

廃棄物再生を通じたCO₂削減に関する実証研究—循環型社会の実現に向けて—

真島 猛・宗像 優

要旨

本研究では、廃棄された繊維を紙に再生することで、衣料廃棄物の量を減らし、また二酸化炭素（CO₂）排出量の削減に貢献し得るとの観点から、衣料廃棄物のリサイクルに焦点を当てて、実証研究を行った。その結果、一般の紙を製造するよりも、衣料廃棄物を再生する方がCO₂の排出量を抑制できることが判明した。

本研究の今後の展開としては、廃棄物のリサイクルを通じたCO₂削減を軸にしながら、新たな再生紙の普及活動がある。具体的には、教育機関である特徴を生かし、作品作りやワークショップ等を通じて、学生や地域の子どもたちへの教育を行うことである。また、行政や企業と連携した地域の廃棄物の現状調査と新たなリサイクルによる効果のデータ化による視覚化を進めていく。さらには、衣料廃棄物だけでなく、海洋ごみ等、他の廃棄物のリサイクルも視野に入れて、企業と協働により新素材の研究に発展させることで、CO₂排出量の削減及び循環型社会の実現を目指すことである。

1. はじめに

2023年3月、スイスのインターラーケンで開催された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第58回総会において、IPCC第6次評価報告書（AR6）統合報告書の政策決定者向け要約（SPM）が承認され、同報告書の本体が採択された。これによると、世界の平均気温の産業革命前からの上昇幅を1.5度に抑えるには、温室効果ガス排出量を2035年までに2019年比で6割減らす必要があるとされている。また、2011～2020年の気温は産業革命前から1.1度上昇しており、排出削減を進めても2030年代前半に1.5度に達する可能性が高い。そしてそれ以上の上昇を止めるには、2019年比で2035年までに60%、2040年までに69%を削減する必要があるという¹⁾。

このように、循環型社会の実現に向けて温室効果ガス排出量の大幅な削減が求められている中、本研究では、近年注目を集めている「ファッションと環境」に関して、衣料廃棄物を中心に取り上げた。国内アパレル供給量・市場規模の推移について簡単に確認すると、国内におけるアパレル供給量は増加傾向にある一方で、衣服一枚あたりの価格は年々安くなっており、市場規模は縮小している。大量生産・大量消費が拡大している傾向にあるといえ、衣服のライフサイクルの短期化による大量廃棄への流れが懸念されている（図1、図2）²⁾。

そこで、廃棄された繊維を紙に再生することで、衣料廃棄物の量を減らし、また二酸化炭素（CO₂）排出量の削減に貢献し得るとの観点から、衣料廃棄物のリサイクルに焦点を当てて、

調査、研究を進めた。本稿では、衣料廃棄物の現状について概観した後に、衣料廃棄物のリサイクルの状況について、とくに衣料廃棄物を紙にリサイクルする取組み事例を適宜紹介する。そして最後に、本研究の課題と展望を述べる。



図1 国内アパレル供給量・市場規模の推移

出典：環境省ホームページ「SUSTAINABLE FASHION これからのファッションを持続可能に」。

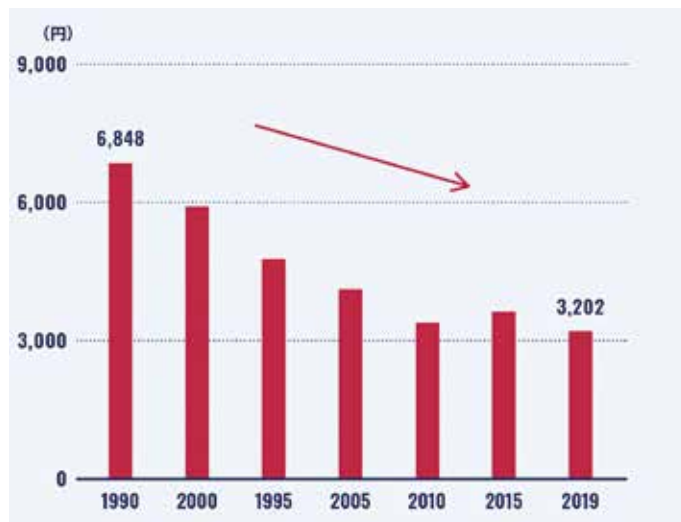


図2 衣服1枚あたりの価格推移

出典：環境省ホームページ「SUSTAINABLE FASHION これからのファッションを持続可能に」。

2. 衣料廃棄物の現状

衣料廃棄物の現状について、「環境省 令和2年度 ファッションと環境に関する調査業務—「ファッションと環境」調査結果—」に基づいて確認する。

衣類のマテリアルフロー（製品が市場に投入・供給されてから適正に処理されるまでの工程）について、衣類の国内新規供給量（2020年）は計81.9万トンであり、その約9割に相当する計78.7万トンが、事業所および家庭から使用後に手放されると推計されている。そして、このうち、廃棄される量は計51.0万トン（手放される衣類の64.8%）、リサイクルされる量は計12.3万トン（同15.6%）、リユースされる量は計15.4万トン（同19.6%）である³⁾。

国内衣類のマテリアルフロー（2020年）についてさらに確認すると、事業者側で廃棄される量は0.2万トン、家庭で廃棄される量は49.6万トン、事業所で廃棄される量は1.4万トンであり、家庭でリサイクルされる量は10.4万トン、事業所でリサイクルされる量は1.9万トン、家庭でリユースされる量は15.0万トン、事業所でリユースされる量は0.4万トンとなっている（図3）⁴⁾。

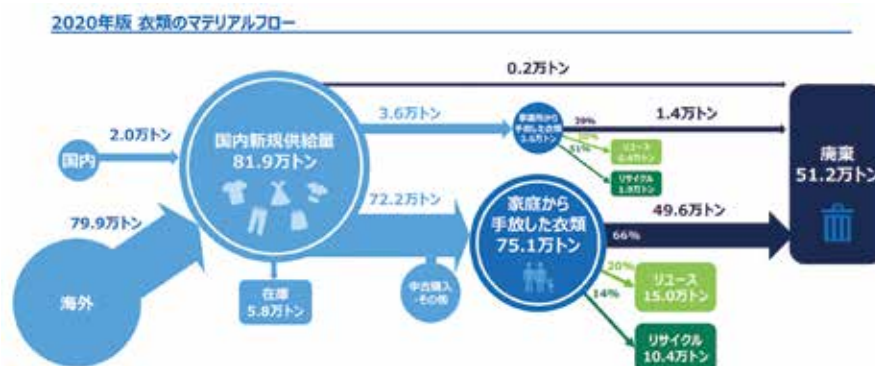


図3 2020年版 衣類のマテリアルフロー

出典：株式会社日本総合研究所、3頁。

2009年の国内衣類のマテリアルフローについては、事業者側で廃棄される量は0.3万トン、家庭で廃棄される量は60.4万トン、事業所で廃棄される量は2.2万トンとなっている。そして、家庭でリサイクルされる量は7.2万トン、事業所でリサイクルされる量は1.4万トン、家庭でリユースされる量は18.0万トン、事業所でリユースされる量は0.4万トンとなっている⁵⁾。

国内衣類のマテリアルフローを2020年と2009年を比較した場合、新規供給量は2009年に比べ約10%減の82万トンとなっている。手放される衣類のうち、廃棄される割合は2009年の69.9%から64.8%へと減少しており、リサイクルは9.6%から15.6%へ、リユースは20.5%から19.6%へ、リペアは1.7%から14.3%へと増加しているという状況となっている（図4）。リユースが減少した理由としては、コロナ禍によりバザー・フリーマーケットなどを開催できなくなったこと等、中古市場へ出回る量が減ったことが指摘されている⁶⁾。

マテリアルフロー 2020年と2009年の比較

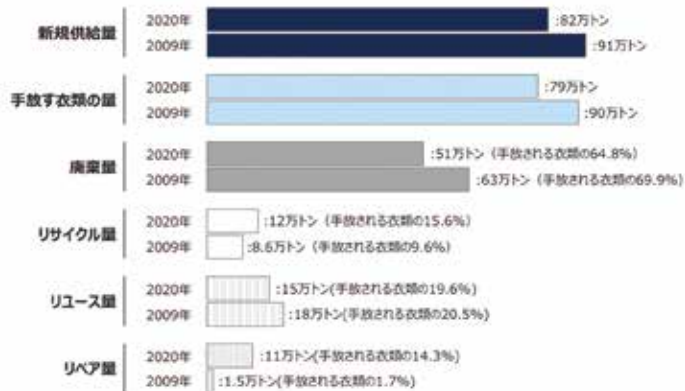


図4 マテリアルフロー 2020年と2009年の比較

出典：株式会社日本総合研究所、8頁。

また、同調査結果によれば、国内に供給されるファッション産業のネガティブインパクトとして、CO₂ 排出、水消費、水質汚染、生物多様性について想定されており、ここでは、CO₂ 排出について確認する。

国内に供給される衣類のライフサイクルのCO₂ 排出量については、国内に供給されている衣類から排出されるCO₂（原材料調達から廃棄まで）はおよそ9,500万トンと推計されている。これは世界のファッション産業から排出されるCO₂ の4.5%に相当し、うち輸送までの上流段階で全体の94.6%を占めている。また、服1着生産するにあたり排出されるCO₂ は、25.5キロと推計されている（図5）⁷⁾。

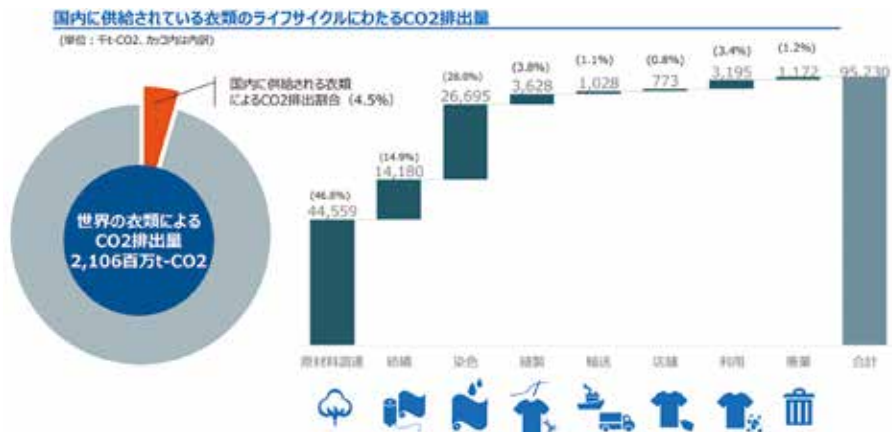


図5 国内に供給されている衣類のライフサイクルにわたるCO₂ 排出量

出典：株式会社日本総合研究所、15頁。

さらに、日本において排出されているCO₂ 排出量について、国内のファッション産業において排出されているCO₂ 排出量（原材料調達から廃棄まで）はおよそ970万トン（日本の総排

廃棄物再生を通じたCO₂削減に関する実証研究—循環型社会の実現に向けて—

出量の0.8%)と推計されており、うち輸送までの上流段階で全体の47.0%を占めるほか、利用段階で32.9%、廃棄段階で12.1%を占めるという(図6)⁸⁾。



図6 国内に供給されている衣類のCO₂排出量のうち、日本において排出されているCO₂排出量
出典：株式会社日本総合研究所、16頁。

3. 衣料廃棄物のリサイクル

3.1 衣料廃棄物のリサイクル技術

まず、衣料廃棄物のリサイクルについて確認する。2020年に手放される衣類のうち、リサイクルは15.6%という状況の中、衣料廃棄物のリサイクル技術には、多様な技術が存在している。リサイクルには、マテリアル、ケミカル、サーマルの大きく3つの技術に分類され、入手可能な原料、リサイクル製品、製造コスト、環境負荷が異なる(図7)⁹⁾。留意すべき点として、繊維・衣類製品は、混紡素材が主であるため単体のリサイクル技術での循環は実現することができず、経済性や環境効果を考慮したリサイクル技術の組み合わせが重要であることである¹⁰⁾。

| 分類 | 技術名 | 企業事例 | 受入可能な素材 | 再生製品 | 再生製品の特徴 | 環境効果 | 備考 | |
|-----------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|---|---|--|---|
| リユース | シェアリング | ザブスタグランド インターホス | 株式会社 エフ・アール・ピー | ・ 実用が少なく、3ヶ月定額 機以上の衣類 ・ 質の低い衣類は自治体回収が 主 | ・ シェアリングの衣類 | ・ 定額でのサービスによ り、衣類を新品専用品 品まで使用する事 が実現される | ・ 新規製品のバーン原料 の製造工程の環境負荷 を軽減できる ・ 質の低い使用済み衣類は ほとんどない環境負荷は 減少可能（使用方法的 改善手法に依存） | ・ 繊維資源の再利用・製品 の価値 |
| | 中古販売 | 古着ショップ | RFID法人、ザベール ム等 | ・ 汚れ/劣化が少なく、高品質 ・ 一定以上の市場価値が 見込めるもの | ・ リユース古着 | ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ 市販品と同等の品質の 商品 | ・ 市販品と同等の品質の 商品 |
| リサイクル | マテリアル リサイクル | 長毛 | 株式会社ナカマ (株式会社 NCS) ナカマ株式会社 | ・ 綿糸、化学繊維、PET 混紡 （洗濯機5回以上洗濯下 の比率 を50-50程度に調整） ・ 綿糸や化学繊維が組み合わ せのもの、PET 比率も衣類 も対応可能である | ・ 短毛 → フルト、綿の紡 績材料 | ・ 綿糸の製造工程の環境負 荷を軽減 ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ 新規製品のバーン原料 の製造工程の環境負荷 を軽減できる ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ 短毛の製造工程の環境負 荷を軽減 ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 |
| | | ウエス | ナカマ株式会社 | ・ 綿糸の製造工程の環境負 荷を軽減 ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ ウエス | ・ 工場等で衣類を回収 して再度販売 | ・ 工場等で衣類を回収 して再度販売 | ・ ウエス製造工程の環境負 荷を軽減 |
| | タニタニ リサイクル | モアベ (旧PET法) | 株式会社タニタニ 株式会社 | ・ 高PET 比率衣類 ・ 無着色の衣類 | ・ 再生PET 繊維 | ・ タニタニリサイクルは PET 製成された再生 PET 繊維を製造可能 | ・ パーン原料分の環境負 荷を軽減 ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ 北九州市に実証プラントが ある |
| | | モアベ (旧PET法) | 個人株式会社 | ・ 高PET 比率衣類 ・ 着色の衣類も可能 | ・ 再生PET 繊維 | ・ 石油由来のバーン原料 と同等品質の再生PET 繊維を製造可能 | ・ パーン原料分の環境負 荷を軽減 ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ 国内での実証プラント実 証済み |
| | | ボク | 昭和電工株式会社 | ・ 使用済みPET 繊維を回収 して再度販売 | ・ 合成繊維 → ポリエステル、ア クリル系、化学繊維 製品 | ・ 合成繊維からPET 繊維 やアクリル系化学繊維 まで、多様な原料を製 造可能 | ・ 化学繊維のバーン原料 分の環境負荷を軽減 ・ 使用後の衣類を製品と して再度販売 | ・ 国内では 100% 技術が確立 済み |
| サーキュラー リサイクル | 循環型発電 (RPF 発電) | 株式会社循環型発電 (Vision to Energy) | ・ 繊維製品全般 | ・ RPF → 熱/電気 | ・ 熱を回収して発電を生 産するシステムを構築 して再度販売 | ・ 繊維の熱/電力を回収 して再度販売 | ・ 熱を回収して発電を生 産するシステムを構築 して再度販売 | |

図7 繊維・衣類製品のリサイクル技術比較表

出典：株式会社日本総合研究所、23頁。

3.2 衣料廃棄物のリサイクル技術の取組み事例

衣料廃棄物のリサイクル技術は、すでに多くが実用化されている。ここでは、その具体的な取組み事例をいくつか紹介する。

<デニム裁断屑を再利用したアップサイクル>

- ・ 企業名：倉敷紡績株式会社
- ・ 取組概要：製造時に生じる裁断屑を活用した製品により「ゴミにしない」取組を推進。株式会社エドウィンと連携し、デニム裁断屑を回収し、反毛・開織に再び糸に加工。その後、染色、製織、加工、仕上げ、販売する¹¹⁾。

<自治体と連携した古着回収&リサイクル>

- ・ 企業名：株式会社良品計画
- ・ 取組概要：自治体と連携して回収&リサイクルのスキームを構築することでよりスムーズな循環サイクルを構築。古着回収ボックスの設置やリサイクル関連イベントなど区と協働で実施。家庭内の不要な衣類を持参した人に、リサイクルされた糸で編まれた軍手を配布。回収後の輸送やリサイクル方法は江東区のスキームを利用¹²⁾。

<服から服をつくる衣類のサーキュラー・エコノミー>

- ・ 企業名：日本環境設計株式会社
- ・ 取組概要：回収スキームの開発や衣服リサイクル技術の進化を通じて、回収～製造の循環を達成。複数のアパレル企業と連携し古着回収を実施。回収した衣類のうちポリエステルは衣類へリサイクル、その他素材はカスケードリサイクル（異なる製品または品質の低下した製

廃棄物再生を通じた CO₂ 削減に関する実証研究—循環型社会の実現に向けて—

品にリサイクル)。回収した衣類は化学分解処理により再生原料として活用¹³⁾。

<固形燃料 (RPF) へのリサイクル>

- ・企業名：株式会社ユニクロ
- ・取組概要：回収した服のうち、服としてリユースできないものは、CO₂ 排出量の少ないエネルギー源である高カロリー固形燃料 (RPF) へ生まれ変わる。RPFは、服や廃プラスチック、紙や木のくずを原料とし、石灰などの化石燃料の代替として、製紙会社などの専用ボイラーなどで使われている¹⁴⁾。

<自動車用防音材へのリサイクル>

- ・企業名：株式会社ユニクロ
- ・取組概要：回収した服のうち、服としてリユースできないものは、自動車用防音材へ生まれ変わる。約22枚のTシャツが、裁断・反毛されたのちに、車1台分に使われる防音材にリサイクルされ、自動車のエンジン音や電気自動車の高周波を低減する役割を果たしている¹⁵⁾。

4. 衣料廃棄物から紙へのリサイクル

本研究では、2022年より、衣料廃棄物から紙へリサイクルするプロジェクト¹⁶⁾ に関わっていることから、このプロジェクトが取り組むリサイクル事業を検証する。

4.1 衣料廃棄物から紙へのリサイクル工程

まず、現在行われている衣料廃棄物から紙を製造するリサイクル工程を確認する。

- ①回収された廃棄衣料を粉砕機で細かくした状態。細かく屑状になった繊維のサイズによって紙の仕上がりが異なってくる (写真1)。



写真1 粉砕された廃棄衣料

出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

- ②細かく屑状になった廃棄衣料の繊維①と木材パルプを混合させビーター（叩解機）に投入し、大量の水と混ぜ合わせる。繊維と木材パルプの混合の割合によっても仕上がりが異なってくる（写真2）。



写真2 ビーター（叩解機）で①を水と混ぜ合わせる
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

- ③水に浸透した②を集め抄紙機で薄く伸ばし形を整え、紙を乾燥させロール状にする。仕上がりは通常の紙と遜色なく、廃棄衣料を原料としていることは見た感じ全く分からないクオリティと言える（写真3）。



写真3 乾燥されてロール状になった再生紙
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

4.2 サーキュラーコットンペーパー

同プロジェクトを運営している一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー¹⁷⁾は、大

量の衣料廃棄物の実態と、通常の紙に使用されているパルプの原料である木の伐採による森林破壊に着目し、衣料廃棄物を紙に循環させることで環境破壊による地球温暖化を軽減することを目指して、2022年に設立された。そして、衣料廃棄物から紙へリサイクルする循環システムに取り組んでおり、また、日本が誇る紙を作る技術で新たな再生紙を開発し、普及させることに挑戦している（図8）¹⁸⁾。パートナー企業は、本学を含めて国内外120社以上に及んでいる。

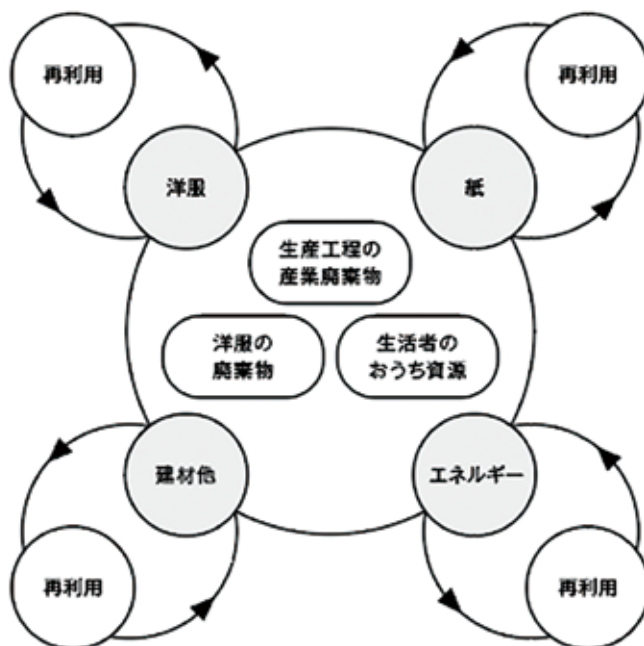


図8 サーキュラーコットンファクトリーの目指す循環システム
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

サーキュラーコットンファクトリーは現在、製紙メーカーとの共同開発により、サーキュラーコットンペーパー①②③と、サーキュラーコットンペーパーを原料としたサーキュラーコットンボード④を製造・販売している（写真4）。

①富士共和製紙と新生紙パルプ商事の協力による、廃棄コットン50%、木材パルプ50%の印刷特性が高い洋紙。

②鳥取県の因州和紙製造メーカー・中原商店による、廃棄コットン70%和紙。

③高知県の土佐和紙製造メーカー・モリシカによる、廃棄コットン70%、木材パルプ30%を使った和紙。

④主に壁材などの建材に使用を目的としている。



写真4 サークュラーコットンペーパー（左）とサーキュラーコットンボード（右）
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

4.3 サークュラーコットンペーパーの製造現場

高知県は、土佐和紙として古くから紙の生産地として歴史があるが、昨今の紙の需要の減少から、今後の紙産業の在り方を模索している状況にある。そこで、サーキュラーコットンファクトリー製の再生紙サーキュラーコットンペーパーの研究開発に協力している高知県立紙産業技術センターと、再生紙の製造を委託している株式会社モリシカにて、衣料廃棄物を活用した製品開発に関する情報共有を行った。また、紙の製造原料において、一般的なパルプと衣料廃棄物から作る際に発生するCO₂排出量の測定方法等の情報交換を行った。

高知県立紙産業技術センター¹⁹⁾では、衣料廃棄物を活用した製品開発の試作と紙の製造原料において、一般的なパルプと衣料廃棄物から作る際に発生するCO₂の量を比較し分析することを行っている（写真5）。

株式会社モリシカ²⁰⁾は、実際に製品開発を委託しており、衣料廃棄物の原料から製品の完成までの工程を見学した。現状の課題点として、衣料廃棄物を細かく裁断する機械が小さいため、大量に生産するためには、大型の裁断機が必要と指摘を受けた。また、通常の紙よりも製造時間がかかっており、水の分量、電気代が高いためコスト高になっていることが判明した（写真6）。



写真5 高知県立紙産業技術センター

出典：執筆者（真島）撮影。



写真6 株式会社モリシカ

出典：執筆者（真島）撮影。

4.4 紙の原料の製造におけるCO₂ 排出量

ここでは、紙の原料となる新規バージンパルプ、古紙パルプ、廃棄コットンの製造時に発生するCO₂の排出量を比較検証する。検証データは、高知県立紙産業技術センターでデータ分析されたものである。

まず、新規バージンパルプと廃棄コットンの原料の製造におけるCO₂排出量を比較する（図9）。新規バージンパルプの場合は、クラフトパルプ製造で176kg-CO₂、原料処理で18kg-CO₂、計194kg-CO₂である。廃棄コットンの場合は、モリシカまでの輸送1（高知-札幌）で67kg-CO₂、モリシカまでの輸送2（いの町-黒潮町）で3kg-CO₂、原料処理で58kg-CO₂（予測値）、計128kg-CO₂となり、廃棄コットンの原料の方が、新規バージンパルプよりもCO₂の排出量が少ないことが分かる。

仮に、新規バージンパルプの代わりに廃棄コットンを原料とした場合は、新規バージンパルプのCO₂排出量194kg-CO₂が削減されることになる。

| | 項目 | CO ₂ 排出量 kg-CO ₂ | CO ₂ 排出源単位 | 計算式 |
|---------------|---------------------|---|--|---|
| 新規 バージンパルプ | クラフトパルプ製造 | 176 | クラフトパルプ1kg製造あたり1.26 kg-CO ₂ （バイオマス由来は除く） | クラフトパルプ140kg製造にかかる CO ₂ 発生量（バイオマス由来は除く） 1.26kg-CO ₂ /kg × 140kg |
| | 原料処理（ピーター処理2.5時間） | 18 | 34.1kWh（モリシカで実測） 0.533kg-CO ₂ /kWh（西国電力2021年実績） | 34.1kWh × 0.533kg-CO ₂ /kWh |
| 廃棄コットン | モリシカまでの輸送1（高知-札幌） | 67 | トラック輸送（4t車・積載率50%）の原単位である0.325kg-CO ₂ /t・kmを使用 | 0.325kg-CO ₂ /t・km × 0.12t × 1718km |
| | モリシカまでの輸送2（いの町-黒潮町） | 3 | トラック輸送（4t車・積載率50%）の原単位である0.325kg-CO ₂ /t・kmを使用 | 0.325kg-CO ₂ /t・km × 0.12t × 86km |
| | 原料処理（断裁機） | 未測定 | | |
| | 原料処理（ピーター処理8時間） | 58（予測値） | 卸解処理150分で34.1kWh（モリシカで実測） | 8h/2.5h × 34.1kWh × 0.533kg-CO ₂ /kWh |

図9 新規バージンパルプと廃棄コットンの比較

出典：高知県立紙産業技術センター「二酸化炭素排出量（廃棄コットンとの比較）-新規バージンパルプとの比較」。

次に、古紙パルプと廃棄コットンの原料の製造におけるCO₂排出量を比較する（図10）。古紙パルプの場合は、古紙パルプ製造で78kg-CO₂、モリシカまでの輸送（いの町-四国中央市（仮））で2kg-CO₂、原料処理で18kg-CO₂、計98kg-CO₂である。廃棄コットンの場合は、モリシカまでの輸送1（高知-札幌）で67kg-CO₂、モリシカまでの輸送2（いの町-黒潮町）で3kg-CO₂、原料処理で58kg-CO₂（予測値）、計128kg-CO₂となり、この場合は古紙パルプの原料の方が、廃棄コットンよりもCO₂の排出量が少ないことが分かる。

| | 項目 | CO2排出量 kg-CO2 | CO2排出源単位 | 計算式 |
|--------|--------------------------|------------------|--|--|
| 古紙パルプ | 古紙パルプの製造 | 78 | 古紙1kg製造あたり0.65 kg-CO2 (バイオマス由来は除く) | 古紙パルプ140kg製造にかかるCO2発生量 (バイオマス由来は除く) 0.65kg-CO2/kg×120kg |
| | モリシカまでの輸送 (いの町-四国中央市(仮)) | 2 | トラック輸送 (4t車・積載率50%) の原単位である0.325kg-CO2/t・kmを使用 | 0.325kg-CO2/t・km × 0.12t × 50km |
| | 原料処理 (ビーター処理2.5時間) | 18 | 34.1kWh(モリシカで実測) 0.533kg-CO2/kWh(四国電力2021年実績) | 34.1kWh×0.533kg-CO2/kWh |
| 廃棄コットン | モリシカまでの輸送1 (高知-札幌) | 67 | トラック輸送 (4t車・積載率50%) の原単位である0.325kg-CO2/t・kmを使用 | 0.325kg-CO2/t・km × 0.12t × 1718km |
| | モリシカまでの輸送2 (いの町-黒潮町) | 3 | トラック輸送 (4t車・積載率50%) の原単位である0.325kg-CO2/t・kmを使用 | 0.325kg-CO2/t・km × 0.12t × 86km |
| | 原料処理 (断裁機) | 未測定 | | |
| | 原料処理 (ビーター処理8時間) | 58 (予測値) | 明解処理150分で34.1kWh(モリシカで実測) | 8h/2.5h × 34.1kWh × 0.533kg-CO2/kWh |

図10 古紙パルプと廃棄コットンの比較

出典：高知県立紙産業技術センター「二酸化炭素排出量（廃棄コットンとの比較）-古紙パルプとの比較」。

4.5 廃棄コットンの焼却処分とリサイクルにおけるCO₂ 排出量

廃棄コットンを焼却処分した場合と廃棄コットンを原料とした紙の製造におけるCO₂排出量を比較する(図11)。焼却処分は、廃棄焼却で194kg-CO₂、焼却場までの輸送で0.4kg-CO₂、計194.4kg-CO₂である。

リサイクル(回収製造)は、モリシカまでの輸送1(高知-札幌)で67kg-CO₂、モリシカまでの輸送2(いの町-黒潮町)で3kg-CO₂、原料処理で58kg-CO₂(予測値)、抄紙で43kg-CO₂(予測値)、計171kg-CO₂となり、単純に廃棄コットンを焼却処分するよりもリサイクルした方が、CO₂の排出量が少ないことが分かる。

仮に、焼却処分する代わりに廃棄コットンをリサイクルし紙を製造した場合は、廃棄焼却のCO₂排出量194.4kg-CO₂が削減されることになる。

| | 項目 | CO2排出量 kg-CO2 | CO2排出源単位 | 計算式 | |
|--------|------|----------------------|-----------------------------------|--|---|
| 廃棄コットン | 焼却処分 | 廃棄焼却 | 194 | 1kgを燃焼する際に発生するCO2量 6×44/(12×6+10+16×5)=1.62kg | コットン120kgを燃やしたときに発生する二酸化炭素量 120×1.62=194kg |
| | | 焼却場までの輸送 | 0.4 | トラック輸送 (4t車・積載率50%) の原単位である0.325kg-CO2/t・kmを使用 | 0.325kg-CO2/t・km × 0.12t × 10km |
| | | モリシカまでの輸送1 (高知-札幌) | 67 | トラック輸送 (4t車・積載率50%) の原単位である0.325kg-CO2/t・kmを使用 | 0.325kg-CO2/t・km × 0.12t × 1718km |
| | 回収製造 | モリシカまでの輸送2 (いの町-黒潮町) | 3 | トラック輸送 (4t車・積載率50%) の原単位である0.325kg-CO2/t・kmを使用 | 0.325kg-CO2/t・km × 0.12t × 86km |
| | | 原料処理 (断裁機) | 未測定 | | |
| | | 原料処理 (ビーター処理8時間) | 58 (予測値) | 明解処理150分で34.1kWh(モリシカで実測) | 8h/2.5h × 34.1kWh × 0.533kg-CO2/kWh |
| | 抄紙 | 43 | 0.362kg-CO2/kg-パルプ (文献を準用して算出した値) | 0.362kg-CO2/kg-パルプ × 120kg | |

図11 廃棄コットンの焼却処分とリサイクルの比較

出典：高知県立紙産業技術センター「二酸化炭素排出量（廃棄コットンとの比較）-廃棄コットン単体」。

4.6 サークュラーコットンペーパーと一般の紙とのコストの比較

サーキュラーコットンペーパーのコストを一般の紙と比較してみると、サーキュラーコットンペーパーは700円/kgに対して、サーキュラーコットンペーパーと同グレードの高級印刷紙は400円/kgで価格差は1.75倍、コピー用紙やカタログ等に使われるような紙は150円/kgで価格差は約4.7倍となり、サーキュラーコットンペーパーの割高感は否めない（図12）²¹⁾。

| 紙の種類 | 1kg当たりの金額 |
|-----------------------------|-----------|
| サーキュラーコットンペーパー | 700円 |
| 高級印刷紙（サーキュラーコットンペーパーと同グレード） | 400円 |
| コピー用紙等に使われるような紙 | 150円 |
| カタログ等に使われるような紙 | 150円 |
| 封筒等に使われるようなクラフト紙 | 200円 |

図12 サークュラーコットンペーパーと一般の紙とのコストの比較
出典：新生紙パルプ商事株式会社。

4.7 サークュラーコットンペーパーの活用事例

現在、再生紙サーキュラーコットンペーパーは、多数の企業のプロダクトや工芸品、アーティスト・デザイナーによる作品等に採用されている。採用されている理由として、サーキュラーコットンファクトリーの理念やストーリーを背景とし、SDGsやエシカルなど企業の取組みや消費者の消費動向の変化、アーティストやデザイナーのモノ作りのコンセプトにマッチしている点が挙げられる。以下、活用事例の一部を紹介する。

<ねぶたとクリスマスツリー>

青森の「五所川原立佞武多」²²⁾は、ワイシャツの繊維屑、およそ14 kgを再利用して作られ、100メートル分の紙を使用し、高さ10メートル、幅3メートルほどである。一般的に伝統を守ることを重んずる伝統工芸の世界において、お祭りの重要なアイテムである御輿に使われる和紙を変更し、サーキュラーコットンペーパーを採用するインパクトは大きいと言える。伝統工芸の存在意義は、今の時代に反映させて未来へ繋げることである。そのねぶたをアップサイクルしたクリスマスツリー²³⁾は、松坂屋名古屋店に展示された（写真7）。



写真7 ねぷたとクリスマスツリー

出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

<大型ファイバーアート>

デザイナーの佐伯和子氏による大型ファイバーアート。洗足こども短期大学に設置されている。和紙の特徴を活かした空に舞う軽やかで、美しい色鮮やかさが表現された作品である。学生が普段から目に触れる場所にあり、ストーリーの背景を知るきっかけとなるであろう（写真8）²⁴⁾。



写真8 大型ファイバーアート

出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

<サーキュラーコットンファクトリー×momiji>

momijiは、俳優の松山ケンイチ氏と小雪氏により、2022年3月に設立されたライフスタイルブランドであり、大量に廃棄されるシカやイノシシの獣皮を再利用した製品を展開している。銀座和光のショーウィンドウに飾られた絵は、松山ケンイチ氏がサーキュラーコットンペーパーにライブペイントされたコラボレーションによる作品である。環境問題や社会問題に関心が高いアーティストは非常に多く、サーキュラーコットンファクトリーのプロモーション

廃棄物再生を通じた CO₂ 削減に関する実証研究—循環型社会の実現に向けて—

活動として注目度が高いものとなった（写真9）²⁵⁾。



写真9 サークュラーコットンファクトリー×momiji
出典：えしかるの森ホームページ。

<セブン&アイホールディングの副資材>

セブンインレブンで販売されている商品の副資材として、サーキュラーコットンペーパーが採用されている。全国展開されている量販店の商品に採用されている点は、一般の人に身近に手に取ってもらいやすく、サーキュラーコットンペーパーを普及させる上で経済効果が高いと言える（写真10）²⁶⁾。

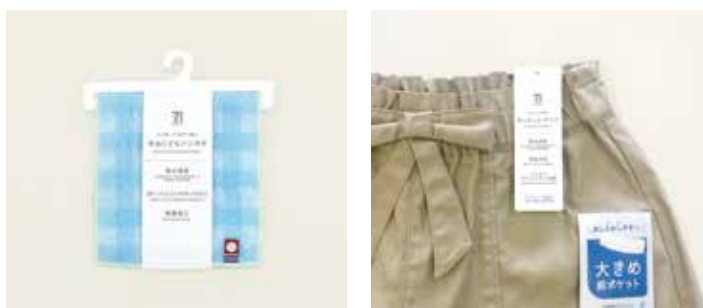


写真10 セブン&アイホールディングの副資材
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

<一般社団法人コニャンナーレのコンセプトブック>

一般社団法人コニャンナーレは全国各地の自治体と共同し、その地域の資源や課題をもとにプロジェクトを企画している²⁷⁾。コニャンナーレは、「猫や動物」をキーワードとしたアートプロジェクトを通じた地域コミュニティの活性化を目的としており、活動を伝える冊子作成としてサーキュラーコットンペーパーを使用した（写真11）²⁸⁾。



写真11 一般社団法人コニャンナーレのコンセプトブック
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

<環境に優しい下着のパッケージ>

AnyMindGroup株式会社がUUUM株式会社と連携して発売したアウトドア専用ボクサーパンツ「ARAKA SHORTS」のパッケージにサーキュラーコットンペーパーを採用している。このボクサーパンツは、環境に優しいオリジナルの次世代素材を使用している（写真12）²⁹⁾。



写真12 ボクサーパンツのパッケージ
出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

<NEW ENERGY（見本市）へ出展>

サーキュラーコットンファクトリーは、東京の新宿住友ビル三角広場で2023年2月25～28日の4日間にかけて開催された「NEW ENERGY」に専用ブースを出展した。NEW ENERGYは、Blue Marble（クリエイションコミュニティ）が主催する、ファッション・ビューティー・アート・インテリア・エシカルなど総勢約200組のブランドやアーティストが展示・販売をするイベントである³⁰⁾。

イベント期間中にサーキュラーコットンファクトリー代表の渡邊氏がトークイベントに登壇し、出展ブランド280の中から韓国・中国・タイ・インドネシアのトップクリエイター達が選ぶ注目のクリエイターとして選出された。これをきっかけとして、インドネシアのクリエイ

ティブ・ディレクターのタンジル氏とインドネシアでの共同イベントを計画中であるという。

会場は、多くの多彩なブースに沢山の来場者で溢れ、熱気を帯び、SDGs・エシカルに対する人々の関心の高さを肌で感じられた。そうした中で、海外からもサーキュラーコットンファクトリーが注目され選出されたことは、サーキュラーコットンファクトリーの取り組む背景や日本の紙作りによるプロダクトの質の高さの証明であると言えるだろう（写真13）。



写真13 NEW ENERGY（ポスター）と出展関連メンバー

出典：一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。

5. サークュラーコットンペーパーの本学における活用事例

次に、著者が関わる本学における授業及びプロジェクト、作品制作におけるサーキュラーコットンペーパーの活用事例を紹介する。サーキュラーコットンペーパーを使用する過程を実際に第三者に関わってもらうことで、直接サーキュラーコットンペーパーの存在意義を的確に伝え、多くの人々に浸透することを目指す活動である。

<立体構成>

著者が所属する芸術学部ビジュアルデザイン学科1年生向けの授業である立体構成におけるサーキュラーコットンペーパーの活用事例である。課題は「1枚の紙から立体を作る」で、テーマは「循環」である。過去の授業では、通常のケント紙を用いていたが、今回の授業ではサーキュラーコットンペーパーを使用するにあたり、サーキュラーコットンペーパーのプロジェクトの概要から一般の紙の製造や廃棄繊維によるCO₂の排出など学生がこれからモノをデザインする意義と責任を考えることを授業の主旨としている。



写真14 ワークショップ

まずは授業の導入として、課題のテーマ「循環」についてチームに分かれワークショップを行った。循環からイメージするキーワードをできる限り多く書き出し、その内容をチーム内で共有し情報を整理したものをチーム毎に発表した。



写真15 学生作品

次に、各自はワークショップで出たキーワードから一つ選び制作を行った。制作の条件は、サーキュラーコットンペーパー（A4サイズ）1枚から切り取らずに立体を作ることで、他は自由である。学生が選んだキーワードは、「温暖化による南極の氷が溶けることによる動物への影響」「モノの存在や考え方の変化を翼で表現」「酸性雨による骨が溶けた状態」「森林伐採」「地球への優しさ」など多種多様である。これまでの立体構成では、主に基礎造形を学ぶことから、素材の特性や加工方法を習得することであったが、そこにテーマ性を考慮することでより表現の幅を広げ、造形に対する意味や必然性を見出すことになっている。

< 芳一提灯 >

2023年8月25日~27日に大濠公園日本庭園内の茶室で開催された“伝統芸能×イマーシブ演劇『耳なし芳一』 FIVE SENCES -五感-³¹⁾”では、芳一提灯のデザイン及びワークショップにおいてサーキュラーコットンペーパーを使用した。芳一提灯は、原作で登場する提灯をイメージし、厚さの異なる2種類のサーキュラーコットンペーパーのみで制作した。制作において、演劇の最後に庭園を提灯の灯りによる演出、庭園内の夜間の来場者の誘導灯、期間内に複数回設置できる耐久性、ワークショップでは児童でも容易に制作できる創作性を考慮しデザインした。ワークショップに参加した児童と提灯の制作に協力してもらった学生たち、演劇の関係者にサーキュラーコットンペーパーの存在を知ってもらう機会となった。



写真16 芳一提灯とワークショップ

< OSi (石紙) >

2023年9月1日~2日アジア基礎造形連合学会2023札幌大会（第34回日本基礎造形学会併催³²⁾）において、著者の研究成果として作品を出展した。作品は制作過程及び作品自体にサーキュラーコットンペーパーを使用している。

作品タイトルのOSi (石紙) は、元素記号のO (酸素) とSi (ケイ素) の組み合わせである。石は、主にこの二つの元素で作られた鉱物で構成され、遥か昔から人々が道具や武器、建造物などに用いてきた素材であり、我々が住む地球は、別名「石の惑星」と呼ばれている。OSi (石紙) は、神奈川県小田原にある江之浦測候所の「石畳」を実際にデジタル拓本したデータを用い、サーキュラーコットンペーパーとペイントには膠 (にかわ) を原料とした墨で制作している。拓本した石畳は、様々な場所から移設された古いもので、無数の人々が踏み重ね摩耗し徐々に形を変えている。この石畳とサーキュラーコットンペーパーと古典的な画材である墨を融合させ、新たな素材として循環することが、この作品のコンセプトである。



写真17 出展作品OSi（石紙）と展示

6. おわりに

本研究では、温室効果ガス排出量を2035年までに2019年比で6割減らすための手段の一つとして、衣料廃棄物の実態の把握から削減を目的とした衣料廃棄物を紙にリサイクルする事業の検証を行った。今回の実証研究において、一般の紙を製造するよりも衣料廃棄物を再生する方がCO₂の排出量を抑制できることが判明した。また、企業のリサイクルへの研究成果、企業と行政、市民が連携した様々な取組みは、SDGsの「作る責任、使う責任」の浸透も実感することができた。

今回取り上げたサーキュラーコットンファクトリーによる事業は、多くの企業や国内外のアーティスト、デザイナーなどから支持されており、さらなる知名度のアップによる再生紙サーキュラーコットンペーパーの普及が期待される。再生紙サーキュラーコットンペーパーの普及の鍵は、一般の紙と競合できる価格差のハードルである。サーキュラーコットンファクトリーのメンバーである製紙メーカー（新生紙パルプ商事株式会社）の担当者によると、大手製紙メーカーの一般の紙と同じ製造設備による再生紙サーキュラーコットンペーパーの生産体制が整わないとコストの競合は難しい。またコストダウンのためには、衣料廃棄物の入手先のルート開拓と、大量の衣料廃棄物の粉碎から再生紙を製造する新たな設備投資が必要不可欠である。サーキュラーコットンファクトリーとしては、これまでの環境改善に向けたモノ作りのストーリーを如何に伝え普及させる活動と、日本の伝統の紙作りによる再生紙を世界に発信し、さらに一般の紙と比較できない再生紙サーキュラーコットンペーパーらしい独自のプロダクトを作ることは、単に価格競争ではない路線を歩むことが可能となるであろう。

本研究の今後の展開としては、廃棄物のリサイクルを通じたCO₂削減を軸にしながら、サーキュラーコットンファクトリーとの連携による新たな再生紙サーキュラーコットンペーパー普及活動がある。具体的には、教育機関である特徴を生かし、学生や地域の子どものための教育効果として、作品作りやワークショップを予定している。また行政や企業と連携した地域の廃棄物の現状調査と新たなリサイクルによる効果のデータ化による視覚化を進める。さらに、この研究を生かし、廃棄衣料だけでなく海洋ごみ等の他廃棄物のリサイクルの可能性も視野に入れ、将来的に外部企業と協働により新素材の研究に発展させることで、CO₂排出量の削減及び循環型社会への実現を目指すことなどである。

廃棄物再生を通じた CO₂ 削減に関する実証研究—循環型社会の実現に向けて—

注

- 1) 環境省ホームページ「AR6 統合報告書 政策決定者向け要約」、毎日新聞ホームページ「温室効果ガス、2035年までに6割削減が必要 国連IPCC報告書」。
- 2) 環境省ホームページ「SUSTAINABLE FASHION これからのファッションを持続可能に」。
- 3) 株式会社日本総合研究所、3-4頁。
- 4) 株式会社日本総合研究所、5頁。
- 5) 株式会社日本総合研究所、7頁。
- 6) 株式会社日本総合研究所、8頁。
- 7) 株式会社日本総合研究所、14-15頁。
- 8) 株式会社日本総合研究所、16頁。
- 9) 日揮ホールディングス株式会社・帝人株式会社・国立大学法人東京大学、23頁。
- 10) 日揮ホールディングス株式会社・帝人株式会社・国立大学法人東京大学、22頁。
- 11) 株式会社日本総合研究所、36頁。
- 12) 株式会社日本総合研究所、37頁。
- 13) 株式会社日本総合研究所、38頁。
- 14) 株式会社ユニクロホームページ「固形燃料（RPF）へのリサイクル「CO₂排出量の少ないエネルギー源へと生まれ変わる服たち」。
- 15) 株式会社ユニクロホームページ「自動車用防音材へのリサイクル—「クルマの音や高周波を抑える素材として、次なる活躍の場へ」。
- 16) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。
- 17) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。
- 18) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー。
- 19) 高知県立紙産業技術センター。
- 20) 株式会社モリシカ。
- 21) 新生紙パルプ商事株式会社。
- 22) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー「五所川原立佐武多のサーキュラーコットンペーパー採用、反響続く」。
- 23) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー「ねぶたがクリスマスツリーに?!」。
- 24) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー「事例紹介：大型ファイバーアート」。
- 25) えしかるの森「獣皮のアップサイクルブランド「momiji」期間限定イベントレポート!」。
- 26) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー「プロジェクト13「テンタック株式会社」」。
- 27) 一般社団法人コニャンナーレ。
- 28) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー「プロジェクト11「一般社団法人コニャンナーレ」」。
- 29) 一般社団法人サーキュラーコットンファクトリー「プロジェクト2「ARAKA SHORTS（アラカショート）」」。
- 30) NEW ENERGYホームページ。
- 31) シップス株式会社ホームページ。
- 32) 日本基礎造形学会ホームページ。

【主要参考文献】

- ・一般社団法人コニャンナーレホームページ<<https://nextcommons-lab.jp>>。
- ・一般社団法人サーキュラーコットンファクトリーホームページ<<https://www.circularcottonfactory.jp>>。
- ・えしかるの森ホームページ<https://ethicalnomori.com/kurashi/momiji_popup>。
- ・株式会社日本総合研究所リサーチコンサルティング部門事業開発・技術デザイン戦略グループ「環境省 令和2年度 ファッションと環境に関する調査業務—「ファッションと環境」調査結果—」<https://www.env.go.jp/policy/pdf/st_fashion_and_environment_r_2_gaiyo.pdf>。

- ・株式会社モリシカホームページ<<http://www.morishika.co.jp>>。
- ・株式会社ユニクロホームページ「固形燃料（RPF）へのリサイクル「CO₂排出量の少ないエネルギー源へと生まれ変わる服たち」<https://www.uniqlo.com/jp/ja/contents/sustainability/planet/clothes_recycling/re-uniqlo/material>。
- ・株式会社ユニクロホームページ「自動車用防音材へのリサイクル―「クルマの音や高周波を抑える素材として、次なる活躍の場へ」<https://www.uniqlo.com/jp/ja/contents/sustainability/planet/clothes_recycling/re-uniqlo/material>。
- ・環境省ホームページ「AR 6 統合報告書 政策決定者向け要約」<<https://www.env.go.jp/content/000121451.pdf>>。
- ・環境省ホームページ「SUSTAINABLE FASHION これからのファッションを持続可能に」<https://www.env.go.jp/policy/sustainable_fashion/>。
- ・高知県立紙産業技術センターホームページ<<https://www.pref.kochi.lg.jp>>。
- ・シップス株式会社ホームページ<https://www.ship-s.jp/sou_pro/>。
- ・新生紙パルプ商事株式会社ホームページ<<https://www.sppcl.co.jp>>。
- ・日揮ホールディングス株式会社・帝人株式会社・国立大学法人東京大学『繊維リサイクルワークショップ報告書 繊維・衣服の生産から流通・消費・リサイクルまでのライフサイクルを通じた循環型ファッションの実現に向けて』<<https://www.recycle-system.com/news/image/2022-04-20.pdf>>。
- ・日本基礎造形学会ホームページ<<http://www.kisozokei.com/info/119/01.html>>。
- ・毎日新聞ホームページ「温室効果ガス、2035年までに6割削減が必要 国連IPCC報告書」（2023年3月20日）<<https://mainichi.jp/articles/20230320/k00/00m/040/345000c>>。
- ・AnyMindGroup株式会社ホームページ<<https://araka-official.com/collections/araka-shorts>>。
- ・momijiホームページ<https://www.instagram.com/momiji2022_official/>。
- ・NEW ENERGYホームページ<<https://www.new-energy.ooo>>。