

荷役運搬機械用電磁伝送制御装置とその応用

Electro-magnetic Transmission Control Equipment for Transferring Machines and its Application

橘 幹夫* Mikio Tachibana
 藤田 茂惟* Shigenobu Fujita
 酒 匂 栄三郎** Eizaburô Sakou

クレーン、台車などの移動機械を地上から遠隔自動運転するには一般に制御ケーブルを使用するが、これは断線、騒音、寄りの制限などトラブルが多い。これをなくすため、地上にU形鋼を設置し、電磁誘導を利用した無接触の伝送方式を開発した。この方式の特長は、(1)信号にはFS変調の定マークコードを使用しており、雑音などによる誤動作防止を考慮している。(2)伝送速度が接点情報で615点/秒と大きい。(3)機械の位置に関係なく、連続して送受信可能であるなどである。現在、スタッカクレーンや天井クレーンの自動運転に適用し稼動中である。この方式は、Hitachi Cableless Control: "HICALEC" と名付けて商品化した日立製作所独自の方式であり、伝送原理、応用例などを示している。

1 緒言

近年、産業の合理化・自動化は各方面で急速な勢いで進んでおり、エレクトロニクス制御や電子計算機制御へと進展している。そして、運搬、保管、管理などのいわゆる物流部門の省力化も例外ではなく、制御技術の進歩と相まって大形省力システムとして成長してきた。

物流部門では、コンベヤによる荷物運搬も単なる輸送から仕分装置付となったり、天井クレーンの自動運転、遠隔制御が行なわれたり、スタッカクレーンと電子計算機による自動入・出庫、在庫管理、帳票処理に至るまで一貫自動化した自動倉庫、流通倉庫なども出現している。

これら運搬機械は、一般に動力源が機械上にあるため、地上から自動制御を行なう場合、信号の伝送方式がシステムの信頼性にとって重要なポイントの一つになる。

そこで各種伝送方式を検討した結果、短軌道上を走行する移動機械への信号伝送方式として、ユニークな電磁誘導を利用しワイヤレスの連続伝送を行なう装置を開発し、実用に供し、好結果を得ている。

ここではこの伝送方式を紹介するとともに、移動機械、特に天井クレーン、スタッカクレーンの自動化実施について述べ、今後の計画の参考に供するものである。

2 移動機械との信号授受

2.1 概要

移動機械というと、自動車・列車・船舶・飛行機で代表される交通機関が含まれるが、ここでは、これらを対象から除

外する。この伝送装置は数百メートル以下の短軌道を走行するクレーン、産業用台車に適用し、特に自動運転を行なうため地上(固定)と、これら機械(可動)との間の信号伝送に主眼をおいている。このような信号伝送系をブロック図で示すと図1に示すように一般化される。

短軌道を走行する機械の代表としてクレーンの例をとると、地上の制御装置にはクレーン自動制御盤、電子計算機などが相当する。伝送制御装置は、自動運転に必要な情報を伝送に適した形に変換する。また相手から送られた情報に対しては、その逆変換を行なう。時分割直列伝送の並列-直列変換、周波数分割の多周波混合、及び分波などが主な機能である。

搬送制御装置は、伝送信号を伝送媒体に適した信号に変換する。多心ケーブルの場合は、搬送装置が不要である。特にこの論文で述べるように、一方が移動物体の場合は伝送媒体に何を使用するかが最も重要な問題であり、それは搬送方式と密接な関係がある。なお、図1には移動機械が1台だけの場合を示したが、応用分野によっては、1台の地上制御装置が複数台の移動機械をコントロールする場合もある。

2.2 伝送制御方式

図1において送受する情報は、この装置の応用分野によって異なる。各種移動機械だけを対象とする場合は、デジタル情報が多く、アナログ情報は少ないと考えてよい。アナログ情報の送受が必要な場合、A-D/D-A変換器を付加すればよい。伝送情報の量と質は、自動運転方式によって大幅に異なり、これらの伝送には多重化が必要となる。

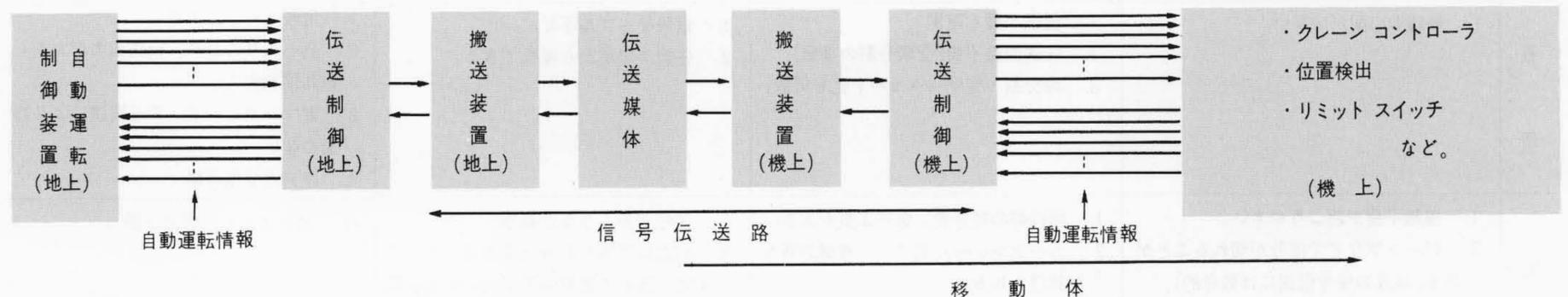


図1 信号伝送系の構成 信号伝送系を一般化したブロック図を示す。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所

一般的にいて、多重化には次の三つが用いられる。

- (1) 空間分割多重：Space Division Multiplex (以下、SDMと略す)
- (2) 周波数分割多重：Frequency Division Multiplex (以下、FDMと略す)
- (3) 時分割多重：Time Division Multiplex (以下、TDMと略す)

SDMは、多心ケーブルのように情報の数だけ伝送媒体を使用するものである。FDMは伝送周波数帯域を情報の数に分割して使用する。この方式は特性の良いフィルタと伝送品質の良い伝送路(伝送媒体+搬送方式)が必要である。またTDMは、一般に矩形波信号とするため比較的広帯域の伝送路を必要とするが、その品質は悪くてもよい。理想的なフィルタの製作は困難であるが、「時間」はゲート回路によって容易に効率よく分割使用できるので、多重度が増すとFDMよりTDMのほうが有利になる。またTDMは伝送遅れ時間を考慮する必要があるが、伝送速度を増すことにより、FDMの場合のフィルタの立上り時間より小さくすることも可能である。以上の検討結果から、この装置ではTDMを主体としており、FDMは信号数の少ないごく限られた用途にのみ採用している。

2.3 伝送媒体の方式

表1に代表的な各種伝送方式についての比較を示す。同表に示したほかに、次のものが考えられる。

(1) 光を用いるもの

屋内においては外部雑音小さく短距離のため、低減衰特性が得られ、伝送路としては有効と考えられるが、レンズに付着するごみの問題、更に現在まだ発光・受光装置が高価であるなど、その実用化は将来の問題であろう。

(2) 誘導無線

誘導無線は、鉄道など線路に沿って列車との間で長距離の信号伝送が必要ときなどに使用されており、最近、移動機械にも応用され始めている。

3 “HICALEC”の構成

3.1 伝送装置の構成

この方式は、空間的に相対したコイルの高周波を印加して相互誘導により信号伝送するもので、鉄心を使用しているため、密な結合が得られ、伝送媒体としては非常に良好である。また、閉ループに電流を流すので、他の媒体に与える影響が少なく、送信電力を大きくして信号対雑音比を大きくとることができる。具体的には地上側はレールに沿ってU形鋼を配置し、図2に示すようにこの表裏にリボン電線をはり付け、端末処理をして地上コイルとし、これに相対して可動コイルをクレーンに固定し、ギャップ付トランスを移動機械の全走行範囲に形成して信号の授受を行なうものである。図3に“HICALEC”の構成を示す。

3.2 送受信回路

搬送周波数は送信アンプにハイブリッド集積回路(IC)を使用できるようにし、鉄心を飽和させないため20~30kHzを選

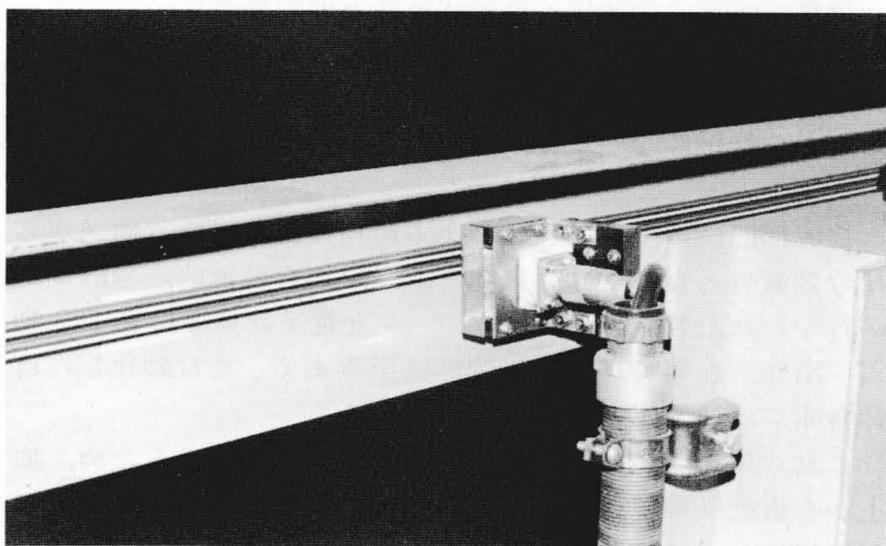


図2 磁気結合コイル 地上コイルと機上コイルを介して信号が伝送される。

表1 各種信号伝送方式(代表例)の比較 代表的な信号伝送方式についての比較を示す。

	トロリ方式	ケーブル方式	空間無線方式	“HICALEC”方式
内容	 ホイール ← トロリ	 多心ケーブルを引っ張る。	 空間電波(変調)	 電磁誘導結合
長所	1. 断線の心配が少ない。	1. 伝送が最も確実 2. 伝送回路不要(空間分割の場合) 3. 時分割・定マークコード化も可能。	1. 信号ケーブル不要 2. 任意の場所から操作できる。	1. 信号ケーブル不要 2. 鉄心入りのため、伝送出力が大きく取れ信頼性大。 3. 定マークコード・FS変調により雑音に強い。 4. 連続送受信可能
短所	1. 接触不良が起こりやすい。 2. ジャンプなどで信号が切れることがある(高速の信号伝送には致命的)。 3. 保守がめんどう 4. 設置スペース大	1. 断線時の補修費、保守工数が大きい。 2. カーテンレール式では、機械の寄りが制限される。 3. カーテンレール式では摺動部の騒音が大きい。 4. ケーブルリール式では設置場所の制限、及び高速には適さない。	1. 信号が多くなると高価 2. 出力に制限がある(「電波法」で100m離れて電界強度が15μV/m以下と規制されている)。 (a) 動作距離：100mが限度 (b) 使用環境：雑音量で動作距離が制限される。	1. 地上コイル設置が必要

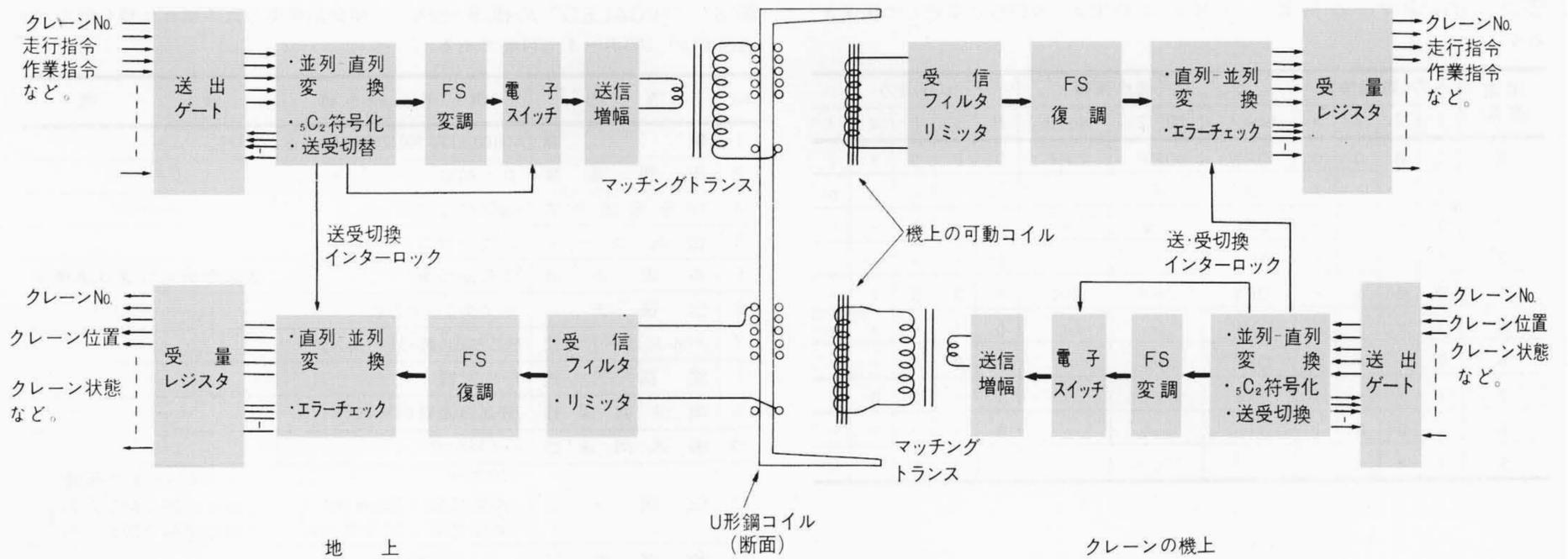


図3 “HICALEC” 伝送制御方式の構成 相互伝送を行なう場合の構成 (一つのU形鋼に送・受信コイルをはり付ける) を示す。

んでいる。この周波数は「電波法」の適用を受けるため、電界強度は当然抑えて使用しなければならないが、鉄心入りなので法規内で十分使用できる。

この方式は、トランス結合のためクレーンが走行する際の振れにより、機上・地上コイルの間のギャップが変化し、受信電圧が図4に示すように変化するため、また、伝送路雑音の除去のために周波数(FS)変調を行なっている。復調にはPhase Locked Loop(PLL)を使用しており、リアクトルコンデンサ(LC)共振に比べ周波数の変化に対しても追従できる幅が広く、また立上りも速いので変調速度も大きくできる⁽¹⁾。また地上コイルのインピーダンスはU形鋼の長さに比例して変化するが、設置条件によりU形鋼の長さが変わっても送信増幅器から最大の出力が得られるようコイルとの間にインピーダンス整合のための出力トランスを用いている。

3.3 伝送制御回路

伝送制御回路の主な機能は伝送誤りチェックのための5C₂への符号化、時分割伝送のための並列-直列変換及びその逆変換、並びにパルス変調(長短パルス化)復調などである。

図5に信号波形の1周期分を示す。信号を伝送する場合、ランダム方式とサイクリック方式の2種がある。ランダム方式は、状態に変化のあったときに情報を伝送し、サイクリック方式は、これらの状態とは無関係に常時定められた順序で繰り返し伝送する。ランダム方式は、情報の誤伝達、又は不伝達を防止する機能が必要であるが、状態変化を直ちに伝送することができる。一方、サイクリック方式は情報の伝達が走査する時間だけ遅れるが、常時走査されているため雑音、瞬断による情報の誤り検出が容易に行なわれ、次のサイクルには正しく書き換えることができる⁽²⁾。従って、“HICALEC”では後者を採用している。信号波形は受信側の同期がとりやすく、装置を簡略化できるReturn to Zero(RZ)式の長・短パルスとした。長パルスは短パルスの2倍の幅があるため、伝送速度は変調速度の半に低下している。これに対し、Non-Return to Zero(NRZ)式の場合は、伝送速度は変調速度と同一にできるが、受信側は一定の基準からの時間を正確に測って同期をとることになるため、発振周波数の安定な水晶発振器を使う必要があり、回路が複雑になる⁽³⁾。

伝送路の状態その他により伝送誤りが生じたときは、受信側でこれを検知し、その信号は受け付けないようにするため、

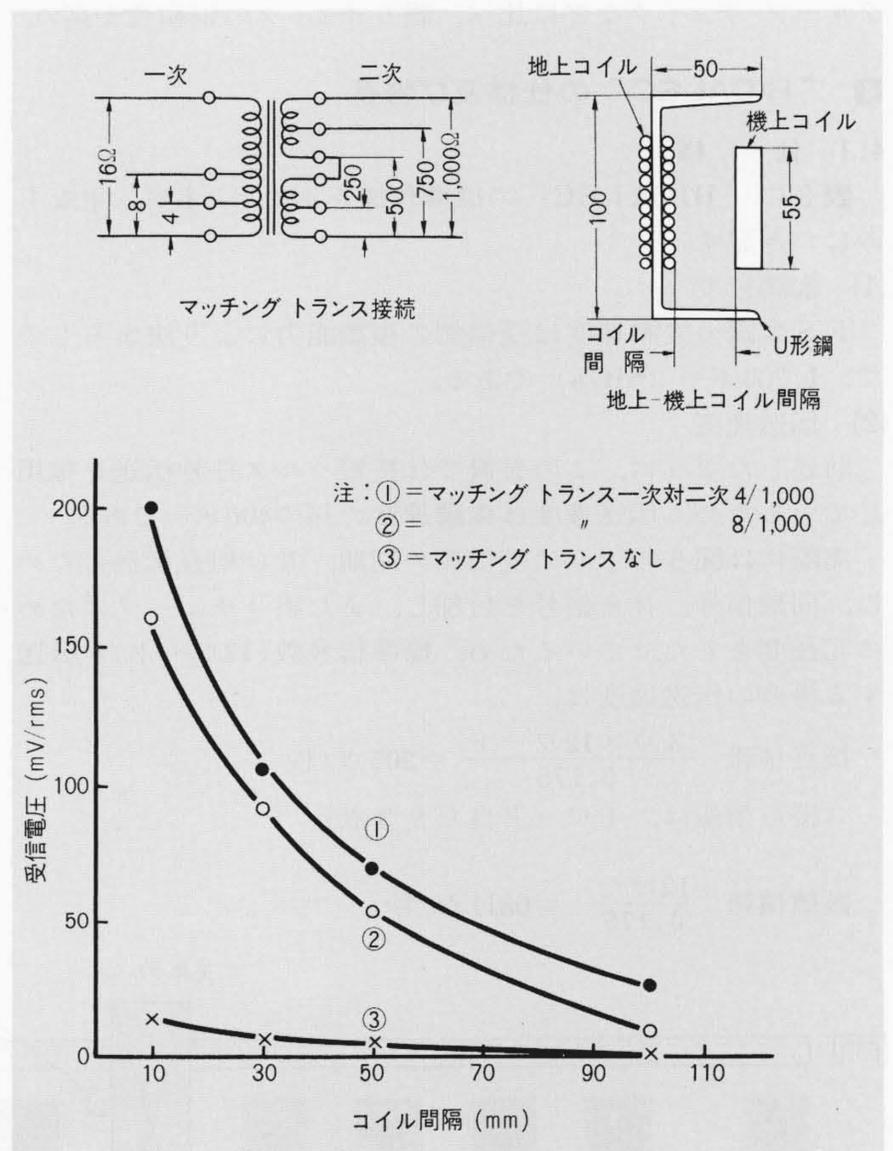


図4 地上-機上コイル間隔と受信電圧 コイル間のギャップにより受信電圧が図のように変化する。またマッチングトランスの効果も顕著である。

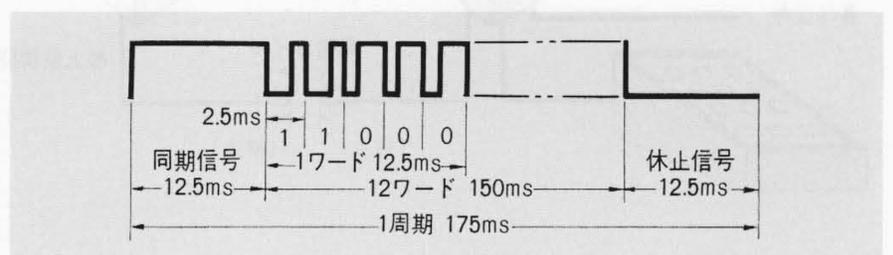


図5 信号パルス一周期分 この信号パルスを繰返し、サイクリックに伝送する。

表2 5C2 定マーク符号 信号は5C2の定マーク符号に変換して伝送される。

10進表示	入力(数値情報)				入力(接点情報)			5C2出力				
	1	2	4	8	No. 1	No. 2	No. 3	R	1	2	4	7
0	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	0	0	0	1	1
1	1	"	"	"	ON	"	"	1	1	"	0	0
2	0	1	"	"	OFF	ON	"	"	0	1	"	"
3	1	"	"	"	ON	"	"	0	1	"	"	"
4	0	0	1	"	OFF	OFF	ON	1	0	0	1	"
5	1	"	"	"	ON	"	"	0	1	"	"	"
6	0	1	"	"	OFF	ON	"	"	0	1	"	"
7	1	"	"	"	ON	"	"	1	"	0	0	1
8	0	0	0	1	—	—	—	0	1	"	"	"
9	1	"	"	"	—	—	—	"	0	1	"	"

送信側で表2に示すような1ワードを5ビットの5C2符号に変換して伝送している。5C2符号はいずれの信号でも1の数が2個に限るから、これを受信側で数え伝送誤りの有無を判定している。これは絶対数で判定するため、パリティチェック、グループチェックなどに比べ、誤りチェックの信頼性が高い。

4 “HICALEC” の仕様及び特長

4.1 仕様

表3に“HICALEC”の標準仕様を示すとともに、主なものにつき記す。

(1) 変調速度

F S 変調の変調速度は受信側の復調能力により決まるもので、1,200ボー (bit/s) である。

(2) 伝送速度

前述したように、この装置では長短パルス符号伝送を採用しているため、伝送速度は変調速度の1/3の400ボーである。

実際には図5のように受信側の同期、及び相互伝送のために、同期信号、休止信号を付加し、また誤りチェックのための冗長度をもたせているため、標準信号数(12ワード)を伝送する場合の伝送速度は、

$$\text{接点情報} = \frac{3 \text{点} \times 12 \text{ワード}}{0.175} = 205 \text{点/秒}$$

(接点情報は、1ワード当たり3点)

$$\text{数値情報} = \frac{12 \text{けた}}{0.175} = 68 \text{けた/秒}$$

表3 “HICALEC” の標準仕様 時分割多重方式の標準仕様を示す。伝送速度は1,200ボーまで可能である。

No.	項目	標準仕様	備考
1	電源	AC100/110V 200/220V 50, 60Hz	—
2	周囲温度	0 ~ 40°C	—
3	信号伝送方式	磁気結合方式	—
4	伝送コード	定マークコード(5C2)	—
5	多重方式	時分割多重	周波数分割多重は標準
6	伝送方式	サイクリック方式	—
7	パルスコード方式	RZ方式(長・短パルス)	—
8	変調方式	F S 変調	—
9	周波数偏移	搬送周波数の±10%	—
10	搬送周波数	20/30KHz	—
11	伝送速度	400ボー (接点情報: 205点/秒) (数値情報: 68けた/秒)	1,200ボーまで可能 (接点情報: 615点/秒) (数値情報: 205点/秒)
12	論理素子	IC (MSI)	—
13	機上コイルの許容振幅	横方向: ±15mm 縦方向: ±10mm	—

(数値情報は、1ワード当たり1けた)

であり、一般の移動機械には十分である。なお変調速度は、現方式において3,600ボーまで可能なため、伝送速度は最大上記の値の3倍まで上げることができる。

(3) 相互伝送

信号を地上から機上へ送るだけの一方向伝送の用途もあるが、地上⇄機上を相互に行なう相互伝送の必要な用途も多い。この場合、磁路を互いに干渉しないよう独立して配置し、両方向から同時に伝送するのが最も安定している。

しかし、磁路を独立に設けるのはスペース、据付費などがかさむので、若干の遅れが許されるものについては磁路を共通とし、送受信コイルを2対設けて電子スイッチにより伝送路を切り換えて交互に伝送する方式を採用している。

この切換回路においては、伝送がとだえた場合、これを検知してすぐ再送信するか、あるいは相手側が複数のときは送信相手を切り換えるなどにより自己復帰機能をもたせている。

(4) 被制御局数

被制御側が複数の場合は、伝送信号の頭に被制御側(子局)のNo.(クレーンであればクレーンNo.) を付けて伝送することにより、該当被制御装置だけが受信し、また反対に被制御側から伝送する場合はNo.を付けて送伝してくるので、制御側(親

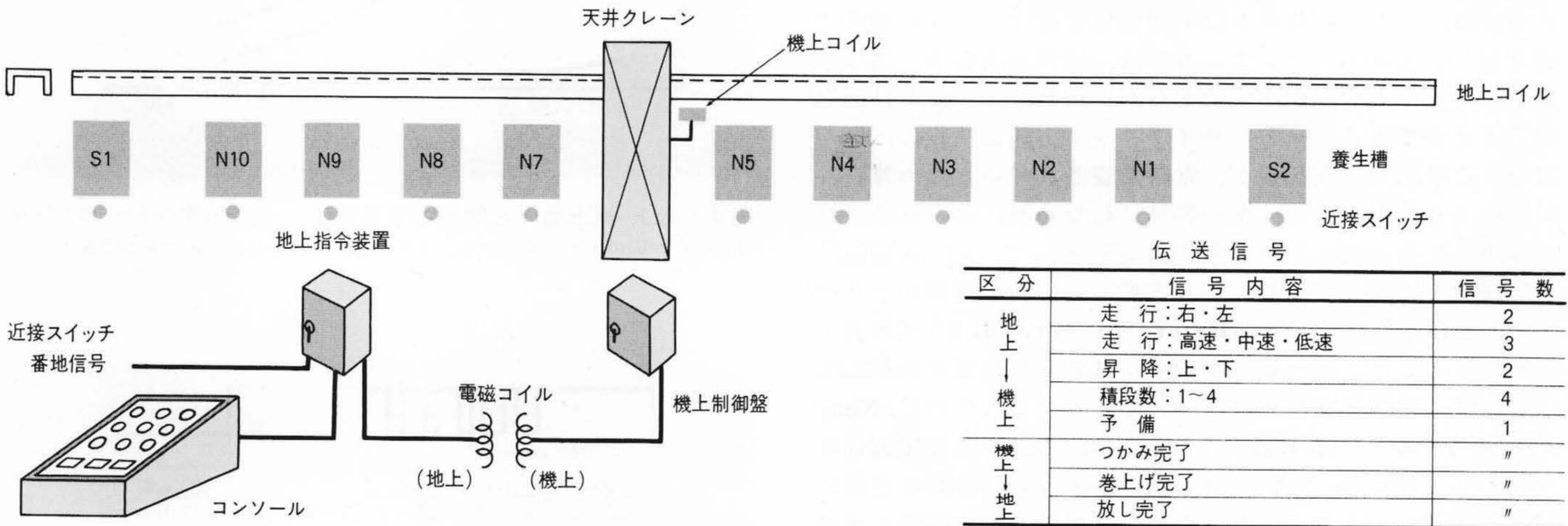


図6 天井クレーンの自動運転 つかみ装置付天井クレーンの自動運転に、天井クレーンを適用した例を示す。

局)で相手の判別が簡単にできる。一つの親局に対して相互伝送の場合、子局数は標準で4局までであるがこの増加は容易に行なえる。

4.2 特長

以上をまとめると、“HICALEC”の特長は、

- (1) 断線、騒音、及び寄りの制限などケーブルによるトラブルがない。
 - (2) 定マーク符号伝送、FS変調により信頼性が高い。
 - (3) 周囲雑音に打ち勝つだけの電力がとれるので、雑音に強い。
 - (4) クレーンがどこにいても連続して送受信可能で、受信側の同期も取りやすい。
 - (5) 伝送速度が接点情報で最高615点/秒と大きい。
- などである。

5 “HICALEC”の応用例

5.1 自動倉庫

自動倉庫はスタッカ クレーン、周辺コンベヤ装置、仕分装置、電子計算機、カード システム、及び制御装置などで貨物の受入れ、倉庫への入庫・出庫・払出し作業、品物の管理を自動化するもので、自動化のレベルにより大略表4に示すように分類される。

“HICALEC”には上述したような特長があるため、スタッカ クレーンの自動運転には最適である。図7に制御システムの構成とフローチャートを図8に冷凍倉庫に適用した例と

して中央冷凍株式会社納めの自動倉庫ブロック図を示す。自動倉庫制御装置の場合、スタッカ クレーンとの信号授受のほかに、番地検出方式、各種検出器、速度制御、並びに安全対策などの考慮しなければならない項目があるが、ここでは省略する⁽⁴⁾。

5.2 天井クレーンの自動運転

クレーンの自動化はグラブバケット付天井クレーン、つかみ装置付天井クレーン、リフティング マグネット付天井クレーン、チャージング クレーンなど、ハンドリング装置付クレーンに数多く適用され、その用途が拡大されつつある。図6に養生槽用天井クレーンに“HICALEC”を採用し、自動化した例を示す。

5.3 その他の装置への応用

自動倉庫、天井クレーンのほか、次に述べる装置にも応用できる。

(1) 天井クレーンの横行

横行トロリを“HICALEC”に替え保守を軽減する。

(2) カバー クレーンをストリップ クレーンより運転する。

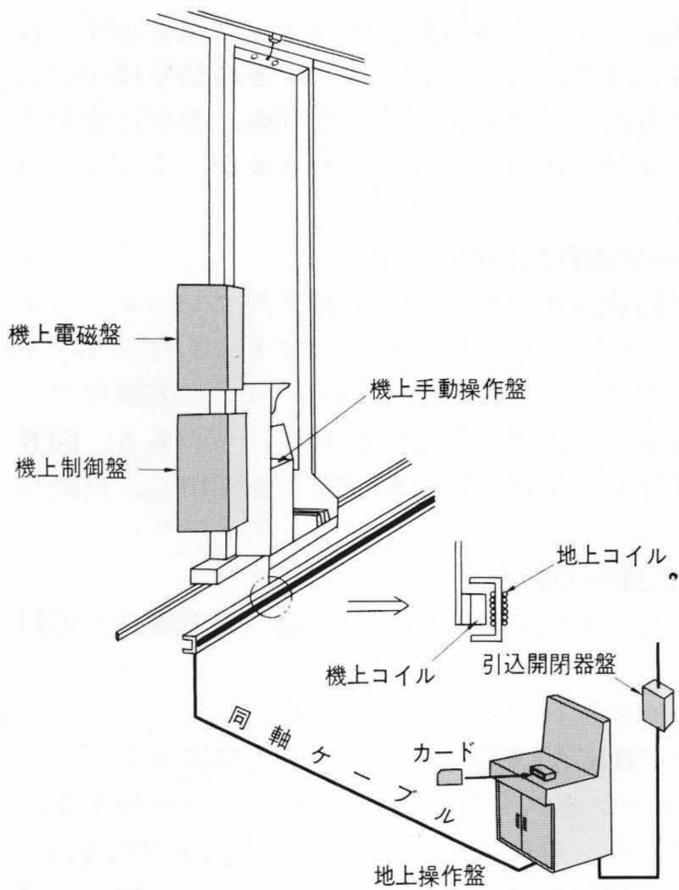
ストリップクレーンの運転士がカバー クレーンの運転も兼ねるもので、一部無線により実現されているが、無線方式は雑音の多い周囲環境では使用できない場合があり、これら遠隔操作に採用できる。

(3) その他

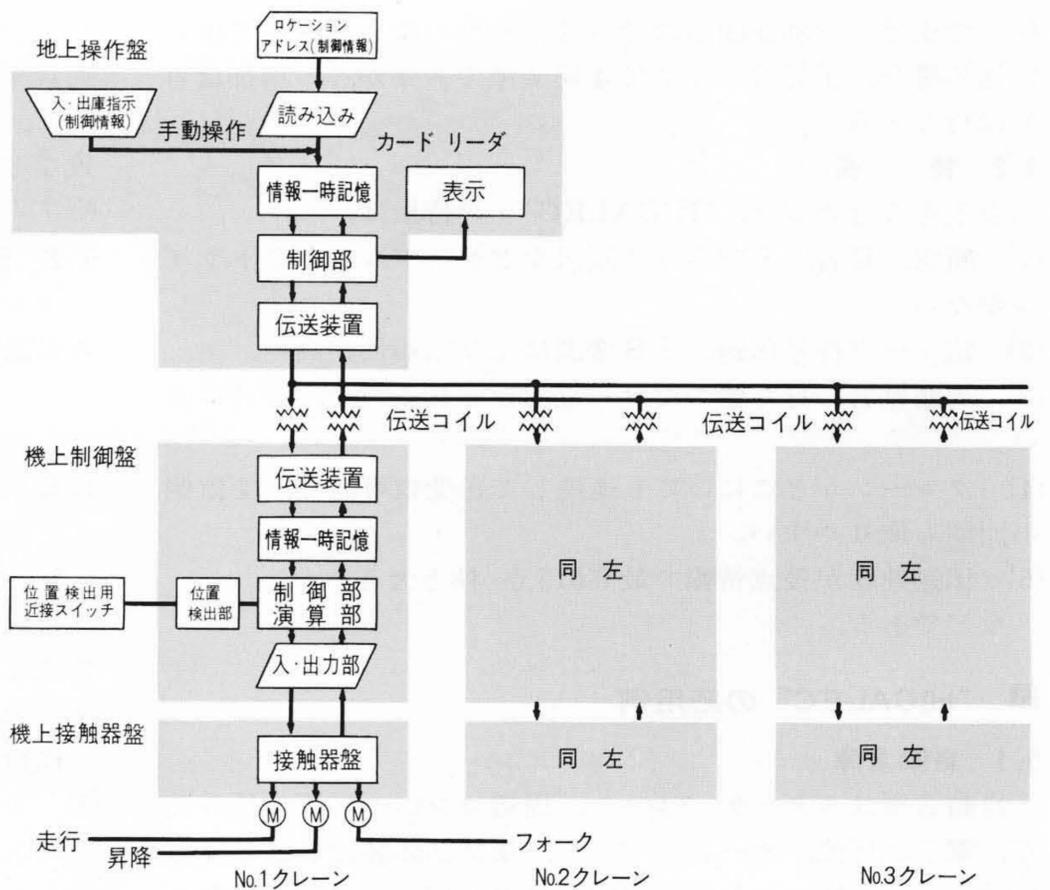
上記のほか各種台車、自動ホイストなど短軌道上を走行する機械に応用が可能である。

表4 自動倉庫の操作と制御方式の分類 自動化レベルにより機上制御、遠隔自動制御、及びコンピュータ制御に分けられる。

大分類	No.	小分類	概要	操作		管 理			備 考
				指 令	ロケーション決定	棚管理	—	—	
機上制御	1	手動	操作者が運転台に乗りコントローラにより走行・昇降フォーク運転の操作を行なう。定位置など自動停止はなく、極限のリミットスイッチのみを備えている。	コントローラ	人	帳票	帳票	帳票	1.小容量倉庫向きである。 2.電子計算機を併用することはほとんどない。 3.低価格であるが在庫管理が困難。 4.専任の運転員が必要。 5.No.1とNo.2の中間レベルとして、インチングレス(停止位置の手前でコントローラを低速ノッチにすることにより自動停止する)機能を設ける場合もある。
	2	半自動	操作者が運転台に乗り、目的の行先ボタンを押すことにより、自動的に定位置停止する方式。なおフォークの操作は(1)の方式と同様に手動で行なう。	押しボタン	"	"	"	"	
	3	全自動	自動設定盤をクレーン後部に置き、操作者は地上からこの設定盤を操作する方式。設定は押しボタン、デジタルスイッチカードなど種々に細分される。	"	"	"	"	"	
遠隔自動制御	4	デジタルスイッチ	複数台のクレーンの自動設定盤を地上盤にまとめた方式で、1人の操作者が作業伝票を見て押しボタン式あるいはデジタルスイッチで設定し操作する。	デジタルスイッチ	"	"	"	"	1.伝送装置は日立磁気結合式伝送装置“HICALEC”を採用できる。 2.中容量倉庫向きである。 3.電子計算機とのオフラインバッチ処理が容易。 4.機上操作盤との併用が一般的に行なわれる。
	5	専用カード	棚ごとに専用カードを設け、カードに棚No.行先などをパンチしておき、カードリーダに読み込ませて設定を与える方式。	カード	"	カード棚(有無)	"	"	
	6	80欄カード	カードを電子計算機と兼用して使用する方式で、その他は(5)の方式と同一。在庫管理など電子計算機用カードであるため、オフラインバッチ処理ができる。	"	電子計算機 ↓ 人	カード棚(あり)	電子計算機 ↓ 在庫表	"	
コンピュータ制御	7	直接制御(I)	カードによりロケーションの指示をするが、コンベヤとの結合を電子計算機の指示に従って一括運転する。在庫管理など(6)の方式と同様バッチ処理ができる。	"	"	カード棚(有無)	帳票又は電子計算機 ↓ 在庫表	"	1.制御のみ電子計算機を使用する方式。 2.在庫管理は事務用電子計算機の採用が考えられる。 3.伝送装置に“HICALEC”が採用できる。 4.大容量倉庫向きである。 5.伝送装置に“HICALEC”が採用できる。 6.電子計算機故障に備えバックアップ用機上制御を採用する。 7.高価である。
	8	オンライン(I)	電子計算機の指令により直接設定し操作する方式で、在庫管理が同時に行なわれる。なお、電子計算機は作業命令をクレーンに与えるだけで、自動運転はクレーンの制御装置により行なわれる。	電子計算機	電子計算機	電子計算機	電子計算機 ↓ 在庫表	"	
	9	オンライン(II)	(8)の方式と同一であるが、電子計算機により事務管理まで行なう方式。	"	"	"	"	電子計算機 ↓ 各種一覧表	
	10	直接制御(II)	クレーンの制御部も電子計算機で行なう方式で、自動運転の追跡まで一切を電子計算機で制御する方式である。	"	"	"	"	"	



(a) "HICALEC"式ラック制御システムの構成



(b) 制御システムフローチャート

図7 自動倉庫システム構成と、フローチャート "HICALEC"を使用した場合の制御システムの構成と、フローチャートを示す。

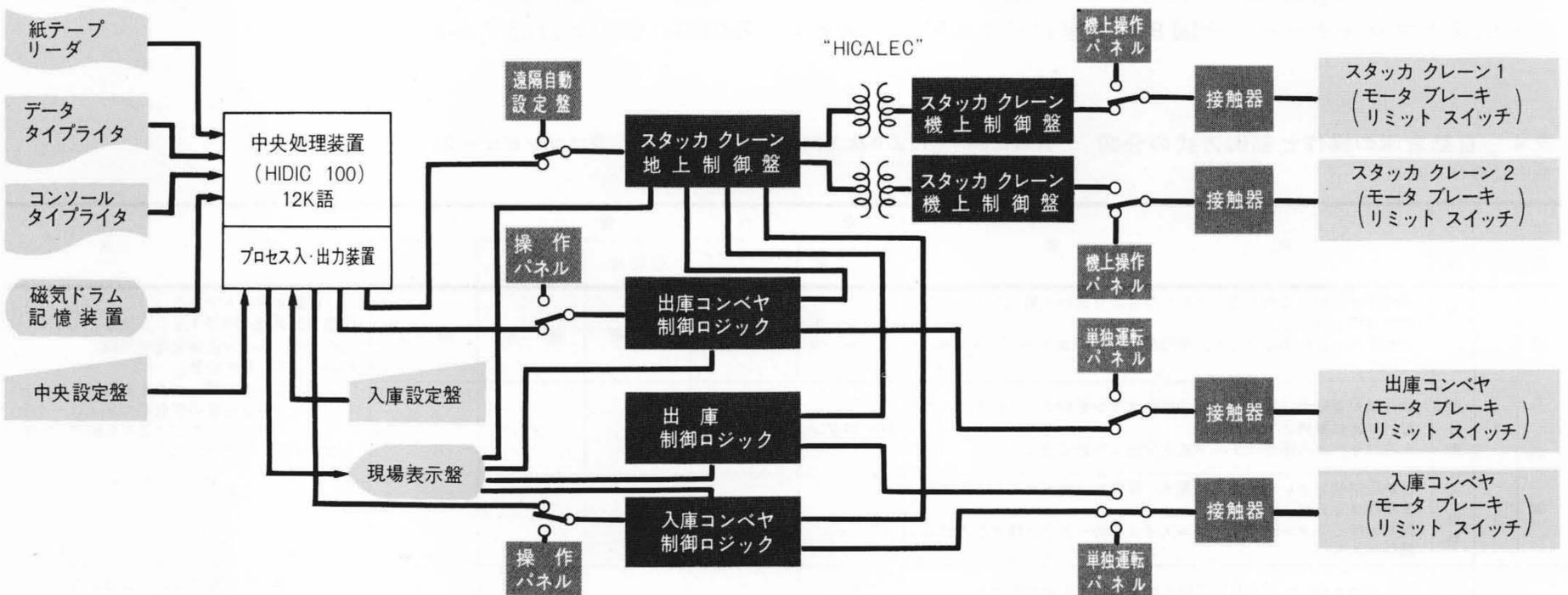


図8 自動倉庫ブロック図 冷凍倉庫に"HICALEC"を適用した例として中央冷凍株式会社納めの自動倉庫ブロック図を示す。

6 結 言

荷物運搬機械、特に天井クレーン、スタッカクレーンなどの自動化は今後ますます増加し、その制御も複雑高級化することが予測され、その際のケーブル処理と、その保守が問題となることは必至と考えられる。

この論文では、このようなことを想定し制御ケーブルの設置スペース、断線、保守の煩雑さから解放するため、無接触、高安定性、高信頼性を前提として開発した"HICALEC"の基本的な項目について述べ、更にその応用例を紹介したが、紙面の都合で割愛を余儀なくされた。終わりに、この装置の大要と応用につき大方の御理解を得るとともに、今後の計画の一助ともなれば筆者らの幸いとするとところである。

なお、この装置は移動機械を対象としているが、搬送装置

を1本のケーブルで直結して、固定装置間の伝送に使用することも可能である。

終わりに、終始御指導、御協力をいただいた日立製作所日立研究所、同習志野工場の関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 加藤「フェーズ・ロックト・ループの動作解析」トランジスタ技術(1972-4)
- (2) 佐藤、坂井ほか「パルスコード式遠隔制御装置」神鋼電機 15, 3, 28 (1970)
- (3) 黒木、小林ほか「最近の集中遠方監視制御の動向」日立評論 56, 587 (昭49-6)
- (4) 今西、藤田ほか「自動化冷凍倉庫」日立評論 56, 167 (昭49-2)