

氏名	すだ みつりの <b>須田 充訓</b>
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第837号
学位授与の日付	平成29年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブプロ科学専攻
学位論文題目	<b>Study of Paper-tube Properties</b> (紙管の特性に関する研究)
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 教授 横山敦士 教授 桑原教彰 准教授 来田宣幸

## 論文内容の要旨

本論文では、紙管の製造における技術の継承に関する研究と、紙管の主材料である板紙の特性と紙管の物性との関係、および紙管の破壊について検討した。本論文の構成は緒言と結言及び5つの章で、以下にその概要を示す。

第1章では本研究に至る背景として、紙管がエコロジーな商品であることと、そのリサイクルフロー、主要な用途、紙管業界の現状、ユーザーからの紙管の強度に対する要望などを述べ、本研究の必要性を示した。

第2章で紙管の製造過程における技術伝承に関する研究成果を述べた。小規模、中規模経営の町工場の職人的雰囲気の中で、伝承手段としては熟練者の「言葉と行動」によるところが多く、短期間での技術者養成は困難な環境ではある。そこで熟練者と非熟練者の行動の差の調査を行った。接着剤や滑り剤の塗布量、ベルトの角度や引張力、紙の性状判断や引張力の調整、それらの複次的同時的な調整対応など、熟練者の複雑な行動を分析した。

第3章は紙管の主材料である板紙の特性について、多層構造である事と異方性を有している事を述べた。板紙は引張強度、圧縮強度、剥離強度の3種類の強度が指標として一般的である。それらの測定に関してはJISや紙業界の測定方法があるが、せん断強度の測定方法は規格がなく、独自の測定方法を考え出し、本章で紹介した。原料の古紙の種類や、紙力増強剤、層間内のでんぷんの添加の有無の違いにより、特性の違う板紙を選び、強度を測定し、板紙の特性を調査した。

第4章は第3章で調査した板紙の強度の物性をふまえ、厚みや物性の違う板紙を用いて様々な紙管の設計をしたうえで、板紙の強度の物性と紙管の物性との関連を調べた。そのデータを統計学的に分析し、板紙の強度と紙管の強度との関連を分析した。従来、紙管業界では板紙の圧縮強度が、紙管の横圧縮強度に一番影響が大きいと言われてきたが、板紙の剥離強度の影響が一番大きいことが分かり、紙管用の板紙の製造設計においては引張強度や圧縮強度を高くするよりも、製紙段階での層間へのでんぷんの吹付等の手段で、剥離強度を高めることが有効であることが分かった。

第5章は横圧縮実験における紙管の破壊を観察した。特に紙管の初期破壊に注目し、有限要素法により応力解析を行った。これにより紙管の材料の弾性率と接着剤の塗布量を知ることで、有

限要素法の手法で紙管の強度を予測できるようになるとともに、紙管の設計においては、初期破壊の発生する内面から 2 層目 3 層目において剥離強度の高い材料を採用することで、より横圧縮強度の高い紙管が設計できることが分かった。

第 6 章では、紙管に樹脂、炭素繊維、ガラス繊維、テープなど他素材のものの表面塗布や巻き付け加工により複合材料としてどのように性状が変化するかを調べた。これにより将来、紙だけでは作ることが出来ない強度のある紙管の製造方法の開発や新商品開発につながることを示した第 7 章で、各章で得られた知見をまとめ、結言を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

紙管が古紙を原料とした板紙から作られ、また使用後は古紙に戻るという、循環型のリサイクル商品であることから、「環境配慮型」の材料として利用の促進を期待されるものであるが、製造会社は小規模、中規模経営であり、製造における技術革新や構造物としての物性の研究が進んでいなかった。本論文は、紙管製造における技術継承を短期間で行うべく、作業動作の違いの分析から熟練者の技術のポイントはどこにあるかを検討しており、町工場的モノづくり現場での技術継承の研究モデルの一つになりうると考えられる。また材料としての板紙の物性と、その構造物としての紙管の物性の関係を示しているが、従来の紙管業界としての「根拠なき常識」を検証すべく、板紙のどのような強度が紙管に必要とされているかを検討し、様々な物性の持つ板紙で紙管を製造し、その板紙の物性と紙管の強度の関連を調べ、その関係において統計学的手法を用いて示しているところが大きな特徴である。また紙管の横圧縮における破壊を知るべく、有限要素法によるシミュレーションを活用することは本論文において初めて実現された。これにより設計上の紙管の強度の予測が可能となり、紙管用板紙の強度設計、および紙管の強度向上に寄与出来る設計に関して指針を与えたことは工学上意義深い。

本論文の内容は次の 4 報に報告されており、すべて申請者が筆頭著者である。

1. Difference of Technics between Expert and Non-expert on Producing of Paper Tubes  
**Mitsunori Suda**, Takanori Kitamura, Kanta Ito, Suguru Teramura, Kenniti Ueda, Hiroyuki Hamada, Tomoko Ota  
*Proceedings of 13<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Udonthani, Thailand, 1-4 December 2016*
2. DELAMINATION BEHAVIOR OF LAMINATED PAPER  
**Mitsunori Suda**, Wei Wang, Takanori Kitamura, Kanta Ito, Kenji Wada, Zhiyuan Zhang, Yuqiu Yang, Hiroyuki Hamada  
*Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2014-38099, 2014*
3. EFFECT OF PAPER PROPERTY ON MECHANICAL PROPERTY OF PAPER TUBE  
**Mitsunori Suda**, Takanori Kitamura, Ratchaneekorn Wongpajan, Zhiyuan Zhang  
*Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2015-51392, 2015*
4. A NEW PAPER TUBE LAMINATED BY PLASTICS  
**Mitsunori Suda**, Defang Zhao, Takanori Kitamura, Kanta Ito, Kenji Wada, Zhiyuan Zhang, Yuqiu Yang, Hiroyuki Hamada  
*Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition,*

IMECE2014-38112, 2014

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。