

平成 22 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560082  
 研究課題名（和文） 非比例負荷を含む多軸応力下での疲労寿命特性および実設計のための強度設計基準の開発  
 研究課題名（英文） Fatigue Life Property and Design Procedure under Multiaxial Non-proportional Loading  
 研究代表者  
 伊藤 隆基 (ITO TAKAMOTO)  
 福井大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：40242581

研究成果の概要（和文）：多軸疲労強度設計の現状から、非比例・多軸の過酷負荷状態下にある機器・構造物の健全性および信頼性保証の点からも、適切な非比例多軸疲労の変形・損傷モデルを構築することは、設計技術者からも強い要望がある。そこで本研究では、多軸疲労強度設計基準を構築する上で、多軸疲労研究の成果の鍵を握る実験研究、また、研究者と設計現場が抱えている諸問題の把握や国際的な動向等の調査が必要であるとの認識から、①研究調査、②多軸疲労試験、③設計基準の構築、を支柱とする研究を実施した。

研究成果の概要（英文）：

Components and structures like pressure vessels and high temperature exchangers undergo LCF damage. In multiaxial LCF under strain controlled non-proportional loading in which directions of principal stress/strain are changed in a cycle, it has been reported that fatigue lives are reduced accompanying with an additional hardening which depends on both strain paths and materials. Thus, developing an appropriate design parameter for multiaxial LCF is required for the reliable design and maintenance of structure components. In this study, three kind of works were performed 1) Investigation multiaxial fatigue researches, requirements and problems in the filled, 2) Development of multiaxial testing machines and performing multiaxial fatigue tests to investigate life properties for various materials and 3) Development of design procedures under non-proportional multiaxial loading.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：機械材料・材料力学，構造・機能材料，金属疲労，強度設計

## 1. 研究開始当初の背景

これまで機械構造材料および機械構造物の組合せ多軸負荷を考慮した疲労強度設計は、一般的にミーゼスやトレスカなどの相当応力・ひずみにより負荷状態を単軸下に置き換えて行われてきた。ほとんどの疲労強度設計では、とくにこの方法で強度に係わるトラブルが発生する頻度は低いと考えられるが、実際にどの程度の数のトラブル例があるかは十分に把握できていないのが現状であった。このことは、従来の設計や事故の際に多軸負荷を考慮した評価・解析が重視されなかったことに起因している。一方、圧力容器・配管、熱交換器などの高温機器では、機械的負荷と熱的負荷との重畳により比較的大きな応力振幅を伴う多軸繰返し負荷が生じるので、従来から多軸負荷を考慮した疲労強度設計がされてきた。しかし、これらの多軸を考慮した設計手法（例えば、ASME Boiler & Pressure Vessel Code Case Section IIIおよびVIII等の設計基準（ASME 基準））は、主に応力やひずみの主軸方向が変化しない、いわゆる比例多軸負荷に対するものであり、主軸方向が時間的に変化する非比例多軸負荷には適応できないことが分かっていた。また、最近のいくつかの実験研究報告では、非比例多軸負荷を受ける構造材料の低サイクル疲労寿命が著しく低下することを指摘しており、このことから設計現場でもその強度設計の危険性の存在が強く受け止められていた。

上述のような多軸疲労強度設計の現状から、非比例・多軸の過酷負荷状態下にある機器・構造物の健全性および信頼性保証（安全・安心）のために、適切な非比例多軸疲労の変形・損傷モデルを構築することは、設計技術者からも強い要望があった。しかしながら、いくつかの寿命評価モデルが提案されてはいるが、ASME 基準等に代わる寿命評価モデルの完成の域には依然至っていないのが実状であった。その理由として、

- ① 非比例多軸負荷による疲労強度低下のメカニズムが明確になっていない。
- ② 寿命に及ぼす負荷経路の影響を考察するためには、十分な実験データがない。
- ③ 研究室レベルでの寿命評価モデルはいくつかあるが、それを実際の設計に採用するためには強化・修正を要する。すなわち、設計現場で容易に使える寿命評価の具体的な手法の提示が必要。

等が挙げられる。適切な多軸疲労設計基準を構築するためには、設計サイドからの要求や問題点を考慮した実設計への応用研究とこれまでに蓄積された基礎的研究の成果とを有機的に融合させる必要があった。

## 2. 研究の目的および内容

上記問題①～③を解決すべく、多軸疲労強度設計基準を構築する上で、多軸疲労研究の成果の鍵を握る実験研究、また、研究者と設計現場が抱えている諸問題の把握や国際的な動向等の調査が必要であるとの認識から、本研究の全体構想およびその支柱となる課題内容を下記に示す。

- ① 研究調査：設計基準の国際的動向および諸問題、事故調査
- ② 多軸疲労試験：各種金属材料の変形・破壊特性の実験的および解析的評価
- ③ 設計基準の構築：寿命評価法の開発および実設計基準への反映

多軸疲労研究では、前頁で記したように多軸疲労試験装置整備（インフラ）および高度な試験技術を必要とする。すなわち、精度の高い試験装置の整備・開発は、設計基準の構築にとって極めて重要となる系統的な実験データの取得につながり、本研究の全体構想の成功の鍵を握る第一段階であった。

## 3. 研究成果

### 3. 1 研究調査

#### 3. 1. 1 研究課題

①～③の課題は、多軸疲労に関するそれまでの一連の多軸疲労研究の成果を以って、ある一定のレベルで解決しているものと思われる。したがって、これらの基礎的研究の成果を効果的に実設計へ反映させるために設計サイドからのニーズに合った応用研究が必要であった。その方法として、これまでの基礎的研究において不足している試験データを追加取得し、さらにこれまでの試験・解析結果および損傷モデルの総合的な再評価を行って、実設計に合致した実用的な多軸疲労強度設計手法を開発する研究の実施が必要であった。具体的には、次の3つの課題に主眼をおいた研究が挙げられる。すなわち、

- (1) 設計基準の構築：寿命評価法の開発、実設計へ適用
  - (2) 等二軸疲労強度評価：等二軸下での疲労試験の実施と寿命特性評価
  - (3) 内・外圧/軸・ねじり多軸疲労試験：広域な非比例・多軸下での疲労試験の実施と寿命特性評価
- (1) 設計基準の構築 — 寿命評価法の開発、実設計へ適用 —

多軸疲労のこれまでの研究成果および追加実験(課題(1)、課題(2))と設計サイドのニーズを融合させ基礎研究から応用研究を行った。すなわち既提案の寿命評価手法を実設計に応用させるために、既存および追加試験・解析結果や実設計現場のニーズ情報に応じて適時修正・補強を行うことが重要であった。

(注釈) 非比例負荷：応力/ひずみの主軸方向が時間的に変化する多軸負荷。このような繰返し負荷では、活動するすべり系の方向が変化し、その変化度合による変形挙動の違いによって材料の疲労損傷が異なる。

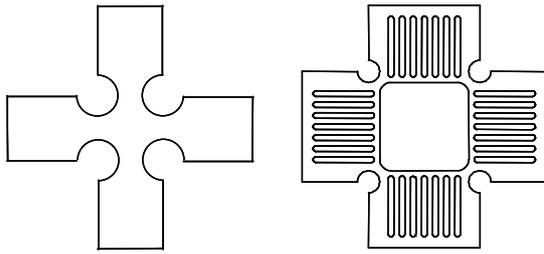


図1 十字型試験片の例

(2) 等二軸疲労強度評価 — 等二軸負荷での疲労試験の実施と寿命特性評価 —

原子力圧力容器や配管(圧力変動, 熱負荷)の設計が必要とされながらデータの蓄積がほとんどない等二軸引張・圧縮試験を実施し, その強度特性評価を行うことは重要である. この試験は, 比例の多軸負荷に分類されるが, 多軸疲労損傷モデルを構築する上で必要不可欠な試験結果である. また, 等二軸引張・圧縮試験を実施するためには, 十字型試験片(図1参照)を用いた等二軸引張・圧縮試験装置が必要である.

(3) 内・外圧/軸・ねじり多軸疲労試験 — 広域な非比例多軸下での疲労試験の実施と寿命特性評価 —

課題(1)の設計基準の構築のために必修である追加試験を実施する必要がある. 試験内容は円筒試験片に軸とねじりの荷重を負荷する多軸試験が主となるが, 多軸疲労強度特性が未知である広域な非比例多軸負荷での疲労試験を実施するには, さらに内・外圧を負荷する必要があり, その試験装置の開発を要した. このような試験装置や試験片(図2参照)の設計・開発は, 技術的にもたいへん困難であるがニーズが高い.

### 3. 1. 2 研究の現状

多軸疲労研究の現状はこれまでも複数の組織で個別に行われてきたが, 実験が特殊で高度な試験技術を必要とすることも影響して, 試験を系統的に実施できる機関の数は大幅に限定される. このような実験技術上の制約から, 当該分野の研究はいずれも初期の発展途上にあり潜在する諸問題が不明瞭であるので, それらの国際的な動向の調査・把握および同諸問題の解決策の情報発信が本研究の成果により可能となる. なお, 多軸疲労に関する解決を必要とする問題は多数あるので, 継続的な研究が必要である.

日本および欧州では原子力のみならず自動車産業などでも多軸疲労強度設計の必要性と実験結果の蓄積の重要性を認識し始めており, 実際にいくつかの機関や学会委員会等で実験を伴った研究ワーキングが組織さ

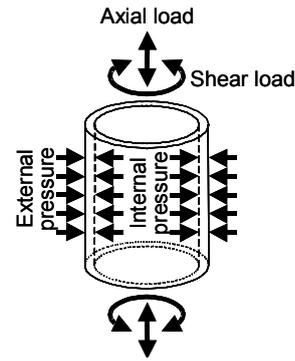


図2 軸・ねじり/内・外圧試験片の例

れている. 例えば, 溶接協会 原子力研究委員会・多軸疲労委員会, 材料学会 高温強度部門委員会, 高圧力協会 高圧容器規格分科会, European Structure Integrity Society, Fatigue of Eng. Mat. & Structure, TC3.1 Multiaxial Fatigue, ASME Pressure Vessel and Piping, The Code & Standards Committee / High Pressure Tech. Committee などがある.

### 3. 2 多軸疲労試験

#### 3. 2. 1 多軸疲労試験装置開発

当該研究・工業的にニーズがある前節で(2)および(3)で述べた等二軸引張・圧縮試験装置および内・外圧/軸・ねじり多軸疲労試験を開発した. 試験装置の概観写真を図3および図4に示す. なお, 試験装置の詳細は, 特許取得との関係で割愛する.

これらの2試験装置を用いることによって, 実機負荷により近い多軸負荷モードでの試験の実施が可能となった. 今後は, この試験装置を用いて, 実機プラントの強度的信頼性・安全性保障の向上に資するための実験研究を系統的に行う予定である.



図3 等二軸引張・圧縮試験装置



図4 内外圧・軸・ねじり多軸疲労試験装置

#### 3. 2. 2 軸・ねじり多軸疲労試験

**概要** 結晶構造が異なる数種類の材料を用いて, 全ひずみ制御の比例および非比例負荷の多軸低サイクル疲労試験を実施し, 非比

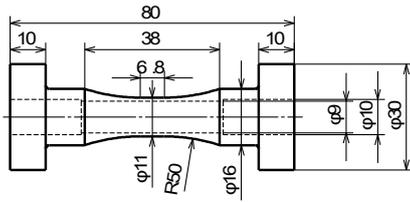


図5 薄肉円筒試験片形状・寸法(mm)

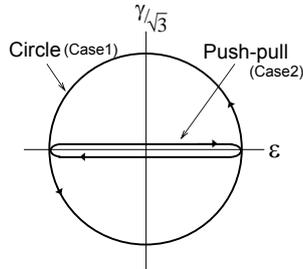


図6 ひずみ負荷経路

例負荷による寿命低下と応力増加の関係について系統的に調べるとともに、筆者らが提案したひずみ基準の寿命評価式で定義されるパラメータ  $\alpha$  について考察した。

**試験材料および試験条件** 本研究で用いた供試材は、10種類の機械構造材料でその一覧を Table 1 に示す。表中の CS は結晶構造で、FCC および BCC はそれぞれ面心立方晶および体心立方晶を示す。なお、Sn-8Zn-3Bi は低融点合金で特異な組織を有していることから結晶構造は示さないが、後述する寿命の整理結果では BCC と一緒に示した。また、 $A$ 、 $B$ 、 $\alpha$  および  $\alpha^*$  は、後述する寿命評価で用いる材料依存のパラメータである。試験片形状および寸法は、図 5 に示す外径 12mm、内径 9mm の薄肉円筒試験片である。

疲労試験は、室温大気中において、全ひずみ制御で実施した。また、評点間距離は 7mm で、ひずみ速度はミーゼス型の全ひずみ基準で 0.1%/s 一定とした。試験に用いたひずみ経路は、図 6 に示す Case 1 および Case 2 の 2 種類である。すなわち、単軸の引張・圧縮負荷 (Case 1) および軸ひずみ  $\epsilon$  とせん断ひずみ  $\gamma$  が 90 度の位相差で負荷される円形負荷 (Case 2) である。ここで、Case 2 の試験はひずみの主軸方向が時間的に変化する非比例負荷である。本試験での破損寿命 ( $N_f$ ) は、1 サイクル中の応力範囲がその最大値の 3/4 となる繰返し数または破断した繰返し数とした。

本研究では、各材料の機械的性質および繰返し応力-ひずみ関係を得るために引張試験および多段振幅変動試験 (ステップアップ試験) を実施した。後者の試験では、非比例負荷による応力増加を調べるため Case 1 および Case 2 のひずみ経路で行った。

表1 試験材料および材料パラメータ一覧

Material	CS	A	B	$\alpha$	$\alpha^*$
SUS316	FCC	0.010	0.93	0.75	0.75
SUS304		0.012	1.30	0.90	0.80
SUS304 (923K)		0.011	0.11	0.40	0.52
SUS310S		0.009	0.92	0.76	0.75
6061Al		0.018	0.16	0.41	0.48
SGV410	BCC	0.008	0.85	0.39	0.85
S25C		0.008	0.54	0.28	0.65
S45C		0.011	0.78	0.20	0.40
S55C		0.012	0.48	0.24	0.45
Sn-8Zn-3Bi		—	0.011	0.02	0.17

**非比例疲労寿命評価式** 多軸低サイクル疲労寿命は、ステンレス鋼や炭素鋼ではミーゼス型の相当全ひずみ範囲で寿命を整理すると、Case 2 の  $N_f$  は Case 1 の  $N_f$  に比べて応力増加を伴って低下し、それは材料に依存することが報告されている。また、それらの関係は、結晶構造による違いも報告されている。著者の一人は非比例多軸低サイクル疲労寿命評価式として、主ひずみ基準の非比例ひずみ範囲  $\Delta\epsilon_{NP}$  を提案した。

$$\Delta\epsilon_{NP} = (1 + \alpha f_{NP}) \Delta\epsilon_I \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\epsilon_I$  は非比例負荷での最大主ひずみ範囲である。また、 $\alpha$  は非比例負荷の影響の材料依存性を示す係数であり、非比例繰返し負荷による応力増加 (追硬化) の程度を表している。すなわち、ひずみ範囲が十分大きいひずみ範囲の試験で同一ひずみでの Case 1 に対する Case 2 の応力振幅の増加割合で定義される。一方、 $f_{NP}$  は非比例負荷係数で、ひずみ経路の非比例負荷の強さを表すパラメータである。 $f_{NP}$  の値は、Case 1 では  $f_{NP}=0$  (比例負荷)、Case 2 では  $f_{NP}=1$  となる。

**結果および考察** 10 種類の材料の非比例多軸負荷での寿命と繰返し硬化特性について考察する。各材料の非比例負荷による寿命低下の程度を定量的に評価するため、Case 1 と Case 2 の寿命が一致するように式(1)の  $\alpha$  を決定した。なお、追硬化による応力増加で評価した  $\alpha$  と区別するため  $\alpha^*$  と表記した。また、各材料の試験本数が少ないため、寿命線図を次式の共通勾配法 (Universal slope) に準じて表した。

$$\Delta\epsilon_{NP} = (1 + \alpha^* f_{NP}) \Delta\epsilon_I = AN_f^{0.12} + BN_f^{0.6} \quad (2)$$

ここで、各材料の係数および  $\alpha$  と  $\alpha^*$  および  $A$  と  $B$  の各値は表 1 で示した通りである。なお、 $A$  は共通勾配法の定義に従い  $A=3.5\sigma_B/E$  とし、 $B$  は式(2)が Ten-com の寿命に一致するように決定した。また、 $\alpha$  はステップアップ試験の結果から求めた非比例負荷による追硬化の程度から求めた。

図 7 に各材料の  $\alpha$  と  $\alpha^*$  の関係を示す。図中の ○ および ● プロットはそれぞれ FCC 材と BCC 材を、左半分白の ◆ は Sn-8Zn-3Bi の結

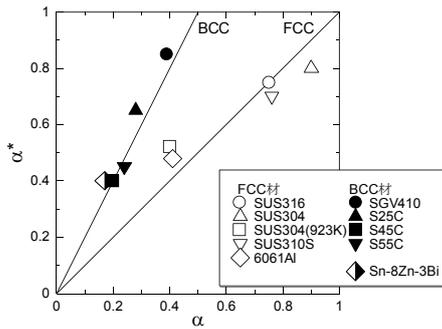


図7  $\alpha^*$  と  $\alpha$  の関係

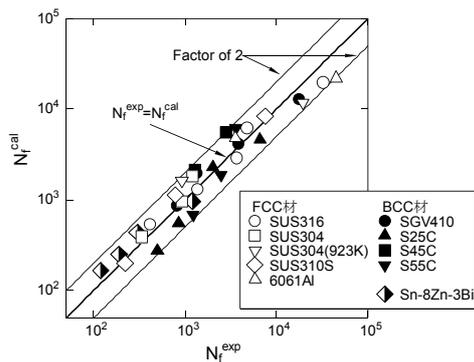


図8 予測寿命と実験寿命の比較  $N_f^{cal} - N_f^{exp}$ .

果を示している。同図の結果に示すように、 $\alpha$  と  $\alpha^*$  の関係は結晶構造の違いによる差はあるものの、各結晶構造材で次式の比例関係があることがわかる。

$$\alpha^* = k\alpha \quad \begin{cases} k = 1 & \text{for FCC} \\ k = 2 & \text{for BCC} \end{cases} \quad (3)$$

図8は、式(2)のCase 1の寿命線図を基に、Case 2の寿命を式(1) ( $\alpha^*$ 使用)で求めたひずみ範囲から予測した破損寿命 ( $N_f^{cal}$ ) と実験で得た破損寿命 ( $N_f^{exp}$ ) との関係を示す。試験した10種類のほぼすべてのデータが係数2の範囲で良い整理結果が得られた。

#### まとめ

1. 非比例ひずみ範囲  $\Delta\epsilon_{np}$  の依存性を表すパラメータ  $\alpha$  は、非比例負荷による追硬化だけでなく、結晶構造にも依存した。
2.  $\Delta\epsilon_{np}$  の  $\alpha$  を非比例負荷による寿命低下の程度から決定した  $\alpha^*$  に置換えると、各種材料の非比例多軸負荷の  $N_f$  を統一的に評価できる。
3.  $\alpha$  と  $\alpha^*$  は良い相関があり、その傾きは結晶構造に依存した。

#### 3. 3 設計基準の構築

応力やひずみの主軸方向が時間的に変化する非比例多軸の疲労では、破損寿命が負荷経路に依存する。したがって、非比例多軸疲労での破損寿命評価では負荷経路を考慮す

る必要がある。しかし、主軸方向が時間的に変化する場合の適切な応力およびひずみの定義法についてはまだ明確にされていない。また、このことが非比例負荷を受ける構造物や構造物の疲労強度設計基準を開発する上での一つの障害となっている。そこで、伊藤らが既に提案している平面応力状態での応力・ひずみおよび同範囲の記述方法を、汎用性のある3軸応力・ひずみ状態に適用可能な記述方法に改良した。さらに、非比例負荷の影響の度合いを示すパラメータ  $f_{NP}$  を提案した。

非比例を含む多軸負荷での応力・ひずみの大きさ  $SI(t)$  とその主軸方向の変化角を  $\xi(t)$  および  $\zeta(t)$  を用いて極座標系上に表すことにより、3軸応力・ひずみ状態での負荷経路の3次元表示が可能となり、応力・ひずみ範囲を求めることができた。さらに、寿命に及ぼす非比例負荷の影響を大きさの表す非比例負荷係数  $f_{NP}^*$  を線積分で定義することにより、3軸応力・ひずみ状態の負荷経路にも対応できることを示した。

上記の手法は、実機負荷での複雑な応力・ひずみ挙動を比較的簡易に示すことが可能となった。今後は、この手法を用いて、多軸負荷に対する特別な知識がなくても設計・開発の現場で解析が容易に行うことのできる計算・解析ツールの開発へと展開する。

#### 4. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

① Takamoto Itoh, Tomohiko Ozaki, “Low Cycle Fatigue Life Prediction of Notched Specimens Under Proportional and Non-proportional Loadings”, JSME, Journal of Solid Mechanics and Materials (Special Issue on M&M2008), Vol.3, No.3 (2009), pp. 475-486. <学術論文, 査読有>

② 旭吉雅健, 伊藤隆基, 坂根政男, “電子デバイス用はんだ熱疲労試験装置の開発”, 材料, Vol.58, No.2 (2009), pp.162-167. <学術論文, 査読有>

③ Takamoto Itoh, Masao Sakane, Yuuta Shimizu, “Determination of Stress and Strain Ranges and Mean Values Under Multiaxial Loading”, The 12th International Conference of Pressure Vessel Technology (ICPVT-12), Jeju Island, Korea, (2009.9.20-23, CD). <国際会議・フルペーパー査読有>

④ Tao Yang, Takamoto Itoh, “Multiaxial Low Cycle Fatigue Life Prediction of Different Materials under Non-proportional Loading (Crystal Structural Dependence of Life and its Evaluation)”, The 12th International Conference of Pressure Vessel Technology (ICPVT-12), Jeju Island, Korea, (2009.9.20-23, CD). <国際会議・フルペーパー査読有>

⑤Dimitar Tchankov, Masao Sakane, Takamoto Itoh and Naomi Hamada, "Crack Opening Displacement Approach to Assess Multiaxial Low Cycle Fatigue," International Journal of Fatigue, Vol. 30, No. 3 (2008), pp.417-425. <学術論文, 査読有>

⑥ Takaei Yamamoto, Takamoto Itoh, Masao Sakane, Naomi Hamada, "Low Cycle Fatigue under Stress Controlled Non-proportional Loading for 1070 Aluminum and 304 Stainless Steel", Sixth International Conference on Low Cycle Fatigue (LCF6), Berlin, Germany, (2008.9.8-12, CD). <国際会議・フルペーパー査読有>

[学会発表] (計 12 件)

①中村 寛, 高梨正祐, 伊藤隆基, 清水祐太, 「非比例多軸負荷における Ti-6Al-4V の疲労き裂進展挙動」, 日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス, 2009.7.24-26, OS0741 (CD-ROM).

②伊藤隆基, 清水祐太, 中村 寛, 高梨正祐, 「非比例多軸負荷における Ti-6Al-4V の低サイクル疲労寿命」, 日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス, 2009.7.24-26, OS0740 (CD-ROM).

③伊藤隆基, 清水裕太, 山本隆栄, 坂根政男, 濱田直巳, 「応力制御下における SUS 304 ステンレス鋼および 1070 アルミニウムの非比例多軸低サイクル疲労寿命評価」, 日本材料学会 第 58 期学術講演会論文集, 737, 2009.5, pp.423-424

④清水祐太, 伊藤隆基, 中村 寛, 高梨正祐, 「非比例負荷における Ti-6Al-4V の多軸低サイクル疲労寿命特性」, 北陸信越支部第 46 期総会・講演会, 2009.3.7, pp.7-8

⑤楊 涛, 伊藤隆基, 「非比例負荷における多軸低サイクル疲労寿命の材料依存性」, 北陸信越支部第 46 期総会・講演会, 2009.3.7, pp.9-10

⑥山本竜太, 伊藤隆基, 尾崎智彦, 「FEM 解析による切欠試験片の非比例多軸低サイクル疲労寿命評価」, 日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス, 2008.9.12-18, PS11 (CD-ROM).

⑦寺島隆介, 伊藤隆基, 「Sn-37Pb および Sn-3.5Ag はんだ接合試験片の多軸低サイクル疲労寿命」, 日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス, 2008.9.12-18, PS10 (CD-ROM).

⑧山本隆栄, 伊藤隆基, 坂根政男, 「Sn-8Zn-3Bi はんだのクリープ疲労寿命に及ぼす弾性追従の影響」, 日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス, 2008.9.12-18, GS0301

(CD-ROM).

⑨橋本龍太, 山本隆栄, 伊藤隆基, 坂根政男, 濱田直巳, 「応力制御下における 1070 アルミニウムおよび SUS304 ステンレス鋼の多軸低サイクル疲労寿命」, 日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス, 2008.9.12-18, OS0704 (CD-ROM).

⑩尾崎智彦, 伊藤隆基, 「非比例・多軸疲労における応力・ひずみの定義法」, 日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス, 2008.9.12-18, OS0702 (CD-ROM).

⑪山本竜太, 伊藤隆基, 尾崎智彦, 「非比例負荷における切欠試験片の多軸低サイクル疲労寿命評価」, 日本材料学会第 57 期学術講演会講演論文集, 2008.5.25, pp.425-426.

⑫尾崎智彦, 伊藤隆基, 「非比例多軸負荷における SUS316NG および SGV410 切欠材の低サイクル疲労寿命」, 日本機械学会北陸信越支部第 45 期総会・講演会講演論文集, No.087-1, 2008.3.8 (福井市), pp.39-40.

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 金属熱疲労試験機

発明者: 堀川純, 坂根政男, 伊藤隆基, 旭吉雅憲

権利者: 堀川純, 坂根政男, 伊藤隆基, 旭吉雅憲

種類: 特許

番号: 2008-58017

取得年月日: 2008 年 3 月 13 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.u-fukui.ac.jp/ResearchActivities/>

5. 研究組織

(1)研究代表者

伊藤 隆基 (ITOH TAKAMOTO)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 40242581

(2)研究分担者

山本 隆栄 (YAMAMOTO TAKAEI)

大分大学・工学部・助教

研究者番号: 20295166

坂根 政男 (SAKANE MASAO)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号: 20111130

(H19→H20: 連携研究者)