

船舶積荷装置の電気運轉

富士電機製造株式會社

高田三郎

◎ 内 容 梗 概

一般的に電動機の特性を略述し、捲揚機の運轉方法及び種々の電動機とその接續とによつて異なる特性を詳述し終にその經濟的なことを例示してある。

◎ 緒 論

船舶貨物の積卸方法は船舶經濟に最も大なる影響を及ぼすものである、従つて現今比較的大なる港灣に於ては等しく有力な新式起重機を設備し或は米國の諸港に見る鑛石運搬船の如き貨物積卸のみを設計の基礎とした特殊船によつて行はれて居るのである。

普通の積荷船は陸上の起重機ばかりでは貨物の積卸は不可能で他に何等かの方法で速に積卸を成就せしめなければならない、茲に積卸に際して帆柱を利用して支柱を起したり倒したり廻轉したりする船船用捲揚機を設備するのである。

蒸汽捲揚機は數十年の永い間使用されて來つてその成績は十分確められて居るのである、然し昨今内燃機船の出現するに至つて大勢は該起重装置も電気運轉法に推移しなければならない状態にある、現在石炭貯藏所から石炭を供給することは仲々容易の事ではない従つて内燃機船の使用及び補助機械の電気運轉特に貨物捲揚機の電気運轉は極めて有意義なことである。

茲に貨物船にも電気設備が装置せらるゝに至り單に照明などに應用さるゝに止まらずして進んで更に重要な所にまで利用されつゝある、以下述べんとする所は貨物捲揚機に例をとつて電気運轉の特徴を記すのである。

◎ 電動機の運轉方法

船舶用としては殆んど總て直流電動機を用ふるのである、今更説明する迄もないがそれには磁極を有する繼鐵がありその中で廻轉する電動子に磁場を與へるのである、その電動子には捲線がしてある、それに電流が流れると磁場に作用して引力斥力が起り捲線即ち電動子は爲に動き出すのである、一方整流子によつて總ての電動子捲線は整流せられる、今その電動機の廻轉力は次の式で表はさるゝ

$$D = K.J.N. \dots\dots\dots(1)$$

この式で

D=廻轉力

K=恒數

J=電流の大きさ

N=磁場の強さ

この廻轉力のために電動子は廻轉しその捲線に電壓 E_g が發生する、これは幹線々網電壓に反對に働くのであから電動機の反力と稱するのである、この力は廻轉數と磁場の強さとの乗積に比例するものである。

$$E_g = K' \times n \times N \dots \dots \dots (2)$$

この式で

E_g = 反起電力

K' = 恒數

n = 廻轉數

N = 磁場の強さ

E_g と幹線々網電壓 E_p との関係は

$$E_g = E_p - Jw \dots \dots \dots (3)$$

この式で

w = 捲線の抵抗

この簡単な關係から貨物捲揚用電動機の特性を研究せんとするのである。

◎ 速 度

最も困難とする所は速度の變化と或負荷に對して適當なる速度を得ることである。

(2) 式によれば廻轉數は磁場の強さが一定ならば電動機の反起電力にのみ依るものである。又これは (3) 式から解る様に一定な幹線電壓から抵抗による電壓降下だけを差引いた電壓に等しいのである、後者は電動機の内部抵抗に依つて起るものであるが或電流とそれに必要な直列抵抗とによつて如何様にも變化せしめ得るものである、この電壓降下は明にエネルギー損失を意味するものである、故に直列抵抗により主電流を調整するのは起動の時のみで電動機が運轉状態に於ては普通は電動機端子に全電壓を加へるのである。

電動機及之に至る導線内に於ける電壓降下の量は幹線電壓の約 10% 乃至 15% である、従つてこの豫想の下に於ては反起電力は大略一定として取扱ふことが出来る、されば (2) 式によつて速度は磁場の強さに逆比例することが解る。

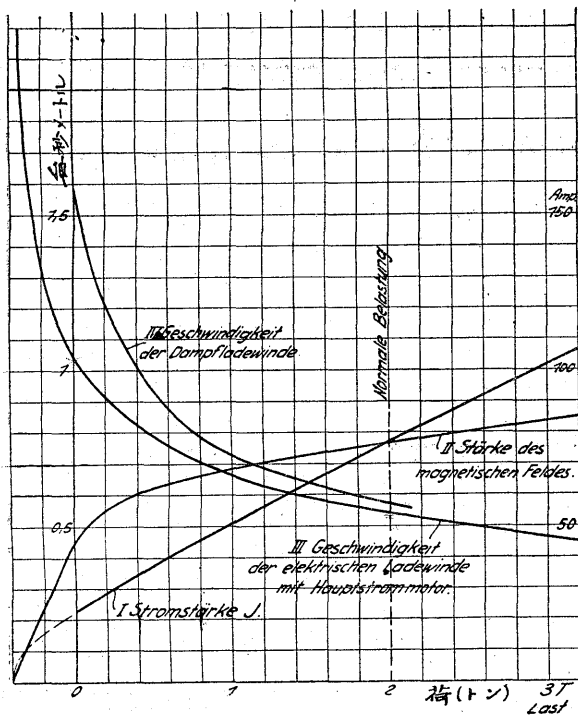
◎ 分捲電動機

分捲電動機に於ては磁極は細い電線で捲いてありその兩端には幹線電壓が來てゐる、幹線電壓

は一定だから電極捲線の中の電流即ち磁場の強さは一定である、従つて電動機の世界も亦一定である、この分捲電動機の特性は多くの場合非常に必要な条件であるがこの貨物捲揚機に應用する場合には不適當である、何となれば貨物を満載した時適當なる速度であつて欲しいけれども一旦貨物を卸し釣に何も吊されてない時には急速に運轉して時間を短縮したいのであるが同一速度では一寸具合が悪い。

◎ 直捲電動機

此問題に關し直捲電動機は非常に都合よく出來て居る、先づ磁極捲線は大きな電線を用いてあり主電流がその中を流るので、之は (1) 式に従ひ廻轉力即負荷に相當して適當に流れるのである。



- I Strom starke J 電流 J
- II Stärke des magnetischen Feldes 磁界の強さ
- III Geschwindigkeit der elektrischen ladewinde mit Hantstrom motor 直捲電動機を有する電動捲揚機の世界
- IV Geschwindigkeit der dampfladewinde 蒸気捲揚機の世界 normale belastung 常用負荷

第一圖 直捲電動機使用貨物捲揚機の世界曲線

第一圖は直捲電動機を以て貨物捲揚を行つた場合の世界を示すものである、横軸に負荷を噸數で表し縦軸は一つは速度を毎秒何米で表しも一つは電流をアムペアで表してある、曲線 I は電流の大きさを示し曲線 II は對應する磁場の強さを示すものである、この二つの曲線に見ても解る様に割合に少い電流で磁場の強さは急激に増し他の電動機に比してより大なる負荷に耐え得るのである即ち電流曲線は最初は拋物線的世界を表し次第に電流の増加率は減少して殆んど直線的關係を表すのである、又磁場の強さは無負荷運轉でも尙全負荷の場合の半分以上にも達して居るので速度は (2) 式によつて磁場の強さと逆比例するから全負荷の場合の略二倍位である、この直捲

電動機を少しばかり餘裕ある構造にすること或は特別な接続にすれば無負荷の時の速度も幾分か高めらるゝのであるが根本的には二倍以上の速度には難しいのである。一方蒸汽捲揚機に就てみるにその速度は曲線 IV に示す通りで荷を卸してしまふと略三倍の速度を出すことが出来る、積荷作業に於ては積荷行程の後吊鈞は負荷せずして復歸するのが常であるから無負荷の時の速度大小は根本的に捲揚作業の能力に影響を及ぼすものである、而して此點に於て電氣捲揚機も蒸汽捲揚機と同様になすべきものとすれば無負荷速度もそれに相等した速度迄は高めなければならない。

◎ 複捲電動機

複捲電動機は直捲と分捲との二つの捲線を有するのである、故に負荷に對する速度の關係は直捲電動機より不利と云ふこととなる、然し制禦器 (Controller) の助によつて分捲線輪の電流を減すれば減する程この電動機の特性は直捲電動機のそれに接近するのである。

◎ 電動機の廻轉力

電動機の速度は或定まつた範圍を出ることは難しいがその廻轉力の方は非常に大となすことが出来る。

(1) 式に従へば廻轉力は J と N とに比例するのである、而して直捲電動機に於ては第一圖に示す様に直捲電流 J の大なる場合は N は急激なる變化なく殆んど其増加は電流 J に對して比例的である一方分捲電動機と複捲電動機とは根本的に異つたものではない。

電流 J は (3) 式によつて計算することが出来る即ちそのために次式の様に書き換ゆる

$$J = \frac{E_p - E_g}{w}$$

この電壓の差違 $E_p - E_g$ に依て電動機及び電路の抵抗を通して電流を流すのである、この電壓は通常の負荷では幹線電壓の約 10~15% である、即ち幹線電壓を 220 ボルトとすれば大略 30 ボルト位の見當となる、今鈞 (hook) に澤山負荷されて捲揚げ得なかつたとすれば電動機は止つてしまふ従つて $E_g = 0$ となり、例へば 220 ボルト幹線電壓とすればその全部がこれにかゝつてこの電動機にはそれに相當する電流が流れることゝなる、それは標準負荷電流と $\frac{220}{30}$ なる比をなすのであつて大略七倍の電流が流れる譯である、従つて廻轉力も亦それ丈上昇することになる。

これに對して一方蒸汽捲揚機に於ては蒸汽壓力と啣子面積とによつて最大廻轉力は決るのであつて呼稱馬力の 1.5 倍を越ゆることは難しいのである、即電氣捲揚機に於ては廻轉力は制限さるゝが速度の上昇は大となし得る、反之電氣捲揚機に於ては速度は制限さるゝが廻轉力の増加率は大きいのである。

勿論どの電気設備に対しても電流の過度の増大は之を防止する様に豫め用意せられてゐる、蒸気罐の安全弁に相當して電氣的には例の可熔片 (fuse) があり最大電流制限器がある譯で、これによれば最初計算されたアムペア以上に電流を増加することはなくて電流は遮斷されてしまうのである、一般にこの遮斷電流は標準負荷電流の二倍であるから捲揚設備の強さもこれに倣つて設計せられなければならない従つて電気設備の方でも標準の廻轉力の二倍を出し得る様に捲線を施さねばならない。

蒸気捲揚機は時としては滑り辨や啣子の漏洩によつて規定の荷揚げを爲し得ないことがあるけれども電気捲揚機に於ては如何なる状態に於ても正規の廻轉力を計算せらるゝばかりでなく適當な過負荷の場合も計算せられ得るのである即ち其過負荷しても電動機が休止すればその間にやはり冷却せらるゝものとしてである。もし特に大丈夫なる捲揚装置を設備せんとして重いドラム及び餘力ある電動機を充當しようと希望する人あらばそれは全然誤りである此うすれば不必要に廻轉部重量を増加し従つて無負荷重量抵抗を増すばかりで結果は多數働作の場合には此くの加き装置は正確に適當に計畫されたる捲揚機の場合より其機能は劣るものである。

◎ 電動機の廻轉慣性モーメント

電動機が蒸気機關に対して根本的に異なる所は前者は著しき廻轉慣性モーメントを持つて居ることである。

3 噸捲揚機の電動機の電動子が全負荷廻轉數例へば 500 廻轉なるとき 70 メートル、キログラムの運動のエネルギーを有するものとすれば 1000 廻轉なる無負荷の時はその四倍 280 メートル、キログラムのエネルギーを持つてゐる譯である。

今減速齒車を裝置して 1.2 噸の荷物が約毎秒 0.75 メートルの速さで移動して居る場合を考へる然るときは此荷物の運動のエネルギーは 34 メートル、キログラムである即電動機のエネルギーの半分程である。

今二つの捲揚機を同時に働かせて 1.2 噸の荷物を 10 メートルの高さ迄捲揚げなければならない場合に正味の任事は 12000 メートルキログラムである。此時運轉の一つの行程の内で各電動機は毎分 500 廻轉迄一回加速せられ毎分 1000 廻轉迄二回加速せられる故に電動子を加速するための全エネルギーは全體で 1260 メートル、キログラムとなり捲揚仕事の約 10% を使はれなければならないことになる。

今更に安全な方法を取らんとして 5 噸捲揚機棒を選んだ場合とする、その電動機は前のもの約二倍の慣性モーメントを有する故に廻轉を加速するために揚仕事の約 20% が費されて居ることとなる。故に捲揚機の大さが切りつめてあればある程能率好く働く事になる、廻轉部重量の影響と運轉状態に対して許さるる範圍に於て極度迄減少することが出来る之は同型式の種々の電動

機の大きさに對して慣性モーメントは其廻轉力の僅か約一乘に比例するに過ぎないからである。

第一表

電動機の型式	廻轉力 メートル/ キログラム	出力 馬力	廻轉數 毎分	重量×(直徑) ² キログラム/ (メートル) ²	エネルギー メートル/ キログラム	價格 比例
GH. 160	10	14.3	1000	0.9	126	1
GH. 191	20.5	14.3	500	2.0	70	1.4
GH. 241	40.7	14.3	250	4.0	35	1.9

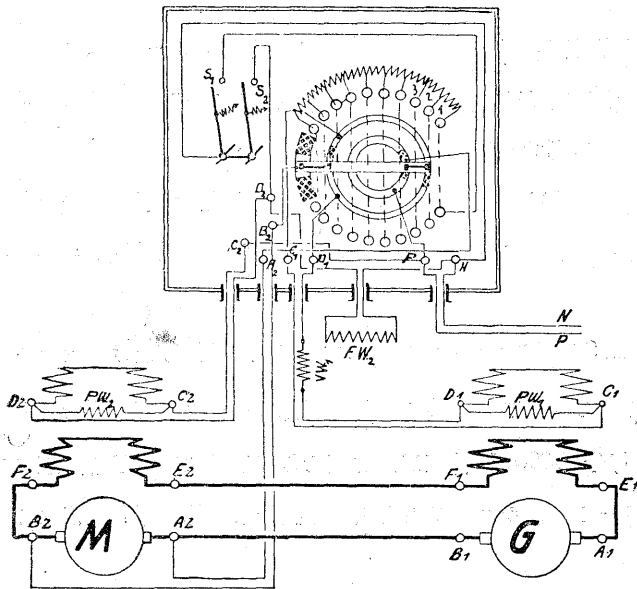
同じ型式であり同じ出力をもち廻轉數を異にする電動機の比較表

第一表から解ることは電動機の廻轉數の少いもの程加速するための仕事は小さいものであることである、而して緩い廻轉の電動機はどうしても高速のものより重量が大で高價となるのである、然しその價の高くなる割合は略廻轉力の平方根位である、是の如く低速のものは高價ではあるが高速のものを齒車で緩速するのに比して齒車が節約されるから價格は或程度迄償はるゝ譯である。

◎ 電気捲揚機の制御法

電動機の根本的な上述の特性を了解した上で電気捲揚機の制御といふ最も重要な問題に進むのである。

今理想的の制御方式としてはレオナルド式を採るのが普通であり又實際捲揚機にも應用せらるるから諸方式を簡単に説明することとする、今第二圖なる接続線圖を見るに各電動機は或特殊の發電機に接続してゐつて電動機の方捲磁場は他勵磁 (separate excitation) である、故に電動機は速度は電動



第二圖 レオナルド式接続をなせる接揚機の接続圖

子電壓 E_p によつて決るがその E_p は發電機の電壓と同様である而して發電機は實質上に於ては定常速度を以て廻轉せるものである、その發電電壓は可逆分捲制御器によつて廣い範囲内でも小さい區分で調整さる、従つて電動機は速度としてあらゆる所望の速度を得ることが出来るの

である。

該調整方法には損失はない即ち例へば 1/3 の速度で全負荷を捲揚げたい時には発電機には全負荷の約 1/3 の仕事をさせるのである、而してこの調速器は弱い勵磁電流を通すのみであるから非常に小さくて濟み殆んど電力を損耗することはない。

この発電機は複捲発電機であるが其直捲捲線は分捲捲線に對して逆方向に接続されてある、それだから増大しつゝある電流のためには電壓は却つて降下せしめられ負荷された捲揚機に適應する様になる、加之餘りに大なる過負荷の際には捲揚機は停止する様になる。

その特性曲線は第三圖に示されて居るが或蒸氣或は直捲電動機付捲揚機と餘程異つてゐる。

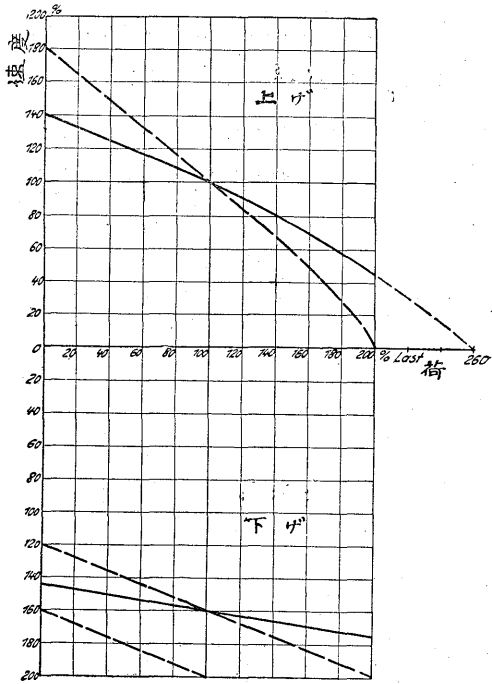
この異つた點といふのは貨物を捲卸す時著しい速度増大がないことである、實に反向復捲線輪を加減して速度の減少を著しくしたり弱めたりすることが出来る捲下する時には反向復捲は速度増大の作用をするのである、而して鈎に負荷されていない時の速度を更に増大し得るや否や

は其時の制御器の餘裕部分あるや否やによる、捲揚の時と同じ電動機の極限速度は機械的の強さによつて決るべきものである、而して基本廻轉數を低くとればとる程速度増大の割合は大となるのである。

此様にしてこの接続によつて負荷に對して適當な速度が得られる事が可能で、そして調速能力と運轉の確實性はこの種の裝置に對して斷然一流品たることを保證し得るのである、從つてシーメン社は電氣運轉の大型船舶の最初の裝置は此方法によつた事は容易に了解し得るのである。

然しこの方式にも一つの大きな缺點があるのであるそれは各捲揚機にはそれを運轉するためにそれぞれ單獨に發電機が接続されねばならない事である。

この目的のための標準型電氣機械なる四臺の發電機を一臺の發電機廻轉用電動機とより成る變流機聚合體の例を取るにその永さ 5.2 米突位ある 12 個の捲揚機に對してはかかる聚合體の三組を要する故全體の構造物の永さは約 16 米突となる。之は空所は充分利用してないから特別な構

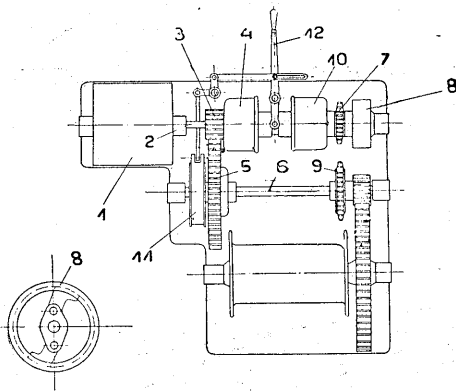


第三圖 レオナルド式接続をした捲揚機の特性曲線
 縦軸—速度% 横軸—負荷%
 上半—捲揚 下半—捲卸

造として總體で約 12 米突の永さ迄縮めることも出来る然し此揚所制限方法は特殊構造を要し非常に高價となる然し普通の組合せでも一臺の捲揚機に對して變流機其他費用を分割してみればレオナルド式捲揚装置を採用すると約 50% 方高價となるであらう。

然しながら單に設備費用を高めるのみならず運轉費も高くなるのである何故とならば一體此變流装置は大略 70% の能率をもつてゐるものであるから直接捲揚用電動機に幹線電壓を興へて働かせた場合よりも電源供給所は 40% 多くのエネルギーを興へなければならぬ事になる。

更に一組につき約 20 キロワットの無負荷損失があるから合計 60 Kw となる、これはすでに 12 の捲揚機をレオナルド式を用ひずして個々運轉せるときの中央發電所の平均負荷の半分であるから一定電壓の下に於て最近の經濟的接續法で運轉するのに比すれば約二倍の動力消費となるのである。



第四圖 不斷廻轉電動機を有する捲揚機

の式の一例である。

之は不斷廻轉電動機 (1) の軸の延長せるもの (2) に彈機移動をなし得る連結函があり之は槓杆 (12) で動かすことが出来る、今槓杆を動かせば接合子 (4) は入り齒車 (3) 及 (5) によつて中間廻轉齒車軸が廻轉する、之は (8) なる棘輪機によりこの方向のみ妨げなく廻轉し得るのである、捲卸す時には槓杆 (12) によつて制動機は放れ下り荷物ない時は接合子 (10) 及び鎖齒車 (7)(9) とにより捲揚機は捲き下し方向に運轉せらるるのである。

又他の方法である所の不斷廻轉電動機と機械的に組合はす様々の捲揚器械の種類も大抵缺點をもつてゐるもので、その速度が負荷に對して一對が不充分であるとか或は全然一致せず又電動機が廻轉しつゞけるためにその設備の所要動力を根本的に増大さしたりしてゐるものである、更に此種類のものには必ず附隨する所の摩擦連結なるものが中々厄介なものである、第四圖は kopenhagen の Titan 製作所で拵へたこ



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。