

交 流 卷 上 機 の 自 動 制 御

——斜坑複胴巻上機設備——

Automatic Control of A. C. Winding Machine

吉 岡 孝 幸* 今 井 利 秀*

Takayuki Yoshioka

Toshihide Imai

内 容 梗 概

最近、交流巻上機の自動運転の要求が増加の傾向にある。日立製作所では、交流制動機制御方式による押ボタン全自動運転による複胴巻上機の電気設備をこのほど完成納入し、現在すでに好調に運転にはいっている。本稿はその概要を述べるとともに、交流巻上機の自動運転方式について説明し、その選定基準につき述べたものである。

1. 緒 言

各種自動制御技術の著しい発展進歩により、各種産業の機械化には目ざましいものがある。

巻上機においても、坑底坑口の設備の進歩に伴って直流交流を問わず自動運転化が実施されつつある。特に最近における各種磁気増幅器のすばらしい発達により、従来困難とされていた交流電動機の世界速度制御の問題が解決されつつあり、交流巻上機の自動運転方式の急速な発展をみている。

日立製作所においては、交流制動機制御方式および低周波制御方式を早くより開発し、多くの交流巻上機に実施してきた。今回は、太平洋炭鉱株式会社釧路鉱業所に600 HP 斜坑複胴巻上機設備一式を納入し、好調に運転にはいっている。本稿では、その巻上機設備の概要を説明するとともに、自動制御の問題点、各種自動運転方式およびその選定基準について述べる。

2. 斜坑複胴巻上機設備について

本巻上機は太平洋炭鉱株式会社釧路鉱業所、春採坑に設置され、220 kW (300 HP) 三相誘導電動機2台により駆動される押ボタン起動のワンマンコントロール全自動運転複胴巻上機である。

2.1 斜坑複胴巻上機仕様

用 途	坑外設置斜坑人車および材料車巻		
形 式	DD-G ₂ PO		
鋼 索 張 力	人車の場合(最大)	10,550 kg	
	材料車の場合(最大)	10,250 kg	
巻 上 速 度	300 m/min(5 m/s)		
坑道最高勾配	10°30'		
巻 胴	平均	2,250 mm	
	幅	2,000 mm, つば径 3,000 mm	
鋼 索	直径	38 mm	
	構造	6×F[(2×3+3)+9]	

* 日立製作所日立工場

巻 上 距 離 約 2,000 m

制 御 方 式 交流制動機制御

電 動 機 220 kW (300 HP) × 2台 3,000V 50~12p

制 動 機 110 kW (150 HP) × 2台

2.2 設 備

第1図に本巻上機設備の坑道の概要を示す。電気設備は坑外に設置されており、その全景は第2図に示すとおりである。

この巻上機は坑口より坑底(または坑底より坑口)までの人員昇降、材料上下に使用され、巻室より押ボタン起動を行って人車の場合は1サイクル自動運転、材料車の場合は単胴にて1/2サイクル自動運転され、必要に応じて半自動、手動運転も可能のように設計されている。

第3,4図はデューティ・ダイアグラムの内二例を示す。A部は起動→加速の区間 B部は全速 C部は減速 D部は停止直前の低速運転区間で着床精度を高めるためのものである。

3. 自動制御の問題点

3.1 巻上機設備の特質

巻上機設備は、運搬計画を確実に達成しうるとともに、建設費、運転維持費の低廉なことが必要なのはもちろんであるが、同時にひんぱんな起動や運転停止、かこくな取扱いにたえ、しかも広範囲な速度制御が円滑精密に行える必要があり、設計上次の諸点に留意せねばならぬ。

- (1) 安全確実な運転ができること。
- (2) 正確なプログラム運転ができること、すなわち
 - (イ) 荷重変動のいかんにかかわらず加減速度が円滑かつ一定であること。
 - (ロ) 減速開始点が正確かつ確実に得られること。
- (3) 安定な低速や正確な着床が得られること。
- (4) 運転能率がよいこと。
- (5) 確実に動作する保安装置を設けること。
- (6) 確実迅速に連絡できる信号装置を設けること。

巻上機設備はこれらの特質を十分に満足するもので

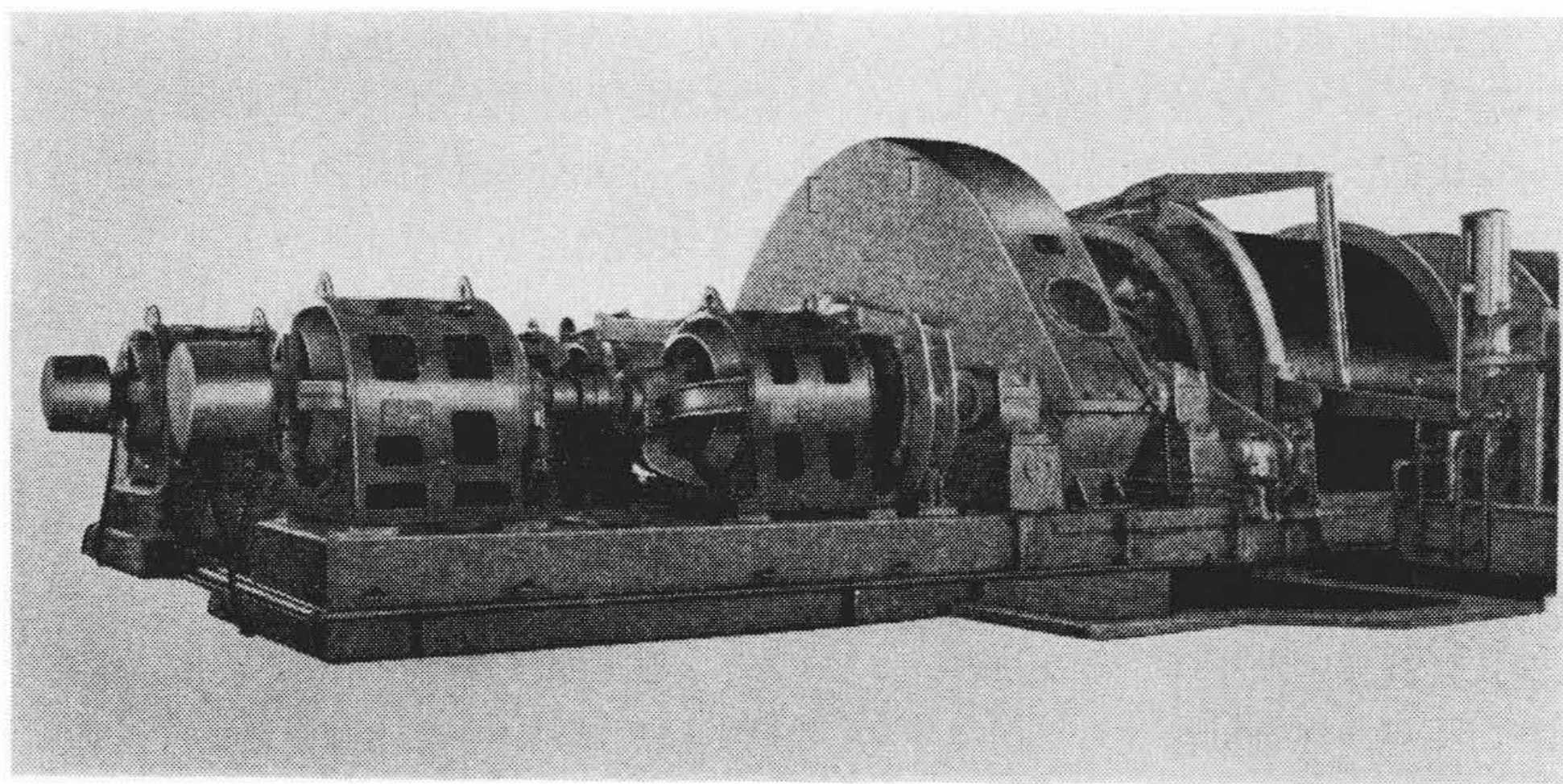
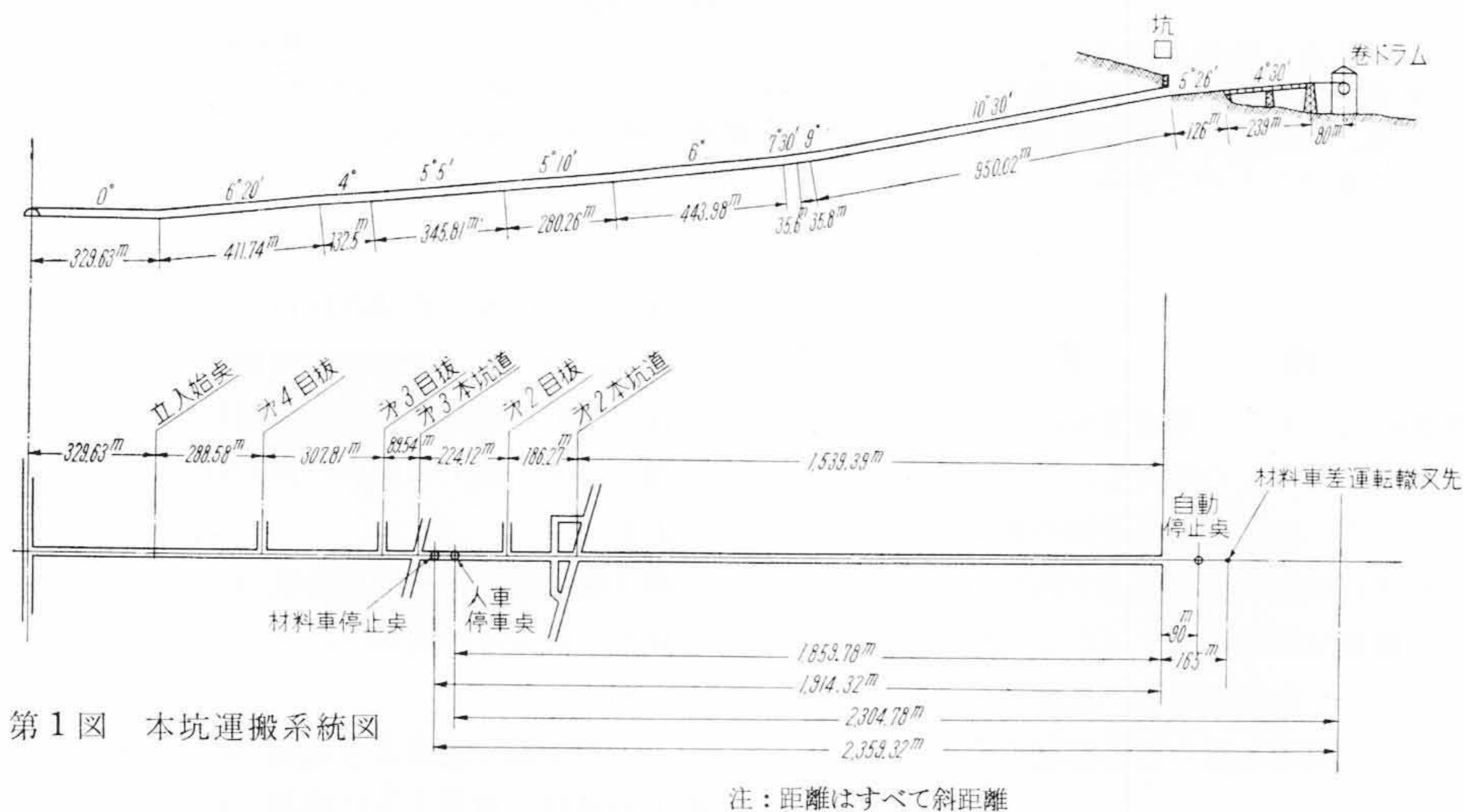
なければならぬが、特に速度制御装置には(1)ないし(3)項が要求される。次にこれらの問題につき検討を進め、その解決の手段について述べる。

3.2 制御装置に対する要求

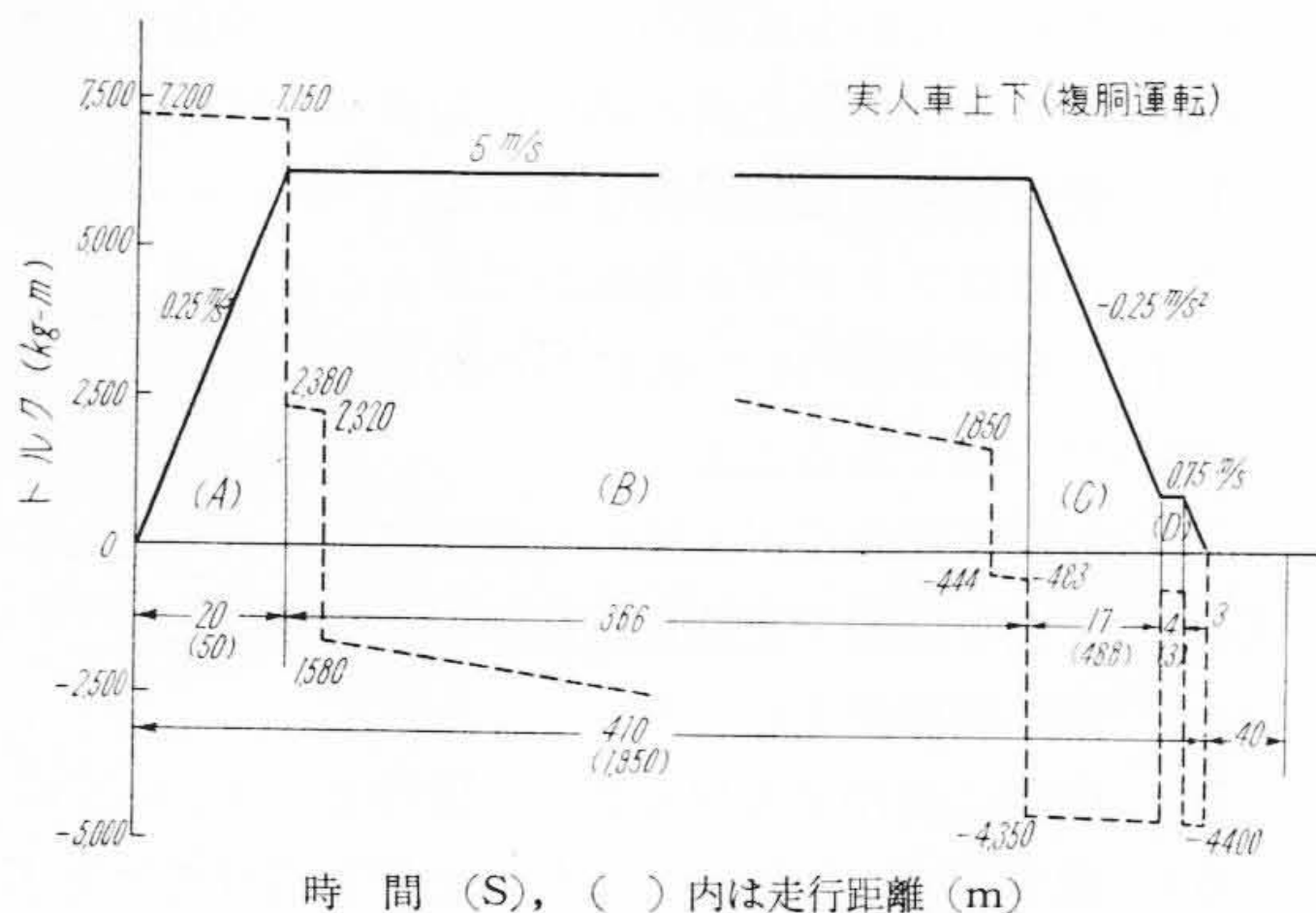
まず(1)の問題について

巻上機の運転、制御装置は信頼性の高い安全確実なものであることが第一要件である。そのために、電気品、機械品、制御装置、保安器具類は特に堅牢なものとし、また、二重、三重もの保護装置を設けている。

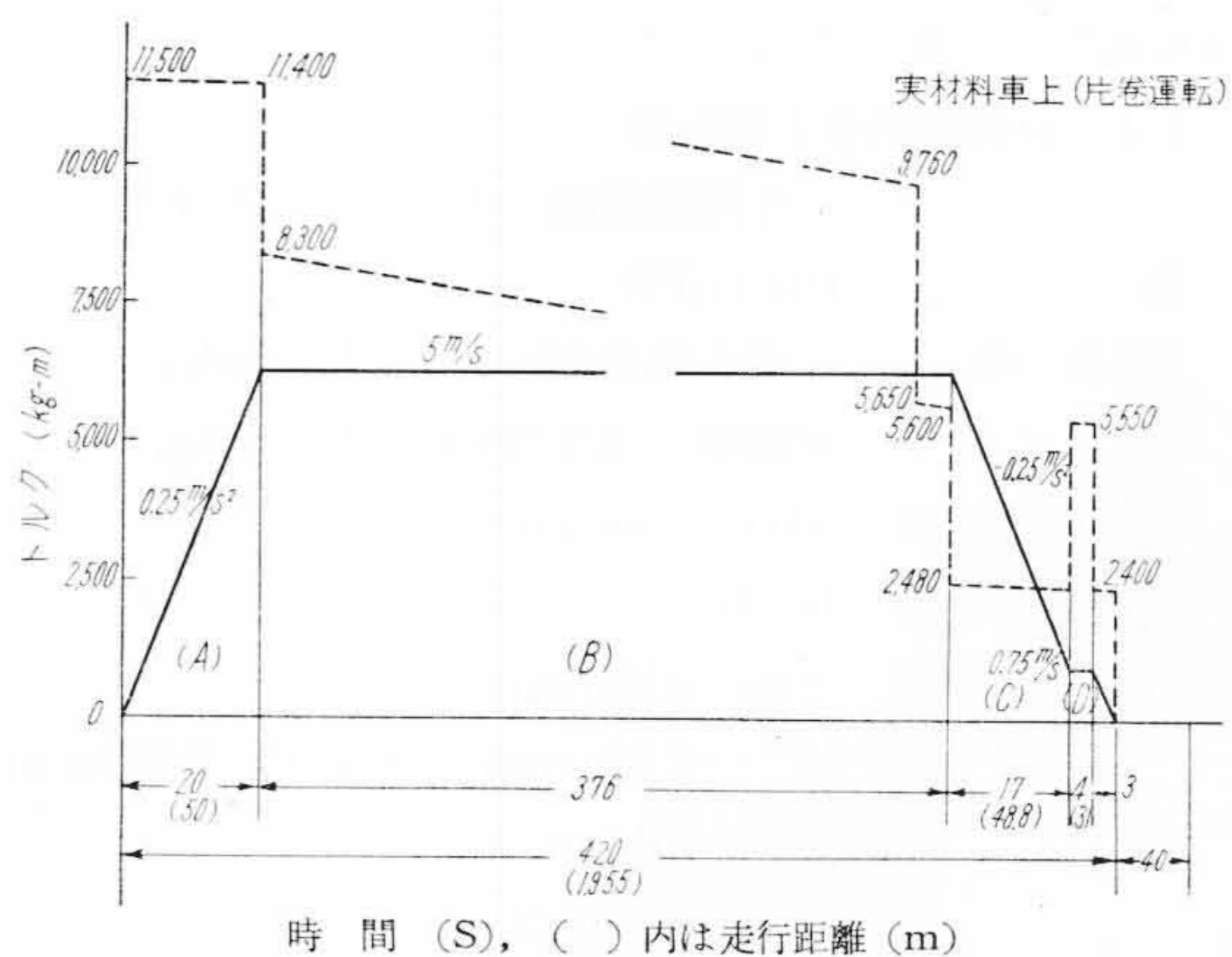
(2)―(イ)の問題



第2図 太平洋炭硯鉋路硯業所納 440kW (600 HP) 複胴巻上機全景

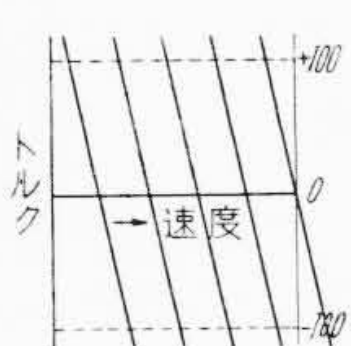
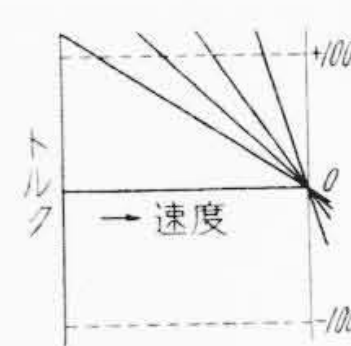
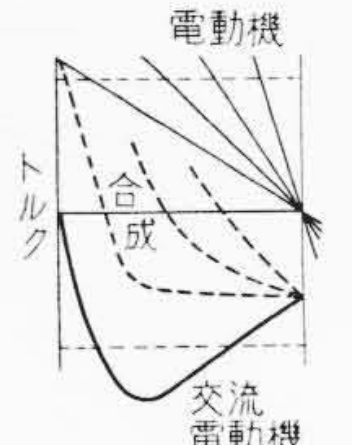
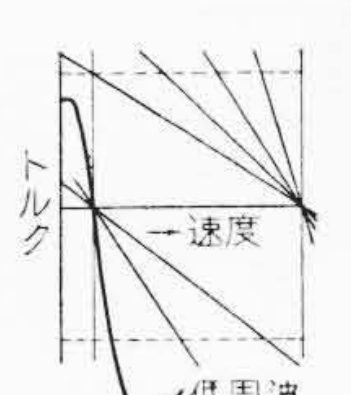


第3図 複胴巻上機の duty diagram



第4図 複胴巻上機の duty diagram

第1表 各種自動制御方式の比較

	直 流 方 式	交 流 方 式		
	ワードレオナード方式	単 純 方 式	交流制動機方式	低 周 波 方 式
トルク特性				
加速	負荷トルクの変動にかかわらず円滑に加速	負荷トルクの変動により加速度が変化する	ワードレオナードと同様、ただし自動制御が必要	単純方式と同様
減速	メカニカルブレーキにたよらず電氣的制動力により円滑に行われる	メカニカルブレーキにたよる負荷トルク正の場合は二次抵抗によりある程度減速できるが、大部分はブレーキにたよる	ワードレオナードと同様、ただし自動制御が必要	負荷トルク正:-単純減速に同じ 負荷トルク負:-低周波による回生制動により円滑に行わる
低速	負荷トルクの正負にかかわらず安定している	負荷トルク正:非常に不安定でブレーキにたよる 負荷トルク負:ブレーキのみ	低速度は $\frac{1}{10}$ 程度	負荷トルクの正負にかかわらずきわめて安定している 低速度は $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$
低速区間	低速区間の制限はない	—	電氣的ブレーキの併用により低速を出しているの電力消費の点より低速区間の短かいものに適する。	ワードレオナードと同様
停止精度	良 好	—	やや良好 荷重条件一定の場合は良好	良 好
消費電力	小	—	多小大となる	小
設備費	理想的方式であるが設備費大 運転費大	最も安価なり ただし制御性悪い	単純方式の約2倍となる	交流制動機方式よりやや大 直流方式よりも小
保守	すべて直流機のため整流子はじめ保守、点検に注意を要する	普通 ブレーキの点検取替えが必要	普通 ただし単純方式より多少複雑になる	LFGが同期形の場合は普通 整流子形の場合は整流子があるため多少保守、点検に注意を要する。
批評	理想的方式	—	負荷トルクの変動が大幅にある場合に適する	坑斜スキップ巻上機のように、負荷変動があまりないものや減速トルクが負のものに適する

誘導電動機を加速する場合は、電動機の二次回路入抵抗を順次短絡していく。この場合二次抵抗があらかじめ選定された抵抗値のものであれば、負荷トルクが変動する場合は加速度がそれに応じて変化する。

たとえば、本巻上機においては第3、4図に示すように加速度を同一にするための実人車上下の加速トルクは実材料車上げの加速トルクの62.5%にすぎないので、人車の場合に 0.25 m/s^2 の加速度をもつように二次抵抗を選定したとすれば材料車の加速度は 0.156 m/s^2 となり、加速時間が7.5秒延びることになる。

従来の巻上機では機械的制動力により、運転員の熟練のみにたよってそれを調整していたが、これでは正確な制御は期待しえない。

本設備ではこの従来の機械的制動力を電磁的制動力におきかえ、電動機トルクに重畳して運転を行う交流制動機方式を採用したので加減速度を常に一定にすることができた。またこの方式では、負荷トルクが正でも負でも制御できる特長をもっている。運転の詳細は

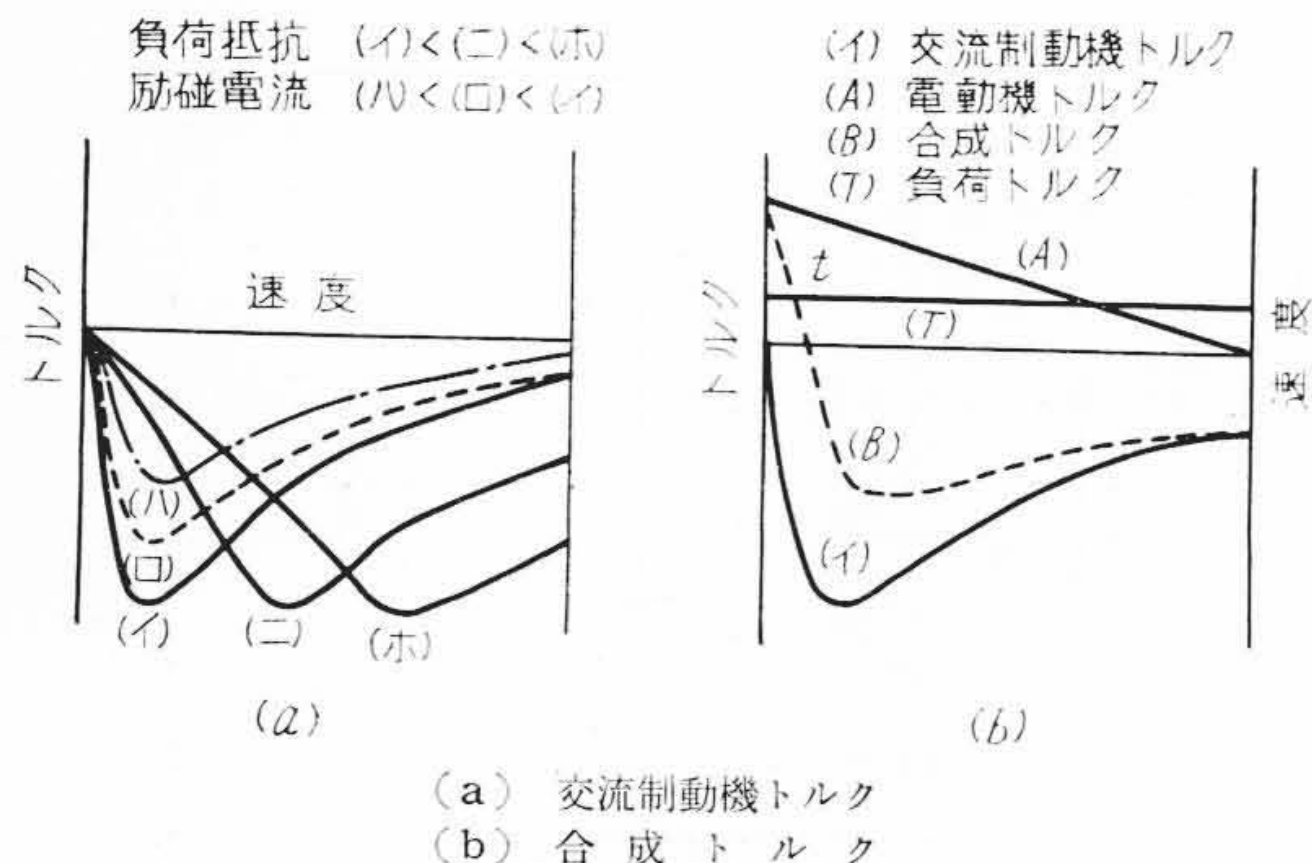
後章に述べる。

(2)一(ロ)の問題

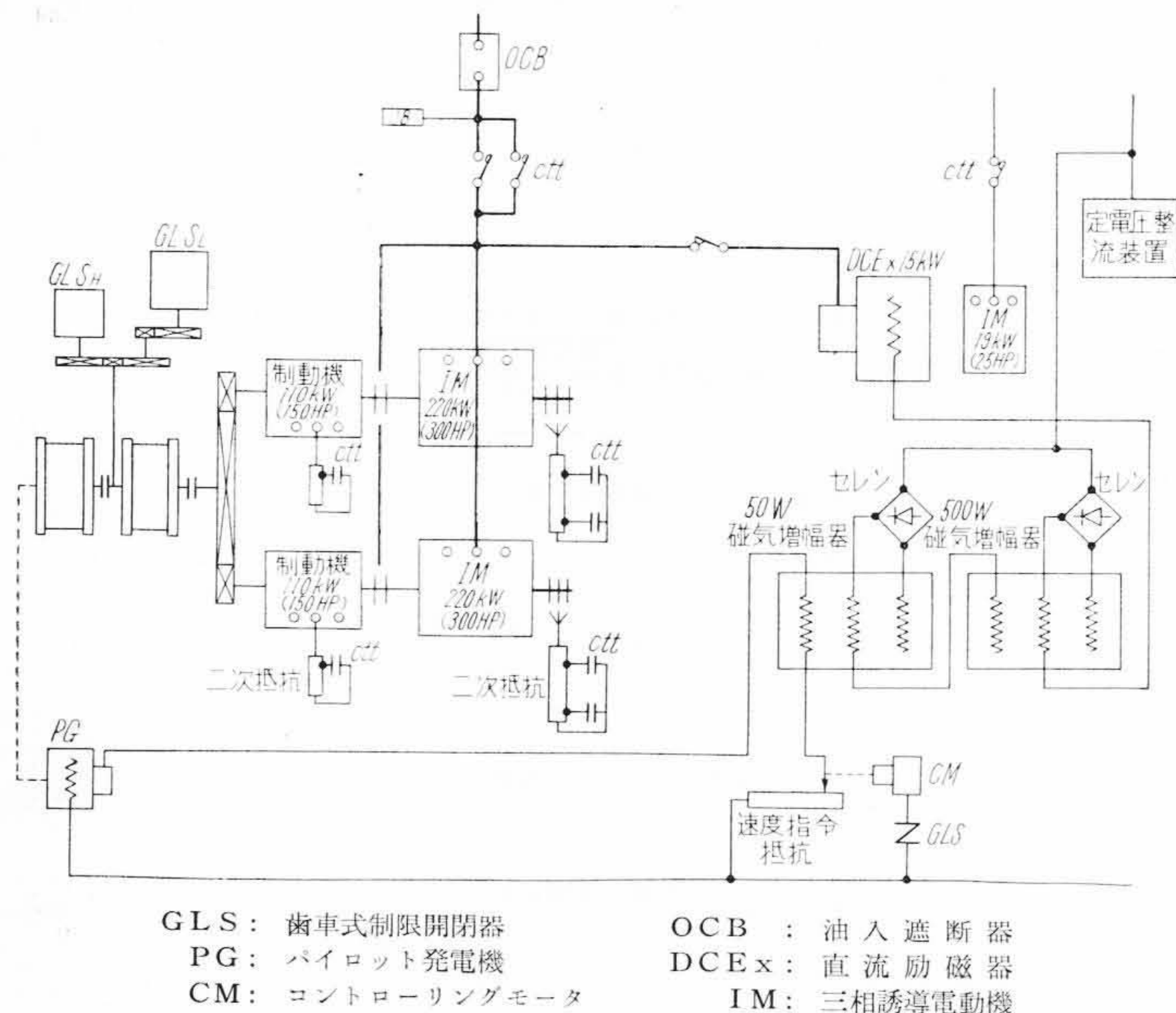
第3図においてかりに減速地点が予定より1秒早すぎたとすれば、走行距離にして5mも早く減速を完了して低速運転にうつるので運転時間が5.7秒延びることになる。もし1秒おそすぎたとすれば、減速度一定とするならば、2m行きすぎて低速運転の余裕がない。すなわち減速開始が早すぎれば、最終低速走行時間が著しく延長され非能率となり、おそすぎれば、最終低速が得られず、停止精度不良となる。

減速地点は、坑道上のトラック、スイッチにより検出する場合もあるが、この巻上機では巻上距離が約2,000mもあり、かつ人車と材料車で停止位置が異なるので、導線が大量に必要となり、またその保守が困難である。

このため、本設備では巻室に設置された特殊構造の制限開閉器により減速地点を検出させ、集中保守可能のように設計製作し好結果を得ている(4.1(6))および



第5図 交流制動機制御方式のトルク—速度曲線



第6図 太平洋炭砒納 440 kW (600 HP) 複胴巻上機主回路結線図

第7図参照されたい。

(3)の問題

巻上機においては、その着床精度は非常に重要な問題である。着床精度が悪いことは、人車（または材料車）の入れ替えに、はなはだ不便となり、場合によっては再起動調整の必要が起るなど、著しく能率を損ずる。この着床精度は、停止前の低速が低く、かつ安定しているほど、また機械制動の即応性が大であるほど良好であるが、最も影響の大きいものは停止前の低速である。

本巻上機においては、停止直前の低速を 0.75 m/s とし、かつ、電磁的制動力の重畳により非常に安定な低速が確保でき、高度の着床精度が得られた。

4. 制御方式の比較

各種自動制御方式の特長を簡単にまとめたのが第1表で、比較のため手動二次抵抗制御の交流巻上機の特長も

記載した。第1表中単純方式とあるのはこれである。ワードレオナード方式については、いまさら述べるまでもないと思う。また、交流制動機制御方式、低周波制御方式に関しては、その理論および構造の詳細をすでに発表済みである⁽¹⁾ので以下は概要を記すにとどめる。

4.1 交流制動機制御方式

本方式は前述せるごとく、従来運転員の熟練に依存していた機械制動力を電磁制動力に置きかえ、電氣的に制御するものである。以下太平洋炭砒株式会社納 440 kW (600 HP) 巻上機を例にとって説明する。

交流制動機のトルク—速度曲線は第5図に示すように常に負トルクであり、制動力の制御は界磁電流の変化と負荷抵抗の変化を併用して行う。

運転は電動機トルクとこの制動トルクを重畳して行うので、負荷トルクは正でも負でも制御可能であり、ワードレオナード方式に匹敵する程度の性能が得られる。

(1) 主回路

第6図に本巻上機の主回路結線図を示す。本巻上機は押ボタン自動運転であるので、起動指令が出されたのち速度指令が歯車式制限開閉器により発せられ、人車では1サイクル、材料車では1/2サイクルの運転終了後自動停止する。

さて起動から停止までの動きを追って見よう。

(2) 起動→加速

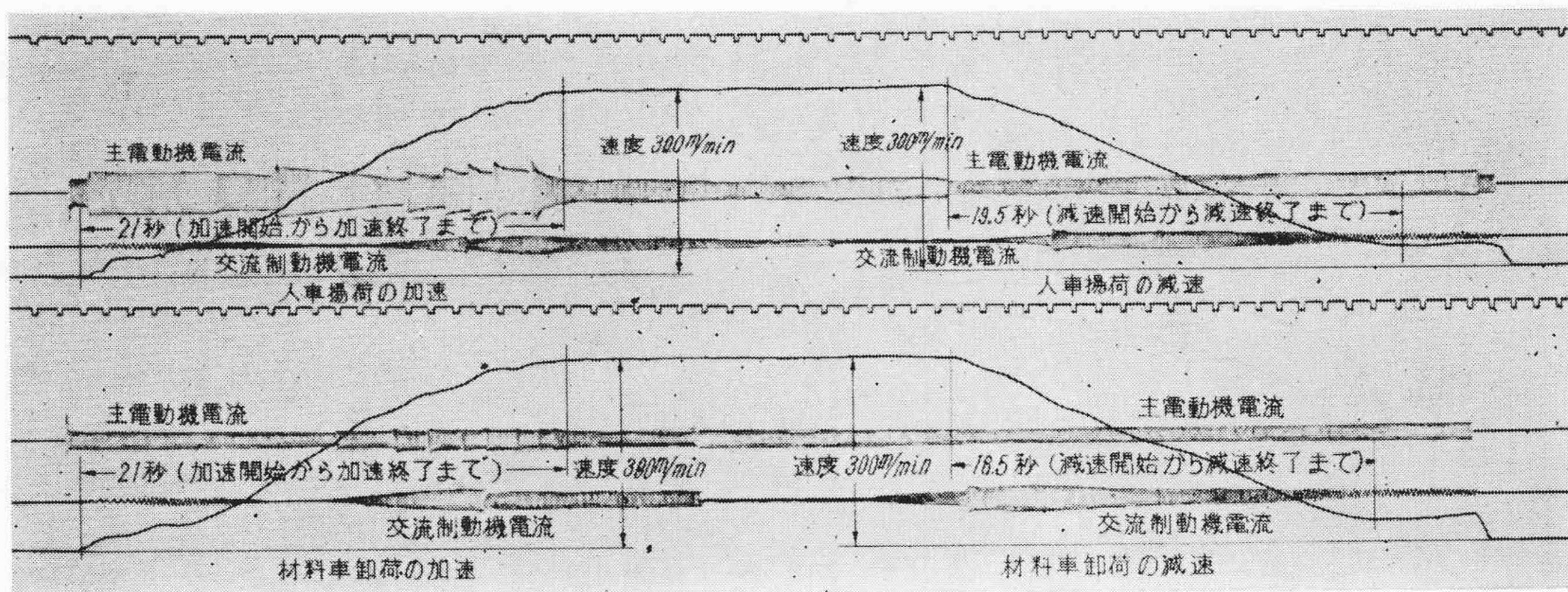
押ボタンによる起動指示により電源が投入され、同時に電動操作速度指令抵抗器が駆動され、速度—時間曲線を電圧として指令する。誘導電動機の二次抵抗の第1, 2ノッチは時限継電器と電流制限継電器により短絡され、第3ノッチ以後は歯車式制限開閉器と電流制限開閉器により順次短絡される。一方速度指令電圧と巻上機速度すなわちパイロット発電機電圧との差電圧を検出し、磁気増幅器により交流制動機の界磁制御を行って制動トルクを調整し、電動機を所定の加速曲線に沿って加速する。(第3, 4図A部)

(3) 全速

巻上速度が全速に達すれば、歯車式制限開閉器により交流制動機の励磁は解かれ、単に電動機のみにより運転される(B部)。

(4) 減速

減速開始地点に達すると、制限開閉器により減速指令が出され、運転プログラムに従って速度基準抵抗を減速側に動かし予定された減速曲線にそって減速させ



第7図 運 転 オ シ ロ グ ラ ム

る。もちろん、電動機の二次そう入抵抗は運転プログラムに従って順次そう入し、減速を容易にする(C部)。

(5) 低速→停止

減速完了後、停止精度を良くするため 0.75 m/s の低速運転を行う。停止位置に達すると、電磁弁を切替え、機械的制動機を動作させて自動停止する。この際、制動力が十分大となってずり落ちの危険性がなくなったとき、電源を遮断し完全停止させる。

(D部)

(6) 運転オシログラム

第7図は自動運転時のオシログラムで、全速運転区間を省略し、加速、減速、低速、停止部を拡大したものである。上部は人車揚荷の場合、下部は材料車下荷の場合を示す。

このオシロよりわかるように、負荷変動にかかわらず一定の加減速度が得られ、さらに停止直前の低速が非常に安定しているので精密な着床精度が得られた。また減速地点は特殊構造の制限開閉器を使用したので正確に検出できている。

以上より交流制動機制動方式は、この巻上機設備の速度制御に対する要求をほぼ完全に満足していることがわかる。

4.2 低周波制御方式

次に比較の意味で、この巻上機設備に低周波制御方式を使用した場合の運転の実際について考えて見る。

交流電動機の同期速度と周波数には下式のような関係があり、極数一定の場合には周波数に比例した同期速度が得られ、これより少し低い速度で回転する。

$$N = \frac{120f}{p}$$

N : 同期速度 (rpm)

f : 周波数

p : 極数

すなわち低周波電源より電力を供給すれば、電源周波数に比例した低速の同期速度が得られ、低速において安定した運転ができ、かつ全速より低速までの間誘導発電機として制動トルクが得られる。この特性を利用したのが、低周波制御方式でそのトルク—速度曲線は第8図のとおりである。トルク—速度の制御は低周波印加電圧の変化と二次抵抗の変化を併用して行う。

(1) 概略主回路結線図

第9図は常磐炭鉱神之山鉱に納入した、低周波制御方式の 440 kW (600HP) スキップ巻上機の主回路結線図である。太平洋炭鉱株式会社に納入した 440 kW (600HP) 複胴巻上機を低周波制御方式とした場合は、ほぼこれと同じ回路となる。

(2) 起動→加速

押ボタンによる起動指示により電源が投入され、時限継電器と電流制限継電器により電動機の二次そう入抵抗を順次短絡し加速する。

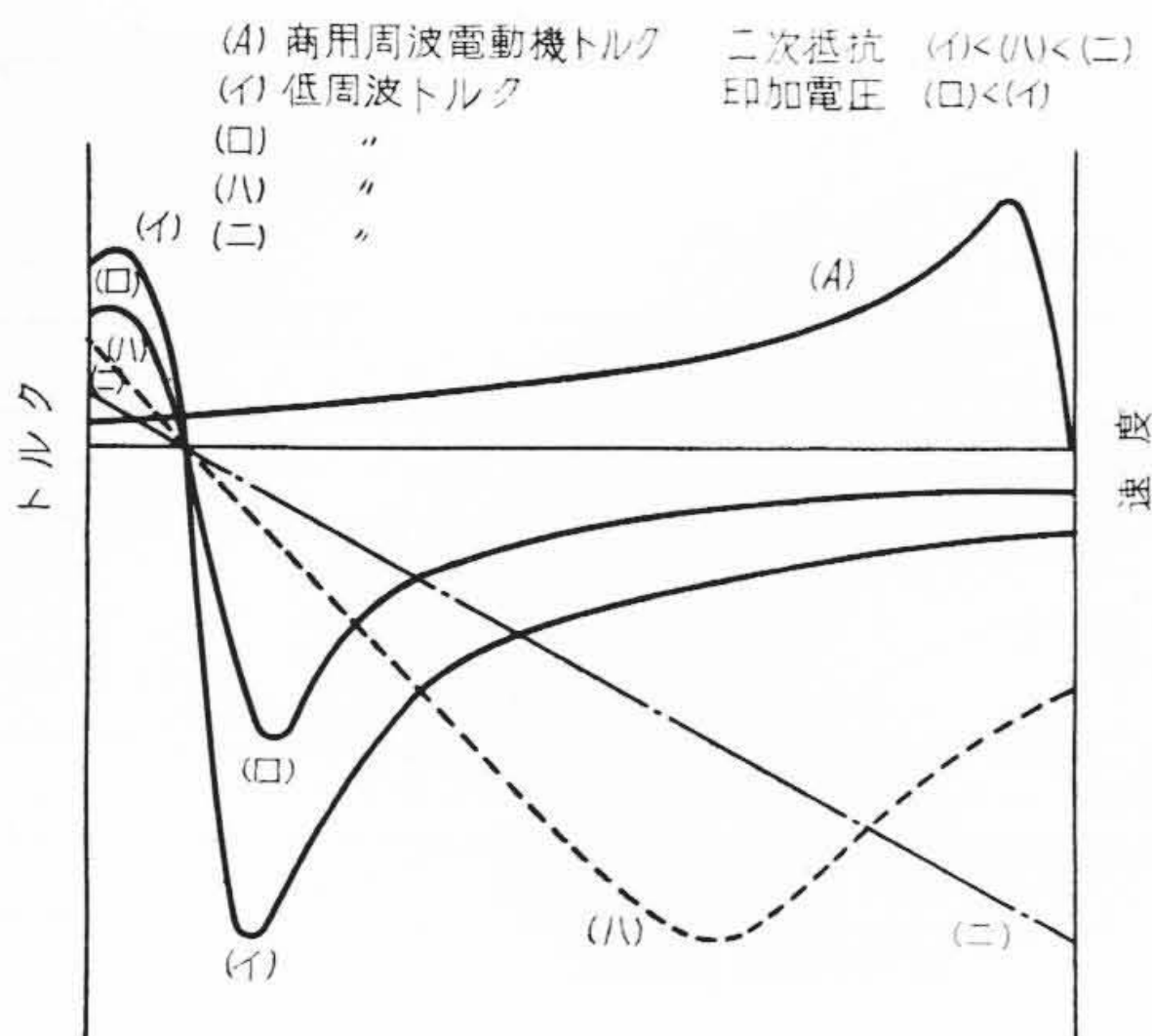
この場合は従来の単純交流巻上機と同様なので、負荷トルクの変動により加速度が変化する。すなわちこの方式では、加速度を一定にするために、さらに特別な装置が必要である。以上より本方式は加速度の変動があまり影響しない巻上機、あるいは、負荷トルクの変動しない巻上機には適しているといえる。

(3) 減速

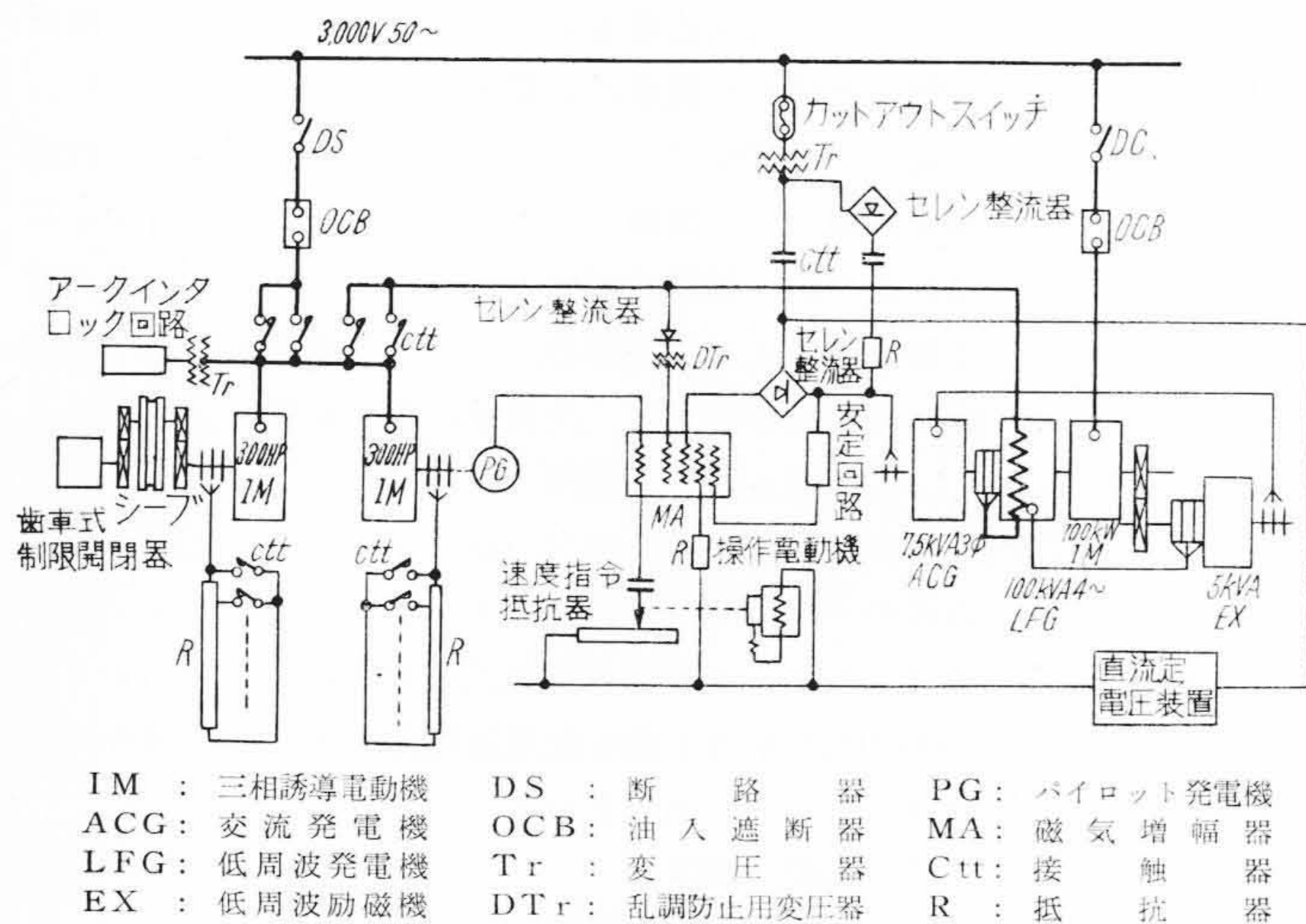
本巻上機の減速トルクは正負にまたがっている。低周波制御方式においては、減速トルクの正負により、その速度制御が異なるので、負荷検出を行って正負を判別し、制御方式の選択を行わせる必要がある。

(a) 減速トルクが正の場合 (第4図材料車上げ)

減速開始位置に至れば、負荷検出により、与えられた減速に一致するよう選定された二次抵抗を制御開閉器により順次そう入して減速し、所定の低速に達すると商用周波電源は切り離されて低周波電源に接



第8図 低周波制御方式のトルク-速度曲線



第9図 整流子形低周波発電機方式の接続図

続され低速運転にはいる。

(b) 減速トルクが負の場合(第3図人車上下の場合)

減速開始位置に至れば、負荷検出により商用周波電源は切り離され、電動機は低周波電源に接続される。同時に電動機速度指令抵抗器は駆動され、与えられた速度-時間曲線を電圧として指令する。この指令電圧とパイロット発電機電圧との差電圧を増幅し低周波電圧を変化させて回生制動力を調整し、さらに制動力を円滑にするために電動機二次抵抗を適時減じ所定の減速を行い低速運転にはいる。

低速の安定度は前方式に比較してすぐれているので安定な低速が必要なスキップ巻上機などには最適である。

(4) 停止

これは前方式と同様である。

(5) 前方式との比較

低周波制御方式をこの巻上機設備に使用する場合、

(a) 減速トルクが負の場合には、前方式同様、完全なプログラム運転が可能である。正の場合には負荷に応じ多少加減速度が変動する。

(b) 低速の安定度は交流制動機制御方式に比べてすぐれているが、交流制動機制御方式でも十分着床精度を満足するので、低周波制御方式を採用するほどではない。

(c) 設備費が低周波制御方式の場合のほうが多少高価となる。

以上により本設備には、交流制動機制御方式のほうが良いことがわかる。

次に自動制御方式の選定基準について考えて見よう。

5. 自動制御方式の選定

3.に述べた制御装置に対する要求を完全に満足する方式は直流のワードレオナード方式であるが、直流方式を採用するほどでもない場合には、設備費が低廉で、使用方法によっては直流方式にも匹敵する性能をもつ交流方式が採用される。

交流方式を使用する場合、第1表に示したようにおのこの方式にはそれぞれ一長一短があるので、巻上機の種類、制御の方法、デューティダイアグラムおよび経済性を良く検討し、おのこの方式の長所とするところが最も多く発揮できる方式を選定すべきである。一方、その方式をより有効に使用するため、機械的条件やデューティダイアグラムを再検討することも重要である。

る。

ところで方式選定の要素には①巻上機の形式 ②坑道条件 ③荷重の種類 ④荷重条件 ⑤必要な低速度およびその安定性 ⑥停止精度の要求などの機械的条件のほか、複雑な経済的問題がからんでくるので、相当慎重な多角的検討が必要である。以下、色々な荷重条件を主題としてその選定問題を考えて見よう。

5.1 荷重条件が一定の場合

斜坑スキップ巻上機のように低速区間中の負荷トルクが大幅に変動する巻上機を除けば、低速運転の安定度および停止精度は同程度であるので、経済的見地より、多少設備費の低廉な交流制動機方式が選ばれる。ただし、低速区間の長いものでは、電力消費量の面より、低周波制御方式が良い場合もある。

斜坑スキップ巻上機の場合は、前述のように低速区間中の負荷トルクが変化するので、低速運転の非常に安定している低周波制御が最良である。

5.2 荷重条件が変動する場合

(1) 減速トルクが負

減速トルクが常に負であればどちらの方式も使用可能である。特に低速の安定度や停止精度が問題となる時、あるいは低速区間の長い場合には低周波制御を採用したほうが良いが、低速運転が停止精度のみを目的とする普通の巻上機では交流制動機方式でも十分要求が満足できる。

(2) 減速トルクが正負にまたがる場合

この場合は、まず低周波制御では正トルクの場合負荷変動により減速度が多少変化することを念頭に置いて制御方式の選定を行わねばならない。

このため交流制動機制御方式を採用するのが普通であるが、低周波制御特性がどうしても必要な場合もある。この場合は安全運転の範囲内で減速度を大にし減速トルクを負にするように機械的条件を考慮するのが良い方法であろう。

また種々の運転ケースのうち減速トルクが正の場合はまれで負のケースが多い場合、あるいは正トルクが小さい場合は、多少正の場合の特性をぎせいにすれ

ば、負荷検出を行って自動運転が可能である。

(3) 減速トルクが正

この場合は交流制動機方式を採用するのがよい。

6. 結 言

以上で、太平洋炭硯株式会社釧路硯業所に納入した440 kW (600 HP) 複胴巻上機の概要を説明するとともに、自動制御方式の選定について述べた。本稿が少しでも制御方式選定にあたり参考になれば幸である。

交流巻上機の自動運転は最近実施され始め、現在は進歩の段階にある。交流方式は直流方式に比して制御上非直線要素を多く含むので、その制御は困難な部類に属するが、磁気増幅器による負き還制御の利用により円滑なプログラム運転ができるようになり、直流方式に匹敵する結果が得られているが、さらに研究を重ね一段と簡単確実な方式になるよう努力を続けており、今後この方式の進展が大いに期待される。

参 考 文 献

- (1) 横田, 角田: 日立評論 39, 445 (昭 32-4)
(2) 千葉, ほか: 日立評論 39, 1009 (昭 32-9)

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その4)

(第30頁より続く)

種 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	499540	高倍率電子顕微鏡投射レンズ絞り装置	多賀工場	菰田 孜	34. 8. 26
"	499542	蓄電器電動機の蓄電器取付け装置	多賀工場	萩野谷 忠昭	"
"	499543	気 化 器	多賀工場	湯 沢 宏	"
"	499544	ポンプの圧力タンク	多賀工場	大屋 三郎 大津 卓郎	"
"	499704	エアーベント式気化器	多賀工場	森 通 次	34. 8. 28
"	499705	誘導電力形方向継電器	多賀工場	渡 井 三 夫	"
"	499707	気化器負圧取出孔	多賀工場	森 通 次	"
"	499708	しゅう動弁式気化器	多賀工場	佐 藤 清	"
"	499709	合成樹脂製歯車用ボス金具	多賀工場	佐 藤 忠 吉 小 室 明	"
"	499712	同期はずれ保護継電装置	多賀工場	小 野 邦 男	"
"	499714	気化器浮子室	多賀工場	桜 井 正一郎	"
"	499722	小形電機刷子角度調整装置	多賀工場	上 村 民 夫 大 川 浩一郎	"
"	499733	電子レンズ装置	多賀工場	大 沼 嘉 郎	"
"	499522	X線管冷却用油	亀戸工場	和 田 正 脩 安 藤 文 藏 小 林 長 平	34. 8. 26
"	499711	電 磁 石 装 置	亀戸工場	大井田 浩	34. 8. 28
"	499713	巻線形回転子	亀戸工場	橋 本 勲 一	"
"	499720	カム形スイッチ	亀戸工場	松 田 幸次郎 渡 辺 新太郎	"
"	499736	電磁開閉器の可動接触子支持装置	亀戸工場	森 泉 袈裟弥 千 原 錦 吾	"

(第66頁へ続く)