

リン酸—尿素溶液を活用した 高い湿潤紙力強度を有する紙の 調製とその生分解性制御機能

持続可能な農業用マルチシートへの応用

高知大学・農

市浦 英明、山本 純士、森田 航希、西幡 安美

農業の現場が抱える「プラスチック」の課題

マルチシートの役割



- 雑草の防除
- 地温調節と保湿
- 土壌流出の防止

石油系プラスチックの弊害



- ⚠️ ・分解しない（永久ゴミ）
- ⚠️ ・回収・廃棄に多大な労力とコスト
- ⚠️ ・焼却によるCO2、マイクロプラスチック汚染

紙マルチの可能性と「湿潤強度」の壁



メリット

Noto Sans JP, Soil Brown

- ・ 自然に分解される
- ・ 廃棄コストゼロ
- ・ 有機JAS認証対応

データ：Roboto Mono



デメリット

Noto Sans JP, Soil Brown

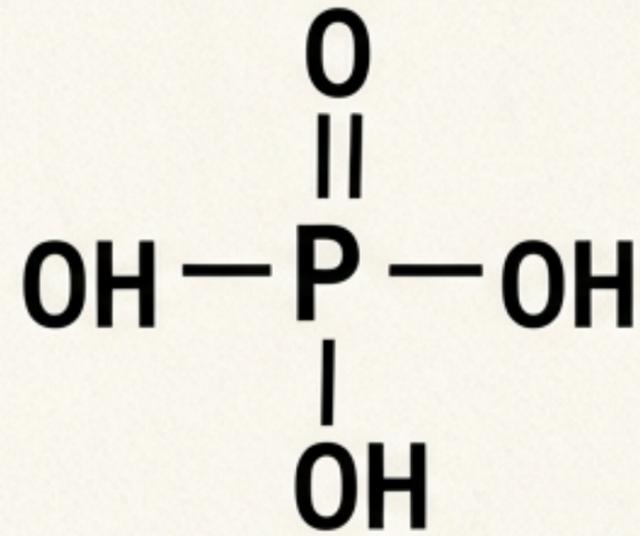
- ・ 水に弱い（降雨・散水）
- ・ 耐久性が低い

データ：Roboto Mono

従来の紙は、風雨の影響で早期に劣化してしまう。
また、作物ごとの栽培期間に合わせた「分解速度のコントロール」が困難である。

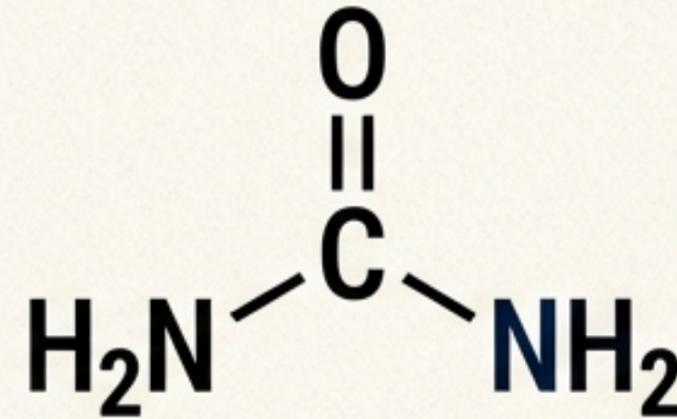
安全な材料による解決策：リン酸と尿素

リン酸 (Phosphoric Acid)



食品添加物（酸味料）として
使用される安全な素材

尿素 (Urea)



保湿クリームや肥料として使用

環境に優しく、かつ安価な材料で高機能紙を調製する。

エステル結合による架橋反応



セルロース
+
リン酸/尿素
(1:3)

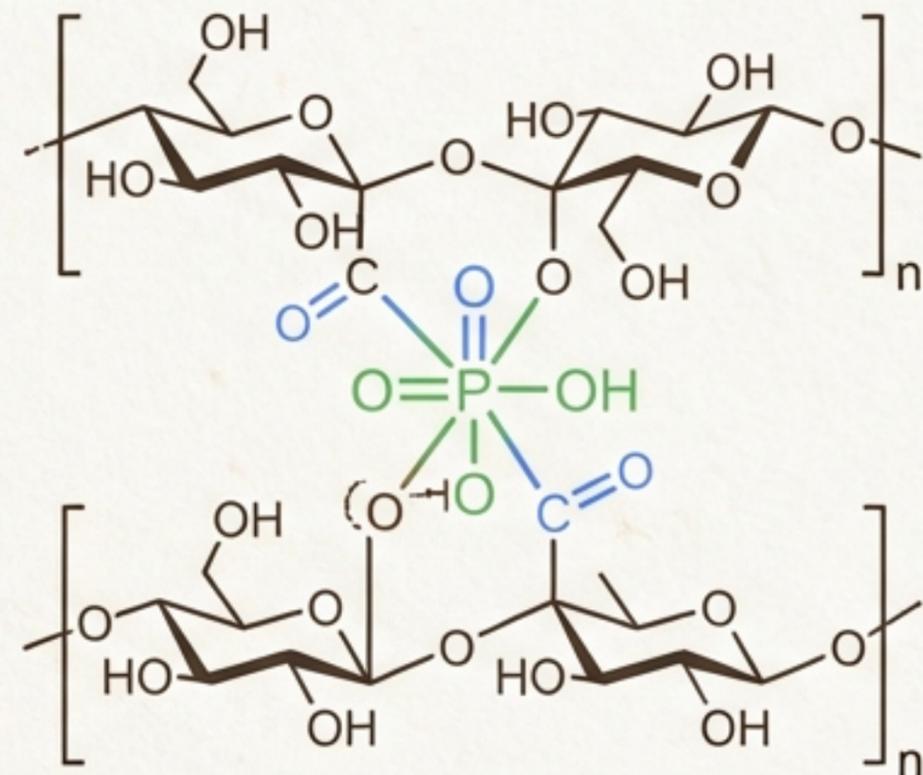
**乾燥
(Dry)**



**加熱処理
(Heating)**

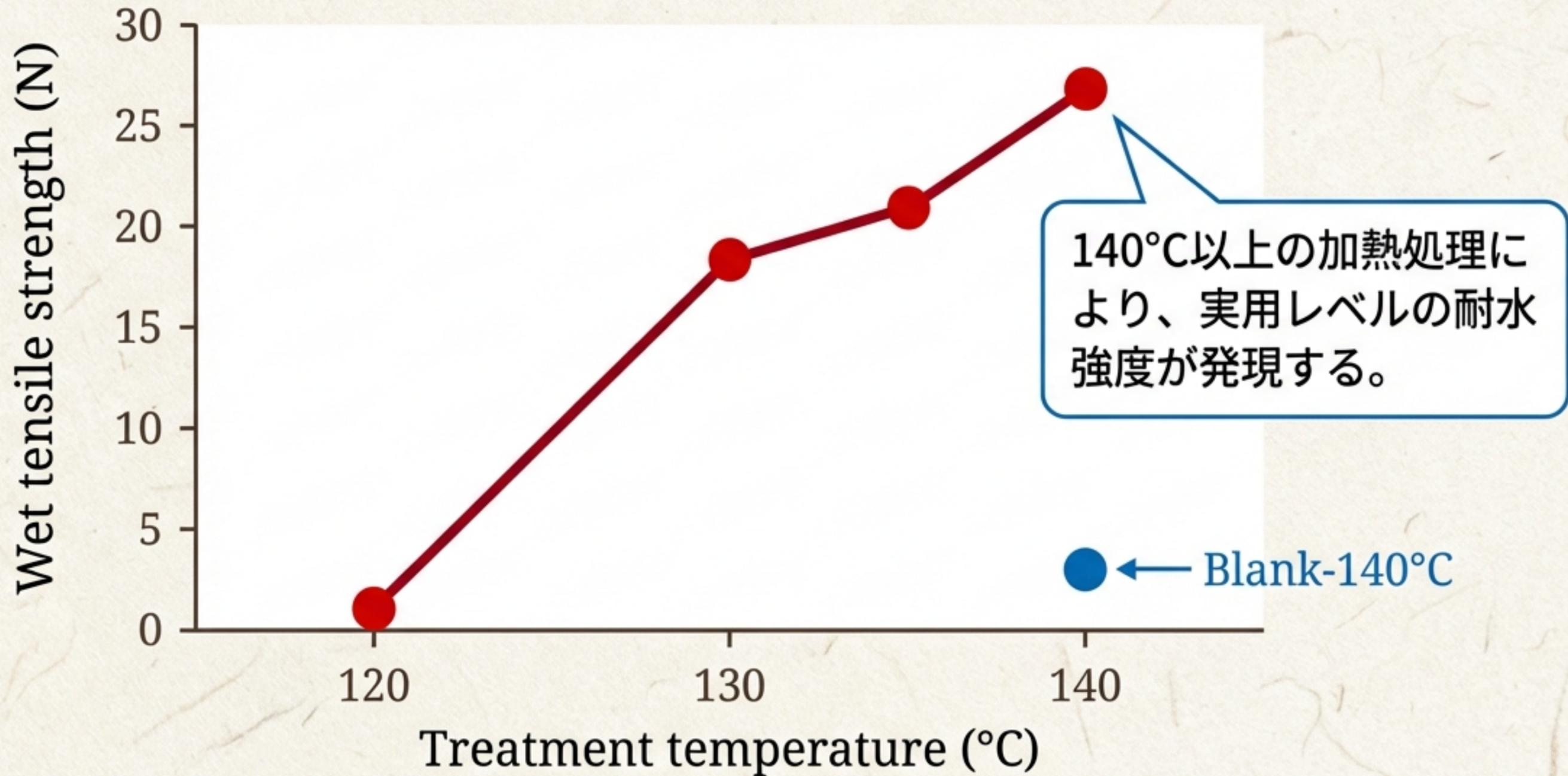
140°C - 150°C

**架橋
(Cross-linking)**



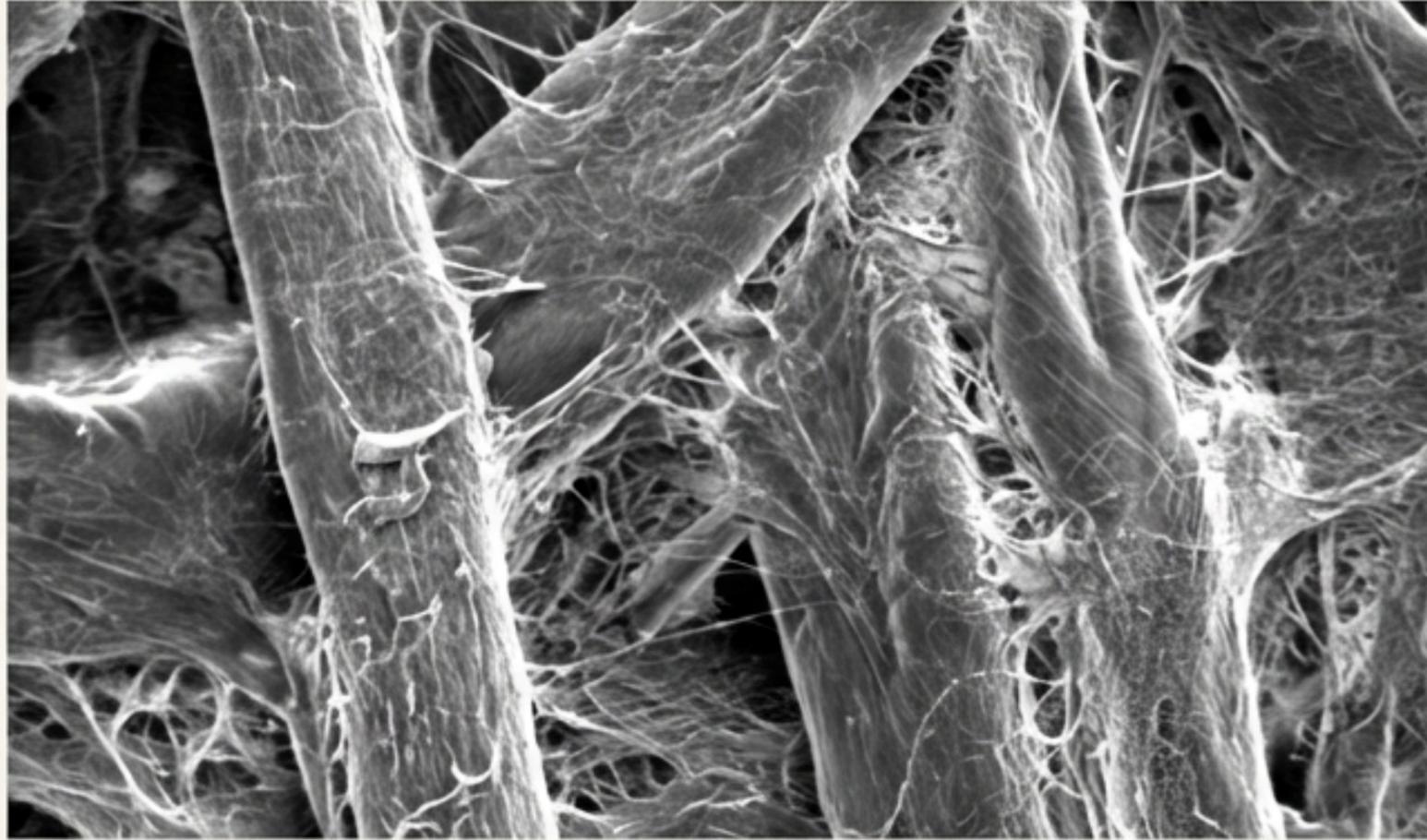
加熱によりセルロースとリン酸がエステル結合を形成。この化学的結合が水の侵入を防ぎ、強度を生み出す。

劇的な湿潤紙力強度の向上

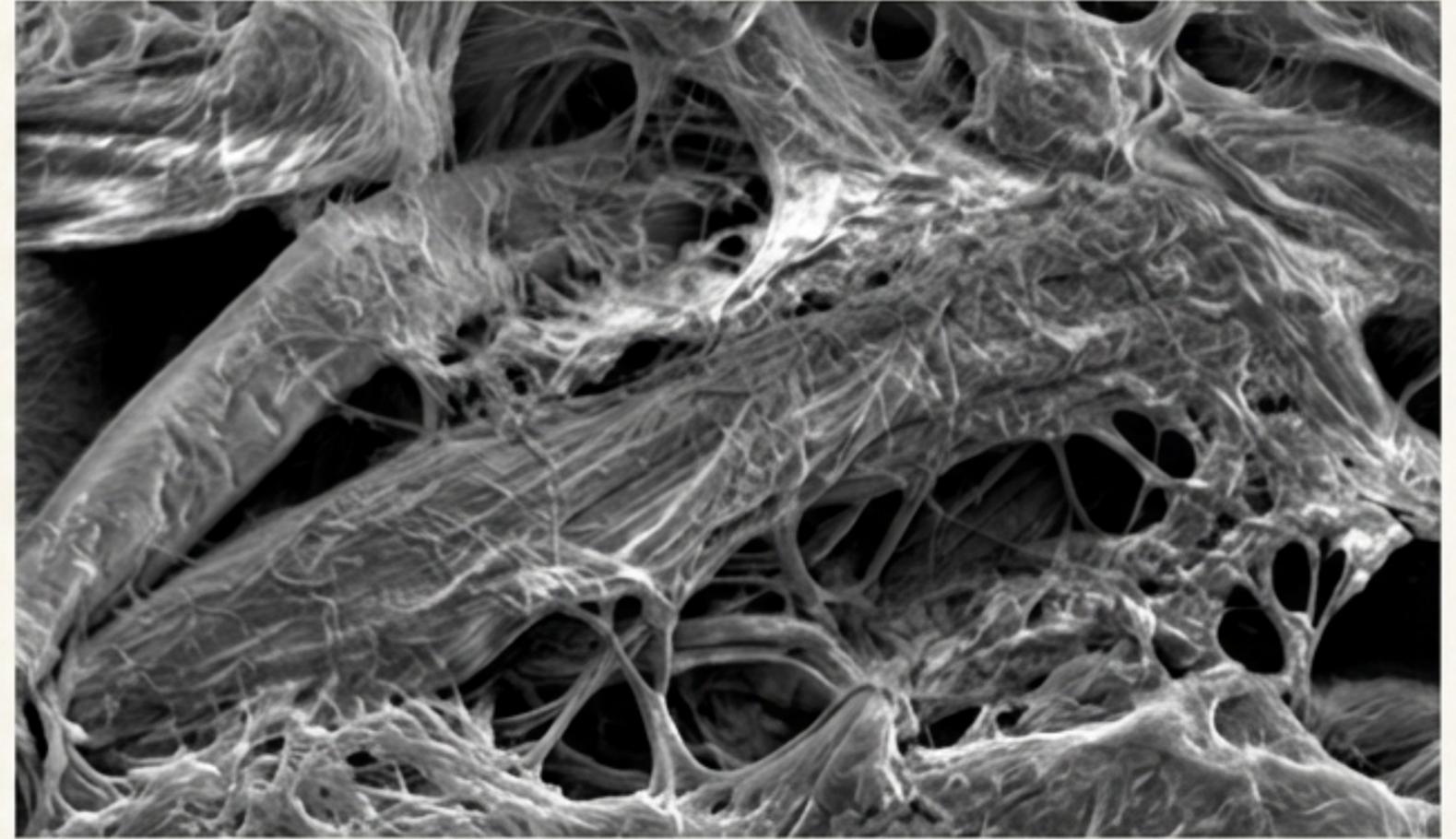


繊維表面のミクロ構造変化

未処理 (Untreated)



処理済み (Treated)

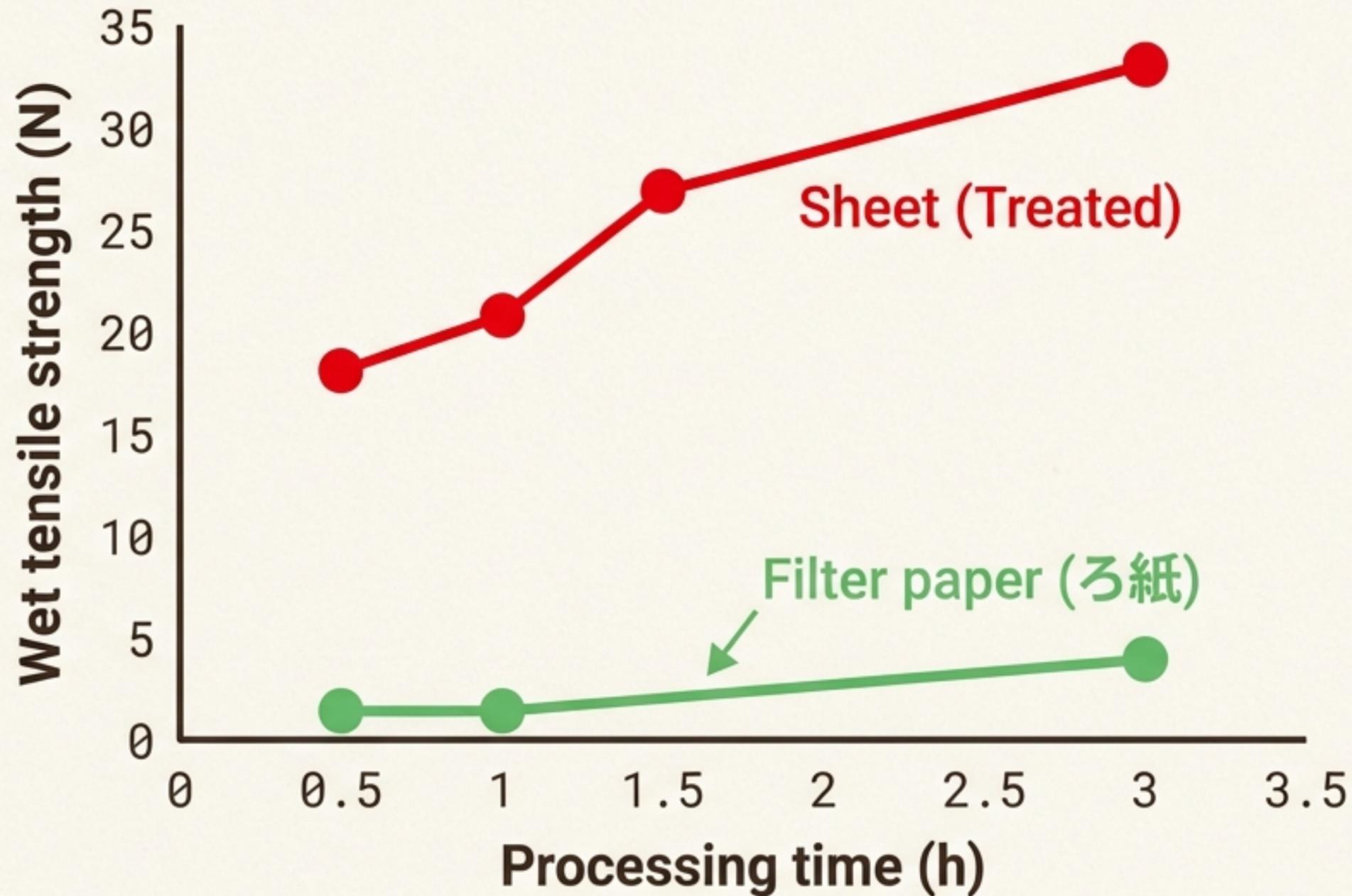


未処理 (Untreated)

処理済み (Treated)

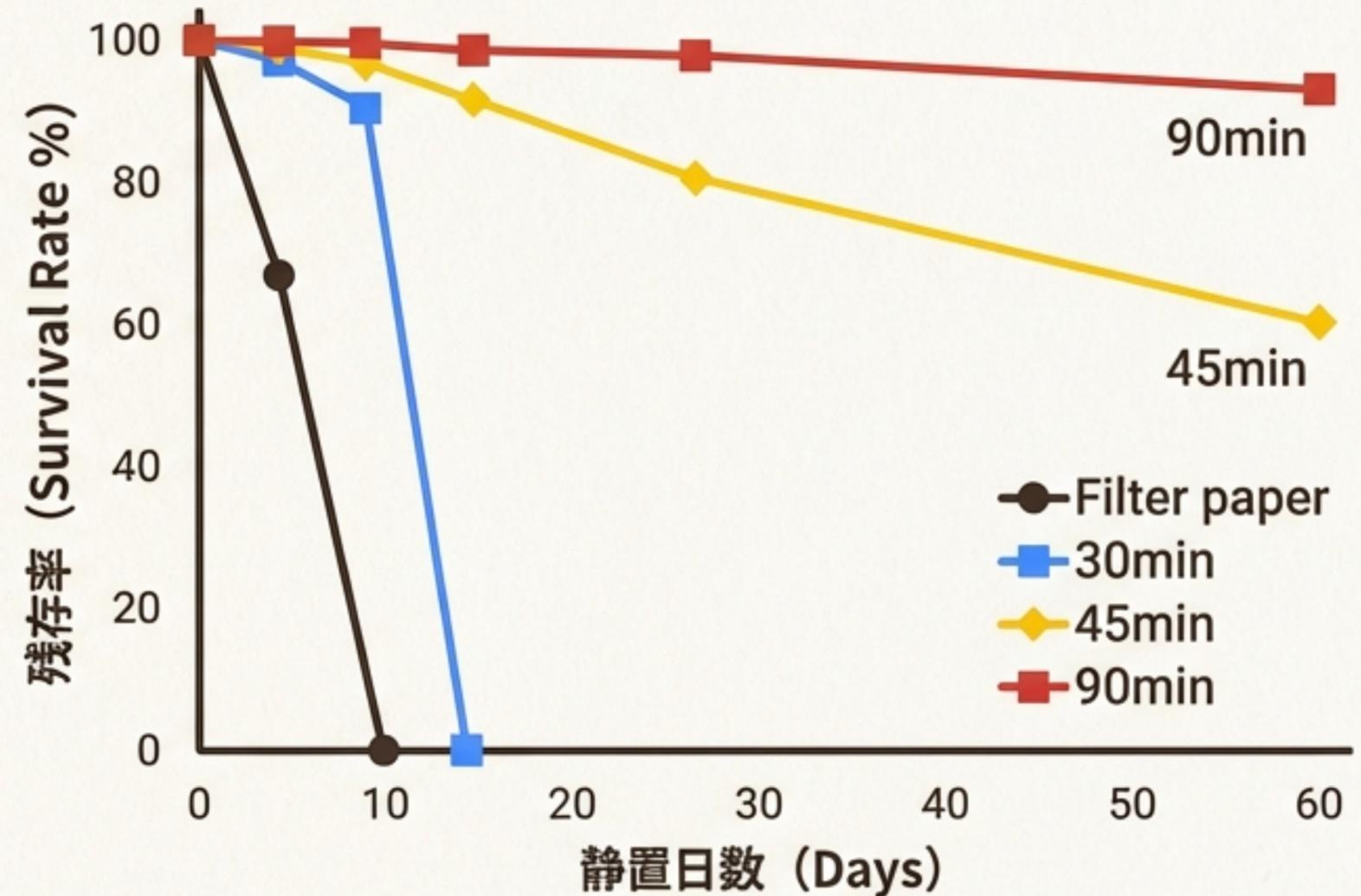
物理的な絡み合いだけでなく、化学的な結合と皮膜形成が観察される。

酵素による分解性の制御



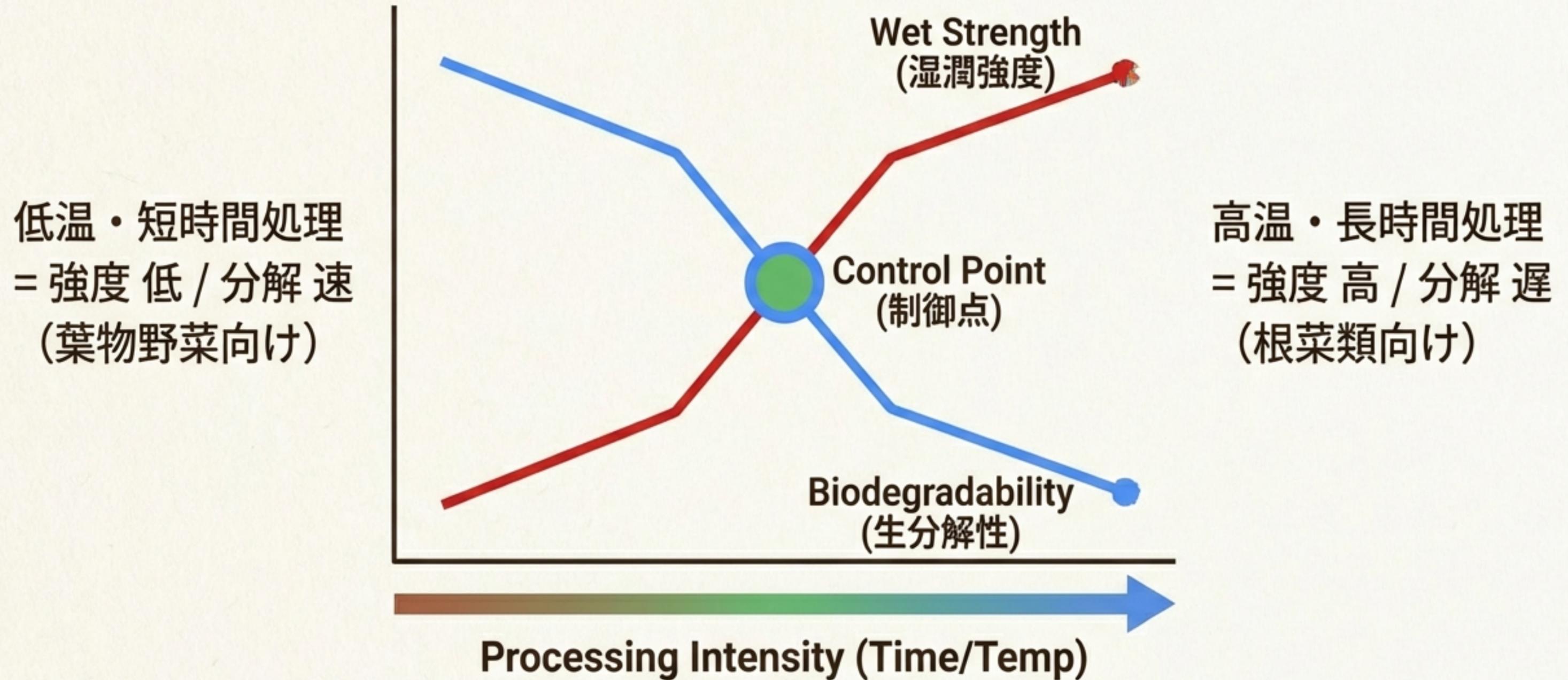
架橋密度が高まる（処理時間が長い）ほど、酵素（セルラーゼ）の攻撃を受けにくくなる。

土壌埋没試験：自然界での分解

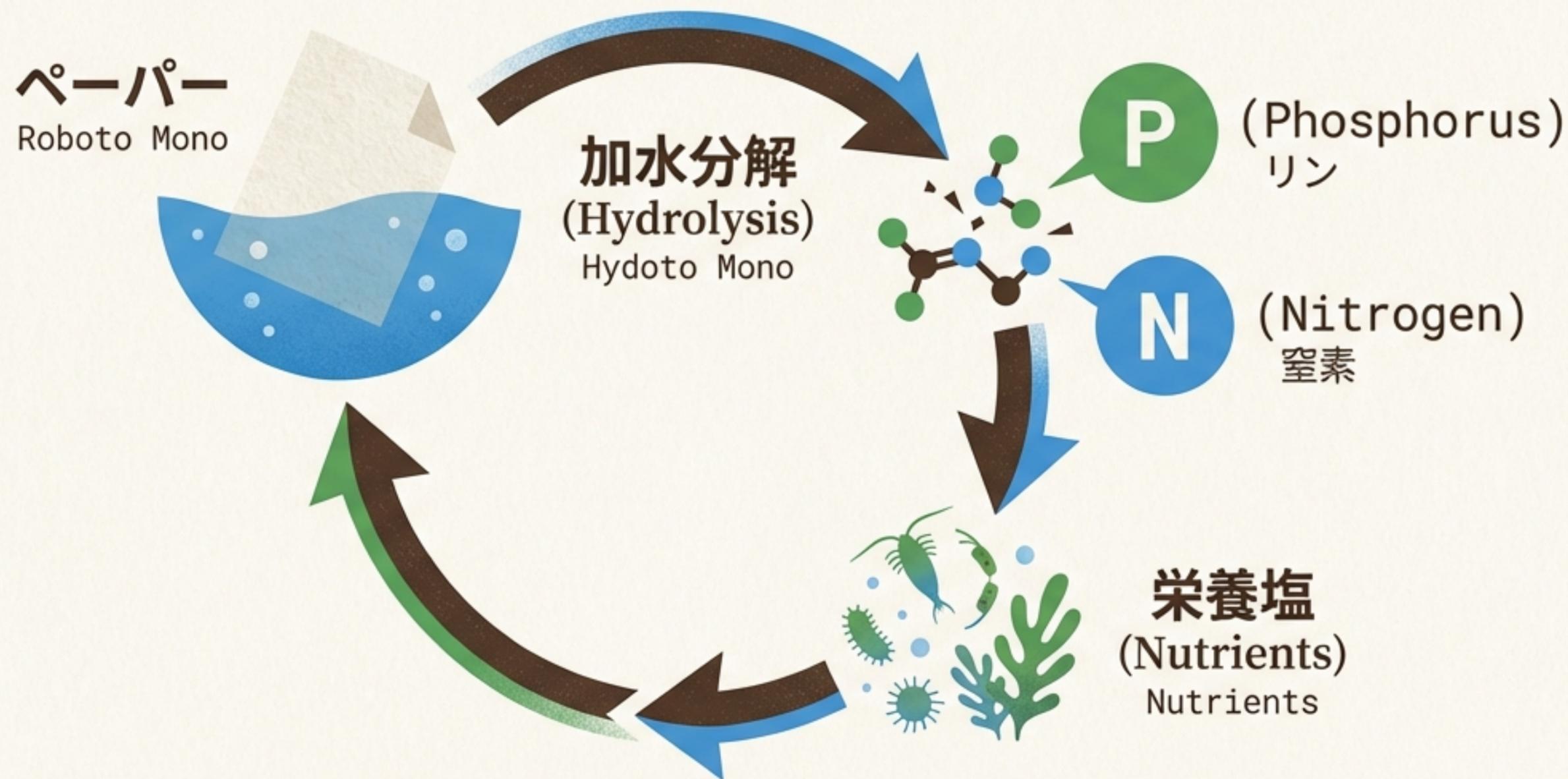


処理条件（温度・時間）を変えるだけで、土に還るスピードを自在に調整できる。

強度と生分解性のトレードオフ

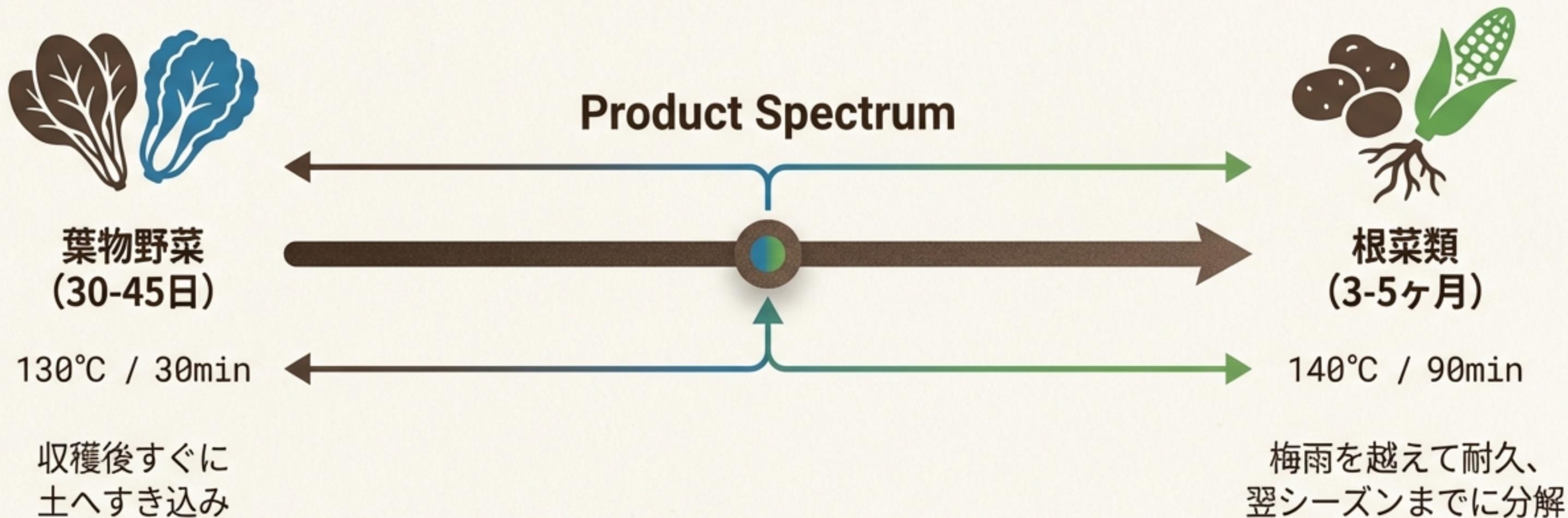


海洋分解と栄養塩の循環



もし農業用水を通じて海や川に流出しても、マイクロプラスチックにはならない。
分解され、リンと窒素が栄養として循環する。

作物に合わせた「オーダーメイド」マルチ



収穫時期と分解時期を同期させることで、廃棄作業をゼロにする。

研究のまとめ

- **エステル結合 (Ester Bonding):** リン酸と尿素を用い、セルロース間に強固な化学的架橋を形成。

- **湿潤紙力 (Wet Tensile Strength):** 140°Cの加熱処理により、27Nの実用強度を達成。

- **生分解性制御 (Biodegradability Control):** 処理強度と分解速度の逆相関を利用し、用途に応じた寿命制御が可能。

持続可能な農業サイクルを目指して

- 廃棄物ゼロ
- 回収作業ゼロ
- 栄養塩循環

機能性紙素材が、農業の未来と地球環境を守る。

