

発電用大型ガスタービン初段動翼を対象とした 温度解析技術の開発

背景

液化天然ガスを燃料とするガスタービン（以下、GT）を用いた複合発電設備は、火力発電における主要な電源設備として導入の促進が図られているが、GTの主要構成部品である初段動翼は保守コストが高く、コスト低減に向けて、ユーザ主体の合理的な保守判断基準策定技術の早期確立が望まれている。翼寿命の最大の支配要因は温度分布であり、寿命評価や信頼性評価に対する温度把握は重要である。しかしながら、GT運転中の動翼温度分布を、長時間信頼性を確保しつつ精度良く計測することは、技術的に極めて困難である。また、解析による温度推定方法も、翼形状や翼内外の伝熱様相が極めて複雑なため、高精度な推定法は未だ開発されていない（表1）。

目的

適切な保守により大きなコスト削減が期待できる初段動翼を対象に、数値流体力学（CFD）と伝熱流動実験を基軸とする、高精度な翼温度分布推定数値解析技術を開発する。

主な成果

1. 連成伝熱解析手法の構築

設計情報を持たないユーザでは、現象の複雑さに加え境界条件設定の難しさから実施が困難であった翼温度解析実施を可能とするため、CFDによる翼周り燃焼ガス対流熱伝達、翼構造材熱伝導、高精度乱流モデルであるLES（Large Eddy Simulation）による数値解析結果と伝熱流動実験結果に基づき構築した冷却特性関係式による冷却流路内熱伝達を同時に解き、翼を取り巻く熱流動場全体の解を求める連成伝熱解析手法を構築した（図1）。

2. 解析精度の検証

解析により得られた翼表面温度の高温部位は、実機翼において高温酸化により減肉が生じる部位と良く対応した（図2）。また、廃却翼の材料組織分析より推定した翼表面温度と解析結果は良好に一致し、寿命評価における精度目安である平均温度 20°C 以下^{*1}に抑えられる高精度温度解析を実現した。

3. 本解析技術の活用

燃焼ガス温度分布不均一や冷却空気流量の過不足など、運転条件の不確定因子をパラメータとする翼温度への影響評価が可能となり、不具合発生時の解析的原因究明に役立てられる。また、負荷変動など過渡運転状態における翼温度分布推定が可能となり、熱疲労損傷評価に不可欠な起動・停止時の時系列的な3次元翼温度分布を求めることを可能とした（図2）。

以上、翼内部に冷却構造を有するGT初段動翼に対し、精度良く翼温度分布を推定できる数値解析技術について、所期開発目標を達成した。

今後の展開

フィルム冷却方式等が採用されている、最新鋭GT翼への拡張を図る。

主担当者 エネルギー技術研究所 高温発電工学領域 主任研究員 渡辺 和徳、高橋 俊彦

関連報告書 「発電用大型ガスタービン初段動翼を対象とした温度解析技術の開発」電力中央研究所報告：M01（2005年8月）

*1：翼の使用温度域（ 850°C 程度）では、 20°C 差でクリーブ破断寿命が2倍変わる可能性があり、寿命評価精度に及ぼす影響が大きい。

表1 実機動翼温度推定手法の比較

手法	実機温度計測		翼材組織分析による温度推定		数値解析
	熱電対	放射温度計	γ' 粒*径の成長	コーティング界面拡散層厚さの成長	熱伝導解析
長所	初期信頼性高い	非接触計測	翼材内部温度分布が推定可能	翼表面温度分布が推定可能	翼全体の温度分布が推定可能
短所	・寿命が短い ・破損・飛散による健全部品への影響大	輻射物性値が不明であり、精度に難	・翼の破壊が必要 ・翼が経験した時間平均的な温度分布の推定しかできない		翼表面熱伝達率分布など、詳細な境界条件設定が困難

*：基材となるニッケル中に粒状に微細整合析出する金属間化合物。強度向上に寄与する。

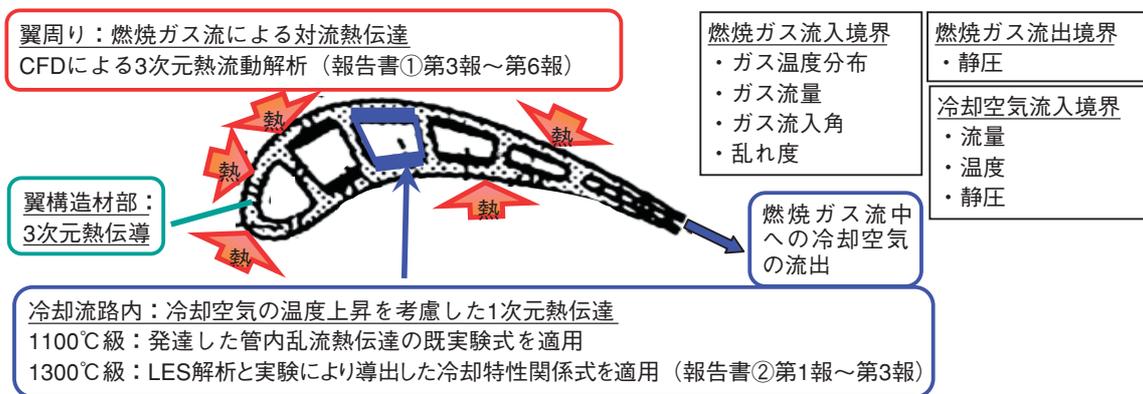


図1 構築した連成伝熱解析手法の概要

CFDと伝熱流動実験を基軸とした、連成伝熱解析手法を構築した。

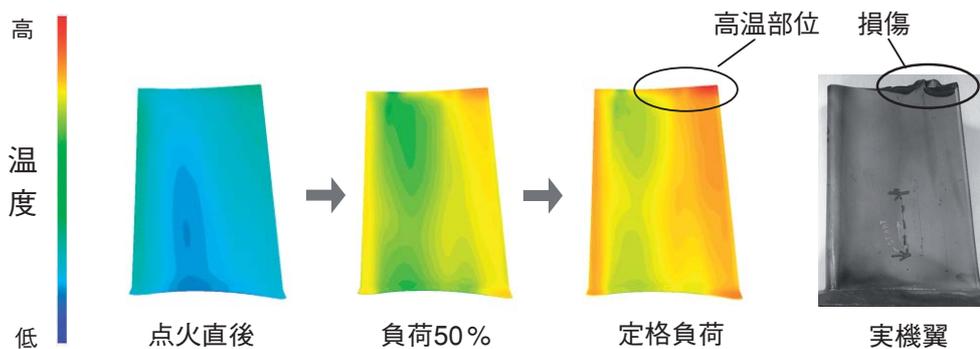


図2 起動時における翼腹側外面温度分布の時間変化と実機翼損傷部位との対応

時系列的な翼温度変化の把握が可能となった。解析結果の高温部位は、実機損傷部位と良く一致した。

【関連する既発行電力中央研究所報告】

- ① 「ガスタービン高温場を対象とした伝熱流動数値解析」
 - 第6報 起動/停止時における1300℃級初段動翼温度の過渡解析（M04002）、2005
 - 第5報 1300℃級初段動翼温度の3次元連成解析（W03011）、2004
 - 第4報 起動/停止時における1100℃級初段動翼温度の非定常解析（W99030）、2000
 - 第3報 1100℃級初段動翼温度の3次元解析（W98006）、1999
 - 第2報 1100℃級初段動翼温度の2次元感度解析（W97018）、1998
 - 第1報 燃焼器とタービン翼における数値解析技術の現状と課題（W95024）、1996
- ② 「1300℃級ガスタービン初段動翼内部冷却の熱流動解析」
 - 第3報 タービン翼前縁冷却流路を模擬したリブ付き三角流路の実験的検討（M04006）、2005
 - 第2報 LESを用いた傾斜リブ付き流路の冷却特性関係式の導出（W02005）、2003
 - 第1報 直交リブ付き直管流路における高レイノルズ数場の解析（W00006）、2001