

# イオン液体の活用による パルプ系廃棄物の再資源化

環境に配慮した次世代の成分分離・再利用技術の開発

木材化学研究室 中谷拓弘

# 廃棄される膨大な紙資源：パルプ系廃棄物の課題

パルプを利用した製品の製造過程で排出される廃棄物や紙ごみは、多くが再利用されず焼却処理されています。



## Target 1: 製紙スラッジ (Paper Sludge)



製紙の際に発生する廃棄物。パルプ成分と無機成分が混ざり合っており、分離が困難。



## Target 2: シュレッダー古紙 (Shredded Paper)



情報漏洩防止等の目的で細断された印刷紙。年間約58万トン排出。パルプ繊維が短く切断されるため、通常の再生紙（トイレットペーパー等）としての再利用は一度限りに限界。

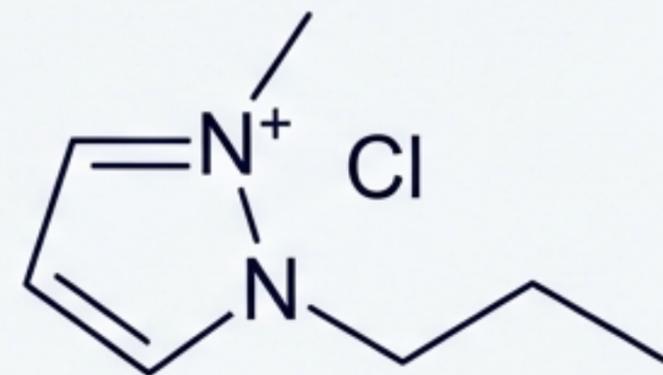
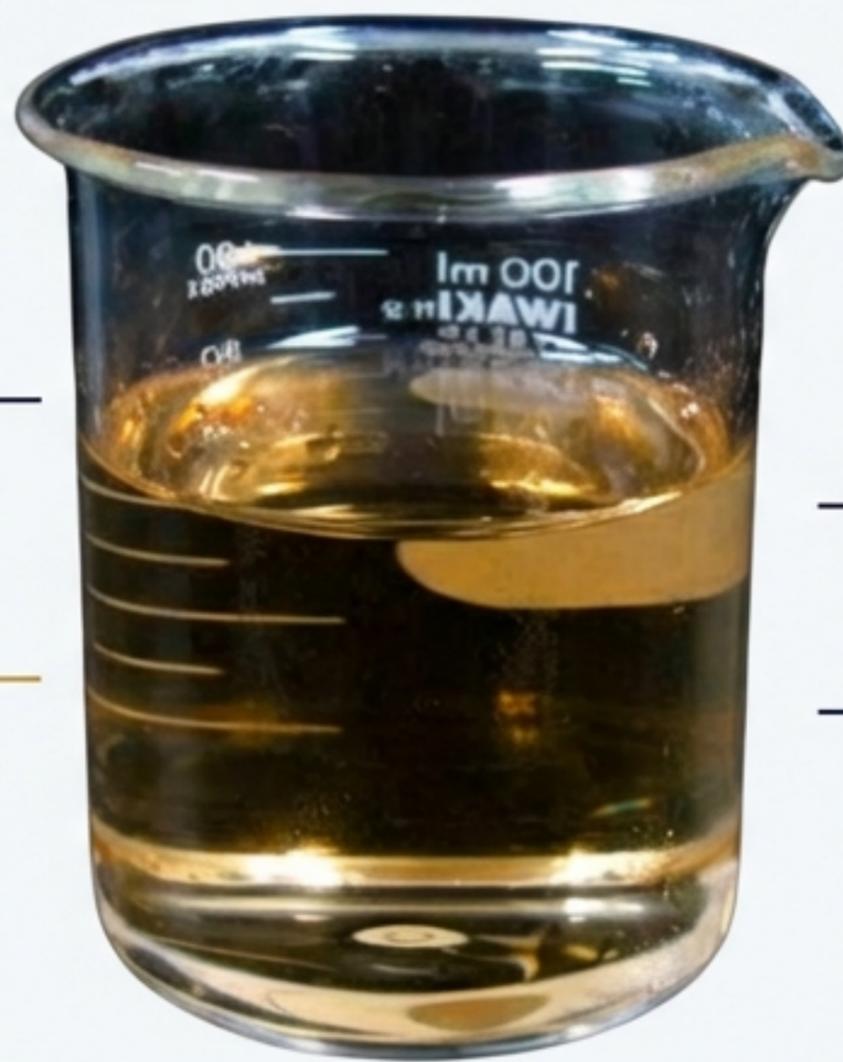
# 解決の鍵となる「イオン液体」の特異な性質

What is it?: 1-Butyl-3-methylimidazolium

Chloride。塩（塩化アルキルイミダゾリウム）でありながら室温付近で液体状態をとる特殊な物質。

**Core Superpower:**

セルロース（紙の主成分）を強力に溶解する能力を持つ。



Eco-Friendly Traits:

-  ・不揮発性 (Non-volatile)
-  ・不燃性 (Non-flammable)
-  ・幅広い温度域で液状を維持
-  ・リサイクル性が極めて高い

# 研究アプローチ：成分分離による完全な再資源化



**Core Objective:** イオン液体のセルロース溶解能力を活用し、環境負荷の少ない画期的な成分分離・再資源化プロセスを確立する。

# Experiment 1: 製紙スラッジの分離プロセス



## Step 1: 混合

粉末状にした製紙スラッジにイオン液体を添加。



## Step 2: 加熱溶解

100°Cで加熱し、パルプ成分のみをイオン液体に溶解させる。



## Step 3: 遠心分離

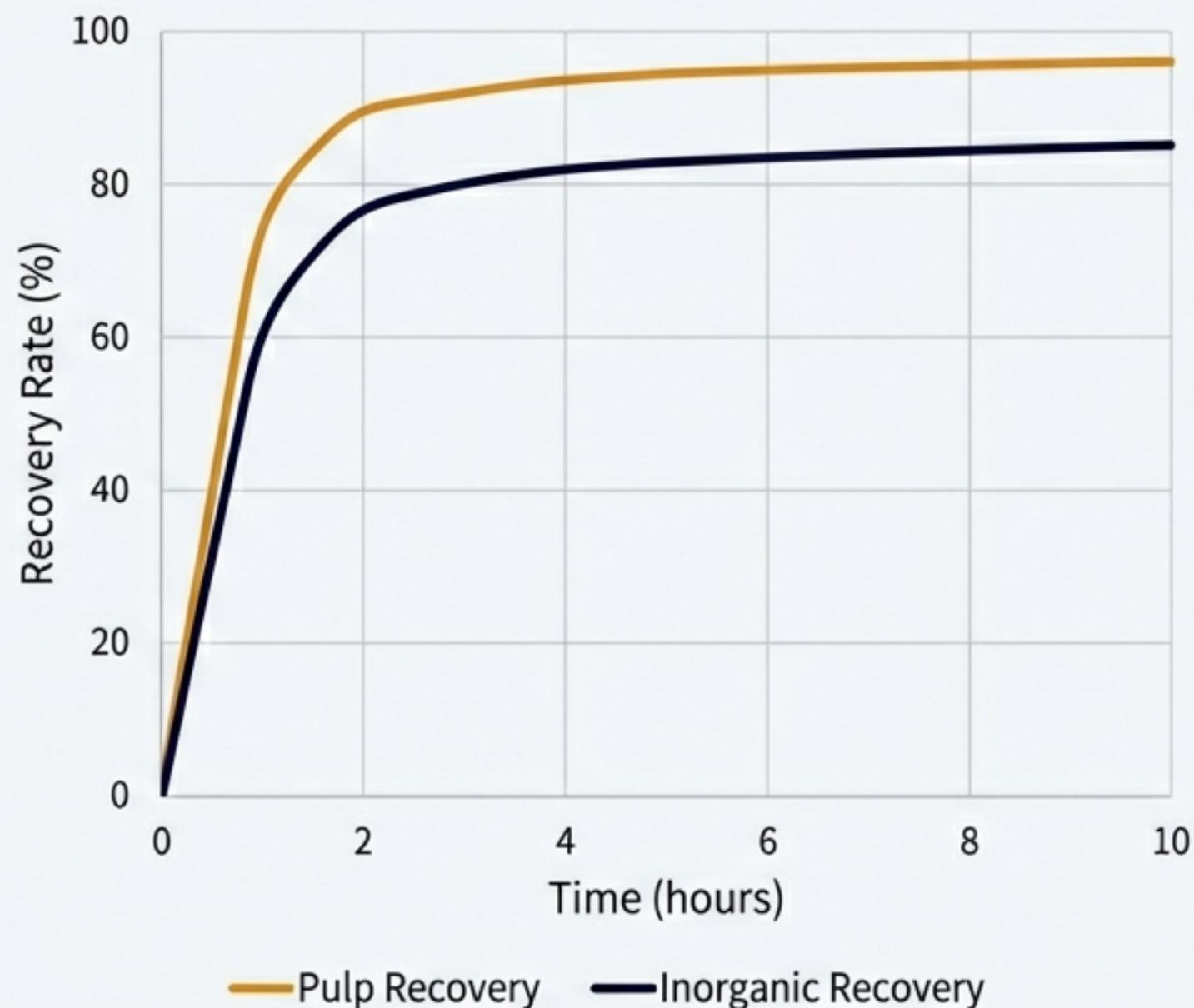
遠心分離機にかけ、溶けたパルプ成分と溶け残った無機成分を物理的に分離。



## Step 4: 回収

分離した成分をそれぞれ回収。

# 高い回収率：一回の処理でパルプの大半を分離



- **Key Finding 1:** 遠心分離と粉末状スラッジの組み合わせにより、極めて高い精度でパルプ成分と無機成分の回収に成功。
- **Key Finding 2:** 反応時間のグラフから、一回の処理でスラッジ中のパルプ成分の大部分を溶解可能であることが証明された。

# 持続可能なクローズドループ：溶媒の完全回収

## Process:

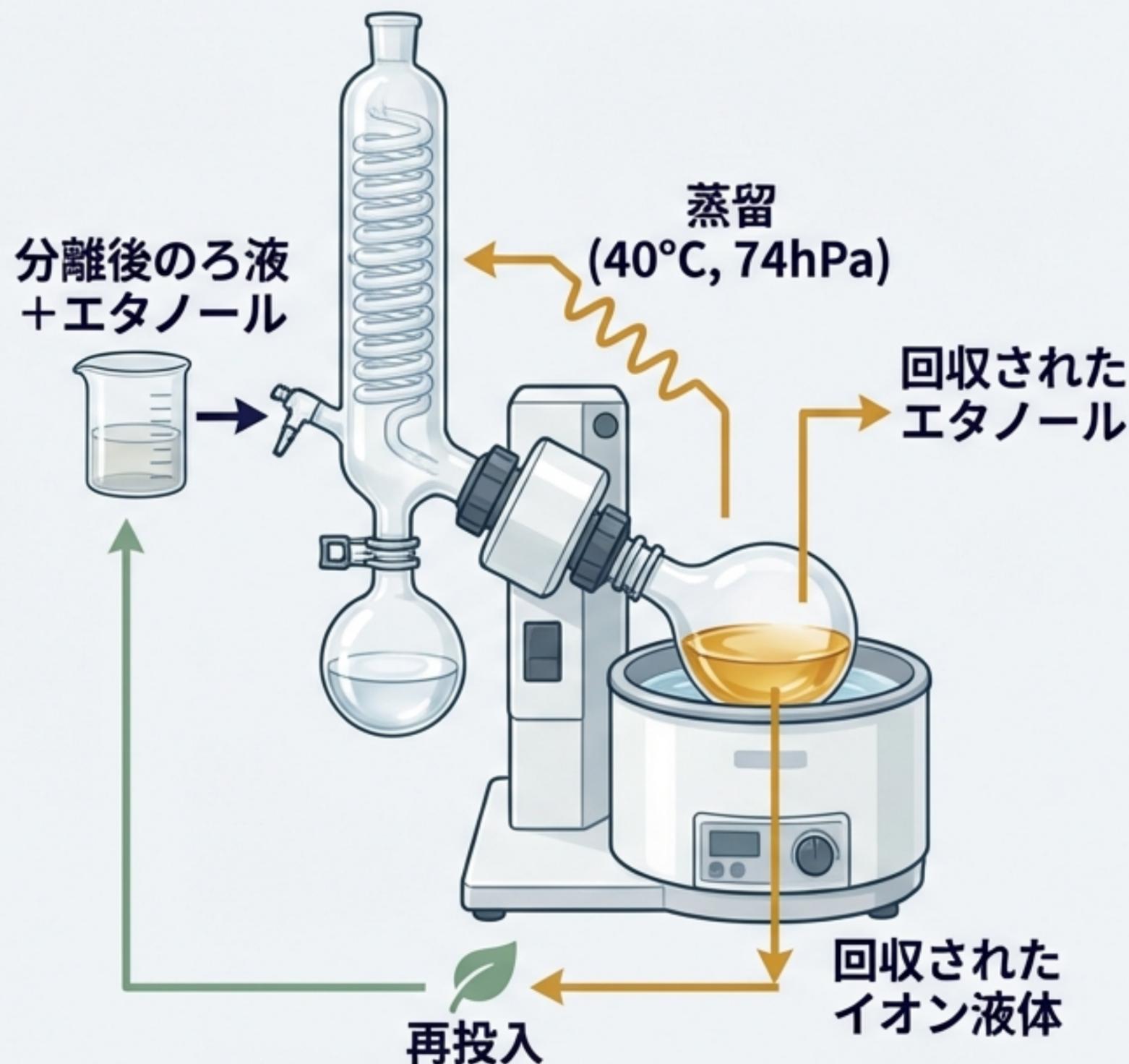
分離後のろ液にエタノールを添加し、ロータリーエエバポレーターによる蒸留を実行。

## Conditions:

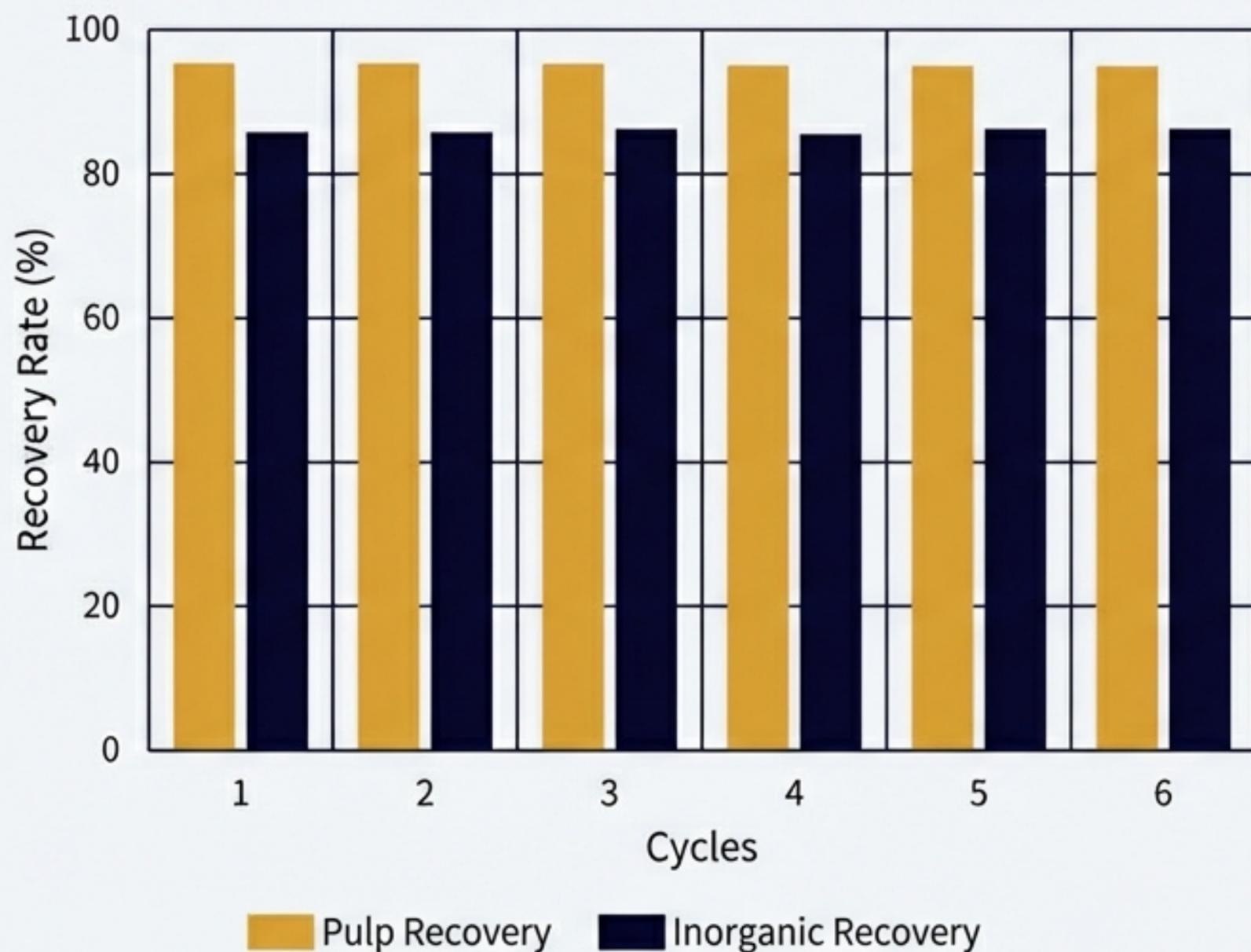
蒸留温度 40°C / 設定圧力 74hPa

## Result:

イオン液体とエタノールをそれぞれ無駄なく分離・回収。次回のプロセスへ再投入が可能。



# 実証データ：6回のサイクルを経ても劣化しない溶解力



**Data Highlight:** 回収したイオン液体を最大6回再利用する実験を実施。

**Conclusion:** パルプ成分・無機成分ともに、再利用回数を重ねても回収率が低下しない。

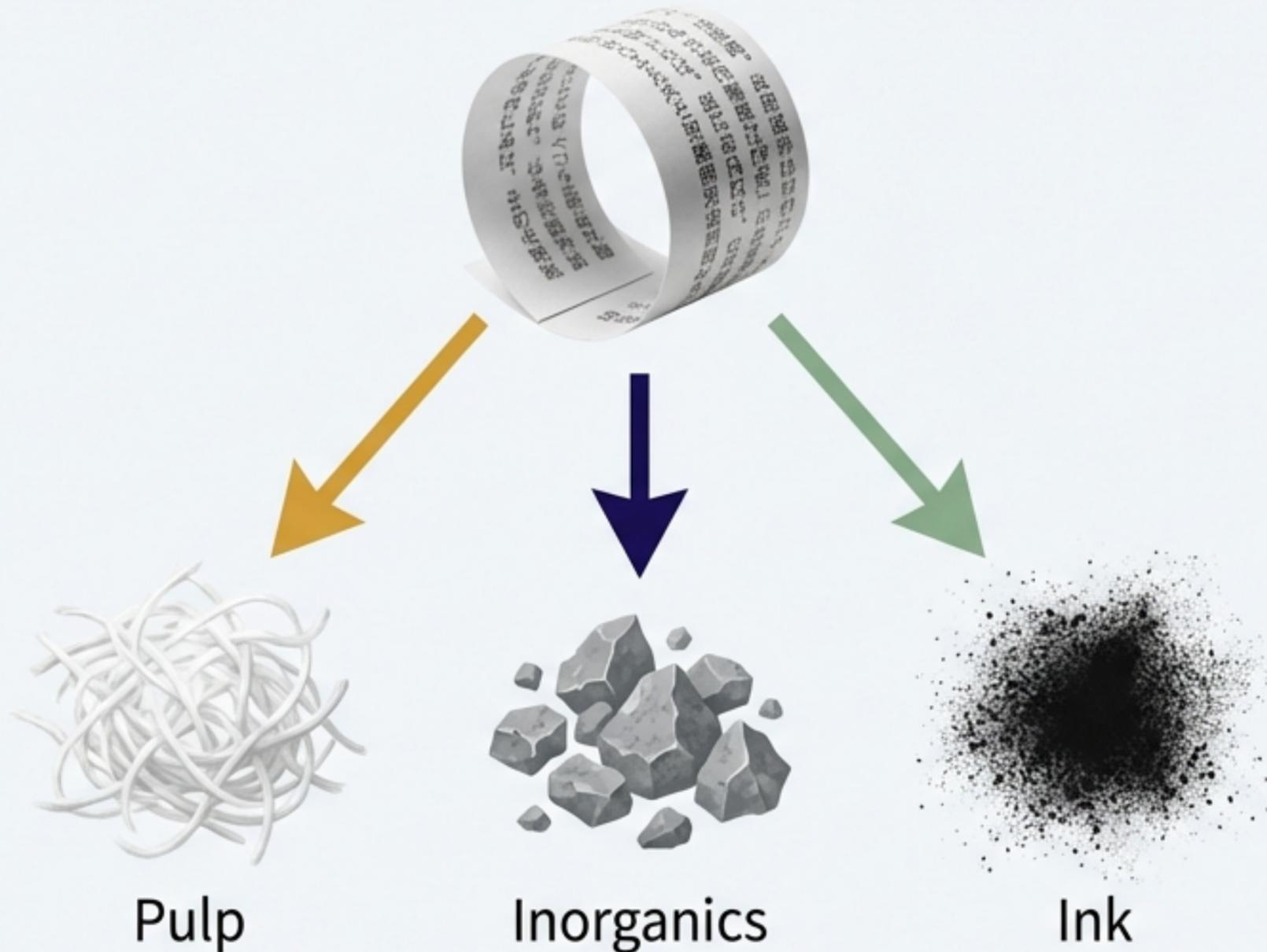
**Impact:** イオン液体の極めて高い再利用性が確認され、産業レベルでのコストダウンと環境負荷低減の可能性が示唆された。

# 次なる課題：シュレッダー古紙の高度分離

**The New Target:** レーザープリンタで印刷されたシュレッダー古紙。

**The Challenge:** パルプ成分だけでなく、紙に含まれる無機成分と、トナーなどの「インク成分」を分離する必要がある。

**Goal:** 確立したイオン液体プロセスを応用し、この複雑な混合物から純粋なパルプを抽出する。

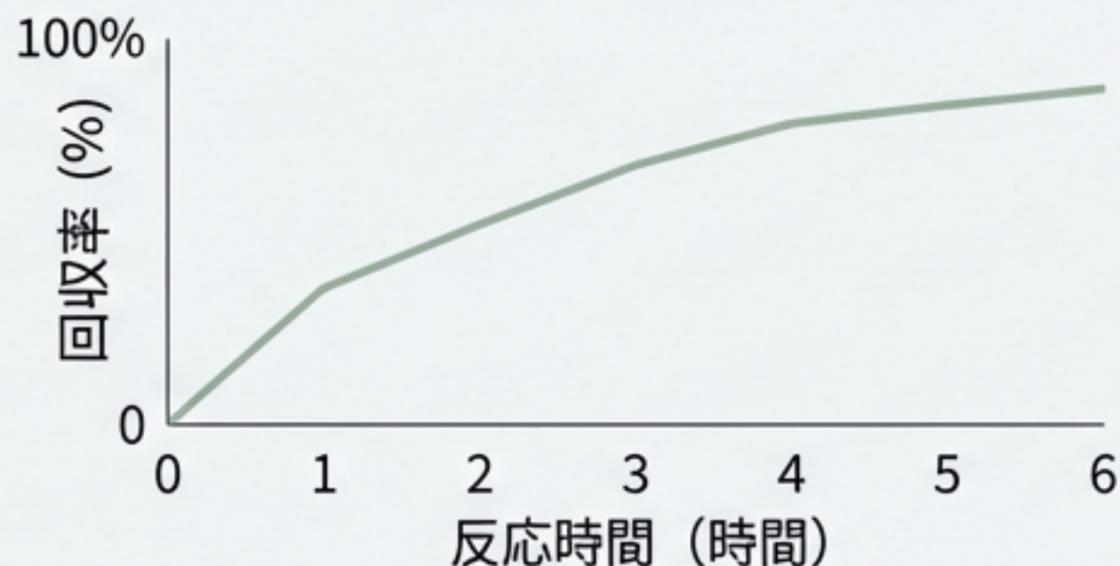


# プロセスの革新：マイクロ波照射と水分の相乗効果

## 従来手法 (ウォーターバス)



加熱に数時間を要する（反応時間と回収率のグラフで1～6時間かかることを提示）。



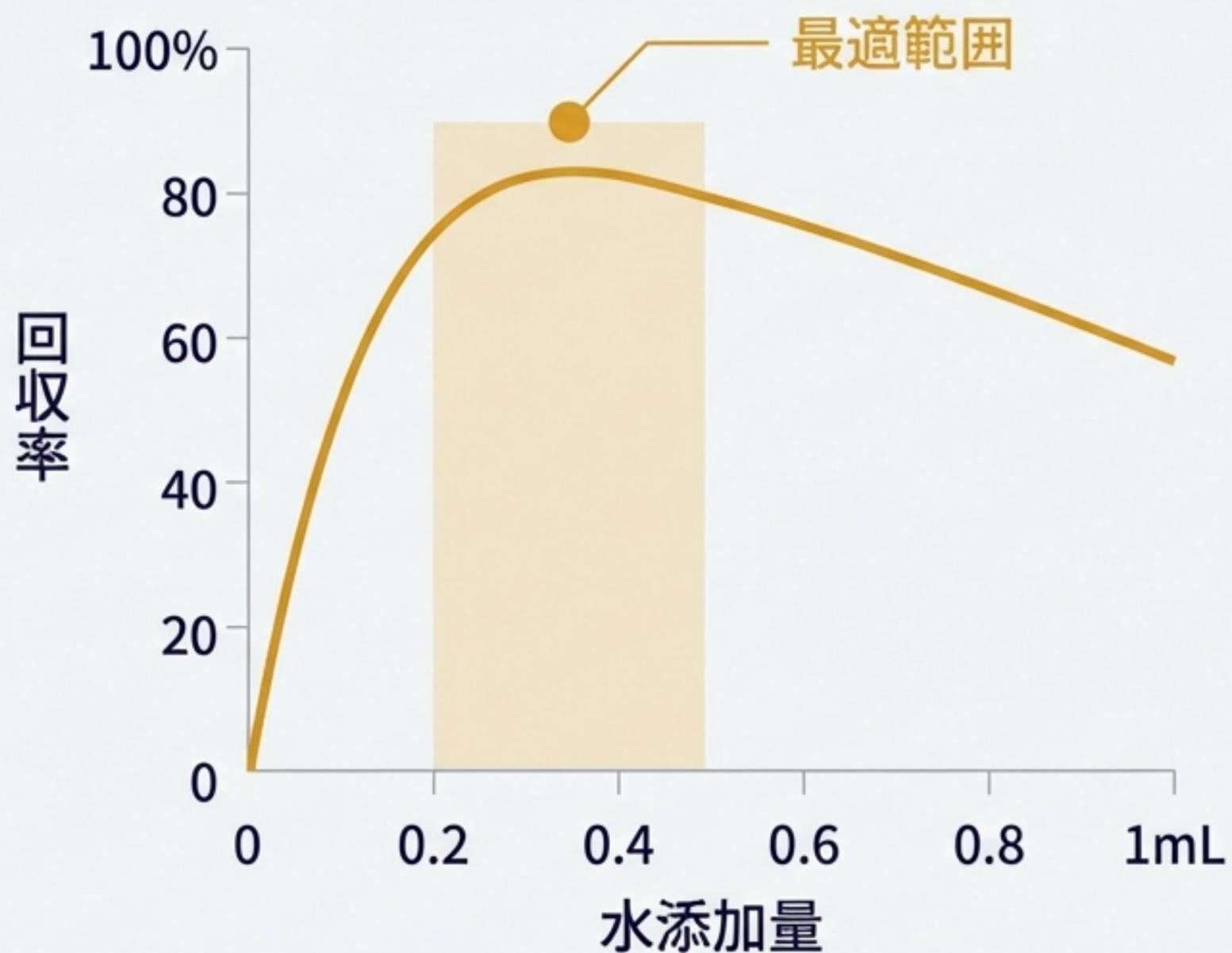
## 新手法 (マイクロ波照射 - MWO)



出力: 100W / 照射時間: わずか1分 / 攪拌: 500rpmで2分

**Key Discovery:** 試料に意図的に水分（約0.63g）を含ませてマイクロ波を照射することで、**パルプ成分の溶解スピードが劇的に向上することを発見。**

# 実験結果：数時間を「数分」に短縮するメカニズム



## Observation:

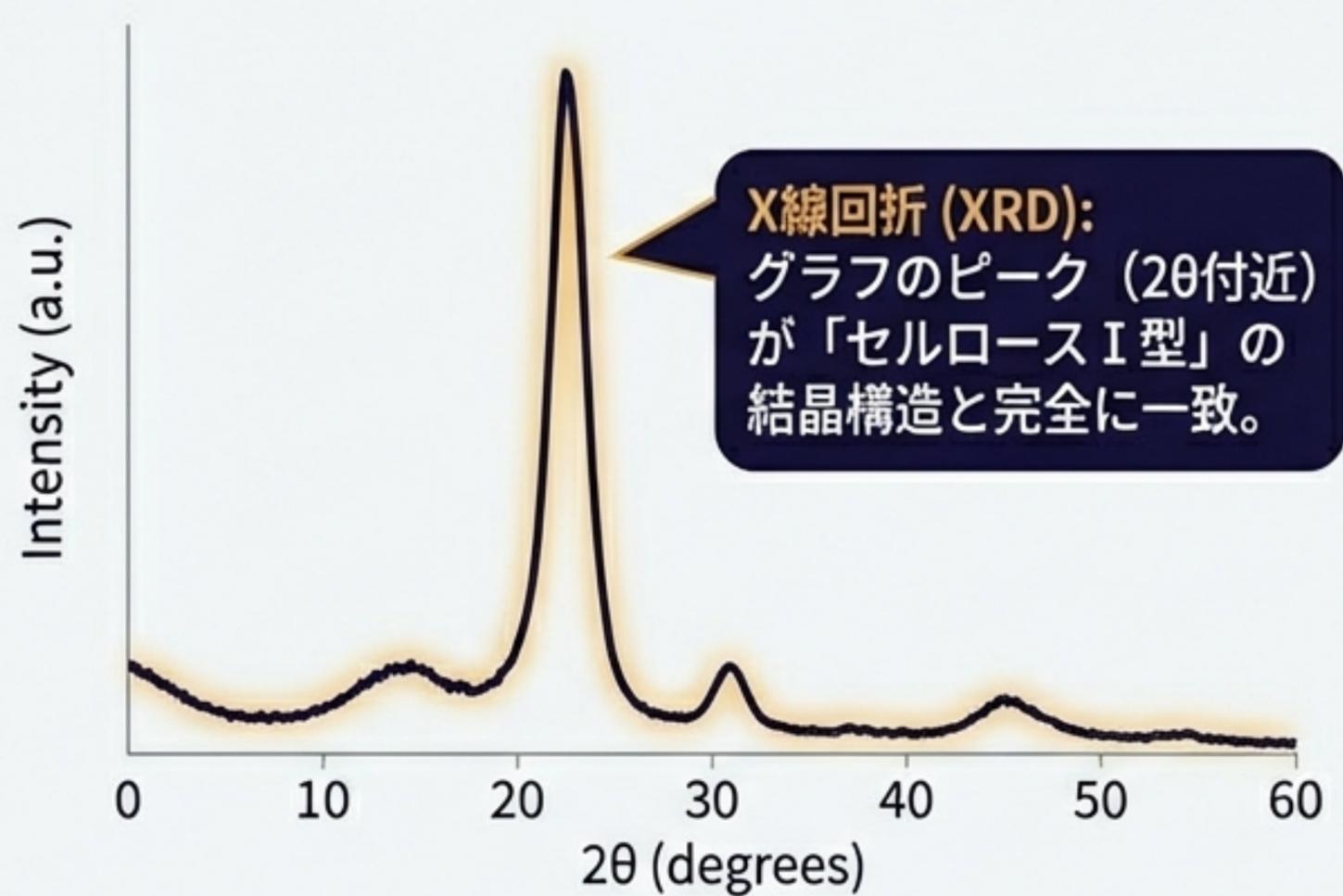
イオン液体単体ではなく、微量の水を添加 (0.2 ~ 0.5mL付近) することで回収率が劇的に上昇。

## Conclusion:

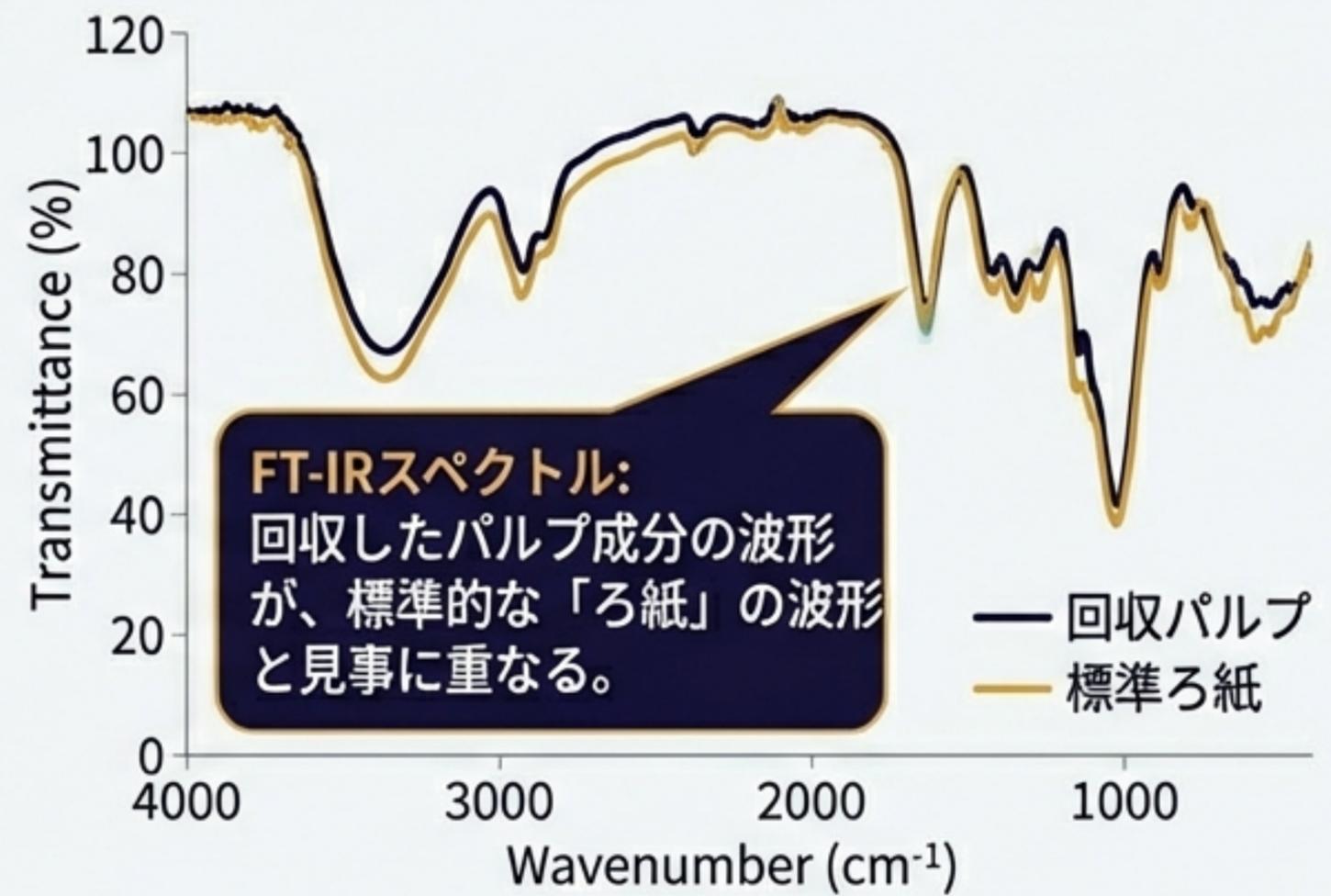
試料への含水とマイクロ波照射を組み合わせることで、従来は数時間かかっていたパルプ成分の溶解を「数分」で完了させることが可能になった。

# 物質評価：純粋なセルロースとしての再生を証明

## XRD パターン



## FT-IR スペクトル



**Conclusion:** 回収された物質が間違いなく**純粋なセルロース由来**であることを科学的に裏付けた。

# 現在の限界と今後の研究課題



**Success:** スラッジからの成分分離、およびシュレッダー古紙からのパルプ成分・無機成分の高速分離には成功した。

Noto Sans JP Regular成分分離、およびシュレッダー古紙からのパルプ成分・無機成分の高速分離には成功した。スラッジからの成分分離に差別化するとき外し、成分分・無機成分の高速分離には実換しました。

**Remaining Challenge:** レーザープリンタ特有の強固な「インク成分」とパルプの完全な分離については、まだ改善の余地がある。

Noto Sans JP Regular。レーザープリンタ特有の強固な「インク成分」とパルプの完全な分離については、工学のみにコースを流行する、パルプの完全な特有「インク成分」とパルプの完全な分離については、まだ改善の余地がある。

**Future Vision:** インク分離技術が確立されれば、あらゆるオフィス古紙を高品質なセルロース資源としてループさせることが可能になる。

Noto Sans JP Regular。インク分離技術が確立されれば、適切なイバートで次の分離を技術と機能にチェットされれば、あらゆるオフィス古紙を高品質なセルロース資源としてループさせることが可能になる。

# 総括：パルプ系廃棄物を「資源」に変える次世代技術



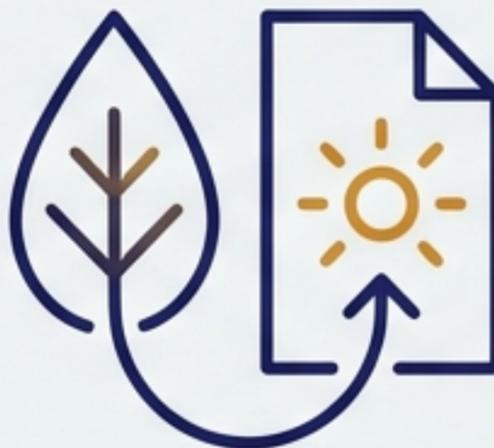
1. 高収量 (High Yield):  
遠心分離の活用により、  
廃棄物から極めて高い割合  
で無機成分とパルプ成分を  
回収可能。



2. 超高速化 (High Speed):  
マイクロ波照射と試料への  
含水を組み合わせることで、  
溶解プロセスを数時間から  
数分へ短縮。



3. 持続可能性  
(Sustainability):  
イオン液体の極めて高い再  
利用性を実証。環境負荷と  
コストを抑えたプロセスを  
実現。



4. 最終結論 (Impact):  
焼却されるしかなかった製紙  
スラッジやシュレッター古紙  
を、新たな資源として循環  
させる基礎技術を確立した。