




令和 4 年 8 月 24 日

工学研究科委員長
掛下 知行 殿

審査委員会報告書

審 査 委 員	
(主査) 教授 西嶋 茂宏	
教授 砂川 武義	
教授 三島 史人	

学位論文提出者氏名
平井 正明

学位論文題目
核融合炉用超電導磁石絶縁材料の開発に関する基礎的研究

学位申請受理年月日
令和 4 年 7 月 20 日

1. 学位論文の内容の要旨
別紙論文要旨のとおり

2. 学位論文審査結果の要旨

本論文は核融合炉用超電導絶縁材料の開発に関する研究である。絶縁材料の機械的性質の評価方法の確立とそれを利用した材料開発の論文であり、全 6 章から構成されている。

第一章は序論であり、日本国内のエネルギー事情を背景に、核融合炉に使用される GFRP の重要性を中心に、本研究の目的および意義を述べている。

第二章では、GFRP を中心に有機繊維複合材料の特徴について説明している。特に GFRP 等の繊維強化有機複合材料の重量な特性の一つである層間せん断強度 (ILSS) の評価・測定法について、問題や課題点を挙げその解決する手段を述べている。積層板の ILSS 試験は、一般的に JIS や ASTM で規定された通りに試験を行っても、試験片の層間でせん断破壊することはほとんどなく、短い試験片支持点間隔で行う 3 点曲げ試験のため、圧子側からの曲げモードで破壊し、正確な ILSS を得ることが難しいことを説明した。

第三章では、層間せん断試験の新たな手法を提案している。まず JIS および ASTM 規定の ILSS の試験法についての問題点を明らかにした。引き続きこれらの問題を克服するための新たな手法を開発している。開発した試験方法は、試験片に目違い切り欠き

(板状試験片表裏から異なる場所に入れた切り欠き)を導入し、試験片を長手方向に圧縮することで、切り欠き間で層間せん断破壊を起こさせ、ILSSを評価する手法である。座屈を防止する治具と共に試験することで、薄い試験片でもILSSを求めることができることを実験的に確かめている。また、本手法で求めたILSSの値と、ASTMあるいはJISで求めた値との比較を実施し、取得した値、そのばらつき、破壊モードを総合的に検討し、本手法の有効性を確認している。

第四章では、種々の繊維と織り組織、マトリックスを用いて、層間せん断強度を向上させる方策を検討した。炭素繊維、S2ガラス繊維、Eガラス繊維を用いた織物(平織、朱子織)に、多官能エポキシ/酸無水物系のマトリックスを基本とし、マトリックスにシランカップリング剤およびポリカルボジイミドなる添加剤を付与し、繊維と樹脂との密着性、接着性を向上させることを試みた。その結果、いずれの添加剤もFRPの曲げ強度や圧縮強度には効果はないが、ILSSには強度向上に効果があることを明らかにした。

第五章では、超電導分野および宇宙環境を想定し、真空環境下における有機複合材料の劣化機構の一つと考えられる真空中における樹脂単体の蒸発や各有機複合材料の真空下における重量減少率、機械的強度、さらには放射線照射後(吸収線量5Gy)の真空下における重量減少率の変化を測定した。真空下における重量減少率は、マトリックスにシランカップリング剤を添加することで、繊維と樹脂の密着性・接着性が向上し、FRPとしての重量減少を軽減できることを明らかにしている。また、照射により重量減少率が増加することを明らかにし、その対策の必要性を指摘している。

第六章では、本研究の結果を総括し、得られた成果をまとめている。

以上のように本論文は、核融合炉用超電導磁石絶縁材料の機械的試験方法の確立、さらにその手法を利用した材料開発について述べたものであり、国内外でその有用性が認められている。大学院在籍中、2報の学術論文を発表するとともに、国際学会で2件、国内学会で1件の発表を行っている。

以上、平井正明氏は、研究課題の発案から推進、さらに論文作成まで、博士研究者として十分な能力を有しており、また、本論文は博士(工学)の論文として学術上、価値あるものと認める。

3. 公聴会の日時

令和4年8月3日(水) 14:20-15:40

4. 最終試験結果の要旨

令和4年8月3日(水)、論文内容およびそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

5. 審査委員会の所見

審査の結果および最終試験結果等を考慮して、申請者は博士(工学)の学位を授与される資格を有する者と認める。