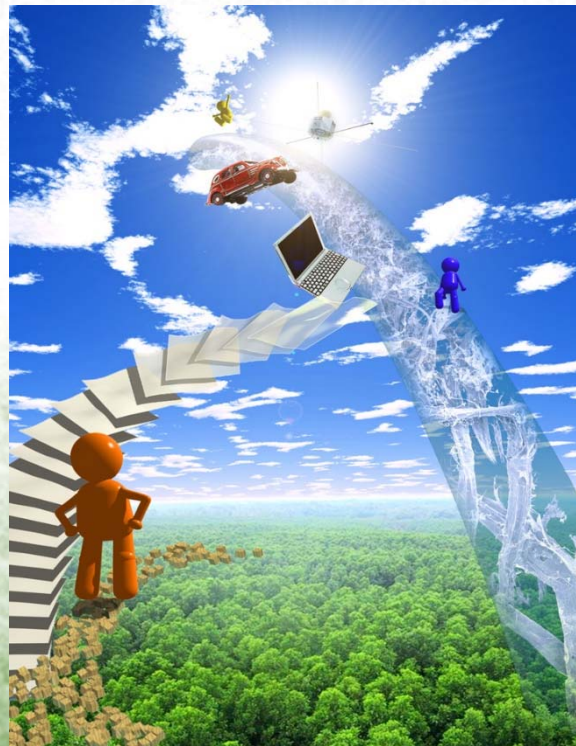


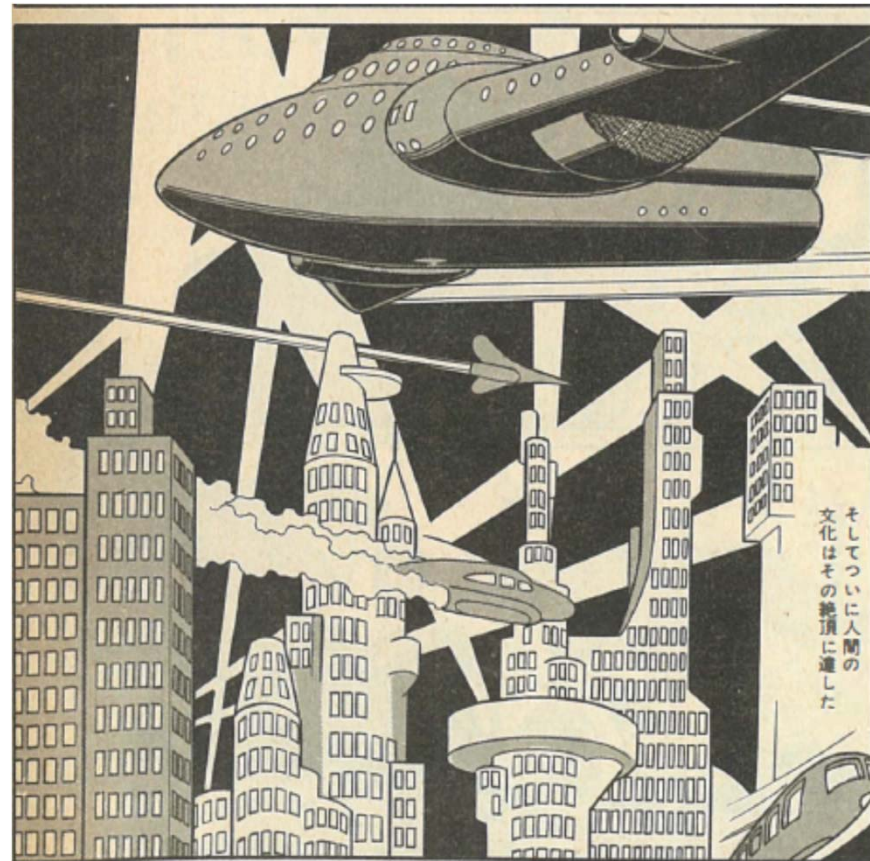
# セルロースナノファイバー

- 21世紀のモノづくりはベジタリアン -



京都大学生存圏研究所 矢野浩之

# 未来の世界



メトロポリス、手塚治虫、1949年、講談社

# 未来の世界

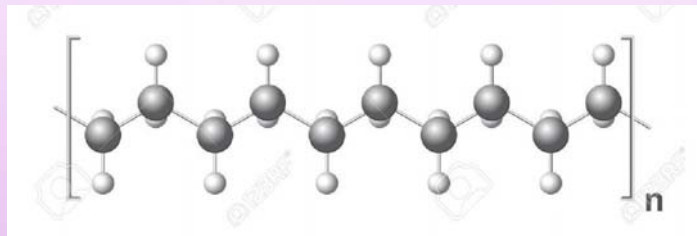


メトロポリス、手塚治虫、1949年、講談社

# レジ袋による汚染



<http://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/gallery/052400259/>



# レジ袋による汚染

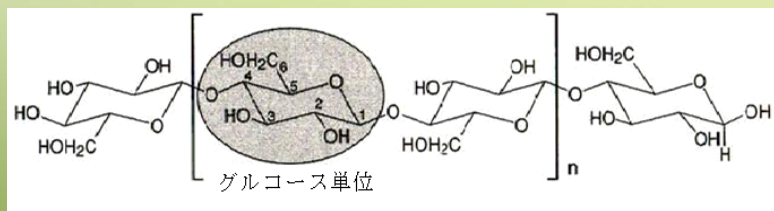
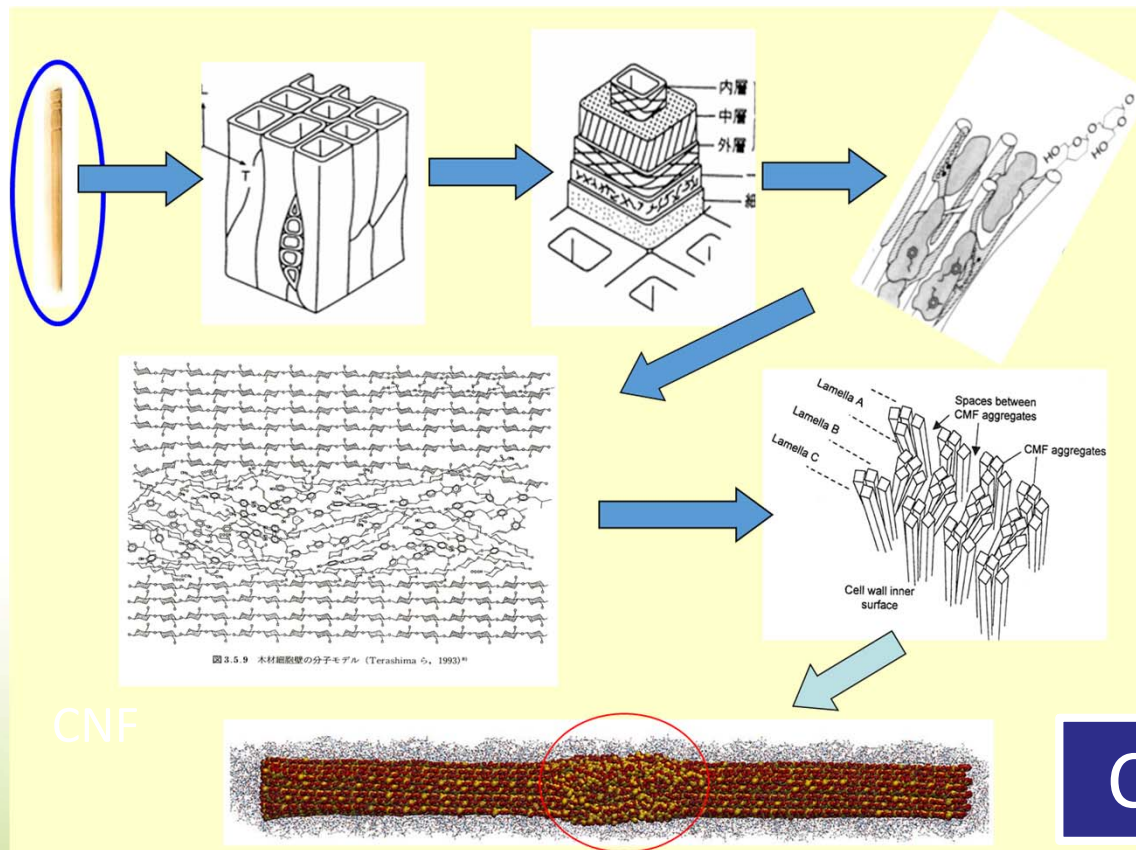


<http://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/gallery/052400259/>

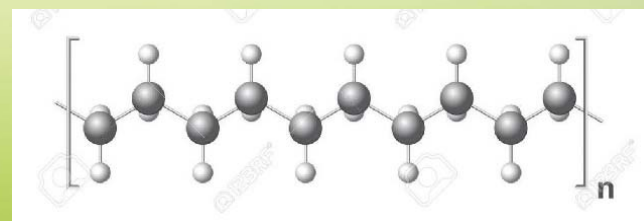


木は腐る, セルロースは腐る.  
プラスチックは腐らない.

# 木材の構造



セルロース



ポリエチレン(PE)

# セルロースを合成する生物

バクテリア（一部の病原バクテリアを含む）、原核生物（シアノバクテリア）、ある種の菌類、アメーバ、細胞性粘菌、藻類（バロニア等）、陸上植物（コケ、シダ、裸子・被子植物）、ホヤ

138億年前 宇宙の誕生

46億年前 地球の誕生

40億年前 生命の誕生

28億年前 光合成細菌シアノバクテリアが出現

21億年前 真核生物の出現

5億年前 陸上植物の出現（緑藻類から）



70年前

合成プラスチック

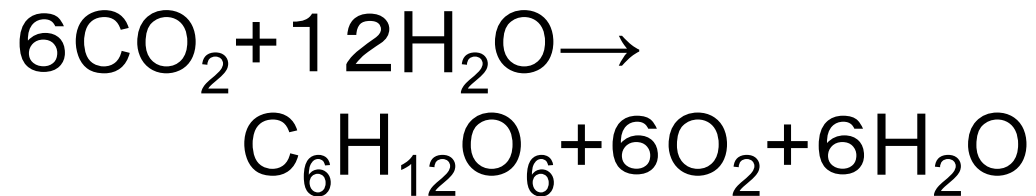
京大、阿部先生提供

CO2ゼロエミッション・脱炭素社会に向けて

# 未来の社会 未来の材料

持続型・脱炭素・安全安心・低環境負荷

木が育つ: 光合成

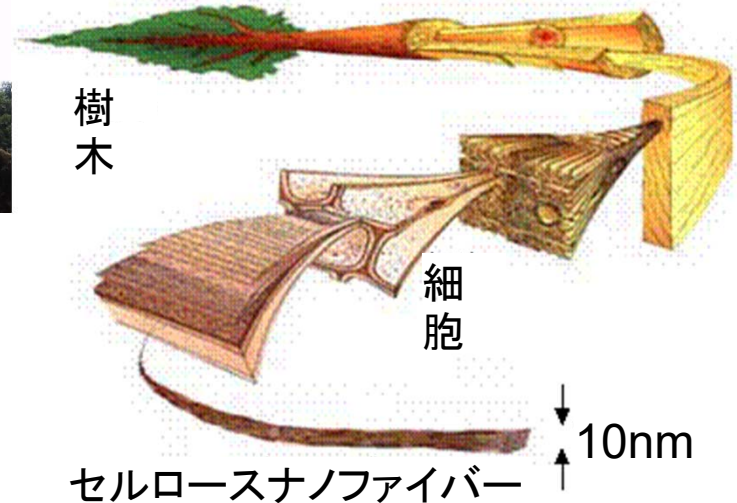
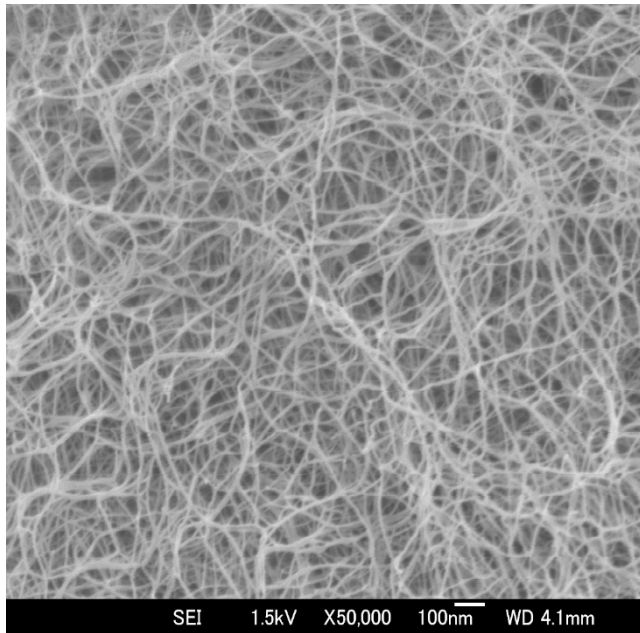




# 未来の社会 未来の材料

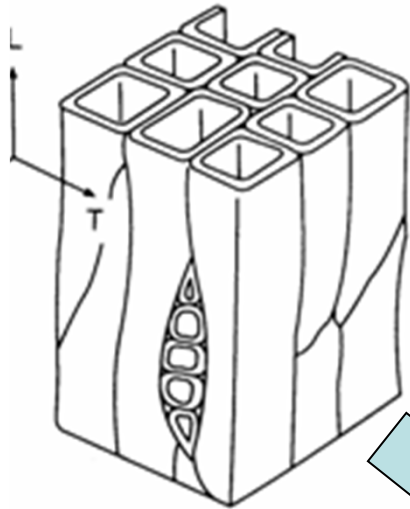
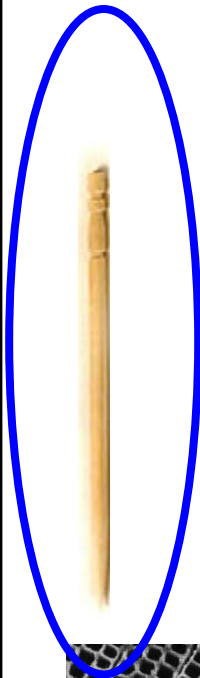
持続型・脱炭素・安全安心・低環境負荷、そして高性能

## セルロースナノファイバー



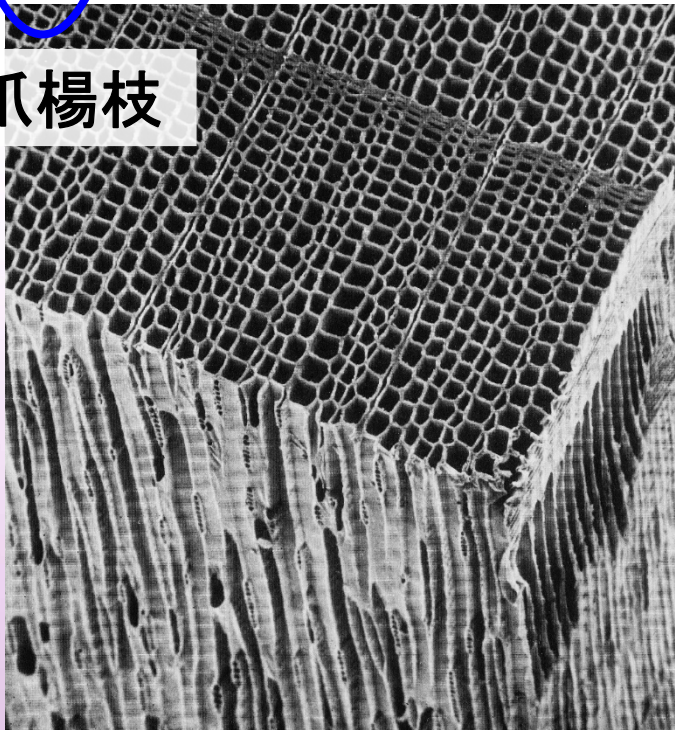
木材のCNF (京都大学 栗野博士提供)

# 木材の構造

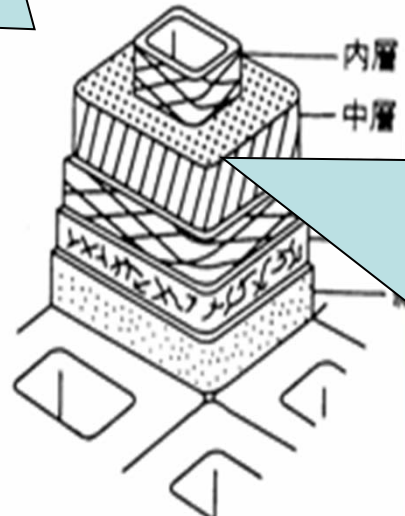


細胞構造

爪楊枝



10-50 $\mu$ m

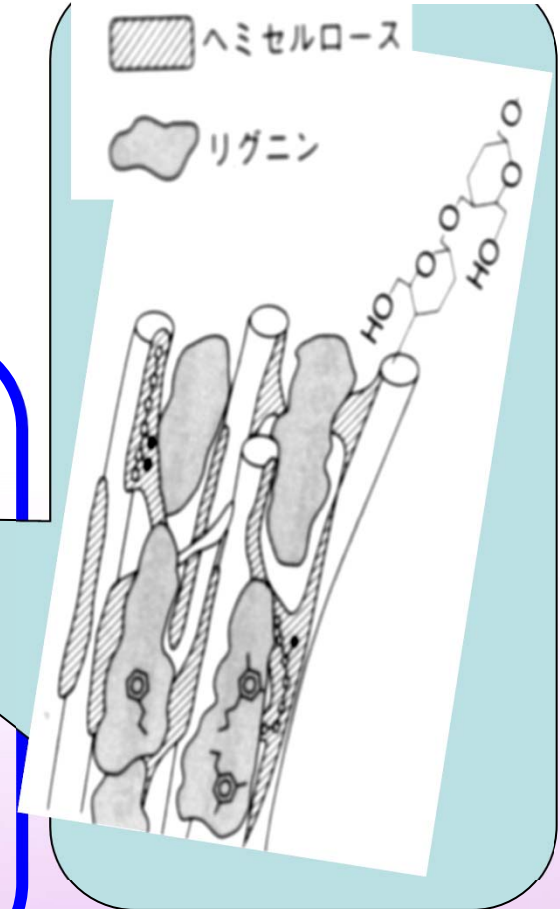


細胞壁構造

セルロース  
ナノファイバー

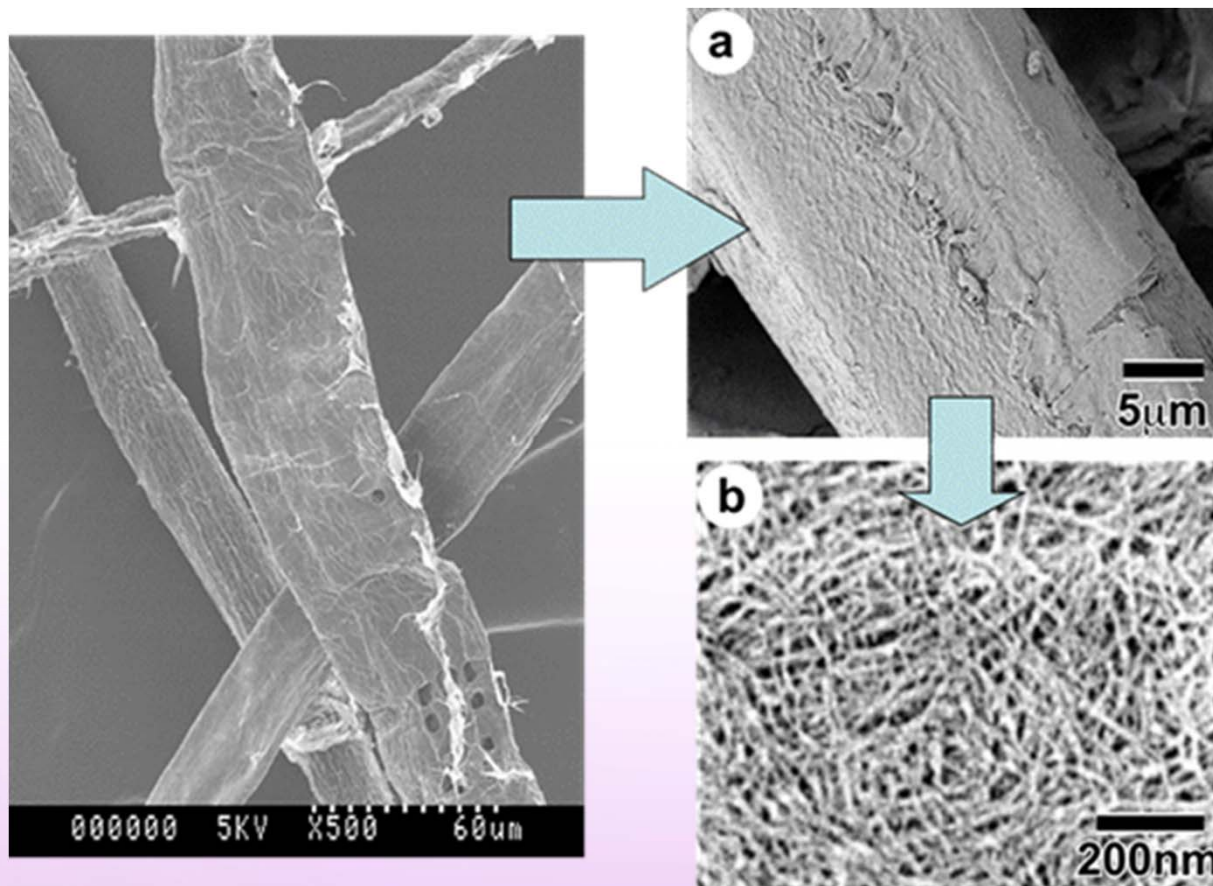
ヘミセルロース

リグニン



ナノファイバー構造

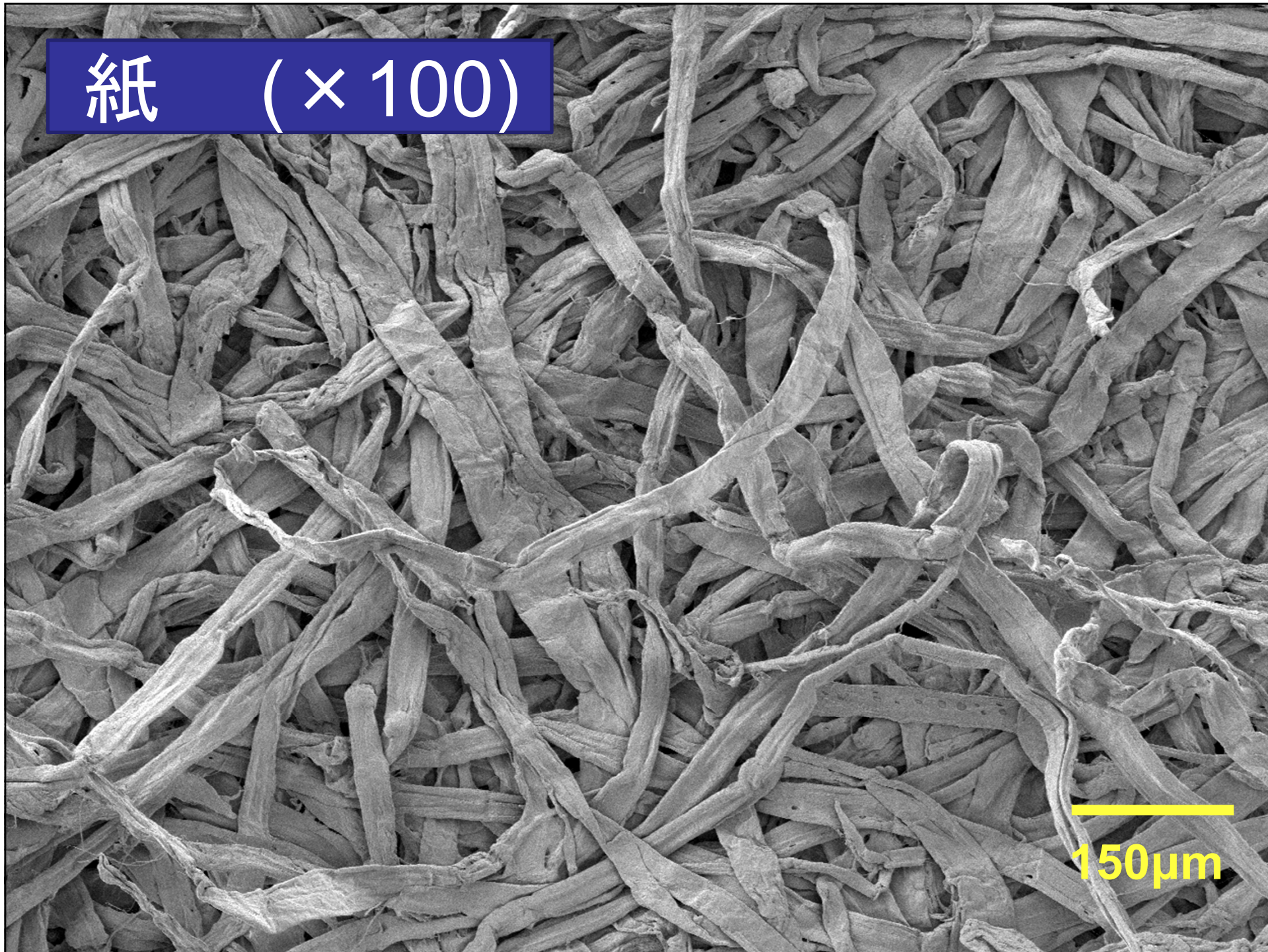
# 木材繊維（パルプ）の観察



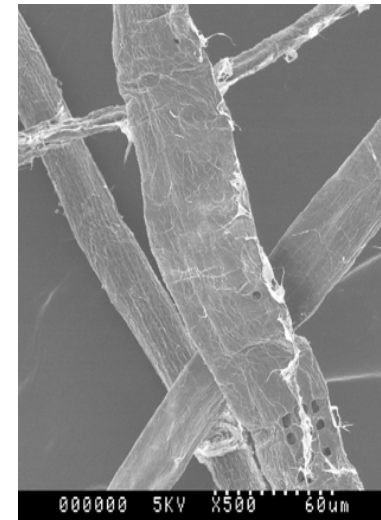
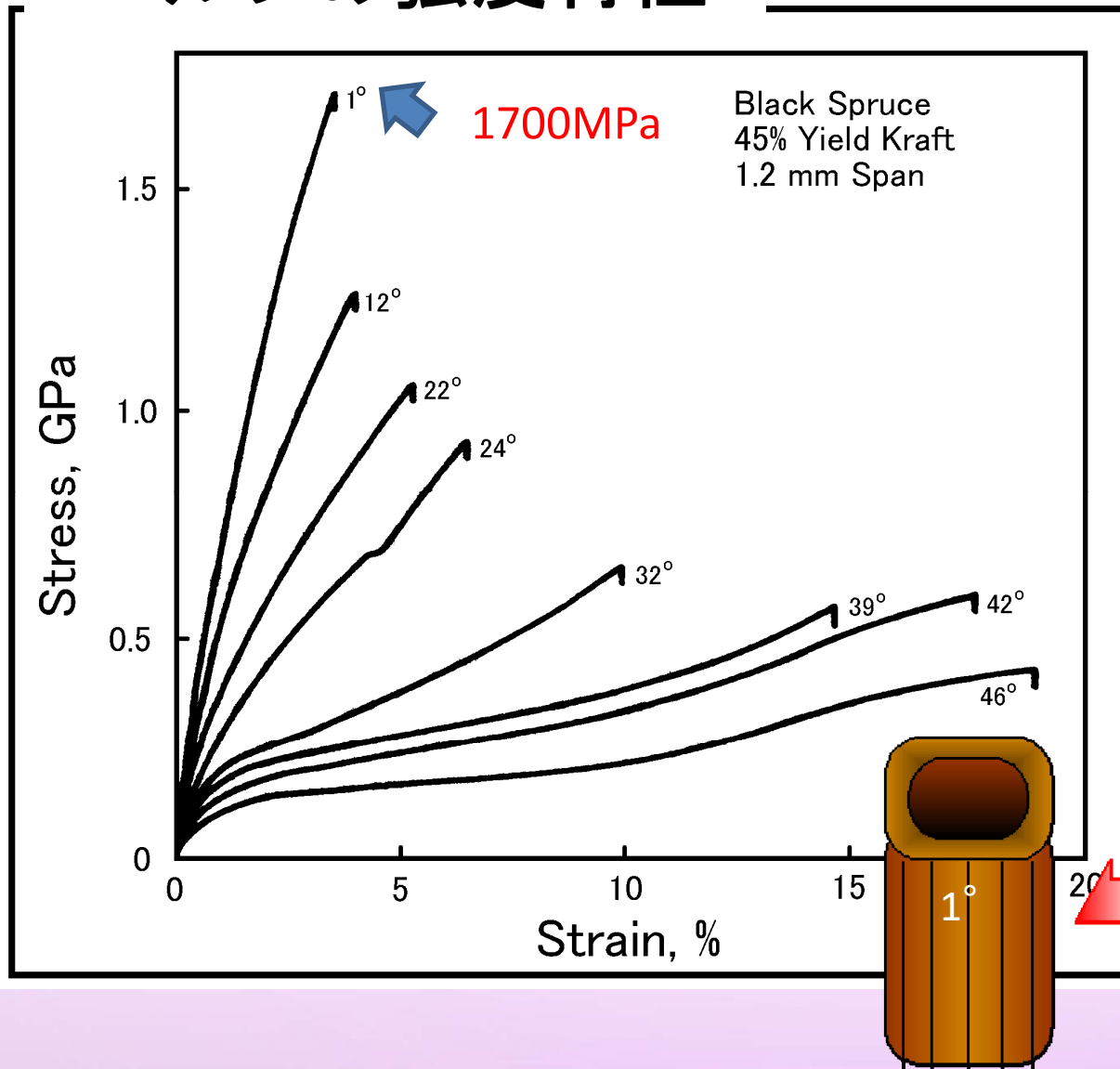
巾15nmの均一ナノファイバー！

紙 (× 100)

150μm

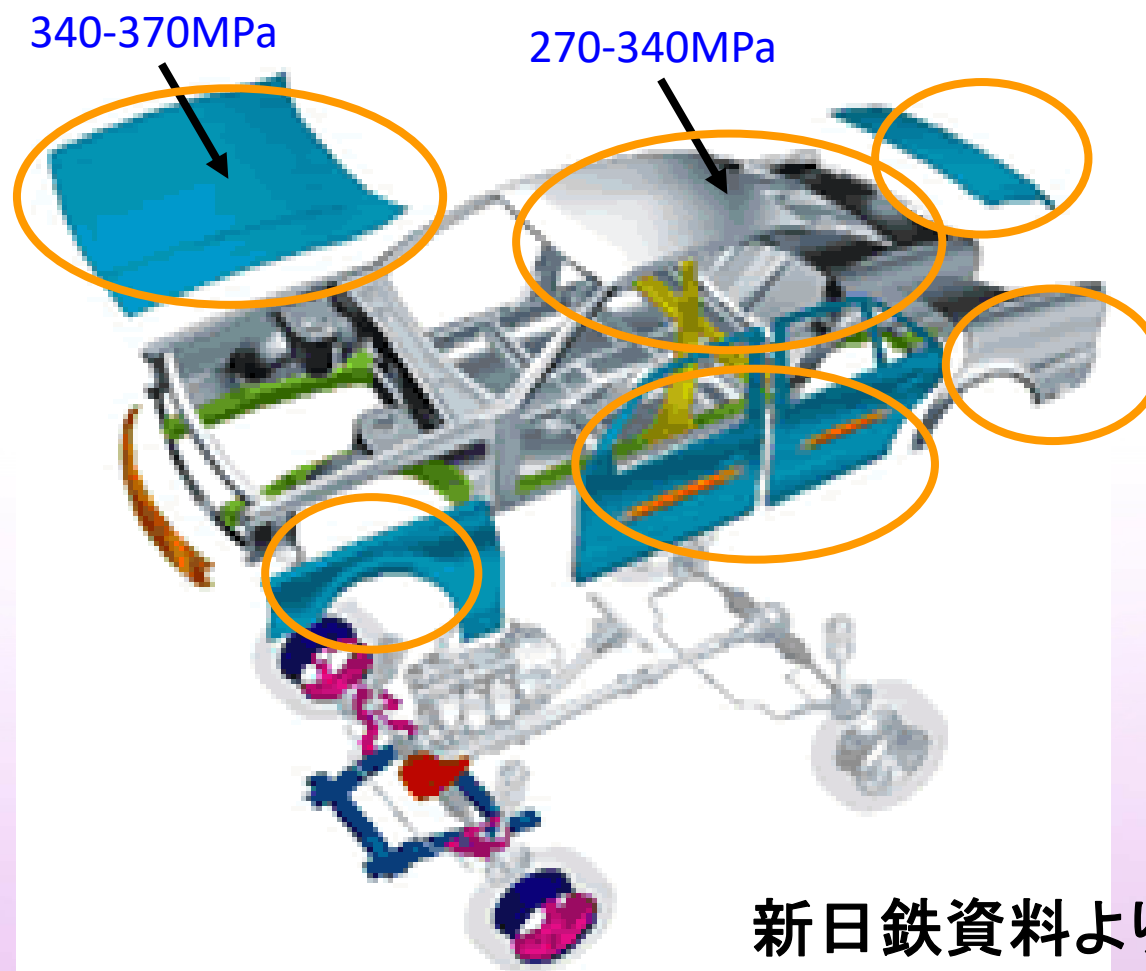


# パルプの強度特性



# 自動車用高強度鋼板(ハイテン)の強度

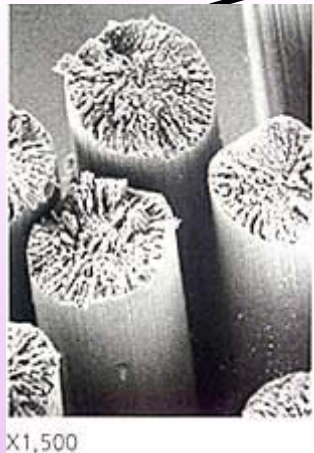
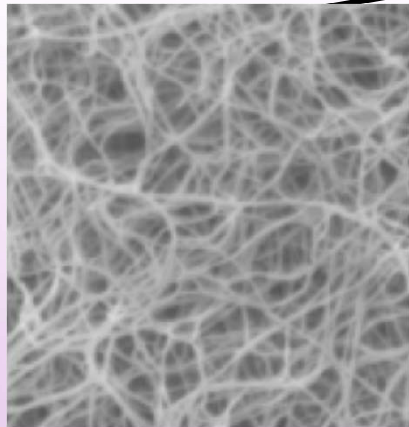
	強度(Mpa)
Body	270~340
	340~370
	390~440
	590~780
	980~1270
Underbody	440~470
	490~540
	590
	690
	780



新日鉄資料より

# 樹脂複合材に用いられる繊維との比較

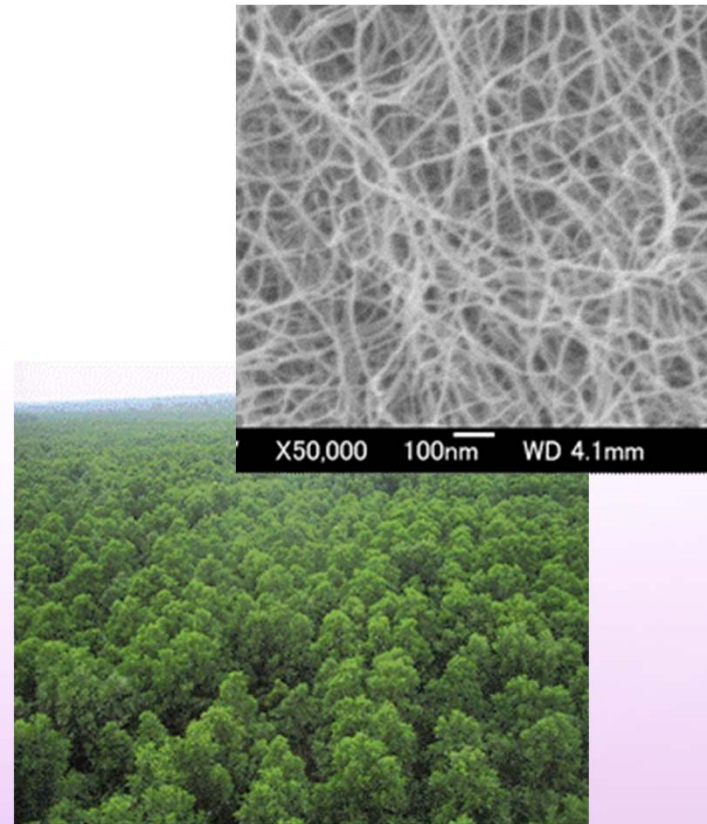
	CNF/ リグノCNF	炭素繊維 (PAN系)	アラミド繊維 (Kevlar® 49)	ガラス繊維
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.5	1.82	1.45	2.55
引張弾性率 (GPa)	140	230	112	74
引張強度 (GPa)	3	3.5	3	3.4
価格 (円/kg)	400-500	3000	5000	200~300



# 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
  - 幅:10-20nm, 長さ1 $\mu$ m以上
  - 軽量:1.5g/cm<sup>3</sup>
  - 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 $\sim$ +200 $^{\circ}$ C
  - 高熱伝導性:ガラス相当耐
  - 耐熱性:200 $^{\circ}$ C付近から熱変性

→化学変性で250 $^{\circ}$ C付近まで耐熱化



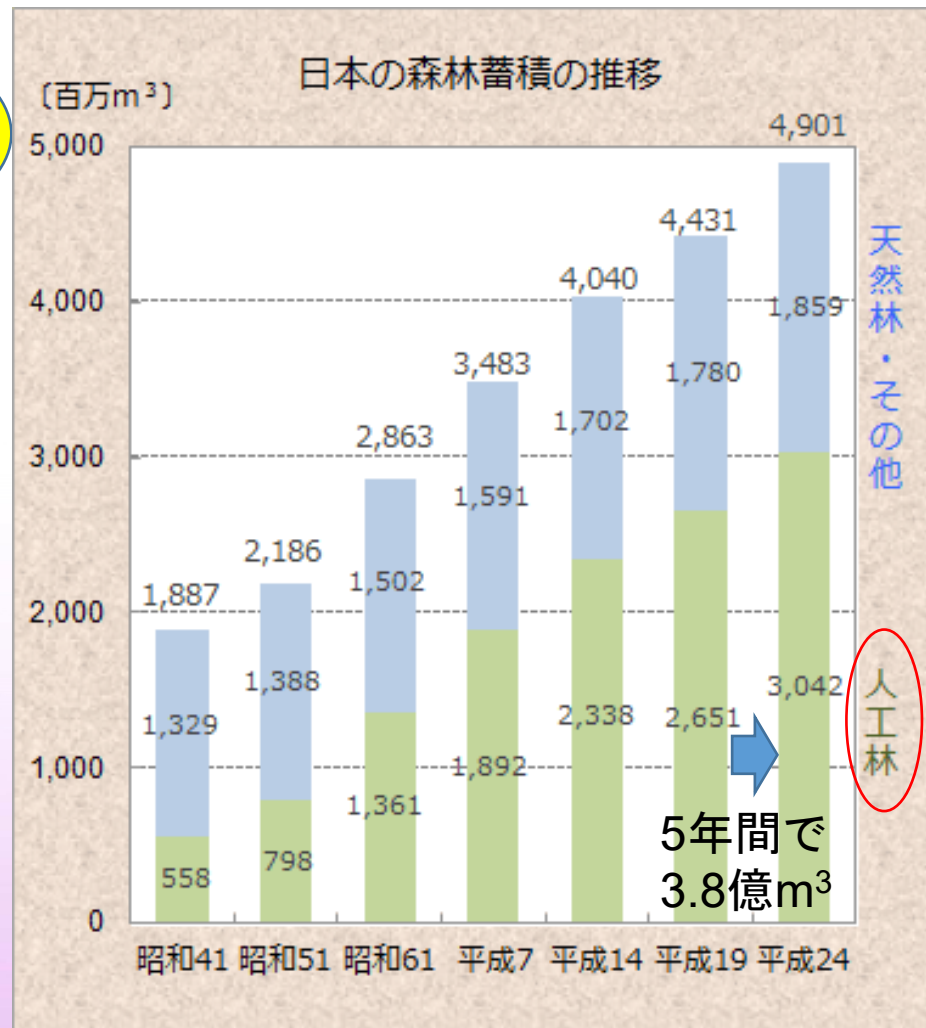


# 日本の人工林ではセルロースナノファイバーが毎年1500万トン増えています。



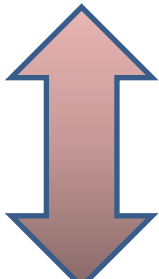
日本は国土の7割が森林。しかも、、、

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、その半分はセルロースナノファイバーなので、人工林で毎年1500万トンのセルロースナノファイバーが蓄積していることとなります。それは我が国における年間プラスチック消費量の約1.5倍の量に匹敵します。



# 国家戦略、関係省庁の連携、産官学の連携の動き

- 平成26年6月1日：「**ナノセルロースフォーラム**」設立。ナノセルロースの研究開発、事業化、標準化を加速するための、オールジャパン体制での産学官のコンソーシアム。
- 平成26年6月24日：「**日本再興戦略**」改訂2014-**未来への挑戦**- セルロースナノファイバー（超微細植物結晶繊維）の研究開発等によるマテリアル利用の促進に向けた取組を推進する。
- 平成26年8月1日：**ナノセルロースに関する政策連携**のため、農林水産省（農林水産技術会議・林野庁）、文部科学省（研究開発局）、経済産業省（製造産業局）、**環境省**（地球環境局）により「**ナノセルロース推進関係省庁連絡会議**」を創設し、第1回会合、その後、定期的を開催している。
- 平成27年6月30日：「**日本再興戦略**」改訂2015-**未来への投資・生産性革命**- セルロースナノファイバーの国際標準化に向けた研究開発を進めつつマテリアル利用への取り組みを推進する。
- 平成28年6月7日：「**日本再興戦略**」改訂2016-（中略）木質バイオマスの利用促進や、セルロースナノファイバー（鋼鉄と同等の強さを持つ一方で、重量は5分の1という特徴をもつ超微細植物結晶繊維）の国際標準化・製品化に向けた研究開発、（中略）を進める。
- 平成29年6月9日：「**未来投資戦略2017**」（中略）セルロースナノファイバーやリグニン等について、国際標準化や製品化等に向けた研究開発を進める。

	関係省庁	主な役割分担
上流  下流	農林水産省	農林業や食品産業からの国産セルロース原料の供給
	文部科学省	セルロースナノファイバーに関する基礎研究
	経済産業省	セルロースナノファイバーの製造（技術の研究開発等）
	<b>環境省</b>	<b>地球温暖化対策に資する分野への具体的な展開</b>

※国土交通省(オブザーバーとして参加)

- 平成28年5月13日：「**地球温暖化対策計画**」（中略）自動車部材等の軽量化が期待できる**セルロースナノファイバー等**の社会実装に向けた技術開発を進める。

温室効果ガスゼロエミッション

京都大学での  
CNF強化構造材料の開発  
2001-

# 高強度セルロースナノファイバー材料 2001

1960 --- 2001 --- 2003 --- 2005 --- 2012 --- NOW



CNFを水中に分散



減圧濾過・シート化

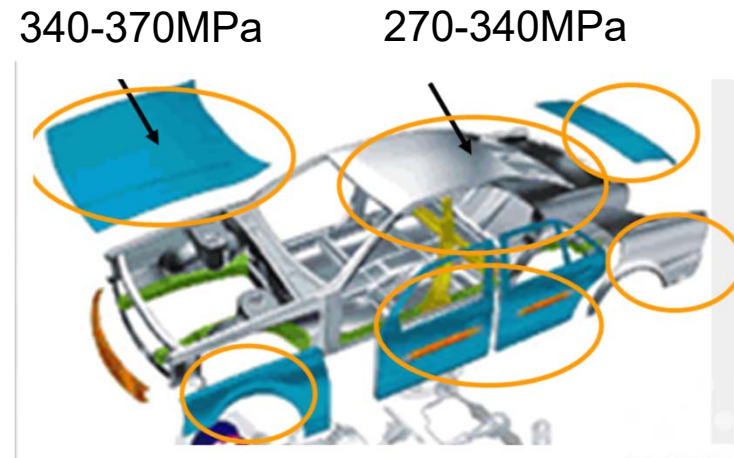
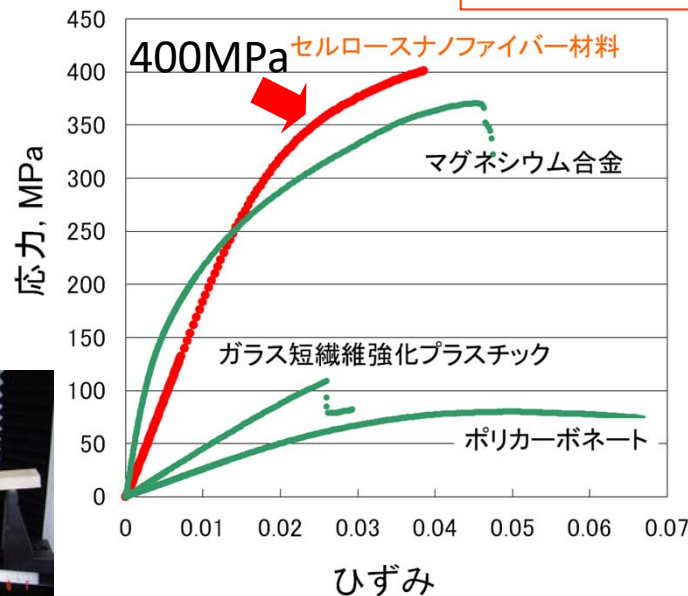


フェノール樹脂注入



プレス成形

軽くて、鋼鉄並み強度!!

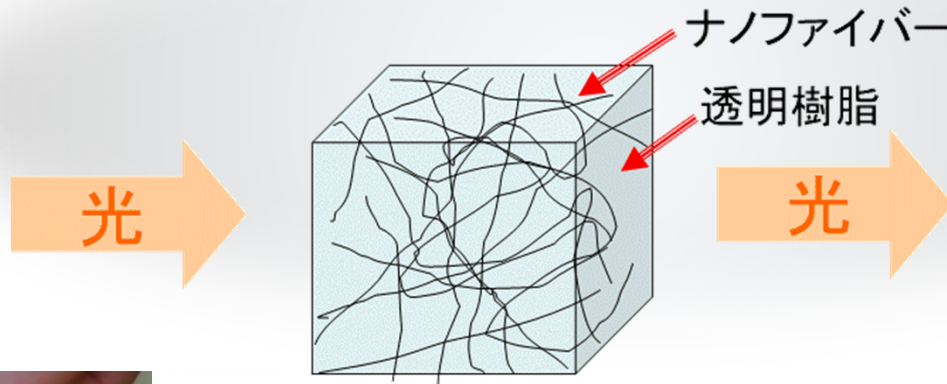


新日鉄資料より  
[http://www.nsc.co.jp/tech/challenge/transport/car\\_01.html](http://www.nsc.co.jp/tech/challenge/transport/car_01.html)

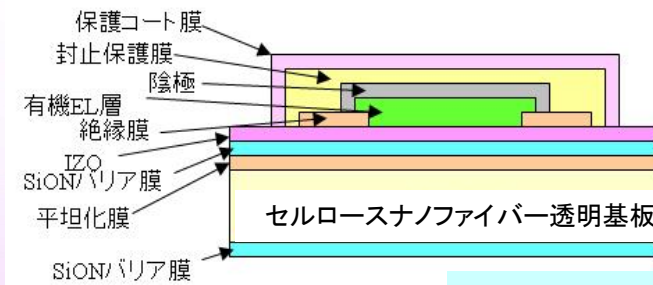
# 透明材料: 均一ナノ繊維の可視光透明性を利用 2003

1960 --- 2001 --- 2003 --- 2005 --- 2012 --- NOW

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。



CNF強化低熱膨張透明シート



有機EL素子

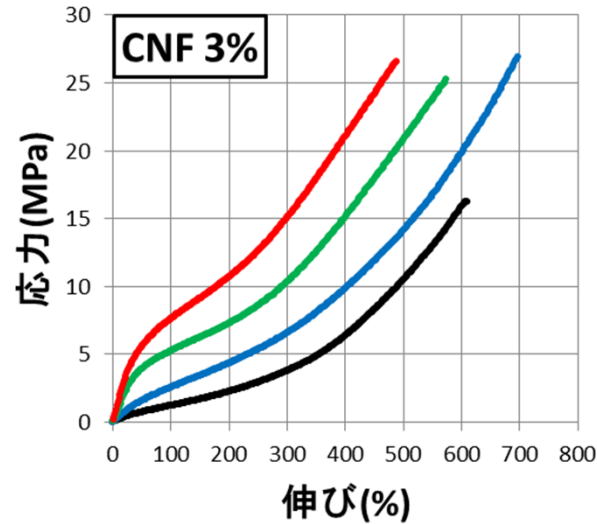
鋼鉄の様に強くて、ガラスの様に熱膨張が小さく、プラスチックの様にフレキシブルな透明材料

京都大学有機エレクトロニクスデバイスPJでの開発

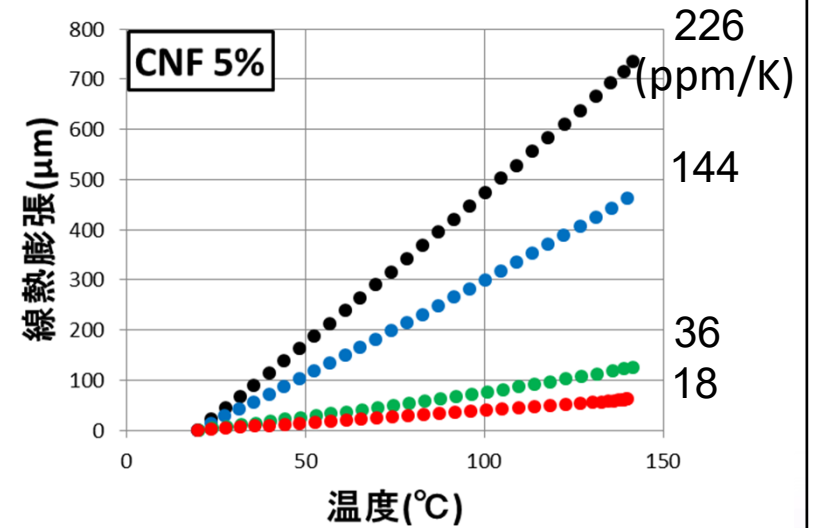
# セルロースナノファイバー強化ゴム 2006, 2011

1960 --- 2001 --- 2003 --- 2005 --- 2012 --- NOW

3%のCNF添加で弾性率が8倍に増大



線熱膨張が大きく低下



●天然ゴム ●未修飾 ●ステアロイル化 ●オレオイル化  
(加藤、中坪、矢野:2011)

タイヤの軽量化



低熱膨張性



Someya, T. (2004-)

# CNFによる熱可塑性樹脂の補強



# CNF強化プラスチックへの期待：

日本の得意な技術で新たな市場を開拓

- 世界のプラスチック生産量(2010) 2.65億トン

## 2010年の主要国・地域の樹脂別生産量

	アメリカ	中国	西欧*	日本	韓国	台湾
低密度ポリエチレン	9,312	9,857	7,900	1,948	2,078	103
高密度ポリエチレン	7,660		5,550	1,015	2,028	544
ポリプロピレン	7,826	9,167	8,800	2,709	3,806	1,215
ポリスチレン	2,293	-	3,700	822	1,037	845
塩化ビニル樹脂	6,358	11,300	5,550	1,749	1,404	1,432
その他	13,184	13,283	14,900	3,999	2,675	2,192
合計	46,633	43,607	46,400	12,242	13,028	6,331

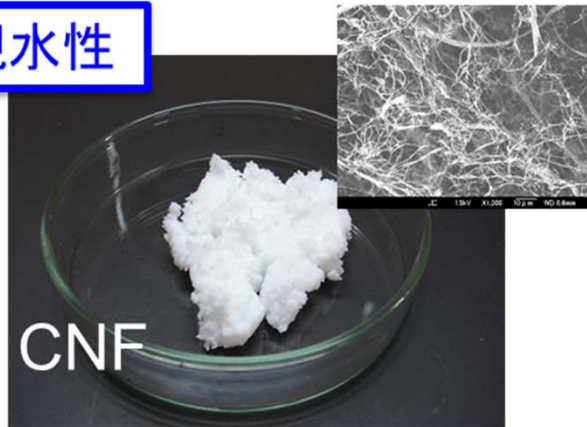
単位：1,000トン

3億トンの5%をセルロースナノファイバーに置き換える：1500万トン  
1000円/kg とすると15兆円の市場

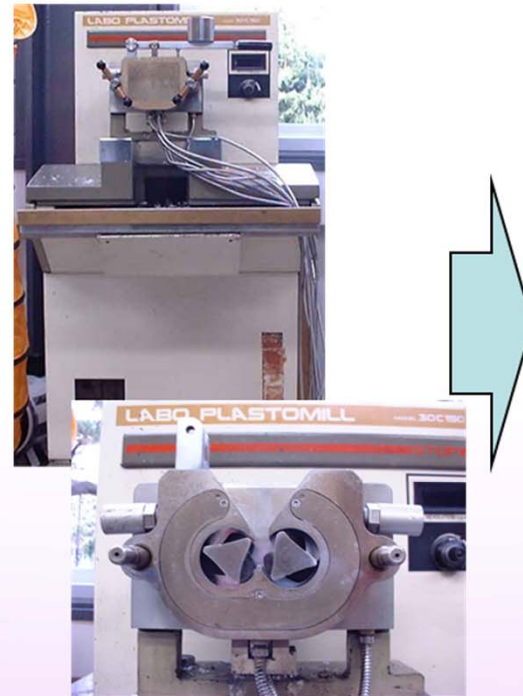


# 課題1: プラスチックとの相溶性

親水性



疎水性



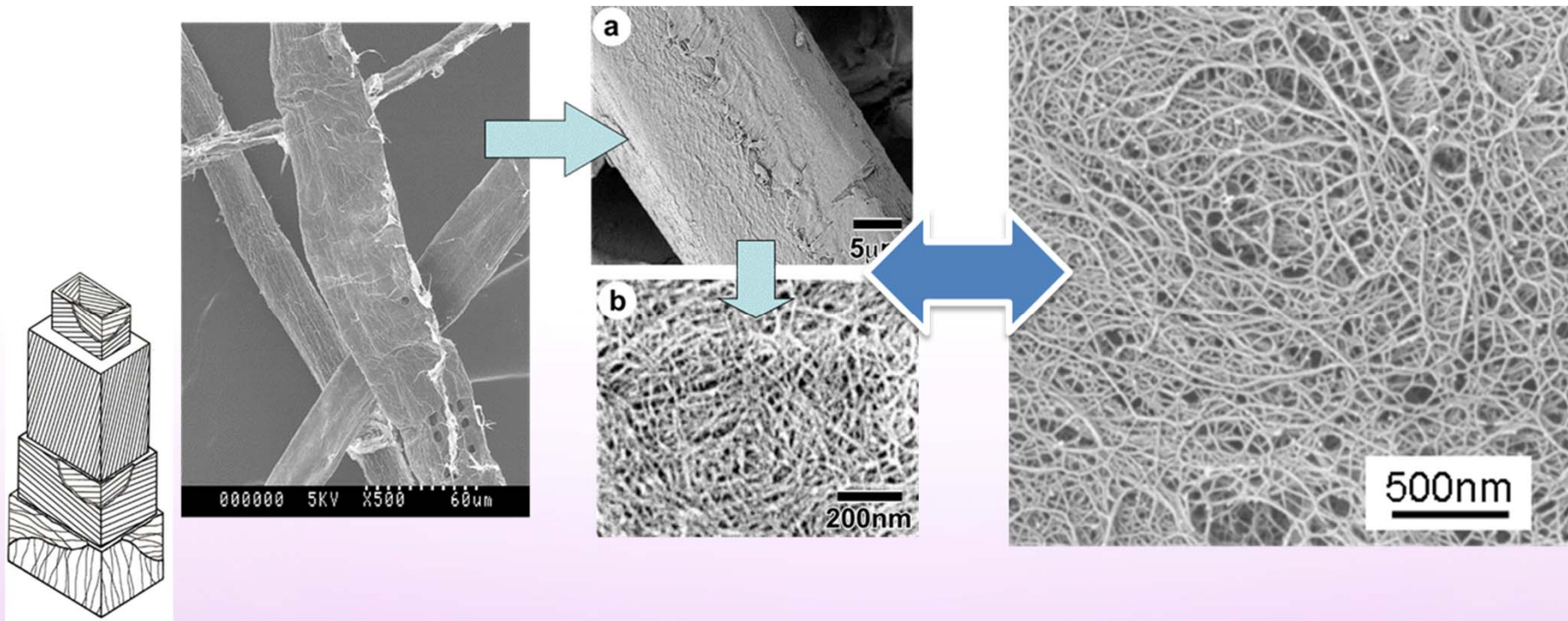
雪国

ラボプラストミルによる熔融混練 [PLA+CNF]

樹脂ペレットとCNF含水物を混合しながら乾燥・混練(2003)

# 課題2: パルプのナノ化コスト

## パルプ: ナノ繊維構造体



60-100円/kg

2千-1万円/kg

# 京大生存研・京都市産技研における構造用ナノセルロース材料開発PJ

## H17-18 経産省地域コンソーシアム

京大生存研、京都市産技研、木村化工機、阿波製紙、三菱化学、スターライト工業、松下電工、トヨタ車体



CNF補強効果の確認。一貫プロセスの検討

## H19-21 NEDO 大学発事業創出

京大生存研、京都市産技研、産総研広島、日本製紙、王子製紙、三菱化学、住友ゴム、DIC、星光PMC



CNF化学変性の開発、添加剤、樹脂の検討

## H22-H24 NEDO GSC

京大生存研、京都市産技研、王子製紙、三菱化学、DIC、星光PMC  
+アドバイザー7社(トヨタ車体、日産、スズキ、デンソー、他)

自動車用途CNF化学変性、添加剤の開発。

## テストプラント建設

H25 経産省  
イノベ拠点整備

星光PMC(再委託:  
京大生存研)

## H25- R1 リグノCNF NEDO 非可食性植物資源

京大生存研、王子ホールディングス、日本製紙、星光PMC、京都市産技研+アドバイザー20機関

リグニン変性、高耐熱化(PA級)、成形性向上、  
国際競争力のあるプロセス開発

H28- 環境省  
NCVプロジェクト:22機関

スケール  
アップ技術  
開発

自国バイオマス資源に基づく高付加価値化学品



# 『パルプ直接混練法』“京都プロセス”



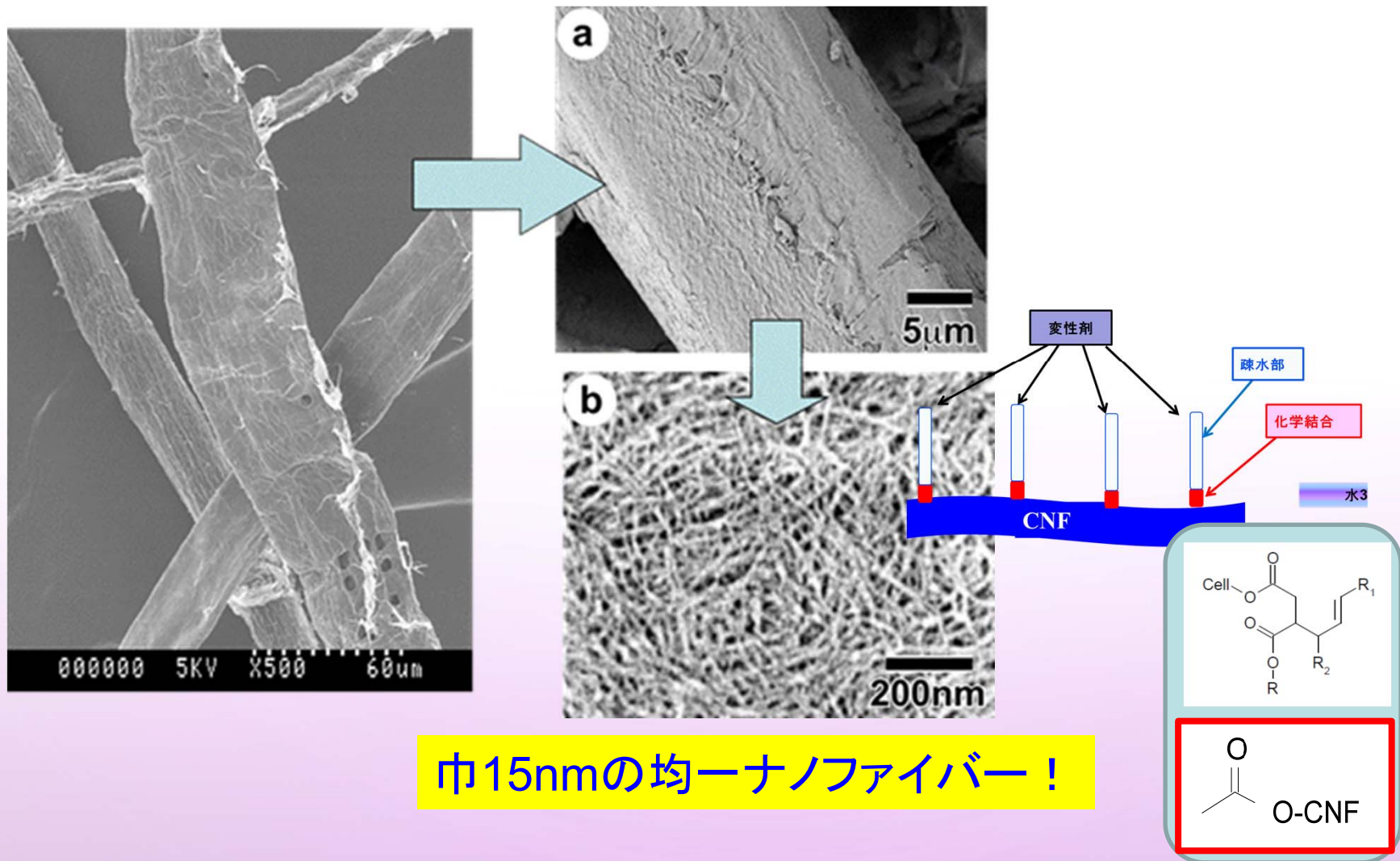
繊維のナノ化と高融点樹脂への均一分散を同時に達成。

➡ 製造コストの大幅削減！



NEDOプロジェクトで京都市産技研等と共同開発

# 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

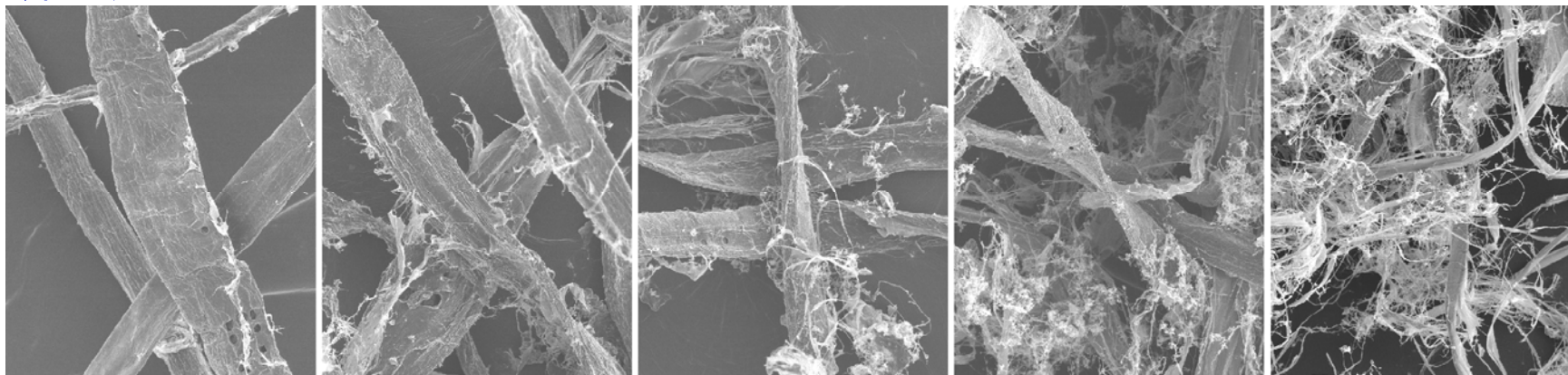
リファイナー  
2回

4回

8回

X500倍で観察

16回



高圧ホモジナイザー

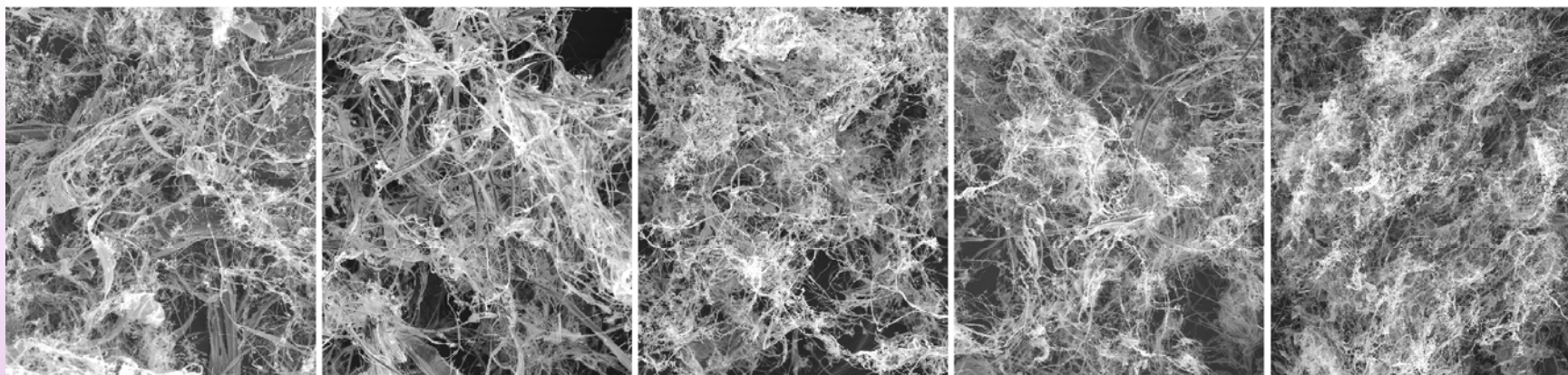
30回

2回

6回

14回

30回

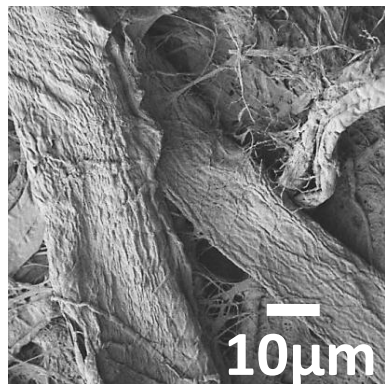


60μm

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。

化学変性パルプ



樹脂

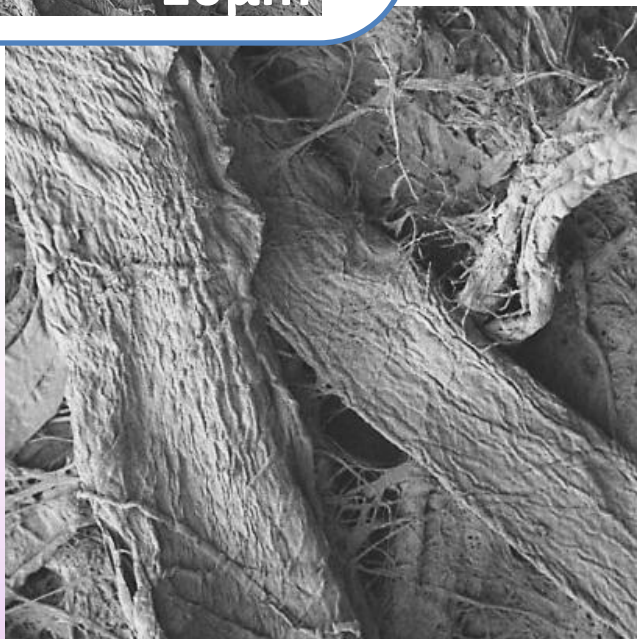
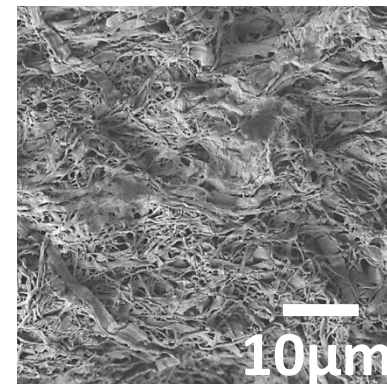
ナノ解繊

ナノ分散

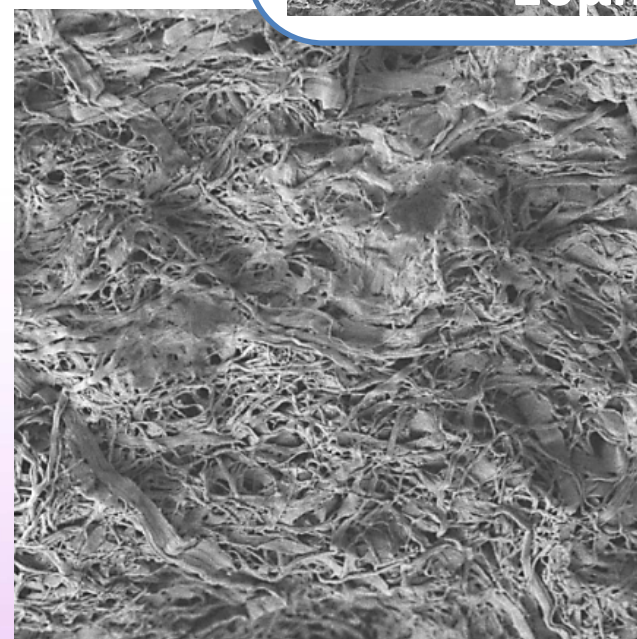
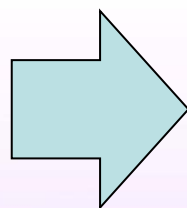
二軸押出機



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

# 京都プロセス®



2.5 min

パルプ(紙の原料、CNF集合体)を樹脂中で混練し、ナノファイバー化と樹脂中への均一分散をワンショットで行うコストパフォーマンスに優れた手法。

正式名称はパルプ直接混練法。



# 京都プロセスによる様々な樹脂補強

アセチル化処理

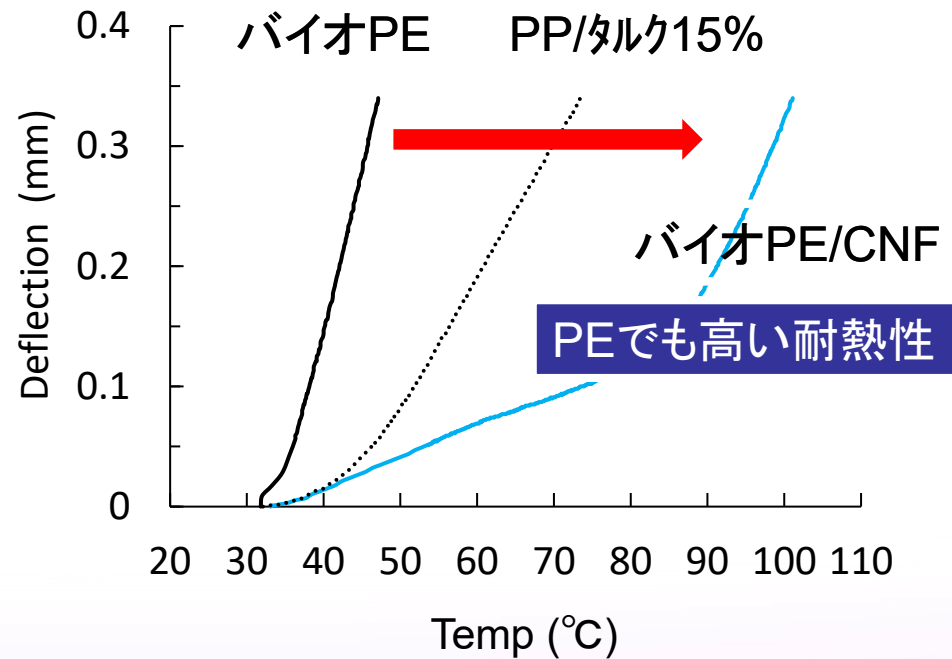
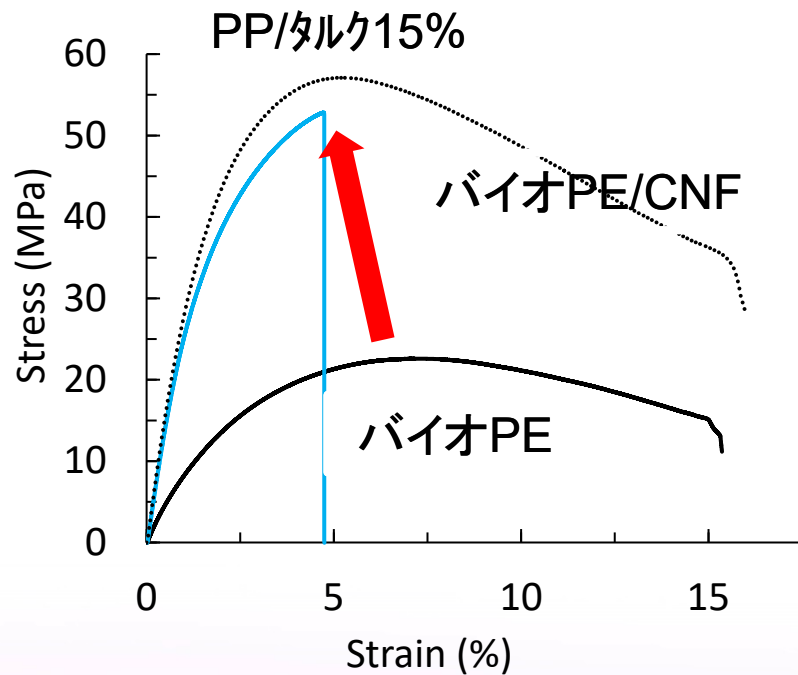
10wt% CNF

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

温室効果ガス  
ゼロエミッションに資する  
環境性能

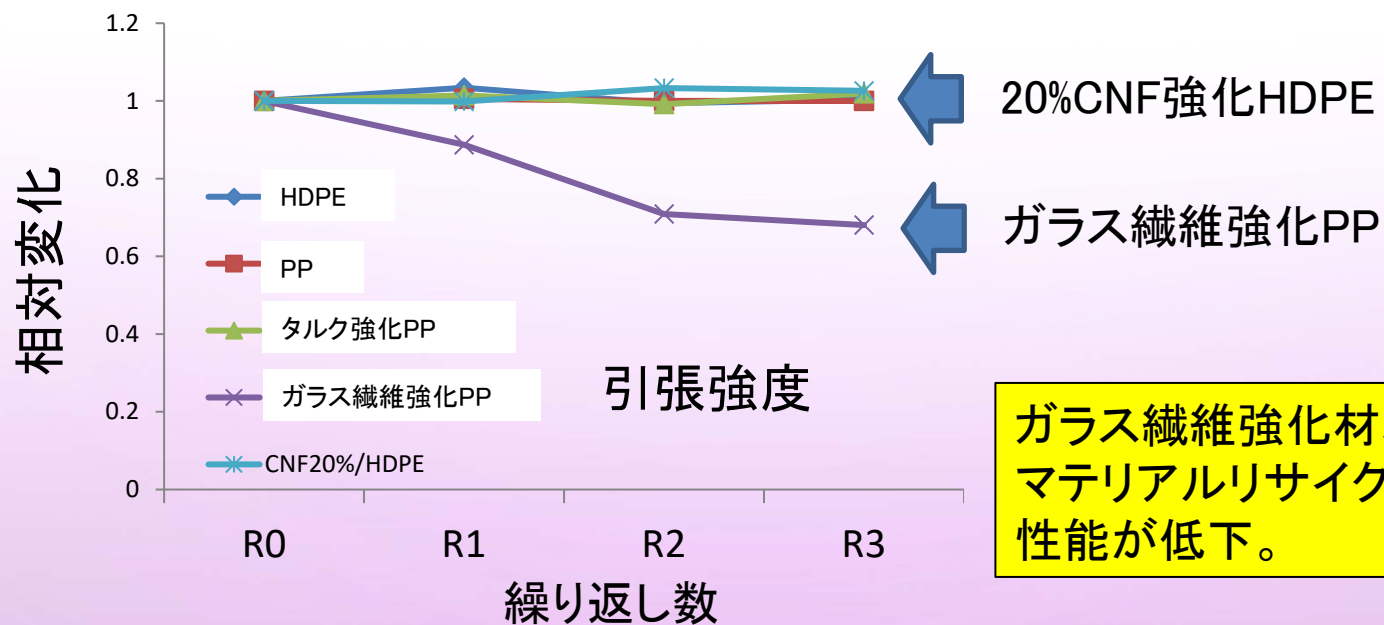
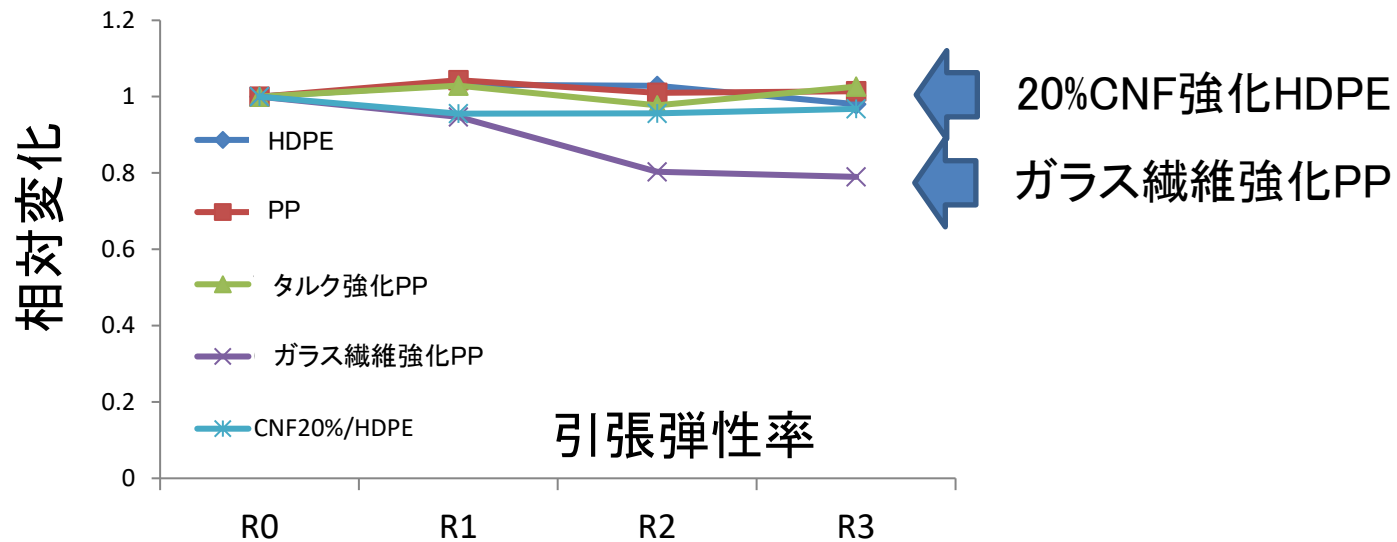
# バイオ/バイオ (CNF/バイオPE):カーボンニュートラル

熱変形温度 荷重:1.80 MPa



	CNF (wt%)	Talc (wt%)	E (MPa)	Strength (MPa)	Impact strength (kJ/m <sup>2</sup> )		CTE* (ppm/ K)	HDT(°C)	
					Izod	Charpy		0.45 MPa	1.80 MPa
PE	0	0	1108	22.5	3.61	3.34	131.8	84.3	47.1
CNF/PE	10	0	2716	48.5	2.54	2.28	55.9	128	101
Talc/PP	0	15	3450	56.2	3.52	4.48	47.2	134	73.5

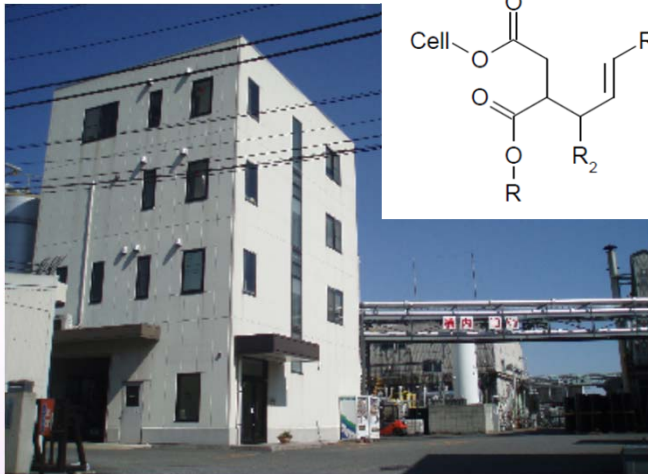
# リサイクル性評価：成形→粉砕→成形



ガラス繊維強化材料は  
マテリアルリサイクルで  
性能が低下。

# 京都プロセス®による商用プラントおよびテストプラント

CNF/PP  
200t/年 (30%CNF/樹脂 ベース)



竜ヶ崎工場、星光PMC  
2014→2017(拡張)

CNF/PA6, etc.  
10t/年 (10%CNF/樹脂ベース)



富士工場、日本製紙  
2017

## 疎水化CNF世界初の社会実装



星光PMC STARCEL®



京都プロセス

世界初！次世代高機能素材「セルロースナノファイバー」を  
ミッドソールに活用したシューズを商品化

高機能ランニングシューズ「GEL-KAYANO 25（ゲルカヤノ 25）」

**GEL—  
KAYANO  
— 25**

PROTECTION PERFECTED

200万足/年



**asics**  
I MOVE ME™

2018年6月1日10時 プレスリリース



# 環境省NCVプロジェクト概要



(NCV : Nano Cellulose Vehicle)

## 期間

平成28年度～平成31年度（令和元年度）  
コンソーシアム設立：平成28年10月26日

## 内容

二酸化炭素削減を目的とし、セルロースナノファイバー（CNF）を複合化した樹脂材料について材料～自動車など最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価を実施。

## 参画機関（22機関）

\* H29年度から参画

\*\* H30年度から参画

京都大学、サステナブル経営推進機構、京都市産業技術研究所、金沢工業大学  
名古屋工業大学、秋田県立大学、昭和丸筒／昭和プロダクツ  
利昌工業、イノアックコーポレーション、キョーラク  
三和化工、ダイキョーニシカワ、マクセル、デンソー、トヨタ紡織  
トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、アイシン精機\*、東京大学  
産業技術総合研究所、宇部興産\*\*、トヨタ自動車東日本\*\*



環境省  
Ministry of the Environment  
NCV Nano Cellulose Vehicle プロジェクト  
参画機関・企業



京都大学  
KYOTO UNIVERSITY



京都市産業技術研究所



宇部興産株式会社

株式会社 昭和丸筒

昭和プロダクツ 株式会社



国立大学法人  
名古屋工業大学

RISHO



Akita Prefectural University  
秋田県立大学

INOAC

KYORAKU

DN

ダイキョーニシカワ株式会社



三和化工株式会社  
SANWA KASEI CO., LTD.

maxell

39  
AISIN

DENSO  
Crafting the Core



トヨタ紡織株式会社  
TOYOTA BOSHO CO. LTD.



トヨタ自動車東日本  
TOYOTA MOTOR EAST JAPAN



金沢工業大学



TOYOTA  
CUSTOMIZING &  
DEVELOPMENT



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO



産総研  
経済社会へ Integration for Innovation



一般社団法人  
サステナブル経営推進機構  
SUMPO

# 東京モーターショーに 出展したコンセプトカー

# 木からつくったミライのクルマ

植物由来の次世代素材CNF活用で、軽量化にチャレンジ!

ルーフパネル  
(PC-CNF 15)  
トヨタ自動車東日本



3

バックアガラス  
(PC-CNF 15)  
トヨタ自動車東日本



4

リアスポイラー  
(PP-CNF 10)  
キョーラク



6

ドア OUTER パネル  
(PP-CNF 10)  
トヨタ紡織



1

ボンネット  
(CNF 100)  
利昌工業



5

ドアトリム  
(PP-CNF 10)  
トヨタ紡織



2

ホイールフィン  
(PA6-CNF 10)  
京都大学



10

アンダーカバー  
(PP-CNF 10)  
キョーラク



7

ルーフサイドレール  
(AI/CNF 紙)  
昭和丸筒

11

バンパーサイド  
(PA6-CNF 10)  
京都大学



9

バッテリーキャリア  
(PP-CNF 20)  
トヨタ車体  
参考出展



13

フロア部材  
(Epoxy-CNF)  
金工大、TCD

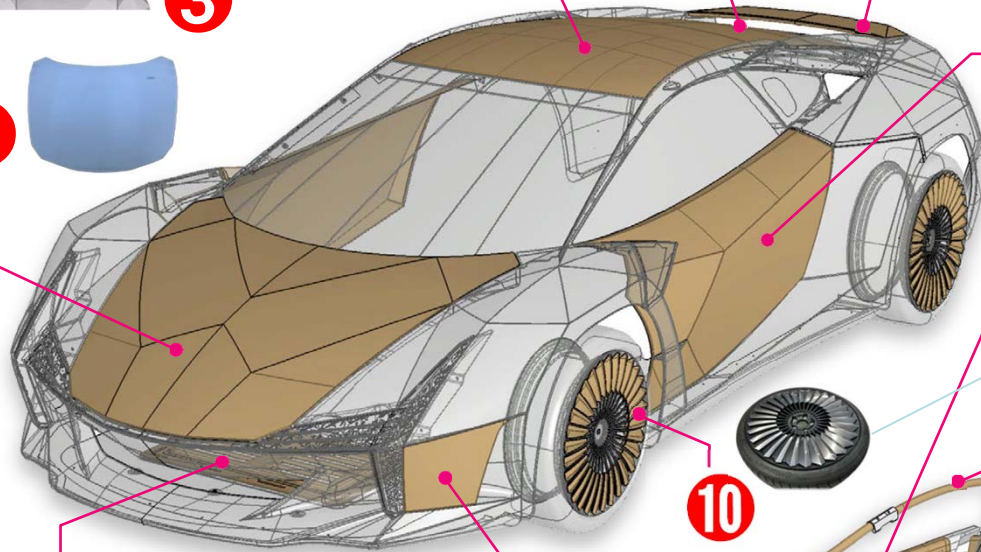


12

パケトレフロントカバー  
(PP-CNF 10)  
イノアック



8





# NCV PV

[https://www.youtube.com/watch?v=28N0YEO\\_8Ls](https://www.youtube.com/watch?v=28N0YEO_8Ls)



実用化で気になること



# 『パルプ直接混練法』“京都プロセス”

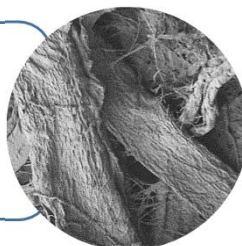


繊維のナノ化と高融点樹脂への均一分散を同時に達成。

➡ 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



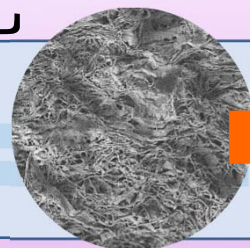
樹脂

CNF強化樹脂成形体



ナノ解繊と樹脂複合化

押出機

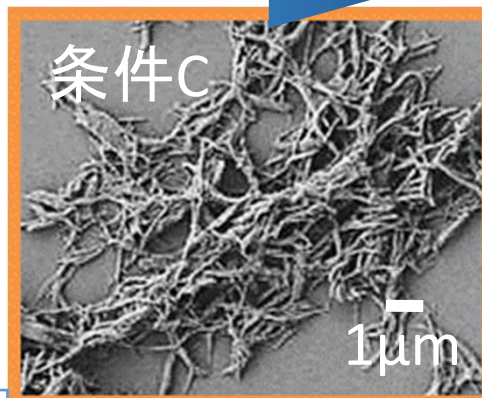
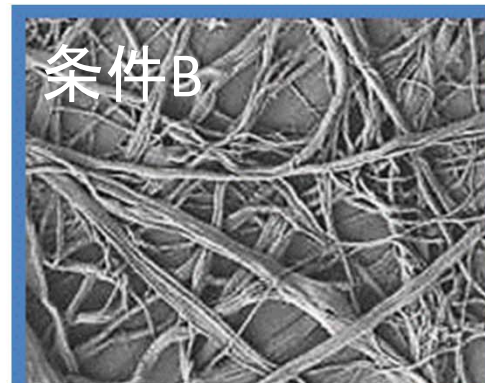
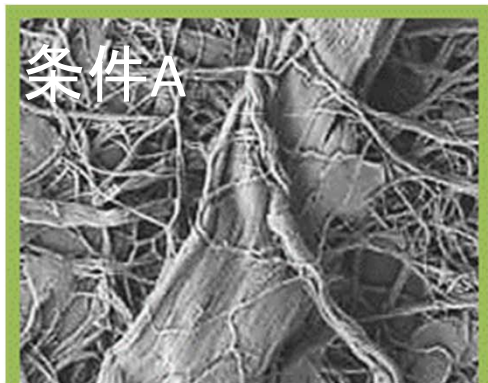


# CNF形状と引張特性

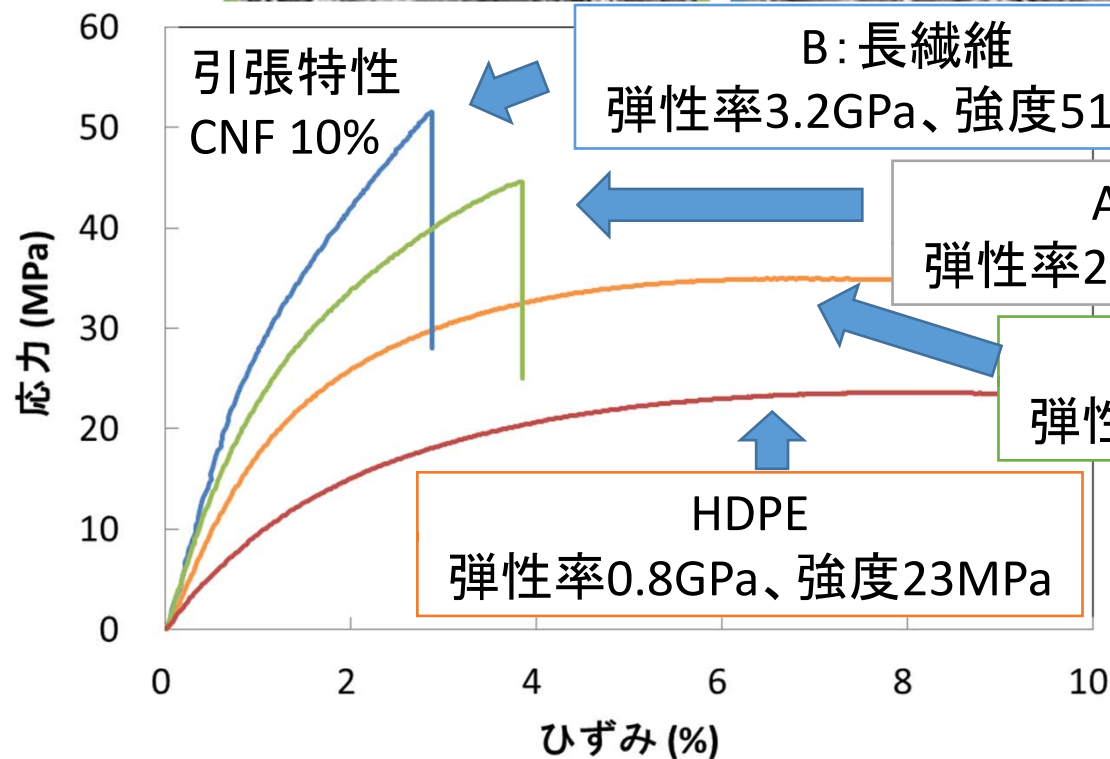
太く長い

CNF形状

細く短い



高温での混練時に切断



B: 長繊維

弾性率3.2GPa、強度51MPa

A: 太い繊維

弾性率2.5GPa、強度45MPa

C: 短繊維

弾性率1.5GPa、強度35MPa

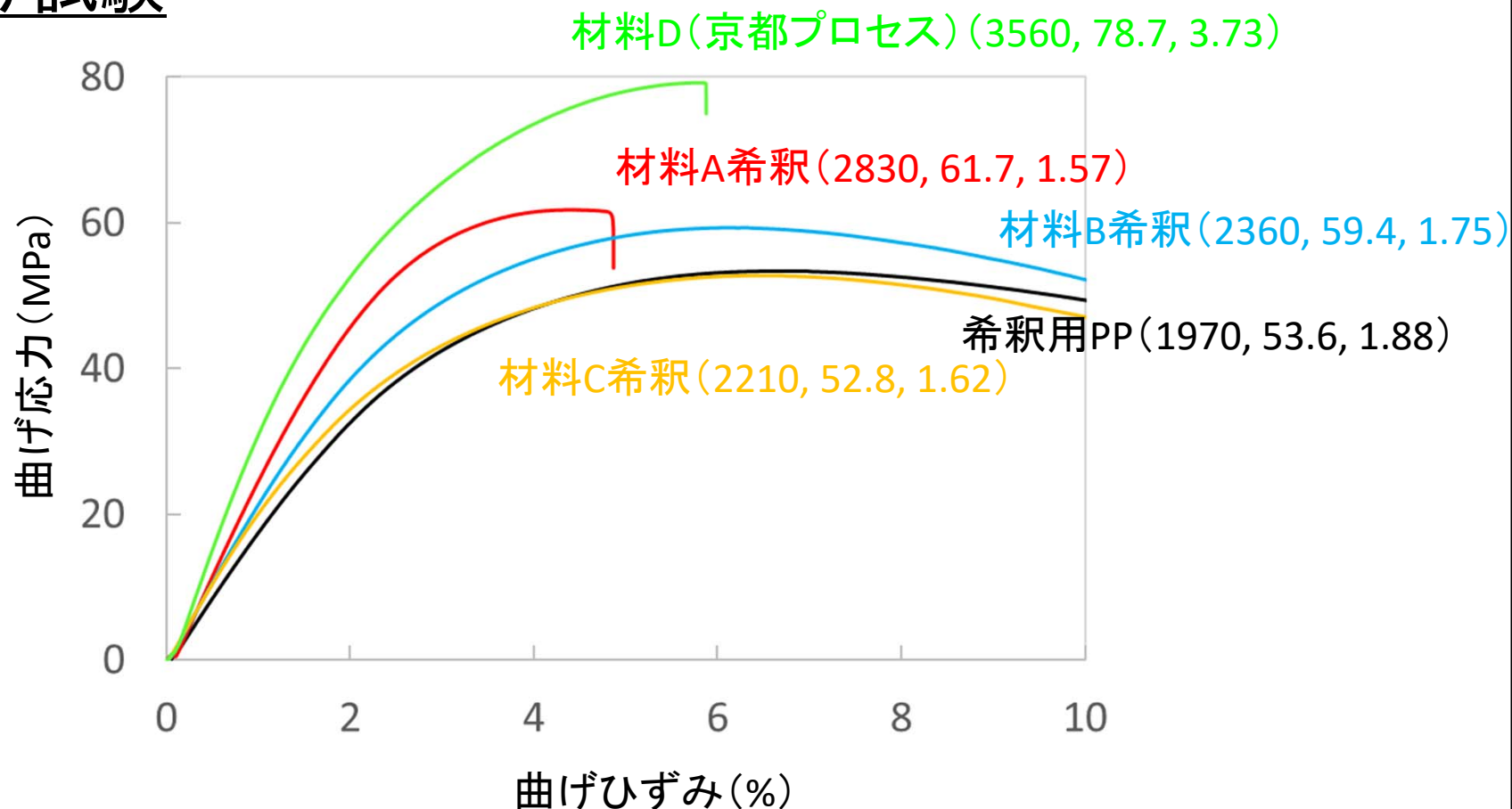
HDPE

弾性率0.8GPa、強度23MPa

細く長いCNFが良い

# 入手できるCNF/PP材料の比較

## 曲げ試験



▪ 弾性率, 強度: D > A > B > C

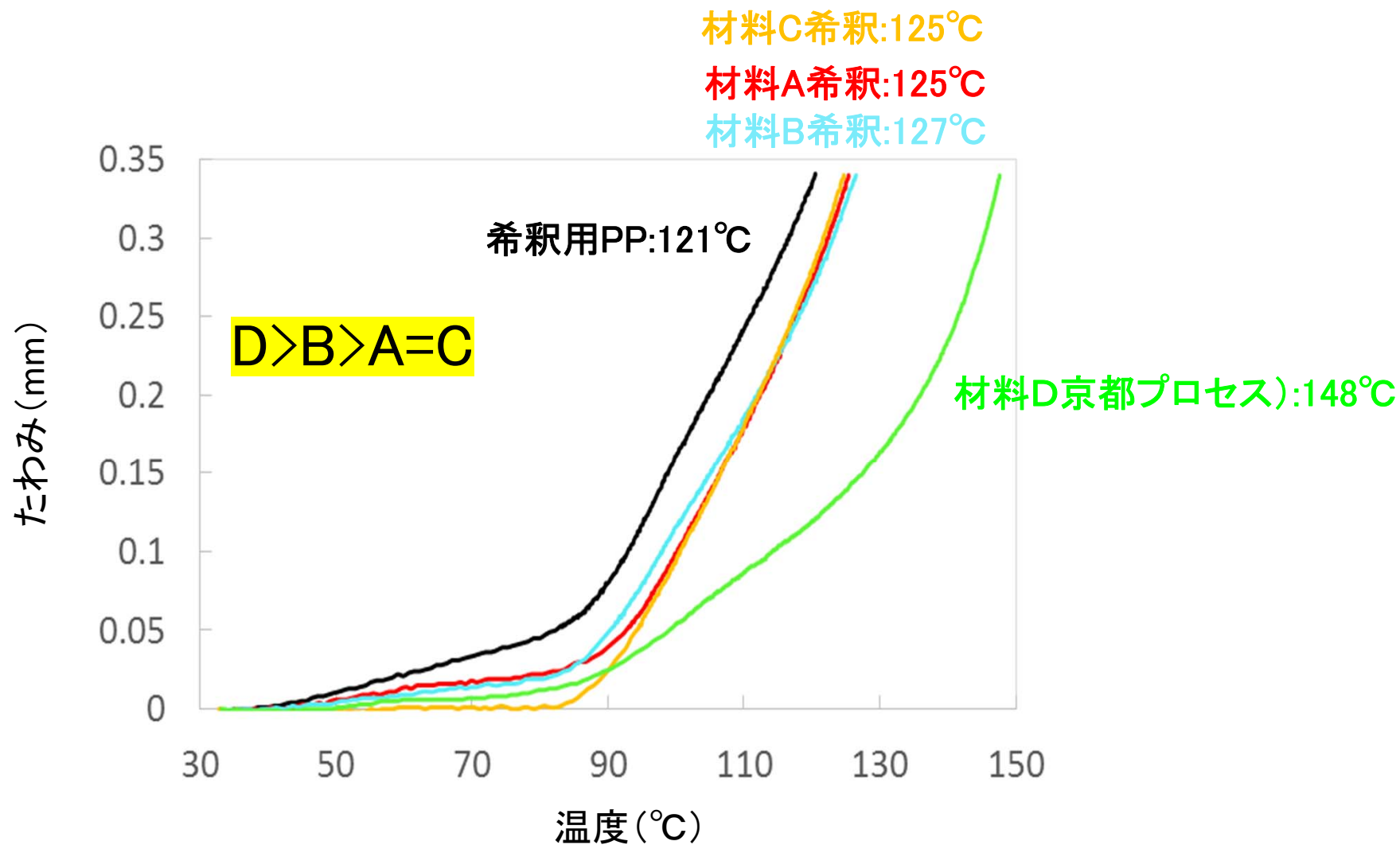
▪ 伸び: B = C > D > A

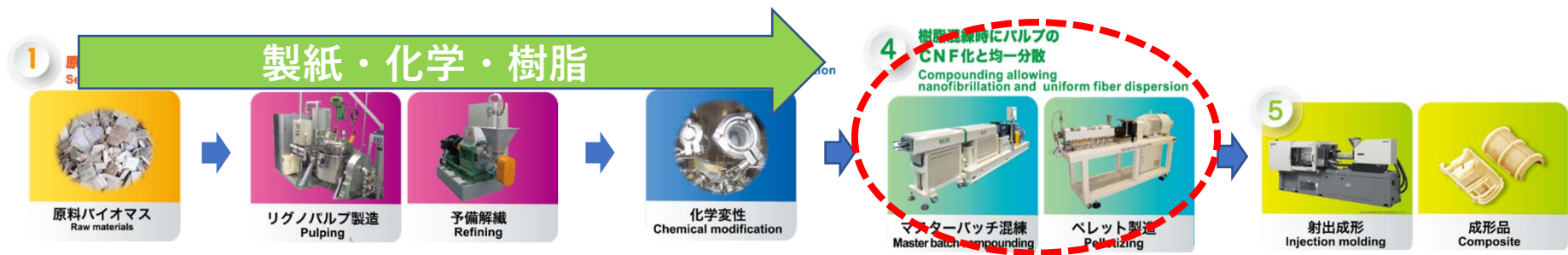
▪ 耐衝撃: D > A = B = C

※(曲げ弾性率(MPa), 曲げ強度(MPa), Izod(kJ/m<sup>2</sup>))

# 荷重たわみ温度試験 (HDT) 80°C、8Hアニール後

樹脂との相互作用、ネットワーク形成の指標





ここを繋ぐOI

## 川上と川下をつなぐ CNF材料のアンテナショップ

Nature Gifts Co. Ltd.

((株)ネイチャーギフト)

2020/09/10設立

ネイチャーギフトは、セルロースナノファイバー(植物繊維をナノレベルまで解繊した軽量、高強度のナノ繊維、以下CNF)で強化した樹脂材料の製造・販売を主力事業としています。ポリプロピレン(PP)やポリエチレン(PE)などの汎用性プラスチック、ナイロン6などのエンジニアリングプラスチックをベースとしたCNF材料の製造・販売に加えて、バイオ材料としてのCNFの特徴を活かしてバイオPEなどのバイオプラスチックと組み合わせたオールバイオ材料の開発にも取り組んでいきます。

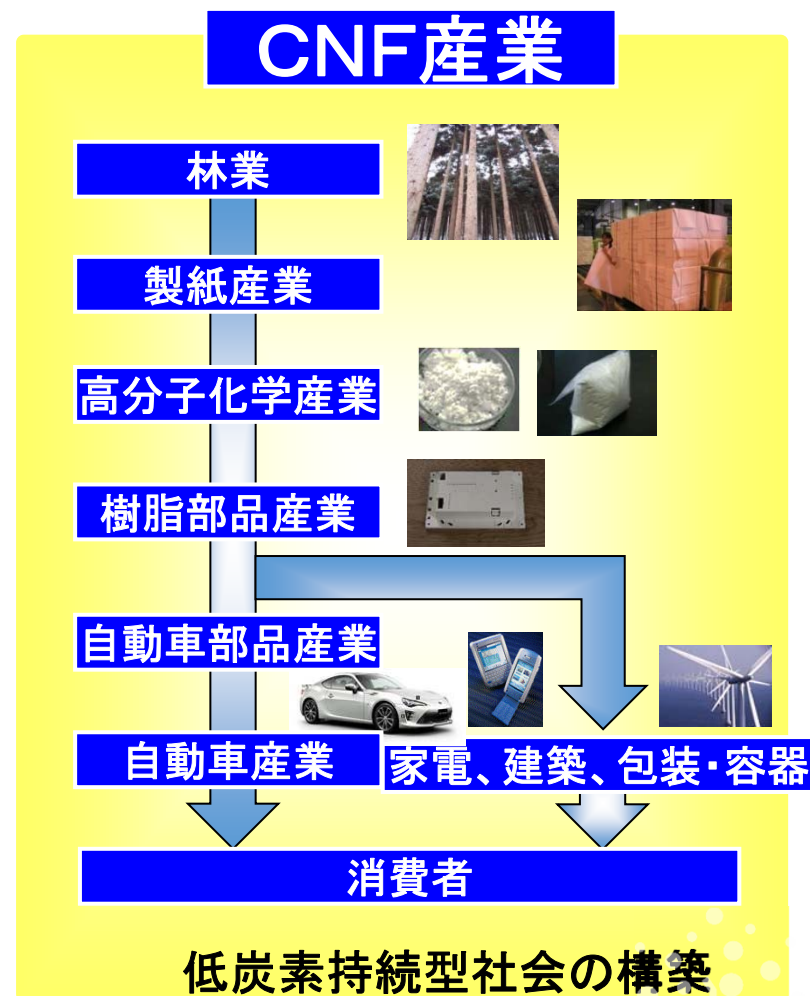


# 温室効果ガス 2050ゼロエミッション

## 21世紀のモノづくりはベジタリアン

未来の社会では、植物材料を当たり前のようにクルマや建築資材、家電に使って行きます。

石油資源由来のプラスチック素材だけでなく、鋼鉄もガラスもCO2排出の少ない高性能の植物資源材料に代わります。





植物も未来の資源に変える  
矢野 孝之

本研究の一部は経済産業省地域「新生コンソーシアムプログラム」および独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、「大学発事業創出実用化研究開発」事業、「グリーン・サステナブルケミカルプロセス基盤技術開発」事業、「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業、環境省CNF材料の導入実証・評価・検証～自動車分野～の一環として実施しました。

ご清聴ありがとうございました。