



2016/April-



### CNF(Cellulose Nano Fiber)を活かしたクルマづくり

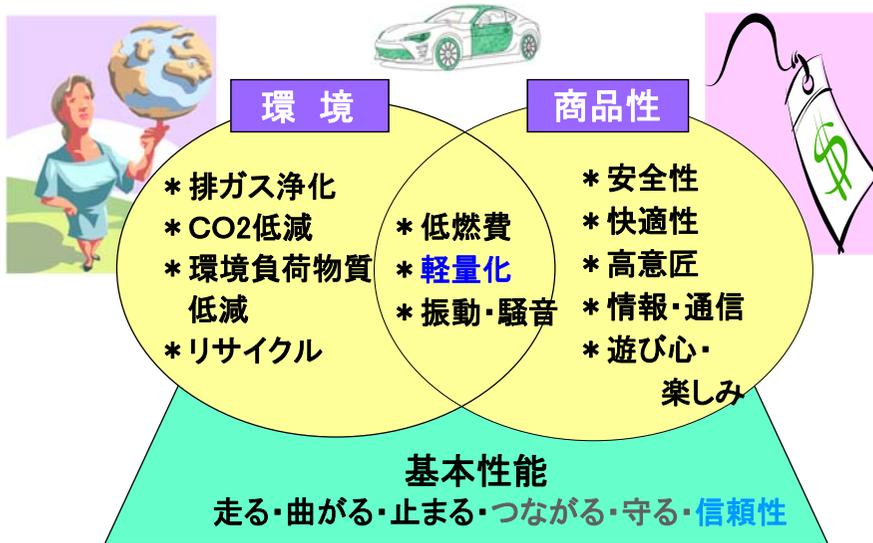
臼杵有光(京都大学 生存圏研究所)  
usuki@rish.kyoto-u.ac.jp



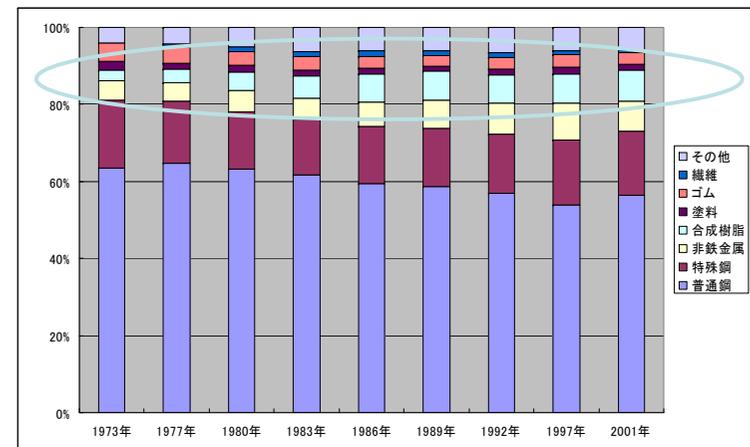
## 本日の内容

1. 豊田中研での経験
2. 京大での経験
  - ・CNFの特徴
  - ・NCVプロジェクトについて
3. 今後の期待

## 自動車を取り巻く課題



## 普通・小型乗用車における原材料構成比推移



プラスチック 55(6), 114 (2004)

## 過去の振り返り

### 1980年代 ポリマー系ナノコンポジットの開発・実用化

J. Mater. Res., Vol. 8, No. 5, May 1993 1179-1184

Synthesis of nylon 6-clay hybrid  nanocomposite

Arimitsu Usuki, Yoshitsugu Kojima, Masaya Kawasumi, Akane Okada, Yoshiaki Fukushima, Toshio Kurauchi, and Osami Kamigaito  
Toyota Central Research & Development Labs. Inc., Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi 480-11, Japan

(Received 22 January 1992; accepted 31 December 1992)

PA6/Clay →

PP,PE,PLA,PI,PMMA,PC,Epoxy,EPDM,IIR,NBR  
へ材料の横展開 完

PP : Macromolecules, 30, 6333-6338 (1997)

PI : J. Polym. Sci., A: Polym. Chem., 35, 2289-2294 (1997)など

ナノの  
重要性  
認識

## NCHの実用化例



エンジンカバー



タイミングベルトカバー

1990年



燃料タンク



ガスバリアーフィルム

## NCHの実用化例



燃料ホース



Plastic Bottle  
for soda



## 1990年代 2軸押し機によるゴムリサイクル技術の開発・実用化

[I-23-06]

加硫EPDMの脱硫

豊田中央研究所 ○毛利誠・白杵有光・村瀬篤・佐藤紀夫

### 1. 目的

プラスチックのリサイクル技術の開発は、資源の有効利用等の観点から急務の課題となっている。特に熱硬化性樹脂の代表である加硫ゴムのリサイクルは重要な課題である。現在行われている加硫ゴムの化学リサイクル方法はバン法と呼ばれ、オートクレーブ中で水蒸気圧1.4気圧、200℃、5時間かけて再生を行っている。しかし、バン法はバッチ式であること、処理時間が5時間必要なことなど生産性の面で課題がある。そこで我々は生産性の高い連続脱硫プロセスとして混練機を用いて加硫ゴムの脱硫を行うこととした。従来加硫ゴムの再生に用いられてきたジスルフィド化合物を用いて硫黄加硫EPDMの脱硫を検討した。

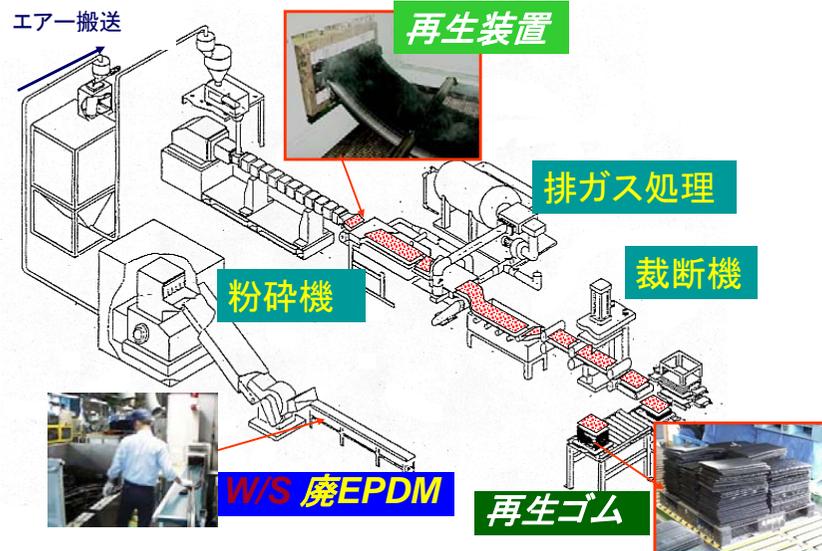
Devulcanization of Sulfur Vulcanized EPDM Rubber

M.Mouri,A.Usuki,A.Murase,N.sato

(Toyota Central Research & Development Labs.,Inc.,Nagakute,Aichi,

2軸押し機の  
必要性  
認識

# 再生ゴムの量産設備



# ゴムリサイクルの実用化例

## 適用部品



<代表的な適用部品>  
 トランクシール, ラジエータサポートシール  
 ホースプロテクター, ヘッドランプシール

# 2000年代 バイオポリマーの自動車分野への実用化



ポリ乳酸  
 +  
 ケナフ繊維



バイオFRP部品  
 スペアホイールカバー



バイオ繊維部品  
 フロアーカーペット

バイオの  
 将来性  
 認識

2003年5月ラウム搭載

(2016) 4, 2158-2164

PP/PA11 TB-alloy

ACS Sustainable Chemistry & Engineering

豊田中研とトヨタ紡織との共研

Research Article  
 pubs.acs.org/journal/ascceq

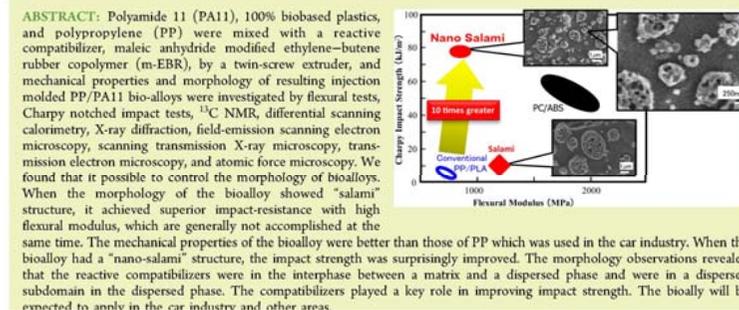
## Morphology Controlled PA11 Bio-Alloys with Excellent Impact Strength

Jumpei Kawada,<sup>\*,†</sup> Masayuki Kitou,<sup>‡</sup> Makoto Mouri,<sup>†</sup> Takuya Mitsuoka,<sup>†</sup> Tohru Araki,<sup>†,§</sup> Chi-Han Lee,<sup>‡</sup> Toshiyuki Ario,<sup>‡</sup> Osamu Kitou,<sup>‡</sup> and Arimitsu Usuki<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Toyota Central R&D Laboratories, Inc., 41-1 Yokomichi, Nagakute, Aichi 480-1192, Japan

<sup>‡</sup>Toyota Boshoku Corporation, 88 Kanayama, Kamekubi, Toyota, Aichi 470-0395, Japan

Supporting Information



## TB-alloyの実用化例

TOYOTA BOSHOKU  
2018年6月28日  
トヨタ紡織株式会社



トヨタ紡織、「人とくるまのテクノロジー展2018名古屋」に出展  
～高耐衝撃プラスチックを活用した自動車内装部品が新型クラウンに初採用～

トヨタ紡織株式会社（本社：愛知県刈谷市、取締役社長：原 毅）は、7月11日（水）から13日（金）にポートメッセなごや（愛知県名古屋市）で開催される自動車技術展「人とくるまのテクノロジー展2018名古屋」に出展します。

電気自動車など次世代自動車の拡大に対応し、独自のコア技術を用いて開発したリチウムイオン電池などを展示するとともに、より快適な移動空間を実現するアイテムや、軽量化、省エネに貢献する新技術、新製品を紹介します。

今回は、6月にトヨタ自動車株式会社が発表した新型クラウンに採用された高耐衝撃軽量電池ドアトリムを初出品。世界トップレベルの耐衝撃性能を有する樹脂素材「高耐衝撃プラスチック」を活用し、変形成形技術を用いることで、高い衝撃性能を維持しながら、従来の基材と比較し約20%の軽量化を実現しています。

※プラスチックの耐衝撃性能を向上させる衝撃吸収剤として利用する方法は特許取得済

### 1. 主な展示品

#### (1) 次世代自動車への対応

- ① リチウムイオン電池
- ② ハイブリッドシステム用モーターコア構成部品
- ③ 燃料電池関連部品セパレーター

#### (2) 快適な移動空間への寄与

- ① LEXUS LS 搭載フロントシート
- ② 高性能脱臭キャビンエアフィルター
- ③ 光ファイバー表皮

#### (3) 環境技術

- ① 新型クラウン搭載 高耐衝撃軽量電池ドアトリム【初出品】
- ② 赤外線反射内装
- ③ 冷却経路水浄化システム

### 2. 出展場所

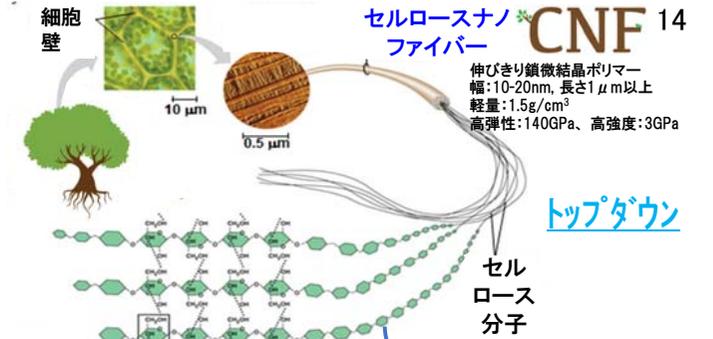
ブース番号：011



以上



森林伐採



トップダウン

Viscose fabric – the textile made from cellulose  
September 5, 2019 by Liné Cowley

<https://ecoworldonline.com/viscose-fabric-the-textile-made-from-cellulose/>から一部引用



原油採掘



ポリマー  
CNF  
複合材料

ボトムアップ

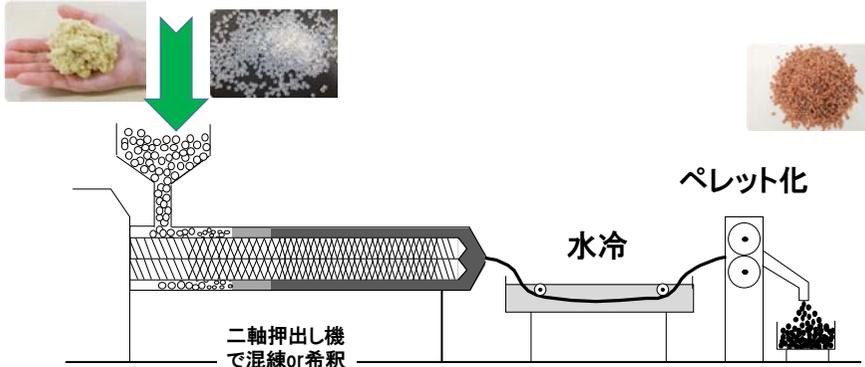
<http://www3.scej.org/education/crude.htm>から一部引用!

15

## CNF強化樹脂製造法の一例 (NEDO開発「京都プロセス」)

変性(疎水化)  
CNF/樹脂MB

樹脂  
(ナイロン、ポリプロピレンなど)



バイオ

2軸押し出し

ナノ

15

## CNFの特徴

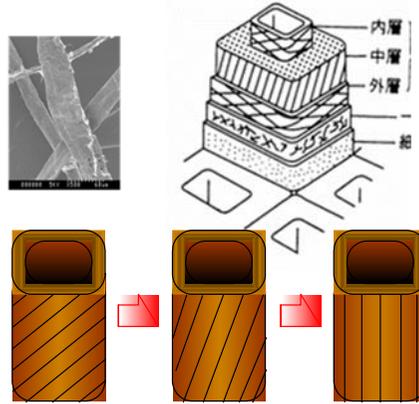
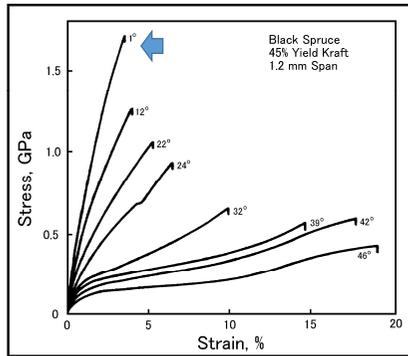
・軽量であり、かつ高強度な有機繊維である。

16

## 高弾性:140GPa、高強度:3GPa (鋼鉄の8倍の強度)の根拠

今から30年前に、パルプ一本をつまんで引っ張った研究者がいました。その結果が、下図です。矢印で示した試料の結果は、このパルプが1.7GPaで切断していることを示しています。このパルプでは、セルロースナノファイバーの約7割が繊維の方向に配列し、残りの3割はタガの様に横に巻いています。したがって、引っ張り方向で抵抗する7割のCNFでパルプ1.7GPaの強度が出たということになり、CNFの強度は少なくとも $1.7/0.7=2.5\text{GPa}$ はあると考えられます。また、下記の図からパルプの弾性率も計算できます。それによると約100GPaです。同様に0.7で割ると、**140GPa**となります。この値は、X線を用いてセルロース結晶について求められている弾性率と一致します。このことから、セルロースナノファイバーの弾性率は140GPa(鋼鉄の2/3)と考えます。

### SS curves of kraft pulp single fiber



17

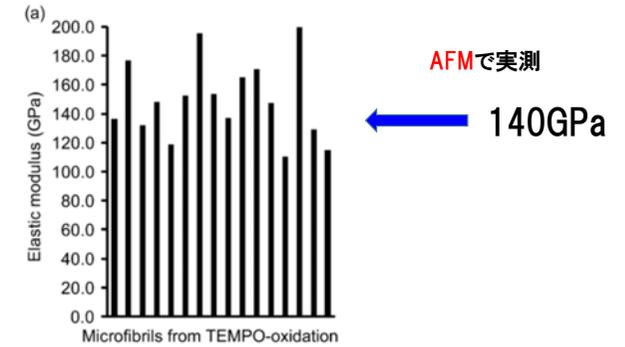
Page D.H. and El-Hosseiny F, J. of Pulp and Paper Sci. 1983. 京大 矢野先生から借用

Biomacromolecules 2009, 10, 2571–2576

### Elastic Modulus of Single Cellulose Microfibrils from Tunicate Measured by Atomic Force Microscopy

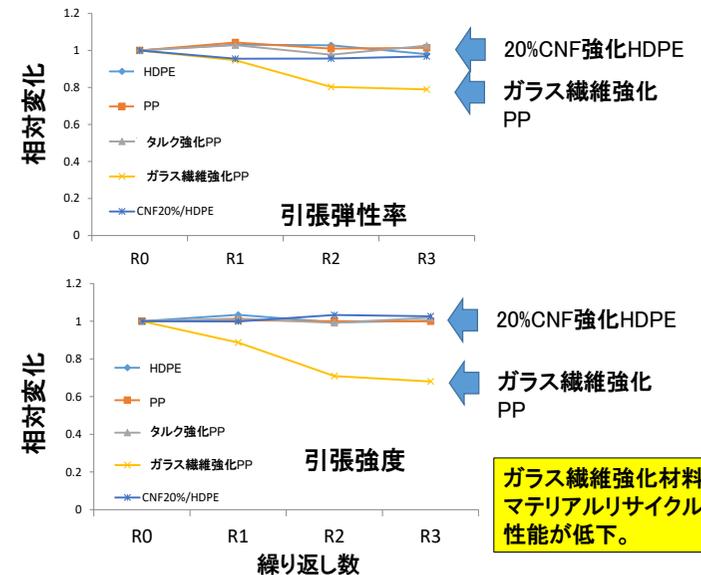
Shinichiro Iwamoto, Weihua Kai, Akira Isogai, and Tadahisa Iwata\*  
Department of Biomaterial Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan  
Received May 6, 2009; Revised Manuscript Received July 13, 2009

The elastic modulus of single microfibrils from tunicate (*Halocynthia papillosa*) cellulose was measured by atomic force microscopy (AFM). Microfibrils with cross-sectional dimensions 8–20 nm and several micrometers in length were obtained by oxidation of cellulose with 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl radical (TEMPO) as a catalyst and subsequent mechanical disintegration in water and by sulfuric acid hydrolysis. The nanocellulosic materials were deposited on a specially designed silicon wafer with grooves 227 nm in width, and a three-point bending test was applied to determine the elastic modulus using an AFM cantilever. The elastic moduli of single microfibrils prepared by TEMPO-oxidation and acid hydrolysis were 145.2 (31.3 and 150.7 GPa, respectively). The result showed that the experimentally determined modulus of the highly crystalline tunicate microfibrils was in agreement with the elastic modulus of native cellulose crystals.



・ナノで分散したフィラーであり、リサイクル時に繊維自体の破断の影響が極小である。

### リサイクル性評価: 成形→粉碎→成形 マテリアルリサイクルが可能



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。

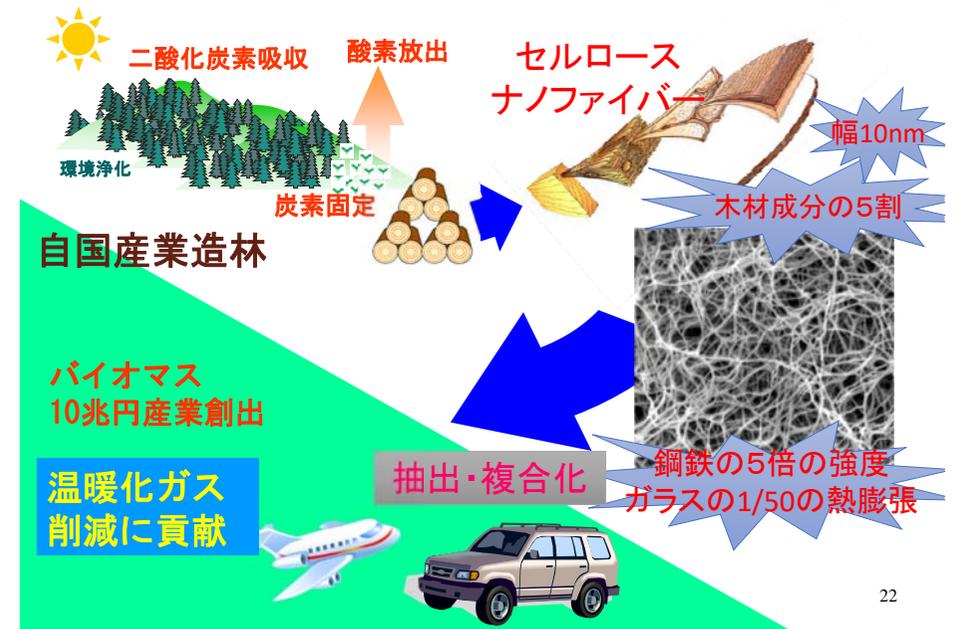
19

20

・原料はパルプなど自然由来であるためカーボンニュートラルな素材である。

21

## 鋼鉄より強くて軽いセルロースナノ材料の開発



22

・資源は日本に豊富にあるため、海外に対する優位性があり、低コスト化ができる。

23

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。

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になります。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。固定価格買取(FIT)制度でのバイオマス使用量は年間500万 $m^3$ で増加量から見て影響は小さいといえます。



出展: 林野庁 森林資源の状況、平成24年3月

24

・木材だけではなく、稲わら、キャッサバ、サツマイモなどCNFの原料が豊富にある。

25

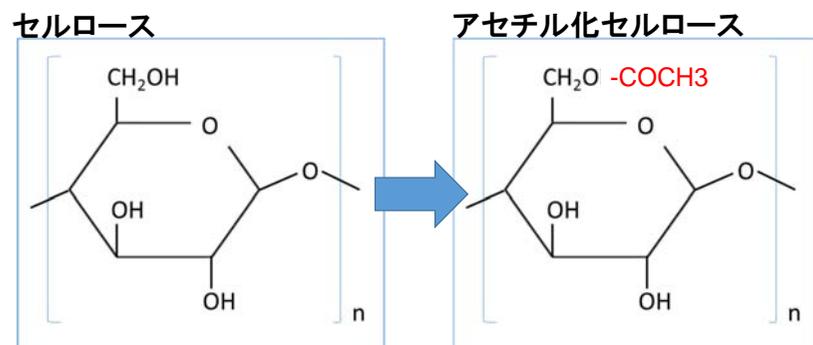
## 様々なナノファイバー源

H18, H19年度NEDO国際共同研究先導調査より



26

・セルロースの分子構造(表面に水酸基)が明確であり、樹脂に合わせて極性の制御ができる。



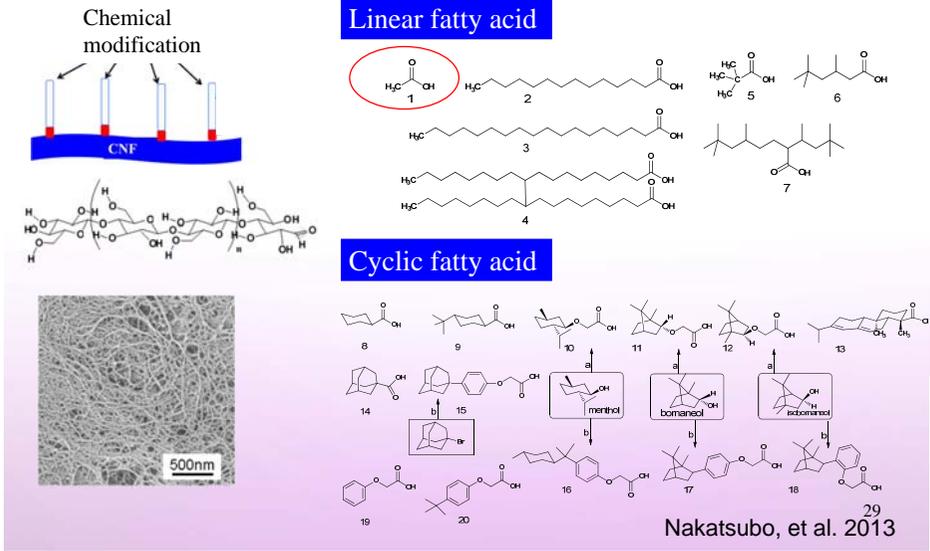
27

### 【アセチル化の利点】

- ・最も基本的なセルロースの変性
- ・疎水性付与
- ・耐熱性付与
- ・低コスト化できる
- ・既に実用化されている
- ・処理剤が安価
- ・変性度合いのコントロールが容易
- ・安全 など

プラスチック補強材としての  
変性セルロースの候補

28



・線膨張係数が小さく、寸法安定性に寄与できる。

- 低線熱膨張: 0.1ppm/k (長さ方向) (石英ガラス相当)

All-Cellulose Composite

Macromolecules 2004, 37, 7683-7687

Takashi Nishino,\* Ikuyo Matsuda, and Koichi Hirao

Department of Chemical Science and Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University, Rokko, Nada, Kobe 657-8501, Japan

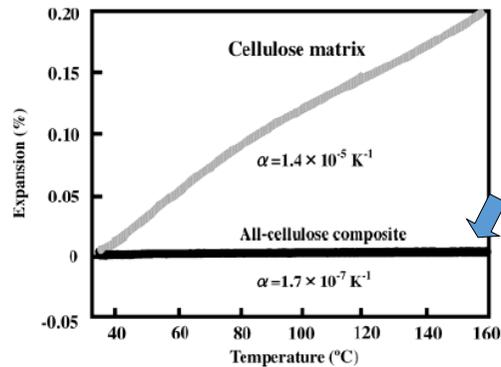
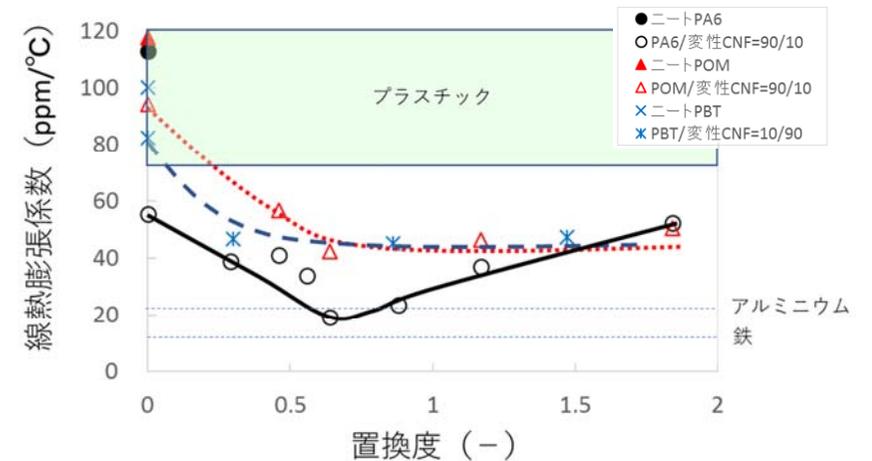


Figure 6. Temperature dependence of the linear thermal expansion of all-cellulose composite, together with that of the matrix cellulose.

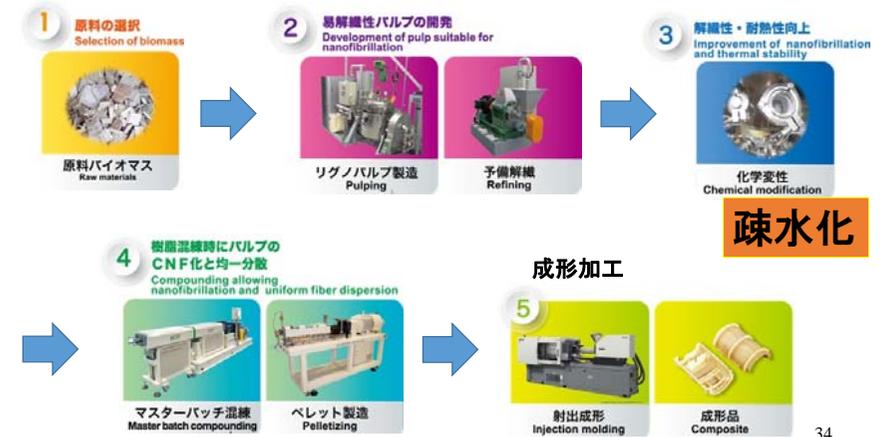
### CNF/エンプラの線熱膨張係数



・ガラス相当の比較的高い熱伝導がある。



CNF強化樹脂材料一貫製造プロセス



### NCVプロジェクト概要

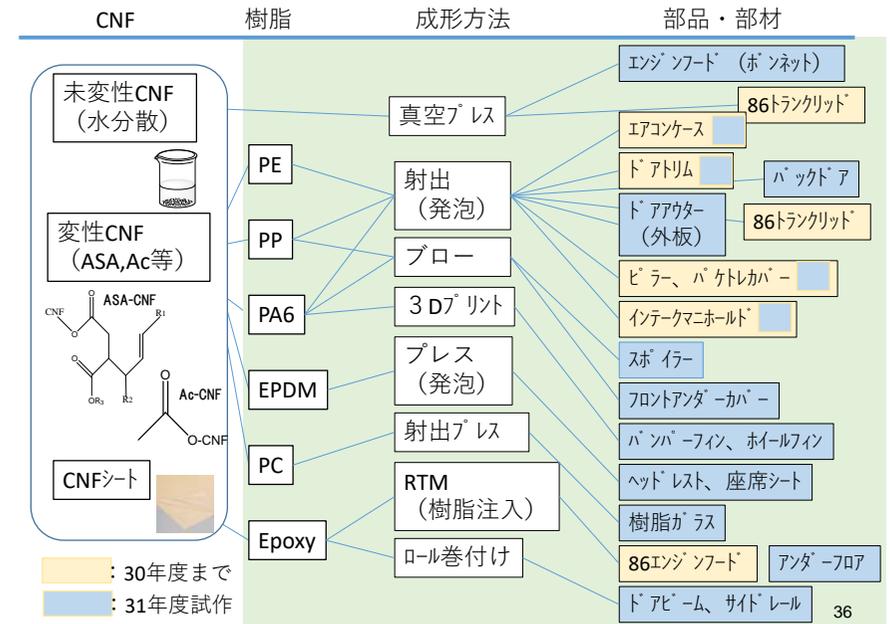
(NCV : Nano Cellulose Vehicle)

**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、サテナル経営推進機構、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、トヨタカスタマイズ&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\*\*



<p>➤ 射出成形 (PP)</p>  <p>ドアトリム ポリプロピレン (PP) - CNF10% トヨタ紡織 (株)</p>	<p>➤ 射出成形 (PA6)</p>  <p>インテークマニホールド (吸気部品) ナイロン6 (PA6) - CNF15% アイシン精機 (株)</p>
<p>➤ RTM (Resin Transfer Molding)</p>  <p>エンジンフード (ボンネット) CNF + エポキシ樹脂 金沢工業大学 (株) トヨタスチマインジグ &amp; デイベロップメント</p>	<p>➤ 射出発泡成形 (PA6) <span style="color: blue;">材料はNEDOからの提供品を使用</span></p>  <p>トランクリッド ロアー ナイロン6 (PA6) - CNF5% ダイキョーニシカワ (株)</p>



<p>➤ 独自成形 (100%CNF成形体)</p>  <p>トランクリッド アッパー 100% CNF成形 利昌工業 (株)</p>  <p>ハニカム 利昌工業 (株)</p>
<p>➤ ブロー成型 (デッキボード等)</p>  <p>デッキボード ポリプロピレン (PP) - CNF10% キョーラク (株)</p>



<p>➤ シートワインディング</p>  <p>ビーム等補強加工 紙管 + CNFシート (株) 昭和丸筒 昭和プロダクツ (株)</p>
<p>➤ めっき加工 (射出成形後)</p>  <p>エンジンカバー ナイロン6 (PA6) - CNF マクセル (株)</p> <p style="color: blue;">部品はNEDOからの提供品を使用</p>



一次試作車の概要

【CNF置換部品】 (トヨタ86 外板2部品)

①ボンネットフード  
(水平外板)



➔



②トランクリッド  
(垂直外板)



➔

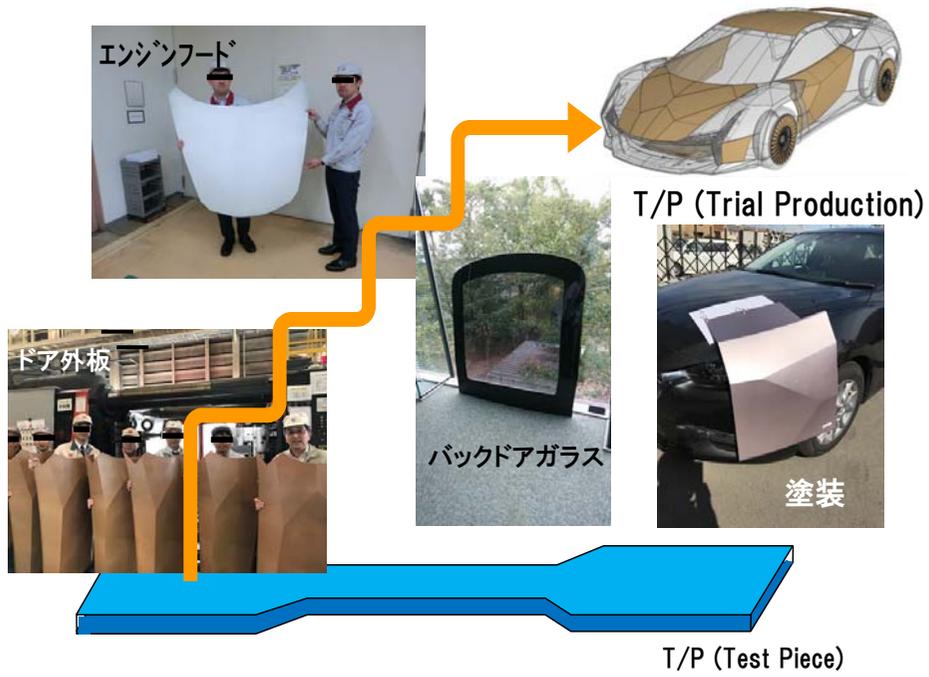


・エンジンフード (CNF + エポキシ樹脂)  
(製作: 金沢工業大学)

・トランクリッド アッパー (CNF100%)  
(製作: 利昌工業 (株))

・トランクリッド ロアー (ナイロン6 (PA6) - CNF5%)  
(製作: ダイキョーニシカワ (株))

・組付け  
トヨタスチマインジグ & デイベロップメント



最終試作車(コンセプトカー)外観写真



最終試作車(コンセプトカー、ドア開放時)外観写真



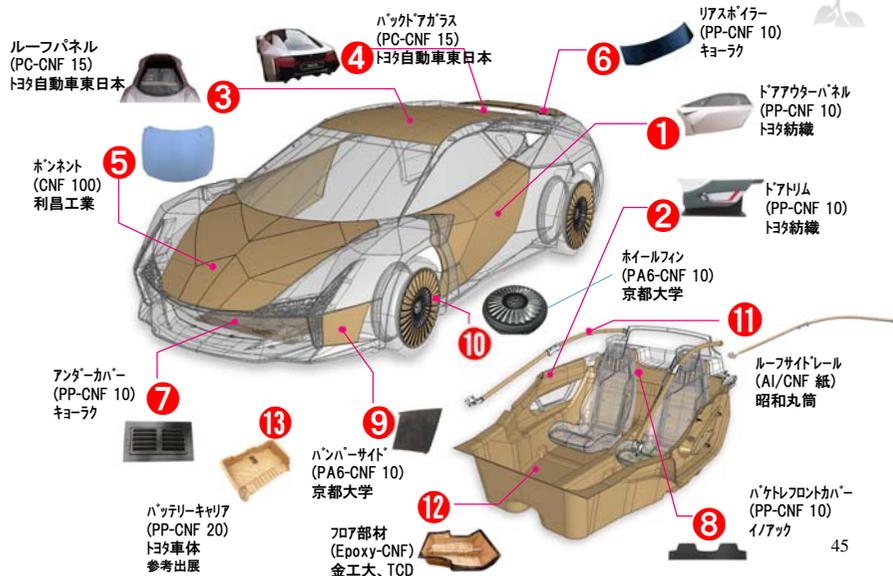
最終試作車  
(コンセプトカー)  
後姿写真



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 45

植物由来の次世代素材CNF活用で、軽量化にチャレンジ!



部材名	主要樹脂	CNF複合比率	成形加工法	事業担当者	最終試作車搭載
ドアトリム	PP(ポリプロピレン)	10%	射出成形	トヨタ紡織	○
ドアアウターパネル	PP	10%	射出成形	トヨタ紡織	○
ルーフパネル	PC(ポリカーボネート)	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本	○
バックドアガラス	PC	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本	○
エンジンフード	CNF	100%	加熱加圧成形+真空バッグ成形	利昌工業	○
リアスポイラー	PP			キョーラク	○
フロントアンダーカバー	PP			キョーラク	○
バケットフロントカバー	PP			イノアック	○
フロントバンパーサイド	PA6			京都大学	○
ホイールフィン	PA6			京都大学	○
ルーフサイドレール	CNF			昭和丸筒	○
フロア部材	EP(エポキシ)			金沢工業大学/TCD	○
バッテリーキャリア	PP			トヨタ車体(PJ外からの提供)	○
エアコンケース (HVAC)	PP			デンソー	○
インテークマニホールド	PA6			アイシン精機	○
エンジンフード	EP			金沢工業大学/TCD	TOYOTA86 用
インストルメントパネル	PP			ダイキョーニシカワ	○
バックドア	PP			ダイキョーニシカワ	○
シートクッション	PE(ポリエチレン)			三和化工	○
ミニチュアグリル	PP			マクセル	○



部材名	主要樹脂	CNF複合比率	成形加工法	事業担当者	最終試作車搭載
ドアトリム	PP(ポリプロピレン)	10%	射出成形	トヨタ紡織	○
ドアアウターパネル	PP	10%	射出成形	トヨタ紡織	○
ルーフパネル	PC(ポリカーボネート)	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本	○
バックドアガラス	PC	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本	○
エンジンフード	CNF	100%	加熱加圧成形+真空バッグ成形	利昌工業	○
リアスポイラー	PP			キョーラク	○
フロントアンダーカバー	PP			キョーラク	○
バケットフロントカバー	PP			イノアック	○
フロントバンパーサイド	PA6			京都大学	○
ホイールフィン	PA6			京都大学	○
ルーフサイドレール	CNF			昭和丸筒/昭和プロダクツ	○
フロア部材	EP(エポキシ)			金沢工業大学/TCD	○
バッテリーキャリア	PP			トヨタ車体(PJ外からの提供)	○
エアコンケース (HVAC)	PP			デンソー	○
インテークマニホールド	PA6			アイシン精機	○
エンジンフード	EP			金沢工業大学/TCD	TOYOTA86 用
インストルメントパネル	PP			ダイキョーニシカワ	○
バックドア	PP			ダイキョーニシカワ	○
シートクッション	PE(ポリエチレン)			三和化工	○
ミニチュアグリル	PP			マクセル	○



部材名	主要樹脂	CNF複合比率	成形加工法	事業担当者	最終試作車搭載
ドアトリム	PP(ポリプロピレン)	10%	射出成形	トヨタ紡織	○
ドアアウターパネル	PP	10%	射出成形	トヨタ紡織	○
ルーフパネル	PC(ポリカーボネート)	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本	○
バックドアガラス	PC	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本	○
エンジンフード	CNF	100%	加熱加圧成形+真空バッグ成形	利昌工業	○
リアスポイラー	PP			キョーラク	○
フロントアンダーカバー	PP			キョーラク	○
バケットフロントカバー	PP			イノアック	○
フロントバンパーサイド	PA6			京都大学	○
ホイールフィン	PA6			京都大学	○
ルーフサイドレール	CNF			昭和丸筒/昭和プロダクツ	○
フロア部材	EP(エポキシ)			金沢工業大学/TCD	○
バッテリーキャリア	PP			トヨタ車体(PJ外からの提供)	○
エアコンケース (HVAC)	PP			デンソー	○
インテークマニホールド	PA6			アイシン精機	○
エンジンフード	EP			金沢工業大学/TCD	TOYOTA86 用
インストルメントパネル	PP			ダイキョーニシカワ	○
バックドア	PP			ダイキョーニシカワ	○
シートクッション	PE(ポリエチレン)			三和化工	○
ミニチュアグリル	PP			マクセル	○





## 今後の期待(材料全般を含む)

1. 量産可能な低コスト化技術の開発
2. LCCO<sub>2</sub>の見える化、低減化
3. 海外調達性の確保
4. 材料特性の差別化  
耐久性・寿命の予測、分解性の制御、  
香り、肌触り、見栄え(透明?)など感性材料、  
エネルギー吸収での乗員保護、  
EV、HEV、FCでの用途展開など

## 謝辞

本業務は環境省プロジェクト「社会実装に向けたCNF材料の導入実証・評価・検証  
～自動車分野～」(NCVプロジェクト)の中で主に実施したものである。

本コンソーシアムに参画している機関のメンバーに対して感謝いたします。