

# 博士論文

## 板紙の高度利用に関する研究

北村 貴則

### 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、板紙とは文字通り厚い紙であり、紙の構成は1層から8層、9層のような多層で形成することにより厚みを出す。

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。板紙複合材料においては市場で多用されているガラスマット複合材料と比較した。

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層構造の異なる原料、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種類の板紙でその機械的特性および繊維配向を比較した。それぞれの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。繊維配向の走査型電子顕微鏡観察では各層MD方向の配向が多いことが確認された。3種類の板紙の弾性率の試験結果と、走査型電子顕微鏡の観察結果より繊維配向を取り出し、複合材料の積層理論を使用し計算した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。また、これらの試験によって発生した破壊についても走査型電子顕微鏡による観察を基に評価を行った。その結果どの板紙複合材料においても、板紙に比べ弾性率および引張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た。引張強度は板紙に比べ約50%向上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ノッチ無し、ノッチ有りをを用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で炭素繊維やジュート繊維を用いた新たな種類の板紙を開発した。これらから構成されたハイブリッド板紙複合材料をつくり、その機械特性や破壊を評価した。樹脂には不飽和ポリエステルを使用し、炭素繊維は従来の製造法ではシート成形が困難と思われ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予想に反し、従来の板紙複合材料が最も優れていた。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繊維が悪影響を及ぼしていると推察し、新たなPE繊維無しの炭素繊維ハイブリッド板紙複合材料を作成し試験した所、予想通り引張強度は高い数値を示した。紙複合材料よりさらに約67%引張強度が向上した。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た所、比弾性率においてMDは板紙複合材料、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順で、TDにおいては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、板紙複合材料の順になった。比引張

強度において MD は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、板紙複合材料の順で、TD においてはガラスマット複合材料、炭素繊維ハイブリッド板紙複合材料、板紙複合材料の順になった。

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。その竹炭を多層構造となっている板紙の中層に入れ、機能性を評価した。初めに脱臭の効果がみいだされた。また壁に竹炭板紙を貼り、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。この結果より、勉強する環境は通常の部屋よりも竹炭板紙を配置した部屋の方が適していると考えられる。