形状切削した古紙の水流作用による比重分別と積層技術を適用した建材開発

DC17139　佐伯 杏菜

1. はじめに

古紙は、再利用しやすい資源であり、長年世界中で利用されてきた。環境に調和し、その大部分が素材（セルロース）からつくられている。しかし近年、古紙の回収率と利用率には、大きな年々差が生じている[1)2)3)]。このような現状には多くの原因が考えられるが、このような事態が続いていくと、国内には利用されず廃棄物となった古紙が溢れ、本来なら再利用することができる資源が、産業廃棄物として処分されてしまう可能性がある。紙は、資源循環性もよく、自然に返すこともできる有能な材料であるが、原料となる材料自体は有限ではない。

本研究では、需要がなく利用されにくくなった古紙を使用して、それらが元々もっている色や特性を生かしつつ、将来、建材製品として長く利用していくことができないかを検討する。「地球環境に配慮した生き方」というロハスの考え方や、SDGs の 12 のゴールにある「つくる責任　つかう責任」を強く意識して、この先の日本の紙資源利用にどのように関係していくかを検討する。なお、海外で広く考えられているサーキュラーエコノミーの考えを取り入れるため、まずは、国内外の古紙事情の調査を行い、現状を把握する。

2. 研究概要

図 1 に研究の流れを、図 2 に研究背景を示す。調査として、年々進む国内の古紙増加、中国への古紙輸入量大幅減少があげられる。また、国内では 2000 年から古紙の回収率が上がり、利用率との差が大きく開き始めており、将来に渡る課題が生じる可能性がある。

研究 1 として、国内外の古紙事情の調査として、文献調査、古紙問屋へヒアリング、古紙処理工場視察を行う。

研究 2 として、水流分別試験に使用する古紙の密度調査、性質調査、切削を行う。

研究 3 として、切削した古紙を用い、水流試験による比重分別で積層させて建材開発を行うことで、再利用しにくい古紙を減らすとともに、古紙に新しい価値を見出す。

3. 海外の古紙リサイクルの状況（研究 1、調査 1）

現代では、古紙に注目が集まりつつあり[3)]、国外では古紙に関連した様々な研究が行われている。主に、インテリア材に改変する再利用が進められており、古紙から家具・建具が作られたりする。それらの研究において、経済循環がされ、経済的に一つの分野として成り立っている。海外では、加工を施された古紙の利用が増加し、「廃棄物を出さな

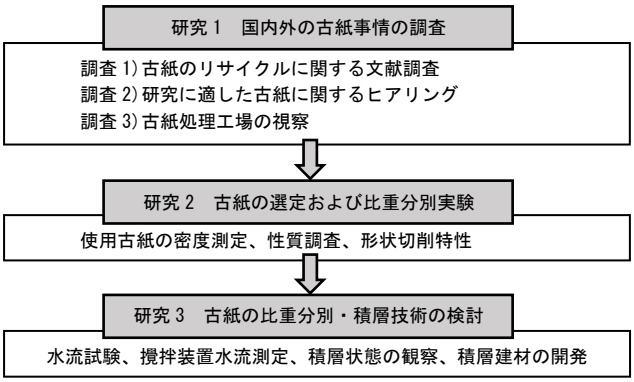
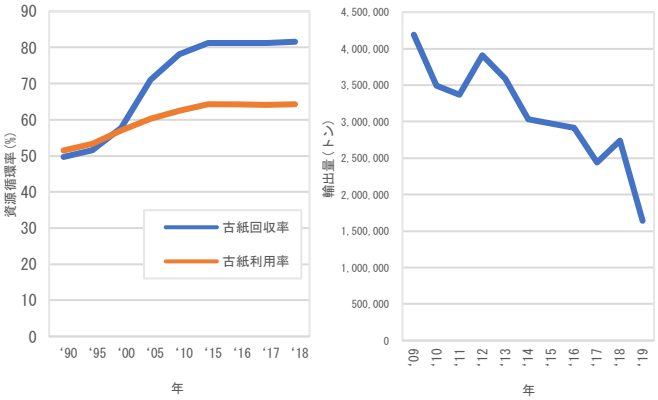


図 1　研究の流れ



a)　国内古紙推移　　b)　中国の古紙輸入量推移

図 2　国内古紙 － 余剰環境の背景

表 1　使用材料（研究 2、3）

項目	内容	項目	内容
スキ色（軽量）	面積密度 10g/m²	水流実験用液体	常温水道水（20℃、7L）
厚紙（重量）	面積密度 37g/m²	積層水排水用材料	脱着用あぶら粘土(白)

表2　実験要因と水準（研究1、2、3）

		実験要因	水準
研究 1	調査 1	文献調査	リサイクル技術資料
	調査 2	ヒアリング	古紙問屋（2020 年 5～12 月）
		対象材料	余剰材となる古紙
	調査 3	視察	古紙問屋処理工場（埼玉県戸田市）
研究 2		紙の性質	スキ色紙 10g/m²、厚紙 37g/m² 形状（円形、正三角形、正方形） 面積（円形:64πcm²、156.25πcm²、361πcm²、正三角形:16√3cm²、21√3cm²、正方形:625cm²、1089cm²）
研究 3		水流試験	密度(g/m²)による分別、形状による分別、大きさによる分離・積層、デジタル流量計（L/min)で水圧測定

いようにする」というメッセージ性を持つ製品も開発されている。世界では、古紙の利用率を上げていくために、様々な取り組みが行われ、古紙や廃棄物が持つ色彩や形などの美しさを楽しもうとする動きも始まっている[4)5)]。ゴミを廃棄物として扱うのではなく、そのままの形でリユースされる傾向も生まれている。

4. 研究に適した古紙・方針の調査（研究 1、調査 2）

表 4 に調査項目、内容を示す。現在、古紙利用率を上げる方法が乏しいことから、古紙の余剰が継続する可能性がある。そのことから、多くの古紙を利用して内装建材分野に利用できる古紙建材の開発を目標に、古紙問屋と計 8 回の議論と 1 回の工場視察を行った。国内の古紙には様々な種類があり、物性も異なるため、研究に適した古紙や研究方針について、古紙問屋へヒアリング調査をした。

本研究の初期段階では、段ボールなどの一般的に再利用しやすい古紙の使用を拡長する考えがあり、ヒアリング調査で UV インクが塗布してある紙が使用されにくく、再利用が困難であることがわかり、使用材料の変更を行った。特に、繊維まで色が付けられている紙や、赤・黒など色の濃い色紙がより多く余り今後問題となることが分かった。

再利用後に長く使用され、事業者の経済循環に貢献できることを加えて、研究方針として定めた。

5. 古紙処理工場の視察（研究 1、調査 3）

写真 1 に古紙処理工場視察の様子を示す。古紙処理工場の視察を行い、研究で使用できる古紙を自らの目で確認し、現在の古紙事情について直接ヒアリングをし、より実証的に研究を深めることを目的とした。

工場には、種類豊富な古紙が運びこまれており、新聞紙一つにしても、折り込みチラシ入り、そうではないものに分けられている。各古紙に需要と供給の解離はあるようで、それによって価格も変動する。また、本来ならすぐに出荷される古紙であっても、需要が乏しい時期は一週間ほど工場に残っている場合もある。また、2020 年はコロナウイルスの影響でダンボールなどは多く回収されてくるが、それ以外の古紙の回収は減少傾向にある。近年、菓子のパッケージなどに使用されている包装紙は、「紙」と書いているものでも 100%紙ではないものがあることから、今後、紙資源に紙ではないセルロース系以外の石油原料由来のものなどが混入してくる恐れがある。

6. 使用古紙の選定と物性調査（研究 2）

6.1　古紙の選定

研究 1 調査 2 において古紙問屋へヒアリングを行い、研究に使用する壁紙材に適した古紙を選定した。

表 3　試験項目と方法（研究 3）

項目	方法
a)密度による分別	密度(g/m)が異なる用紙を同じ形状で切断し、人工的に水流を起こし、用紙同士が周域長さ L と面積 S の L/S 比が関係し凝集する特性が形状(L)に依存する性質を利用し分別。
b)形状による分別	厚みが一定の用紙を同じ大きさ(cm^2)、異なる形状で切断し、人工的に水流を起こし、用紙同士が周域長さ L と面積 S の L/S 比が関係し凝集する特性が面積(S)に依存する性質を利用し分別。
c)大きさによる分別	厚みが一定の用紙を同じ形、異なる大きさ(cm^2)で切断し人工的に水流を起こしその中で、用紙同士が凝集してあつまる特性が密度と形状に依存する性質を利用して、分別。

備考）L/S 比（形状切削による周域長さ／片面面積比）L/S 比（○、□、△）=6.92,16.0,10.4）

表 4　国内の古紙事情の現状調査と研究段階（研究 1、調査 2）

項目	内容
調査先	古紙問屋（埼玉県戸田市）
調査期間	2020 年 5～12 月（ヒアリング、現地調査）計 8 回
課題 1 （研究方向性）	・経済循環に貢献できるものを開発。 ・内装で使用できる建材の開発。 ・古紙を廃棄物にせず利用する。
課題 2（再利用）	・古紙利用率が増加しない。 ・再利用しにくい紙を使用。 ・コンビニのレジ台の下に利用できる可能性。 商品棚と天井の間の余白などに利用できる可能性。
課題 3（処理現場）	・種類ごとに 1×1.1×1.6m（1～1.2t）にプレスされる。 ・今後紙資源に、紙以外が混入してくる脅威がある。 ・黒や赤の紙は、好まれない。 ・相場によって価格が変動する。 ・コロナウイルスの影響で出荷が減っている。 ・シュレッダーくずは、再利用しにくい。
課題 4（排出）	・一定量の水を回して水抜きして試験を行う。 ・紙を比重でコントロール。 ・桶の底から水抜きをして積層にする。
課題 5（建材開発）	・模様の名前にメッセージ性を入れる。 ・複雑な柄を美しいと思ってもらう。 ・デザインが無限に広がる良さ。

a)古紙処理工場とプレス済古紙（研究 1）

b)再利用化古紙（牛乳パックと新聞紙）（研究 2）

c)廃棄古紙（スキ色紙と光沢紙）（研究 2）

写真 1　古紙処理工場と古紙循環処理の実態

6.2　物性調査

各紙 10cm×10cm で切断し､密度(g/m²)の評価を行った。

7. 水流試験による切削古紙分別（研究 3）

7.1　切削古紙密度による分別

表 1 に試験材料を、表 3 に試験項目と方法を、図 3 に事前に測定した流量を示す。水流試験による切削古紙分別のために、桶に穴をあけて排水を行う。水流分別時、穴は粘土で塞ぐ。水を流す際には手動で取り外し、水流分別を行った。

7.1.1 水流試験の評価方法

表 3 の a)に従い、実験を行う。今回は、37g/m² の厚紙、10g/m² のスキ色を､直径 1.5cm の円形に切断して使用し、容器の中心に紙を落とした場合、外周部に落とした場合、それぞれの方法で、密度の異なる古紙がどのような拡散・沈降の動きを見せるのか観察した。

7.1.2 試験結果

写真 3、図 5 に実験結果を示す。古紙を水に落として水流を起こした場合、密度が重い厚紙は直ぐに沈降し、中心の速い水流に引っ張られ、最終的に中心に留まる。スキ色は、最後まで水面に浮き流れの遅い外側を回っていた。以上より、密度の軽い紙と重い紙を分離することができる可能性が確認できた。

7.2　切削古紙形状による分別

7.2.1　試験の流れ

表 3 の b)に従い、実験を行う。今回は、10g/m² のスキ色を、同様の面積となるように円形、三角形、四角形に切断して使用し、それぞれの形状がどのような拡散・沈降の動きをするか観察した。

7.2.2　試験結果

図 6 に実験結果を示す。同じ質量ということで動きに大きな差は見られなかったが、四角形の紙は比較的内側で集合しやすく、四角形と三角形は面積に対する外周の長さが大きいことから、円形よりも紙同士の接触と凝集が多く確認された。

7.3　切削古紙大きさによる分別

7.3.1　試験の流れ

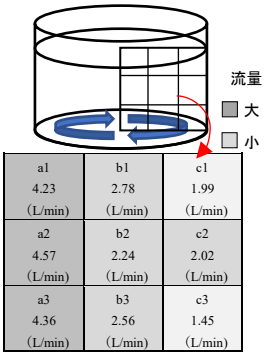
表 3 の c)に従い、実験を行う。今回は、10g/m² のスキ色を円形、三角形、四角形それぞれの形で大、中、小に切断して使用し、 各試験体の動きを観察した。なお、三角形と四角形は、大と中のみとする。

7.3.2 試験結果

図 7 に試験結果を示す。

円形は、面積が大きくなると質量は重くなり、水面に接触する面積が大きくなるので水流に逆らえず、外周部に拡散することがわかった。三角形は、面積が大きくなると他の紙との接触が起きやすくなり、凝集したまま中心に沈降す

写真 3　実験状況(撹拌装置、積層排水装置、撹拌状況)(研究 3)



a1 4.23 (L/min)	b1 2.78 (L/min)	c1 1.99 (L/min)
a2 4.57 (L/min)	b2 2.24 (L/min)	c2 2.02 (L/min)
a3 4.36 (L/min)	b3 2.56 (L/min)	c3 1.45 (L/min)

図 3　撹拌装置の流量の比較

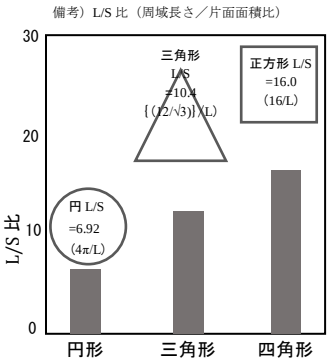
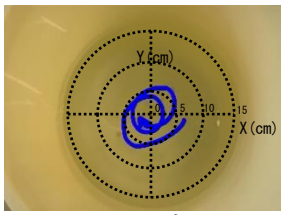
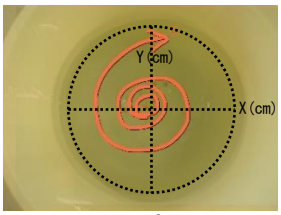


図 4　形状切削時の L/S 比較

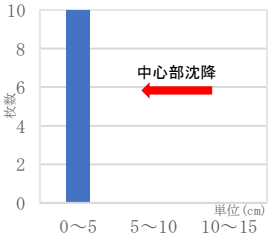


a) 厚紙(37g/m²)の動き

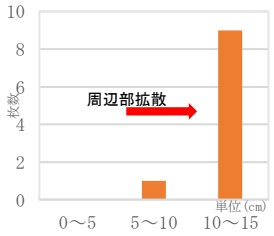


b) スキ色(10g/m²)の動き

写真 3　水流を起こした際の試験体の動き(研究 3)

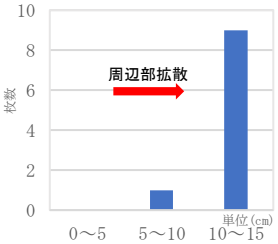


a) 厚紙(重量)

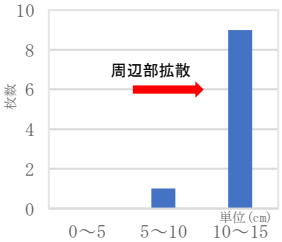


b) スキ色紙(軽量)

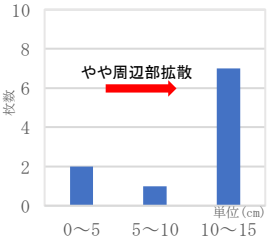
図 5　密度比較による最終到達分布 (研究 3)



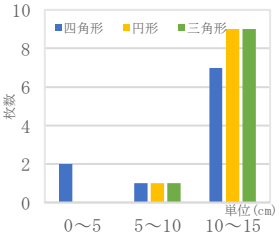
a) 円形切削



b) 三角形切削



c) 四角形切削



d) 三種の比較

図 6　形状比較による最終到達分布(研究 3)

る様子が見られた。四角形も三角形とほぼ同様の様子が見られたが、中心から外周部に満遍なく分散する様子が見られた。

7.4　切削古紙による積層建材の作製

7.4.1　試験の流れ

全ての密度・大きさ・形状が異なる試験体を同時に混ぜて水流で分別させ、試験体がどのような拡散・沈降の動きをするか観察した。

7.4.2　試験結果

図 8 に拡散・沈降の想定図と結果を示す。全ての試験体を混ぜた場合、枚数が多すぎると紙同士が凝集し、それぞれの分離および拡散・沈降の性質を打ち消してしまうことが確認され、作製には一定の枚数制限が必要になることも確認された。

なお、試験の結果から、切削古紙を水流でコントロールが十分に確認されたため、今後、内装建材として空間の一部を構成する建材の開発は可能である。特に重要な視点は、需要のない古紙を利用することで、廃棄物になるはずのものの資源化が可能となる技術の中に、ロハス的要素をわかりやすくテクスチャーに表現することである。一つひとつの模様がランダムに表現されることで、直接ユーザーに刺激を喚起するようなそれぞれに希少価値を生むことが可能だと考えられる。

8. まとめ

1)　現在、国内には多様な古紙が溢れて、再利用しにくい古紙は廃棄物として処分されている。
2)　海外では、廃棄物の利用が当たり前になっている。
3)　古紙の中でも、スキ色と呼ばれる繊維まで染められた紙の需要が下がっている。
4)　紙を水流で分別する場合、主に質量の軽いものは外側へ流され、重いものは中心に留まると考える。
5)　面積が大きいものに関しては、浮力も大きくなることから、外側に流される傾向にある。
6)　紙の水流分別を行うことは可能であると考えられる。
7)　この工法では、模様に関して無限の可能性が広がる。
8)　資源にならないものを再利用することで、経済循環にも良い影響を与えることができると考えられる。

謝辞

本研究は、株式会社大久保との共同研究であり、現在の古紙事情に関しての有益な討論を展開していただくと共に、古紙処理工場見学の機会を頂きました。ここに感謝の意を表します。

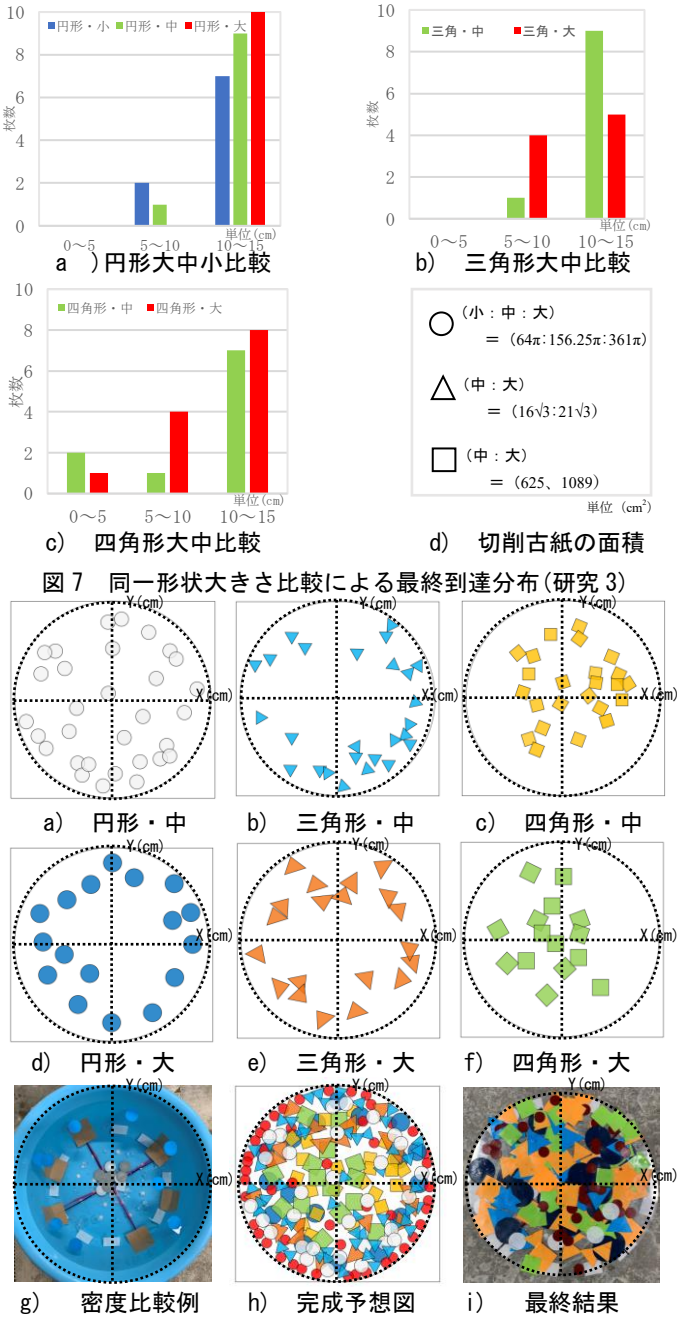


図 7　同一形状大きさ比較による最終到達分布(研究 3)

図 8　密度・形状・大きさ比較による到達分布と積層状態(研究 3)

参考文献

1) 古紙ハンドブック 2019 古紙再生促進センター2019.10,P55
2) 中国古紙輸入統計−古紙再生促進センター(2021 年 1 月引用)
(http://www.prpc.or.jp/document/publications/china-annual-import/)
3) 古紙再生促進センターHP(2021 年 1 月引用)
(http://www.prpc.or.jp/)
4)Anedw H. Dent, Leslie Sherr, Michele Caniato
『MATERIAL INNOVATION PRODUCT DESIGN』,2014 年
5) 環境情報メディア−環境展望台(2021年1月引用)
(https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=65)