

## 火力高温機器の耐久性評価に向けたX線CTの適用性評価 —ガスタービン動翼に対する適用—

### 背景

火力高温機器には、使用時の温度が耐久性に大きな影響を及ぼすため、部品温度の推定を中核とする解析的な耐久性評価技術（図1）の開発が重要である。解析的な耐久性評価には、部品形状を計測してモデル化することが不可欠であるが、代表的な火力高温機器であるガスタービンの翼に対して、従来の座標測定機\*1により内部冷却構造までを計測するには、翼の切断が避けられず多くの作業時間を要するばかりか、翼が使用不可能となる問題がある。そのため、部品の形状を非破壊で迅速に計測する手法が必要である。

### 目的

解析的な耐久性評価に向けて、構造が複雑で、かつ構造材料の密度が大きいガスタービン動翼の非破壊形状計測に対する、X線CT\*2の適用性を評価する。

### 主な成果

ガスタービン初段動翼\*3を供試体に用いて、産業用X線CT装置（表1）による計測を行い、以下を評価した。

#### 1. 非破壊形状計測による形状モデルの寸法誤差

翼断面をX線CTにより撮影（図2）し、その断面画像を積み重ねることにより、形状モデル（図3）を作成した。形状モデルの外面を接触式座標測定機による計測結果と比較した\*4結果、透過X線の減衰による画像ノイズのため、凹面となる翼腹側では、やや誤差が大きくなる（図4）ものの、平均およそ0.1mm、最大でも0.5mm以下の誤差で形状を計測できることがわかった（表2）。

#### 2. 温度推定に及ぼす寸法誤差の影響

形状モデルの寸法誤差がガスタービン翼の温度推定に及ぼす影響を、実機ガスタービンで想定される条件（表3）を用いて試算した結果（図5）、形状モデルによる温度推定誤差は、当研究所が耐久性評価において基準とする $\pm 20\text{K}$ を大きく下まわり、 $\pm 10\text{K}$ 以下であることがわかった（表4）。

以上より、X線CTによる非破壊形状計測は、ガスタービン翼の解析的な耐久性評価に適用できることが明らかとなった。

### 今後の展開

形状モデルを用いた数値解析の高度化を図り、迅速なガスタービン翼の耐久性評価に資する。さらに、他火力高温機器の部品に対しても、非破壊形状計測に基づく解析的評価の適用を検討する。

主担当者 エネルギー技術研究所 高効率発電領域 主任研究員 高橋 俊彦

関連報告書 「火力機器部品の非破壊形状計測におけるX線CTの適用性評価—ガスタービン動翼の耐久性評価への適用—」 電力中央研究所報告：M08005（2009年2月）

\*1：接触式あるいはレーザー等の光学式により物体表面の位置を座標点群として計測する装置

\*2：物体内部構造の非破壊計測には、一般的には、超音波やMRIなどの応用も考えられるが、形状が複雑で、材料密度の大きい金属材料からなる機械部品に対しては、X線CTが有力な手法である。

\*3：内部冷却構造を備える廃却翼，基材密度およそ $8000\text{kg}/\text{m}^3$ ，遮熱コーティングなし

\*4：X線CTは、原理的に、翼内外に対する計測精度が変化しないため、座標測定機の精度が高い外面を対象とした。



図1 解析的な耐久性評価の流れ

表1 産業用X線CT装置の主な仕様

X線出力	450kV、5mA（最大）
供験体寸法	高さ600mm、φ300mm（最大）
撮像時間	画像1枚あたり90秒（図2の撮像条件）、 分解能の設定により可変（最小25秒/画像）

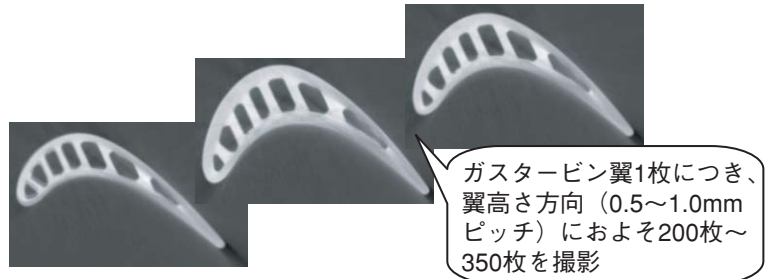


図2 X線CTによるガスタービン翼断面画像の例



図3 翼断面画像に基づく形状モデル

X線CTを用いて非破壊で形状モデルを作成した。

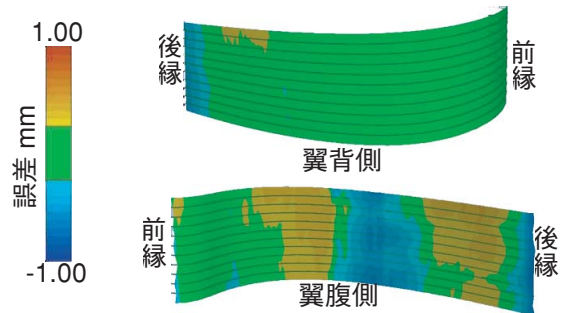


表2 形状モデルの寸法誤差（絶対値）

（単位 mm）	背側	腹側
平均	0.053	0.127
最大	0.342	0.480

作成した形状モデルの寸法誤差を明らかにした。

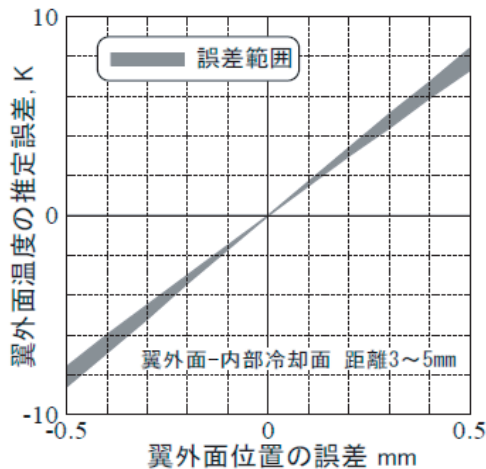


図5 形状計測誤差が翼温度推定に及ぼす影響の試算結果\*2

表3 温度推定条件  
（1300℃級ガスタービンを想定）

翼外面	ガス温度	1288℃(1561.15K)
	熱伝達率	1500 W/(m <sup>2</sup> K)
基材	熱伝導率	25 W/(mK)
	厚さ	3mm～5mm
内部冷却	空気温度	390℃(663.15K)
	熱伝達率	2500 W/(m <sup>2</sup> K)

表4 試算された温度推定の誤差

（単位 K）	背側	腹側
平均	±0.8～±0.9	±1.9～±2.2
最大	+5.0～+5.8 -5.1～-5.9	+7.0～+8.1 -7.3～-8.3

X線CTによる形状計測は、損傷劣化を支配する翼の温度を推定するために、十分な精度があることがわかった。

\*1：2変数の関数によって表現した曲面、3次元CADにおける標準的な面の表現方法

\*2：1300℃級ガスタービンを想定した1次元熱伝導解析による