

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	森下 高弘 (もりした たかひろ)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1135 号
○授与年月日	2016 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	実機を想定した各種多軸負荷における疲労強度特性および寿命評価
○審査委員	(主査) 伊藤 隆基 (立命館大学工学部教授) 上野 明 (立命館大学工学部教授) 飴山 恵 (立命館大学工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

実機を想定した繰返し多軸負荷における疲労強度特性の把握および疲労寿命評価を目的とし、伊藤・坂根らが提案している非比例多軸低サイクル疲労寿命評価式  $\Delta\epsilon_{NP}$  の実機に近い負荷での疲労寿命評価に対する適応性を検証するとともに、試験結果に基づく改良を加えた。すなわち、実機で発生し得る負荷形態を模擬するために開発した特殊な試験装置および既存の試験装置と高い試験技術を駆使し、非比例多軸高サイクル疲労試験、広域な多軸負荷状態での疲労試験、切欠き試験片を用いた非比例多軸疲労試験および熱疲労を模擬した変動多軸負荷試験を実施し、その試験結果を基に  $\Delta\epsilon_{NP}$  の改良および強化法について論じている。

本論文は、緒論、本論および結論で構成されている。緒論の第 1 章では多軸疲労研究の現状と課題、第 2 章では研究目的と論文構成について記している。本論部分では 6 つの章に分かれている。第 3 章では、非比例多軸負荷に対する応力・ひずみ定義、多軸負荷、損傷評価手法  $\Delta\epsilon_{NP}$  等について説明している。第 4 章では、非比例多軸負荷下における高サイクル域の疲労強度特性および改良疲労寿命評価式について論じている。第 5 章および第 6 章では、広域な多軸疲労試験を可能にすべく開発した試験装置の概要について述べ、未解明であった多軸状態での疲労強度特性の把握とその疲労寿命評価法について論じている。第 7 章では切欠きを有する試験片を用いた多軸疲労試験を実施し、疲労寿命特性を示している。さらに、有限要素解析を基にした、ひずみ分布を基準化するパラメータを導入した  $\Delta\epsilon_{NP}$  を提案している。第 8 章では、熱疲労を模擬した変動多軸負荷試験を実施し、非比例

変動多軸負荷に適応させるための  $\Delta\epsilon_{NP}$  のさらなる改良を加えている。結論では、以上の各章より得られた成果および社会的影響についてまとめている。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文では、多軸疲労の研究分野が抱える多くの未解決部分を解決すべく、実機を想定した各種条件における試験を系統的に実施し、負荷経路および試験片形状が及ぼす変形挙動および疲労寿命特性への影響を明らかにしている。本研究で実施した、非比例多軸高サイクル疲労試験、広域な多軸負荷状態での疲労試験、切欠き試験片を用いた非比例多軸疲労試験および変動多軸負荷試験に関する研究報告例は極めて少なく、また広域な多軸負荷状態での疲労試験を実施するために開発された内外圧／軸・ねじり多軸疲労試験装置は、薄肉円筒試験片に対して主ひずみ比範囲  $-1 \leq \phi \leq 1$  での非比例負荷試験を実施することが可能な唯一の装置である。このことから、本論文は、他の研究機関では実施不可能な難易度の高い条件での試験を実施しており、学術的にも十分な新規性を有する。さらに、本研究で得られた試験結果は実機的设计および維持管理に必要な極めて重要なデータである。

さらに、実機を想定した各種多軸負荷での材料試験結果に基づき、構造部材の疲労寿命評価の高度化に必須となる損傷評価パラメータ  $\Delta\epsilon_{NP}$  の改良および提案も行われている。具体的には、疲労強度付近での非比例負荷による追硬化の低下、有限要素法による局所ひずみの過大評価および繰返し多軸負荷に伴う応力緩和による非比例度の低下を実験的に示している。これらの影響を考慮するために、塑性ひずみのみで非比例負荷の影響を考慮したパラメータ、有限要素解析から得られたひずみ分布を平均値化する手法および負荷経路の重心位置を原点に移動させる評価法を提案している。これらを踏まえた改良  $\Delta\epsilon_{NP}$  が実験結果をよく反映しており、 $\Delta\epsilon_{NP}$  が実機の評価に耐え得るものへと拡張されている。このことは、本論文の成果が多軸負荷下での疲労寿命評価手法のレベルを実験室から産業界への大幅なシフトに成功していると言える。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士学位を授与するに相応しいものと判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2016年7月26日(火)12時00分～13時00分イーストウィング4階機械システム系第1演習室で行われた。各審査委員および公聴会参加者より、数点の説明の補足および表現の工夫などの質問・助言がなされたが、いずれの質問・助言に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。また、

学位申請者は工学的な面においても学術的な面においても国際的に評価される研究を行っており、試験装置の開発および技術的に極めて困難な材料試験を系統的に実施し、その成果の論文 4 編が海外の学術誌に掲載された。そのうちの 1 編は国際会議で論文準優秀賞を受賞しており、さらに論文 3 編は国際的にも評価の高い学術誌での掲載である。このことから、量的ならびに質的に優れた研究業績により後期課程 2 年半の在学での修了が適当と判断した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。