UDC 629.123:621.313.322

船用交流ディーゼル発電機の新シリーズ

*浜野 孝(はまの たかし) *瑞慶覧朝政(ずけらん ちょうせい) *宮山 清(みややま きよし) *芦沢 厚(あしざわ あつし)
*塩崎 靖(しおざき やすし) *山下 善文(やました よしふみ)

1 まえがき

船用発電機の最近の大きな特徴として，タンカーブーム時の大容量ターボ発電機がすっかり影をひそめ，建造される船の種類がバルクキャリヤ，コンテナ船，自動車運搬船などへと変化したのに伴って，中容量（1,000kVA 近辺）のディーゼル発電機が主流となった。そのディーゼル発電機も省エネルギー要求のすう勢により，低質燃料油焚き補機エンジンが各ディーゼルエンジンメーカーによって開発されるに至って，低速機（主に10極機）がそのほとんどを占めるようになった。

これらの造船業界を取り巻く環境の変化を素早くキャッチし，需要家各位のニーズにマッチした製品を提供するため，ディーゼル発電機の大幅なモデルチェンジを行った。この新シリーズの発電機は，新しい通風方式を採用するなど随所に，富士電機の長年の経験と最新の技術が盛り込まれている。

以下にそのディーゼル発電機の新シリーズ（GFV7形）の概要を紹介する。

2 新シリーズディーゼル発電機(GFV7形)の概要

2.1 準拠規格

以下に示す各国の船級規則及び JIS，JEC，JEM に準拠している。

NK ：日本海事協会鋼船規則 （日本）
LR ：Lloyd's Register of Shipping （England）
AB ：American Bureau of Shipping （U S A）
NV ：Det Norske Veritas （Norway）
BV ：Bureau Veritas （France）
GL ：Germanischer Lloyd （West Germany）
ZC ：Register of Shipping of the People's Republic of China （People's Republic of China）
KR ：Korean Register of Shipping （Korea）
CR ：China Corporation Register of Shipping （Republic of China）
JG ：船舶安全法 （日本）

2.2 標準仕様

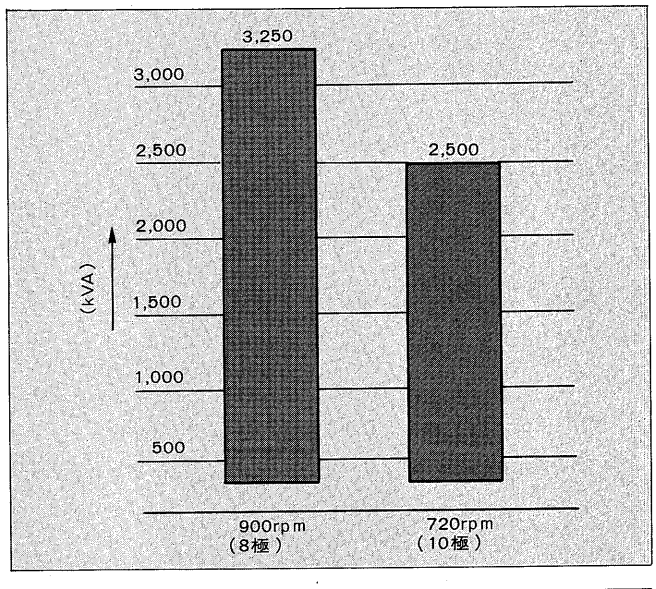
(1) 形式：横軸円筒形回転界磁
(2) 外被構造：開放防滴形（IP22S，IP23S）
：全閉内冷形（IP44）
(3) 定格仕様
・時間定格：連続
・出力範囲：300～3,250kVA （**図 1** 参照）
・相 数：3
・電 圧：AC 450V
・力 率：80% 遅れ
・周 波 数：60Hz
・極 数：8，10
(4) 絶縁種別：F種
(5) 軸受構造：ブラケット両軸受
(6) 励磁方式：ブラシレス励磁方式
(7) 電圧変動特性
・総合電圧変動特性：±0.5%
・最大電圧変動特性：JEM1274規定の5.2.2の第(3)特性を十分満足する。すなわち，発電機が定格周波数で無負荷運転中に定格電流の80%（力率0.4以下）に相当する負荷を投入した場合の電圧降下は15%以内であり，電圧復帰時間は0.2秒以内である。

2.3 仕 様

図 2 に GFV7形船用ディーゼル発電機の外観を示す。ディーゼル発電機に要求される機能及び性能を十分に具備するように設計されており，特に据付の容易さ，保守点検の容易さなども，性能，信頼性の向上にあわせて改善が図られている。以下にその主な特徴を記す。

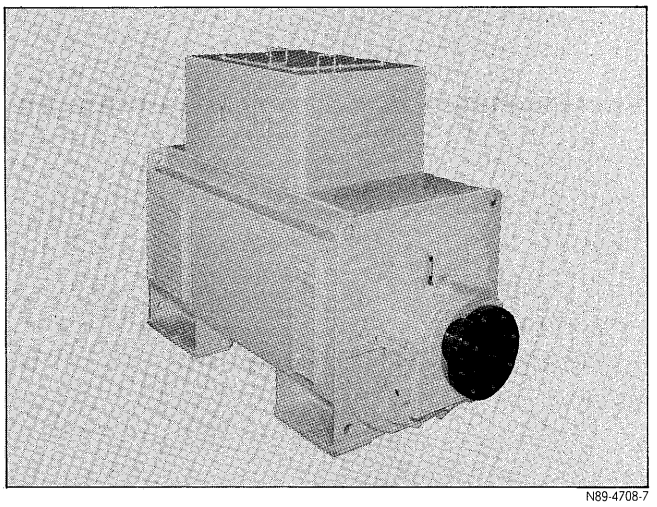
(1) 通風冷却方式の改善による小形軽量化

図1 7形ディーゼル発電機の出力範囲



*鈴鹿工場 回転機設計部

図2　GFV 7形発電機の外観



N89-4708-7

高性能冷却ファンの採用と新方式通風回路の採用により，小形軽量化した。

(2)　励磁調整装置部品の搭載

従来から励磁用変流器2個を搭載していたのに加えて，励磁用変圧器及びリアクトルをも発電機に搭載したので，主配電盤の収納スペースを小さくすることができる。

(3)　AVRプリント板のFμM(富士マイクロモジュール)化

AVRプリント板をFμM化し，より信頼性の向上を図るとともに小形軽量化した。

(4)　外線接続作業の容易化

端子箱内の収納スペースを従来よりもゆとりをもたせたことにより，船内でのケーブル接続作業がより容易に行えるようになった。

(5)　耐振性の向上

フレームを角形化するとともに，交流励磁機と回転整流装置を内蔵化することによって，耐振性の向上を図っている。

3　発電機構造

GFV7形シリーズ発電機の構造について，以下に説明する。

3.1　通風冷却

発電機の小形軽量化には，発電機を効率的に冷却することが最も重要なファクタの一つである。温度上昇を規格値以下に保持するため，巻線及び鉄心部などから発生する熱を，冷却風によって外部へ効率的に放出する必要がある。今回のGFV7形シリーズにおいては，鉄心ブロック幅を小さくし，鉄心部の冷却通風路であるダクトの本数を増やすことにより，冷却表面積を増大させている。またダクト内冷却風を増加させるために，従来の片吸込通風方式に対し，回転子の冷却風を反駆動側と駆動側との両側から吸い込む，ロータ両吸込通風方式を採用している。その通風回路を**図3**に示す。

図3　発電機の構造断面図

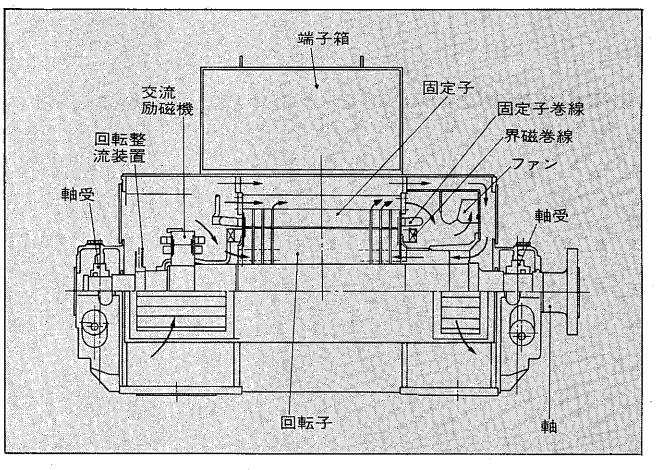


図4　発電機の固定子巻線温度

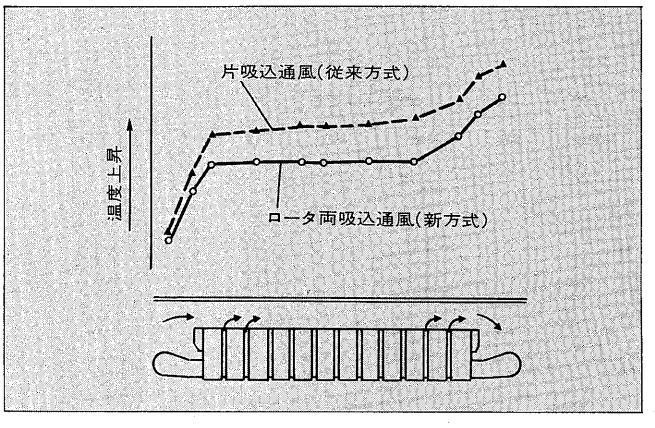
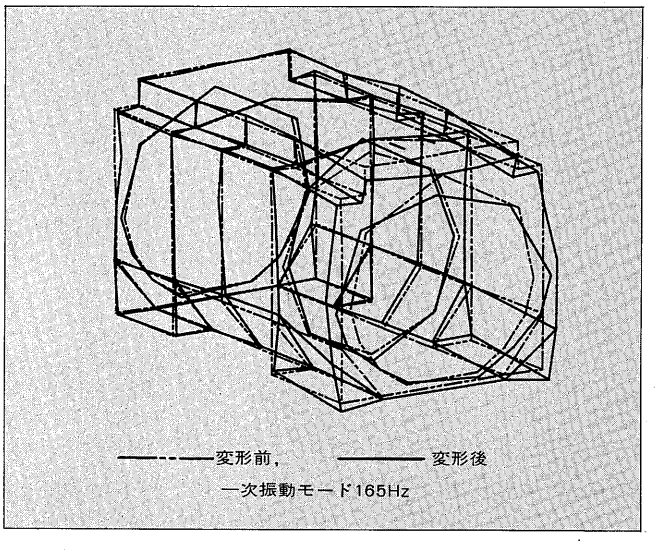


図5　固定子枠のモーダル解析例



GFV7形シリーズのロータ両吸込通風方式と，従来の片吸込通風方式との検証を実機により行った結果，発電機の固定子巻線温度は**図4**に示すように改善された。

3.2　モーダル解析

船用ディーゼル発電機は，駆動エンジン及び船体振動などに対し十分に堅ろうであることが要求される。GFV7形シリーズの開発にあたっては，この要求を満足させるため，

図6　溶接形固定子鉄心とモーダル解析器

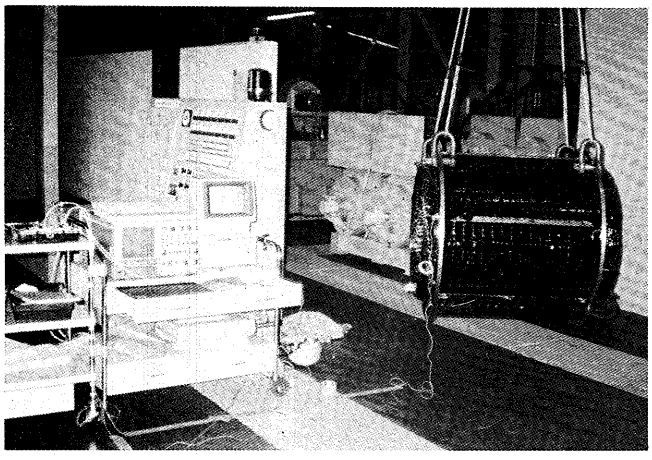
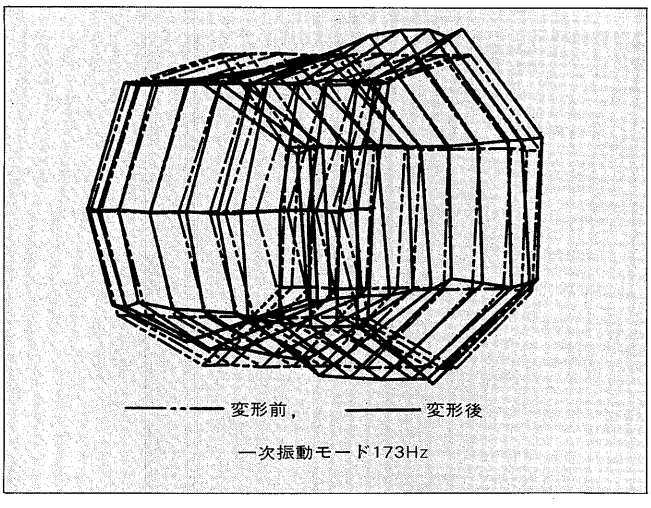


図7　固定子鉄心のモーダル解析例



モーダル解析技術を駆使し，振動品質の向上を図り信頼性の高い構造としている。

その適用例の一部分を紹介する。

モデルによるモーダル解析の比較検証結果から，固定子枠は角形構造を採用し，更に固定子枠の取付脚間の補強板など構成部材の板厚及び配置の決定にもモーダル解析結果を用いて最適化し，耐振性の強化を図っている。

図5に示すように，円環振動に対する固有振動数を従来の円筒形固定子枠に対して2倍に上げ，曲げ剛性を強化した。

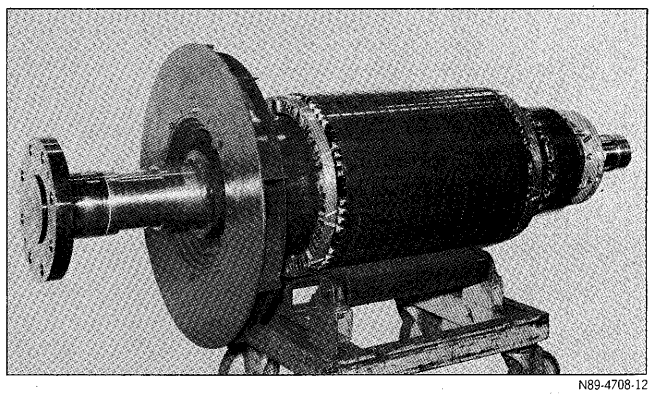
また，固定子積層鉄心の締付方法を従来のクリップかしめ方式の構造に対し，**図6**のように鉄心外径部へ剛性の高い支持板を溶接し，固定子鉄心を強度メンバーの一部に組み入れる構造を採用した。その結果，**図7**のモーダル解析結果が示すように，溶接形鉄心はクリップかしめ鉄心に対し特に軸方向の曲げ固有振動数は5倍にも向上している。

以上のようにGFV 7形シリーズの開発にあたって，開発企画，試作検証の各段階でモーダル解析技術を駆使し構造の最適化を図っている。

3.3　端子箱

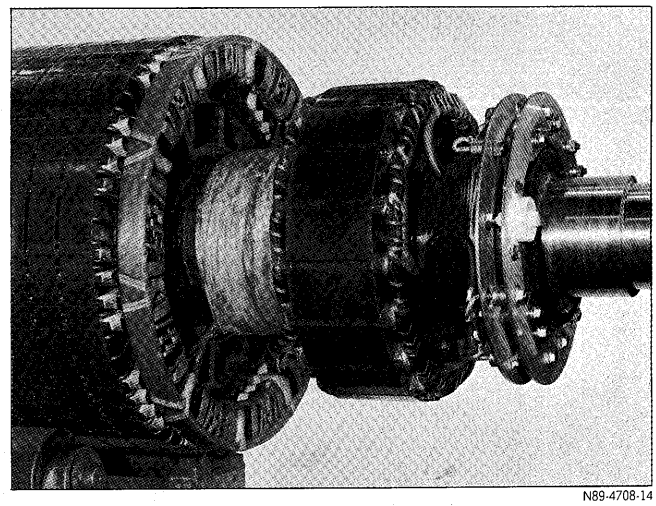
発電機本体上部の端子箱は，外部ケーブルの導入を容易にするために，従来よりゆとりをもった設計になっている。また端子箱内には励磁用変流器2個，励磁用変圧器及びリアクトル各1個を搭載している。端子箱内の出力端子用バスバーの配列は，外線ケーブル導入方向に応じて，艤装上から便利な位置を選択できるような設計になっている。また，端子箱内の発生熱量はわずかであるが，端子箱内と発電機本体間に通気孔を設け，端子箱内に熱がこもらないように配慮されている。

図8　回転子



N89-4708-12

図9　交流励磁機及び回転整流装置



N89-4708-14

3.4　交流励磁機及び回転整流装置

(1)　交流励磁機

交流励磁機は固定子を界磁にし，回転子を電機子とする回転電機子形同期発電機である。鉄心に長期にわたって残留電圧が持続できる材料を使用することにより，予励回路を省略することが可能となっている。**図9**に交流励磁機の構造を示す。

(2)　回転整流装置

回転整流装置の構造を**図9**に示す。回転整流装置は，交流励磁機の電機子巻線に発生した交流を整流して，発電機本体の界磁巻線に供給するものである。

シリコン整流器は，三相ブリッジ結線としている。回転整流装置は，シリコン整流器とその保護用コンデンサ，抵抗及びバリスタによって構成されている。**図10**のコンデンサ②，③及び抵抗は，シリコン整流素子電流の転流時に発

図10　回転整流装置の構成

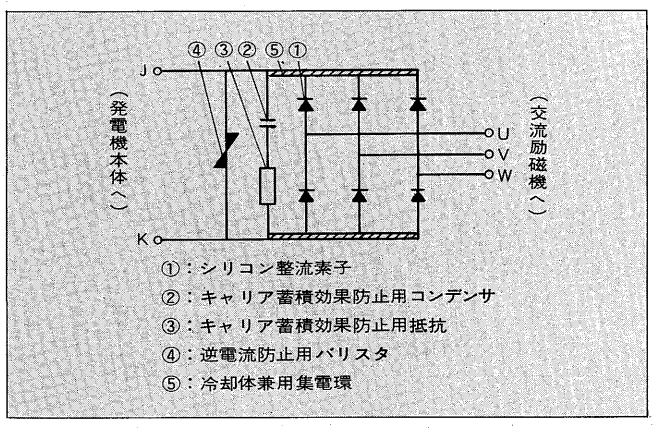
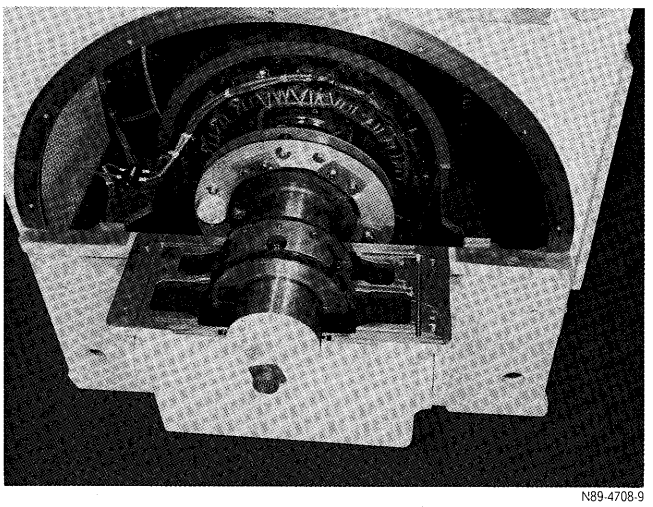


図11　発電機の反駆動側部



N89-4708-9

生する異常電圧を小さくするためのものである。**図10**のバリスタ④は，同期並列投入時に，電圧差及び位相差のあるときに発生する逆方向界磁電流の放電回路とするためのものである。これらの部品は，コンパクトにまとめられ，特に遠心力・振動・熱容量に対して十分検証されており，ディーゼル発電機用として高い信頼性をもったものである。

また回転整流装置を，反駆動側の発電機内部の軸端側に配置することにより，**図11**のように容易に点検することができるようになっている。

3.5　発電機枠

(1)　固定子枠

発電機の固定子枠は，先述したモーダル解析により，十分な剛性を有することが確認されている。また，新方式通風回路を採用するにあたって，角形固定子枠の構造を生かして，反駆動機側から吸い込んだ冷却風を駆動機側に導く通風路が組み込まれている。

(2)　軸受ブラケット

発電機の軸受ブラケットは，軸受保守と発電機内部点検の容易性を配慮し，固定子枠の取付を下部のみとしている。また，軸受ブラケットをシールドと一体構造にすることにより，その耐振性も十分考慮された構造となっている。

3.6　F種絶縁

GFV7形シリーズには，F種絶縁を標準として採用した。巻線材料としては，エステルイミド系電線又はガラス被覆電線を使用し，絶縁材料は耐熱性の優れた材料を使用している。また，ワニスにはF種エポキシ系ワニス又はF種ポリエステルワニスを使用している。

ワニス処理方法は，富士電機で長年の実績のある回転含浸方式を採用し，船内での過酷な使用環境においても，優れた耐湿・耐塩・耐油性を有している。

3.7　軸電流防止絶縁

GFV7形シリーズでは，実機確認試験により全面的に軸電流防止絶縁を廃止した。

軸電流の発生要因は，主に固定子鉄心の磁気回路の不平衡によるものである。この原因には，鉄心をセグメントで形成する場合のセグメント合せ面，軸方向に設けられた通風孔，鉄心締付ボルト及びダブテール溝などが考えられる。

GFV7形シリーズの鉄心は，一体形リング打抜き方式であるため，磁気回路の不平衡が生じにくいので，軸電圧発生の懸念は少ない。しかし冷間圧延ケイ素鋼板の場合に見られる透磁率の不均一，機械の組立据付のアンバランスなどにより，磁気回路構成要素の不均衡で少しは発生する場合があるが，軸受に障害を与えない範囲なので廃止した。なお，軸電圧の許容値はすべり軸受で500mV以下としている。

4　諸特性

4.1　最大電圧降下特性

かご形誘導電動機を始動する場合の最大電圧降下特性を**図12**に示す。GFV7形シリーズは，JEM1274規定の5.2.2第(3)特性を標準としている。更に電圧の回復特性は後述する励磁装置の優れた応答性により，JEM1274規定の復帰時間0.6秒以内に対し，0.2秒以内と非常に優れた特性となっている。**図13**に低力率負荷投入時の電圧変動特性の一例を示す。

図12　最大電圧降下特性

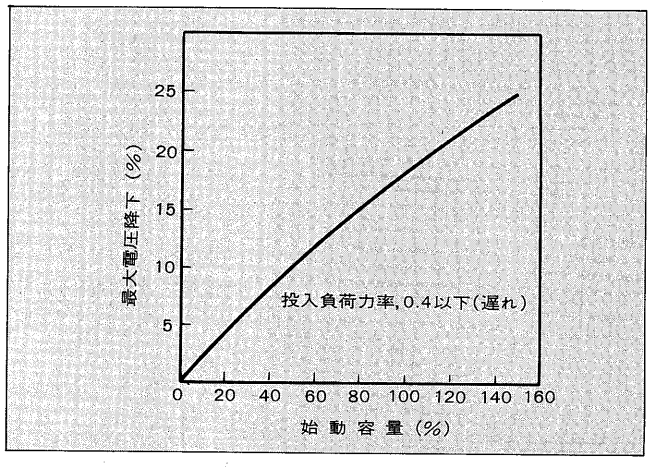


図13　電圧変動特性

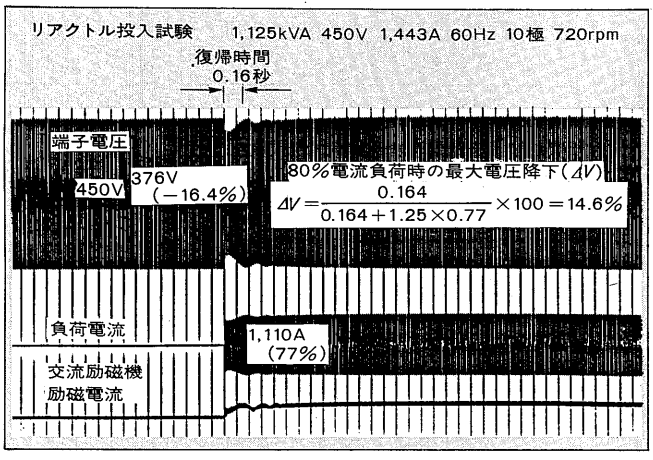


図14　短絡時の励磁特性

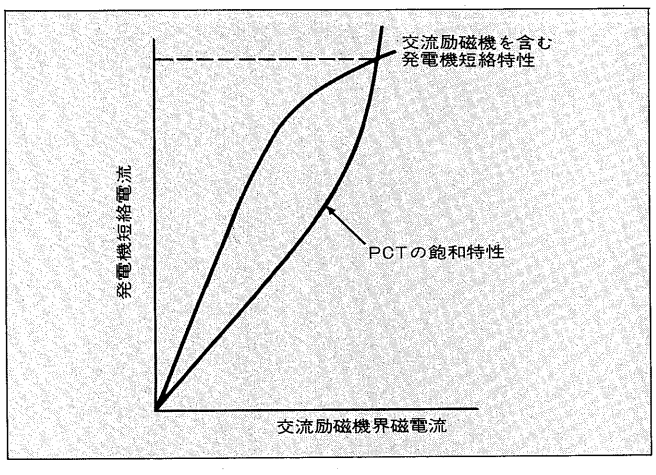
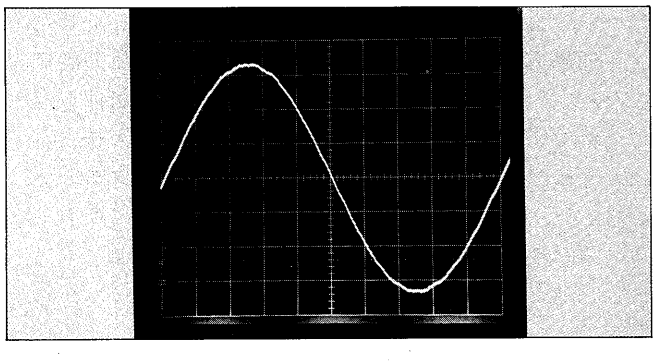


図15　GFV 7形の電圧波形



4.2　総合電圧変動特性

励磁装置の優れた応答性により，原動機の速度変動率4%以下の場合は，力率0.8～1.0の範囲で無負荷から全負荷の全域で定格電圧の±0.5%以内に維持する優れたものとなっている。

4.3　電圧の自己確立

GFV7形シリーズは交流励磁機の設計，特に鉄心材質などを考慮することによって，十分大きな残留電圧が得られるようにしており，励磁装置の交流リアクトルのインピーダンス特性と組み合わすことにより，電圧の自己確立が可能となっている。

4.4　持続短絡電流の確保

発電機が突発短絡を起こした場合の持続短絡電流の確保は，富士電機独自の交流励磁機の飽和特性と励磁用変流器の飽和持性を利用して行っている。**図14**に短絡時の励磁特性を示す。GFV7形シリーズは交流励磁機と励磁用変流器の特性を適切に選定することにより，持続短絡電流は定格電流の300%以上を確保するように考慮してある。

4.5　電圧波形

GFV7形シリーズは円筒形回転子で界磁巻線が分布巻であり，更に電機子巻線をスキュー（斜溝）することにより極めて良好な電圧波形が得られる（**図15**）。

無負荷時の波形くるい率は線間電圧にて5%以内である。

5　励磁装置 HIREX-85C

富士電機は既に第一世代として「HIREX-80C」を開発し，紹介した。この励磁装置は，これまでに数多くの実績を有し，高信頼性と高度の制御性能，すなわち，定常特性，過渡特性及び安定性の要求される船・陸用発電機の分野において高い評価を得てきた。

HIREX-85Cは，HIREX-80Cを基本にシリーズ化を図り，発電機の容量に応じた励磁装置がきめ細かく選定できるようにするとともに，形状も一新した。更に信頼性の向上とより一層の小形化のために，FμM（富士マイクロモジュール）化を行った。

図16　HIREX-85C 励磁装置結線図

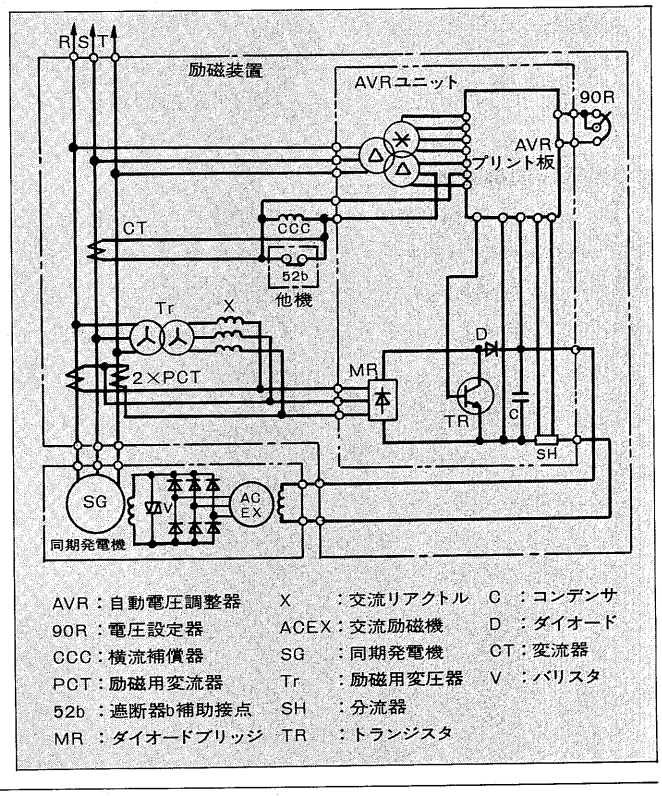


図17　等価回路

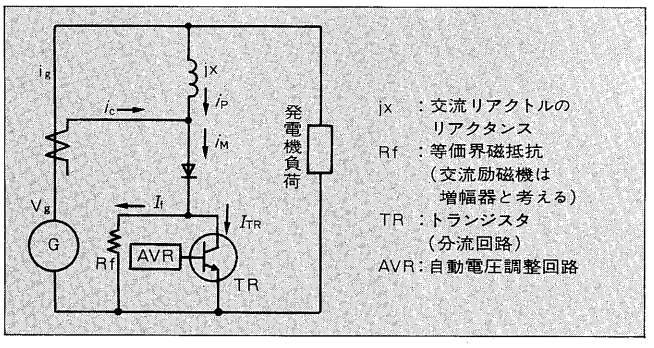
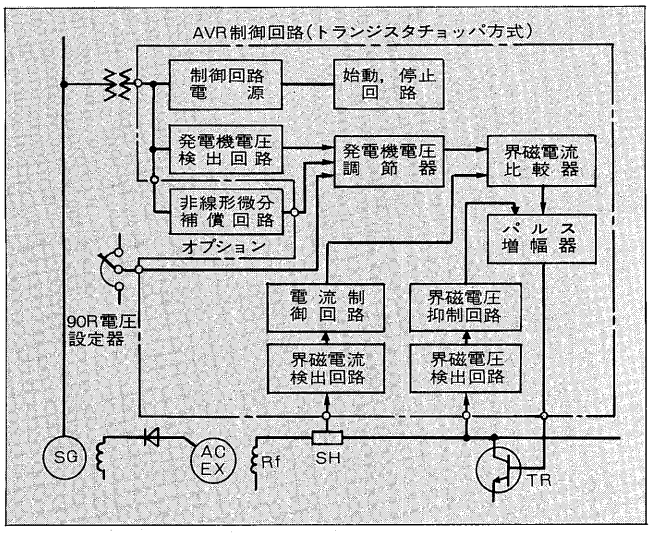


図18　AVR 制御回路ブロック図



5.1　HIREX-85C 形励磁装置の基本構成

本装置は，電圧制御特性，並行運転特性及び持続短絡電流の確保などにおいて優れた特性を持った複巻形ブラシレス励磁調整装置である。この装置の構成要素は，これまでの HIREX-80C と同一とし，**図16**の結線図に示す AVR 部分を大幅にモデルチェンジした。**図17**に等価回路を示す。

5.2　AVR 制御回路

AVR は，発電機負荷のいかなる変動に対しても発電機電圧が規定された特性を満足するように量的，時間的に調整するための制御回路である。励磁装置の動作は，**図17**の等価回路に示すように交流リアクトルと励磁用変流器の両者の電流をベクトル的に合成し，発電機の界磁に供給する一方，界磁と並列に接続されたトランジスタに分流させる。この分流量は，発電機電圧の変動に応じ総合的に AVR で制御し，その出力はチョッパ信号となる。このチョッパ信号でトランジスタの通流率を制御する。**図18**に制御回路ブロック図を示す。

今回，このトランジスタチョッパ制御回路の主な構成要素を FμM 化し，信頼性の向上を図った。FμM 化によってプリント板は更に小形となり，従来比約50%の大きさとなった。

表 1　容量系列及び仕様

項目 ＼ 形式		HIREX-85		
		−1C	−3C	−6C
交流励磁機定格界磁仕様	界磁電圧	DC 200V以下		
	界磁電流	5A以下	15A以下	30A以下
持続短絡電流		300%，2秒		
AVR の動作電圧		始動ロック解除電圧：定格電圧の62% 停止ロック電圧　：定格電圧の46%		
PI 調整範囲		最小P＝　7%（G＝14.2）　I＝908ms 最大P＝200%（G＝ 0.5）　I＝ 47ms		
90Rによる電圧変化範囲		±7.5%		

5.3　シリーズ化

複巻形ブラシレス励磁調整装置の容量を 3 種類とした。容量系列及び仕様を**表 1** に示す。

6　あとがき

以上，船用ディーゼル発電機の新シリーズを紹介した。

新通風方式の採用，モーダル解析による剛性の評価，AVR プリント板の FμM 化など，新技術，新解析法を導入した新シリーズは需要家各位の御要望に十分マッチした製品であると確信している。更にこれからのニーズの変化にも対応し，製品の信頼性の維持向上を図っていく所存である。関係各位の御指導・御鞭撻をお願いする次第である。

参考文献

(1)　平田清治ほか：新系列 4 形船用交流発電機，富士時報，**53**，9，pp.707～713（1980）

e-Front runners

＊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。