



第1回 繊維製品の資源循環システムの検討会

繊維製品の資源循環システムの 構築に向けた技術開発について

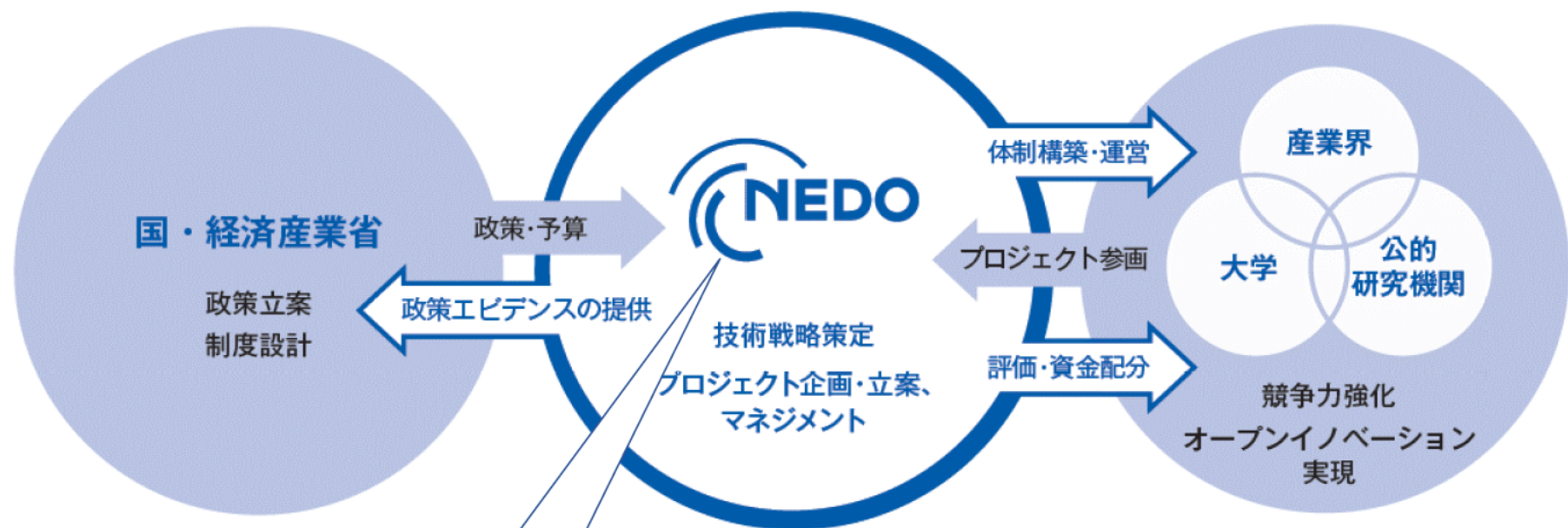
2023年1月20日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

技術戦略研究センター

ナノテクノロジー・材料ユニット

- NEDOは、「エネルギー・地球環境問題の解決」や「産業技術力の強化」実現に向けた、技術開発の推進を通じて、経済産業行政の一翼を担う、**国立研究開発法人**。
- 自ら研究者を雇うのではなく、**技術開発マネジメント機関**として、産学官が有する技術力・研究力を最適に組み合わせ、リスクが高い革新的な技術の開発・実証を推進し、**イノベーションを社会実装**することで、社会課題の解決や市場創出を目指す。



イノベーション・アクセラレータ

技術戦略の策定, プロジェクトの企画・立案, 産官学の強みを結集した体制構築や資金配分, 評価等を通じて, 技術開発の推進と成果の社会実装を推進。

- **技術戦略研究センター（TSC）**は、調査・研究を通じ、産業技術やエネルギー・環境技術分野の技術戦略の策定及びこれに基づく重要なプロジェクトの構想に取り組む研究機関として設立。
- エネルギー・地球環境問題の解決及び産業技術力の強化に貢献するべく、「産業技術政策の策定に必要なエビデンスや知見を提供する重要なプレイヤー」として、政策当局と一体となった活動を展開。

TSCミッション

敏感に捉え、**将来像**を描き、**実行性**



- TSCは、政策的重点分野を意識し、**戦略的にプロジェクトを構想**。
- **数多くのナショナルプロジェクト化を実現**。
 - TSC創設以来これまでに、89の技術戦略※1が128のプロジェクト組成※2に貢献

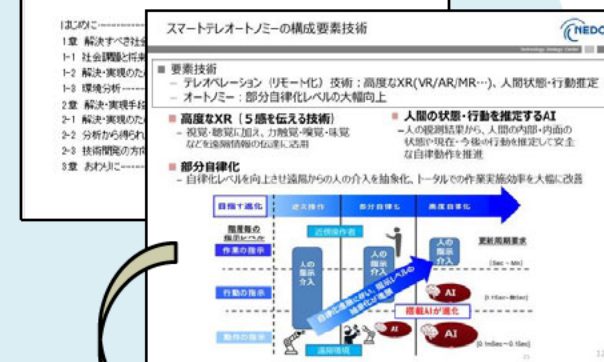
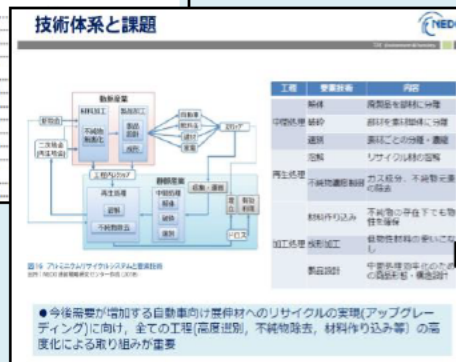
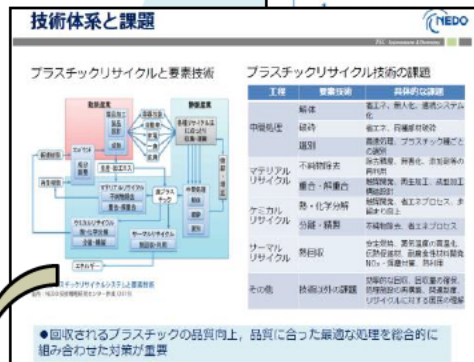
※1 大幅改訂含む延べ数

※2 先端研究の課題設定を含む延べ数

【研究開発プロジェクト化の事例】

技術戦略 資源循環（プラスチック、アルミニウム） （2019年11月公表）

技術戦略 スマートテレオートノミー （2021年2月公表）



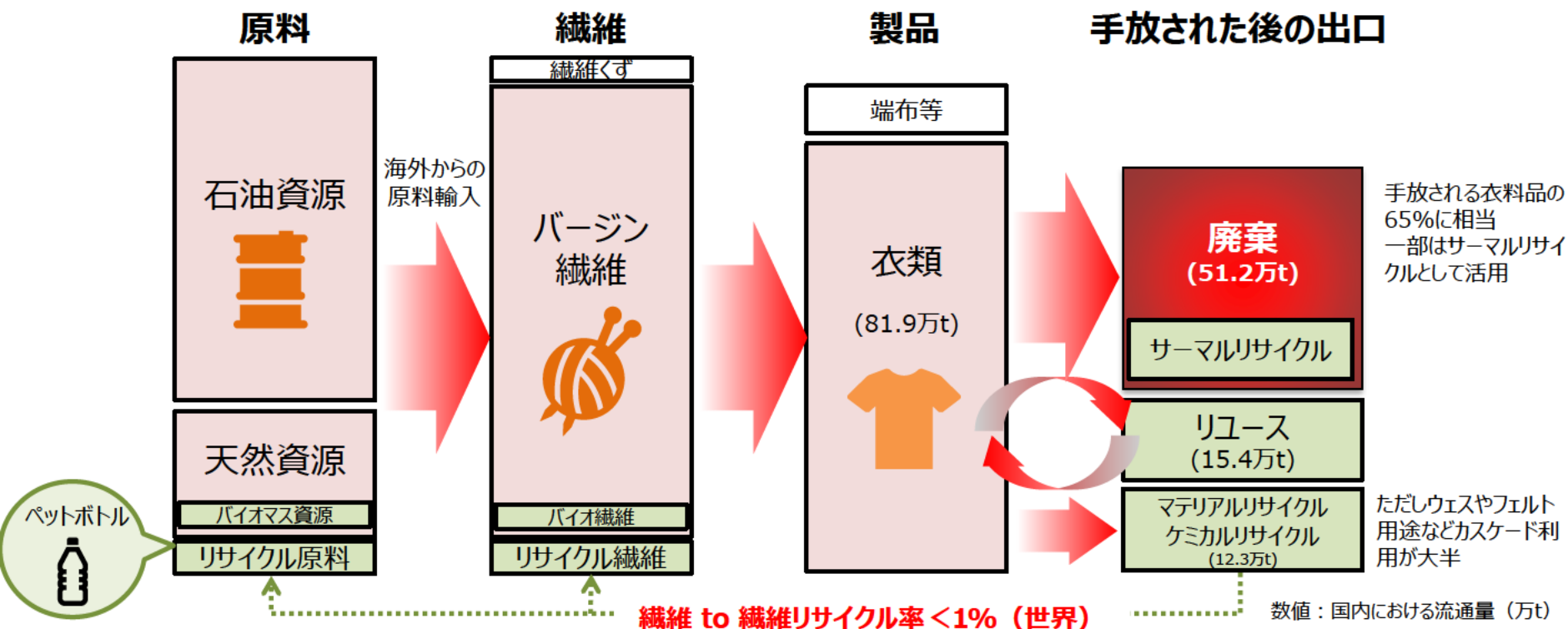
**革新的プラスチック
資源循環プロセス技術開発**
（2020～2024年）

**アルミニウム素材高度
資源循環システム構築事業**
（2021～2025年）

**人工知能活用による革新的
リモート技術開発**
（2021～2024年度）

- 環境省の調査では、**年間に廃棄される衣類は手放される衣類の約65%**にあたる。
- 現在のリサイクルはウェスやフェルト用途など需要の限られたカスケード利用に限られており、繊維 to 繊維リサイクルは1%未満と、循環利用に向けた課題は大きい。

衣類のマテリアルフローの現状認識（2020年）



出所：環境省令和2年度「ファッションと環境」調査結果などをもとにNEDO技術戦略研究センター作成（2023）

- 近年、欧州・中国を中心に、繊維製品の循環利用に関する政策提言の動きがある。
- 日本においても繊維産業のサステナビリティに関する検討を開始しており、海外の政策と連動した繊維製品の循環利用に向けた施策の具体化が求められている。

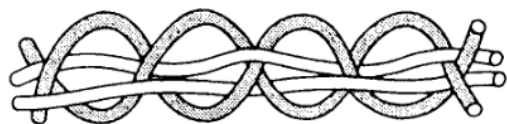
国/地域	近年の政策	政策の概要
欧州 	持続可能な循環型繊維製品戦略 (欧州委員会、2022年3月)	● 現在、EU域内における繊維製品の消費は、気候変動を含めた環境への悪影響の原因として、4番目に大きな原因となっていると認識。 ● 2030年までに<u>耐久性があり、リサイクル可能で、リサイクル済み繊維を大幅に使用し、危険な物質を含まず、労働者の権利などの社会権や環境に配慮したものにする目標を掲げる。</u>
中国 	繊維廃棄物のリサイクル推進の加速に関する実施意見 (国家発展改革委員会・商務部・工業情報化部、2022年4月)	● 繊維品廃棄物の生産、回収、総合利用の3つにフォーカスをあて、9つの具体的措置を明確化。 ● <u>リサイクル率を2025年に25%、2030年に30%、リサイクル繊維の生産量を2025年に200万t、2030年に300万tなどを主な目標に掲げる。</u>
日本 	2030年に向けた繊維産業の展望（繊維ビジョン） (経済産業省、2022年5月)	● 繊維産業の現状や環境変化を踏まえ、今後の新市場開拓、サステナビリティやデジタル化に向けた方向性を整理。 ● サステナビリティ推進の一環として、<u>リサイクル素材の活用など資源循環取り組み強化</u>を掲げる。
米国	(繊維製品の循環利用に対しては民間主導で取り組みが進行)	

- 衣料品は消費者のニーズに合わせるためファッション性や機能性が要求され、それに対応するため混紡・混織など複数の繊維素材が複合化される割合が近年増加傾向にある。
- こうした衣料品素材の多様性ゆえに、**個々の素材の分離・分解が困難となっていることが、リサイクルを妨げる最大要因の一つとなっている。**

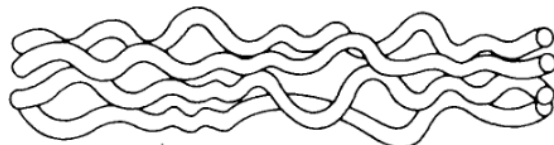
複合化された繊維の例

- ✓ 繊維製品の高機能化のため**複数種類の繊維が複雑に絡み合っている（混紡、混織、混編など）**。

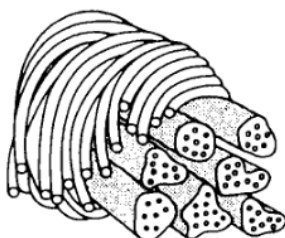
複合糸の例



異収縮混織糸



微細けん縮複合糸

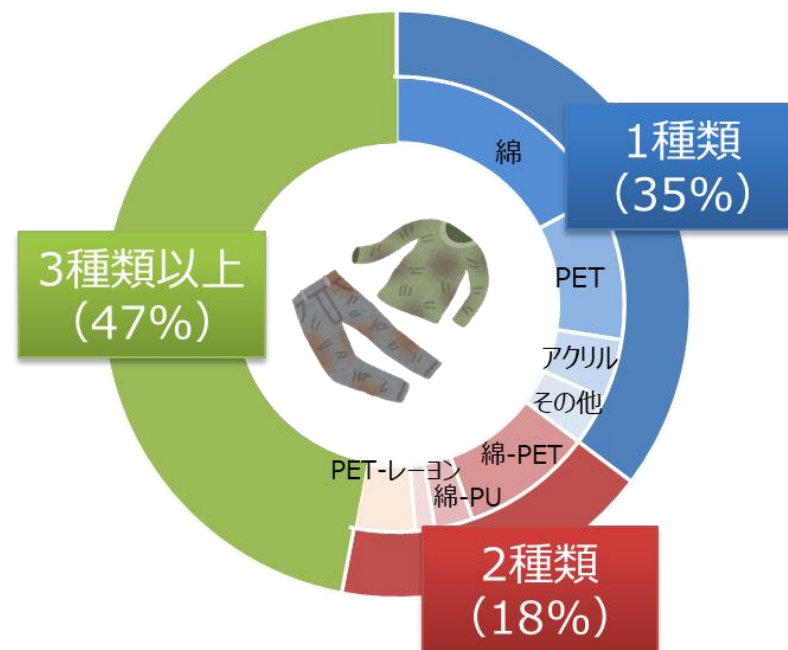


多相混成糸

出所：渡辺正元「複合化機能繊維について（1993年）」

回収衣類の構成繊維の割合

- ✓ 2種類以上の繊維を含む衣類が回収衣類の**約65%**
- ✓ 近年複数の繊維で構成される衣類の割合は**増加傾向**

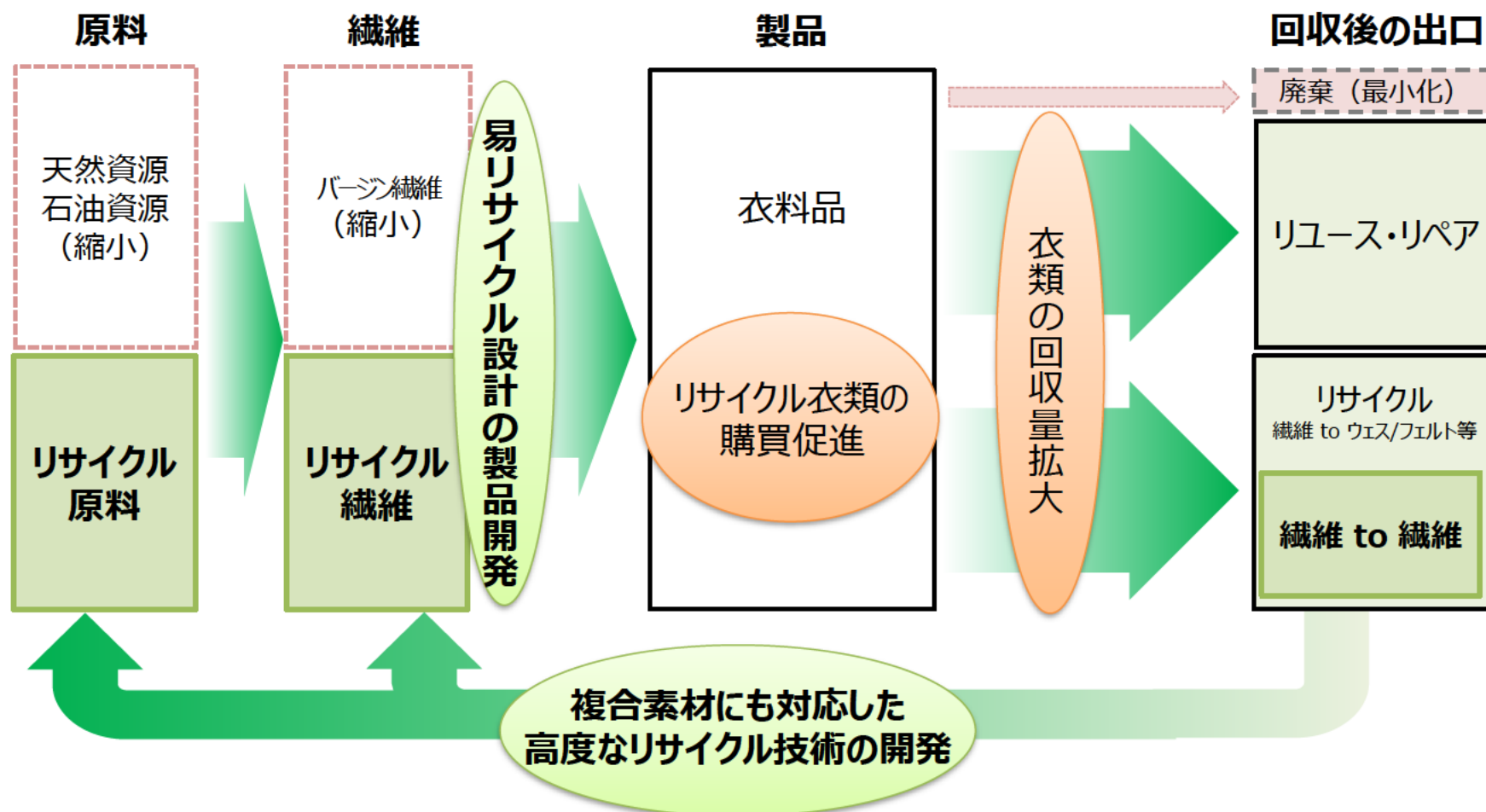


出所：ナカノ（株）提供データをもとにNEDO技術戦略研究センター作成（2023）

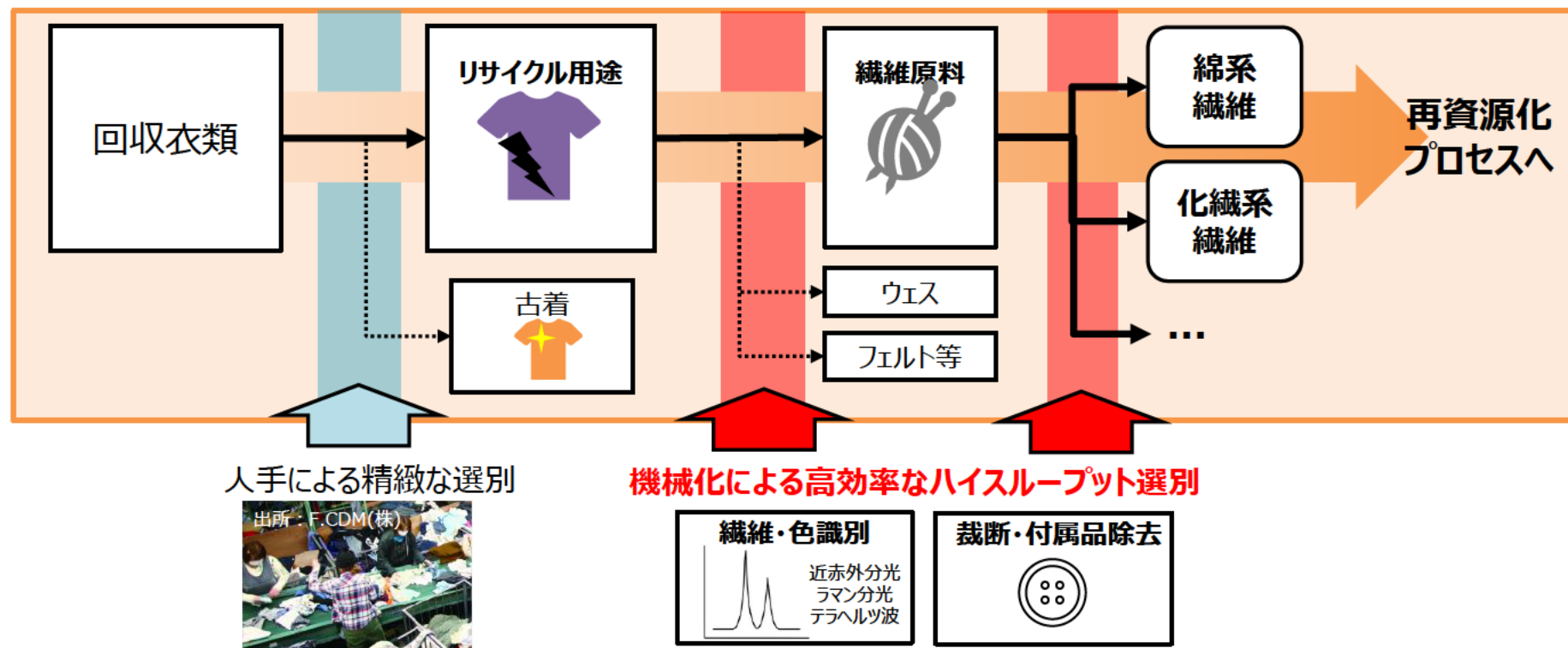
■ 欧州各国・中国が回収衣料のリサイクルに係る技術開発などを国プロで推進。

名称	実施国	実施期間	予算*	プロジェクト内容
CISUTAC	ベルギー主催 (瑞、西、蘭、独、伊ほかの 24社参加)	2022- 2026	9.2 M€ (13.0億円)	ポリエステルおよび綿繊維の衣料を対象に、補修・解体、リユース・リサイクルの選別、繊維to繊維によるサーキュラーアパレルデザイン https://cordis.europa.eu/project/id/101060375 https://www.jcfa.gr.jp/news_post/news/news-2215/
T-REX	ドイツ主催 (仏、 蘭、芬の10社 参加)	2022- 2025	8.4 M€ (11.9 億円)	バリューチェーン全体のプレイヤーを巻き込んだ、家庭から出る衣料廃棄物の分別回収と所望原料に変換するデモンストレーション https://cordis.europa.eu/project/id/101060343
SCIRT	ベルギー主催 (独、仏、瑞の 17社参加)	2021- 2024	9.2 M€ (13.0 億円)	繊維産業バリューチェーンの全てのプレイヤーによる使用済み繊維(天然、合成、混紡)を対象とした繊維 to 繊維リサイクル総合システムのデモンストレーション https://cordis.europa.eu/project/id/101003906
Fibersort	オランダ (ベルギー、英 の6社参加)	2016- 2020	3.4 M€ (4.8 億円)	回収衣料をNIR及び色識別で高精度仕分けする技術の開発。 https://www.nweurope.eu/projects/project-search/bringing-the-fibersort-technology-to-the-market/
SIPTex	スウェーデン	2015- 2022	31.4 MSEK (4.0 億円)	衣料廃棄物を対象にNIRと色識別でリサイクル用フィードストックの選別技術を開発。IVL (国研) Sysav (廃棄物管理者) が主導。 https://www.sysav.se/en/siptex/
綿/PET繊維廃棄物のクリーンリサイクル及び高付加価値利用モデルの実証	中国	2020- 2024	1641万元 (3.2億円)	低粘度イオン液体で、廃綿/ポリエステル混紡を効率的かつ選択的な分離プロセスを開発 http://www.shaoxing.com.cn/ycq/p/2848137.html 国家重点研究開発計画で「固形廃棄物資源化」を重点項目に採択 (プロジェクト番号2020YFC1910300)
廃PET繊維の高効率リサイクル技術	中国	2016- 2021	2200 万元 (4.2億円)	廃PET(繊維・ボトル)のケミカルリサイクル及び再生ポリエステルの生産技術、NIRによる廃繊維製品の同定技術の開発。 国家重点研究開発計画 (プロジェクト番号2016YFB0302900)

- 繊維to繊維リサイクルを進めていくうえでは、複合素材への対応がボトルネックとなっており、対応するリサイクル技術の開発が急務の課題。さらに動脈側での易リサイクル設計の製品開発、また制度設計の視点において、衣類の安定回収や購買促進に向けた仕組み作りなどが課題に挙げられる。



- 今後繊維原料用途のリサイクル原料を効率的に回収するためには、機械化による高効率なハイスループット選別に資する技術開発が必要。2種類以上の混紡品等複合素材の識別高度化や、ボタンなど付属品除去の効率化が課題。

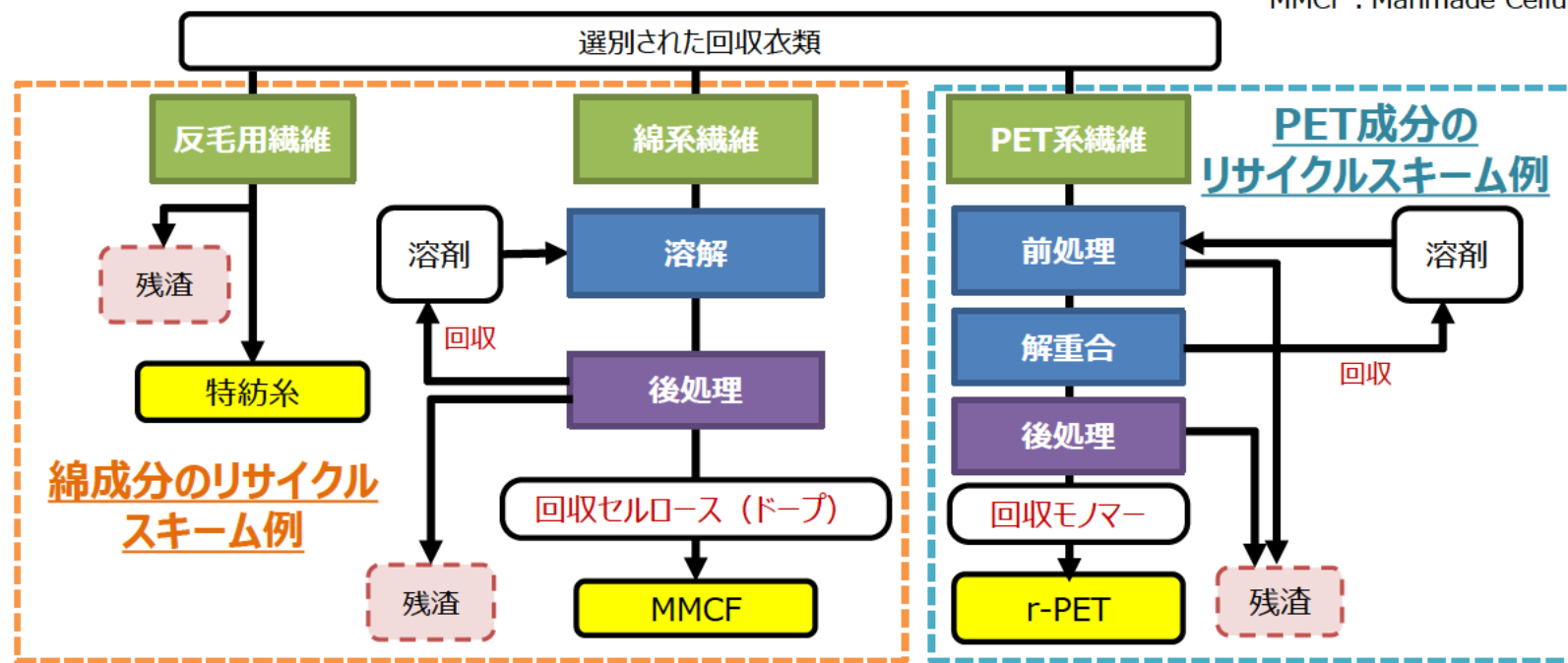


今後の課題

- ✓ 現状はNIRを用いた単一素材の選別のみに対応。今後は**2種以上の混紡素材の識別高度化**が必要。
- ✓ **付属品の除去**は現状は手作業で行われており、今後機械化が必要。
- ✓ 日本企業が導入しやすい、**省スペースな装置設計**が求められる。

- 綿（セルロース）成分においては、反毛後の再紡糸する方法や、セルロースとして回収しMMCF*に紡糸する方法等がある。PET成分においては解重合によるケミカルリサイクルの方法等がある。
- 多くの回収衣類は複数の繊維成分や不純物（染料、加工剤等）を含んでおり、再資源化プロセスに高品位なリサイクル原資を提供できるために、対象繊維以外を残渣として分離する工程が必要。

*MMCF : Manmade Cellulosic Fiber



今後の課題

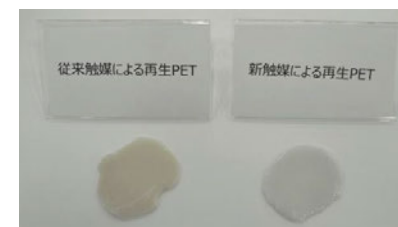
- ✓ 回収衣類は様々な繊維成分、不純物（染料、加工剤等）を含んでおり、再資源化プロセスに高品位なリサイクル原資を提供できるために、対象繊維以外の分離工程が必要
- ✓ リサイクルプロセスの省エネ化
- ✓ 綿（セルロース）系繊維のリサイクルは繊維強度の低下が課題。ケミカルリサイクル時は重合度の高いセルロース溶解などによる再生セルロース繊維の高強度化が必要

- 繊維の総生産量の半分強を占めるポリエステルを例にとると、バージン相当の品質に再資源化できる技術において日本には競争力を有する企業が複数社存在し、長年蓄積してきた開発実績を有する点は強み。

ポリエステルのケミカルリサイクルの主なプレーヤー

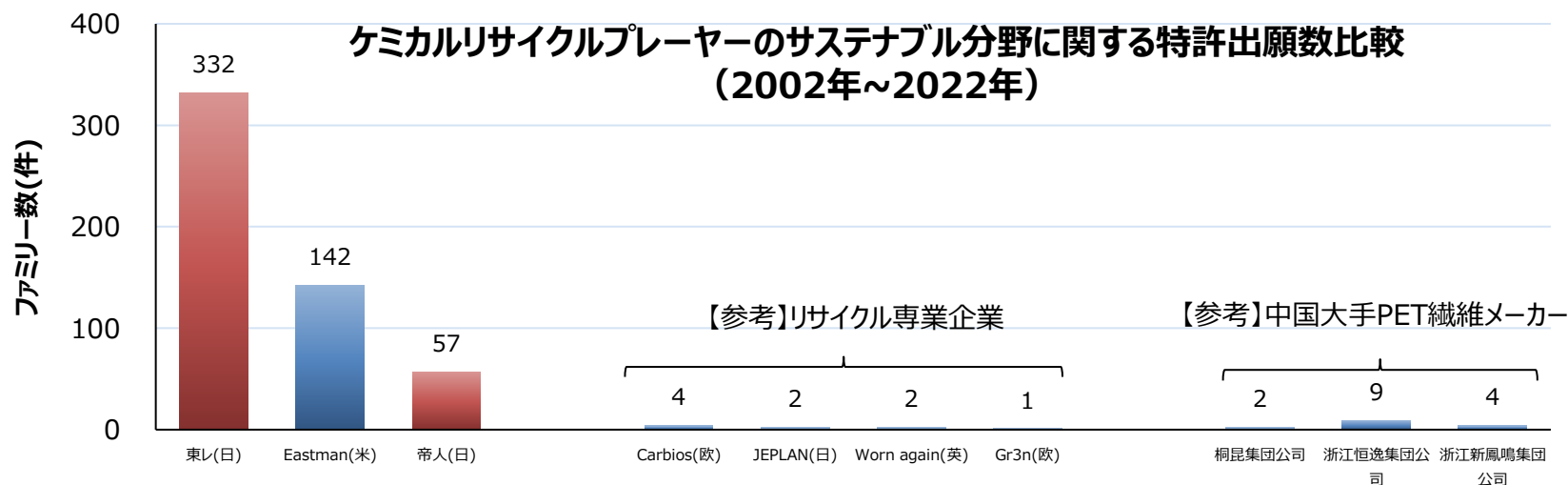
企業		実用化レベル
日本	帝人フロンティア	事業化
	JEPLAN	事業化
欧米	EASTMAN (米)	事業化
	Carbios (仏)	開発中
	Gr3n (スイス)	開発中
	Ioniqa (蘭)	事業化
	Ambercycle (米)	開発中

- 近年の開発例：帝人フロンティアの新触媒開発
ポリエステル繊維を従来の6割の使用エネルギーで、石油由来と同等品質の原料にケミカルリサイクルできる新触媒を開発。2～3年以内の商業化を目指す。



出所：日経XTEC「ポリエステル繊維再生のエネルギーを4割減、帝人系が新触媒」(2022年5月18日)

出所：Harmsen et al (2021), sustainability をもとにNEDO技術戦略研究センター作成 (2023)



出所：Derwent InnovationよりNEDO技術戦略研究センター作成 (2023)

- 繊維製品の循環利用において、「回収→再利用」のための静脈側の技術のみならず、動脈側でのリサイクルを前提とした製品設計も重要。
- 紡糸・紡績技術、生地製造時の加工技術等により、製品の機能性を維持しつつモノマテリアル化等を進めることが有効。他にも、製造時に素材情報などを含むICタグを取り付けリサイクル時の選別を効率化する手法等も挙げられる。

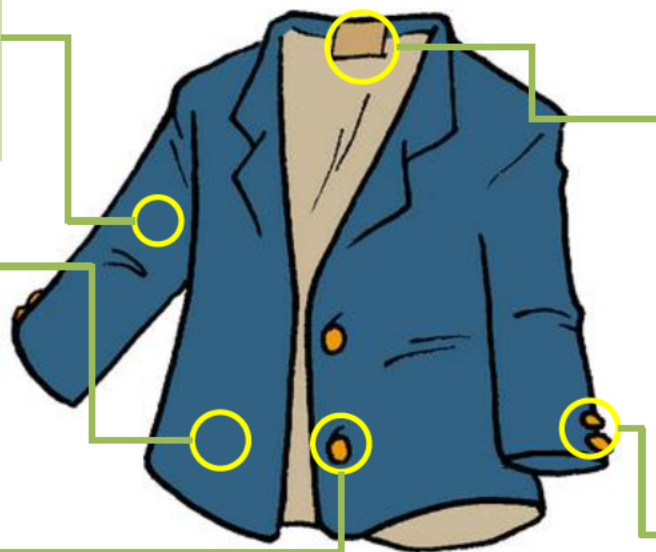
易リサイクル設計の手法例

機能性を維持した
繊維・生地のモノマテリアル化

リサイクルを前提とした
染料・加工剤の開発

解体容易性の向上

溶解糸で縫製したダウンジャケット、羽毛布団（東和）



選別効率化のための
リサイクル情報ICタグの取付

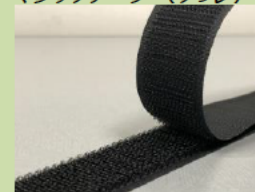
活用できる技術例

衣料品へのRFIDタグの取付（ファーストリテイリング）



リサイクルを前提とした
付属品開発

バックコート剤不使用の
マジックテープ（クラレ）



ポリエステル衣服への
回収PET製ボタン使用



- 技術開発の視点においては、高効率なハイスループット選別、高品位な原料への再資源化の技術開発や、中長期的には易リサイクル設計の製品開発を進めていくことが重要。
- 併せて、衣類の回収量の拡大や、リサイクル衣類の普及に向けた仕組み作り等も総合的に進めることが、繊維製品の資源循環システムの構築に向けて求められる。

フロー	主な課題	制度設計の寄与*	技術の実用化状況**	
	リサイクル原料となる衣料品の効率的な回収システムの構築	○	—	
	リサイクル用途（繊維原料、ウェス、フェルト等）ごとの選別の高効率化	—	×	
	対象とする繊維以外の分離・不純物の除去工程、リサイクルプロセスの省エネ化など	—	単一素材	△
			複合素材	×
	製品設計時のモノマテリアル化等による易リサイクル性と機能性の両立など	○	×	
	リサイクル衣類の購買促進（消費者への環境価値訴求、コスト負担等）	○	—	

*○：課題解決に制度設計が寄与する可能性あり

**△：実用化途上、×：技術的難度が高く実用化に至っていない

- 国内では手放された衣類の65%は有効活用されず焼却・埋め立てされている現状。繊維to繊維リサイクルはほとんど進んでおらず、繊維製品の資源循環システムの構築が急務の課題。
- 繊維製品は高機能化を志向し複数の繊維から構成されることが多く、その素材の多様性が繊維to繊維リサイクルを阻害する最大要因の一つとなっている。他方、海外ではこうした複合素材にも対応したリサイクルの技術開発の取組が国プロ等で進みつつある。
- 繊維to繊維リサイクルの推進に向けて、技術開発の視点においては、静脈側での選別・再資源化技術の開発、動脈側での易リサイクル設計が求められる。
 - － 《静脈》 繊維識別技術等を活用した高効率なハイスループット選別や、複合素材からでも高品位な原料に再生できる再資源化技術が必要。特に化繊のケミカルリサイクルにおいては日本の繊維企業が長年蓄積してきた開発実績を有する点は強みと言える。
 - － 《動脈》 消費者の求める機能性を維持したモノマテリアルな生地の開発など、リサイクルを前提とした製品設計を進めていくことで、将来的には循環利用率の更なる拡大に貢献しうる。
- 日本が競争力を有する高度なリサイクル技術を生かし、従来ボトルネックとなっていた複合素材にも対応する繊維to繊維リサイクル技術を世界に先んじて確立することが重要。併せて、衣類の回収量の拡大や、リサイクル衣類の普及に向けた仕組み作り等も総合的に進めることが、繊維製品の資源循環システムの構築に向けて求められる。