

氏名	きたむら たかのり 北村 貴則
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第817号
学位授与の日付	平成28年9月26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 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	The Research of Paperboards Materials on High Utilization (板紙の高度利用に関する研究)
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 桑原教彰 教授 西村寛之 株式会社プレジール取締役副社長 野村 学 東華大学準教授 陽 玉球

論文内容の要旨

現在わが国においては、資源の枯渇、廃棄物の増加の問題から、物質の効率的な利用やリサイクルを進めることにより、資源の消費が抑制され、環境への負荷が少ない「循環型社会」を形成することが急務となっている。紙のリサイクルは森林の保護およびエネルギー放出の抑制といった観点から広く利用されている。日本では2014年時点で、古紙の回収率が80.8%、その利用率が63.9%を達成した。2014年の再生紙の輸出量は国内で再生された再生紙の21.1%を占めており、再生紙ができるだけ多く使用される機会が与えられていることになる。紙は現代社会においてなくてはならない生活必需品であると同時に、産業や文化を側面から支えている。一般に紙と呼んでいる物は、紙と板紙にわけられ、紙とは新聞、雑誌、印刷用紙、コピー用紙、包装用紙、ノート、ティッシュペーパー等である。一方、板紙とは段ボール、紙箱等で、厚い紙であり、紙の構成は1層から8層、9層のような多層で形成されている。

本論文は紙のリサイクルにおいて、現在古紙の回収率の増加に比べ利用率が増えない現状から、「板紙の高度利用に関する研究」として、紙の中でも板紙に焦点を当て、単なる板紙の応用利用としてではなく、板紙にさらなる価値を加えて、それ以外の利用方法の拡充を考えた。3つの高度利用の提案を主に、リサイクル板紙を板紙および板紙複合材料の配向性、強度面、機能性の特性を活かし、従来の素材に代わる高度利用に関する研究をした。

その前提として第2章では、板紙における異方性について述べた。紙の縦方向および横方向は抄紙機の進む(流れ)方向MD(Machine Direction)と抄紙機の幅方向TD(Transverse Direction)に従って定義し、9層構造で異なる原料、針葉樹由来の古紙、針葉樹と広葉樹由来ミックスの古紙、広葉樹由来の古紙から構成される3種類の板紙を用いて、その機械的特性および繊維配向を比較した。引張り試験結果はいずれも針葉樹由来、針葉樹と広葉樹のミックス、広葉樹由来の古紙の板紙の順で強度が高い数値を示した。3種類の板紙の弾性率の試験結果と、複合材料の積層理論を用いた計算結果を比較し同様の傾向を得た。MD、TDの異方性が確認でき、異方性が製造工程によって生じることが明らかとなった。

第3章では、1つ目の提案であり、より広い分野で板紙が使用されるようにするため、板紙複合材料

paperboard fiber reinforced plastic (PFRP)を開発した。引張強度および粘度が異なる3種類の熱硬化性樹脂(150HR、R806、LP-1)および針葉樹由来の古紙からなる板紙を用いて複合材料を成形し、引張り試験、曲げ試験、衝撃試験を行いその機械特性を調査した。その結果、板紙複合材料においては、板紙に比べ弾性率および強度の向上が確認でき、異方性が緩和されていた。使用した樹脂150HR、R806およびLP-1を比較すると、引張り試験、曲げ試験及び衝撃試験においてLP-1を使用した複合材料が最も高い強度を示し、ガラスマット複合材料に近づいた。第4章では、1層と10層の板紙複合材料における引張試験、曲げ試験及び疲労試験について述べた。疲労試験においては円孔の有無の影響について試験を行った結果、板紙複合材料はガラスマット複合材料よりも高い疲労寿命を示した。

第5章では、2つ目の提案として、通常の板紙と同様の製造方法を用いて、炭素繊維やジュート繊維を含有した新たなハイブリッド板紙を開発し、それらを用いて板紙複合材料をつくり、その機械特性や破壊を評価した。炭素繊維は従来の製造法では成形が困難と予測されたので、PE繊維バインダーとして使用した。従来の板紙複合材料と新たな2種類のハイブリッド板紙複合材料を比較した結果、衝撃試験においては炭素繊維を用いたハイブリッド板紙複合材料が最も高いエネルギー吸収能力を示したが、引張特性および曲げ特性においては、従来の板紙複合材料が優れていた。そこで作成法を見直し、バインダーとして使用しているPE繊維を用いない炭素繊維ハイブリッド板紙複合材料を作成し試験した。引張強度は紙複合材料より約67%向上した。また板紙複合材料、炭素繊維ハイブリッド板紙複合材料、ガラスマット複合材料の比弾性率および比引張強度を比較し、検討した。

第6章では、3つ目の提案である竹炭の粒子を含有させた新たな新機能板紙の開発を行った。竹炭を多層構造となっている板紙の中間層に入れ、脱臭の効果について検討した。また壁紙材として用い、竹炭による空間環境の変化や人体に与える影響についてのアンケートによる印象評価を行ったところ、“落ち着ける”、“集中できる”等、良好な結果を得た。

論文審査の結果の要旨

本論文では、従来の板紙の応用利用だけではなく、他の利用方法の拡充を検討し、3つの高度利用を提案している。紙の異方性の検討においては、板紙弾性率の実験結果と、積層理論を用いた繊維配向から求めた計算結果は近い値を示した。このことは板紙の諸物性については、積層複合材料としての取り扱いが妥当であることを示しており、工学上意義がある。高度利用では第1に、樹脂を用いた板紙複合材料の開発は従来の板紙よりも高強度の材料になりうることを発見し、第2に、紙とほかの繊維とのハイブリッド化を行うことで、板紙や板紙複合材料よりも優れた物性を有することを示した。これらは他の複合材料の代替や補完となり得、工業的に原材料コストの低減の可能性が予期できる重要な事実である。第3に、板紙への竹炭の混入という新機軸を示し、さらに脱臭効果および学習効果への好影響を検証できた点は、板紙の機能向上として有効であり、今後における紙と様々な物質との複合材料の開発の好例として期待できる。このように3つの高度利用が進むことで古紙の再利用が進み環境負荷の低減につながることから、本論文における提案は社会的に重要な意義を持つものと認められる。

本論文の内容は次の7報に報告されている。

1. 多層抄き板紙における異方性の研究

北村 貴則 伊藤 幹太 寺村 卓 張 志遠 北井 啓介 鈴木 陽

2. **MECHANICAL PROPERTIES OF PAPER THERMOSETTING RESIN COMPOSITES BY VARIOUS PAPER MATERIALS**
Takanori Kitamura Qianjin Zhang Kanta Ito Suguru Teramura Zhiyuan Zhang Yuqiu Yang Hiroyuki Hamada
Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2014, IMECE 2014-37798(2014)
3. **EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES ON PAPERBOARD REINFORCED THERMOSETTING COMPOSITES**
Takanori Kitamura, Kanta Ito, Suguru Teramura, Zhiyuan Zhang, Hiroyuki Hamada
Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, Vol. 3, January 2014, pp. 2684-2688
4. **Application of Multilayered Paper Processing to Hybrid Random Natural Fiber Mat**
Takanori Kitamura, Kanta Ito, Suguru Teramura, Zhiyuan Zhang, Hiroyuki Hamada
Energy Procedia, Vol. 56, 2014, pp. 247–254
5. **Application of paper processing on carbon, jute and paper fiber reinforced plastic**
Takanori Kitamura, Zhiyuan Zhang, Mitsunori Suda, Kanta Ito, Suguru Teramura, Keisuke Kitai, Hiroyuki Hamada
Energy Procedia, Vol. 89, 2016, pp. 231-238
6. **MECHANICAL PROPERTY AND FRACTURE BEHAVIOR OF THERMOSETTING FRP REINFORCED CARBON FIBERS AND PAPERBOARD**
Takanori Kitamura, Keisuke Kitai, Kanta Ito, Suguru Teramura, Zhiyuan Zhang, Hiroyuki Hamada
Proceedings 20th International Conference on Composite Materials, (2015)
7. **Mechanical Property and Function of Bamboo Charcoal Paperboard**
Takanori Kitamura, Kanta Ito, Suguru Teramura, Hiroki Nishimura, Noriaki Kuwahara, Zhang Zhiyuan, Hamada Hiroyuki
Proceedings of the 7th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE2016) and the Affiliated Conferences, Advances in Physical Ergonomics and Human Factors, Vol. 489, pp.321-329(2016)

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