

# 1300℃級ガスタービン動翼材料の 多軸疲労寿命評価法の提案と簡易寿命評価プログラムの開発

## 背景

当所はこれまでに1300℃級ガスタービン（GT）初段動翼の詳細温度-応力解析プログラムを開発し、これを用いてGT動翼表面では翼高さ方向およびそれに垂直方向の両方向で引張圧縮応力が繰返される多軸疲労負荷を受けることを明らかにした\*<sup>1</sup>。このような負荷を受ける動翼の寿命を推定するには、動翼材料の多軸疲労寿命特性の把握とそれに基づく評価法の開発が必要不可欠である。しかしながら、高温下で2方向から引張圧縮を繰返し負荷する多軸疲労試験を実施するには、専用の装置と高度な試験技術を要するため、動翼材料を対象とした多軸疲労に関する研究は皆無に等しく、動翼の多軸疲労寿命評価法の開発は急務である。加えて、電力会社において簡便に動翼の寿命評価が可能となる解析プログラムの開発が強く望まれている。

## 目的

1300℃級GT動翼材料Ni基一方凝固超合金（以下、DS超合金とする）の多軸疲労寿命特性を踏まえた多軸疲労寿命評価法を提案するとともに、同評価法を組み込んだ動翼の簡易寿命評価プログラムを開発する。

## 主な成果

### 1. DS超合金の多軸疲労寿命評価法の開発

当所が開発した高温多軸疲労試験装置を用いて、DS超合金を対象に試験温度、870℃で試験を実施した（図1（a））。 $\phi$ をx方向ひずみとy方向のひずみの比とし、十字試験片のx軸方向を凝固方向と一致させた。

- 1)  $\phi$ が大きいほど寿命が短く、 $\phi=0$ では凝固方向への負荷の場合に比べ、それに垂直方向への負荷の場合に寿命が短くなった（図1（b））。このようにDS超合金特有の疲労破損の異方性を示すため、従来より設計等で用いられている寿命評価法では多軸疲労寿命を整理することができなかった。
- 2) 多軸疲労寿命の $\phi$ 依存性および凝固方向に対する異方性を加味して、E-plane\*<sup>2</sup>上に多軸疲労寿命の基準となる等寿命線を導出した（図2（a））。この等寿命線に基づいて新たな寿命評価指標である等価垂直ひずみ範囲を定式化した。この等価垂直ひずみ範囲によってDS超合金の多軸疲労寿命は $\phi$ に依存することなく統一的に整理することができた（図2（b））。

### 2. 簡易動翼寿命評価解析プログラムの開発

- 1) 上述した新たな多軸疲労寿命評価法を組み込み、1300℃級初段動翼の寿命評価ができる簡易動翼寿命評価プログラムを開発した。本プログラムでは、既開発の詳細プログラムに対し誤差10%以内で寿命を推定することを確認した。
- 2) 1300℃級GT初段動翼を対象に、出力が異なる2種類の毎日起動停止運転（ケース1）、それより出力を5%下げて運転する場合（燃焼ガス温度低下：ケース2）、ケース1で部分負荷を導入する運転（ケース3）、ケース1に比べて起動時間が長い場合（ケース4）について1回の起動停止運転での損傷の最大値を比較した（図4）。その結果、ケース1に対して、ケース3とケース4の差異は小さいが、燃焼ガス温度を低下させたケース2の場合に損傷が低下することが明らかとなった。従来の詳細解析では数ヶ月を要したこれらの解析を2時間程度で実施することができ、動翼に生じる損傷を抑制するための運転条件検討などに有効に活用することができる。

## 今後の展開

本研究で開発した動翼の簡易寿命評価プログラムを、1300℃級初段動翼の余寿命評価や損傷の抑制を可能とする運用条件の選定等に適用する。

主担当者 材料科学研究所 構造材料評価領域 上席研究員 緒方隆志、主任研究員 酒井高行

関連報告書 「ガスタービン動翼材料Ni基多結晶超合金および一方凝固超合金の高温多軸疲労寿命評価法の開発」電力中央研究所報告：Q06004（2006年11月）

\*1：酒井ほか5名、電中研研究報告：Q04013（2004）

\*2：一方凝固超合金の凝固方向のひずみ、 $\varepsilon_2$ をy軸、凝固方向に垂直方向のひずみ、 $\varepsilon_1$ をx軸とするひずみ平面

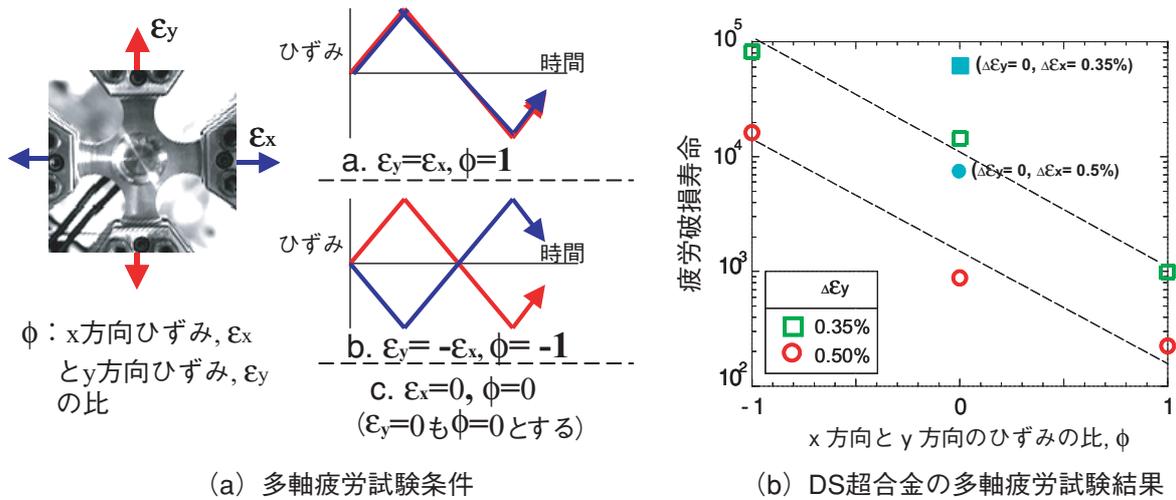


図1 高温多軸疲労試験条件とDS超合金の多軸疲労試験結果

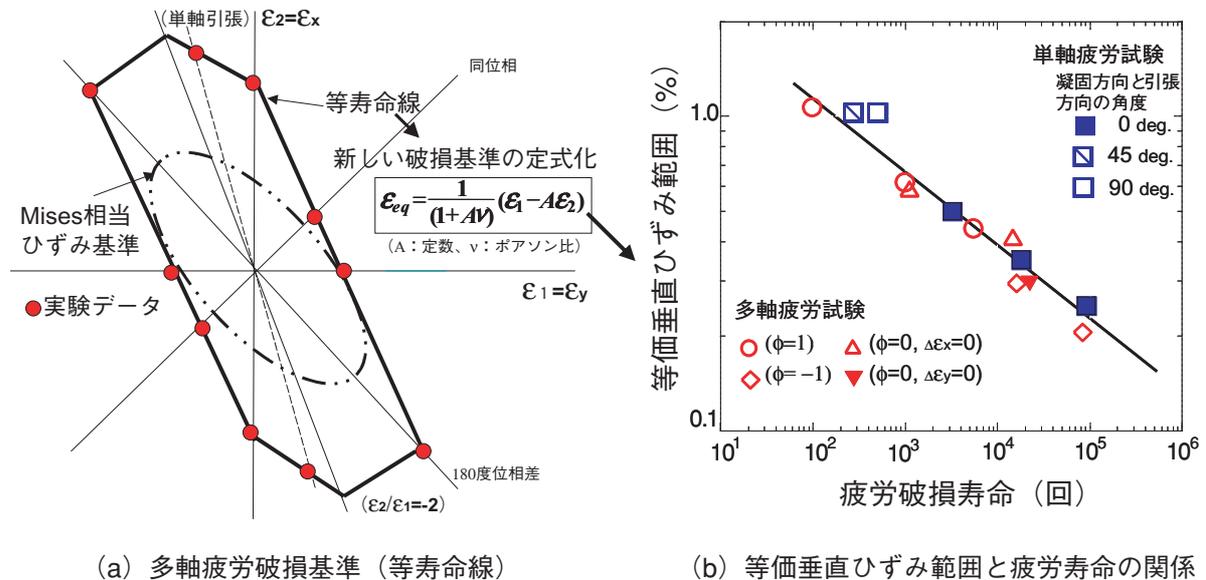


図2 本研究で得られた疲労破損基準から導出した等価垂直ひずみ範囲による寿命の整理

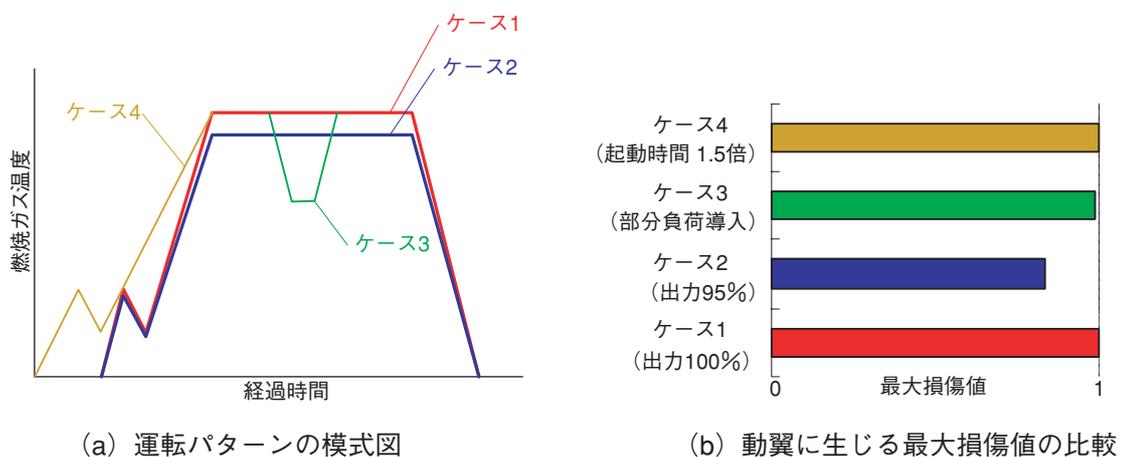


図3 起動-定格-停止運転パターンが異なる場合に動翼に与える最大損傷値の比較評価結果