



2025/5/30 大学等コアリション イノベーションワーキング シンポジウム

超臨界流体染色加工による資源循環型繊維産業を目指して 福井大学 廣垣和正



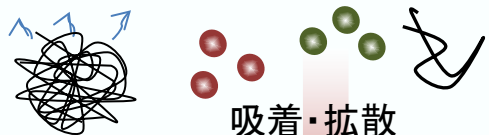


衣・食・住から、科学の発展を支える基本材料へ

染色・着色技術の進展

超臨界CO₂

超臨界乾燥 染料、機能性物質

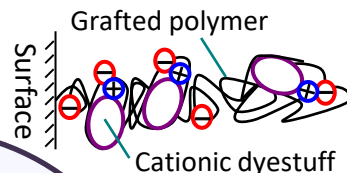


繊維

- ・構造色：審美性、耐光性
- ・難染色物の染色・可染化
- ・エコロジカルな無水染色

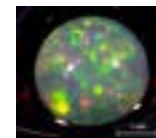


構造発色繊維・布（発色性制御）

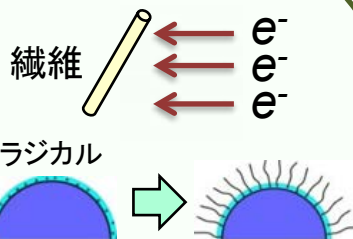


無水染色布
（超臨界流体染色）

液晶構造色の繊維への応用
コロイド結晶の構造色制御
パターニング

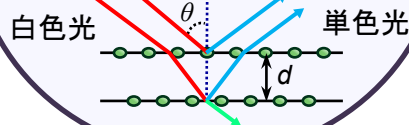
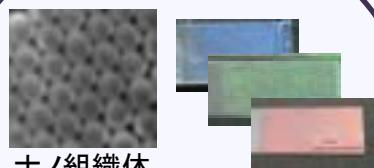


電子線

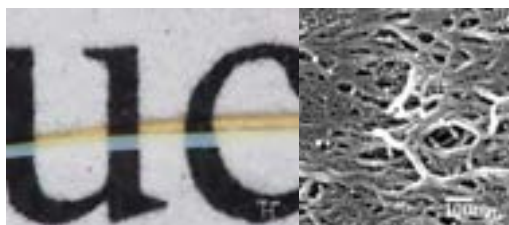


グラフト重合

構造発色



超軽量・断熱材料

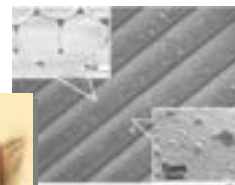


エアロゲル繊維（ナノファイバー組織体）



有機/無機ハイブリッドエアロゲル

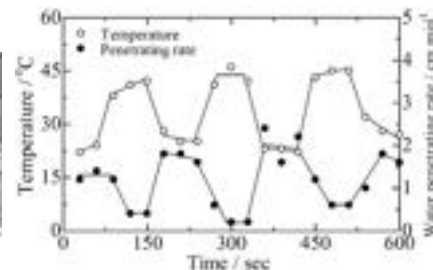
金属複合・めっき



導電性繊維

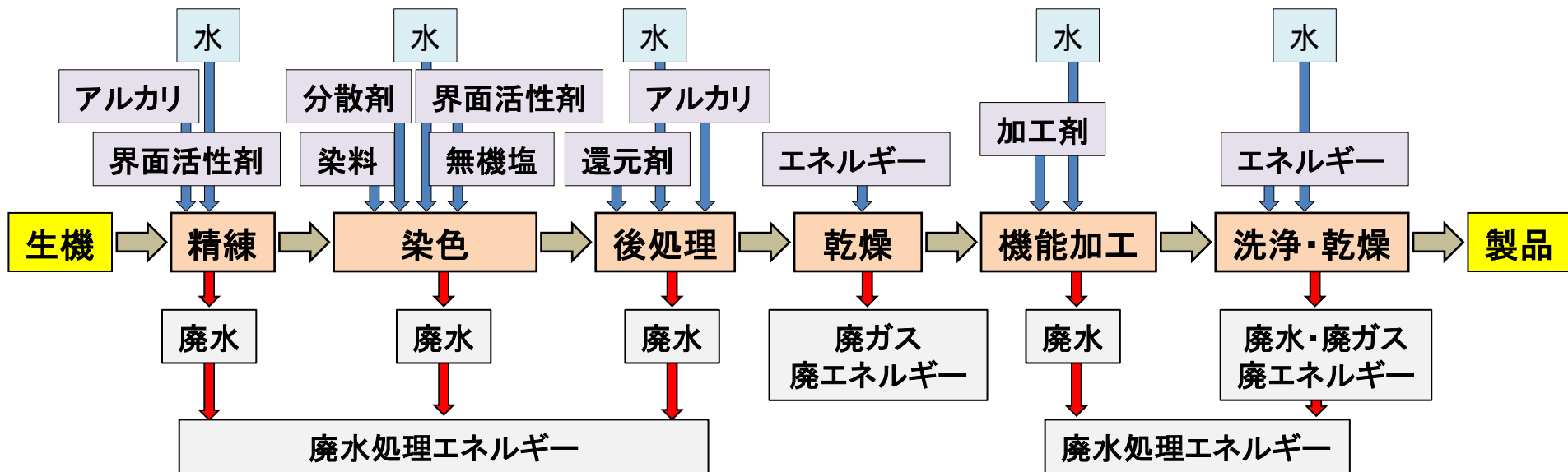
高機能繊維材料の創製

- ・用途に応じた機能の設計とその付与
- ・加工技術開発



環境応答布帛（温度－濡れ性）

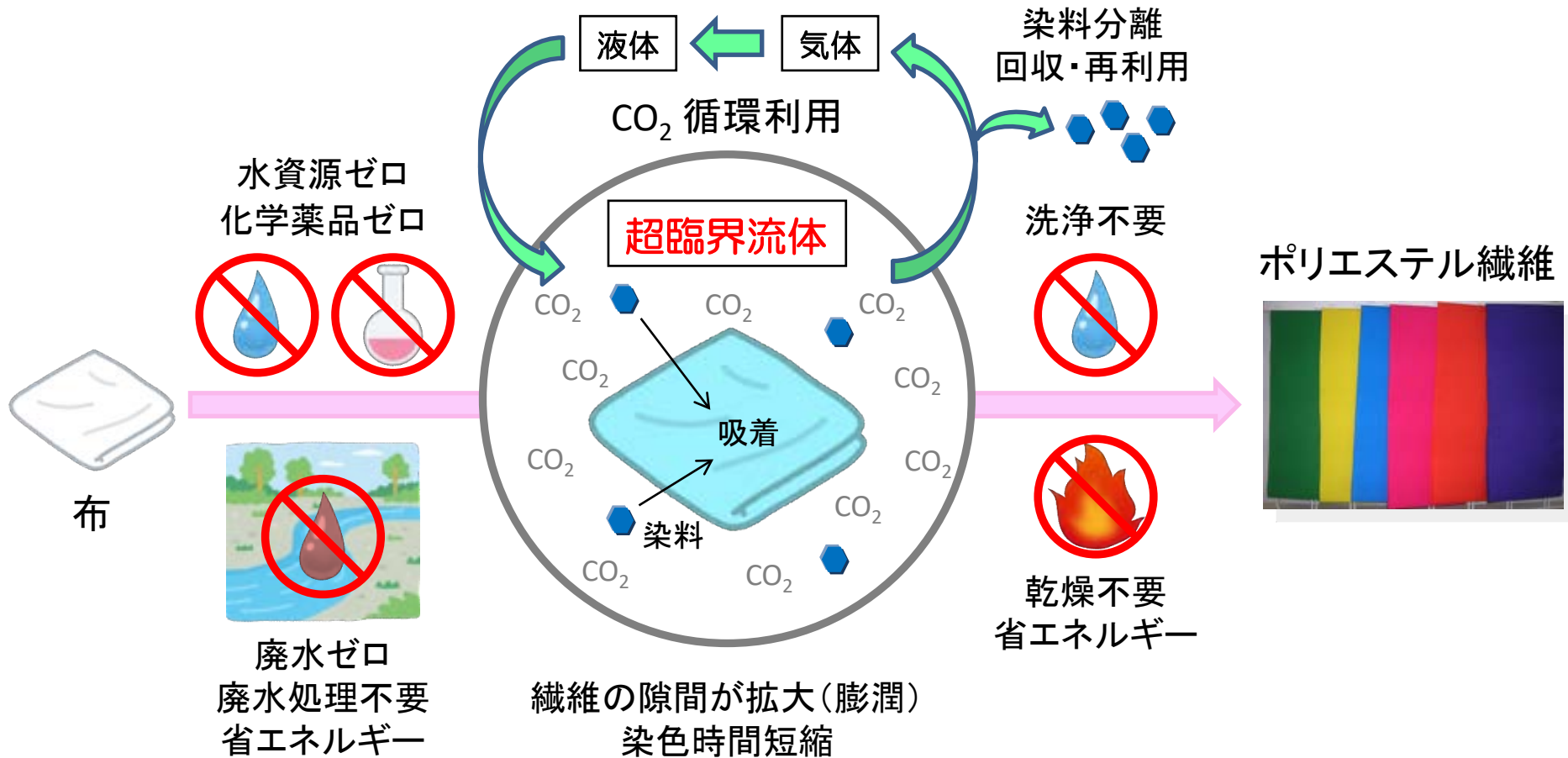
水系染色・加工プロセスと環境負荷



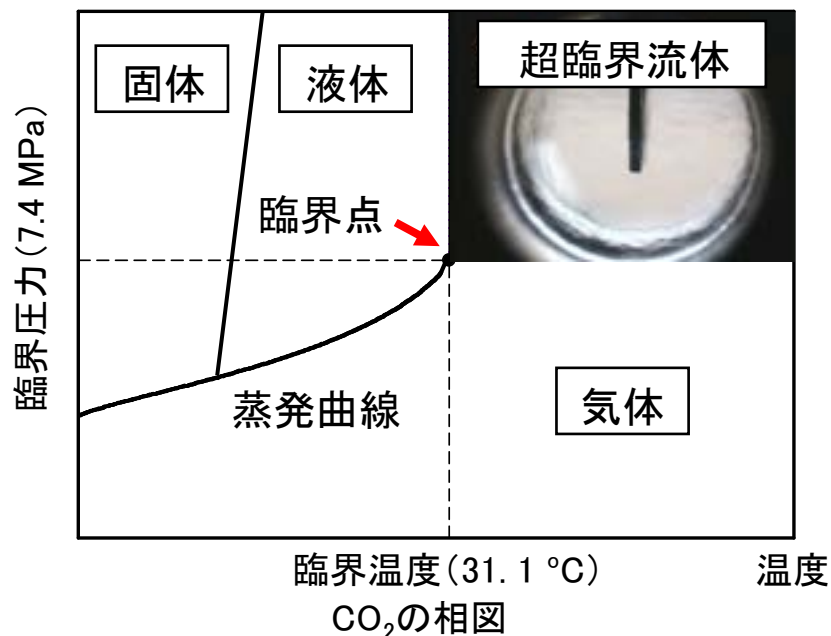
項 目	環 境 負 荷 (2016年)
繊維生産が排出温室効果ガス(GHG)	12億トン(国際航空・海運を上回る)
うち染色産業が排出するCO ₂	1億トン
染色に使用される水の量	58億トン(2013年)
全産業の廃水中、染色産業の割合	20%
染色産業のエネルギー消費量(原油換算)	3,680万KL (14億GJ)

超臨界流体染色

染色媒体である水を超臨界二酸化炭素(scCO_2)に置き換え
水・化学薬品を使わず省エネルギーな染色法



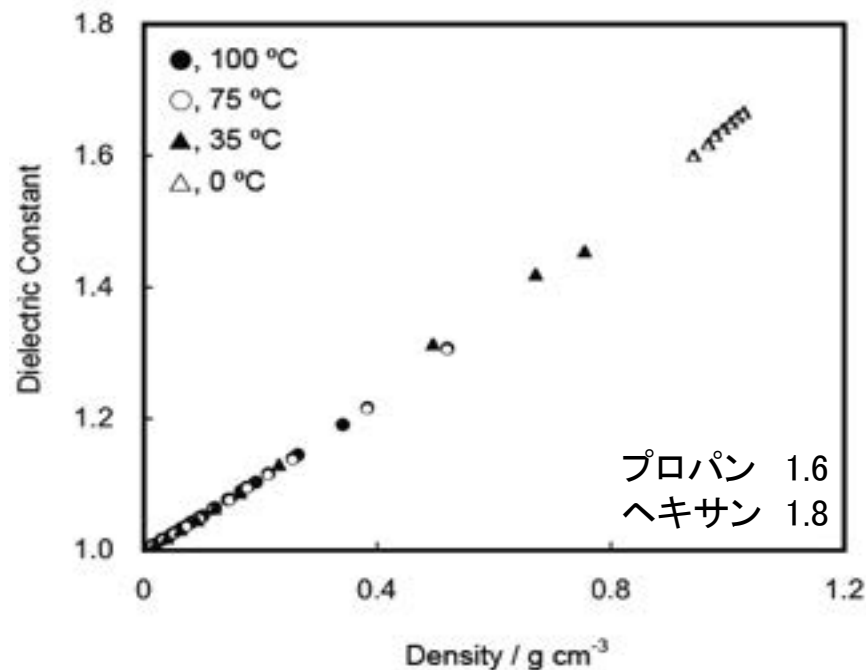
超臨界CO₂の特徴



各相状態の物性

状態	密度 / g · cm ⁻³	拡散係数 / m ² · s ⁻¹	粘度 / Pa · s
気体	< 0.001	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵
超臨界流体	0.2 ~ 0.9	10 ⁻⁷ ~ 10 ⁻⁸	10 ⁻⁵ ~ 10 ⁻⁴
液体	1	< 10 ⁻⁹	10 ⁻³

佐古 猛 (編), 超臨界流体, アグネ承風社 (2001).



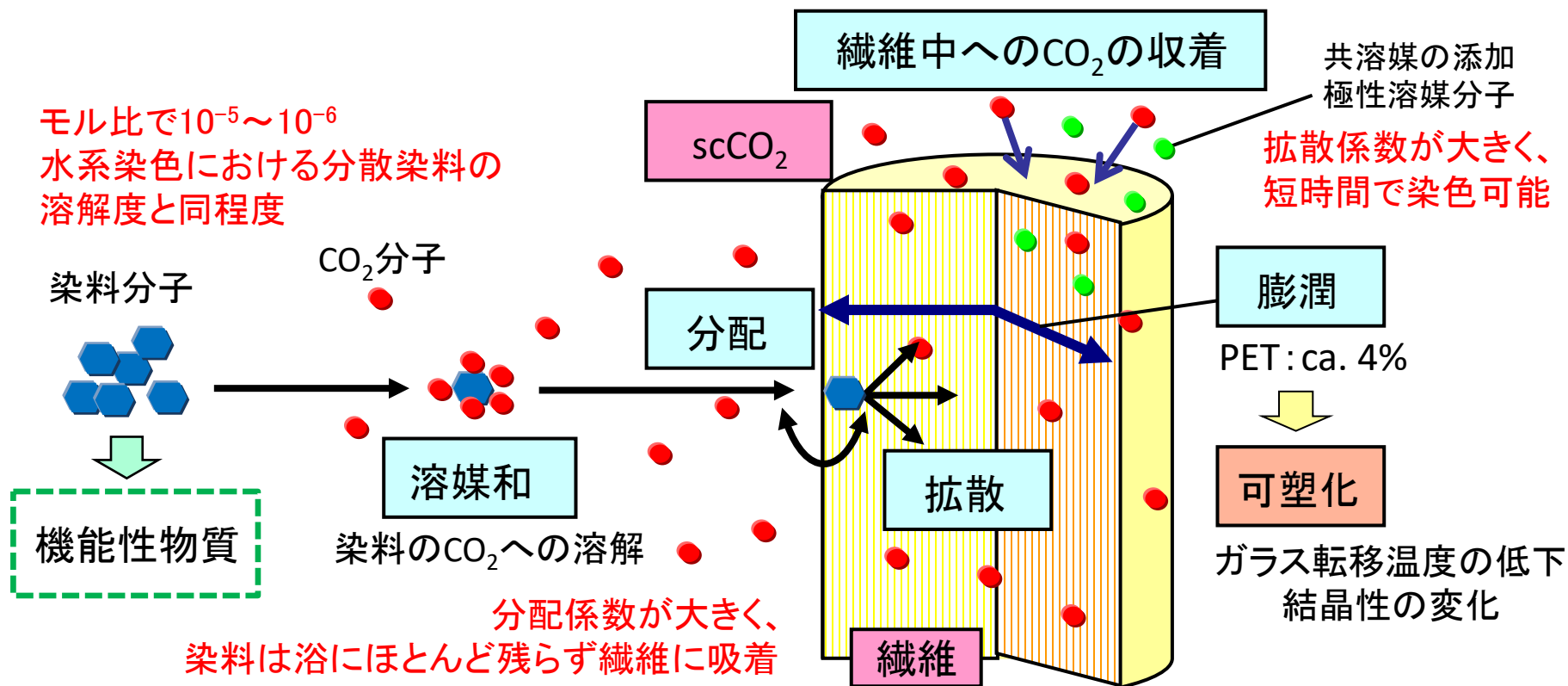
CO₂の誘電率の密度依存性

F. G. Keyes et al., *Phys. Rev.*, **36**, 754 (1930).

気体と液体の特性を併せ持つ

優れた物質輸送媒体 (疎水性)
ポリエステル繊維を対象

scCO₂を媒体とした繊維の染色・加工の機構

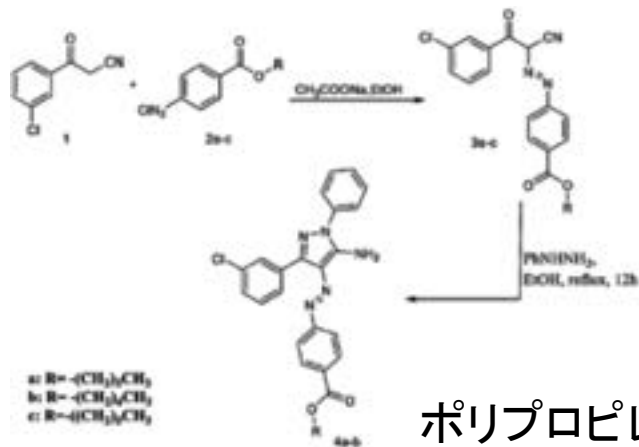


媒体	scCO ₂	トリクロロエチレン	水
拡散係数	大	大	小
分配係数	大	極小	大
90%染色時間 [分]	2	1	180
染着濃度	高	低	高



ポリエステル繊維

超臨界流体染色が多様な繊維への展開



高い染色堅牢度
 洗濯・汗・摩擦
 耐光・昇華
 4-5級

ポリプロピレン繊維：染料固着原理に乏しい
 ➡ 親和性の高い分散染料

特許6721172

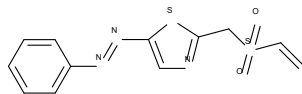
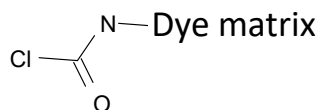
特許6671729

J. CO2 Util., **33**, p.365 (2019)

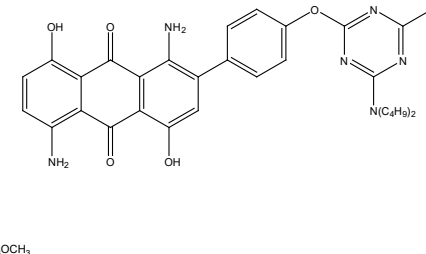
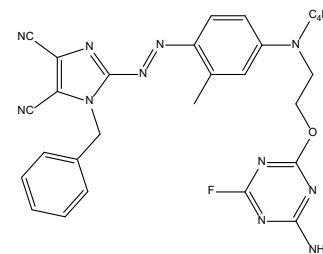
Coloration Technol., **138**, p.538 (2022)

The Dyers' Company Research Medal 2022

Synthesized reactive disperse dye



Commercial reactive disperse dye



J. Text. Eng., **64**, 157 (2018)

Carbohydr. Polym. Technol. Appl., **1**, 100010 (2020)

J. Supercrit. Fluids, **174**, 105243 (2021)

綿繊維(親水性繊維)
 分散染料(疎水性染料)



反応分散染料とその
 染色プロセスの開発

2030年に向けた繊維産業の展望

*Textile Industry's Vision
for 2030*

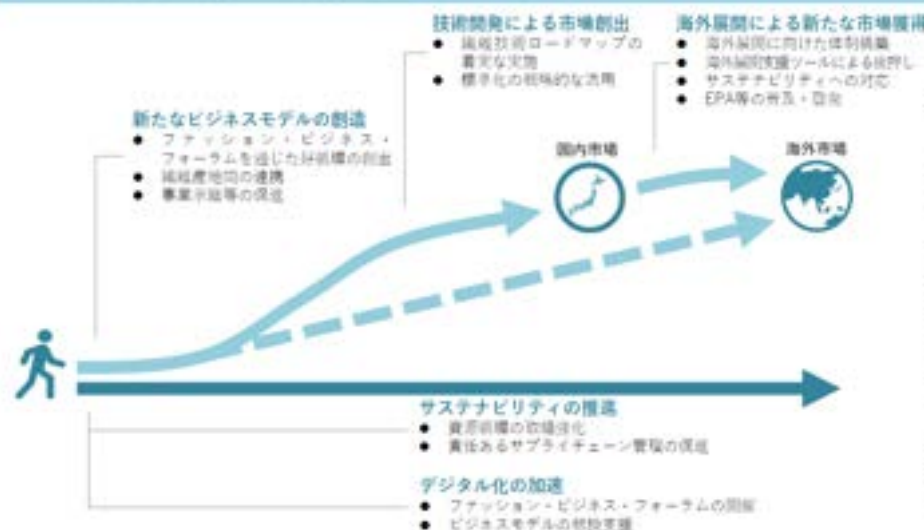
繊維ビジョン

産業構造審議会 製造産業分科会
繊維産業小委員会

2022

今後の繊維産業政策

- 新市場開拓のための分野を戦略分野、サステナビリティやデジタル化などのビジネスの前提となる分野を横断分野と位置付け、政策を進めていく。



戦略分野Ⅲ 技術開発による市場創出

- 繊維技術を通じた人生100年時代への貢献など、繊維産業が発展していくためには、技術力において、他国に引けを取らないことが重要。
- 産学官が連携して、技術開発を進めていく。

繊維技術ロードマップの着実な実施

- 経済産業省では「繊維技術ロードマップ」を策定。主な内容は以下のとおり。

- (i) スマートテキスタイルの社会実装を目指した技術・サービス開発
- (ii) ヒューマンインターフェースとしての繊維製品のものづくりシステム構築
- (iii) バイオ素材の普及
- (iv) 繊維to繊維リサイクル技術の実用化
- (v) 無水型染色加工技術の実用化
- (vi) オープンプラットフォームによる事業化促進

標準化の戦略的な活用

- スピード感を持った標準獲得を可能とするべく、「新市場創造型標準化制度」等により、柔軟かつ開口の広い規格開発を支援。
- 国際標準化交渉をリードできる若手人材を育成するための「ISO/IEC国際標準化人材育成講座（ヤングプロフェッショナルジャパンプログラム（通称“ヤンプロ”））」等で、持続的な人材層の確保を支援。



5. 個別技術のロードマップ ⑤無水型染色加工技術の実用化

技術の課題

超臨界流体を利用した無水型染色加工技術の実用化

従来の染色加工（精練～染色～機能加工）（図1）では水を用いて、濡らす・乾かす工程を繰り返し、大量の水資源の消費、化学薬品・染料を含む大量の廃液を排出し、また水を加熱・布を乾燥する多大なエネルギー消費など問題が多かった。これを超臨界二酸化炭素を用いる工程に置き換えることにより、図2のように工程数が大幅に削減され、水・化学薬品を一切使わず、廃液も出さない、環境配慮型のプロセスに転換することができる。この革新技术を開発し、実用化する。

（図1）従来技術：水系染色加工



（図2）革新技术：無水型超臨界染色加工



2030年のターゲット

（無水型超臨界染色加工技術の実用化）

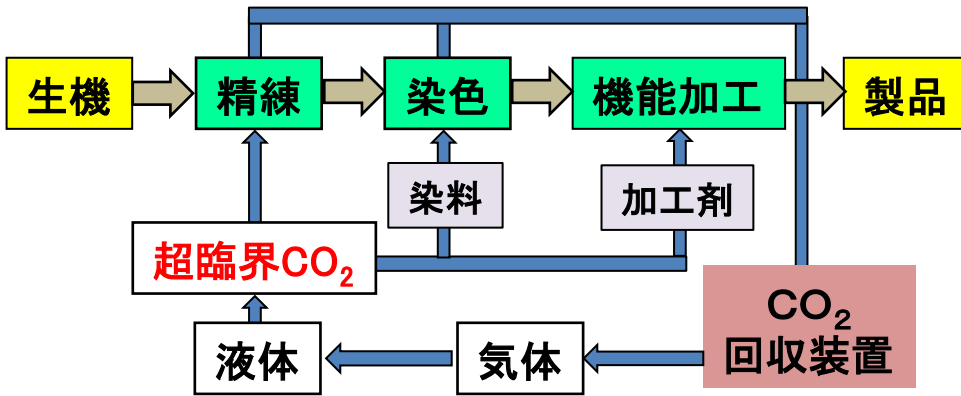
- 染料、機能加工剤等の開発
（超臨界用の、糊剤、各種繊維用染料、各種機能加工剤）
- 革新型染色加工機開発
（中型試験機の設計・製造 ⇒ 大型実用機の設計・製造）
- 染色加工技術、加工機内部の洗浄技術
- 調色、コンピューターカラーマッチング（CCM）、製品評価の開発（調色技術の確立、超臨界染色・加工製品の性能評価）

2040年以降のターゲット

（日本の革新技术の世界への普及）

- 無水型超臨界染色加工技術の世界への普及
 - ・ 染料、機能加工剤の種類拡大
 - ・ 対象繊維の拡大
 - ・ 精練～染色～機能加工までのトータルコストの大幅削減

超臨界流体染色の社会実装に向けた取り組み



CO₂回収・再利用: 95%、糊剤・染料・加工剤回収・再利用

水資源消費・廃液¹ 58億トン → 0
 全工業廃水汚染² 20% → 0
 使用エネルギー 48~63%削減^{3,4}
 CO₂排出 1億トン → 5.5~4千万トン^{3,4}
 加工コスト 26%削減⁴

1. NIKE資料 (2016)
2. 岡野隆宏, 繊維学会誌, 77, p.3 (2021)
3. NIKE資料 (2016) エネルギー消費14億GJより換算
4. 日阪製作所, NIKEによる計算

NEDO先導研究 2022-2023 (2億円) → 後継プロジェクトを経て社会実装を目指す

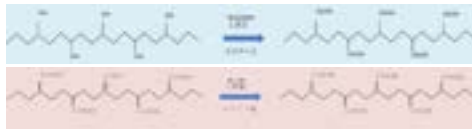
「無水・CO₂無排出染色加工技術の開発」

サステナテック 堀照夫社長 (福井大発ベンチャー) との連名提案

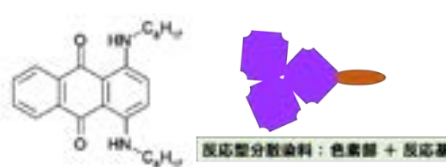
2大学1公設試10社が参画

設備開発 (実証試験機)

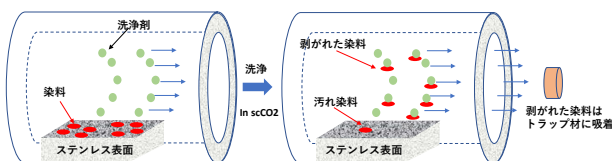
糊剤/精練法の開発



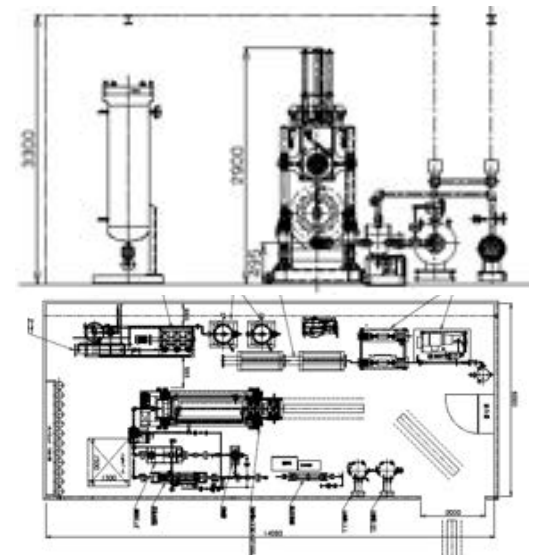
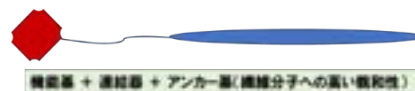
染料/染色法/脱色法の開発



周辺技術開発 (釜洗浄など)

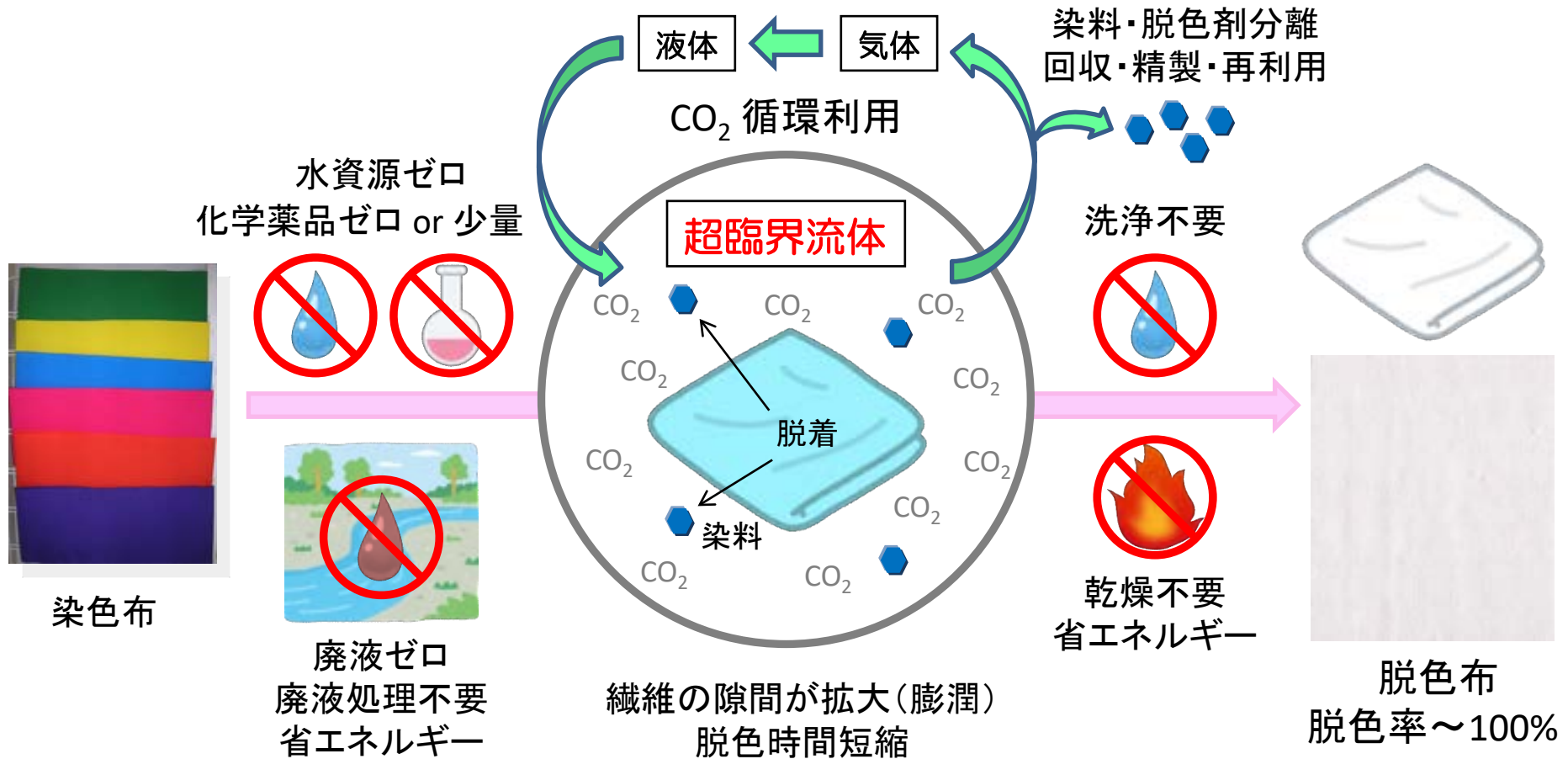


機能加工剤/加工法の開発



超臨界流体脱色

超臨界二酸化炭素 (scCO_2) を媒体にした染料の抽出・除去
水・化学薬品を使わず省エネルギーな脱色法

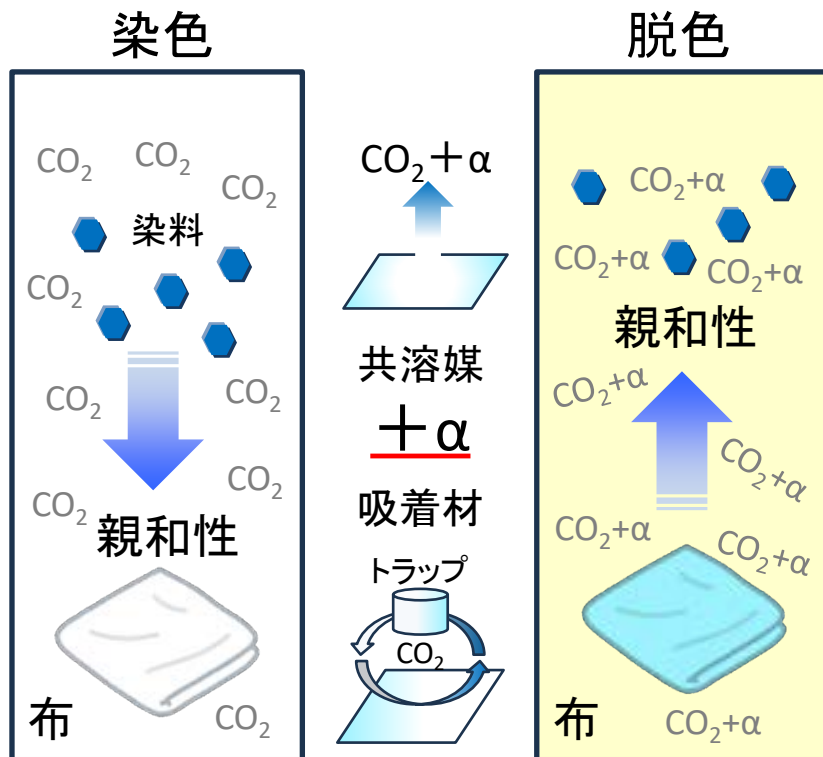


超臨界流体脱色

染色した繊維を100%に迫る脱色に成功

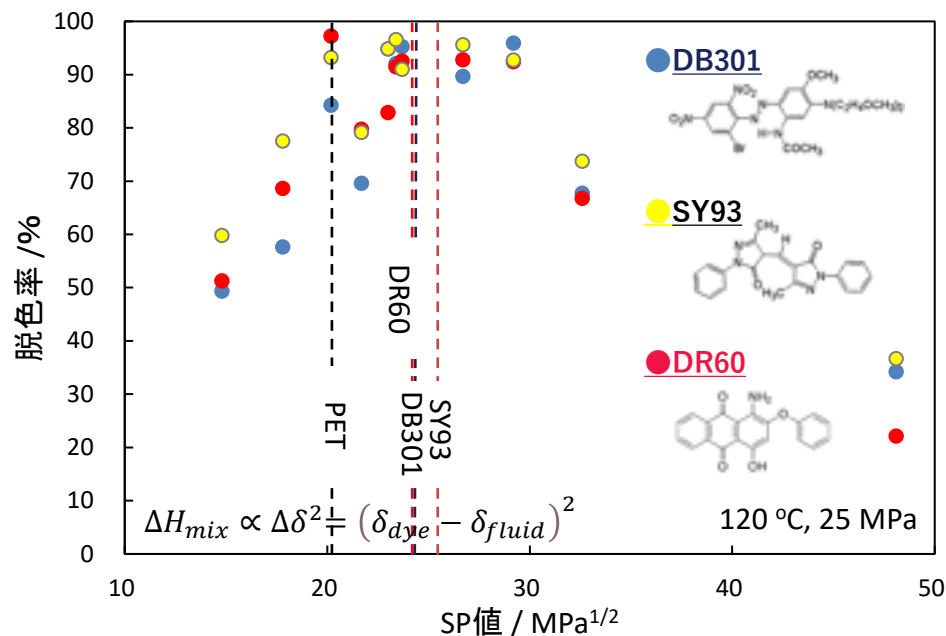
2024年9月30日に特許出願【特願2024-171507（日本）】

※本研究は、NEDO先導研究プログラム／新技術先導研究プログラムで得られた成果をJST COI-NEXTプログラムで発展させたものです。

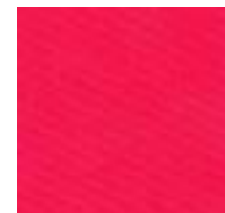


染料との仲の良さ
布 > 媒体

染料との仲の良さ
布 < 媒体(吸着材)



共溶媒 (2 %obv) の溶解度パラメータ (SP) と脱色率の関係



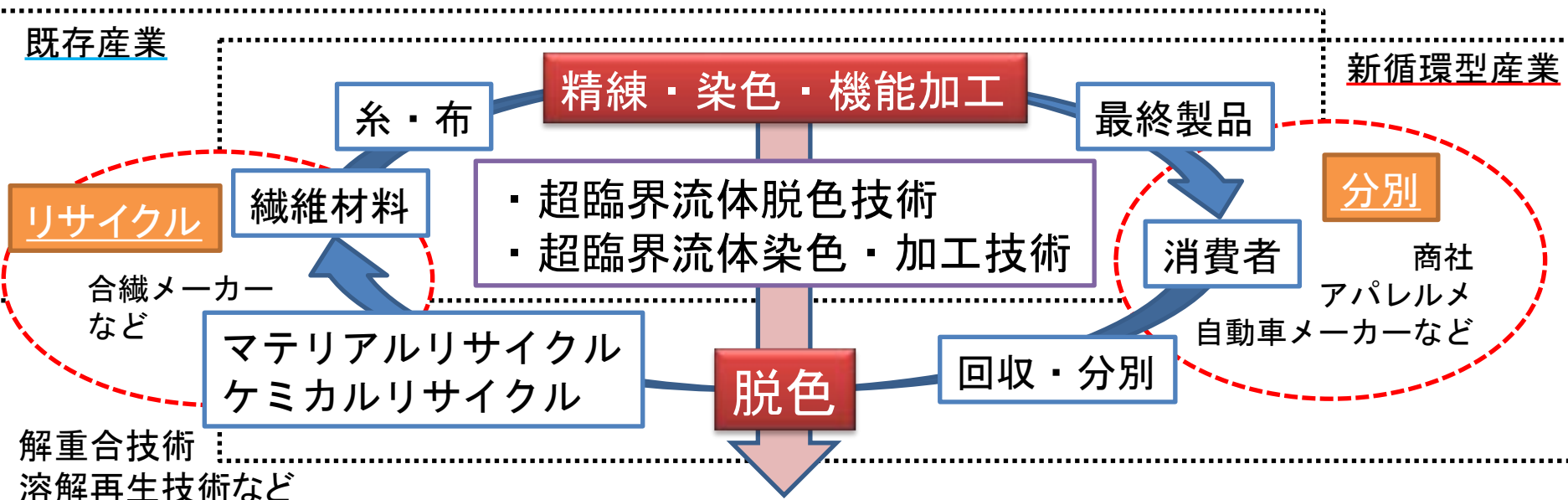
染色布 (DR60)



脱色率97%

“繊維to繊維リサイクル”資源循環エコノミーサークル

JST COI-NEXT「環境・デザインを突破口とする未来創造テキスタイル共創拠点」PL米沢産学官連携本部長



- ① 超臨界流体染色布 ② 超臨界流体脱色布 ③ 超臨界流体再染色布



従来) 脱色不可能: マテリアルリサイクル品 灰色～黒色、見えないところにリサイクル

未来) 脱色・再染色: 衣服to衣服のマテリアルリサイクルが可能に!

福井の地から ‘楽しい’を生み出す



ご質問・お問い合わせはこちらまで



福井大学 学術研究院工学系部門

繊維先端工学講座 教授

廣垣 和正

910-8507 福井市文京3-9-1(文京キャンパス)

Tel: 0776-27-8631(直通)

E-Mail: hirogaki@u-fukui.ac.jp

Homepage: <http://acbio2.acbio.u-fukui.ac.jp/indphy/hirogaki>

