

(昭和 38 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

船舶発電機新方式の提案とその実験結果

正員 柴 田 福 夫*

Proposal of new method for ship generator and its experimental results.

By Fukuo Shibata, *Member*

Summary

In order to reduce the initial cost and the running cost of vessels, the author proposes that Shibata Reducer system will be applied to ship generator. This proposed method is that D.C. or A.C. is supplied on the terminal of the primary winding of the wound rotor induction motor driven by the propelling shaft, and the electric power taken from the secondary output terminal of the induction motor is supplied to a motor generator which is composed of a D.C. motor and a synchronous generator ; i. e. a ship generator. In this case the above wound rotor induction motor can be used as either a motor or a generator. By the above system, A.C. power having a constant cycle can be obtained as an electric power source in the ship, and the fuel saving can be done in the case of ocean going. The above system has also the advantage that (1) the main diesel engine can be started by the above induction motor, (2) it does not require a turning motor, (3) the cost of the ship generator may be reduced, etc.

As the electric control system similar to the above was already used in a 1500 HP cutter motor of dredger, the author introduces the test results in this paper.

1 緒 言

船舶の自動化が叫ばれ始めてから機関系統やその制御系に種々の改良案が考えられ、そのあるものは既に実現化されつつある。われわれはこの機会に船価低減を目標として今まで長い間伝えられて来た方法に対して一つ一つ再検討することが非常に重要であると考え。筆者はここに船舶発電機装置に一つの新方式を提案し、これを検討することとする。この種発電機の実現のために筆者はかねてより各種の実船における実験¹⁾⁵⁾¹²⁾¹³⁾¹⁵⁾¹⁶⁾を系統的に行なつて来たが、筆者のこの新提案方式³⁾は既に二隻の 4500 馬力浚渫船における 1500 馬力のカッター電動制御に実施され、現在好調に運転を続けているものであり、新提案の裏付けとしてこのカッター電動制御²⁾³⁾⁴⁾の実際を紹介する。

2 発電機新方式とその効果

この方式の概要は船舶の推進軸から直接ギヤーまたはチェーンなどによつて巻線形誘導電動機を駆動し、その一次巻線に交流または直流を導入することによつて二次電気出力端子に発生する電力を別個の電動発電機に与え、これによつて推進軸の回転が瞬間的にあるいは定常的に大きく変化しても、それには関係なく一定周波数、一定電圧の交流を取り出そうとするのである。これによつて逆に上記の巻線形誘導電動機を以て推進軸を低速で駆動することもできるのである。

この方式の詳細については後述するが、ここではまずこのようにすることによつて船舶機関系にどのような影響を及ぼすかということや、船級協会規則とどのような関係があるかということ、あるいはその他の基本的な考え方について述べることにする。

a 専用原動機駆動の船内発電機 1 基節約

原稿受付 昭和 37 年 11 月 26 日

* 川崎重工株式会社造船設計部

NK, ロイド, AB などあらゆる船級協会規格の規定には1台の予備発電機装備を要求している。(例えば NK 規格 40 編 2 章 1 条) このような規定が存在するのは主機関の駆動を安全無事に行なわせるために重要な補機駆動の動力源たる船内発電機が無事故であることを確保するためである。ところが船内発電機事故の原因は電気機械の側よりも機関側に起因する場合の方が多い。これはディーゼル発電機の場合であつてもタービン駆動の発電機においても考えられることである。発電機ディーゼル付属のギヤーやタービンのガバナー等における故障などである。これに比較すれば電気機械側はほとんど故障しないと考えられる。以上のような観点から本提案の推進軸駆動発電機を考えると次のようにいえる。

専用原動機駆動の船内発電機一基を廃し、これを軸駆動発電機に代える。従つて通常専用原動機駆動の船内発電機1基と軸駆動発電機1基とより成り、大洋航行中は軸駆動発電機を運転し、港湾内または停泊時にのみ専用原動機駆動の船内発電機を運転する。このようにすれば航行中、発電機は推進軸から駆動されるため、主機関が運転し、軸を回している限り発電機も安全運転を保つから従来のディーゼル発電機やタービン発電機などのように専用原動機駆動の発電機の場合よりも事故の確率が減ずることになる。この場合であつてもなお専用原動機駆動の船内発電機1基が予備としてあるから万が一、軸駆動発電機が故障しても船全体として危険がなく、各船級協会規格を満足せしめる。

b 専用原動機駆動の船内発電機はディーゼル駆動かタービン駆動か

今までの通常の観念によるとディーゼル船においてはディーゼル発電機を、またタービン船にはタービン発電機をとという考え方が通常であつた。しかし、この提案方式においてはディーゼル船においてもタービン船においても専用原動機駆動の船内発電機はディーゼル発電機の方が好ましく思われる。なぜならこのような方式における専用原動機駆動の船内発電機は従来、通常考えられて来た予備発電機という考え方よりもむしろ非常用、ブラックアウト用、停泊用、港湾内用といった考え方の方が適しているのであつて、そのような意味ではディーゼル船においてもタービン船においても、専用原動機駆動船内発電機はディーゼル発電機である方が良いと考えられるのである。またタービン船においてディーゼル発電機を装備する場合には発電機タービンのために必要な循環水ポンプ、復水ポンプ、復水器、エゼクターおよびエゼクター用復水器など一連の補助機器が不要となり、これらはタービン発電機が1基の場合も、2基の場合も同容量のものを要するから、ここでタービン発電機1基方式を廃し、ディーゼル発電機基方式とする方が秀れていると考えられる。停泊時や港湾時の燃料消費の点から考えてもディーゼル発電機とした方が良いと思われる。

c タービン船のブラックアウト発電機不要

従来タービン船の場合、通常タービン発電機2基以外にブラックアウトないし非常用発電機として 100kVA とか 200kVA 程度のディーゼル発電機を装備した。然し本方式の場合、b 項で述べたごとく予備のディーゼル駆動発電機がその役割を果たすため、このようなブラックアウトないし非常用発電機は不要であり、単に非常用電灯のため蓄電池を設ければ良く、船価低減の因となり得る。

d 非常用としての専用原動機駆動発電機

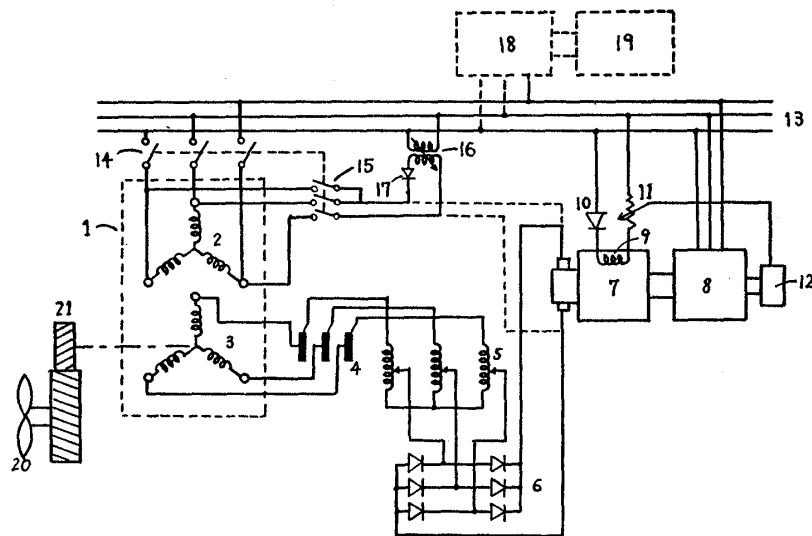
この方式においては専用原動機駆動発電機は停泊時や非常用ブラックアウト用、港湾内用として極く僅かの期間しか使わないため、これが故障することはないという考え方に立つて装備される。あたかも非常用発電機のごとくであり、従つてももちろん1基だけで十分である。

e ディーゼル主機関の起動用としての電動機

自動車機関の起動のようにディーゼル主機関の起動に本方式の誘導電動機が用いられる。そのときはディーゼル発電機があらかじめ運転される。このようにするとディーゼル主機関の起動用空気槽およびコンプレッサーが不要となり、コストダウンに効果を及ぼす。NK 規格にも空気槽は二個設け、何回かの起動の繰り返しの必要とされている(第34編18章)が、本方式では何回でも起動のために電動機を運転することができるし、また予備を持つ必要もない。この方式では電動発電機がディーゼル発電機と並列運転される形となるため、衝撃的にかかる主軸起動のごとき負荷に対しては電源容量に相当に大きいものと考えて差し支えないのである。

f 主機ターニング装置の不要

タービン船でもディーゼル船においてもターニング装置を設けてある。本方式においては誘導電動機によつて超微速で軸を回転せしめ得るので、ターニング装置の役割をするため別個にその装置は不要で、船価低減の一助となる。



第1図 Generator of "Shibata Reducer" type (D.C. excitation method)

その他にも他励界磁電流の調整方法は種々ある。) 巻線形誘導電動機の直流励磁電流を調整するか(例えば調整変圧器の16変圧比を調整するか、またはその一次側へ可飽和リアクトルを挿入して調整し得る)または可変比変圧器5の変圧比を調整することによつて同期発電機8の回転はほぼ一定に維持され、従つてこれが出す交流出力は推進軸20の回転いかんにかかわらず一定周波数を保つ。また同期発電機8には自励式または他励式を問わず、一定電圧を維持する定電圧装置を装備している。

b 交流励磁方式

前項aで述べた方式に対し、交流励磁方式は開閉装置15、半導体整流器17、調整用変圧器16が存在しない。その代りに開閉装置14と別個に、これとは逆向きの相を誘導電動機1の一次巻線2に加えて得る開閉装置15を設ける。(これは図示しない) そのような接続において今推進軸により巻線形誘導電動機1の回転子が駆動されるとき、その一次巻線2に対し開閉装置15を経て交流逆相を加えると巻線形誘導電動機には機械的な回転方向と逆向きの回転磁界を生じ、その中を二次巻線3が回転するから、スリップリング4の端子には交流電圧が発生する。以下は前項直流励磁方式の場合と同様であるが、同期発電機の回転数の上下による回転指示発電機の検出分を以て直流電動機7の他励界磁電流を調整するか、巻線形誘導電動機1の一次または二次に挿入された可変比変圧器5の変圧比を調整することによつて同期発電機8の回転はほぼ一定に維持され、従つて周波数も一定となる。

c 交流励磁と直流励磁方式の長短

前記の交流励磁方式と直流励磁方式の間には次のような長短比較ができる。

(イ) 交流励磁方式は推進軸からの動力を交流出力として母線に出す場合に、それ以外に巻線形誘導電動機1、整流器6、電動発電機7~8、母線13の間を循環するため、これらの装置が若干、余裕を持つて造られる必要がある。しかし、直流励磁方式のごとき直流励磁用の余分の装置を必要としない。

(ロ) 直流励磁方式では巻線形誘導電動機1の一次巻線2に対して単に直流励磁をするのみであつて、これが二次巻線側に電力を伝達することはないので、前項の交流励磁方式のごとき電力の循環はない。

4 交流励磁方式

巻線形誘導電動機では次式が成立する。

$$P_1 : P_2 : P_3 = 1 : S : (1-S) \quad (1)$$

ただし、 P_1 : 二次入力、 P_2 : 二次端子から出る二次電気出力+誘導電動機の二次銅損+二次鉄損、 P_3 : 機械損を含めた機械的全動力、 S : 滑り

この式を交流励磁方式に適用する。交流励磁の場合には滑り S が1よりも大きくなる。従つて $1-S$ は負数になり P_3 も負数となる。(1)式より

$$P_2 = P_1 - P_3 \quad (2)$$

であるから、 P_2 は P_1 と $(-P_3)$ の加えたものとなる。われわれが同期発電機の出力として出す交流電力はこの系統の損失を無視した場合には P_2 であるが、その中、巻線形誘導電動機の入力として P_1 を要する。従つて P_2 に比し P_1 を小さくする方が環流電力を小さくし、総合効率を高くするし、また設備能率も高める。そのためには (1) 式より滑り S を大きくするのが良い。例えば 8 極巻線形誘導電動機同期回転 900rpm を逆方向に 1800rpm で回転せしめるときには滑りは $\frac{1800+900}{900}=3$ であつて推進軸から船内電力として 2 の動力を供給するために環流分は 1 となる。

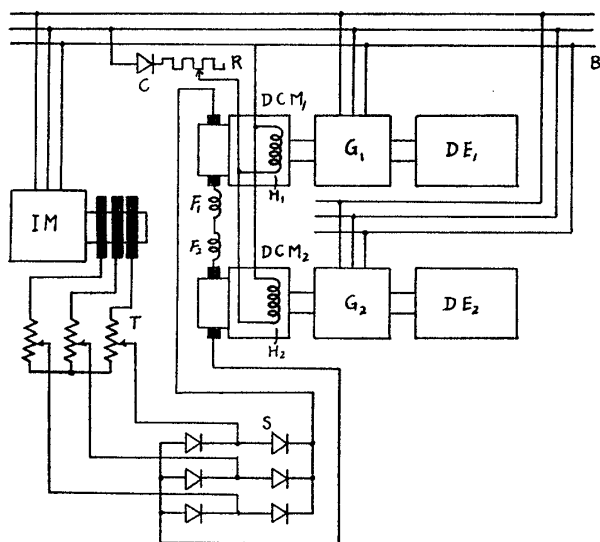
このような場合巻線形誘導電動機のスリップリングに表われる電圧はもしその一次入力端子に定格電圧を加えると静止二次誘起電圧 E_2 の 3 倍の電圧を生ずることとなる。これでは絶縁上好ましくないので巻線形誘導電動機の一次側に挿入した可変比変圧器の変圧比 u の値 3 をとしてスリップリングに表われる電圧を静止二次誘起電圧と等しいか、それ以下に保たしめる。

電動発電機は推進軸とは別系統であるから 1800rpm や 3600rpm 等の高速小形とすれば安価となる。巻線形誘導電動機を主機駆動用に使用する場合には上記可変比変圧器の変圧比 u の値を 1 とすれば良い。この方式によれば通常ディーゼル主機関 15,000 馬力に対し電動機 800 馬力もあれば十分に主機関は起動すると考えられる。

5 実験結果

いままで述べて来た方式は既に 2 隻の 4500 馬力浚渫船における 1500 馬力のカッターモーター Shibata Reducer System で実働されているものから僅かな変形によつてなし得るものである。従つてこの 1500 馬力のカッターが極めて良好な運転を続けている現在、本方式の提案の実現は極めて容易であることを示すものである。そこで今ここにこのカッターモーターの結果を報告し、参考としたい。

カッターモーター用電動制御回路は第 2 図⁹⁾¹⁰⁾に示すごとくである。 DE_1, DE_2 はディーゼルエンジン 2 台で、 G_1, G_2 の交流発電機 900kVA, 2 の台を駆動する。これら交流発電機と機械的に直流電動機 DCM_1, DCM_2 200 kW, 2 台を結合する。(特許公告 37~5331) これらの二組が交流発電機 G_1, G_2 において母線 B で並列運転し、



第2図 カッターモーター回路における
Shibata Reducer

直流電動機 DCM_1, DCM_2 において直列接続する。(特許公告 37~917) 直流電動機 DCM_1 と DCM_2 の分巻界磁線輪 H_1, H_2 は並列的に交流母線 B から整流器 C 、抵抗 R を通して電流を供給される。また直列線輪 F_1, F_2 は電機子線輪と直列に接続され、電機子回路はシリコン整流器 S 、可変比変圧器 T を通してカッターモーターの巻線形誘導電動機 IM のスリップリングに接続される。これらに用い

第1表 機器主要目

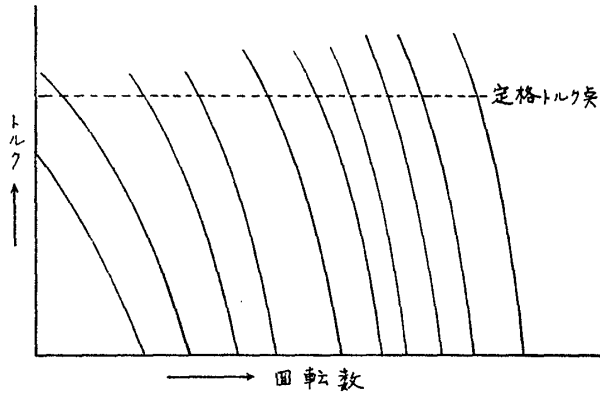
1. 交流発電機 G	2 台
防滴自己通風形 900 kVA 445V 1170A	
電機子電流 1155A 極数 10P 回転数 720rpm 60A	
自励式 (励磁電圧 94V 励磁電流 79A)	
2. 直流電動機 DCM	2 台
防滴自己通風形 200kW 300V 725A	
回転数 720rpm 極数 6P 複巻界磁	
3. ディーゼル DE	2 台
川崎-MAN形 V6V 22/30 MAL	
軸馬力 1180 BSHP 720rpm	
4. 巻線形誘導電動機 IM	1 台
閉鎖 開放管通風形 1100kW 回転数 1180rpm	
1次電圧 440V 2次電圧 960V	
1次電流 1750A 2次電流 700A	

第2表 カッター無負荷作動試験

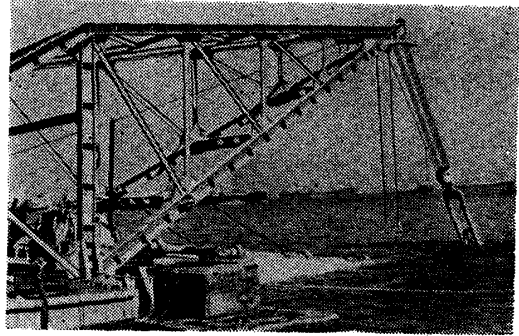
制御器 ノッチ	電源 電圧 V	負荷 交流 A	直流 電圧 V	負荷 直流 A	界磁 電流	回転数	
						電動機	カッター
1	445	250	610	10	13.8	250	7.5
2	"	"	550	"	12.3	350	10.3
3	"	"	610	"	13.8	460	13.9
4	"	"	530	"	10.7	550	16.5
5	"	"	610	"	13.8	700	21.0
6	"	"	490	"	9.6	790	23.7
7	"	"	400	"	7.6	850	25.5
8	"	"	280	"	5.1	925	28.0
9	"	"	180	"	3.1	1000	30.0
10	"	"	170	"	3.0	1130	33.9

られた主機械の主要目は第1表に示すようなものである。

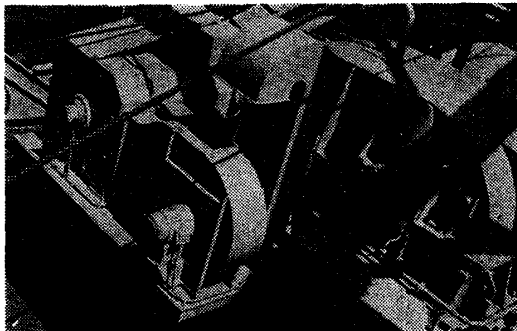
カッター電動機は 10 ノッチに分けて制御され、その無負荷運転は第2表のごとき成績であり、負荷をかける
と第3図のような特性となる。この場合の特長は第2図の、直巻性が出て起動電流が非常に小さく制限され、第
1 ノッチや第2 ノッチにおけるストール電流が低く、従つてカッターやウインドラスなどの特殊負荷
にはぴつたりと適合したものであると考えられる。



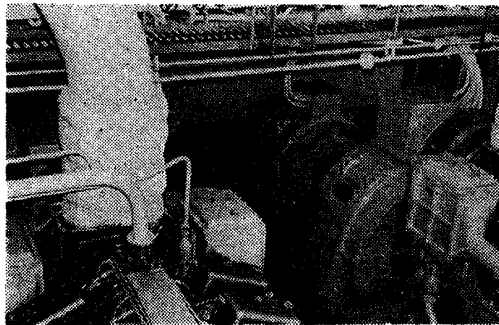
第3図 カッター 特性



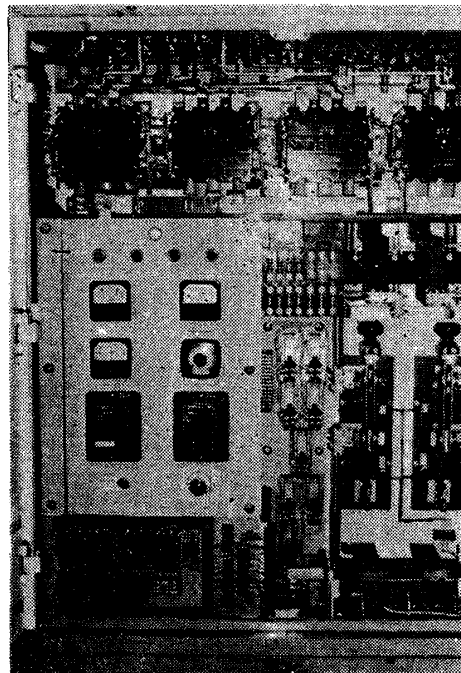
第4図 ラダー



第5図 カッターモーター



第6図 機関駆動の交流発電機と直流電動機



第7図 管制器の内部

これは

$$I_2 = (SE_2 - E_D') / \sqrt{r_{II}^2 + S^2 x_{II}^2} \quad (3)$$

の式から明らかである²⁾。

第4図はラダー、第5図はカッターモーター、第6図は機関室内発電機G、電動機DMの部分、第7図はその管制器の一部分を示す。

6 結 言

以上述べた船舶発電機の新方式に対して電気的な回路の実験結果を実船において示したのであるが、このような考え方が実際に可能であることが判然としたと思う。最近の米英における自動化の目標としてはやはり制御の

集中化などという漠然たるものではなく、運航費の徹底した節約にある。このことは当然の話であり、今後も船価低減、運航費節約に向つて懸命の努力が払われることに間違いはない。本方式はそのような意味で極めて重要な一つの解決案となると思う。そして今後の船舶発電機は次第にこの種形式に移つて行くと思う。その実現性は今日からでも直ぐできることなのであるから。

参 考 文 献

- (1) F. Shibata : Control Systems for induction motors 英国特許 910993 号 (その他米国 4 件, 英国 2 件, 独国 1 件, 日本 22 件)
- (2) 柴田 : 巻線形誘導機速度制御の一方式, 電気学会雑誌 37 年 3 月 82 号巻 882 号 388 頁～
- (3) 柴田 : クレーマージェルピウス方式の一変形, 電気学会連合大会 35 年 7 月 613 番
- (4) 柴田 : クレーマージェル方式の一変形, 電気学会連合大会 35 年 11 月東海支部 20 番
- (5) 柴田 : シェルピウス方式の一変形の実験結果, 電気学会連合大会 36 年 4 月 590 番
- (6) 柴田 : シバタレジウサーの応用 (船用ウィンチ等の電動制御), 電気学会連合大会 36 年 10 月関西支部 7-22
- (7) 柴田 : シバタレジウサーの応用例 (交流電動機新速度制御方式と回生制動) 電気学会連合大会 37 年 4 月 748
- (8) 柴田 : シバタレジウサーの応用例 (巻線形誘導発電機の理論, 実験応用) 電気学会連合大会 37 年 11 月関西支部
- (9) 柴田 : シバタレジウサーの応用例 (直捲線輪を有するシェルピウス変形方式) 電気学会連合大会 38 年 4 月 7-65
- (10) 柴田 : 交流電動機の新速度制御装置の理論と応用, 電気雑誌オーム, 37 年 1 月
- (11) 柴田 : 推進器をふくむ大形船用電動機の新方式実験, 造船協会論文集 109 号
- (12) 柴田 : 交流電動機新速度制御方式の船用ウィンチにおける実際適用, 造船協会論文集 110 号
- (13) 柴田 : 浚渫造電動制御の実際と船舶電気推進, 造船協会論文集 112 号
- (14) 柴田 : 船舶電気推進の一方式, 関西造船協会会誌 101 号
- (15) 柴田 : 甲板機械や浚渫船の電動制御, 関西造船協会会誌 105 号
- (16) 柴田 : 船舶電動制御における回生制動, 関西造船協会会誌 108 号