

【日本機械工業連合会会長賞】

水素間接冷却式超高効率大容量タービン発電機

株式会社 東芝

東京都港区

1. 機器の概要

火力発電所や原子力発電所等のタービン発電機では、発電機内で発生する熱を冷却するため水素ガスや水を冷媒として用いる。一般に機内の水素ガスで固定子コイルを冷却する「水素間接冷却」は、冷却水処理用の配管や付帯設備が不要で構造が簡易である。このため、設備の簡素化、工期短縮及びメンテナンス性向上が図れ、またコイル導体に通水孔が不要であるため銅占積率を向上して高効率を実現できる。しかし「水冷却」に比べ冷却性能が低く、大容量化が困難であった。

本開発では、固定子コイル絶縁の高熱伝導化、通風冷却構造の改善及び発生損失の低減等により水素間接冷却機の大容量化を進め、世界最大容量となる 670MVA 水素間接冷却式タービン発電機を完成した。工場試験の結果、効率は 99.1%以上と世界最高レベルを記録。水冷却を用いた同容量の発電機に比べて 0.2 ポイントの大幅な効率向上を達成し、環境及び省エネルギーに大きく貢献している。



項目	仕様
容量	670MVA
電圧	19kV
力率	0.9
回転数	3600/min
周波数	60Hz
水素圧力	0.52MPa・g

図 1 670MVA 水素間接冷却式タービン発電機

2. 機器の技術的特徴および効果

2.1 技術的特徴

水素間接冷却式発電機は水直接冷却式発電機と比較して冷却性能が劣るため、冷却強化が最重要課題となる。課題解決のため、以下の技術を開発・適用した。

(1) 高熱伝導絶縁

ガラス繊維やマイカ紙と、有機樹脂とからなる固定子コイル絶縁層において、有機樹脂に比較して熱伝導率の高い無機物を有機樹脂の一部と置き換えることにより、従来絶縁層に比べて約2倍の熱伝導率を達成した。絶縁層中に無機物を導入することによる絶縁特性低下が懸念されたが、無機物の材質、形状などを最適化して従来絶縁と同等の絶縁性能を確保した。

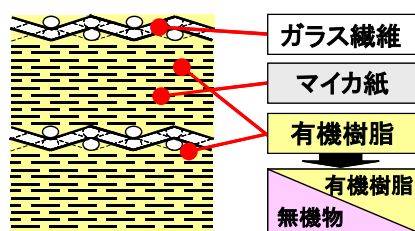


図2 コイル絶縁層断面模式図

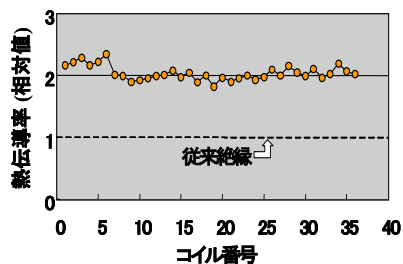


図3 コイル絶縁層の熱伝導率

(2) 水素ガス流量配分の最適化

三次元熱流体（CFD）解析により固定子ダクトピッチ及び各セクションのダクト配分を最適配置し、コイル温度分布を平準化、通風損失を20%削減した。これらの技術開発により水冷却機並みの高出力密度と高効率を達成することができた。

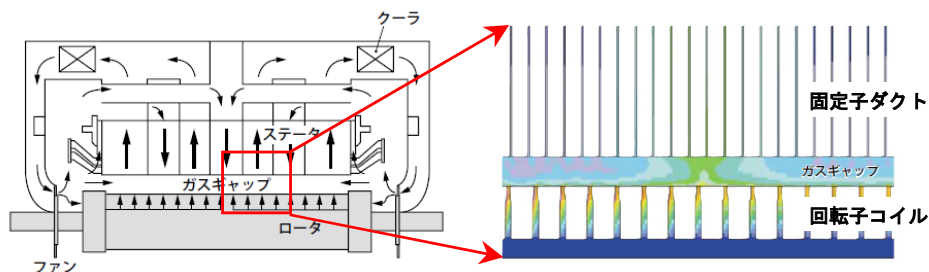


図4 三次元熱流体（CFD）解析による水素ガス流量配分の最適化

(3) 界磁銅損の低減

従来、大容量タービン発電機回転子コイルの冷却にはダイヤゴナル冷却方式が適用されていたが、水素ガス圧力の増加などで冷却性能を向上させることにより、銅占積率の高いラジアル冷却方式の採用を可能とし、大幅に界磁銅損を低減した。

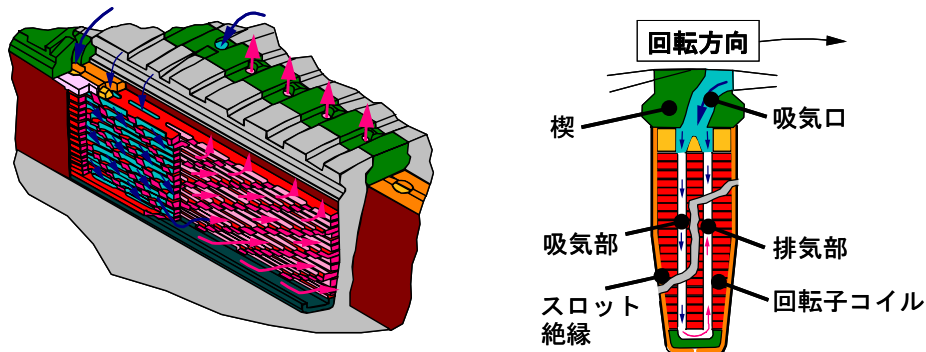


図5 ダイヤゴナル冷却方式

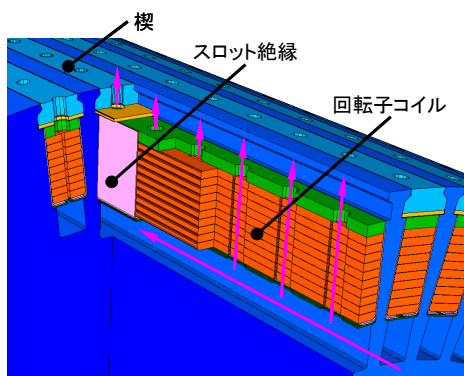


図6 ラジアル冷却方式

2.2 効果

(1) 省エネ性（効率性）

2009年2月に出荷した670MVAタービン発電機の工場試験では特性試験、損失測定、温度上昇試験を実施し、各部損失を測定して求めた定格運転時の効率は99.1%に達し、従来の水直接冷却機の効率98.9%と比較して0.2ポイントの効率向上を達成した。試算によると火力発電所の燃料として使用される石炭は年間4千7百トン削減されることになる。発電機効率、石炭使用量、CO₂排出量についての従来機との対比を表1に示す。

表 1 対比表

	従来機	開発機	比較
発電機効率(%)	98.9	99.1	0.2%向上
石炭使用量(千ton/年)	2,312.0	2,307.3	4.7千トン削減
CO2排出量(千ton/年)	6,728	6,714	14千トン削減

(1次発電機 670MVA、2次発電機 370MVA からなる 900MW 石炭火力発電所での試算)

(2) 安全性・メンテナンス性・環境への影響など

従来の発電機では固定子コイルを水で直接冷却する為、その冷却水を処理する固定子冷却水処理装置が必要である。固定子冷却水処理装置には、ポンプ、電動機、イオン交換樹脂塔、計器等が設置されており、定期的にメンテナンスする事で、発電機の安定運転を実現している。固定子コイルの冷却を機内の水素ガスによる間接冷却とする事により、固定子冷却水処理装置や関連する配管、制御盤、計器盤等は不要となり、メンテナンスにかかる労力を低減する事が可能である。

3. 用途

環境問題への関心の高まりにより、発電プラントの市場動向としては、発電効率の高いコンバインドサイクル発電所（ガスタービンの排気から熱を回収し蒸気を発生させ蒸気タービンを駆動させる複合発電方式であり、熱効率が高いという特徴がある）の需要増大が見込まれる。コンバインドサイクル発電所向けの発電機器に要求されることは高効率であることの他に、建設工期短縮・高いメンテナンス性が重要視されているので、発電機は水素間接冷却方式が適している。また、ガスタービン技術の進歩により単機容量が増大していることから、発電機も大容量化の要求が出てきている。

CO₂排出量の多い石炭火力発電所も発電効率を高めて CO₂を削減する技術開発が進められ、発電機はより高効率化が図れる水素間接冷却式が有効である。

表 2 納入実績表

納入先	工場出荷年度	定格
国内A独立発電事業者	2005年（運転中）	50Hz-563MVA
国内B電力	2009年（工事中）	60Hz-670MVA