

# 非常用ガスタービン第1段動翼の劣化評価

起動停止が動翼材に及ぼす影響を検討

## Evaluation of Emergency Gas Turbine First Stage Blade Degradation

Study of the effect of starting and stopping on the blade material

(電力技術研究所 材料技術G 材料T)

(Materials Technology Team, Materials Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

非常用ガスタービン (EGT) は、一般的に起動停止回数は多いが運転時間は少ない。このようなEGTを非常時に使用する場合には、確実に起動し運転することが要求されるものの、多くの起動停止を経たガスタービン材料の劣化は明確になっていない。そこで、経年使用したEGT第1段動翼を用いて材料調査を実施した。さらに、熱衝撃試験を実施して、材料劣化および起動停止が動翼材に及ぼす影響は軽微であることを明らかにした。

Emergency gas turbines (EGTs) are generally started and stopped many times, but have low operating hours. Such EGTs that are used for emergencies are required for safe startup and operation, but the degradation to the gas turbine material due to many starts/stops is not clearly understood. Therefore, we conducted a study of the material using the EGT first stage blade that had been used for years. We also conducted a thermal shock test and determined that material degradation on the blade material due to starting and stopping is minor.

### 1 背景および目的

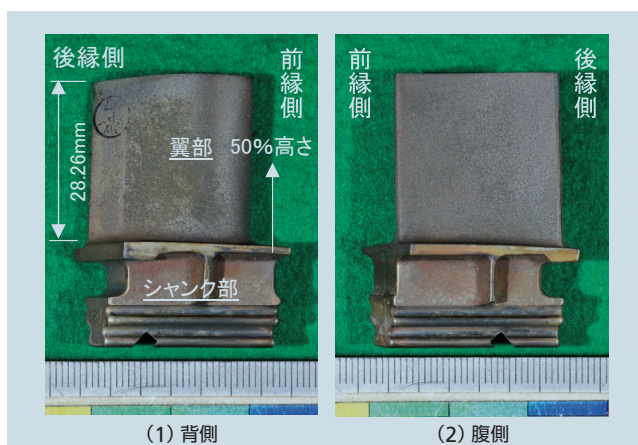
火力発電所における非常用電源として、コンパクトで据付が容易などの利点を有する非常用ガスタービン (Emergency Gas Turbine：第1図参照) が設置される場合がある。EGTは、停電や災害など非常時のバックアップ電源として使用されるため、一般的な運用は定例および発電時の確認運転を行うだけであり、起動停止回数は多いが運転時間は少ない設備となっている。

停止約770回) 使用され取替えられた第1段動翼とした。

第2図に、EGT第1段動翼の外観を示す。動翼の出口側有効長は約28mmであり、火力発電用ガスタービン (GT) 動翼と比べ、かなり微小サイズとなっている。また、中空冷却翼となっており、動翼材には第1表に示す多結晶Ni基合金が用いられている。

このようなEGTは、非常時には確実に起動し運転することが要求されるため、設備の信頼性確保を目的として、高温部品の定期的な取替を行っている。しかし、多くの起動停止を経たガスタービン材料の劣化は明確になっていない。

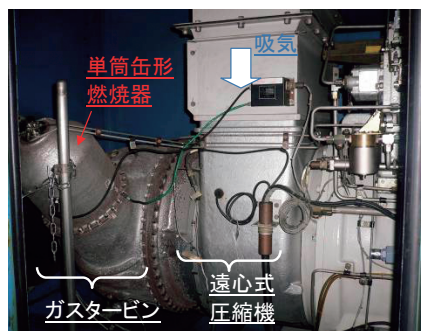
そこで、EGT高温部品の信頼性評価を目的に、最も使用温度が高く、高速で回転する第1段動翼を選定して、経年使用した第1



第2図 EGT第1段動翼の外観

第1表 主要材料組成 (重量%)

| Ni   | Co | Cr | Mo | Al | Ta   | Hf   | Ti |
|------|----|----|----|----|------|------|----|
| Bal. | 10 | 8  | 6  | 6  | 4.25 | 1.35 | 1  |



第1図 EGT設備の外観

### 2 研究の概要

#### 2.1 供試材

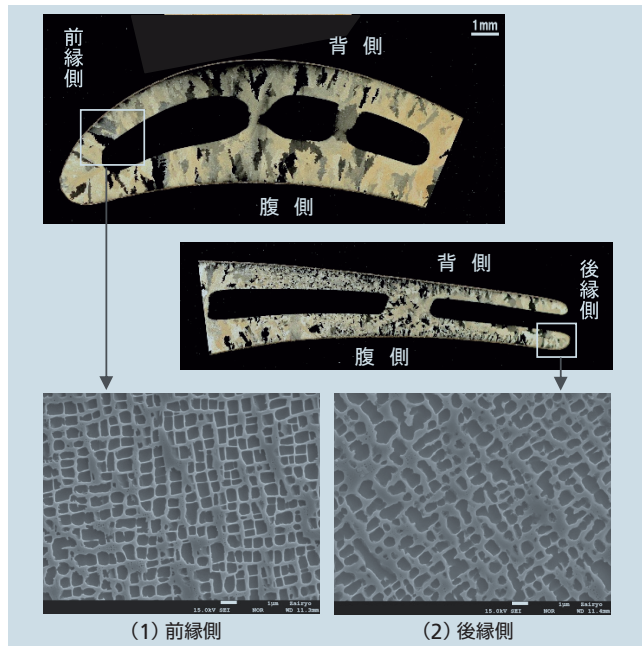
供試材は、実機EGT (入口ガス温度1,026℃、回転数22,000rpm) において、約17年 (運転時間約220h、起動

#### 2.2 材料組織調査

第3図に、翼部50%高さにおける断面組織の一例を示す。前縁側と比べ後縁側では粗大な結晶粒の他に微細な結晶粒が見られた。SEM (走査型電子顕微鏡) 観察により、後縁側で  $\gamma'$  相 ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ を基本組成とする析出物) の一部連結と丸みを帯びた  $\gamma'$  相が認められるものの、その他の位置では  $\gamma'$  相は矩形形状であった。また、硬さの変化も小さく、外観・非破壊検査においてき裂や酸化減肉等の損傷も認められなかったことから、材料劣化は軽微と考えられた。

なお、実機の運転で熱影響を受けにくいシャンク部は、

翼部と比べると結晶粒径や $\gamma'$ 相の大きさが異なっており、翼部とシャンク部の相対比較による材料評価ができないものと考えられた。

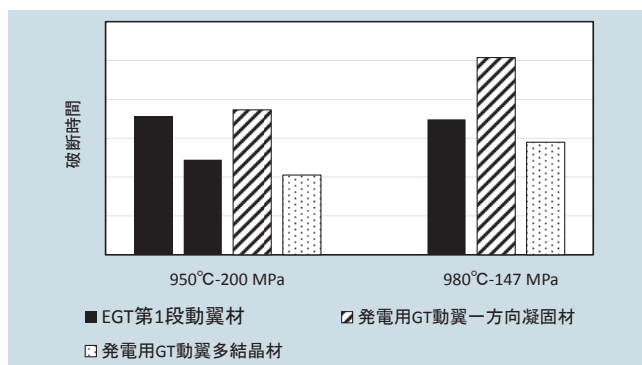


第3図 翼部50%高さにおける断面SEM組織

### 2.3 クリープ破断試験

供試材は試験片採取容量が極端に制限されるため、供試材の翼部から翼長方向より微小サイズの板状試験片(平行部 $2.0\text{mm}^w \times$ 全長 $20\text{mm}^l \times$ 厚さ $1.0\text{mm}^t$ )を採取し、クリープ破断試験を実施した。

単軸クリープ試験機を用い、アルゴン雰囲気において、温度 $950^\circ\text{C}$ 、応力 $200\text{MPa}$ 条件および温度 $980^\circ\text{C}$ 、応力 $147\text{MPa}$ 条件で実施したクリープ破断寿命を第4図に示す。図中には、火力発電用GT動翼のシャンク部データ(新材相当)を併せて示している。標準サイズではなく、微小サイズ試験片によるデータであるが、供試材の翼部は火力発電用GT動翼多結晶材以上の強度を有していることが分かった。

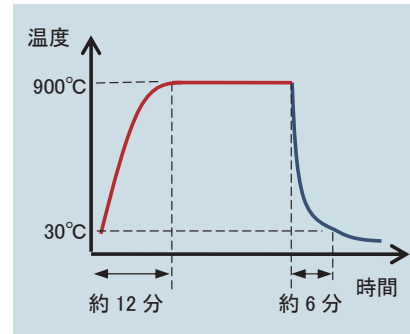


第4図 クリープ破断寿命

### 2.4 熱衝撃試験

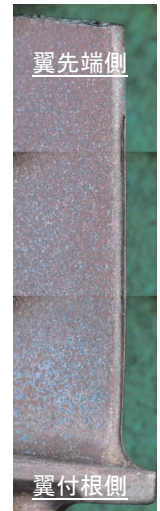
熱衝撃試験として、供試材を実体形状のまま電気炉を用いて $900^\circ\text{C}$ まで昇温した後、炉内から取り出してファ

ン冷却を実施した。供試材に熱電対を取付けて、表面メタル温度を計測した結果を第5図に示す。この計測結果を踏まえ、熱衝撃試験条件は常温から $900^\circ\text{C}$ まで加熱後30分以上保持した後、 $900^\circ\text{C}$ から $30^\circ\text{C}$ まで冷却後30分以上経過したサイクルを1回とし、加熱～冷却を繰り返した。試験中は、拡大観察によりき裂発生の有無を確認しながら、耐熱衝撃性(き裂発生回数)を調査した。



第5図 熱衝撃試験時の昇温冷却曲線(イメージ図)

第6図に、熱衝撃試験100回経過後の翼後縁部の拡大観察結果を示す。熱衝撃試験を100回繰り返してもき裂は生じておらず、100回以上の耐熱衝撃性を有していた。なお、ファン冷却ではなく、水冷による熱衝撃試験の結果では翼後縁部でき裂が生じたことから、この部位が弱点部位と想定している。



第6図 翼後縁部の拡大観察(熱衝撃試験100回後)

実機EGT第1段階動翼のメタル温度は推定できていないが、火力発電用GT動翼を参考に、メタル温度を $800^\circ\text{C}$ 程度(内部冷却温度 $360^\circ\text{C}$ 程度)と仮定すると、今回の熱衝撃試験条件( $900^\circ\text{C} \leftrightarrow 30^\circ\text{C}$ )は、実機における温度差の約2倍と考えられる。局所的な形状急変部ではひずみ範囲も約2倍となる苛酷な温度加速条件と推定され、今回の熱衝撃試験100回は実機に換算すると数十倍となり、かなり多くの起動停止回数に相当するものと考えられる。

## 3 研究の成果

実機で経年使用され取替えられたEGT第1段階動翼を供試材として、起動停止が動翼材に及ぼす影響を評価した結果、材料劣化および起動停止の影響は軽微であり、EGTの設備信頼性が確認できた。

## 4 今後の展開

今回報告したEGT第1段階動翼材だけでなく、火力発電用GT動翼材についても、起動停止の影響に関し、今後の劣化診断・余寿命評価などにおいて検討していきたい。



執筆者/高山広司