

# サステナブルファッションに寄与する廃棄繊維を利用した製紙技術の開発

製紙科 伊藤 彰 河部千香 深沢博之\*  
 浜松工業技術支援センター 繊維高分子材料科 鈴木重好\*\*

## Development of the paper manufacturing technology using waste fibers from textiles to contribute to sustainable fashion

ITO Akira, KAWABE Chika, FUKASAWA Hiroyuki and SUZUKI Shigeyosi

We developed recycled paper using waste fibers from textiles in Enshu, which is in Japan's Shizuoka Prefecture, and succeeded in the trial manufacture of recycled paper containing 30% waste fibers using a factory paper machine at an actual factory. It was confirmed that the paper extracted by the actual machine had the same performance as commercially available printing paper. The recycled paper that has been developed is being used for business cards, shop cards, and other products after exploring its applications with textile-related businesses in Enshu and textile-related organizations in Shizuoka Prefecture.

Keywords: paper manufacture technology, recycle, Enshu textile, cotton fiber

遠州織物の廃棄繊維を原料としたリサイクル紙の開発を行い、廃棄繊維を30%配合したリサイクル紙の工場実機での試作に成功した。実機抄紙した紙は市販の印刷用紙と同等の性能を有する紙であることを確認した。開発したリサイクル紙は、遠州の繊維関連事業者や静岡県内の繊維関連団体と用途探索し、名刺、ショップカードなどに活用されている。

キーワード：製紙技術、リサイクル、遠州織物、綿繊維

### 1 はじめに

ファッション産業では、ファストファッションの台頭により短いサイクルでの大量生産、大量廃棄が行われており、二酸化炭素の大量排出などで環境に多大な負荷を与えている。環境省が調査した2022年の衣料のマテリアルフローでは、国内新規供給量79.8万トンに対して48.5万トンの大量の衣料が廃棄されている<sup>1)</sup>(図1)。そのような状況であることから、衣料の生産、着用から廃棄に至るまで環境負荷を考慮した持続可能なファッションへの取組である「サステナブルファッション」が国の関係省庁や民間団体で急速に広まっている。

本研究では、サステナブルファッションに寄与する一つの手段として、織物工場から排出される端材などを紙の原料としてリサイクルする技術の開発を行い、その紙を排出元の事業者などに活用してもらうことで、循環型社会のモデルケースを示し、サステナブルファッションを推進することを目的とする。

する。



図1 2022年度の衣類のマテリアルフロー<sup>1)</sup>

出典：(株)矢野経済研究所 環境省令和4年度循環型ファッションの推進方針に関する調査業務

### 2 方法

#### 2.1 県内の廃棄繊維に係る調査

県内の織物産地である遠州地区において、遠州織物工業協同組合、天龍社織物工業協同組合に所属する組合員を対象に、廃棄繊維に関する調査を行った。

\* 現 研究調整官、\*\* 現 公益財団法人 静岡県産業振興財団

廃棄繊維の量、素材、色などについて調査し、紙の原料として利用可能であるかを判断した。

## 2.2 繊維リサイクル紙の抄紙条件に係る検討

### (1) 遠州地区の繊維を利用したリサイクル紙の特性

リサイクル紙の特性を把握するため、木材パルプと解繊コットンを所定の割合に混合し、坪量 80g/m<sup>2</sup>の手抄き紙を作製し、密度、比引張強さ、サイズ度（インキのにじみ防止性）、印刷時の表面強さを評価した。手抄き紙を作製する際には、紙力剤はアニオンPAM（ポリアクリルアミド）（添加量は対パルプ固形分 0.83%）及びカチオン澱粉（添加量は対パルプ固形分 0.75%）、サイズ剤はロジン系サイズ剤（添加量は対パルプ固形分 0.40%）を添加した。密度は JIS P 8118、比引張強さは JIS P 8113、サイズ度は JIS P 8122 に準じて測定した。表面強さは万能印刷適性試験機 MPT8000（熊谷理機工業(株)製）を用いて TV（タックバリュー）30 のインキ 0.6mL、印圧 20kg/cm の条件で印刷試験を行い、紙の表面が剥けるまで印刷速度を変えて試験した。

### (2) 繊維リサイクル紙の性能向上に係る検討

比引張強さ、サイズ度の向上については、製紙薬品添加量の調整、紙料調成（原料のフィブリル化）を検討し、印刷時の表面強さの向上については、サイズプレスに用いる薬品の種類や添加量を検討した。サイズプレスで塗工した薬品は PAM（ポリアクリルアミド）と PVA（ポリビニルアルコール）を用い、その効果を比較した。

## 2.3 最適な抄紙方法の探索及び実機抄紙への適用

2.2 で検討した結果から最適な抄紙方法を確立し、富士市内の製紙工場の実機で廃棄繊維を混合したリサイクル紙の抄紙を行った。抄紙した紙は比引張強さ、サイズ度、印刷時の表面強さを 2.2 と同様の方法で測定し、パルプ 100% 製品と比較した。

## 3 結果及び考察

### 3.1 県内の廃棄繊維に係る調査

廃棄繊維に関する調査の結果、遠州地区の小規模事業者では、1ヶ月に数百 kg 程度、大規模事業者では、1ヶ月半から2ヶ月で数十トン程度の廃棄繊維が排出されていた。小規模事業者では生産工程で生じる織物の耳や検査の結果、規格外となった織物などが多く排出されており（写真1）、その素材は製紙用パルプと同様のセルロースを主成分とする綿、

麻が大半であった。また、先染めのものは少なく、大部分は生成り色、白色であった。一方、大規模事業者では、化学繊維を含む生地や染色された生地を多く排出していた。よって、遠州地区の小規模事業者から排出される繊維はリサイクル紙の原料として適していると判断し、本研究で利用することとした。



写真1 遠州地区の廃棄繊維

## 3.2 繊維リサイクル紙の抄紙条件に係る検討

### (1) 遠州地区の繊維を利用したリサイクル紙の特性

遠州地区の廃棄繊維である綿及び麻を乾式で解繊した後に、10%、30%、50%配合した原料をフリーネス約 440mLCSF となるようにリファイナー（熊谷理機工業(株)No. 2500-I）で叩解し、pH6.3 で手抄きシートを作製した。その密度、比引張強さ、サイズ度、表面強さを測定した。

密度及び比引張強さについては、図2、図3に示すグラフより綿、麻ともに繊維の配合割合が高くなるにつれて低下し、綿と麻で大きな差は見られなかった。

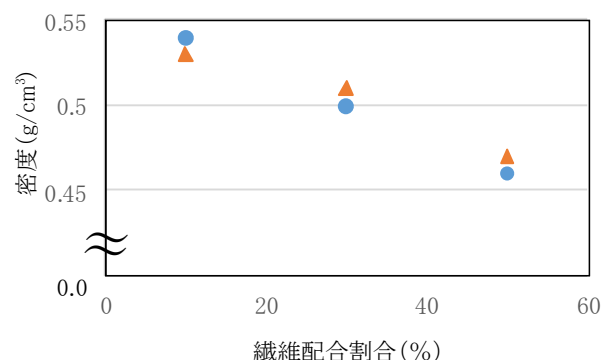


図2 繊維配合割合と密度の関係

●綿 ▲麻

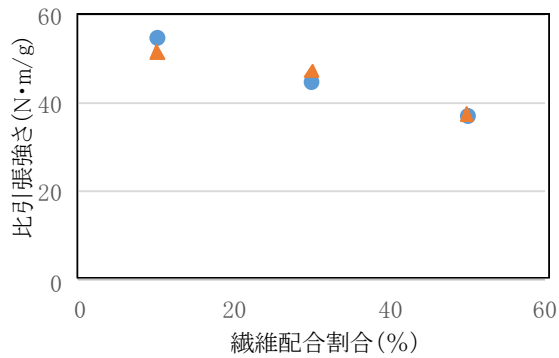


図3 繊維配合割合と比引張強さの関係

●綿 ▲麻

サイズ度については、図4より綿は配合割合に関わらず一定のサイズ度となったが、麻では配合割合が高くなるにつれてサイズ度が低下した。この結果より麻にはサイズ剤が効きにくいと考えられる。

表面強さについては、図5に示すように綿、麻ともに繊維の配合割合が高くなるにつれて低下することが分かった。また、綿より麻を配合した紙が強い傾向となった。

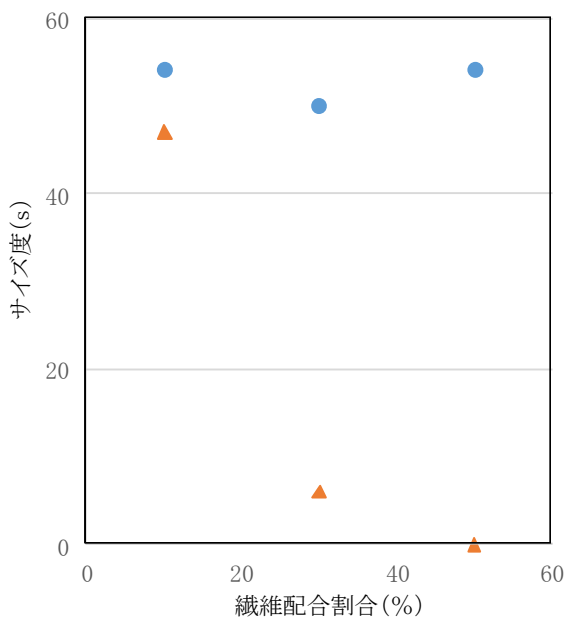


図4 繊維配合割合とサイズ度の関係

●綿 ▲麻

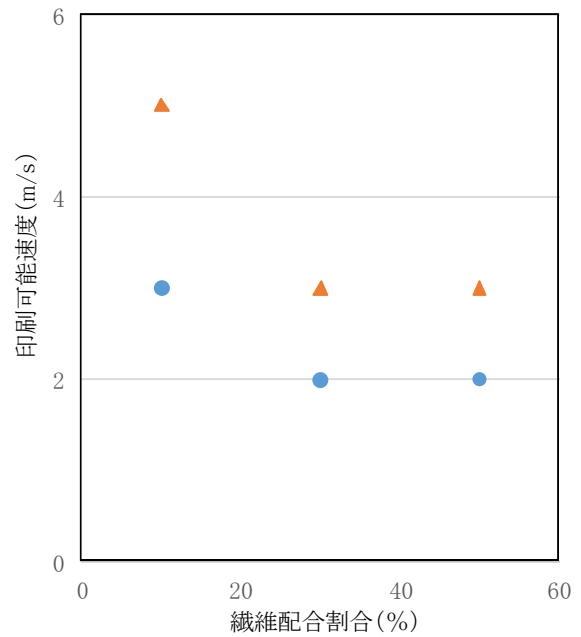


図5 繊維配合割合と印刷可能速度(表面強さ)の関係

●綿 ▲麻

## (2) 繊維リサイクル紙の性能向上に係る検討

図3から分かるように、繊維配合率50%のリサイクル紙では、10%配合品と比較し、比引張強さが大きく低下している。また、サイズ度については、綿、麻ともに同等の坪量の市販の印刷用紙のサイズ度(63.1秒)を下回っていた。よって、比引張強さ及びサイズ度を向上させるため、pHを変化させたときの製紙薬品の効果を調べた。綿の検討結果を図6、図7に示す。比引張強さはpHが高いと強くなった。サイズ度はpH5.4以下であれば63.1秒以上となっていたため、印刷用紙として利用可能である値であることが分かった。また、紙料調成によるフリーネスの違いで(約400mLCSFと約440mLCSF)で比較すると、比引張強さはフィブリル化が進んだフリーネス400mLCSFが強くなり、サイズ度はフリーネス440mLCSFが高い値となっていることが分かった。これらの結果より、pH5.4、フリーネス約400mLCSFで抄紙したリサイクル紙が比引張強さ及びサイズ度の値で良好な結果となっていたので、この紙について製紙薬品の添加量調整による比引張強さの向上を検討した(図8)。3.2(1)の図3で添加したときの紙力剤のアニオンPAM添加量(対パルプ固形分0.83%)に対して、1.2倍、1.5倍添加したところ、添加量に応じて比引張強さが向上し、1.5倍添加することで市販の印刷用紙と同等の約40N·m/gまで向上した。

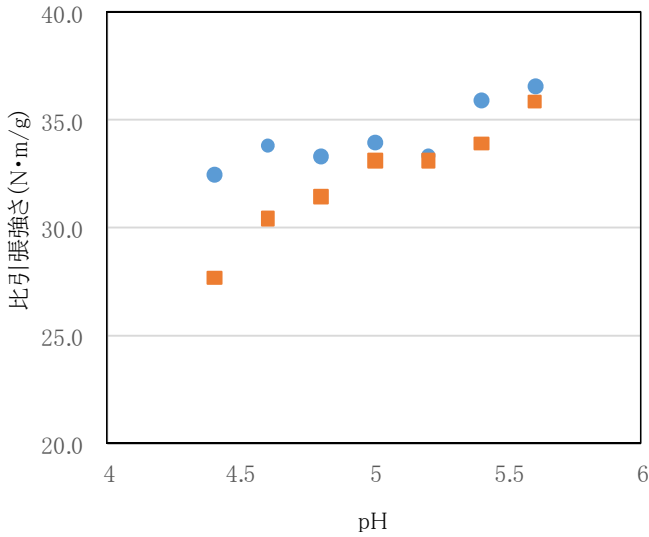


図6 抄紙時の pH と比引張強さの関係(綿)

●フリーネス 400mLCSF ■フリーネス 440mLCSF

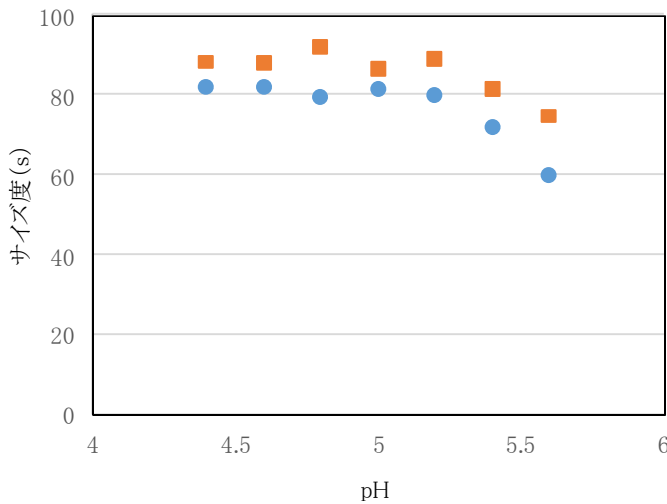


図7 抄紙時の pH とサイズ度(綿)

●フリーネス 400mLCSF ■フリーネス 440mLCSF

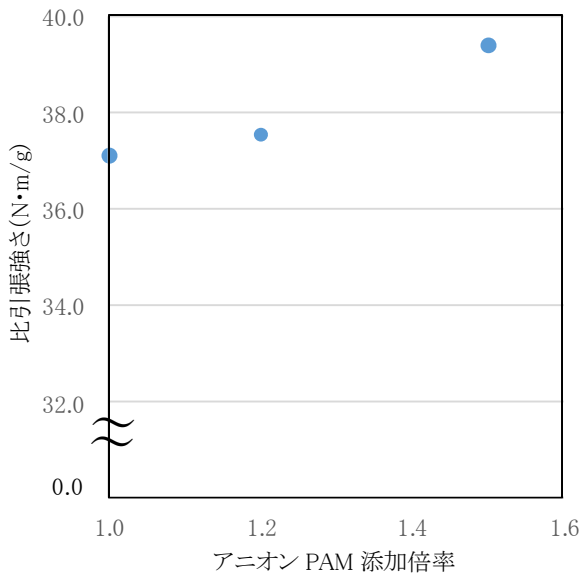


図8 紙力剤添加倍率と比引張強さの関係(綿)

麻については、図9、図10に示すグラフより、比引張強さはpHが高いと強くなり、サイズ度はpHが低いと高くなる傾向にあることが分かった。また、紙料調成でのフリーネス約400mLCSFと約440mLCSFによる比較では、比引張強さ、サイズ度ともにほとんど差が見られない結果となった。麻についても綿と同様に、pH5.4、フリーネス約400mLCSFで抄紙したリサイクル紙で、製紙薬品の添加量調整による検討を行った。

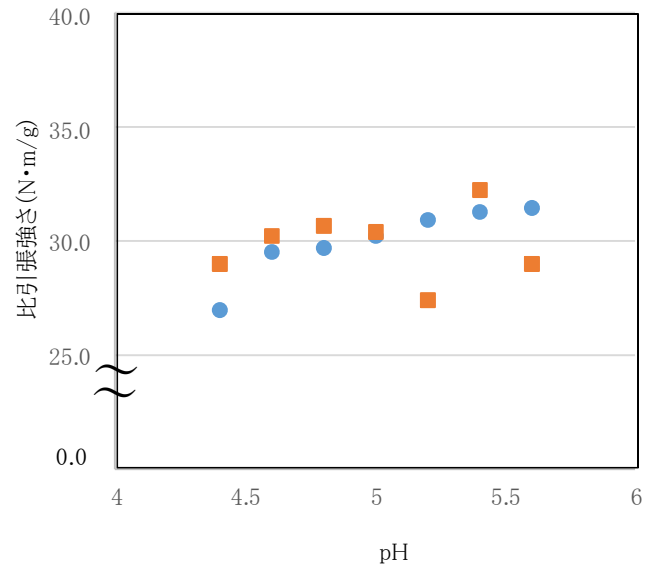


図9 抄紙時の pH と比引張強さの関係(麻)

●フリーネス 400mLCSF ■フリーネス 440mLCSF

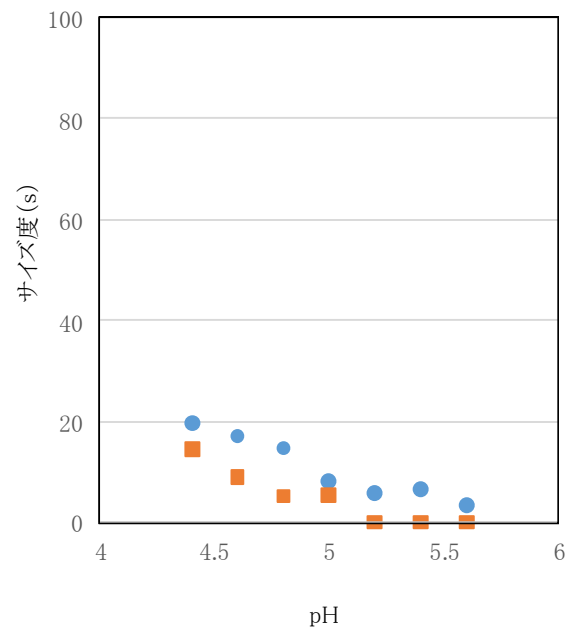


図10 抄紙時の pH とサイズ度(麻)

●フリーネス 400mLCSF ■フリーネス 440mLCSF

麻では綿と異なり印刷用紙として利用するに当たり、比引張強さだけでなく、サイズ度も十分な値となっていなかったため、製紙薬品の添加量調整による比引張強さ及びサイズ度の向上を検討した(図11、図12)。比引張強さについては、3.2(1)の図3で添加したときのアニオンPAM添加量(対パルプ固形分0.83%)に対して、1.5倍添加することで約40N・m/gまで向上した。サイズ度については、3.2(1)の図4で添加したときのサイズ剤添加量(対パルプ固形分0.40%)に対して、最大2.0倍添加したが、サイズ度の向上はほぼ見られなかった。よって、麻については、サイズ剤の効果の高い綿と混合して利用することにより、リサイクル紙の原料として利用可能となると考えられる。

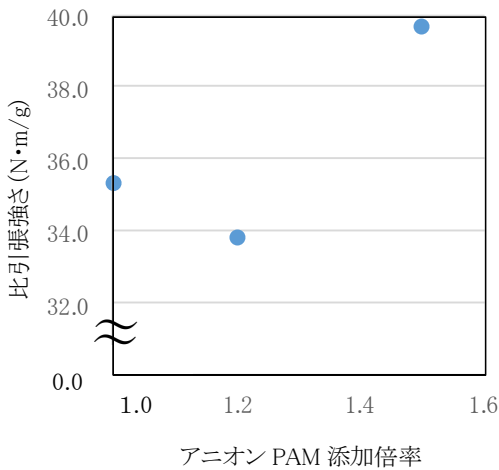


図11 紙力剤添加倍率と比引張強さの関係(麻)

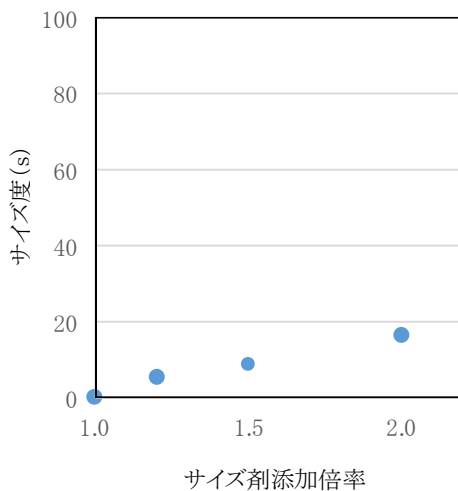


図12 サイズ剤添加倍率とサイズ度(麻)

表面強度の向上については、薬品を紙の表面に塗工するサイズプレスによる方法を検討した。表面強度の向上も比引張強さの向上と同様に50%繊維配合のリサイクル紙で検討した。綿、麻でどちらのリサイクル紙でもPAMは効果が乏しく、PVAで表面強度の向上が見られた(図13、図14)。

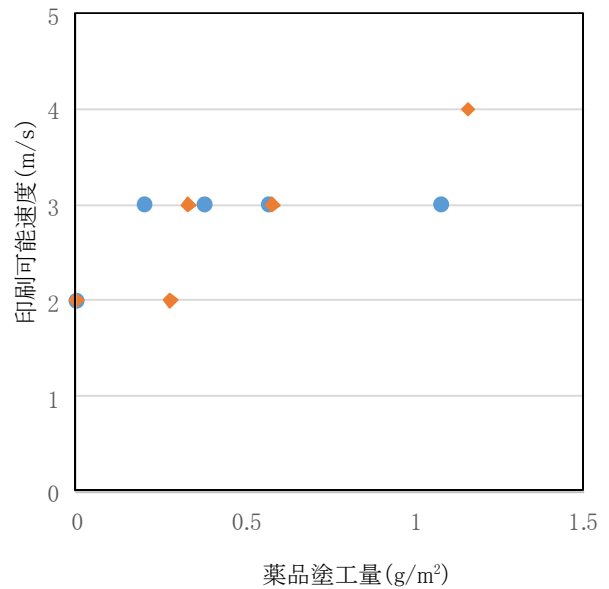


図13 薬品塗工量と印刷可能速度(表面強さ)の関係(綿)

● PAM ◆ PVA

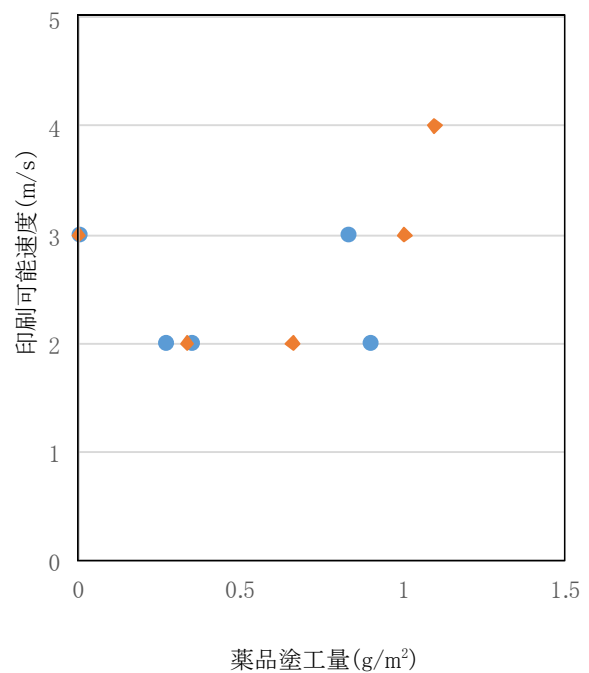


図14 薬品塗工量と印刷可能速度(表面強さ)の関係(麻)

● PAM ◆ PVA

### 3.3 最適な抄紙方法の探索及び実機抄紙への適用

実機抄紙では、遠州地区の綿及び麻を混合した原料に対する工場実機の抄紙機適性が分からなかったため、繊維の配合割合は30%とした。また、遠州地区の事業者から回収した綿と麻の割合はおおむね綿：麻＝3：1であったため、実機抄紙の際にはその割合で原料に配合した。

3.2 (2) で検討した結果から、比引張強さ、サイズ度の両物性値が高くなる条件はpHは5～5.4、フリーネスは約400mLCSFであり、表面強さについては、PVAの表面塗工が効果があったため、工場実機での抄紙条件はpH5付近、フリーネス約400mLCSF、PVAの表面塗工で行うこととした。また、繊維配合による柔らかな風合いを特徴とするため、カレンダーによる圧力をかけずに抄紙することとした。

今回の実機抄紙では、リサイクル紙の活用先である廃棄繊維の排出元の事業者などの意見を取り入れ、白い無地の紙だけでなく、着色繊維5%を配合し、目視で繊維が配合されていることが確認できるような紙も抄紙した。紙の坪量は160g/m<sup>2</sup>とした。

実機抄紙したリサイクル紙のうち、白い無地の紙の物性値をパルプ100%の製品（坪量95g/m<sup>2</sup>）の物性値と比較した（表1）。なお、この比較は紙の坪量が異なるため、参考値となるが、紙の各物性値ともにパルプ100%の市販品を上回っていたため、一般的な印刷用紙と同様に利用できると考えられる。

表1 工場で抄紙したリサイクル紙の物性

紙の種類	比引張強さ (N・m/g)	サイズ度 (s)	表面強さ (印刷可能速度、m/s)
リサイクル紙	47.3	246.4	4
市販品	41.7	63.1	1

## 4 まとめ

本研究では、遠州織物工業協同組合、天龍社織物工業協同組合の組合員の事業者から排出された廃棄繊維を製紙原料として利用し、富士市内の製紙工場でのリサイクル紙の抄紙に成功した。そのリサイクル紙は、廃棄繊維の排出元の事業者と情報交換などを行い、用途を探索した結果、一部の繊維事業者や繊維関連団体である静岡県繊維協会、遠州織物工業協同組合で名刺や展示会でのPOP広告として活用されている。このように、本研究の目的である繊維

循環のモデルケースを構築することができた。今後は本研究における取組を広く情報発信することで、サステナブルファッションの取組を拡大していく予定である。

## 参考文献

- 1) 株式会社矢野経済研究所：令和4年度 環境省 調査循環型ファッションの推進方策に関する調査業務-マテリアルフロー-