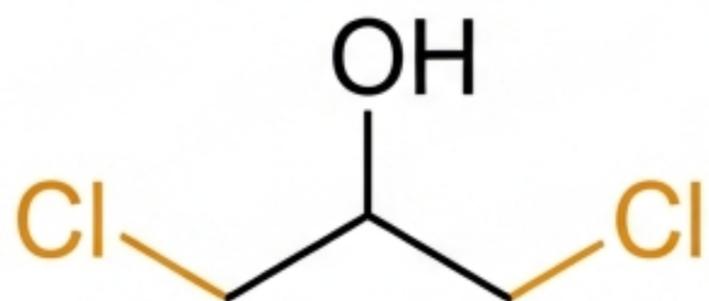


# イオン液体を用いた 環境調和型湿潤紙力 増強紙の開発

100%セルロース成分によるPAE  
代替技術の提案

Research Focus: Sustainable Wet-Strength Additives

# 既存の湿潤紙力剤(PAE)が抱える環境・安全リスク



1,3-Dichloro-2-propanol  
(有害副生成物)

- 現在の主流：PAE（ポリアミドポリアミン・エピクロロヒドリン）
- 原料リスク: エピクロロヒドリンを使用
- 有害副生成物: 1,3-ジクロロ-2-プロパノール（発がん性物質）
- 環境影響: 吸引による健康被害や生態系への蓄積リスク

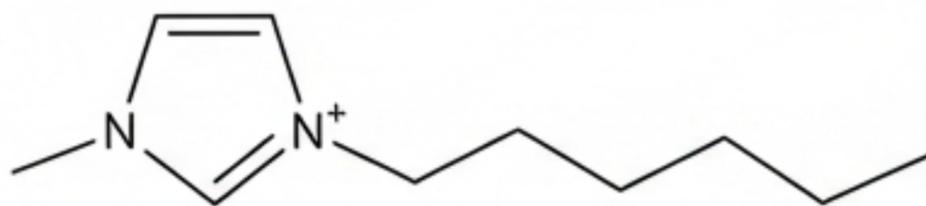
業界の急務：有毒な化学合成剤から、天然由来の安全な代替技術への転換

# 解決策：イオン液体 [BMIM]Cl によるセルロースの「部分的フィルム化」

イオン液体 ([BMIM]Cl) とは

1-Butyl-3-methylimidazolium chloride. 融点 $100^{\circ}\text{C}$ 以下の塩。

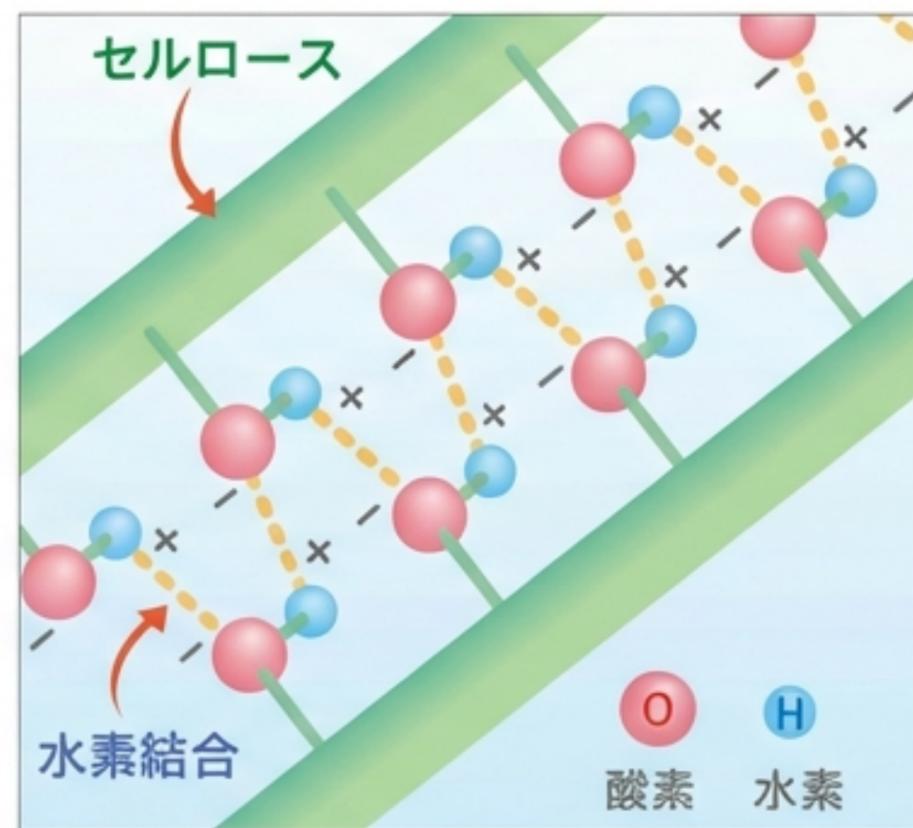
特徴：不揮発性、難燃性、高いリサイクル性。



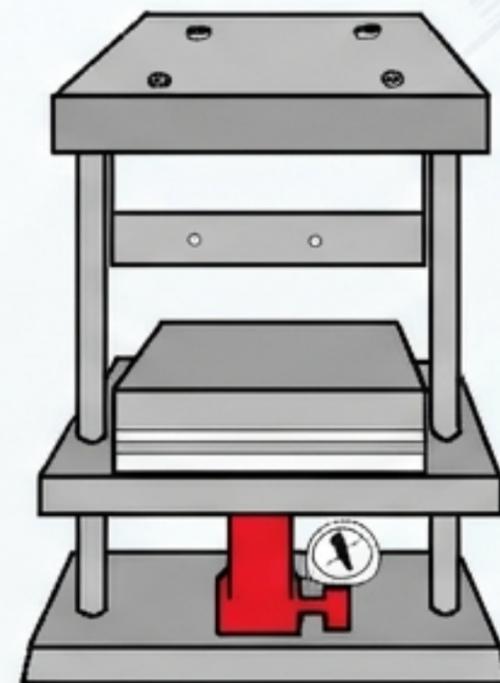
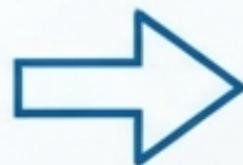
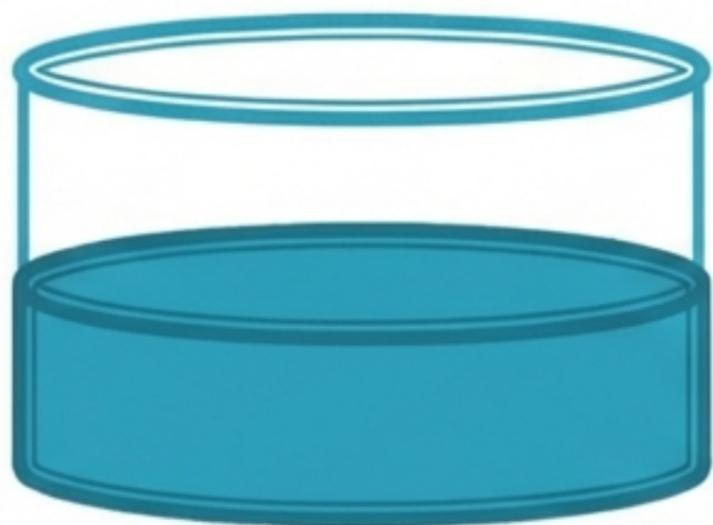
室温では高粘度の液体

作用メカニズム

セルロース分子間の水素結合を切断し、繊維表面を部分的に溶解させる。



# 実験プロセス：わずかな含浸時間とプレス乾燥のみ



## Step 1: 含浸 (Impregnation)

80°C [BMIM]Cl に濾紙を浸漬  
処理時間: 5秒~30秒

## Step 2: 洗浄 (Washing)

エタノール洗浄 (1分)  
蒸留水で十分洗浄

## Step 3: プレス乾燥 (Press Drying)

105°C, 1.1 MPa  
5分間プレス

**化学反応ではなく、物理的な溶解・再生プロセスを利用**

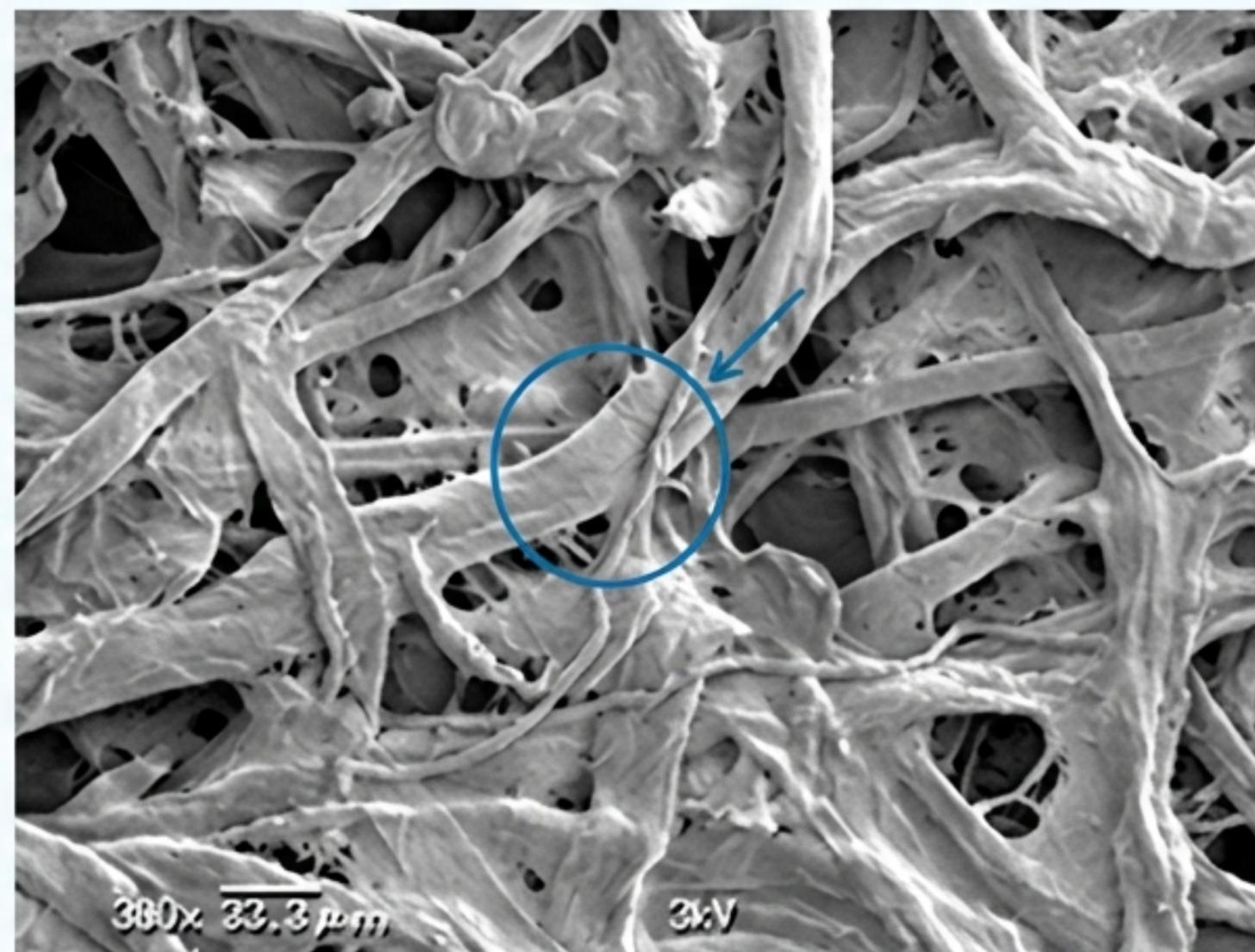
# 視覚的証拠：繊維が溶解し、フィルム状構造を形成

Untreated / 未処理



未処理: 繊維が個別に分かれている。

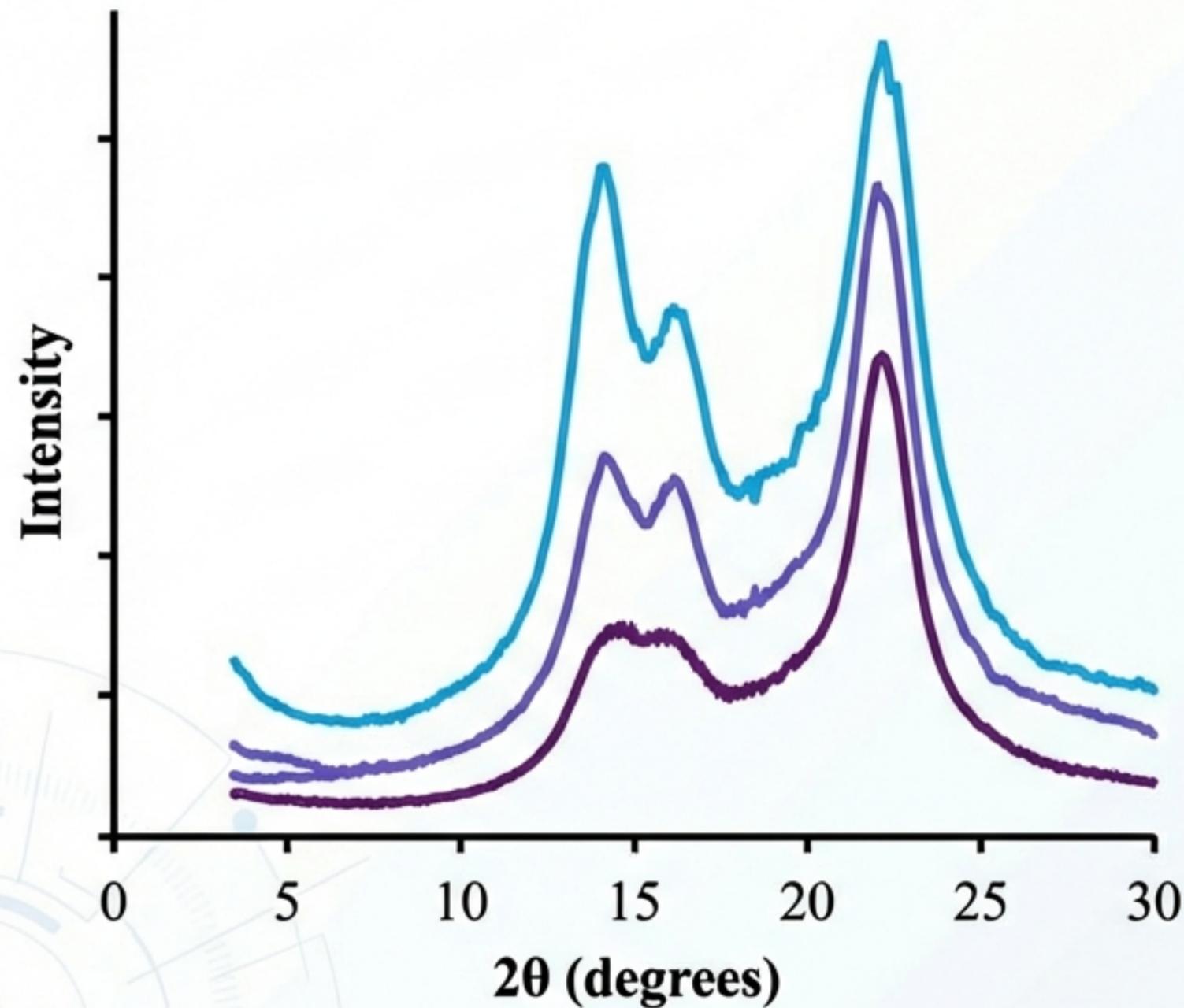
Treated (30s) / 処理後



処理後: 繊維同士が溶解・融合し、「セルロースフィルム」を形成。これが接着剤の役割を果たす。

視覚的証拠：イオン液体処理によるセルロース繊維の物理的変化とフィルム化の確認。

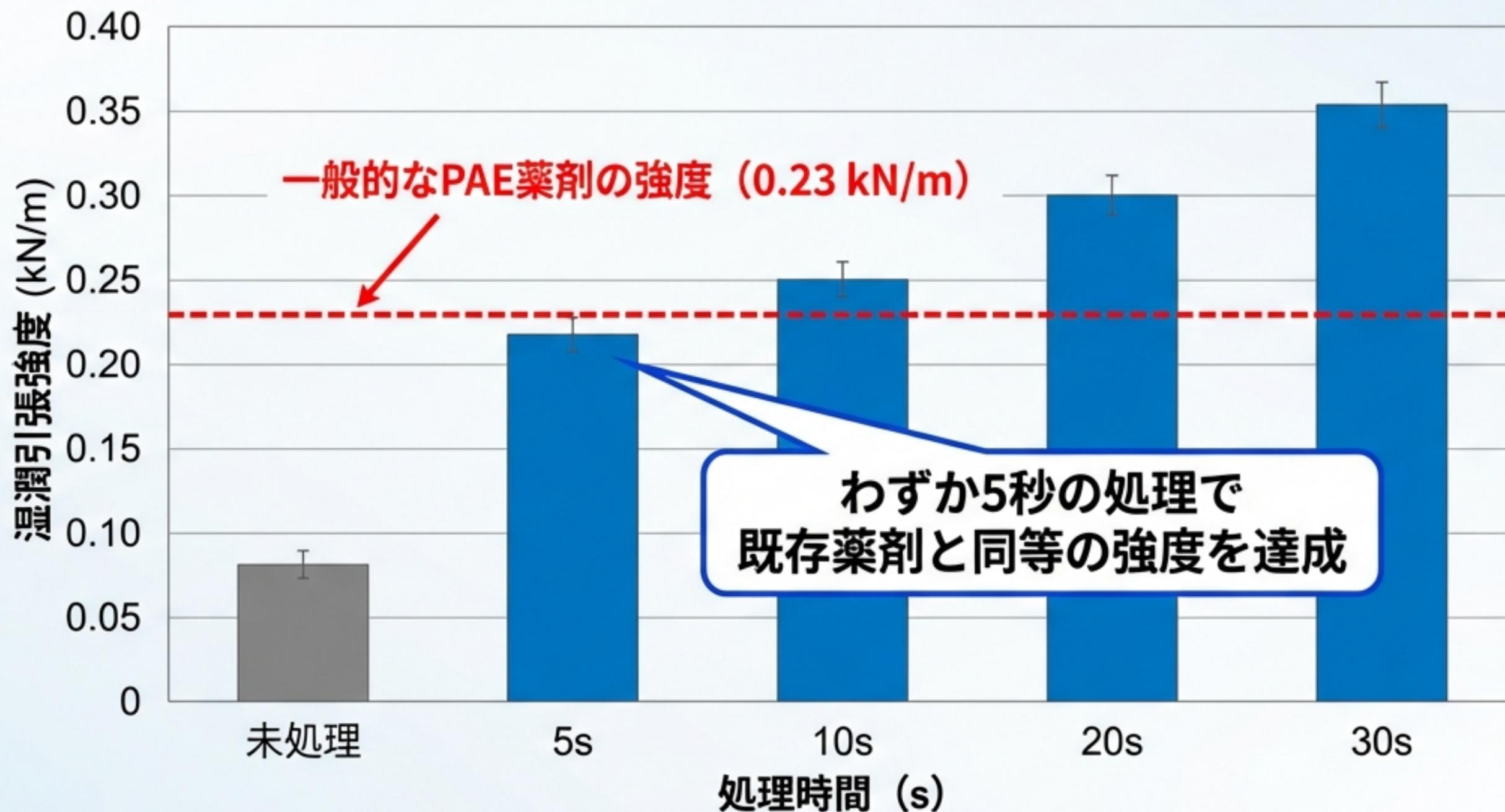
# 構造解析：結晶化度の低下が証明する「溶解」



処理時間	結晶化度 (Crystallinity Index)
未処理 (Untreated)	88.0%
5秒 (5s)	87.6%
30秒 (30s)	75.5%

処理時間の増加とともに結晶化度が低下。イオン液体がセルロースの結晶構造を壊し、物理的に溶解していることを裏付ける。

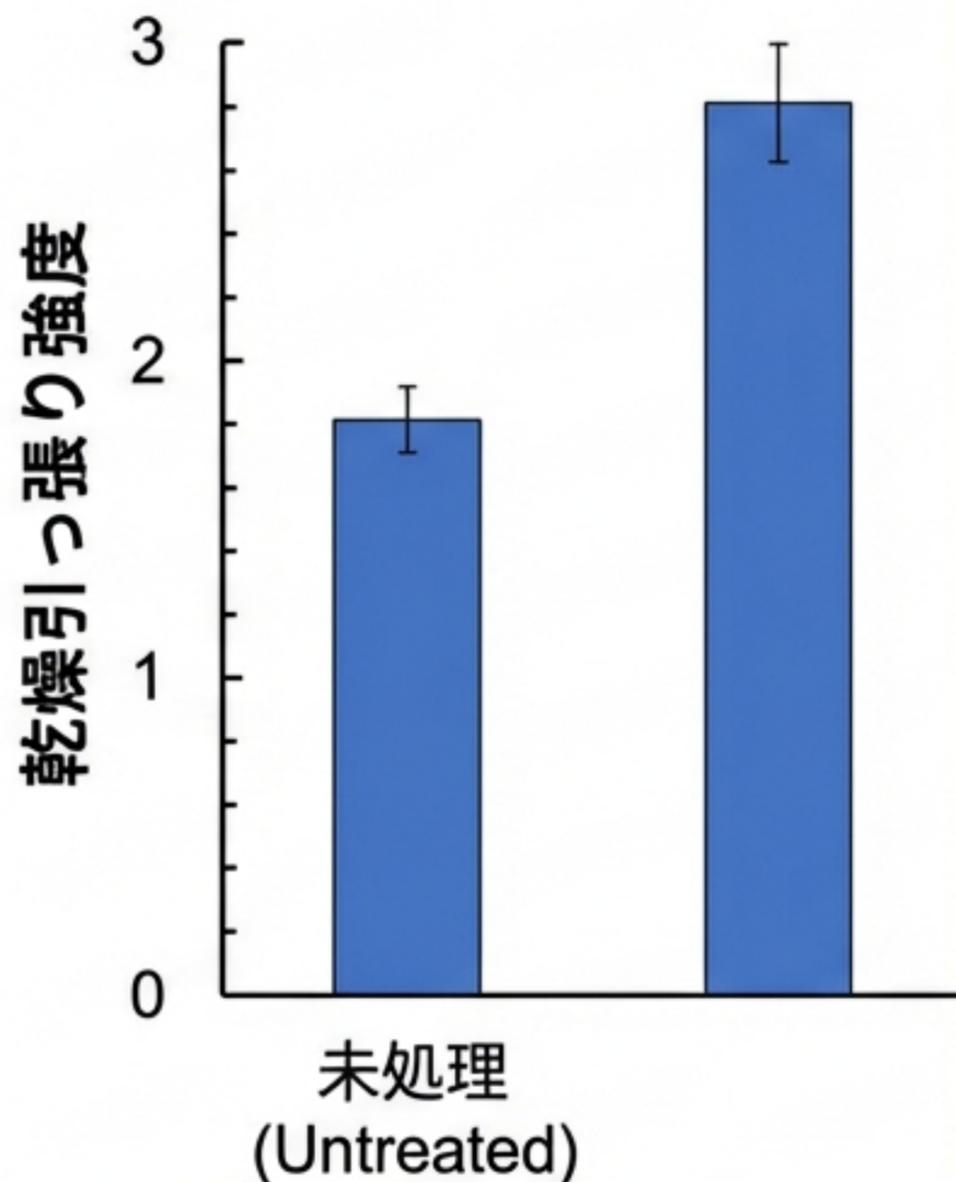
# 湿潤紙力強度：たった5秒でPAE同等の強度を実現



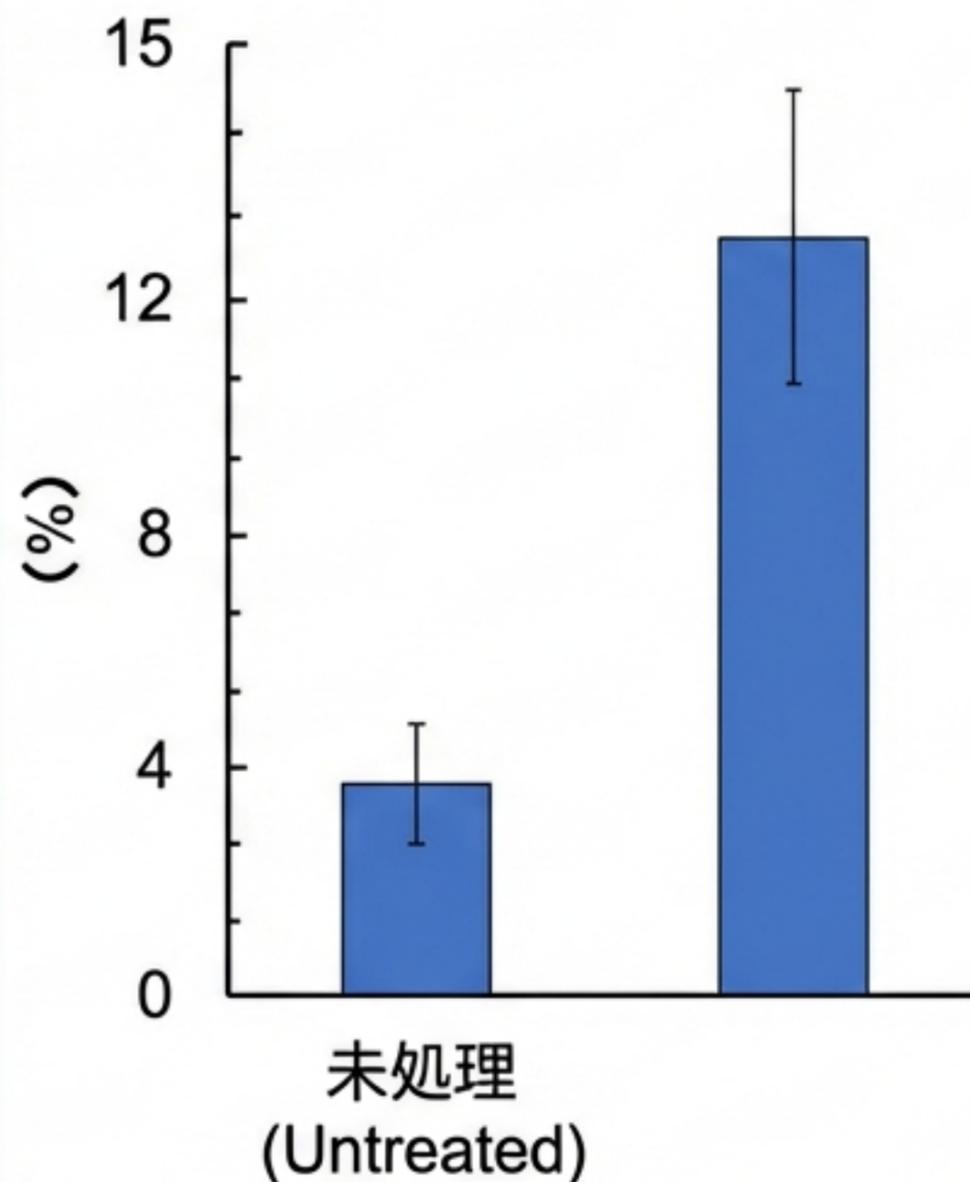
湿潤紙力強度データ：イオン液体処理による強度の向上とPAE薬剤との比較。

# 乾燥強度および湿潤強度残留率の向上

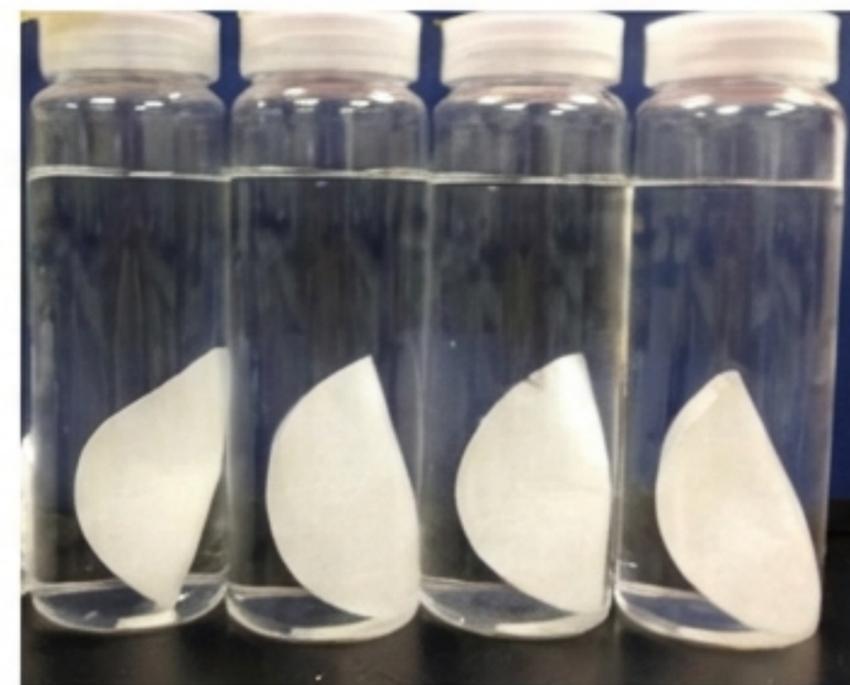
## 乾燥引張強度



## 湿潤強度残留率 (%)



水中でもシート形状を  
完全に維持  
(ほぐれやすさ試験)



水に浸しても繊維が分散せず、構造を保つ。

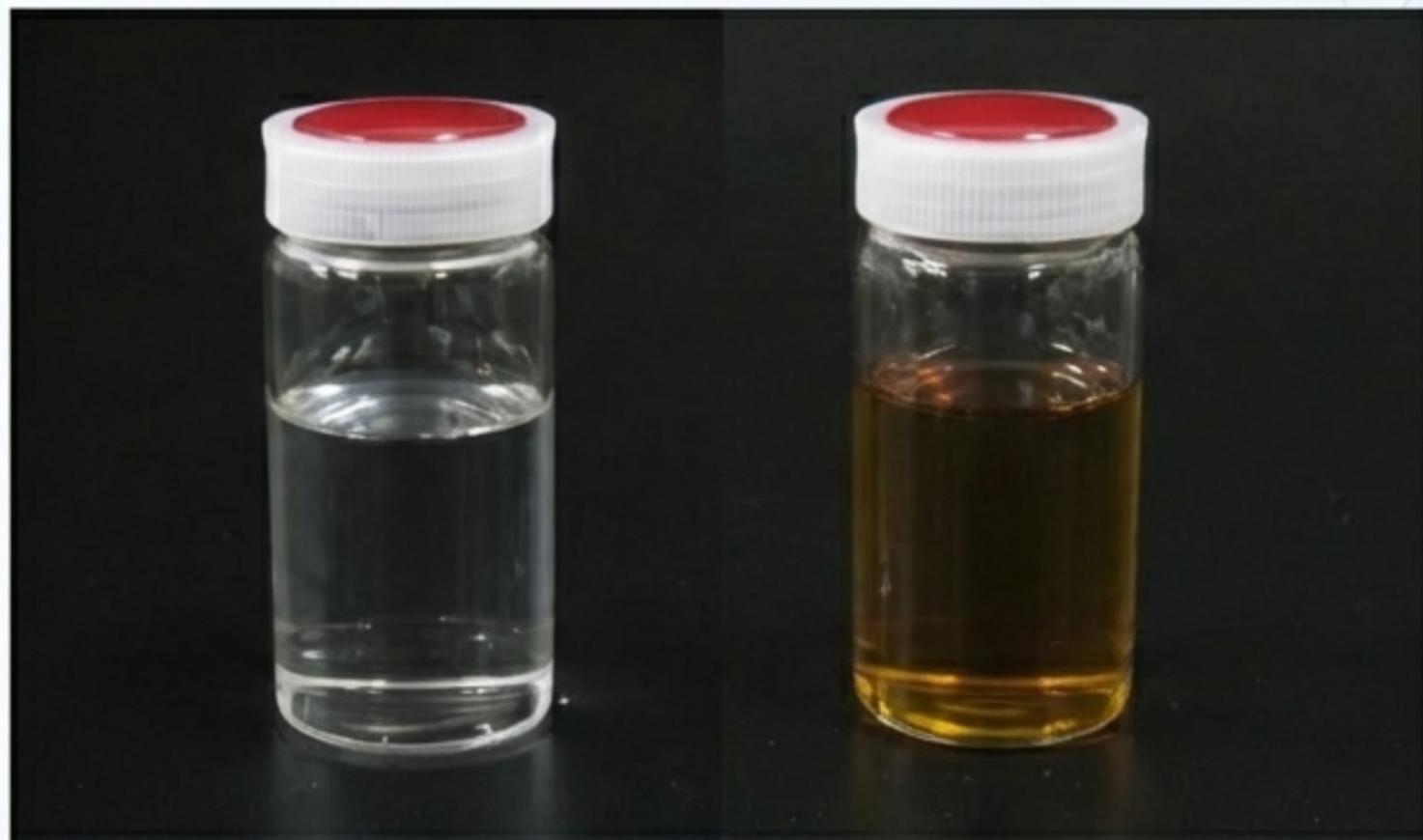
# 実用化への課題：イオン液体の回収と再利用

持続可能なコストと環境負荷低減のためには、イオン液体のリサイクルが不可欠。



ロータリーエバポレーター  
(50°C, 95 hPa)

洗浄廃液  
(エタノール + 水 + [BMIM]Cl)



Clear Virgin  
Liquid

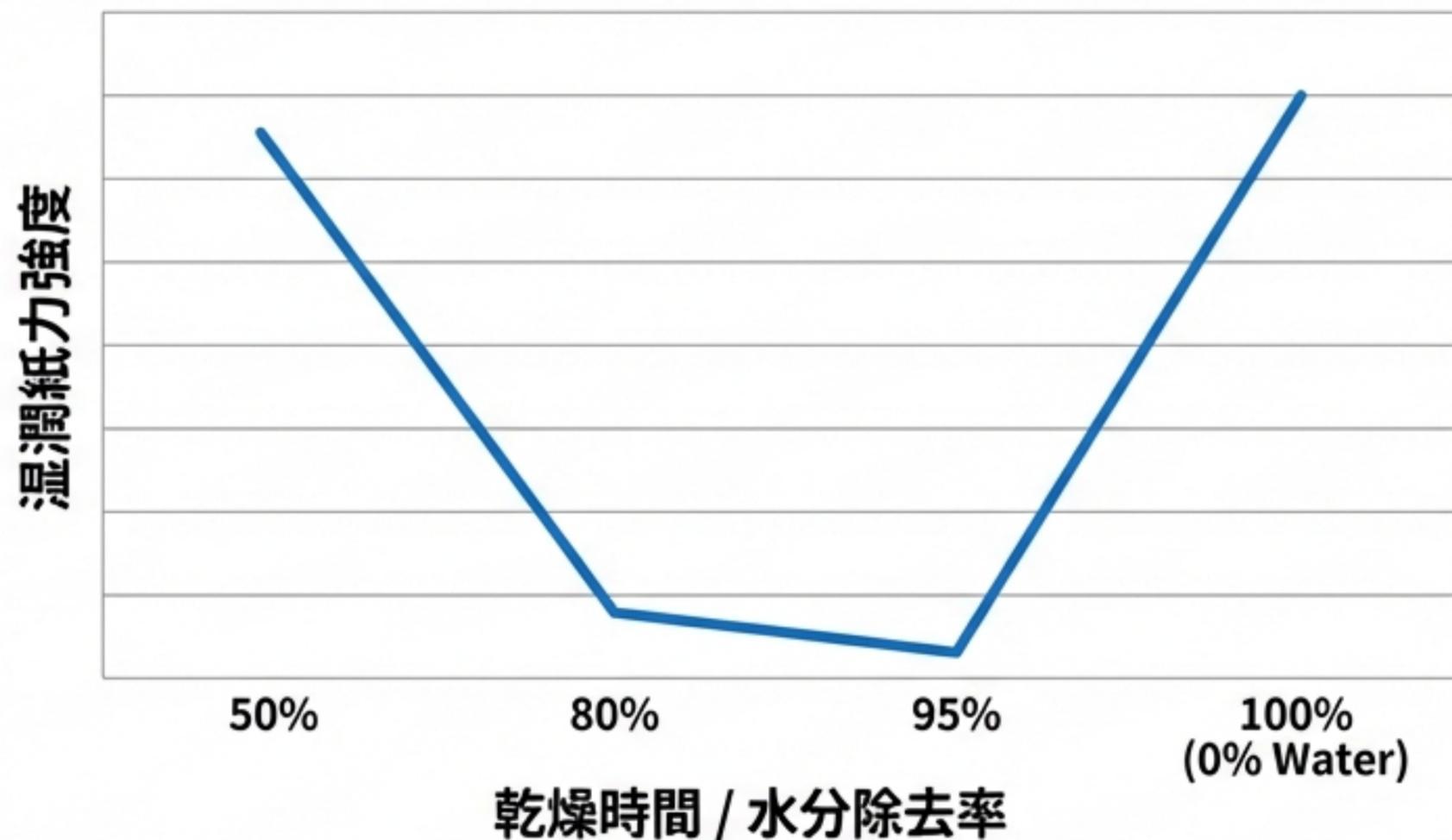
Brownish  
Recovered Liquid

蒸留  
(Distillation)

回収 [BMIM]Cl  
(含水率 15-20%)

# 再生イオン液体の含水率と強度の関係

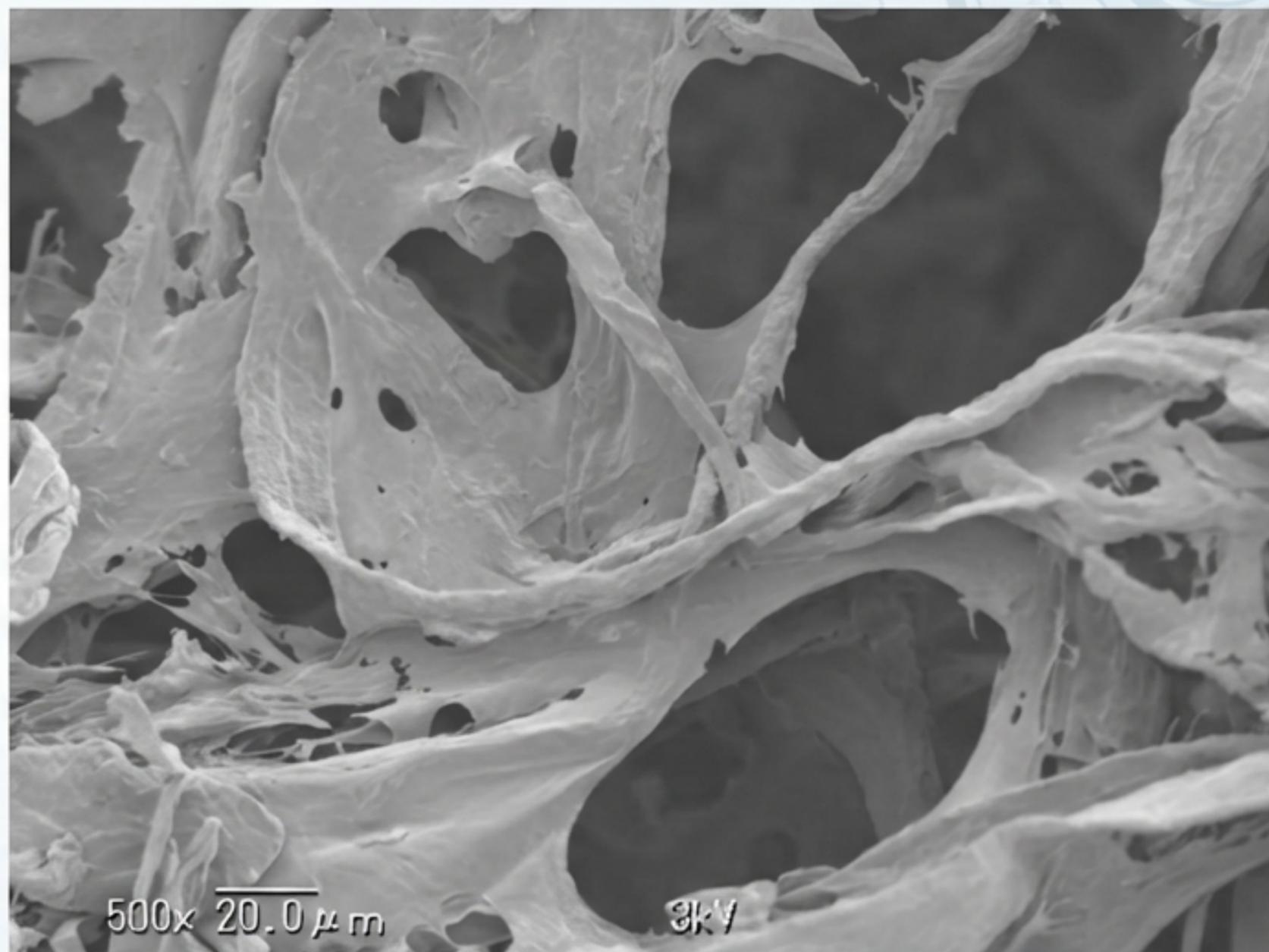
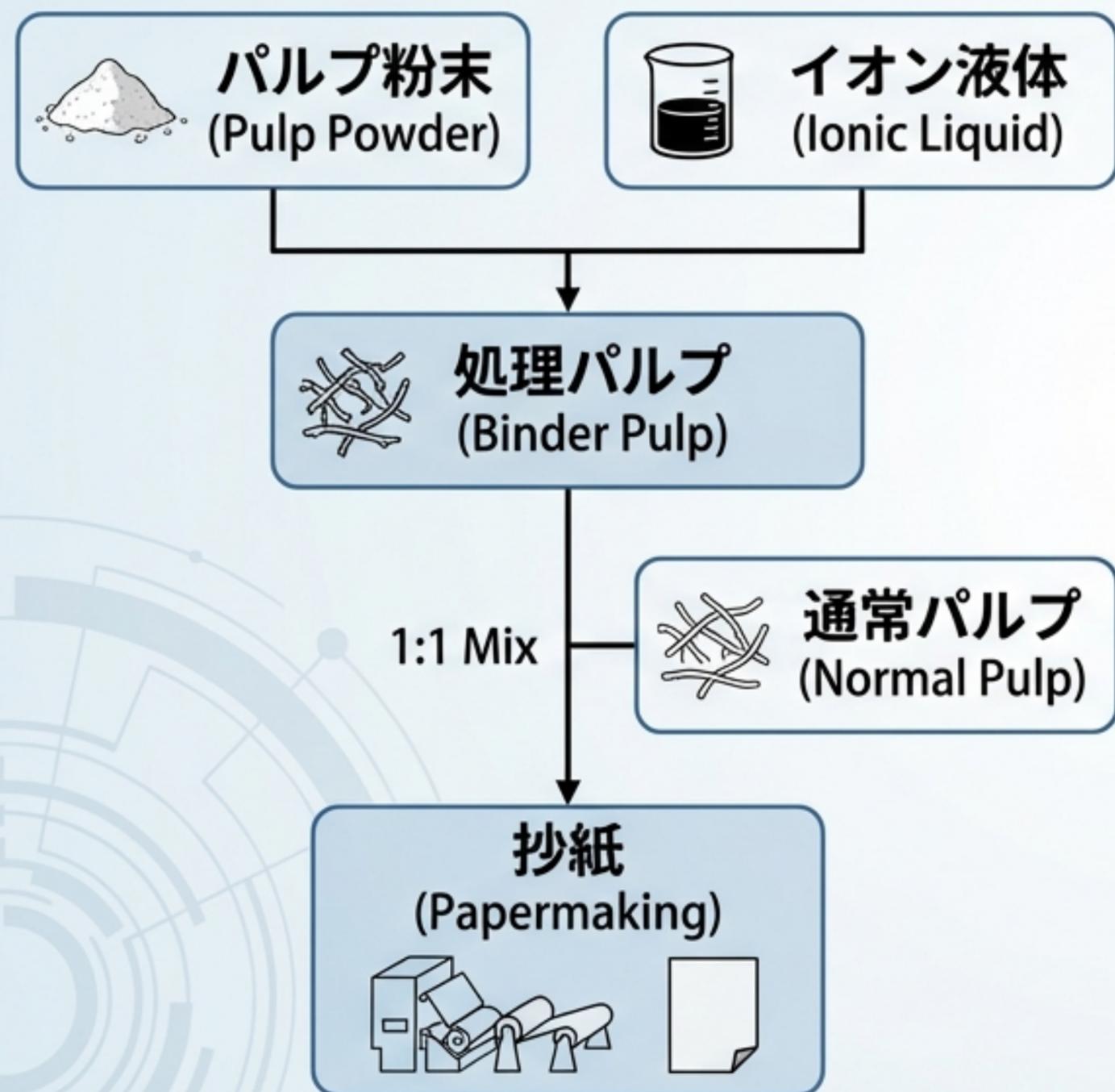
Strength vs. Drying Time/Water Content



**重要：湿潤紙力増強効果を維持するには、含水率を 0% まで乾燥させる必要がある。**

# 応用展開：イオン液体処理パルプの添加剤利用

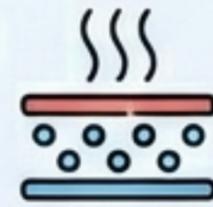
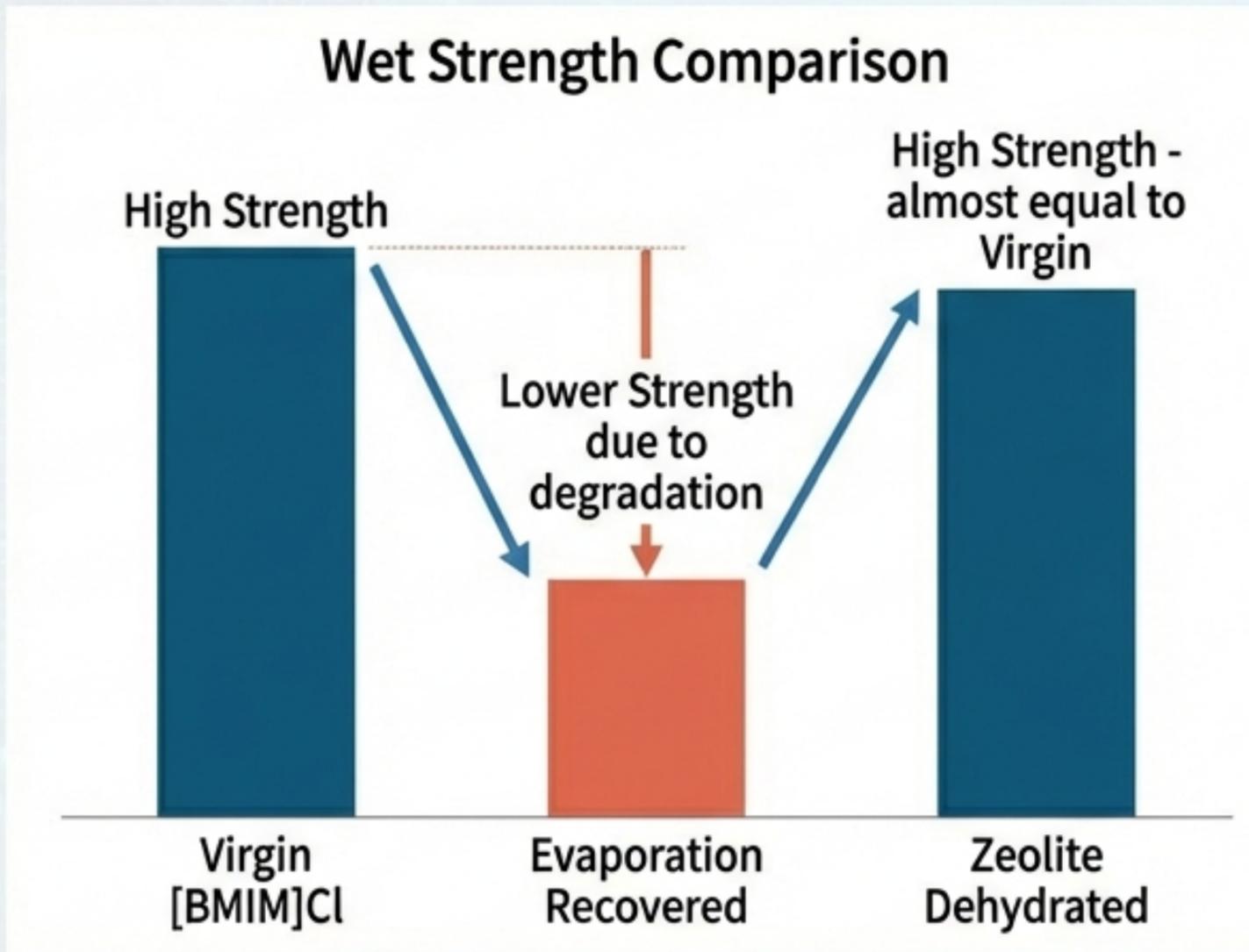
紙の表面処理ではなく、パルプ自体を改質して「混ぜる」アプローチ



処理パルプ表面（部分的溶解によるバインダー効果）

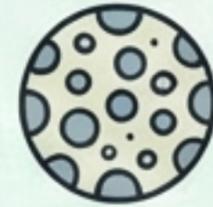
# 回収効率の最適化：ゼオライト脱水法の優位性

単純な蒸発乾固ではイオン液体が劣化する可能性があるため、ゼオライトを用いた脱水法を採用。



## 真空蒸発法

- 熱による劣化でセルロース溶解能が低下しやすい。



## ゼオライト脱水法

- 劣化を抑制し、バージン液と同等の性能を維持可能。



# 結論：100%天然由来の強靱な紙へ



- ✓ 100%セルロース成分のみで湿潤力増強紙を実現（PAEフリー）
- ✓ わずか5秒の処理で、既存のPAE薬剤と同等の強度を達成
- ✓ イオン液体は含水率0%まで乾燥させることでリサイクル可能
- ✓ 表面処理だけでなく、パルプ添加加剤としても利用可能

環境負荷を低減する次世代の製紙技術