

低速ディーゼル発電機

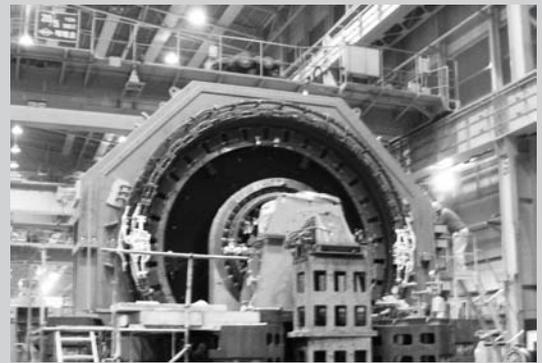
🔊 ディーゼル発電機, 回転電機, 同期発電機

* 熊谷 敬 Takashi Kumagai

概要

当社は、1985年以来低速ディーゼル発電機の納入実績を積み上げてきた。直近では2007年末に、短納期でキプロス向け21,920kVA 3台を受注し、製作・出荷・現地引き渡しを終了し、既に営業運転に入っている。

低速ディーゼル発電設備用の発電機は、世界でも数社しか製作していない特長的な機種である。一方、昨今の地球温暖化やエンジンの排気ガスなど環境問題から、今後の需要動向はつかみにくいが、燃料コストや設備の面でのメリットのある設備である。



低速ディーゼル発電機

1. ま え が き

低速ディーゼル発電機の「低速」について明確な定義は無いが、主に船舶の動力用のエンジンを発電用に転用した100~200min⁻¹前後より回転速度の遅い発電機を指し、これより速いディーゼル発電機は中速又は高速に分類される。

当社では、1985年にジャマイカ電力庁に25,000kVA-100min⁻¹を2台納入して以来、フィリピン電力公社向けに世界最大級の59MVAのディーゼル発電機を製作するなどの実績を積んできた。本稿では、低速ディーゼル発電機の特長や仕様、現地での据え付け状況などについて紹介する。

2. 低速ディーゼル発電機の納入実績

第1表に当社の低速ディーゼル発電機の納入実績を示す。エンジンの形式によって低速ディーゼ

第1表 低速ディーゼル発電機の納入実績

5000kVA以上、1980年以降の低速ディーゼル発電機納入実績を示す。

出力 (kVA)	極数 (P)	電圧 (V)	回転速度 (min ⁻¹)	台	製作年
25,000	60	13,800	100	2	1984
34,240	72	11,000	100	1	1991
34,240	72	11,000	100	1	1991
59,016	70	13,800	103	1	1993
59,016	70	13,800	103	1	1993
44,160	58	13,800	103	1	1993
19,622	36	11,000	167	2	1998
19,622	36	11,000	167	2	1998
51,953	70	13,800	103	1	1998
51,953	70	13,800	103	1	1998
19,622	36	11,000	167	4	1999
22,358	40	11,000	180	1	2006
21,920	34	11,000	176.5	3	2009

ル発電機の中でも、更に40極以下とそれを超える発電機に分けられ、構造も異なっている。

*回転機システム工場



3. 特性上の特長

エンジンは、各気筒をある順序に爆発させて得られる往復運動を、クランクシャフトを介して回転運動に変換しており、回転運動には脈動分が含まれている。

一般に各気筒の爆発は、気筒ごとにアンバランスがあるため、気筒数C、回転速度 $N \text{ min}^{-1}$ の2サイクルエンジンの回転運動には、脈動数 F_v の脈動分が含まれる。

$$F_v = v \times \frac{N}{60} \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$v = 1, 2, \dots, C$

v : 整数

一方、同期発電機が電力系統又は他の同期発電機と並列運転する時、発電機には慣性モーメント $GD^2 \text{ kgm}^2$ と同期化力 $P_r \text{ kW/rad}$ (電気角)に起因した固有振動数 $F_N \text{ Hz}$ を考慮する必要がある。大きな系統に接続された発電機では、

$$F_N = \frac{240}{N} \sqrt{\frac{P_r \times f}{GD^2}} \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

f : 発電機の周波数 (Hz)

で示される。

上記は周波数変動ゼロの理想的な場合であり、実際には周波数変動を盛り込んだ解析が行われている。

固有振動数 F_N が脈動数 F_v に近づくと共振現象が起こり、これによって発電機の内部相差角の動揺が生じ、発電電力の動揺が起こることがある。低速ディーゼルは、高速ディーゼルに比べ F_N が F_v に近づきやすい特徴があるので、エンジンとの組み合わせには十分な配慮が必要である。

4. 構造

4.1 固定子

発電機固定子フレームは、鋼板溶接構造で、3枚の側板、外周の外板及び固定子鉄心を保持するキー柱で構成されている。フレームは取り扱い及び組み立て工程上から2分割としている。固定子コイルはガラス・マイカ主体のF種絶縁ヒートプレスコイルであり、耐湿度特性に優れ、長年の使用に耐え得るものである。良質なケイ素鋼板を使用して打ち抜いた鉄心を積層し、固定子コイルをは

め込んでいる。

また、鉄心の両端ダクトは、電磁力及びディーゼルエンジンの発生する振動に対して耐え、脱落しないよう取り付けに十分考慮している。鉄心とフレームのトルク方向の固定は台形のキーを使用し、短絡トルクにも十分耐える構造としている。軸方向の固定は、両端の鉄心締金を通じボルトで締め付け電磁力や振動で鉄心に緩みが生じない構造としている。また、ディーゼルエンジンの発生する軸方向加振周波数並びに電源周波数の倍数と共振しないよう、固定子フレーム剛性を選定している。

4.2 回転子

発電機回転子軸は鍛造品を使用し、スパイダは鋳鋼製となっている。スパイダの外周には磁極取り付け用のダブテール溝が加工されており、コッタを使用して磁極に取り付けている。スパイダは、取り扱い及び組み立て工程上から2分割としている。界磁コイルは裸平角銅帯を使用し、ガラス主体のF種絶縁を施し磁極にはめ込まれている。コイルの一部は冷却効率を上げるフィン兼用となっている。界磁コイルの極間接続部は可撓性を持った接続片を使用している。磁極の表面近くにはダンパ巻線が埋め込まれており、磁極の両端部にはダンパリングがロウ接続されている。ダンパリングの接続部も可撓性をもった接続片を使用している。

4.3 軸受

発電機軸受は、回転子の前後にペデスタル軸受台を持つ両軸受方式を採用している。軸受潤滑及び冷却は、ディーゼルエンジンと同一系統の潤滑油を使用する強制給油方式である。断油・電源ストップなどのバックアップ用として、オイルディスクを装備している。軸受保護のため、発電機の起動時に運転するジャッキアップポンプを設けている。軸受メタルは、台金にホワイトメタルを鋳込んだ方式を採用している。軸受台は球面台座を採用し、軸のたわみに追従できる構造となっている。反駆動側の軸受ペデスタルの脚座及び配管類には、軸電流防止用の絶縁ボルト・絶縁ライナなどを装備している。軸電流は軸接地ブラシを介して接地している。

4.4 端子

発電機出力端子は、出力側・中性点側共に発電

機サイドの端子箱内に配置されている。発電機の計装用端子は1か所の集中端子箱に集められ、断路形端子によりケーブルを外すことなく計測素子及びケーブルの点検が行えるよう考慮した。

4.5 励磁方式

励磁方式は、ブラシレス励磁方式を採用し、交流励磁機（AC EXCITER）、回転整流器及び永久磁石式発電機（PMG）によって構成されている。交流励磁機は、回転電機子形三相同期発電機で界磁用固定子と電機子用回転子によって構成される。励磁機は、回転整流器・永久磁石式発電機を含め、発電機本体の反駆動側軸受の内側（本機側）に設置されている。

5. キプロス納入発電機の設計・製作

当社は、2007年12月にキプロス向け低速ディーゼル発電機3台を受注した。キプロスは地中海にある島国で観光地でもあり、夏場の電力不足解消のため、お客様は本格的な夏を迎える前に発電所を完成させたいとの意向があった。

通常の当工場製作出荷納期は約13か月であるが、現地引き渡しは2009年6月1日と決まっており、工場出荷後、海上輸送・現地据え付け・試験まで含めて3台分を終了させ、この日に引き渡しをするという非常にタイトな状況であった。

主要な長納期品であるシャフトとスパイダの材料手配を早急に行う必要があったが、迅速な情報伝達が奏功して、ほぼ当初予定通り調達できた。

発電機の定格事項を以下に示す。

- (1) 定格
 - (a) 形式：TICB-AF（横軸三相同期発電機）（熱交換器付き）
 - (b) 出力：21,920kVA
 - (c) 極数：34極
 - (d) 電圧：11,000V
 - (e) 電流：1151A
 - (f) 力率：80%
 - (g) 周波数：50Hz
 - (h) 回転速度：176.5min⁻¹
 - (i) 励磁方式：PMG付きブラシレス励磁方式
 - (j) 台数：3台
 - (k) 原動機：ディーゼルエンジン

（Mitsui MAN B&W製）

- (l) 形式：12K50MC-S Mark7
- (m) 出力：18,300kW
- (n) 回転速度：176.5min⁻¹

5.1 構造

第1図に外形図を、第2図に構造断面図を示す。

5.2 納期対応

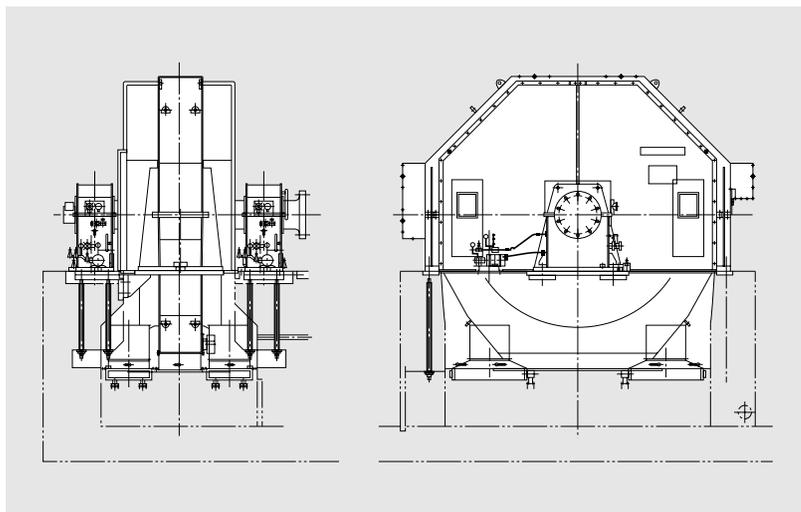
納入実績に示した通り、類似機としてはバハマ電力庁に2007年に納入、引き渡しを行った22,358kVAの60Hz機であったが、今回は50Hz機であり、回転速度176.5min⁻¹、34極ということで回転子の設計を検討する必要があった。

設計上は、スパイダの設計をバハマと共通にするように設計を選択して、設計検討に多大な時間を要するスパイダの設計を簡素化し、短納期に対応することとした。

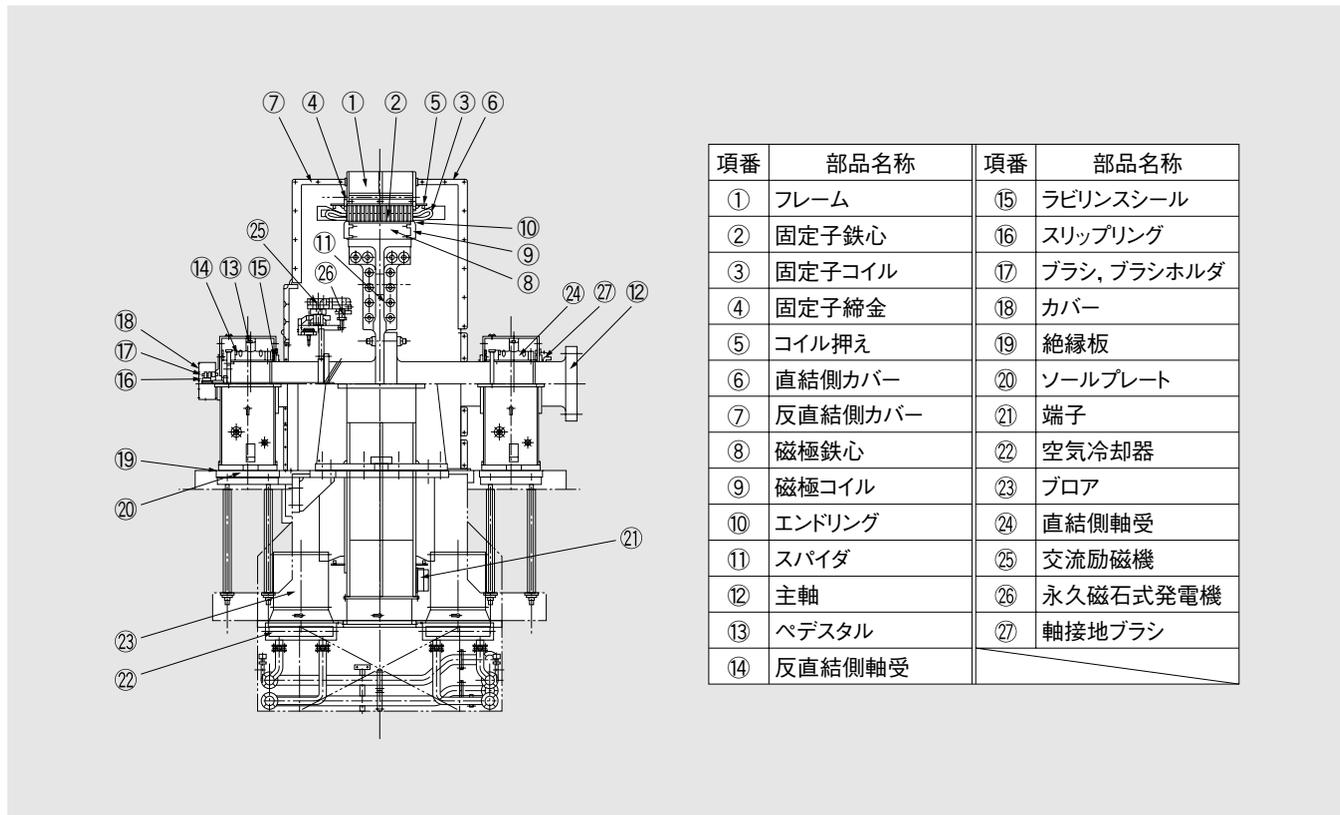
構造的にも、固定子回りなどを可能な限りバハマと同等とすることで、設計時間を短縮し、製作を開始できるまでのリードタイムを削減し、納期確保に寄与するよう配慮した。

社内的には、3台製作ということもあり、1台目を製作した後、2台目からは製造各掛の1台目での改善項目を次第に盛り込み、製造工程を全体的に短縮した。

しかし、人手に頼らざるを得ない巻線工程（特に巻線の鉄心へのはめ込み、つなぎ作業）では、他の2極タービン発電機やモータの製造工程との兼ね合いで2直勤務を度々行い、遅れた分を取り戻



第1図 外形図
低速ディーゼル発電機の外形図を示す。



第2図 構造断面図
低速ディーゼル発電機の構造断面図を示す。

した。

また、隔週でプロジェクト会議を開催し、設計課・資材課・生産管理課、製造部生産技術課の代表をメンバーとして製作工程を監視し、問題点を出し合って課題を確認した。

設計スタートと同時に、製造や現地作業などで考えられる意見収集を行い、構造見直しや改善案の検討を行った。その結果、一部の案を実際に盛り込んで納期短縮に役立てた（例：固定子の2つ割合わせ目の現地接続部にキャップ絶縁を使用すること）。

1台目の立ち会い試験の約2週間前に、エンジンの立ち会い試験のため来日したプラント担当者が、全体工程の中でもネックになっている発電機の製作の進捗よくを見るため、急ぎょ太田工場に来られ、工程改善案のコメントをいただいた。

この一件とは関係が無いが、結局、当初指示のあった3台目の出荷日は、更に1週間以上出荷を短縮するよう依頼を受け、対応した。

5.3 現地工程

据え付けに先立ち、現地組み立てにおいて、一部の構造を見直して、現地での組み立て手順の関

係でシリーズになっていた部分をパラで行えるように改善し、現地据え付け期間を短縮した。これは、受注直後からプラントをまとめているBWSC (Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S) からの改善案の提案の中で出された案であった。具体的には、エアクーラ用配管など、床下部分に据え付ける分を先に据え付けておき、発電機が現地で荷卸し後、すぐ本体の据え付け作業ができるという案である。これまでは、発電機固定子の位置を正にしてクーラの位置調整を行う構造のため、固定子が据え付けられるまで配管作業ができなかった。一部の構造を見直し、床下部分の作業を単独でできるようにしたことで、配管作業を先に進められるようになり、シリーズになっていた作業をパラ化できた。

2台目からの現地据え付けと組み立ては、2人の作業指導員 (SV) が交代で勤務し、単体試験も遅れなく終了した。

3台の現地据え付け、エンジンとの直結、組み立て終了後、各種試験を実施した。最後に3台運転でのリライアビリティラン (連続運転試験) が2週間あり、これを考慮して据え付け・試験を実施する

必要があった。リライアビリティランは、3台で連続運転を行い、この期間中に機器の不具合が生じて機関の停止に至ると、一からやり直しを命じられるものである。万一、試験中に停止することも想定して日程を前倒したが、これも無事終了し、お客様への引き渡しとなった。

6. む す び

低速ディーゼル発電機の受注は、立地条件に恵まれた海外メーカーとの競合となることがほとんどであり、当社の優位性を保つため、短納期での製作が重要なポイントになる。今回、厳しいスケジュールでの製作により得た知見を今後にかし、

ニーズにマッチした高品質の製品を製作していく所存である。

- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



熊谷 敬 Takashi Kumagai

ディーゼル発電機的设计に従事

