

(6) 発掘した繊維製品リサイクル技術について

新たな繊維製品リサイクル技術として、下記の2つの技術について検証を行った。

- ・水熱処理による綿繊維糖化技術
- ・ガス化による混紡繊維対応型バイオエタノール製造技術

水熱処理による綿繊維糖化技術は、日本環境設計が保有する綿繊維由来バイオエタノール製造技術の課題である製造コストを低減するための技術である。これは、製造コストの大半を占める酵素調達コストをその使用量を削減することによりそのコストを削減するものである。

ガス化による混紡繊維対応型バイオエタノール製造技術は、綿繊維、混紡繊維、また、ウールや麻などどのような繊維製品であっても、さらに製品情報の少ない一般廃棄物でもバイオエタノールを製造することができる画期的な技術である。また将来的には、粉碎等も実施する必要がなく、廃棄された繊維製品からそのままバイオエタノールを製造することができるものである。

①技術検証概要

A. 対象物

- ・綿100%製品
- ・綿35%－ポリエステル65%混紡製品

B. 内容

- ・農林バイオマスで用いられているガス化技術の、実際の回収商品を用いた繊維製品リサイクルへの応用について検証
- ・技術的課題の整理

④成果

【実際の回収商品を用いての保有する繊維製品リサイクル技術の有用性の検証】

A. 一定条件での粉碎処理

1) 異物の取り外し

回収衣料を粉砕するに先だって、粉碎機のカッターの刃こぼれや破損に繋がる金属類・アクセサリ類等を手作業にて取り外した。

2) 粉砕

異物を取り除いた衣料を「カッターミル」にて粉砕処理し(写真①、②)、粉砕品を袋に回収した。(写真③、④)



写真① 投入口と回転部



写真② 粉碎機全景（手前は回収衣料）



写真③ 粉碎品



写真④ 粉碎品

B.水熱処理(亜臨界水処理)

亜臨界水とは臨界点(374°C-22MPa)以下の高温・高圧水の状態を示しており、誘電率の低減やイオン濃度の上昇等、元来の水にはない特異な性質が発現する。

亜臨界水の条件を選択すれば、比較的低い温度条件下でも糖化反応が速やかに進行し、高い転化率で単糖(グルコース)を直接生成することが可能であり、この場合、繊維中の綿は完全に糖(グルコース)まで加水分解されるので、酵素を使用する必要はない。

1) 処理条件

<使用装置> オートクレーブ

<サンプル> ①綿100%品、②混紡品

対照サンプル: サラシ(無着色)

<処理条件>

- ・サンプル量 1.25g
- ・溶媒量(水)50mL
- ・添加剤 非公開
- ・加熱温度 180°C

・保持時間 約30分



写真① 粉碎サンプル



写真② 処理装置（オートクレーブ）

C. 上記Aの処理後のものを用いた一定条件での酵素糖化処理とグルコース生成率の測定

※ 同一の測定を委託者である日本環境設計(株)においても行っているため、今回の受託業務ではこの測定を除外した。

尚、この仕様変更は、委託、受託両者において合意済みである。

D. 上記A及びBの処理後のものを用いた一定条件での酵素糖化処理とグルコース生成率の測定

処理品はいずれも茶褐色に着色した(写真①)。

そのHPLC分析から求めたグルコース生成率の結果を表 1に示した。

表 1 HPLC分析結果



写真① 処理後のサンプル

サンプル	グルコース生成率(%)	コメント
①綿100%品	40.12	
②混紡品	27.52	若干残渣有
サラシ	54.71	

E. 上記①の処理後のものを用いた一定条件での熱分解ガス化処理とケミカルリサイクルに有用な成分であるCOガス生成率の測定

ガス化とは、原料を炉内で高温加熱することによりCO、CO₂、H₂、CH₄などの混合ガスに転換する技術であり、その方式には、固定床型、流動床型、噴流床型などが知られている。

今回の委託業務においては、噴流床型の実験設備を用い、900℃にて高温ガス化処理を行った。その結果、COガス生成率は以下の通りであった。

1) 綿 100%の場合

炭素化合物ガス中：60.4vol%

2) 混紡繊維の場合

炭素化合物ガス中：49.8vol%

尚、今回のガス化処理において液体や固体であるタールおよびチャーの生成は、綿、混紡繊維いずれの場合にもほとんどなかった。

したがって、原料中のほとんどの炭素がガス化されて炭素化合物ガスとなったと考えられる。CO以外のガス中含有物は、H₂、CO₂、CH₄、その他C_nH_m(微量)であった。

⑤繊維製品リサイクル技術検証から技術課題整理

A.粉砕処理

今回の水熱処理、熱分解ガス化処理を行うためには、廃繊維を微粉砕することが必要であった。繊維は紙や草木よりも切断しにくい傾向があるが、今回カッターミルにより回収衣料の粉砕が十分可能であることが分かった。

今回使用した小形のものでも、綿100%品、混紡品ともに30-50kg/時間と処理速度は高く、今後のスケールアップにも十分対応できると考えられる。

課題としては、以下のことが挙げられる。

1) リサイクルコスト上昇を押さえる異物除去方法の検討

カッターの破損を防ぐために、事前に金属やアクセサリ類を除去する必要がある。

2) 微粉砕しない後処理方法の選択

粉砕単位が微細化するほどエネルギーコストの上昇、粉砕速度の低下による設備コストの上昇が想定される。

B.水熱処理

処理結果より、回収衣料の綿100%品、混紡品ともに、亜臨界水処理で一段階糖化が可能であることが見出された。これにより高価な酵素を用いることなく発酵のみでエタノール等の化学品合成が可能であり、従来よりも大幅なコストダウンが期待できる。

しかし、同じ綿100%品であっても、比較のために行った無染色品(サラシ)よりも低い糖化収率を示している。その原因としては回収衣料に含まれる染料やフィックス剤等の影響が考えられるが、今後の検討が必要である。

一方、混紡品の糖収率は27.52%と数値自体は低いですが、元々の混紡繊維が綿35%含有品であることを考えると、綿基準では約79%という高い選択率になった。この原因に関しても現在のところ明らかにはなっていない。なお、混紡に関しては、ポリエステル等の他成分が亜臨界水条件下でどのような挙動を取るかの検討がさらに必要である。

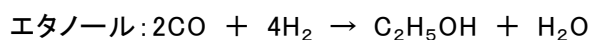
今後の課題としては、以下のことが挙げられる。

1) より有効なグルコース生成のため、生成率に与える要因の詳細説明

2) エネルギーコストおよび設備コストの検証

⑥熱分解ガス化処理技術の繊維製品リサイクルへの応用可能性

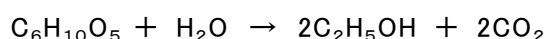
熱分解処理によって生成されたCOは以下の化学変換により、エタノールあるいはメタノールなどの有用化学品に合成可能である。



綿繊維のほとんどがセルロース($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_nであると考え、炭素(C)の個数だけを見ると、この1molから6molのCOが生成可能であり、さらにそこから3molのエタノールを合成可能である。

また、混紡繊維の綿以外の部分がポリエチレンテレフタレート($\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$)であると考え、同様にこの1molから10molのCOが生成可能であり、そこから5molのエタノールが合成可能である。

一方、糖化・発酵法によるエタノール製造の場合は、



であり、一部の炭素(C)がCO₂となって放出されるため、1molのセルロースから合成可能なエタノールは2mol、量論的見地では熱分解ガス化は有利となる。

このような計算を前提にすると、今回の処理の結果、綿繊維の1mol(約172g)から約1.8molのエタノール(83g)が生成可能であり、混紡繊維の1mol(平均分子量の計算で約185g)から約2.2molのエタノール(約100g)が合成可能であるといえる。

【課題】

- ・ 農林バイオマスで用いられてきた技術であるが、繊維製品リサイクルへの応用の有用性が確認できた
- ・ 今後、ガス化技術を繊維製品リサイクル技術として用いるためには、技術的に以下のような課題があげられる

1)高効率に合成可能な触媒及びプロセス技術の検討

実際の工業プロセスでは、上記の量論的な収率に実際の収率を掛ける必要がある。

2)繊維回収規模と処理方式の並行検討

熱分解ガス化プラントは、多くの場合規模の経済性を考慮して大型化・大量処理が前提となっている。

4. 4. 2 技術検証結果を踏まえた繊維製品リサイクル技術体系の構築に向けて

一般衣料からなる繊維製品リサイクルを実現するため、技術検証によって課題を整理した。これらの課題をふまえ、今後の繊維製品リサイクルシステムのために繊維製品リサイクル技術体系を検討することが求められる。本事業における課題を踏まえた技術体系を以下にまとめた。

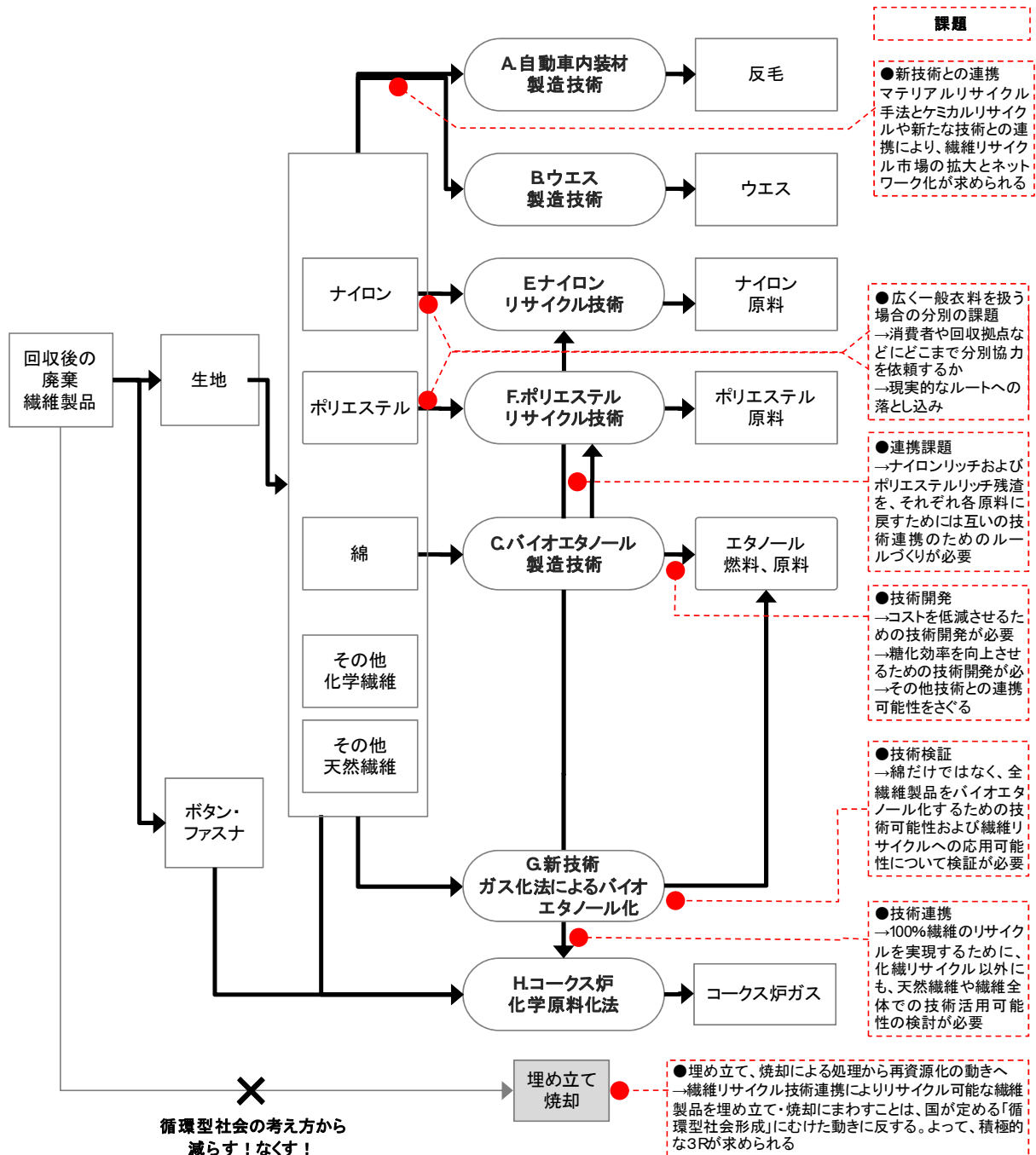


図 1 繊維製品リサイクル技術フローチャートの見直しと課題整理

第5節 回収実験および技術検証結果による課題の整理と今後の検討の方向性

これまでの検討結果・課題を踏まえ、次年度以降の検討の方向性(シナリオ)を次に示す。

課題	方向性
1. 回収の促進(回収率の向上)	
(1)消費者ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ●消費者への繊維製品リサイクルの普及啓発 消費者への繊維製品リサイクルへの関心を高めていくこと。そのために、消費者に最も近い小売店舗などの協力を得ていくことが考えられる。
(2)事業者(回収の担い手となる小売店)のニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ●回収協力小売店の拡大 使用済繊維製品の回収に意欲的な小売店を対象に回収に協力いただける小売店を選出し、回収・リサイクルを実施する。 ●インセンティブ付与 先行的に事業へ取り組んだ事業者へのインセンティブ付与を検討することで、回収・リサイクルを促進する。
(3)事業者(回収の担い手となる小売店)のメリット	
(4)事業者ごとに廃棄繊維製品の回収方針の整理	<ul style="list-style-type: none"> ●企業回収・リサイクルパッケージの構築 回収協力小売店の拡大に向けて、また、それぞれの個別企業の回収方針に対応するため、個別企業の回収からリサイクルまでのトレーサビリティを確保できるような回収・リサイクルパッケージを構築する。
(5)回収の継続実施の必要性	
(6)回収担い手の検討	<ul style="list-style-type: none"> ●自治体による回収の可能性検討 小売店による自主的な回収への取り組みとともに、自治体回収についても検討 ●モデル自治体による回収 使用済繊維製品の回収に意欲的な自治体の中から協力いただける自治体を選出し、モデル的に回収・リサイクルを実施する。 ●回収協力自治体の拡大 モデル自治体による回収・リサイクルの成果を踏まえ、回収に協力いただける自治体を拡大する。

課題	方向性
2. 技術活用の促進	
(7)リサイクル技術の活用 ・易リサイクル設計 ・廃棄繊維の分別、識別 ・上記を可能とする国レベルでの検討	●リサイクル技術活用可能な商品設計 リサイクル技術が生かせる商品設計(易リサイクル)など、製品製造段階での検討。 ●廃棄繊維の前処理ルール(分別、識別など)の検討
(8)一般衣類のリサイクル技術開発 ・生産コスト低減 ・繊維加工による阻害要因の排除	●リサイクル技術開発の促進 様々な素材の対応可能となるリサイクル技術の開発、また、リサイクルに係るコストの低減を図る。
(9)廃棄繊維製品の活用方法の探求 ・セルロース資源の別展開	
3. 体制づくり	
(10)現状の法令制度の見直し	●法制度対応 自治体や小売店における使用済繊維製品の回収・リサイクルを円滑に進めていくために、関連する法制度(廃掃法、広域認定制度、再生利用認定等)に対応する。
(11)回収、技術検討の継続実施を検討するための体制およびシステムの検討	●関係者による議論の場の設置 使用済繊維製品の回収・リサイクルを促進していくために関係者による議論の場を設置する。 ●繊維製品リサイクルシステム化へ向けた関係者間の合意形成 ●議論の場等を活用し、使用済繊維製品の回収・リサイクルシステム化へ向け、関係者間の合意形成を行う。