

新しい機能紙創製技術と 応用展開

SDGs達成を見据えた、紙表面上での
「界面重合」アプローチ



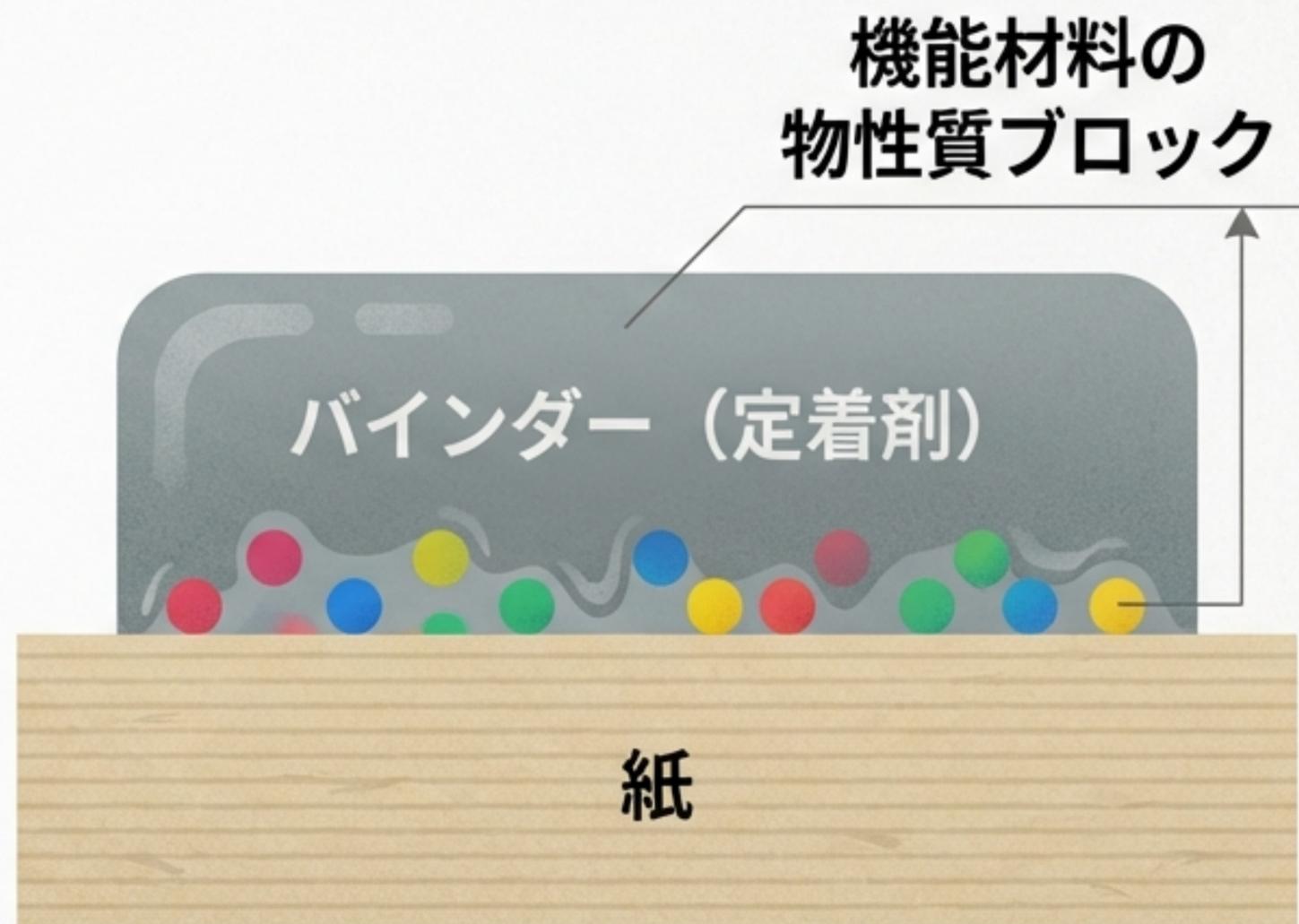
高知大学 市浦英明

TEL/FAX: 088-864-5142

E-mail: ichiura@kochi-u.ac.jp

現状の課題：機能材料を覆い隠してしまう「バインダー」のジレンマ

- 従来手法（内添法・塗工法）の目的：
強度向上、耐久性、バリア性などの
付加価値付与
- 最大の欠点：
 1. バインダーによる機能材料の被覆：
高機能材料の機能発現が直接的に
阻害される
 2. 歩留まりの低下：
製造工程でのロスが生じやすい



革新のコンセプト：紙表面上での「直接合成」と「定着」

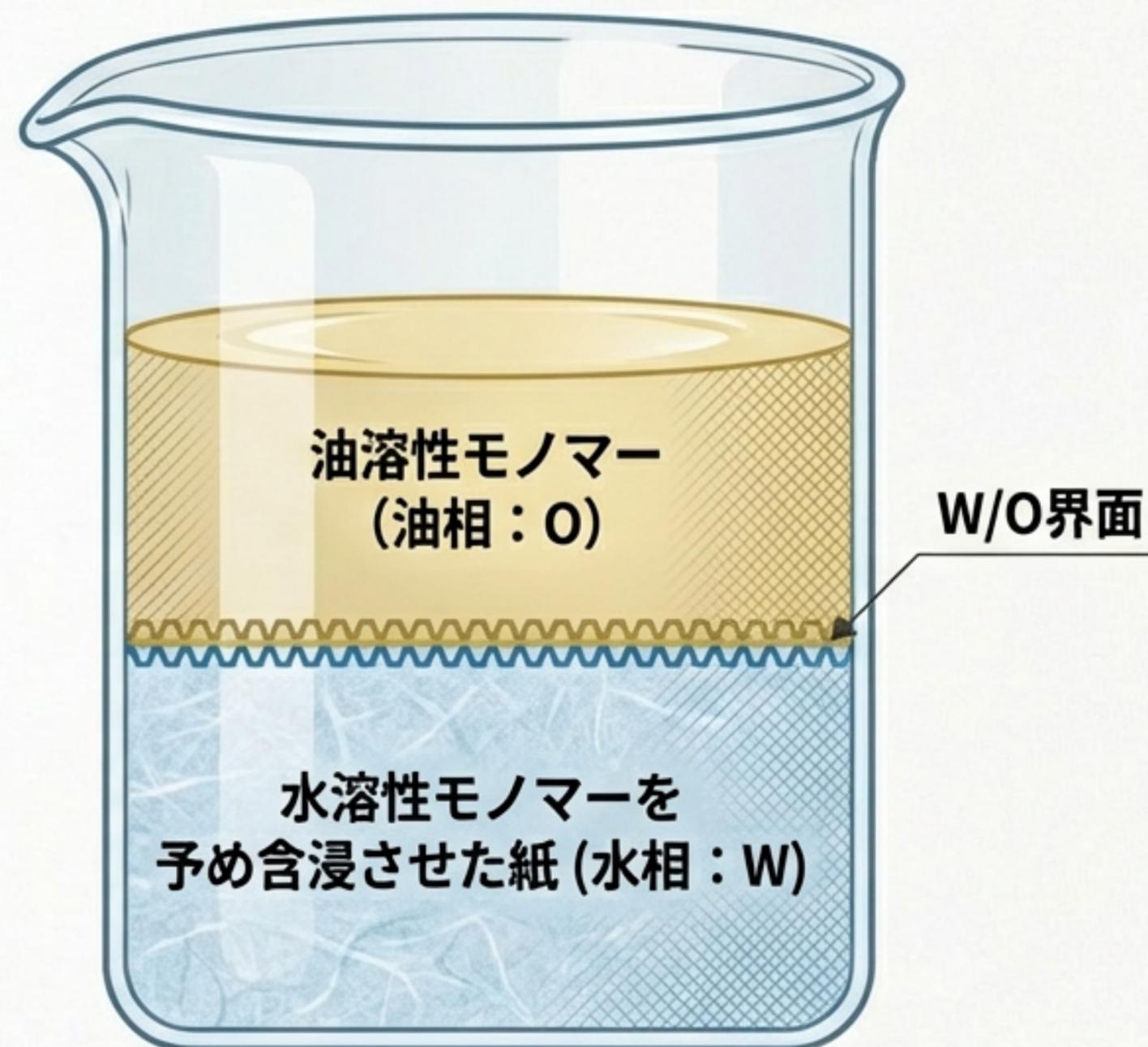
- 機能材料と紙の新しい複合法：2つのコア・コンセプト
- ① 機能材料の機能を一切損なわない（バインダーフリー）
- ② 極めて高い歩留まりを実現する



コア技術：紙表面を利用した「界面重合法」

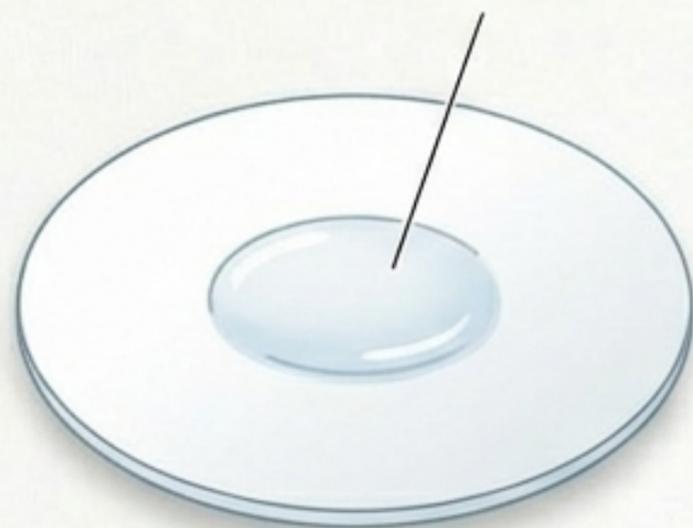
・プロセス：

1. 紙（基材）に水溶性モノマー（W：水相）を予め含浸させる
2. 油溶性モノマー（O：油相）を添加し、W/O界面を形成
3. 水相と油相の境界（界面）でのみ重合反応が進行し、紙表面上に直接高分子膜やマイクロカプセルが形成・定着する



実証プロセス：ろ紙上でのナイロン合成

水相：エチレンジアミン (EDA)
+1M NaOH水溶液



添加：二塩化テレフタロイル
(有機溶媒：シクロヘキサン溶液)



室温で10~20分間静置

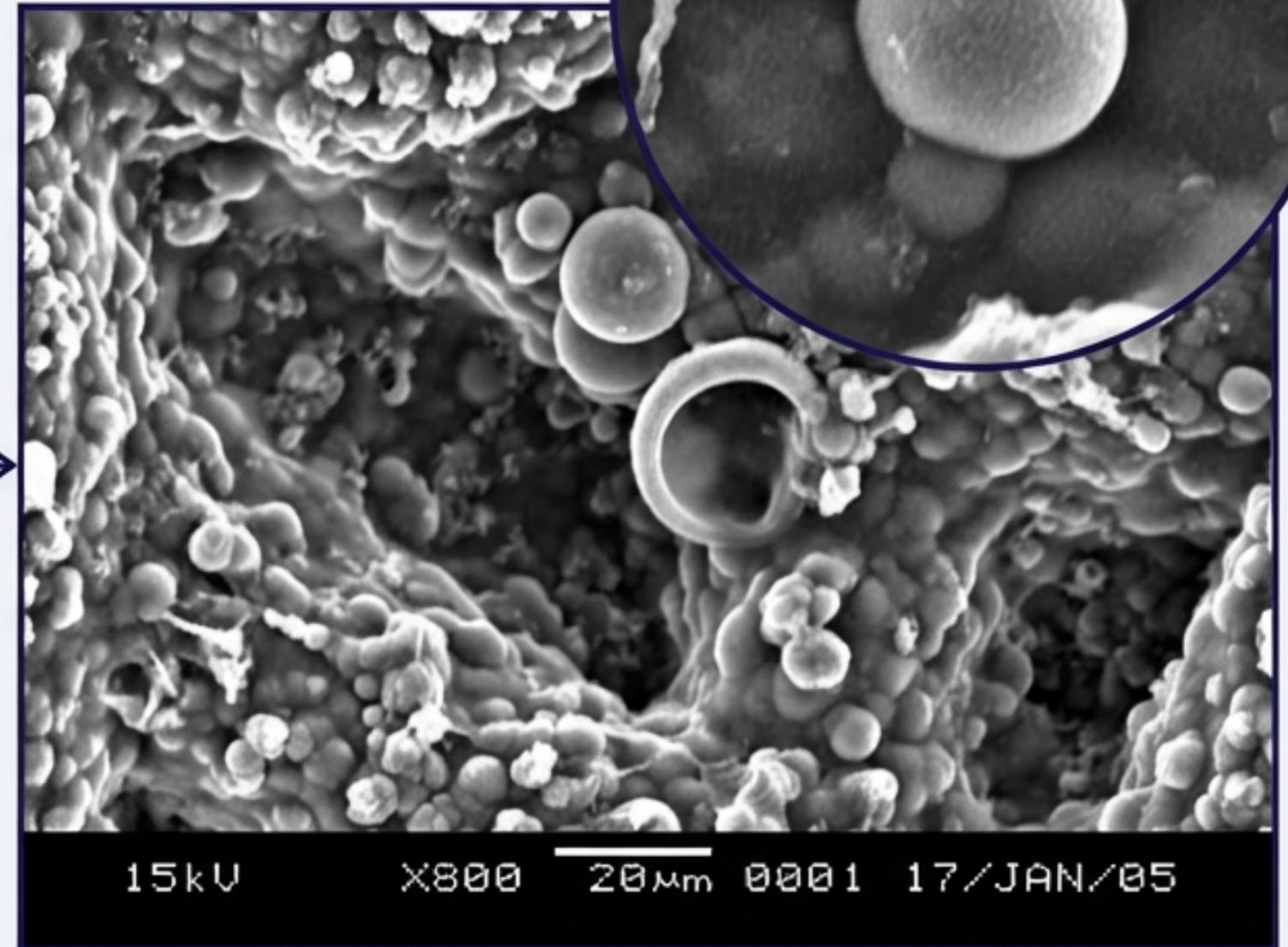
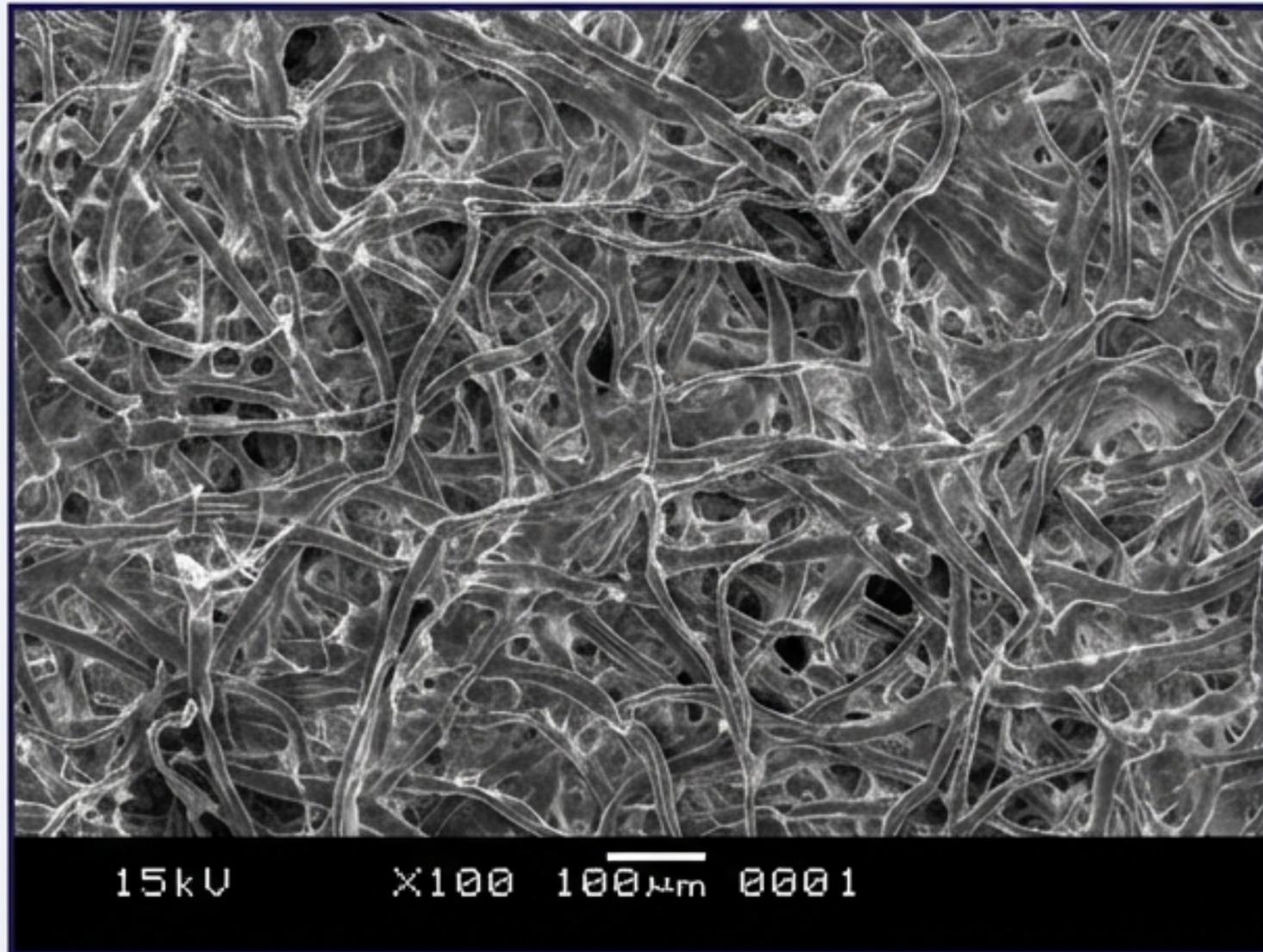
紙表面上にナイロン膜が
自己組織的に形成



- 水相：エチレンジアミン (EDA) 水溶液
- 油相：二塩化テレフタロイル (シクロヘキサン等の有機溶媒)
- 条件：室温で10~20分間静置するだけで、紙表面上にナイロン膜が自己組織的に形成される。

視覚的証明：紙表面に無数に形成されたマイクロカプセル

- ・ 左図：未処理のろ紙（繊維構造のみ）
- ・ 右図：界面重合処理後（25% エチレンジアミン / シクロヘキサン）
- ・ 結果：紙の繊維表面に、独立したマイクロカプセル状のナイロン膜が隙間なく合成・定着していることが確認された。



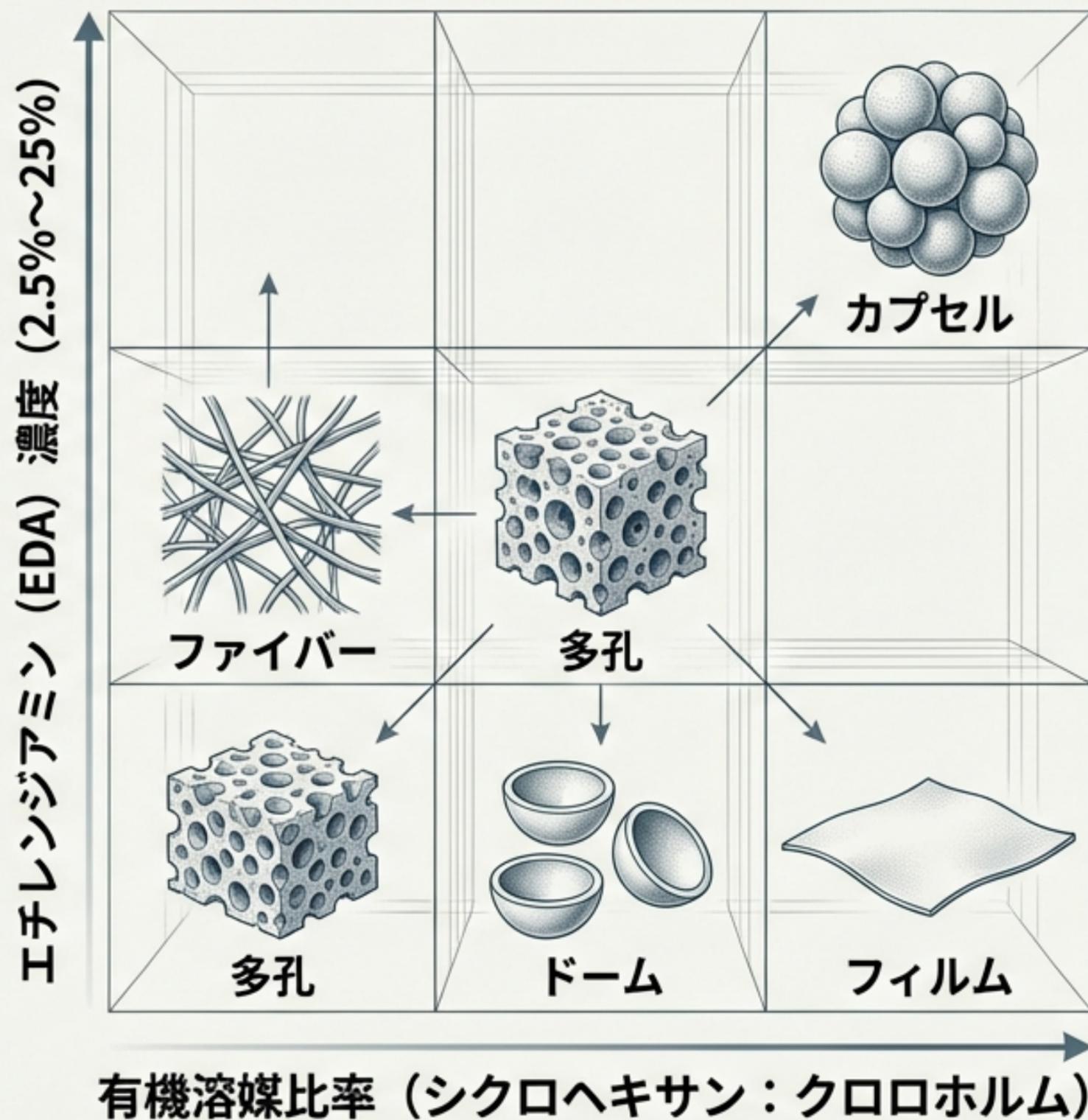
形態の多様性：調製条件によるナノ構造の自在なコントロール

濃度と溶媒の組み合わせを変更することで、全く異なる5つのナノ構造を作り分けることが可能：

- ・カプセル構造
- ・ファイバー構造
- ・多孔構造
- ・ドーム構造
- ・フィルム構造

「なぜ形が変わるのか？」

その背後にある科学的因子の解明へ」



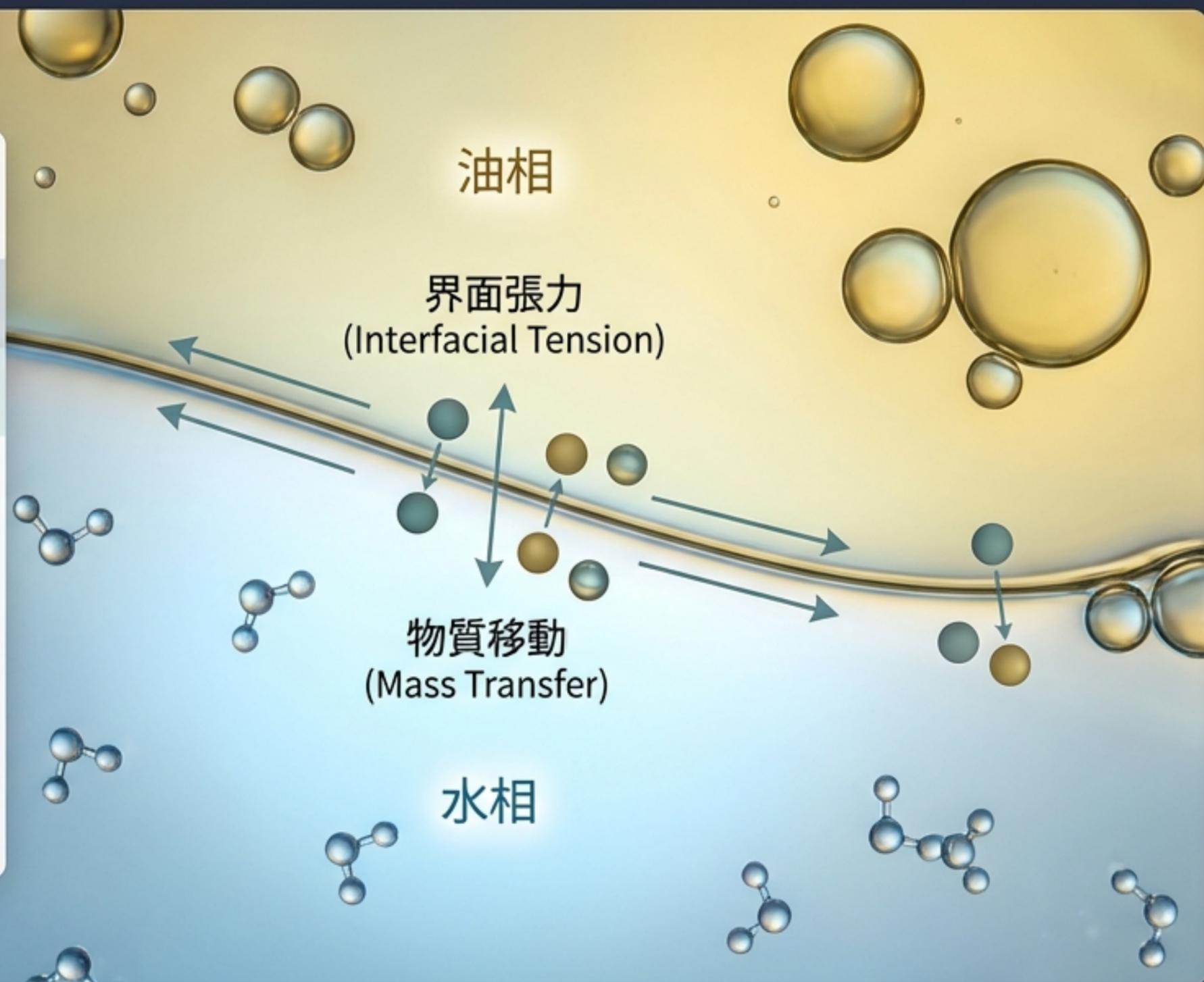
ナノ構造を支配する科学：界面領域の物理・化学的因子

ナノ構造体に影響を及ぼす4つの因子：

1. 液/液界面因子（物理的アプローチ）★
2. 化学反応因子（化学的アプローチ）★
3. 基材の表面構造
4. 重力

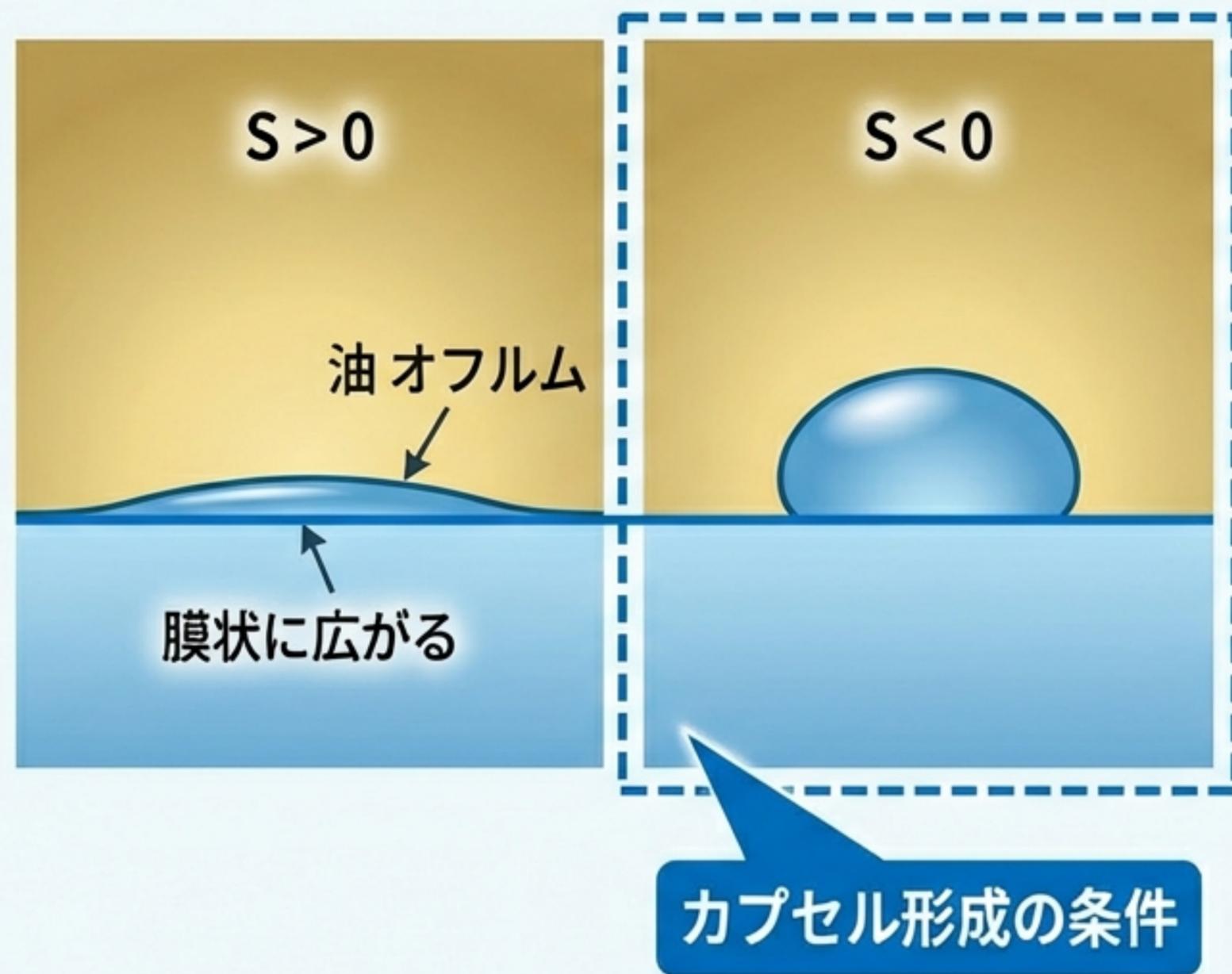
本研究では、特に構造決定の鍵となる

「1. 拡張係数(S)」と「2. 分配係数(P)」に
焦点を当てる。



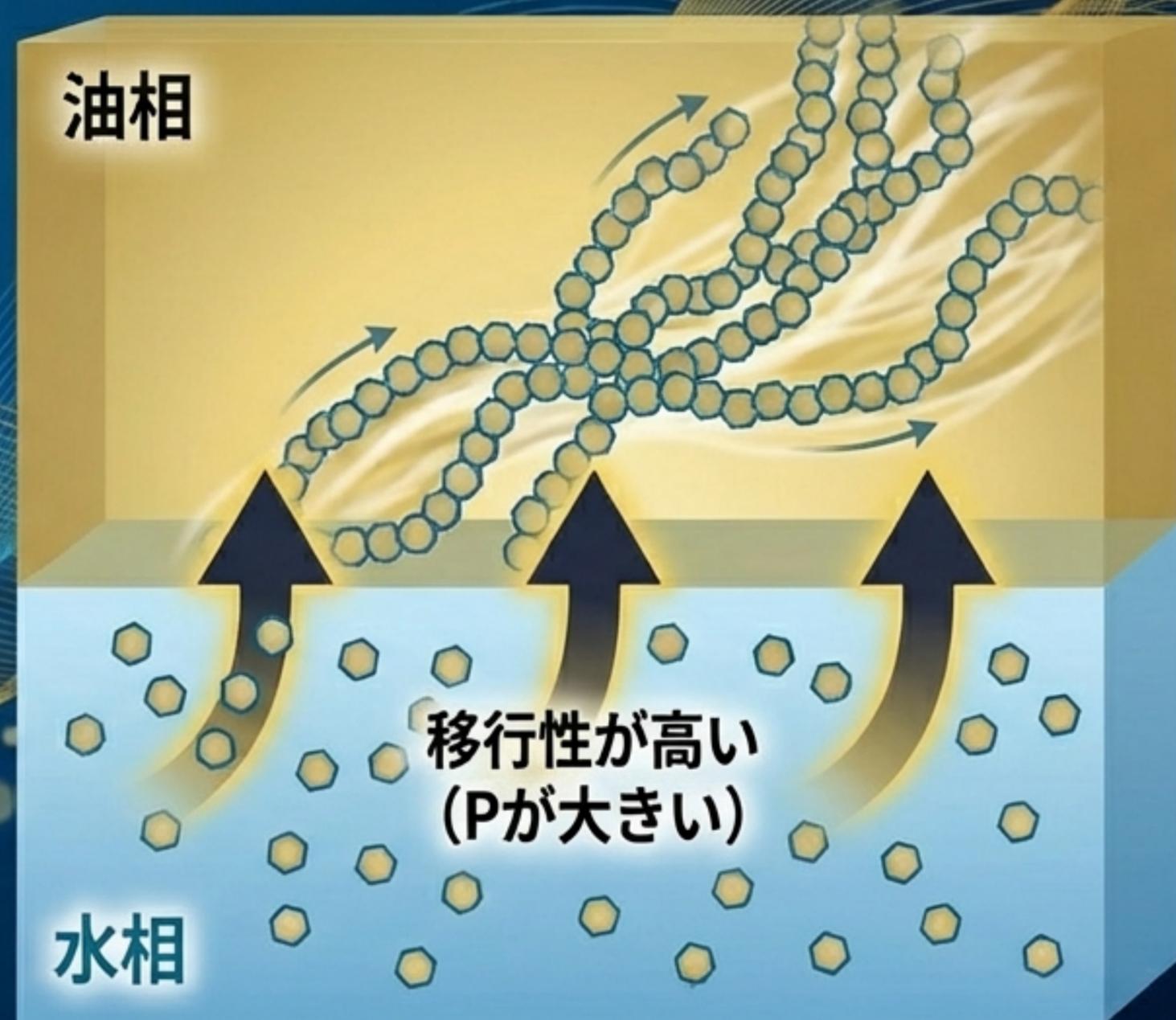
支配因子①：拡張係数 (S) とカプセル形成の絶対条件

- 拡張係数 $S = \gamma_a$ (水相の表面張力)
 - γ_b (有機相の表面張力)
 - $\gamma_{a/b}$ (水相/有機相間の界面張力)
- 水面上に存在する油滴が「レンズ状」になるか「膜状」に広がるかを判定する指標。
- 結論： $S < 0$ となる条件（油滴がレンズ状になる条件）においてのみ、美しい「カプセル状ナイロン膜」が形成される。



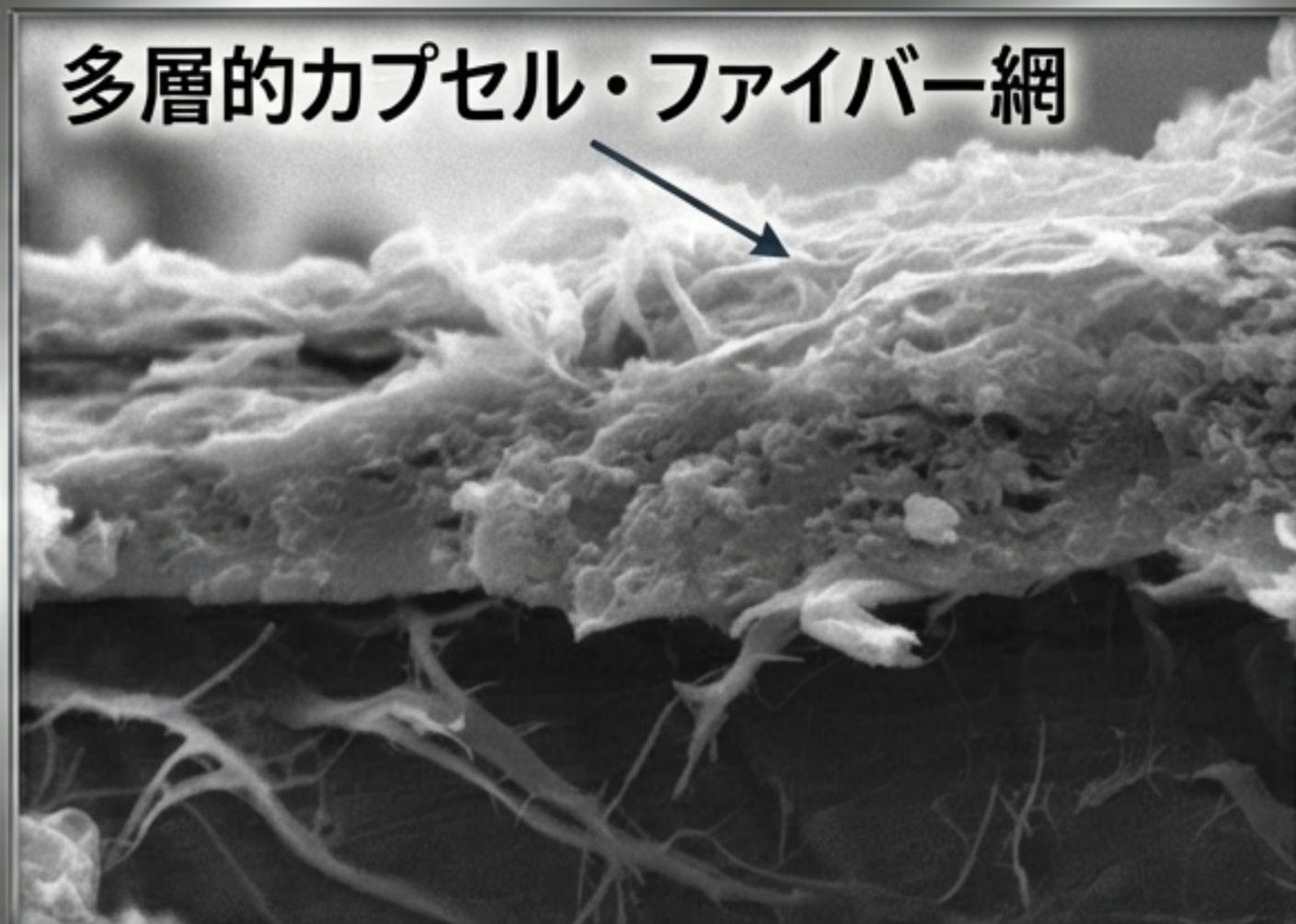
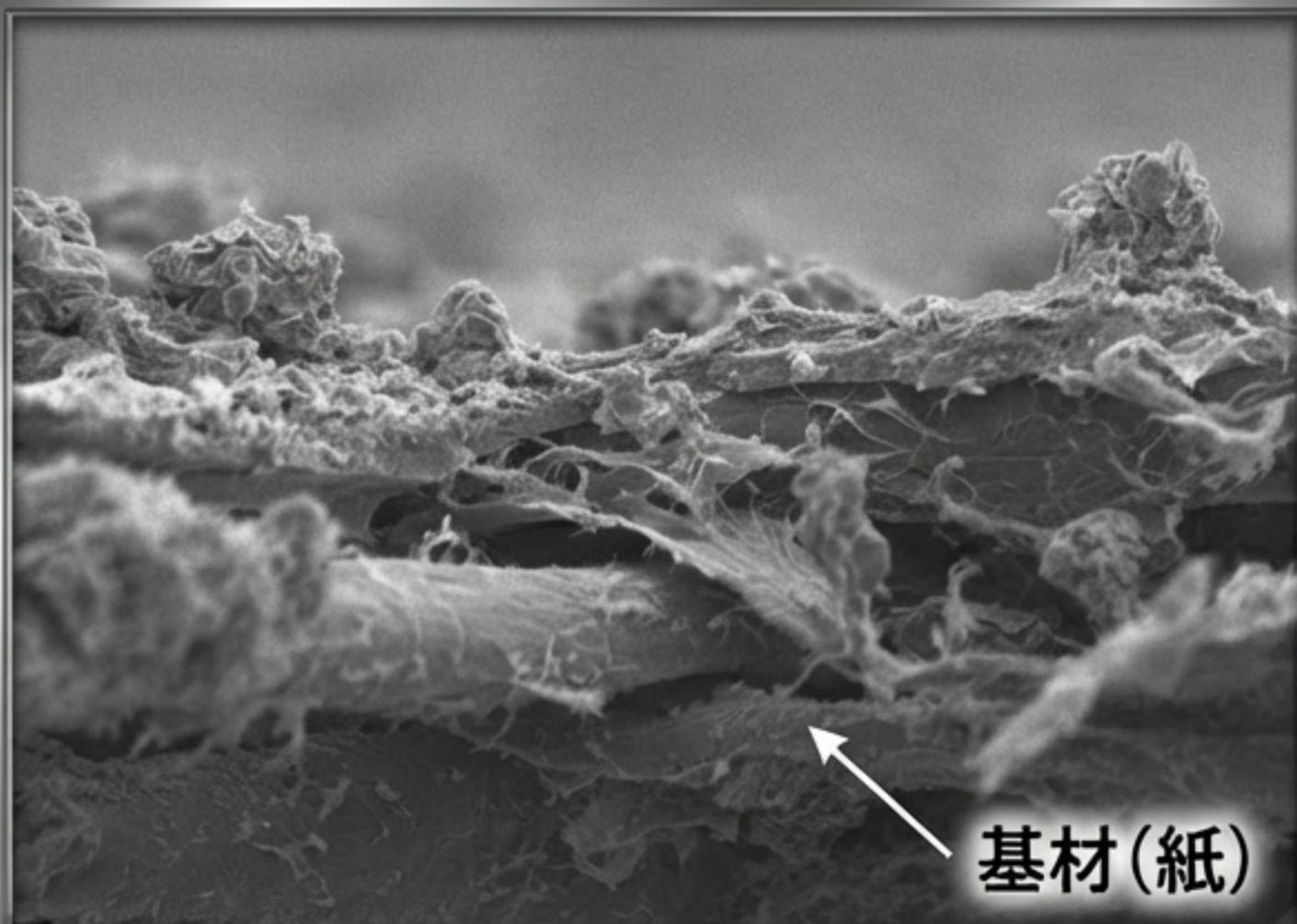
支配因子②：分配係数（P）とファイバー構造の生成

- 分配係数 $P = \log_{10} (C / C_w)$
※油相中のEDA濃度 / 水相中のEDA濃度
- モノマー（EDA）の油相への移行性や疎水性を示す指標。
- 結論：分配係数が高い（油相への移行性が高い）ほど、ファイバー構造が生成されやすくなる。
- EDA濃度25%の条件下では、ファイバー生成率が最大95%に達する。



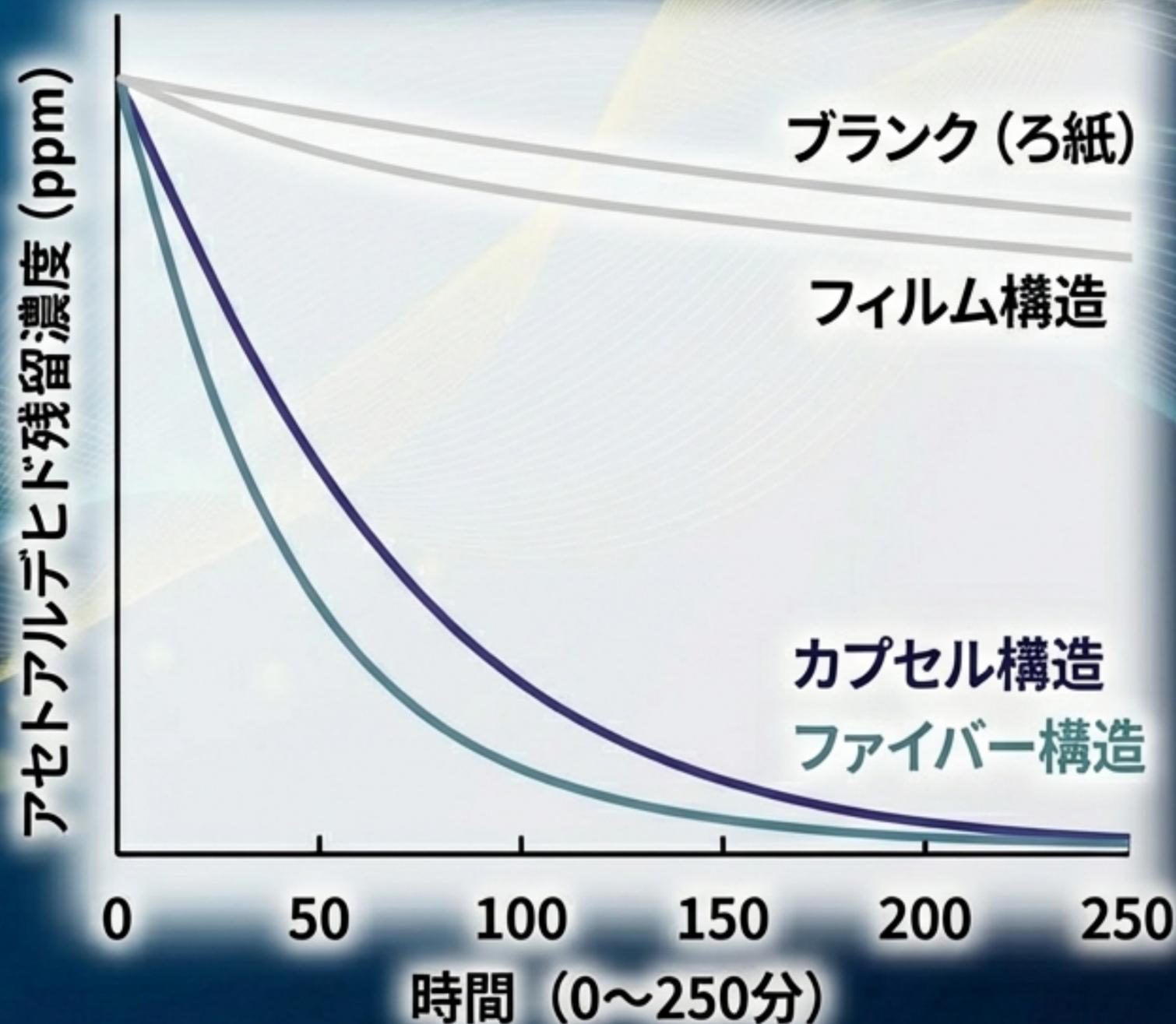
内部構造の可視化：ナノレベルの三次元ネットワーク

- ナイロン膜断面のSEM画像（EDA 25% - シクロヘキサン条件）
- 表面に単に乗っているだけでなく、多層的で複雑なカプセル・ファイバー網が基材（紙）と一体化して厚みを持った層を形成している。



応用成果：アセトアルデヒド吸着性能の飛躍的向上

- 標的：アセトアルデヒド（代表的な悪臭・有害物質）の吸着実験
- 結果：平滑な「フィルム構造」に比べ、表面積が極めて大きい「カプセル構造」や「ファイバー構造」は劇的に高い吸着性能を発揮。
- バインダーを使用せず機能表面が完全に露出している本手法の最大の強みが実証された。



未来への展望：インテリジェント機能紙が拓くSDGsへの貢献

本技術（紙表面上での直接機能化）の今後の展開：

1. 徐放性機能紙：カプセル内に有効成分を閉じ込め、時間差で放出する制御技術
2. 粘着紙への応用：剥離紙を必要としない新しい環境配慮型素材
3. インテリジェント機能紙：温度、特定分子、体内成分に自律的に応答するスマートペーパーの創製

環境負荷の低い「紙」を高度な機能デバイスへと昇華させ、持続可能な社会（SDGs）の実現へ大きく貢献する。

