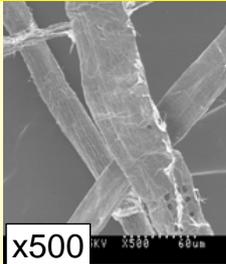


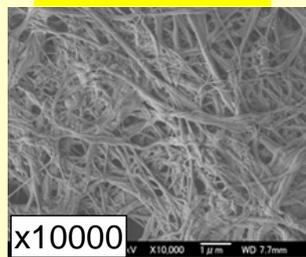
バイオナノファイバー材料開発の 現状と今後

京都大学 生存圏研究所 矢野浩之

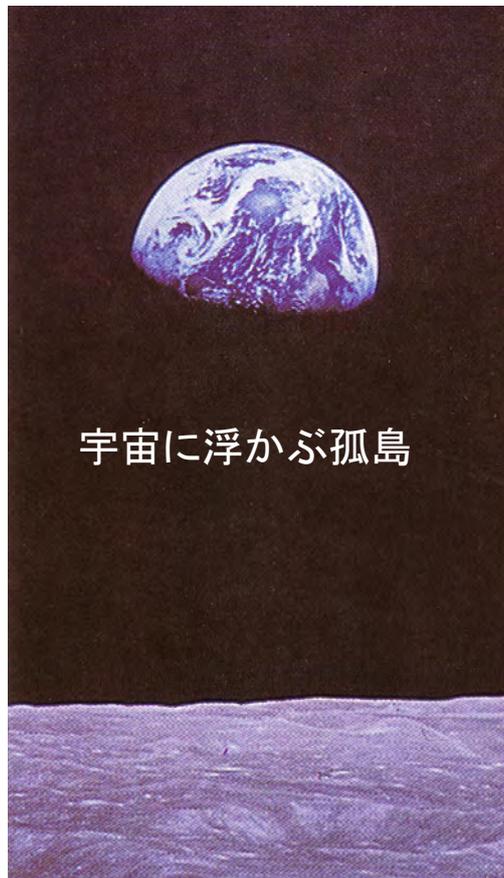
木材細胞(パルプ)



ナノファイバー化

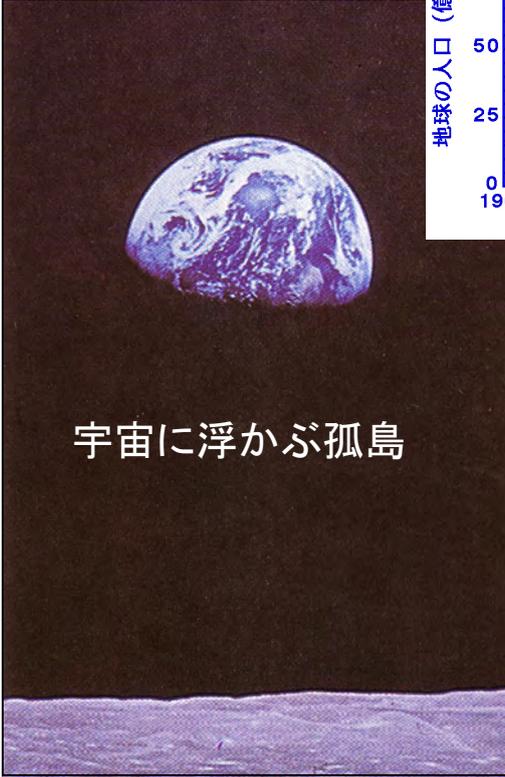


バイオナノファイバー:すべての植物細胞の基本骨格物質。軽量・高強度・低熱膨張ナノファイバー



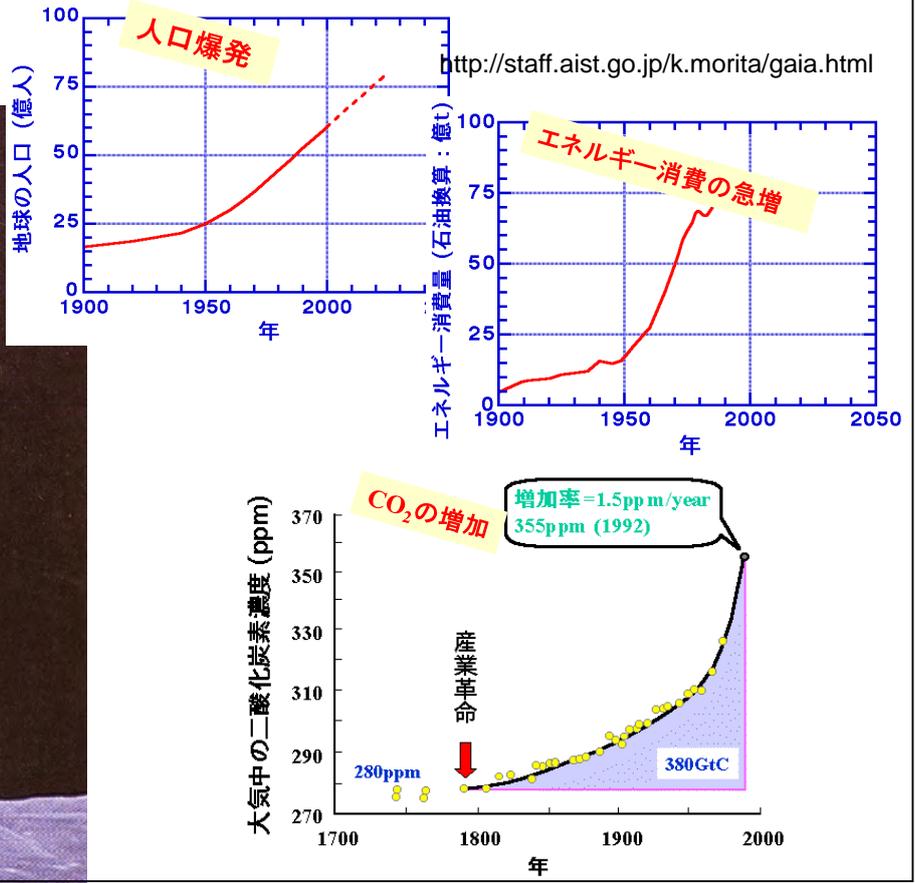
宇宙に浮かぶ孤島

地球の危機的状況



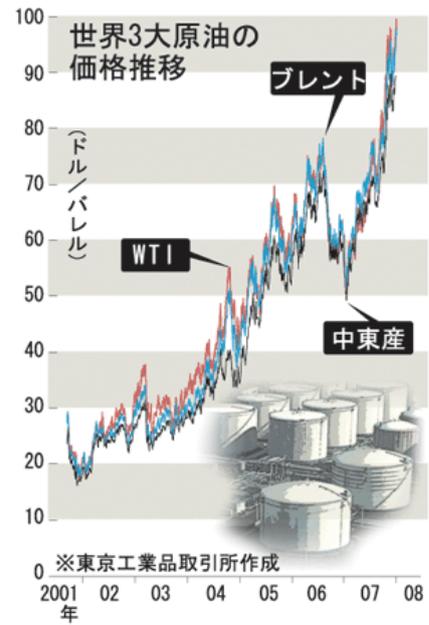
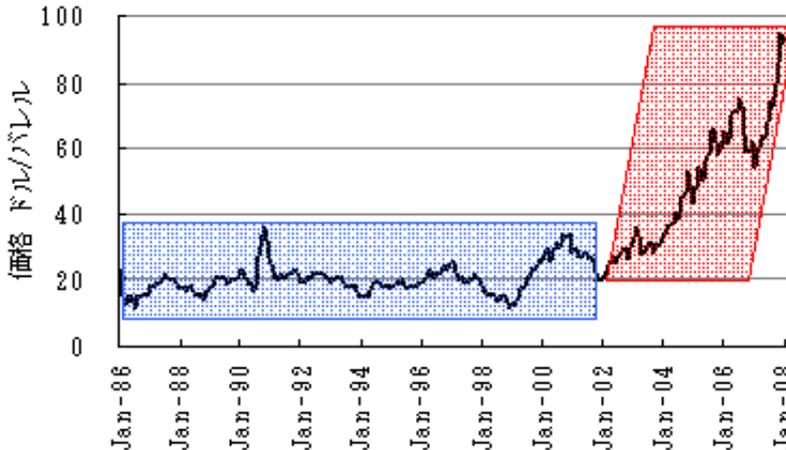
宇宙に浮かぶ孤島

産業革命以降における人間活動の急激な拡大



原油価格の推移

図1 原油価格の推移
(Cushing, OK WTI Spot Price FOB)/EIA



閉ざされた空間
限りある資源



宇宙に浮かぶ孤島

太陽エネルギー依存型社会の構築

太陽の光によって、水と炭酸ガスから作り出される地球上最大の有機物質！ 植物・植物バイオマス



バイオマス：1兆8千億トン 石油：1千500億トン

21世紀 我が国の課題

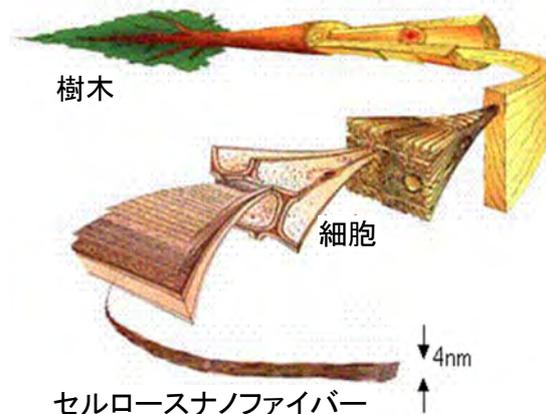
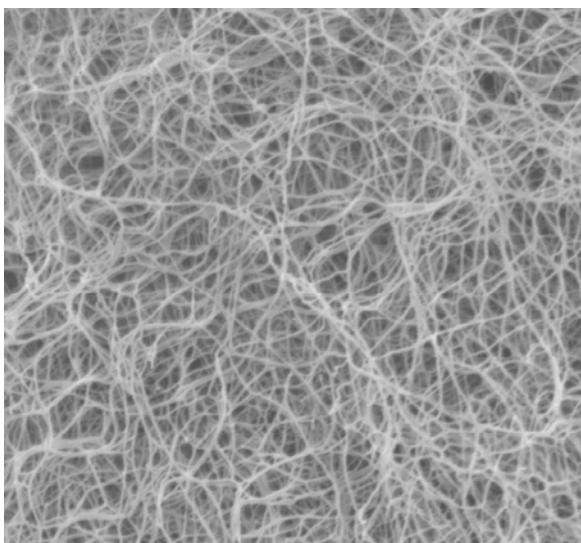
循環型資源に基づく持続的社會基盤の構築

急激な人口増加と世界的な生活レベルの向上に伴い、石油を始めとし、ガス、鉄鉱石等々、資源という資源が高騰している。現在の生活レベルを下げることなく 未来の資源保証を図るには、枯渇性資源材料を性能的に凌駕するもの作りを、植物資源ベースで実現しなければならない。



先端的バイオマテリアルの開発

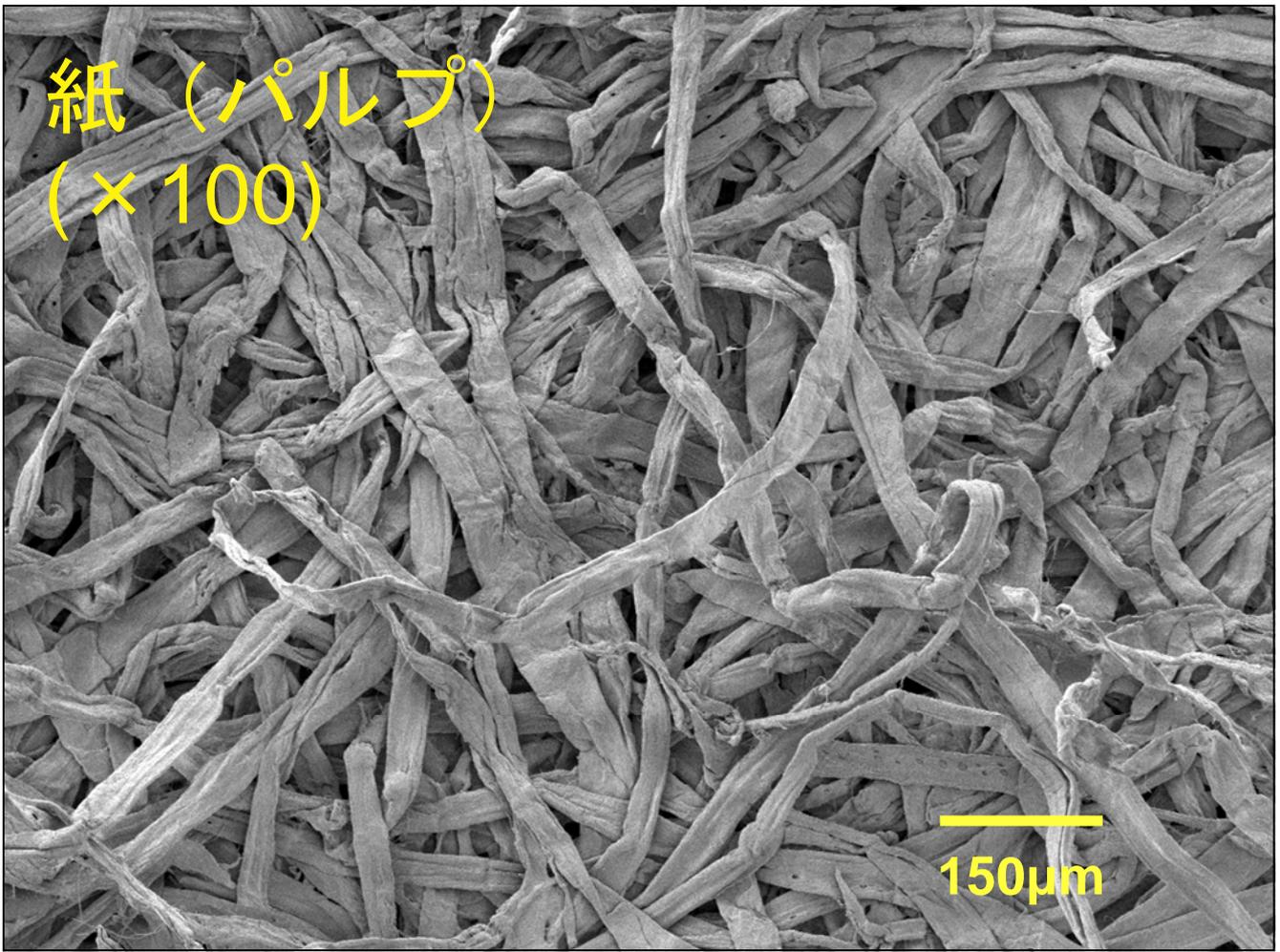
バイオナノファイバー, BNF (セルロースナノファイバー)



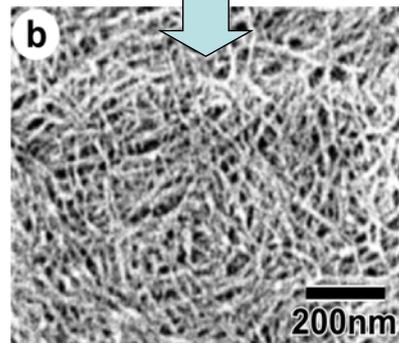
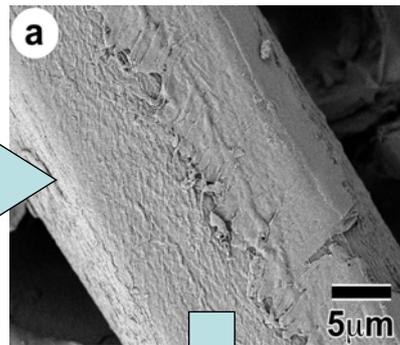
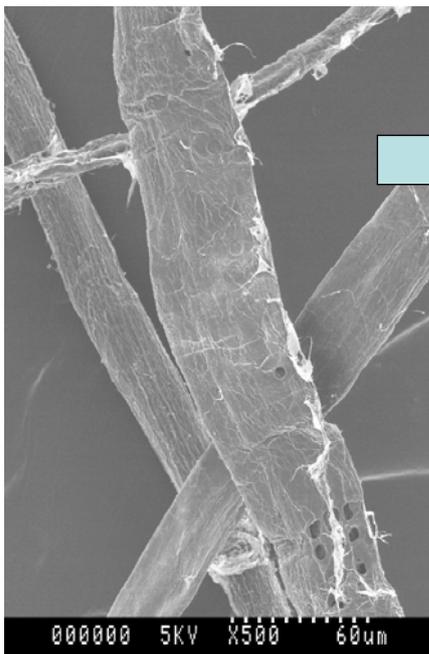
1兆トンの蓄積！

木材のBNF (京都大学 栗野博 供)

- 全ての植物細胞の基本骨格ナノファイバー (植物バイオマスの約半分を占める)
- 太陽エネルギーによる持続的再生資源



木材繊維 (パルプ) の観察



巾10nmの均一ナノファイバー！

ビデオ：サイエンスゼロ

短縮版

利用可能な世界の植物資源量 (Rowell, 1998)

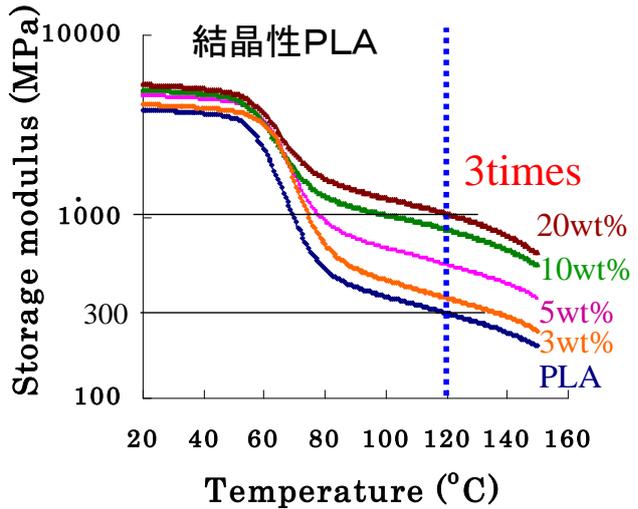
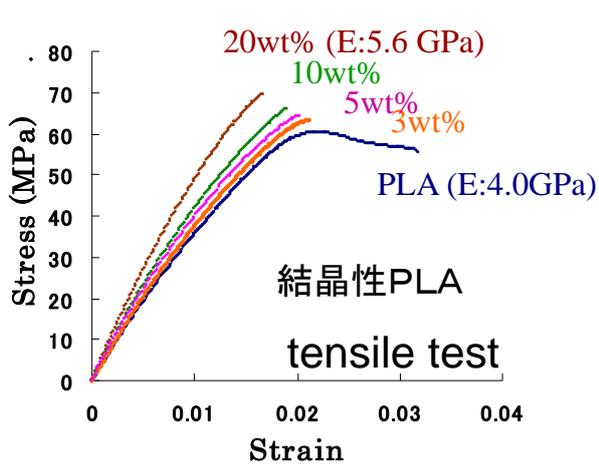
植物資源	利用可能量 (百万トン/年)
木材	1750 (17.5億トン)
ワラ (麦、稲、他)	1145
茎 (トウモロコシ、綿花、他)	970
砂糖キビ バガス	75
アシ・葦	30
竹	30
綿	15
ジュート、ケナフの茎芯部	8
ジュート、ケナフの茎繊維部	2.9
コットンリントー	1
葉脈繊維 (サイザル、アバカ)	5

天然ゴム: 9百万トン/年



石油系樹脂
1.5億トン/年

バイオナノファイバー強化PLA



(Suryanegara, Yano 2007)



H17-18年度 地域新生コンソーシアム開発品

BNF強化PLA射出成型品
京都市産技研、三菱化学、
松下電工

透明補強

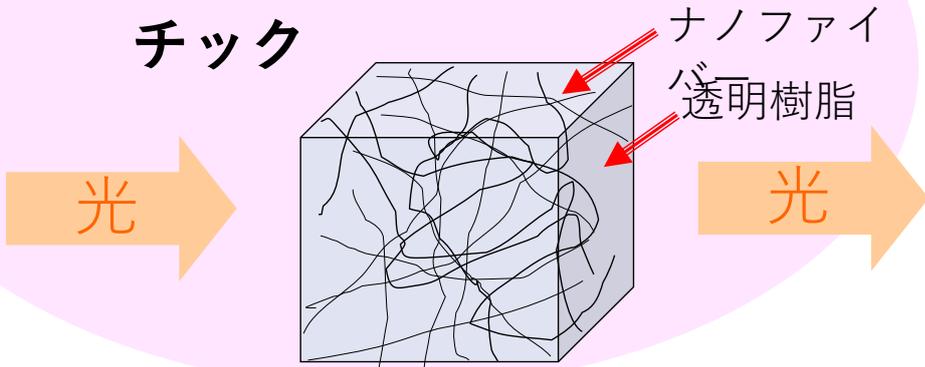


Paper-like display



可視光波長に対し十分に小さいコンポーネントは散乱を生じない。透明な複合材料になる。

ナノファイバー強化プラスチック



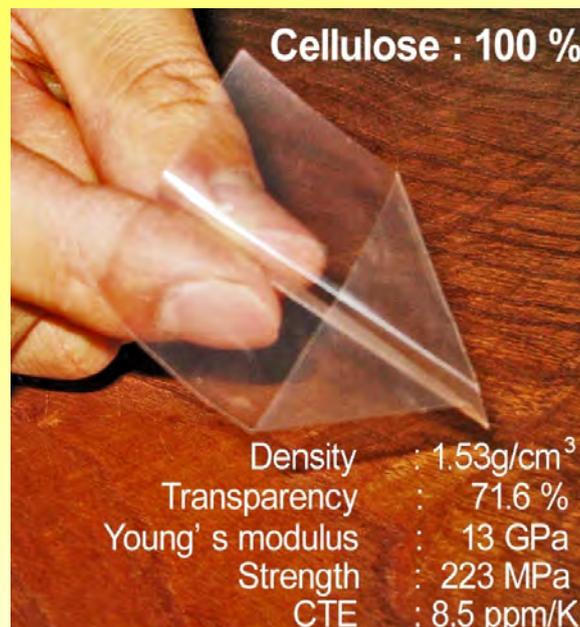
植物ナノファイバー補強透明材料



Fiber content: 70-90%

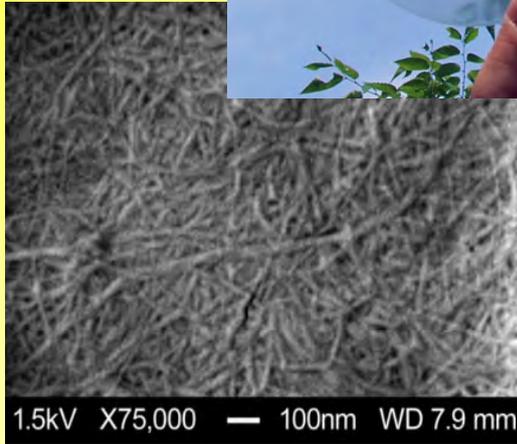
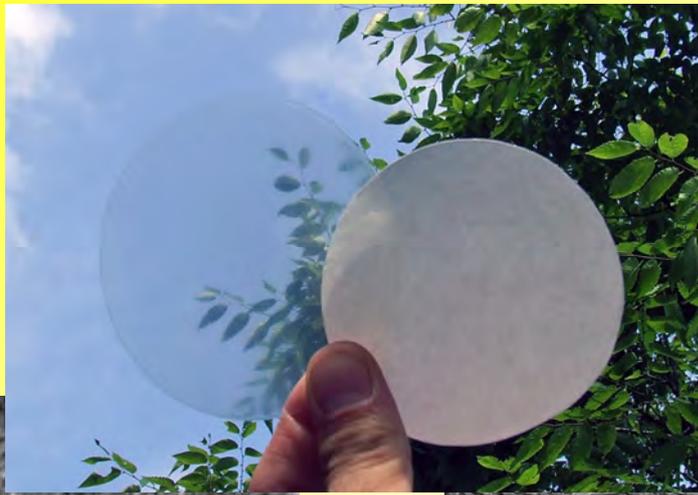
(岩本, 矢野 2005)

折り畳める低熱膨張透明材料

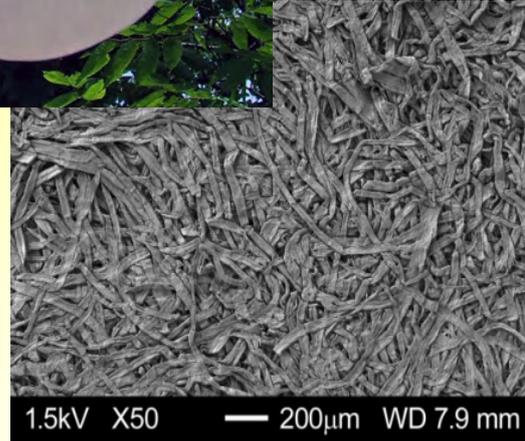


100%セルロースナノファイバー材料

能木・矢野、2008



21世紀の紙



20世紀の紙

能木・矢野、2008

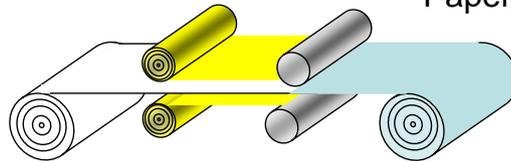
植物で未来の電子情報機器を創る



Wearable computer



Paper-like display



連続的なRoll to Roll技術



Cellulose : 100 %

Density	: 1.53g/cm ³
Transparency	: 71.6 %
Young's modulus	: 13 GPa
Strength	: 223 MPa
CTE	: 8.5 ppm/K

Bendable display



バイオナノファイバー 環境対応大型新素材

幅4nmあるいは15nmの伸びきり鎖微結晶ナノファイバー
ヤング率:138GPa, 引張強度:3GPa (鋼鉄の5倍)

→ 防弾チョッキに使用するアラミド

繊維と同等

50

バイオナ

①軽量・高

②脱石油・リニューアブル(持続性)

③CO2排出抑制(カーボンニュートラル)

④安全・安心(生体適合性)

⑤マテリアル・サーマルリサイクル可能

⑥低環境負荷(生分解性付与)

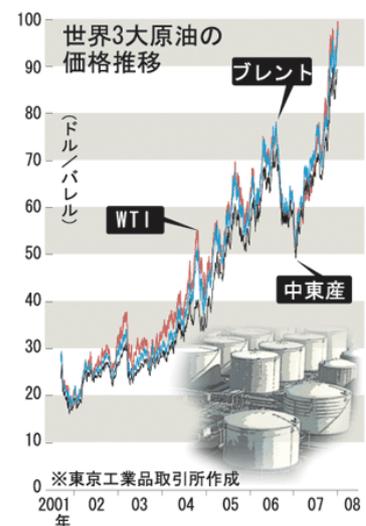
⑦農産廃棄物の資源化

などの優れた特性を有した未来材料になる。

使うほどに、性能が上がり、
コストが下がり、環境に優しい。



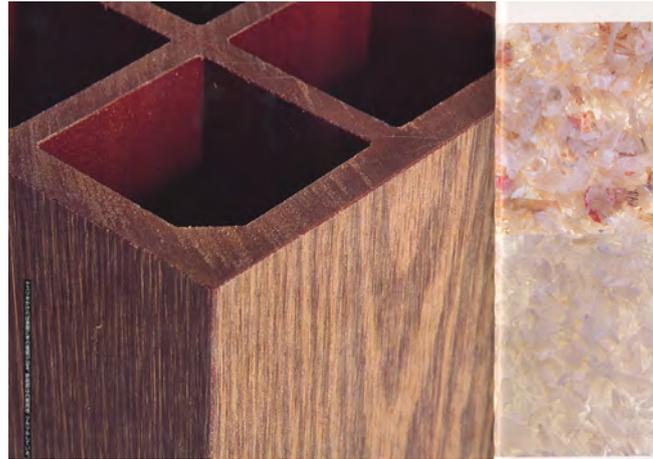
トロントの学会:2008.5.12-13



参加:250人

NFCs: 植物繊維強化プラスチックカンファレンス

WPC:ウッドプラスチック複合体



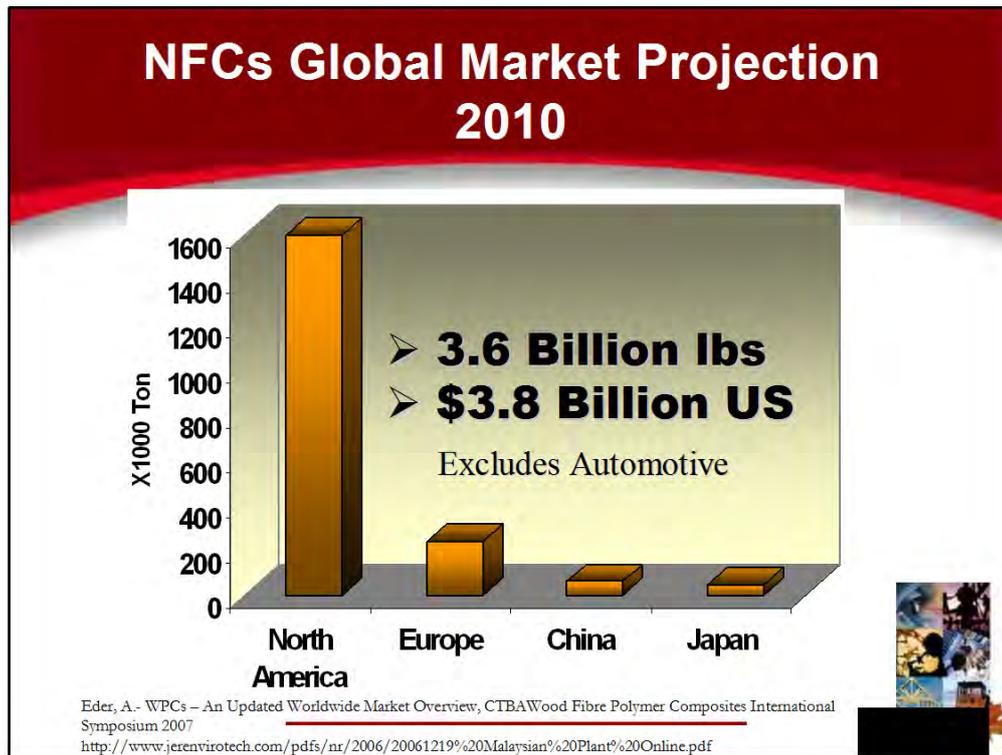
ウッドプラスチック複合体と原材料のPP

木粉や木質繊維とポリプロピレン、塩ビなどの熱可塑性樹脂を混練し成型。木質感を有し、耐水性、耐久性に優れている。廃材、廃プラスチックを有効に利用できることから社会的関心が高く、その製造技術も急速に進歩している。造作部材、サッシ、浴室壁材、エクステリア部材等に使用されている。



Trex, deck
(www.trex.com/)

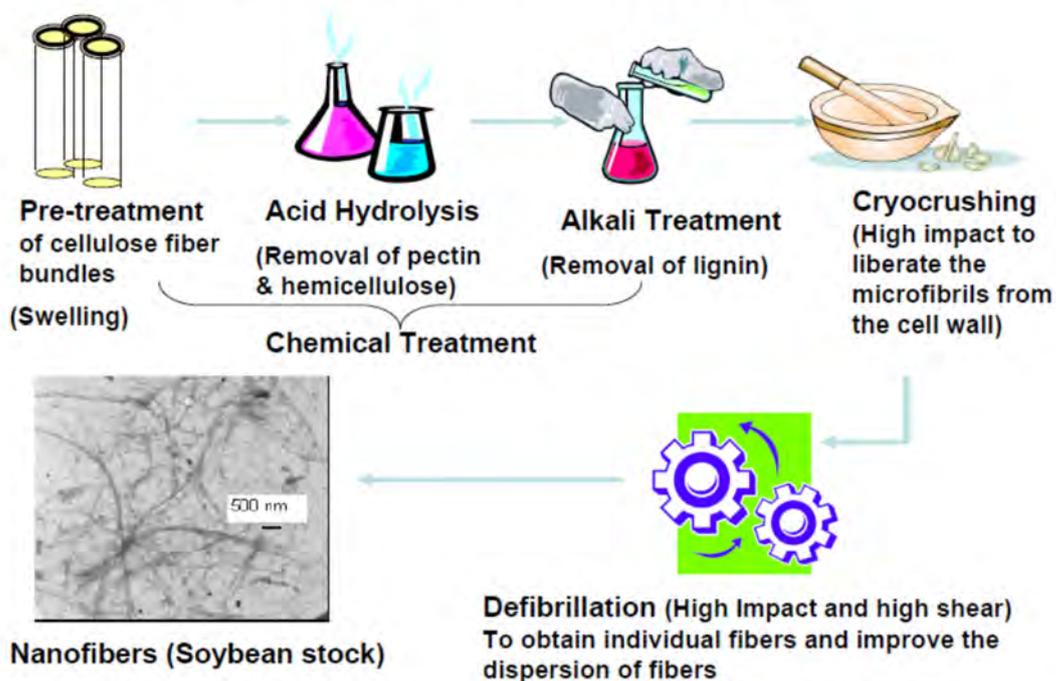
WPC: ウッドプラスチックの市場 北米だけで4000億円



次は、ナノ

トロント大
Sain教授グループ

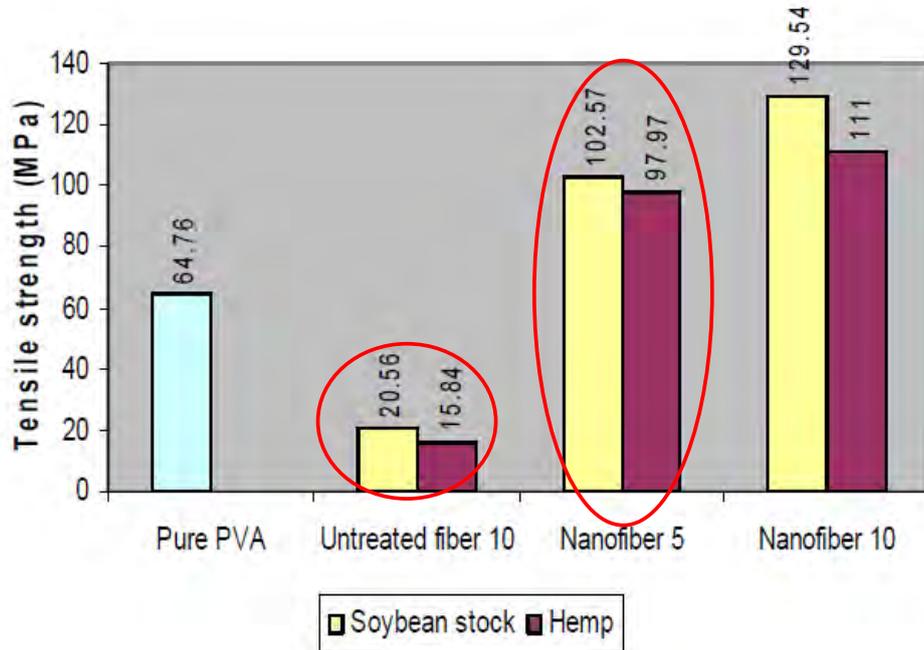
Isolation of Nanofibers



Sain, M., Bhatnagar, A.: Manufacturing of nano-sized fibers from renewable feedstock. US Patent Appl. 60,512,912 (2004)

次は、ナノ

Tensile Strength of PVA Film



植物系複合材料: WPC発展型

米国林産物研究所: 所長トップ
ダウンPJ
?億円

トロント大学グループ:
18億円
予備研究を終え
100億円PJ申請

メイン州立大学
AEWC Center:
5億円予備研究を終え
50億円PJ申請中

紙・パルプ発展型

KTH/STFiグループ
(スウェーデン):
45億円PJ申請中

ナノセルロースセンター(40人
規模、VTT/TKK/UPMグループ、
フィンランド) 2008.3 発足

東京大学グループ
(磯貝教授)

CERMAVグループ
(フランス) 基礎研究

九州大学グループ
(近藤教授)

京都大学グループ

セルロース発展型

世界の主要バイオナノファイバー研究拠点

H18,H19年度NEDO国際共同研究先導調査より

トロント大学 バイオマテリアルセンター (Sain教授グループ、4大学連携)



オンタリオ州農務部の
後押しで自動車部材に
ターゲット

18億円の自動車用バイオ材料プロジェクトを終え、ベンチャー企業3社を核に100億円規模のカウンシル体制を計画
中。(すでに二社を立ち上げ済み)

カナダ、オンタリオ州、トロント



バイオマテリアルセンター (トロント大学、Sain教授)



Centre for Biocomposites & Biomaterials Processing

植物繊維強化材料(FPC)の論文数分析 2000-2005

Universities	No. References
Michigan State University, USA	20
University of Kassel, Germany	6
University of Delaware, USA	4
Kyoto University, Japan	4
Tech. Univ. of Berlin, Germany	4
University of Auckland, New Zealand	4
Chemnitz Univ, Germany	3
Inha University, South Korea	3
Univ. of New Brunswick, Canada	2
University of Toronto, Canada	2
Utrecht University, Netherlands	2
Doshisha University, Japan	2
UNESP, Brazil	2
Others	50

A.L.Leao, et al., 2007

Mohanty 教授

H18年度 NEDO国際共同研究先導調査

(Composite Materials and Structures Center)

Journal Editorとして活躍

- Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites
- Journal of Polymers and the Environment
- Journal of Nanoscience and Nanotechnology
- Journal of Biobased Materials and Bioenergy



バイオコンポジットについて数多くの総説

- “A review on pineapple leaf fibers, sisal fibers and their biocomposites.”
Macromolecular Materials and Engineering, 289, 955-974 2004.
- Sustainable Bio-Composites From Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World”, Journal of Polymers and the Environment, 10 (1/2), 19-26 (2002).
- Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An Overview”, Composite Interface, 8(5), 313-343 (2001).

2008年4月から、カナダトロント近郊のGuelph大学に移籍。
Sain教授グループと強い連携

Advanced Engineered Wood Composites Center

- ✓低コスト、高性能の構造コンポジット材料の開発研究
- ✓Maine州の木材産業のコンサルティングや生産物のテストなどをサポート
- ✓セルロースナノ材料に関する**予備研究(5億円)を終了し、50億円プロジェクトを申請中**
- ✓バイオコンポジット関係の設備:規模は非常に大きい。押出機など生産設備も Pilot Plant 規模 ● 実大テスト設備を保有し、ASTM Testの公的機関として認定



Doug Gardner 教授
(左:産総研 遠藤博士)



米国農務省林産物研究所:FPL

- ✓世界の植物資源材料研究の総本山
- ✓北米のWPC研究をリード
- ✓昨年から所長トップダウンで、北米紙パルプ協会と連携のもと、林産物におけるナノテクノロジー研究を推進中

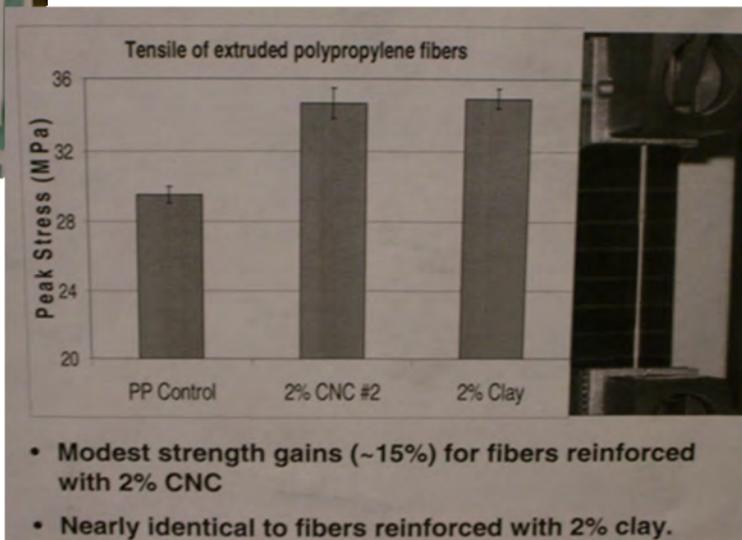


実大WPC製造プラント

FPL開発中:セルロースナノファイバー強化PP材料



1年前



植物系複合材料: WPC発展型

米国林産物研究所: 所長トップ
ダウンPJ
?億円

トロント大学グループ:
18億円
予備研究を終え
100億円PJ申請

メイン州立大学
AEWC Center:
5億円予備研究を終え
50億円PJ申請中

紙・パルプ発展型

KTH/STFiグループ
(スウェーデン):
45億円PJ申請中

ナノセルロースセンター(40人
規模、VTT/TKK/UPMグループ、
フィンランド) 2008.3 発足

東京大学グループ
(磯貝教授)

CERMAVグループ
(フランス) 基礎研究

九州大学グループ
(近藤教授)

京都大学グループ

セルロース発展型

世界の主要バイオナノファイバー研究拠点

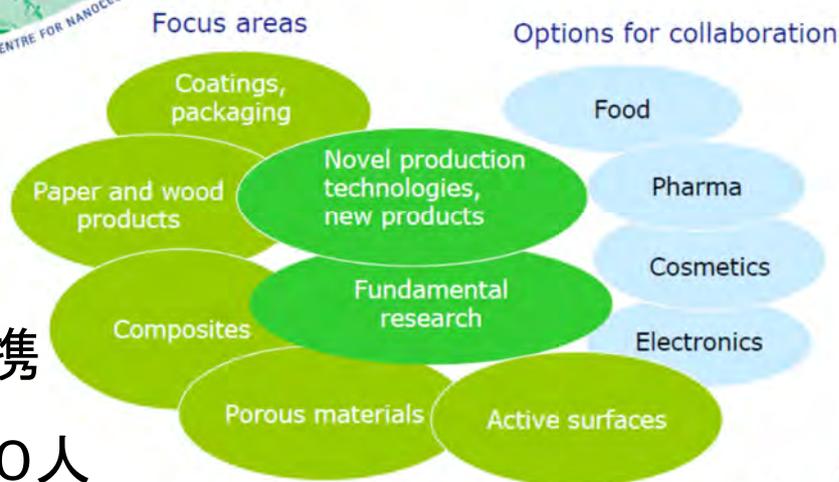
H18,H19年度NEDO国際共同研究先導調査より

フィンランド ナノセルロース技術センター:2008.2月発足

(VTT Home pageより)



Fields of action



産学官連携

研究者:40人

14.02.2008

[VTT, Helsinki University of Technology and UPM to establish an internationally unique Finnish Centre for Nanocellulosic Technologies](#)

VTT Technical Research Centre of Finland, Helsinki University of Technology TKK and UPM have today established an internationally unique Finnish Centre for Nanocellulosic Technologies. It aims to create new applications for cellulose as a raw material, substance and end product. Cellulose-based nanofibres can be used to alter the structure of the material and create products that better correspond to future market needs.



(VTT Home pageより)

End use areas and products

Time schedule

タイムスケジュール

Laboratory scale testing 1-3 years

- Pilot scale production within 3-5 years from now. When pilot scale works well and the most promising applications have been found the next step will be;
- Production of basic nanofibrillated cellulose and tailoring of products to specific applications can be started 5-8 years from now.



3-5年でパイロットプラント生産 →

5-8年で商業生産へ



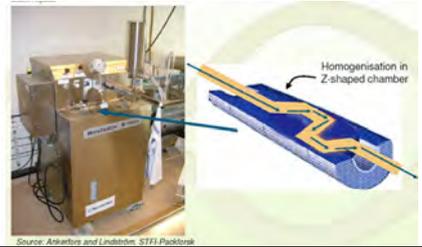
スウェーデン紙パルプ・パッケージ研究所(STFI-PACKFORST)
 および王立工科大学(KTH)
 Prof. T. Lindstrom, Prof. L. Berglund

スウェーデン紙パルプ・パッケージ研究所は紙パルプ関係とパッケージ関係の研究所が合併してできた研究所。スウェーデンの基幹産業である紙パルプ産業を支えている。法人化した現在も研究費の多くは国から来ている。KTHに隣接しており、KTHとの共同研究が盛んである。2005年にBNFに関するヨーロッパ全体でのロードマップを作製。

2003年- スウェーデン/フィンランド共同「セルロースナノ材料」プロジェクト

SP1: Nanofacility Prof. Tom Lindström, STFI-Packforsk
SP2: Modified Surfaces and Their Characterisation Prof. Janne Laine, HUT
SP3: Functional Fibre Coatings Prof. Tom Lindström, STFI-Packforsk
SP4: High Performance Nanocomposites Prof. Lars Berglund, KTH
SP5: Functional Materials Prof. Olli Ikkala, HUT
SP6: Superhydrophobic Materials Prof. Lars Wågberg, KTH

本プロジェクトは、スウェーデンとフィンランドが共同で行っている木質科学研究プログラム(2003年-2006年、2千万ユーロ:30億円)の中のプロジェクトである。研究期間は2004年1月~06年12月まで。予算は184万ユーロ(約2億8千万円)。STFI-PackforskのTom Lindstrom教授がプロジェクトリーダーとなり、6つのサブプロジェクトから構成されている。すなわち、1)ナノ化装置、2)表面修飾と構造評価、3)機能化繊維コーティング、4)高性能ナノコンポジット、5)機能性材料、6)超撥水性セルロース材料。

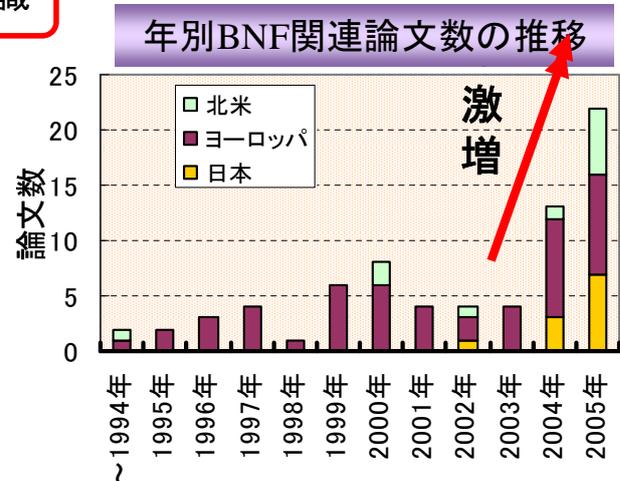


植物系ナノ材料開発研究の動向と日本の優位性

(H18,H19年度NEDO国際共同研究先導調査より)

欧米での植物系ナノエレメント、材料の認識

紙・パルプ産業や林産物産業におけるナノテクノロジーとして着目。**ナノファイバー、ナノウィスカーは高価との認識。**セルロースナノエレメントならではの高付加価値化が必須。クレーナノコンポジット(600円/kg)と競合。できれば少量添加で優れた効果。**高ナノファイバー率の構造用途という概念はない。**

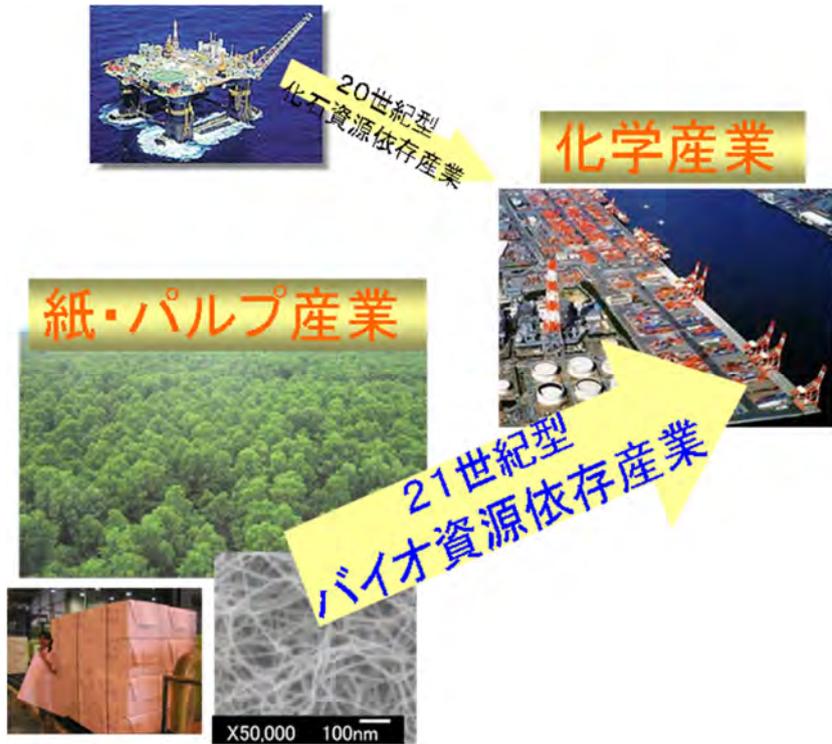


日本の優位性

安価なナノファイバー製造法を発明し、構造用途に特化
 関連技術の早急な権利化。今なら世界で勝てる！！

バイオナノマテリアル産業のイメージ —植物繊維から金属並み強度—

低炭素バイオマス資源に基づく新産業創出とCO2削減



バイオナノマテリアル による未来材料

自動車

軽量で強いボディ材料。
燃費向上



家電品

耐衝撃に優れ、
リサイクル容易な筐体材料



建材

高強度でリサイクル可能な
建築材料



IT部品

高機能・高性能で
環境に優しいIT部材



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



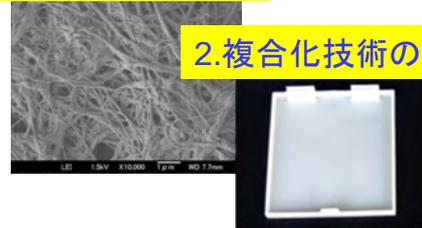
NEDO大学発事業創出プロジェクト H19-21

目的

バイオナノファイバー（BNF）に関する
京都大学シーズ技術を用い、PP樹脂、ゴム
および不飽和ポリエステル樹脂との複合化
に優れた変性BNFの製造ならびにその複
合化技術の実用化研究開発を行う。

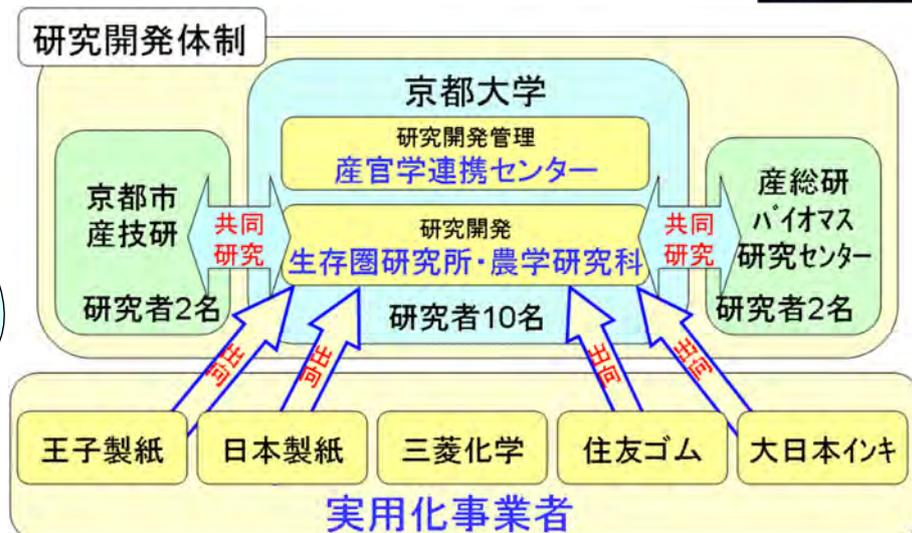
1.変性BNFの製造

2.複合化技術の開発



体制

産官学
異業種
垂直連携



開発する技術の新規性・優位性／ 実用化する製品の優位性

開発する技術の新規性・優位性

新規性: 変性BNF原料から複合体製造までのトータル制御

優位性: 低コストでの変性BNF製造が可能に(世界初)。

セルロース(親水性)と極性が大きく異なるPP樹脂、ゴム、不飽和ポリ
エステル樹脂とのナノ複合化が実用化レベルで可能に(世界初)。

実用化する製品の優位性

- 植物由来の環境対応材料
- 安価・軽量・高強度
- 低熱膨張
- フレキシブル性可能
- 意匠性(色・平滑性)に優れる

複合材料フィラーとしての特性比較

	BNF	GF	CF	セルロース 繊維
強度	○	○	○	×
軽量化	◎	○	◎	◎
密度	1.5	1.8	1.5	1.5
コスト	○	○	×	○
CO ₂ 削減量	◎ 植物由来	×	×	◎
焼却適性	◎	×	△	◎
意匠性	◎	×(粗い)	△黒い	△(粗い)

事業化計画(体制・スケジュール)

事業化の基本体制

BNFの製造販売
王子製紙、日本製紙



樹脂組成物の製造販売
大日本インキ、住友ゴム、三菱化学

BNFと樹脂組成物の一体事業化の場合は、これらの企業の連合もありえる。

スケジュール

- 平成22年: 一部試作品の製造販売。
- 平成23年: 一部本格生産。

エコイノベーション

環境重視・人間重視の技術革新・社会革新

バイオナノファイバー材料のポテンシャル

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

目指すはバイオ自動車

BNF強化材料で車体重量を20%軽減

→20%燃費向上！！

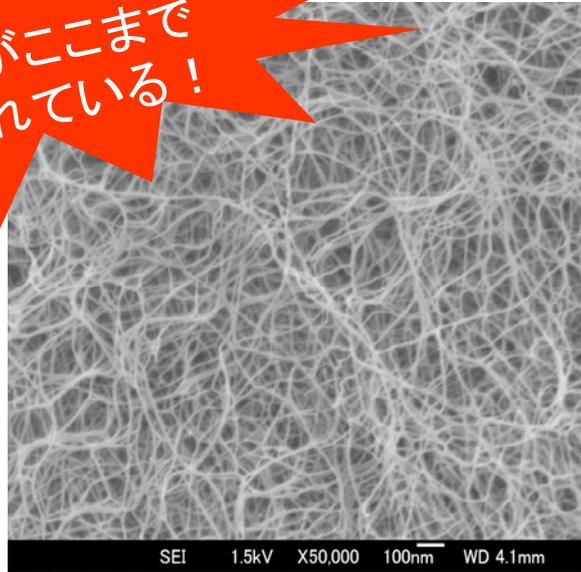
→排出炭酸ガス4%低減！



バイオナノファイバー, BNF

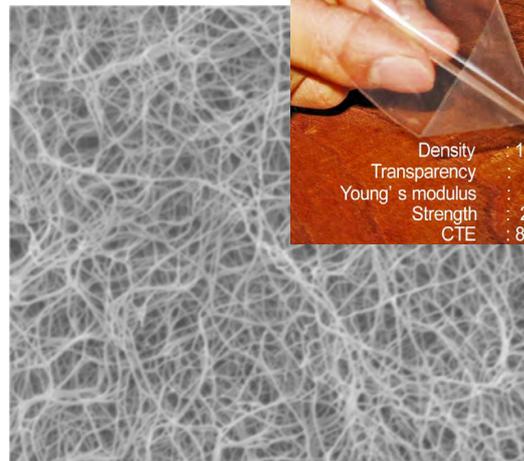


植物がここまで
してくれている！



木材のBNF (京都大学 栗野博士提供)

21世紀のバイオ材料



Cellulose : 100 %

Density	: 1.53g/cm ³
Transparency	: 71.6 %
Young' s modulus	: 13 GPa
Strength	: 223 MPa
CTE	: 8.5 ppm/K

作り手である生き物の思いを私たちが受け止める
生物が行った99.9%に人間の知恵を0.1%足す。

ご静聴有り難うございました。