

植物が支える未来

「セルロースナノファイバーの製造と応用」

京都大学 生存圏研究所
阿部 賢太郎

2014.6.6 生存圏フォーラム特別講演会



薰蓋樟


幹周 12.5m
樹高 24.4m
樹齡 1000年

峰定寺の三本杉

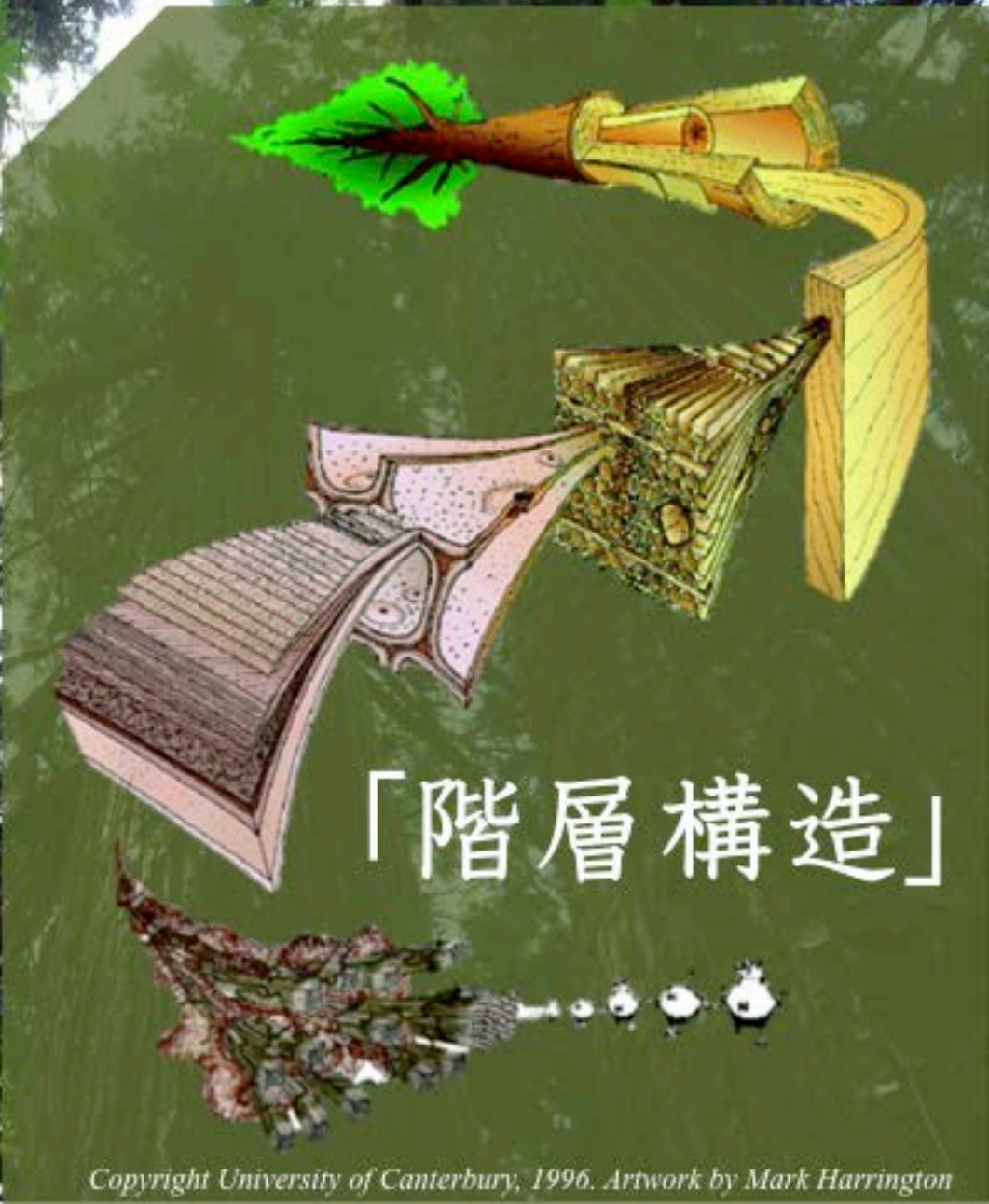
幹周 13.6m

樹高 35m

樹齡 1200年



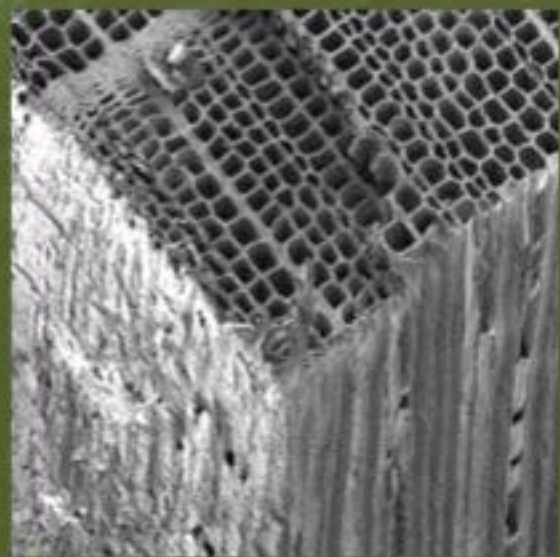
どうやってその巨体を
支えているの？



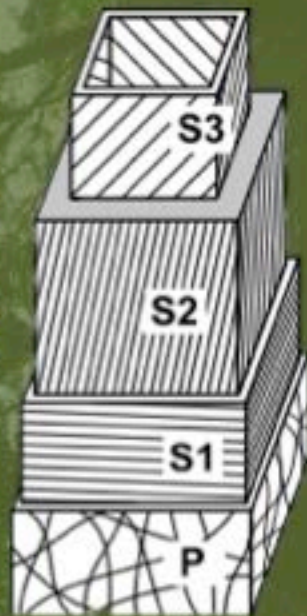
「階層構造」

樹木を支える階層構造

中空の細胞



多層の細胞壁

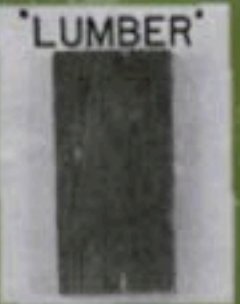



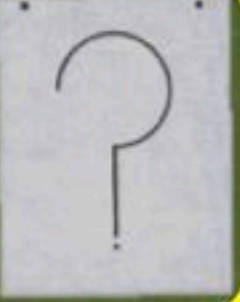


繊維強化複合体

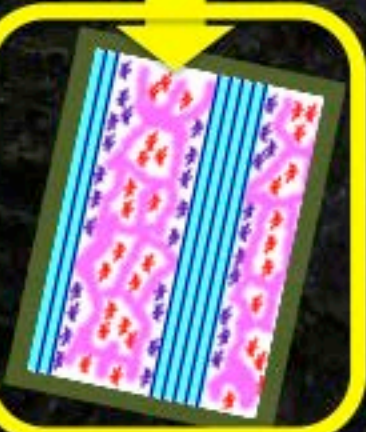
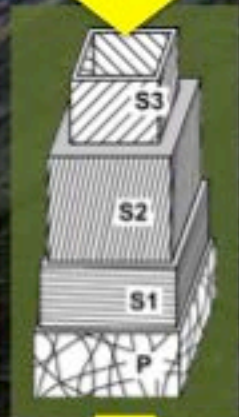
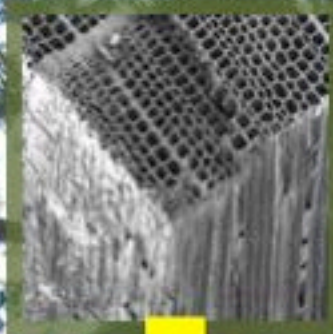


樹木を支える階層構造 → “階層的利用”

TABLE OF WOOD ELEMENTS

LOGS 	LUMBER 	THIN LUMBER 	VENEER 	LONG FLAKES 
CHIPS 	FLAKES 	EXCELSIOR 	STRANDS 	PARTICLE'S 
FIBER BUNDLES 	PAPER FIBER 	WOOD FLOUR 	CELLULOSE 	

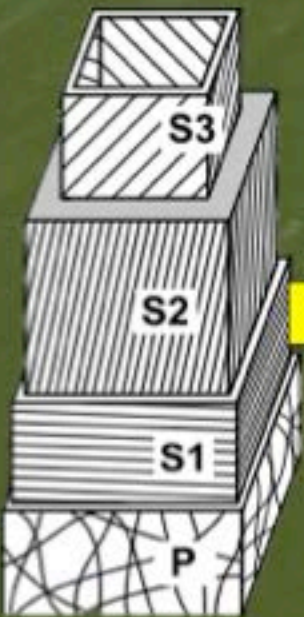
"The future of engineered wood materials", Marra GG, Forest Products Journal, 2006, 56(1), 20-25



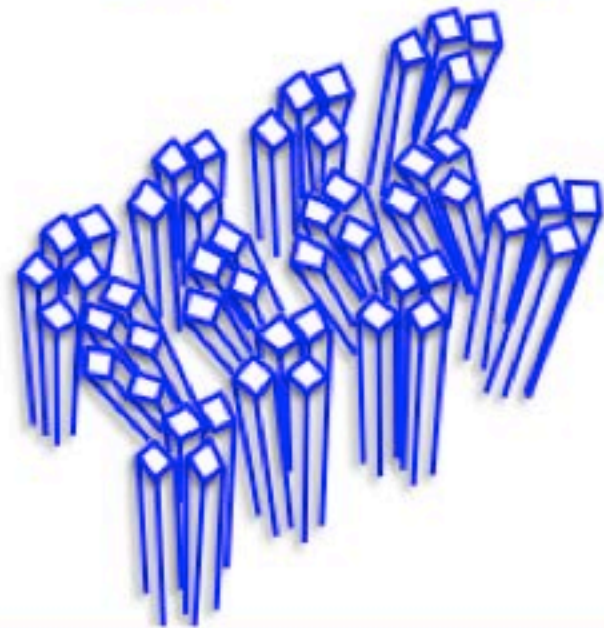
セルロースはどこに？

多層の細胞壁

繊維強化複合体



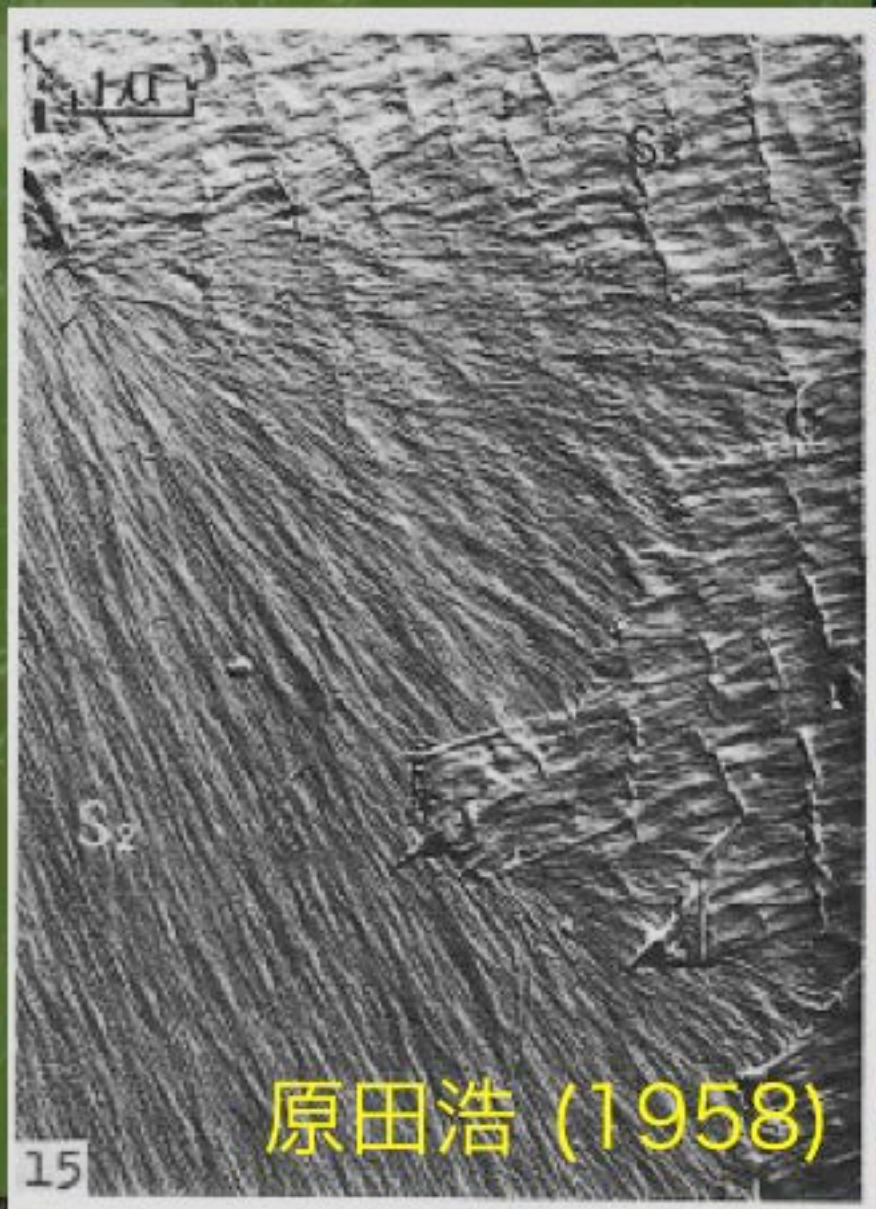
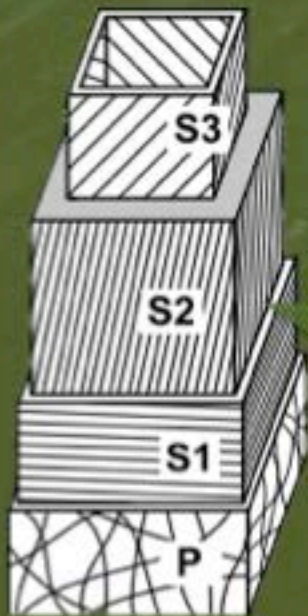
「セルロース」



リグニン
ヘミセルロース

セルロースはどこに？

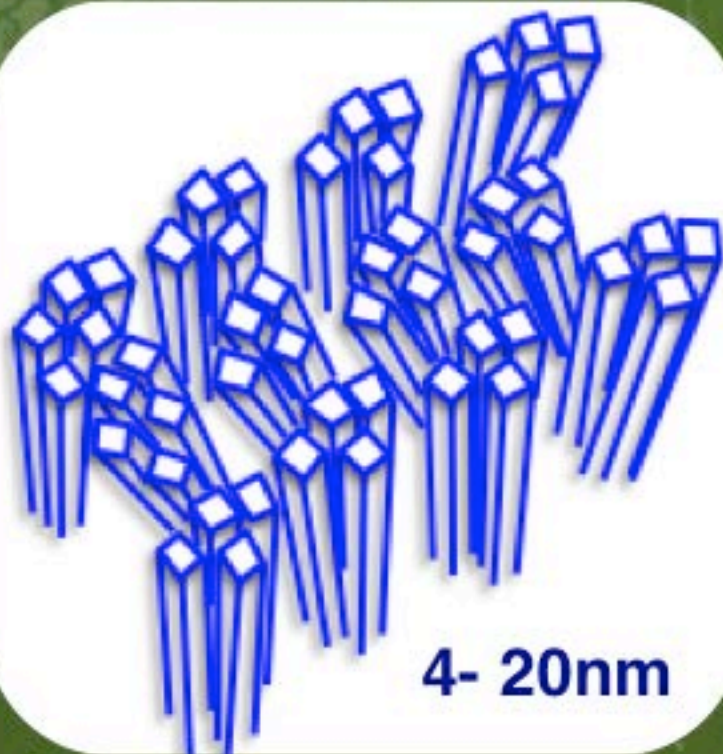
多層の細胞壁



原田浩 (1958)

「セルロースマイクロファイバー」

植物細胞壁の「骨格成分」



天然由来の
結晶性ナノファイバー

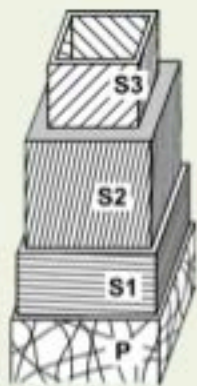
鋼鉄の 4-7 倍
優れた引張強度

石英ガラス並みの
低熱膨張性

「セルロースナノファイバー」

「セルロースナノファイバー」の製造

植物細胞壁



①
精製



精製パルプ



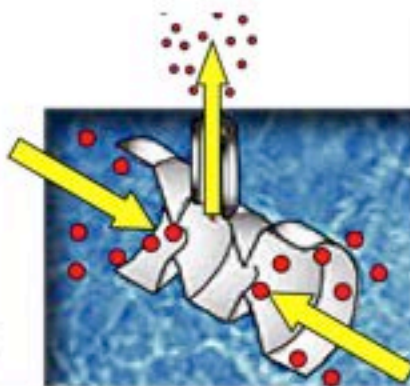
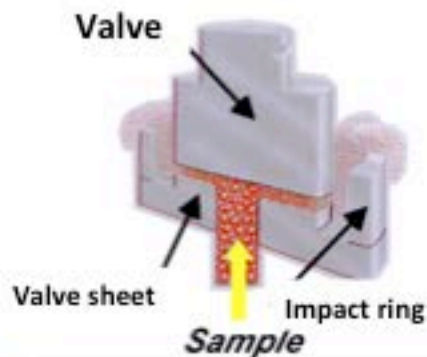
②
解繊



「ナノファイバー」

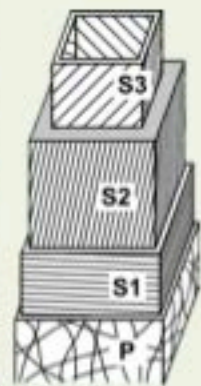


様々な解繊装置



「セルロースナノファイバー」の製造

植物細胞壁



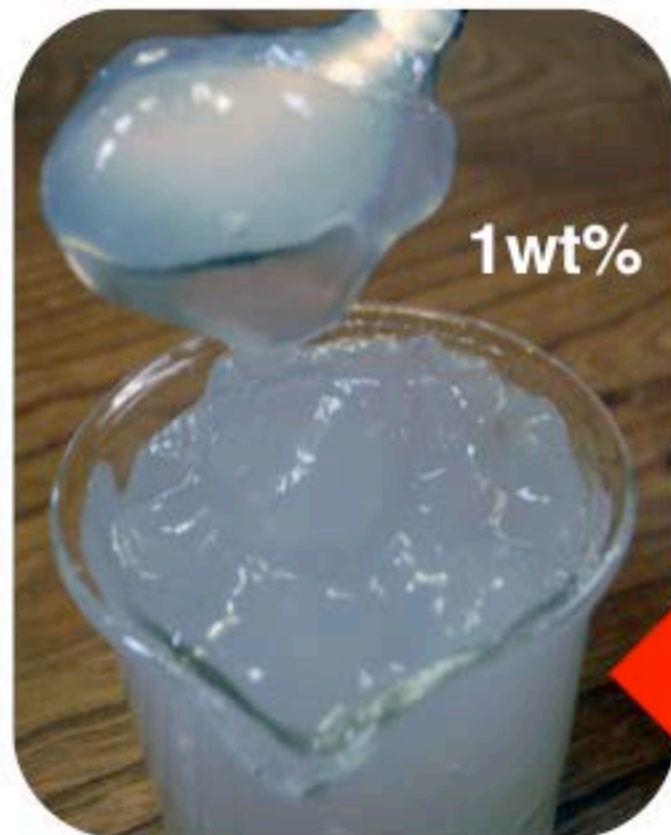
精製パルプ

①
精製

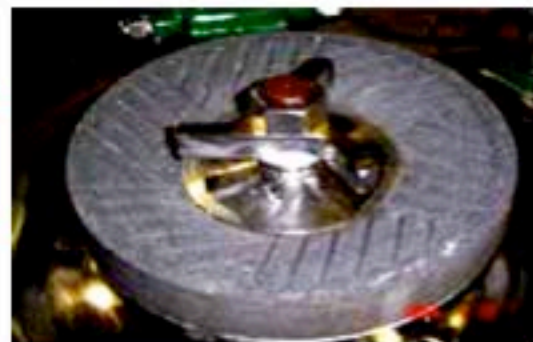


「ナノファイバー」

②
解繊



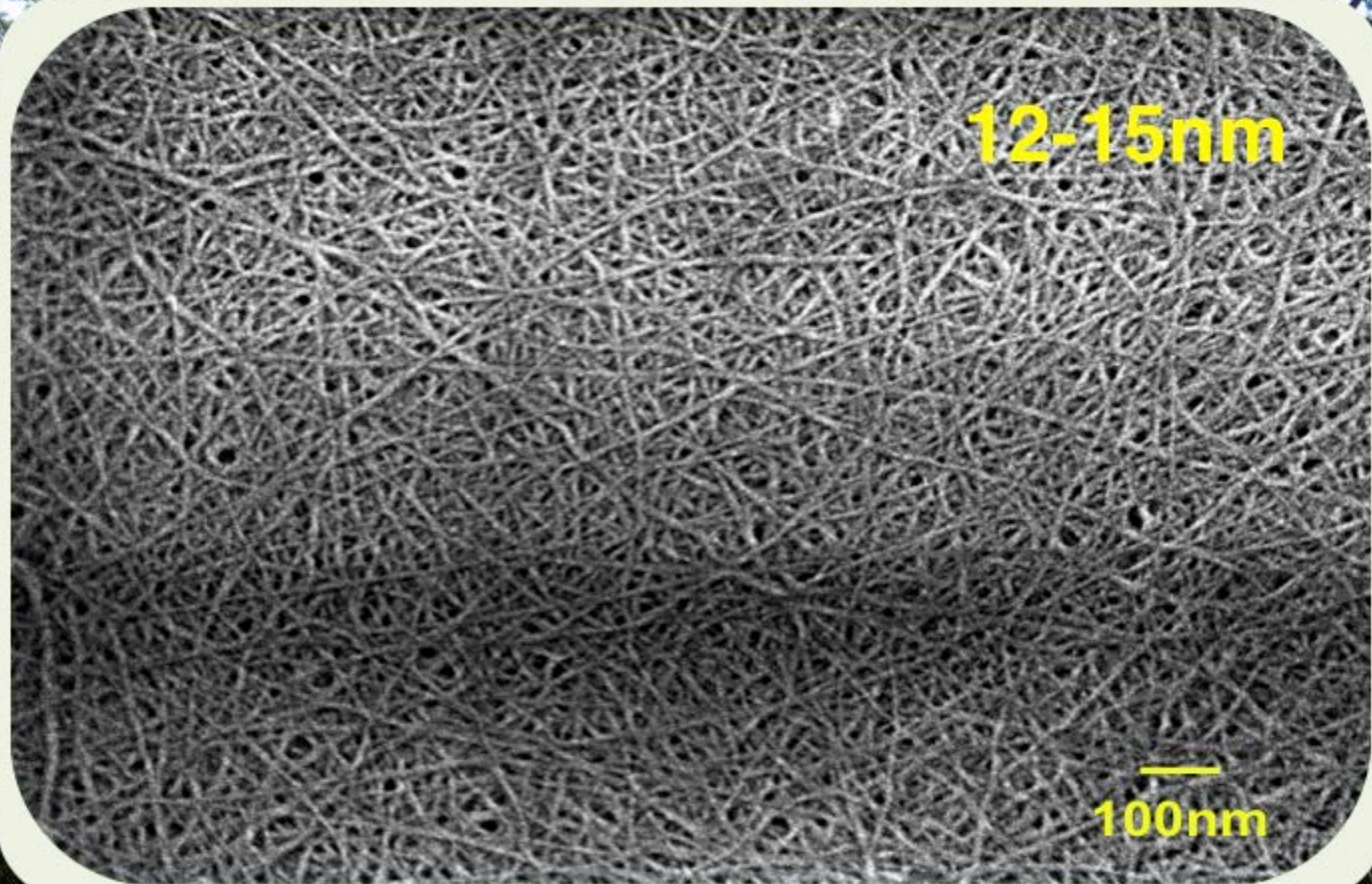
磨砕機 1回



「セルロースナノファイバー」の製造

12-15nm

100nm



「セルロースナノファイバー」の強さ

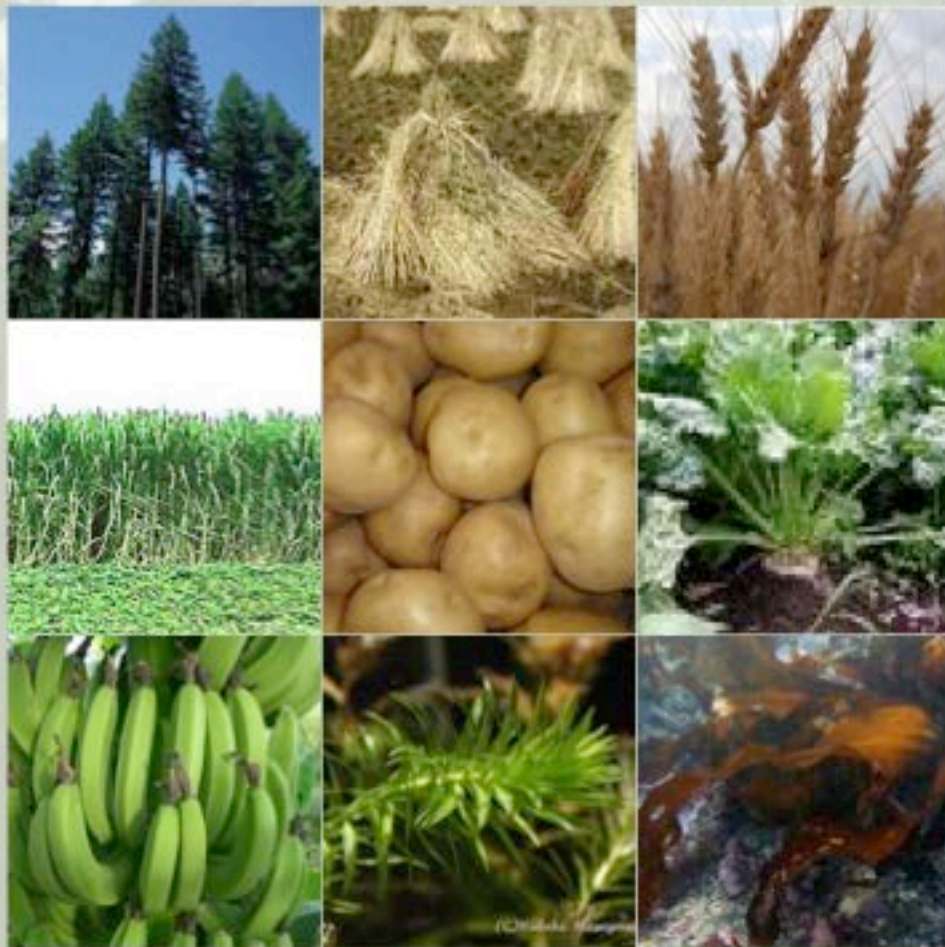
鋼鉄より強い「紙」



	密度 (g/cm ³)	強度 (MPa)	比強度
鋼鉄	8	400-800	50-100
マグネシウム 合金	1.8	230-320	128-178
セルロース ナノペーパー	1.55	280	180

「セルロースナノファイバー」の原料

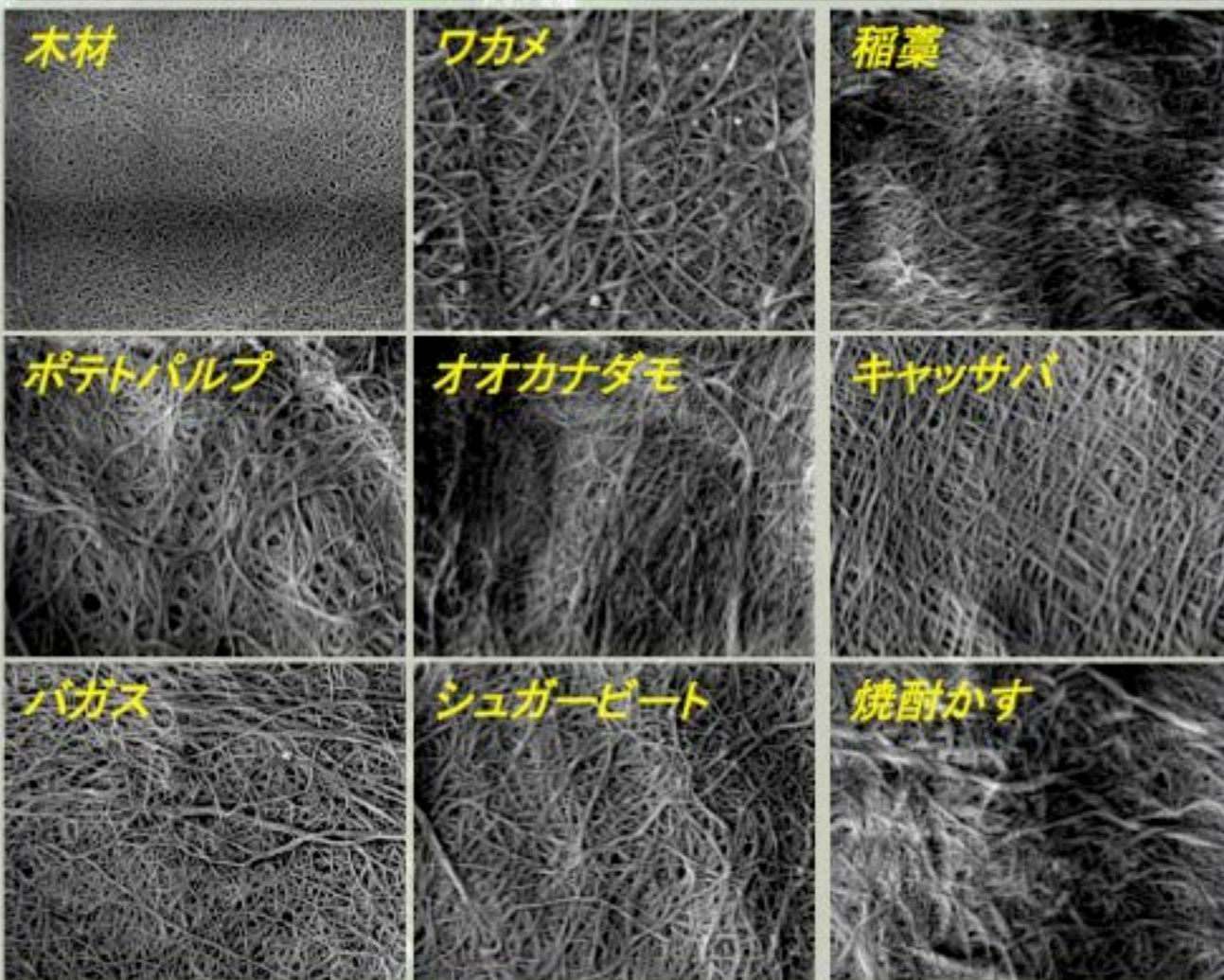
植物細胞壁の「骨格成分」



樹木, 竹,
稲・麦わら,
ポテトパルプ,
シュガービート,
サトウキビかす,
ジュース残渣,
バナナ, 豆がら,
水草・藻類

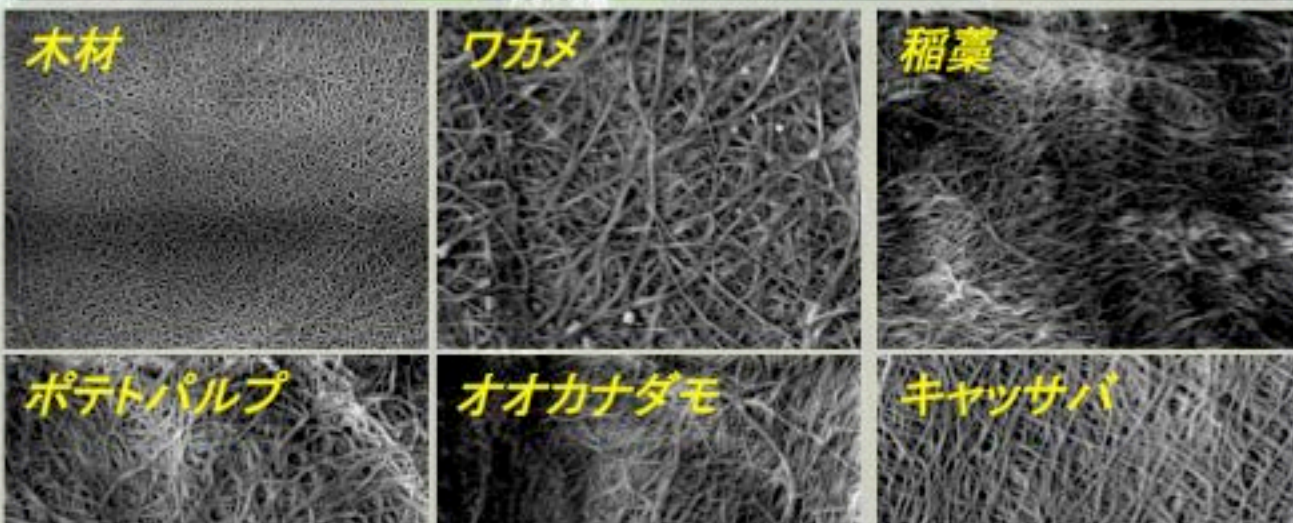
「セルロースナノファイバー」の原料

植物細胞壁の「骨格成分」



「セルロースナノファイバー」の原料

植物細胞壁の「骨格成分」



高等植物において
セルロースナノファイバーの性質は
原料によらず、ほぼ同等

「セルロースナノファイバー」の応用



天然由来の
結晶性ナノファイバー

鋼鉄の 4-7 倍
優れた引張強度

石英ガラス並みの
低熱膨張性

樹脂の補強繊維、フレキシブル透明基板、
フィルター部材、高ガスバリア包装、等々

「ファイバー」の応用



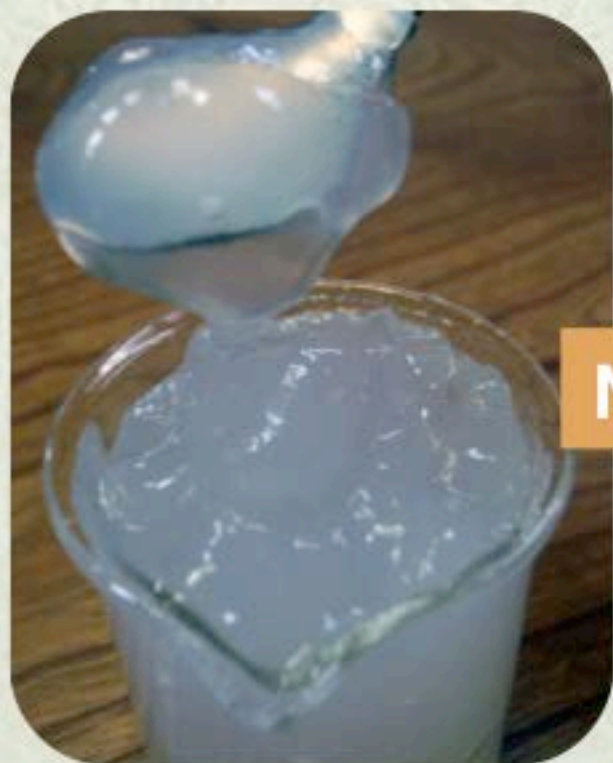
軽量・高強度 車のボディに



高強度・低熱膨張 有機EL
ディスプレイの基板に

樹脂の補強繊維, フレキシブル透明基板,
フィルター部材、高ガスバリア包装, 等々

「セルロースナノファイバー」の応用



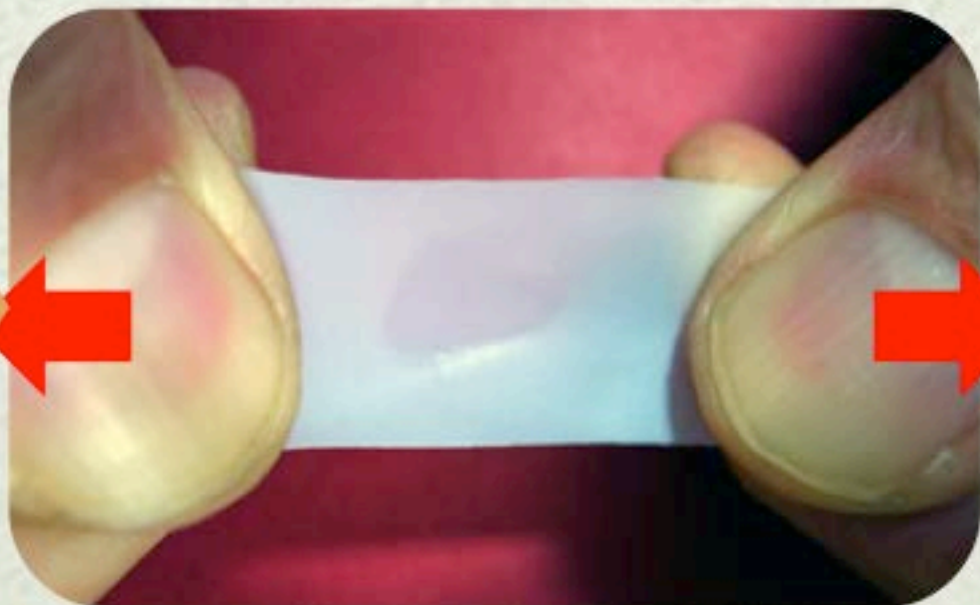
NaOH



「高強度ナノファイバーゲルの開発」

- 溶解不要. NaOH水溶液のみで作製
- 結晶性ナノ骨格による優れた引張強度

「セルロースナノファイバー」の応用



「高強度ナノファイバーゲルの開発」

- 溶解不要. NaOH水溶液のみで作製
- 結晶性ナノ骨格による優れた引張強度

「セルロースナノファイバー」の応用

ナノファイバー



ゲル化



「紡糸」



「新しい天然由来の高強度繊維」

溶解不要. NaOHで簡便に作製

(従来は二硫化炭素や銅アンモニアにより溶解)

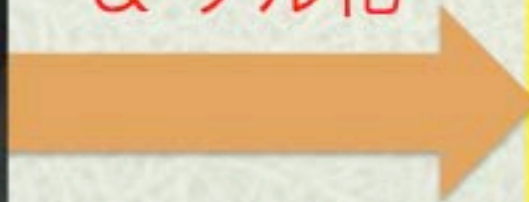
高結晶性を保持し, 天然系で高強度を実現

「セルロースナノファイバー」の応用

パルプ



ナノ解繊
& ゲル化



「紡糸」



「新しい天然由来の高強度繊維」

溶解不要. NaOHで簡便に作製

(従来は二硫化炭素や銅アンモニアにより溶解)

高結晶性を保持し, 天然系で高強度を実現

「セルロースナノファイバー」の応用

「生活の基盤材料」

綿や紙と同様に
ナノセルロースの
幅広い用途展開

セルロースって何？
何ができるの？



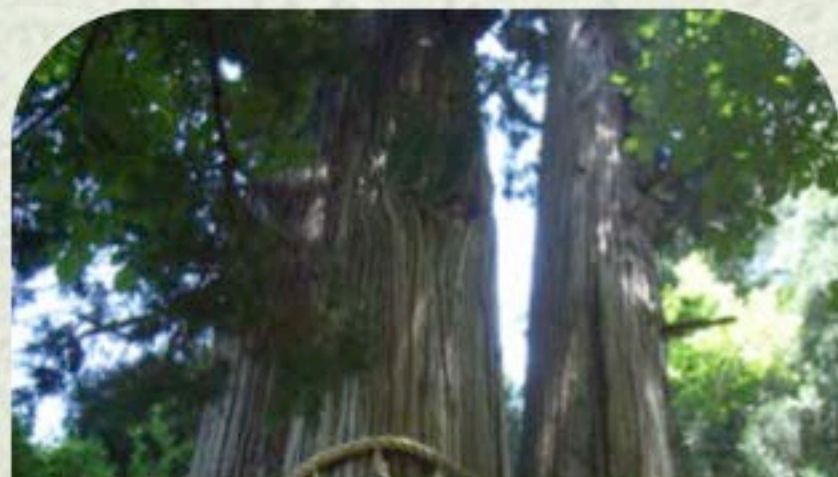
「セルロースナノファイバー」の応用

「生活の基盤材料」

綿や紙と同様に
ナノセルロースの
幅広い用途展開

セルロースって何？
何ができるの？

「植物の基盤物質」



どうやって
その巨体を
支えているの？

「セルロースナノファイバー」の応用

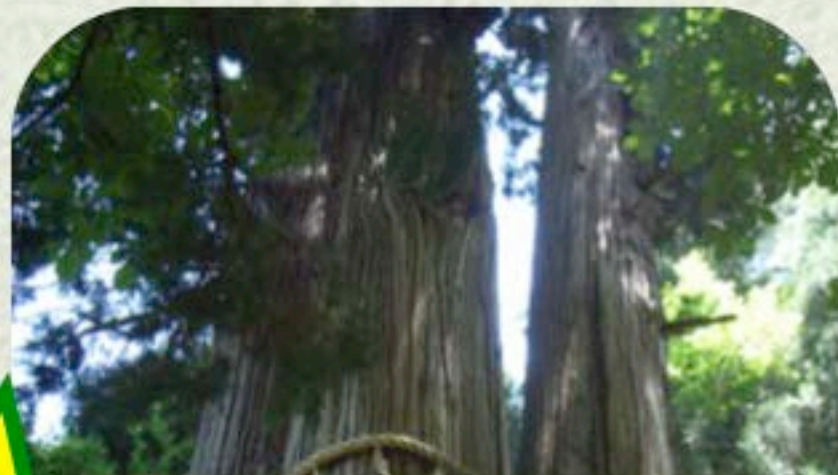
「生活の基盤材料」



ナノファイバーゲル

セルロースって何？
何ができるの？

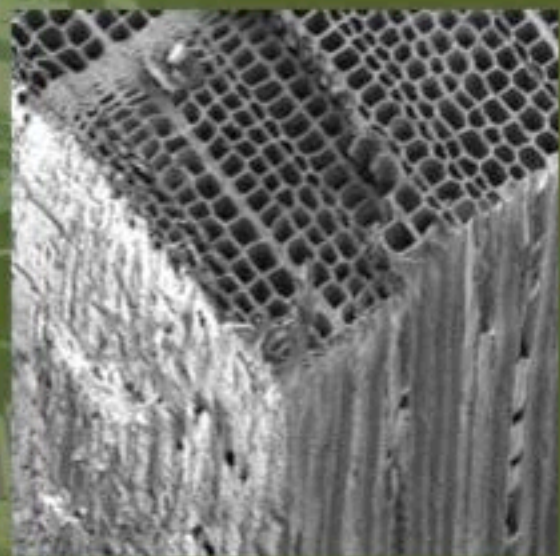
「植物の基盤物質」



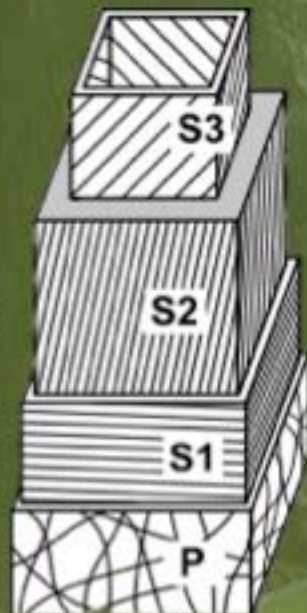
どうやって
その巨体を
支えているの？

どうやってその巨体を支えているの？

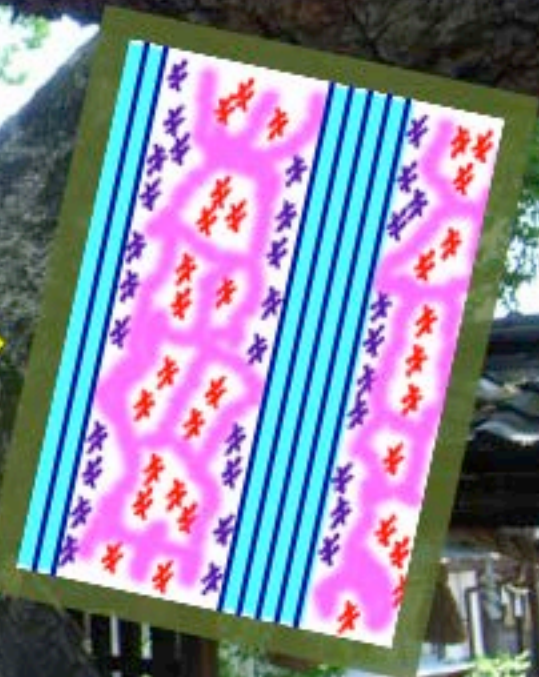
中空の細胞



多層の細胞壁



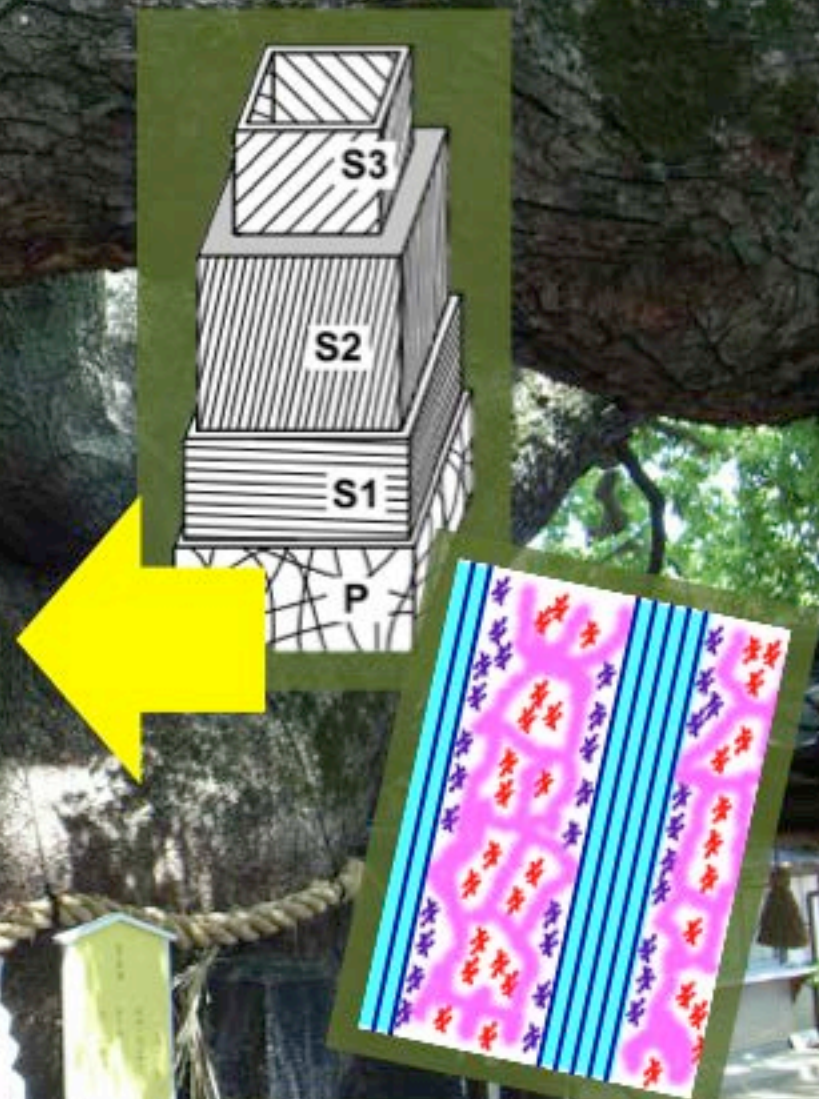
繊維強化複合体



どうやってその巨体を支えているの？



高強度セルロース骨格



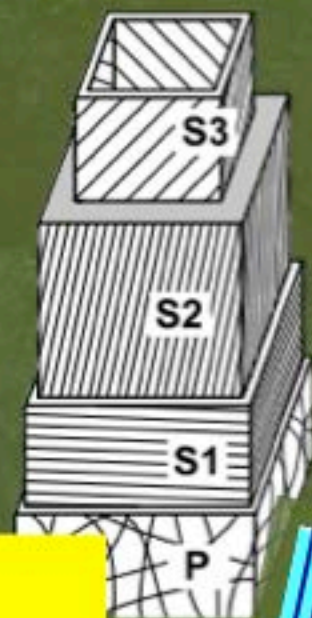
繊維強化複合体

どうやってその巨体を支えているの？

リグニンが堆積



高強度セルロース骨格

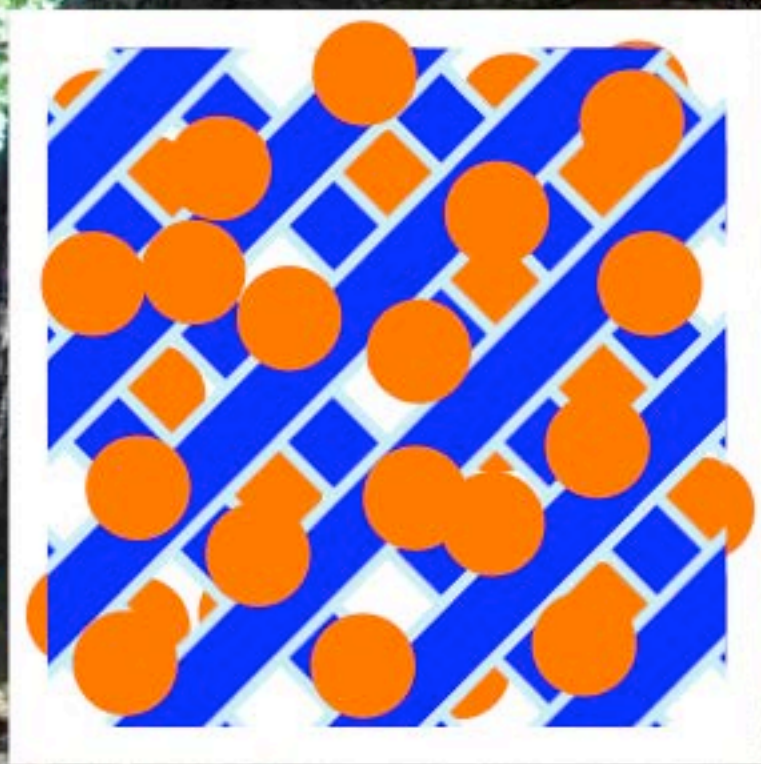


繊維強化複合体

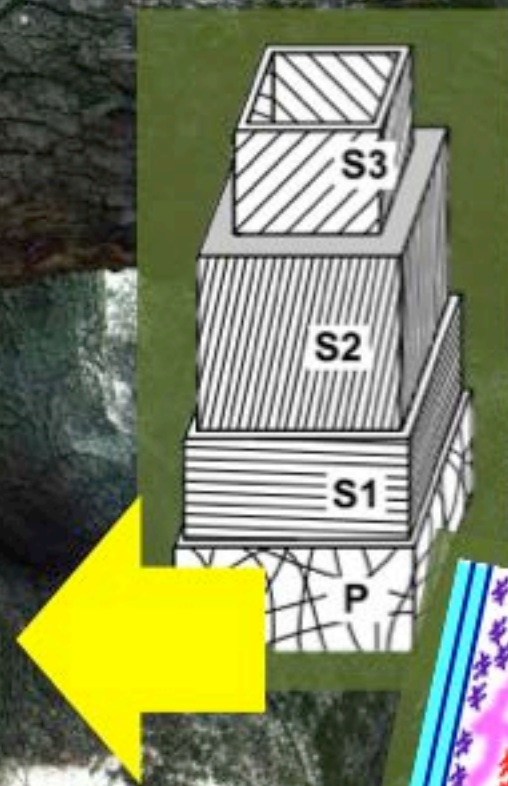


どうやってその巨体を支えているの？

リグニンが堆積



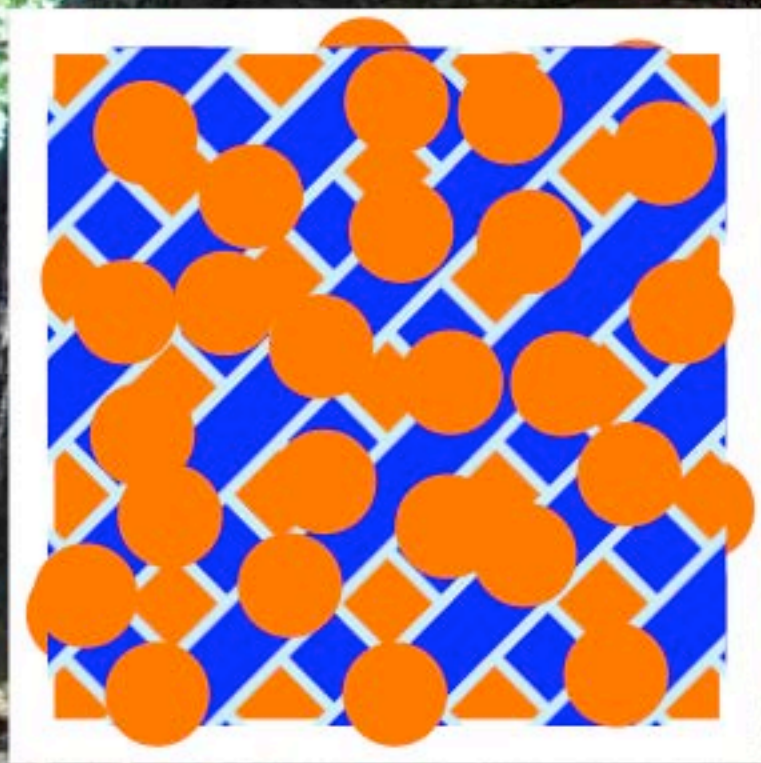
高強度セルロース骨格



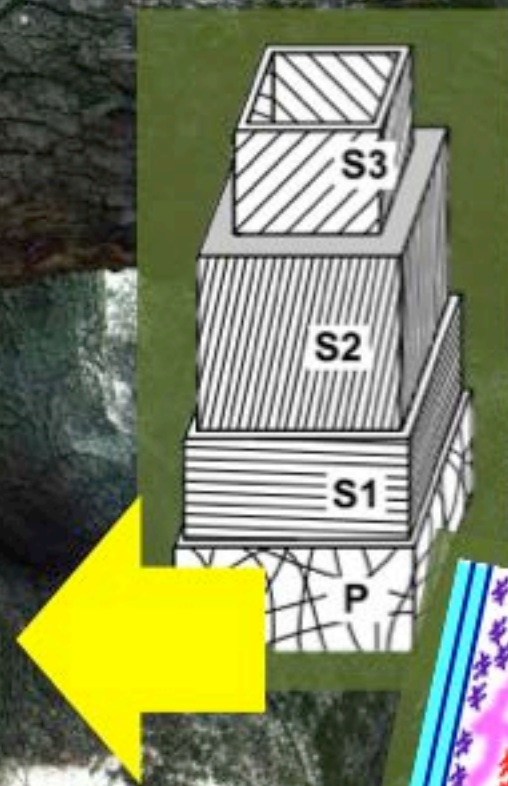
繊維強化複合体

どうやってその巨体を支えているの？

リグニンが堆積



高強度セルロース骨格



繊維強化複合体

どうやってその巨体を支えているの？

リグニンが堆積

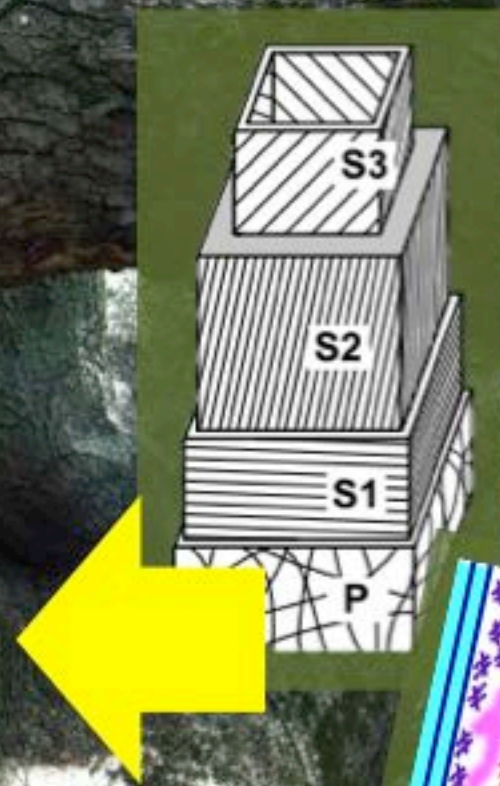


「木化」



引張にも
圧縮にも強い

高強度セルロース骨格



繊維強化複合体

どうやってその巨体を支えているの？

リグニンが堆積



「木化」



引張にも
圧縮にも強い

高強度セルロース骨格

木化は
樹体の支持に
どのように
寄与しているの？

どうやってその巨体を支えているの？

リグニンが堆積



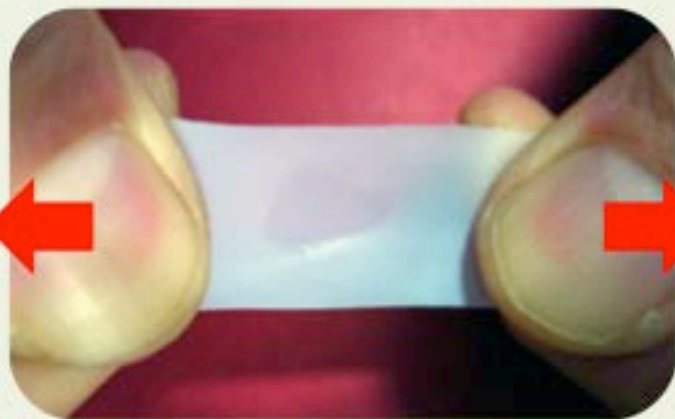
「木化」



引張にも
圧縮にも強い

高強度セルロース骨格

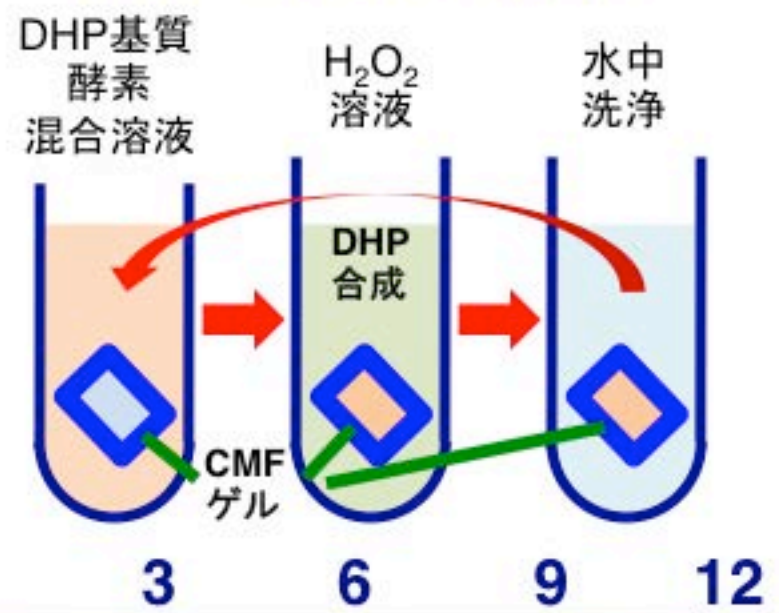
「木化」の寄与を
調べるために



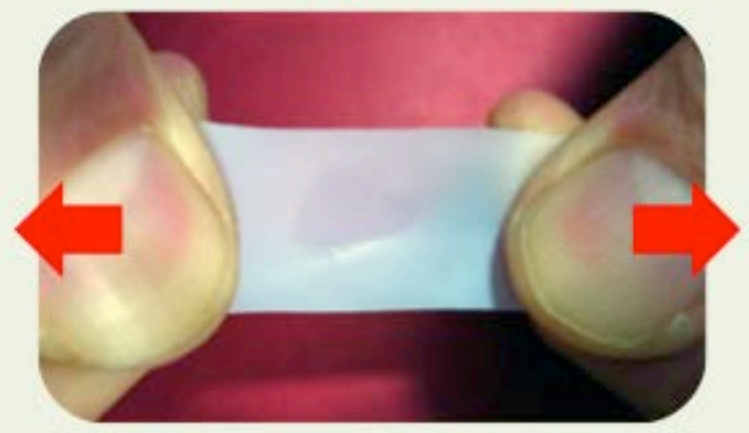
ナノファイバーゲル

どうやってその巨体を支えているの？

ゲルへの人工木化

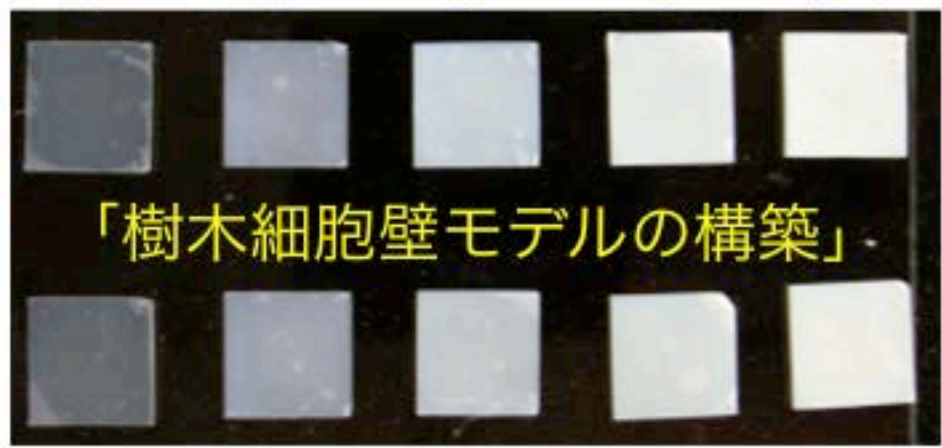


「木化」の寄与を調べるために



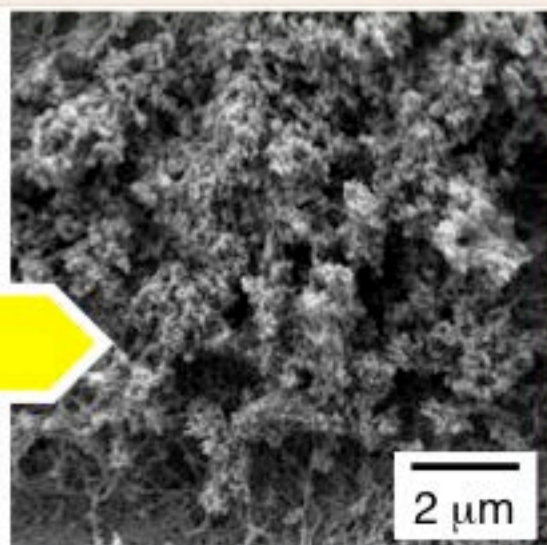
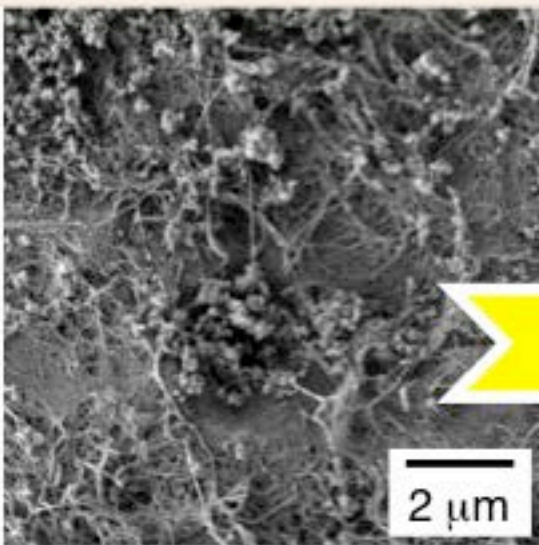
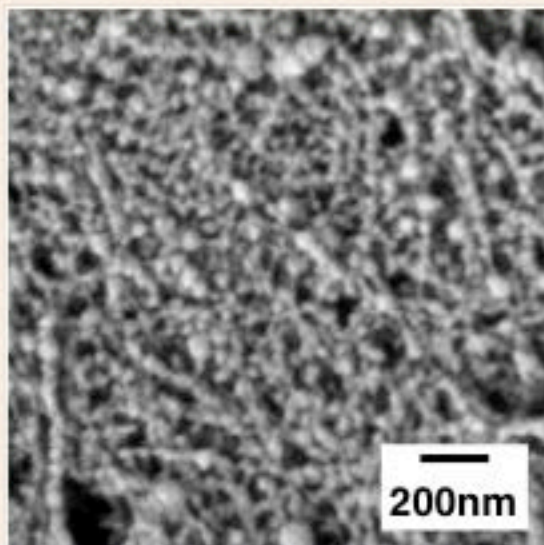
ナノファイバーゲル

「樹木細胞壁モデルの構築」

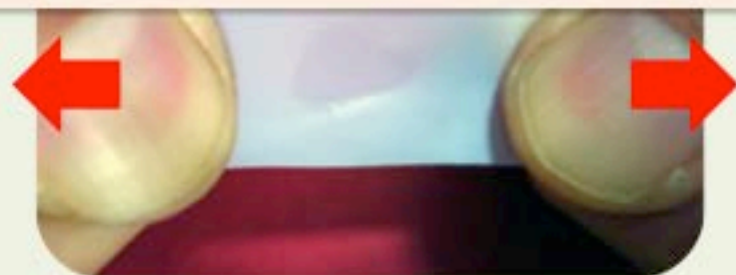
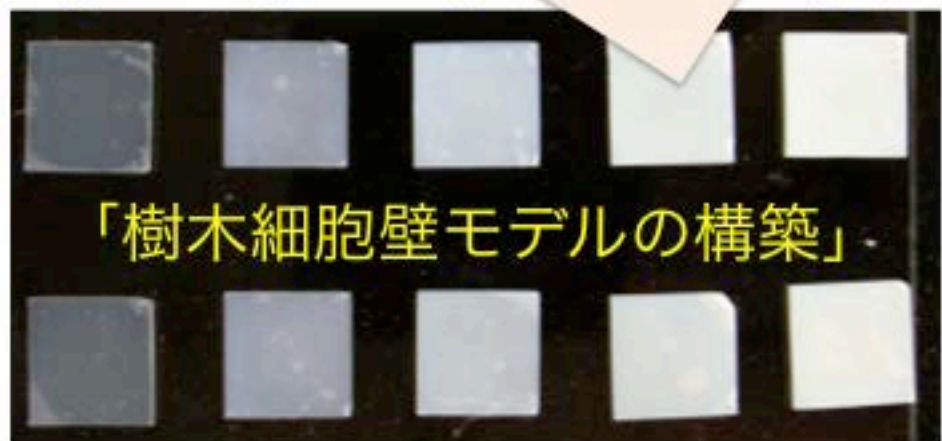


どうやってその巨体を支えているの？

繊維表面やゲル表面が徐々に木化



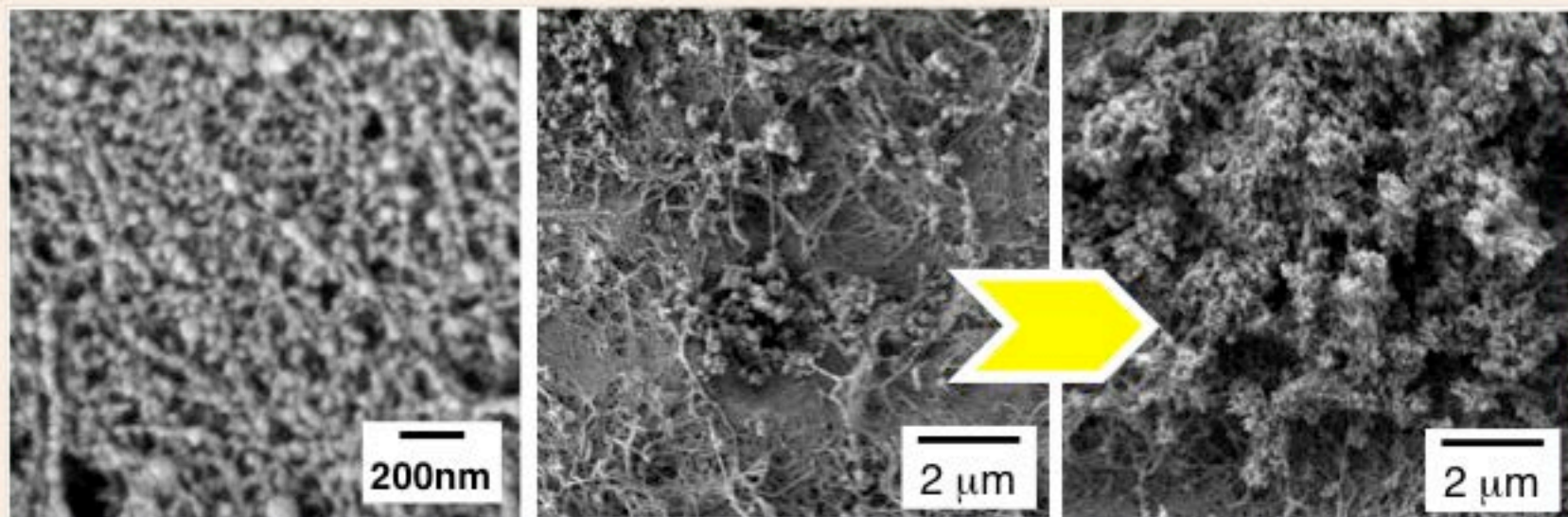
0 3 6 12



ナノファイバーゲル

どうやってその巨体を支えているの？

繊維表面やゲル表面が徐々に木化



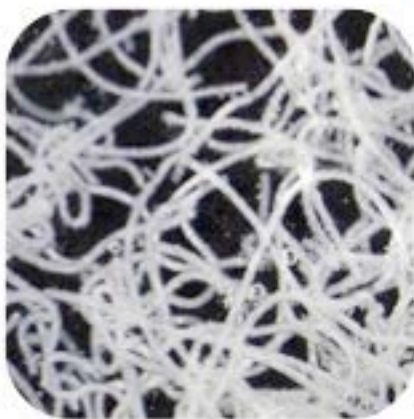
解析項目

- 1.力学試験 → 木化が細胞壁に及ぼす力学的寄与
- 2.観察 → リグニンの構造化プロセス
- 3.ゲルの膨潤測定 → 成長応力発生機構の検証

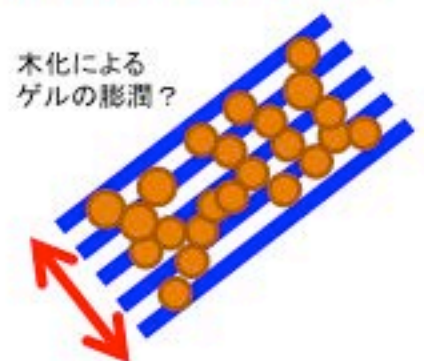
と



樹体支持に不可欠な 成長応力の発生機構を 実験的に検証



二次壁モデル



木化による
ゲルの膨潤？

ゲルの寸法変化による
リグニン膨潤仮説の実証

解析項目

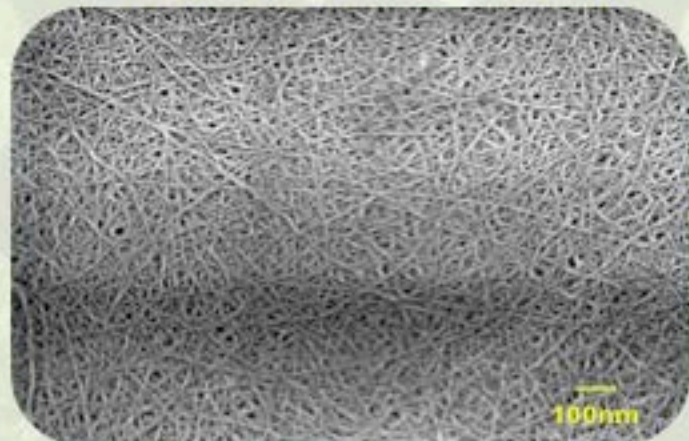
1. 力学試験 → 木化が細胞壁に及ぼす力学的寄与
2. 観察 → リグニンの構造化プロセス
3. ゲルの膨潤測定 → **成長応力**発生機構の検証

「植物」と「セルロースナノファイバー」

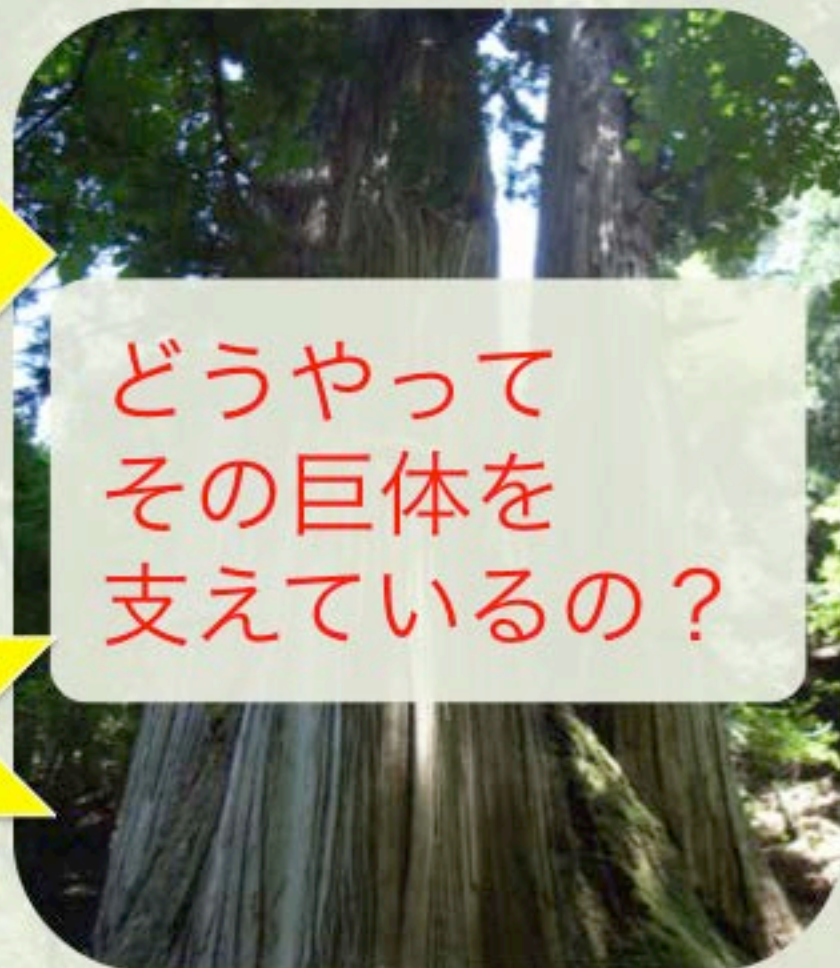
「生活の基盤材料」

ナノセルロースの
幅広い用途展開

セルロースって何？
何ができるの？

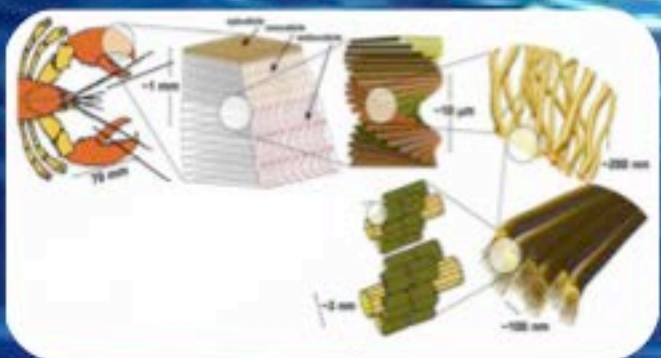


「植物の基盤物質」



どうやって
その巨体を
支えているの？

その他の生体外構造モデルの構築



外骨格モデルを構築し
生体外構造が持つ
強さの秘密を解明

キチンナノファイバーゲル

β -chitin nanofiber



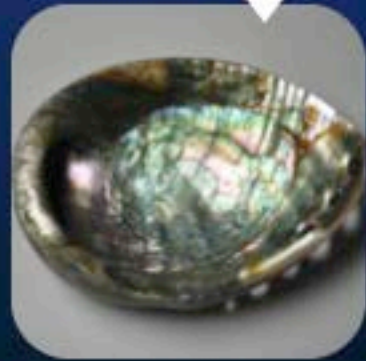
35wt%
NaOH
50°C



+タンパク質の
堆積・架橋

炭酸

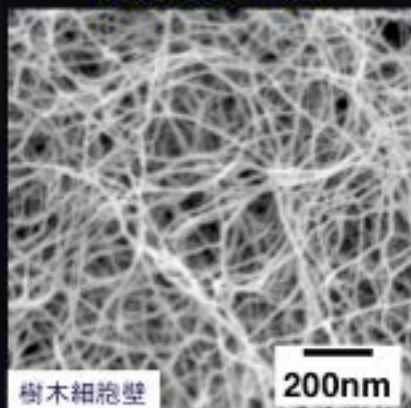
+ カルシウム



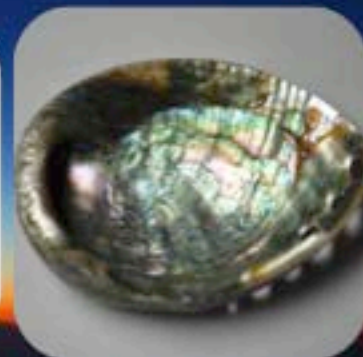
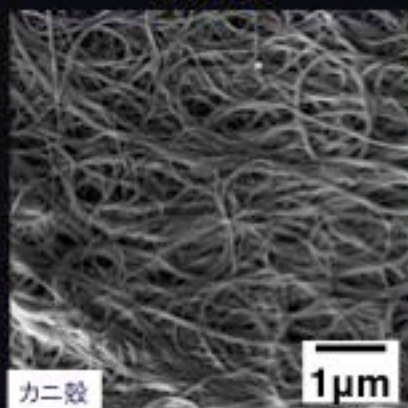
「生活の基盤材料」

「生物の基盤物質」

セルロース



キチン



基礎・応用の両面から
色々な生物材料の機能・役割を解明し、
生物が体を支える仕組みも明らかにする。