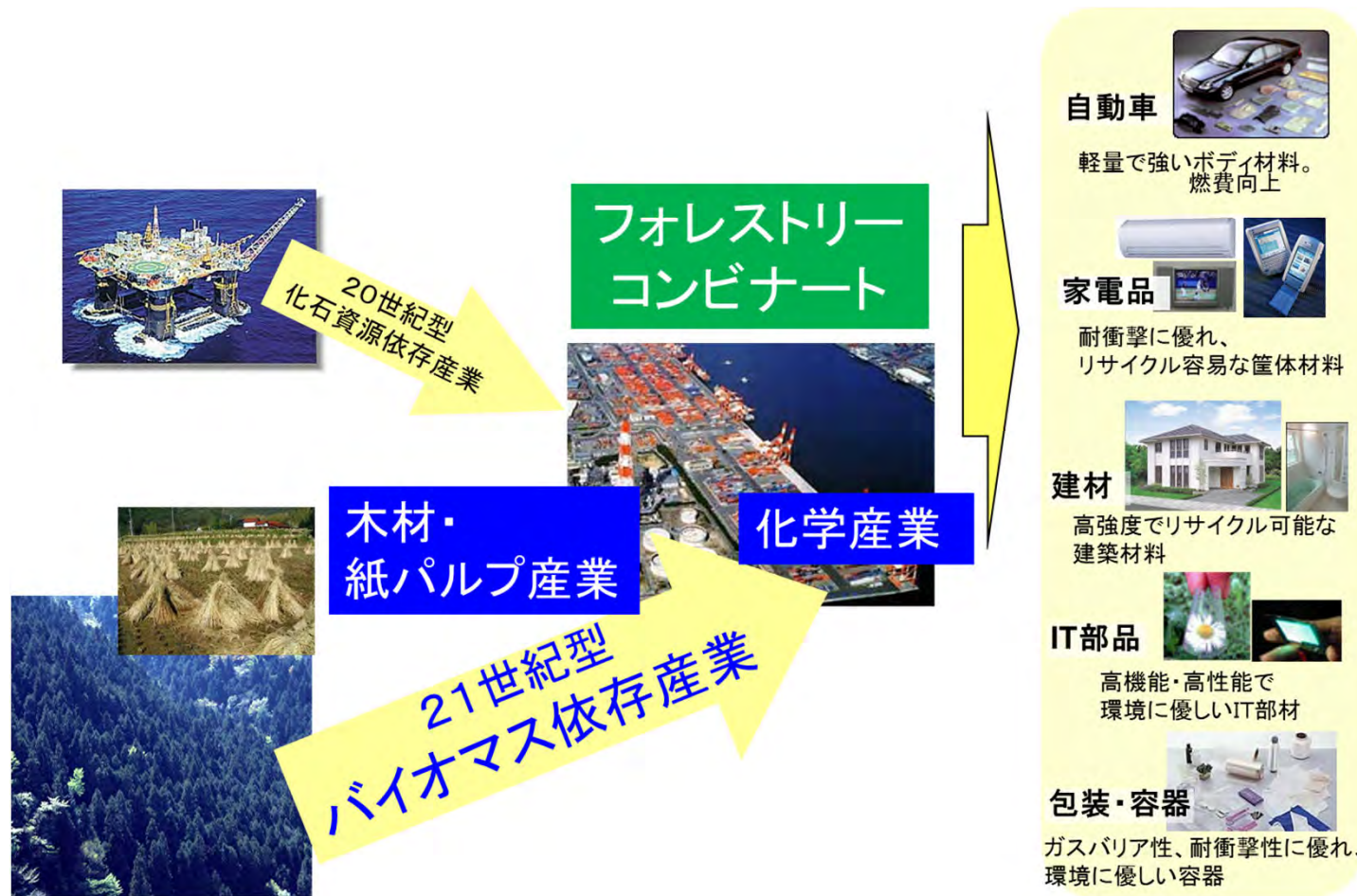


**カーボンニュートラルに資する
高性能セルロース系繊維複合材料（CNF強化樹脂）の
製造コストを画期的に低減する技術**

**京都大学 生存圏研究所
バイオナノマテリアル共同研究拠点
矢野 浩之**

2022年3月7日

カーボンニュートラルとサステナビリティ

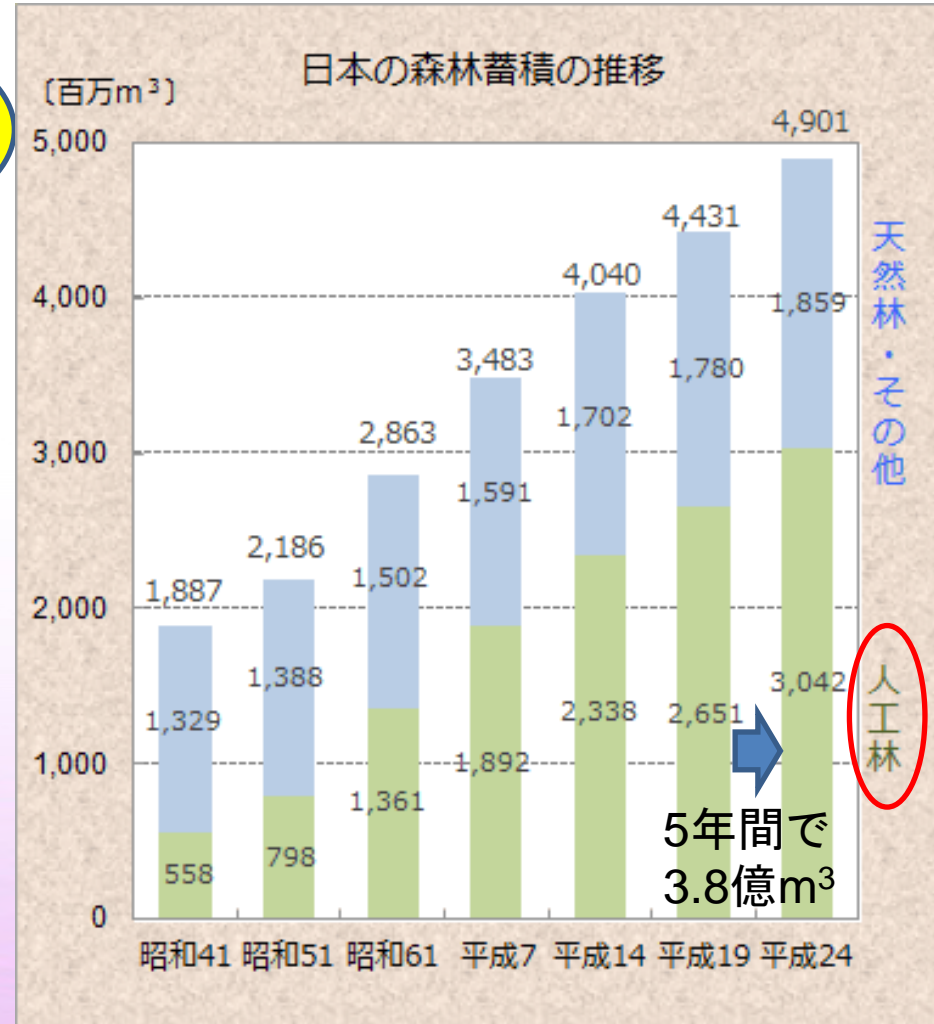


日本の持続型資源：人工林で木材が毎年3000万トン増えています。



日本は国土の7割が森林。しかも、、、

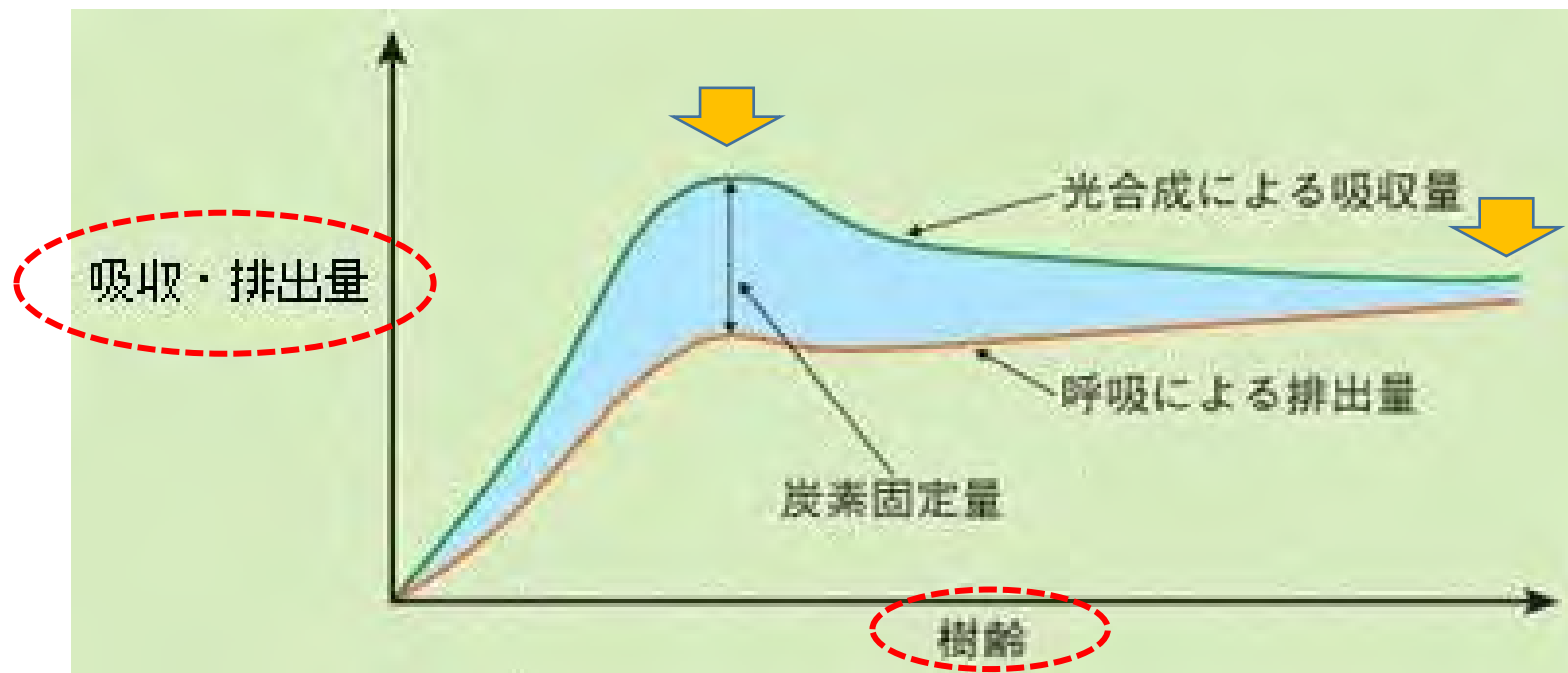
我が国では人工林の蓄積量が毎年7500万 m^3 増加しています。
スギ、ヒノキ中心の木材1 m^3 の重量を約400kgとすると、人工林で毎年3000万トンの木材が増え続けていることになります。



Q3 樹木は二酸化炭素を排出もしているというのは本当ですか

A3

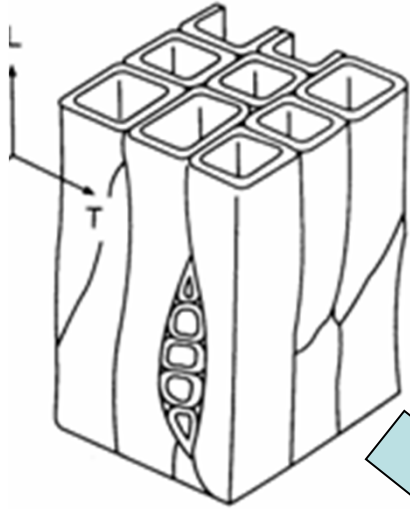
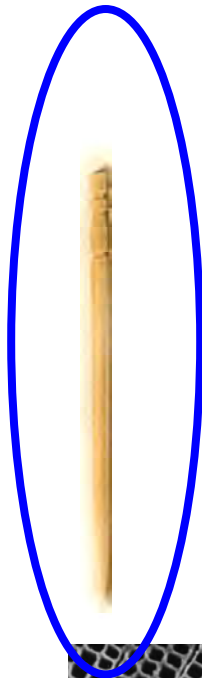
樹木も含め植物は、光合成により二酸化炭素を吸収し酸素を放出する一方で、私たち人間と同じように生きていくための呼吸もしているため、酸素を吸収し二酸化炭素を放出しています。ただし、光合成に使われる二酸化炭素量は呼吸から出る二酸化炭素量よりも多いので、差し引きすると樹木は二酸化炭素を吸収していることとなります。成長期の若い森林では、樹木は二酸化炭素をどんどん吸収して大きくなります。これに対して、**成熟した森林になると、吸収量に対する呼吸量がだんだん多くなり、差し引きの吸収能力は低下していきます。**



林野庁HPから

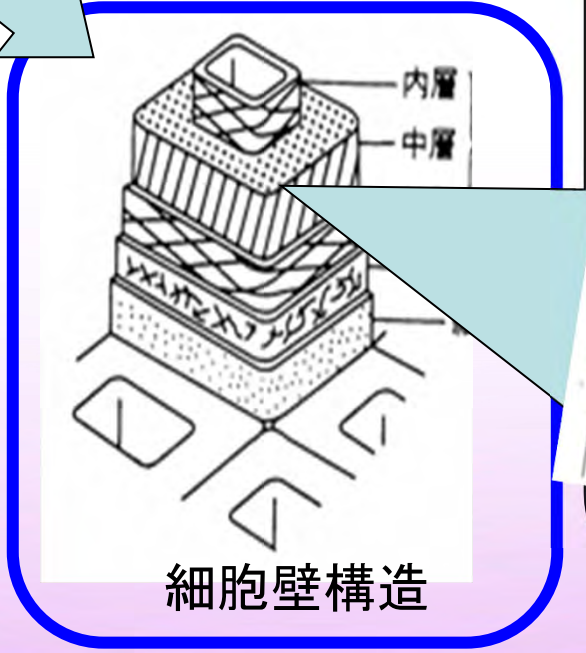
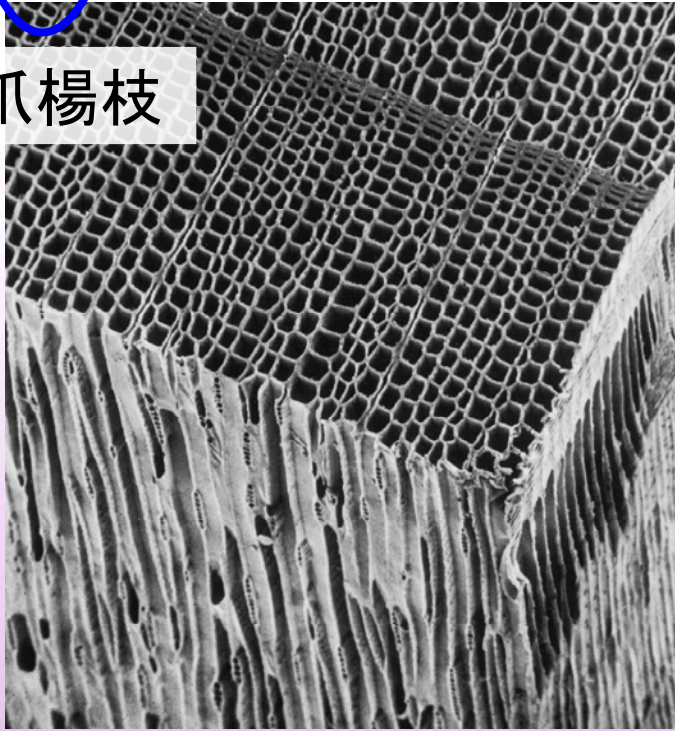
https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/con_5.html

木材の構造



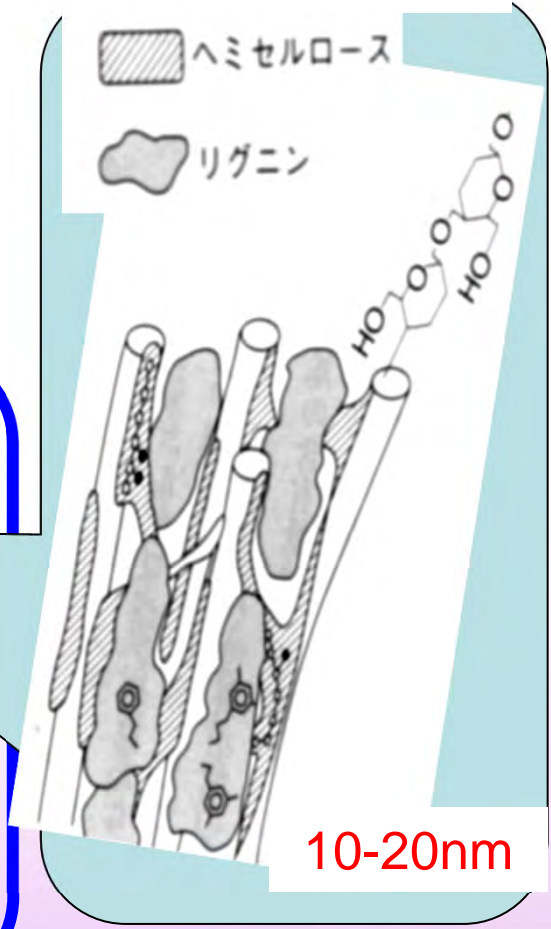
細胞構造

爪楊枝



細胞壁構造

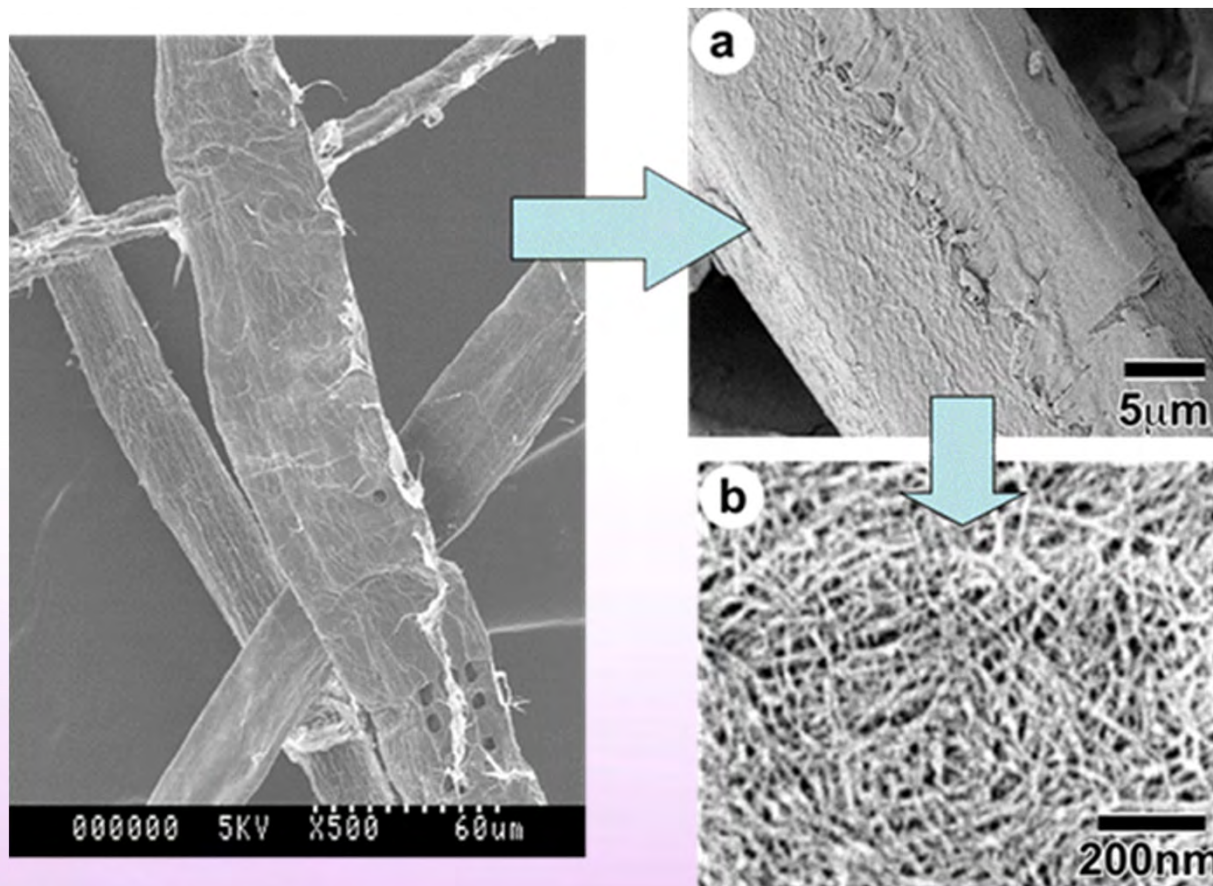
- セルロース ナノファイバー
- ヘミセルロース
- リグニン



10-20nm

ナノファイバー構造

木材繊維（パルプ）の観察



巾15nmの均一ナノファイバー！

パルプのナノファイバー化

針葉樹
乾燥クラフトパルプ

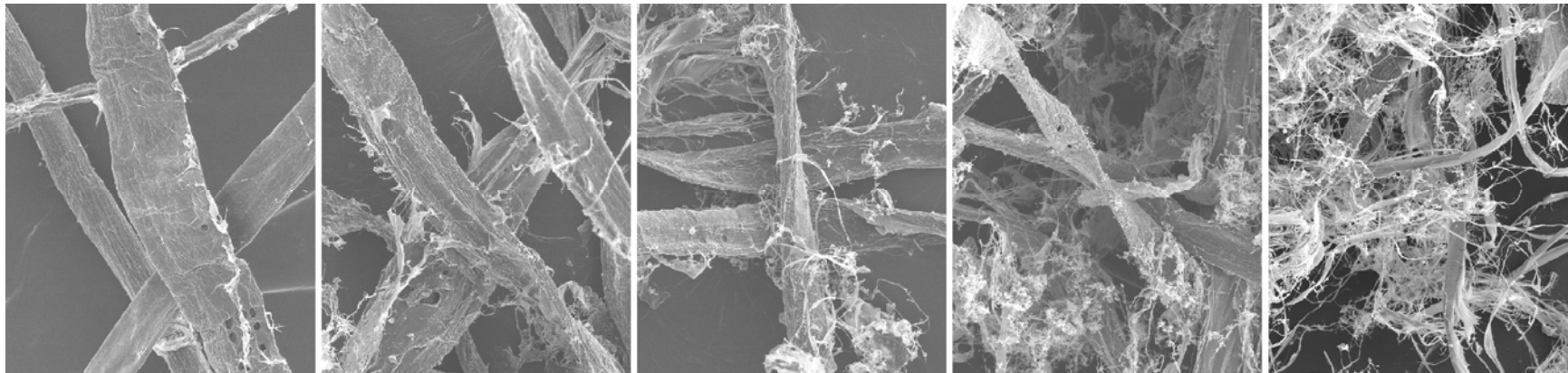
リファイナー
2回

4回

8回

X500倍で観察

16回



高圧ホモジナイザー

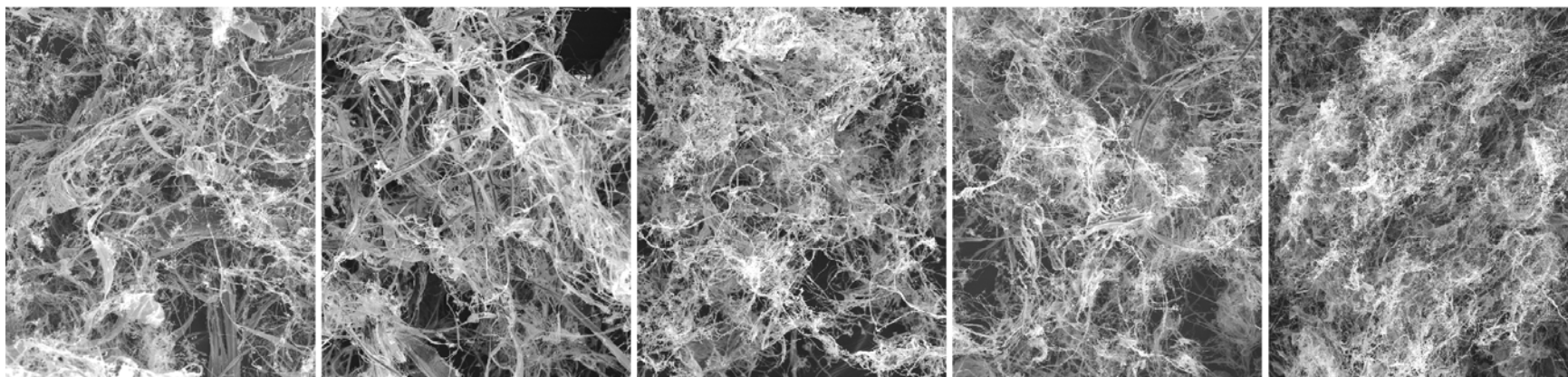
30回

2回

6回

14回

30回

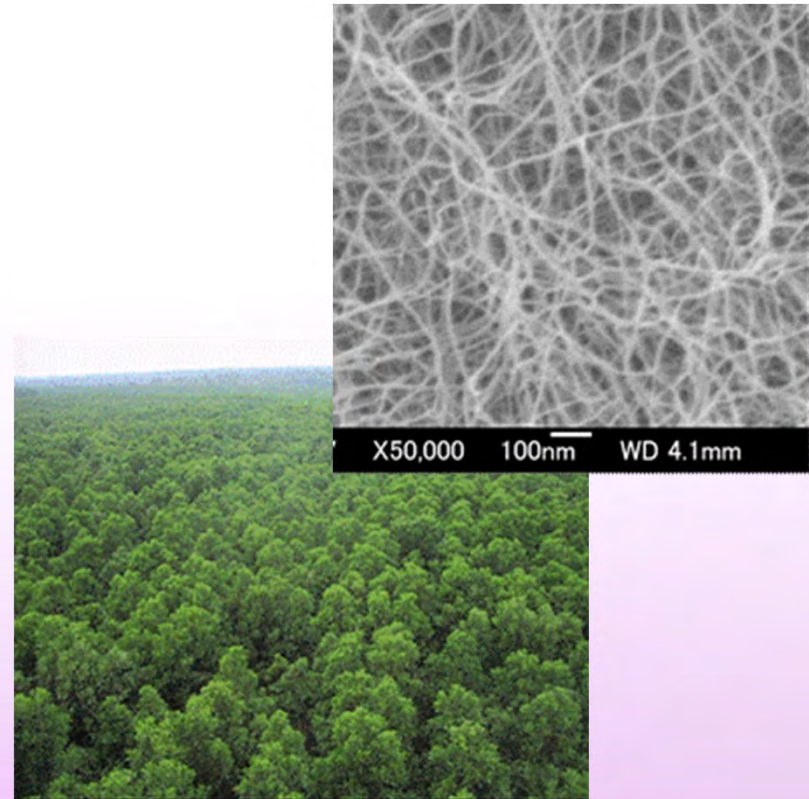


Ref. Nakagaito, A.N.; Yano, H. *Appl. Phys. A* 2004

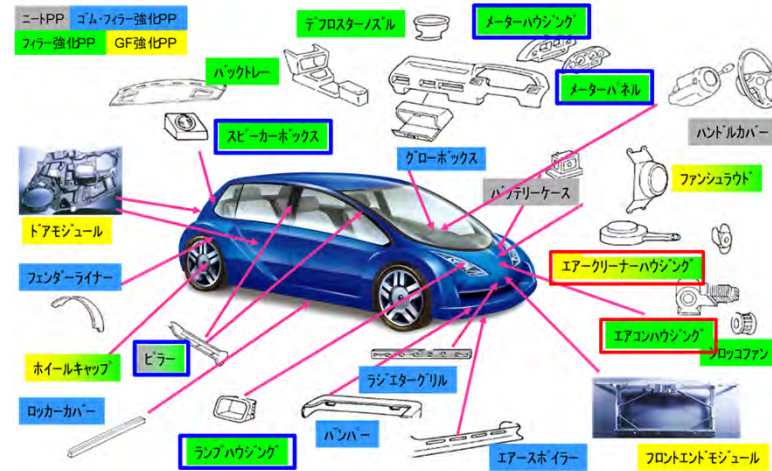
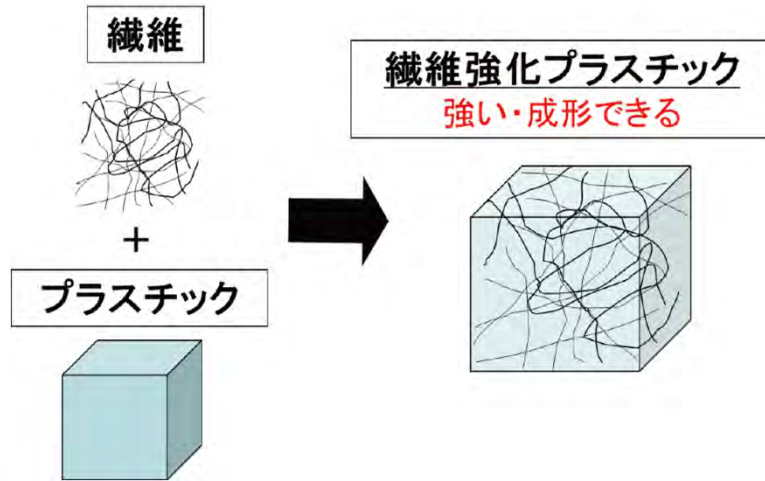
外側から少しずつほぐれ、最終的に均質なナノファイバーが得られる。

木質の本質：セルロースナノファイバー(CNF)

- 全ての植物細胞の基本骨格物質
- 1兆トンの蓄積(埋蔵石油資源の6倍)・持続型資源
- 高性能グリーンナノファイバー
 - 伸びきり鎖微結晶ポリマー
 - ナノ繊維 幅:10-20nm, 長さ1 μ m以上
 - 軽量:1.5g/cm³(鋼鉄の1/5)
 - 高弾性:140GPa、高強度:3GPa
(鋼鉄の8倍の強度)
 - 低線熱膨張:0.1ppm/k(長さ方向)
(石英ガラス相当)
 - 弾性率不変:-200 $^{\circ}$ C~+200 $^{\circ}$ C
 - 高熱伝導性:ガラス相当



樹脂強化への期待



藤田祐二、未来材料、2005年10月号

主要国・地域の樹脂別生産量(2010) 2.6億トン

	アメリカ	中国	西欧*	日本
低密度ポリエチレン	9,312	9,857	7,900	1,948
高密度ポリエチレン	7,660		5,550	1,015
ポリプロピレン	7,826	9,167	8,800	2,709
ポリスチレン	2,293	-	3,700	822
塩化ビニル樹脂	6,358	11,300	5,550	1,749
その他	13,184	13,283	14,900	3,999
合計	46,633	43,607	46,400	12,242

単位: 1,000トン 12

2005-

京大生存研・京都市産技研におけるCNF強化樹脂材料の開発

世界のトップ（特許・論文）で17年！





『パルプ直接混練法』“京都プロセス”

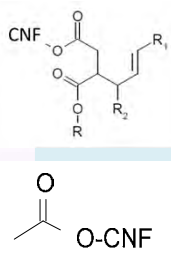


繊維のナノ化と高融点樹脂への均一分散を同時に達成。

➡ 製造コストの大幅削減！

パルプ

(ナノセルロース原料)



化学変性
パルプ



樹脂



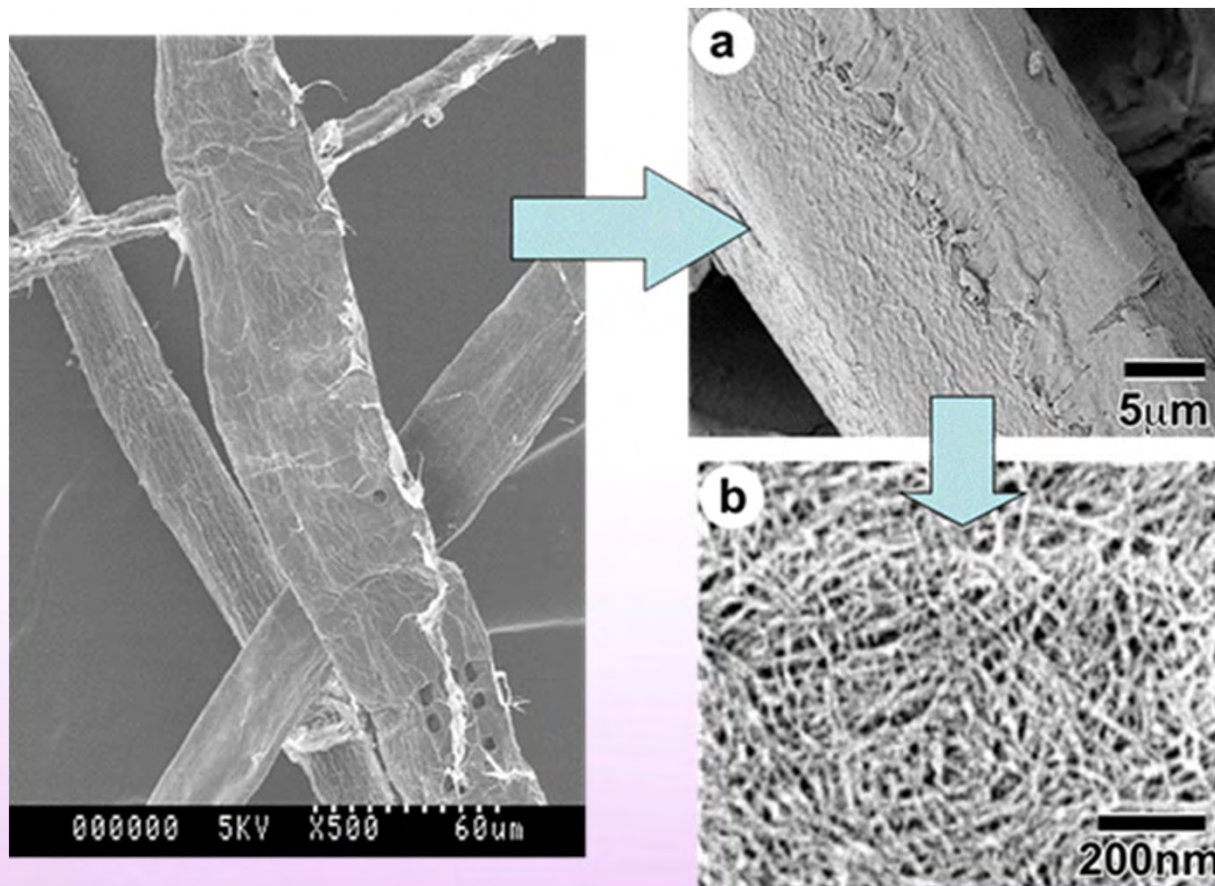
CNF強化樹脂成形体

ナノ解繊と樹脂複合化

押出機

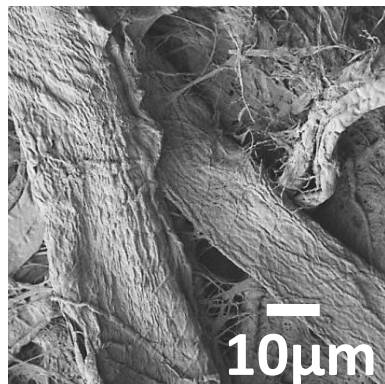


木材繊維（パルプ）の観察



巾15nmの均一ナノファイバー！

化学変性パルプ



樹脂

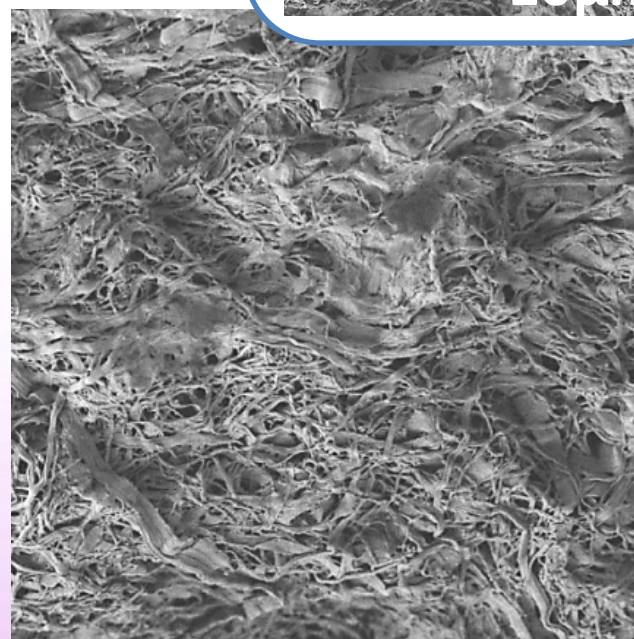
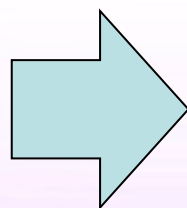
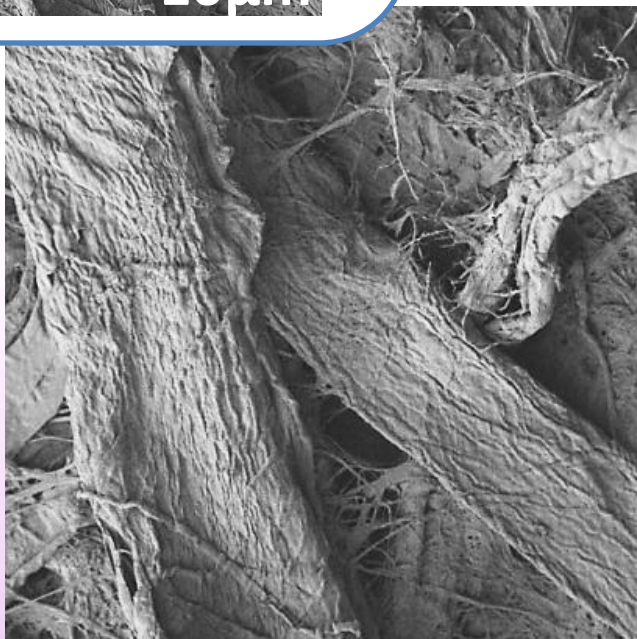
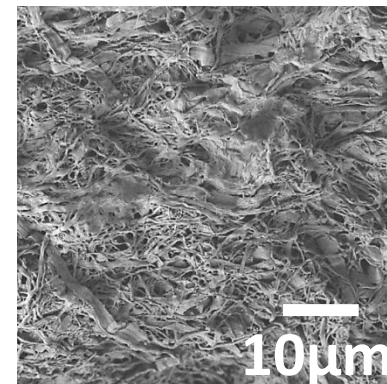
ナノ解繊

ナノ分散

二軸押出機



CNF強化材料



パルプ中のCNFの全ての表面を疎水化！

成形品から樹脂を除去して観察

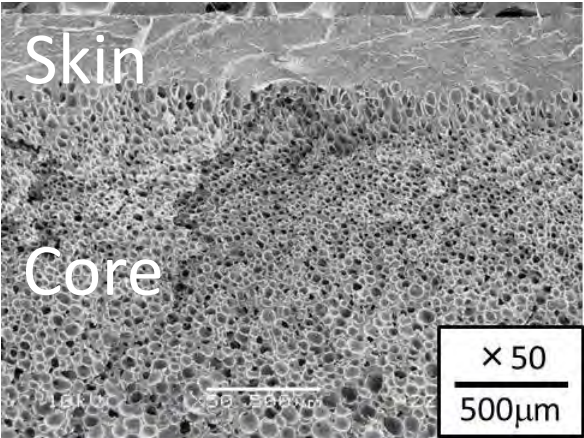
CNF強化樹脂材料(従来技術)

樹脂, 溶融温度	樹脂 E, GPa	CNF/樹脂 E, GPa	樹脂 曲げ強度, MPa	CNF/樹脂 曲げ強度, MPa
PA6, 225°C	2.22	5.34	91	157
POM, 166°C	2.29	5.35	78	131
PLA, 170°C	3.41	6.40	108	119
ABS (200°C)	1.93	3.78	63	88
PA12, 175°C	1.24	3.15	52	89
PBT, 222°C	2.27	4.38	80	113
HDPE, 129°C	1.10	2.39	24	43
PP, 165°C	1.97	2.80	58	67
PP, 組成検討後		4.73		95

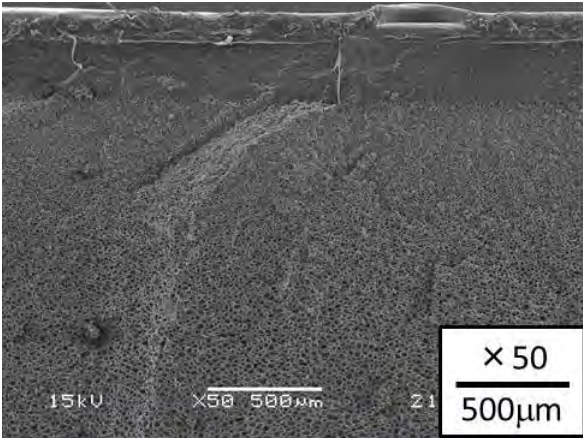
CNF添加率: 10wt%、アセチル化処理

発泡成形(超臨界発泡)

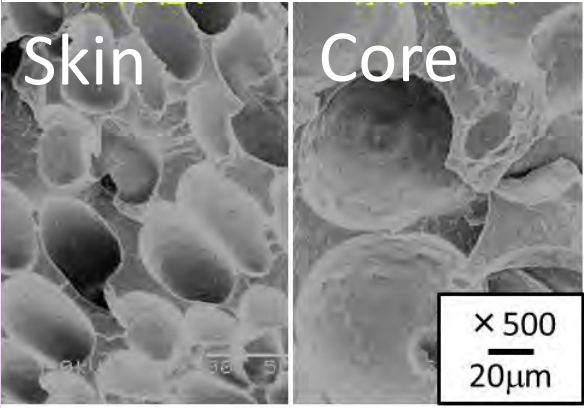
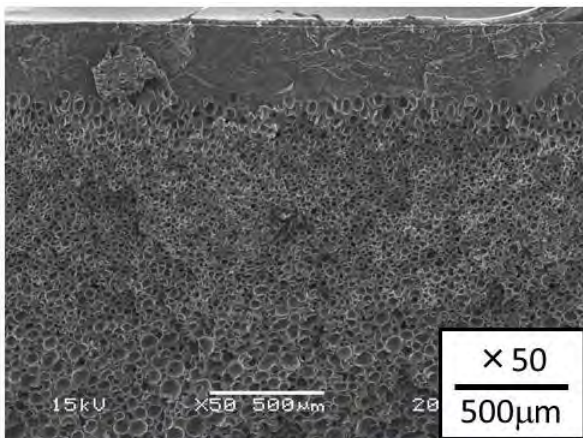
PA6



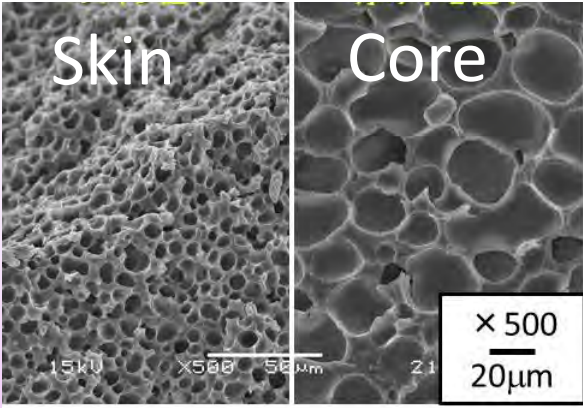
CNF/PA6



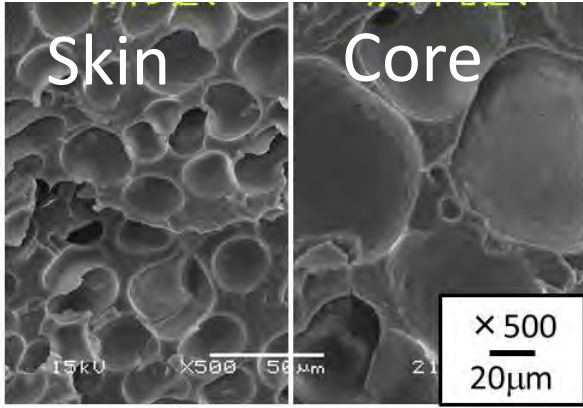
Inorganic/PA6



PA6 2.5times



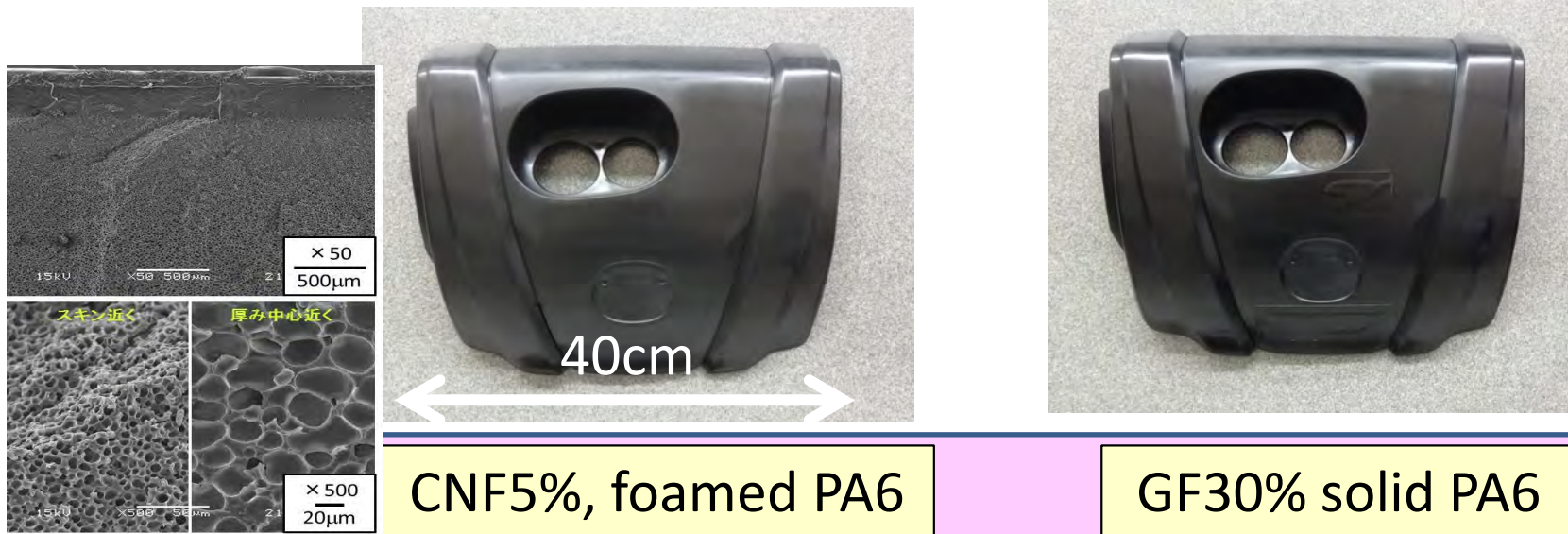
Ac-CNF5% 2.5times



Inorganic filler 5% 2.5times

Itoh, et al., 2016

PA6 エンジンカバー, 280°Cで発泡成形



変性CNF5%

4.6 mm (二倍発泡) … 厚さ … 2.75 mm

0.13 Pa m⁴ … 剛性 (EI, 10mm 厚さ) … 0.13 Pa m⁴

660 g … 製品重量 … 960 g

- ✓ セルロースナノファイバー強化発泡樹脂成形品(ナイロン6)はガラス繊維強化樹脂成型品と比較し30%の軽量化を達成。
- ✓ 表面平滑性も向上

カーボンニュートラルに資する 高性能セルローズ系繊維複合材料 バイオ化＋高強度化・軽量化＋リサイクル

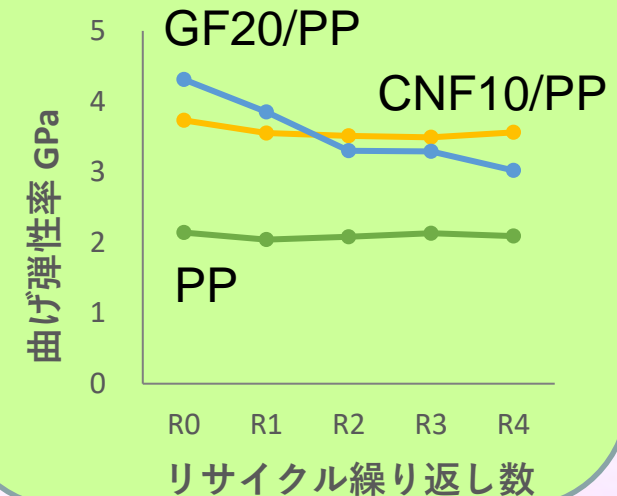
バイオ



軽量・断熱



リサイクル



R1-R2年度 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業(環境省)

燃やさなければ

使えば使うほど大気中のCO₂が減る材料

ここまで出来ていれば、、、。



課題：コスト（生産性）

第3世代：変性パルプ直接混練法

変性パルプの製造

ASA変性

アセチル化

課題1
変性のコスト

予備混合

変性パルプ

樹脂

溶媒

相溶化剤

樹脂混練



MB

MB希釈

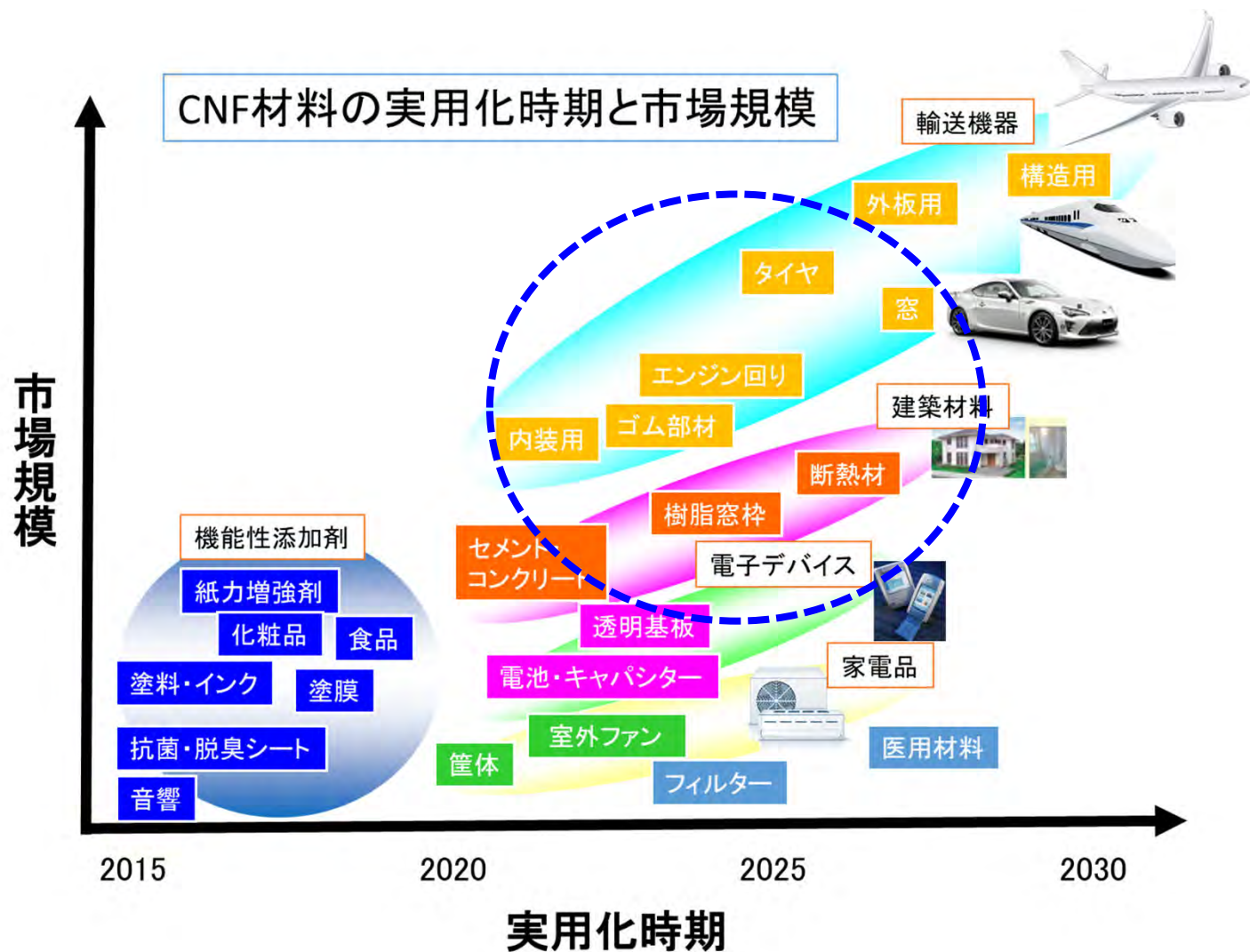
MBを樹脂で希釈



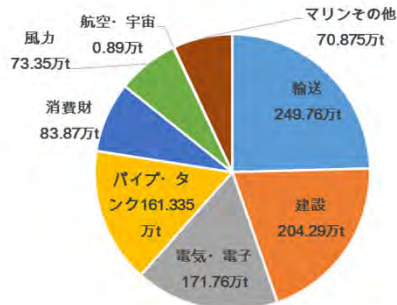
最終品

課題2
MBの
生産性

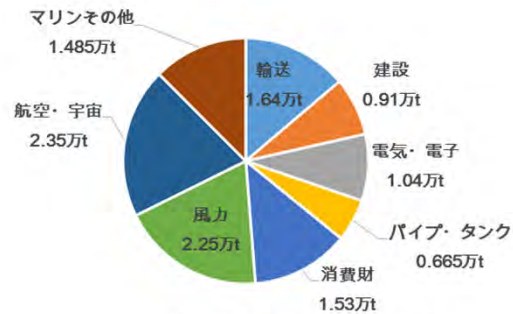
想定される用途



繊維強化樹脂材料の市場(2016年)



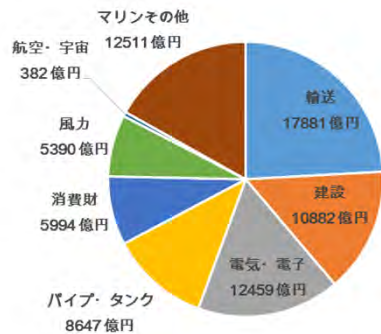
ガラス繊維複合材料
用途別市場規模
1000万トン



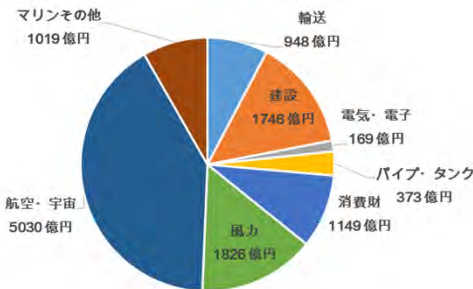
炭素繊維複合材料
用途別市場規模
10万トン



パルプ・植物繊維複合材料
用途別市場規模
50万トン



ガラス繊維複合材料
用途別市場規模
8兆円



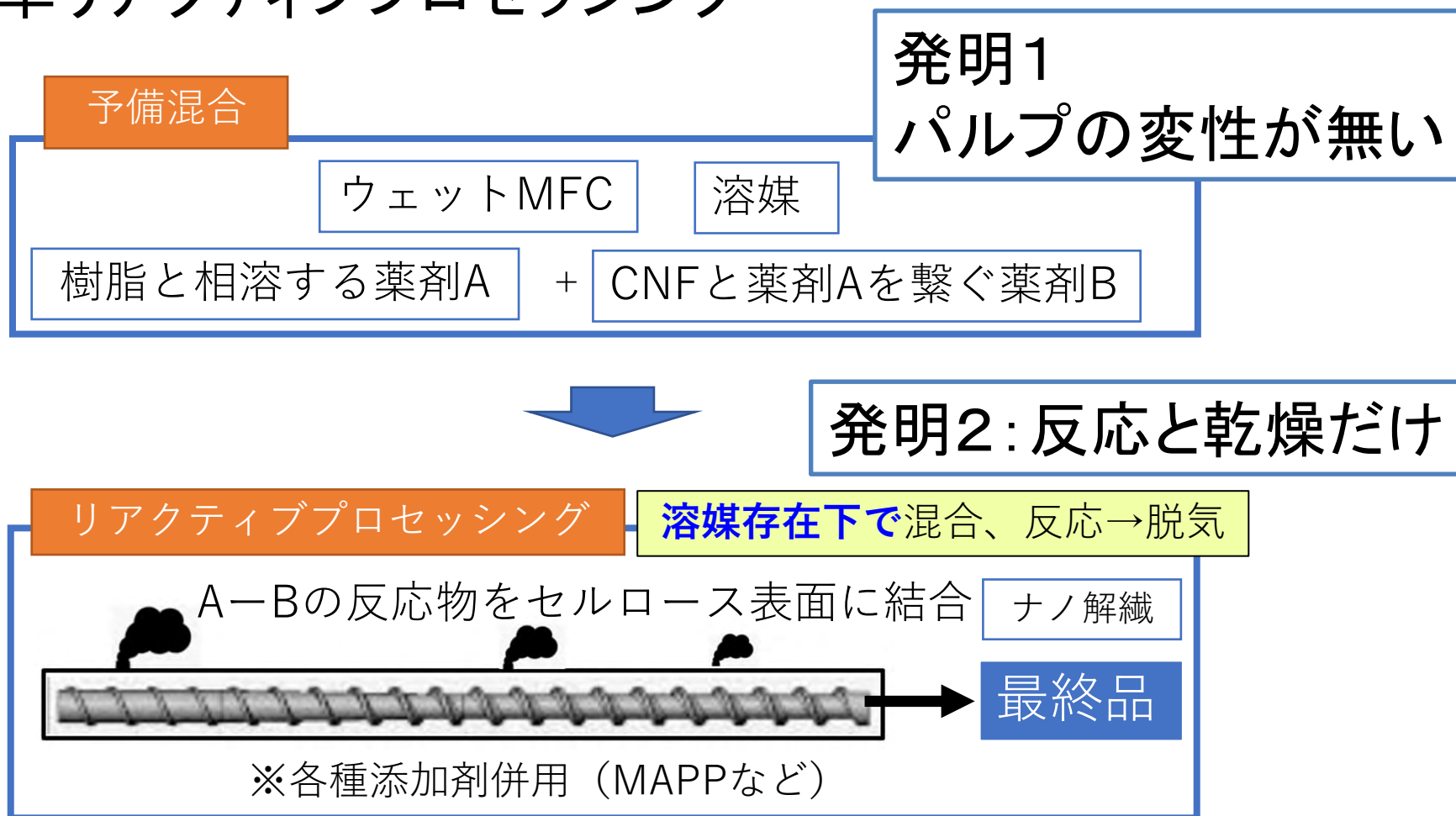
炭素繊維複合材料
用途別市場規模
1兆円



パルプ・植物繊維複合材料
用途別市場規模
3800億円

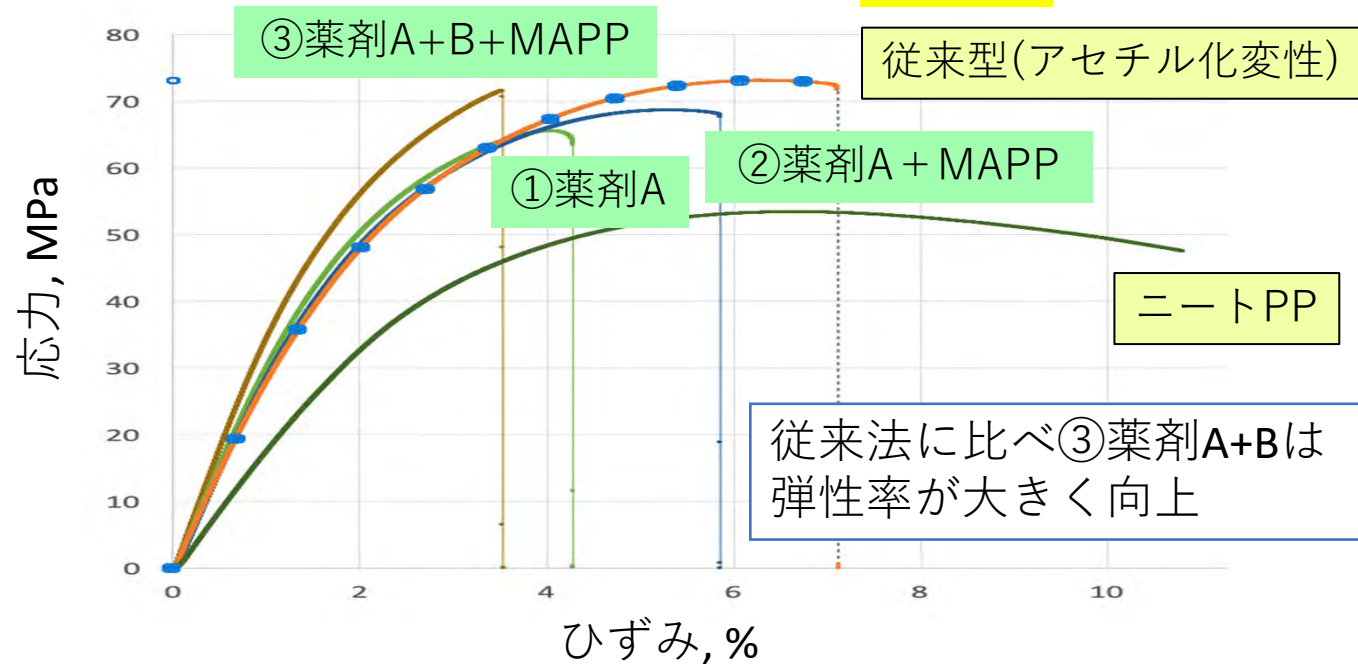
出典: JEC(フランスの複合材料雑誌展示会の会社), 富士経済炭素繊維市場調査など

高効率リアクティブプロセッシング



曲げ試験

第三世代



第3世代を越える補強性！

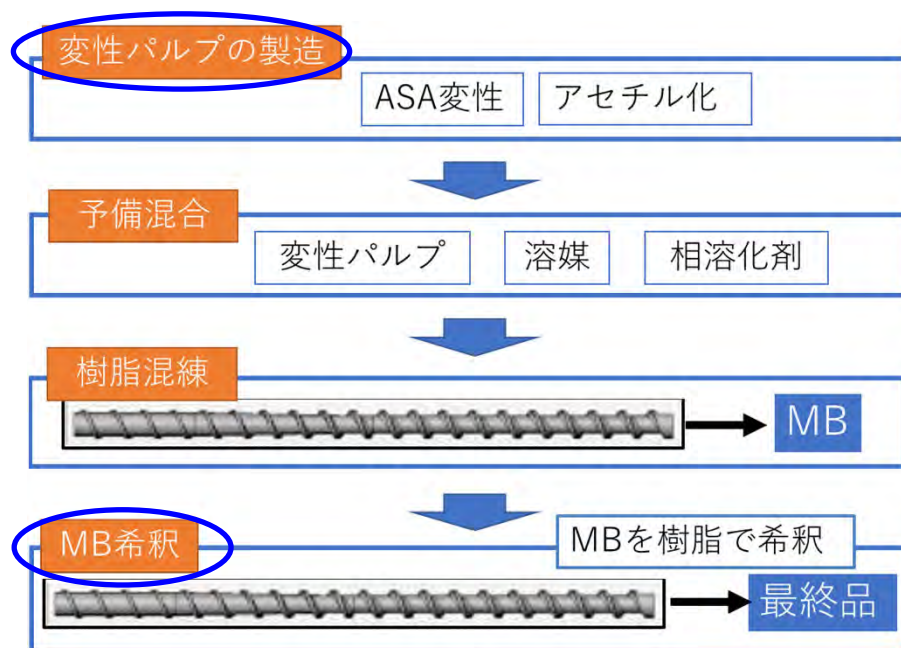
CNF:10wt%

処理方法	MAPP, %	曲げ弾性率, GPa	曲げ強度, MPa	シャルピー, KJ/m ²
ニートPP	-	1.97	53.6	1.67
従来法	10	3.03	73.2	2.39
①薬剤A	-	3.18	64.9	2.03
②薬剤A	5	3.08	68.9	2.18
③薬剤A+B	5	3.69	71.8	1.47

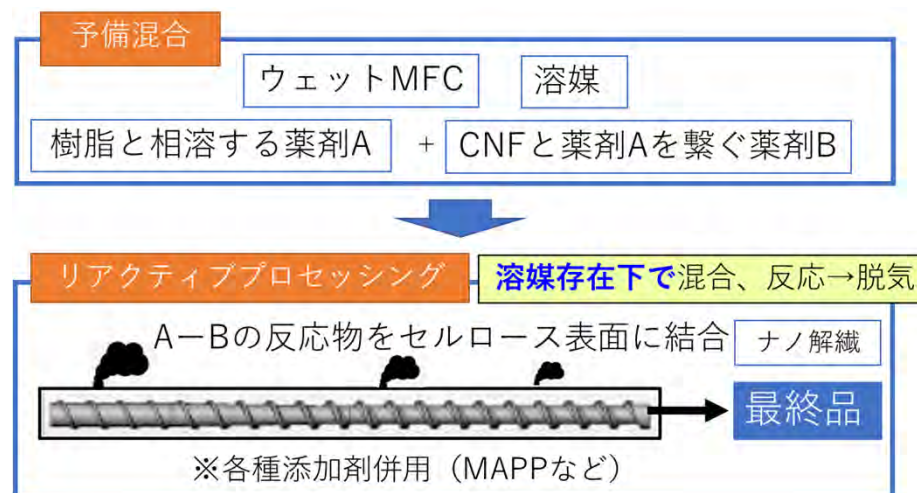
従来法：京都プロセス第3世代、製紙用NBKP

従来技術との比較

従来技術



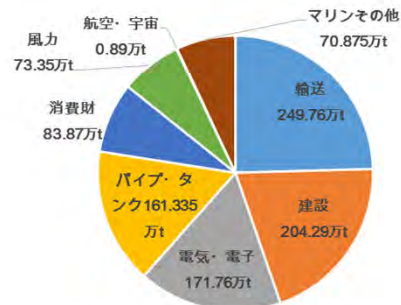
高効率リアクティブプロセッシング



低コスト・ハイパフォーマンスに向けて

- ✓ 樹脂組成だけでなく化学変性も自由にカスタマイズ
- ✓ プロセスの簡略化 4ステップ→2ステップに
- ✓ スケールアップが容易

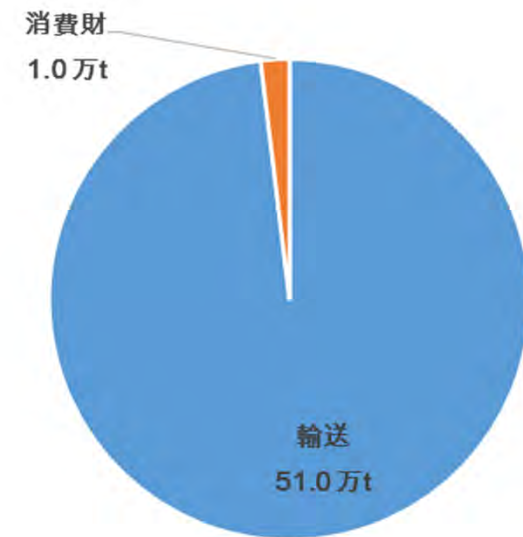
繊維強化樹脂材料の市場(2030年)



ガラス繊維複合材料
用途別市場規模
~~1000~~ 1000万トン



炭素繊維複合材料
用途別市場規模
10万トン



CNF/パルプ・植物繊維
複合材料
用途別市場規模
1000万トン

今後の研究予定、実用化に向けた活動

①低コストCNF(500円/kg)の開発

+

②第4世代
リアクティブプロセスの開発

京大単願特許
出願中

+

③高耐衝撃化
圧延成形法の開発

京大単願特許
出願中

CNBMアライアンス

CNBM:
カーボンニュートラル・バイオマス材料



2030年

CNBMアライアンスへの参画

CNBM:カーボンニュートラル・バイオマスマテリアル

3月29日 Nanocellulose Symposium 2022／第468回生存圏シンポジウム 「CNFとキチンNF 夢と現実、そしてこれから」

TEMPO酸化CNF、機能材料用CNF、構造用CNF、キチンNFの夢(ポテンシャル)と現実(材料開発の現状)、そしてこれから(今後の方向性)について、長年にわたりそれぞれをリードしてきた研究者が思う存分に語ります。また、最後には、CNFの実用化に関する最新の報告があります。バイオマス由来の高性能材料、カーボンニュートラル、サステナビリティに関心をお持ちの多くの皆様のご参加をお待ちしています。

主催: 京都大学生存圏研究所、
バイオナノマテリアル共同研究拠点(経済産業省Jイノベ拠点)
(<https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/bionanomat/>)

日時: 令和4年3月29日(火) 13:00-17:40
オンライン配信(Zoom)

定員: 1000名(申込先着順)、参加無料
プログラムおよび申込方法は下記URLをご覧ください。

https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/bionanomat/news/nanocellulose_symposium_2022/

The screenshot shows a website page with a green navigation bar at the top containing the following menu items: Home / 概要 / CNFとは / 普及活動 / 共同利用施設 / 共同研究 / お問い合わせ / . Below the navigation bar, the page features a large banner with a background image of a hand holding a globe with a butterfly. The banner text includes: 地域オープンイノベーション拠点選抜制度 (J-Innovation HUB) 第1回選抜拠点 国際展開型, followed by the main title 바이오ナノマテリアル共同研究拠点 and the text K Y O T O U N I V E R S I T Y. Below the banner, there is a section titled News & Topics. At the bottom of the page, there is a date 2021-05-26, a green button labeled ニュース, and a link to マテリアルリサイクル特性.



よろしくお願ひします。