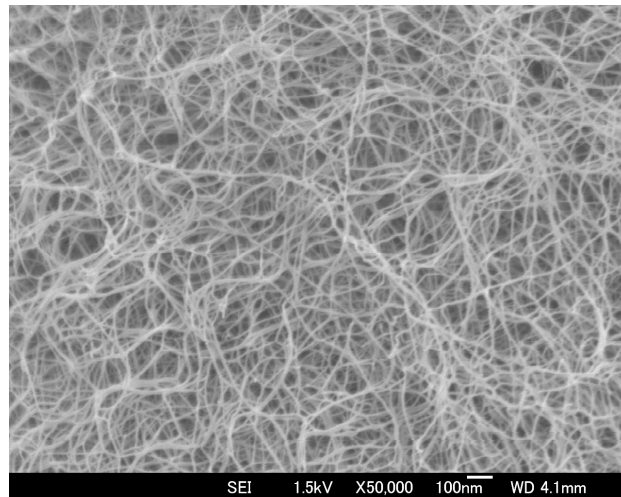


バイオナノファイバーの特徴とその利用

- 樹の気持ちを、材料に -



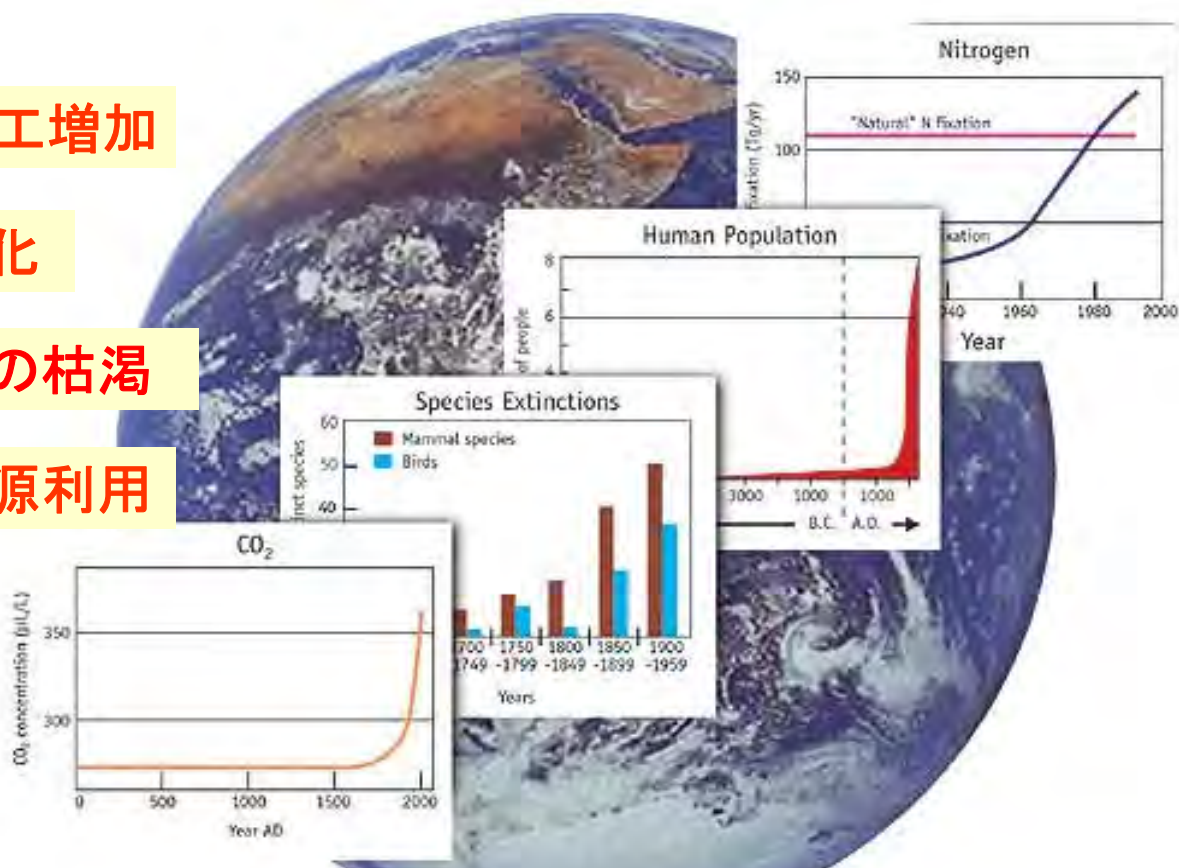
京大大学生存圏研究所
生物機能材料分野 矢野浩之

急激な人工増加

地球温暖化

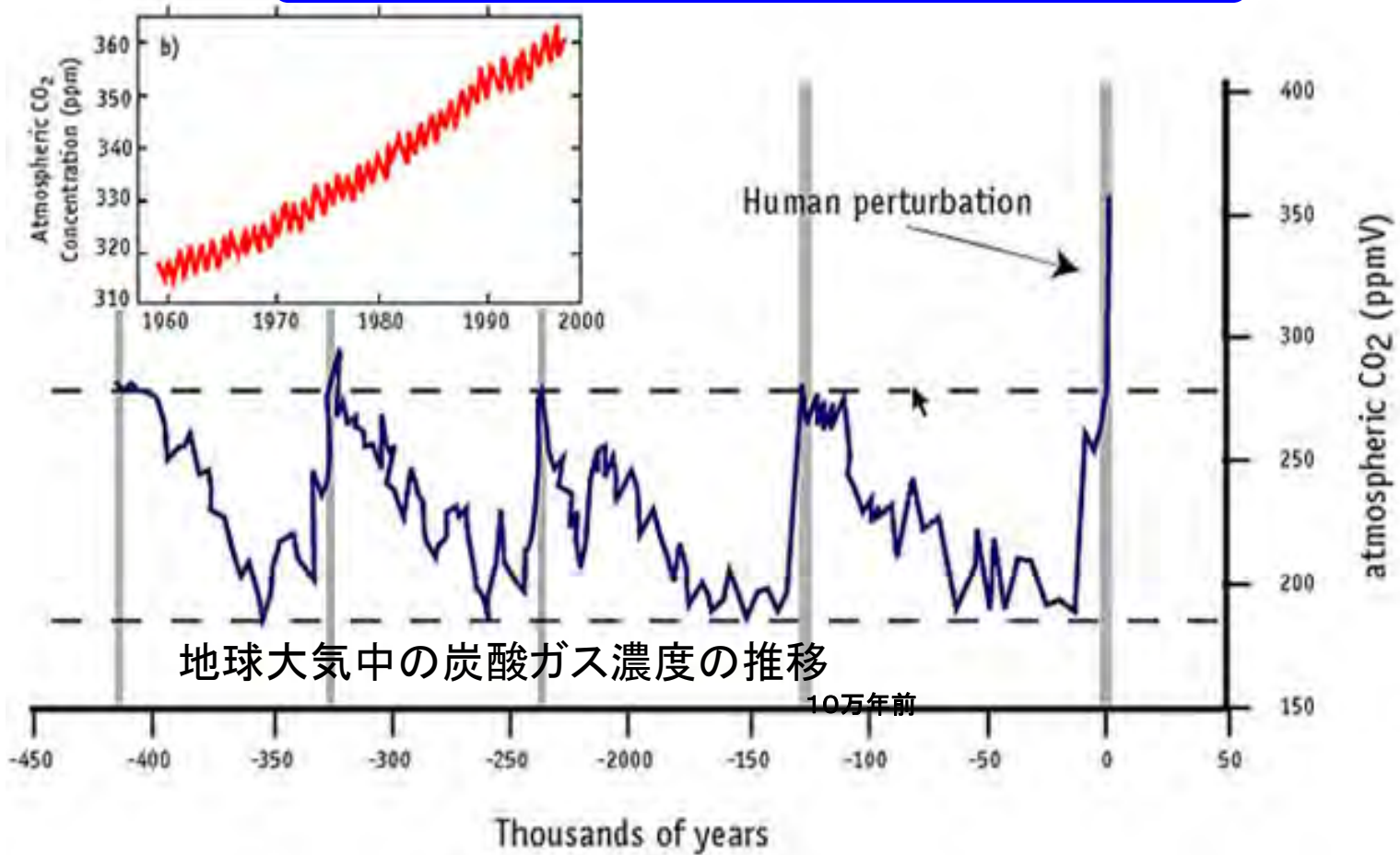
化石資源の枯渇

収奪的資源利用



人類生存の危機

炭酸ガスの増加による地球温暖化



化石資源の枯渇

原油の残り
165兆リットル

富士山というでかいバケツ
で計ると何倍分残っているか？

*富士山の体積は **1060兆リットル**。

(<http://www.fujigoko.co.jp/fujigoko-5/guide.html>)

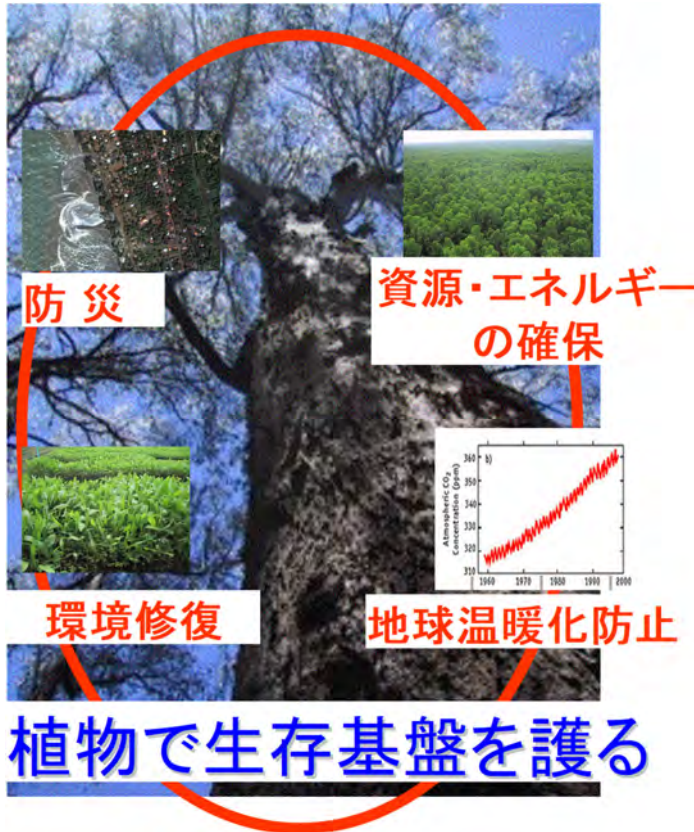


世界中の原油の残りは、
富士山のバケツでたった
六分の一！

← 2合目より上の
バケツで計ると
およそ**2杯分**のみ
(標高約1800mより上)

(京大・松本副学長提供)

植物の高度有効利用: 持続的発展のために

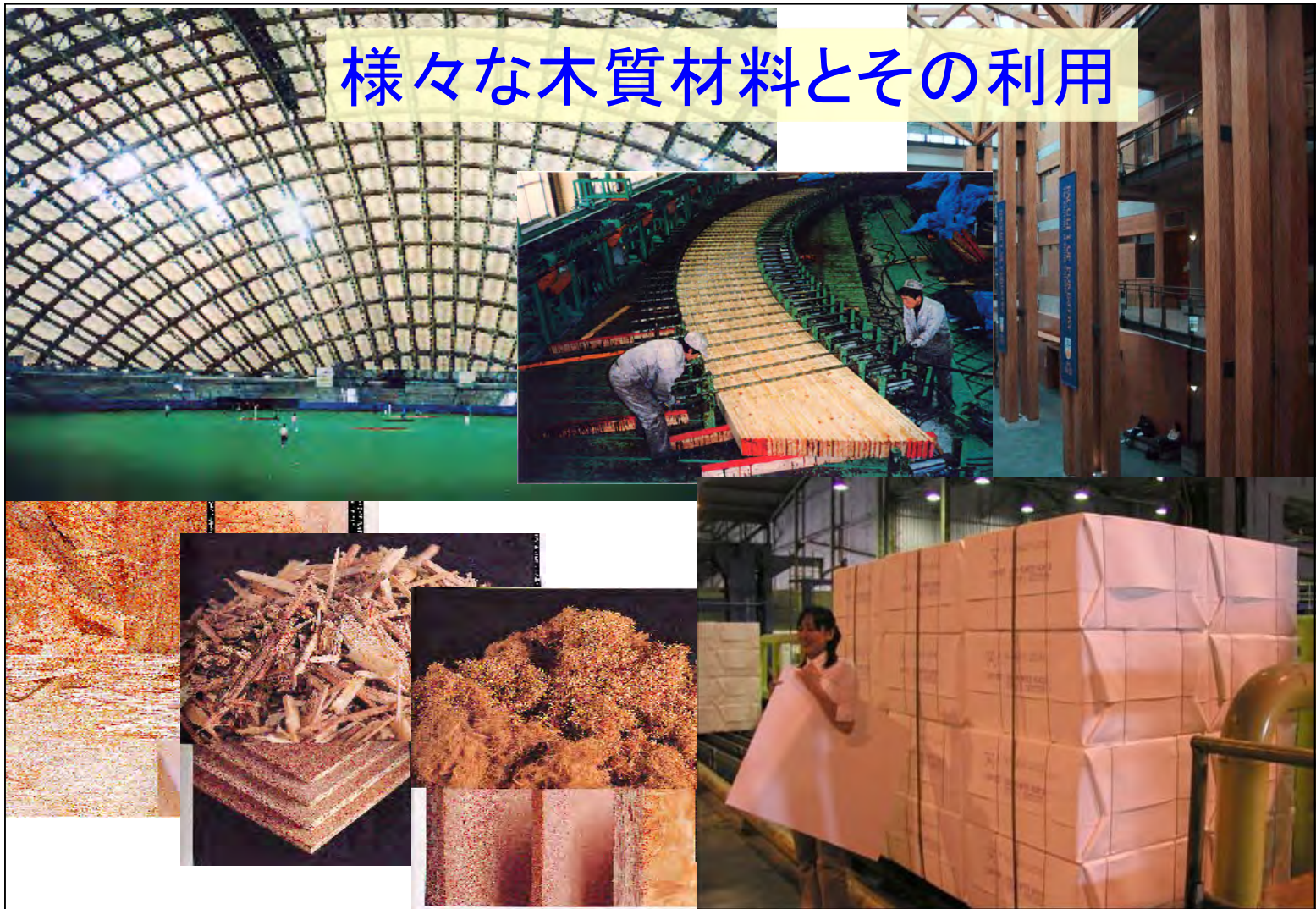


環境と経済が両立した 持続可能な発展の実現に向けて、持続型資源として、全バイオマス量の99.9%を占める植物の材料用途への期待は大きい。



地球上でもっとも巨大な生き物

様々な木質材料とその利用



木質資源：これまでの材料利用（11.5兆円産業）

NON-PERIODIC TABLE OF WOOD ELEMENTS				
LOGS	LUMBER	THIN LUMBER	VENEER	LONG FLAKES
		THICK VENEER		SHORT VENEER
CHIPS				PARTICLE'S
			CELLULOSE	?

これまでの木質材料
 丸太(直径300mm)～木粉(直径0.03mm): 1万倍の変化
 化学原料
 3万倍の変化
 木粉(直径30,000nm)～セルロース(1nm)
 物性・組織研究の主領域
 材料としては未開拓領域！

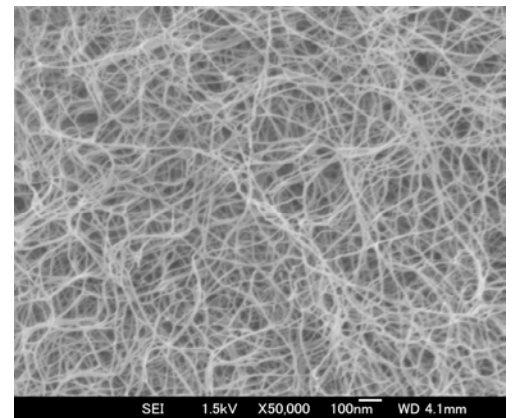
植物基本骨格物質： セルロースナノファイバー

京都大学 栗野博士提供

SEI 1.5kV X50,000 100nm WD 4.1mm

特徴とアドバンテージ

- ボトムアップ(酵素)により高度に制御された均一ナノ構造
- ボトムアップにより作られた伸びきり鎖結晶：フレキシブル、高強度・低熱膨張
- バイオテクノロジーにより、結晶構造、繊維幅等、更なる構造制御が可能
- 人体内での代謝はないが、生体適合性がある。生分解も可。
- 環境負荷の少ない“水系”による処理、加工
- 100年以上にわたり集積された膨大なセルロース化学(衣類、紙、化成品)の蓄積(インフラ)に立脚。
- 種々の化学修飾(タンパク質の結合、耐熱・導電・圧電性の付与等)、構造改質(結晶性制御)、構造化・ウェブ化が容易。
- 金属・ポリマーのフィルム、粒子で得られない繊維材料ならではの特性発現(フィルター、透過膜、等)にも期待
- 安価な自国の持続型資源(木材、農産廃棄物)が原料。間伐材等の利用による森林の炭素吸収能強化
- 人類に受け入れられやすく、社会の基盤となる材料: ナノペーパー
- 環境と経済が両立した持続的社会的のためのキーマテリアル

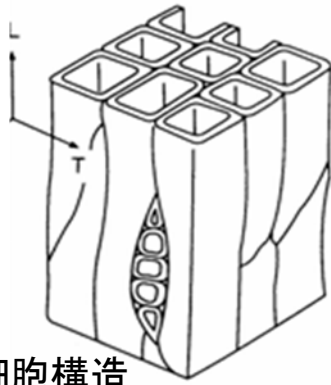


植物繊維とナノファイバー

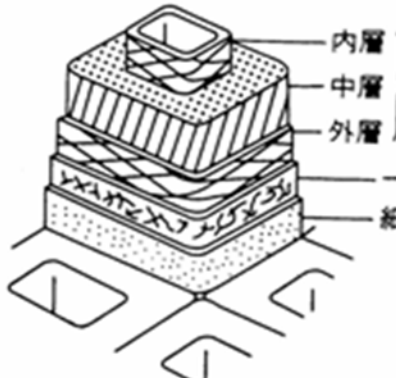
樹木とセルロースマイクロフィブリル (バイオナノファイバー)



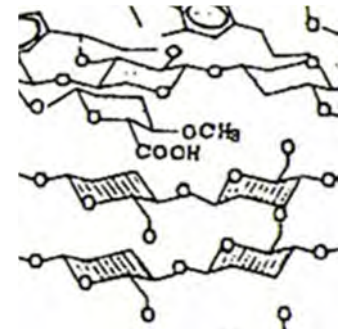
木材の階層構造



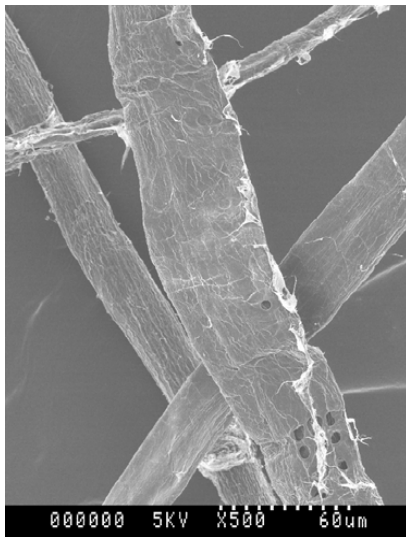
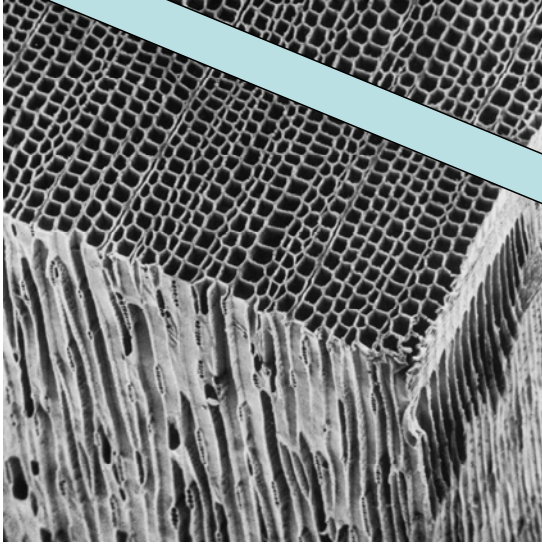
細胞構造



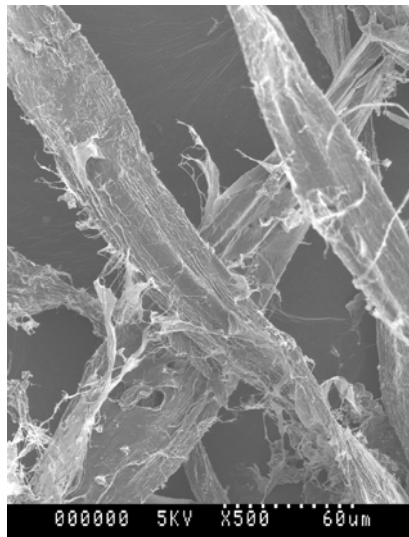
細胞壁構造



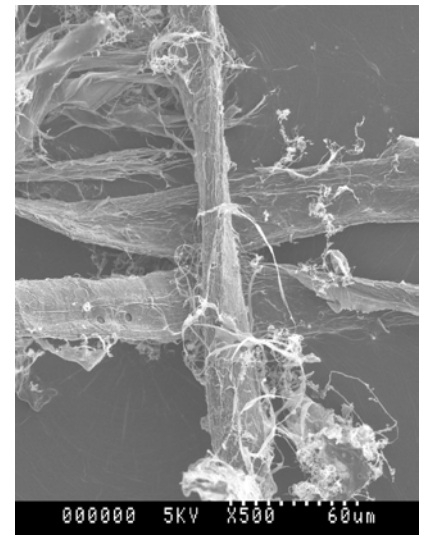
分子レベル構造



Pulp: 紙

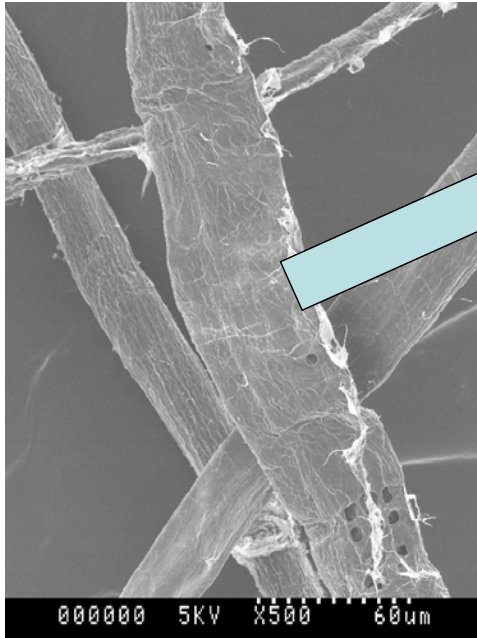


R2



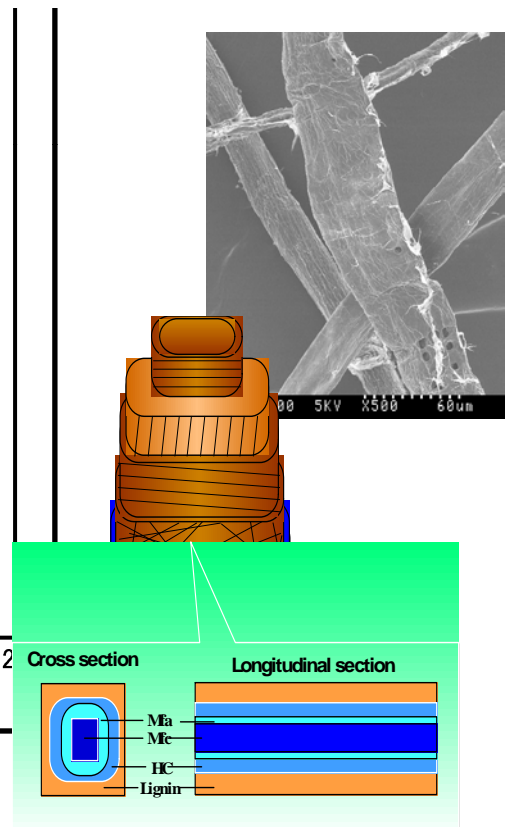
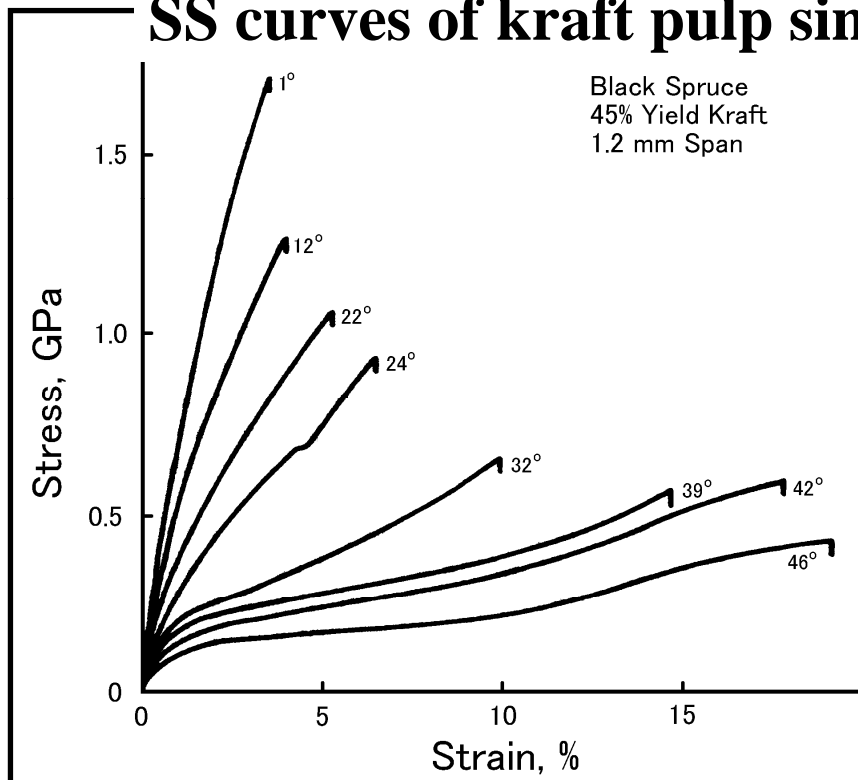
R4

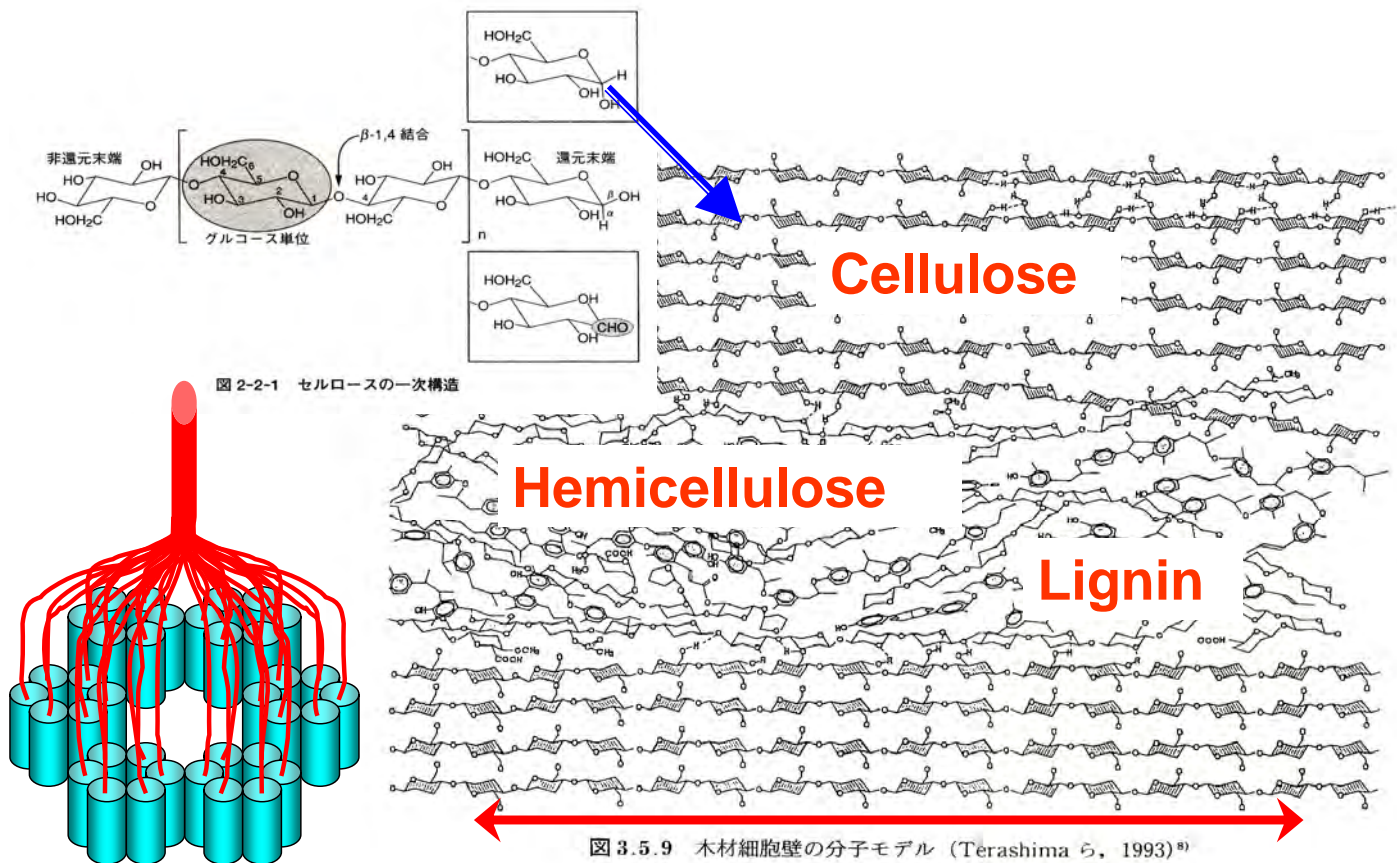
リファイナー処理(R2, R4)による
木材細胞(パルプ)の毛羽立ち



パルプ繊維は鋼鉄の4倍強い！

SS curves of kraft pulp single fiber





セルロースミクロフィブリルは伸びきり鎖結晶

セルロースミクロフィブリル

•伸びきり鎖結晶

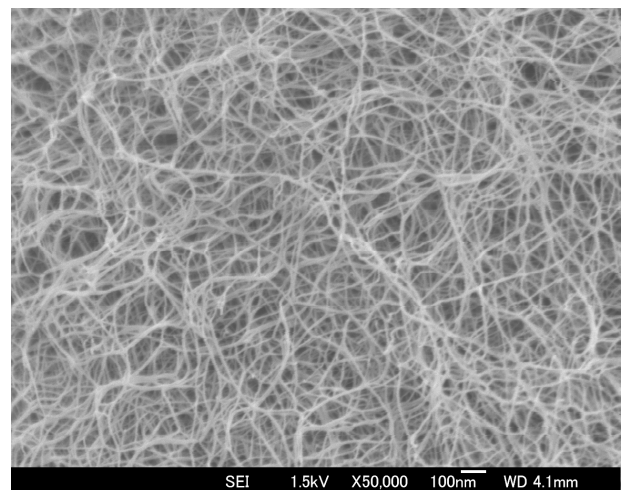
ヤング率:138GPa, 引張強度:3GPa

→ アラミド繊維 (ケブラー)

熱膨張係数 (CTE) : 0.1 ppm/K

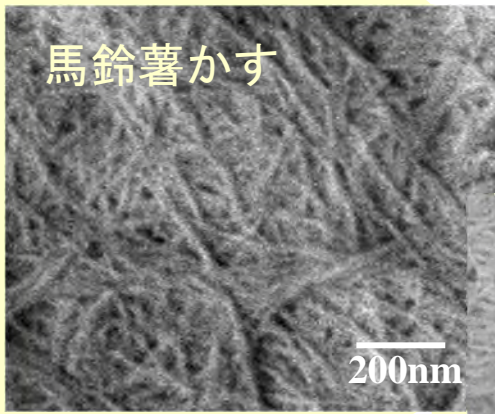
→ 石英ガラス

•ナノファイバー (幅4nm)

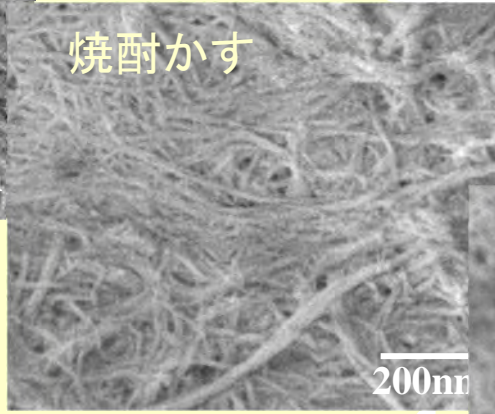


農産廃棄物・産業廃棄物から作ったナノファイバー

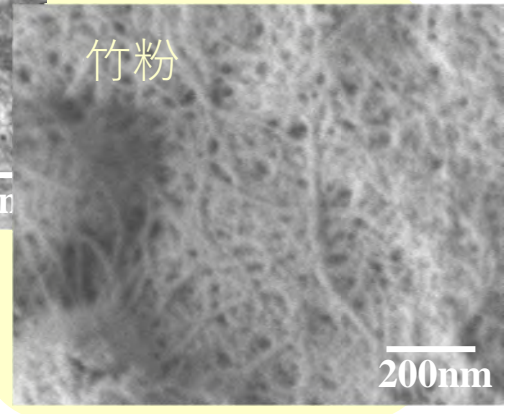
馬鈴薯かす



焼酎かす



竹粉



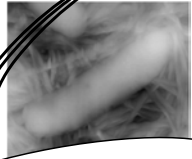
カスを加寿に

バクテリアの作るセルロースナノファイバー

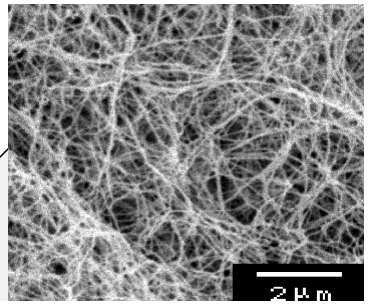
生存研、杉山淳司先生提供

バクテリアセルロース

セルロース
マイクロフィブリル



酢酸菌

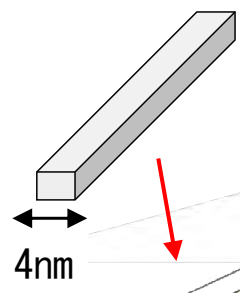


ナノネットワーク

10nm

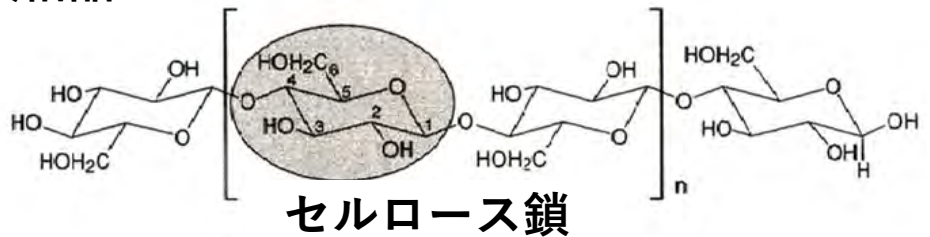
50nm

マイクロフィブリル束



4nm

伸びきり鎖結晶



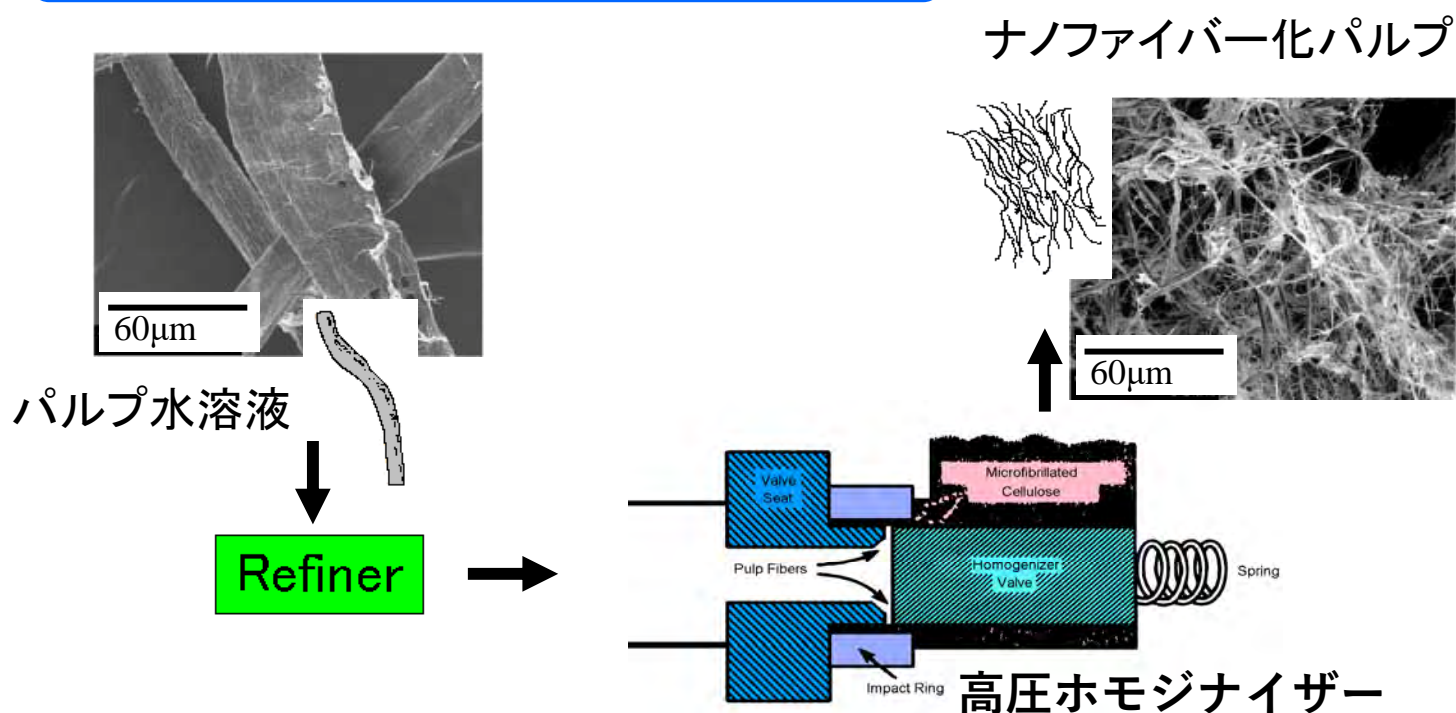
バクテリアセルロース ペリクル



ナタデココ

セルロースナノファイバー製造技術

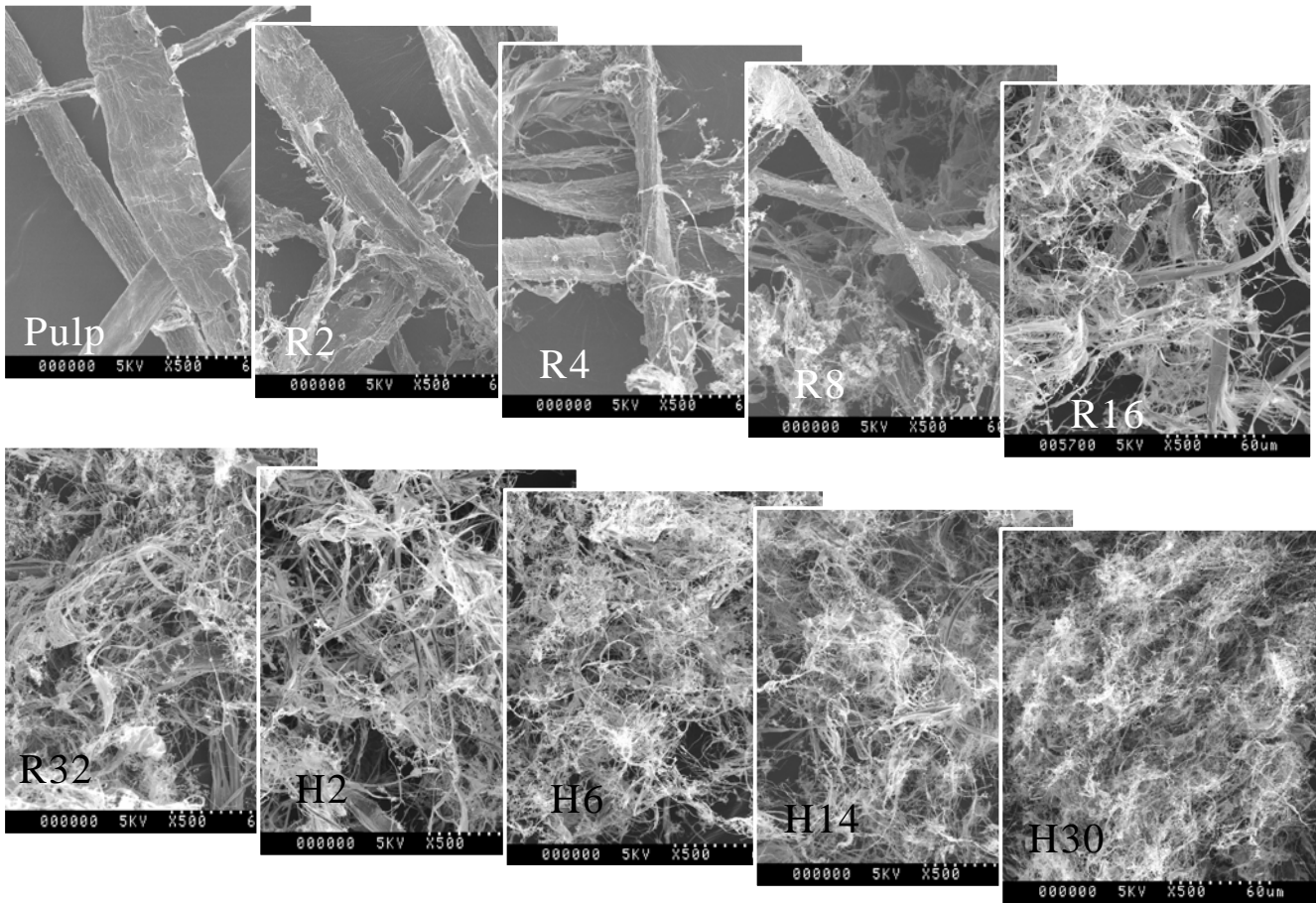
高圧ホモジナイザー処理



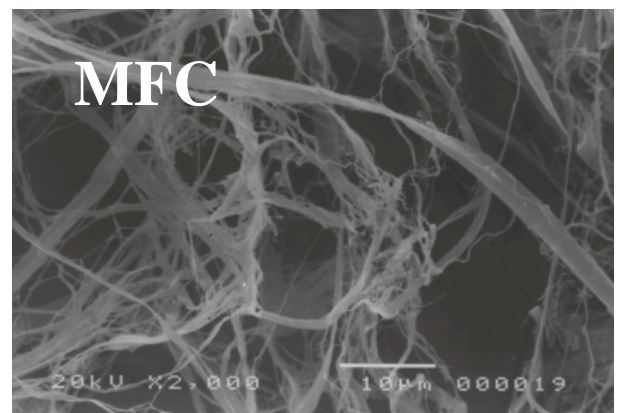
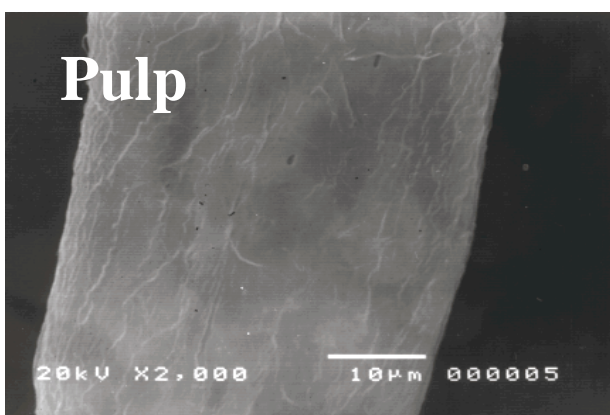
A. F. Turbak, *et al.*: J. Applied Polymer Science:
B. Applied Polymer Symposium, **37**, 815 (1983)

by **ダイセル化学**

パルプのナノファイバー化

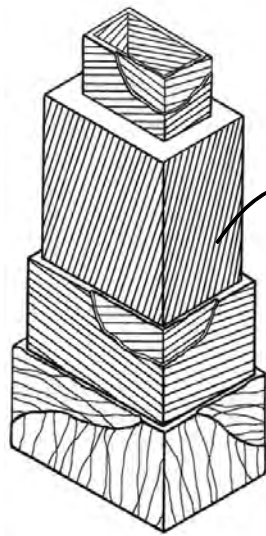


ミクロフィブリル化セルローズ:MFC



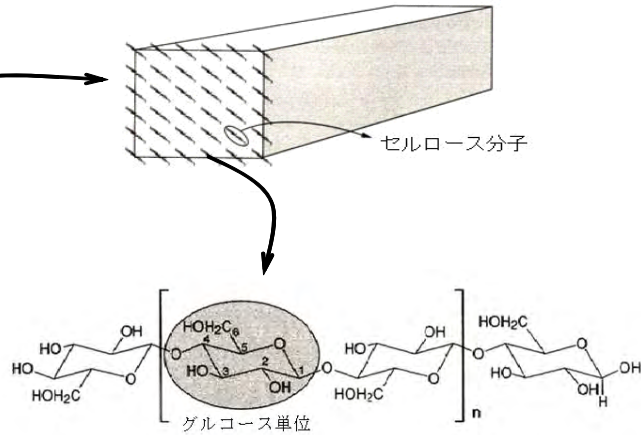
伸びきり鎖微結晶ナノファイバーからなる
クモの巣状ネットワーク

ナノファイバーを安価に製造する



細胞壁モデル

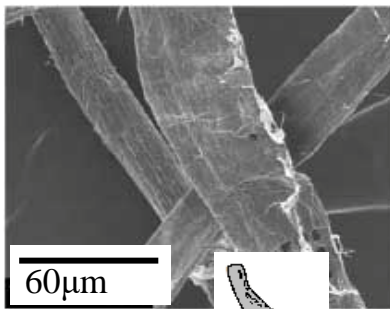
セルロースマイクロフィブリル



ポイント:

- ミクロフィブリル間の凝集力低下
- たがをはずす: S1層の除去
- 束をほぐす: せん断力

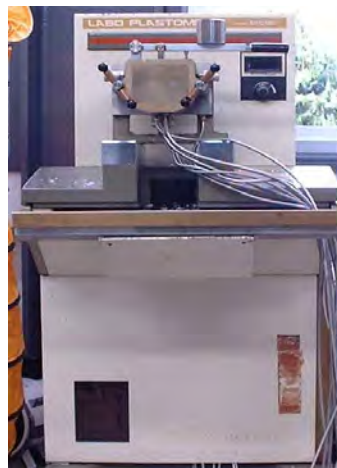
混練によるパルプの解繊



パルプ水溶液

Refiner

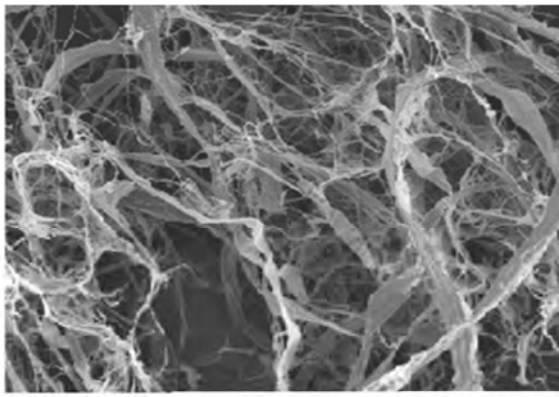
固形分30%



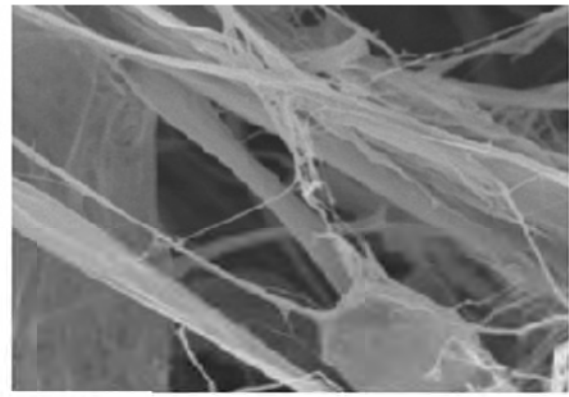
混練機: ラボプラストミル

(60rpm, 20min)

矢野: 2003年

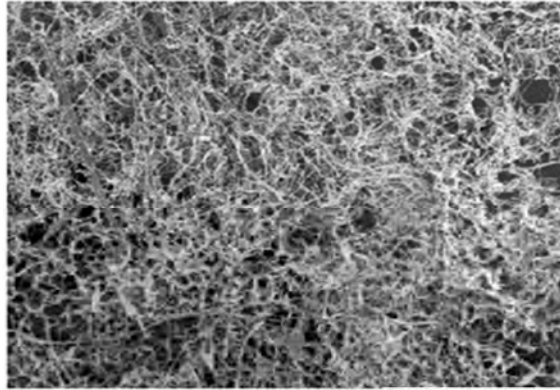


× 200
↓



リファイナー8回処理

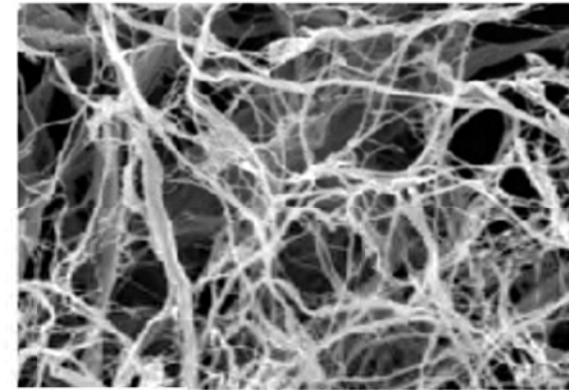
× 2000
↓



× 200

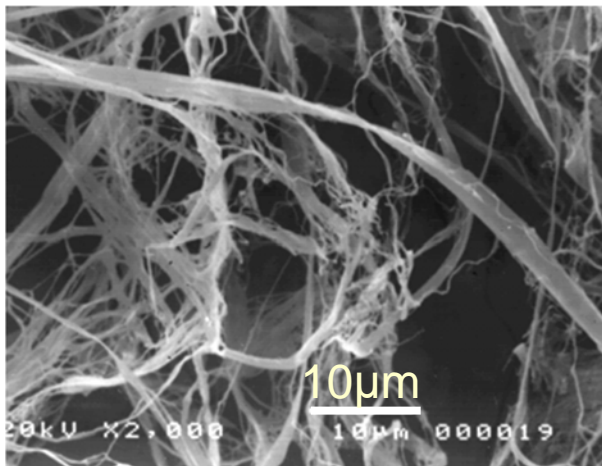
リファイナー処理後、混練

× 2000



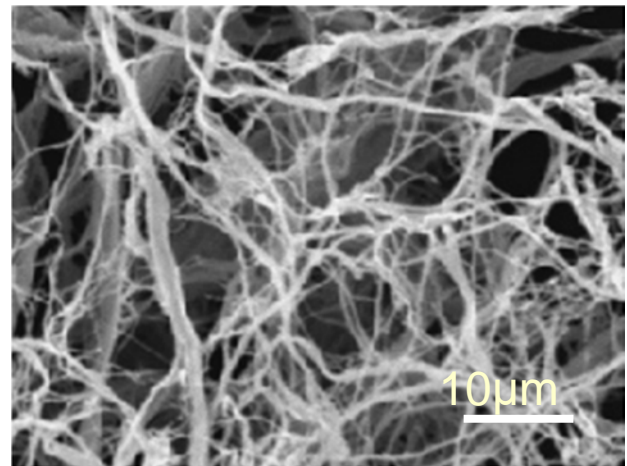
矢野:2003年

高圧ホモジナイザー法



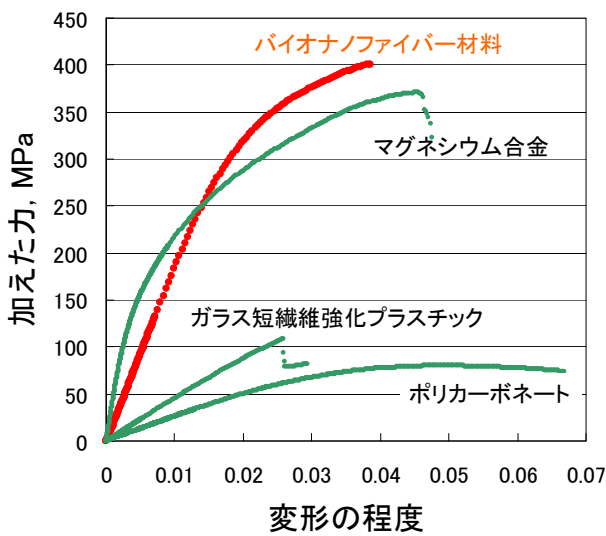
混練法

(リファイナー8回+混練)



セルロースナノファイバー材料

世界初 鋼鉄のように強いセルロース材料



BNFをシートに加工し、樹脂を含ませてから積層、加熱プレスすると、鋼鉄のように強い材料が鋼鉄の5分の1の軽さで得られる。

生存研保有の技術(H17.12特許化)

2006年(平成18年)7月14日(金曜日)

植物繊維で金属並み強度

京大が新素材 車体・家電に应用へ

京都大学の矢野浩一教授らは植物の繊維を原料にした金属並みに強い軽い新素材を開発した。植物に含まれる繊維「セルロース」をナノスケール(超微細技術)で強化した。自動車や家電製品の構造材への応用を想定し、松下電工や自動車関連メーカーなどと共同研究を進めた。石油系プラスチックや金属材料の代替料として実用化を狙う。

植物のセルロースは太っている構造。もともと高い強度。繊維は太い繊維が束になっ使用されるナノスケールに、液に分散させた特殊な機械力のかかるときののみがみ方が変わる。矢野教授らは東大水浴室に設置した装置で、セルロースの束をほぐし、ほぐした繊維を部分的に密着させ、固める。応用分野は家電、車体、建物、モバイル機器など。

さらにフェニル樹脂を加えて固めると、力がかかるときののみがみ方が変わる。矢野教授らは東大水浴室に設置した装置で、セルロースの束をほぐし、ほぐした繊維を部分的に密着させ、固める。応用分野は家電、車体、建物、モバイル機器など。

では、繊維同士が密着しやすいようにした。これを板状に固めた新素材は、鋼鉄の5分の1の重量で同等の強度があることが分かった。

さらにフェニル樹脂を加えて固めると、力がかかるときののみがみ方が変わる。矢野教授らは東大水浴室に設置した装置で、セルロースの束をほぐし、ほぐした繊維を部分的に密着させ、固める。応用分野は家電、車体、建物、モバイル機器など。

動物硬化症の遺伝子治療薬 治療で有効性確認

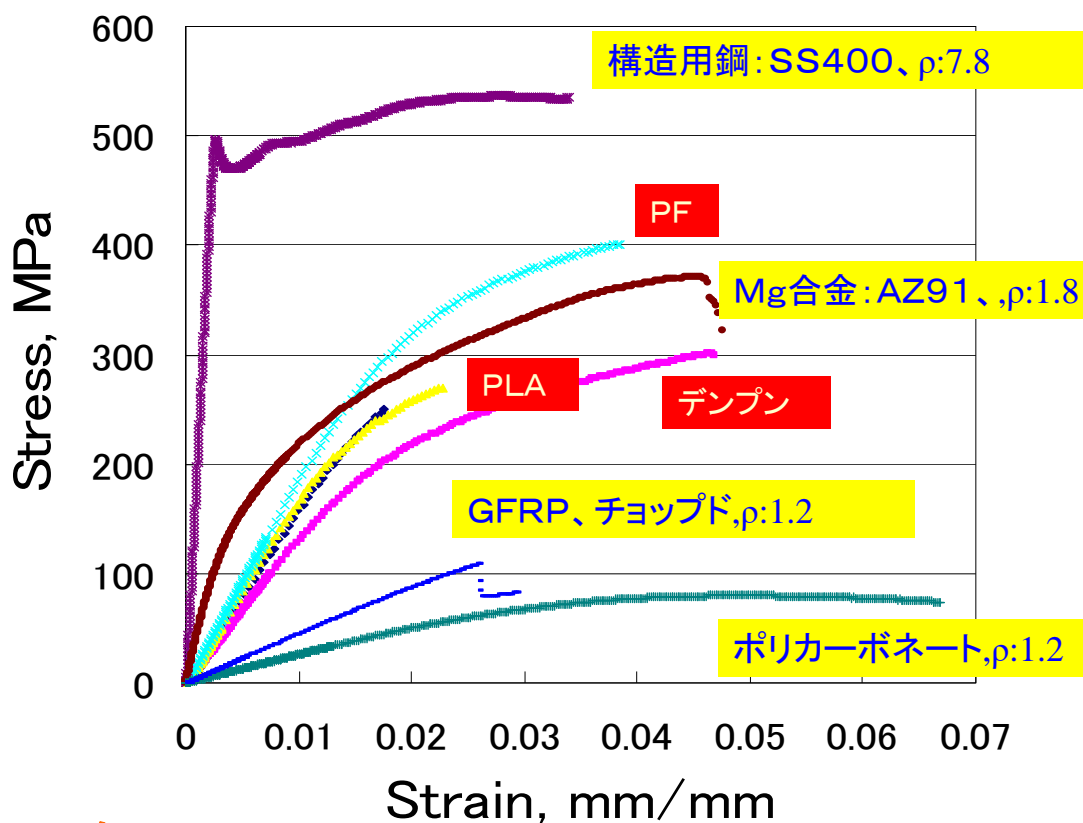
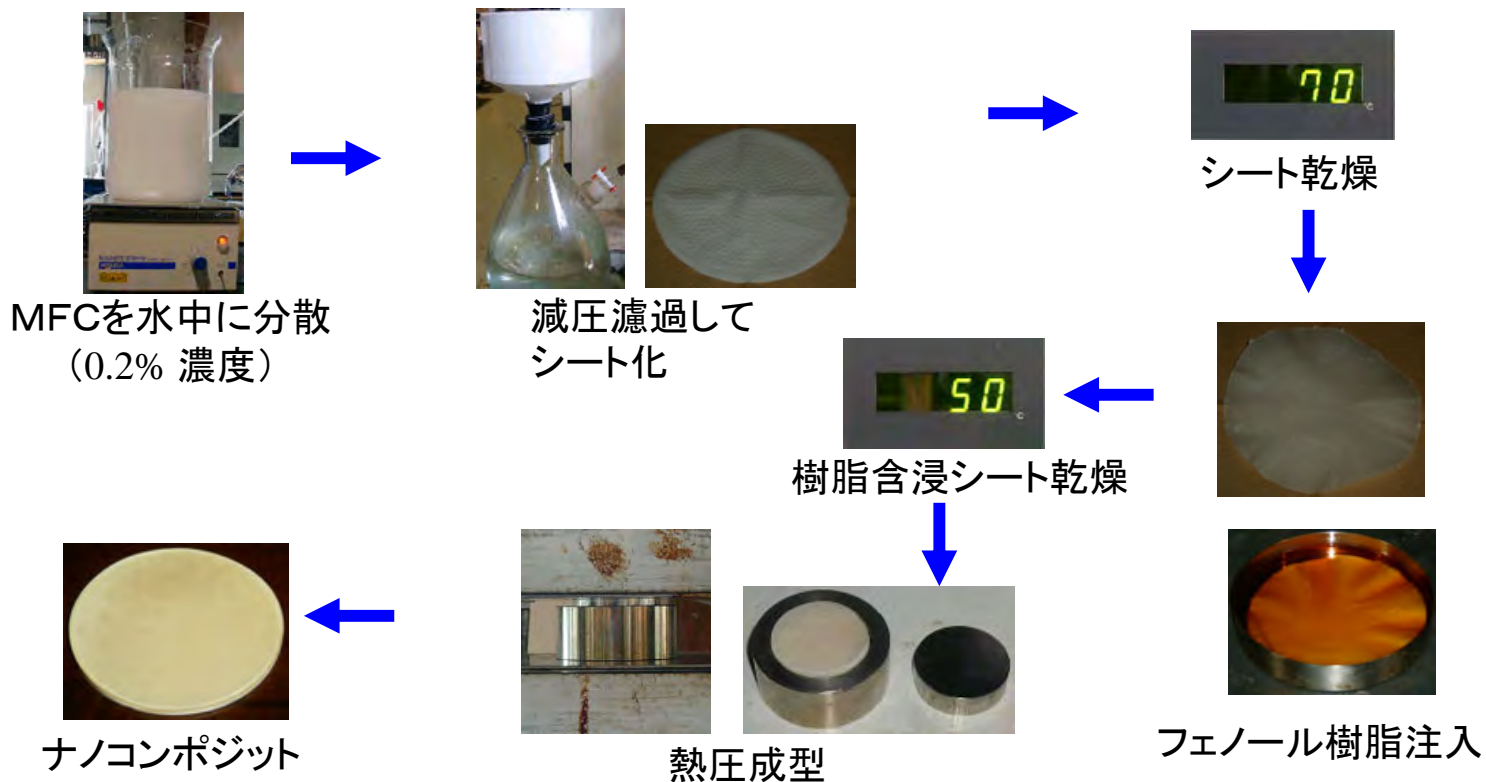
アンジエスMGは、閉塞を発生させた血管が詰まって壊死 増殖因子(EGF)による病気の患者と呼吸たんぱく質を対象に実施した遺伝子治療薬の第一相臨床試験。HCGにはどの有効性を確認した。分かつている。このほど東京で開かれた 治療は患者の足のこの日本炎症・再生医学会で 治療薬を注射し、新たに

建物の鉄骨などに使われ、工場の技術の進歩に匹敵する強度をもつという。欧米でも植物繊維を原料とした新素材は、研究は活発だが、比重量が軽量の高性能材料は実現が難しいという。新素材は、軽電、モバイル機器の構造材への応用が期待されている。開発事業の支援は、複雑な形状に加工された。

植物

日本経済新聞、H18.7.14 朝刊

マイクロフィブリル化セルロース(MFC)を用いた 高強度複合材料



用途

軽量、高強度および環境調和性: ①コンピュータ、携帯電話等のケーシング、②自動車ボディー、③その他

セルロースナノファイバーによるポリ乳酸樹脂の補強

PLA (LACEA H-280, 三井化学, 非晶性)

溶媒分散・混練法

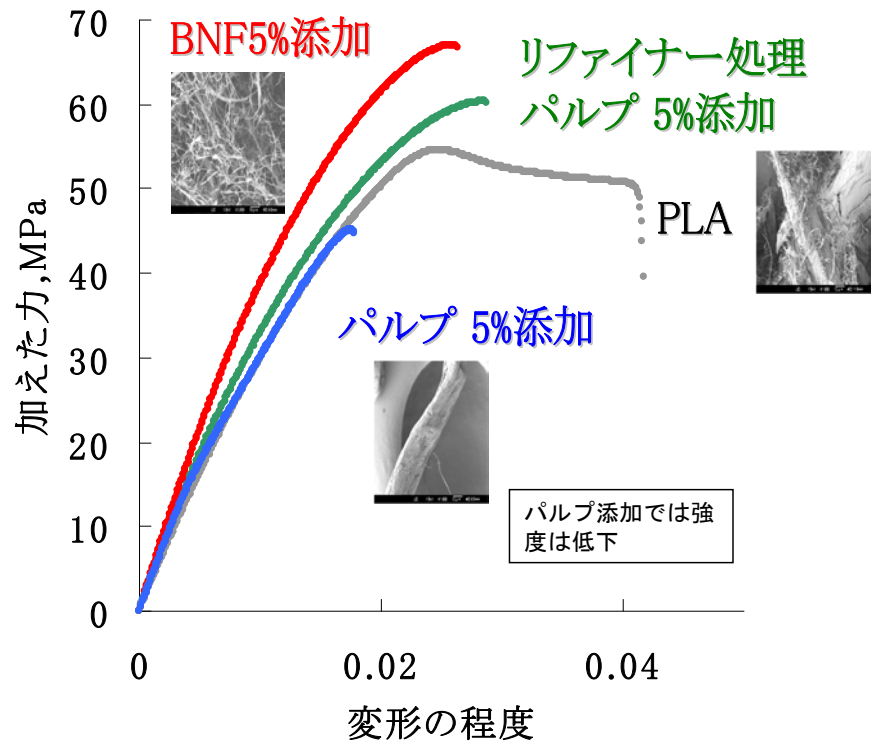
MFCをアセトン中に分散(1%)

PLAを加え, MFCと共に攪拌

減圧下でアセトンを除去

混練: 140°C

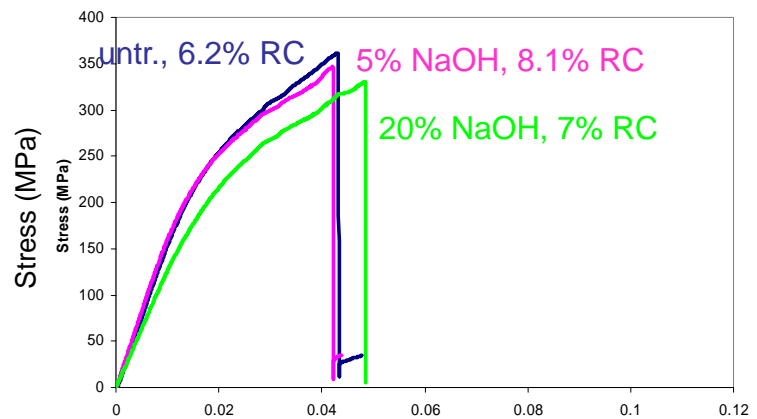
シート成形: 160 °C



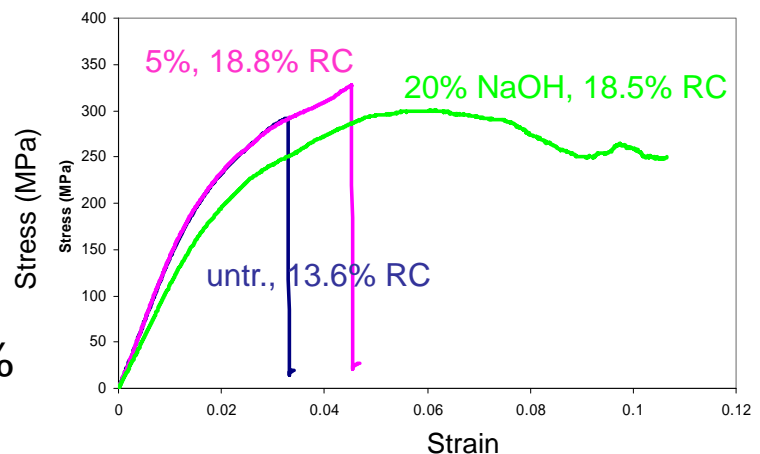
セルロースナノファイバーのアルカリ処理によるじん性向上



Resin content: 6~8.5wt%

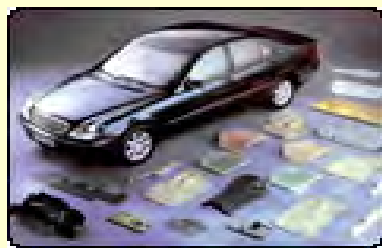


Resin content: 13.5~19wt%



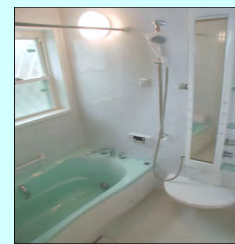
カーボンニュートラルの特性を維持しつつ、高強度、低熱膨張性を達成

自動車



軽量で強いボディ材料。燃費向上

住宅材料



高強度でリサイクル可能な
住宅内装材料

家電品



耐衝撃に優れ、
リサイクル容易な筐体材料

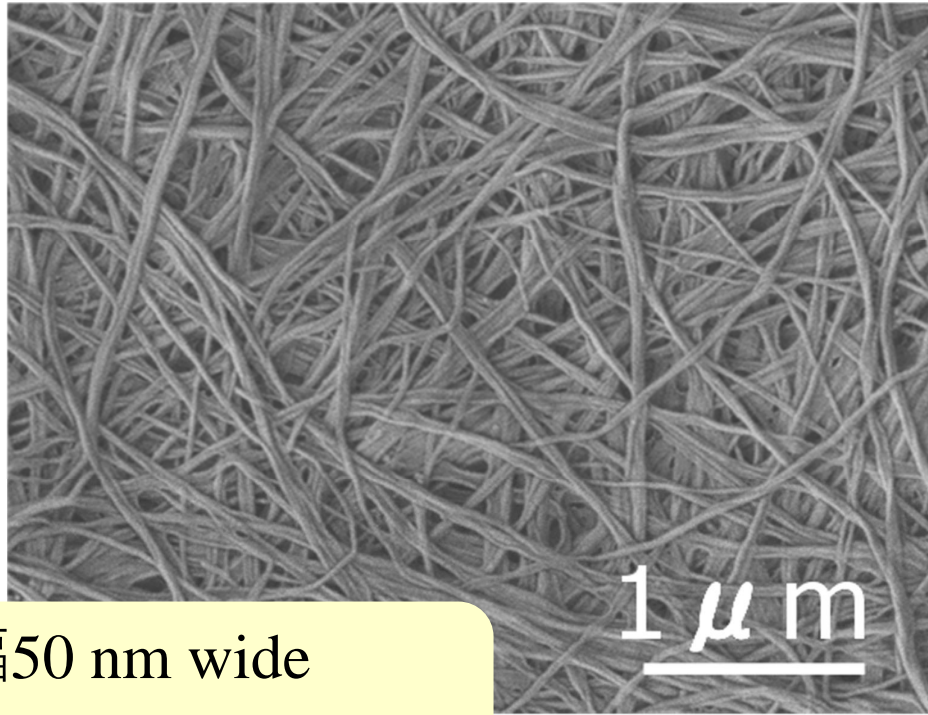
包装・容器



ガスバリア性、耐衝撃性に優れ、
環境に優しい容器

セルロースナノファイバーから作る 透明繊維強化材料

バイオナノファイバー：バクテリアセル



幅50 nm wide

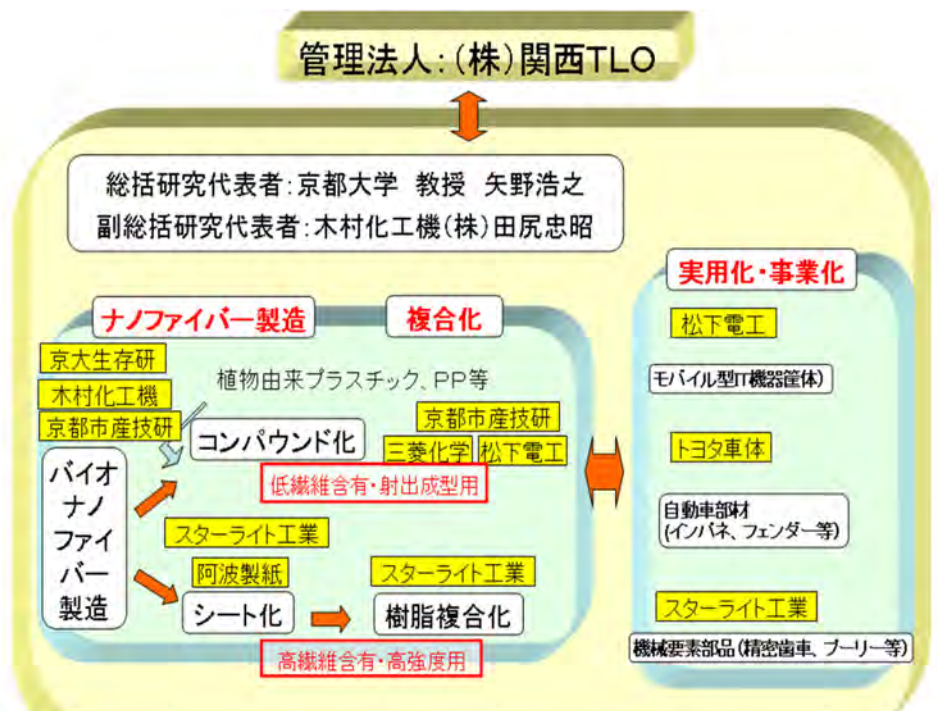
⇒可視光波長の1/5以下

ビデオタイム

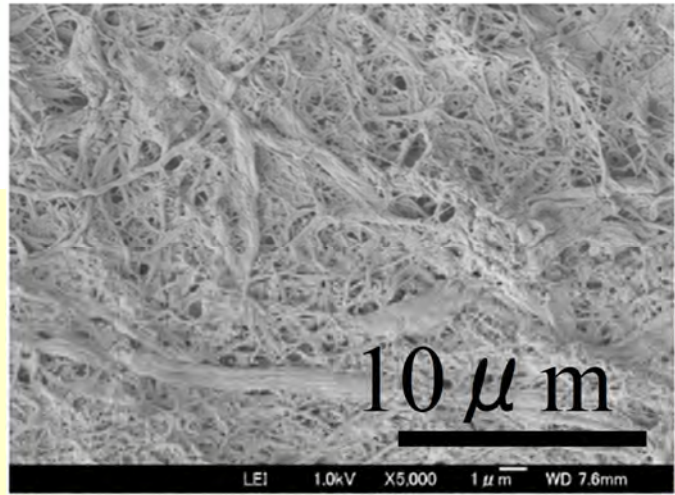
高植物度ナノコンポジットの開発

平成17-18年度地域新生コンソーシアム研究開発事業 「バイオマスナノファイバーの製造と高植物度ナノコンポジットの開発」

解繊済パルプからバイオマスナノファイバーの安価な製造技術を開発し、鋼鉄に匹敵する強度かつガラス並みの低熱膨張を有する高植物度ナノコンポジットを開発することで、これまで応用が困難であったIT端末薄型ボディ、自動車外装材、歯車・軸受等機械要素部品などへの製品化、事業化を図る。



アドバイザー: 山田康之、川井秀一、木村良晴、濱田泰以、染宮昭義、中野浩之(敬称略)



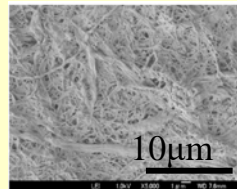
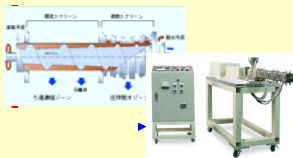
パルプを二軸混練機で処理することで安価なナノファイバー製造を可能に（数百円/kg）（木村化工機（株）との共同研究）。

BNF地域コンソで開発された技術

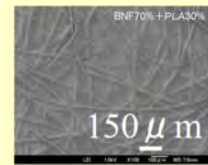
世界初

安価なバイオナノファイバーの製造

酵素処理パルプ（紙の原料）を二軸混練機で処理することで安価なナノファイバー製造を可能に（400円/kg）（木村化工機）。



現行抄紙装置によるBNFシート化を可能に



BNFにポリ乳酸繊維を混合することで、抄紙時の濾水時間を大きく低下（19秒、歩留まり89%）。実機を用いたBNF抄紙を開始（阿波製紙）。

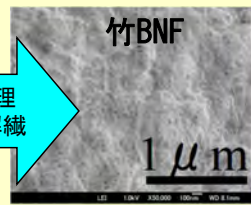
世界初

竹もバイオナノファイバーに

竹を原料とすることで、木材パルプよりさらに均一・微細なナノファイバー製造を実現（京都市産技研）



脱リグニン処理
グラインダー解繊



自動車・機械部品の試作

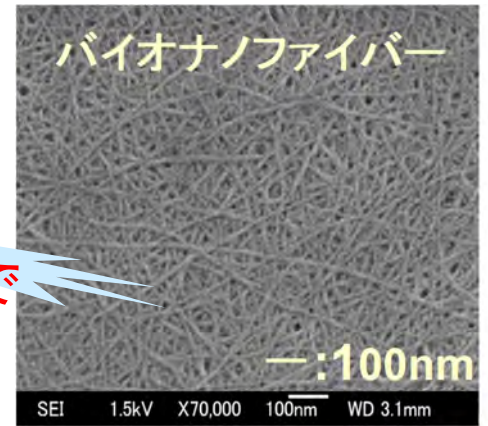


フェノール樹脂複合BNFシートから自動車フェンダー、歯車・軸受けを試作（トヨタ車体、スターライト工業）耐衝撃性、耐摩耗性の向上が目的。

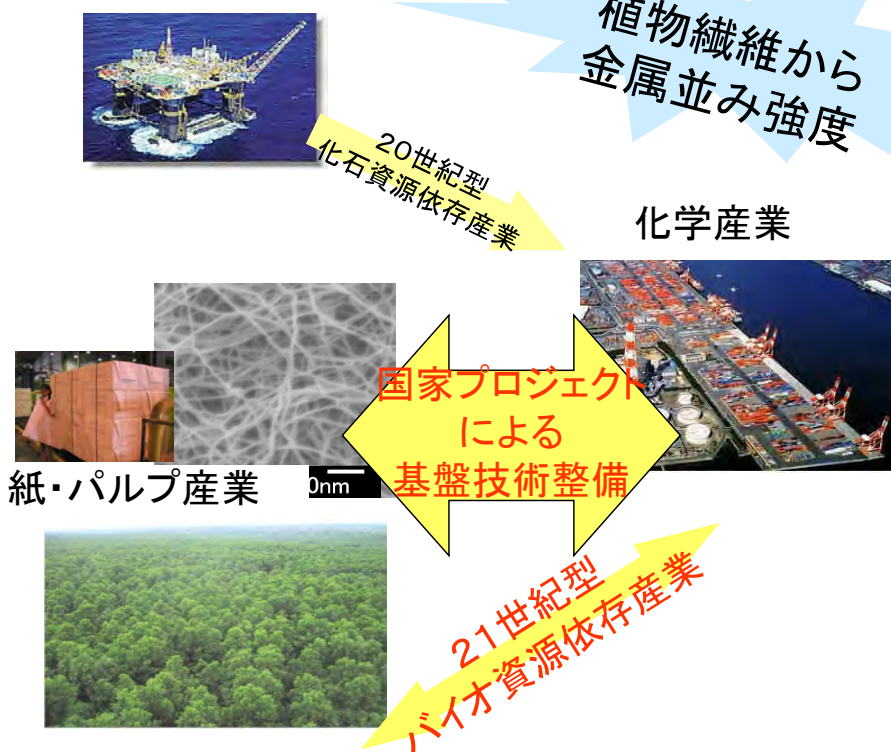
21世紀も輝く国に： 植物資源による先端ものづくり

1. 環境と経済を両立し持続可能な発展を実現するために、
2. 自国の資源で革新を続ける強靱な経済・産業を実現するために、
世界に先駆け、

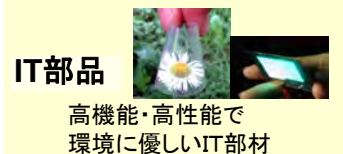
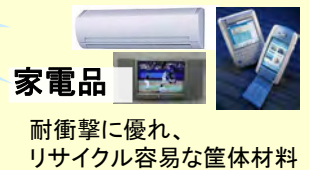
バイオナノファイバーを原材料とした
新基幹産業：バイオナノマテリアル産業を創成し、
化石資源ベース産業から
革新的で強靱な植物資源に基づく
持続型産業への資源パラダイム変換を図る。



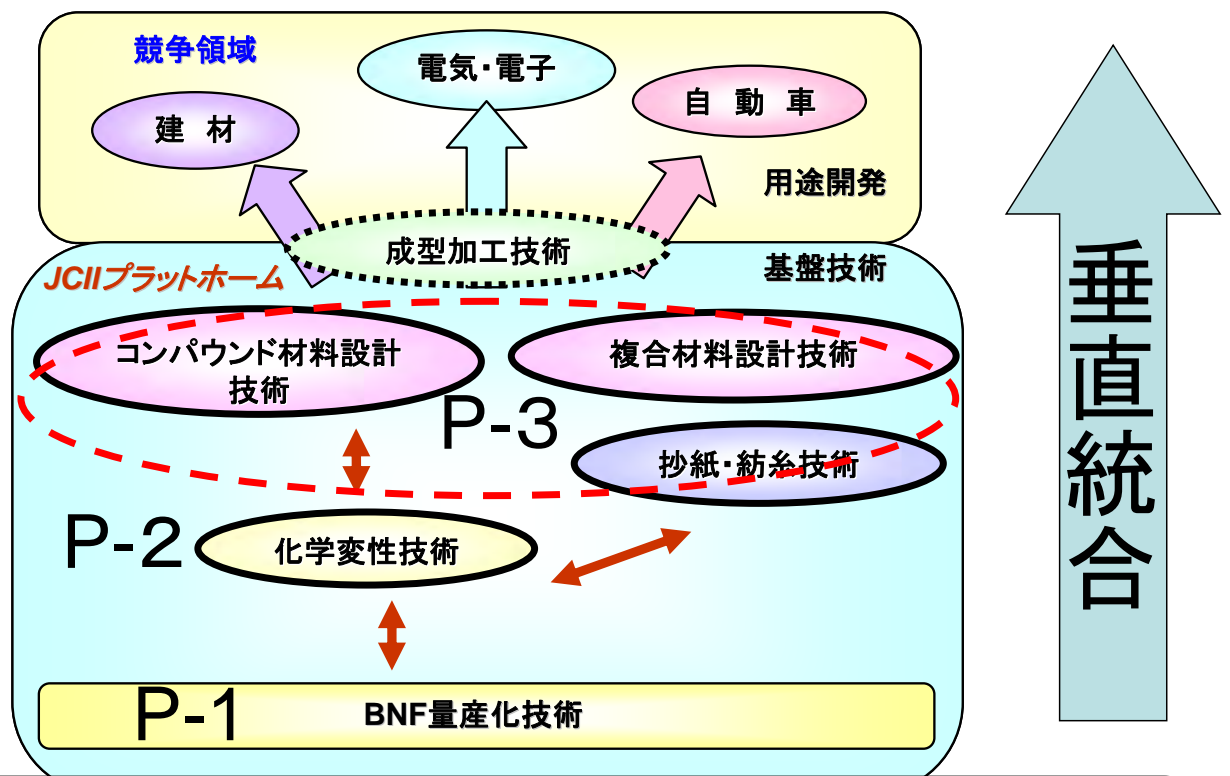
バイオナノマテリアル産業創成に向けた 国家プロジェクトのイメージ



バイオナノマテリアルによる 未来材料



1兆円産業



国プロで開発する基盤技術

- ①BNF構造解析・評価技術、②BNF量産化技術、
- ③BNF化学変性技術、④BNF構造化技術

生物材料科学：

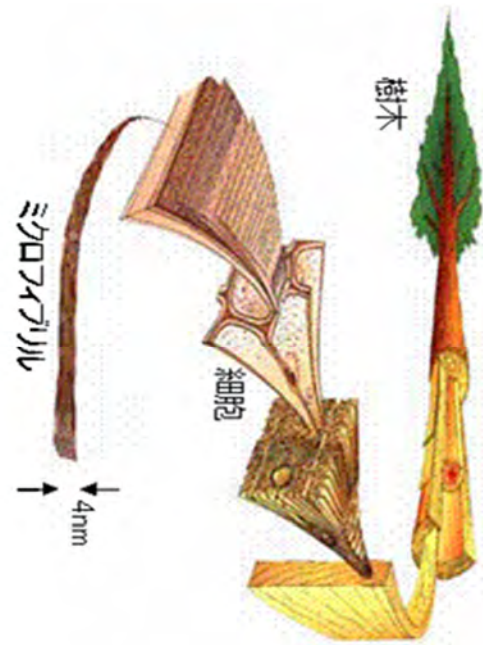
生物の行っている必然を考え、
それを利用する科学



持ち

樹の

自然環境の変化や重力に耐えて……



99.99%は植物の仕事。あと0.01%、
人間の知恵を足して、21世紀を生き抜く

樹の気持ち



ご静聴 有り難うございました。



竹繊維ナノファイバーの特長と高植物度ナノコンポジットの開発

京都市産業技術研究所工業技術センター
研究部長 北川 和男

1. はじめに

生分解性プラスチックは、現在ではどちらかと言うと生分解性という機能だけでなく、植物由来の原料、すなわち 1)石油等の化石資源の節約と、2)地球温暖化ガスの削減を目的としたバイオマス(又は植物由来)プラスチックとして注目を集めるようになって来た。これは、例えばトウモロコシなどの植物は大気中の炭酸ガスを光合成により取り込んで成育し、そこから採れるデンプンから発酵法により乳酸を生成し、それを化学重合によりポリ乳酸という樹脂、すなわちバイオマスプラスチックが製造される。そして、一旦使用もしくはリサイクル利用して、最終的にそれらをコンポスト中で加水分解/微生物分解なり、場合によっては焼却場で焼却処理したとしても、大気中から取り込んだ炭酸ガスを元に戻すだけで、決して増やしはしないという点で地球温暖化ガスを削減するという考え方である。この概念はカーボンニュートラル¹⁾とされている。

ただし、これらバイオマスプラスチックは基本的に脂肪族のポリエステルであることから、その性能がまだまだ既存の石油系プラスチックと比較して十分であるとは言えず、その物性改良並びに機能性付与の一つの手段として竹、ケナフなどの植物繊維を用いた複合化が検討されている。これらは、昨今の状況から高植物度を志向できる複合材料として世界的に研究開発され²⁻³⁾、既に一部ではその実用化が始まっている⁴⁾。本研究所では、これまでに日本に元来広く分布し、古くから建築材、生活材等に利用されてきた竹材に着目し、短繊維化(ミクロサイズ)並びにナノファイバー化することでバイオマスプラスチックの補強材として複合化し、環境調和型複合材料(エコ・コンポジット)の開発を実施して来た⁵⁻⁸⁾。さらに、植生管、コンクリート型枠、服飾用資材などについて試作品を開発し⁹⁻¹²⁾、服飾用ボタンは既に商用生産されている。

ここでは、竹繊維/ポリブチレンサクシネート(PBS)複合材料において、1)竹繊維の(ミクロサイズ)繊維形状並びに竹材の種類の違いが力学的特性に及ぼす効果、2)竹繊維のナノファイバー化など最近の研究開発内容について紹介する。

2. 竹繊維の繊維形状並びに竹材の種類の違いが複合材の力学的特性に及ぼす効果

2-1. 竹繊維の形状効果

竹繊維は、国産孟宗竹並びに真竹の枝、根を払った稈部全体を機械的粉碎又は解繊により繊維状に加工したものをを用いた。従来⁵⁻¹²⁾、我々が使用して来た竹繊維は孟宗竹を機械的に磨砕したものであり、平均直径 70 μm 、平均繊維長 500 μm というものの、繊維部分はほとんど既に屈曲し綿状になったものであり、また実際には微粉末も一部含んでいた(以後これを 孟宗竹 と呼ぶ)。今回、D/L アスペクト比が得られるように意識して解繊、分級した竹繊維(三木竹材店、直径 50-100 μm 、繊維長 3-5mm、以後これを 孟宗竹短繊維 と呼ぶ)並びに真竹を同様に機械的解繊した後、60 で湯洗した竹繊維(三木竹材店、以後これを 真竹短繊維 と呼ぶ)を用意した。母材樹脂には PBS (GS-PIa, AZ91T, 三菱化学(株))を用いた。

混練は二軸押出成形機(日本製鋼所(株))を用いて、混練温度 135 で行なった。竹

繊維含有量は5、10、20 wt%とした。射出成形は、インラインスクリー式射出成形機(Plaster TI-60 東洋機械金属株)を用いて、金型温度40、シリンダー温度170の成形条件でダンベル型試験片を作製した。引張試験はインストロン万能試験機を用い、試験条件はスパン間距離115 mm、クロスヘッドスピード5 mm/min.で、曲げ試験はオートグラフを用い、試験条件は支点間距離48 mm、クロスヘッドスピード10 mm/min.で、衝撃試験はアイゾット衝撃試験機(株)安田精機製作所258型)を用い、いずれも室温下で行なった。

得られた複合材の引張弾性率、引張強度を Fig.1、Fig.2 に各々示した。引張弾性率については、繊維含有率が増加するにつれて各々増加し、含有率が20wt%になると、孟宗竹短繊維の弾性率は孟宗竹の21%、真竹短繊維は孟宗竹を45%上回った。引張強度は、繊維含有率が増加するにつれて僅かに低下傾向若しくは0wt%値を維持していた。これらは、今回何れも特に繊維の表面処理は施しておらず繊維/樹脂界面が不良なためと考えられるが、20wt%点では真竹短繊維、孟宗竹短繊維、孟宗竹の順で強度が大きかった。次に、複合材の曲げ弾性率と曲げ強度を Fig.3、Fig.4 に各々示した。曲げ弾性率、曲げ強度共に繊維含有率が増加するとともに各々増加し、20wt%点で孟宗竹短繊維の弾性率は孟宗竹の15%、真竹短繊維は孟宗竹を38%上回り、また曲げ強度も20wt%点で孟宗竹短繊維が孟宗竹の13%、真竹短繊維は孟宗竹の26%各々大きな値を示した。アイゾット衝撃値は、Fig.5 に示した。軟質樹脂であるPBS系複合材の場合、繊維含有率5wt%で衝撃値は何れの繊維とも大きく低下し、その後のほとんど値が変化しない傾向にあるが、20wt%点で孟宗竹短繊維、真竹短繊維グループが孟宗竹より30-43%高い値を示した。今回の短繊維化による引抜き効果が現れていることがわかる。以上、綿状の竹繊維と比較してアスペクト比を有する短繊維化の効果が認められた。

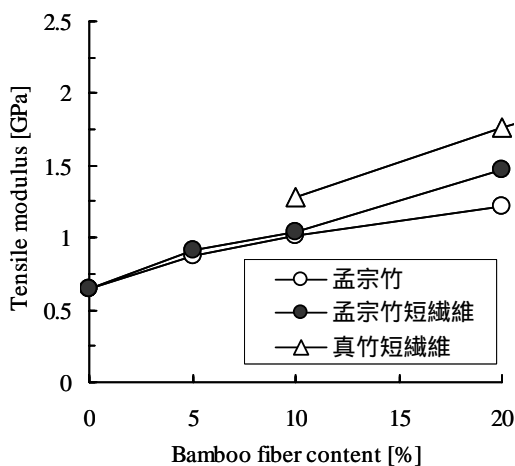


Fig. 1 Tensile moduli of bamboo fiber/PBS moldings.

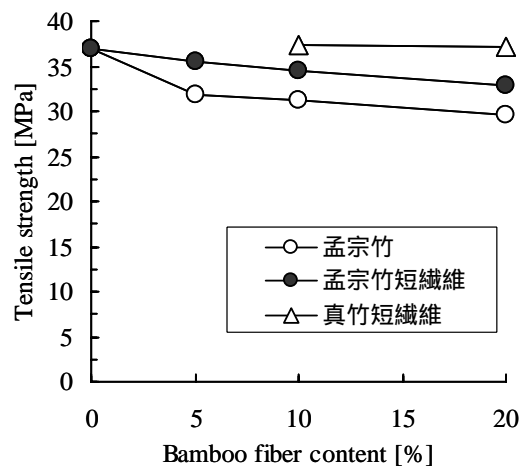


Fig. 2 Tensile strength of bamboo fiber/PBS moldings.

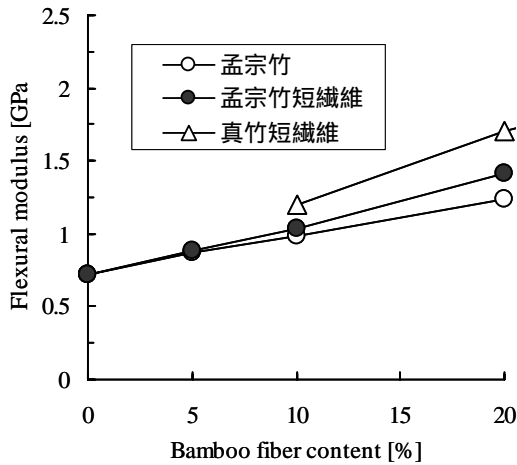


Fig. 3 Flexural moduli of bamboo fiber/PBS moldings.

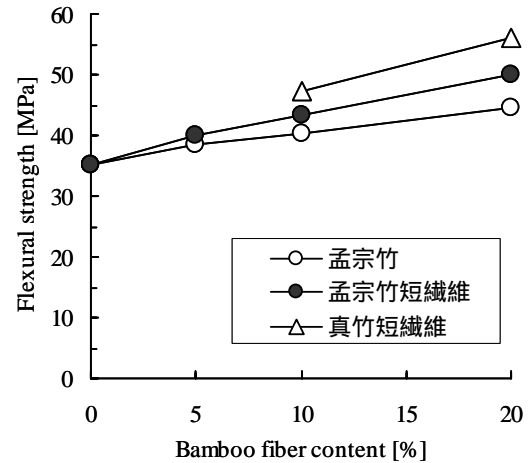


Fig. 4 Flexural strength of bamboo fiber/PBS moldings.

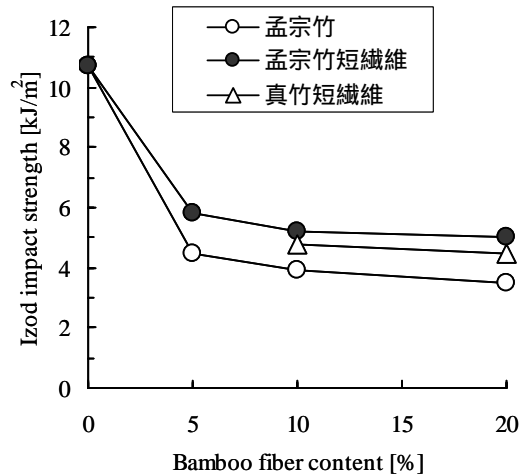


Fig. 5 Izod impact energy of bamboo fiber/PBS moldings.

2 - 2 . 竹の種類の影響

Fig.1 から Fig.4 において、孟宗竹短纖維複合材と真竹短纖維各複合材の各々引張弾性率と引張強度、曲げ弾性率と曲げ強度を示したが、真竹短纖維を用いた複合材は孟宗竹短纖維を用いた複合材と比較して、特に纖維含有率が高くなるにつれてそれぞれの物性が高い値を示した。Fig.6 に、孟宗竹と真竹の稈部の断面写真及び今回の機械的解繊により得られた各短纖維の外観写真を示した。真竹の短纖維は孟宗竹の短纖維と比較して、明らかに纖維直径が小さい(15 μm 以下、結果的にアスペクト比が大きい)ものが多く、このことが上記の違いをもたらしたものと考えられる。また、京都の竹材専門家によると真竹は孟宗竹と比較して維管束の密度が小さく、固く締まっています竹材としての材質が優れており、古来より本邦において建築材や細工用材として用いられて来たとのことであり、今回の樹脂補強効果をねらった短纖維化を検討する際にも、真竹の方が孟宗竹より適しているとの示唆を得ていた。

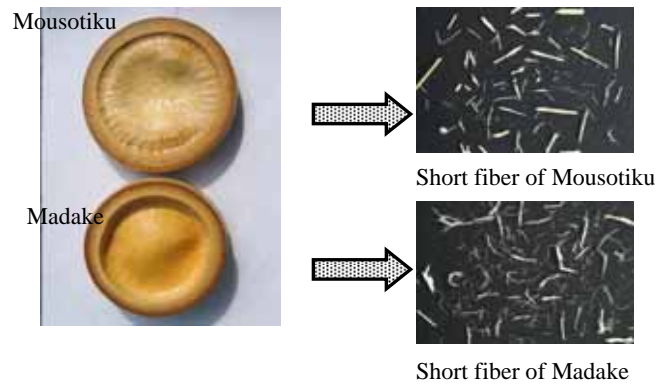


Fig. 6 Difference of bamboo short fiber between Madake and Mousotiku.

3 . 竹繊維のナノファイバー化

次に、真竹の機械的解繊繊維を用いて所定の方法により脱リグニン後、グラインダー処理することにより、竹繊維をナノファイバー (BNF) 化することに成功した。Fig.7 に、BNF の 10wt% 水分散液の外観写真を示す。また、Fig.8 にはシート化した BNF の走査型電子顕微鏡 (FE-SEM、日本電子 JSM-6700F) 写真を示した。繊維直径が約 20nm で均一にナノファイバー化している様子がよくわかる。



Fig. 7 Nano-sized bamboo fiber aqueous solution in concentration 10 wt%.

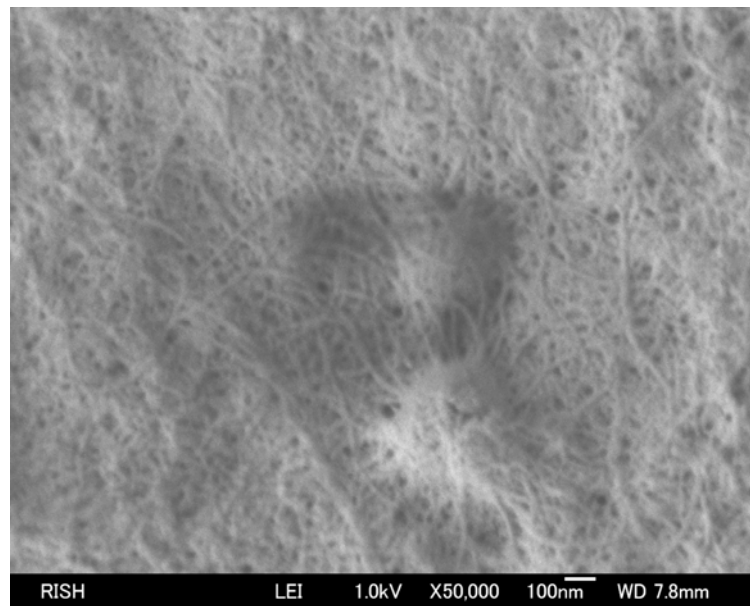


Fig.8 SEM photograph of nano-sized bamboo fiber.

4 . おわりに

バイオマス繊維の中でも非木質繊維の一種である竹繊維を中心に、複合化することによるプラスチック材料の高性能化技術について述べたが、繊維（マイクロサイズ）の表面処理技術と併用することで、母材樹脂と比較して土壌生分解性を速くしたり、遅くしたりすることも可能である⁷⁻⁹。また、真竹短繊維等のサンプル供給も京都の竹材専門社において平成 17 年秋から開始された。さらに、バイオナノファイバーと樹脂を複合化することで、マイクロファイバー複合材料では得られない、例えば高強度 (300-400MPa)、超低熱膨張 (10-20ppm/) で高精度精密加工が可能な複合材料が得られることが判っており¹³⁻¹⁵、現在産学公連携でそれらの研究開発、実用化開発に取り組んでいる所である。今後のバイオナノファイバーおよび同ナノコンポジットの展開に少しでも寄与できれば幸いである。

5 . 付 記

竹繊維のナノファイバー化並びに高植物度ナノコンポジットの開発については、京都大学生存圏研究所矢野浩之教授と共同で、平成 17-18 年度経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業の一環として行っている。

参考文献

- 1) 長野麻子, 生分解性プラスチックの改質技術と成形加工における課題と対策, (2003, 技術情報協会, 東京都).
- 2) I. V. Weyenberg, B. Berghmans, B. Vangrimde, I. Verpoest, *Compos. Sci. Technol.*, 63, 1241(2003).
- 3) A. K. Mohanty, M. Misra, L. T. Drzal(ed.), “Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites”, (2005, CRC Press, Newyork).
- 4) 岩野昌夫, *プラスチック*, 57(3), 1(2005).
- 5) K. Kitagawa, K. Tsutsui, K. Watanabe, M. Mizoguchi, H. Hamada, *Proc. 1st. Int. Conf. on Eco-Composites (EcoComp-2001)*, p.22(2001, London).
- 6) S. H. Lee, T. Ohkita, K. Kitagawa, *Holzforschung*, 58, 529(2004).
- 7) K. Kitagawa, U. S. Ishiaku, M. Mizoguchi, H. Hamada, “Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites”, A. K. Mohanty, M. Misra, L. T. Drzal(ed.), p.391(2005, CRC Press, Newyork,).
- 8) Kori Y., Kitagawa K., and Hamada H., *J. Appl. Polym. Sci.*, 98, 603(2005).
- 9) 北川和男, *現代林業*, No.450, 26(2003).
- 10) 財団法人京都高度技術研究所, 平成 15 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「バイオマス繊維 / 生分解プラスチックの界面制御型複合材料の開発」, (2004, 近畿経済産業局, 大阪市).
- 11) 北川和男, *プラスチック*, 55(7), 52(2004).
- 12) 北川和男, *プラスチック*, 55(8), 75(2004).
- 13) H. Yano, S. Nakahara, *J. Mater. Sci.* 39, 1635(2004).
- 14) A. N. Nakagaito, H. Yano, *Appl. Phys. A*78, 547(2004).
- 15) A. N. Nakagaito, H. Yano, *Appl. Phys. A*80, 155(2005).



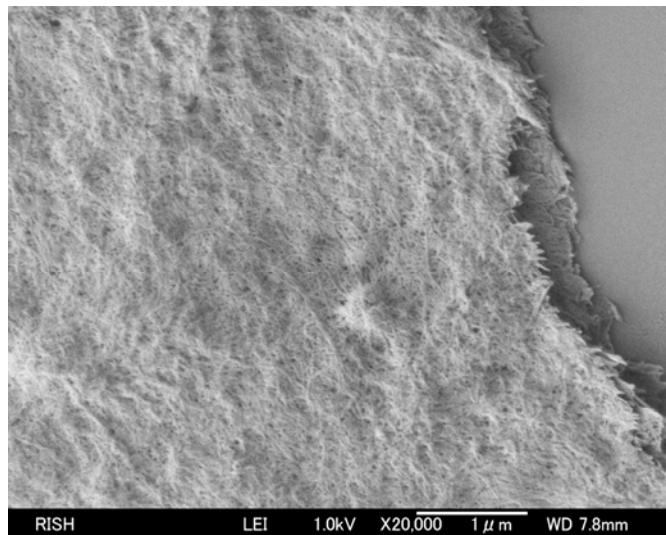
竹纖維(真竹 / 綿)



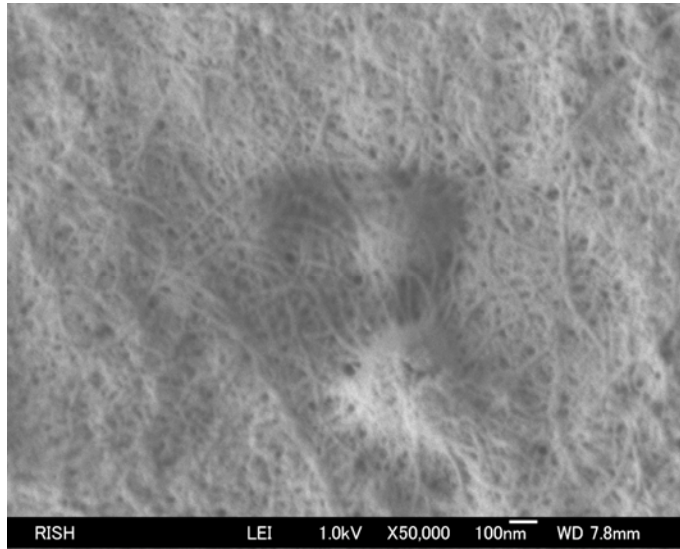
竹纖維(真竹/綿):脱リグニン後予備開纖



竹纖維(真竹/綿):ナノファイバー化



SEM写真 BNF(真竹/綿) × 20000



SEM写真 BNF(真竹/綿) × 50000



BNFシート(真竹/綿)

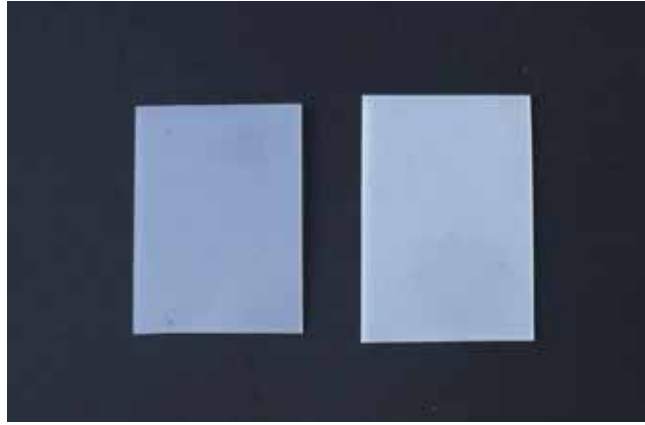
仙	台	27.7(20.4)	17.9(12.5)
東	京	26.7(22.6)	20.2(16.4)
新	潟	22.6(21.4)	19.0(13.9)
静	岡	27.4(23.9)	19.9(16.2)
名	屋	23.6(23.7)	19.6(15.3)
古	沢	24.9(22.2)	19.6(14.6)
金	都	22.9(24.0)	21.0(15.0)
京	阪	25.2(24.4)	21.5(16.6)
大	良	22.7(23.2)	18.4(13.5)
奈	戸	26.1(23.8)	22.5(17.4)
神	山	25.5(23.4)	21.8(15.2)
岡			

BNFシート(真竹/綿)

表 竹繊維バイマオマスナノファイバーの特性

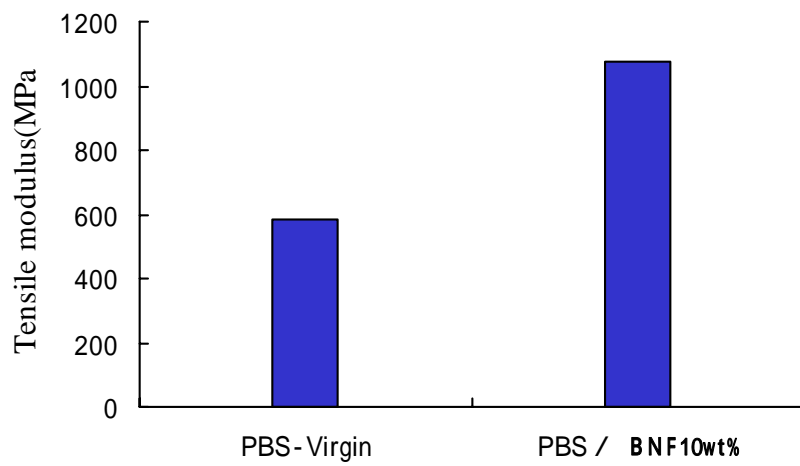
試料		密度 (g/cm ³)	引張弾性率 (GPa)	引張強度 (MPa)	比弾性率 (GPa)	比強度 (MPa)
BNF	真竹/綿	1.3	11.4	165	8.8	127
	真竹/粉	1.0	8.8	123	8.8	123
	孟宗/綿	1.3	12	166	9.2	128
MFC		1.3	9.5	100	7.3	77

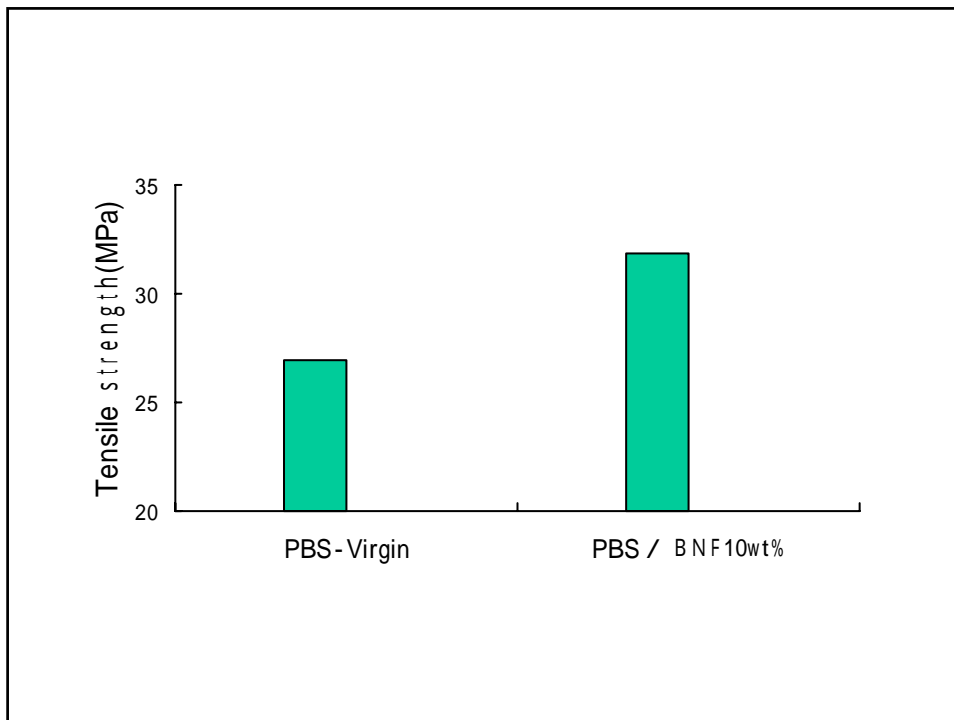
PBS/BNF複合シート



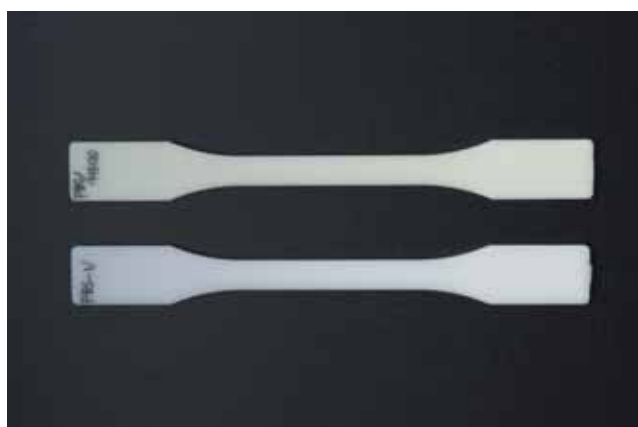
PBS

PBS/BNF10wt%



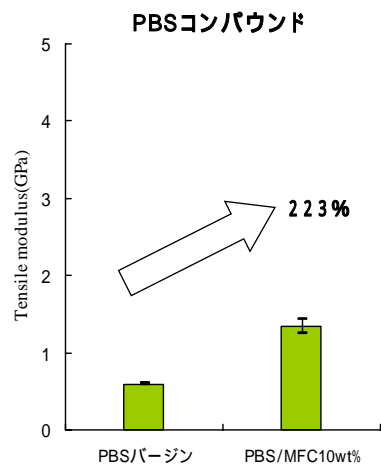


射出成形試験片



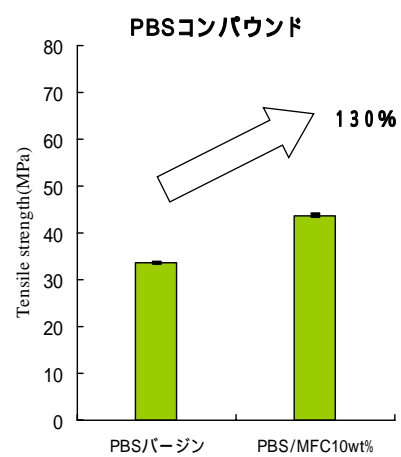
写真上: PBS/BNF10wt%
写真下: PBSバージン

射出成形



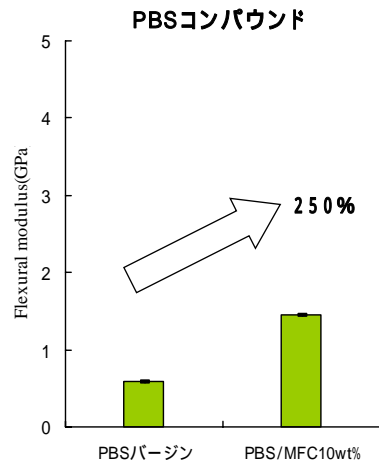
引張弾性率

射出成形



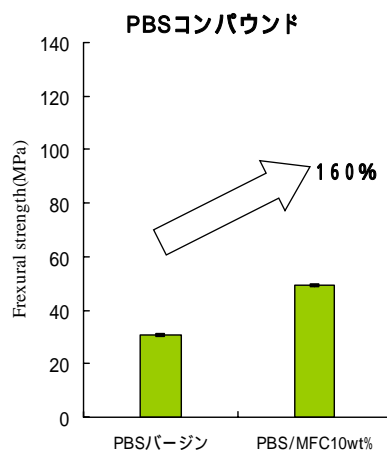
引張強度

射出成形



曲げ弾性率

射出成形



曲げ強度

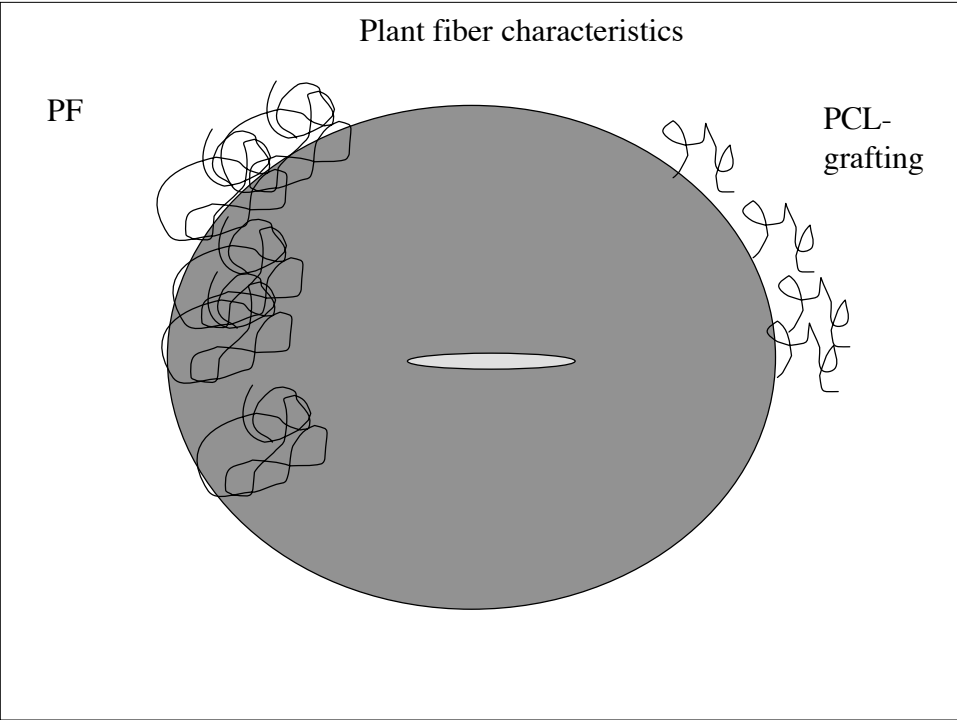
The potential for new cellulose nanocomposites

LA Berglund
Biofibre Materials Centre
KTH, SE-100 44 Stockholm

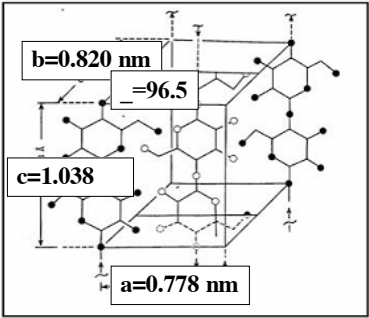
Acknowledgements: SA Samir, M Henriksson, A Svagan
M Bergenstråhle



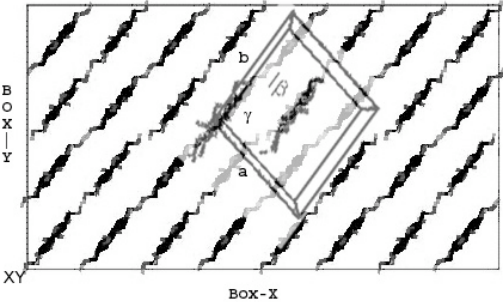
Vascular plants,
400 million years ago



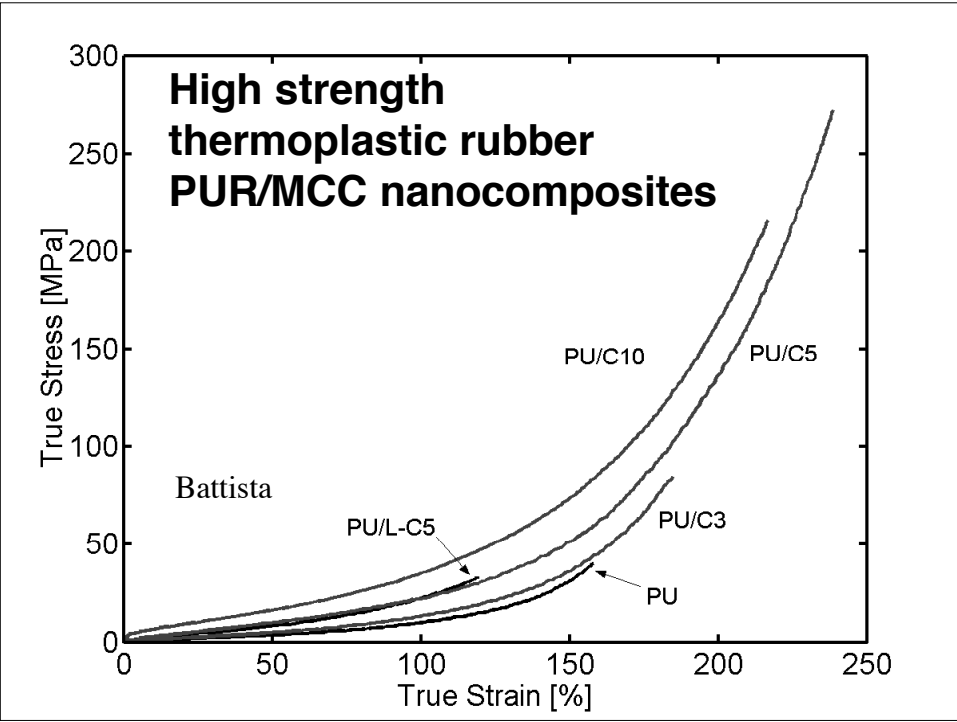
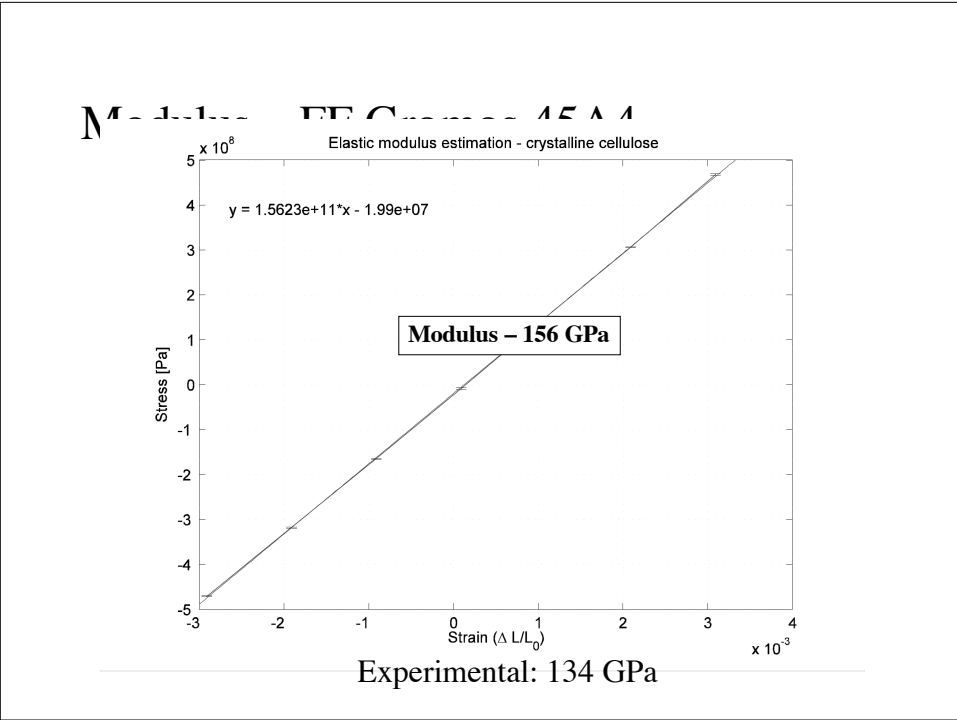
**Structural parameters:
Unit cell dimensions**



Cellulose I₁ unit cell



Unit cell and simulation box



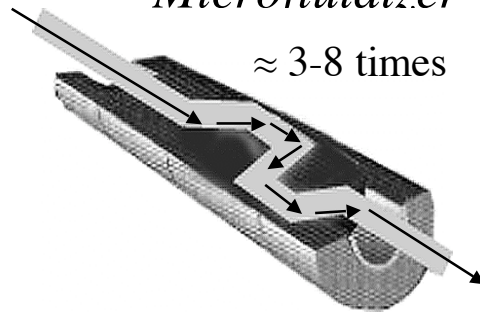


Pulp fiber suspension

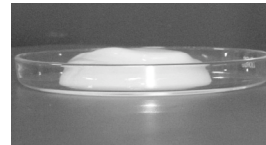
Microfibrillated cellulose (MFC) from wood (T Lindström)

Microfluidizer

≈ 3-8 times



Microfibrillated cellulose (MFC) suspension (≈1%) (Turbak)



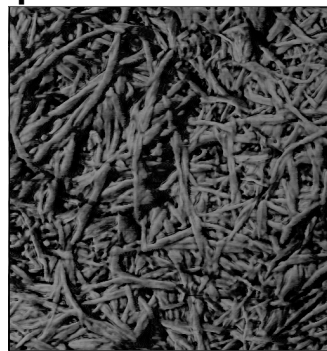
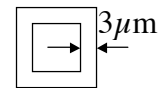
Ankerfors

Films from nanoscale fibrils:

Vacuum filtration

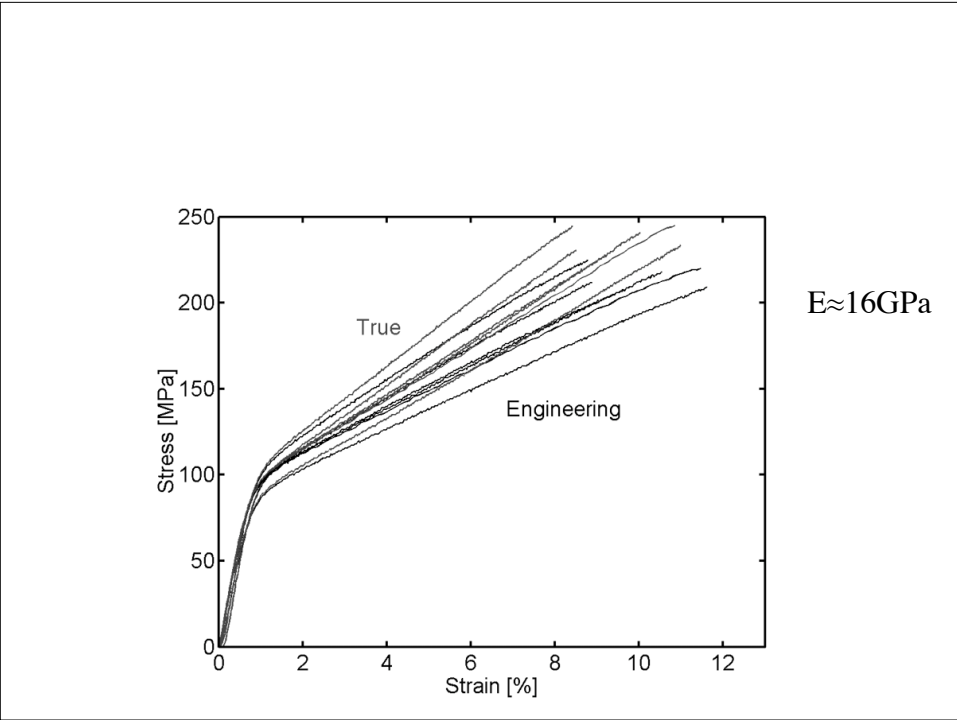
Water-based processing

Room temp



0 1.00 μm
Data type Phase
Z range 143.6 °

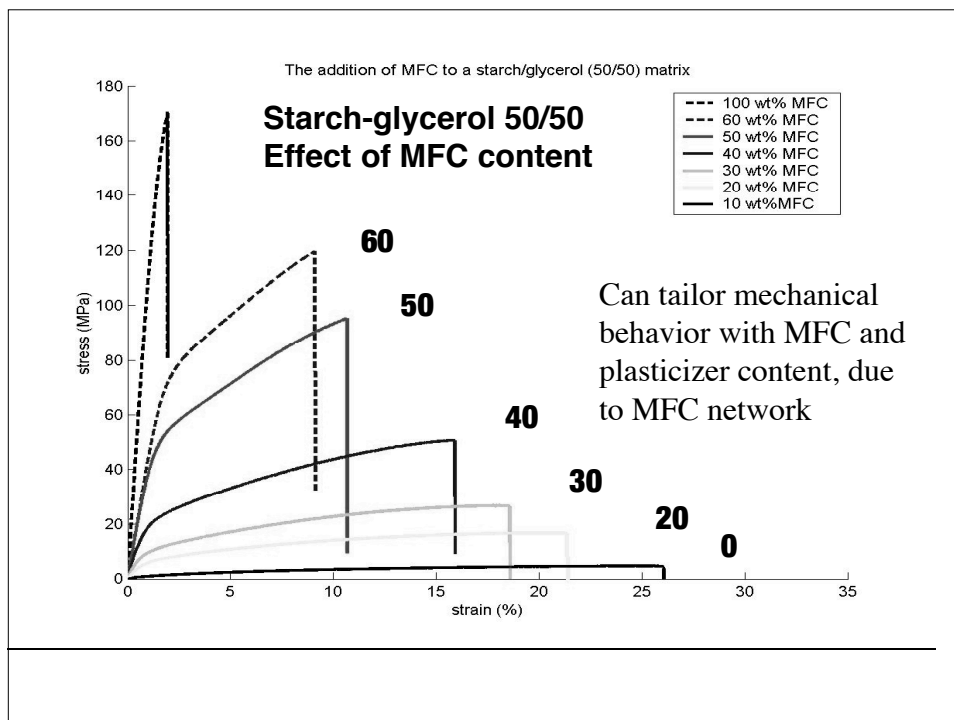
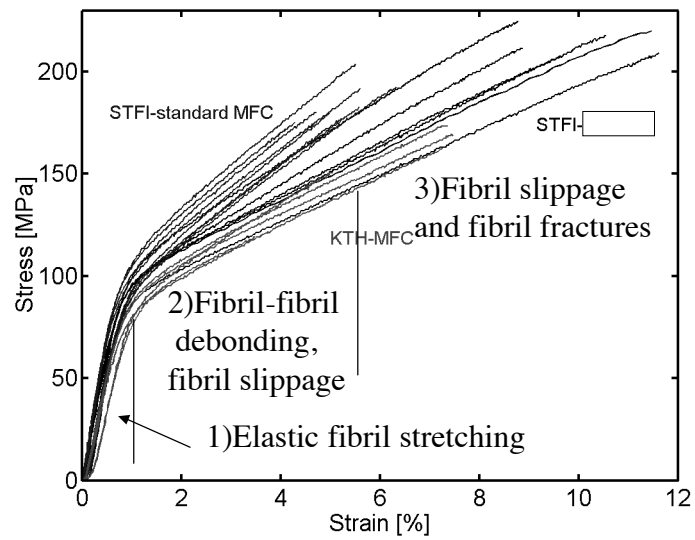
1 μm



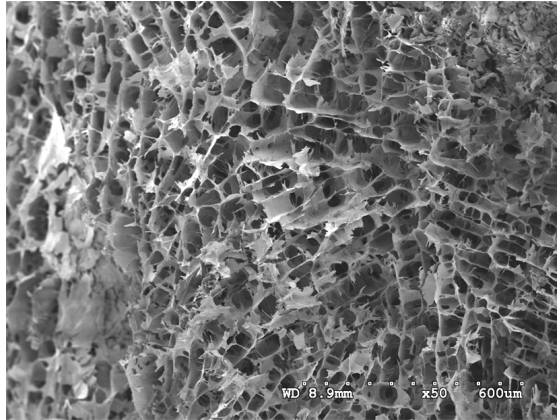
Strength correlates with molar mass

	Strength (MPa)	Molar mass M_w
A	214	330 000
B	185	200 000
C	158	140 000

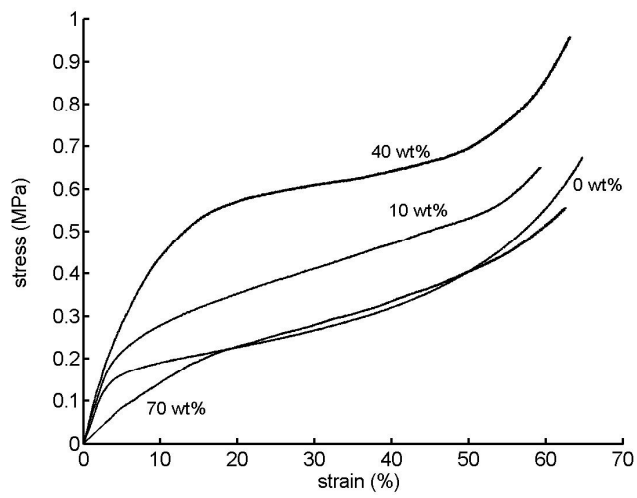
Deformation mechanisms



Microcellular starch foam - nanostructured cellulose fibrils i the cell wall



Foam stress-strain behavior



Moment to bend fiber: $M = \frac{\pi E \kappa d^4}{64}$ Curvature: $\kappa = \frac{1}{r}$

Flexibility: $\frac{\kappa}{M} = \frac{64}{\pi E d^4}$

Stress to bend fiber: $\sigma = \frac{E \kappa d}{2}$

Max curvature: $\kappa_{\max} = \frac{2\sigma^*}{E d}$

Flexibility & max curvature

Fiber	Diameter d (μm)	Modulus E (GPa)	Flexibility K/m	Strength (GPa)	Curv _{max} K _{max} (mm ⁻¹)
Kevlar	12	130	7.6×10^6	3.0	3.8
Glass	11	76	1.8×10^7	2.0	4.8
Carbon,HS	8	250	2.0×10^7	2.7	2.7
SiC	1	450	4.5×10^{10}	5.0	22.2
MFC	30×10^{-3}	130	2×10^{17}	3	1500

Cellulose nanocomposites summary

- E higher than glass fibers at density 1500 kg/m³
- Improved strength requires structural control at finer scale (cell, microfibril, molecular)
- Monomers soluble in fiber, fiber soluble, chemically active surface, max $V_f > 0.65$
- Moisture disadvantage as aramide
- Microfibrils (new constituent) for films, composites and foams (networks), also for fibers
- Cooking removes lignin/hemicelluloses, but reduces Mw