

# インテリジエント機能紙

環境に適応する「生きた」素材への進化

温度、水分、生体シグナルに反応して自律的に機能を発現する次世代の紙素材

# 環境の変化を感知し、自律的に機能する

生命体を持つ「環境適応能力」を紙に応用。外部からのシグナル(入力)に対して、物理的・化学的な変化(出力)を自動的に引き起こします。



# 革新を生み出す3つの技術要素



**基材**

紙、ポリエチレン不織布などの土台。



**機能材料**

蓄熱材 (パラフィン)、医薬品 (エラグ酸)、香料などの活性成分。

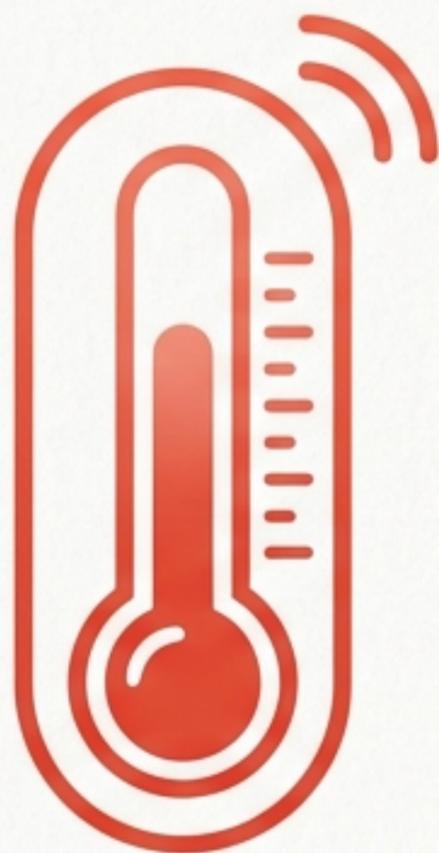


**複合化技術**

界面重合法やコアセルベーションなど、バインダーに頼らず両者を強固に結びつける独自の定着技術。

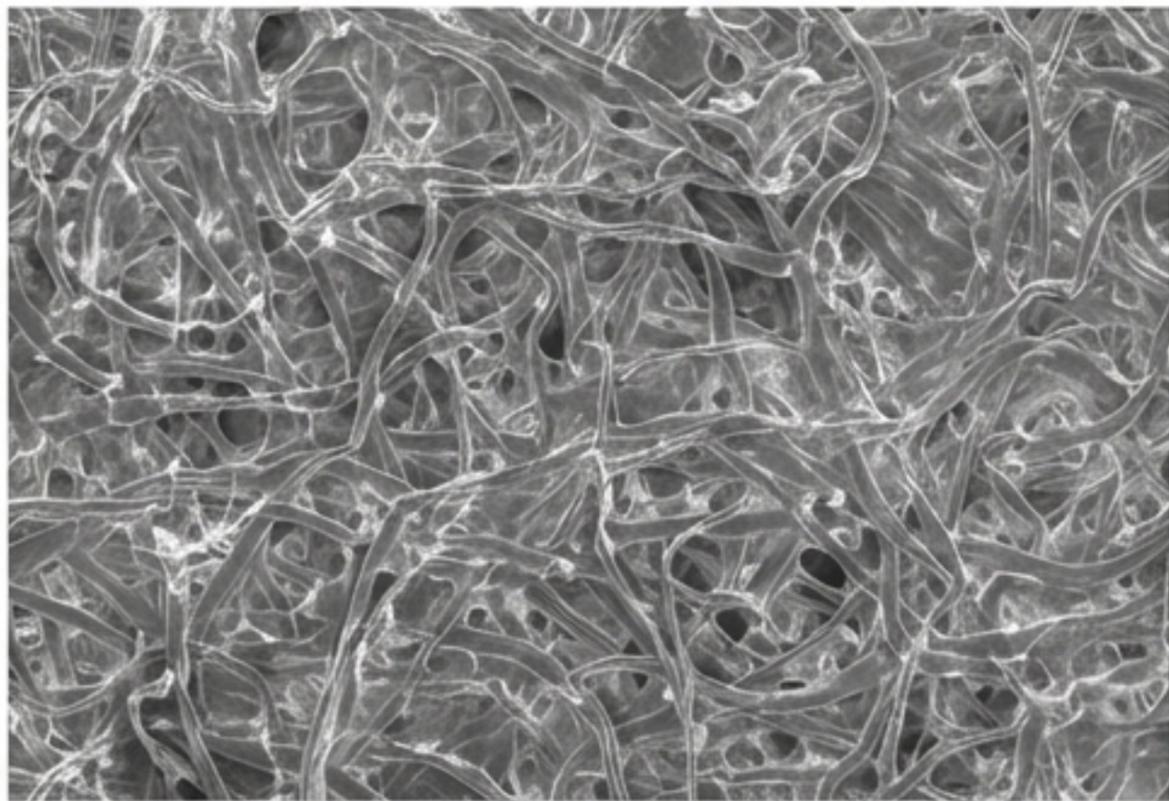
# Case Study 1: 温度調節機能

相変化に伴うエネルギーの吸収と放出



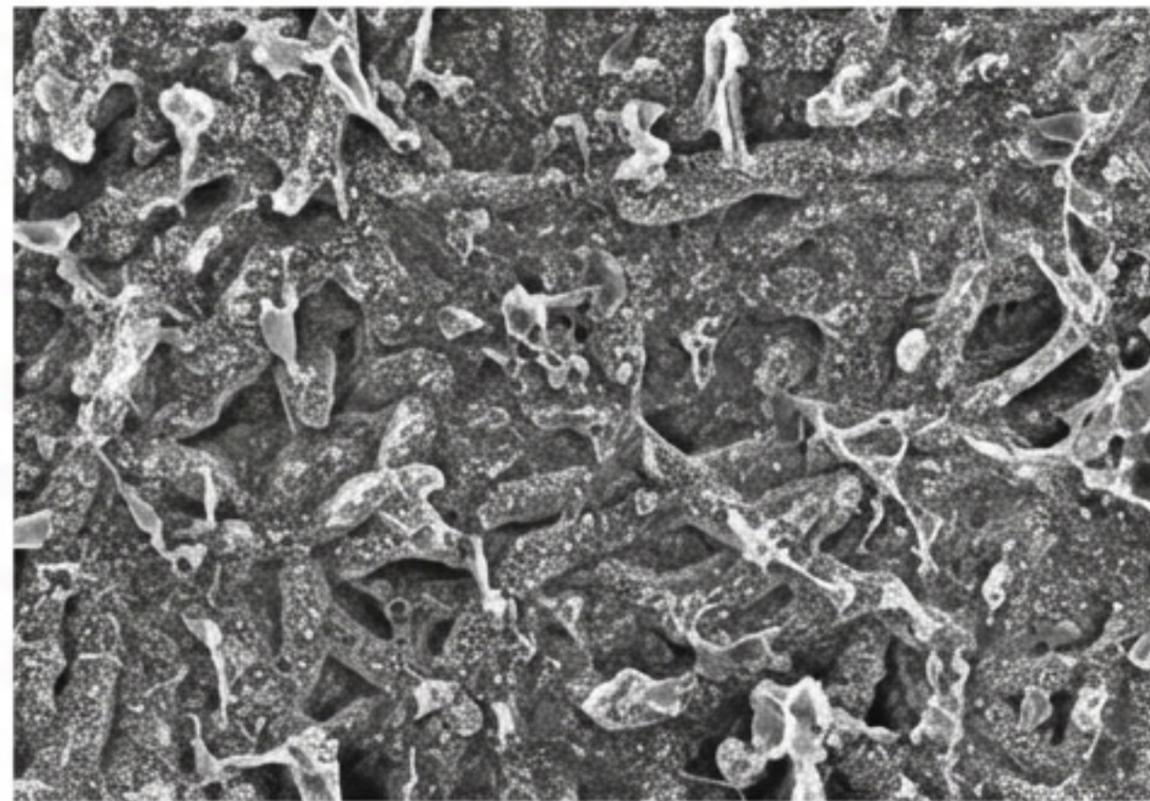
蓄熱材であるパラフィン（炭化水素化合物）を紙に組み込むことで、  
周辺温度の変動を自動的に緩和するスマートシートを実現。

# バインダー不要の「界面重合」による定着



紙の表面上で水と有機溶媒の液/液界面を形成。

界面重合法



ポリアミド（ナイロン）のマイクロカプセルをその場で合成し、パラフィンを内包したまま紙の繊維へ直接定着させることに成功。

# Case Study 2: 体内成分 (ナトリウムイオン) 応答



## The Problem

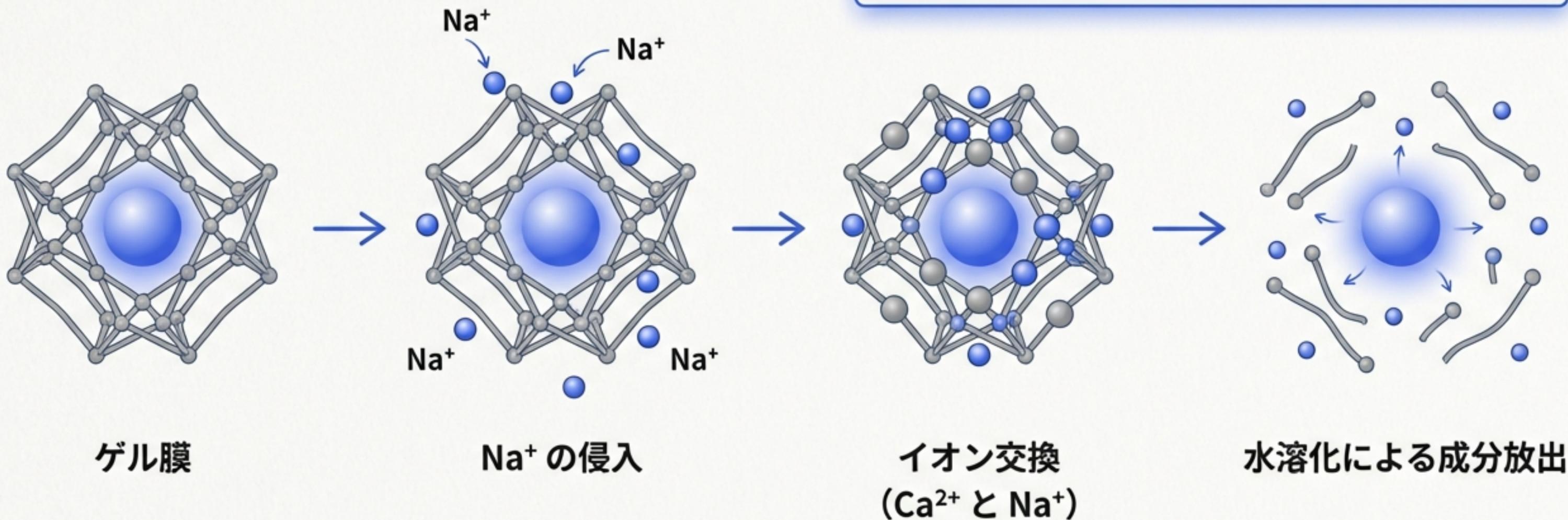
オムツ内の蒸れによる肌のかぶれや湿疹。

## The Solution

尿や汗に含まれるナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) を検知した瞬間に、抗菌・保湿効果のある「エラグ酸」を自動放出するスキンケア機能紙。

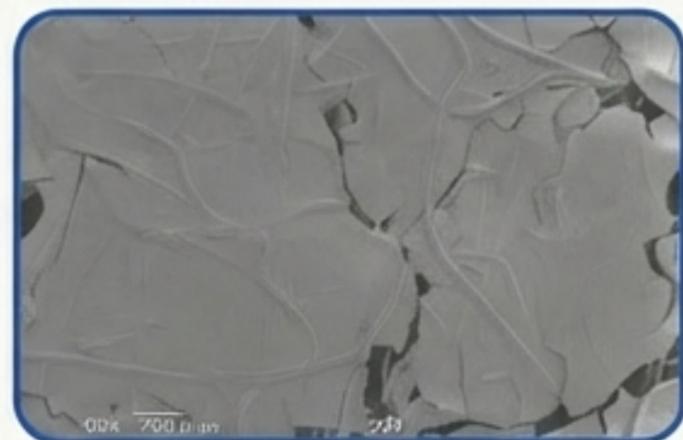
# ゲルの「エッグボックス」構造を解除するイオン交換

アルギン酸ナトリウムやペクチンなどの天然高分子を活用。水に不溶なゲルが、 $\text{Na}^+$ に触れることで瞬時に水溶性へ変化し、内包物を放出する仕組み。

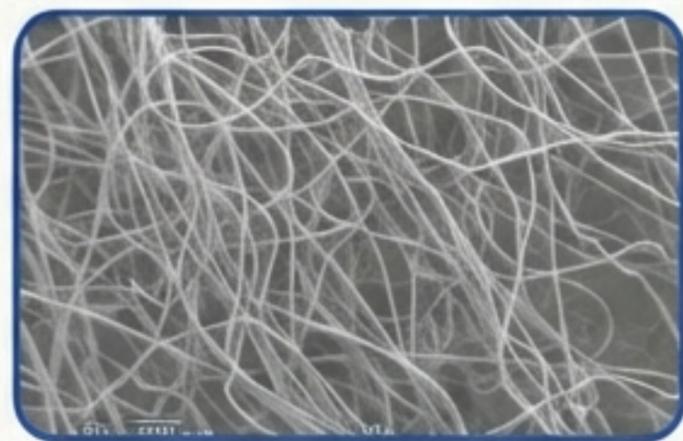


# 水ではなく「塩分」にのみ反応する精密さ

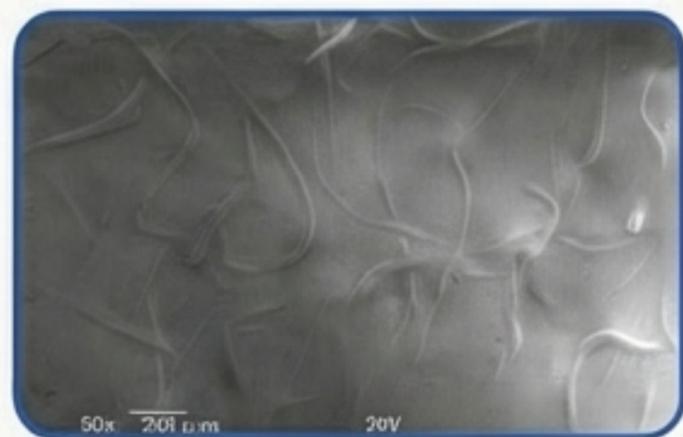
曝露前



0.65% NaCl溶液  
接触後



蒸留水接触後



0.65% NaCl

80%

蒸留水 <1%

- 蒸留水（水）ではゲル膜は溶解せず、エラグ酸は放出されない。
- 0.65% NaCl水溶液（尿・汗の模倣）に触れるとゲルが溶解。

アルギン酸よりも分子量の小さい「ペクチン」を使用した場合、 $\text{Na}^+$ への応答性が高く、より高いエラグ酸溶出率を記録。

## Case Study 3: 「匂い」を警告アラームに変える

視覚や聴覚ではなく「嗅覚」を利用したセンシング。

人間が気づきにくい水漏れや

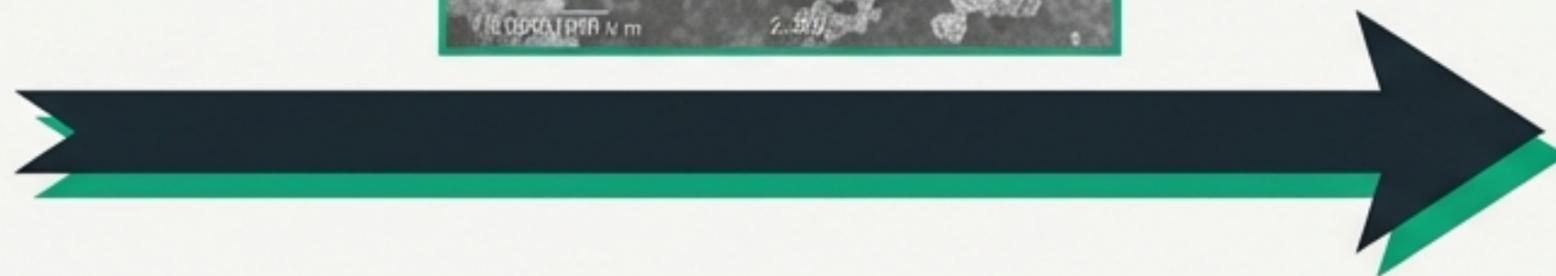
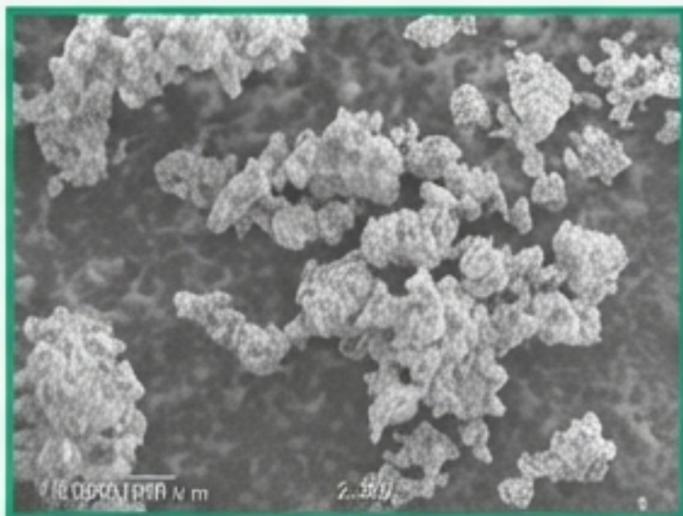
化学的変化を、特定の匂い成分を

特定の匂い成分を放出・変換することで

即座に知らせる機能紙。



# 匂い変換機能：pH変化に応答



酢酸ナトリウム + 酸（塩酸）  
= 酢酸（警告臭）の発生。



通常時はゲラニオール（芳香）を発しているが、酸性の環境変化を検知すると、瞬時に刺激臭（酢酸）を発生させ、異常を知らせる。

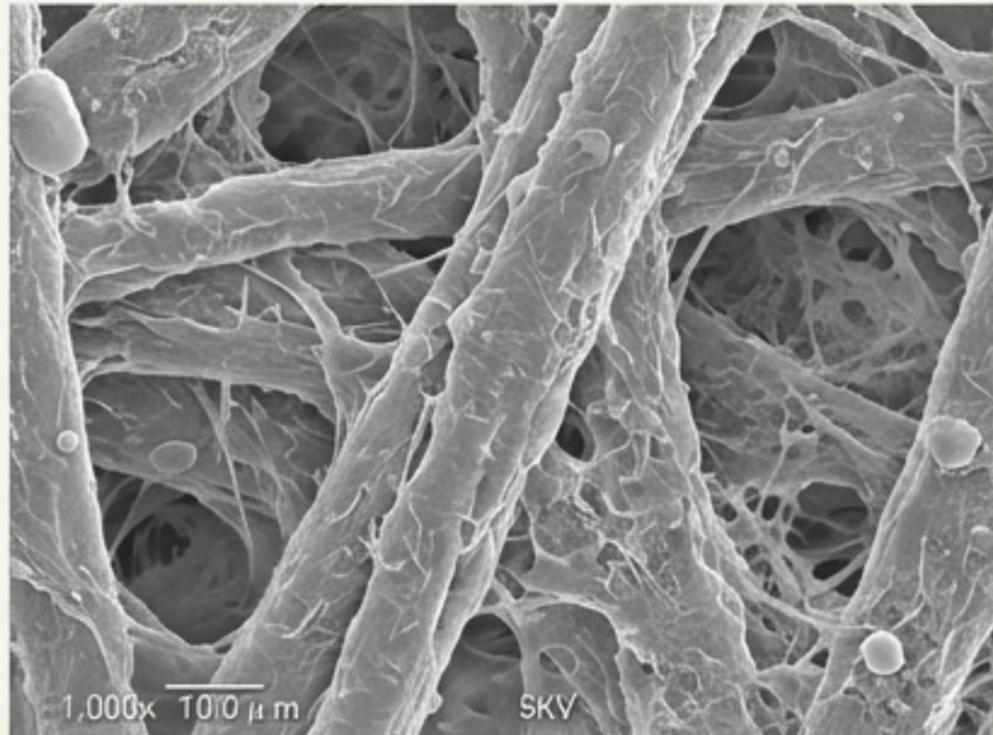
# 匂い放出機能：見えない水漏れを検知

ゼラチン製水溶性マイクロカプセルによる香料の封じ込め。

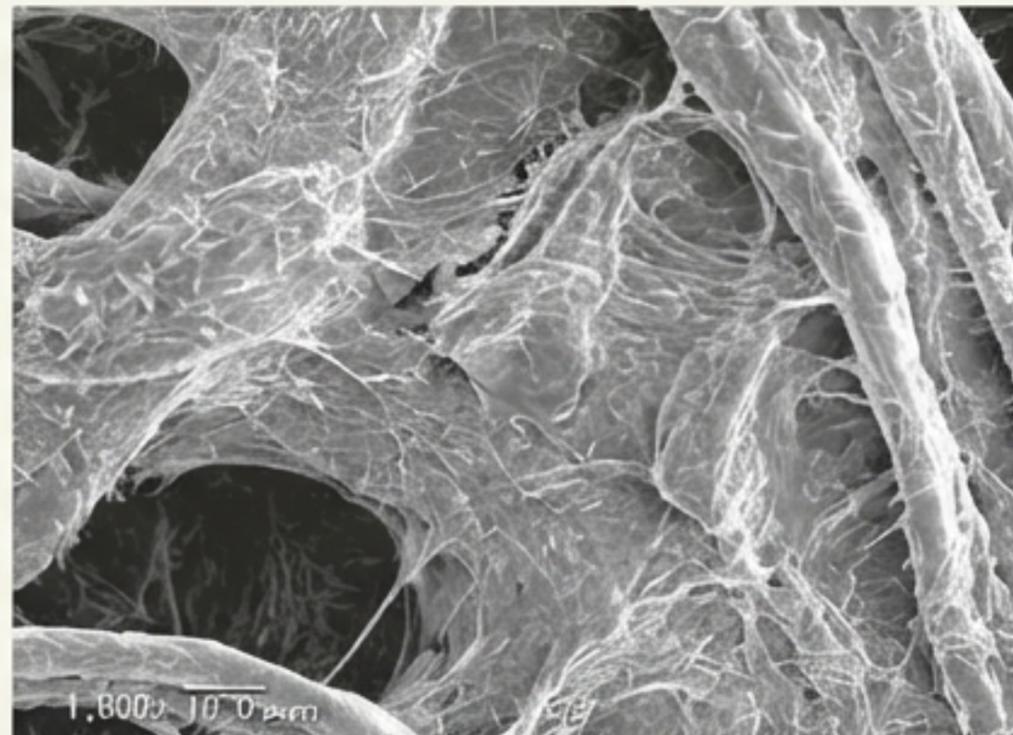


乾燥状態では無臭（揮発抑制）。水に接触するとゼラチンカプセルが速やかに溶解し、閉じ込められていた匂い物質を一気に放出する。

# 紙の繊維上に直接形成されるマイクロカプセル



0% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

**炭酸ナトリウム (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) の濃度をコントロールすることで、バインダー無しで完璧なゼラチンカプセルを繊維上に直接構築。**

乾燥状態では72時間経過後も80%以上の香料（ゲラニオール）残存率を誇る優れた徐放性を実現。

# 求められる次世代の社会的ニーズ

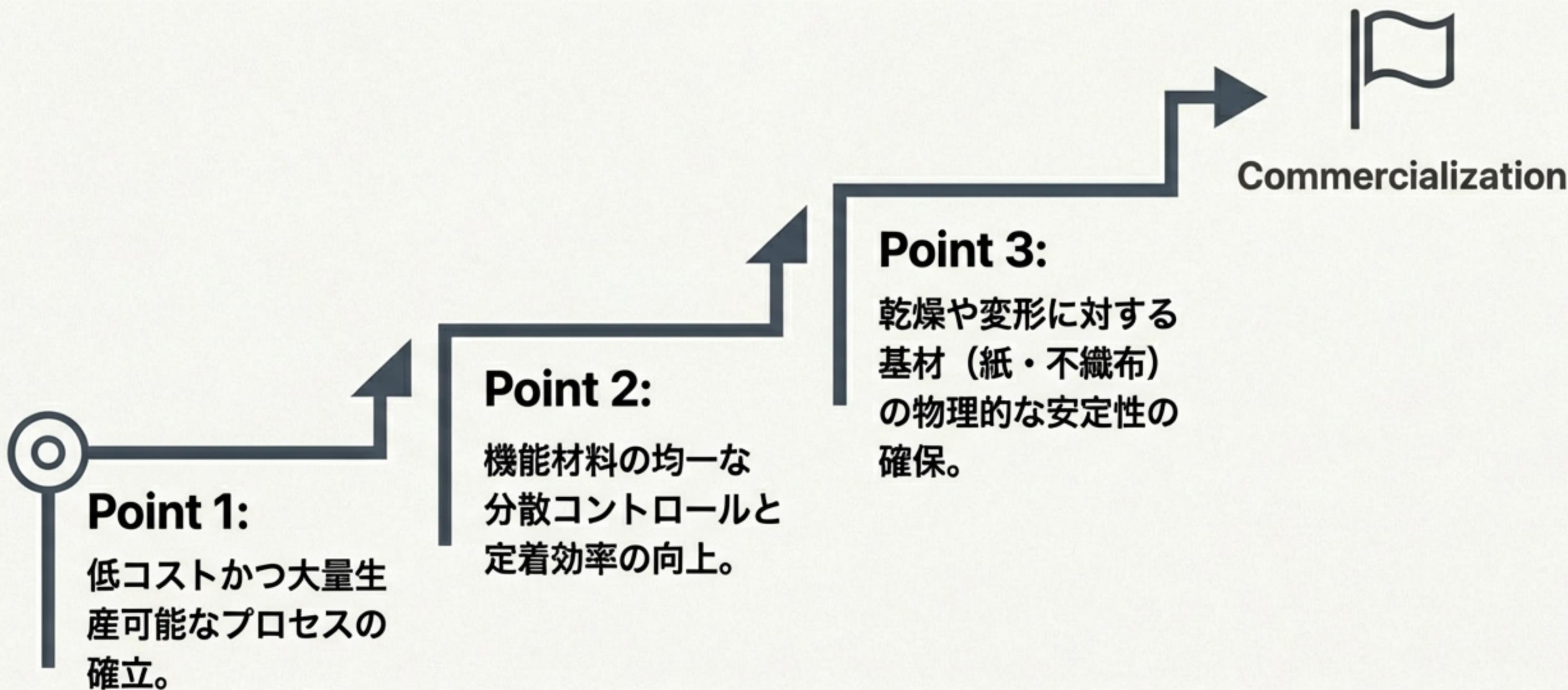
## Healthcare Focus:

高齢化社会における在宅介護。  
衛生環境の保持と介護者の負担  
軽減（スマートオムツ等）。

## Environment Focus:

電源不要の環境・セキュリティセ  
ンサー。視覚・聴覚に依存しない  
フェールセーフとしての嗅覚アラーム。

# 社会実装に向けた3つの技術的課題



# 「記録する紙」から「機能する生きた紙」へ



温度を操り、  
快適さを保つ。



生体シグナルを  
読み取り、肌を守る。



環境変化を察知し、  
匂いで警告する。

インテリジェント材料と製紙技術の融合が、静的な素材である紙を、  
私たちの生活を能動的にサポートするスマートマテリアルへと進化させます。