

補助事業番号 2019M-123

補助事業名 2019年度 次期軽量耐熱合金の実機負荷状態を考慮した寿命評価式の開発  
補助事業

補助事業者名 福井大学 旭吉雅健

## 1 研究の概要

航空エンジンの構造材料には、耐熱性と軽量との双方を満たすことが要求される。タービン動翼の材料として軽量耐熱合金のTi-Al系合金の使用が検討されているが、航空エンジンの安全性保障のためにも、同合金の特性を定量的に把握する必要がある。とくに、タービン動翼が曝される実機環境を考慮して、高温クリープおよび高温疲労の実験検証が不可欠である。そこで、本事業では、Ti43Al5V4Nbを対象として、高温クリープ実験および高温疲労実験を実施し、高温環境での基礎データを蓄積するとともに、寿命評価法の妥当性を検証した。

## 2 研究の目的と背景

航空機の利用者数は国内外において増加の一途をたどっている。航空機の安全性は、とくに航空エンジンの信頼性に大きく左右されることから、その構造材料について高温環境での特性を把握することが不可欠である。さらに、航空エンジンの燃費向上は運用コスト削減に直結することから、軽量の材料使用が望まれる。

航空エンジンの構造材料として、軽量耐熱合金のTi-43Al系合金使用が期待されているものの、その実験力学的検証は十分であるとは言えない現状である。とくに、構造材料は、高温環境ではクリープ現象による想定外の変形を生じて破壊することがあったり、繰返し負荷による疲労現象によって破壊する恐れもある。本事業では、Ti-43Al系合金の高温クリープおよび高温疲労に関する特性を定量的に評価するために、実験検証に取り組む。

## 3 研究内容

Ti-43Al系合金の高温クリープおよび高温疲労寿命特性の解明に関する研究

(<http://www.hiyoshi-lab.com/research.html>)

### ■研究の方法

軽量耐熱合金Ti43Al5V4Nbを対象として、福井大学内の研究室(図1)で高温クリープ実験および高温疲労実験を行った。試験片は、クリープおよび疲労ともに、標点部直径が6mmの中実丸棒試験片を用いた。クリープ実験は、図2に示すクリープ装置を用いて760℃で行った。疲労実験には、本事業で新たに開発した電気油圧サーボ式装置を使用した(図3)。600℃でのTi43Al5V4Nbの疲労実験中の様子写真を図4に示す。また、疲労実験に際し、油圧サーボ式装置を制御することのできるプログラムを開発した(図5)。同プログラムを用いることで、実験制御精度を高めることを可能とした。



図1 福井大学 高温材料強度実験室



図2 高温クリープ実験装置例



図3 高温疲労実験装置(本事業での設計開発)

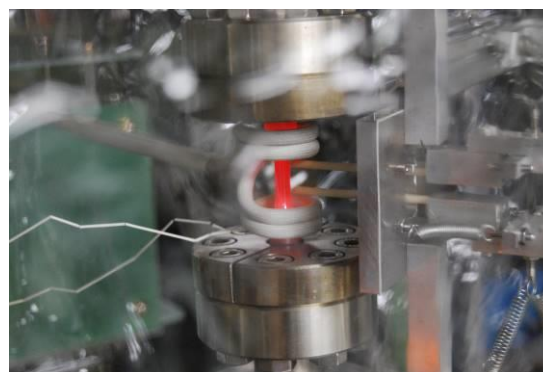


図4 軽量耐熱合金の高温実験の様子

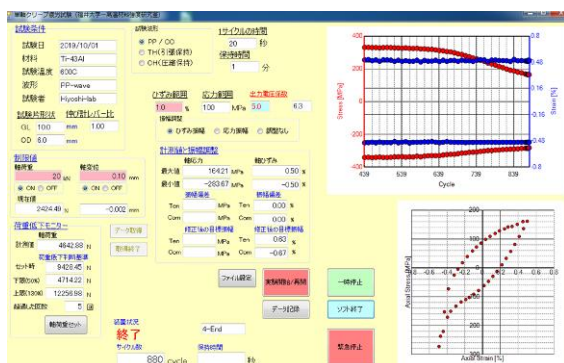


図5 高温疲労実験プログラム(本事業での開発)

## ■ 研究の成果

Ti43Al5V4Nbの高温クリープ寿命を図6に示す。寿命データは両対数グラフ上で一本の直線上に整理できることがわかる。さらに、別機関で実施された同合金の600℃での報告(Takakuwara)と比較すると、同合金は、600℃を超える高温域では、そのクリープ強度が著しく低下する危険性が明らかとなった。本事業で取得した評価式および材料定数を用いてクリープ寿命を予測した結果を図7に示す。図中の破線は、工業的に要求される予測精度範囲を示している。同図から、今回提案する評価式と材料定数を用いることで、Ti43Al5V4Nbのクリープ寿命を精度良く予測可能であ

ることがわかる。

Ti43Al5V4Nbの高温疲労寿命を図8に示す。両対数グラフにおいて一本の直線上に整理される結果であったことから、同合金の疲労寿命評価には、全ひずみ範囲が有効であることが示唆される。高温での応力-ひずみ関係を図9に示す。応力とひずみで描画される面積が小さく、弾性変形がほとんどである。応力振幅も大きく、全ひずみ範囲0.8%~1.2%でのそれは約600MPaであった。また、Ti43Al5V4Nbでは加工硬化を示した後、脆性的な破断を呈したことから、実機適用設計時には脆性破断に注意することが必要である。

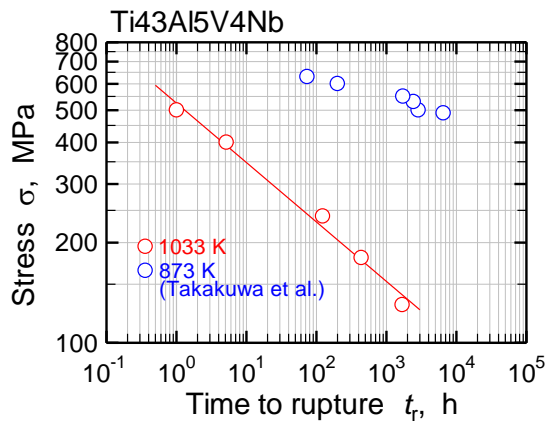


図6 クリープ破断寿命

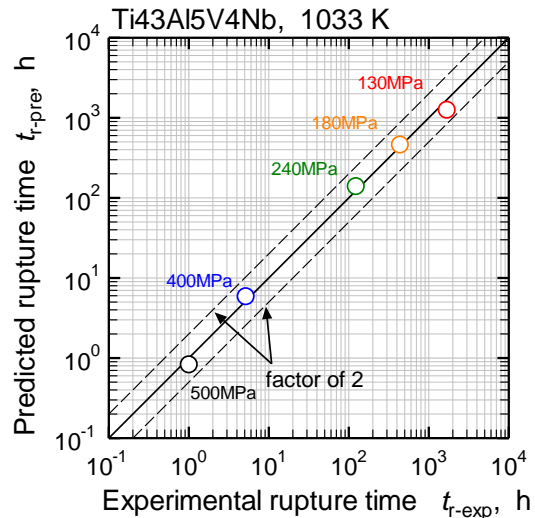


図7 クリープ破断寿命予測結果

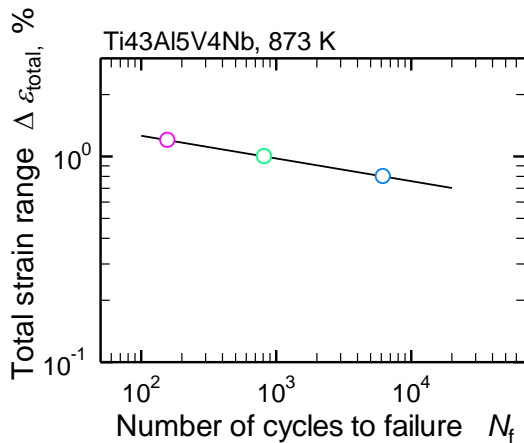


図8 疲労寿命

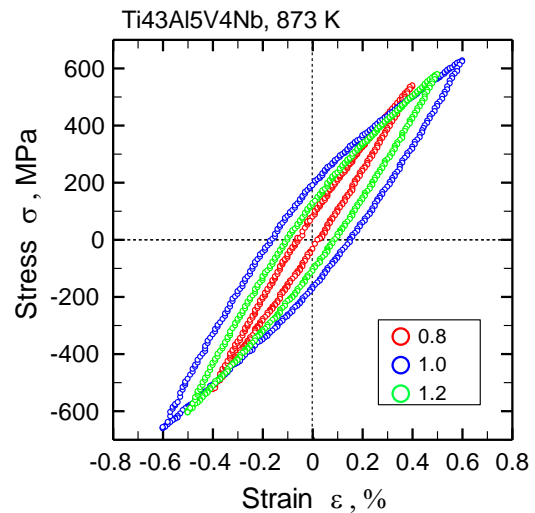


図9 応力-ひずみ関係

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

Ti-43Al系合金の高温クリープおよび高温疲労寿命特性の解明に関する研究

軽量耐熱合金Ti43Al5V4Nbの高温クリープ寿命と高温疲労寿命に関して、その基礎特性を明らかにした。クリープ検証では、Norton則とMonkman-Grant則の有用性が明らかとなり、寿命を精度

良く予測可能であった。疲労検証では、脆性破断防止が最優先項目であり、き裂の発生を許容しない設計も取り入れるべきであることが明らかとなった。

これらの知見や留意点は、Ti43Al5V4Nbの実機への適用設計時に有益を与える。すなわち、寿命予測を可能としたことから、同合金を航空エンジンのタービン動翼に使用する際には、その安全性向上に寄与できる。軽量耐熱合金の安全な使用は航空機重量を削減できることから、燃費向上に直結し、さらには運用コストや利用料金の低減にもつながることが期待される。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

工業・産業機器の破壊の8割は構造材料の「疲労」が原因である。また、各種熱機関の効率向上のための高温度化に伴い「クリープ」が問題視される。機器の安全性保障のためには、「疲労」と「クリープ」による材料の損傷を、正確に把握することが不可欠である。このニーズと学術的シーズから、事業者は、鉄鋼材料や超合金等を対象として、高温環境での実験検証研究に取り組んでいる。また、日本材料学会・高温強度部門委員会の総括幹事を務めており、学協会活動を通して、高温構造機器の健全性保障に貢献している。

現在、航空エンジン分野では、燃費向上のために、新たな軽量耐熱合金の使用が検討されている。本事業では、次期候補材に着目して、その実験検証に取り組んで、今後の設計指針に活用するものである。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

■国際会議:Noritake HIYOSHI, Masaki ARAYA, Takuya UEDA, “Creep Rupture Time Prediction for Ti-43Al Alloy with theta-Projection Method”, 10th Japan-China Bilateral Symposium on High Temperature Strength of Materials, pp.226-230 (2019).

## 7 補助事業に係る成果物

なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 福井大学 学術研究院 工学系部門 工学領域 機械工学講座  
(フクイダイガク ガクジュツケンキュウイン コウガクケイブモン コウガクリョウイキ キカイコウガクコウザ)

住 所: 〒910-8507  
福井県福井市文京3丁目9番1号

担 当 者: 准教授 旭吉雅健 (ヒヨシ ノリタケ)  
担 当 部 署: 機械工学講座 (キカイコウガクコウザ)

E - m a i l: [hiyoshin@u-fukui.ac.jp](mailto:hiyoshin@u-fukui.ac.jp)

U R L: <http://www.hiyoshi-lab.com/>