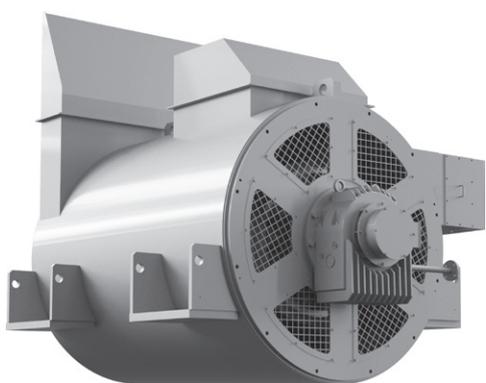


# ガスエンジン用発電機のモデルチェンジ

越塚則幸 Noriyuki Koshizuka  
村松大輔 Daisuke Muramatsu  
長沼克典 Katsunori Naganuma

キーワード 高効率, 軽量化, 解析技術

## 概要



ガスエンジン用発電機

市場の大きい中速エンジン発電設備分野で、ガスエンジン発電設備は、現在も継続して安定した需要がある。当社はこの分野の販売拡大を図るとともに、お客様の多様な要求に対応するため、エンジン用発電機のモデルチェンジを実施した。

従来機に対し、発電機効率の向上や軽量化を設計の目標とし、各種の解析技術を用いて、最適設計・強度検討・性能検討を行った。さらに10MVAクラスの試作機を製作し、検証試験を実施した。解析結果との比較、また温度上昇試験や損失測定、絶縁試験などの通常試験を実施し、設計解析の検証と製品性能を確認した。その結果、従来機（試作機容量ベース）に対し、質量では10%以上の軽量化、効率では0.2%（100%負荷、定格力率時）以上の向上を実現した。

## 1 まえがき

中速エンジン発電設備分野で、ガスエンジン発電設備は高い燃焼効率と低CO<sub>2</sub>排出の特長から、安定した需要がある。これまで当社も多くのエンジン用発電機を製作してきたが、お客様の高度かつ多様な要求への対応、さらには海外市場への拡大を目指し、この度エンジン用発電機をモデルチェンジした。

従来機に対し、性能（効率）の向上と軽量化を実現するため、最適設計・熱流体解析・機械強度解析を行い、モデルチェンジ機の設計に反映させた。本稿では、各種解析技術を用いた手法と試作機による設計比較検証の結果を紹介する。

## 2 改良内容

### 2.1 高効率化

高効率化を図るため、全損失の中で大きな割合を占める銅損及び機械損を低減させることに重点を置いて改良した。

銅損低減対策として、電機子巻線の巻き方を再検討し、コイル本数を減らして断面積を増やすことで、電機子銅損を低減するように設計した。また機械損の低減対策として、冷却風量を低減させることが重要となるが、冷却の面からは不利となる。そこで熱流体解析によって確認し、巻線温度上昇最適風量設計を行い、冷却羽根のサイズを小さくすることで風損の低減を検討した。

### 2.2 軽量化

発電機の質量を低減させることは材料使用量の低

減につながり、環境負荷低減や販売競争力を高めることができる。発電機の特性上、発電機に要求される性能によって電線量や鉄心の使用量が決まってしまうことから、発電機全体を構成する回転子・固定子の構造と、構成する部品単位まで掘り下げて検討した。

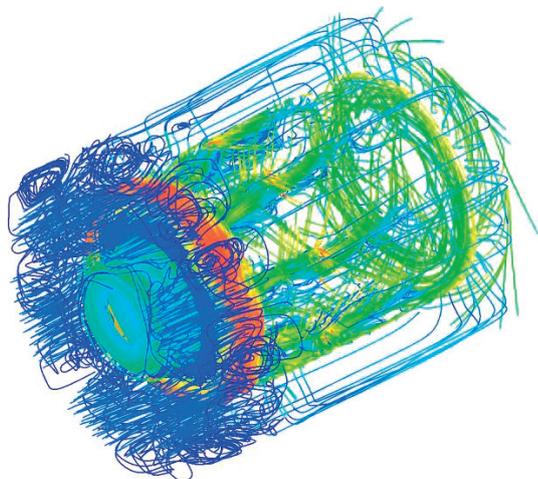
検討を進めるにあたりVE（Value Engineering）手法を採用し、既存の部品に対して様々な角度からアプローチすることで、必要となる機能を満足させつつ改善点を洗い出した。これを設計に反映することで、部品・構造の合理化を図り、質量の低減を実現した。

### 3 解析による設計検討

#### 3.1 流体解析と熱解析

発電機の機械損の大部分は風損である。風損を減らすためには、風量を減らすことが最も効果的であり、巻線温度を考慮しつつ、風量を減らすことを目的として解析し、その結果を冷却羽根の設計に反映した。

解析ソフトにはANSYSを使用し、モデルチェンジ前後の空気の流れや温度を可視化し、問題点の把握とその対策を検討した。その結果、巻線温度の条件を満たしつつ、風量を減らすことで、機械損40%減を実現した。第1図に流体解析結果を、第2図に熱解析結果を示す。



第1図 流体解析結果

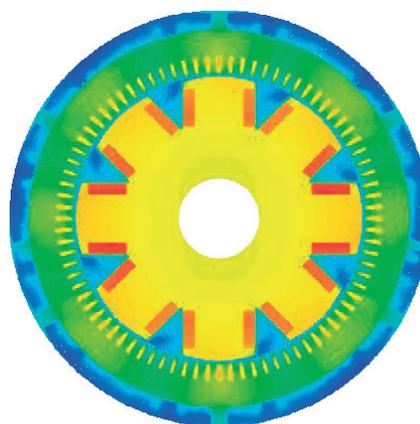
発電機内部の流体解析結果を示す。回転子を回転させた状態を再現し、電機子内部の流れを可視化した。

#### 3.2 強度解析と固有値解析

板厚や材質の見直しなど大幅に設計を変更した場合、信頼性を十分に確認する必要がある。そのために解析ソフトを用いて評価した。

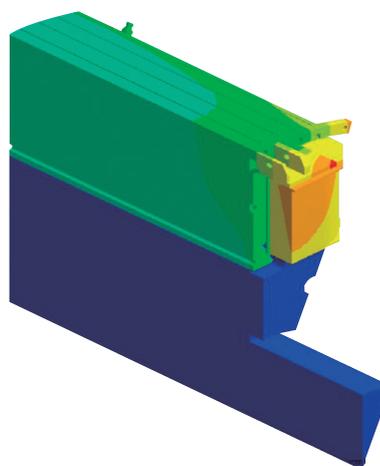
回転子は定格回転数に比べ、回転速度が速くなるオーバースピードの状態でも十分な強度を有していることを確認した。また、発電機の運転条件は、DSS（Daily Start and Stop）運転方式となる。回転子には繰り返し荷重が継続的に加わる。そこで疲労強度についても解析・評価を行い、問題のないことを確認した。第3図に回転子磁極強度解析結果を、第4図に冷却ハネ強度解析結果を示す。

さらに固定子は、構成する部品の固有振動数が原



第2図 熱解析結果

発電機内部の温度上昇分布を示す。巻線温度上昇を解析し、冷却羽根の設計に反映した。



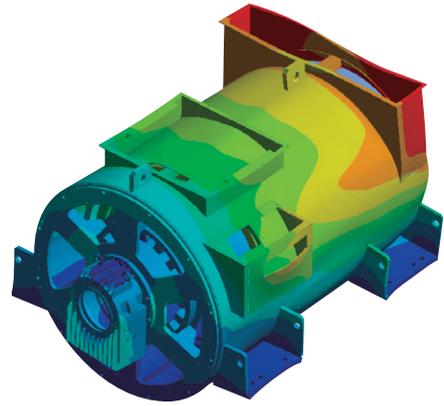
第3図 回転子磁極強度解析結果

回転子磁極の1/16解析モデルでの解析結果を示す。オーバースピードに対して強度が問題ないことを確認した。



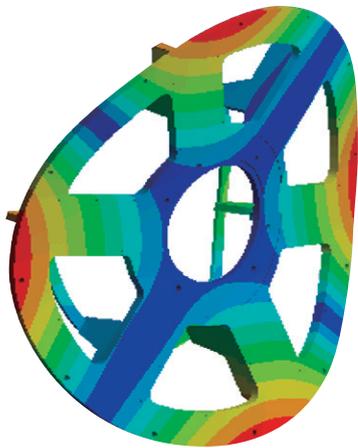
第4図 冷却ハネ強度解析結果

冷却ハネの強度解析結果を示す。オーバスピードに対して強度が問題ないことを確認した。



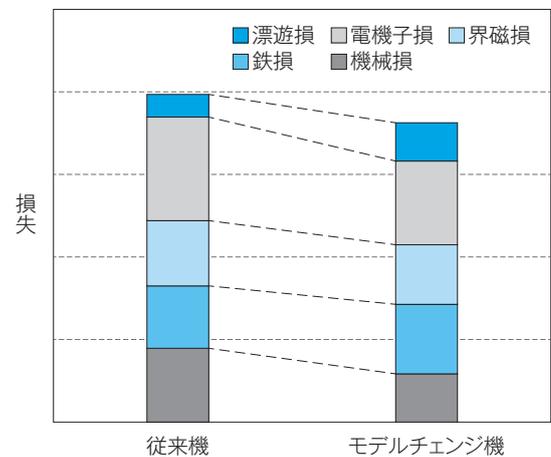
第6図 固定子全体の固有値解析結果

発電機固定子全体での固有値解析結果を示す。固有振動数が加振周波数と離れており、問題ないことを確認した。



第5図 ブラケット固有値解析結果

ブラケット単体の固有値解析結果を示す。固有振動数が加振周波数と離れており、問題ないことを確認した。



第7図 損失比較

従来機との損失比較を示す。従来機と比較し、0.2%以上の効率向上を達成した。

動機となるエンジンと発電機自身が発生する振動の加振周波数と一致することで共振が起り、異常振動の発生や破損につながる。そのため、固有振動数が加振周波数に比べて十分離れていることを解析・評価し、問題のないことを確認した。第5図にブラケット固有値解析結果を、第6図に固定子全体の固有値解析結果を示す。これらの検討の結果、品質を十分確保しつつ、従来機と同体格の発電機で、全体質量を10%以上低減させることができた。

に対する検証試験及び性能試験を実施した。

巻線温度は温度上昇試験を行い、全負荷推定で、固定子・界磁巻線ともに規格に定める温度上昇限度以下になることを確認した。

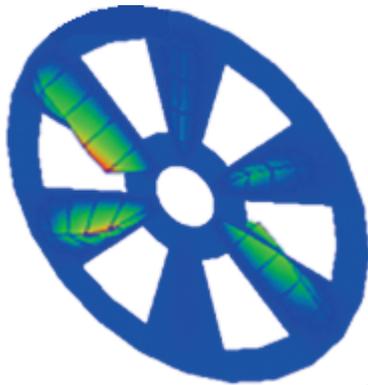
また効率では、設計目標である0.2%以上の効率向上を達成したことを確認した。第7図に従来機との損失比較を示す。

固有振動数の検証は、ハンマリング試験を行い、実際の固有振動数を測定した。解析で得た結果と実測値を比較し、解析精度に問題のないことを確認した。第8図にハンマリング試験による振動モードの測定結果を、第9図に固有振動数の測定結果を示す。

## 4 試作機による検証

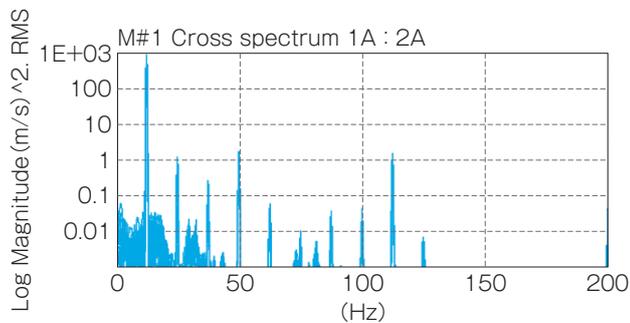
10MVAクラスの試作機を製作し、解析検討事項

View : 3D View (Complex)  
BLK : Result 01  
Freq : 12.5Hz



### 第 8 図 ハンマリング試験による振動モードの測定結果

ブラケットのハンマリング試験での振動モードの測定結果を示す。



### 第 9 図 ハンマリング試験による固有振動数の測定結果

ブラケットのハンマリング試験での固有振動数の測定結果を示す。解析結果と比較し、解析精度に問題ないことを確認した。

## 5 むすび

各種解析及び試作機による検証試験を終えて、高効率・軽量化へのモデルチェンジを実現した。今後も常に新技術や最新の解析技術を取り入れ、性能・信頼性の高い製品を提供していくよう努力を続ける所存である。

・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》



**越塚 則幸**  
Noriyuki Koshizuka  
発電技術部  
発電設備のエンジニアリング業務に従事



**村松 大輔**  
Daisuke Muramatsu  
回転機システム工場  
発電機の設計に従事



**長沼 克典**  
Katsunori Naganuma  
回転機システム工場  
発電機の設計に従事