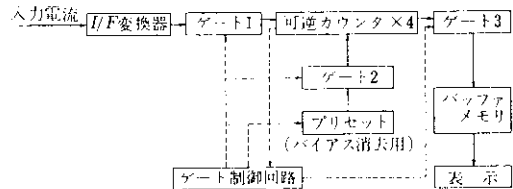


図 10 EI 500-41型 AD変換器ブロック図

入力電流(4~20 mA 標準)はI/F変換回路によりパルス周波数に変換され、このパルスは一定時間開くゲート1を通して可逆カウンタに入る。可逆カウンタは計数パルスが入る前にあらかじめ4 mAのバイアス分に相当するだけ減算方向(負数)にセットされ(プリセットの内容がゲート2を通して負にセットされる),計数開始とともにしだいに0に近づいていく。計数内容が0になった瞬間、可逆カウンタは加算にセットされ、ゲート1が閉じるまで計数する。

計数終了時のカウンタ内容はゲート3によりバッファメモリに移され、外部信号および表示として取り出される。

主な仕様は以下のとおりである。

入力：4~20 mA DC 入力端電圧降下3 V

出力：ネオン管表示ならびにBCD電圧出力

直線性：0.1%

温度特性：30 ppm/deg.

I/F発振周波数：最大 10 kHz

ゲート時間：0.4 sec 又は 0.5 sec

外形寸法：270 mm(幅)×162 mm(高さ)×
353 mm(奥行)

重量：4 kg

3.5 電流一周波数変換回路(I/F変換回路)

電流入力をパルス周波数に変換するもので、その存在はちょうどアナログとデジタルの間位的な位置にあり、両者の橋渡しをする。アナログ電流値をこの変換器によりパルス周波数に変換すると、まず一定時間幅のゲートで、この周波数を数

えることにより、計数型AD変換器を構成できることは前項で述べたとおりである。またカウンタで発生するパルスを計数するとアナログ量の時間積分が行なえる。また、時間的に均一なパルス列が得られるから、これをパルスモータに入れるとアナログ量—機械変位または速度の変換ができる。さらに周波数—電圧変換器と組み合わせると高精度のアイソレータができる。このように多方面の応用を企図してこの回路を開発した。

(1) 原 理

I/F変換器は図11に示すように積分コンデンサ C_I と電圧比較器 C_0 およびベース接地トランジスタ(T_1 , T_2)によるコンデンサ充電型電流周波数変換器である。今 $E_c = 0$, E_r が数ボルトの場合を考えると、 $E_c < E_r$ ゆえにスイッチ S_1 はONとなり S_2 , S_3 はOFFである。すると入力電流と等しい電流が T_1 , S_1 を通して C_I に流入し、 C_I の端子電圧は傾斜①に示すとおり E_r に向かって直線的に上昇する。 $(T_1, T_2$ はベース接地トランジスタを用いるので出力インピーダンスが高く電圧は直線的に上昇する)。そして $E_c = E_r$ になると電圧比較器 C_0 が働いて S_1 OFF S_2 , S_3 ONとなる。すなわち $E_c > E_r$ となる。すると C_I は T_2 — S_2 の回路で放電し、 E_c は傾斜②に示すように下降する。 $E_c = 0$ に達すると再び電圧比較器 C_0 により S_1 , ON S_2 , S_3 OFFとなり $E_c > E_r$ となって再び C_I は充電を開始する。この過程を繰返して C_I の両端は図に示すように三角波になる。これは $E_c = E_r$ になった瞬間に C_I を短絡させ $E_c = 0$

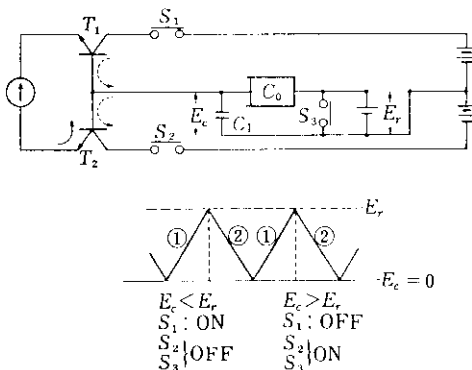


図 11 I/F変換回路ブロック図

にし、再び充電を繰り返すのこぎり波方式に比し、コンデンサ放電に要する時間が無限少でなくてよいので精度が向上する。

(2) 主 仕 様

入 力：4～20 mA DC 標準

出 力：1.5～7.5 kHz 矩形波またはパルス

直 線 性：0.1%

方 式：積分三角波方式

(3) 用 途

EI-500-41型 AD変換器

ERM-10型 電気式ベルトウェン積算装置

KC-V7型 コンスタントフィードウェア

3.6 使用例

3.6.1 スクラップはかり

最近のはかりは用途、方式が何であれ、多かれ少なかれ信号処理の面でデジタル信号を扱っている。スクラップはかりもその例外でなく、最近の例である表4からもわかるようにデジタルと無縁なものは1例しかない。計量装置として振子カム式又はロードセル式を用いることが多いが、

(1) 0.1%以上の精度を要求されるときは振子カム式を用い、取付けスペースの制約の多いとき、精度が少し劣ってもよい場合はロードセルを用いる。

(2) AD変換には主としてパルスジェネレータ方式を用いるが、これは偏差や銘柄別重量を出すことが簡単にでき、かつステップカム式に比しトラブルも少なく寿命が長いからである。

(3) クレーンマンに対する表示はデジタルで行ない、銘柄別、あるいは投入目標からの偏差を表示するなど、多少のデータ加工を行なって作業を容易かつ単純にしている。

(4) スクラップはかり共通の問題として原料の多様性、サイズのばらつき、運搬、投入の効率が低いことがあげられ、他のはかりのように完全自動定量切り出しはむづかしい。ただ表4の例Lはこれを完全無人化している点で鉄鋼業でも注目すべき例である。

つぎにスクラップはかりの代表例として表4の例Bにつき略述する。

表 4 スクラップはかり実用例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
化 向 先	転 炉	転 炉	電気炉	電気炉	転 炉	電気炉	転 炉	電気炉	電気炉	電気炉	電気炉	キューボラ
秤量/精度	120 t / 100 kg	140 t / 100 kg	50 t / 50 kg	35 t / 50 kg	35 t / 20 kg	35 t / 20 kg	50 t / 100 kg	40 t / 50 kg	40 t / 100 kg	40 t / 200 kg	40 t / 100 kg	1t/5kg 他
秤量方式	振子-カム (P-2)	振子-カム (P-2)	振子-カム (P-2)	振子-カム (S L C)	振子-カム (P-2)	振子-カム (P-2)	振子-カム (P-2)	振子-カム (P-2)	ロードセル 20 t × 4	ロードセル 20 t × 8	ロードセル 50 t × 4	ロードセル 各 12 t × 3 コンベア付 台秤
原料供給	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	リフマダ バグ	振動フィー ダベルト
伝 送	ダブルシン クロ (A C 高レ ベル)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	パルス列 (P P 6 V)	A C 低レ ベル (矩形波)	カーテン ケーブル D C 高レ ベル	A C 低レ ベル
A D 変換	ステップ スイッチ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	パルス ジェネ レータ	逐次比較 A D 交換		逐次比較 A D 交換
表 操作室	アナログ (ダイヤル)	デジタル (累計偏差 設定)	D. 総重・ 銘柄・ 偏差	D. 総重	D. 総重・ 銘柄	D. 総重・ 銘柄	D. 総重・ 銘柄	D. 総重・ 銘柄	D. 総重・ 銘柄	A. 偏差 銘柄		D. 銘柄・ 総重
示 遠 隔		デジタル・ 偏差	D. 偏差	D. 総重	D. 総重・ 銘柄	D. 総重・ 銘柄	/	過 不 足		A. ダイア ル 偏差		A. ダイア ル
印 字	ADD O 13-353-00	東芝 S T-2260	レミニトン 25 13吋 セン クトリック	/	/	ADD O		ADD O 14-653-32	ADD O 14-653-32 × 2		ADD O 13-353-00	ADD O 13-353-00
電 算 機	BCD リレー出力	BCD リレー出力 BCD リレー入力	/	/	10進リレー 出力	/	10進リレー 出力	/	/	/	/	/

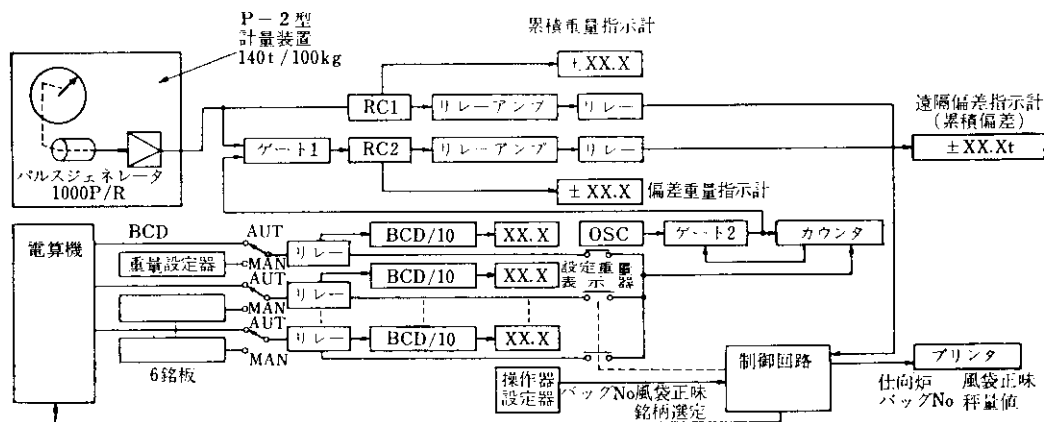


図 12 スクラップはかりの例

図12にB例のブロック図を示す。スクラップはリフマダによりバグに投入される。この重量はカム振子式のはかりに伝えられ、指針軸につけたパルスジェネレータを回す。バグ積込後、風袋を消去し、正味重量合計を可逆カウンタRC1に、また銘柄ごとの設定値からの偏差をRC2に表示する。各銘柄ごとの積込目標値はロータリスイッチであらかじめセットされ、1銘柄終了後、印字を行なうことにより、選択された次の銘柄の積み込み目標値が自動的に選択、表示される。

クレーンマンには積込むべき銘柄と偏差が大型デジタル表示器で示される。これはパルスジェネレータと可逆カウンタを巧みに使って作業上便

利なデータ加工を行なった例であるが、さらに中央の制御室から銘柄の設定を行ない、クレーンマンが印字指令を発信し、より自動化レベルをあげた例もある。

3-6-2 データプロセッサ付ホッパスケール

当社知多工場向けに製作したもので、キューボラ原料をはかるホッパスケールに付属して各銘柄別重量の累積値を求めるものである。ホッパには次々と異なった銘柄が投入されるため、前回の値を差引いて個々に累計する必要がある、このため小型データプロセッサ(後述)を使用した。重量値はステップスイッチで発信され、これをデータ処

理機が受け取って処理をする。操作卓は図13に示す通りで各スイッチ類の用途を以下に記す。

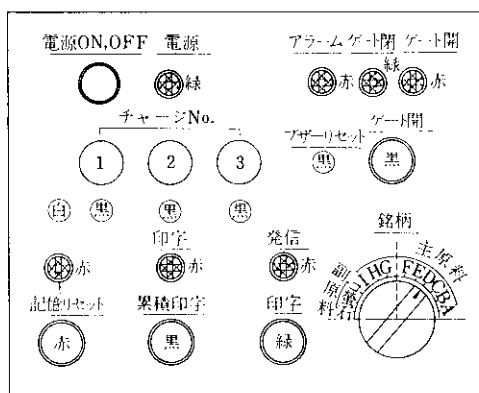


図 13 データプロセッサ操作卓

(1) 銘柄設定スイッチ

主原料A～Iまでと副原料（コークス、石灰石、螢石）の計12種。

(2) 印字押釦

チャート上の指定銘柄位置に重量を印字。

(3) 累積重量印字

1日または1班の作業終了時それまでの銘柄別累積重量を記録する。

(4) 記憶リセット押釦

銘柄別累積重量記憶値のクリア。

(5) ゲート開押釦

ホップスケールの排出ゲート開の指令押釦

主原料はリフマグにより、副原料はフィーダにより投入され、その都度、印字押釦が押され、この押釦を合図に今回と前回との差が計算され、所定欄に印字される。同時に所定の銘柄に対応するメモリに累積記憶される。この内容は累積印字押釦により印字される。全必要銘柄が投入され終ると、排出ゲートを開いて原料を排出し、1サイクルが終了する。

主な仕様は次のとおりである。

秤量機型式：SLC-100型

印字装置：PR-2型

ひょう量：4000 kg

最少日盛：10 kg

このはかりに使用した小形データプロセッサはやや本格的な演算、シーケンス制御のできる、固

定プログラムのシーケンサというべきもので次のような仕様である。

演算レジスタ：10進8桁 4ビット1桁BCD

直列演算 加減算のみ

記憶装置：16ビット×16（コア）

命令：22種類

ステップ数：100ステップ

クロック周波数：100 kHz

基本命令の一例：

CLEAE, SCANNING, STORE, ADD, SUB, TRANSFER

PLUS JUMP, MINUS JUMP, UNCOND.

JUMP, TYPE OUT, R. SHIFT, L. SHIFT,

DATA SCAN. など。

寸 法：530(W)×500(D)×1100(H)

図14のブロック図で簡単に動作説明をする。マイクロプログラムは命令ごとに必要な時間を決める回路、また、プログラムカウンタは同一命令（たとえば、タイプアウトなど）の繰返し回数を決める部分である。また、ゲート制御回路は命令に従って、外部データ、コアに貯えられたデータ、加算器からのデータ、タイプアウト用データなどの流れを制御する回路である。

ジャンプ制御回路は、プログラム回路からのジャンプ命令によりプログラム回路内のシフトレジスタを所定のステップに強制的にセットする回路で、これらの回路を統括的に制御する部分がプログラム回路で、ここでは100ステップまでの固定命令が組める。

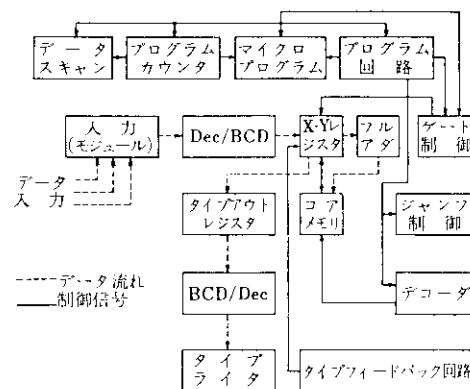


図 14 データプロセッサブロック図

数値データはXレジスタとYレジスタに入るが、主としてYレジスタがアキュムレータの役を行ない、コアとタイプライタとの受け渡しもYレジスタが行なう。

データの流れを説明すると、まず入力データは入力モジュールで絶縁され、次にBCD符号に変換されX、Yレジスタを経て、コアメモリに貯えられる。加減算の必要が生じたときは、この内容がYレジスタに転送され、フルアダを通して演算が行なわれる。Yレジスタの内容はタイプアウトレジスタに転送され、上位桁から4ビットずつタイプアウトされる。この処理機はコアメモリを使用しているので、停電しても記憶が残ること、価格が割安であること、プログラムが比較的自由になることなど、今後簡単な記憶、演算を必要とする場面での応用範囲は広い。

3.6.3 自動送錘型トラックスケール

トラックスケールはホップスケールと並んで工業用はかりのうちで、生産量の多いものであるが、最近はいだいに秤量が大きくなり、一方最少日盛は従来通り抑えられているため、相対的に高精度が要求されるようになった。また計量作業の渋滞を防ぐため計量速度の向上および伝票作成等のデータ処理の自動化、必要情報のカードによるインプット、光電スイッチによる車輛停止確認と結びつけての無人化が実用に入った。

当工場では1/5000以上の精度を必要とするばかりには自動送錘型はかりを用いているが、この詳細については別資料⁷⁾を参照されたい。

ここでは70tトレーラスケールとして使用された例をあげる。まず進入してきたトラックは、光電スイッチにより定位置にあることが確認され、あらかじめセットされた車番、客先、計量回数などを自動的に印字する。なお総重か空車重量のいづれかを与えれば、実重の演算印字も同時に行なえる。

主な仕様は次のとおりである。

秤 量：70 t

最少日盛：10 kg

表 示：デジタル4桁

積 載 台：16m×4m

応答速度：13 sec/0~70 t

ゼロ 調：押釦による自動

印字様式：年月日 回数3桁 車番6桁

総重量5桁 空重5桁 実重5桁

タイプライタ：ADDOX-541E

4. 電子式ベルトウェア

ベルトウェアはコンベアベルトで輸送される粉粒体を、積算計量する連続式はかりで、これを使用することにより運搬と計量の2工程を1工程で行なうことができる。

しかし現状での精度ならびにその安定性は必ずしも満足できるものではなく、特に現今の製鉄所においては、コンベアの高速、長大化、負荷の増大に伴い、はかりにとってさらに厳しい条件になりつつある。

この対策の一つとしてロードセルを用いたベルトウェア（電子式ベルトウェア）が考えられた。

4.1 ベルトウェアの原理と問題点^{8),9)}

図15に示すようにベルト長さ方向xに対し、単位密度 $F(x)$ の荷重が分布して、これがベルトによって運ばれたとすると、輸送量 Q は次式で与えられる。

$$Q = \int_{x=A}^{x=B} F(x) dx$$

この式はベルト単位長さ当りの荷重をベルト移動距離で積分することを意味し、従来のメリック式ベルトウェアでは積算ディスクとエンドレスベルトを用いた、巧みな機構によりこの演算を行なっている。

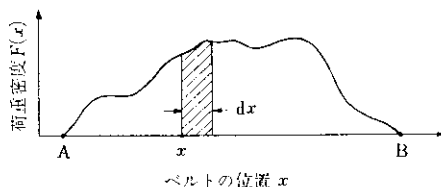


図 15 ベルト上の荷重分布

図16はこのメリック式ベルトウェアの構成図で原理的な動作は次の通りである。

まずベルト上の荷重は計量キャリヤに加わり、

されて乗算回路に入る。この乗算回路は図18に示すように、波形整形回路を出た一定パルス幅のパルス列を、荷重に比例した振幅に制限した出力を得る。これをフィルタにより平滑して、瞬間輸送量信号を得る。

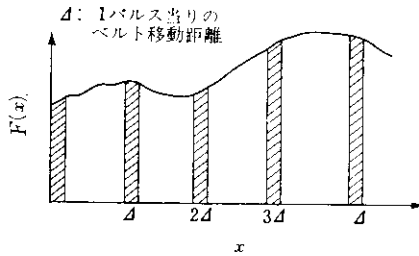


図 18 アナログ乗算説明図

さらにこの信号をI/F変換器でパルス周波数に変換し、これをパルスモータの動きに変えると、積算輸送量が得られる。

図17でコンパレータおよびリレーがあるのは、ベルトウェアではベルトの重量が不均一であるため、荷重ゼロの近辺では正負両方向に荷重が変動

するので、パルスモータの回転方向を判別し、それに応じてパルスモータを正逆転させるためである。

これらの回路はすべて、ERMとして単体にまとめているが、その主要仕様を次に示す。

アナログ入力：4~20 mA 250オーム

パルス入力：0~60 Hz 電圧パルス

直線性：±0.1%以上

温度係数：30 ppm/deg.

出力表示：回転式数字表示器

出力信号：電磁カウンタ用接点

// : 4~20 mA 瞬間輸送量信号

4.3 使用例

当社水島製鉄所均鉦ヤードでは生産規模の増大に伴い、コンベアが大型、高速化しているので、電子式ベルトウェアを採用した。その主な仕様を表5に示す。

設置後3ヶ月間の追跡調査により、次のことが判明した（この間全く無調整）。

(1) ゼロ点の移動はベルトにより異なるが、フ

表 5 電子式ベルトウェア仕様例

計量能力 (t/h)	ベルト速度 (m/min)	ベルト幅 (mm)	コンベヤ傾斜	ロードセル荷重 (kg)	設計風袋荷重 (kg)	パルス発信 (Hz)	コンベヤ形状	m 当り荷重 (kg/m)	カウンタ最小目盛 (t)
4500	120	1800	12°30'	244.5	20~50	65		625	1
4000	260	"	"	100.5	"	"	★	256.4	"
4500	120	"	"	244.5	"	"		625	"
4000	260	"	"	100.5	"	"	★	256.4	"
"	310	1050	1°	97.8	"	61	★	215	"
1500	120	"	0°	104	"	60	★	208.3	"
"	150	"	"	75.4	"	62.5	★	166.67	"
"	120	"	"	94	"	60	★	208.3	"
"	"	"	1°	"	"	"	★	"	"
"	"	"	7°50'	105	"	"	★	"	"
"	"	"	12°	95	"	"	★	"	"
"	"	"	"	"	"	"	★	"	"
"	"	"	15°	95.3	"	"	★	"	"
1200	"	"	12°	76.1	"	"	★	166.67	"
"	"	"	"	"	"	"	★	"	"
"	"	"	"	"	"	"	★	"	"
"	"	"	"	"	"	"	★	"	"
750	83	900	8°37'	68	"	62	★	150.6	"
"	"	"	8°36'	"	"	"	★	"	"
50	MAX40	"	12°	13.64	10	60	★	20.83	0.1

注) ロードセル荷重は風袋荷重を除いた重量を示す

ルスケールの $\pm 0.2\% \sim 2\%$ であった。

(2) スパン変動はいずれも $\pm 0.2\%$ 以内であった。

(3) テストチェンによる検査法と検錘による検査法では、チェンによる方が $0.4\% \sim 0.8\%$ 少なく出た。

表6はこれらのデータの1例である。この結果はまだ所期の目標に達していないが、メリック式に比べ安定性が良くなったように思われる。

表 6 電子式ベルトウェア安定性テスト

能力 1500 t/hr, ベルト速度 120 m/min			能力 1500 t/hr, ベルト速度 120 m/min		
日付	スパン	ゼロ点	日付	スパン	ゼロ点
4.19	1029.3	96.7	4.24	472.3	15.8
4.20	1029.1	129.3	4.28	473.3	-55.5
4.29	1029.4	136.0	5.4	472.5	-30.5
5.4	1028.7	131.3	5.12	472.4	-115.5
5.15	1031.0	178.7	5.18	472.0	-84.3
5.20	1029.5	177.7	5.24	472.6	-46.3
5.27	1029.9	94.7	6.2	471.5	37.0
6.4	1027.7	225.3	6.14	472.4	-110.0
6.15	1030.2	131.7	6.23	471.7	-22.0
6.22	1028.2	195.0	7.7	472.2	-135.0
6.25	1027.7	229.0			
7.2	1027.3	283.0			
相対変動幅	0.3%	0.5%	変動幅	0.4%	0.9%

注) 表中の数字はベルトが単位長さ移動したとき発生したI/F変換器からのパルス総数(測定箇所は図17の④印の箇所)

5. コンスタントフィードウェア^{6),8)}

コンスタントフィードウェア(以下CFWと略記する)は連続式の自動定量供給はかりであり、ポイドメータとも呼ばれている。

図19に示すのはその1例で、ベルト上の被輸送物の輸送量をベルトウェアで測定し、これを変換器で電気信号に変え、これを与えられた設定値と比較し、その偏差を調節計に入れ、この結果を操作端に伝える。この例では操作端は可変速モータである。CFWは典型的なフィードバック制御系であり、操作端の使い方と制御信号の扱い方により、各種のCFWが考案されている。

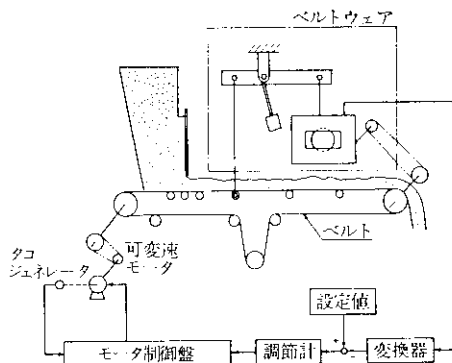


図 19 CFW説明図

製鉄所で使用されるCFWは、焼結工場の鉱石配合作業、コークス炉選炭工場での石炭配合作業が主なもので、精度面から機械式がしだいに電気要素の多いものに代わってきている。

5.1 各方式の比較

CFWの方式は観点により次の種類がある。

可変速モータの使い方	ゲート制御型
	ベルト速度制御型
信号の性質	アナログ制御型
	デジタル制御型
制御方式	瞬間値制御型
	積算値制御型

5.1.1 ゲート制御型とベルト速度制御型

前者はフィーダと計量ベルトが互に独立し、計量ベルトの単位長に供給される被輸送物の重量が制御されるもので、

- (1) 輸送量の変化に伴い、制御系のループゲインが変る。
- (2) 荷重検出に無駄時間がある。
- (3) ベルト単位長当りの荷重変化が大きく、広範囲の直線性がベルトウェアに要求される。
- (4) 特に少輸送量のさいにベルト上の層が薄くなり精度劣化、原料の詰りを生じ易い。などの欠点がある。

ベルト速度制御型は輸送量により、計量ベルト自体の速度が変わり、ベルト上の荷重は常に一定に保つ。このため上述の(1)~(4)の欠点は解消され、現在ではこの型がCFWの主流を占めている。

5.1.2 アナログ型とデジタル型

設定値および検出値をアナログ量で扱い、したがって調節計もアナログ調節計を用いたものがアナログ型である。これに対し近年発達したものに、デジタルブレンディングとか、電算機を調節計として用いたCFWがあり、これらは設定にはパルスまたはデジタル符号を、検出にはパルスを用いている。アナログ型の設定精度の上限が0.1%~1%であるのに対し、デジタル型ではさらに良好となる。

5.1.3 瞬間値制御型と積算値制御型

制御変数として検出値の瞬間値を用いるものと積算値を用いる場合があり、前者は設定値が定値で与えられるが、後者は傾斜値（時間積分値）で与えられる。

瞬間値制御型では、制御誤差は、瞬間値に対して一定比率であるため、総輸送量に対しても一定比率の誤差があるが、積算値制御型では定常誤差が、一定値であるため、長時間輸送後には相対的に低い値になるという利点がある。

表7に当社で製作している速度制御型CFWの各方式を示す。

5.2 構成と特徴

5.2.1 アナログ制御型CFW

アナログ制御型CFWは瞬間値制御型と積算値制御型に分かれる。

前者は設定、検出共アナログ量で行なうもので1例を図20に示す。

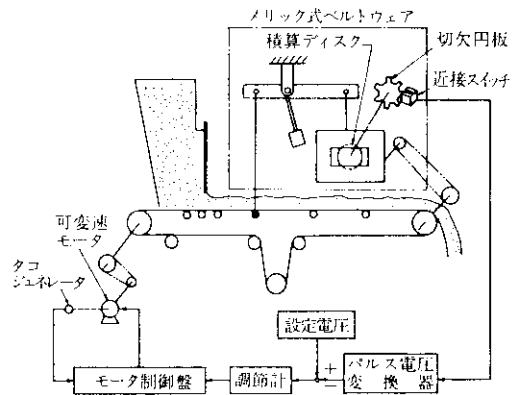


図20 瞬間値制御CFW型ブロック図

図で荷重検出はメリック式ベルトウェアで行ない、積算ディスクの回転速度を微分して、瞬間輸送量として取り出す必要がある。

これについては技術的に種々の工夫を要する点であるが、当社では後述のごとくPNE変換器を用いる。これは積算ディスクの角変位をいったんパルス列として取り出し、その周波数をアナログ電圧に変換するものである。

設定値と検出値との差、すなわち偏差を増幅する調節計は、一般の演算増幅器を用いたPID調節計が精度、安定性・優れた性能を発揮する。

メリック式ベルトウェアの代わりに、前述の電子式ベルトウェアを用いた瞬間値制御型CFWを図21に示す。この型のCFWは乗算器の出力が直

表7 ベルト速度制御型CFWの分類

型 式 名	ア ナ ロ グ 型		デ ィ ジ タ ル 型	
	瞬間値制御	積算値制御	デジタルブレンディング	DDC
設 定	KC-V6-PC KC-V6-LP	KC-V7-PC KC-V7-LP	KC-V8-PC KC-V8-LP	KC-V9-PC
調 節 計	直流電圧	直流電圧	パルス比率または 直流電圧	デジタル符号
操 作 端	直流アナログ			
検 出 端	可変速モータ			
可 動 部 分	メリックまたは ロードセル	メリックまたは ロードセル	メリックまたは ロードセル	メリック
	設定用スライド抵抗	設定用スライド抵抗	設定用ロータリスイッチ デジスイッチ	

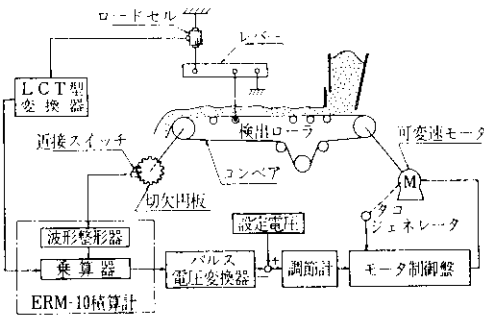


図 21 瞬間値制御型CFWブロック図 (KC-V6-LP型)

ちに瞬間輸送量信号となるので、特別な変換器を必要とせず、また全体をソリッド化できるので、保守、信頼性の点で好都合である。

次に瞬間値制御型に比し応答速度は若干劣るが、総合精度ははるかに優れている積算値制御型がこれに続いて開発された。この場合も荷重検出端はメリックスベルトウェアである。メリックスベルトウェアは本来、積算ディスクの角変位が輸送量に対応しているのので、輸送量設定値として時間とともに増大するいわゆる積算値を用い、この値と現実の積算ディスクの積算値との比較を行なうのがこの型のCFWであり、図22に示す構成をとる。

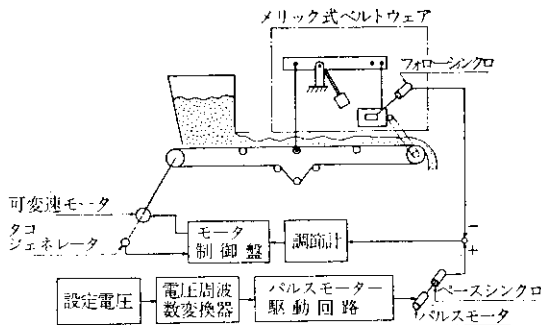


図 22 積算値制御型CFWブロック図 (KC-V7-PC型)

図では設定を直流電圧で行ない、これを電圧周波数変換器でパルス列に直し、これをパルスモータに与えて、パルスモータを設定電圧に比例した速度で回転させる。これに直結したベースシンクロと、積算ディスクと同軸で回転するフォロースクロとの偏差を調節計に入れて、可変速モータを増減速し、フォロースクロをベースシンクロに追従させる。

この積算値制御型CFWは次の利点を有する。

- (1) 輸送量設定信号として直流電圧またはパルス列両方とも使用できるため、アナログ、デジタル両方式に適應できる。
- (2) 調節計と設定回路は直流的にアイソレートされており、複数個の並列運転をしても相互干渉がない。
- (3) 制御系のソリッド化ができる。
- (4) 長時間にわたる制御精度がよい。

5.2.2 デジタル制御型 CFW

上述の積算値制御型CFWの変形で、シンクロをパルス列におきかえ、さらに調節計の前にパルス加減算回路およびこれを直流電圧に変換するDA変換回路を挿入したものがデジタルブレンディング型CFWであり、図23の構成をとる。

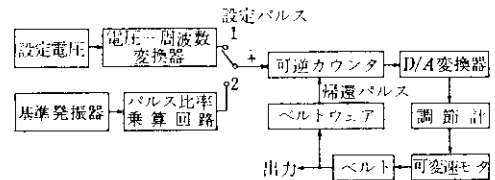


図 23 デジタルブレンディング型CFWブロック図

図で切換スイッチの1側はアナログ設定（比率制御、カスケード制御など）の場合で、アナログ電圧を電圧周波数変換器でパルス列に直し、2側はデジタルコード設定の場合で、基準周波数パルスに定比率を乗じて⁹⁾パルス列を得る。

いずれの場合も、設定パルス列は可逆カウンタの加算側に入れ、一方ベルトウェアから得られた帰還パルスは可逆カウンタの減算側に入れる。可逆カウンタの内容はDA変換器でアナログ電圧に変換されて調節計に入り、常に可逆カウンタの内容がゼロになるよう制御を行なう。

この型のCFWは制御装置がソリッド化できることと、特にデジタルコード設定の場合、基準発振器の安定性と同等の設定、制御精度が得られるのが特徴である。

今までのべたアナログ型およびデジタルブレン

ディング型CFWに用いる調節計は、いずれも直
流増幅器とCR帰還回路をもつアナログ調節計で
あったが、この調節計を電算機の演算機能におき
代えてデジタル制御を行なったものがDDC型C
FW¹⁰⁾であり、本質的にはデジタルブレンディン
グ類似のものである。

設定値は所定の場所に記憶されて、一方ベルト
ウェアからの帰還パルス（単位輸送量ごとの）を
一定時間間隔で取り込んで、さきに記憶した設定
値と比較し、偏差に応じてPID類似もしくは別
の算式による演算を行ない、出力をアナログに変
換して、アナログメモリで保持する。これで可変
速モータを制御することは他の型式と同様であ
る。

このDDC型CFWは多数個の並列運転が割安
に行なえること、必要に応じ高級な制御動作が実
行できること、アナロググループが簡単になること
などの特徴がある。

5.3 周波数—電圧変換器（PNE変換器）

周波数—電圧変換器は電子式ベルトウェアと瞬
間値制御型CFWの共通要素として使用できる。

メリック式ベルトウェアの積算ディスクなどの
回転体の速度検出には、従来からレート（タコ）
ジェネレータを用いていたが、電気的にも機械的
にも不安定でかつ直線性も悪く、CFWの精度向
上にとって最大の問題であった。

これを解決するためこの変換器を開発した。

図24に示すように、入力パルス（図25③）はシュ
ミット回路で整形されて、フリップフロップ（F.
F.）をトリガし、F.F.は反転する（図25④）。

F.F.が反転するとゲート（ G_1 ）が開き、水晶
発振器からの定周波微分パルスを通過させる（図
25⑤）。この微分パルスはN進（ $N=2\sim 8$ ）計
数回路に入って計数され、Nパルス目にゲート閉信
号を出すので、先に反転したF.F.は元に戻る。

F.F.が復元すると G_1 は閉じ、水晶からのパ
ルスを遮断する。

すなわち入力パルスが1個入ると、計数回路が
定周波パルスをN個数え終るまでゲート（ G_1 ）
は開いていることになる（図25④）。

そこで1番目からN番目までの時間をパルス幅

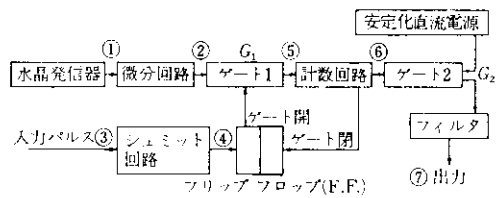


図 24 周波数—電圧変換器ブロック図

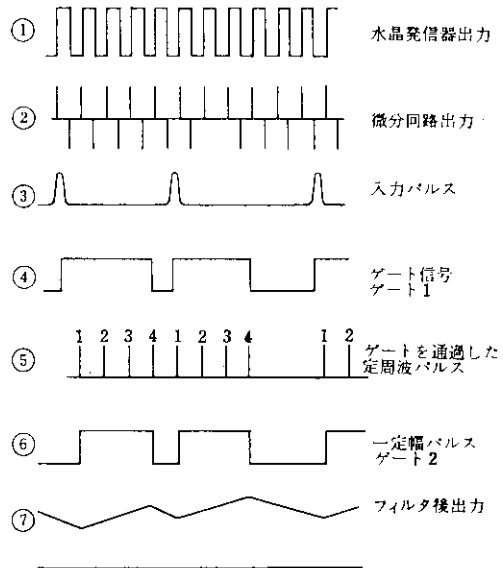


図 25 周波数—電圧変換器各部波形（計数回
路が4進の例、①～⑦の数字は図24に
対応する場所を示す）

とするゲート信号（図25⑥）を作り、これにより
安定化直流電源をゲート2（ G_2 ）により断続す
ると、一定振幅一定幅のパルス列が、入力パルス
数と同じ数だけ得られ、これをフィルタして得た
直流分（図25⑦）は入力パルス周波数に比例す
ることになる。図24に対応する各部の電圧波形を
図25に示す。

主な仕様次のとおりである。

入 力：0～1 V 電圧パルス
(波形制限なし)

出 力：0～2 V 直流

直 流 性：±0.1%以上

温度係数：±20 ppm/deg.

5.4 積算値制御型 CFW の使用例

5.4.1 焼結原料配合用

前述の積算値制御型CFW（KC-V7型CFWと称する）を水島製鉄所焼結工場の原料配合のため複数台並列運転した。

これは焼結機に供給する原料（粉鉱，コークス，石炭，返鉱）の配合に使用するもので，連続運転に耐える安定性と精度を要求される。

特に図26に示す通り，電算機からのパルス列を受け取るRモードと，内蔵の設定電圧を使用するLモードの両方が使用できるようになっている。

手動操作，設定，切換え，警報，偏差指示など各種の機能をDC-9調節計単体の中に組み込んで，操作の簡便さを狙ったが，詳細は省略する。

なお表8に各CFWの仕様を列記する。

5.2.2 石炭配合用

選炭工場の石炭配合用として，車輪付自走式のKC-V7型CFWを製作した。これの輸送量設定装置はスライド抵抗による単独設定のみである。主な仕様は次のとおり。

能力：100 t/h

ディスク一周：500 kg/5 kg

VSモータ定格：3.7 kW

走行用モータ定格：1.5 kW

ベルト幅：750 mm

ベルト速度：10～55 m/min

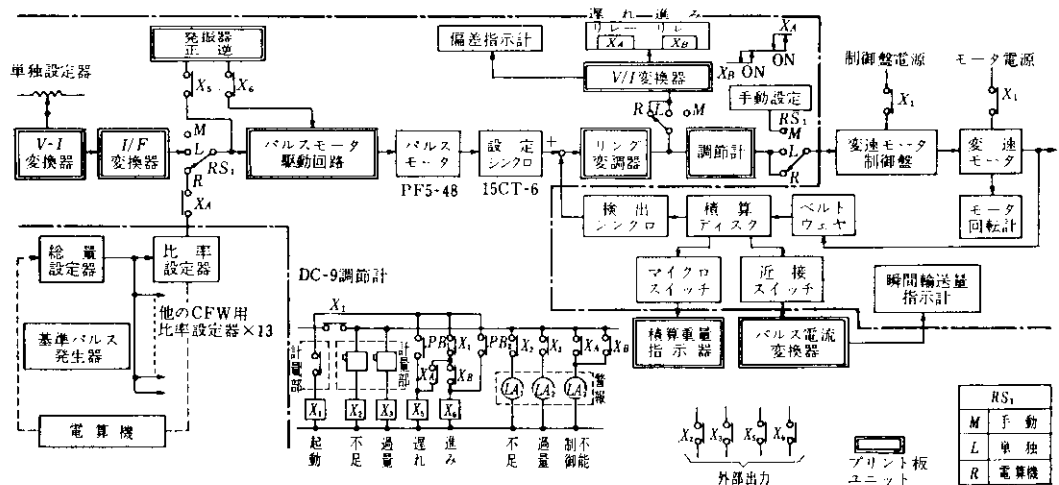


図 26 KC-V7-PC型CFWブロック図

表 8 原料配合用CFW仕様例

	能力 (t/hr)	台数	VSモータ 定 格	ディスク1周 (t)	ベルト幅 (mm)	ベルト速度 (m/min)
1	60～300	4	11	1	1200	最大 35
2	20～200	2	7.5	1	1200	28
3	5～50	2	2.2	0.2	1200	10
4	20～10	2	5.5	0.5	1200	20
5	8～40	2	2.2	0.2	1200	25
6	80～400	2	11	1	1100	20
7	5～25	1	2.2	0.1	900	20
8	10～50	2	5.5	0.2	900	40

ればならない。

6. 現状と将来の方向

6.1 必要精度の問題

はかりの精度は一般の工業計器に比し1桁以上高い。それでも現状で十分なのか不十分なのか、不安が残る。特に最近(転炉がその好例だが)コンピュータを用いた前向き制御が全盛になるに従い、入出力変数の量的な把握は、プロセスの解析と並んで必須要因となっている。その意味で現状の精度の評価を行ない、不十分なものは改善の方策をたてねばならない。必要精度は当然プロセスごとに異なるはずであり、今後は対象プラントごとに、きめの細い、合理的な精度を設定しな

6.2 自動化の推進

現状での自動化レベルは、主として自動定量切出しと自動データ処理、これに付随するシーケンス制御に終始している。もちろんこのことにより無人運転、ワンマン操作が可能になったが、さらに発展して他の機器との複合化が進むであろう。この可能性のある例として表9をあげる。この中で一部は実施に移されつつある。当然のことながら、このような形ではかりがラインに組み込まれるとその寿命、信頼性が問題になってくる。このことが単なるリレーの無接点化や回路のソリッド化といった方法で解決できないことは、表9からもわかるように、今後の自動化の方向が原材料、

表9 鉄鋼業におけるはかりの現状と将来

項 目	被 計 量 物	現 状・問 題 点	将 来 の 方 向	必 要 条 件
積 載 重 量 計 (船舶重量計)	鉱石、石炭、油 (塊粒、液状物)	ドラフトサーベイ 精度不足、個人差	自動測定またはアンローダ、ローダ用連続はかり 安定性、精度向上	ベルトウエア 新技術
装 炭 車	粉炭(粒状)	低労働生産性 作業環境劣悪、精度不足	自動定量切出し、炭車位置 決め停止自動蓋取り、装炭、レベリング、清掃	ブッシュ、ヨークワフを含む総合的なプログラム制御
原 料 ヤード 管理	鉱石、石炭 (塊、粒状物)	貯蔵量を目測 低精度	多数の検出端による等高線表示と銘柄別残量の表示 ベルトウエアとリクレーマ、スタッカの組合せ	安価、設置容易な検出端 ベルトウエア
スクラップはかり	スクラップ (不定形)	低生産性	振動フィーダによる自動 定量切出し	サイジング
溶 鋼 自 動 注 入	溶鋼(液状)	低生産性、低歩止り 作業環境劣悪	台車などによる自動定量 注入	オートストップ、モールド準備、コーティング、台車またはモールドの移動
厚板検査ライン	厚 板	低労働生産性	採寸、裁断、検査(キズ、寸法)の自動化マーキング、計量の自動化とカード作成	秤量以外の作業の自動化
コイル自動倉庫	ホットコイル コールドコイル	運搬車による搬入、搬出	自動計量とマーキングにより在庫、台帳作成、自動搬入、搬出	コイル、ハンドリングの自動化
メッキ板検査、梱包	メッキ板	低生産性 検査ミス	キズ、欠陥の検査と注文通りの枚数による梱包の自動化。	梱包自動化
原料供給センター	鉱石、スクラップ 副原料など	受入れ払い出し、運搬、計量が個別的	場内運搬の合理化も含めた主副原料の Just in time 供給	原料流れの見直し、電算機導入

成品のハンドリングの問題であり、単に情報の伝達、加工のみでないことから明らかであり、この事実を踏まえた上で機械的な構造、動作、工作法、材料などを含むより総合的な検討を加えねばならない。

6.3 ベルトウェアの精度、安定性

4項でのべたように、また表9から推定できるように、ベルトウェアの精度と安定性向上のもたらす利益は大きい。問題ははかり系とコンベアベルトの相互作用をいかにして避けるかということに集中され、電子式ベルトウェアが部分的にこの問題の解答をもたらした。今後も地道な解析が必要である。

6.4 検査の簡易化

はかりの検査作業は人手不足とはかりの大型化で一層困難になりつつある。解決法の1つはテストレバー、検錘などによる分銅の軽量化、テスト設備の常設であり、他は長期間の精度が保証できるような設計、製作、据え付け法の確立と保守作業の標準化である。前者については決定的な簡便法は現在見当たらないが、分銅運搬のためのモノレール、ベルトウェア検定用のテストホブスケール、巻上モータ付のテストチェンなどが実用されている。また日常の保守作業についてはパターン認識的な要素がまだかなりあり、環境を整備して、人間の視覚聴覚が十分働くようにすると大きな効果がある。最近では検定、保守の用具としてデジタル電圧計、エレクトロニックカウンタ、ブラウン管オシロなども必須となってきたので、これらの整備も望まれる。

6.5 ロードセルはかり

ロードセルの精度については設置条件により変わるが現在の所、その上限は0.1%程度と考える。理由はゼロ点の温度変化がおよそ0.003% F.S/

deg. 位あり耐荷重、風袋の都合で定格の1/3をフルスケールにとると約10 deg. で0.1%の誤差となる。したがってゼロを固定して使うトラック、台秤よりゼロ補正のついたホブスケールやクレーンスケールの方が精度が高く使用できる。この点からセル出力の絶対値でなく、インクレメンタルな値に着目したシステムを考えている。ロードセルの将来は材料、接着技術の改良で現状より進歩しようが、やはり材料の境界面の現象を抜けている以上、限度があり、早晚他の原理によって代わられるのではないかと予想される。

7. む す び

製鉄所で使用するはかりは、他の装置も同じであろうが、設置条件も悪く寿命、信頼性が特に要求される。一方、取扱う量が非常に多いため、精度面でも厳しい制約を受けている。

これに対し筆者らははかりの電子化を一つの対応策としてとってきた。

その結果ロードセルはかりは特に保守面に、デジタル式はかりは精度面でかなりの効果があったものと判断している。電子式ベルトウェアは現在ではメリック式に比べ、特に差異は見いだせないが、まだまだ開発の余地が残っているので成果をあげるべく努力している。

はかりは本来、物の量を測るものであり、品質面と直接関わりをもつことは少なかった。しかし今後はプラント入力の大半を占める原材料の測定および操作端として、その精度と安定性は製品の品質と強い結びつきを生ずるはずであるし、また逆に操業面からの要請に従って、はかりの体質を適応させてゆく必要もある。

このような観点から、量から質への転換という鉄鋼業界共通の命題に、ささやかながらも尽力したいと考える。

参 考 文 献

- 1) G. W. van Stein Callenfels: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1966), 973
- 2) J. M. Molloy: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1966), 979
- 3) 中沢: 西山記念技術講座テキスト, (1969), 103

- 4) R. L. Brodevick : ISA Proc., (1964), 4-1~4-5
- 5) 岡部：鉄と鋼, 54 (1968) 2, 235
- 6) 松代他：重量（工業計測技術大系）
- 7) 瀬川, 百瀬, 唐津：川崎製鉄技報, 3 (1971) 1, 99
- 8) 竹田：計測と制御, 7 (1966) 5, 305
- 9) W. Fritzsche : Regelungstechnik, 12 (1964) 3, 106
- 10) K. J. Lesemann : Regelungstechnik, 9 (1961) 1, 19

