

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	松本 大地 (まつもと だいち)
○学位の種類	博士 (理学)
○授与番号	甲 第 1314 号
○授与年月日	2019 年 3 月 31 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	円筒形弾性シェルの幾何力学:かたちが生み出す硬さとしなやかさ
○審査委員 (主査)	和田 浩史 (立命館大学理工学部教授) 清水 寧 (立命館大学理工学部教授) 是枝 聡肇 (立命館大学理工学部教授) 山口 哲生 (九州大学工学部准教授)

<論文の内容の要旨>

論文の構成：

本論文は、大きく分けて「研究の背景」「先行研究のレビュー」「申請者による研究」そして「基礎的な専門知識を解説した付録」の 4 パートから構成される。以下では、論文の主要部である、申請者自身による研究の内容について要約する。

論文内容の要旨：

本論文は、自由に変形できる端を有する「開いたシェル」の幾何力学的な性質を論じている。弾性理論、数値シミュレーション、模型の作成と計測実験、という 3 つの異なる手法を総合的に運用し、説得力のある結論を導いた基礎研究である。具体的な研究対象は、開端 (自由境界) をもつ準円筒形の薄い弾性シェルである。この基本的な形態は、植物の葉やメジャーテープをはじめとして、自然界と人工物に偏在する。本論文では「集中力によってシェル的一端に誘起した変形が、長軸に沿ってどのように減衰するか」という問題を詳しく解析している。まず、浅いシェルに対して新しいスケーリング則を理論的に予測し、次に、有限要素法による数値シミュレーションと実際の模型を用いた高精度の実験によってこのスケーリング則を検証する。さらに、これらの実験結果から、浅いシェルに対して導いたスケーリング則が、任意の深さのシェルに対して正当であることを見出している。最後に、その事実が、シェルの基礎方程式 (連立の非線形偏微分方程式) の漸近解析によって正当化される。以上の結果は、自発曲率と自由境界が織りなす新たなタイプの相互作用が、開いたシェルにとって本質的に重要であることを示す。

<論文審査の結果の要旨>

論文の特徴：

本論文は、円筒形の弾性シェルがもつ幾何力学的性質を、弾性理論にもとづく解析的手法、有限要素解析による数値的手法、実際の構造物の作成とその計測からなる実験的手法、の3つの独立な手法を調和的に組みあわせ、多方面から明らかにした研究の報告である。総合的な方法論を適用して説得力のある結論を導いた研究であり、基礎科学的にも高い価値を持つ論文であることが認められる。

論文の評価：

薄板やシェルの力学は、構造力学や材料力学における中心的研究課題である。曲面の幾何学と連続体力学の深い結びつきが当該分野の主要なテーマであり、「座屈」や「幾何学剛性」などの主題は、物理学にとって重要な概念に通底している。本論文は、自由境界を持つ準円筒シェルの力学的特性、とくに線形応答を、総合的な手法で徹底解明している。一方、このようなシェルには、大変形にさいして局在化した座屈を示すという顕著な特徴があるが、これらの詳細な解析は今後の課題として残された。しかしながら、本論文は、弾性シェルの最も基本的かつ普遍的な性質である線形応答を徹底解明し、シェルの自由境界が曲げと伸びの力学的バランスを本質的に変化させる、という物理学的にも新しい知見を、非常に説得力のある形で実証した。円筒形シェルは、展開収納可能な支持および骨組み構造として宇宙工学などで盛んに研究されており、類似の機構は自然界にも数多くみいだされる。自由境界を持つ新しいタイプのシェルの力学を特徴づける本論文の主題は、新たな工学的応用や生物の仕組みに対する理解を深めるとともに、幾何学と力学の相互作用を活用したしなやかで機能的な構造物のデザイン原理の構築に寄与する成果である。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の公聴会は、2019年1月25日（金）11時00分～13時00分 ウェストウイング7階 数学物理系会議室2において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 松本大地 に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、申請者が構築したスケーリング理論を支える基礎的知識の理解力、数値シミュレーション手法の詳細、実験手法とデータの物理的解釈など、についての質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。審査委員会は、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と確認した。

以上の諸点を総合し、審査委員会は、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（理学 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。