

廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発
事後評価報告書

平成 2 2 年 3 月
産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月31日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改定）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発は、綿とポリエステル混素材について、綿とポリエステルの新規分離・回収技術の開発及び回収綿の高付加価値商品化技術の開発を行い、従来、廃棄衣料の焼却処分に要していたエネルギーの低減及び環境負荷低減を図るため、平成18年度から平成20年度まで実施したものである。

今回の評価は、この廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発の事後評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金プロジェクト事後評価検討会（座長：梶原 莞爾 信州大学客員教授・京都工芸繊維大学特任教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（小委員長：平澤 冷 東京大学名誉教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成22年3月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
委員名簿

| | | |
|------|---------|---|
| 小委員長 | 平澤 洽 | 東京大学 名誉教授 |
| | 池村 淑道 | 長浜バイオ大学バイオサイエンス学部 教授 |
| | 伊澤 達夫 | 東京工業大学 理事・副学長 |
| | 大島 まり | 東京大学大学院情報学環 教授 東京大学生産技術研究所 教授 |
| | 菊池 純一 | 青山学院大学法学部・大学院法学研究科ビジネス法務専攻 教授 |
| | 鈴木 潤 | 政策研究大学院大学 教授 |
| | 辻 智子 | 日本水産株式会社 生活機能科学研究所長 |
| | 富田 房男 | 放送大学北海道学習センター 所長 |
| | 中小路 久美代 | 株式会社S R A先端技術研究所 取締役 東京大学先端技術研究センター 特任教授 |
| | 山地 憲治 | 東京大学大学院工学系研究科 教授 |
| | 吉本 陽子 | 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主任研究員 |

(委員敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金
プロジェクト事後評価検討会
委員名簿

| | | |
|----|--------|--|
| 座長 | 梶原 莞爾 | 信州大学客員教授・京都工芸繊維大学特任教授 |
| | 大松沢 明宏 | 日本化学繊維協会技術グループ主任部員 |
| | 児玉 昌也 | 独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門 エネルギー貯蔵材料グループ長 |
| | 上甲 恭平 | 京都女子学園京都女子大学家政学部生活福祉学科教授 |
| | 高橋 信行 | 独立行政法人産業技術総合研究所環境管理技術研究部門 環境流体工学研究グループ主任研究員 |
| | 丸山 正明 | 株式会社日経BP プロデューサー |

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省製造産業局繊維課

繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金
プロジェクトの評価に係る省内関係者

【事後評価時】

製造産業局 繊維課長 間宮 淑夫（事業担当課長）

産業技術環境局 産業技術政策課技術評価室長 長濱 裕二

【事前評価時】（事業初年度予算要求時）

製造産業局 繊維課長 宗像 直子（事業担当課長）

繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金プロジェクト事後評価

審議経過

第1回事後評価検討会（平成21年11月19日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

第2回事後評価検討会（平成22年2月16日）

- ・評価報告書(案)について

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成22年3月25日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金プロジェクト事後評価検討会 委員名簿

繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金プロジェクトの評価に係る省内関係者

繊維分野におけるエネルギー使用合理化技術開発補助金プロジェクト事後評価 審議経過

ページ

| | |
|--------------------------------------|----|
| 事後評価報告書概要 | |
| 第1章 評価の実施方法 | |
| 1. 評価目的 | 1 |
| 2. 評価者 | 1 |
| 3. 評価対象 | 1 |
| 4. 評価方法 | 1 |
| 5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準 | 2 |
| 第2章 プロジェクトの概要 | |
| 1. 事業の目的・政策的位置付け | 5 |
| 2. 研究開発等の目標 | 12 |
| 3. 成果、目標の達成度 | 18 |
| 4. 事業化、波及効果について | 36 |
| 5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等 | 40 |
| 第3章 評価 | |
| 1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性 | 44 |
| 2. 研究開発等の目標の妥当性 | 46 |
| 3. 成果、目標の達成度の妥当性 | 48 |
| 4. 事業化、波及効果についての妥当性 | 50 |
| 5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性 | 52 |
| 6. 総合評価 | 53 |
| 7. 今後の研究開発の方向等に関する提言 | 55 |
| 8. 評価小委員会としての意見 | 57 |
| 第4章 評点法による評点結果 | 58 |

参考 今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

参考資料

研究開発実施者提供資料

事後評価報告書概要

事後評価報告書概要

| | |
|---------|--------------------------|
| プロジェクト名 | 廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発 |
| 上位施策名 | エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発 |
| 事業担当課 | 製造産業局繊維課 |

プロジェクトの目的・概要

繊維製品全体の約45%を占める綿とポリエステル混素材は、綿とポリエステルの分離の困難性から、そのほとんどが焼却処分され、その焼却処分には多くのエネルギーを要しており、また二酸化炭素を排出している。

本研究開発は、綿とポリエステルの混素材の新規分離・回収技術の開発及び回収綿の高付加価値商品化技術の開発を行い、綿とポリエステルをそれぞれ分離・回収し、回収ポリエステルをケミカルリサイクル、回収綿をマテリアルリサイクルすることを目指したもので、省エネルギー及び環境負荷低減に資するものである。

補助予算額等

(単位：千円)

| 開始年度 | 終了年度 | 中間評価時期 | 事後評価時期 | 事業実施主体 |
|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| 平成18年度 | 平成20年度 | - | 平成20年度 | 民間企業等 |
| H18FY 予算額 | H19FY 予算額 | H20FY 予算額 | 総予算額 | 総執行額 |
| 123,240 | 79,040 | 69,040 | 271,320 | 268,022 |

(注) 本事業の補助率は2/3以内。上記は補助額を記載。

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

| 個別要素技術 | 目標・指標 | 成果 | 達成度 |
|--------------------------------|---|--|-----|
| 1) 綿/ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率100% ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ80%以上 | 綿/ポリエステル混素材の希塩酸(0.4%)による化学粉砕法を確立したことにより、綿とポリエステルの分離率100%を達成した。また工業化を想定した設備においても綿は回収率90.4%、ポリエステルは回収率104%(綿の付着分含む)とそれぞれ目標の回収率を達成した。 | 達成 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術 | | | |

| の開発 | | | |
|------------------------------|--|--|-------------|
| <p>ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発</p> | <ul style="list-style-type: none"> 綿/ポリエステル混素材の分離に際して、化学的に粉碎された結果、セルナノロスパウダー状態になることが期待され、セルロスナノパウダーをそのまま利用できる分野を調査検討する。 セルロスナノパウダーのサイズ及びばらつきを最小に調整するため、既存の機械的粉碎・分級技術を応用検討する。 | <ul style="list-style-type: none"> 本研究開発の化学的粉碎により得られたセルロスパウダーは、ナノ化しておらず、ナノ化のためには更に高圧ホモジナイザーでの機械的粉碎が必要になることが分かった。また、機械的粉碎にはエネルギー効率化に向けた本事業の目的と相反することが判明した。 この様な状況の下、機械的粉碎を行いナノ化したセルロスパウダーの用途を市場調査等により検討した結果、生産コスト等の観点からセルロスナノパウダーの高付加価値用途を見いだすことはできなかった。しかし、セルロスパウダーとして、化粧品・塗料・建材などの添加剤分野やバイオエタノール原料としては、そのまま利用できることが明らかになった。 | <p>一部達成</p> |
| <p>脱色の検討</p> | <ul style="list-style-type: none"> 医療分野等のよりピュアーな材料が要求される分野に対して回収綿を用いるに当たっての化学的脱色方法を確立する。 | <p>染色された回収綿に対して、染料を還元処理して無色化する技術を確立した。しかし、当該還元処理技術は、染料を無色化することはできるが、染料を綿から完全に分解除去するものではないため、ピュアーな材料が要求される分野へは安全上使用は困難であることが分かった。</p> | <p>一部達成</p> |
| <p>各種コンポジット材料の調査及び試作</p> | <ul style="list-style-type: none"> 回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。 | <p>回収綿をコンポジット材料として用いることで、ポリ乳酸の機械強度向上、またエラストマーの寸法安定性や弾性率向上が確認さ</p> | <p>達成</p> |

| | | | |
|------------------------------------|--|--|----|
| | | れ、回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認することができた。 | |
| 化学的モデルファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。 ・新規水溶性セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を開発し、実用化が想定できるレベルまで到達させる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・有機合成反応を用いることで回収綿からの新規水溶性セルロース誘導体の合成に成功した。 また、光化学反応によりセルロースのモデル物質であるアルコール類やテデンブン等（光化学反応は、不均一溶液系では反応が進行しづらい。セルロースは水に不要であるため、本研究開発では水に可溶性なモデル化合物を用いた）に反応剤を付加できた。 ・有機化学的手法で新規水溶性セルロース誘導体の合成に成功した。当該誘導体は、塩水溶液に対して特異的に増粘する、また大量の塩水を吸水し、高い生分解性を有するなど従来にない新しい機能を有することが明らかになった。 | 達成 |
| バイオマス燃料（バイオエタノール）用原料としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿をエタノール原料としての可能性を確認する。綿／ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指し、コスト的な観点からの利用可能性についても確認を行う。 | <p>化学粉碎法により得られた回収綿はでバイオエタノールを生産できることを確認した。また従来技術（シュレッダー粉碎）と比較して、エタノール生産効率及び蒸留に使用されるエネルギー量の省力化ともに回収綿のほうが高いことが確認できた（エタノール蒸留効率は、シュレッダー粉碎物の約7倍を越える）。</p> <p>一方、コスト的な観点において、市場における原料想定コスト10～20円／エタノール1kgを設定することは困難であり、</p> | 達成 |

| | | | |
|---------------------|--|---|------|
| | | 廃棄衣料の回収ルートをいかに構築していくか等の検討を重ねていく必要がある。 | |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | ・医療分野等のピュアーな材料が要求される分野への回収綿（セルロース）の利用に当たっての、原料供給サイドとして安全性の評価を行い、これらの分野における実用化の可否を判断する。 | 医療分野等安全性の高い材料が求められる分野では、染料や綿（セルロース）の低分子量物等の含まれる回収綿を利用することは安全上きわめて困難であることがメディカル関係会社への調査で明らかになった。 | 一部達成 |

(2) 目標及び計画の変更の有無

無し

< 共通指標 >

| 論文数 | 論文の被引用度数 | 特許等件数（出願を含む） | 特許権の実施件数 | ライセンス供与数 | 取得ライセンス料 | 国際標準への寄与 |
|-----|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

本研究開発は、繊維製品全体の約45%を占める綿/ポリエステル混素材について、綿/ポリエステル混素材を綿とポリエステルに別々に分離・回収する技術を確立し、回収されたポリエステルをケミカルリサイクルし、回収された綿(セルロース)をコンポジット材料(樹脂補強用繊維)、新規水溶性セルロース誘導體、高吸水性樹脂、バイオエタノールの原料等高付加価値商品として展開(いわゆるマテリアルリサイクル)することを目的とし、エネルギー利用の効率化及び温室効果ガス削減に貢献できることから、国民や社会のニーズに合致したテーマであり、事業の目的は妥当で、政策的位置づけは明確である。

また、本研究開発は、技術的難易度が高く、民間企業が単独で取り組むにはコストを含めてリスクの高いテーマであることから、国が関与する事業として妥当である。

2. 研究開発等の目標の妥当性

本研究開発は、「綿/ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発」、「回収した綿の高付加価値商品化技術の開発」の2テーマを目標として掲げており、綿/ポリエステル混素材の分離・回収から広範囲の回収綿の応用に関する内容となっており、具体的かつ明確に目標及び目標水準が設定されているといえる。

しかし、高付加価値商品化技術の開発の目標やコスト換算等について、やや漠然としたものだったという指摘が残る。

3．成果、目標の達成度の妥当性

綿／ポリエステル混素材の新規分離・回収技術については目標を達成しており、技術としては確立できたと思われる。回収綿の高付加価値化技術（コンポジット材料、化学的モディファイ、バイオマス燃料への利用技術等）は成果の達成度に差があるが、特に新規水溶性セルロース誘導体については、高い生分解性などこれまでにない物性を示しており成果として評価できる。そのため、両研究開発項目ともに妥当な成果が得られており、設定された目標は概ね達成されたといえる。

なお、現段階では出口（用途）が見えず、実用化という面で現実味に欠けることは拒めない。今後、コスト問題や具体的な用途展開等を解決できれば事業化につながると期待できる。

4．事業化、波及効果についての妥当性

綿／ポリエステル混素材の分離・回収技術など、基本的な技術を確認しており、特に新規水溶性セルロース誘導体については、注目すべき成果が得られていることから事業化までの見通しが概ねあり、波及効果を概ね期待できる。

なお、本技術開発による回収綿・ポリエステルを今後どのように処理していくのが課題ではあるが、リサイクル化には、回収から製品化までのシステム全体像を示さねば波及効果は期待できないため、一企業で全てを完結させるのではなく、繊維産業全体を視野に入れたビジネスモデルが構築されることを期待する。

また、実施者の事業撤退により、回収ポリエステルのケミカルリサイクルが実施不能となったため、当初計画していたリサイクルシステムとしての事業化に課題が生じている。今後、少なくとも事業継承や販路開拓では得られた知見が継承されるように最大限の努力を期待する。

5．研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

研究開発計画、実施体制・運営、資金配分は適切である。

しかし、実施者がポリエステル事業から撤退したため、今後の分離・回収後のビジネスモデルが未定であり、費用対効果については成果の今後の活用によるところがある。また、探索研究的な研究開発マネジメントになっており、将来の事業戦略を想定した研究開発マネジメントがなされていない点もある。

6．総合評価

綿／ポリエステル混素材の分離回収技術は、衣料リサイクルにおいては避けられない障害であった。この課題に正面から取り組み、計画ベースでの技術はほぼ確立できており、良好な成果が得られていることは評価できる。特に、新規水溶性セルロース誘導体については、事業化あるいは波及効果が期待されるものであり、実施された事業は良かったといえる。

最終年度において実施者がポリエステル事業から完全撤退するという予期しない事態が生じたこともあり、技術開発後のビジネスモデルの再設計・再構築が必要であり、資金と人材を

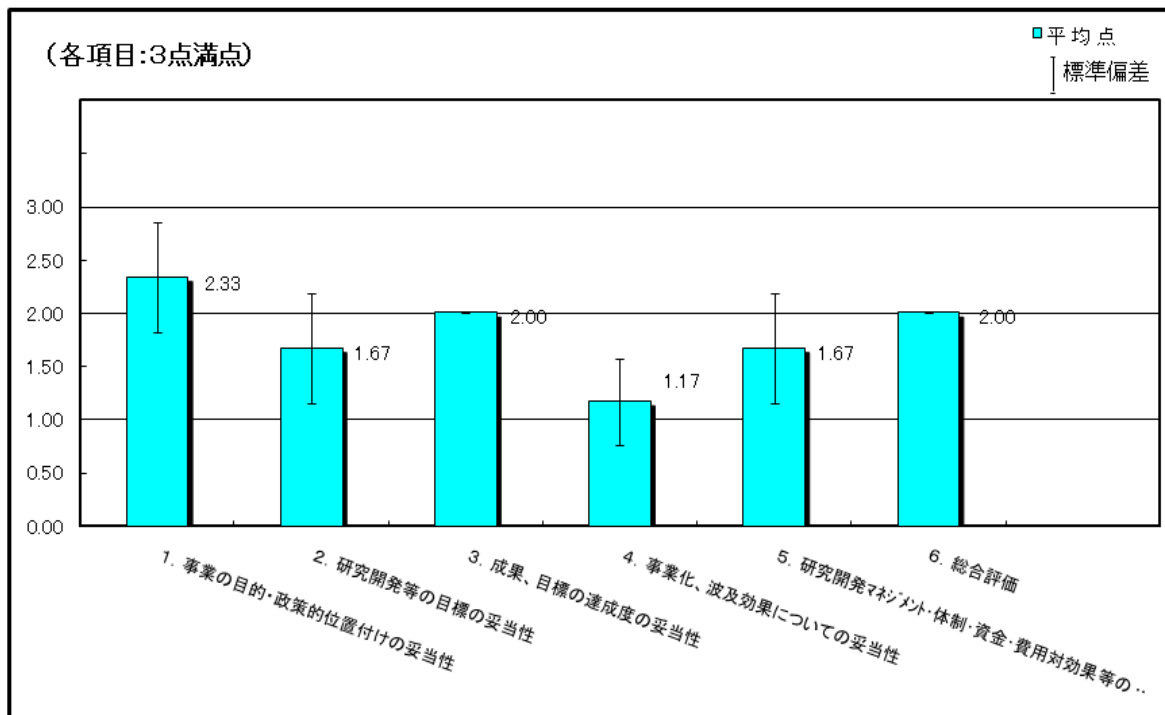
費やして得られた貴重な知識を無駄にすることなく、今後活かす方策を立てることを期待する。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

綿/ポリエステル繊維製品の分離・回収、リサイクルは繊維関連企業が関与すべき重要な課題である。本研究開発では、まだいくつかの課題が残されているものの、衣料品リサイクルという社会的な要請にマッチした事業であり、実用化に向けた更なる努力を期待する。

特に、事業実施者のポリエステル事業からの撤退で、本研究開発におけるリサイクルコンセプトの実現が難しい状況ではあるが、今後、綿/ポリエステル混素材の回収システムの最適化及び繊維分離からの高付加価値商品の開発にいたるまで、より包括的に捕らえたビジネスモデルを実用化に向けて構築していくことが重要である。

評点結果



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針（平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。）に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1)より良い政策・施策への反映
- (2)より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3)国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4)資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1)透明性の確保
- (2)中立性の確保
- (3)継続性の確保
- (4)実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある6名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省製造産業局繊維課が担当した。

3．評価対象

廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発（実施期間：平成18年度から平成20年度）を評価対象として、研究開発実施者（旭化成せんい株式会社）から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4．評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5．プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成21年6月1日に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1．事業の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。

- ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
- ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
- ・社会的・経済的意義（実用性等）

(2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。

- ・国民や社会のニーズに合っているか。
- ・官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

(1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。

- ・目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

(1) 成果は妥当か。

- ・得られた成果は何か。
- ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
- ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。

(2) 目標の達成度は妥当か。

- ・設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

(1) 事業化については妥当か。

- ・事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。

(2) 波及効果は妥当か。

- ・成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
- ・当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

(1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。

- ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
- ・採択スケジュール等は妥当であったか。

- ・選別過程は適切であったか。
 - ・採択された実施者は妥当であったか。
- (2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携 / 競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- (3) 資金配分は妥当か。
- ・資金の過不足はなかったか。
 - ・資金の内部配分は妥当か。
- (4) 費用対効果等は妥当か。
- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
 - ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。
- (5) 変化への対応は妥当か。
- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか (新たな課題への対応の妥当性) 。
 - ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6 . 総合評価

第2章 プロジェクトの概要

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

現在、地球上のエネルギーは石油や石炭等の化石燃料に大部分を依存しているが、化石燃料はいずれ枯渇すると言われている上に、化石燃料の燃焼に伴い排出される二酸化炭素(CO₂)、いわゆる温室効果ガスは、地球温暖化を急速に進め、このまま進行すると気候の変動や海面上昇が引き起こされるなど、人類ばかりでなく動植物や生態系全体に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。このため、地球温暖化を国際協調で防ごうと2005年に採択された京都議定書では、日本は二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量を2008年から2012年までの第1約束期間中に1990年比で、6%削減することが定められた。このような世界情勢の中、経済産業省は、エネルギー消費効率を2030年度までに30%以上改善するという目標を「新・国家エネルギー戦略」で公表している(2006年5月)。これらの目標を実現するためには、官民一体となり省エネルギー技術の開発等を強力に推進していくことが必要不可欠となる。

一方、日本国内における、繊維製品の廃棄物総排出量は年間約200万トン以上にものぼり、年々増加の傾向にある。繊維製品は、ポリエステルやナイロン等の合成繊維、レーヨンやキュプラ等の再生繊維、綿やウール、絹等の天然繊維、更には合成繊維と天然繊維、或いは合成繊維と再生繊維との混素材からなる(ここで混素材とは、異なる素材の繊維がある比率で組み合わせられた衣料品、^{ひん}布帛等の総称であり、特に混紡や混織等の形態を問わない)。ポリエステル繊維では、化学的にモノマー段階まで分解し、もう一度ポリエステル原料として利用する、いわゆるケミカルリサイクルが一部行われている。しかしながら、繊維製品の廃棄物総排出量の約90%が、ケミカルリサイクル或いはマテリアルリサイクルできておらず、その殆どが焼却処分されている。そのため廃棄衣料は、大きな焼却エネルギーの消費源、二酸化炭素の排出源となっており、それは今後も増加の見通しである。

特に繊維製品全体の約45%を占める綿(以下、「セルロース」と称する場合がある)^{*1}とポリエステルとの混素材(以下、「綿/ポリエステル混素材」と称する。)は、綿とポリエステルの分離の困難性からそのほとんどが焼却処分され、その焼却に多くのエネルギーを要し、また二酸化炭素を排出している。

本研究開発は、綿/ポリエステル混素材を綿とポリエステルに別々に分離・回収する技術を確立し、回収されたポリエステルのケミカルリサイクルし、また回収された綿(セルロース)をコンポジット材料(樹脂補強用繊維)、新規水

溶性セルロース誘導体、高吸水性樹脂、バイオエタノールの原料等高付加価値の商品として展開する（いわゆるマテリアルリサイクル）ことを目的としている（図1-1）。

また、本研究開発は、繊維製品全体の約45%を占める綿/ポリエステル混素材について、二酸化炭素の排出を伴わない真のリサイクルを目指すものであり、これにより日本国の目指すエネルギー利用の効率化及び温室効果ガス削減に貢献できる。更にこの技術を活用することにより、新しいセルロース事業を創出することも可能である。

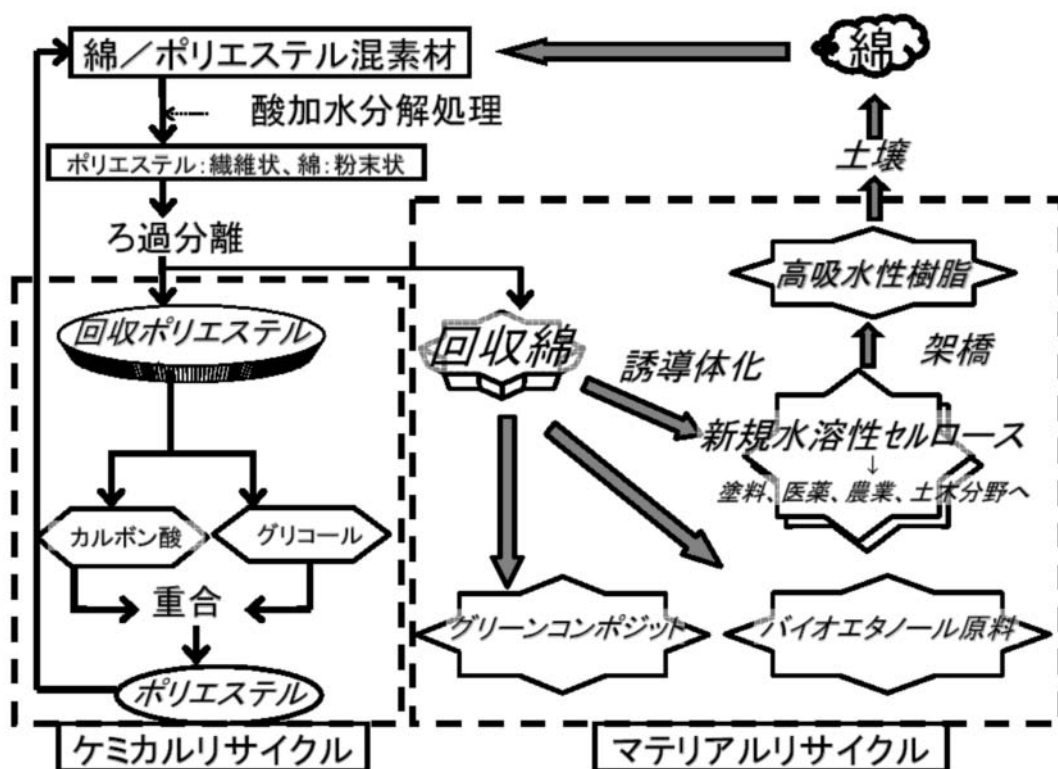


図1-1 廃棄衣料のリサイクルフロー

*1 綿は、多数の D-グルコース分子がグリコシド結合により直鎖状に重合したセルロースを主成分とする。

1) 綿/ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発

綿/ポリエステル混素材は、機械的に粉砕し分離する方法がある。しかしながらこの方法では、綿繊維とポリエステル繊維の絡み合いにより、効率的に分離できないことから、綿とポリエステルの回収率が低い。更にこの方法は、あるサイズに到達するまでに粉砕を繰返し行わなければならない、粉砕に膨大なエネルギーを消費するという問題がある。

一方、(独)産業技術総合研究所における研究開発において、綿/ポリエステ

ル混素材を化学的に処理することで、ポリエステルは繊維形態を維持したまま
で、綿のみが粉状に粉砕される現象が見出されている。

本研究開発においては、工業的实施を目指し、当該（独）産業技術総合研究
所の消費エネルギーの少ない化学的粉砕技術を応用し、綿とポリエステルを効
率的に分離する工業化技術を開発する。

また、確立された分離技術を反映させ、化学的に綿を粉砕し、綿とポリエス
テルを効率的に分離・回収できる装置を設計・製作する。更に当該装置を利用
して、綿とポリエステルを高い収率で回収できる技術を確立する（図1 - 2）。

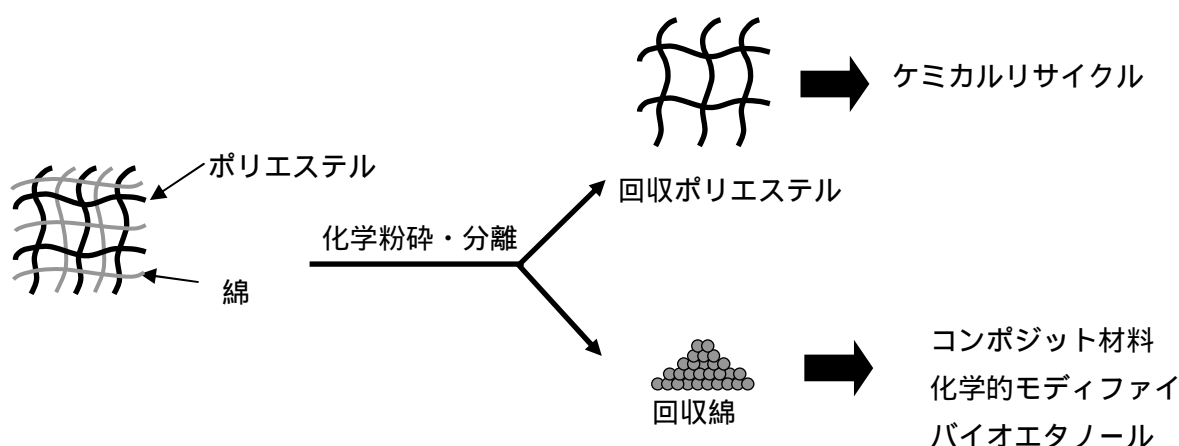


図1 - 2 . 綿 / ポリエステル混素材の分離回収イメージ

2) 回収した綿（セルロース）の高付加価値商品化技術の開発

回収した綿（セルロース）につき、下記 ~ に記載する高付加価値化検討
を行い、回収した綿の高付加価値商品の可能性を見出す。

ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発

綿等のセルロースは天然物であるため、本方法での化学的に粉砕したセルロ
ースはナノパウダー状態にあると期待されるが、形状、粒度等の均一性は条件
調整だけでは達成できない可能性がある。そのまま利用できる分野も調査検討
していくが、高付加価値材料として利用する場合には、サイズ及びばらつきを
最小に調整する必要があるので、既存の機械的粉砕・分級技術^{*2}を応用し検討
する。

*2 種々の粒径が混ざった粒子の集合体を篩^{ふるい}等を用いて、一定のサイズの粒子に分別する技術

脱色の検討

ナノパウダー化により白度は高くなると考えられるが、色素（染料）の影響

は少なからず残存すると。従って、よりピュアーな材料が要求される医療分野等に対しては化学的な脱色方法を検討していく。

各種コンポジット材料の調査及び試作

ポリ乳酸等環境調和型樹脂のコンポジット材料（補強用繊維）としてセルロースを利用するという研究が近年積極的に行われているが、この場合、補強材となるセルロースを如何に安価に、かつ安定的に供給できるかということも重要なポイントとなる。本研究によりセルロース（回収綿）が安価に調整でき、かつ環境調和型樹脂の課題を解決することができれば、先端研究が実用化まで一気に加速すると考えられる。そこで、これらの分野について調査を行い、試作検討する。

化学的モディファイの検討

回収綿（セルロース）の用途によっては化学的な機能性の導入が必要となる。回収綿（セルロース）は、その構造単位グルコース環1個あたり3個の水酸基を有しているため、各種の化学的モディファイが可能であり、これによる高機能化と商品化を検討する。

バイオマス燃料（バイオエタノール用原料）としての有効利用の可能性検討

セルロースをバイオマス燃料として利用する場合、反応効率を上げるためにできるだけセルロースを細かく粉砕する必要がある。粒子状に粉砕された回収綿（セルロース）を利用すれば比表面積が大きいことから反応性に富み、アルコール発酵の有効な原料となる可能性が高い。回収された綿（セルロース）のバイオエタノール原料としての利用可能性を検討する。

安全性の評価及び生体適合性の可能性検討

医療分野等の生体適合性を要求される分野への活用も想定し、不純物の有無、多少による十分な検証等、原料供給サイドとして安全性の評価は必須である。

1 - 2 国の関与の必要性

エネルギー利用効率の一層の向上には、技術革新とその成果の普及を促していく必要があり、官民一体となり中長期的に取り組むことが必要不可欠となっている。

本研究開発は、廃棄衣料の大部分（約45%）を占める綿/ポリエステル混素材の処分において、綿とポリエステルをそれぞれ分離・回収し、ポリエステ

ルをケミカルリサイクル、綿をマテリアルリサイクルすることで、焼却を必要としない、真のリサイクルを目指すものである。これにより、環境に対する負荷軽減及びエネルギーの使用合理化に貢献できるものであり、国民や社会のニーズに合致したものである。

しかしながら、現実に綿／ポリエステル混素材を分離・回収する技術が確立されていないことや分離・回収した綿（セルロース）を有効に活用できる用途分野が明らかになっていない現状をかんがみれば、その達成可否に多くの不確定要素を含んでいる。またその実現には、民間単独ではコストを含めてリスクが大きく困難であることから、国の支援が必要不可欠である。

1 - 3 政策的位置付け

「エネルギー基本計画」(2007年3月閣議決定)、「新・国家エネルギー戦略」(2006年5月)、「第3期科学技術基本計画」(2006年7月財政・経済一体改革会議)、「京都議定書目標達成計画」(2005年4月閣議決定)において、推進すべき技術開発としてエネルギーに係る分野が示されている。

本研究開発は、これらに基づき、二酸化炭素(温室効果ガス)の排出削減による地球温暖化の抑制に貢献することを目的として、経済産業省において取りまとめた「省エネルギー技術開発プログラム」に位置付けられる「エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発」のテーマの一つとして実施されたものである。なお、平成20年4月に経済産業省の研究開発プログラムが再編され、「エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発」は、現在「エネルギーイノベーションプログラム」の「4 - 総合エネルギー効率の向上/超燃焼システム技術」に位置付けられている(図1-3)。また本研究開発は、経済産業省「技術戦略マップ2009」の「環境3R分野」の技術マップ「その他の主要3R技術」に位置づけられる(図1-4)。

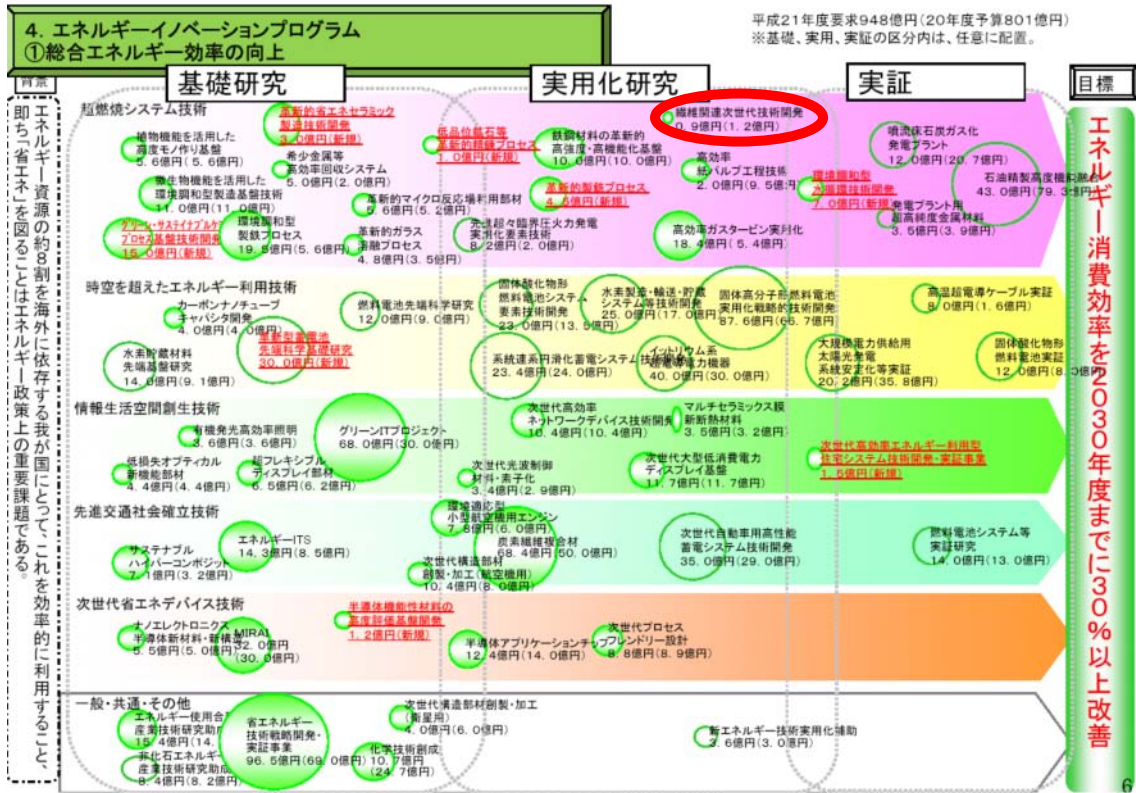


図1-3. エネルギーイノベーションプログラム

注)重要テーマの (複数可)の意味
 :最終処分量の削減に特に効果あり
 :資源の有効利用(資源枯渇対策)に特に効果あり
 :地球温暖化防止の観点に効果あり

| 技術区分大分類 | 技術区分小分類 | 3Rカテゴリ | 対象物等 | 詳細技術 | 技術No | 重要テーマ | | | | | |
|------------|------------------------------|--------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------|
| その他の主要3R技術 | プラスチック | 基礎技術 | 分離・分別技術 | リサイクル | 既存機器(廃家電・廃自動車等)対応技術 | 3R5001 | | | | | |
| | | | | | 種類別分離・分別技術(水平リサイクル) | 3R5002 | | | | | |
| | | | | | 身分解設計技術 | 3R5003 | | | | | |
| | | | | | 種類別高度分離・分別技術(新プラスチック対応) | 3R5004 | | | | | |
| | | | | | セメント利用 | 3R5005 | | | | | |
| | | | | | 高効率発電 | 3R5006 | | | | | |
| | | | | | 高炉・コーク炉原料化 | 3R5007 | | | | | |
| | | | | | 油化技術(主に事業所内でのコジェネ利用,分解油品質向上化技術) | 3R5008 | | | | | |
| | | | | | ガス化改質技術 | 3R5009 | | | | | |
| | | | | | 家庭用エネルギー転換技術(メタン,水素等への転換) | 3R5010 | | | | | |
| | | | | | 生/マー化技術 | 3R5011 | | | | | |
| | | | | | 石油化学原料化技術 | 3R5012 | | | | | |
| | | | | | 物質・エネルギー再生の化学製造プロセス技術(コプロダクション技術) | 3R5013 | | | | | |
| | | | | | 材料リサイクル | アップグレード再生技術 | 素材開発 | 高付加価値品へのアップグレード再生技術 | 3R5014 | | |
| | | | | | | | | 劣化検出と修復再生技術 | 3R5015 | | |
| | | | | | | | | 自己修復再生技術 | 3R5016 | | |
| | | | | | 代替素材開発 | プラスチック塗装膜剥離再生技術 | 塗装プラスチック | プラスチック塗装膜剥離再生技術 | 3R5017 | | |
| | | | | | | | | 生分解プラスチック | 生分解プラスチック(植物由来)製造技術 | 3R5018 | |
| | | | | | その他 | 廃プラスチック含有塩素と廃ガラスびん含有アルカリ同時回収 | リサイクル | プラスチック全般 | 3R化を考慮したプラスチック素材開発 | 3R5019 | |
| | | | | | | | | | リグノフェノール | リグノフェノールプラスチックリサイクル技術 | 3R5020 |
| | リグノフェノールプラスチック分離・分別技術 | 3R5021 | | | | | | | | | |
| | 廃プラスチック含有塩素と廃ガラスびん含有アルカリ同時回収 | 3R5022 | | | | | | | | | |
| | 3R対応型の塗料・インクの開発 | 3R5023 | | | | | | | | | |
| | 容器包装プラスチックの高度リサイクルシステムの構築 | 3R5024 | | | | | | | | | |
| | バイオ技術等を用いた新たな概念の技術 | 3R5025 | | | | | | | | | |
| | バイオマス | 発電技術 | リサイクル | 木質/汚泥系 | | | | | 高効率発電(小規模)技術,部分燃焼ガス化発電 | 3R5026 | |
| | | | | | | | | | 石炭混焼発電 | 3R5027 | |
| | | | | | | | | | エタノール発酵 | 高効率エタノール発酵技術 | 3R5028 |
| | | | | | メタン発酵 | 高効率メタン発酵技術[排出源での利用] | 3R5029 | | | | |
| | | | | | 水素発酵 | 水素発酵技術 | 3R5030 | | | | |
| | | 燃料化技術 | リサイクル | 木質/汚泥系 | 堆肥化 | 堆肥化技術(大規模での高品質化) | 3R5031 | | | | |
| | | | | | 高効率BDF製造 | 高効率BDF製造技術 | 3R5032 | | | | |
| | | | | | ガス化技術 | ガス化改質+燃料化(GTL,水素製造)技術 | 3R5033 | | | | |
| | | | | | 高効率ガス化改質+燃料化(GTL,水素製造) | 3R5034 | | | | | |
| | | | | | 物質・エネルギー併産コプロダクション技術 | CO2フリーな水素とカーボンのコプロダクション | 3R5035 | | | | |
| | 燃料製造とエネルギー(電力,熱)のコプロダクション | 3R5036 | | | | | | | | | |
| | 物質・エネルギー再生の製造プロセス技術(ガス化) | 3R5037 | | | | | | | | | |
| | その他 | リサイクル | 木質系 | 家庭用エネルギー転換 | 家庭用エネルギー転換技術(メタン,水素などへの転換) | 3R5038 | | | | | |
| | | | | リグノフェノール用途開発 | リグノフェノール用途技術 | 3R5039 | | | | | |
| | シュレッダーダスト | リサイクル | 自動車系,家電系 | ガス化改質技術 | ガス化改質技術 | 3R5040 | | | | | |
| | | | | 油化技術 | 油化技術 | 3R5041 | | | | | |
| | | | | 電炉利用の鉄とプラスチック複合リサイクル | 電炉技術を用いた鉄およびプラスチックの複合リサイクル技術開発 | 3R5042 | | | | | |
| | 複合素材 | リデュース | 金属,セラミックス,カーボン,樹脂および混合系 | 易分解性設計+リサイクル性素材の開発技術 | 3R5043 | | | | | | |
| | | | | カーエアコン,家庭用エアコン,家庭用・業務用冷蔵庫など | 回収システム,分解技術(燃焼,熱分解,化学処理技術) | 3R5044 | | | | | |
| | 代替フロン | 回収・処理 | リデュース/リユース | 回収装置の小型化,高速化 | 3R5045 | | | | | | |
| | | | | 洗浄溶剤回収利用 | 洗浄溶剤 | 回収・利用 | 3R5046 | | | | |
| | ナノテク素材 | 分離技術 | リサイクル | 断熱材 | 建築断熱材(断熱材)中からの残留フロン回収,分解技術 | 3R5047 | | | | | |
| | | | | 複合ナノ素材 | 分離技術 | 3R5048 | | | | | |
| | | | | 易分離設計 | 3R5049 | | | | | | |
| | 回収技術 | リサイクル | ナノ素材全般 | 素材分別/回収システム+アップグレード再生技術 | 3R5050 | | | | | | |

図1-4. 経済産業省「技術戦略マップ2009」 環境3R分野 技術マップ「その他の主要3R技術」

2 . 研究開発目標

2 - 1 研究開発目標

本研究開発は、毎年大量に市場に出回っている綿 / ポリエステル混素材について、ポリエステルはケミカルリサイクル、綿はコンポジット材料の原料等の高付加価値化商品として利用することで、二酸化炭素を排出するサーマルリサイクルでない、真のリサイクル技術を開発し、省エネ及び環境負荷低減に資するものである。

2 - 2 研究開発項目及び目標

2 - 1 の目標達成のため、以下のとおり「綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発」及び「回収した綿の高付加価値商品化技術の開発」を行う。また、各研究開発項目の目標は表 1 のとおり。

1) 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発

現在、綿 / ポリエステル混素材から、綿またはポリエステルのみを効率的に分離・回収する工業化技術は確立されていない。そこで、本研究開発では、綿 / ポリエステル混素材から綿のみを化学的に粉砕する技術を確立することで綿とポリエステルの分離率 100% を目指す。

更に、工業的实施を目指し、確立された分離技術を反映させ、化学的に綿を粉砕し、綿とポリエステルを効率的に分離・回収できる装置を設計・製作する。また当該装置を利用して、綿とポリエステルを高い収率で回収できる技術を確立する。目標とする回収率は、綿、ポリエステルそれぞれ 80% 以上とする。

2) 回収した綿（セルロース）の高付加価値商品化技術の開発

ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発

1) の分離・回収に際して、化学的に粉砕された回収綿（セルロース）は、ナノパウダー状態になることが期待される。このセルロースナノパウダーをそのまま利用できる分野を市場調査等にて明らかにし、その利用可能性を検討・確認する。また回収されたセルロースナノパウダーを高付加価値材料として利用する場合には、更に、サイズ及びばらつきを最小に調整する必要があるので、既存の機械的粉砕・分級技術を応用し検討する。

脱色の検討

1) で回収されるセルロースパウダーは、医療分野等のよりピュアーな材料

が要求される分野での利用も想定されるので、化学的なセルロースパウダーの脱色方法を確立する。

各種コンポジット材料の調査及び試作

セルロースは、結晶弾性率^{*3}が高いので、繊維補強材料として利用する動きが見られる。一般的に、綿から採取されるセルロースは、木材や稲わら、籾殻等から採取されるセルロースと比較して、非常に結晶化度^{*4}が高く、結晶弾性率も高いので、繊維補強材料としてのより高いポテンシャルを有する。回収綿は、綿/ポリエステル混素材の分離工程における酸加水分解処理により非晶部が分解、除去されるので、元の綿よりも更に結晶化度が高くなり（図2 - 1）、かつ耐熱性も向上する。従って、このような特性を持つ回収綿は、ポリ乳酸等の環境調和型樹脂の欠点である機械的特性や熱特性等の諸課題を解決するためのコンポジット材料（樹脂補強用繊維）としての利用が大いに期待される。

*3 結晶弾性率とは、結晶の変形のしにくさ（剛性）を表す物性値であり、値が大きいほど、結晶は変形しにくい。

*4 結晶化度とは、結晶性物質における結晶化の度合いをいう。同じ結晶弾性率であれば、値が大きいほど、物質を変形させるためにはより大きな力が必要（変形しにくい）。



図2 - 1 . 綿（セルロース）の加水分解モデル図

本研究では、回収綿のコンポジット材料としての有効利用の可能性を確認することを目標とする。

化学的モディファイの検討

セルロースは、その構造単位のグルコース環 1 個あたりに 3 個の水酸基（OH）を有している（図2 - 2）。

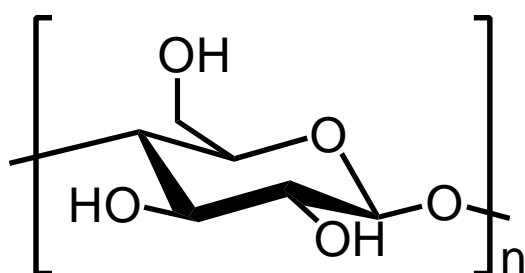


図 2 - 2 . セルロースの分子骨格

この水酸基に特定の官能基を特定量導入することで、本来セルロースになかった新たな機能を付与することができる（以下、セルロースの水酸基に特定の官能基が導入されたものをセルロース誘導体という）。

一方、環境保護の観点から、塗料、接着剤を主とする全事業分野において、VOC（揮発性有機化合物）使用削減が急務となっている。塗料、接着剤業界においてVOCは、塗料等の主剤となる樹脂（エポキシ、ウレタン等）や添加剤の溶剤として利用されている。塗料等の樹脂や添加剤が水溶化できれば、VOCを使用する必要がなくなり、VOC使用削減に繋がる。

セルロースは本来、水に溶解しないが、上述のとおりその分子内に存在する水酸基に親水性の官能基を導入することで水溶化することが可能である。

本研究では、上記水溶性技術が求められる分野への利用可能性を確認するため、具体的用途やその用途に必要な性能を調査し、カルボキシル基やアミド基等の親水性官能基を分子内に導入するため反応剤や合成条件を模索することで、新規機能を有するセルロース誘導体を開発し、実用化が想定できるレベルまで到達させることを目標とする。

バイオマス燃料（バイオエタノール用原料）としての有効利用の可能性検討

現在、バイオエタノール用原料としての利用可能性について木質系セルロースを用いたものが検討されている。しかしながら、木質系セルロース原料は、山野からの間伐材の切り出し収集やその運搬に大きな費用がかかるので、コスト面に問題がある。更に木質系セルロースは、セルロース純度が低い（得られるエタノール量少ない）わりに不純物除去等の前処理に多大のエネルギーが必要であり、生産するエネルギー量に対して、その生産過程で消費されるエネルギーが大きいという大きな問題がある。

一方、綿は木質系セルロースのような大がかりな粉砕は必要とせず、また不純物含有量も少ないことから、前処理におけるエネルギーという点では木質系セルロースよりも優位と言える。即ち、廃棄衣料として排出される綿 / ポリエステル混素材はバイオエタノールの有効な原料といえる。しかしながら、綿 /

ポリエステル混素材を機械的に粉碎し、そのままエタノール原料として利用しようとしても、機械的に粉碎された綿／ポリエステル混素材は、わた状であるために、仕込み濃度が高いと処理液を吸い取ってしまい、エタノール化反応が進行しないため、非常に低濃度のセルロースしか仕込むことができない。その結果、エタノールの効率的生産ができないということになる。

そこで本研究では、綿／ポリエステル混素材から直接純度の高いセルロースを粉状で回収できるので、セルロース濃度を高く設定でき、効率的にエタノールを生産できる可能性がある。

本研究では、化学的粉碎法で回収された粉状の綿を利用してアルコール発酵が可能であることを実証すること、更に当該方法が従来技術と比較して効率的であることを実証し、かつコスト的な観点からの利用可能性についても確認を行うことを目標とする。

安全性の評価及び生体適合性の可能性検討

医療分野等によりピュアーな材料が要求される分野への回収綿（セルロース）の利用に当たっては、生体適合性素材としての利用が求められるため、原料供給サイドとして安全性の評価を実施し、これらの分野における実用化の可否を判断する。

表 1 . 研究開発項目毎の目標

| 研究開発項目 | 目標・指標 | 設定理由・根拠等 |
|-------------------------------|--|--|
| 1)綿／ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率 100% ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ80%以上 | <ul style="list-style-type: none"> ・ポリエステルのケミカルリサイクルに対する不純物の影響を軽減するために、高い分離率を必要とする。 ・回収率をできるだけ高くすることが、高付加価値商品の原料コストを抑えるために必要である。工業的实施を想定し、80%以上の回収率を目指す。 |
| 2)回収した綿の高付加価値商品化技術の開 | | |

| | | |
|-----------------------|--|--|
| 発 | | |
| ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿／ポリエステル混素材の分離・回収に際して、化学的に粉碎された結果、セルロースナノパウダー状態になることが期待され、セルロースナノパウダーをそのまま利用できる分野を調査検討する。 ・セルロースナノパウダーのサイズ及びばらつきを最小に調整するため、既存の機械的粉碎・分級技術を応用検討する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・セルロースナノパウダーをそのまま利用できれば、エネルギー効率的に優位である。 ・高付加価値商品として展開するには、品質管理・品質保証の観点から、バラツキを押さえる必要があり、また既存の技術を応用できれば、コスト的に優位である。 |
| 脱色の検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・医療分野等のよりピュアーな材料が要求される分野に対して、回収綿（セルロース）を用いるに当たっての化学的脱色方法を確立する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・医療分野に展開するためには、色素（染料）の影響は排除する必要がある。 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・環境調和型樹脂（ポリ乳酸等）は機械的特性、熱特性等、まだ様々な課題を残している。環境調和型樹脂が汎用樹脂として広く利用されるためには、これらの課題を解決する必要がある。高い弾性率と耐熱性を有する回収綿を利用することで環境調和型樹脂の諸課題の解決を目指す。 |
| 化学的モディファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。 ・新規水溶性セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・高付加価値化の取組みの一つとして、これまで合成されなかった新規構造で新規機能を有する水溶性セルロース |

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| | し、実用化が想定できるレベルまで到達させる。 | <p>誘導体を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿を用いて合成した新規水溶性セルロース誘導体を原料とする生分解性の高吸水性樹脂を開発し、農業用資材や土壌の保水剤等土壌改良剤として利用することで、回収された綿を再び土壌に戻すことを可能とする。土壌改良剤として利用する場合、高いイオン濃度の水溶液をも吸水できることが必要であるので、海水相当の塩化ナトリウム濃度: 3.5%の水溶液を100g/g以上吸水することが要求される。 |
| バイオマス燃料(バイオエタノール用原料)としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿をエタノール原料としての可能性を確認する。綿/ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指す。また、コスト的な観点からの利用可能性についても確認を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・比表面積の大きな粉状の回収綿は、反応性に富み、処理液との接触面積が大きいので、アルコール発酵の有効な原料となる可能性が高い。 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・医療分野等のピュアーな材料が要求される分野への回収綿(セルロース)の利用に当たっての、原料供給サイドとして安全性の評価を行い、これらの分野における実用化の可否を判断する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・原料供給サイドとして、安全性の評価は必須である。 |

3 . 成果、目標の達成度

3 - 1 成果

1) 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発

本研究において、綿 / ポリエステル混素材から、綿またはポリエステルのみを得るために、溶媒の種類、触媒、温度、濃度、処理温度、時間等のファクターに関し、各要素を複合的に組み合わせ検討した結果、綿とポリエステルの分離率 100% を達成した。また、分離した綿及びポリエステルにつきそれぞれ 80% 以上の回収率を達成した。

【研究開発内容】

(独) 産業技術総合研究所の研究成果として、綿 / ポリエステル混素材を化学的に処理する(具体的には酸で加水分解させる)ことで、ポリエステルは繊維形態を維持したまま、綿のみが粉状に粉砕されるという知見が得られている。

酸による化学的粉砕の問題点としては、綿が糖レベルまで低分子化を起こすこと(高い収率で綿を回収できない)、またそれに付随して綿に激しい着色が起こることが挙げられる。そこで、我々は、過度な分解が起こらず、かつ粉末化が可能となる条件を明らかにするために、種々の酸、濃度及び反応温度について、各要素を複合的に組み合わせ検討した。その結果、塩酸は他の酸と比較して粉末化可能領域が大きいことが判明したので、酸として塩酸を用いることにした(図 3 - 1)。

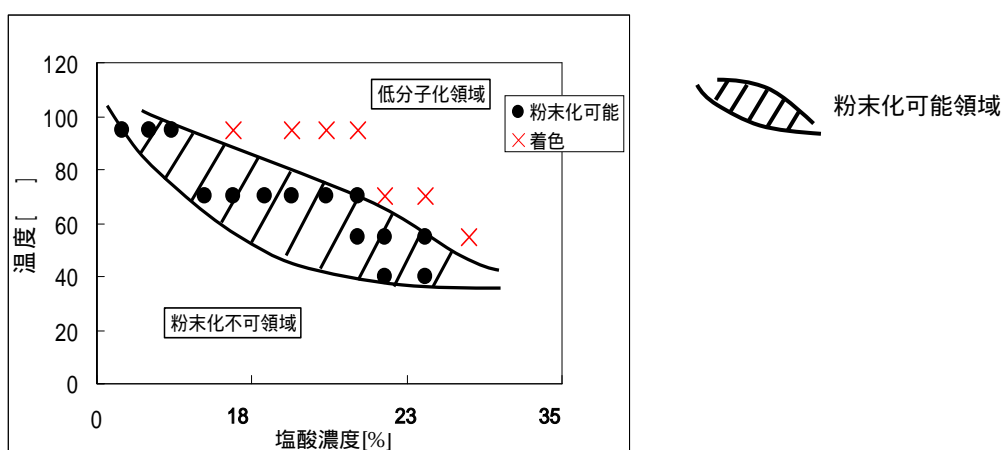




図 3 - 1 . 塩酸による粉末化可能領域

更に塩酸濃度及び反応温度について種々検討した結果、130℃、0.4%の塩酸濃度で綿/ポリエステル混素材を処理することで綿、ポリエステル共に回収率100%を達成した(表3-1)。

表3-1. 塩酸濃度及び反応温度に対する回収綿の収率

| 塩酸濃度 温度 | 0.01% | 0.10% | 0.30% | 0.40% | 0.50% |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 120 | | 41% | | 76% | - |
| 130 | | | 91% | 100% | 97% |
| 140 | 5% | 83% | 94% | 94% | 82% |
| 150 | | - | 91% | | |
| 160 | 77% | | | | |

 収率が80%に達しない領域
 着色する領域

なお、回収した綿は粉末状であり、回収ポリエステルは繊維状の形状を保っていることを確認した(図3-2)。

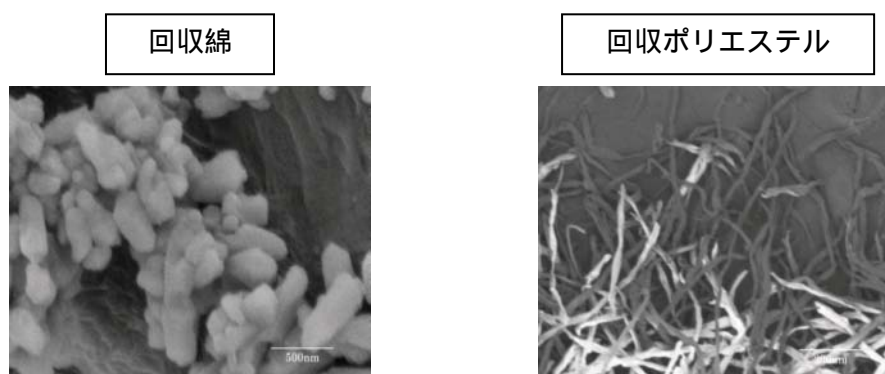


図3-2. 回収した綿及びポリエステル

更に実用化を目指して、上記基礎検討に基づき200L容量の分離回収用反応設備を設計設置し、分離・回収検討を行った(図3-3)。

基礎検討では原料サイズを10mm角で行っていたが、本機に適用したところ、回収率が18%と低い結果に終わった。そこで、再度原料サイズと洗浄条件(繊維状のポリエステル繊維に付着した粒子状の回収綿を洗い流す条件)の絞込みを行った結果、処理条件はそのまま原料サイズを1mm角以下に粉碎し、更に化学粉碎後の水洗回数を増加させることで回収綿90.4%、回収ポ

リエステル104%の回収率^{*5}を達成した(表3-2)。即ち、実用化に向けては、原料サイズと洗浄条件がポイントとなることが分かった。

*5 ポリエステル回収率が100%を超えるのは、回収綿が付着しているため。

表3-2. 反応設備による綿/ポリエステル分離・検討

| 処理条件 | | | | | 回収綿 | | |
|---------|----------------|-------------|--------------|-------------|-----------------------|-----|---------------------------|
| 原料サイズ | 酸条件 | 処理温度 () | 処理時間 (hr) | 水洗回数 (回) | 回収率 (%) | 重合度 | 平均粒径 (μm) |
| 10mm 角 | HC 1 (0.4%) | 130 | 1hr | 3 | 18.2 | 152 | 22.5 |
| 5mm 角 | | | | 3 | 27.6 | 144 | 23.1 |
| 1mm 角以下 | | | | 3 | 56.6 | 161 | 21.2 |
| 1mm 角以下 | | | | 10 | 90.4 (ポリエステル:104%) | 149 | 16.7 |

注：表3-2の処理条件は図3-3の*回収工程において、適用したものの。

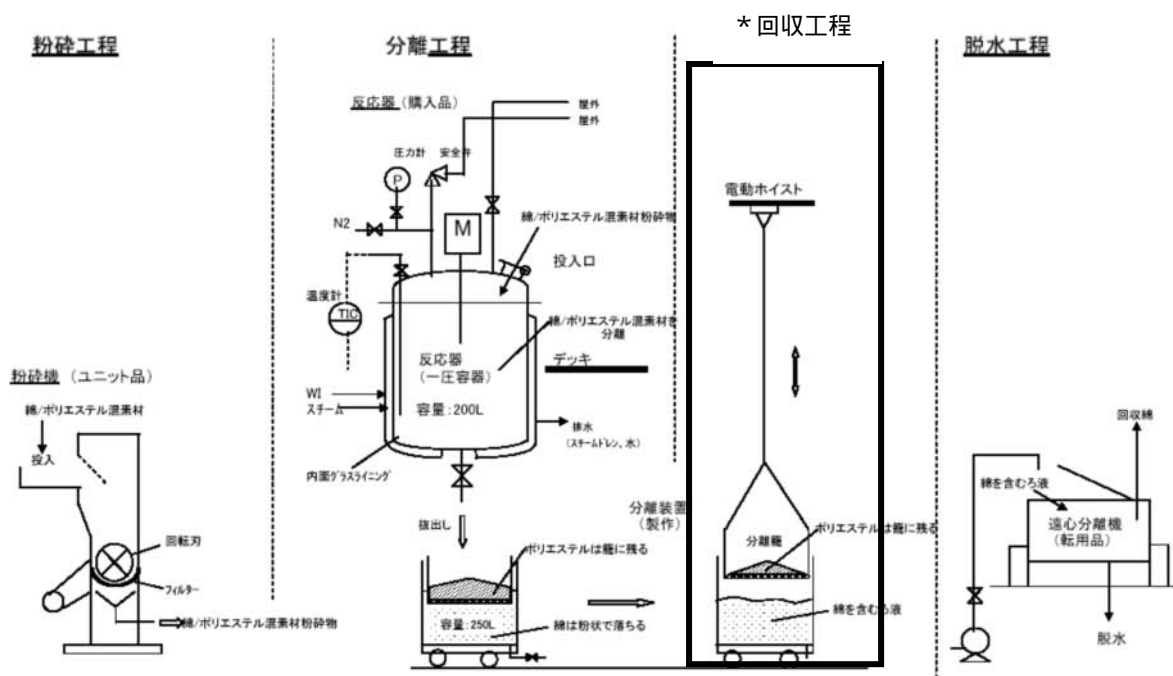


図3-3. 綿/ポリエステル混素材分離・回収設備

以上、実用化レベルで綿／ポリエステル混素材から綿とポリエステル、それぞれ80%以上の収率で回収するという目標を達成することができた。

2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発

ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発

本研究開発では、綿／ポリエステル混素材の分離・回収に際して、化学的に粉碎された回収綿（セルロース）は、ナノパウダー状態になることを期待していた。しかし、化学的粉碎法で綿（セルロース）をナノサイズに到達させることはできないことが、1) 綿／ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の検討で明らかになった。回収綿のサイズは、数十～数百 μm オーダーであり、これを更にナノサイズまで機械的に粉碎するためには、非常に大きなエネルギーを必要とするので、回収綿をナノパウダー化することは本研究開発の目的に合致しない。また、機械的粉碎によるナノパウダーは、市場調査等の結果から、用途可能性が大きく広がることも期待できなかった。

【研究開発内容】

1) 綿／ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発においては、加水分解に用いる酸の種類や処理条件等を種々検討することで、分離率・回収率向上を目指すとともに回収綿をナノ粒子化できることを当初期待していたが、加水分解処理（化学的粉碎法）だけでは綿（セルロース）をナノサイズまで微粒子化できないことが明らかになった。加水分解後の回収綿の粒子サイズは数十～数百 μm 程度であり、これをナノサイズまで粉碎するためには、高圧ホモジナイザー等、機械的な粉碎を更に行う必要がある。しかしながら、この粉碎方法は非常に大きなエネルギーを要し、エネルギー利用の効率化を目指す本研究開発の目的に合致しない。更に回収綿の微粒子化に更なる工程を追加することは、原料コストアップにつながる（化学的粉碎法で得られる回収綿価格：約500～700円/kg、化学的粉碎法及び機械的粉碎法で得られる回収綿価格：約800～1000円/kg・・・いずれも概算）。しかしながら、ナノ粒子に係る市場調査及び技術調査の結果、約800～1000円/kgという原料価格を許容できるナノ粒子の高付加価値用途を見出すことはできなかった。

しかし、本研究開発の化学的粉碎により得られたセルロースパウダーは、以下の～の検討項目については、ナノ化していない回収綿をそのまま利用できることが分かった。

脱色の検討

本研究開発では、染色された回収綿を還元処理により無色化できることを明らかにしたしかし、染色された綿を無色化しても、染料までを完全に除去することはできなかった。また、医療分野等のピュアーな材料が求められる分野では、染料が残存する材料は安全上使用することができないことが調査により明らかになった。

【研究開発内容】

綿は、アゾ基 (- N = N -) 等の発色団を分子構造に有する染料で染色される。本研究開発では染色された回収綿を、ヒドロサルファイト等を用いた還元処理により、無色化できることが分かった。この還元処理は、アゾ基中の共役二重結合を切断することで発色を抑制するものであって、綿から染料を完全に分解除去するものではない。そのため、メディカル関係会社への調査を行ったが、見た目上無色の材料であったとしても、染料が少量でも残存する材料は安全上使用できないとの見解を得た。

各種コンポジット材料の調査及び試作

本研究において、回収綿のコンポジット材料としての有効利用可能性を追求した。本研究における環境調和型樹脂として、ポリ乳酸と熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーを選択した。ポリ乳酸は環境調和型樹脂の代表であり、熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーは、回収ポリエステルをケミカルリサイクルし得られたカルボン酸を始め、バイオ由来のグリコール或いはポリアルキレングリコールを原料とし、更にはその分子骨格に生分解性の材を導入することで環境調和型樹脂と位置づけることができる。

回収綿とポリ乳酸との複合化検討を行った結果、回収綿を特定量含有させることでポリ乳酸の課題である機械的物性の弱さが改善され、引張強度や曲げ弾性率が向上した。また熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーは、回収綿と混合することで欠点である熱収縮が抑制され (寸法安定性の改善) また引張弾性率が向上した。いずれも回収綿がコンポジット材料として利用できる可能性を確認した。

【研究開発内容】

回収綿のコンポジット材料としての有効利用可能性を追求するために、環境調和型樹脂としてポリ乳酸と熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーの改質・高機能化の検討を行った。なお、本研究開発で用いる熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーは、回収ポリエステルをケミカルリサイクルして得ら

れたジメチルテレフタレートをカルボン酸原料として重合し、得られたものである。

ポリ乳酸は、機械的物性及び耐熱性を向上させることを改質・高機能化のポイントとした。表3 - 3 に示すとおり、ポリ乳酸と回収綿の混合比を変えてブレンドポリマーを調製した。なお物性評価には各種ブレンドポリマーを熱プレスしたプレート型の試験片を用いた(図3 - 4)。

表3 - 3 . ポリ乳酸 / 回収綿の熱特性及び物性評価

| ポリ乳酸(%) | 回収綿(%) | 融点() | ガラス転移温度() ^{*6} | 5%減量温度() ^{*7} | 曲げ強度(MPa) ^{*8} | 曲げ弾性率(MPa) ^{*9} | 引張強度(MPa) ^{*10} |
|---------|--------|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 100 | 0 | 163 | 62 | 294 | 33.6 | 4740 | 7.5 |
| 80 | 20 | 147 | 60 | 294 | 32.6 | 2960 | 7.7 |
| 50 | 50 | 159 | 61 | 287 | 24.5 | 5710 | 10.9 |

*6 ガラス転移温度とは、非晶領域が流動(運動)し始める温度をいう。

*7 5%減量温度とは、昇温測定において、材料の重量が元の重量より5%減量した時点の温度をいう。材料の耐熱性の指標となる。

*8 曲げ強度とは、材料を曲げた時に材料が耐えられる最大の応力をいう。

*9 曲げ弾性率とは、材料を曲げた時の曲げにくさ(剛性)を表す物性値。

*10 引張強度とは、材料を引張った時に、材料が破断する際の最大の応力をいう。

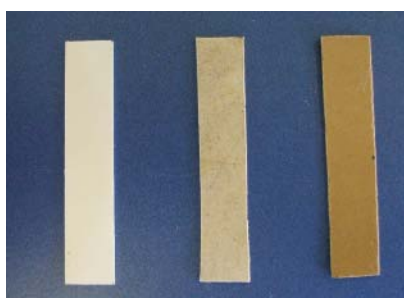


図3 - 4 . ポリ乳酸/回収綿 左から 100/0、80/20、50/50 (いずれも%比率)

回収綿をブレンドさせることで、ポリ乳酸の欠点である耐熱性は変化しなかったものの、曲げ弾性率及び引張強度の向上が認められた(表3 - 3 ポリ乳酸/回収綿 = 50 / 50)。

なお、回収綿を含有させることで曲げ強度の低下が見られたのは、回収綿の

分散状態の不均一性及び樹脂との接着性の悪さによるものと推測しており、回収綿の平均粒径のコントロールあるいはブレンド条件の適正化が今後の課題となってくる。

次に、将来的に成長が予想される熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーの回収綿ブレンドによる改質・高機能化の検討を行った。熱可塑性ポリエーテルエステルは、寸法安定性と弾性率の低さに課題がある。そこで、この熱可塑性ポリエーテルエステルエラストマーに回収綿をブレンドさせると、寸法安定性や引張弾性率が改善することが認められた。回収綿をコンジット化させることで、強度低下が見られるが、今後、用途探索を行う中で、目的とする用途に対して今回の強度低下が問題となるレベルか否かを明らかにしていく。

表3 - 4 . 熱可塑性エラストマー / 回収綿の熱特性及び物性評価

| エラストマー | 回収綿 (%) | 熱膨張率 [40 ~ 120] (1/cel) (寸法安定性の指標) *11 | 引張強度 (MPa) | 引張弾性率 (MPa) *12 |
|--------|---------|---|------------|-----------------|
| 100 | | 214E-04 | 13.6 | 25.7 |
| 95 | 5 | 1.67E-04 | 9.3 | 44.7 |

*11 熱膨張率の値が小さい程、寸法安定性に優れている。

*12 引張弾性率とは、材料を引張った時の変形のしにくさ（剛性）を示す指標。

化学的モディファイの検討

本研究においては、新規構造及び新規機能を有する水溶性セルロース誘導体を開発することができた。また、この新規水溶性セルロース誘導体を原料として用いた高吸水性樹脂は、既存の樹脂（アクリル酸やアクリルアミドの重合体）と比べ、大幅に塩水吸水能や生分解性が向上しており、実用化に展開できるレベルまで達成した。

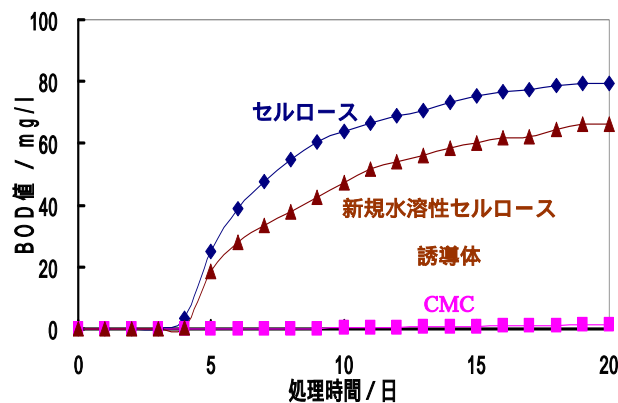
【研究開発内容】

回収綿の用途分野の開拓として新しい構造と機能を有する新規水溶性セルロース誘導体の開発を行った。本来水に溶解しない回収綿（セルロース）を水溶化させるという開発目標において、官能基として親水性を有する基（親水基）を化学反応により導入することが重要となる。本研究においては、従来に無い新しい構造の官能基を有する新規水溶性セルロース誘導体の開発を目指して、有機化学反応及び光化学反応の二つの方法を用いてアプローチした。また当該新規水溶性セルロース誘導体を原料とする生分解性高吸水樹脂の開発を行った。

- 1 有機化学反応

化学修飾によりセルロースに親水基を導入するためには、セルロース（回収綿）に対して高い反応性を有している反応剤を選定することが重要である。そこで、複数の反応剤につき、それぞれ反応条件の絞り込みを行い、かつ特定反応剤と回収綿との反応において反応率を飛躍的に向上させる新しい技術的着想を得たことで、従来にない新しい構造の親水性セルロースを高い反応率で合成することができた。

得られた新規水溶性セルロース誘導体は、水に対する溶解性が非常に高く、増粘効果を有する。またその水溶液は透明性も高いことが分かった。これら水溶解性及び増粘効果は、化粧品、塗料及び建材の添加剤の分野において非常に有効な特徴である。また生分解性においても、新規水溶性セルロース誘導体は、既存の水溶性セルロース誘導体であるカルボキシメチルセルロース（CMC）と比べて遥かに高く、セルロースに近い生分解能を有している（図3 - 5）。



注：BOD とは、好気性微生物が一定時間中に水中の有機物（汚物）を酸化・分解する際に消費する溶存酸素の量を示す。ここでは、BOD 値が高い程、生分解性に優れていることを示す。

図3 - 5 . 生分解性評価

現在は、この特徴をもとに前述した化粧品、塗料、建材等添加剤分野における用途開発を進めている。

- 2 光化学反応

光化学反応とは、対象物質にエネルギーを伝えるための媒体、例えば溶剤等を必要とせず、混合物中の特定の物質だけにエネルギーを与えることができるため、化学反応プロセスにおいて、媒体への余計なエネルギーを必要とせず、省エネルギープロセスであると言える。そこで、この省エネルギープロセスの光化学反応を利用した新規水溶性セルロース誘導体の実現を目指し検討を開始した。

光化学反応は、不均一溶液系では反応が進行しづらい。回収綿（セルロース）は、水に不溶であるので、まずセルロースのモデル化合物として各種アルコール類と親水基を有する反応剤を用いた検討を行った。尚、ここでアルコール類をセルロースのモデル物質として用いるのは、セルロースの反応基である水酸基をアルコール類が有するためである。モデル実験の結果、光化学反応の反応条件を最適化することにより、高い確率でアルコール類と親水基を有する反応剤との反応が進行することを見出した。

当該反応条件をセルロースと類似骨格の水溶性のグルコースやデンプンに対して応用し、これらに親水基が導入された可能性が高い結果が得られた。これにより、光化学反応によりグルコースユニットと親水基を有する反応剤が反応することが分かった。水に不溶である回収綿（セルロース）に対して本反応条件を適用し、セルロースへ親水基を導入し、セルロースを水溶化することが今後の課題である。

- 3 高吸水性樹脂（SAP）の開発

農業、土木分野における高吸水性樹脂の要求性能は、高いイオン濃度の水溶液に対しても高い吸水性を示すこと（具体的には、海水に相当する塩濃度（NaCl濃度：3.5%）の水溶液を100g/樹脂1g以上吸水すること）や土壌中への残留を防ぐ意味から生分解性を有することである。また高吸水性樹脂は、水溶性高分子を架橋剤で分子間を橋かけ（架橋）することで得られるが、利用される架橋剤の安全性が高いこともこれら用途分野における要求性能である。既存の市販品は、海水吸水性能・生分解性にかかわる要求性能を満足できない。

回収綿から有機化学的手法で合成した新規水溶性セルロース誘導体と安全性の高い架橋剤を各種検討した結果、高い海水吸水性能を有する高吸水性樹脂（SAP）が得られた（図3-6）。これは市販の高吸水性樹脂（SAP）には見られない特徴である。

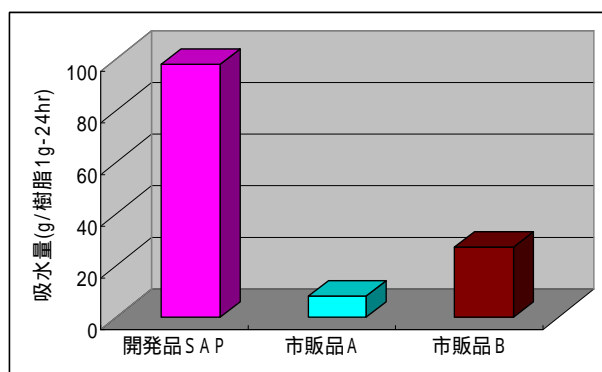


図3 - 6 . 海水吸水性能比較 (NaCl濃度 : 3.5 %)

また、新規水溶性セルロース誘導体を原料とする高吸水性樹脂 (SAP) は、CMCを原料とする高吸水性樹脂 (SAP) と比べて高い生分解性を有する (図3 - 7)。もちろん、これらの特徴は、特に土壌改良剤等の農業分野において極めて好ましいものである。

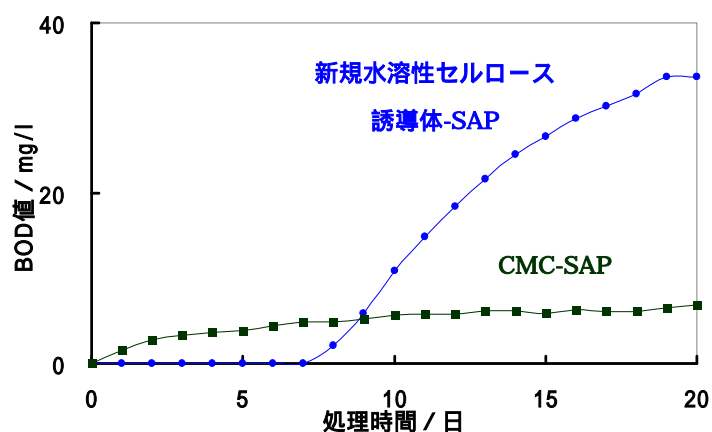


図3 - 7 . 高吸水性樹脂の生分解性評価

現在の合成設備は数十グラムオーダーでしか高吸水性樹脂を合成できないので、今後、量産化を目指したスケールアップ技術の開発を進めるとともに、用途の検討を行っていく必要がある。

バイオマス燃料 (バイオエタノール) 用原料としての有効利用の可能性検討
本研究では、回収綿とシュレッダー粉砕された綿 / ポリエステル混素材 (シュレッダー粉砕物) を原料として、実際にバイオエタノールの製造テストを実施した。その結果、シュレッダー粉砕物と比べて、化学的粉砕することによって得られた回収綿がより効率的にバイオエタノールを生産できることを確認で

きた。実用化に向けては、製造コストを低減させることと、製造過程におけるエネルギー使用量を低減させることが課題となる。

【研究開発内容】

回収綿のバイオエタノール原料としての有効性について、酵素・酵母を利用したアルコール発酵テストを実施した。なお、当該アルコール発酵テストは、酵素を利用してセルロースをグルコース単位に分解する糖化工程とグルコースを酵母を利用してエタノールに発酵させる発酵工程からなる。本テストにおいては、綿/ポリエステル混素材から回収された回収綿は、最終エタノール濃度が3.1%と高い効率でエタノールが得られた。一方、シュレッダー粉砕物を原料とした場合、最終エタノール濃度は0.4%と回収綿を原料とした場合の13%程度しかなかった。これはシュレッダー粉砕物が、わた状であり、原料となるセルロースを高濃度で仕込むことができないこと、更に粒子状の回収綿と比較して比表面積が小さいことに起因し、エタノール化率が悪かったと考えられる。

最終的なエタノール濃度の違いは、エタノールの蒸留に必要なエネルギーの使用量に効いてくる。旭化成せんい株式会社の試算では、エタノール1kg(エタノール濃度:94%)を得るために必要なエネルギー使用量は粉砕物で20,200kcal/kg(原油換算:2.2L)であるのに対して、回収綿で2,700kcal/kg(原油換算:0.3L)であり、回収綿を利用した場合、エタノール蒸留過程におけるエネルギー効率が極めて高いことがわかる。

以上、回収綿はエタノールの生産効率という観点で非常に有効な原料となり得ることが確認できた。

しかしながら、バイオエタノール原料価格としては10~20円/エタノール1kgが想定されている。現在の廃棄衣料の流通事情や前処理(綿/ポリエステル混素材の分離・回収)に要するコスト等を勘案すると、回収綿として10~20円/エタノール1kgを設定することは非常に困難である。そのため、実用化に向けて廃棄衣料の回収ルートをいかに構築するか、また前処理工程に要するコストをいかに削減するかがポイントとなる。更に、バイオエタノール製造過程におけるエネルギー使用量(エタノールの蒸留等)の低減も真の意味でのバイオマスエネルギー実現のための重要な課題である。

表3 - 5 . バイオエタノール化検討

| 原料セルロース | 仕込み濃度 (wt%) | 糖化工程 | 発酵工程 |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | | グルコース濃 度(w/v%) | エタノール濃度 (w/v%) |
| 綿/ポリエステル =3/7 混素材 (シュレッダー粉砕) | 5 (セルロース濃度:1.5wt%) | 0.7 | 0.4 |
| 回収綿 | 10 | 6.3 | 3.1 |

注：wt%は質量パーセント濃度、wは質量、vは溶液の体積を表す。

安全性の評価及び生体適合性の可能性検討

医療分野等の安全性の高い材料が求められる分野では、染料や綿（セルロース）の低分子量物等の含まれる回収綿を利用することは安全上困難であることが調査で明らかになった。そのため、回収綿の無色化には成功してはいるが、安全上、生体適合性を求められる分野への利用は困難である。

【研究開発内容】

脱色の検討において、染色された回収綿は還元処理を施したとしても染料を完全に分解除去することはできないことがわかった。また1)綿/ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発においては、回収綿にセルロースの低分子量物(水溶性)が極少量含まれていることが分かっている。染料痕、低分子量物いずれも極少量であるものの、医療用分野においては、不純物が含まれている材料を利用することはできないとのメディカル関係会社の見解があった。

従って、本研究開発により得られる回収綿の利用に当たっては、無色化には成功しているが、医療分野等のよりピュアーな材料が要求される分野への展開の可能性は困難であると分かった。

3 - 2 特許出願状況等

表3 - 6 に特許・論文等の件数及び表3 - 7 に発表リストを示す。

表3 - 6 . 特許・論文等件数

| 要素技術 | 論文数 | 論文の被引用度数 | 特許等件数（出願を含む） | 特許権の実施件数 | ライセンス供与数 | 取得ライセンス料 | 国際標準への寄与 |
|------------------------------------|-----|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| 1) 綿/ポリエステル混素材新規分離・回収技術の開発 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | | | | | | | |
| ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 脱色の検討 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 化学的モディファイの検討 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| バイオマス燃料（バイオエタノール）用原料としての有効利用の可能性検討 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 計 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表 3 - 7 . 発表リスト

| | | |
|----|--|-------|
| 発表 | 平成 19 年度繊維学会年次大会「ポリエステル綿混紡の簡易分離法の開発」 | H19.6 |
| | 日本学術振興会、繊維・高分子機能加工第 1 2 0 委員会「ポリエステル綿混紡の簡易分離法」 | H19.7 |
| | 平成 2 0 年度繊維学会年次大会「ポリエステル綿混紡の簡易分離法の最適化」 | H20.6 |
| | 日本学術振興会、繊維・高分子機能加工第 1 2 0 委員会「ポリエステル綿混紡分離の最適化」 | H20.7 |
| | 2008 年度光化学討論会「アルコールとオレフィンの光化学的炭素 - 炭素結合生成反応」 | H20.9 |

3 - 3 目標の達成度

目標に対する成果・達成度については、以下のとおり。

表 3 - 8 . 目標に対する成果・達成度の一覧表

| 研究開発項目 | 目標・指標 | 成果 | 達成度 |
|------------------------------------|---|---|-----|
| 1) 綿 / ポリエステル 混素材における新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率 1 0 0 % ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ 8 0 % 以上 | 綿 / ポリエステル混素材の希塩酸(0.4%)による化学粉碎法を確立したことにより、綿とポリエステルの分離率 1 0 0 % を達成した。また工業化を想定した設備においても綿は回収率 90.4%、ポリエステルは回収率 104%(綿の付着分含む)とそれぞれ目標の回収率を達成した。 | 達成 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | | | |
| ナノパウダー | ・綿 / ポリエステル混素材の | ・本研究開発の化学的 | 一部 |

| | | | |
|------------------------|---|---|-------------|
| <p>化等の形状を制御する手法の開発</p> | <p>分離に際して、化学的に粉碎された結果、セルナノロースパウダー状態になることが期待され、セルロースナノパウダーをそのまま利用できる分野を調査検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> セルロースナノパウダーのサイズ及びばらつきを最小に調整するため、既存の機械的粉碎・分級技術を応用検討する。 | <p>粉碎により得られたセルロースパウダーは、ナノ化しておらず、ナノ化のためには更に高圧ホモジナイザーでの機械的粉碎が必要になることが分かった。また、機械的粉碎にはエネルギー効率化に向けた本事業の目的と相反することが判明した。</p> <ul style="list-style-type: none"> この様な状況の下、機械的粉碎を行いナノ化したセルロースパウダーの用途を市場調査等により検討した結果、生産コスト等の観点からセルロースナノパウダーの高付加価値用途を見いだすことはできなかった。しかし、セルロースパウダーとして、化粧品・塗料・建材などの添加剤分野やバイオエタノール原料としては、そのまま利用できることが明らかになった。 | <p>達成</p> |
| <p>脱色の検討</p> | <ul style="list-style-type: none"> 医療分野等のよりピュアーな材料が要求される分野に対して回収綿を用いるに当 | <p>染色された回収綿に対して、染料を還元処理して無色化する技術</p> | <p>一部達成</p> |

| | | | |
|--------------------------|---|--|-----------|
| | <p>たつての化学的脱色方法を確立する。</p> | <p>を確立した。しかし、当該還元処理技術は、染料を無色化することはできるが、染料を綿から完全に分解除去するものではないため、ピュアーな材料が要求される分野へは安全上使用は困難であることが分かった。</p> | |
| <p>各種コンポジット材料の調査及び試作</p> | <p>・回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。</p> | <p>回収綿をコンポジット材料として用いることで、ポリ乳酸の機械強度向上、またエラストマーの寸法安定性や弾性率向上が確認され、回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認することができた。</p> | <p>達成</p> |
| <p>化学的モデルファイの検討</p> | <p>・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。</p> <p>・新規水溶性セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を開発し、実用化が想定できるレベルまで到達させる。</p> | <p>・有機合成反応を用いることで回収綿からの新規水溶性セルロース誘導体の合成に成功した。</p> <p>また、光化学反応によりセルロースのモデル物質であるアルコール類やテテンブン等（光化学反応は、不均一溶液系では反応が進行しづらい。セルロースは水に不要であるため、本研究開発では水に</p> | <p>達成</p> |

| | | | |
|---|--|---|-----------|
| | | <p>可溶性モデル化合物を用いた)に反応剤を付加できた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・有機化学的手法で新規水溶性セルロース誘導体の合成に成功した。当該誘導体は、塩水溶液に対して特異的に増粘する、また大量の塩水を吸水し、高い生分解性を有するなど従来にない新しい機能を有することが明らかになった。 | |
| <p>バイオマス燃料(バイオエタノール)用原料としての有効利用の可能性検討</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿をエタノール原料としての可能性を確認する。綿/ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指し、コスト的な観点からの利用可能性についても確認を行う。 | <p>化学粉碎法により得られた回収綿はでバイオエタノールを生産できることを確認した。また従来技術(シュレッダー粉碎)と比較して、エタノール生産効率及び蒸留に使用されるエネルギー量の省力化ともに回収綿のほうが高いことが確認できた(エタノール蒸留効率は、シュレッダー粉碎物の約7倍を越える)。</p> <p>一方、コスト的な観点において、市場における原料想定コスト10~20円/エタノール1kgを設定するこ</p> | <p>達成</p> |

| | | | |
|---------------------|--|---|------|
| | | とは困難であり、廃棄衣料の回収ルートをいかに構築していくか等の検討を重ねていく必要がある。 | |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | ・医療分野等のピュアーな材料が要求される分野への回収綿（セルロース）の利用に当たっての、原料供給サイドとして安全性の評価を行い、これらの分野における実用化の可否を判断する。 | 医療分野等安全性の高い材料が求められる分野では、染料や綿（セルロース）の低分子量物等の含まれる回収綿を利用することは安全上きわめて困難であることがメディカル関係会社への調査で明らかになった。 | 一部達成 |

4 . 事業化、波及効果についての妥当性

4 - 1 事業化の見通し

【事業性】

本研究開発で開発した技術は、今まで困難であった綿／ポリエステル混素材の分離・回収を可能にすることで、廃棄衣料の大部分を占める綿／ポリエステル混素材においてケミカルリサイクルとマテリアルリサイクルを可能とするもので、焼却を必要としない（焼却エネルギーゼロ、CO₂発生しない）真のリサイクルを実現できる。すなわち、本研究で確立された技術は、日本国の目指すエネルギー利用の効率化及び温室効果ガス削減に貢献することができる。

【各開発の事業化についての技術的目処】

1) 綿／ポリエステル混素材分離・回収

種々の酸、それぞれの濃度及び反応温度等の各要素を複合的に種々組み合わせ検討し、基礎技術を確立した。この知見をもとに、本機に対してイメージしたベンチスケールの分離・回収装置の設計・設置を行い、この分離・回収装置で綿／ポリエステル混素材から、綿とポリエステルを分離し、かつ綿とポリエステルそれぞれを80%以上収率で回収できる技術を確立した。また、本技術及び装置を用いて様々な混率の綿／ポリエステル混素材、織物や編物等異なる組織形態の綿／ポリエステル混素材においても同様の回収率で綿及びポリエステルを得られることを確認している。なお、当該分離・回収装置は、年間処理量が数トンオーダーであり、実機としての利用も十分可能である。この装置で綿およびポリエステルそれぞれ80%以上で回収できる技術を確立したので、本技術は事業化に向けた技術的目処が得られたと言える。

2) 回収綿の高付加価値商品化技術の開発

回収綿の高付加価値化の取り組みとして下記6点の研究開発を行ってきた。

ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発

脱色の検討

各種コンジット材料の調査及び試作

化学的モディファイの検討

バイオマス燃料（バイオエタノール）用原料としての有効利用の可能性検討

安全性の評価及び生体適合性の可能性検討

うち、
は、回収綿を利用することによる機能的効果や生産効率向上の効果が認められた。特に「化学的モディファイの検討」の新規水溶性セルロース誘導体の開発においては、既存製品にない新規構造の水溶性セルロース誘導

体の合成に有機化学的手法で成功している。なお、この水溶性セルロース誘導体を数 kg オーダーで合成・精製・乾燥できる装置の設計・設置が完了しており、当該装置でピーカースケールと同等の水溶性セルロース誘導体が合成できることを確認している。これにより、本技術は事業化に向けた技術的目処が得られた。

【事業化に向けた課題と対応】

・補助事業全体の事業化に向けた取り組み

《課題》旭化成せんい株式会社のエステル事業からの撤退

旭化成せんい株式会社は、ポリエステル製のケミカルリサイクル事業を行ってきており、このケミカルリサイクル事業が本補助事業の大きな前提となっていた。

しかしながら、平成21年3月26日、旭化成せんい株式会社は平成21年9月末をもってエステル事業の完全撤退を表明した。従って、旭化成せんい株式会社における回収ポリエステルのケミカルリサイクル事業の実施が不可能になった。

そこで、回収ポリエステルのケミカルリサイクル事業の譲渡、もしくは本補助事業に基づく成果全体の譲渡等の新たな態様の模索を行うとともに、以下のとおり技術的な残課題の検討を行っているところである。

・回収綿の高付加価値商品の事業化に向けた取り組み

回収綿を用いた各種コンポジット材料

《課題》回収綿の均一分散性の向上及び接着性の向上

《対応》微粒子化検討、表面修飾による接着性向上、混練条件の最適化

化学的モディファイの検討（水溶性セルロース誘導体及び高吸水性樹脂）

《課題》用途探索

《対応》水溶性セルロース誘導体：化粧品、建材、塗料の添加剤等メーカー求評

高吸水性樹脂：農業用保水剤、公園緑地剤等メーカー求評

回収綿からのバイオエタノール

《課題》糖化・発酵効率の更なる向上、コストダウン

《対応》バイオエタノール化反応条件の最適化

また表 4 - 1 に今後の事業化スケジュールを示す。

表 4 - 1 事業化のスケジュール

| 項目 | 平成 2 1 年 度 | 平成 2 2 年 度 | 平成 2 3 年 度 | 平成 2 4 年 度 | 平成 2 5 年 度 |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 本研究開発に基づき今後の事業態様の模索 | | 判断 | | | |
| 1) 綿 / ポリエステル 混素材における新規分離・回収技術の開発 | (平成 20 年度までに完了) | | | | |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | | | | | |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | | 技術完成 | | | |
| 化学的モディファイの検討 | | 用途絞込み | | | |
| バイオ燃料(バイオエタノール)用原料としての有効利用の可能性検討 | | 技術完成 | | | |

注：2)の ~ については、今後の事業態様が決まっていないために、細かい商品スペックが決められない。平成 21 年度は、技術的な残課題につき検討を行っている段階。

注：表中の実線は検討中、点線は検討内容が未定であることを表す。

4 - 2 波及効果

事業化に向けては、前述のとおり解決すべき課題が残っているが、綿 / ポリエステル混素材から、綿及びポリエステルを効率的に分離・回収する技術を確立し、分離・回収した綿(セルロース)の高付加価値化を実用化に近いレベルまで達成できたことは、廃棄衣料のリサイクル事業の実現可能性を示した点において、繊維業界及びリサイクル業界へ及ぼす波及効果は大きい。

また上記分離技術によってそれぞれ回収した綿とポリエステルについて、それぞれの材料をマテリアル及びケミカルリサイクルすることで、廃棄衣料の大部分を占める綿／ポリエステル混素材において焼却をしないため、焼却に要するエネルギー及び地球温暖化の原因であるCO₂を排出することなく、真のリサイクルが可能とならしめた。

例えば、2030年に焼却処理される繊維製品廃棄物の総排出量が340万トン／年、そのうち綿／ポリエステル混素材量は153万トン／年にのぼると予想される。153万トン／年の綿／ポリエステル混素材のうち10%を焼却処理せずに、本研究開発技術により分離・回収し、回収ポリエステルのケミカルリサイクル及び回収綿をマテリアルリサイクルすると仮定すれば、36,000kL／年（原油換算）の省エネルギーになる。

即ち、地球温暖化防止を目指し、エネルギー効率化の高い目標を達成しようとしている日本国全体に及ぼす影響も非常に大きいといえる。

また当初想定していなかった波及効果としては、化学粉碎した回収綿は、物理粉碎した綿よりも、遥かに高い効率でバイオエタノールを製造できることを確認できた。上記にあげた原油削減量と合わせて、廃棄衣料が新たなエネルギーの供給源となる点において更なるエネルギーの使用合理化が期待できる。

5 . 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5 - 1 研究開発計画

本研究は、以下表 5 - 1 に示した通り 3 年計画で実施した。

初年度は、本研究開発の根幹をなす綿 / ポリエステル混素材の分離回収技術の開発から着手した。綿 / ポリエステル混素材から分離した回収綿を用いて、その後の高付加価値商品の研究開発を実施した。分離回収技術は初期の 2 年間で開発し、2 年目からは主に高付加価値商品の開発を行った。

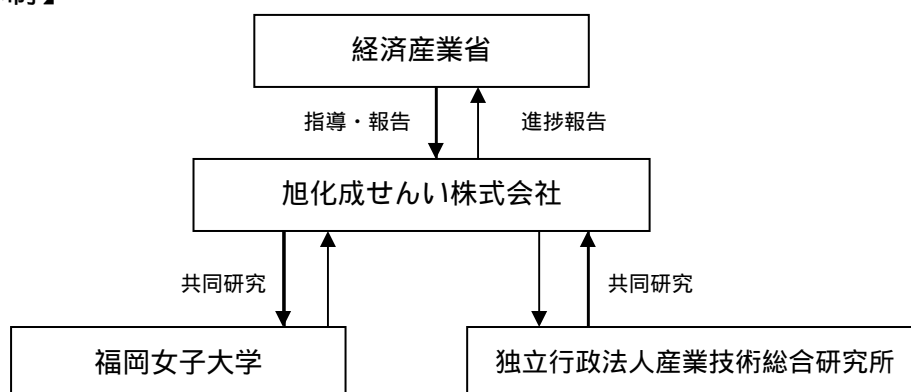
表 5 - 1 . 研究開発計画

| 項目 | 平成 1 8 年度 | 平成 1 9 年度 | 平成 2 0 年度 |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1) 綿 / ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発 | | → | → |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | | | |
| ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発 | → | | |
| 脱色の検討 | → | | |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | | → | → |
| 化学的モディファイの検討 | → | | → |
| バイオマス燃料 (バイオエタノール) 用原料としての有効利用の可能性検討 | | → | → |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | → | | |

5 - 2 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究は、旭化成せんい株式会社が経済産業省からの補助金（補助率 2 / 3）を受けて実施した。また綿 / ポリエステル混素材の分離・回収技術及び回収綿の高付加価値化商品開発（化学的モディファイ検討：光化学反応）は、独立行政法人産業技術総合研究所と共同研究を進め、また回収綿の高付加価値化商品開発（化学的モディファイ検討：高吸水性樹脂の開発）は、福岡女子大学と共同研究を進めた。独立行政法人産業技術総合研究所及び福岡女子大学とは、それぞれ技術検討会を 1 回 / 1 ~ 2 ヶ月の頻度で開催した。なお、バイオエタノール化の検討は旭化成せんい株式会社で実施した。研究開発の実施に当たり、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダーは旭化成せんい株式会社技術研究所所長 加藤仁一郎が担当した。

【実施体制】



プロジェクトリーダー（旭化成せんい株式会社 技術研究所 所長）

平成 18 年度 綿 / ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発

... 4 名

回収した綿の高付加価値商品の開発... 1 名

平成 19 年度 綿 / ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発

... 3 名

回収した綿の高付加価値商品の開発... 5 名

平成 20 年度 回収した綿の高付加価値商品の開発... 7 名

（各年とも延べ人数）

5 - 3 資金配分

研究開発期間中の資金配分は表 5 - 2 の通りとした（補助率 2 / 3）。綿 / ポリエステル混素材における新規分離・回収技術の開発と回収した綿の高付加価値

値商品の開発の内部配分は妥当であった。

表 5 - 2 . 資金配分

(単位：百万円)

| 年度 平成 | 1 8 | 1 9 | 2 0 | 合計 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 綿 / ポリエステル混素材 における新規分離・回収技 術の開発 | 137.1 | 32.2 | 20.1 | 189.4 |
| 回収した綿の高付加価値 商品化技術の開発 | 53.5 | 90.2 | 87.2 | 228.6 |
| 合計 | 190.6 | 122.4 | 107.3 | 419.3 |

(うち補助金額 268.0 百万円)

5 - 4 費用対効果

本研究開発によってそれぞれ回収した綿とポリエステルについて、それぞれの材料をマテリアル及びケミカルリサイクルすることで、廃棄衣料の大部分を占める綿 / ポリエステル混素材において焼却をしないため、省エネルギーに資するとともに、地球温暖化の原因であるCO₂を排出することなく、真のリサイクルが可能となる。

4 - 2 : 波及効果の項にて説明したとおり、本補助事業技術による原油削減量は36,000 kL / 年(原油換算)が見込まれる。このエネルギー削減量(原油換算量)を金額換算すると、原油価格1バレル(約159 L) = 62 US\$ (5828円 : H21年7月現在)の換算から、2030年における原油換算エネルギー量は、13.2億円/年削減されることになる。

なお、粉状の回収綿をバイオエタノール原料として利用する場合、綿 / ポリエステル混素材を原料とする場合と比較して、エネルギー収支的に優位であることは前述のとおりである。

従って、本事業の成果は、予算規模(補助金総額2.7億円)に対して費用対効果の面からも妥当であると考えられる。

5 - 5 変化への対応

本研究開発は、当初予定していた通り研究開発を進めることができた。平成20年度からは回収した綿の高付加価値商品の開発を重要ポイントとして、研究開発の効率化を図るために、用途開発に注力した。なお、この期間中は綿 / ポリエステル混素材分離・回収装置の運転を行い、回収綿の高付加価値化商品

の開発のためのサンプル提供を行った。

本補助事業提案時（平成18年3月時点）旭化成せんい株式会社は、ポリエステルケミカルリサイクル事業を行っていた。このケミカルリサイクル事業が本補助事業の大きな前提となっていた。

しかしながら、旭化成せんい株式会社は平成21年9月末をもってエステル事業からの完全撤退を表明した。この事態により、旭化成せんい株式会社での回収ポリエステルケミカルリサイクル事業の実施は不可能になった。今後、旭化成せんい株式会社は、本研究開発の事業化を目指し、回収ポリエステルのケミカルリサイクル事業の譲渡、もしくは本研究開発全体の譲渡等の新たな事業態様の模索を行っていくとともに、回収綿の高付加価値商品の開発に関わる技術的残課題を引き続き解決していく。

第3章 評価

第3章 評価

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

【評価検討会評価（案）】

本研究開発は、繊維製品全体の約45%を占める綿/ポリエステル混素材について、綿/ポリエステル混素材を綿とポリエステルに別々に分離・回収する技術を確立し、回収されたポリエステルのケミカルリサイクルし、回収された綿（セルロース）をコンポジット材料（樹脂補強用繊維）、新規水溶性セルロース誘導体、高吸水性樹脂等高付加価値商品やバイオエタノールの原料として展開（いわゆるマテリアルリサイクル）することを目的とし、エネルギー利用の効率化及び温室効果ガス削減に貢献できることから、国民や社会のニーズに合致したテーマであり、事業の目的は妥当で、政策的位置づけは明確である。

また、本研究開発は、技術的難易度が高く、民間企業が単独で取り組むにはコストを含めてリスクの高いテーマであることから、国が関与する事業として妥当である。

【肯定的意見】

- ・ 9割が焼却処分されている約90万トンの綿/ポリエステル混素材のリサイクルは、政策的にも重要であり、また、その分離・回収技術と高付加価値商品の開発は、科学・技術的見地においても妥当なものである。
- ・ 綿/ポリエステル混素材は市場に多く出回っているものの、リサイクルには向かない素材として埋設廃棄される場合が多い。本事業はその綿/ポリエステル混素材の分離・回収と回収綿の高付加価値化によるリサイクル促進を目的としたもので、社会的・経済的意義は高い。
- ・ 綿やポリエステルのケミカル・マテリアルリサイクルを目指す研究開発は、今後の資源循環型社会に必要な要素技術である。
- ・ リサイクル技術確立の必要性が示されており、事業の目的・政策的位置付けは妥当と思われる。
- ・ 繊維製品の廃棄物処理は、これまでも多く試みられた課題であり、環境負荷低減化リサイクル技術あるいは処理方法の開発が期待される。この点から、本事業の目的は妥当なものであり、政策的位置づけも明確であると言える。また、この種の事業は企業単独で行うにはリスクが高く、国の関与が不可欠な事業でもある。
- ・ 事業の目的は重要、政策的位置付けは明確であり、国の実施事業として適切かつ緊要性の高いテーマである。

【問題点・改善すべき点】

- ・回収綿の高付加価値化がいろいろ検討されているが、回収綿の再利用としては化学修飾をせざるを得ない事情もあって医療用あるいは食品添加用には適当ではない。バイオマス燃料用原料としては回収も含めてコストパフォーマンスはどのようになるか検討されていない。回収綿の特徴を生かした用途開発が成功のカギとなる。
- ・マテリアルリサイクルの目標ではコストを加味して設定することが重要と思われるが、説明用資料からは十分に読みとれない。

2. 研究開発等の目標の妥当性

【評価検討会評価（案）】

本研究開発は、「綿／ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発」、「回収した綿の高付加価値商品化技術の開発」の2テーマを目標として掲げており、綿／ポリエステル混素材の分離・回収から広範囲の回収綿の応用に関する内容となっており、具体的かつ明確に目標及び目標水準が設定されているといえる。

しかし、高付加価値商品化技術の開発の目標やコスト換算等について、やや漠然としたものだったという指摘が残る。

【肯定的意見】

- ・綿／ポリエステル混素材の分離・回収から広範囲の回収綿の応用に関する技術開発が計画されている。
- ・分離・回収については明確な数値目標が掲げられており妥当である。高付加価値商品化技術についても概ね理解できるものである。
- ・廃棄物より回収される素材を付加価値の高い商品とするための目標設定は妥当であるように思われる。
- ・ケミカルリサイクルでは既存技術の活用・改良の観点から設定されており、妥当と思われる。
- ・具体的かつ明確な目標設定がされており、適切である。

【問題点・改善すべき点】

- ・高付加価値商品についての目標がやや漠然としており、各々が本当に実用になるものかの客観的評価には踏み込まれていない。
- ・必ずしも技術開発目標が具体的でないのは、出口設定が明確でないためであろう。回収綿が細かい綿状である特徴を生かした出口に絞って目標を限定するほうが事業化のメリットが大きいと思われる。バージン綿と比べた時、高付加価値化に有利な特徴とは何かを整理する必要がある。
- ・マテリアルリサイクルではコストを加味して設定することが重要と思われるが、説明用資料からは十分に読みとれない。
- ・廃棄物処理及びリサイクルには、リサイクル化技術や商品化技術だけでなく、廃棄繊維の仕分け工程など解決すべき工程があるが、これらの工程を含めたリサイクルシステムの全体像とこのシステムでの本事業の位置づけが明らかでなく、綿/ポリエステル混繊維製品のリサイクルそのものが達成されるのかが判断しがたく、本事業で得られた成果も正当に評価することが難しいように思われる。
- ・「回収した綿の高付加価値商品化技術の開発」の研究開発目標は、機械的・物理的性質

を確認する目標になっており、真の“商品化技術”目標にはなっていなかった。実現可能性を探るレベルに設定されている。実際の用途あるいはユーザーを見いだす設定にはなっていない。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

【評価検討会評価（案）】

綿／ポリエステル混素材の新規分離・回収技術については目標を達成しており、技術としては確立できたと思われる。回収綿の高付加価値化技術（コンポジット材料、化学的モディファイ、バイオマス燃料への利用技術等）は成果の達成度に差があるが、特に新規水溶性セルロース誘導体については、高い生分解性などこれまでにない物性を示しており成果として評価できる。そのため、両研究開発項目ともに妥当な成果が得られており、設定された目標は概ね達成されたといえる。

なお、現段階では出口（用途）が見えず、実用化という面で現実味に欠けることは拒めない。今後、コスト問題や具体的な用途展開等を解決できれば事業化につながると期待できる。

【肯定的意見】

- ・綿／ポリエステル混素材の分離・回収技術が確立されたことにより、繊維製品のリサイクル技術に新たな可能性が見出された。コンポジット材料、化学的モディファイ、バイオマス燃料等についても技術的メドが立っており、今後、コスト問題を解決できれば、事業化に向けて大きく前進できると考える。
- ・分離・回収技術はほぼ確立されたと思われる。回収綿の高付加価値化技術は多岐に及び、それぞれ基本的な知見が整理できている。水への溶解性、透明性に優れた生分解性を示す新規セルロース誘導体の合成に成功した。
- ・新規素材とされている新規水溶性セルロース誘導体については、これまでにない物性を示しており成果として評価できる。
- ・綿とポリエステル混合素材を分離・回収する技術の基盤技術を築いた。
- ・重点を置いた開発項目に関しては相応の効果が得られている。
- ・分離・回収技術については目標を達成しており高く評価できる。高付加価値化については、課題間における成果の差が大きいため一概には言えないが、幾つかの興味深い知見が得られており、また特許出願等もされている。

【問題点・改善すべき点】

- ・多岐にわたる高付加価値化技術はまだ中途半端で具体的な出口が見えてこない。回収綿を環境に優しいとして複合材用に使用するにしても残存染料が問題になる。また高性能新規セルロース誘導体の調整が提唱されているが、回収綿を利用するメリットが不明確である。
- ・高付加価値化についてはいずれの課題においても、実用化という面でやや現実味に欠ける感は否めない。

- ・実際に、分離した綿をどんな複合材料として実用化するかという用途の面から、再度、分離・回収する技術の評価しないと実用化に役立つかどうかは判定できない。
- ・本事業での回収綿のバイオエタノール原料としての有効利用において、シュレッダー粉砕物との比較結果から可能性があるとして自己評価されているが、回収綿の有効利用としてバイオエタノール原料化が最も有望と思われることから、エタノール生産率のさらなる向上を目指した技術検討が望まれる。
- ・得られた成果の論文等より一層の情報発信を行い、事業の譲渡先探しへの一助とされたい。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

【評価検討会評価（案）】

綿／ポリエステル混素材の分離・回収技術など、基本的な技術を確立しており、特に新規水溶性セルロース誘導体については、注目すべき成果が得られていることから事業化までの見通しが概ねあり、波及効果を概ね期待できる。

なお、本技術開発による回収綿・ポリエステルを今後どのように処理していくのかが課題ではあるが、リサイクル化には、回収から製品化までのシステム全体像を示さねば波及効果は期待できないため、一企業で全てを完結させるのではなく、繊維産業全体を視野に入れたビジネスモデルが構築されることを期待する。

また、実施者の事業撤退により、回収ポリエステルのケミカルリサイクルが実施不能となったため、当初計画していたリサイクルシステムとしての事業化に課題が生じている。今後、少なくとも事業継承や販路開拓で得られた知見が継承されるように最大限の努力を期待する。

【肯定的意見】

- ・綿／ポリエステル混素材の分離回収技術はほぼ確立したとみてよい。分離した綿・ポリエステルを更にどのように処理していくのかが課題であるが、一企業内ですべてを完結させるのではなく繊維産業全体を視野に入れたビジネスモデル構築を目指してほしい。
- ・事業化に際しての基本的な技術は本事業で確立されている。
- ・一部の成果（新規水溶性セルロース誘導体等）については、事業化の見通しがあり、波及効果が期待できる。
- ・新規開発された新規水溶性セルロース誘導体については、事業化あるいは技術波及（技術開示が前提であるが）が期待される。
- ・内容的には事業化に繋がる可能性のある注目すべき成果が得られていると思われる。科学的見地においても波及効果の期待される結果が見いだされている。

【問題点・改善すべき点】

- ・実施者の事業撤退により、回収ポリエステルのケミカルリサイクルが実施不能となったため、当初計画していたリサイクルシステム（全体）としての事業化に課題が生じている。課題解決に向けた検討が必要。
- ・個々の課題の問題点よりも、企業としての事業からの撤退は非常に大きな課題である。現時点において、事業化については大きな懸念を指摘せざるを得ない。今後、少なくとも、得られた知見がお蔵入りして埋もれるようなことのないよう、最大限の努力を期待したい。
- ・想定外の事態でやむを得ない側面はあるが、今後の事業継承や販路開拓では、実施期間

中の担当者がある程度責任を持って任に当たる必要がある。

- ・分離回収した綿及びポリエステルを今後どのようにリサイクルしていくかが未定のままでは事業として成り立たない。事業化に際しては分離回収以降の処理技術（ビジネスモデルも含めて）を早急に確立していく必要がある。
- ・綿/ポリエステル混紡繊維製品のリサイクル化には、繊維製品の回収から製品化までのリサイクルシステム全体像を示さなければ、他の繊維製品のリサイクルに本事業で開発した要素技術の波及は難しいように思われる。また、本事業で開発された要素技術には、現状では波及し難いものもあり、継続した研究が望まれる。
- ・複合材料に使える見通しを得る調査研究を実施している。これは研究開発計画通りだが、将来実際に製品化・事業化するには、今後、かなりの実用化開発を自主財源で実施する必要があると推定できる。

5 . 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

【評価検討会評価（案）】

研究開発計画、実施体制・運営、資金配分は適切である。

しかし、実施者がポリエステル事業から撤退したため、今後の分離・回収後のビジネスモデルが未定であり、費用対効果については成果の今後の活用によるところがある。また、探索研究的な研究開発マネジメントになっており、将来の事業戦略を想定した研究開発マネジメントがなされていない点もある。

【肯定的意見】

- ・ 研究開発計画、実施体制や運営、資金配分等は適切である。
- ・ 研究開発計画及び実施体制・運営等については妥当なものであると思われる。また、資金配分についても問題は認められない。
- ・ 当初計画した事業目標に対しての研究開発計画は適切に対応している。
- ・ 期間中の事業の推進に際しては適切な運営が行われている。
- ・ 分離回収技術はスケジュール通りに開発を終了した。多岐にわたる高付加価値化商品開発を2年目以降推進した。最終年度には高付加価値化商品開発に全力を挙げる体制を整え研究員を増員している。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 事業推進母体企業がポリエステル事業から撤退したため、回収をどのように行うか、また分離回収後のビジネスモデルが未定のまま推移している。高付加価値化商品開発も成功したとは言えない。分離回収技術開発完結後（最終年度）にその技術開発に充てられた資金はどのような効果を生み出したか不明である。
- ・ 費用対効果については、成果の今後の活用による。
- ・ 資金配分及び費用対効果については精査すべき点があるように思われる。
- ・ 将来の事業戦略を想定した研究開発マネジメントとしては、あまりうまく運営されていない。探索研究的な独立した研究開発マネジメントになっている。従来のリニア的発想に基づくものである。事業面からのマネジメントを考えるとがなされていない。

6．総合評価

【評価検討会評価（案）】

綿／ポリエステル混素材の分離回収技術は、衣料リサイクルにおいては避けられない障害であった。この課題に正面から取り組み、計画ベースでの技術はほぼ確立できており、良好な成果が得られていることは評価できる。特に、新規水溶性セルロース誘導体については、事業化あるいは波及効果が期待されるものであり、実施された事業は良かったといえる。

最終年度において実施者がポリエステル事業から完全撤退するという予期しない事態が生じたこともあり、技術開発後のビジネスモデルの再設計・再構築が必要であり、資金と人材を費やして得られた貴重な知識を無駄にすることなく、今後活かす方策を立てることを期待する。

【肯定的意見】

- ・綿／ポリエステル混素材の分離回収技術は、特に衣料リサイクルにおいては避けられない障害であった。この課題に正面から取り組んだ努力は評価できる。また、分離回収後のリサイクル綿の商品開発まで意欲的に取り組んでいる。
- ・綿／ポリエステル混素材の分離・回収技術、回収した綿の転換技術ともに、計画ベースでの技術はほぼ確立できており、良好な成果が得られている。
- ・新規開発された新規水溶性セルロース誘導体については、事業化あるいは技術波及（技術開示が前提であるが）が期待される。
- ・分離・回収技術の確立に成功したことは評価できる。高付加価値化については、やや手当たり次第的ではあるが、用途開発においては致し方ない面もあると考えられる。種々の検討が精力的に行われており、実用化への意欲は充分に感じることが出来る。
- ・事業開始当初には予想できなかった事業撤退があるにしても、実施期間中の重点的な開発項目では相応の成果が得られている。

【問題点・改善すべき点】

- ・推進母体企業がポリエステル事業から完全撤退するという予期しない事態が生じたこともあり、技術開発後のビジネスモデルが崩れている。高付加価値化商品開発も未完成のままであり、早急に本事業ビジネス化の見直しが必要である。
- ・技術課題よりも事業撤退が大きな懸念材料である。経営的な問題は研究現場においては如何ともし難いことは理解できるが、資金と人材を費やして得られた貴重な知識を、無駄にすることなく今後活かす方策を、是非真剣に検討していただきたい。
- ・回収ポリエステルのケミカルリサイクルが実施不能となったことにより、当初計画していたリサイクルシステム（全体）のコンセプトに課題が生じている。解決に向けた検討

が必要。

- ・ リサイクル製品のコストと利用範囲との関係を明確に示すなどして、新たな譲渡先とともに今後の利用先拡大に努めていく必要がある。
- ・ 綿/ポリエステル混繊維製品のリサイクルシステムの全体像とこのシステムでの本事業の位置づけが明らかでなく、綿/ポリエステル混繊維製品のリサイクルそのものが達成されるのかが判断しがたい。
- ・ 複合材料としての出口がみえないと、分離・回収技術の良い点・不足な点は判断できない。複合材料は試験片を作製する段階で終わっている。商品化開発には踏み込んでいない。成形法がプレス成形法に留まっているため、普通の3次元形状の部品製作に対応できない。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

【評価検討会評価（案）】

綿／ポリエステル繊維製品の分離・回収、リサイクルは繊維関連企業が関与すべき重要な課題である。本研究開発では、まだいくつかの課題が残されているものの、衣料品リサイクルという社会的な要請にマッチした事業であり、実用化に向けた更なる努力を期待する。

特に、事業実施者のポリエステル事業からの撤退で、本研究開発におけるリサイクルコンセプトの実現が難しい状況ではあるが、今後、綿／ポリエステル混素材の回収システムの最適化及び繊維分離からの高付加価値商品の開発にいたるまで、より包括的に捕らえたビジネスモデルを実用化に向けて構築していくことが重要である。

【各委員の提言】

- ・綿／ポリエステル混素材の分離回収は一企業に限定するのではなく、全繊維関連企業が関与すべき課題である。本事業の推進母体企業がポリエステル事業から完全撤退したために本事業の成果を踏まえて事業として立ち上げられないということになれば、エネルギー使用合理化技術開発プロジェクトが意図した公益のための技術開発という精神に反することになる。少なくとも本プロジェクトを始めたからには、綿／ポリエステル混素材の回収システムの最適化及びその後の分離から高付加価値化製品の開発に至るまでをより包括的に捉えたビジネスモデルを再構築する義務がある。
- ・本事業はまだいくつかの課題が残されているものの、衣料品のリサイクルという社会的な要請にマッチした事業であり、実用化に向けてさらに努力していただきたい。
- ・高吸水性樹脂など実用化に向けて有望な事例について、何らかの体制で研究開発の継続をはかって頂きたい。技術的に可能になっても、経済性その他の面で実用化が難しいリサイクル技術は数多いと思われるが、少なくとも技術開発そのものは将来に対する貴重な資産になり得ることから、これらの成果を遺棄することなく、そしてできることなら更なる推進を望みたい。
- ・綿／ポリエステル繊維製品のリサイクル化は重要な課題である。しかし、綿は天然物であり、産業としては農業に属し、毎年計画生産が可能な素材である。それに対して、ポリエステルは石油が原料であり永遠に作り続けることは難しい。このことから、（私の個人的考えですが）綿は消費廃棄される段階で自然のサイクルに戻すことが、ポリエステルはできるだけ繰り返しリサイクルされるのが理にかなっている（と考えています）。したがって、回収綿の有効利用を考えずに化石原料を原料とするポリエステルの回収を中心とした、できるだけ安価に安全で簡便な回収技術の開発が望まれる。
- ・回収綿の有効利用としては、バイオエタノールの原料としての利用が最も有望であると考えられることから、エタノールの収率を向上させる方法の開発に力を注がれることを期待する。また、他の利用としては、再生紙のように既にリサイクル技術が確立してい

る素材への原料化等も一つの方策であるように思われる。

- ・多岐にわたる高付加価値化製品の開発に手がつけられたが、ほとんど成功しなかった。ここでは回収綿とバージン綿の違いをはっきりとさせ、回収綿に適した高付加価値化を目指さなくてはならない。回収綿の特徴の一つとして粒子状であることが挙げられるが、この特徴を生かした高付加価値化（高機能化あるいは高性能化）がどのようなものであるか不明確である。具体的には、コンポジット材料として粒状セルロースがファイバー型セルロースに勝る点は何なのか、化学修飾による回収粒状セルロースの高性能化は従来のバージンセルロースの場合とどのような差別化ができるか、塩水に対して有効な高吸水性ポリマーの作成に成功したが、これは回収粒状綿に特異的なことなのか、バイオエタノールの材料として考えた場合、通常のセルロース原料（例えばサトウキビ）の粉砕処理したものと比べて回収綿は回収エネルギーも含めて環境的に有利なのかという点について、明確にする必要がある。
- ・国内では必要量の廃棄衣料を安定的に確保できるのか、また、今後繊維産業の海外への移転傾向が高まることも予想されることから開発技術が海外でも活用できるのか等の視点からの評価も必要になると思われる。
- ・会社の事業形態の変化により事業の譲渡もやむを得ない側面はあるが、今後の事業継承や販路開拓では、実施期間中の担当者がある程度責任を持って任に当たる必要がある。
- ・綿／ポリエステル混素材の分離・回収技術、回収した綿の転換技術ともに、事業化に向けてはコスト低減が必須。
- ・実際に回収リサイクルする製品の選定と回収システムの構築。
- ・回収ポリエステルのケミカルリサイクルを含む、当初のリサイクルコンセプトの実現に向けた検討。
- ・複合材料をどのような商品で展開するのかのメドを至急つけないと、今後の実用化開発の自主開発費用の確保が困難と推定している。なんとか、自社の経営陣を説得して自主開発費を確保し、継続してほしい。

8 . 評価小委員会としての意見

本研究開発は、その企画・立案に際し、当該研究開発を包含する施策としての目標の達成に向けた推進という観点において、十分な検討がなされていたとは考えにくい。今後、同様の研究開発を立案するに当たっては、今回の評価結果を踏まえ、事前の評価を徹底する等により、企画・立案する研究開発の施策上の必要性や事業化出口等を十分に明確にした上で、研究開発を推進していくことが望まれる。

特に、特定企業内の個別課題に対して国費を投入することとなる場合には、その支援形態等について、慎重な検討を行うなど、政策的な面からの妥当性を十分に追求することが望まれる。

第4章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成11年度に評価を行った研究開発事業(39プロジェクト)について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第9回評価部会(平成12年5月12日開催)において、評価手法としての評点法について、

(1)数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2)個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

また、平成21年3月31日に改定された「経済産業省技術評価指針」においても、プロジェクト評価の実施に当たって、評点法の活用による評価の定量化を行うことが規定されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1)評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2)プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

2. 評価方法

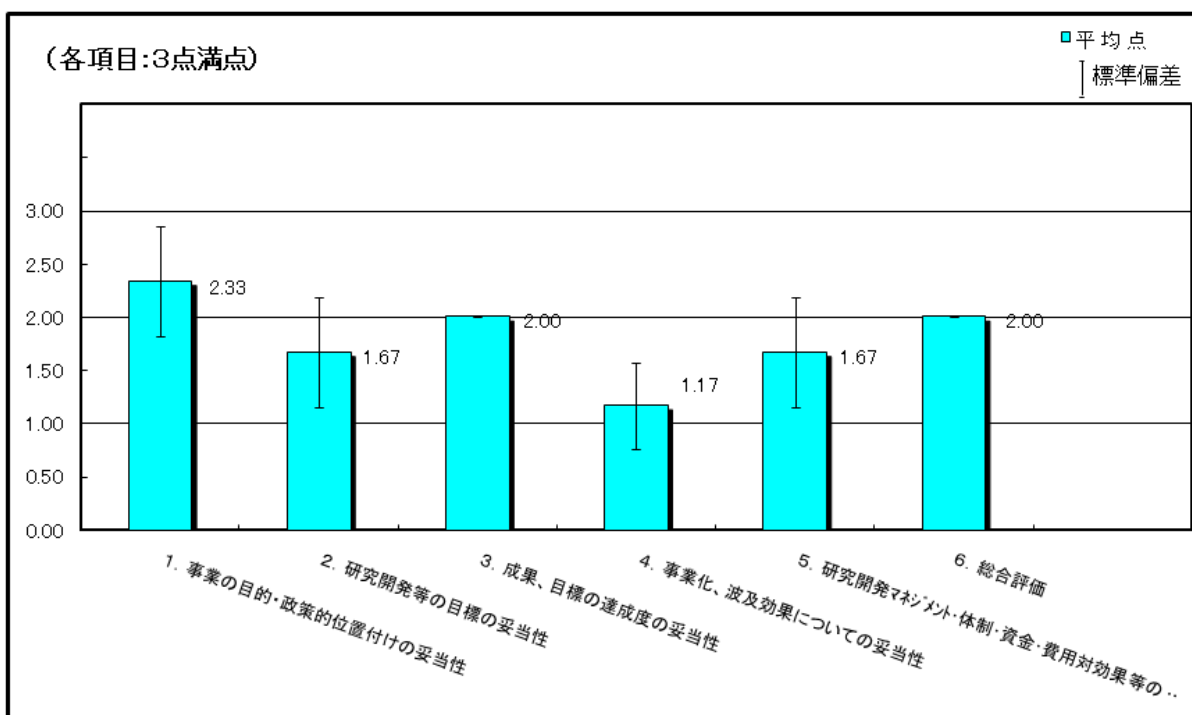
- ・各項目ごとに4段階(A(優)、B(良)、C(可)、D(不可)<a, b, c, dも同様>)で評価する。
- ・4段階はそれぞれ、A(a)=3点、B(b)=2点、C(c)=1点、D(d)=0点に該当する。
- ・評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に を付ける。
- ・大項目(A, B, C, D)及び小項目(a, b, c, d)は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

評点法による評点結果

(廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発)

| 評価項目 | 平均点 | 標準偏差 |
|--------------------------------|------|------|
| 1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性 | 2.33 | 0.52 |
| 2. 研究開発等の目標の妥当性 | 1.67 | 0.52 |
| 3. 成果、目標の達成度の妥当性 | 2.00 | 0.00 |
| 4. 事業化、波及効果についての妥当性 | 1.17 | 0.41 |
| 5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性 | 1.67 | 0.52 |
| 6. 総合評価 | 2.00 | 0.00 |



「廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発」プロジェクト評価

今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

| 提言 | 対処方針 |
|--|---|
| <p>綿／ポリエステル繊維製品の分離・回収、リサイクルは繊維関連企業が関与すべき重要な課題である。本研究開発では、まだいくつかの課題が残されているものの、衣料品リサイクルという社会的な要請にマッチした事業であり、実用化に向けた更なる努力を期待する</p> <p>特に、事業実施者のポリエステル事業からの撤退で、本研究開発におけるリサイクルコンセプトの実現が難しい状況ではあるが、今後、綿／ポリエステル混素材の回収システムの最適化及び繊維分離からの高付加価値商品の開発にいたるまで、より包括的に捕らえたビジネスモデルを実用化に向けて構築していくことが重要である。</p> | <p>残された技術的課題の検討等実用化に向けた取組については検討をしていく必要がある。そのため、研究開発実施者において本研究開発成果の譲渡等新たな態様の模索を行うことで、実用化に向けた取組みを行うこととしたい。</p> <p>研究開発実施者の事業構造改善の一つであるエステル事業撤退により、本研究開発のコンセプトでもあるリサイクルシステム全体としての事業化へ向けた継続的な検討が困難な状態となっている。しかし、リサイクルシステム全体として包括的に捕らえたビジネスモデルの構築は重要であることから、新たな態様の模索を行うことで、実用化に向けた取組みを行うこととしたい。</p> |

参考資料

研究開発実施者提供資料

廃棄衣料のリサイクル技術及び
高付加価値商品の開発の概要について

平成21年11月19日

経済産業省製造産業局繊維課

旭化成せんい株式会社

目次

- 1 . プロジェクトの目的・政策的位置づけ
- 2 . プロジェクトの概要
- 3 . 目標
- 4 . 成果、目標の達成度
- 5 . 事業化、波及効果、今後の展開
- 6 . 研究開発マネジメント・体制等

1. プロジェクトの目的・政策的位置づけ

【プロジェクトの目的】

繊維製品の廃棄物総排出量は、年間約200万トン
うち、綿 / ポリエステル混素材は45% (約90万トン)
その約90% (約81万トン) がリサイクルされておらず、焼却処
分されているのが現状。

廃棄される綿 / ポリエステル混素材のケミカル・マテリアルリサイクルによる
非焼却処分化によって、焼却エネルギーの使用合理化及びCO₂排出量削減を
目指す。

【政策的位置づけ】

京都議定書目標達成計画(2005年4月閣議決定)等
→推進すべき技術開発としてエネルギーに係る分野が示されている。

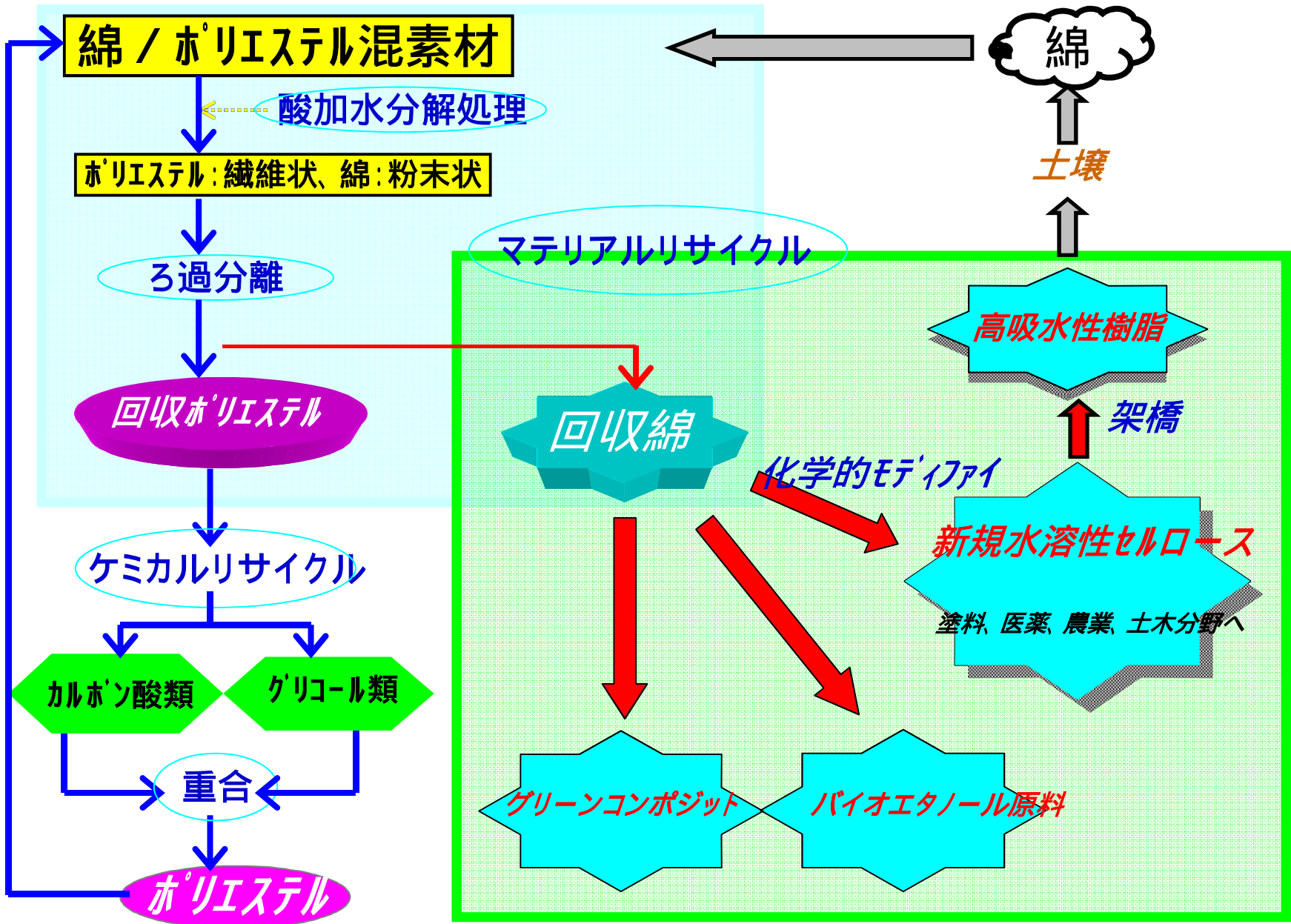
「省エネルギー技術開発プログラム」
→「エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発」の一部として実施。

「技術戦略マップ2009」
→環境3R分野で、
1)ケミカルリサイクルのモノマー化技術
2)材料リサイクルの高付加価値商品へのアップグレード再生技術
に位置づけられた技術開発。

2. プロジェクトの概要

| | |
|------------|--|
| 概要 | <ul style="list-style-type: none">・ 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発・ 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 |
| 実施期間 | 平成18年度～平成20年度（3年間） |
| 予算総額 | 4.2億円 (平成18年度:1.9億円 平成19年度:1.2億円 平成20年度:1.1億円) |
| 実施者 | 旭化成せんい株式会社 |
| プロジェクトリーダー | 加藤仁一郎 旭化成せんい(株)技術研究所 所長 |

廃棄衣料のリサイクルフロー (概要図)



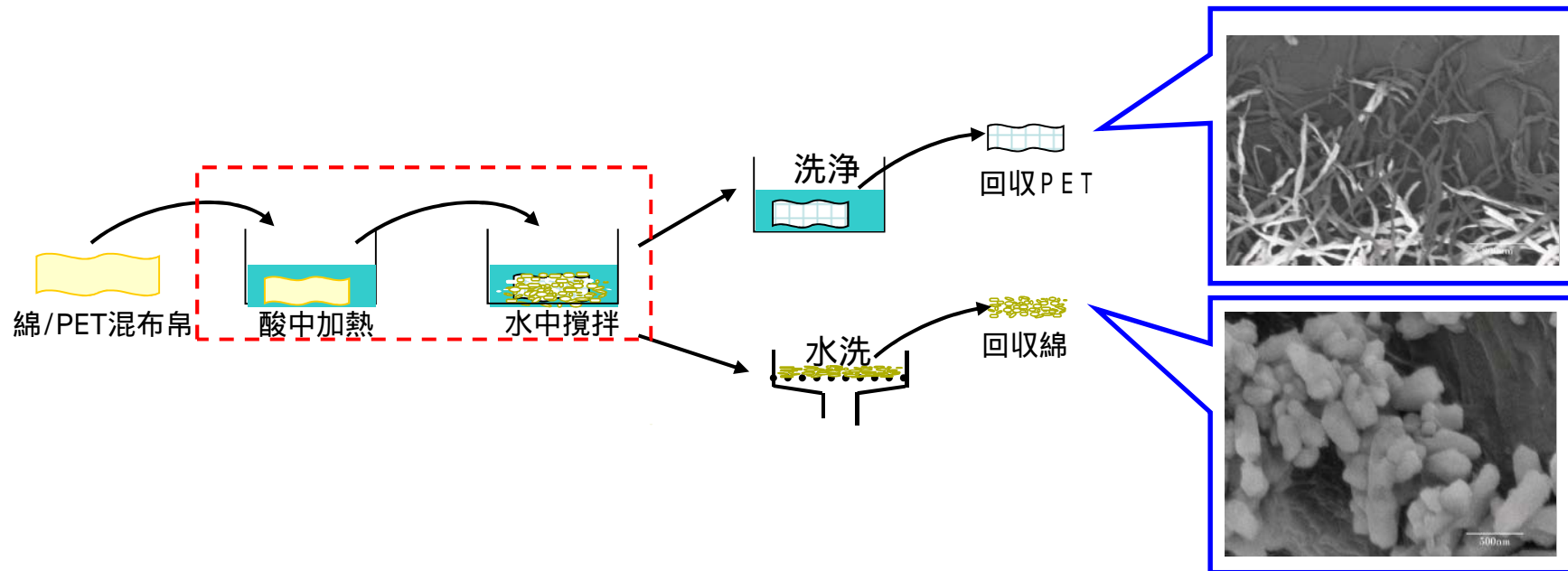
3. 目標

| 要素技術 | 目標・指標 |
|-----------------------------------|---|
| 1) 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率100% ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ80%以上 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | |
| ナハウダー化等の形状を制御する手法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・セルロースナハウダーを利用できる分野を調査検討する。 ・当該ナハウダーの均一化技術を開発する。 |
| 脱色の検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・化学的脱色方法を確立する。 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。 |
| 化学的モディファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。 ・当該セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を開発する |
| バイオマス燃料(バイオエタノール原料)としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のエタノール原料としての可能性を確認する。 ・綿/ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指す。 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿の利用に当たって原料供給サイトとして安全性の評価を行い、医療分野等における実用化の可否を判断する。 |

4. 成果、目標の達成度

1)綿/ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発

・(独)産業技術総合研究所において、綿/ポリエステル混素材を酸で処理することで、綿のみが粉状に粉碎されるという知見が得られている。



(課題)

- ・回収綿が着色する、耐熱性が低い等品質的な問題あり。
- ・有機溶剤を使用する場合、設備的なハードルが高い(防爆型仕様等)

(Step1: 基礎検討)

・回収綿の品質及び工業的実施の観点から、酸加水分解処理条件(酸の種類・濃度処理温度・時間等)の絞込みを実施した。



・0.4%塩酸×130 で着色のない粉末状の綿を95%以上の収率で分離・回収できることを見出した。

| 温度 | 0.01% | 0.10% | 0.30% | 0.40% | 0.50% |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 120 | × | 41% | × | 78% | - |
| 130 | × | × | 91% | 100% | 97% |
| 140 | 5% | 83% | 94% | 94% | - |
| 150 | × | - | 91% | - | - |
| 160 | 77% | | | | |

×

低回収率領域

着色が生じる領域

-

未実施

(Step2: 実用化検討)

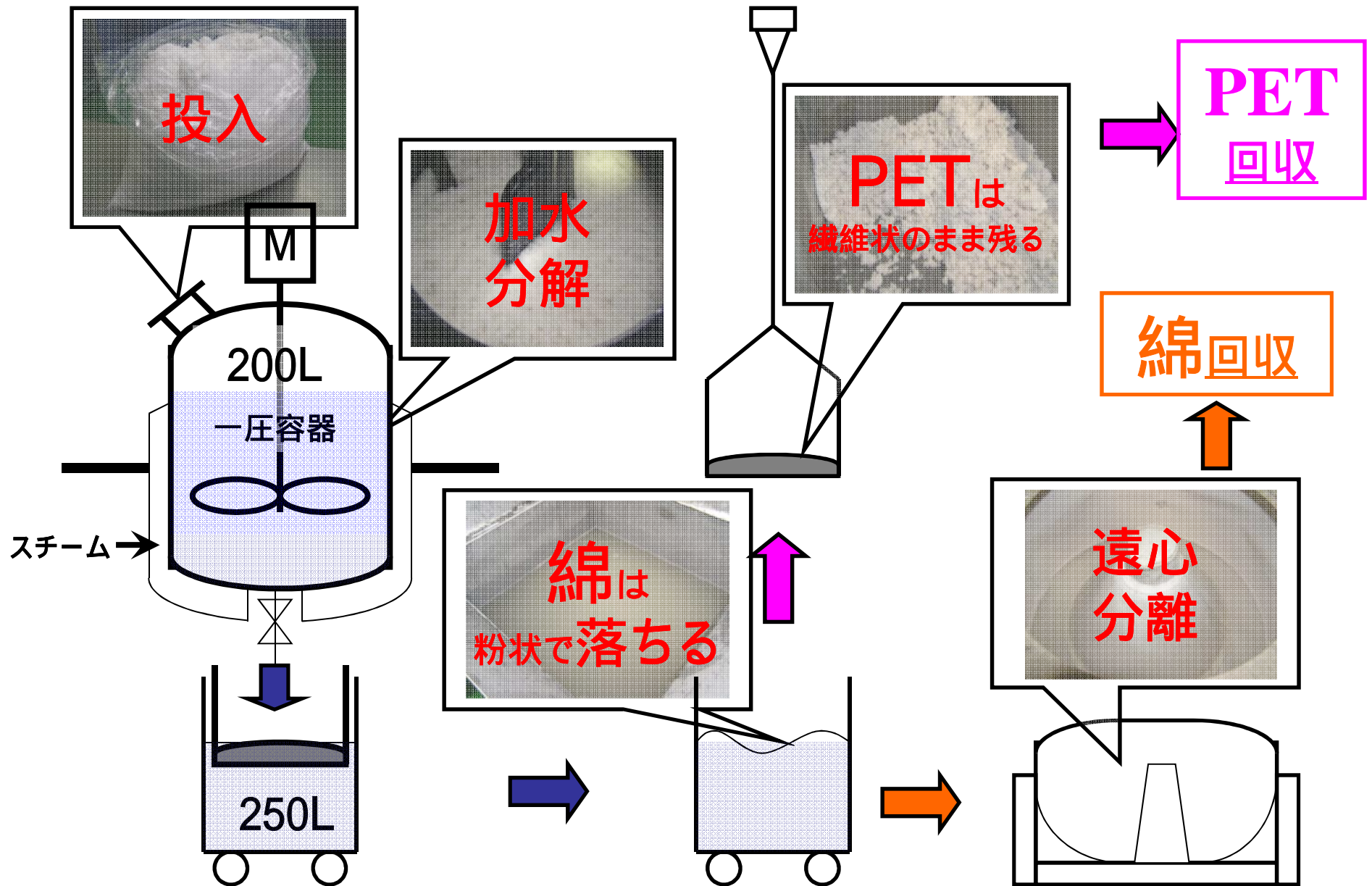
- ・本条件を元に分離・回収設備(ハンチ機)の設計建設を実施した。
- ・ハンチ機での製造条件の絞込みを行った。
(検討要素: 原料サイズ、攪拌羽形状・速度、反応時間、洗浄条件等)



回収綿90.4%、回収PET104%の回収率を達成

| 処理条件 | | | | | 回収綿 | | |
|--------|---------------|-------------|--------------|-------------|---------------------|-----|--------------------|
| 原料サイズ | 酸条件 | 処理温度 () | 処理時間 (hr) | 水洗回数 (回) | 回収率 (%) | 重合度 | 平均粒径 (μ m) |
| 5mm角 | HCl (0.4%) | 130 | 1hr | 3 | 27.6 | 144 | 23.1 |
| 1mm角以下 | | | | 3 | 56.6 | 161 | 21.2 |
| 1mm角以下 | | | | 10 | 90.4 (PET = 104) | 149 | 16.7 |

【綿/ポリエステル分離・回収設備】



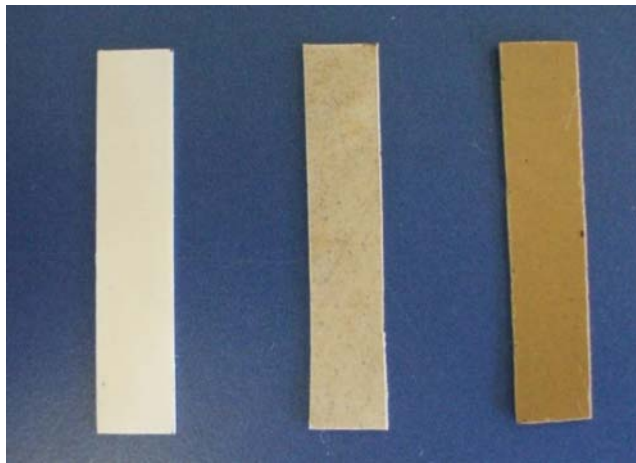
| 研究開発項目 | 目標・指標 |
|-----------------------------------|---|
| 1) 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率100% ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ80%以上 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | |
| ナハウダー化等の形状を制御する手法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・セルロースナハウダーを利用できる分野を調査検討する。 ・当該ナハウダーの均一化技術を開発する。 |
| 脱色の検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・化学的脱色方法を確立する。 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | <ul style="list-style-type: none"> ・<u>回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。</u> |
| 化学的モディファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。 ・当該セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を開発する |
| バイオマス燃料(バイオエタノール原料)としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のエタノール原料としての可能性を確認する。 ・綿/ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指す。 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿の利用に当たって原料供給サイトとして安全性の評価を行い、医療分野等における実用化の可否を判断する。 |

2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 コンポジット材料の調査及び試作

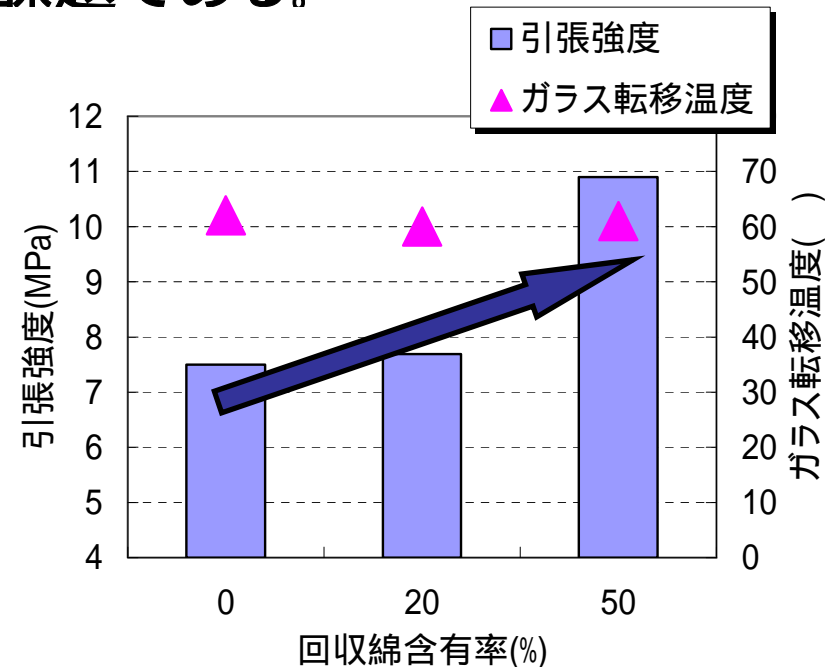
(目標) 回収綿を補強材料として利用することで環境調和型樹脂の課題を解決する。

(検討1) ホリ乳酸: 機械的物性及び耐熱性の向上

- ・耐熱性は変化しなかったが、**引張強度の向上**を確認できた。
- ・実用化に向けては、回収綿の分散状態の不均一性解消と樹脂との接着性向上が今後の課題である。



ポリ乳酸/回収綿コンポジット
左から100/0、80/20、50/50



| 研究開発項目 | 目標・指標 |
|-----------------------------------|---|
| 1) 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率100% ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ80%以上 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | |
| ナハウダー化等の形状を制御する手法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・セルロースナハウダーを利用できる分野を調査検討する。 ・当該ナハウダーの均一化技術を開発する。 |
| 脱色の検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・化学的脱色方法を確立する。 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。 |
| 化学的モディファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。 ・当該セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を開発する |
| バイオマス燃料(バイオエタノール原料)としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のエタノール原料としての可能性を確認する。 ・綿/ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指す。 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿の利用に当たって原料供給サイトとして安全性の評価を行い、医療分野等における実用化の可否を判断する。 |

2)回収した綿の高付加価値商品化技術の開発

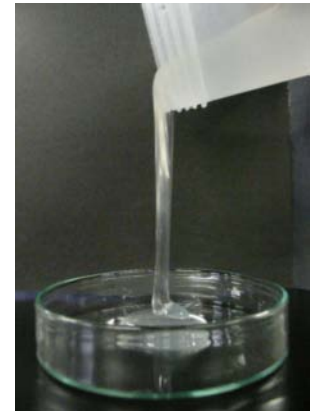
-1 化学的モディファイの検討

(目標) 新しい構造・機能を有する水溶性セルロース誘導体を実現する。

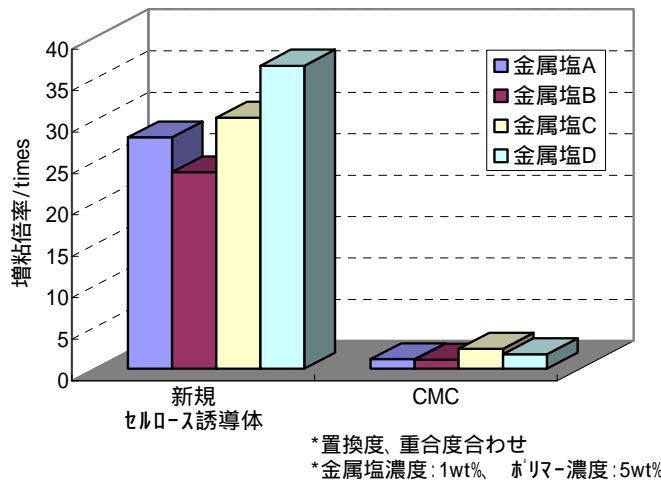
・有機化学的手法により、既存品にない新しい構造の親水基を導入することに成功した。

(新規水溶性セルロース誘導体の特長)

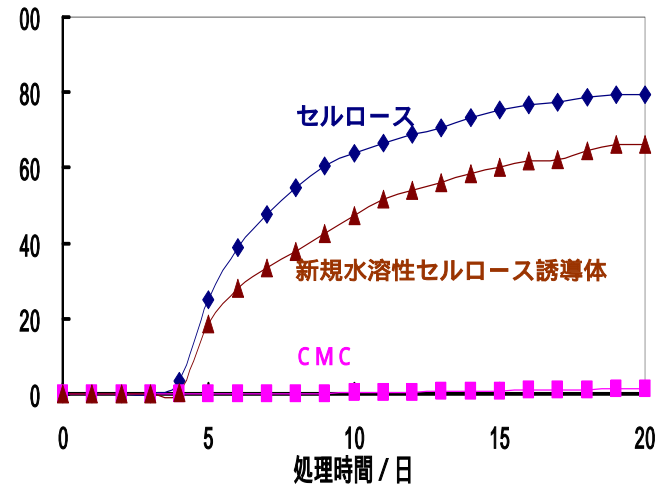
- ・塩水溶液に対して増粘作用を示す。
- ・高い生分解性を示す。



塩水溶液に対する増粘作用



生分解性評価(活性汚泥法)



2)回収した綿の高付加価値商品化技術の開発

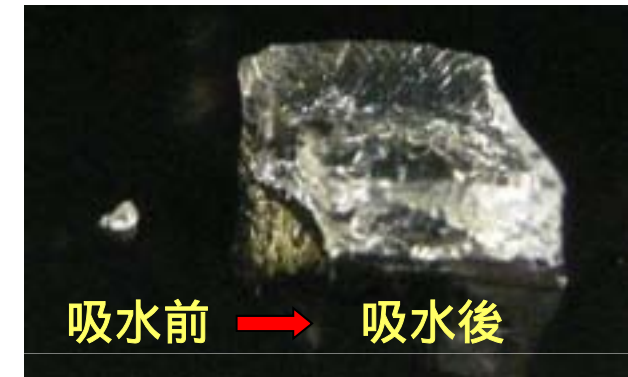
-2 高吸水性樹脂の開発

(目標) 高イオン濃度の水溶液に対する 高い吸水性能 と 生分解性

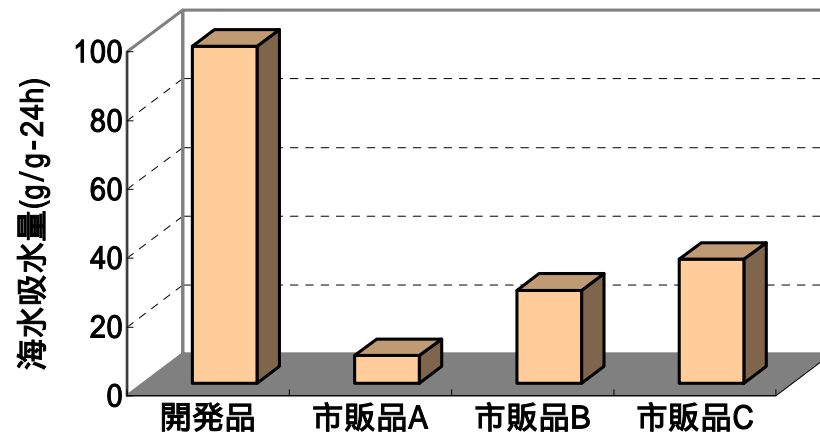
- ・新規水溶性セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を実現した。

(高吸水性樹脂の特長)

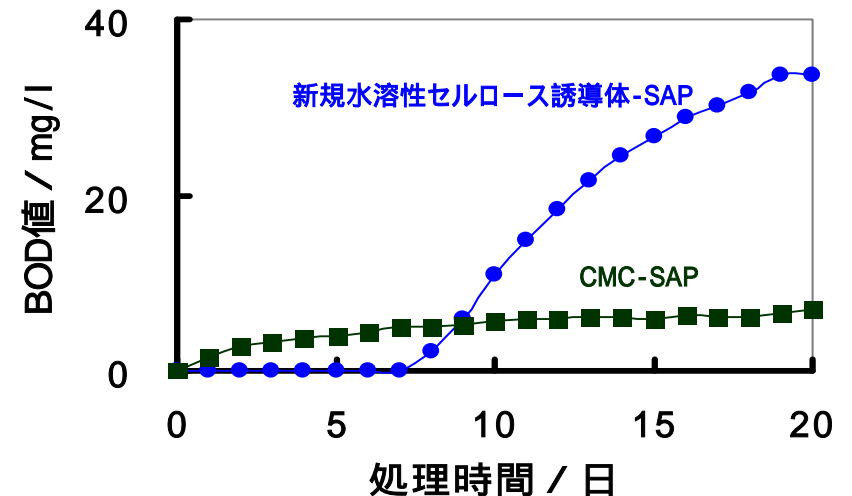
- ・海水に対して高い吸水性
- ・高い生分解性



海水(NaCl濃度:3.5%)吸水性評価
(ティバック法)



生分解性評価(活性汚泥法)



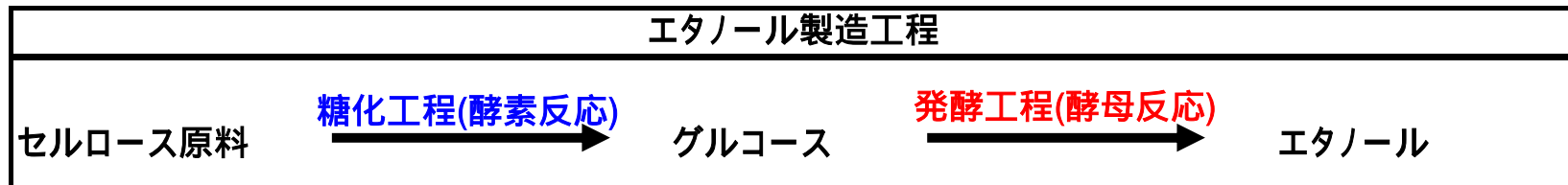
| 研究開発項目 | 目標・指標 |
|-----------------------------------|---|
| 1) 綿 / ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・綿とポリエステルの分離率100% ・分離した綿及びポリエステルの回収率がそれぞれ80%以上 |
| 2) 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | |
| ナハ'ウダ'-化等の形状を制御する手法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・セルロースナハ'ウダ'-を利用できる分野を調査検討する。 ・当該ナハ'ウダ'-の均一化技術を開発する。 |
| 脱色の検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・化学的脱色方法を確立する。 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認する。 |
| 化学的モディファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・新規水溶性セルロース誘導体を有機化学的手法、光化学的手法で開発する。 ・当該セルロース誘導体を原料とした高吸水性樹脂を開発する |
| バイオマス燃料(バイオエタノール原料)としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿のエタノール原料としての可能性を確認する。 ・綿/ポリエステル混素材の機械的粉碎により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指す。 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・回収綿の利用に当たって原料供給サイトとして安全性の評価を行い、医療分野等における実用化の可否を判断する。 |

2)回収した綿の高付加価値商品化技術の開発

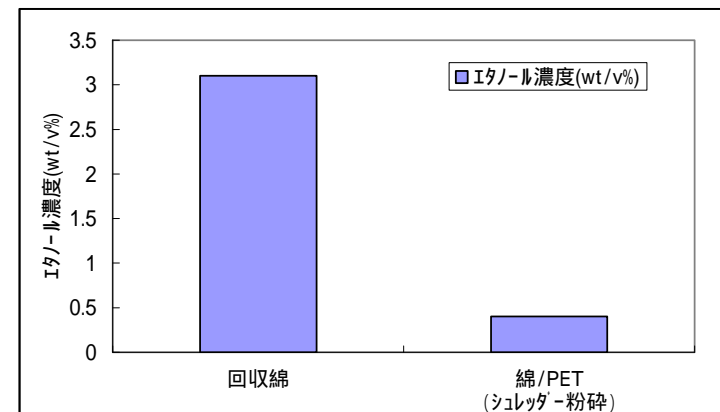
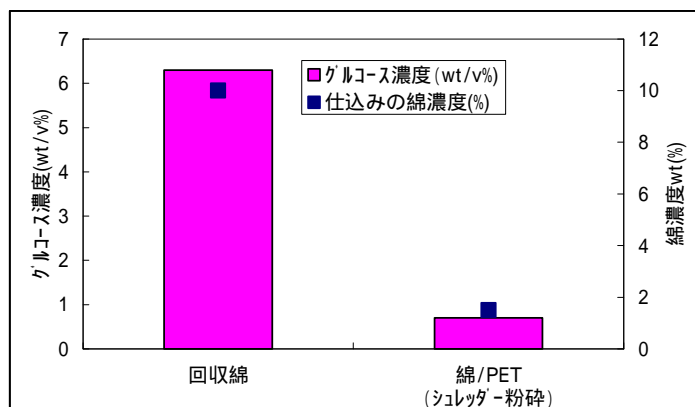
バイオマス燃料としての有効利用の可能性検討

(目標) 綿/ポリエステル混素材の機械的粉砕により得られた綿と比較して、エタノール生産効率が高いレベルを目指す。

・回収綿と綿/ポリエステルシュレッダ-粉砕物について酵素・酵母を利用したアルコール発酵テストを実施した。



・回収綿はシュレッダ-粉砕物に対して**約7倍の効率**でエタノールを生産できた。



回収綿はエタノールの生産効率という観点で有効な原料となり得る。

目標達成度(まとめ)

| 研究開発項目 | 成果 | 達成度 |
|-----------------------------|--|------|
| 1. 綿/ポリエステル混素材の新規分離・回収技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 綿とポリエステルの分離率100%を達成した。 工業化を想定した設備において、綿、ポリエステルそれぞれ80%以上の回収率を達成した。 | 達成 |
| 2. 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | | |
| ナノパウダー化等の形状を制御する手法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 化学的粉砕では回収綿をナノ化できないことが明らかになった。 <u>セルロースパウダーをコンポジット材料やバイオエタノール原料、或いは誘導体原料としてそのまま利用できる</u>ことが明らかになった。 | 一部達成 |
| 脱色の検討 | <ul style="list-style-type: none"> <u>還元処理により無色化する技術を確立した。</u> <u>還元処理では、染料の完全除去は困難であった。</u> | 一部達成 |
| 各種コンポジット材料の調査及び試作 | <ul style="list-style-type: none"> 回収綿をコンポジット材料として利用することで、ポリ乳酸の引張強度の向上を確認できた。 回収綿をコンポジット材料として利用することで、エラストマーの寸法安定性を改善できた。 回収綿のコンポジット材料としての利用可能性を確認できた。 | 達成 |
| 化学的モディファイの検討 | <ul style="list-style-type: none"> 新規構造及び機能を有する水溶性セルロース誘導体を開発できた。 高いイオン濃度の水溶液に対して高い吸水性能を有する高吸水性樹脂を開発できた。 | 達成 |
| バイオマス燃料としての有効利用の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> 回収綿はシュレッダー粉砕物に対して高い効率でエタノールを生産できることを確認できた。 | 達成 |
| 安全性の評価及び生体適合性の可能性検討 | <ul style="list-style-type: none"> <u>医療分野等安全性の高い材料が求められる分野では、染料やセルロースの低分子量物等が極少量でも残存する材料は利用できないことが調査により明らかになった。</u> | 一部達成 |

5 . 事業化、波及効果、今後の展開

【事業化の妥当性】 …… **事業化について妥当性があると認められる。**

- ・綿 / ポリエステル混素材から、綿及びポリエステルを効率的に分離・回収する技術を確立
- ・分離・回収した綿の高付加価値化を実用化に近いレベルまで達成



綿 / ポリエステル混素材の非焼却処分化によるエネルギー利用の効率化及びCO₂排出量削減に貢献できる。

【波及効果】 …… **高い波及効果が認められる。**

- ・想定内 : 新しいセルロース事業の創出に寄与 できる。
- ・想定外 : 化学粉碎した回収綿は、機械的粉碎した綿よりも、高い効率でバイオエタノールを製造できることを確認できた。 → 更なるエネルギーの使用合理化

【今後の展開】

(課題) 平成21年9月末をもって旭化成せんい株式会社は、エステル事業から完全撤退する。



本補助事業の前提である回収ポリエステルのケミカルリサイクル事業ができなくなった。

(対応) 回収ポリエステルのケミカルリサイクル事業の譲渡、もしくは本補助事業全体の譲渡等の新たな態様を模索する。

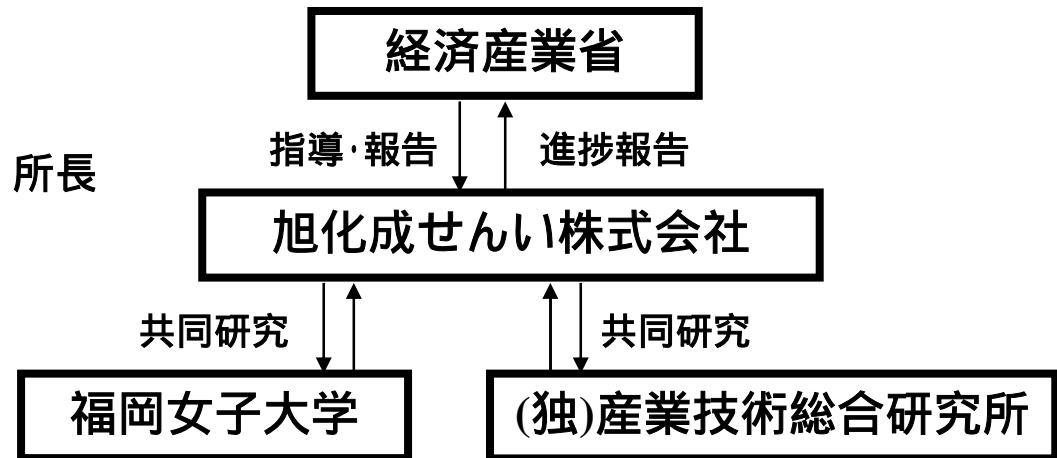
6. 研究開発マネジメント・体制等

・開発体制

プロジェクトリーダー

旭化成せんい株式会社 技術研究所 所長

平成18年度 開発担当 5名
 平成19年度 8名
 平成20年度 7名



| 年度 平成 | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 | 合計 |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|-------|
| 綿 / ポリエステル混素材における 新規分離・回収技術の開発 | 137.1 | 32.2 | 20.1 | 189.4 |
| 回収した綿の高付加価値商品化技術の開発 | 53.5 | 90.2 | 87.2 | 228.6 |
| 合計 | 190.6 | 122.4 | 107.3 | 419.3 |

(うち補助金額268.0百万円)