

「日立サンパワー」 高圧パッケージディーゼル発電機の開発

Development of HITACHI SUN-POWER High Voltage Package Type Diesel Engine Generators

Hitachi has perfected recently HITACHI SUN-POWER High Voltage Packaged Diesel Engine Generator series. Differing from its stationary type predecessors, this 6 kV class generator has all its necessary control equipment mounted on its common base, and employs a new control system which features much reduced weight and size, superior response time and wave form of induced voltage. Self-mounting of control panel system, which has been thought possible only for low voltage types, and many other engineering breakthroughs have brought about many advantages for this new series over conventional stationary types in respect of reduction of generator room floor space, simplification of installation work and curtailment of installation period, etc.

山口 武* Takeshi Yamaguchi
三島 宣雄* Nobuo Mishima
小林 寅雄* Torao Kobayashi
吉沢 宗三郎** Sozaburo Yoshizawa

1 緒 言

ディーゼル発電設備(Diesel Engine Generator:以下, DEGと略す)は設備費用が低廉である, 保守が容易である, 短納期であるなどの理由から, 非常用, 常用を問わず中容量の電源として広く利用されている。特に昨今のエネルギー危機を反映して, 不足分の電力自足や熱効率の面から省資源の点で, ディーゼル発電設備の動きが活発である。

一般にディーゼル発電設備は設置方法により定置式と可搬式に分けられるが, 従来定置式の範囲である高圧発電機を, 据付工事の簡略化, 建設費節減を目的として, パッケージ化の開発を進めてきた。シリーズとして完成した175~400kVAのうち最大容量の400kVAを中心に, 以下シリーズの概要について述べる。

この高圧パッケージシリーズは高性能のブラシレス発電機独自の制御方式のほか従来別置になっていた発電機盤, 自動電圧調整装置, 自動始動装置, 高圧主開閉器及び補充電器をユニットタイプにして発電機に搭載し, 更に運転に必要な機器のほとんどを共通台床上に設置したことなど, 高圧ディーゼル発電機として画期的な新製品であり, 既に稼動中のものもある。

2 設備の概要

高圧パッケージDEGシリーズを計画するに当たり, このシリーズの基本的な目標とした点は次のようなものである。

- (1) 現有の可搬式自家発電設備である日立サンパワーポータブル発電機シリーズより大きい容量範囲をパッケージ化する。従来, 6kV, 3kV級は定置式であったが, これを需要の多い高圧シリーズとする。
- (2) 従来別設置としている発電機盤, 自動電圧調整器, 自動始動盤, 高圧主開閉器及び補充電器をユニット化し, 燃料タンクを除くエンジン補機類のほとんどを共通台床に設置する。これにより据付工事の簡略化と据付床面積の減少による建設費の節減を可能とする。

- (3) エンジンには高速機を採用し, 小形軽量化する。
- (4) 発電機はブラシレス方式として無保守化を図る。
- (5) 保護方式, 監視計器類は従来の定置式と同等の仕様とし, 応答速度の速いブラシレス発電機の新制御方式を確立する。また発電機盤は, 搭載形とする。
- (6) 始動方式は10秒で始動が可能な方式とする。

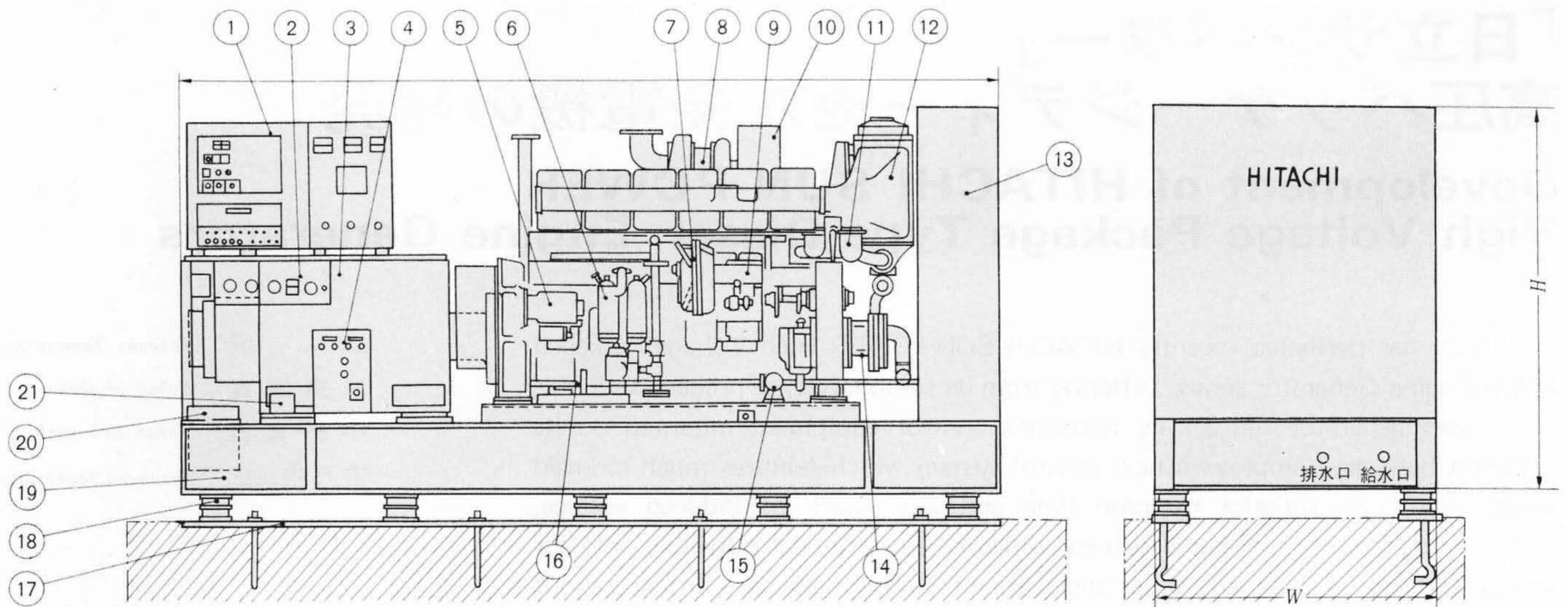
これらの目標のもとに完成した175~400kVAのシリーズの概要は次のようなものである。

高圧発電機をパッケージ形にまとめるために第一に問題となるのは, 発電機に制御盤を搭載するにはどうするかであり, それを次の方式により可能とした。

- (1) 制御盤を小形軽量化すること。
発電機はブラシレス方式として励磁装置の容量を小さくし信頼性の高い集積回路及び半導体を採用する。高圧部と低圧部の部屋を完全に仕切って実装効率を上げる。また, 交流励磁機の励磁電源として, 主発電機の出力側より電源トランスを介して供給する従来方式をやめ, トランスを省略し, 永久磁石発電機の出力を使用する新方式とする。
- (2) 高圧回路の誘導障害を防止
高圧部と低圧部をそれぞれユニットにまとめ, 部屋を完全に仕切る。リレーコイルや各種ソレノイドに並列にサージアブソーバ, 又はダイオードを挿入する。
- (3) エンジンからの振動について対策を施す。
制御盤を防振支持とし, 且つフレームを剛構造とする。集積回路, 半導体回路とその他の強電回路の配線を別ダクトとして分離する。
そのほかパッケージ化のために, バッテリー充電器は補充電器として小形軽量のユニットにする。水タンクは減圧タンク兼用として水道水を直接接続できる構造にするなどにより, 共通台床上にほとんどの機器を搭載することができた。図1は試作機の外形図を, 図2はその外観を示すものである。

*日立製作所日立工場

**日立製作所大みか工場



No.	名 称	No.	名 称	No.	名 称	No.	名 称	No.	名 称
1	制御盤	6	オイルフィルタ	11	フエルフイルタ	16	油滑油プライミングポンプ	21	バッテリースイッチ
2	操作板	7	調 速 機	12	エアクーラー	17	ソールプレート		
3	発 電 機	8	過 給 機	13	水 タ ン ク	18	防 振 ゴ ム		
4	接 触 器 箱	9	燃 料 噴 射 ポ ン プ	14	冷 却 水 ポ ン プ	19	共 通 ベ ー ス		
5	始 動 電 動 機	10	エ ア フ ィ ル タ	15	温 水 循 環 ポ ン プ	20	バ ッ テ リ ー		

図1 高圧パッケージディーゼル発電機の外形図 ディーゼルエンジンと発電機を直結した外形図で、制御盤は発電機上に搭載される。

Fig. 1 Outline of High Voltage Package Type Diesel Engine Generator

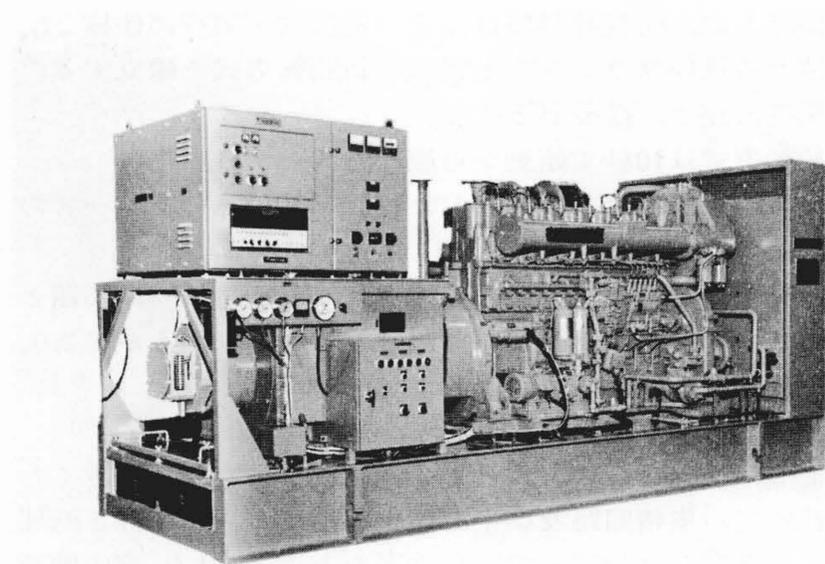


図2 400kVA高圧パッケージ形ディーゼル発電機(試作機) 操作盤側より見た試作機全体の外観を示す。

Fig. 2 400 kVA High Voltage Package Type Diesel Engine Generator

このパッケージ形ディーゼル発電機セットは、高圧発電機をパッケージにまとめただけでなく性能面でも以下に述べる特徴を有している。

(1) 応答速度が速く、電圧波形のひずみが非常に小さい。これは交流励磁機を二重界磁方式として、複巻特性をもたせるとともに自動電圧調整器による制御方式を界磁電流マイナ制御付とし、瞬時の電圧回復応答速度を速める。

制御回路電源として永久磁石発電機を使用し、出力側に波形ひずみの影響を与えないなどのくふうが施してある(特許申請中)。

(2) 永久磁石発電機を使用することの特徴を生かして、選択しゃ断ができるように持続短絡電流を流すとともに、初期励磁不要の回路を構成している。

(3) 制御盤は種々オプションを想定して、ユニットタイプの組合せで構成されている。

(4) 停電検出より10秒間で始動が可能である。この10秒始動は周囲温度が-5℃まで可能である。エンジン始動は自動、手動の切換可能で、すべての操作は機側でできる構成となっ

表1 「日立サンパワー」高圧パッケージDEGシリーズ要目表 シリーズの主要要目と外形寸法を示す

Table 1 HITACHI SUN-POWER High Voltage Diesel Engine Generator Series

項 目	機 種	HDE-14U5	HDE-16K5	HDE-16U6	HDE-20K5	HDE-24K6	HDE-28N5	HDE-32N6	容 量 (kVA)	幅 (mm)	高 さ (mm)	長 さ (mm)	重 量 (kg)
発 電 機	容 量 (kVA)	175	200	200	250	300	350	400	175(50Hz)	1,250	1,900	3,150	4,000
	電 圧 (V)	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	200(50Hz)	1,350	1,820	3,700	6,000
	周波数 (Hz)	50	50	60	50	60	50	60	200(60Hz)	1,250	1,900	3,150	4,000
	極 数	4	4	4	4	4	4	4	250(50Hz)	1,400	"	3,700	6,500
	力 率 (%)	80	80	80	80	80	80	80	300(60Hz)	"	"	"	"
	相 数	3	3	3	3	3	3	3	350(50Hz)	1,500	2,130	4,400	8,000
	励磁方式	ブラシレス式								400(60Hz)	"	"	"
エ ン ジ ン	連続出力(PS)	204	250	244	300	360	420	480					
	回転速度(rpm)	1,500	1,500	1,800	1,500	1,800	1,500	1,800					

注：概略寸法重量表

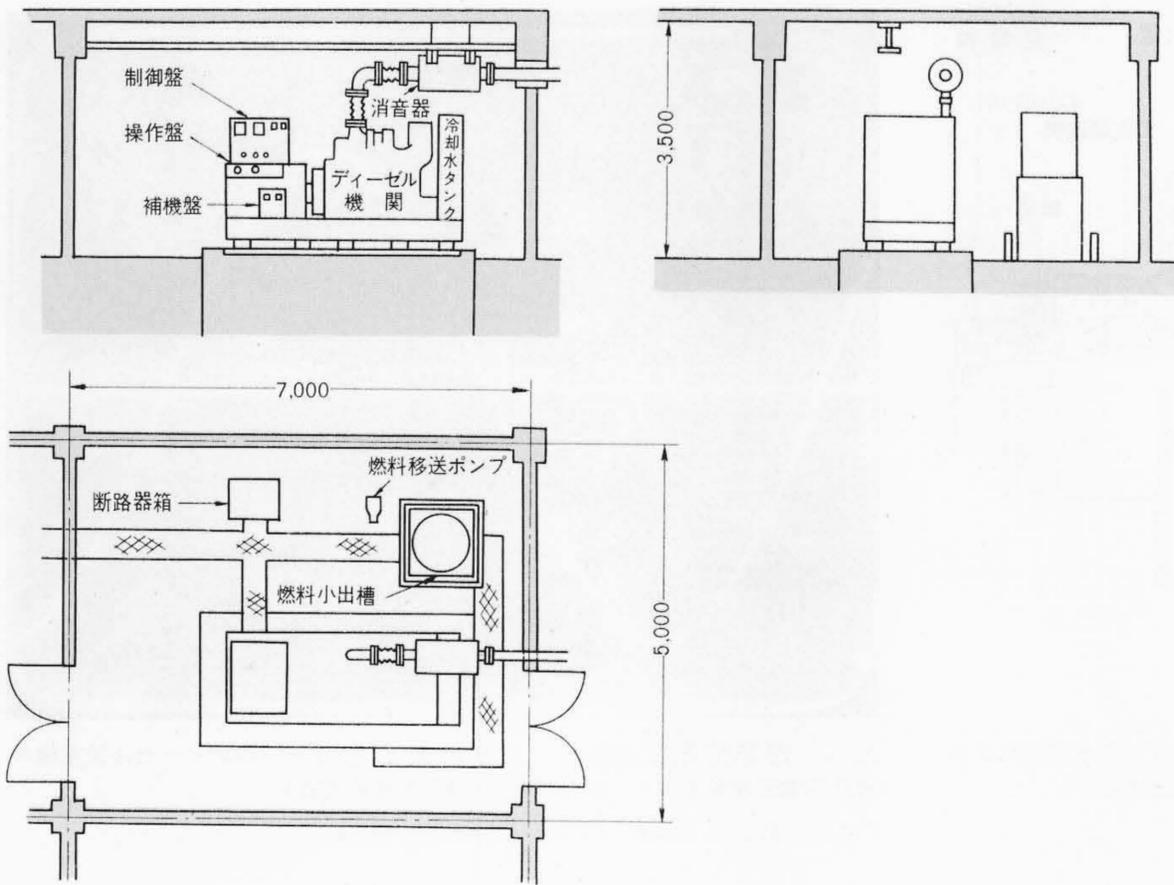


図3 400kVA高圧パッケージ形ディーゼル発電機室の設置例 図4の従来方式の定置式と比較してパッケージ形は、約25%発電機室を小さく計画でき、建設費の節減に大きな効果がある。

Fig. 3 General Arrangement 400 kVA High Voltage Package Type Diesel Engine Generator

ている。

これらの優れた特性を生かして 175kVAから 400kVAまで 7機種シリーズを完成し、これを「日立サンパワー」高圧パッケージDEGシリーズと名付けた。

表1は、「日立サンパワー」高圧パッケージDEGシリーズの仕様を示すものである。本シリーズの特徴を生かして、発電機室を計画した例は図3に示すとおりであるが、従来方式の同容量の定置式発電機のレイアウト例(図4)と比較し、パッケージ形は発電機室を約25%小さく計画でき、建設費の節減に大きな効果がある。また図3、4の比較で明らかのように発電機セット以外の付属機器の設置が大幅に省略されることから、据付工事費も低減できる効果がある。

昭和48年2月10日消防庁告示第1号「自家発電設備の基準」⁽¹⁾

が告示され、消防設備の非常電源の基準が制定されたが、本シリーズはバッテリー、バッテリー充電器及び水タンクを防災用オプションに交換するのみで十分この基準を満足するものである。本シリーズを構成する発電機、制御盤及びエンジンの詳細について以下に述べる。

3 発電機

発電機の構造は図5に示すように主発電機、回転整流装置、交流励磁機及び永久磁石発電機より構成されたブラシレス交流発電機である。

主発電機はパッケージセットのコンパクト化を図るため、小形軽量を目的として、冷却性能の優れた円筒界磁方式を採用した。この界磁方式は凸極界磁方式に比べ過渡リアクタン

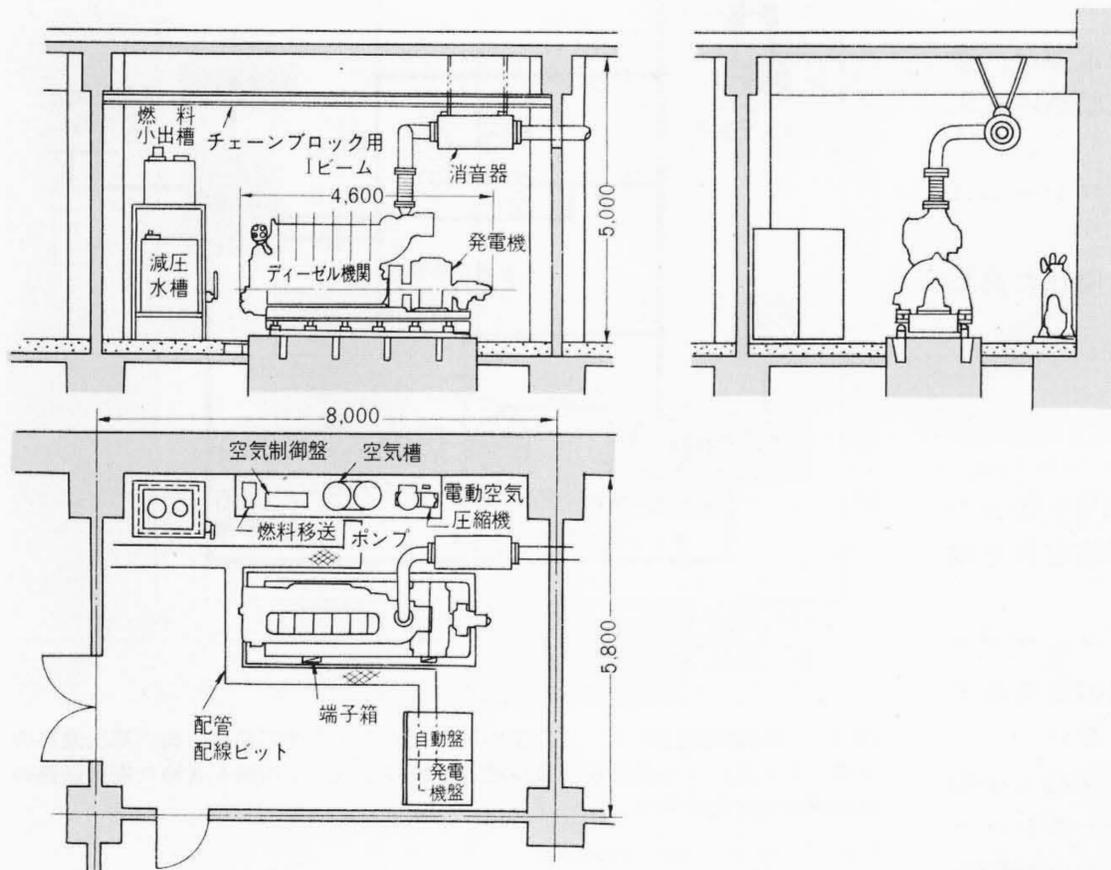


図4 400kVA 定置形ディーゼル発電機室の設置例 従来の定置式の400kVA ディーゼル発電機の配置例を示す。

Fig. 4 General Arrangement 400 kVA Stationary Type Diesel Engine Generator

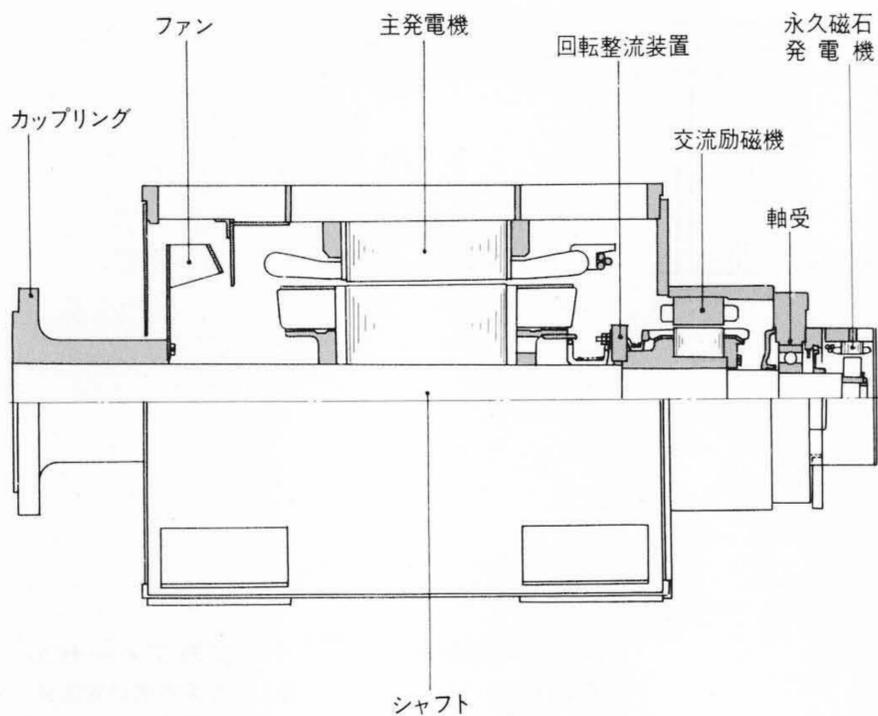


図5 発電機構造図 ブラシレス、円筒界磁及びハイパクト絶縁など種類の新しい技術を取り入れた高圧パッケージ形発電機の構造を示す。

Fig. 5 Construction of A.C. Generator

スが小さいので、負荷の急変に対する瞬時電圧降下が小さい。また電圧の回復を早めるため「二重界磁方式」を採用するとともに、瞬時電圧降下に対する特性の改善を図った。特に回復特性の遅いブラシレス方式においては、特性改善の面で有効であり、大容量誘導電動機の始動を可能にする。

図6に示すように、電圧波形の面でも円筒界磁方式は波形狂い率は無負荷時0.9%、負荷時1.8%と極めて優れている。

回転整流装置は三相全波整流方式で、素子は遠心力、異常電圧に十分耐える信頼性の高いシリコン整流素子を使用した。構造としては、発電機の軸長を詰めるため図5のように主発電機と交流励磁機との間に置いた。これにより素子の接続が極めて簡略化し、1枚の絶縁板にコンパクトにまとめることができた。

交流励磁機は前述したように、瞬時負荷変動に対する回復特性を早める目的で「二重界磁方式」を採用し、一つは永久磁石発電機より、他の一つは変流器(CT)より励磁する複巻特性をもたせている。

交流励磁機の電源として使用される永久磁石発電機は、励磁電源以外にエンジン始動時の速度検出器及び初期励磁電源が使用される。

全体構造としては制御装置を搭載する関係からフレームは角形構造としてある。

なお絶縁としては耐湿、耐薬品及び冷却効果の優れた高信頼度のF種ハイパクト絶縁⁽²⁾を使用している。

4 制御盤

図7は、単線結線図を示すものである。

励磁系は自動電圧調整器(AVR)に変流器(CT)を使った正帰還補償回路を追加して、ブラシレス方式の過渡応答を改善している。

励磁用電源は、従来の出力側からトランスでステップダウンする方式から永久磁石発電機を使った方式に改善してあるため、出力側電圧波形に波形ひずみの影響を与えない。

パッケージ化を実現するためには、制御盤の画期的な小形軽量化が必要である。従来の定置形高圧発電機盤と本シリーズの寸法、重量を比較すると、体積比で30%、重量比で53%

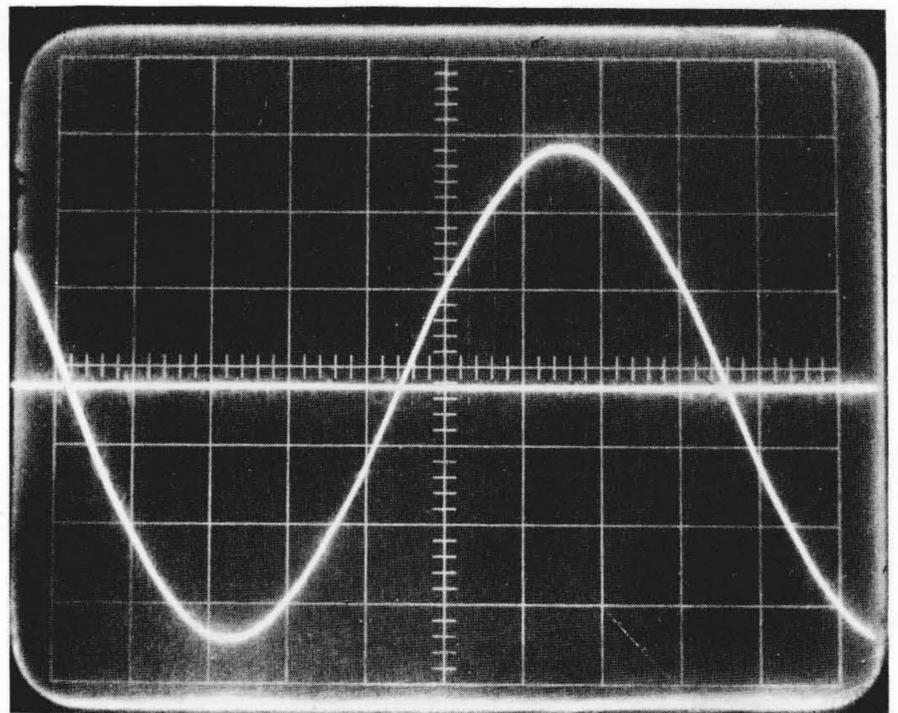


図6 無負荷電圧波形 400kVA高圧パッケージ形ディーゼル発電機の無負荷電圧波形を示す。波形狂い率0.9%と極めて良い。

Fig. 6 Wave Form of No-Load Voltage

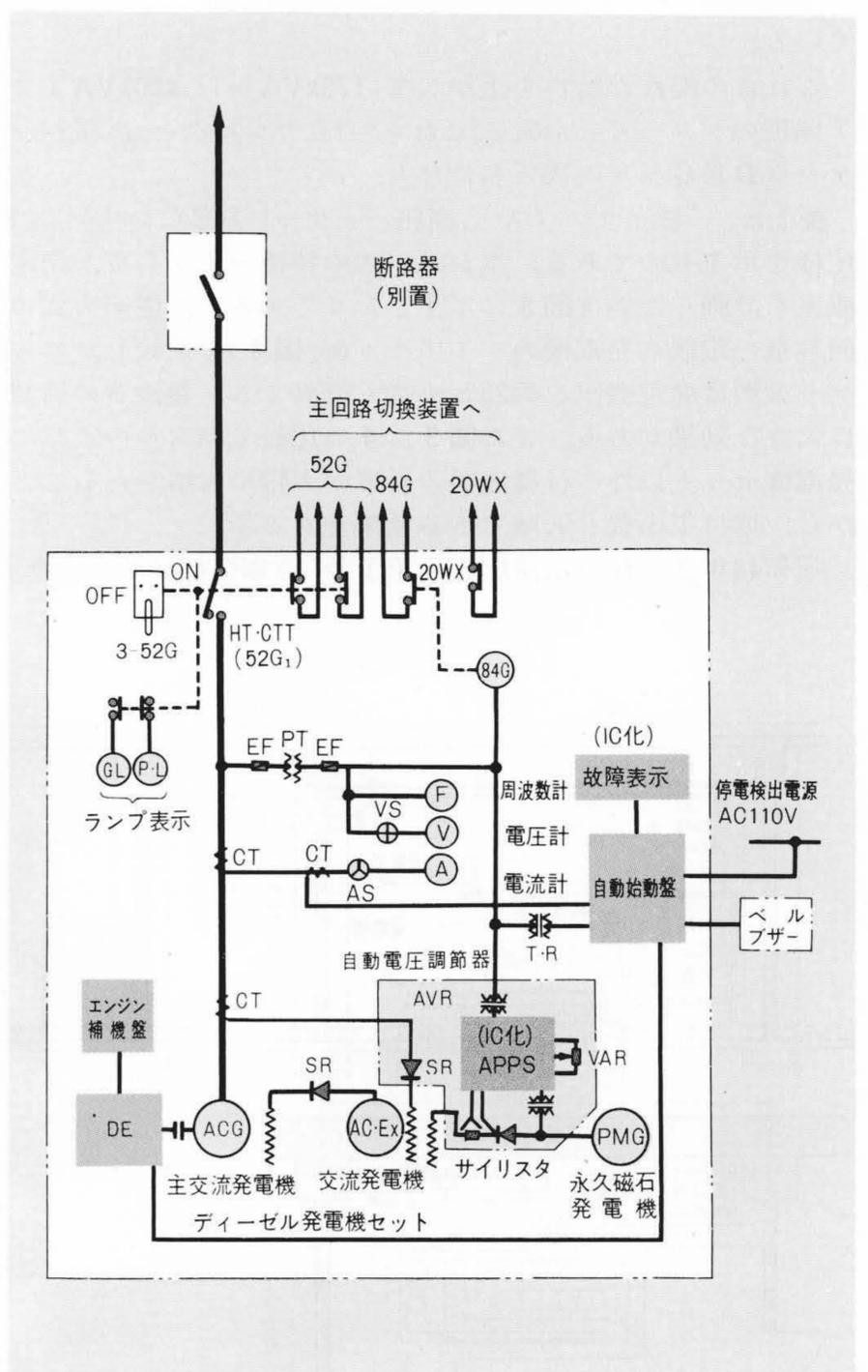


図7 単線結線図 「二重界磁方式」による速応励磁、出力電圧波形の改善、IC化による高信頼化及び種々の特長をもつ主回路を含めた制御回路の総合単線結線図を示す。

Fig. 7 One Line Diagram

表2 制御装置の留意点 下記の施策により、小形軽量化、耐振及び高信頼化を実現した。

Table 2 Notes of Control System

No.	留意点	役割	小形軽量化	ノイズ対策	振動対策	備考
1	ユニット化		○	—	—	計器盤、リレー盤、自動始動保護装置、及びAVRをユニット化した。
2	保護装置をIC化及び半導体化。		○	—	—	—
3	高圧部と低圧部の部屋を完全に仕切った。		○	○	—	実装効率を上げた。
4	リレーコイル、電磁コイル、各種ソレノイドに並列にC-Rサージアブソーバ、又はダイオードを挿入した。		—	○	—	—
5	底に防振ゴムを挿入した。		—	—	○	—
6	フレームを剛構造とした。		—	—	○	—
7	IC回路、半導体回路とその他の強電回路の配線を別ダクトとして分離した。		—	○	—	—

に低減されている。

小形軽量化をはじめノイズ対策、振動対策のため、構造上特に留意した点は表2に示すとおりである。

5 エンジンと装備

パッケージ形にまとめるためには駆動用エンジンとしては、高速で小形軽量であることが望ましい。また始動特性、負荷特性も重要である。本シリーズに採用しているエンジンは、

(1) 10秒始動が可能となるよう、始動指令から6秒以内に定格速度に達すること。

(2) 速度変動率は整定5%以内(瞬時10%、過給機付の場合は負荷しゃ断100%、負荷投入75%とする)。

(3) 始動方式はセルモータ始動とする。

以上の条件を満たしている。

装備上の留意点は、発電機とエンジンを直結した場合のねじり振動に対して十分考慮することであって、始動特性の改善として温水循環によるエンジンプレヒーティング及び潤滑油の間欠プライミング装置を装備した。図8は、セットの配管系統図を示すものである。エンジンプレヒーティングは、周囲温度が-5°Cに低下してもシリンダブロックの温度が20°Cを下らないよう温水ヒータの容量を定め、潤滑油も同時に保温している。潤滑油の間欠プライミングのタイムスケジュールは、4時間ごと10分間のプライミングである。

セット全体の配置としては、運転操作を機側の一方ですべて操作が行なえるように制御盤、自動始動盤及びエンジン操作盤の操作面を一面に集中させてある。

6 総合特性

(1) 自動始動

図9は、自動始動の試験結果を示すものである。

タイムスケジュールは10秒始動としているため、停電確認時限は2.1秒と短い、実測からみて3秒に延ばしても十分停電から送電まで10秒で始動できることが確認できた。

また電圧の確立は、励磁電源として永久磁石発電機を使用していることから、初期励磁の必要がなく、回転速度と電圧確立はほとんど遅れなく追従でき、始動時間の短縮に役立った。

セルモータの釈放については、エンジンの自力加速可能速度以上、セルモータ許容回転速度以下の間で釈放するよう設定している。低速検出は実測値332rpmで動作しており、セルモータの許容回転速度350rpm以下で十分その目的を果たしている。

(2) 誘導電動機の始動特性

図10は、45kW誘導電動機的全電圧始動時の実測値を示すものである。誘導電動機の始動kVAは、発電機定格に対してほぼ100%であるが、瞬時の電圧降下は17.4%で極めて良く、しかも回復は0.48秒と非常に早い。

このように回復特性が良いのは、測定値で見られるとおり負荷電流の急変によって、変流器(CT)より強制的に励磁電流を流し電圧の回復を早めるからで、複巻特性の効果がよ

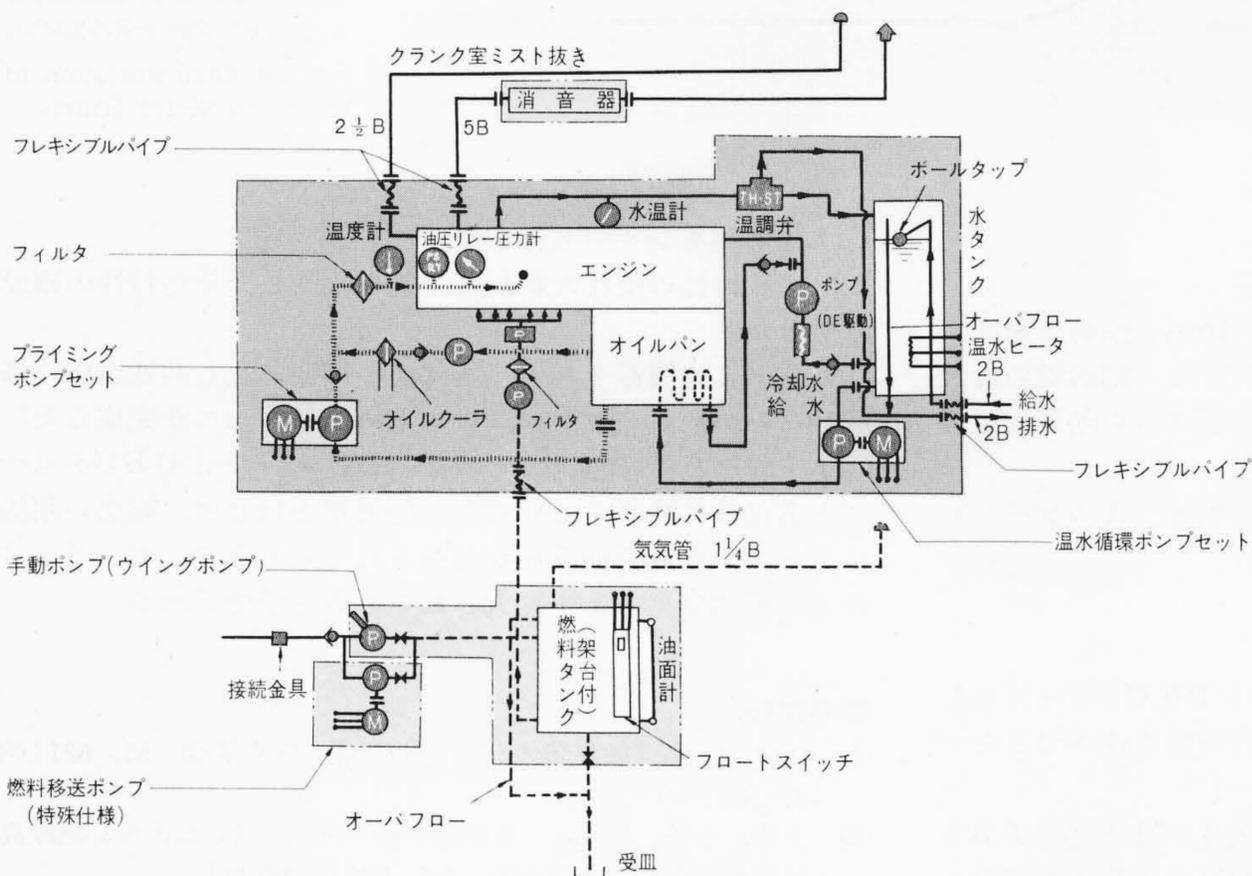


図8 配管系統図 400kVA高圧パッケージ形ディーゼル発電機の総合配管系統図を示す。

Fig. 8 Flow Diagram of 400 kVA High Voltage Package Type Diesel Engine Generator

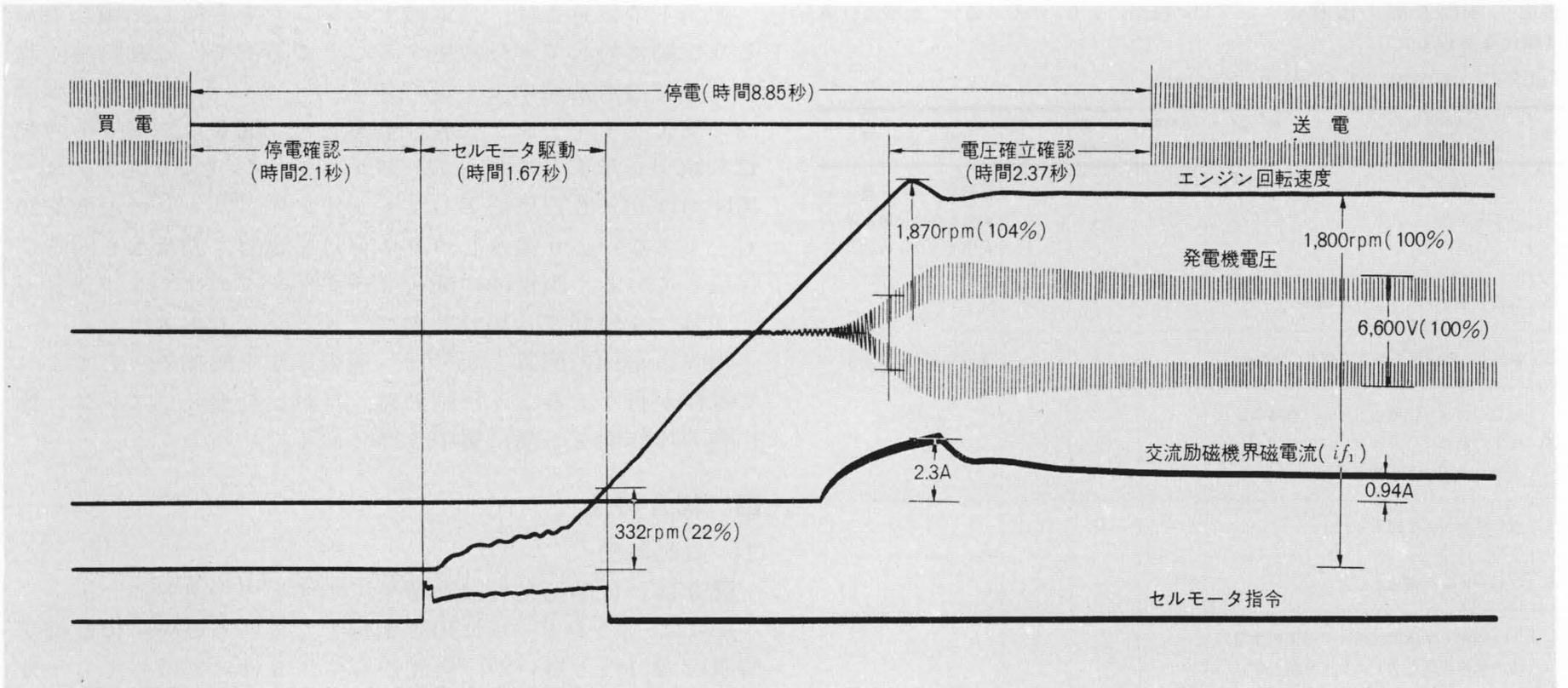


図9 自動始動特性 400kVA高圧パッケージ形ディーゼル発電機の10秒始動測定値である。実測値は、停電から送電まで8.85秒と極めて短い。

Fig. 9 Automatic Start Characteristics

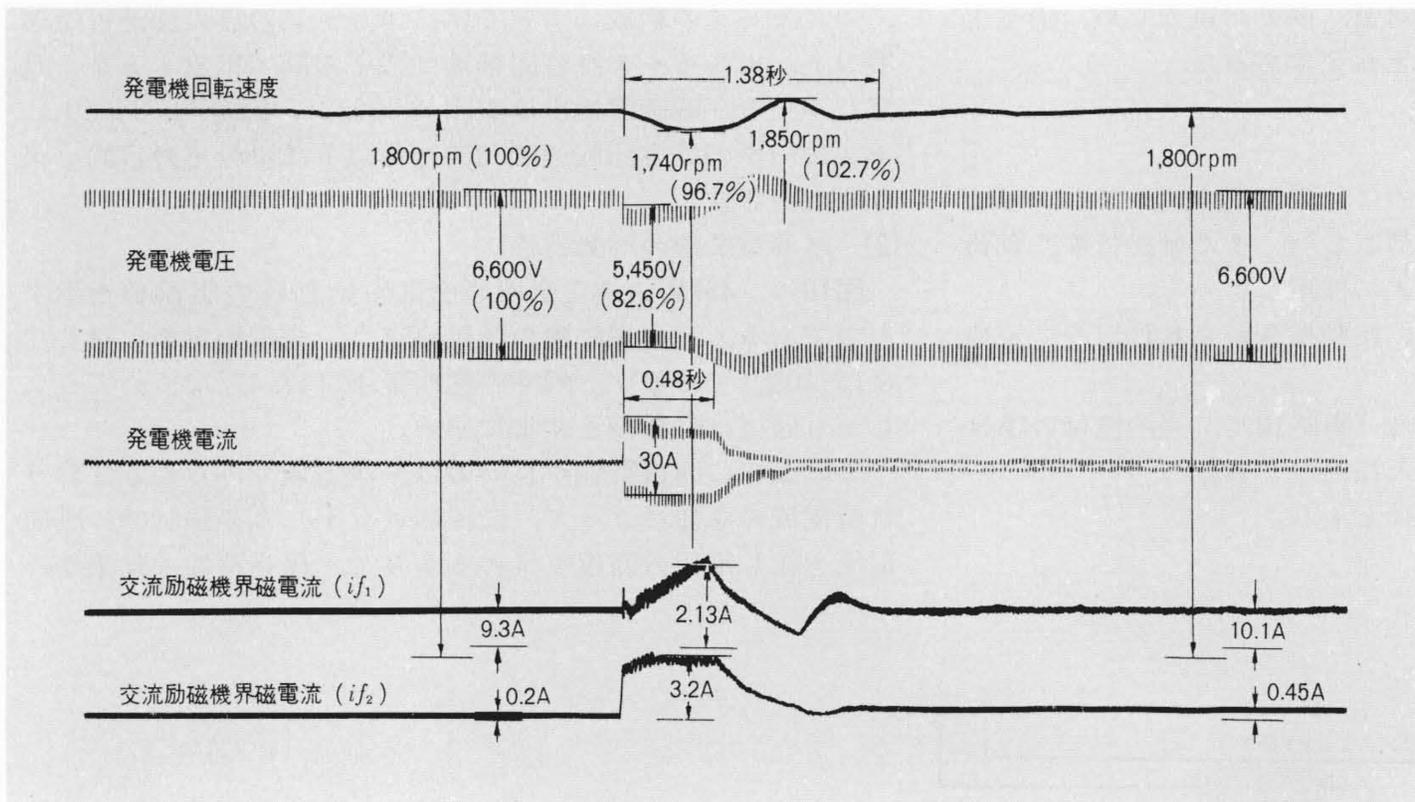


図10 誘導電動機始動時の特性 400kVA高圧パッケージ形ディーゼル発電機において、45kW誘導電動機を全電圧で始動した場合の測定値である。瞬時電圧降下は17.4%と非常に小さく、回復が0.48秒と極めて早い。
Fig. 10 Characteristics of Induction Motor Start

く現われている。

(3) 振動と騒音

セットの振動値は最大振幅(両振幅)100 μ 、振動加速度0.2g(発電機)と極めて良好であった。また、制御盤の最大振幅は50 μ 、振動加速度は0.1gであり防振ゴムの効果は顕著である。

セットの騒音値は110dB(セットより1m, Aスケール)である。

7 結 言

以上、「日立サンパワー」高圧パッケージDEGシリーズとして完成した175~400kVAの発電機設備の特徴を述べてきたがこれを要約すると、

(1) 発電機、回転整流装置、交流励磁機及び励磁電源である永久磁石発電機を一体にまとめたF種絶縁の円筒界磁ブラシ

レス発電機をシリーズ化した。

(2) 過渡特性の優れた新制御方式を確立し、その特性の確認もできた。

(3) すべての機器をユニット化、小形軽量化し共通台床に搭載したいわゆるパッケージにまとめたシリーズが完成した。

本シリーズを「日立サンパワー」高圧パッケージDEGシリーズと名付けて発表しているが、防災用をはじめ、幅広い用途にディーゼル発電機設備が見直されている今日、本シリーズの応用範囲はますます拡大されるものと予想される。

参考文献

(1) 江頭, 三島 「防災用の非常電源設備」日立評論 55, 621(昭48-10)
(2) 立川, 今井, 袴田 「新標準F種ハイパクト エポキシ絶縁高圧誘導電動機」日立評論 52, 586(昭45-11)