

大容量ポンプ式しゅんせつ船の電気設備

Electric Equipment of the Large Capacity Pump System Dredger

横 田 馨* 二 瓶 譲* 梶 原 達 郎*

Kaoru Yokota Yuzuru Nihei Tatsurô Kajihara

内 容 梗 概

埋立工事規模の拡大につれ大容量ポンプ式しゅんせつ船が要求されるようになってきた。このたび日本鋼管株式会社鶴見造船所にて東亜港湾工業株式会社納 7,000 馬力ポンプ式しゅんせつ船が建造され電気品一式を日立製作所にて製作納入した。本船はわが国屈指の大容量、世界最大級のものでその主要な電気設備も直流操作による画期的な大容量のものであり現在、好調のうちに運転中である。

1. 緒 言

産業の発達につれ国土開発の一環としてしゅんせつ船による土地造成工事がさかんになってきた。従来のポンプ式しゅんせつ船が従事していた埋立地はしゅんせつ可能な土砂も比較的容易に得られ、小容量のポンプ式しゅんせつ船で間にあったが、埋立工事規模の拡大につれ在来のしゅんせつ船では不可能視されているような場所でもしゅんせつ作業を行なう必要にせまられてきた。そのためしゅんせつ深度の深い、排送距離の長い、高能率の大容量ポンプ式しゅんせつ船の建造が要求されるようになってきた。

日立製作所では各種しゅんせつ船用電気品を数多く製作してきたが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、このたび日本鋼管株式会社鶴見造船所において東亜港湾工業株式会社納のわが国屈指の大容量、世界最大級の排送距離 7,000 m、しゅんせつ深度 27 m、7,000 馬力ポンプ式しゅんせつ船を建造することになり、その電気品一式を日立製作所が製作した。本船は現在大阪府堺港において土地造成工事に画期的威力を発揮しながら好調のうちに稼動中である。以下に本船の電気設備の概要について述べる。

2. 設 備 の 概 要

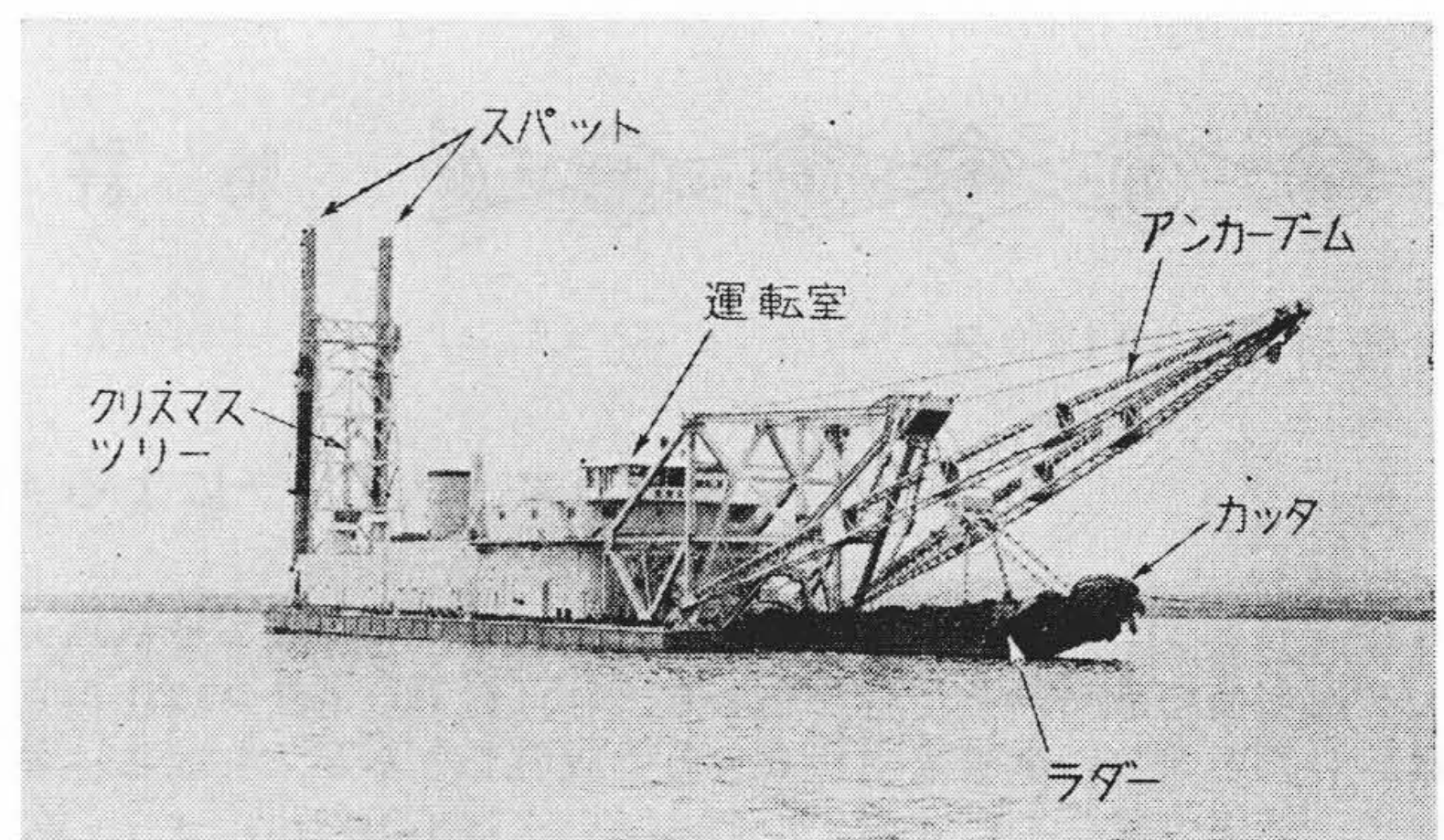
第 1 図は本船の外観を第 2 図はそのぎ装図を示したものである。

本船は非自航式で 7,000 馬力しゅんせつポンプはディーゼル機関により駆動される。ラダー上には 520 kW 直流電動機 2 台が減速歯車を介して機械的に結合されカッタを駆動している。スイング装置は機械室に設けられ、カッタと同じく 140 kW 直流電動機 2 台が減速歯車を介して結合され、広範囲なしゅんせつ作業を行なうよう考慮されている。しゅんせつ深度を調整するためのラダーウインチは 220 kW 巻線形誘導電動機で駆動され、わが国最大のしゅんせつ深度 27 米のしゅんせつが可能よう計画されている。後部機械室には船体を前進させるためのスパット装置があり、150 kW 巻線形誘導電動機により制御される。これら各種しゅんせつ用電動機は船首上部に設けられた運転室のしゅんせつ操作盤から遠隔制御される。カッタおよびスイング電動機 1 台故障の場合には制御盤内の断路器、刃形開閉器の操作により電動機主回路および操作回路を切り替え 2 台運転の場合と同じように運転を続けることができる。船内交流電源は 875 kVA 自励式交流発電機により給電される。

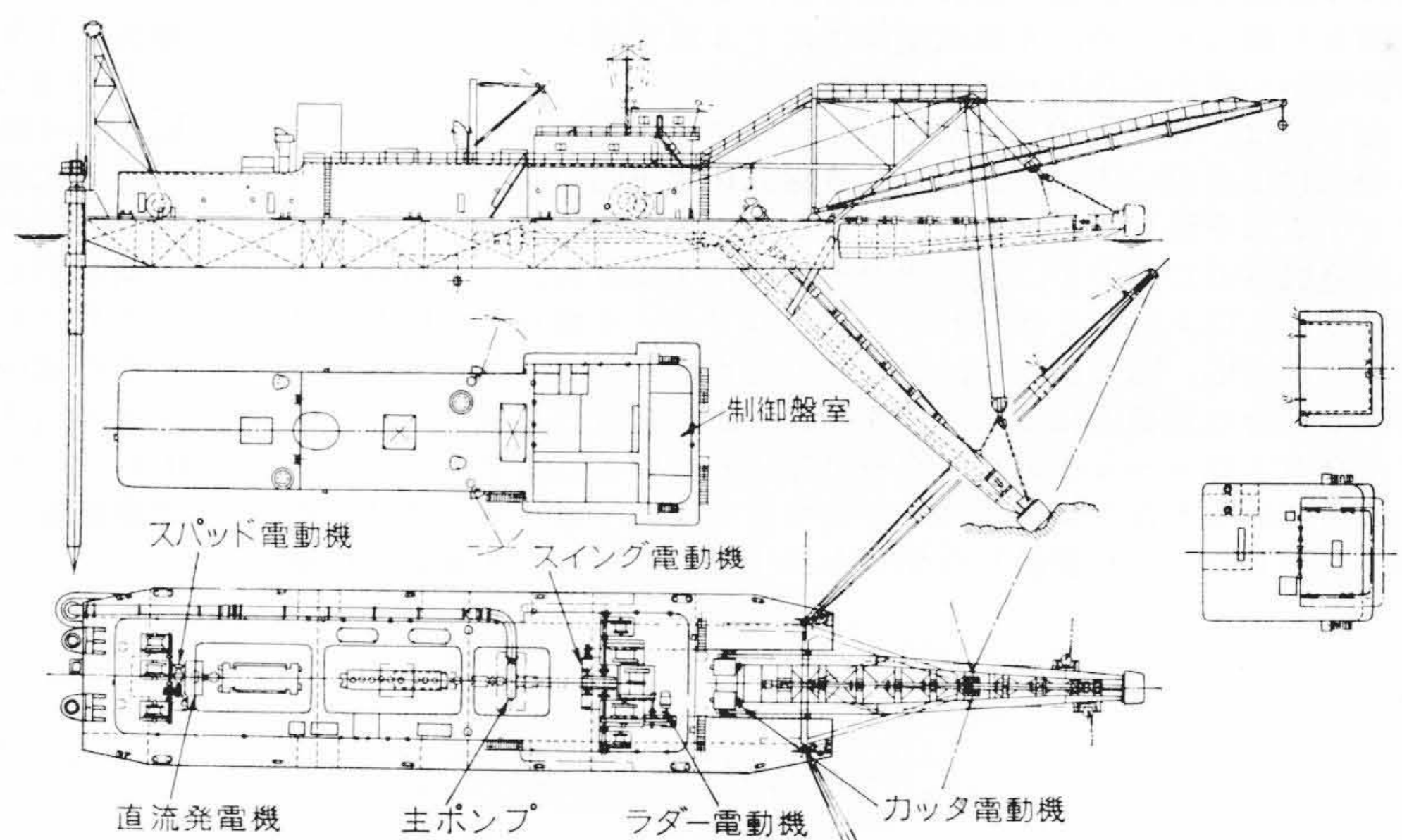
なお、各種制御盤はカッタ軸、主ポンプの異物吸入時の振動、衝撃に耐えるよう特別な考慮がはられている。

従来のしゅんせつ船と本船が特に異なっている点は

* 日立製作所日立工場



第 1 図 ポンプ式しゅんせつ船アジア丸外観

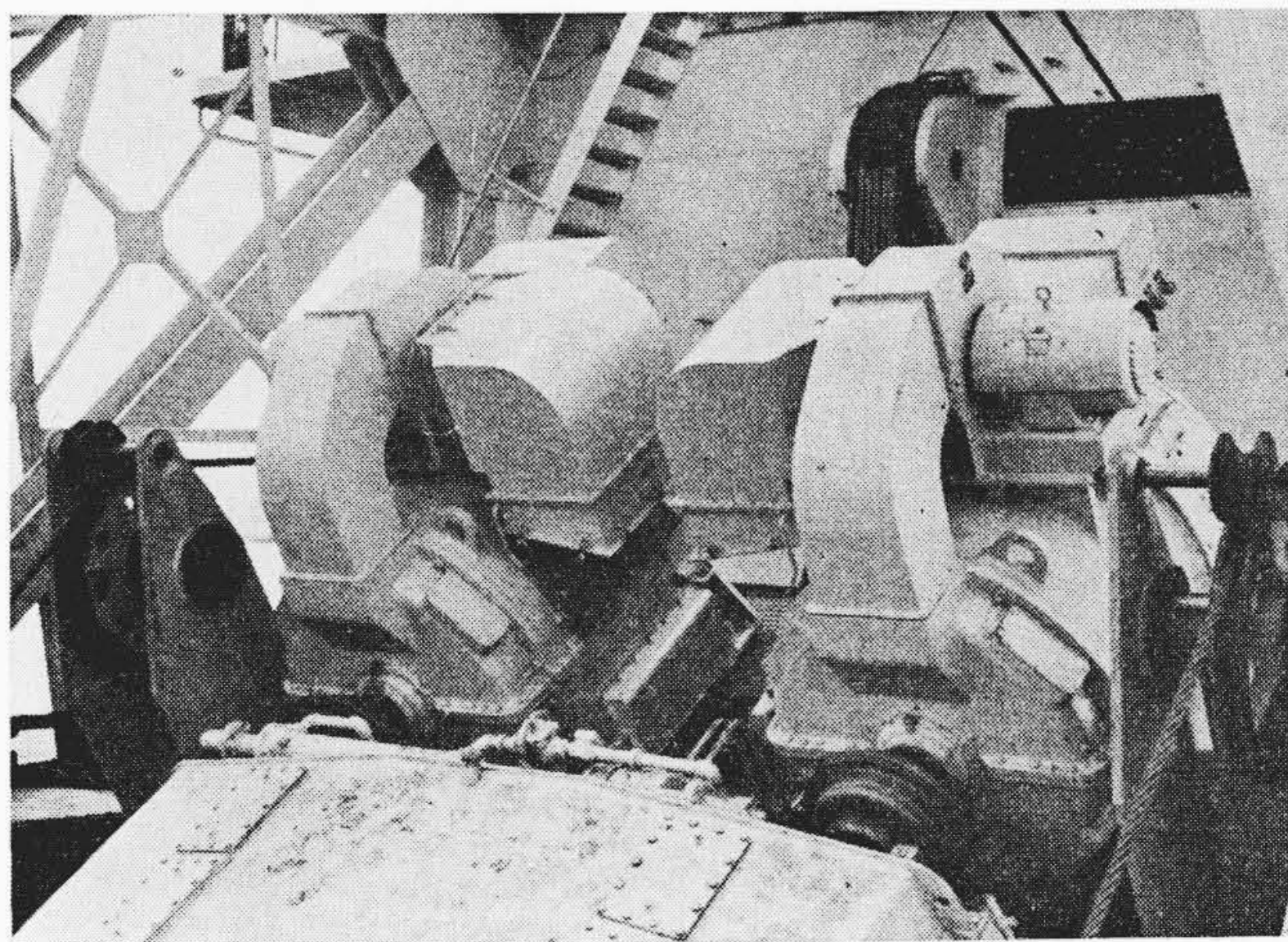


第 2 図 ア ジ ア 丸 ぎ 装 図

- (1) カッタおよびスイング装置の駆動を交流電動機駆動から直流電動機駆動にし深度の深い、各種の土質のしゅんせつを行なえるようにしたこと。
- (2) スイング装置にアンカーブーム駆動装置を設けることにより運転中に運転いかりを打ち替え稼動率の向上をはかっていること。
- (3) クリスマスツリー装置を採用し波浪中でもしゅんせつ作業を可能としたこと。その装置はスパットウインチ用電動機により運転される。
- (4) 875 kVA 自励式交流発電機系統故障の場合は 240 馬力ディーゼル機関で駆動される 187.5 kVA 補助自励式交流発電機電源への電源切替およびクラッチ切り替えによりラダー、スパット、スイング各ウインチはそれぞれ 45, 30, 22 kW、巻線形誘導電動機により駆動され非常の場合に備えている。

第1表 主 要 回 転 機 仕 様 一 覧 表

用 途	台 数	形 式	出力 (kW)	電 圧 (V)	回転数 (rpm)	定 格	備 考
カッタ用電動機	2	開放他力通風屋外形	520	DC ± 250	600~900	連 続	} 共通軸, ディーゼル機関駆動 ディーゼル機関駆動 ディーゼル機関駆動
スイング用電動機	2	開放他力通風防滴形	140	DC ± 250	460~690	連 続	
ラダー用電動機	1	開放防滴巻線形	220	AC 440	900	30 分	
スパット用電動機	1	開放防滴巻線形	150	AC 440	900	30 分	
カッタ用直流発電機	1	開放管通風形	1,200	DC ± 500	600	連 続	
スイング用直流発電機	1	開放管通風形	320	DC ± 500	600	連 続	
主自励式交流発電機	1	開放防滴回転界磁形	875 kVA	AC 450	600	連 続	
補助自励式交流発電機	1	開放防滴回転界磁形	187.5kVA	AC 450	720	連 続	



第3図 カッタ用 520 kW 電動機

(5) ラダーは短縮可能な構造になっていて浅いしゅんせつも可能としている。

3. 回転機の構造

本船積載の主要回転機仕様は第1表に示すとおりで

- (1) 大きな振動, 衝撃
- (2) ローリング, ピッチングなどの動揺および傾斜
- (3) 高湿度, 塩害

といったしゅんせつ船の特殊条件に十分耐えるよう設計製作されている。

3.1 カッタ用電動機

前述したように電動機はラダー上に設置されるため, 構造的に種々特別な考慮を要するが特に注意した点は

- (1) 屋外形としたことによる防水, 通風機構
- (2) 振動および反復衝撃荷重に耐えること
- (3) 軸受は常用 45 度の傾斜運転に耐えること

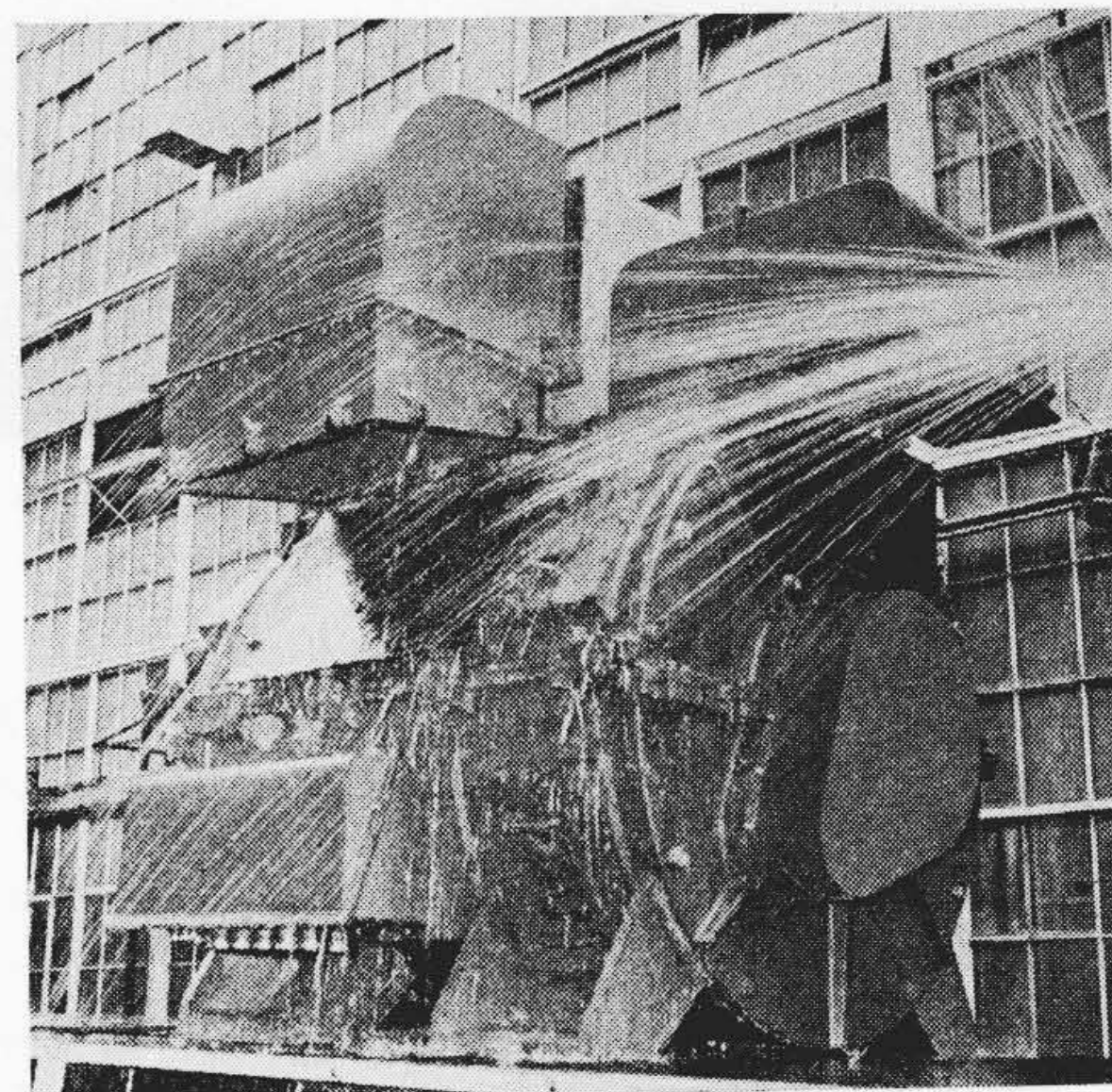
などである。

第3図はラダー上に据え付けられた電動機の外観である。

3.1.1 屋外形としての防水, 通風機構

しゅんせつ作業ははげしい風雨でも行なわれるので, 吸湿による電動機の絶縁抵抗の低下を防がなければならない。保護方式としては全閉防水形とすることが最良であるが本機のように大容量機で速度制御を広範囲に行なうものでは冷却の点で困難があるので, 開放他力通風屋外形を採用し吸排気口を除き完全な防水構造とした。吸排気口には防水カバーを設け, 電動機停止中は防水カバーをしめるようにしている。

吸気口を整流子側に設けて直流機の弱点である整流子に直接湿度の高い冷却風のあたることを避けている。また吸気口はよろい戸状のラビリンス構造として直接内部に水滴のはいるのを防いでいるほか, ラビリンス部の奥にはビニールスポンジのフィルタを設け, 空気中の水分およびじんあいを排除し清浄な空気を供給するようにしている。



第4図 散水試験中のカッタ用 520 kW 電動機

排気口は冷却空気の排気速度を早くし, よろい戸状のラビリンス構造として風雨による水滴の浸入を防いでいる。

散水試験は JIS F 8001 第3種散水試験に準じ, 冷却通風機を運転しながら行なったが, 結果は吸排気口とも水滴の侵入はなく良好な成績であった。第4図は散水の工場試験中の様子を示したものである。

3.1.2 振動および反復衝撃荷重に対する考慮

海底の掘削作業を行なう関係上, 土質の変化によって大きな反復衝撃荷重がかかり, 過酷な条件で運転されるので電動機全体としてきわめて剛性の高いじょうぶなものとしている。

電機子コイルはヒートプレスと特殊のワニスを使用することにより, 長期にわたる経年収縮がないよう考慮されている。コイルの巻線方式として重波巻方式を採用し均圧線使用のための接続部の増加による機械的弱点を取り除いている。

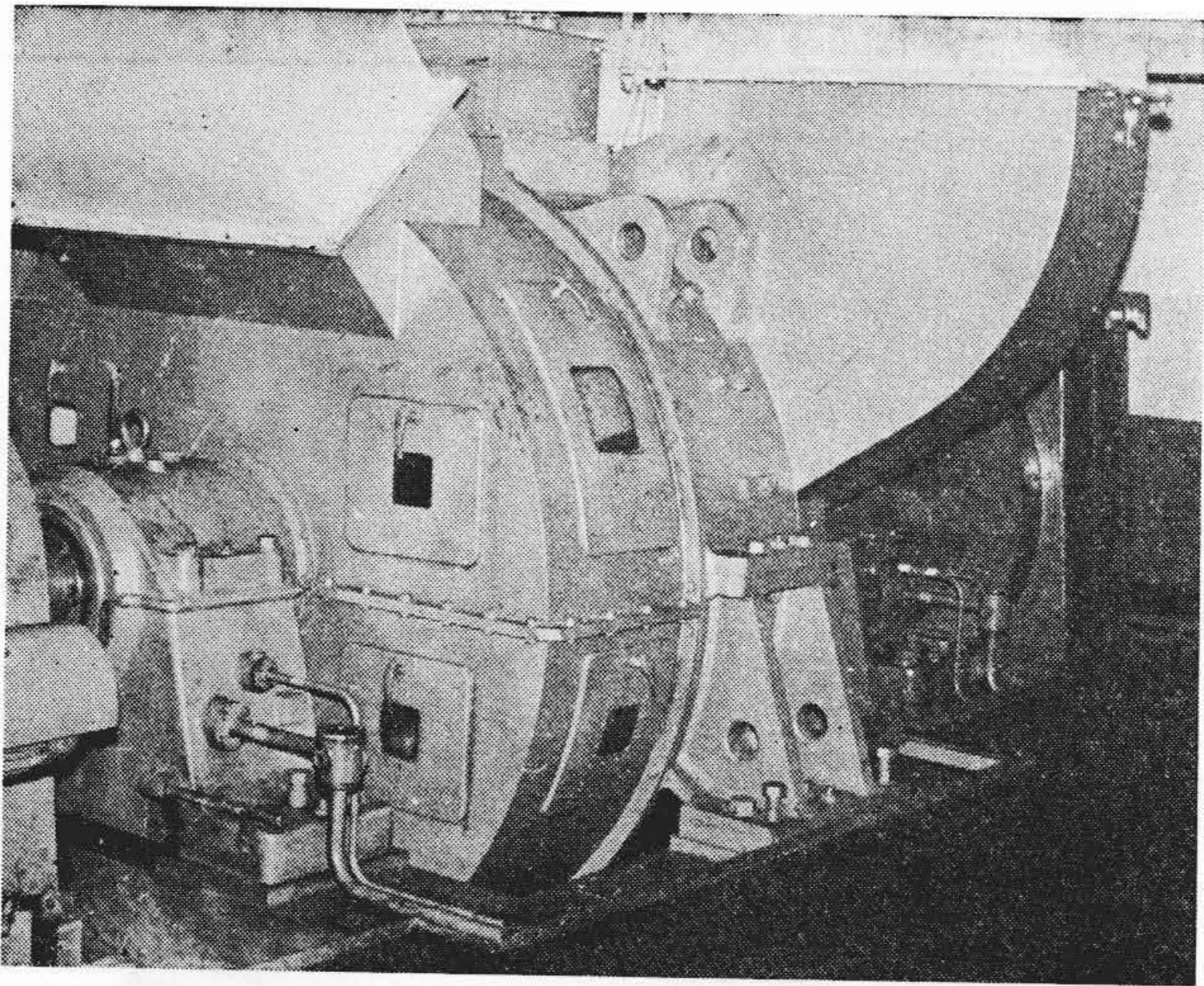
固定子コイルは強力なバネによって支持され, 鉄心およびヨークに対して強固に固定されている。

刷子保持器は振動に対して安定な渦巻バネを使用し, 刷子保持器ロッカー装置の絶縁部分にはマイカレックスを使用してあり機械的に堅ろうで, 温度による枯れや経年変化による絶縁部分のガタつきをなくし, 中性点移動による整流悪化のない構造とした。

そのほかボルト, ネジ類の完全かつ有効な回り止めなど振動に対しては十分の考慮が払われている。

3.1.3 軸 受 構 造

電動機はラダーとともに最大 50 度常用 45 度に傾斜した状態で使用されるので軸受けはスラスト荷重に耐えるものでなければならない。本機はスラスト軸受けにアンギュラ形玉軸受の背面組み合わせを使用し, もう一方の軸受けには円筒コロ軸受を使用している。固定子はすべて二つ割構造にし, 分解容易な構造となっているが, 軸受部分はカートリッジ式として軸受部分を分解しないで電動機の解体, 電機子の抜き出し可能な構造とした。軸受けにはグリース潤滑を採用したが, 特殊のラビリンス構造と防水金具によって, 防水はもちろんのことグリースの漏えいもきわめて効



第 5 図 1,200 kW と 320 kW 直流発電機および
875 kVA 交流発電機

果的に防止されている。またグリース密封機構が回転部分とは非接触構造のため、この部分の摩擦損失および摩耗がなく、長期にわたってグリースの漏えいする心配がない。

3.2 スイング用電動機

船体のスイングとともに電動機は起動停止が繰り返されるので加減速特性をよくするため、電機子直径を小さくし、 GD^2 の小さい設計となっている。

室内に設置されるので開放防滴形であるが、電動機は広範囲に速度制御されるため冷却方式として電動ファンによる強制通風方式としている。冷却風は整流子側より吸い込み、整流子側に吐き出して刷子摩耗粉が電動機内部に付着することのない構造とした。

3.3 カッタおよびスイング用直流発電機

カッタ用直流発電機とスイング用直流発電機は、共通軸上にくし形に配置され、両端の 2 個のペダスタル形軸受に支持される構造として小形軽量化がはかられている。また後述の 875 kVA 交流発電機はペダスタル形の片軸受構造で、共通台盤上に直流発電機と直結されている。これら発電機群は 3,850 馬力ディーゼル機関により駆動される。

第 5 図は船内据付の発電機群の外観である。

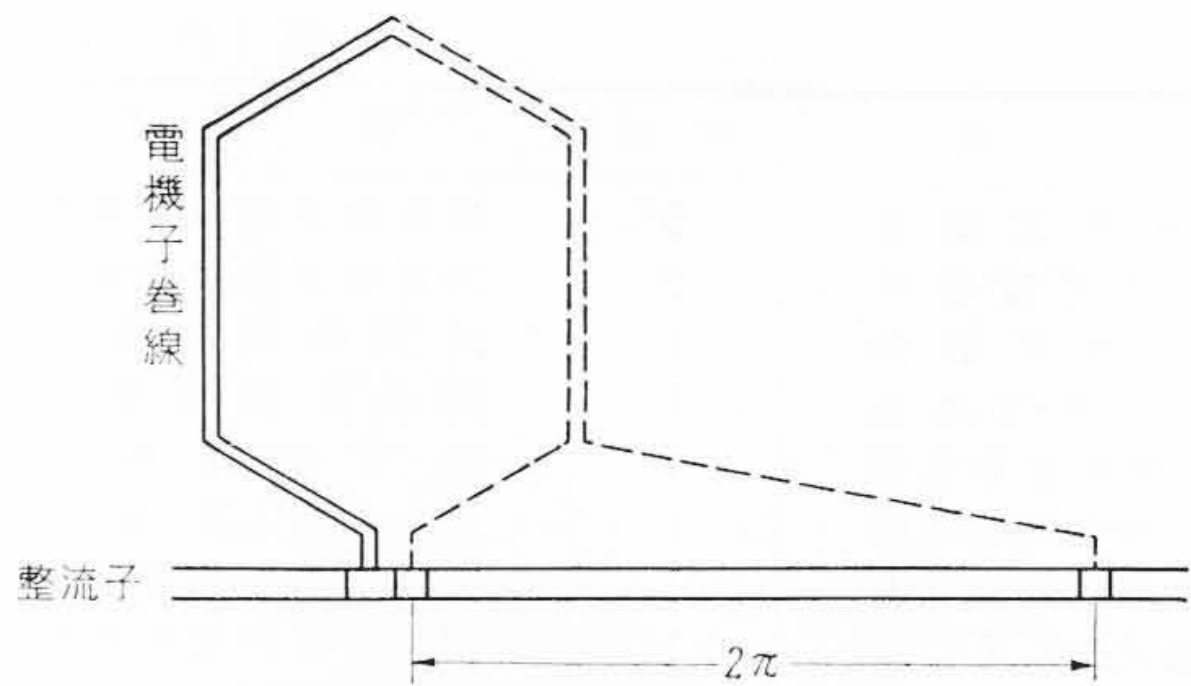
3.3.1 通 風 方 式

通風方式は他力通風で油気などの影響のない清浄な冷却空気を冷却用電動送風機により送風ダクトを経て発電機に送られている。排気は発電機が大容量であるため機械室に吐出すると室内の温度が高くなるので排気ダクトを経て船外に吐出する、いわゆる Duct to Duct の方式となっている。冷却風電動送風機は 1 台とし、両発電機の中間より冷却風を押し込み、ダンパで必要な風量に分歧させ、機内損失の分布に見合ったような冷却効果が得られるよう、遮板などで最良の通風路を形成させている。

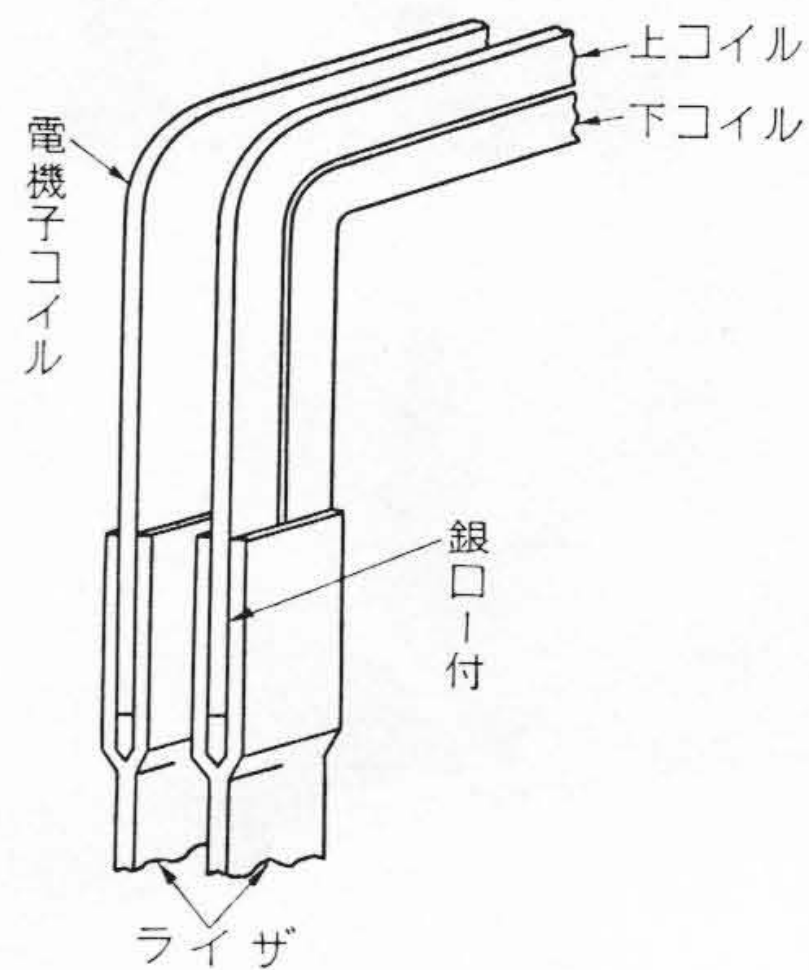
3.3.2 電 機 子

軸はエンジンとの直結用フランジを有する一体鍛造品で、エンジンのねじり振動による繰返し応力に対しても十分な安全率を有する設計となっている。

カッタ用直流発電機の電機子巻線は第 6 図に示すとき重波巻方式を採用している。重波巻の場合には一般に線輪端が長くなる傾向があるが独特の段おとし構造により線輪端寸法を短くしている。電機子巻線と整流子ライザの接続部は第 7 図に示すように巻線導体をエッジワイズに折り曲げて直線部で接続するようにしている。このため絶縁が完全に行なわれるほか通風、強度の点でも改善されている。



第 6 図 重波巻方式の説明図



第 7 図 電機子コイルとライザの直線接続方式

整流子の精度は直接整流作用を左右する。したがって設計に際してはシーズニング特性の良好な高級絶縁マイカ板を使用し、整流子片には銀入り銅の採用など材料面で特に考慮をはらっている。製作、検査の面では特殊ターニングプレス上における整流子の丸め作業、超短波測定装置によって回転シーズニング中と運転中における整流子面でのこぼこを非接触的に測定する特殊検査方法の採用などにより、回転状態における整流子表面の偏心、ひずみ、整流子片のハイバー、ローバーなどの絶無を期している。

3.3.3 固 定 子

継鉄は機械的に十分な強度を有するほか、磁気的にも末飽和に設計され、せん頭負荷時にも補極磁束が完全に電流に比例しうるようにしてある。またエンドカバー、ロックなどとともに上下二つ割構造とし、上半分を取りはずすことによって回転子を上方向につり出せるようにしている。

大容量機になると下半部の刷子はほとんど床面より下になるので刷子取替は容易でないが、刷子保持器ロック装置をコロで支持する独特の構造としたため、ロック装置の固定ボルトをゆるめると小さな力で簡単に回わり、ロック装置を回わしながら刷子取替ができる。

発電機の据え付けられる機械室は湿度も高く、油気も含まれているので巻線にはすべて耐油耐湿処理を施している。

3.3.4 軸 受

平常運転においてはもちろんのこと、船体の動揺、傾斜に対しても油漏れのない構造としてある。強制給油を主としているが、強制給油系統の事故で万一給油が途絶しても暫時の給油を確保して軸受けの焼損を防止するよう、オイルリングによる自己給油をも併用している。発電機群は 3 個のペダスタル形軸受に支持される構造となっているが、軸受外周を球面状にして軸のたわみなどに対して自動調心作用を行なわせている。

3.4 主自励式交流発電機

3.4.1 固 定 子

固定子わくは鋼板溶接構造で、軽量かつ堅ろうに設計製作され

ている。固定子線輪の絶縁は、マイカおよびガラスを主体とした耐熱信頼度の高い完全B種で、耐油性サーモセツトワニスと耐湿性のすぐれた仕上ワニスを併用し表面に強じんな絶縁皮膜を作っているため耐湿、耐塩害にきわめて信頼度の高いものとなっている。線輪端部は振動や、短絡時の大電流による電磁力によっても変形移動することのないよう線輪支持環に強固に固定されている。

3.4.2 回 転 子

磁極鉄心は積層鋼板製で、継鉄にダブテールで取り付けられ、コッターで強固に固定されている。界磁巻線は遠心力よりさらに大きな圧力で加圧焼き付けされたものを使用しているため、長期運転で変形する心配はまったくない。磁極頭部には制動巻線を設け、短絡時の高調波異常電圧を防止するよう考慮されている。集電環への接続部は端板、継鉄、軸に確実に固定してあるので、遠心力に耐え、振動によっても容易に動くことがない。

3.4.3 集 電 装 置

集電装置は反直結側に設けてあるので、刷子の点検、取り替えが容易である。刷子保持器は振動、動揺を考慮して、安定な特性を有する二重スプリング式とし、刷子には油や水蒸気の多い所で使用しても集電環の荒廃現象や刷子の異常摩耗を生じないピッチコークス系黒鉛刷子を使用した。

3.4.4 通 風 方 式

自冷式とし、両側のエンドカバーより吸い込み、固定子わく側面に排気する構造とした。

3.5 補助自励式交流発電機

通風はディーゼル機関の油気を直接に吸い込むことは好ましくないため、反直結側エンドカバーより吸い込み、ディーゼル機関側に排気させる構造とした。軸受はベDESTAL形のもので、軸受でオイルリングによる自己給油方式が採用されている。その他の構造は主自励式交流発電機と同じである。

3.6 ラダー、およびスパット用電動機

絶縁は前述の交流発電機と同様、耐熱性および耐湿性にすぐれたB種絶縁とし、開放防滴形を採用した。通風方式は自冷式で、直結側エンドブラケット下部より吸い込み、集電環側エンドブラケット下部より排気させる構造をもっており、反直結側に電磁ブレーキが取り付けられている。軸受部は負荷側にローラベアリング、反負荷側にボールベアリングを採用し、船体の動揺、傾斜に対して十分耐えるように考慮されている。耐湿に対しても停止中はスペースヒータを使用するなど万全を期している。

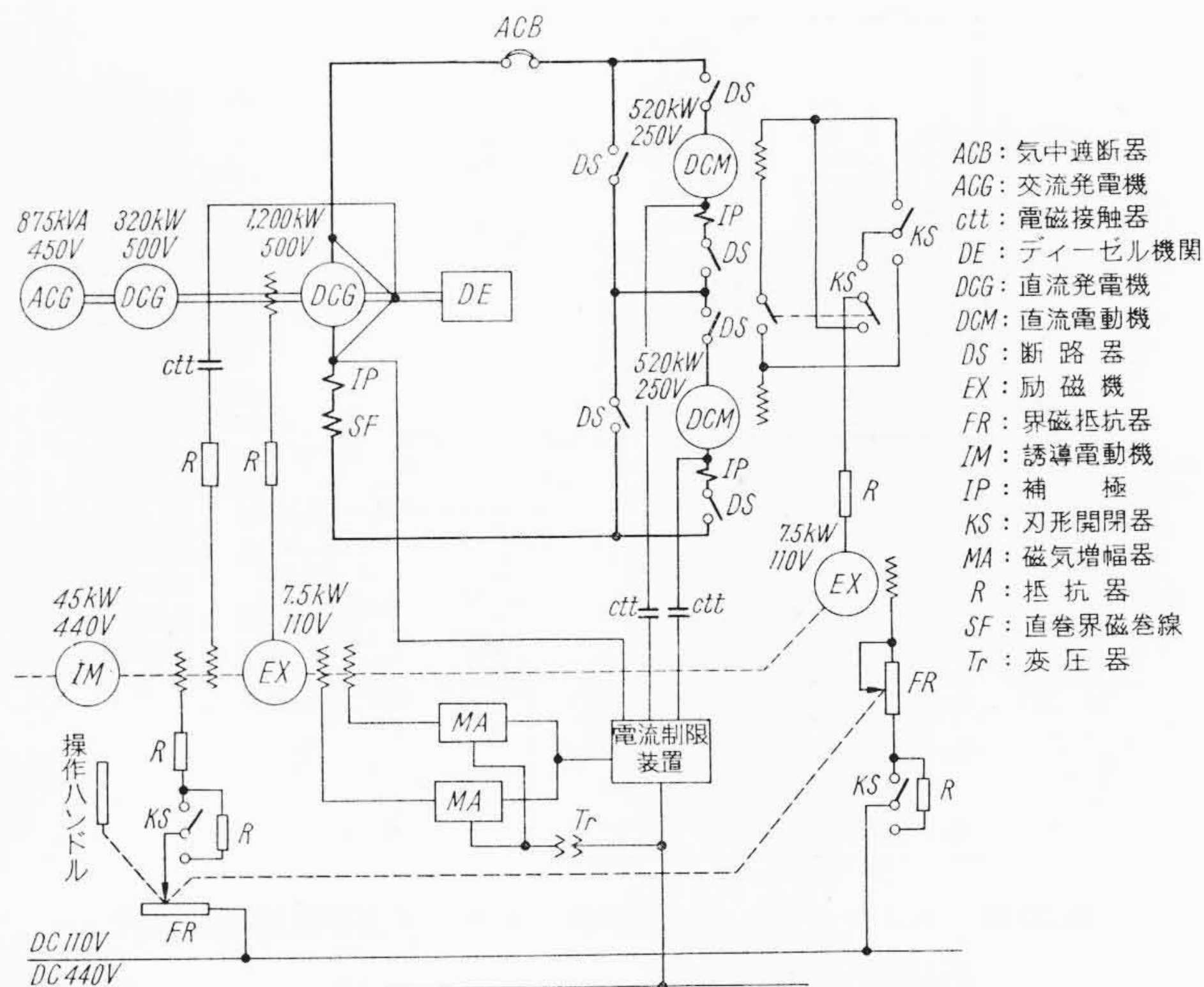
4. 制 御 装 置

4.1 カ ッ タ 運 転

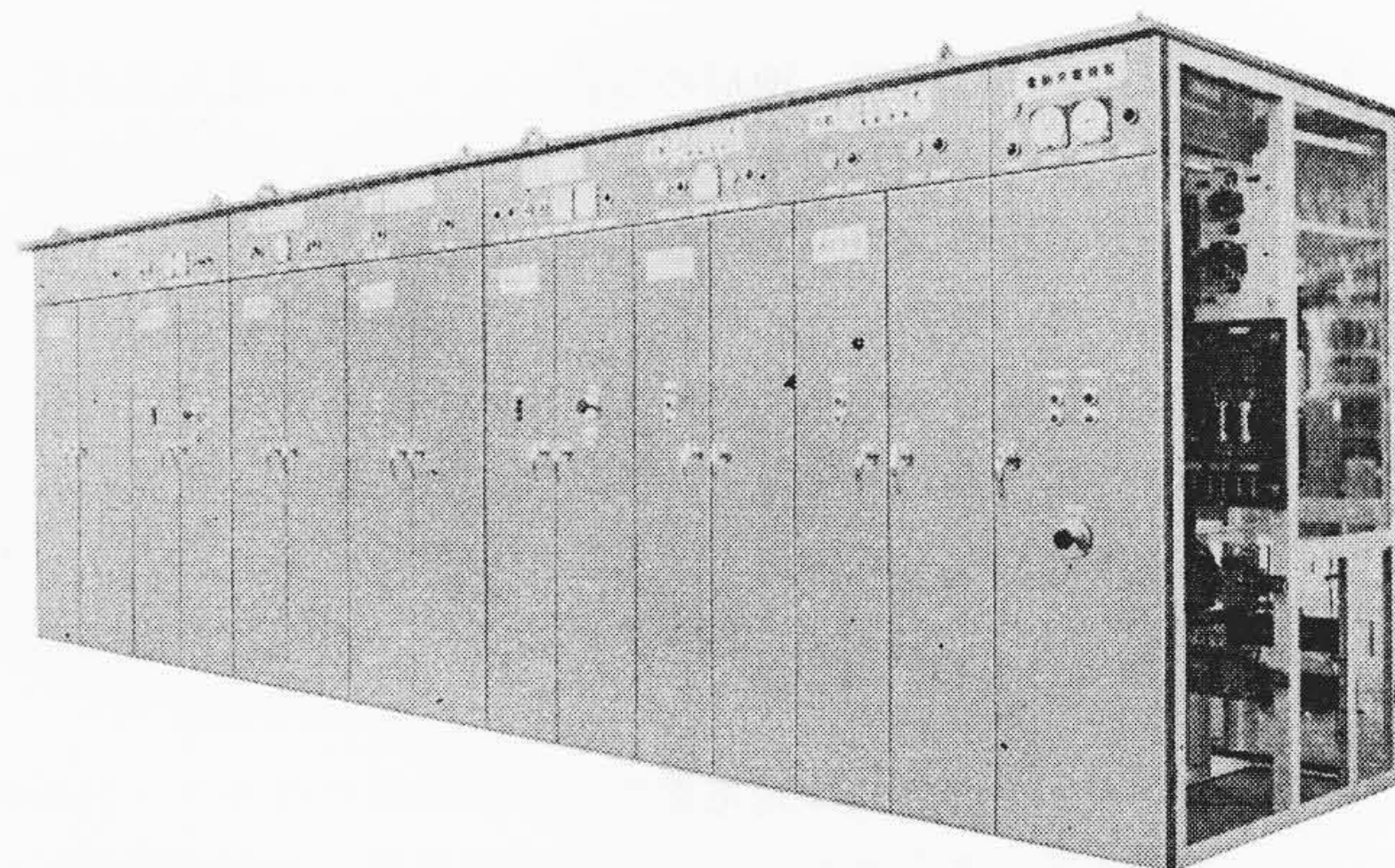
カッターは軟土質、硬土質を能率よくしゅんせつするために切削速度、切削深さ、送り速度を変えて運転する必要がある。従来のポンプ式しゅんせつ船は振動、衝撃の点からほとんど特殊かご形電動機で2極ないし3極の極数変換で50%程度までの速度制御を行っていたが、しゅんせつ能力の増大、効率の向上からカッター駆動にはワードレオナード方式が採用されている。

第8図はカッター電動機レオナード主回路の概略結線図を示し、第9図はカッターおよびスイングウインチ電動機制御盤の外観を示したものである。

カッター電動機は運転室に設置された操作盤上の切替開閉器を正転または逆転に切り替え、電動機界磁および制御回路電圧が正常で、



第8図 カッター電動機レオナード主回路概略結線図

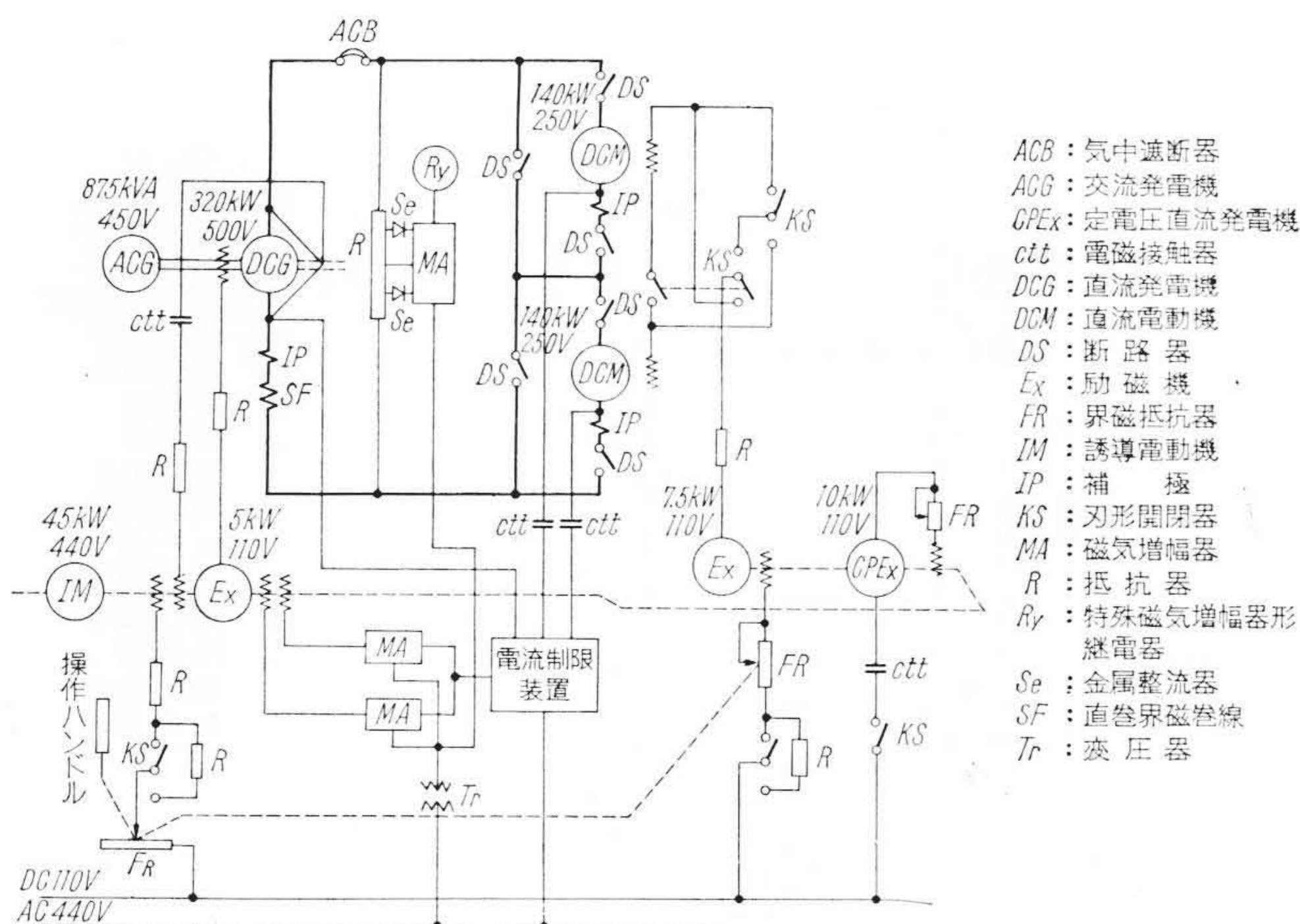


第9図 カッター、スイングウインチ電動機制御盤外観

かつ、発電機および電動機の冷却ファンが運転し、スペースヒータ電源が切られ、電動機の冷却空気吸入、吐出とびらが開き、主回路遮断器が投入されていることを確認して操作ハンドルを操作することにより励磁機電圧→発電機電圧を調整し電動機速度を調整する。さらに電動機速度を増す場合には操作ハンドルを増速にすることにより電動機用励磁機電圧→電動機界磁を調整すればよい。

カッター運転には負荷の性質から次のような点を考慮して計画されている。

- (1) 大きな衝撃的繰返し負荷があっても速度変動を10%程度に保ちしゅんせつ能率の向上をはかる。
- (2) レオナード主回路に繰返し過電流が流れた場合でも電流制限回路的作用により発電機電圧を自動的に下げ過電流から電動機を保護する。
- (3) 電動機に定格以上の電流が長時間流れたときは温度継電器ならびに過電流限時継電器により電動機を保護する。
- (4) 操作ハンドルを急激に操作した場合、負荷のGD²が大きいのでレオナード主回路には発電制動電流が流れ原動機に悪影響をおよぼさないよう電圧を自動的に制限する。
- (5) 2台の電動機の負荷分担を同じにするため電動機的设计製作に特別の考慮をはらうとともに電動機主回路、励磁回路とも直列接続にする。



第 10 図 スイングウィンチ電動機レオナード主回路概略結線図

4.2 スイング運転

ポンプ式しゅんせつ船の含泥率はスイングウィンチの操作、性能により決められるため運転方式には十分な注意をはらう必要がある。

スイングウィンチは土質、地形の変化、主ポンプの吸入真空度、カッタの形状、カッタ回転数などにより速度を大幅に変える必要がある。逆に一定の土質、カッタの形状および回転数のもとにおいては潮流の変化、風の影響などに対して一定速度が得られるよう運転することによりしゅんせつ能率の向上がはかれる。そのため負荷の変動に対して速度変動が少なく、広範囲に微調整の速度制御のできるワードレオナード方式が採用されたのである。

第 10 図はスイングウィンチ電動機レオナード主回路の概略結線図を示したものである。

スイングウィンチ電動機は発電機および電動機の冷却ファンが運転し、スペースヒータ電源が切られ、電動機界磁、制御回路電圧が正常で主回路遮断器が投入されていることを確認して運転室設置の操作ハンドルを正転または逆転することにより発電機電圧を調整し電動機速度を調整する。さらに電動機速度を増す場合には操作ハンドルを増速にし、電動機界磁を調整することにより行なわれる。

スイングウィンチ運転には次のような点を考慮して計画されている。

- (1) カッタと同様に急激な土質変化による過電流に対しては電流制限回路により、長時間の過電流に対しては温度継電器ならびに過電流限時継電器により電動機を保護する。
- (2) 操作ハンドルを急激に操作した場合（電動機全速→停止、

正転→逆転または逆転→正転と操作した場合）レオナード主回路には発電制動電流が流れ原動機に悪影響を及ぼすのでその電流を自動的に制限するとともに特殊磁気増幅器形継電器により主回路電圧が一定値以下にならないと操作ハンドルの操作のいかんにかかわらず電動機の回転方向が切り替わらないよう自動制御される。

- (3) カッタと同様に急激な過負荷に対しても 2 台の電動機の負荷分担を同一にし、しゅんせつ能率の向上のため速度変動を一定に保つようにする。

4.3 ラダー運転

ラダーウィンチはカッタの切削深さをしゅんせつ土質により適当に加減ししゅんせつ土量を最大にするよう運転される。そのためひん繁に起動、停止が行なわれるので電動機ならびに制御器具は十分にそれに耐えるよう計画されねばならない。

ラダーウィンチ電動機の運転は運転室設置の主幹制御器と電流制限継電器の作動により電動機電流を制限しながら電動機二次抵抗器を調整して行なわれる。

4.4 スパットウィンチ運転

スパットウィンチは土質によりスパットの引き抜きに大きなトルクを必要とするので電動機の最大トルクを大きくするとともに起動トルクも大きくする必要がある。

スパットウィンチ電動機の運転はラダーウィンチ電動機運転と同様に運転室設置の主幹制御器を操作することにより電動機の二次抵抗器を調整して運転される。なお運転室操作盤上の切替開閉器の操作により機側に設置されている主幹制御器でも運転室と同様に運転を行なうことができる。

5. 結 言

以上、7,000 馬力ポンプ式しゅんせつ船の電気設備の概要について述べたがこの種しゅんせつ船で主要しゅんせつ機器駆動に直流電動機を採用ししゅんせつ効率の向上をはかるようになったことは意義深い。今後のポンプ式しゅんせつ船は稼働率増大のための耐久性、しゅんせつ作業の総合的合理化、設備の自動化などの問題点を残しており、その実現にいっそうの研究を進めたい。

終わりに本船の電気設備の計画にあたっては東亜港湾工業株式会社、日本鋼管株式会社鶴見造船所、関係各位より多大のご指導をいただいたので深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 平川, 中野: 日立評論 35, 533 (昭 28-3)
- (2) 横田, 二瓶, 中山, 本間: 日立評論 43, 521 (昭 36-4)
- (3) 横田, 今井: 日立評論 44, 1973 (昭 37-12)