

Nanocellulose Symposium 2021 / 第 445 回生存圏シンポジウム

ゼロエミッション・ マテリアルへの戦略

バイオ化・軽量化・リサイクル・断熱

Online March 9, 2021

主催：京大生存圏研究所、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）

Nanocellulose Symposium 2021 / 第 445 回 生存圏シンポジウム

ゼロエミッション・マテリアルへの戦略
バイオ化・軽量化・リサイクル・断熱

Online March 9, 2021

主催：京大大学生存圏研究所、
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）

Nanocellulose Symposium 2021 第 445 回 生存圏シンポジウム

「ゼロエミッション・マテリアルへの戦略

バイオ化・軽量化・リサイクル・断熱」

温室効果ガス・ゼロエミッション 2050 は我が国の総力を挙げて達成しなければならない課題です。今年度のナノセルロースシンポジウムでは、使えば使うほど大気中の二酸化炭素が減っていくゼロエミッション・マテリアルの実現において、セルロースナノファイバー材料がキーマテリアルとなる可能性を、①バイオ化、②軽量化、③リサイクル、④断熱の観点から検証し、参加者全員で共有したく思います。

*セルロースナノファイバーについては下記の URL をご覧ください。

「セルロースナノファイバーの現状と未来」<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labm/news/new>

「京都プロセスで製造した CNF 強化材料の特性」<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labm/news/new>

■日 時：令和 3 年 3 月 9 日（火）

プログラム

- 開始 20 分前より生存圏研究所紹介動画（7 分）、環境省 NCV 紹介動画（9 分）を配信します。 -

13:00 開会挨拶

来賓挨拶：環境省 地球環境局 地球温暖化対策課
：経済産業省 製造産業局 革新素材室

13:10 ① CNF 材料の特徴と実力（15+2min: 講演 15 分、講師交代 2 分）

京大大学生存圏研究所 矢野 浩之氏…………… 1

② バイオ化

- ・バイオマスプラスチックの現状（20+2min）
日本バイオプラスチック協会 吉田 正俊氏…………… 11
- ・温暖化ガス排出削減を目指した CNF 強化バイオ PE の開発（15+2min）
（地独）京都市産業技術研究所 野口 広貴氏…………… 29
- ・自動車部品用途への CNF 強化バイオポリエチレンの適用検討（15+2min）
トヨタ紡織(株) 和田 卓氏…………… 39
- ・日用雑貨品への CNF 材料の応用（15+2min）
(株)上山製作所 上山 哲生氏…………… 51
- ・CNF 強化バイオマスプラスチック（15+2min）
（地独）京都市産業技術研究所 仙波 健氏…………… 57
- ・ライフサイクル評価から考える CNF 強化樹脂の脱炭素化（20+2min）
東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座 兼松 祐一郎氏…………… 67

15:20 休憩（ナノセルロースウィークル:NCV 映像配信）

15:40 ③ 軽量化

- ・熱可塑性樹脂と CNF のナノコンポジットの成形性
— 発泡射出成形を事例として —（15+2min）
京都大学大学院工学研究科 大嶋 正裕氏…………… 75
- ・CNF 強化 PA6 を用いた 3D プリンター成形体の力学的特性とその応用（15+2min）
京大大学生存圏研究所 奥平 有三氏…………… 85
- ・100% CNF 材料の開発と応用事例の紹介（15+2min）
利昌工業(株) 奥村 浩史氏…………… 91
- ・レースカーへの CNF 材料の応用事例（15+2min）
大王製紙(株) 玉城 道彦氏…………… 101

④ リサイクル・断熱

- ・CNF 強化樹脂のマテリアルリサイクル（15+2min）
京大大学生存圏研究所 矢野 浩之氏…………… 111
- ・CNF の特徴援用による遮光・遮熱機能ガラスの開発（15+2min）
熊本県産業技術センター 永岡 昭二氏…………… 117

17:25 閉会挨拶：経済産業省 近畿経済産業局

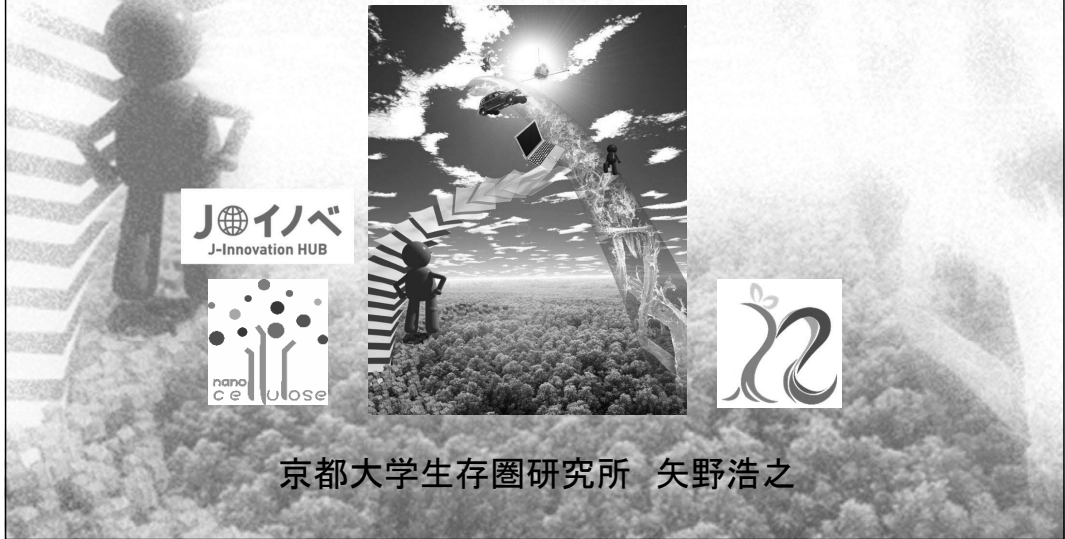
17:30 閉会

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）
共催：近畿経済産業局、地方独立行政法人京都市産業技術研究所、
環境省ナノセルロース・マッチング事業、ナノセルロースジャパン
後援：紙パルプ技術協会、日本製紙連合会、セルロース学会、公益社団法人日本材料学会関西支部、
公益社団法人日本材料学会木質材料部門委員会、一般社団法人日本接着学会、
一般社団法人日本木材学会、一般社団法人プラスチック成形加工学会、
京都大学産官学連携本部、一般社団法人西日本プラスチック製品工業協会、
SPE 日本支部、公益財団法人都市活力研究所、一般社団法人京都知恵産業創造の森、
公益社団法人日本木材加工技術協会関西支部、四国 CNF プラットフォーム、
ふじのくにCNFフォーラム、薩摩川内市竹バイオマス産業都市協議会（順不同）

CNF 材料の特徴と実力
京都大学生存圏研究所
矢野 浩之氏

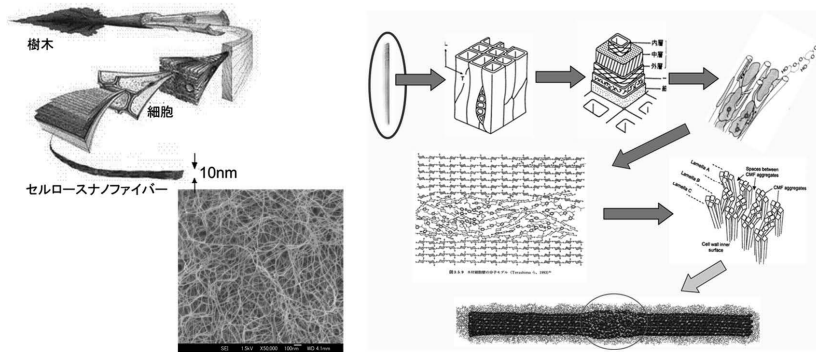
CNF材料の特徴と実力

- 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

セルロースナノファイバー



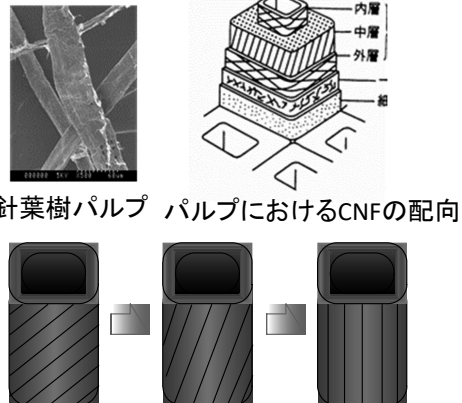
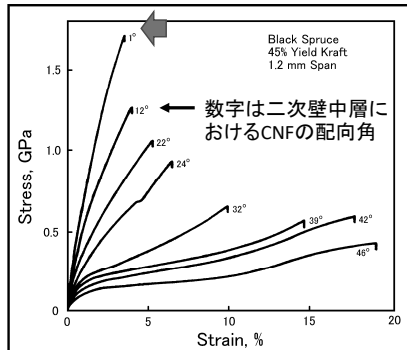
セルロースナノファイバー (CNF) は、セルロース分子鎖が伸びきり鎖の状態に形成している幅4-20nmのナノ繊維です。学術的にはセルロースマイクロフィブリルあるいはセルロースマイクロフィブリル束と呼ばれ、鋼鉄の1/5の軽さで、その7-8倍の強度を有しています。熱膨張係数はガラスの1/50。これは石英ガラスに匹敵します。また、 -200°C から $+200^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲で弾性率、剛性がほとんど変化しません。一方で、 200°C を越える温度に長時間曝されると熱による劣化が始まります。可視光波長 (400~800nm) に比べ十分に細いCNFは可視光の散乱を生じないため、アクリル樹脂、エポキシ樹脂などの透明樹脂を、その透明性を大きく損なわずに補強できます。

木材は、その半分がCNFです。鉄筋コンクリートに例えると木材や竹の細胞ではCNFが鉄筋となりリグニンがコンクリートの役割を果たしています。

高弾性:140GPa、高強度:3GPa (鋼鉄の8倍の強度)の根拠

今から40年近く前に、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、下記の図からは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。

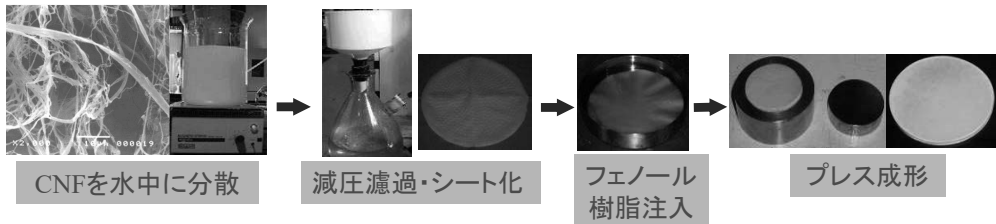
SS curves of kraft pulp single fiber



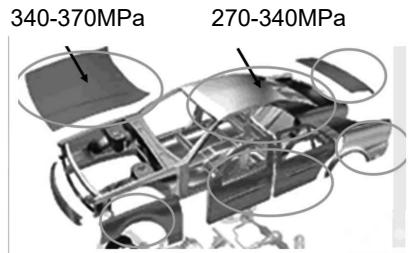
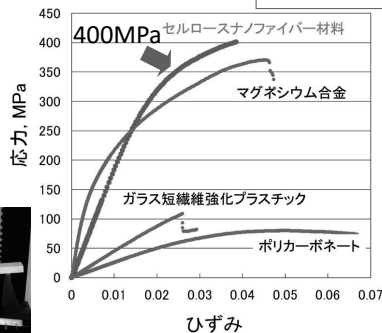
Page D.H. and El-Hosseiny F., J. of Pulp and Paper Sci. 1983.

高強度セルロースナノファイバー材料

1960 2001 2003 2005 2012 NOW



軽くて、鋼鉄並み強度!!



新日鉄資料より

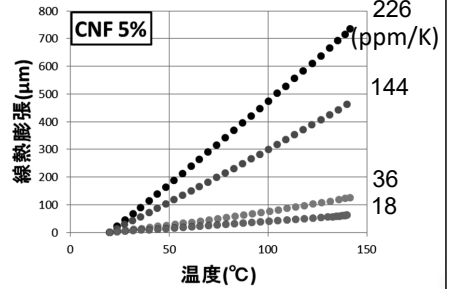
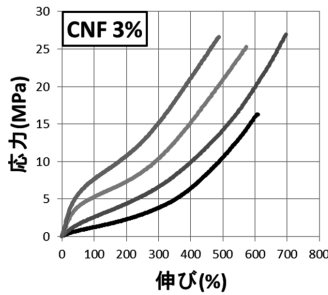
http://www.nsc.co.jp/tech/challenge/transport/car_01.html

セルロースナノファイバー強化ゴム

1960 2001 2003 2005 2012 NOW

3%のCNF添加で弾性率が8倍に増大

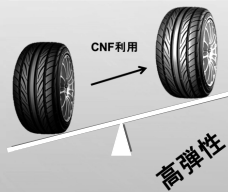
線熱膨張が大きく低下



●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



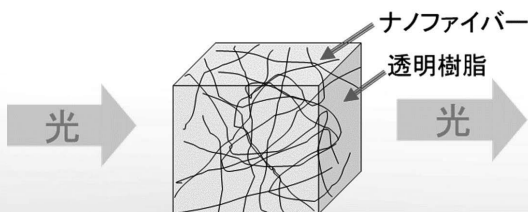
Someya, T. (2004-)

nano cellulose

透明材料

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。



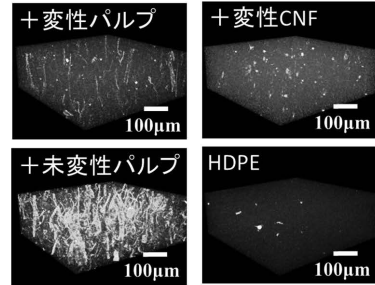
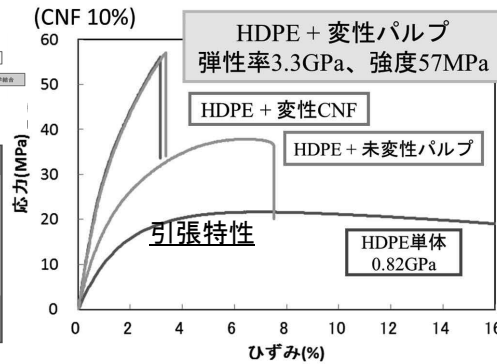
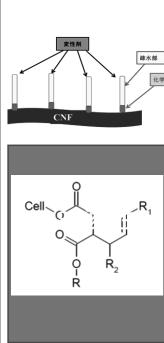
CNF強化低熱膨張透明シート

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

nano cellulose

京都プロセスによるHDPEの補強

弾性率4倍、強度2.5倍！



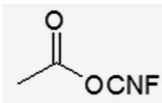
成形品のX線CTスキャン
H22-24 NEDO・GSCPJ成果

ASA (Alkenyl Succinic Anhydride) 処理を行った変性パルプ (DS:0.4)を二軸押出機でHDPEと溶融混練した結果について示します。比較として、あらかじめビーズミルでナノ解繊し、NMPを用いて凝集を防止水分除去した後にASA変性を行った変性CNFの結果および未変性パルプと溶融混練した結果を示しています。いずれも射出成形品に関する評価です。未変性パルプとの補強性の違いは明確です。一方で、CNFに変性を行った場合と同等の補強性が変性パルプを用いた溶融混練で得られています。X線CTスキャンの結果からも、ASA変性パルプは溶融混練時にそのほとんどがナノレベルの繊維にまで解繊し、凝集することなくPE中に分散していることがわかります。

京都プロセスによる様々な樹脂の補強

10wt% CNF

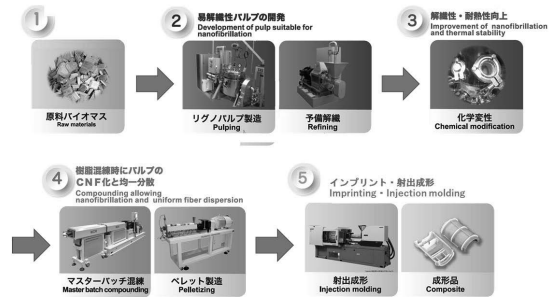
化学変性:
アセチル化処理



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

様々な樹脂を京都プロセスにより補強した結果を示しています。疎水化変性にはアセチル化を用いています。アセチル化はPA6やPOM、PLAなど多少の極性がある樹脂の補強には有用です。しかし、PPやPEにはアセチル化処理だけでは十分な補強性は得られず、解繊を促進するための膨潤剤や相溶化剤に関する工夫が重要です (PP、組成検討後)。アセチル化以外の変性を用いることも考えられますが、アセチル化処理は、1. 低コスト (市場のアセテートは330円/kg、財務省統計2017)、2. 耐熱性向上:20-30°C、3. 水素結合形成阻害 (解繊性向上)、4. 生分解性 (土壌中・海洋中)、5. 低環境負荷変性プロセスの点で優れています。

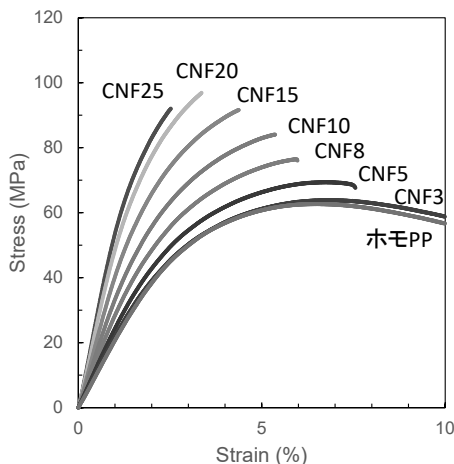
京都プロセスの改良



京都プロセスについては植物が進化の過程で獲得してきた強固で精緻な細胞壁をポリプロピレンやポリエチレンなど極性のない樹脂中での混練により解すことが求められており、CNFに損傷を与えずにナノ繊維を達成する点に難しさがあります。2016年に京都大学生存圏研究所内に1)木材のパルプ化、2)パルプの予備解繊、3)パルプの化学変性、4)樹脂混練・ペレット製造、5)射出成形より構築されるテストプラントを建設し、プロセス全体を俯瞰しながら、スケールアップ・社会実装化技術の開発を進めています。

京都プロセスによるPP補強

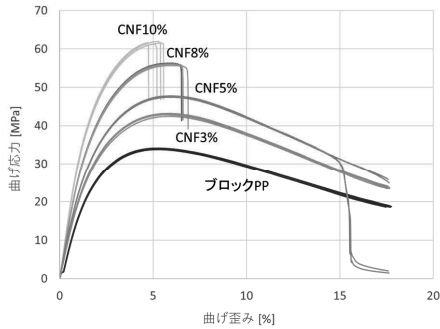
CNFに対し半分の重量のtalcを添加。
相溶剤としてMAPPを使用。



	曲げ試験				シャルピー衝撃試験 (4J)
	弾性率 (GPa)	強度 (MPa)	破断ひずみ (%)	シャルピー衝撃値 (kJ/m ²)	
Neat ホモPP	2.14 (0.01)	2.02 (0.03)	62.6 (0.1)	-	2.20 (0.04)
CNF3%	2.27 (0.02)	2.23 (0.03)	63.8 (0.2)	11.31 (0.7)	2.58 (0.30)
CNF5%	2.56 (0.02)	2.46 (0.04)	69.3 (0.1)	7.65 (0.6)	2.70 (0.07)
CNF8%	3.00 (0.01)	2.89 (0.05)	76.4 (0.2)	6.10 (0.2)	2.88 (0.13)
CNF10%	3.57 (0.03)	3.29 (0.02)	83.8 (0.4)	5.4 (0.1)	2.68 (0.21)
CNF15%	4.40 (0.06)	4.12 (0.04)	92.2 (1.0)	4.4 (0.2)	2.79 (0.08)
CNF20%	5.35 (0.05)	5.02 (0.04)	96.5 (2.3)	3.3 (0.2)	2.79 (0.11)
CNF25%	5.88 (0.05)	5.56 (0.07)	91.0 (1.2)	2.5 (0.1)	2.04 (0.17)

アセチル化変性パルプを用いた京都プロセスによりホモPPを補強した結果を示しています(曲げ試験)。CNFに対し半分の重量のtalcを添加し(解繊促進効果があります)、相溶剤としてMAPPを使用しています。10%のCNF添加(数ミクロン幅のCNF束が残存しています)で弾性率は約2倍、強度は1.5倍になります。シャルピー衝撃値は20%CNFまでは多少向上しますが、最大で3kJ/m²程度です。25%のCNFを添加すると弾性率は6GPa近くまで増大しますが、破断ひずみは大きく低下します。

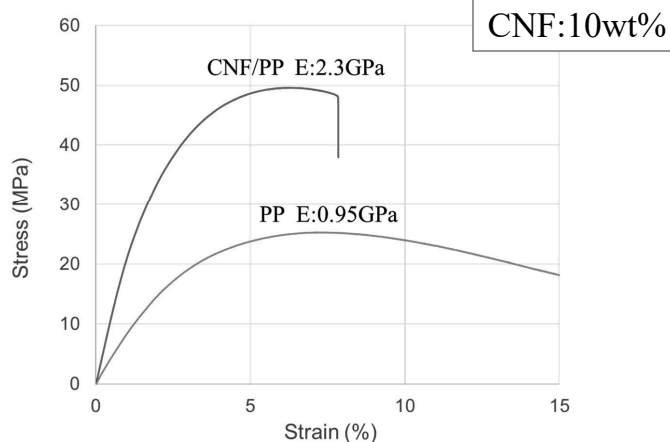
高耐衝撃ブロックPPの補強



CNF	弾性率 [GPa]	強度 [MPa]	歪み [%]	シャルピー 4J [kJ/m ²]	CTE 40-80°C [ppm/K]
① 10%	3.56	62.1	6.16	2.81	15.0
② 8%	3.00	56.1	6.56	3.06	19.5
③ 5%	2.56	47.7	NB	3.93	31.0
④ 3%	2.30	42.9	NB	5.14	62.5
⑤ PP	2.07	33.9	NB	43.7	81.2

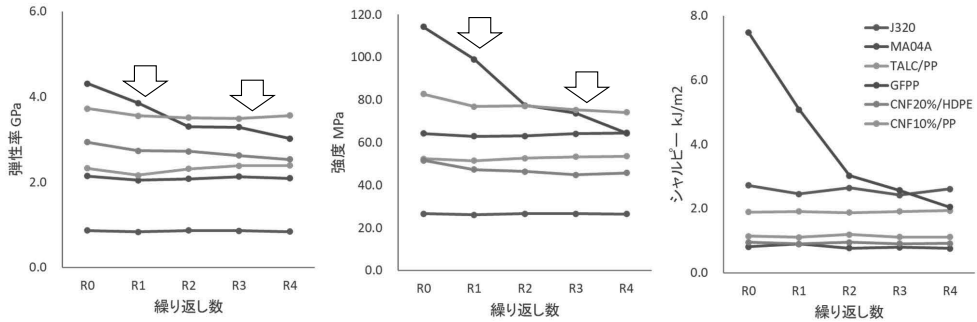
アセチル化変性パルプを用いた京都プロセスによる高弾性・高耐衝撃PPの補強について紹介します。曲げ試験の結果です。CNFに対し半分の重量のtalcを添加し相溶化剤としてMAPPを使用しています。10%CNF添加で弾性率は1.7倍の3.6GPaにまで増大します。曲げ強度は約2倍です。熱膨張係数(CTE)は鋼鉄並みの15ppm/Kにまで低下します。一方で、耐衝撃性はニートPPの43.7kJ/m²から2.8kJ/m²にまで大きく低下します。実のところ3%のCNF添加で耐衝撃性は5.1kJ/m²にまで低下してしまいました。高耐衝撃PPにはエラストマーが添加されていますが、その変形で衝撃を吸収する前に、剛直なCNFネットワークが切断され、材料が破壊に至っていることが推測されます。一方、柔らかなエラストマーが多く含まれることで樹脂部分の熱変形(CTE)はCNFネットワークで抑え込まれ大きく低下します。

リサイクルPPの補強



アセチル化変性パルプを用いた京都プロセスによるリサイクル品PPの補強について紹介します。曲げ試験の結果です。CNFに対し半分の重量のtalcを添加し、相溶化剤としてMAPPを使用しています。10%CNF添加で弾性率は2.4倍の2.3GPaにまで増大します。曲げ強度は2倍です。PPは焼却すると約3kgの二酸化炭素(温室効果ガス)が大気中に放出されます。温室効果ガスゼロエミッションに向けて出来るだけマテリアルリサイクルをして燃やさない工夫が大切です。CNF補強によりリサイクル品PPをアップグレードして新たな用途に使うことが可能です。

CNF材料のマテリアルリサイクル性: ガラス繊維強化材料との比較



CNFで補強した樹脂については、マテリアルリサイクルが出来ることが環境性能の一つとして注目されています。図には、成形—粉砕—混練を1サイクルとして、それを4回繰り返した時の弾性率、強度、耐衝撃性について示しています。J320はニートHDPE、MA04はニートPPです。タルク添加品も含め、ガラス繊維強化PP以外はマテリアルリサイクルを繰り返しても機械的性質が全く変化していないことがわかります。粉砕で粉体がサブミクロンの大きさにまで壊れることはなく、粉体中には粉砕されていない、ダメージのないCNFが大量に含まれます。そのため、溶融、混練後に射出成形しても性能の低下は起こりません。これがマテリアルリサイクルできる理由と考えます。

ナノセルロースシンポジウム2021の狙い

- ・SDGs・パリ協定: 石油・石炭は座礁資産に
- ・マイクロプラスチックによる海洋汚染
- ・温室効果ガス2050ゼロエミッション



CNF戦略: 更なる脱炭素化

バイオ化 + 高強度化・軽量化・断熱 + リサイクル

CNF戦略: 更なる脱炭素化

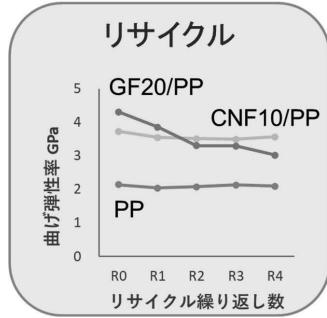
バイオ化+高強度化・軽量化・断熱+リサイクル

バイオ

樹木
細胞
セルロースナノファイバー 10-20nm

軽量・断熱

asics
断熱



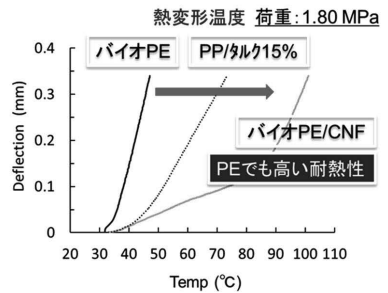
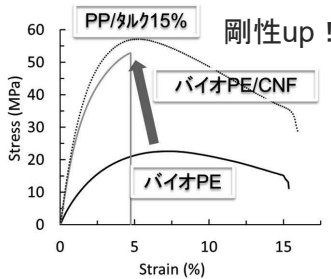
R1-R2年度 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業(環境省)

燃やさなければ

使えば使うほど大気中のCO₂が減る材料

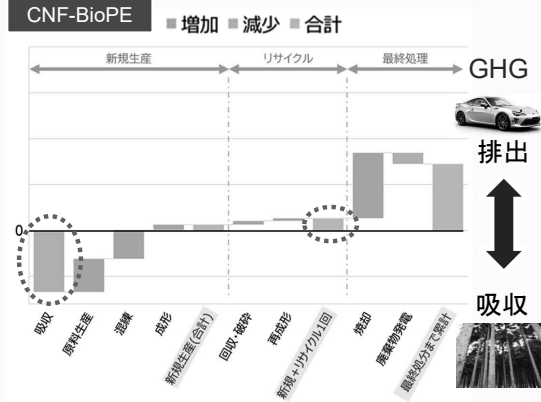
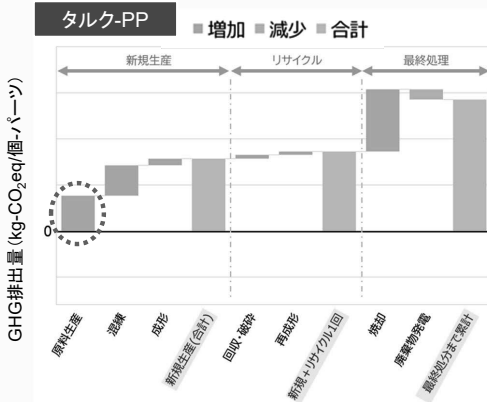
CNFで補強したバイオポリエチレンは、高強度化・軽量化・断熱化、マテリアルリサイクルにより使用時においても排出二酸化炭素を減らせることが、これまでのLCA評価で明らかになっています。CNF強化バイオポリエチレンは将来的に燃やさない工夫を達成できれば、使えば使うほど大気中の二酸化炭素が減っていく材料です。

バイオ×バイオ



■ 5%の軽量化 → 樹脂量削減効果を考慮 → パーツ単位での評価を実施

東京大学・兼松, 2021



令和元年-2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成果

バイオマスプラスチックの現状

日本バイオプラスチック協会

吉田 正俊氏

バイオマスプラスチックの現状

2021年3月9日

顧問 吉田正俊

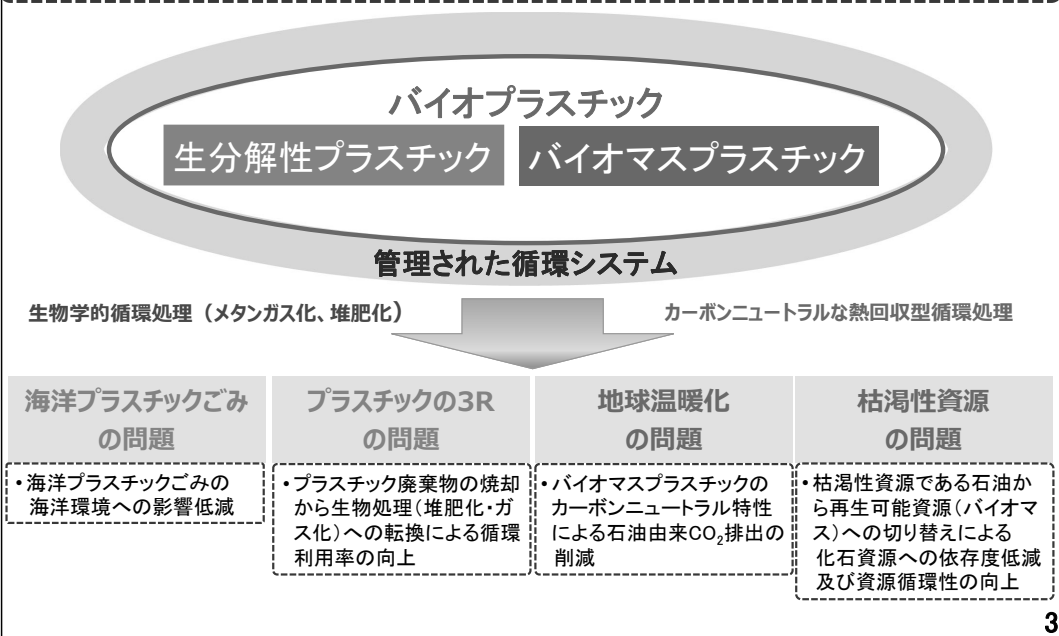
JBPA 日本バイオプラスチック協会
Japan BioPlastics Association

CONTENTS

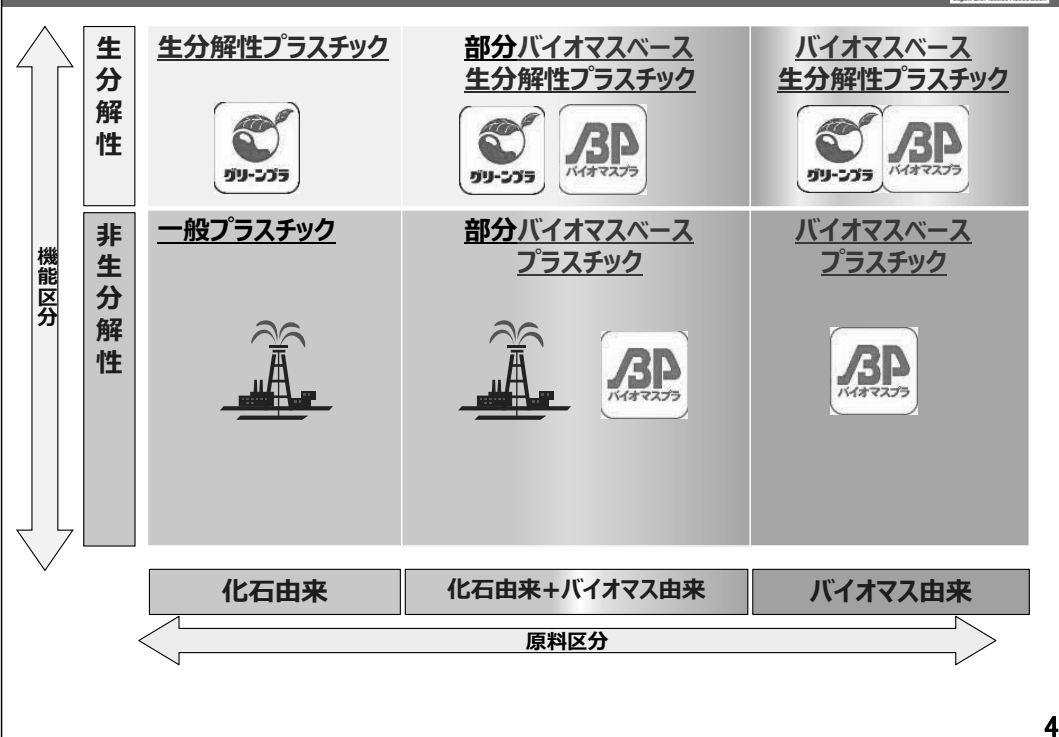
- バイオマス・生分解性プラスチックの概念と役割①②
 - バイオマスプラスチックの概念と用途
 - バイオマスプラスチックの種類
 - バイオマスプラスチックの製品例
 - 生分解性プラスチックの概念と用途
 - 生分解性プラスチックの種類
- (参考) ブランドオーナーのバイオマス・生分解性プラスチック導入方針
 - バイオマスプラスチックの持続可能な原料
 - バイオマスプラスチックの製法①②
 - 石化・バイオマス原料からのプロピレンの製造フロー
- 日本のバイオマス・生分解性プラスチック 出荷量推計 (2019年)
- 日本のバイオマス・生分解性プラスチック 出荷量の推移 (2010年～2019年)
- 世界のバイオマス・生分解性プラスチック生産能力 (2019年～2024年)
- 2020年のプラスチックの用途別の需要予測と需要量推移 (2012年～2018年)
 - 本におけるバイオマス・生分解性プラスチック関連施策の動向
 - 地球温暖化対策計画
 - プラスチック資源循環戦略
 - バイオプラスチック導入ロードマップ①②
 - レジ袋有料化義務化
- (参考) 適用除外のバイオプラスチック製レジ袋
 - 海洋生分解性プラスチックロードマップ
- バイオ戦略2020 (市場領域) (取り組むべき基盤的施策)
 - バイオ戦略2020世界を巡る大きな潮流
 - 欧州におけるバイオエコノミーとサーキュラーエコノミー
 - 欧州におけるプラスチック素材の代替を求める規制等の動向
 - マスバランスアプローチ①②③

バイオマス・生分解性プラスチックの概念と役割①

バイオプラスチックとは、微生物によって生分解される「生分解性プラスチック」及びバイオマスを原料に製造される「バイオマスプラスチック」の総称である。一定の管理された循環システムの中でそれぞれの特性を生かすことで、プラスチックに起因する様々な問題の改善に幅広く貢献できる。



バイオマス・生分解性プラスチックの概念と役割②



バイオマスプラスチックの概念と用途

生分解性プラスチック

生分解性プラスチックは、通常のプラスチックと同様に使うことが可能、使用後は自然界に存在する微生物の働きで、最終的に水と二酸化炭素に分解され自然界へと循環するプラスチック。食品残渣等を生分解性プラスチックの収集袋で回収、堆肥化・ガス化することにより、食品残渣は堆肥やメタンガスに再資源され、収集袋は生分解されるため、廃棄物の削減に繋がる。また、マルチフィルムを生分解性プラスチックにすれば、作物収穫後にマルチフィルムを畑に鋤き込むことで、廃棄物の回収が不要となり、発生抑制に繋がる。

バイオマスプラスチック

再生可能なバイオマス資源を原料に、化学的または生物学的に合成することで得られるプラスチック。それを焼却処分した場合でも、バイオマスのもつカーボンニュートラル性から、大気中のCO₂の濃度を上昇させないという特徴がある。これにより、地球温暖化の防止や化石資源への依存度低減にも貢献することが期待される。

主要用途

農業・土木資材 (マルチフィルム、土嚢、植生ネット等)
食品残渣(生ごみ)回収袋 (堆肥化・メタンガス発酵施設へ)
食品容器包装 (生分解性プラとバイオマスプラの2極化)
非食品容器包装
衣料繊維
電気・情報機器
OA機器
自動車

5

バイオマスプラスチックの種類

生分解性	PLA PHA系 (PHBH等)	バイオPBS PBAT・PLAコンパウンド 澱粉ポリエステル樹脂 酢酸セルロース (ジアセテート)	PVA, PGA PBS, PBSA PBAT PETS その他
	バイオPE バイオPA11 バイオPA1010	バイオPET バイオPTT バイオPA610、410、510、56 バイオPA1012、10T バイオPA11T、MXD10 バイオPC バイオPU 芳香族ポリエステル バイオ不飽和ポリエステル バイオフェノール樹脂 バイオエポキシ樹脂 酢酸セルロース (トリアセテート)	PE PP PET PTT PVC PS ABS、PC、PBT POM、PMMA PPS、PA6、PA66 PU、フェノール樹脂 エポキシ樹脂 その他
非生分解性	バイオ由来	バイオ由来+化石由来	化石由来

PVA：ポリビニルアルコール、PGA：ポリグリコール酸、PBS：ポリブチレンサクシネート、PBSA：ポリブチレンサクシネート-co-アジペート、PBAT：ポリブチレンアジペートテレフタレート、PETS：ポリエチレンテレフタレートサクシネート、PE：ポリエチレン、PP：ポリプロピレン、PET：ポリエチレンテレフタレート、PTT：ポリトリメチレンテレフタレート、PVC：ポリ塩化ビニル、PS：ポリスチレン、ABS：アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン樹脂、PC：ポリカーボネート、PBT：ポリブチレンテレフタレート、POM：ポリアセタール、PMMA：ポリメタクリル酸メチル、PPS：ポリフェニレンサルファイド、PA：ポリアミド、PU：ポリウレタン、PLA：ポリ乳酸、PHA：ポリヒドロキシアルカノエート、PHBH：3-ヒドロキシ酪酸・3-ヒドロキシヘキサノ酸共重合ポリエステル

6

バイオマスプラスチックの用途例

競技場ベンチ



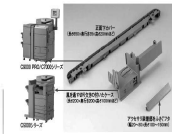
人工芝生



ICカード



自動車内外装部品・シート



ユニフォーム



プリスターパック



パイプ



ボトル



飲料ボトル



ボトルラベル



窓付き封筒



自動車シート表皮・カーペット



プリンターカートリッジカバー

生分解性プラスチックの概念と役割

生分解性プラスチック

生分解性プラスチックは、通常のプラスチックと同様に使うことが可能、使用後は自然界に存在する微生物の働きで、最終的に水と二酸化炭素に分解され自然界へと循環するプラスチック。食品残渣等を生分解性プラスチックの収集袋で回収、堆肥化・ガス化することにより、食品残渣は堆肥やメタンガスに再資源され、収集袋は生分解されるため、廃棄物の削減に繋がる。また、マルチフィルムを生分解性プラスチックにすれば、作物収穫後にマルチフィルムを畑に鋤き込むことで、廃棄物の回収が不要となり、発生抑制に繋がる。

バイオマスプラスチック

再生可能なバイオマス資源を原料に、化学的または生物学的に合成することで得られるプラスチック。それを焼却処分した場合でも、バイオマスのもつカーボンニュートラル性から、大気中のCO₂の濃度を上昇させないという特徴がある。これにより、地球温暖化の防止や化石資源への依存度低減にも貢献することが期待される。

主要用途

農業・土木資材

(マルチフィルム、土嚢、植生ネット等)

食品残渣(生ごみ)回収袋

(堆肥化・メタンガス発酵施設へ)

食品容器包装

(生分解性プラとバイオマスプラの
2種化)

非食品容器包装

衣料繊維

電気・情報機器

OA機器

自動車

生分解性プラスチックの種類

生分解性	PLA PHA系 (PHBH等)	バイオPBS PBAT・PLAコンパウンド 澱粉ポリエステル樹脂 酢酸セルロース (ジアセテート)	PVA, PGA PBS, PBSA PBAT PETS その他
	バイオPE バイオPA11 バイオPA1010	バイオPET バイオPTT バイオPA610, 410, 510, 56 バイオPA1012, 10T バイオPA11T, MXD10 バイオPC バイオPU 芳香族ポリエステル バイオ不飽和ポリエステル バイオフェノール樹脂 バイオエポキシ樹脂 酢酸セルロース (トリアセテート)	PE PP PET PTT PVC PS ABS, PC, PBT POM, PMMA PPS, PA6, PA66 PU, フェノール樹脂 エポキシ樹脂 その他
非生分解性			
	バイオ由来	バイオ由来+化石由来	化石由来

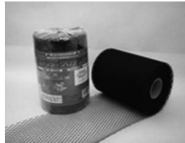
PVA: ポリビニルアルコール、PGA: ポリグリコール酸、PBS: ポリブチレンサクシネート、PBSA: ポリブチレンサクシネート-co-アジペート、PBAT: ポリブチレンアジペートテレフタレート、PETS: ポリエチレンテレフタレートサクシネート、PE: ポリエチレン、PP: ポリプロピレン、PET: ポリエチレンテレフタレート、PTT: ポリトリメチレンテレフタレート、PVC: ポリ塩化ビニル、PS: ポリスチレン、ABS: アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン樹脂、PC: ポリカーボネート、PBT: ポリブチレンテレフタレート、POM: ポリアセタール、PMMA: ポリメタクリル酸メチル、PPS: ポリエチレンサルファイド、PA: ポリアミド、PU: ポリウレタン、PLA: ポリ乳酸、PHA: ポリヒドロキシアルカノエート、PHBH: 3-ヒドロキシ酪酸・3-ヒドロキシヘキサノ酸共重合ポリエステル

生分解性プラスチックの用途例

農業マルチフィルム



獣害対策忌避ネット



漁網



家庭用水切りネット



マーケテープ



土嚢



レジ袋



野菜包装フィルム



ラミネート紙コップ



食品トレイ



ブランドオーナーのバイオプラスチック導入方針例

(株)セブン&アイ・ホールディングス

◎ オリジナル商品(セブンプレミアムを含む)で使用する容器

2030年の目標

バイオマス・生分解性・リサイクル素材・紙、等

50%

2050年の目標値

バイオマス・生分解性・リサイクル素材・紙、等

100%

出典：(株)セブン&アイ・ホールディングス ホームページ

出典：サントリーホールディング(株) ホームページ

サントリーホールディングス(株)

ペットボトルの
サステナビリティとユーザビリティ

- 世界初 バイオ30%キャップ
- 国内最軽量^{※1}キャップ
- 国内最薄ラベル 再生PET樹脂を80%使用
- ペットボトルをリサイクルして新たなペットボトルに
- 国産最軽量^{※2}ボトル
- バイオ30%ボトル 100%植物由来を目指す
- 軽量ボトル
- 一部外装を段ボールから透明フィルムへ
- つぶしやすい形状
- 「ゆびスポット」形状で、握りやすく、注ぎやすい

※1 「サントリー 南アルプスの天然水」に、国産最軽量(2016年9月当社調べ)と名称.85gのキャップを導入。
※2 国産ミネラルウォーターペットボトル(500ml～600ml)対象。
※ いずれも2019年4月現在。

バイオマスプラスチックの持続可能な原料

第1世代: 主に飼料用や食用として生産される農産物

トウモロコシ	稲(多収種米) 澱粉作物	キャッサバ	サトウキビ 糖質作物	パーム油	ヒマ 油糧作物
--------	-----------------	-------	---------------	------	------------

第2世代: 非可食原料で農業廃棄物、木質原料、資源作物、非可食油糧作物

コーンストローパー	バガス 農業廃棄物	稲藁&籾殻	針葉樹(間伐材)	広葉樹(ユーカリ) 木質原料	ジャトロファ 非可食油糧作物
-----------	--------------	-------	----------	-------------------	-------------------

第2.5世代: 転炉副生ガス・都市ゴミからのガス

工業排ガス	都市ゴミ	二酸化炭素	ネビアグラス 資源作物
-------	------	-------	----------------

第3世代: 微細藻類(micro algae)

微細藻類

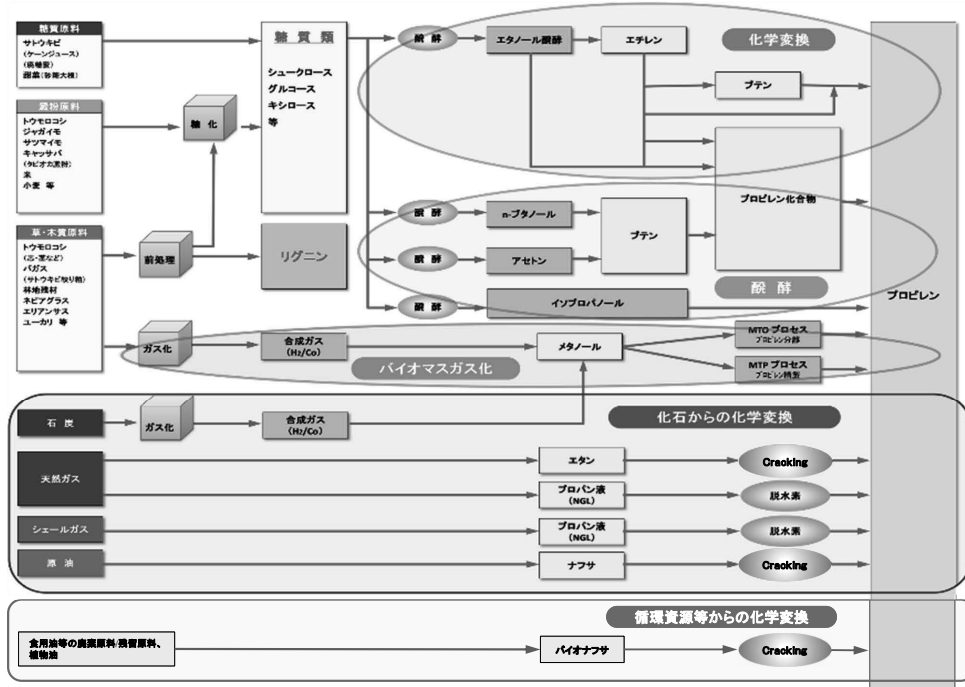
バイオマスプラスチックの製法①

	バイオマス	炭素源	生産技術	目的化学品
第一世代 (糖原料)	 澱粉・糖化	グルコース (単糖 /C6)	【発酵技術】	乳酸→ポリ乳酸 コハク酸→PBS 1.4-BDO→PBS 1.3-PDO→PTT イソブタノール ・ n-ブタノール 特殊油脂 (C-22, C-18 等) エタノール→エチレン→ポリエチレン
	 搾汁	シュクロース (二単糖 /C12)	【化学変換・触媒技術】	アジピン酸→ナイロン6、ナイロン66等 ヘキサメチレンジアミン→ナイロン610等
第一世代 (油脂原料)	 搾油	油脂	【化学変換技術】 水熱分解 メタノール付加 熔融分解 エステル交換/加水分解 【化学変換技術】 水素添加 触媒 【発酵技術】	脂肪酸/高級アルコール等 メチルエステル/バイオディーゼル セバシン酸 11-アミノウンデカン酸 次世代バイオディーゼル アクロレイン→アクリル酸 イソブレン PHBH (生分解性樹脂) PHA (生分解性樹脂)

バイオマスプラスチックの製法②

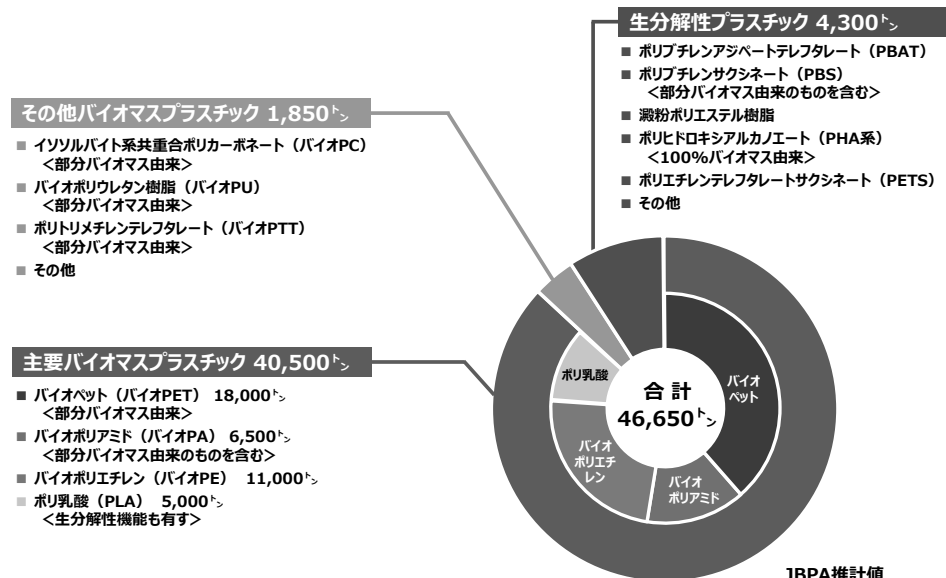
	バイオマス	炭素源	生産技術	目的化学品
第一世代原料	 前処理 糖化	グルコース (単糖 /C6) キシロース (単糖 /C5) 等	【発酵技術】 【化学変換技術】 触媒	・糖原料と同じ ・糖原料と同じ
	 熱分解 ガス化	合成ガス (CO/H ₂)	【化学変換技術】 MeOH → MTO MTP	・エチレン→ポリエチレン (PE) ・プロピレン→ポリプロピレン (PP) ・プロピレン→ポリプロピレン (PP)
第二世代原料 (2.5世代)	 熱分解 ガス化 合成ガスの徹底精製	合成ガス (CO/H ₂)	【化学変換技術】 MeOH → MTO MTP 【菌発酵】	・エチレン→ポリエチレン (PE) ・プロピレン→ポリプロピレン (PP) ・プロピレン→ポリプロピレン (PP) ・エタノール→エチレン (C2誘導品)
	 転炉副生ガス (CO/CO ₂ /H ₂)	転炉副生ガス (CO/CO ₂ /H ₂)	【菌発酵】	・エタノール ・ n-ブタノール ・2,3-BDO ・ イソプロパノール
第三世代原料	 トリグリセリド 炭化水素 (C30~) 等	トリグリセリド 炭化水素 (C30~) 等	【培養・抽出技術】	・航空燃料 ・ 補助栄養剤 ・バイオ化学品 ・ 魚類飼料

石化・バイオマス原料からプロピレンの製造フロー



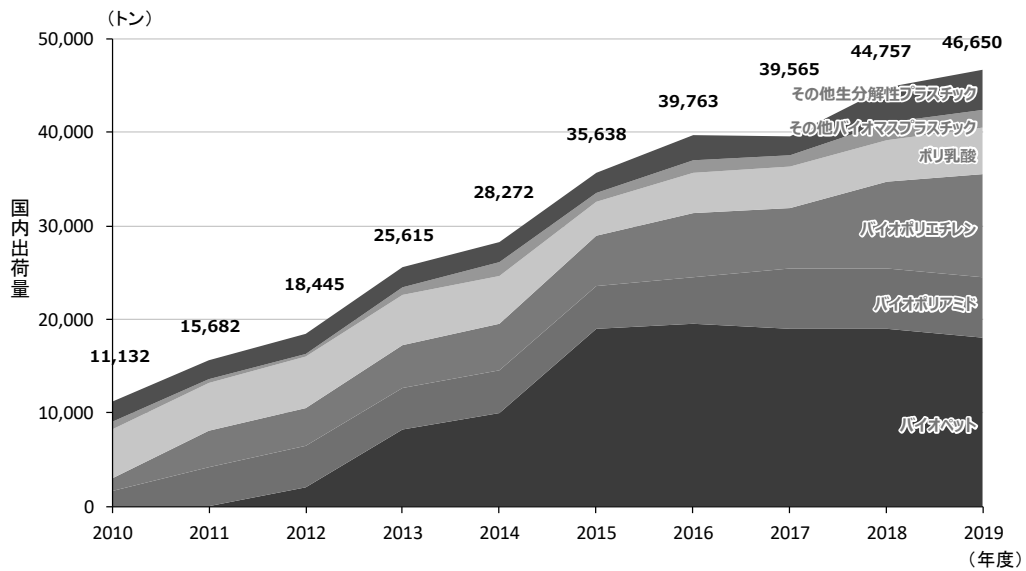
日本のバイオマス・生分解性プラスチック

出荷量推計2019年



日本のバイオマス・生分解性プラスチック

出荷量の推移2010年～2019年



JBPA推計値をもとに作成

世界のバイオプラスチック生産能力(2019年～)

2019年 生産能力 2,110千ト

主要バイオマスプラスチック 701千ト

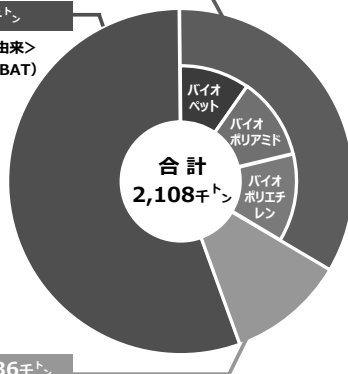
- バイオPET (バイオPET) 207千ト
<部分バイオマス由来>
- バイオポリアミド (バイオPA) 245千ト
<部分バイオマス由来のものを含む>
- バイオポリエチレン (バイオPE) 249千ト

生分解性プラスチック 1,171千ト

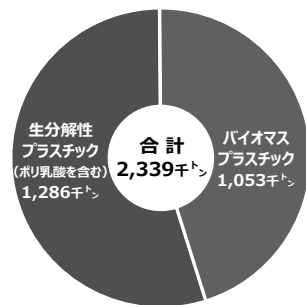
- ポリ乳酸 (PLA) <100%バイオマス由来>
- ポリブレンアジバートテレフタレート (PBAT)
- ポリブチレンサクシネート (PBS)
<部分バイオマス由来のものを含む>
- 澱粉ポリエステル樹脂
- ポリヒドロキシアルカノエート (PHA系)
<100%バイオマス由来>
- ポリエチレンテレフタレートサクシネート (PETS)
- その他

その他バイオマスプラスチック 236千ト

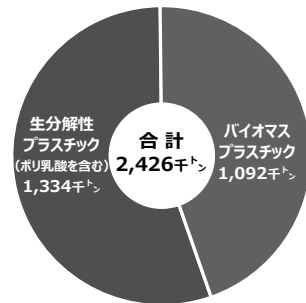
- イソソルバイト系共重合ポリカーボネート (バイオPC)
<部分バイオマス由来>
- バイオポリウレタン樹脂 (バイオPU) <部分バイオマス由来>
- ポリトリメチレンテレフタレート (バイオPTT) <部分バイオマス由来>
- その他



2022年 生産能力 2,339千ト



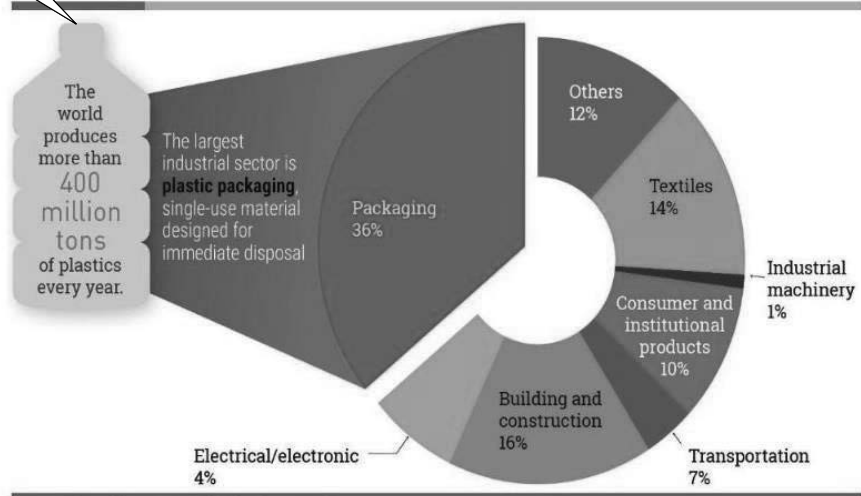
2024年 生産能力 2,426千ト



(出所) European Bioplastics ホームページ資料をもとに J B P A 作成

2020年のプラスチックの潜在需要分析

2012年 2.88億ト
2013年 2.99億ト
2014年 3.11億ト
2015年 3.22億ト
2016年 3.35億ト
2017年 3.48億ト
2018年 3.59億ト
2020年 4億ト超

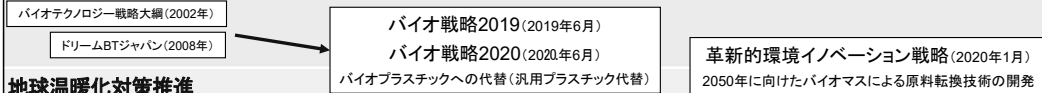


Source: Adapted from Geyer, Jambeck, and Law, 2017

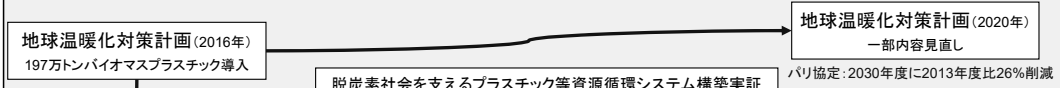
(出典：国連環境計画 国際環境技術センター 「SINGLE-USE PLASTICS:A Roadmap for Sustainability」)

日本におけるバイオプラスチック関連施策の動向

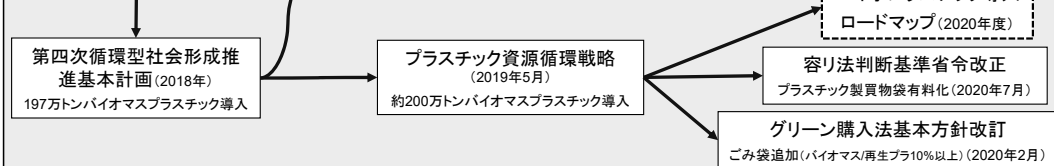
枯渇性資源の消費削減・バイオマス素材への転換



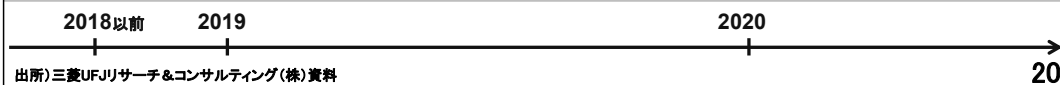
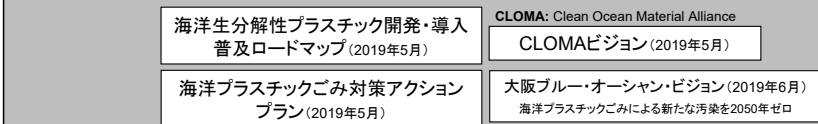
地球温暖化対策推進



循環型社会形成推進



海洋プラスチックごみ対策推進



地球温暖化対策計画

- 「地球温暖化対策計画」（平成28年5月閣議決定）及び「第4次循環型社会形成推進基本計画」（平成30年6月閣議決定）において、バイオマスプラスチック類の普及を挙げている（2030年度の導入目標197万トン。2013年度時点で7万トン）。

「地球温暖化対策計画」（平成28年5月閣議決定）抜粋

具体的な対策	各主体ごとの対策	国の施策	地方公共団体が実施することが期待される施策例	対策評価指標及び対策効果			
				対策評価指標		排出削減見込量	
バイオマスプラスチック類の普及	<ul style="list-style-type: none"> ・民間事業者： 商品や包装に使用するプラスチックにバイオマスプラスチックを導入する ・消費者： 商品を購入する際、バイオマスプラスチックを使用した製品（認証を取得した商品）を優先的に選択する ・地方公共団体： バイオマスプラスチックを域内に普及させる施策等を推進する 	マテリアルリサイクルが困難等の理由で焼却せざるを得ないプラスチック製品について、バイオマスプラスチックの導入促進策を検討し、普及を推進・支援	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマスプラスチックを域内に普及させる施策等を推進する ・また、自らが物品等を調達する際、バイオマスプラスチック製品を優先的に導入する 	バイオマスプラスチック国内出荷量(万t)		(万t-CO2)	
				2013年度	7	2013年度	-
				2020年度	79	2020年度	72
				2030年度	197	2030年度	209

※対策評価指標である197万トンのバイオマスプラスチックは、いわゆる「部分バイオマスプラスチック」である。そのうちの正味のバイオマスプラスチック量は公開されておらず不明であるが、209万トンのCO₂排出削減見込量から逆算すると70～80万トンと推計される。日本プラスチック工業連盟の「プラスチック原材料生産実績（確定値）」によると、我が国における2018年のプラスチック生産量は約1,063万トンであり、70～80万トンのバイオマスプラスチックはその6.6～7.5%に相当する。

プラスチック資源循環戦略

背景

令和元年5月31日

- ◆廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチック等による環境汚染が世界的課題
- ◆我が国は国内で適正処理・3Rを率先し、国際貢献も実施。一方、世界で2番目の1人当たりの容器包装廃棄量、アジア各国での輸入規制等の課題

重点戦略

基本原則：「3R+Renewable」

【マイルストーン】

リデュース等	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ワンウェイプラスチックの使用削減(レジ袋有料化義務化等の「価値づけ」) ▶ 石油由来プラスチック代替品開発・利用の促進 	<リデュース> ①2030年までにワンウェイプラスチックを累積25%排出抑制 <リユース・リサイクル> ②2025年までにリユース・リサイクル可能なデザインに ③2030年までに容器包装の6割をリユース・リサイクル ④2035年までに使用済プラスチックを100%リユース・リサイクル等により有効利用 <再生利用・バイオマスプラスチック> ⑤2030年までに再生利用を増増 ⑥2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入
リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ▶ プラスチック資源の分かりやすく効果的な分別回収・リサイクル ▶ 漁具等の陸域回収徹底 ▶ 連携協働と全体最適化による費用最小化・資源有効利用率の最大化 ▶ アンチ禁輸措置を受けた国内資源循環体制の構築 ▶ イノベーション促進型の公正・最適なリサイクルシステム 	
再生材バイオプラ	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 利用ポテンシャル向上（技術革新・インフラ整備支援） ▶ 需要喚起策（政府率先調達（グリーン購入）、利用インセンティブ措置等） ▶ 循環利用のための化学物質含有情報の取扱い ▶ 可燃ごみ指定袋などへのバイオマスプラスチック使用 ▶ バイオプラ導入ロードマップ・静脈システム管理との一体導入 	
海洋プラスチック対策	プラスチックごみの流出による海洋汚染が生じないこと（海洋プラスチックゼロミッション）を目指した <ul style="list-style-type: none"> ▶ ポイ捨て・不法投棄撲滅・適正処理 ▶ 海洋漂着物等の回収処理 ▶ 海洋ごみ実態把握（モニタリング手法の高度化） 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ マイクロプラスチック流出抑制対策(2020年までにスクラブ製品のマイクロビーズ削減徹底等) ▶ 代替イノベーションの推進
国際展開	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 途上国における実効性のある対策支援（我が国のプラ・PET・PP・PE・技術等をオーストラリア/バングラデシュ輸出で国際協力・ビジネス展開） ▶ 地球規模のモニタリング・研究ネットワークの構築（海洋プラスチック分布、生態影響等の研究、モニタリング手法の標準化等） 	
基盤整備	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 社会システム確立（ソフト・ハードのリサイクルインフラ整備・サプライチェーン構築） ▶ 技術開発（再生可能資源によるプラ代替、革新的リサイクル技術、消費者のライフスタイルのイノベーション） ▶ 調査研究（マイクロプラスチックの使用実態、影響、流出状況、流出抑制対策） ▶ 連携協働（各主体が一つの旗印の下取組を進める「プラスチック・スマート」の展開） 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 資源循環関連産業の振興 ▶ 情報基盤（ESG投資、エシカル消費） ▶ 海外展開基盤

- ◆アジア太平洋地域をはじめ世界全体の資源・環境問題の解決のみならず、経済成長や雇用創出 ⇒ 持続可能な発展に貢献
- ◆国民各界各層との連携協働を通じて、マイルストーンの達成を目指すことで、必要な投資やイノベーション（技術・消費者のライフスタイル）を促進

バイオプラスチック導入ロードマップ①

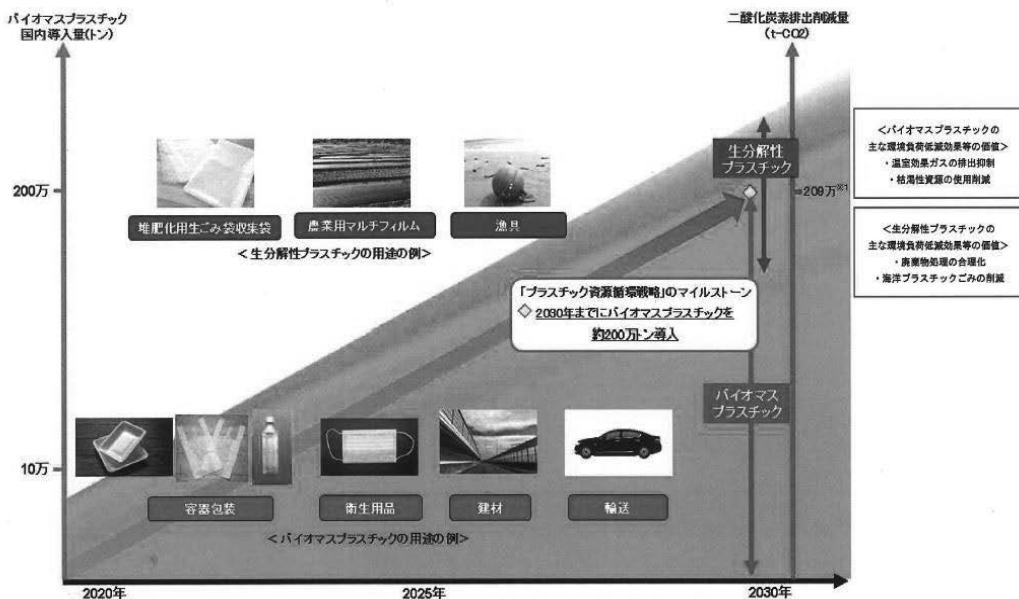
＜表 3-3 バイオプラスチック導入に向けた施策＞

施策		2020～2021年	2022～2025年	2026～2030年	～2050年
利用促進	企業の導入事例及び導入目標のまとめ、ビジネスマッチング	事例集・目標集	ビジネスマッチングの促進（OLOMA、プラスチック・スマート）		
	グリーン購入制度を活用した率先調達、バイオ由来製品に係る需要喚起策	グリーン購入法特定調達品目における判断の基準等の検討、バイオ由来製品に係る需要喚起策の検討、地方公共団体による率先調達の推進			
	バイオプラスチックの利用が促進される公正・公平なリサイクルの仕組み	リサイクルの仕組みの検討			
	海洋生分解性機能に係る信頼性向上	評価手法の国際標準化に向けた検討			
消費者への訴求、普及啓発	ライフサイクル全体で持続可能性等を考慮した認証	認証・表示の仕組みの検討	運用開始		
	消費者への普及啓発	バイオプラスチック製品の率先利用及び正しい理解の訴求			
研究開発生産体制の整備	高機能化、製造の低コスト化、原料の多様化等に向けた研究・開発・実証事業	研究・開発・実証事業の支援			
	国内製造設備の拡大	製造設備導入の支援			
	研究開発や製造設備導入に係る資金調達の円滑化	資金調達の円滑化の支援			
個別製品領域の導入に向けた施策	プラスチック製買物袋	バイオマスプラスチック配合率の向上			
	可燃ごみ袋、堆肥化・バイオガス化ごみ袋	地方公共団体の「一般廃棄物処理有料化の手引き」の改定 バイオプラスチック導入ガイドライン策定			
	肥料に用いる被覆材、漁具等水産用生産資材	革新的技術・素材の研究開発			

出展：バイオプラスチック導入ロードマップ（令和3年1月 環境省 経済産業省 農林水産省 文部科学省）

バイオプラスチック導入ロードマップ②

＜図 3-1 バイオプラスチック製品の導入イメージ＞



出展：バイオプラスチック導入ロードマップ（令和3年1月 環境省 経済産業省 農林水産省 文部科学省）

容器包装リサイクル法の省令を改正し、全ての小売店でプラスチック製の買い物袋の有料化を義務づける。(2019年12月27日省令改正、2020年7月1日から実施。)

a. プラスチックのフィルムの厚さが50マイクロメートル以上のもの
 厚さが50マイクロメートル以上の袋は、繰り返し使用することが可能であり、プラスチック製買物袋の過剰な使用抑制に寄与するものとして、省令に基づく有料化の対象外とする。これを提供するに当たっては、次の点について表示することとし、消費者が他のプラスチック製買物袋と区別できる必要がある。

必要な表示：フィルムの厚さが50マイクロメートル以上であり、繰り返し使用を推奨する旨の記載若しくは記号
 例「この袋は厚さ50μm以上であり、繰り返し使用することが推奨されています」

b. 海洋生分解性プラスチックの配合率が100%のもの
 海洋環境下で微生物の酵素の働き又は加水分解により低分子化された後、微生物によって代謝され自然界へと循環する性質を持つプラスチックの重量が、プラスチック製買物袋のプラスチックの重量の100%を占めるものについては、海洋プラスチックごみ問題対策に寄与することから、省令に基づく有料化の対象外とする。

その機能については、科学的根拠に基づく共通の技術評価手法によって、第三者から認定又は認証を受けているものである必要がある。
 これを提供するに当たっては、次の点について表示することとし、消費者が他のプラスチック製買物袋と区別できる必要がある。

必要な表示：海洋生分解性プラスチックの配合率が100%であることが第三者により認定又は認証されたことを示す記載又は記号

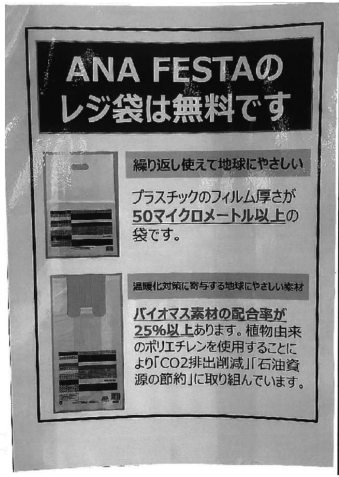
c. バイオマス素材の配合率が25%以上のもの
 バイオマス(動植物に由来する有機物である資源(原油、石油ガス、可燃性天然ガス及び石炭を除く。)をいう。)を化学的方法又は生物的作用を利用する方法等によって処理することにより製造された素材の重量が、プラスチック製買物袋のプラスチックの重量の25%以上を占めるものについては、バイオマス素材がカーボンニュートラルな素材であり、地球温暖化対策に寄与することから、省令に基づく有料化の対象外とする。これを提供するに当たっては、次の点について表示することとし、消費者が他のプラスチック製買物袋と区別できる必要がある。

必要な表示：バイオマス素材の配合率が25%以上であることが第三者により認定又は認証されたことを示す記載又は記号

(参考)適用除外のバイオプラスチック製レジ袋

【有料化義務化の適用除外の範囲】

- ① 繰り返し使用可能な、50μ以上の厚さのもの
- ② 袋に含まれるプラスチックの重量に占める海洋生分解性プラスチックの重量の割合が100%であるもの
- ③ 袋に含まれるプラスチックの重量に占めるバイオマスプラスチックの重量の割合が25%以上のもの



海洋生分解性プラスチックロードマップ

海洋生分解性プラスチックの開発・導入普及ロードマップの策定 —経済産業省—



海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップの概要図

令和元年 5月

		2019年	2020年	2021～25年	～2030年	～2050年
実用化技術の社会実装 (MBBP1.0) PBIH, PBS等 (主な用途例) レジ袋・ごみ袋 ストロー・カトラリー 洗剤用ボトル 農業用マルチフィルム等	海洋生分解機能に係る信頼性向上	ISO策定 課題整理	ISO提案【産業技術総合研究所、日本バイオプラスチック協会(JBPA)】 生分解機能の評価の充実に向けた試験研究【新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)等】			
	量産化に向けた生産設備拡大、コスト改善		量産能力の増強 生分解性プラスチック製造のバイオペロセスの改善【NEDO等】			
複合素材の技術開発による多用途化 (MBBP2.0) 不織布(マスク等)、発泡成形品(緩衝材)等	需要開拓	国内外の出展、ビジネスマッチングの促進【特許・特許・マテリアル・フォーラム(CLOM)】	グリーン公共調達			
	識別表示、分別回収・処理に係る検討	レジ袋、ごみ袋、ストロー・カトラリー	識別表示の整備【JBPA】	分別回収・処理に係る検討		
革新的素材の研究開発 (MBBP3.0) 肥料の緩衝材、漁具(漁業・養殖業用資材)等			革新的素材の創出に向けた海洋生分解性メカニズムの解明【NEDO等】 生分解コントロール機能の付与 新たな微生物の発見【製品評価技術基盤機構(NITE)】 漁具の代替素材の導入検討【水産庁(産総研との連携)】	海洋生分解性メカニズムを応用した革新的素材の創出		
					マスク、発泡緩衝材、肥料の緩衝材、漁具(プイ)	

経済産業省HPから引用

バイオ戦略2020(市場領域)

< 社会像 >

すべての産業が運動した循環型社会

多様化するニーズを満たす持続的・一次生産が行われている社会

持続的な製造法で素材や資材をバイオ化している社会

医療とヘルスクエアが連携した未永く社会参加できる社会

< 市場領域 >

- ① 高性能バイオ素材(軽量性、耐久性、安全性)**
とりまとめ省庁: 経済産業省
 - 軽量強靱なバイオ素材市場の拡大が予測
 - 素材技術・利用領域(車等)に強み
- ② バイオプラスチック(汎用プラスチック代替)**
とりまとめ省庁: 経済産業省
 - 海洋プラスチックごみによる環境汚染等が世界的課題
 - プラスチックの適正処理・3Rのノウハウ等に強み
- ③ 持続的・一次生産システム**
とりまとめ省庁: 農林水産省
 - 急成長するアジア・アフリカの農業生産性の向上が課題、食ニーズ拡大
 - 世界レベルのスマート農業技術等に強み
- ④ 有機廃棄物・有機排水処理**
とりまとめ省庁: 経済産業省
 - アジア等の成長により廃棄物処理・環境浄化関連市場の拡大が予測
 - 世界最高レベルの廃棄物・排水処理に強み
- ⑤ 生活習慣改善ヘルスクエア、機能性食品、デジタルヘルス**
とりまとめ省庁: 経済産業省
 - 生活習慣病増加、健康関連市場が拡大。デジタルヘルスに各国が着目
 - 健康長寿国である健康データに強み
- ⑥ バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業**
とりまとめ省庁: 健康・医療戦略室
 - バイオ医薬品等の本格産業化と巨大市場創出が期待
 - 伝統的基礎研究基盤、細胞培養技術に強み
- ⑦ バイオ生産システム<工業・食料生産関連(生物機能を利用した生産)>**
とりまとめ省庁: 経済産業省
 - 生物機能を利用した生産技術が米国を中心に急成長中
 - 微生物資源・生物資源、発酵技術に強み
- ⑧ バイオ関連分析・測定・実験システム**
とりまとめ省庁: 経済産業省
 - バイオ産業の基盤として、大幅拡大が期待
 - 先端計測技術、ロボティクス等要素技術に強み
- ⑨ 木材活用大型建築、スマート林業**
とりまとめ省庁: 林野庁
 - 木造化は温室効果ガス削減効果が高く、欧州、北米中心に着目
 - スマート林業に将来性、木造建築技術、美しい設計、施工管理に強み

市場領域ロードマップを策定中

バイオ製品開発におけるデータ基盤構築

- ビッグデータ活用プラットフォームの整備【科技・経】
- **バイオコミュニティ形成関連等**
 - バイオ製造実証・人材育成拠点の整備（グローバルバイオコミュニティ候補地域内）【経】
 - グリーンボンド等による資金調達支援、設備投資への支援【経】
 - 分析・測定・実験システムの開発拠点を明確にしたコンソーシアム形成に向けた検討【経】
- **表示・規格化等の制度整備等**
 - 国際市場でも通用し、環境負荷を低減するバイオ由来製品の表示の検討【経】
 - グリーン購入法等を参考にしたバイオ由来製品に係る需要喚起策の検討【農、経、環】
 - 可燃ごみ用袋へのバイオプラスチック利用拡大を促進するための市町村向けのガイドライン策定【環】
 - 海洋生分解性プラスチック評価の国際標準化に向けた支援【経】

一次生産におけるスマート化・持続可能性確保と市場獲得

市場領域③⑨

- **一次産業におけるバイオとデジタルの融合促進**
 - 育種ビッグデータ基盤やAIを活用したスマート育種プラットフォームの整備【科技、農】
 - データ連携基盤を通じた土壌関連データの提供を目指した土壌関係データベースの充実等【科技、農】
 - スマート養殖、スマート林業の推進【農】
- **バイオコミュニティ形成関連等**
 - 持続的・一次生産システム開発等のハブとなる民・官共同によるアグリバイオ拠点の構築【農】
- **知的財産、遺伝資源の保護や木材活用大型建築に係る制度整備等**
 - 家畜、種苗などの知的財産・遺伝資源の保護に向けた法整備【農】
 - 木材活用大型建築の普及に向けたCLT等を用いた先導的建築等による建築の実証、人材育成等の推進【農、国】
 - 設計・施工の標準的な手法や、品質・性能の確かな木質建築資材の安定供給体制の整備等を実施【農】
 - 混構造建築物の設計・施工技術の開発及び集材構造による中高層建築物の設計基準等の整備【国】

生活習慣改善ヘルスケア等、バイオ医薬・再生医療等関連産業における市場獲得

市場領域⑤⑥

- **サービス・開発の基盤となる公的・産業・研究データ連携促進**
 - PHRの推進【IT、健康医療、内、総、文、厚、経】
 - コホート・バイオバンク連携の推進【健康医療、科技、文、厚、農、経、環】
- **バイオコミュニティ形成関連等**
 - 国際的な開発・製造実証拠点の整備の検討【健康医療、科技、文、厚、農、経】
- **機能性食品の科学的知見に基づく新たな表示の実現**
 - 機能性表示食品等について、科学的知見の蓄積を進め、免疫機能の改善等を通じた保健用途における新たな表示の実現【消費、厚、農、経】

※ 新型コロナウイルス感染症の影響を踏まえ、市場領域ロードマップは今年の冬目途にとりまとめ。

世界を巡る大きな潮流

2015年9月に国連サミットにおいて17目標、169ターゲットからなるSustainable Development Goals (SDGs)「持続可能な開発目標」が採択されたのに続き、12月にフランス・パリにて開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP-21）にて同条約に加盟する全196カ国によりパリ協定が採択された。

SDGsでは先進国も発展途上国も含むすべての国が取り組むべき普遍的な目標として「持続的な生産と消費」、「食糧問題対策」、「様々な格差の解消」、「気候変動対策」などに関し169のターゲットを示した。

2030年に向けて世界が合意した「持続可能な開発目標」です

➔

7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに

9 産業と技術革新の基盤をつくろう

12 つくる責任 つかう責任

13 気候変動に具体的な対策を

14 海の豊かさを守ろう

15 陸の豊かさを守ろう

COP-21では世界各国にて「世界の平均気温の上昇を2℃以内に抑えること」と「今世紀後半には、温室効果ガスの排出を実質的にゼロにすること」が目標となった。

目標：平均気温上昇を産業革命前から2℃より十分低く保つ。1.5℃以下に抑える努力を追求

各国の義務：緩和約束(目標)を作成、提出、維持。約束の目的を達成するための国内対策を実施する義務。約束を5年ごとに提出。

日本国の約束草案：国内の排出削減・吸収量の確保により、2030年度に2013年度比▲26.0%（2005年度比▲25.4%）の水準（約10億4,200万t-CO₂）にする。

➔

上記の2つの大きな国際的取決めを背景に、2015年以降に欧州にてさまざまな動きがあった。これらの欧州の動向と、我が国でも

欧州では、プラスチック素材の代替を求める各国の規制等は主に「バイオエコノミー(Bioeconomy)」及び「サーキュラーエコノミー(Circular economy)」の流れによって進められている。

バイオエコノミー

EUバイオエコノミー戦略

(2012年、2018年)

- バイオエコノミー:再生可能な生物由来資源の生産、及びこれらの資源・廃棄物ストリームの、食糧、飼料、バイオベース製品、バイオエネルギー等の付加価値のある製品への転換
- 生物資源(動物、植物、微生物、バイオマス(有機性廃棄物を含む)及びこれらの機能や原則に依存する全ての分野・システムが対象

サーキュラーエコノミー

EU「サーキュラー・エコノミー・パッケージ」

(2015年)

- サーキュラーエコノミー:経済の中の製品、素材、資源の価値が可能な限り長く維持され、廃棄物の発生が最小限に抑制される経済
- サーキュラーエコノミーへの移行は、持続可能で低炭素、資源効率的で競争力のある経済への移行

サーキュラーエコノミーとバイオエコノミーの関係

- サーキュラーエコノミーとバイオエコノミーの関係に関する欧州各国共通の明確な定義は確認できていない。2018年EUバイオエコノミー戦略では、バイオエコノミーがサーキュラーエコノミーの「再生可能な要素」として位置づけられている。

出所)三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)資料

(出所) エレン・マッカーサー財団 <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>、欧州環境機関(EEA)報告書: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-and-bioeconomy> (2019年1月20日閲覧)

欧州におけるプラスチック素材の代替を求める規制等の動向

バイオエコノミーの潮流

2012 EU バイオエコノミー戦略

- ライフサイクルのあらゆる段階(生産・消費・加工・保管・リサイクル・廃棄等)での生物資源への考え方の転換
- 人口増加、天然資源枯渇、環境負荷増加、気候変動

各国によるバイオエコノミー戦略

- ドイツ バイオエコノミー国家戦略(2013)
- イタリア、スペイン バイオエコノミー戦略(2016)
- フランス バイオエコノミー戦略(2017)

各国による規制等の導入(15µm未満のプラスチック袋)(たい肥化可能プラスチック、バイオ素材の除外規定有)

- フランス レジ袋以外のプラスチック袋禁止(2017)
- イタリア 15µm未満のプラスチック袋禁止(2018)

2018 EU バイオエコノミー戦略(改訂版)

- 投資と市場の開放、ローカルバイオエコノミー、生態学的に持続可能なバイオエコノミーの3つの柱、14の施策
- パリ協定、SDGsの観点が増加

サーキュラーエコノミーの潮流

2015 EU サーキュラーエコノミーパッケージ

- 資源循環経済への移行
 - 製品サイクル・5つの優先項目ごとの行動計画策定 プラスチック戦略の策定
- (優先項目: 食品廃棄物、希少資源、建設・解体、バイオマス・バイオマス由来製品、プラスチック)

2015 EU 使い捨てプラスチックレジ袋削減指令

- 加盟国にレジ袋の使用削減もしくは有料化を要求
- 15µm未満の袋、50µm以上の再利用可能な袋は除外
- 資源循環、海洋含む環境中へのプラスチック流出抑制

各国による規制等の導入

- イタリア レジ袋禁止(2011)※先行実施
- オランダ、ドイツ レジ袋の有料化(2016)
- フランス レジ袋の禁止(2016)
- イギリス(2017)、スペイン(2018) レジ袋有料化

2018 EU プラスチック戦略

- 海洋プラスチックごみ対策、資源循環、温暖化対策、雇用創出、輸入資源への依存軽減
- リサイクルの経済性・品質改善、廃棄物・投棄削減、投資・イノベーション促進、国際的取組に関する40の施策

2018 EU 使い捨てプラスチック製品に関する指令(案)

- 海洋プラスチックごみ対策、資源循環効率
- 加盟国に対して、食品容器等の消費削減、販売禁止、製品改良等の措置を講じるよう要求

出所)三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)資料

マスバランスアプローチ①

- ・近年、既存の化学工業プロセスに使用される石油化学原料を、廃食用油やトール油(紙パルプ製造の副生成物)等のバイオマス由来の油脂を原料に部分的に置き換えることでバイオPE・PPを製造するプロセスの開発が進められている。
- ・複数の企業グループによる取組が発表されており、以下に主要な事例を示す。

<Neste社 + LyondellBasell社>

- 【製品】バイオPE・PP
- 【原料・製法】Neste社が廃食用油等を原料にバイオナフサ(再生可能炭水素)を製造。LyondellBasell社がそれを石油由来ナフサに混合して、バイオPE・PPを製造
- 【開発状況】商業規模での生産に成功(数千トン)

NESTE

lyondellbasell

<Neste社 + Borealis社>

- 【製品】バイオPP
- 【原料・製法】Neste社が廃食用油等を原料としてバイオプロパンを製造。Borealis社がプロパンを脱水素化しプロピレンに変換し、バイオPPを製造する工程で、部分的にバイオプロパンを利用
- 【開発状況】商業生産(2019年～)

NESTE

BOREALIS
Keep Discovering

<UPM Biofuels社 + Dow社>

- 【製品】バイオPE
- 【原料・製法】UPM Biofuels社が紙パルプ製造の副生成物である粗トール油より製造するバイオナフサを製造。Dow社がそれをもとにバイオPEを製造
- 【開発状況】飲料カートンへの採用実績がある。2019年より年間試験を踏まえて、生産規模を拡大することを計画中

UPMBIOFUELS

DOW

<Sabic社>

- 【製品】バイオPE・PP
- 【原料・製法】非可食バイオマス原料(パルプ製造プロセスの副生成物等)により、石油由来ナフサを部分的に置き換え、クラッキングにより、バイオPE・PPを製造(原料サプライヤーの詳細は不明)
- 【開発状況】商業生産(2014年～)

سابك
sabic

※バイオPE・PP等は、各企業の発表では再生可能PE・PP等の表現が使用されている場合がある

出典:環境省 バイオプラスチック導入ロードマップ第2回検討会 資料 <http://www.env.go.jp/recycle/ref072830W1/pdf>

マスバランスアプローチ②

- ・バイオプラスチックが持続可能なバイオマス原料から製造されていることを担保するために、いくつかのバイオプラスチック製品では認証が取得されている。
- ・バイオプラスチックに適用可能な主要な認証スキームとしてISCCやRSBが挙げられる。いずれも当初はバイオ燃料向けの認証スキームだったが、対象を拡大し現在はバイオマス製品全般を対象とするカテゴリが設けられている。
- ・その他、パーム油や森林・木材等の特定の原料ごとに持続可能性を認証するスキームも存在する(RSPO、FSC等)。

ISCC

(International Sustainability & Carbon Certification)



【認証カテゴリ】

- ISCC PLUS
(バイオマス製品全般が対象)

【基準】

- 環境・社会的な持続可能性、追跡可能性、温室効果ガス削減(任意)

【認証の仕組み】

- 認定された第三者機関が基準への適合性を審査し、認証書を発行
- サプライチェーン全体が審査の対象になる

【事例】

- NatureWorks社(PLA)
- Sabic社(バイオPE、バイオPP) 等

RSB

(Round Table for Sustainable Biomass)



【認証カテゴリ】

- Advanced Product
(バイオ燃料以外のバイオマス製品等が対象)

【基準】

- サプライチェーン全体における持続可能性(人権・食料・環境配慮等)、温室効果ガス削減、化石資源の枯渇リスクの低減
- 製品中のバイオマス度(25%以上)

【認証の仕組み】

- 認定された第三者機関が基準への適合性を審査し、認証書を発行
- サプライチェーン全体が審査の対象になる

【事例】

- INOVYN 社(バイオPVC(バイオポリ塩化ビニル)) 等

(出典)

ISCC system社「ISCC PLUS」: https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2018/12/ISCC-PLUS-System-Documents_V3.2.pdf

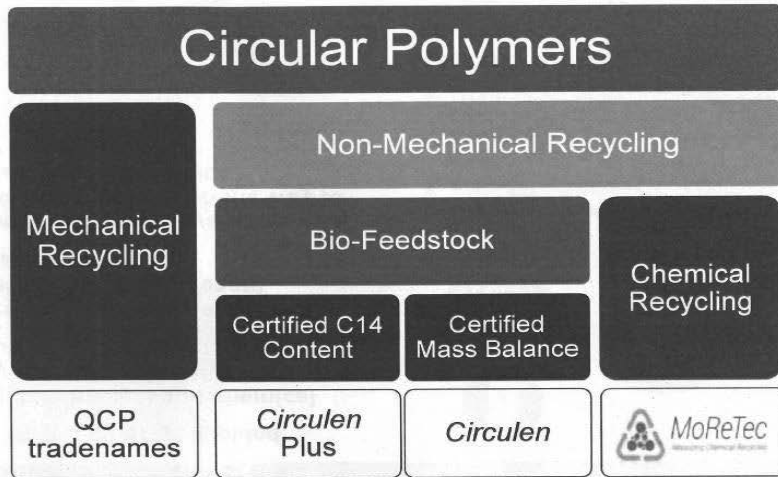
RSB「RSB PRINCIPLES & CRITERIA」: https://rsb.org/wp-content/uploads/2017/04/RSB-STD-01-001_Principles_and_Criteria-DIGITAL.pdf

RSB「RSB Standards for Advanced Products」: https://rsb.org/wp-content/uploads/2018/12/18-12-11_RSB-STD-02-001-v2.0-RSB-Standards-for-Advanced-Products.pdf

Control Union社「バイオマス認証スキームのご紹介」: 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー部 新エネルギー一分会 新エネルギー小委員会 バイオマス持続可能性ワーキンググループ(2019年5月27日発表資料): https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/biomass_sus_wg/pdf/002_03_00.pdf

出典: 環境省 バイオプラスチック導入ロードマップ 第2回検討会 資料 http://www.env.go.jp/recycle/ref072830_1.pdf

LyondellBasell approach to circularity



出典: Lyondellbasell dvacing Possible "Lyondellbasell Circulra Polumeres"
WWW/lyondellbasell.com

ご清聴ありがとうございます。

日本バイオプラスチック協会の概要

1. 設立趣旨

環境に調和した循環型社会の実現に重要な役割を果たす「生分解性プラスチック」と「バイオマスプラスチック」（総称してバイオプラスチックと定義）の普及促進と、技術的な問題の解決を目的として1989年に設立された民間団体。

2. 活動内容

- 「生分解性プラスチック」と「バイオマスプラスチック」の普及促進活動
- グリーンプラ識別表示制度・バイオマスプラ識別表示制度の運営
- 「生分解性プラスチック」と「バイオマスプラスチック」に関する規格の標準化
- 「生分解性プラスチック」と「バイオマスプラスチック」のJIS化に向けた活動
- 国内・海外関連機関との交流による連携強化

3. 会員会社（2021年2月1日現在 336社）

- **正会員 27社**（株式会社を省略）
味の素、エフピコ、カネカ、クラレ、クレハ、シービー化成、浙江海生生物材料、ダイセル、ダイセルポリマー、大日精化工業、大日本印刷、中央化学、蝶理、帝人、デュボン・スペシャルティ・プロダクツ、トータルコーピオンPLA、凸版印刷、東洋製罐グループホールディング、東洋紡、ネイチャーワークス・ジャパン、ノバモントS.p.A(GSIクレオス)、BASFジャパン、三井物産、三菱ケミカル、ユニチカ、ユポ・コーポレーション、リスパック
- **賛助会員 28社**（株式会社を省略）
旭化成、アルケマ、岩谷産業、インジェヴィティ・ジャパン、NECプラットフォームズ、大倉工業、KINGFA SCI & TECH、双日プラネット、ダイセル・エボニック、中京油脂、東京材料、東レ、豊田通商、長瀬産業、日清紡テキスタイル、日本ユビカ、PTT MCC Biochem、ハッセル・ジャパン、北海製罐、ホーケン品質評価機構、三井化学SKCポリウレタン、三井化学、三菱ガス化学、山佳化成、吉野工業所、新疆藍山屯河化工股份、電通テック
- **マーク会員 281社**
社名省略

温暖化ガス排出削減を目指した
CNF 強化バイオ PE の開発

(地独) 京都市産業技術研究所

野口 広貴氏



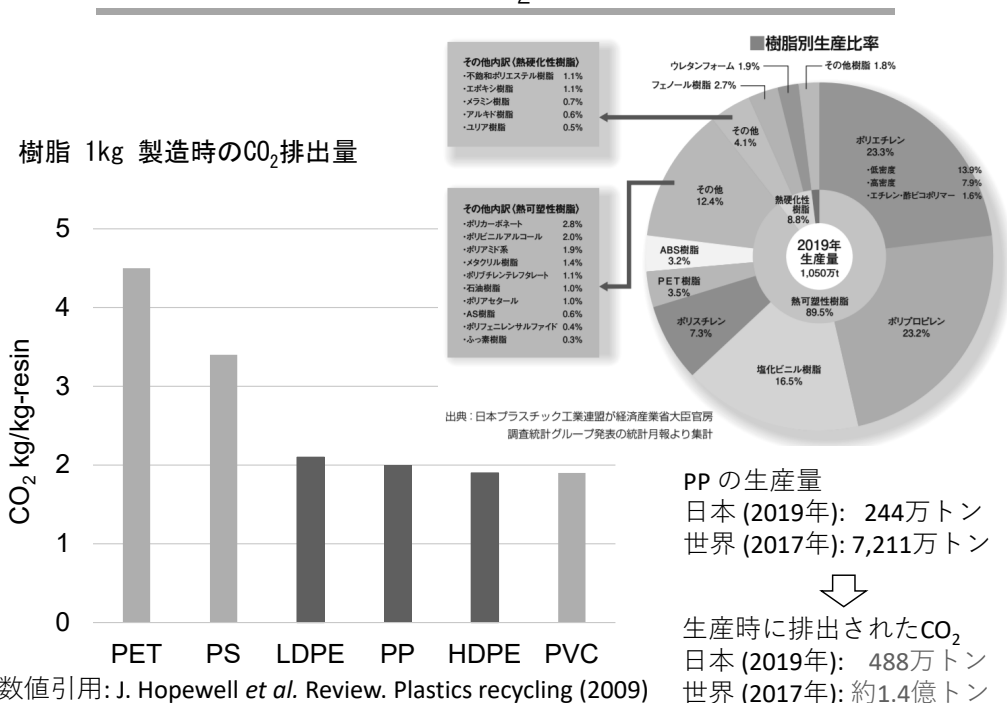
CO₂排出量削減に向けた CNF/バイオポリエチレン複合材料の開発

(地独) 京都市産業技術研究所
野口 広貴

令和元年度環境省委託事業

京都プロセスで製造したアセチル化セルロースナノファイバー強化バイオPEの社会実装評価
共同実施者: 京都大学, 豊田通商(株), (株)デンソー, 東京大学, トヨタ紡織(株)

樹脂とCO₂排出量

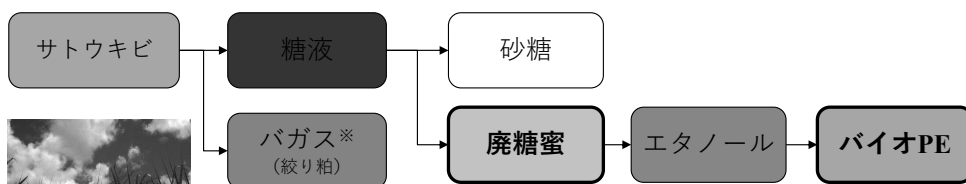


バイオポリエチレン (PE)

世界で初めて南米最大手の化学メーカーである
ブラジルのBraskem社が商業化(2011年)

生産量: 20万トン/年
原料: サトウキビ(バイオエタノール)

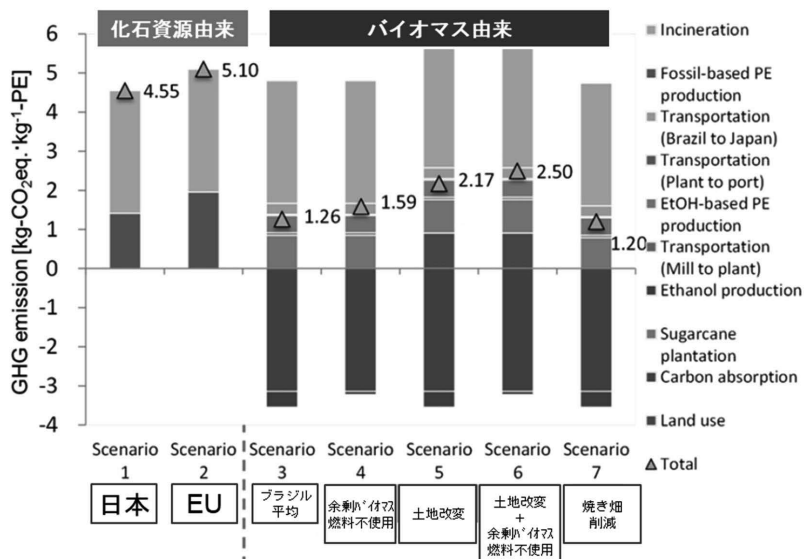
展望: 現在のサトウキビ耕作地のうち
バイオPEに関連しているのは0.02%
拡大余地は力は現在の6倍
(6千万ヘクタール以上)



※ バガスは砂糖・エタノールの製造エネルギーに利用される。
余剰電力は有用な電力として利用される。

バイオPEのCO₂排出量削減効果^{ref)}

バイオPEでは原料植物によるCO₂吸収効果により実質的なCO₂排出量を
5割~7割程度削減



Ref) Kikuchi et al. J. Chem. Eng. Japan, 46 (4), 319-325 (2013)

日本におけるバイオPE利用例



バイオPEは従来のPEと同様の化学特性

- 従来の設備・技術で加工ができるため、様々な企業・団体が化石資源由来のPEから置き換えを進めている
- △ 強度や耐熱性の点から、利用範囲は石油資源由来のPEからの代替に限定される。

(画像) 各社HPより引用

セルロースナノファイバー (CNF)

高性能な持続型資源: あらゆる植物の基本骨格

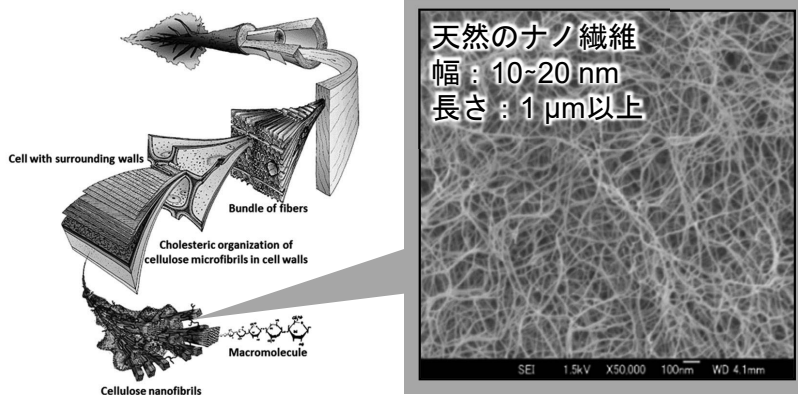


Illustration: University of Canterbury, 1996. Design by Mark Harrington

鋼鉄より強く、軽い

- ・ 低密度: 1.5 g/cm³
- ・ 高弾性: 140 Gpa
- ・ 高強度: 3 GPa

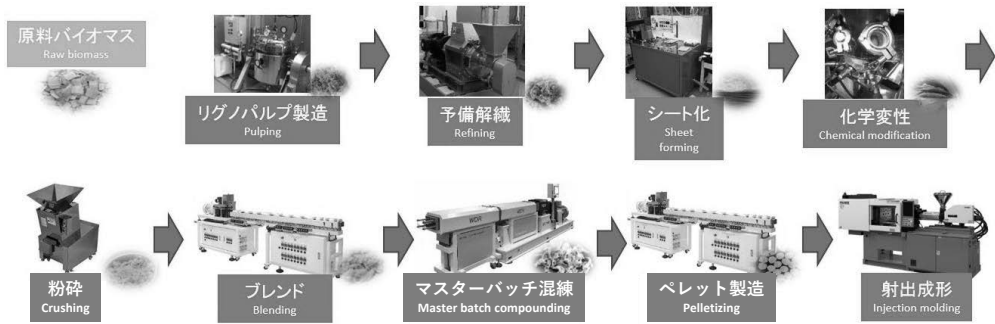
低線熱膨張率

- ・ 0.1 ppm/K
(石英ガラス相当)

持続型資源

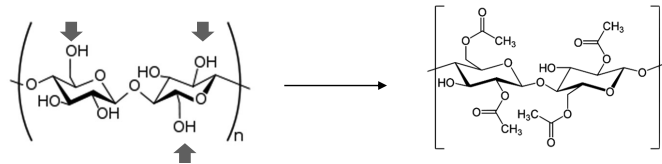
- ・ 約1兆トンの備蓄 (国内)
(埋蔵石油資源の6倍)
- ・ 原料植物をCO₂吸収

京都プロセス



化学変性

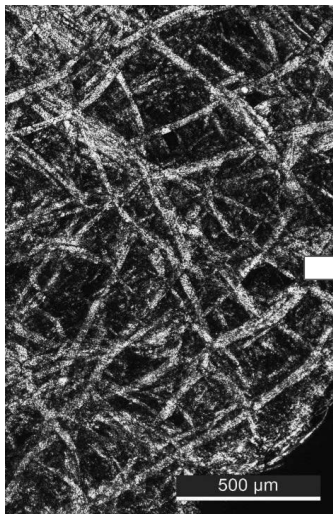
無水酢酸を用いたアセチル化処理



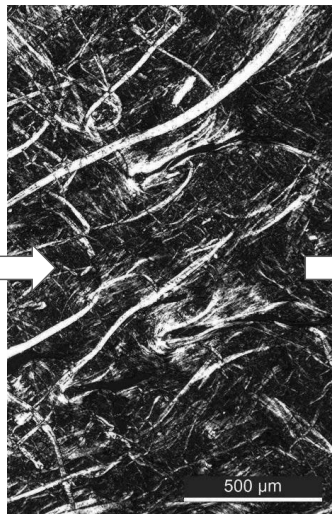
繊維の観察

サンプルをガラスプレートで挟み，220°Cでプレスし，光学顕微鏡で観察

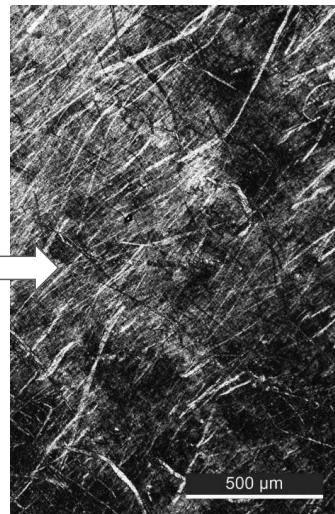
MB混練1回目



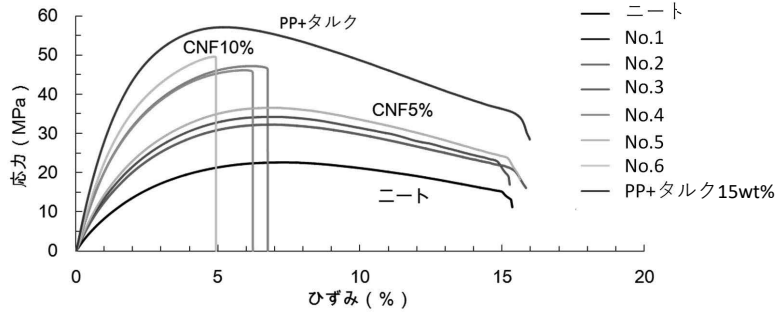
MB混練2回目



CNF強化バイオPE



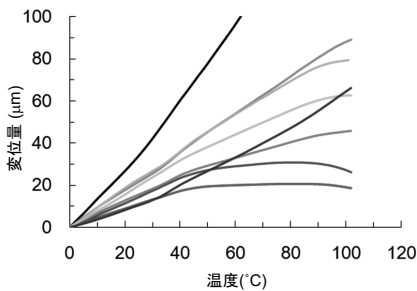
パルプの変性度と機械的特性



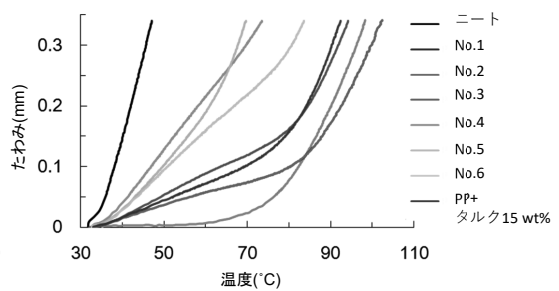
試作体 No.	パルプ変性度 (DS)	CNF濃度 (wt%)	曲げ弾性率 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	衝撃強度 (kJ/m ²)	
					Izod	シャルピー
ニート	-	0	1110	22.5	3.61	3.34
1	0.51	10	2410	46.9	1.66	1.76
2	0.82	10	2410	46.1	2.92	2.71
3	1.21	10	2650	49.5	2.83	2.49
4	0.51	5	1760	34.3	1.75	2.13
5	0.82	5	1610	31.2	2.90	2.83
6	1.21	5	1810	36.5	1.66	1.97
PP+タルク15wt%	-	0	3450	56.2	3.52	4.48

パルプの変性度と熱特性

TMA 曲線

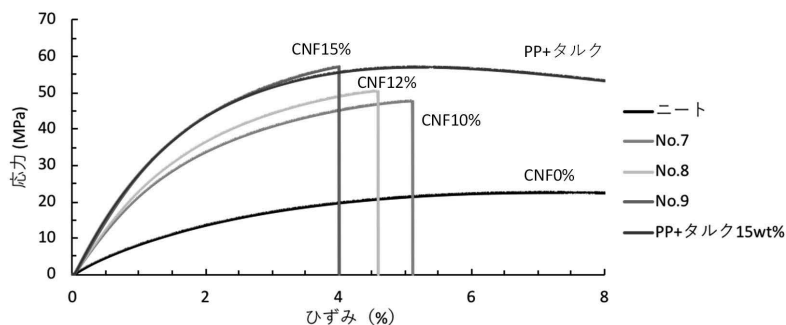


HDT 曲線 (@ 1.8 MPa)



試作体 No.	パルプ DS	CNF添加量 (wt%)	線熱膨張率 (MD方向) (ppm/K)			荷重たわみ温度 (°C)	
			0-100 °C	10-30 °C	30-50 °C	0.45 MPa	1.80 MPa
ニート	-	0	176.8	131.8	174.6	84.3	47.1
1	0.51	10	33.8	56.9	52.5	127.3	94.2
2	0.82	10	45.6	58.0	55.2	127.1	99.4
3	1.21	10	15.4	42.2	28.3	127.4	102.4
4	0.51	5	86.9	86.3	102.4	114.0	73.5
5	0.82	5	79.3	87.2	93.6	116.1	69.2
6	1.21	5	58.4	74.3	69.6	118.5	83.6
PP+タルク15 wt%	-	0	71.4	47.2	73.3	134.0	73.5

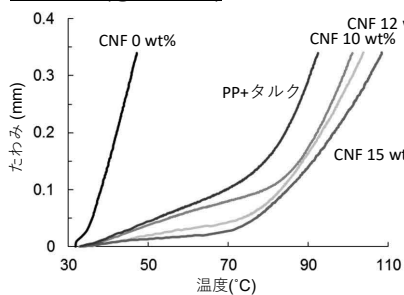
繊維比率と機械的特性



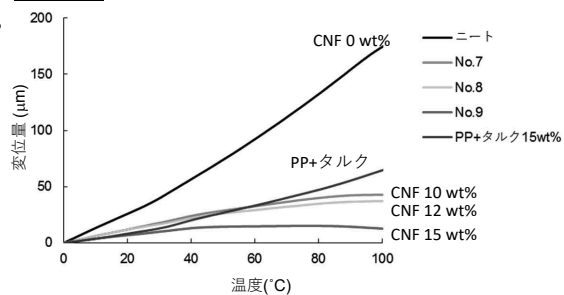
試作体 No.	パルプ DS	CNF添加量 (wt%)	弾性率 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	Izod 強度 (kJ/m ²)	シャルピー強度 (kJ/m ²)
ニート	-	0	1108	22.5	3.61	3.34
No.7	0.9	10	2716	48.5	2.54	2.28
No.8	0.9	12	2757	50.2	3.13	2.64
No.9	0.9	15	3218	56.1	2.95	2.51
PP+タルク 15 wt%	-	0	3450	56.2	3.52	4.48

繊維比率と熱的特性

HDT 曲線 (@ 1.8 MPa)



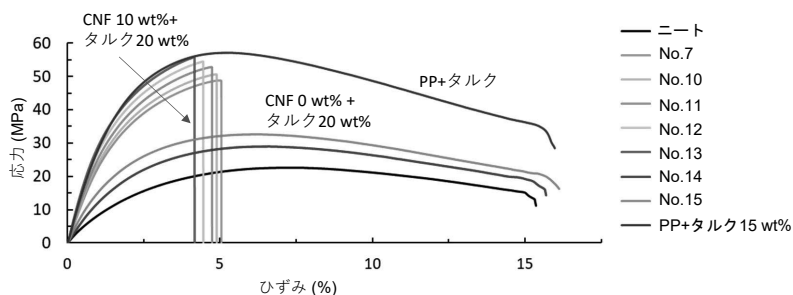
TMA 曲線



試作体 No.	パルプ DS	CNF 添加量 (wt%)	線熱膨張率 (MD方向) (ppm/ K)			荷重たわみ温度 (°C)	
			0-100 °C	10-30 °C	30-50 °C	0.45 MPa	1.80 MPa
ニート	-	0	176.8	131.8	174.6	84.3	47.1
No.7	0.9	10	34.4	55.9	50.1	127.8	101.0
No.8	0.9	12	42.0	55.9	54.4	128.0	104.6
No.9	0.9	15	11.9	32.1	22.7	129.1	108.3
PP+タルク 15 wt%	-	0	71.4	47.2	73.3	133.5	92.6

タルクの添加率と機械的特性

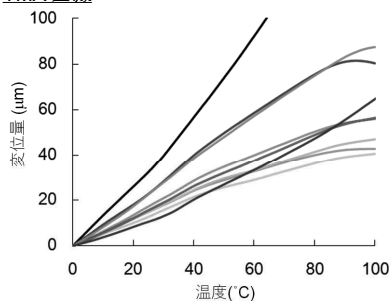
応力-ひずみ曲線



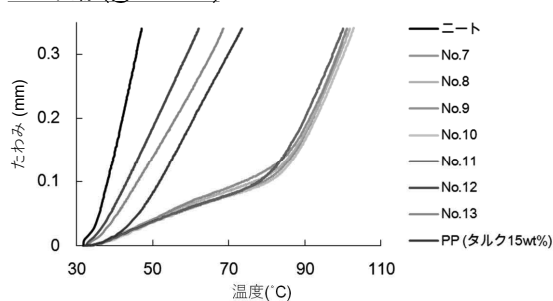
No.	バルブ変性度 (DS)	CNF濃度 (wt%)	タルク濃度 (wt%)	弾性率 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	衝撃強度 (kJ/m ²)	
						Izod	シャルピー
ニート	-	0	0	1110	22.5	3.61	3.34
7	0.9	10	0	2716	48.5	2.54	2.28
10	0.9	10	5	2888	50.4	3.02	2.41
11	0.9	10	10	3156	52.5	3.07	2.73
12	0.9	10	15	3554	54.5	3.03	3.35
13	0.9	10	20	3836	55.7	1.75	1.77
14	-	0	10	1554	29.0	2.79	2.33
15	-	0	20	2060	32.4	2.58	2.31
PP+タルク 15 wt%	-	0	15	3450	56.2	3.52	4.48

タルクの添加率と熱特性

TMA 曲線

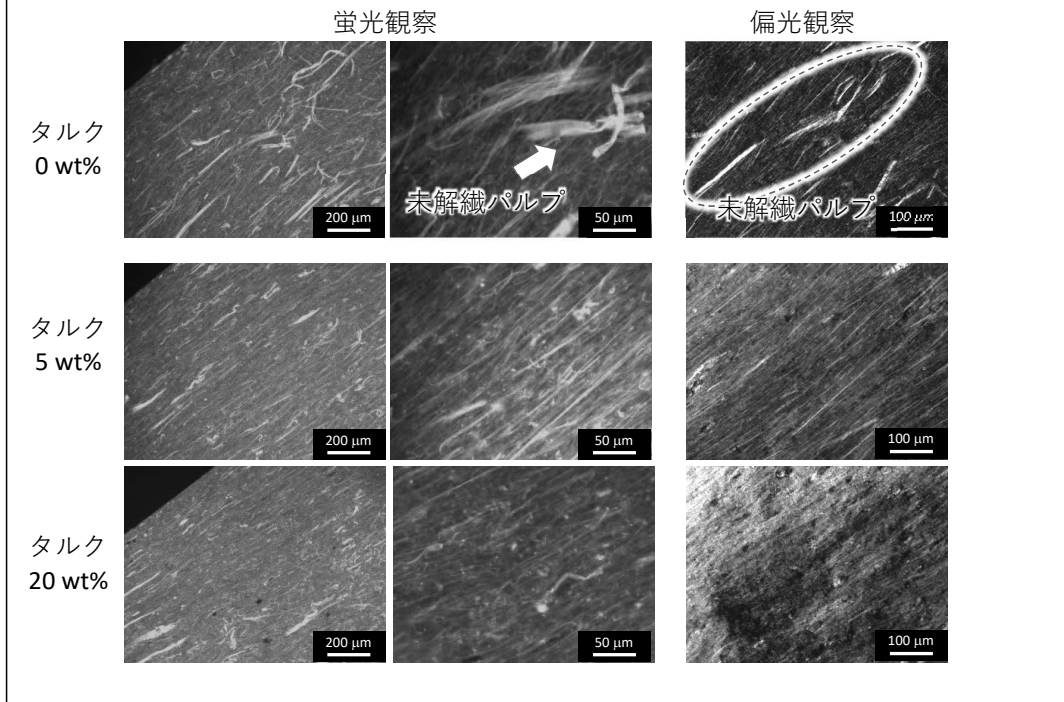


HDT 曲線 (@ 1.8 MPa)

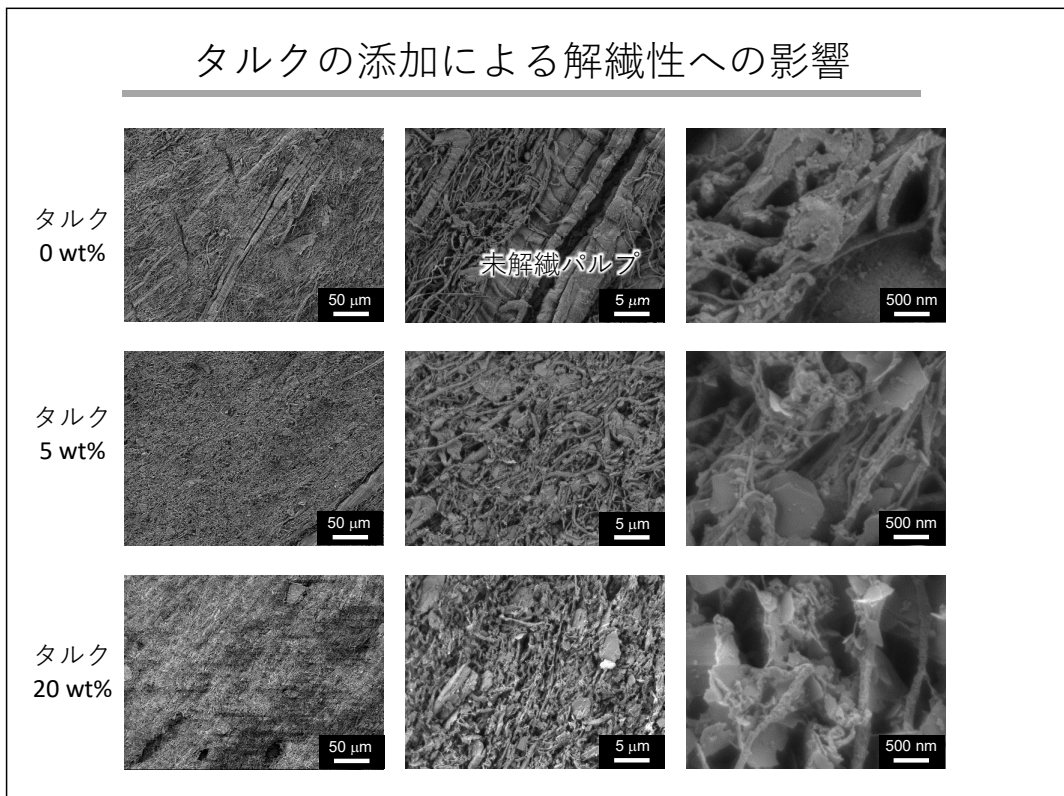


No.	バルブ DS	CNF添加量 (wt%)	タルク濃度 (wt%)	線熱膨張率 (MD方向) (ppm/K)			荷重たわみ温度 (°C)	
				0-100 °C	10-30 °C	30-50 °C	0.45 MPa	1.80 MPa
ニート	-	0	0	176.8	131.8	174.6	84.3	47.1
7	0.9	10	0	034.4	055.9	50.1	127.8	101.0
10	0.9	10	5	051.5	066.5	63.9	128.9	101.8
11	0.9	10	10	048.5	065.0	58.2	126.3	101.1
12	0.9	10	15	038.4	054.0	51.6	128.9	102.8
13	0.9	10	20	057.6	066.2	66.6	127.5	100.0
14	-	0	10	80.4	94.4	107.8	90.0	62.3
15	-	0	20	87.5	97.7	101.2	95.5	68.2
PP+タルク 15 wt%	-	0	15	71.4	47.2	73.3	133.5	92.6

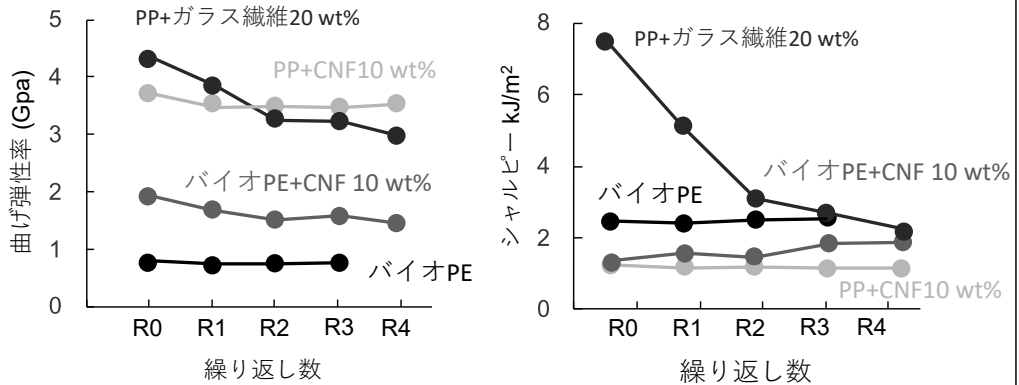
タルクの添加による解繊性への影響



タルクの添加による解繊性への影響



リサイクル性

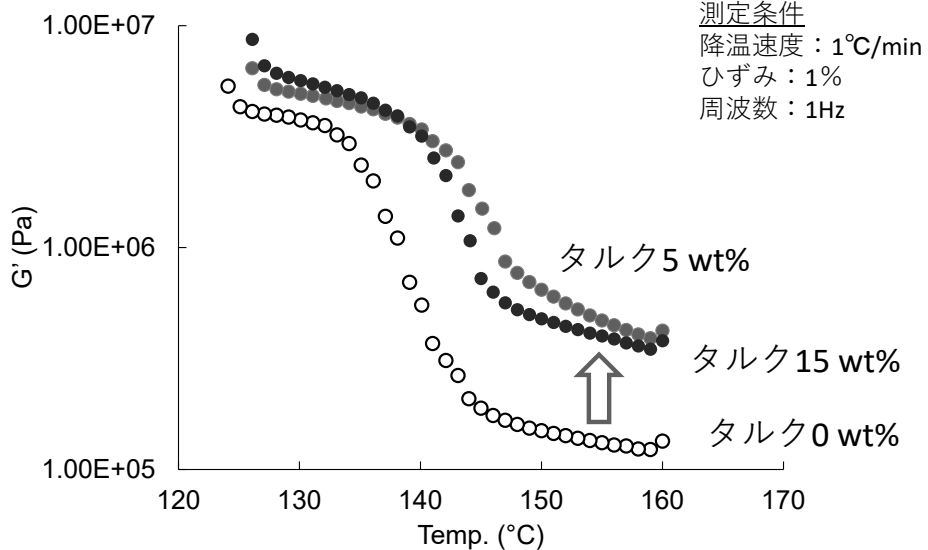


R0: 射出成形後 → R1: 粉碎 → R2: 混練 → R3: 粉碎 → R4: 混練

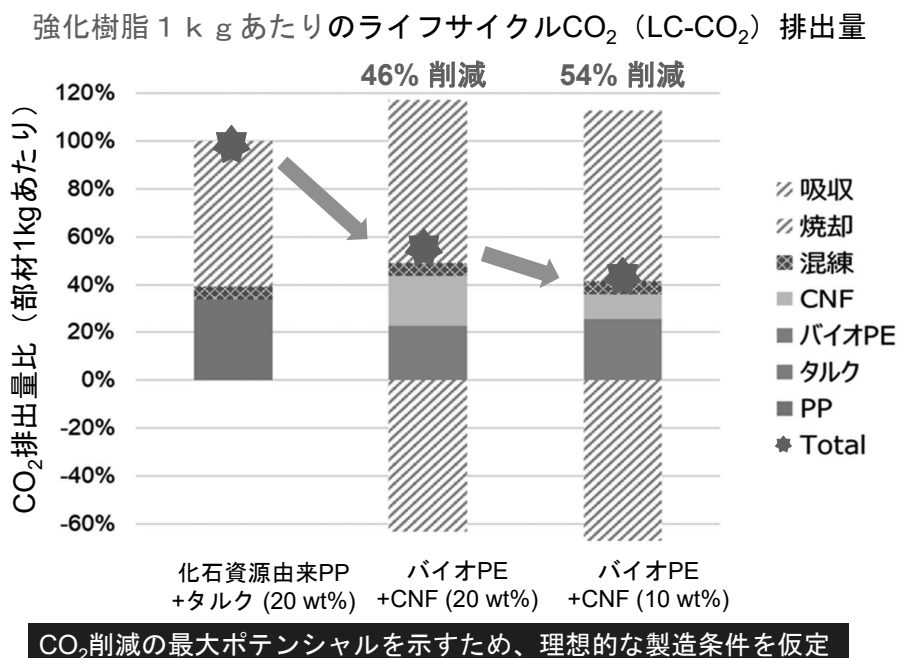
ガラス繊維強化樹脂: 大幅な曲げ弾性率, シャルピー強度低下
 CNF強化バイオPE: ほぼ性能維持 (曲げ弾性率の低下は~20%)

CNF強化バイオPEの粘弾性の温度依存性

CNF 10 wt% バイオPE



文献値に基づくCO₂排出量の試算結果



まとめ

CNF強化バイオPEの性能

- 今回の試作条件においては、パルプの変性度が高く、樹脂に添加するCNF及びタルクの添加量が多い程、曲げ弾性率及び熱的特性が向上した。
- 非強化のバイオPEに対し、
 - ・曲げ弾性率最大 3.5 倍
 - ・荷重たわみ温度 50℃以上向上 (荷重1.8 MPa)
- CNF強化バイオPEはガラス繊維強化樹脂と比較し、優れたリサイクル性を示した。

CO₂の削減効果

- 文献値に基づく試算ではタルク添加PPと比べ、CNF 10 wt%で強化したバイオPEでは54%、CNF 20wt%で強化したバイオPEでは46%のCO₂削減効果が見込まれた。

謝辞

本発表内容は「令和元年度環境省委託事業京都プロセスで製造したアセチル化セルロースナノファイバー強化バイオPEの社会実装評価」で得られた成果の一部です。支援いただきました環境省及び関係各位に感謝申し上げます。

自動車部品用途への CNF 強化
バイオポリエチレンの適用検討

トヨタ紡織(株)

和田 卓氏

自動車部品用途へのCNF強化 バイオポリエチレンの適用検討

トヨタ紡織(株) 技術開発本部
材料技術開発部 第1材料技術開発室

和田 卓

<Agenda>

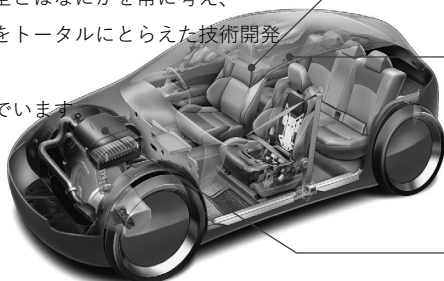
1. トヨタ紡織の会社紹介
2. 環境への取り組み
3. エアクリナーケースの適用検討
4. 今後の取り組み

1. トヨタ紡織の会社紹介

Concept

乗る人のまなざしを想い、
魅力ある移動空間を創る。

お客さまがクルマに求める性能とはなにか、
快適や安全とはなにかを常に考え、
移動空間をトータルにとらえた技術開発
に取り組んでいます。



QUALITY OF TIME AND SPACE

TOYOTA BOSHOKU 3 / 24

Product Lineup

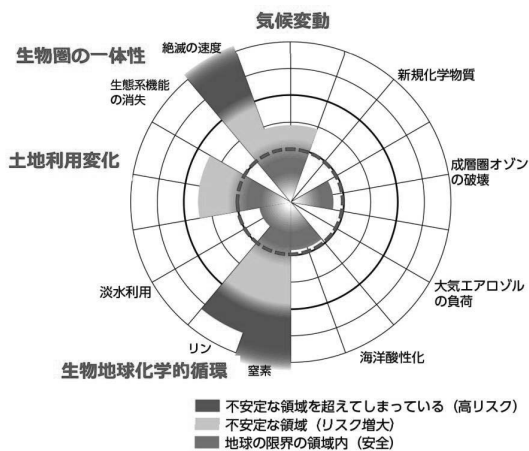
シート	 スポーツシート	 	 航空機用シート ラウンドリクライナー シート骨格	 写真提供・JR東日本 鉄道車両用シート	
内外装	 内装システム	 天井 イルミネーショ	 ドアトリム パッケージトレイ	 シートファブリック カーテンシールド エアバッグ	 バンパー フェンダーライナー
ユニット部品	 吸気システム	 エアクリナー シリンダーヘッドカバー エアフィルター オイルフィルター エアフィルター	 インテークマニホールド (水平対向エンジン用) スタックマニホールド (燃料電池関連部品)	 モーターコア構成部品 (ハイブリッドシステム 用) セパレーター (燃料電池関連部品)	

QUALITY OF TIME AND SPACE

TOYOTA BOSHOKU 4 / 24

2. 環境への取り組み

1) 地球の限界(プラネタリー・バウンダリー)



<地球温暖化> CO₂排出

- ・気候変動
- ・海面上昇
- ・豪雨・巨大大風雨

<廃棄プラスチック>

- ・大気・土壌汚染
- ・CO₂排出
- ・生態系の変化

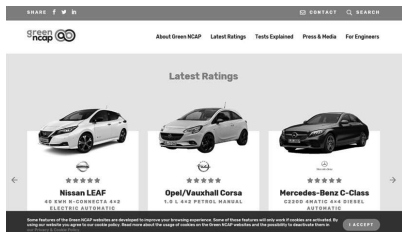
※出典：「環境白書・循環型社会白書・生多様性白書」（環境省）

2) 自動車業界（欧州の環境規制の激化）

- ・CO₂排出量規制 2030年 60g/km 以下
- ・CO₂排出ゼロ「カーボンニュートラル」を目指す法案提出

Green NCAP

環境評価結果（LCA）を公表



Volkswagen

'19/11/4 iD3 量産工場稼働
「カーボンニュートラル」車



Mercedes-Benz

2039年までに新車の
カーボンフットプリントゼロ



3) トヨタ紡織の取り組み

<SDG's>

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



<トヨタ紡織2050環境ビジョン>

2016年度制定

ビジョン すべてのステークホルダーのみなさまと一致団結して、子どもたちが笑顔で暮らせる持続可能な地球環境を創ります。

トヨタ紡織が掲げる 2050年に向けた 6つの 環境チャレンジ目標

1	トヨタ紡織グループ CO ₂ 排出量ゼロにチャレンジ	4	天然資源 使用量ミニマム化にチャレンジ
2	ライフサイクル CO ₂ 排出量ゼロにチャレンジ	5	トヨタ紡織グループ 廃棄物ミニマム化にチャレンジ
3	トヨタ紡織グループ 生産工程 水リサイクル化による 排出ゼロにチャレンジ	6	森づくり活動 132万本植樹にチャレンジ

植物由来材料の活用しCO₂排出量削減を推進

QUALITY OF TIME AND SPACE

TOYOTA BOSHOKU 7/24

4) 植物材料を活用した部品事例

ラウム
スペアタイヤカバー (ケナフ/PLA)

SAI
ラゲージ表皮 (PLA/PET)

SAI
スカップ等 (PLA/PP)

PLA: ポリ乳酸

セルシオ
ドア基材 (ケナフ/PP)

SAI, プリウス
クッションパッド (バイオPU)

コンフォート
エアクリナーケース (ケナフPP射出)

クラウン
ドア基材 (PP/PA11)

2000 2005 2010 2015 2020
西暦

QUALITY OF TIME AND SPACE

TOYOTA BOSHOKU 8/24

3. エアクリーナーケースの適用検討

1) 調査の目的

部品性能等、現在使用材と比較し材料代替え可能かを検討

項目	内容	PE-CNF10	ハイフローPE-CNF10
材料物性	機械物性 流動性	密度、引張特性、曲げ特性など 溶融粘度、バーフロー試験	— バーフロー試験
成形性	流動解析 実成形	簡易形状で成形シミュレーション 簡易形状で成形 量産型部品形状で成形	— — 量産型部品形状で成形
部品性能	部品要求特性 におい評価	寸法精度、耐振動、耐熱、耐久など —	— VOC測定

2) 材料物性

特性項目		今回検討材 PE-CNF10	現在使用材 PP-TD20	
密度(g/cm ³)	23℃	1.03	1.05	密度同等 重量の増加はない見込み
荷重たわみ温度(℃)	1.8MPa	102	76	
引張強度(MPa)	23℃	42.9	37.8	荷重たわみ温度が26℃向上 クリープ性能の向上に期待
	80℃	18.7	19.6	
	120℃	7.3	10.5	
引張弾性率(MPa)	23℃	2070	3453	
	80℃	818	1040	
引張破壊ひずみ(%)	23℃	5.3	9.0	
	23℃	50.0	58.8	
曲げ強度(MPa)	80℃	20.3	23.2	課題は剛性UP 製品の剛性に起因するため 今後の改善に期待
	120℃	8.27	12.7	
	23℃	2540	3540	
曲げ弾性率(MPa)	80℃	999	950	
	120℃	437	420	
	シャルピー衝撃強度 (KJ/m ²)	23℃	2.3	

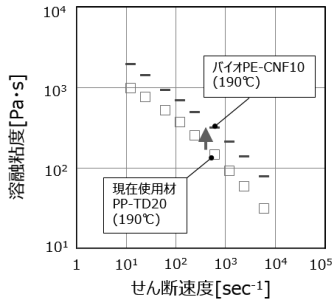
クリープ性能が高いことが特長、剛性UPが課題

3) 流動性

特性項目	PE-CNF10	PP-TD20
MFR(g/10min)@230°C	2.7	21

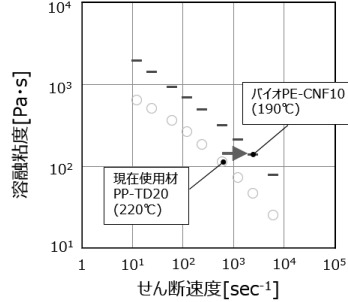
【溶融粘度】

① 同じ測定温度での比較(190°C)



PE-CNFは高粘度のため、型内にフル充填できない可能性有

② 現在使用材の成形温度との比較(220°C)

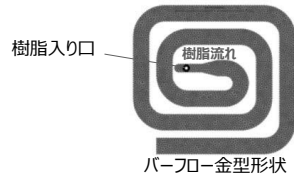


PP-TD20同等にするには射出速度を上げた成形が必要

4) 事前シミュレーション

【バーフロー試験】

渦巻き状の金型に樹脂を押し出し流れた距離を測定



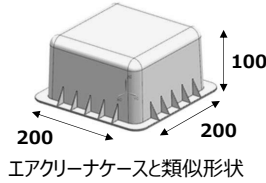
	樹脂温度 : 170°C		樹脂温度 : 190°C		樹脂温度 : 220°C	
	実験	シミュレーション	実験	シミュレーション	実験	シミュレーション
射出速度 20mm/s						
バーフロー長	176 mm		229 mm		316 mm	
射出速度 200mm/s						
バーフロー長	190 mm		253 mm		347 mm	

実験とシミュレーションの結果は概ね一致

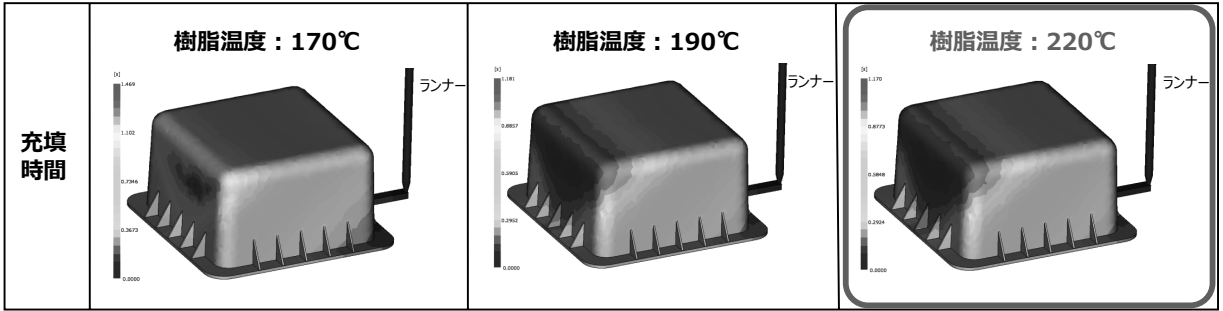
5) 簡易形状(BOX形状)によるシミュレーション



エアクリーナケース

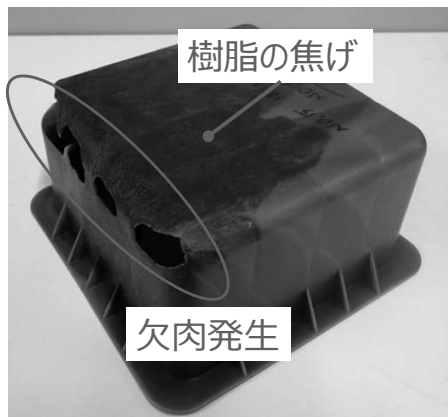


エアクリーナケースと類似形状



最大射出圧以下で成形できる条件を確認

6) 簡易形状による成形



[成形条件]
樹脂温度 : 210℃

[重量]
BOX形状 : 185g

[その他]
バレル内滞留15分以上

樹脂の焦げと欠肉発生

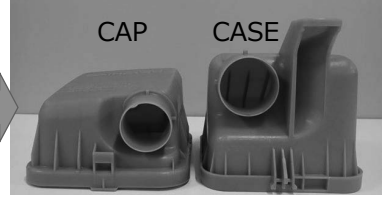
7) 量産型エアクリナーケース型による成形



量産型の中から軽自動車用の
エアクリナーケースを選定



金型(固定側)



成形品(フル充填可能)

成形温度：220℃

PE-CNF10は200℃以上でCNFの化学反応を生じるため、
成形温度は200℃未満にしたい

フル充填の成形が可能だが、高い成形温度が課題

8) エアクリナーケース評価結果まとめ

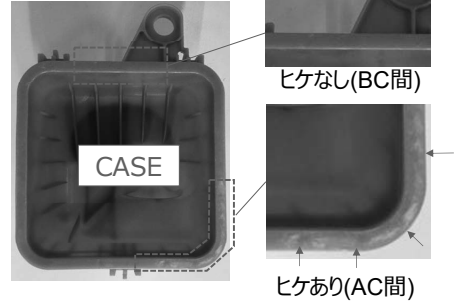
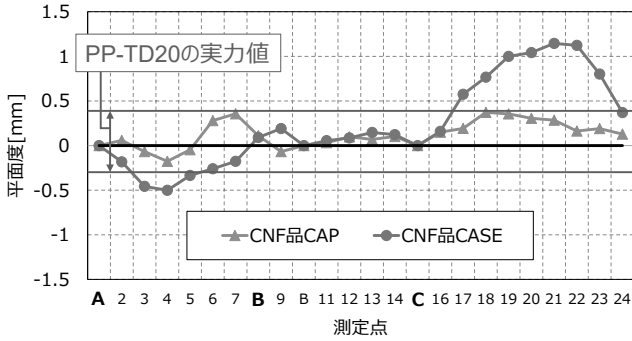
項目	評価基準	結果	部品評価	材料評価
寸法精度(平面度)	基準面からの偏差0.2mm以下	要求満たさず	× そり・ヒケ	× 剛性
振動ダスト漏れ試験	破損、亀裂等異常なきこと ダスト漏れなきこと	耐久完了品でダスト漏れなし	○	
高温放置	破損、亀裂等異常なきこと	破損、亀裂等異常なし	○	
冷熱サイクル	破損、亀裂等異常なきこと	破損、亀裂等異常なし	○	× 熱変形
面剛性	現号材(タルク材)と比較	現在使用材と比較し、少し悪化の傾向	△ 設計で改善可	
落錘	落下高さ≤30cmで破損なし	高さ20cmで亀裂発生	△ 設計で改善可	
振動耐久	破損、亀裂等異常なきこと	破損、亀裂等異常なし	○	
成形性	フル充填できること	220℃でフル充填できる	○	× 流動性

①ヒケ・そり・剛性、②熱変形、③流動性に残存課題あり

9) 課題① そり・ヒケ

寸法精度(平面度)

成形後の合わせ部分内の基準3点(A,B,C)より
形成される面からの差を24点測定



材料の剛性UP、材料特性に合った設計、成形条件の最適化が必要

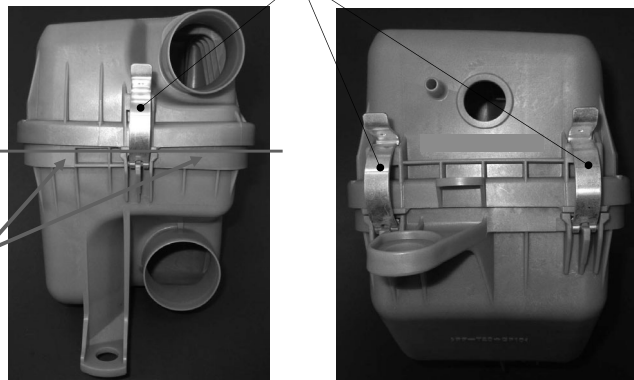
10) 課題② 熱変形

冷熱サイクル

極低温～高温度を複数回
サイクル試験した後の成形品
の形状変化を確認

CAP/CASEを3点でクランプ

1点クランプ部のコーナー変形大

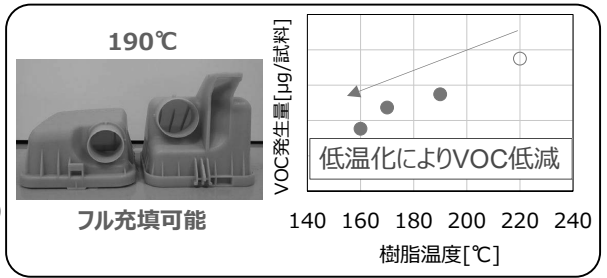
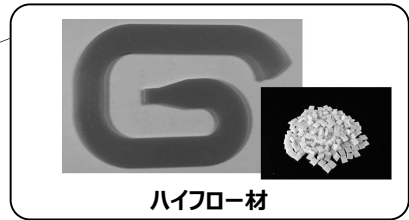
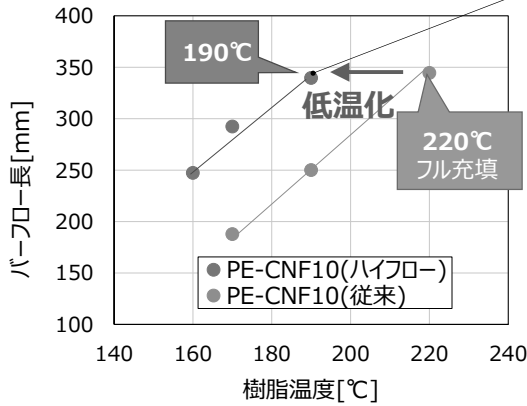


冷熱サイクル試験後品

CNF配向制御など原因追及が必要

11) 課題③ 流動性

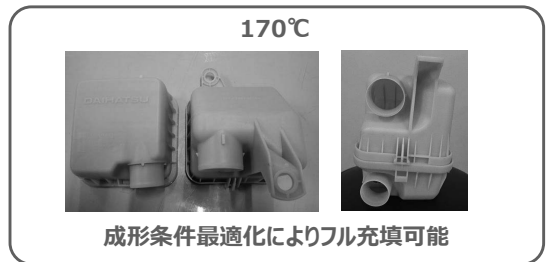
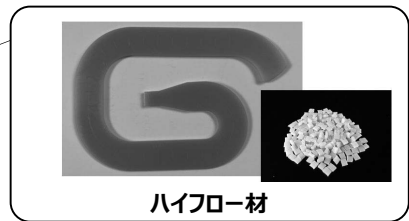
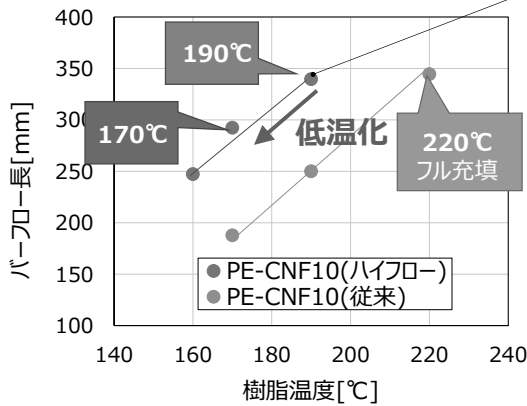
バーフロー試験



CNFの化学反応が生じない領域で成形できることを確認

11) 課題③ 流動性

バーフロー試験

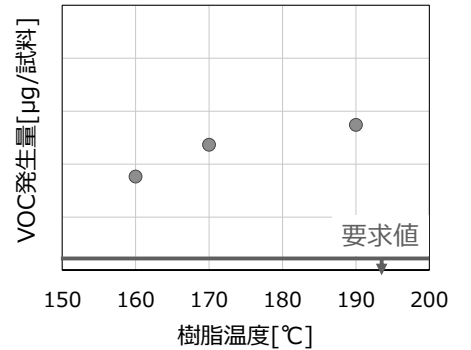


従来の自動車部品の成形温度にはない超低温成形の可能性あり

12) ハイフロー材のVOC評価

エアクリナーケースに要求値なし、内装部品適用を想定

測定分析	タルクなし(ハイフロー材)		
	160℃	170℃	190℃
ホルムアルデヒド	0.19	0.21	0.18
アセトアルデヒド	3.53	4.73	5.48
トルエン	0.47	0.54	0.61
エチルベンゼン	0.04	0.03	0.04
キシレン	0.13	0.13	0.14
スチレン	0.16	0.04	0.06
テトラデカン	2.62	1.59	1.52
フタル酸ジ - n - ブチル	0.02未満	0.02未満	0.02未満
フタル酸ジ - 2-エチルヘキシル	0.02未満	0.02未満	0.02未満



内装部品材料におけるVOC要求

内装部品に適用するにはアセトアルデヒド値の削減が必要

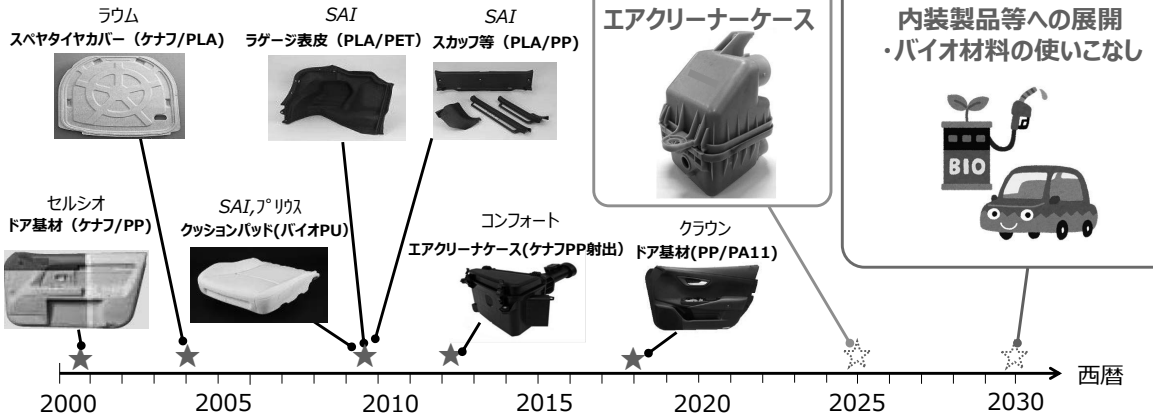
13) まとめ

CNF強化バイオPEはエアクリナーケースの代替え材として期待できる

課題	対策
①成形時のそり・ヒケ改善	材料剛性UP、設計・成形条件の最適化
②熱変形のメカニズム解明	CNF配向制御など（調査中）
③流動性と剛性の両立	タルクを含めた添加材の最適化

CNF強化バイオPE材を使用した製品化開発を引き続き実施

4. 今後の取り組み



トヨタ紡織は持続可能な社会に向けてバイオ材料の開発を引き続き行って参ります

QUALITY OF TIME AND SPACE

TOYOTA BOSHOKU 23 / 24

ご清聴ありがとうございました

QUALITY OF TIME AND SPACE

TOYOTA BOSHOKU 24 / 24

日用雑貨品への CNF 材料の応用

(株)上山製作所

上山 哲生氏

第445 回生存圏シンポジウム

「ゼロエミッション・マテリアルへの戦略 ② バイオ化」

日用雑貨品へのCNF材料の応用

当社概要	2
当社取扱樹脂について	3
PEST分析	4
ファイブフォース分析	5
アンゾフの成長マトリクス	6
京大生存研CNFバイオPEへのアプローチ	7
CNFバイオPEの成形特性	8
テスト結果と考察	9
CNFバイオプラ日用品の4P分析	10
CNFバイオプラのVRIO分析	11
まとめ	12

2021年3月9日

東大阪市菱江4-6-46
プラスチック製造販売
株式会社 上山製作所
上山 哲生

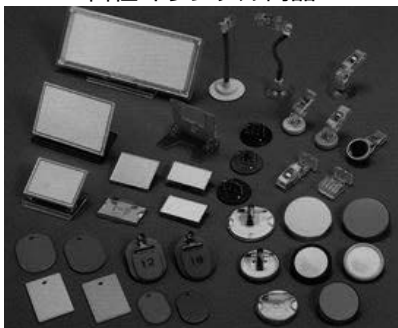
日用雑貨品へのCNF材料の応用

1

はじめに

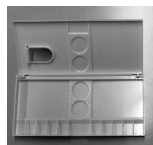


自社オリジナル商品



当社概要

資本金 1,000万円
年商 約3億円(自社オリジナル製品30%)
従業員 18名(正社員11名・パート社員7名)
西日本プラスチック製品工業協会 加盟
1953年 祖父が大阪市生野区にて創業
1960年 株式会社 設立 現在3代目
1964年 東大阪市へ移転し自社製造開始
2016年 東大阪市友井→菱江へ移転



日用雑貨品へのCNF材料の応用

2

プラスチックの樹脂別・用途別 生産比率

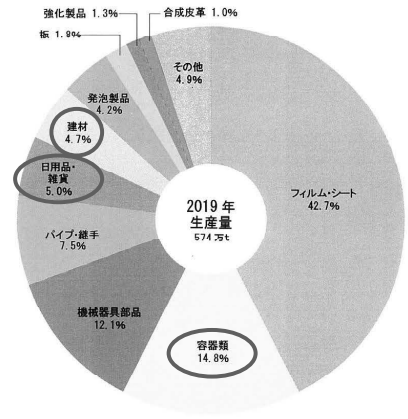
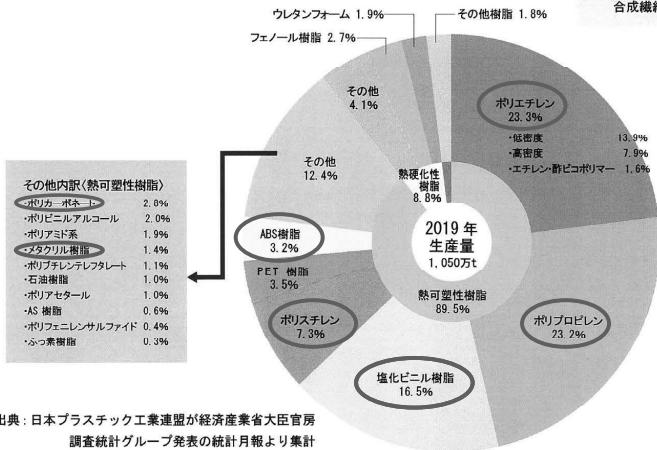
○ が当社の取扱樹脂・製品群

(注) グラフのプラスチック生産量1,060万tと用途別製品生産量574万tとの間に大きな開きがあるのは、用途別製品生産量の集計においては、次の条件が付されているためです。

- (1) 直接成形加工された一次製品が対象
- (2) 従業員50人以上の事業所の製品が対象
- (3) 二次加工品、塗料、接着材、電線およびケーブル、合成繊維、ウレタンフォーム等を除外

■ 樹脂別生産比率

■ 用途別製品生産比率



- その他内訳(熱可塑性樹脂)
- ポリカーボネート 2.0%
 - ポリビニルアルコール 2.0%
 - ポリアミド系 1.9%
 - メタクリル樹脂 1.4%
 - ポリチレンテレフタレート 1.1%
 - 石油樹脂 1.0%
 - ポリアセタール 1.0%
 - AS樹脂 0.6%
 - ポリフェニレンサルファイド 0.4%
 - ふっ素樹脂 0.3%

出典：日本プラスチック工業連盟が経済産業省大臣官房調査統計グループ発表の統計月報より集計

日用雑貨品へのCNF材料の応用

PEST分析 ～ コロナ禍において ～

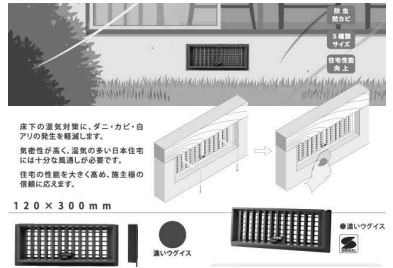
<p>政治 Politics</p> <ul style="list-style-type: none"> 天災が起因して税金、保険料が高額になる SDGsなど環境基準が厳格化される プログラミングなど科学技術科目の必修化 	<p>経済 Economy</p> <ul style="list-style-type: none"> サプライチェーン国内回帰による投資活発化 都心部と地方での物流格差が生じる コロナ禍での小売・飲食店舗・宿泊施設の形態が変化する
<p>社会 Society</p> <ul style="list-style-type: none"> 商品・サービスに対して感染症への対応を求められる 外国人の入国制限が続き、観光業が衰退 高齢者の移動や活動が減り、国内需要減少 	<p>技術 Technology</p> <ul style="list-style-type: none"> I o T(モノのネット接続)が一層加速する テレワーク発展で遠隔からの会合が簡単に 環境対応プラスチックの開発加速によって技術的な差別化が進んでいく

日用雑貨品へのCNF材料の応用

日用雑貨プラスチック射出成形業のファイブフォース分析



<新規参入者>
 ネット販売小売の事業進出
 圧倒的成形データ蓄積による海外勢
 押出・型製造など他加工からの参入
 二次加工先の内製化



<売り手の交渉力>
 材料メーカー合併寡占による価格強制
 特殊材は供給ルートもメーカーが指定
 成型機と付帯設備の高機能高価格化
 資源高を理由に資材・加工費の値上げ

<業界内の脅威>
 コピー商品など実用新案の形骸化
 低品質安価な零細企業の競合価格
 中堅企業による合併・M&A
 原料が環境規制され使用不能になる

<買い手の交渉力>
 海外品と比べた高品質低価格の要求
 得意先企業のプラ成形内製化
 納品・デザイン等無償サービス要求
 プラ以外にも含めた供給網の統合管理



<代替品>
 デジタル家電技術を使った日用品
 3Dプリンターでの高速量産化
 汎用プラは耐用4年程度なので
 自然素材の金属・木材・ガラス製品



日用雑貨品へのCNF材料の応用

アンゾフの成長マトリクス

		製品	
		既存	新規
市場	既存	<p>UEYAMA PLASTICS MANUFACTURING CO.,LTD.</p>	<p>国内製金型は高くして投資を敬遠 素材や色を変える方が簡単 環境問題がクローズアップ 環境プラは高い・弱い・難しい</p> <p>↓ 京都市産業技術研究所での集中講義</p> <p>CNFバイオ材料の製品</p>
	新規	<p>ネット通販卸への販売</p> <p>海外への輸出</p>	<p>(多角化)</p>

日用雑貨品へのCNF材料の応用

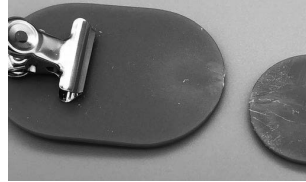
京都大学 生存圏研究所 CNF バイオPE 材料 へのアプローチ



窓際に2ヶ月放置すると茶色が色抜け



作業服胸ポケットに入れ一ヶ月仕事をした
3度そのまま洗濯機に入れて洗剤で洗った



金属目玉クリップとの耐摩耗テスト(50回着脱)で3個体を写真記録

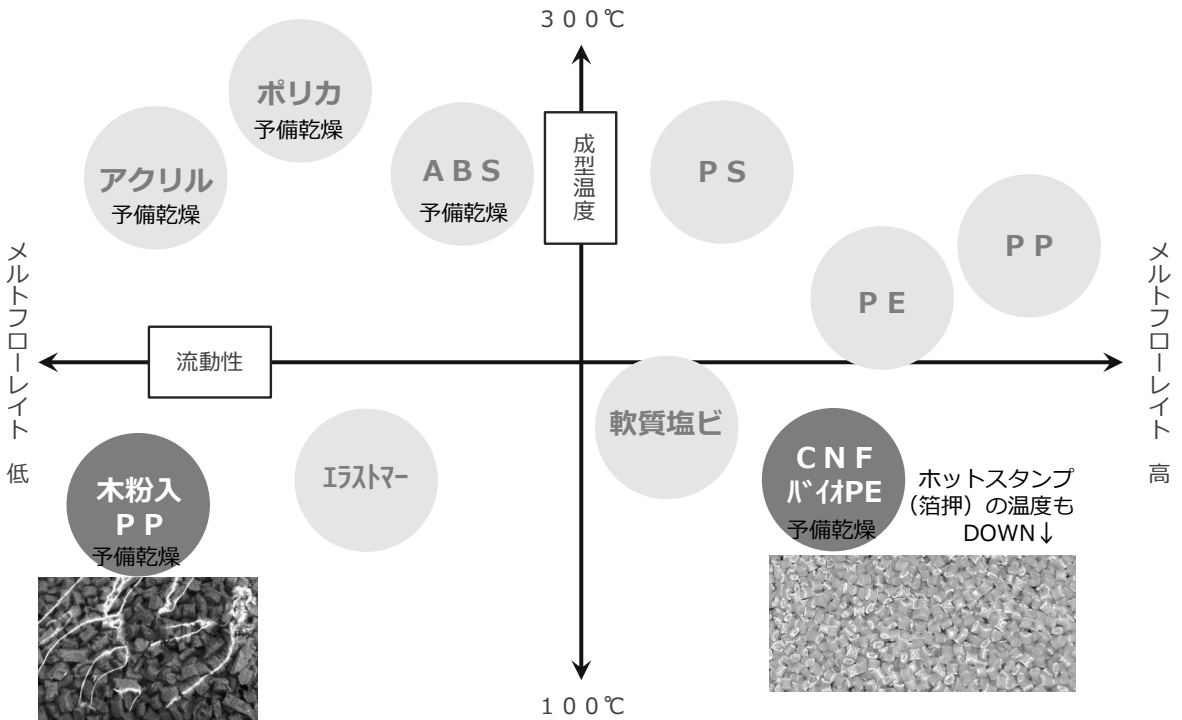
分別廃棄可能で和テイストなクロック札として想定実験

- ・2020年9月から4ヶ月をかけてテスト成形を適宜行い、PP(ポリプロピレン)やPS(ポリスチレン)で生産した従来品と比較して、**強度、機械耐久性**を検証。
- ・**CO₂排出量を想定**するために**電力費**の単位時間算出や**輸送距離、製品重量**の従来品比較を数値で記録し、環境省はじめとする諸機関へ提出を済ませた。
- ・CNFとタルクの含有量を変化させた2グレードについて一部比較検証も行なった。

日用雑貨品へのCNF材料の応用

7

CNF入りバイオPE 成形特性について



日用雑貨品へのCNF材料の応用

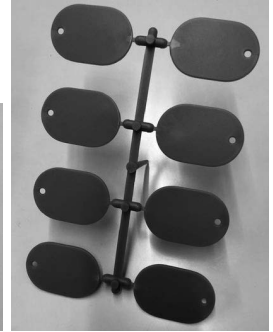
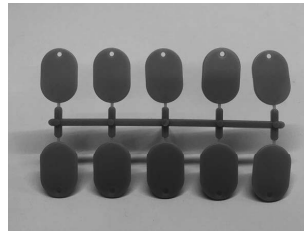
8

テスト結果と考察

行なったこと

- 成形条件によるPS・PP・木粉入PPとの比較
- 番号プレート成型品のゲート形状とウエルド不良の比較
- 数字ホットスタンプの印刷条件PS・PPとの比較
- 多数個サンプルへのビス・ナット組み付け強度耐性
- 金属クリップへ挟み込み・取外しの摩耗状況
- 室内窓際での耐候性、経時変化の確認
- ポケットに入れるなど一般的使用状況下での耐久確認
- 洗濯物と共に洗剤で洗われた回数による変性の確認

180℃成形 →
↓ 160℃成形



分かったこと

- ランナーリサイクル材料のみで成形しても強度劣化がない
- 成型温度180℃未満で充填できるようタルク量は調節(CNF10%と5%では対象製品硬度はPOMとHDPEとに近い)
- CNF10%タルク15%バイオPEでPSより単重10%減
- 成形中の臭いは薄いキャラメルのように不快感はない
- 太陽光2ヶ月程度で茶褐色が薄くなり黄ばみが始まる(160℃成形品と同等のたまご色となる)着色を推奨
- 洗濯洗剤に対しては劣化が見られなかった

今後の展開

- CNF入りバイオプラ材料を自社向けにカスタマイズする過程で研究機関と協力し、各汎用樹脂代替グレードを作る
- 自社製品ラインナップにCNFバイオ材料シリーズを構築し、従来品との選択を促すマーケティングを企画する
- 現在ABS樹脂で生産する弊社への製造委託品など代替しやすい製品からCNFプラスチック材へ代替提案していく
- 得意先または競合他社の製品からCNF入りバイオ材料で代替できる製品を開発して発売普及させる

- 金属部品との耐摩耗性はHI PS樹脂と同程度になった
日用雑貨品へのCNF材料の応用

9

CNFバイオプラ日用品の4P分析

製品 Product	<ul style="list-style-type: none"> CNF入りバイオPE 製品 CNF入りバイオPET 製品 CNF入りバイオPA 製品 CNF入りバイオPLA 製品 	<p>考えうるCNFとの組合せで既製品の要求性能と既製プラ各グレード性能に依っていく</p>
価格 Price	<ul style="list-style-type: none"> 製品重量が軽い小物製品ほど材料価格が製品価格に直結しない → CNF素材の比重が軽く、製品代に占める材料価格を抑えられる 材料をカスタマイズすることで価格が決まる → CNFとタルクの含有量によって性質も価格も変わる 	
流通 Place	<ul style="list-style-type: none"> CNFバイオ材料はほぼ国内完結する調達経路で材料入手が可能 比重により輸送重量は軽くなるので、輸送コストは重量分のみ低減 既製品販売シェアが高い得意先販売網を利用すれば早期に流通できる 	
販売促進 Promotion	<ul style="list-style-type: none"> 自社カタログ・チラシといった資料作成、展示会への参加 当社HPから認知を広める。当社拠点の関西ではアナログな営業も 販売先である文具事務用品雑貨販社の企画部門は主に首都圏に集中 	

日用雑貨品へのCNF材料の応用

10

CNFバイオプラ製品製造のVRI O分析

	V 経済価値	R 希少性	I 模倣困難性	O 組織	今後の対策と方針
人材	○	○	△	△	プラスチック循環技術について、深い知識と技術を持っている人材は高い競争優位となっている。後続のメンバー育成が課題。
技術開発	○	△	○	○	業界を越境して活用される技術開発が進んでいる。材料分野に関する研究環境も進化している。今後とも当社は研究環境を強化する。
資金調達	○	○	△	×	新たな資金調達につながる水準の技術や知見が不足している。材料学習以外に商品企画に強い人材またはパートナー探しが急務。
製造	○	○	△	△	業界内では低エネルギーの新しい製造スタイルであり競争優位性が高い。ただ模倣しようと思えば可能で、将来的には強みといづらい。
物流	○	×	×	△	材料調達は輸入に頼らない安心感がある。現時点で物流上の強みは重量低減まで。製品容積に対するコストダウン検討が急務。
企画	△	○	○	△	自社の企業姿勢が問われ、社会問題解決という企画訴求力は高い。しかし外部とのコラボレーションが少ないのが弱み。何を作るかで模倣困難性が変化。
販売	△	○	×	△	現状では技術、商品ともにジャンルが特化しており希少性が高い。顧客の先入観からプラ製品に対する価格競争力が乏しい。
サービス	○	○	×	×	リユースは勿論、他素材と分別しやすい製品構造にしリサイクルを促すだけでなく、万一投棄されても自然負荷が少ないことがアフターフォローといえる。

日用雑貨品へのCNF材料の応用

11

まとめ

① 豊かな国土と健康的な市民生活のためにプラスチック製品価値を向上

プラスチックが将来も凄まじい環境汚染であり続けるにもかかわらず、大勢の人の生存権と製品価格が高い安いの問題を並べ論じる現状がある。過去の環境プラに比べ、成型のしやすさ、製品の出来栄と耐久性、リサイクル性を備えるCNFバイオプラスチック材料の日用雑貨利用は現状打破への近道となる。

② CNFで強化されたバイオプラで石油由来従来品の代替商品を作る

自社オリジナル製品→製造委託品→競合製品→新企画製品のカテゴリ順に、現行の大気中CO2削減効果がない石油由来のプラスチック製品をバイオプラ化して展開していく。その過程で消費者価値が変化し、使用場面や廃棄状況によって現行プラ材料とバイオプラ、生分解性プラの使い分けが進むものとする。

③ CNFバイオプラについて統一材質表示・トレードマークを創る

食糧需給に無関係である純国産木質素材セルロースナノファイバーを利用したバイオプラスチック製品について、大企業だけでなく中小企業の製造する日用雑貨であっても意義や価値が正しくお客様へ伝わるように、CNF協力各社と統一材質表示やトレードマークを創り普及させることを希望する。

日用雑貨品へのCNF材料の応用

12

CNF 強化バイオマスプラスチック
(地独) 京都市産業技術研究所
仙波 健氏

CNF強化バイオマスプラスチック

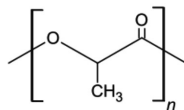
京都市産業技術研究所
高分子系チーム
仙波 健

発表内容

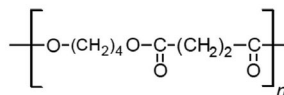
バイオプラスチック, CNFについて

検討バイオプラスチック

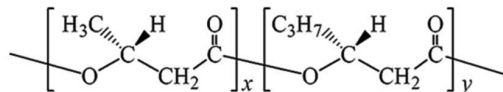
①ポリ乳酸 (PLA)



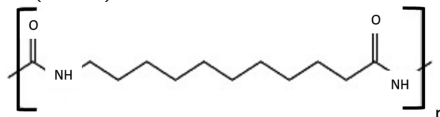
②ポリブチレンサクシネート (PBS)



③ポリヒドロキシブチレート-ヘキサノエート (PHBH)



④ポリアミド11 (PA11)



まとめ

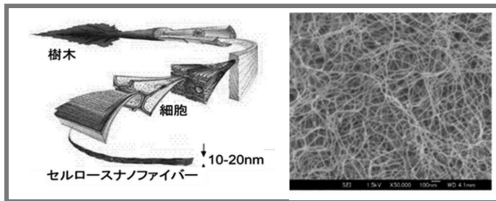
バイオプラスチックの分類

生分解性	① PLA ③ PHA系 (PHBH等)	② バイオPBS PBAT・PLAコンパウンド 澱粉ポリエステル樹脂 酢酸セルロース (シアセテート)	PVA, PGA PBS, PBSA PBAT PETS その他
	⑤ バイオPE ④ バイオPA11 バイオPA1010	バイオPET バイオPTT バイオPA610, 410, 510, 56 バイオPA1012, 10T バイオPA11T, MXD10 バイオPC バイオPU 芳香族ポリエステル バイオ不飽和ポリエステル バイオフェノール樹脂 バイオエポキシ樹脂 酢酸セルロース (トリアセテート)	PE PP PET PTT PVC PS ABS, PC, PBT POM, PMMA PPS, PA6, PA66 PU, フェノール樹脂 エポキシ樹脂 その他
非生分解性	バイオ由来	バイオ由来+化石由来	化石由来

PVA: ポリビニルアルコール, PGA: ポリグリコール酸, PBS: ポリアリレンサクシネート, PBSA: ポリアリレンサクシネート-co-アジペート, PBAT: ポリアリレンアジペートテレフタレート, PETS: ポリエチレンテレフタレートサクシネート, PE: ポリエチレン, PP: ポリプロピレン, PET: ポリエチレンテレフタレート, PTT: ポリトリメチレンテレフタレート, PVC: ポリ塩化ビニル, PS: ポリスチレン, ABS: アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン樹脂, PC: ポリカーボネート, PBT: ポリアリレンテレフタレート, POM: ポリアセチル, PMMA: ポリメタクリル酸メチル, PPS: ポリアリレンサルファイド, PA: ポリアミド, PU: ポリウレタン, PLA: ポリ乳酸, PHA: ポリヒドロキシアルカノエート, PHBH: 3-ヒドロキシヘキサン酸-3-ヒドロキシヘキサン酸共重合ポリエステル
日本バイオプラスチック協会

検討したバイオプラスチック

- ①PLA: 生分解性樹脂の代表格
透明,
硬く・脆い, 加工しにくい
低耐熱
コンポスト中ではよく分解
デンプン, 糖が原料
- ②PBS: 加工しやすい
柔軟, 低強度, 低耐熱
植物由来材料の使用開始
- ③PHBH: 数少ない海洋生分解性認証取得
加工しやすい
柔軟, 低強度, 低耐熱
微生物が生産 (100%植物由来)
- ④バイオPA11: 非分解性
良加工性,
非可食資源を原料
工業分野で採用実績多い
- ⑤バイオPE: バイオ由来の汎用樹脂
採用が進んでいる



プラスチックが直面している課題解決にCNFで貢献する。
2050年カーボンニュートラル, 海洋汚染対策など。

アセチル化セルロースの生分解性

プラスチック補強用アセチル化リグノ CNF の生分解性を確認
—環境配慮型の高強度プラスチック複合材料の開発に期待—

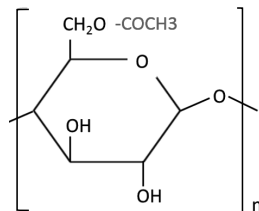
NEDOと産業技術総合研究所、京都大学は、プラスチック補強用機能性ナノ繊維として用いられるアセチル化リグノセルロースナノファイバー (CNF) において良好な生分解性を確認しました。今回の成果により、生分解性プラスチックをアセチル化リグノCNFで補強することによる、高強度の生分解性プラスチック複合材料の開発につながることが期待されます。

また、本技術の活用により、生分解性プラスチックの高強度化が実現し、用途が広がることで、最近注目されている海洋プラスチックごみなどの環境問題の解決にも貢献することが期待されます。

アセチル化リグノ CNF について、化学物質審査規制法で定められている生分解性試験を実施した結果、生分解度は89±4%という値が得られました。

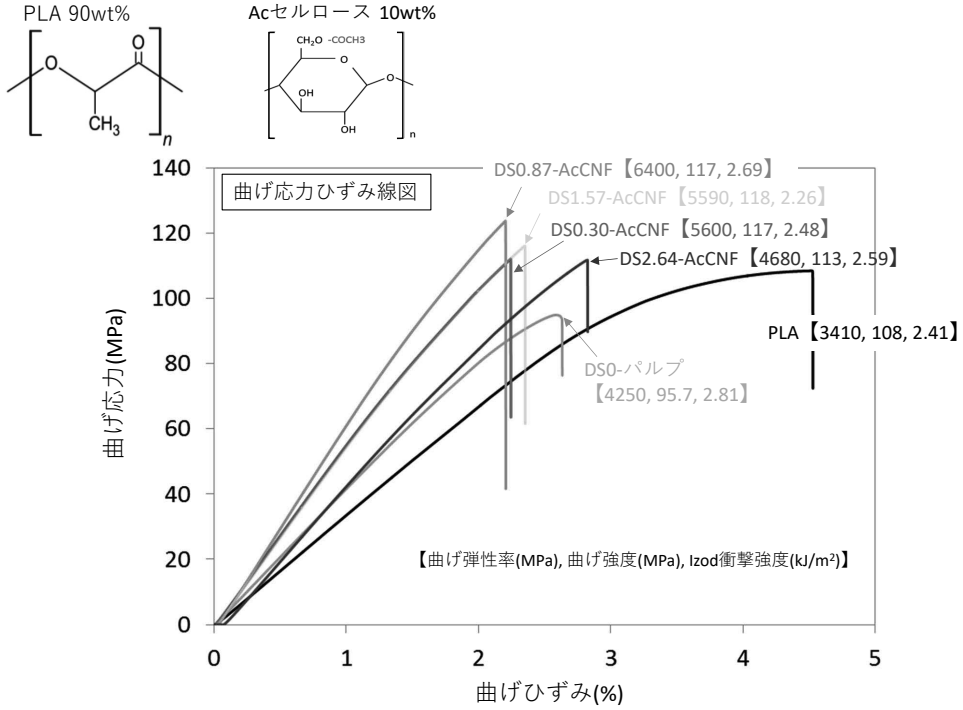
これは、被験物質を「良分解性」と判定する際の基準である60%よりも十分大きな値でした。このことから、アセチル化リグノ CNF は、一般環境中において容易に微生物による分解を受けるものであるといえます。

※活性汚泥 (30mg/L) と対象試料 (100mg/L) を入れた25±1°Cの培地における28日間の生物学的酸素要求量 (BOD) を測定。
※アセチル基の置換度 (DS) は、プラスチックとの十分な混合と強度補強を行うことが可能な値 (DS=0.69)

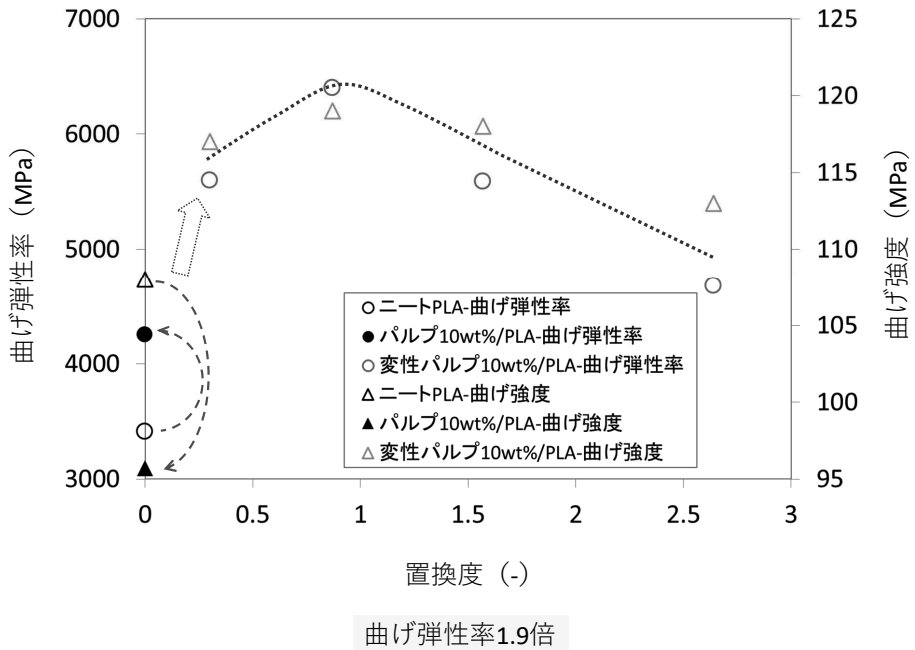


2019年8月8日リリースNEDOホームページより
https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101173.html

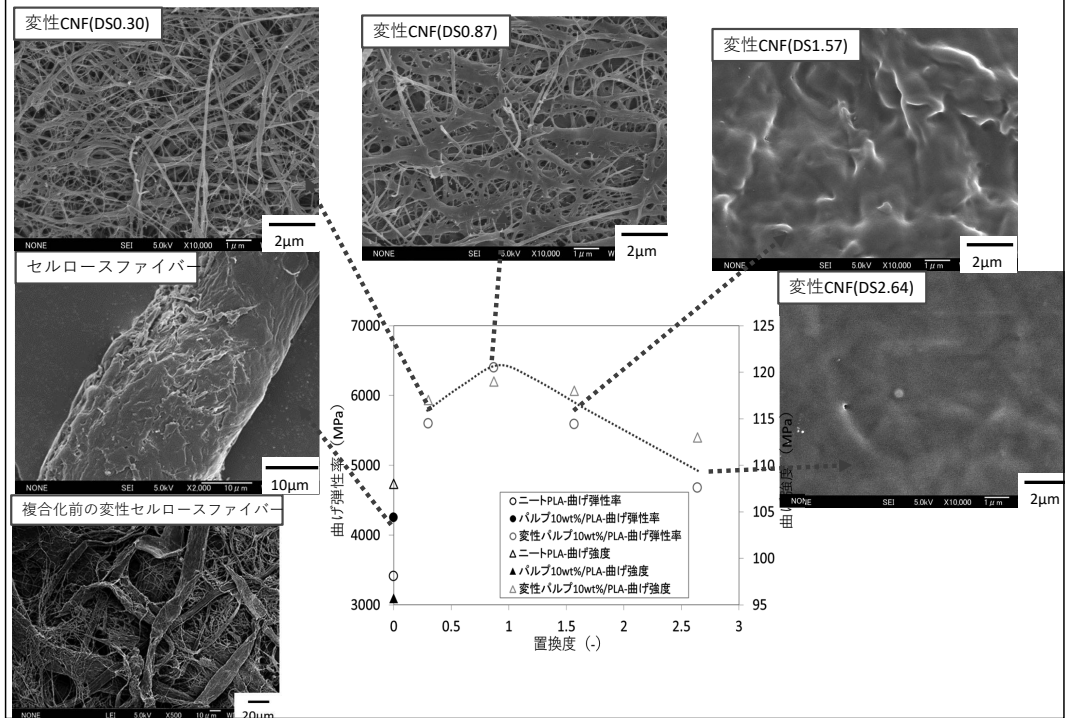
①CNF/ポリ乳酸 (PLA) 複合材料の特性—曲げ応力ひずみ線図



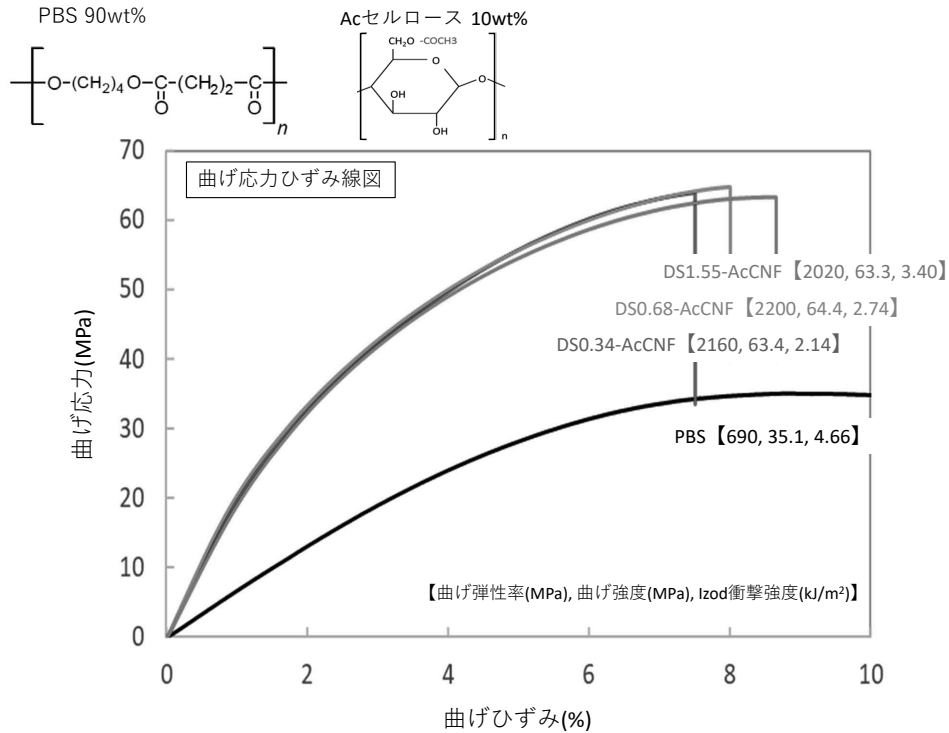
①CNF/PLA複合材料の特性—曲げ特性まとめ



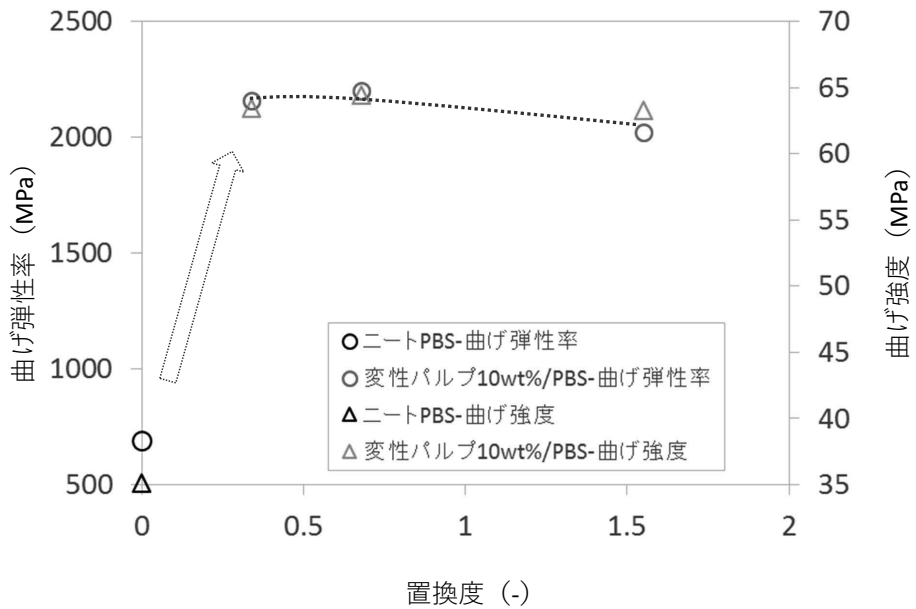
①CNF/PLA複合材料の特性—観察



②CNF/ポリブチレンサクシネート (PBS) 複合材料の特性—曲げ応力ひずみ線図

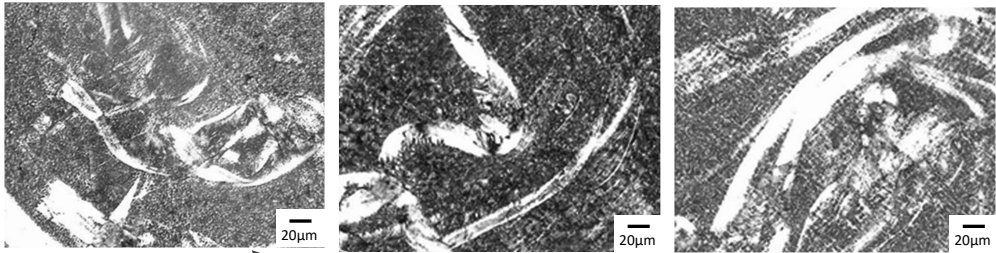


②CNF/PBS複合材料の特性—曲げ特性まとめ

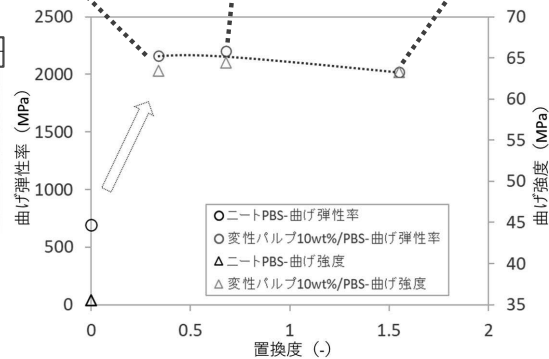
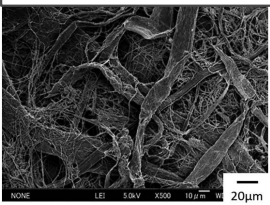


曲げ弾性率3.2倍, 曲げ強度1.8倍

②CNF/PBS複合材料の特性—観察

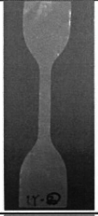

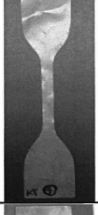
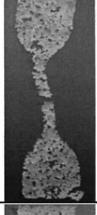
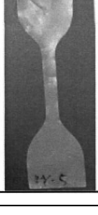



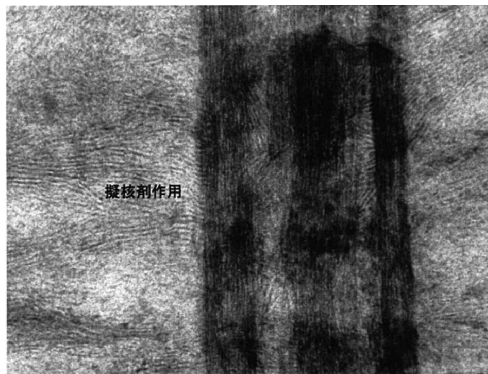
複合化前の変性セルロースファイバー



分散は不十分

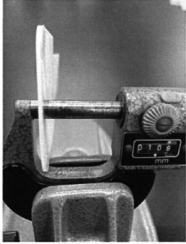
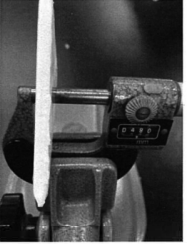

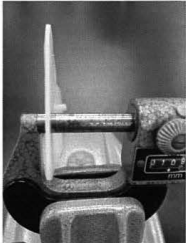

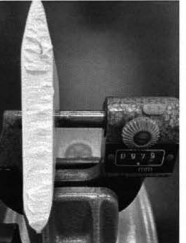
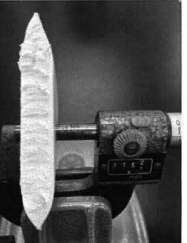
②CNF/PBS複合材料の特性－土壌分解性

	Before	After 1 week in compost	Weight loss
BioPBS 0% CNF			43%
BioPBS 0.1% CNF			35%
BioPBS 0.2% CNF			34%



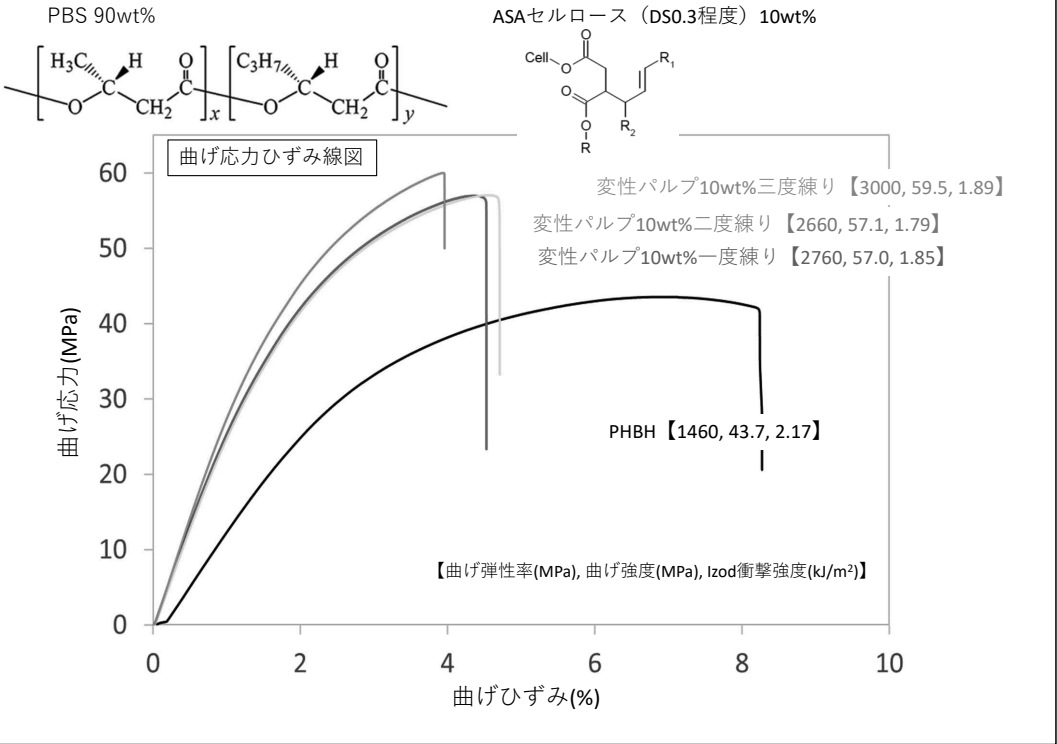
CNFの核剤作用によるPBSの結晶化上昇により、生分解速度が低下した可能性がある。
 →分解速度の制御の可能性

②CNF/PBS複合材料の特性－発泡成形

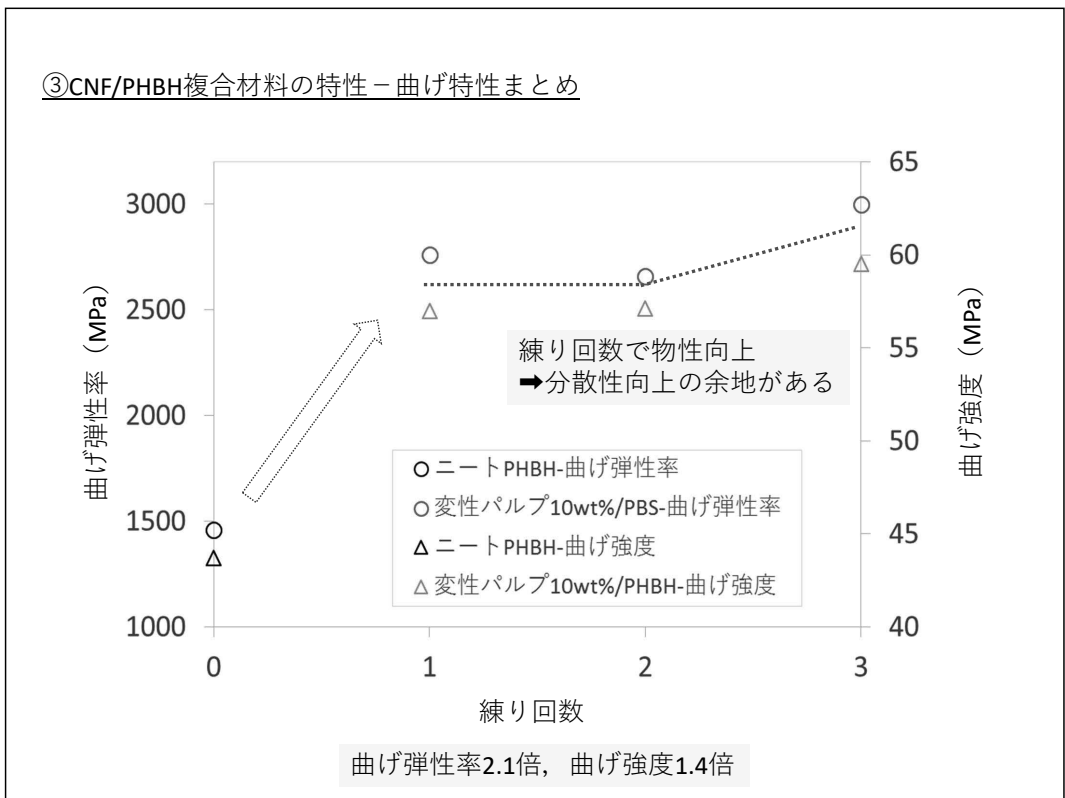
	MFR	1倍 (1 mm厚)	5倍 発泡	10倍 発泡	12倍 発泡
BioPBS 0% CNF	6.34				No data
BioPBS 2% CNF	3.03				

CNF2%の添加により、PBSの溶融張力が向上し、発泡倍率が12倍まで向上

③CNF/PHBH複合材料の特性 - 曲げ応力ひずみ線図

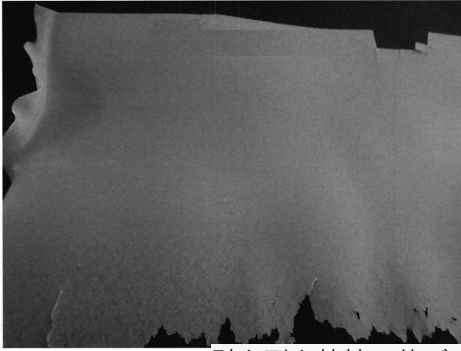


③CNF/PHBH複合材料の特性 - 曲げ特性まとめ

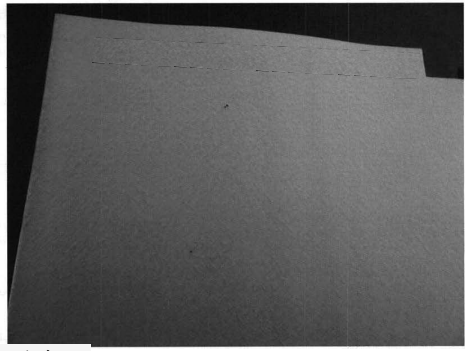


③CNF/PHBH複合材料－フィルム成形性

1度練り

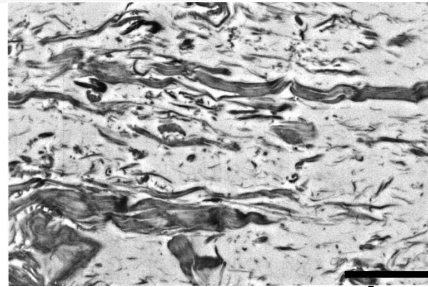


2度練り



引き裂き特性, 伸びは良くない
2度練りにより伸び改善

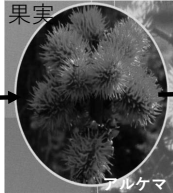
→分散性向上による



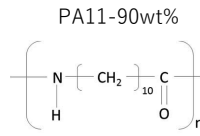
界面は良好

5µm

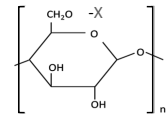
④CNF/PA11複合材料の特性－曲げ応力ひずみ線図



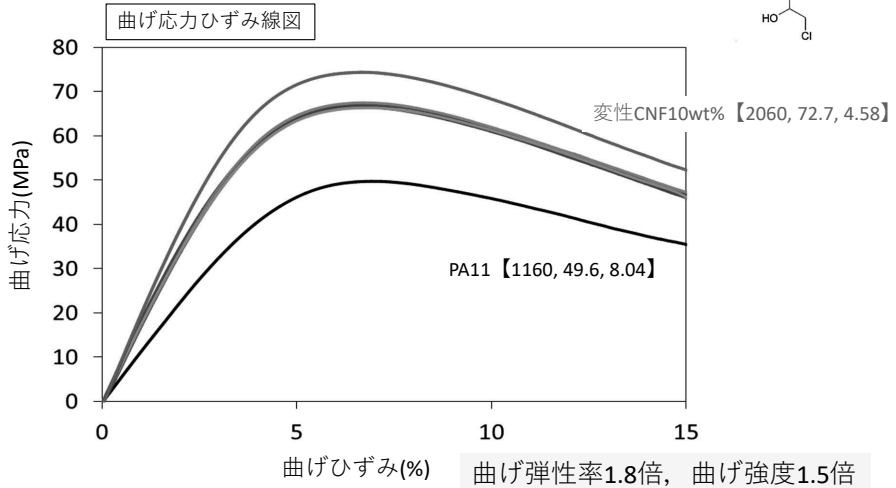
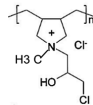
→ひまし油→11アミノウンデカン酸→ウンデカンラクタム→PA11



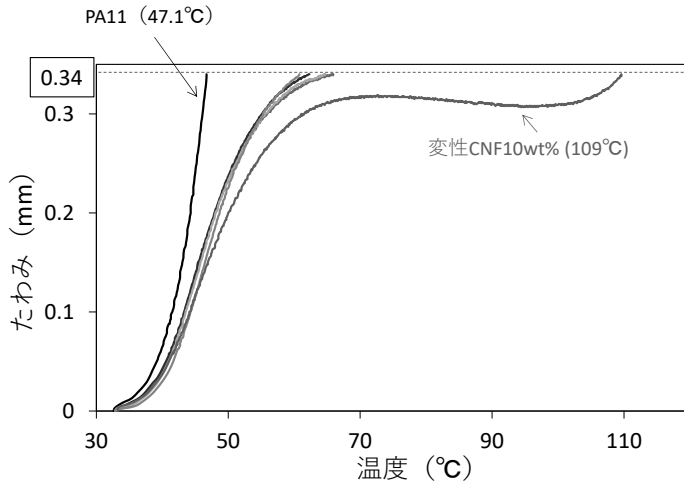
変性セルロース10wt%



X:カチオンポリマー



④CNF/PA11複合材料の特性－荷重たわみ温度



HDTが62°C向上→ファイバーネットワーク，界面接着

環境省、バイオプラスチック200万t導入へロードマップの検討をスタート

2020年05月28日掲載

環境ビジネスオンライン



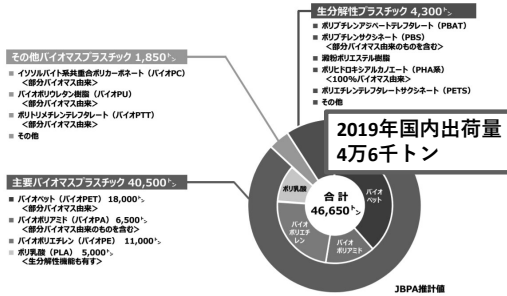
画像はイメージです

環境省は5月22日、バイオプラスチック導入ロードマップ検討会の第1回会合を開催した。2019年5月に策定した「プラスチック資源循環戦略」に掲げる「2030年までにバイオプラスチックを約200万トン導入」のマイルストーン達成へ、ロードマップ策定に向けた議論を進める。

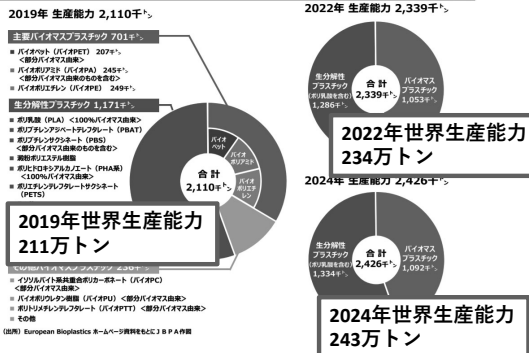
2030年までに200万トンのバイオプラスチックへの導入を目標に掲げている。

CNFによるバイオプラスチック導入の加速を目指す。

日本のバイオプラスチック出荷量推計(2019年)



世界のバイオプラスチック生産能力(2019年～)



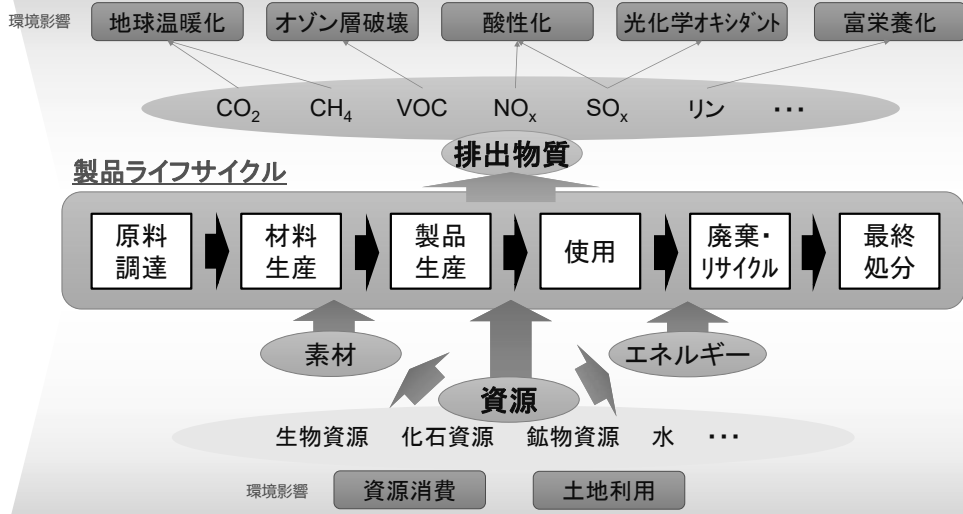
日本バイオプラスチック協会

ライフサイクル評価から考える
CNF 強化樹脂の脱炭素化

東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座

兼松 祐一郎氏

ライフサイクルアセスメント(LCA)



対象とする製品・サービスに関する資源の採掘から製造、使用、廃棄にいたるライフサイクル全体を考慮し、資源消費量や排出物量を計量するとともにその環境への影響を評価する手法

新興技術に対するLCA

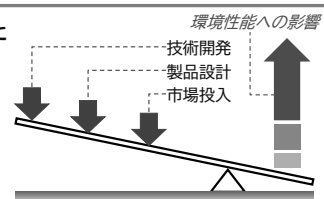
- CNFの製造技術は開発途上の新しい技術である
 - 工業スケールの製造プロセスは(ほとんど)存在しない
 - 初期段階の設計こそが環境性能に大きく影響しうる

LCAは元来、既に浸透・成熟した技術や製品に適用されてきた

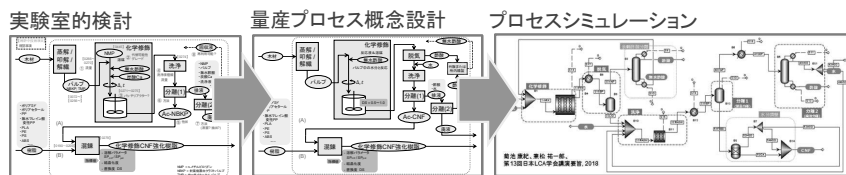
➢ **新興技術のLCAにおける挑戦的課題**

1. 比較対象の設定
2. データ入手可能性
3. スケールアップの影響
4. 外部要因の不確実性

Moni SM et al., *J Ind Ecol* 2020;24:52-63 に基づき著者編

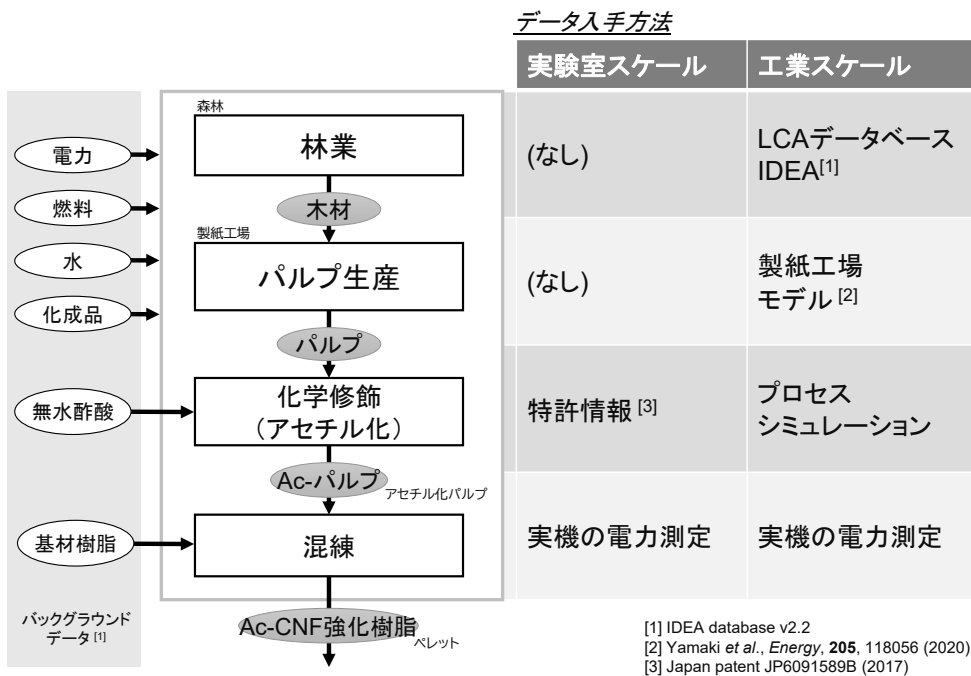


【方針】技術発展やスケールアップを考慮した分析に基づくLCAを実施
 → プロセスシミュレーションを駆使したインベントリデータ推算

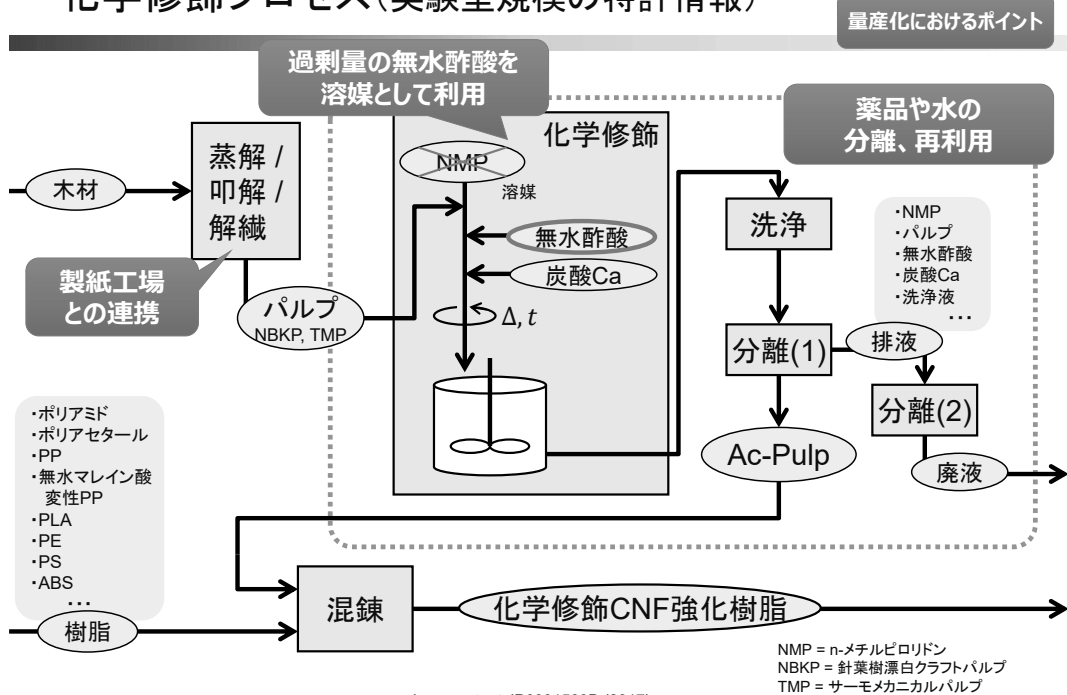


Y. Kikuchi, Y. Kanematsu, H. Yano, Submitted

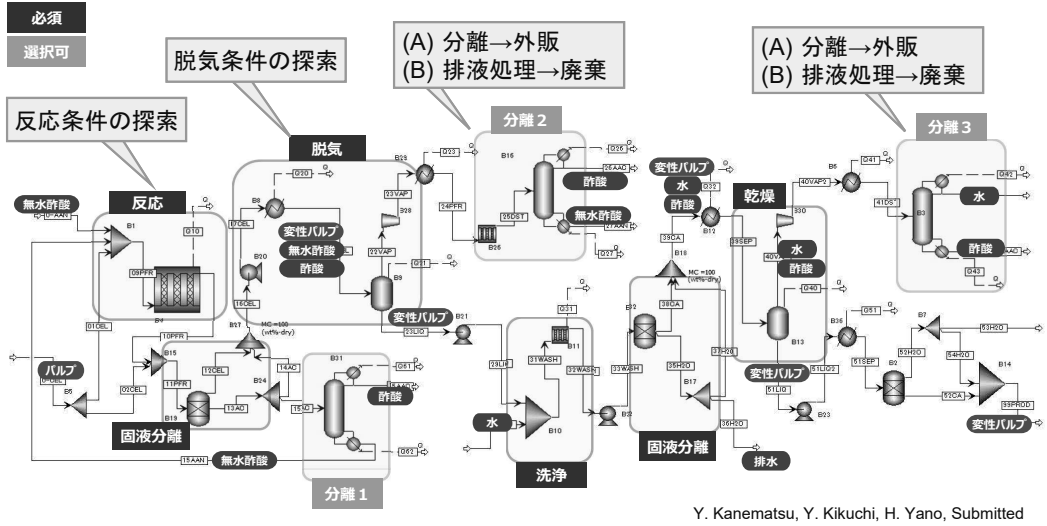
CNF強化樹脂製造プロセス



化学修飾プロセス (実験室規模の特許情報)



化学修飾プロセスのシミュレーション



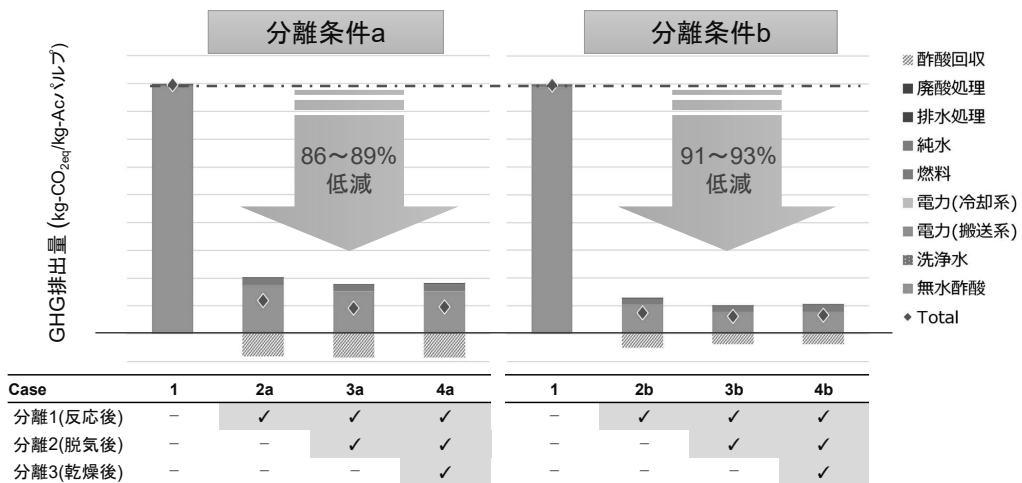
Y. Kanematsu, Y. Kikuchi, H. Yano, Submitted

プロセス条件およびプロセス構成の検討
→ Gate-to-Gate LCA による比較

化学修飾プロセスのGHG排出量

分離した酢酸は市販グレードまで精製可能
→ 外販によって新規生産を回避できると仮定

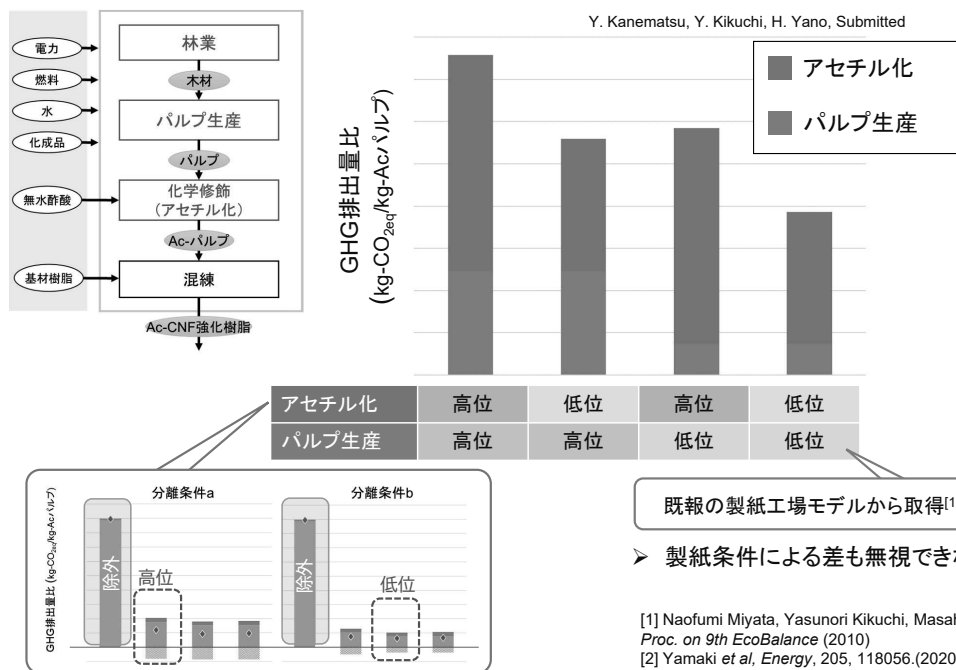
GHG: Greenhouse Gas (温室効果ガス)



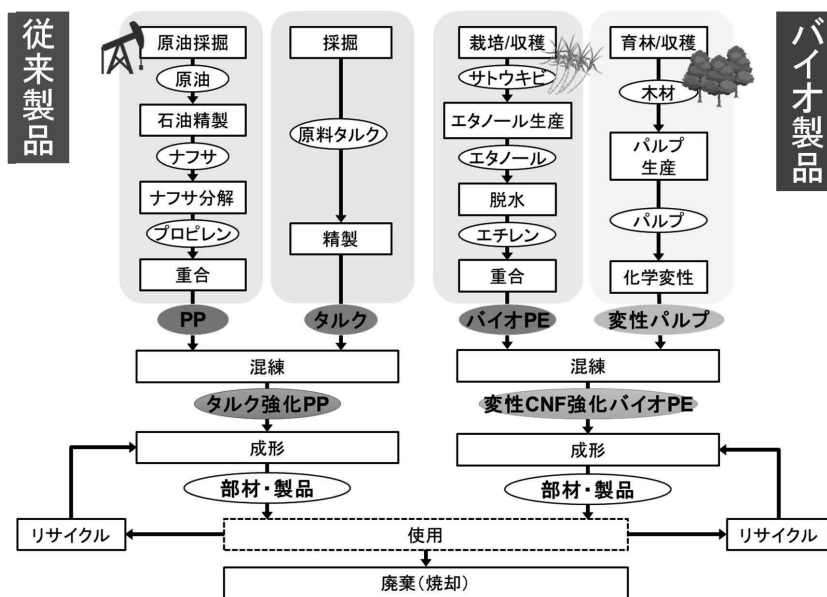
Y. Kanematsu, Y. Kikuchi, H. Yano, Submitted

- 反応器直後の溶液回収は必須
- 分離条件による差は大きくないが、無視できない

アセチル化パルプ製造のGHG排出量

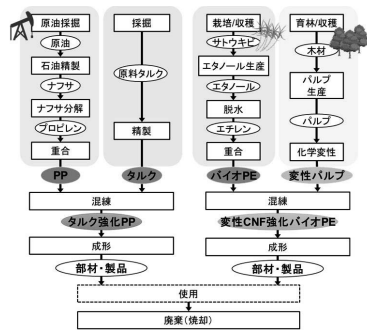


CNF強化バイオPEのライフサイクル (従来材=タルク強化PP との比較)

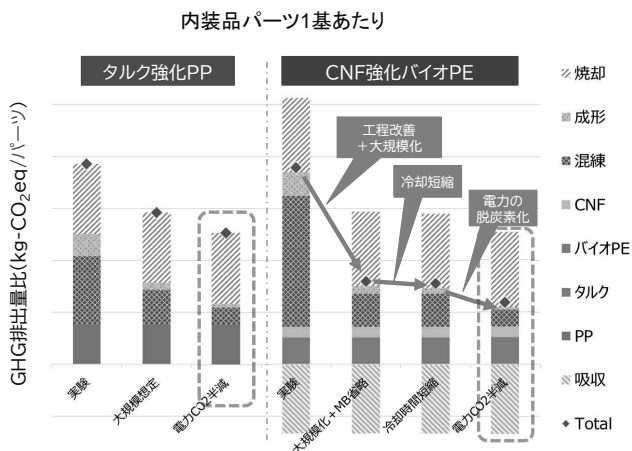


「環境省:令和元年度 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業 (京都プロセスで製造したアセチル化セルロースナノファイバー強化バイオPEの社会実装評価)」

自動車部品への適用時のLCA結果



混練・成形プロセスは
試作時の消費電力を測定

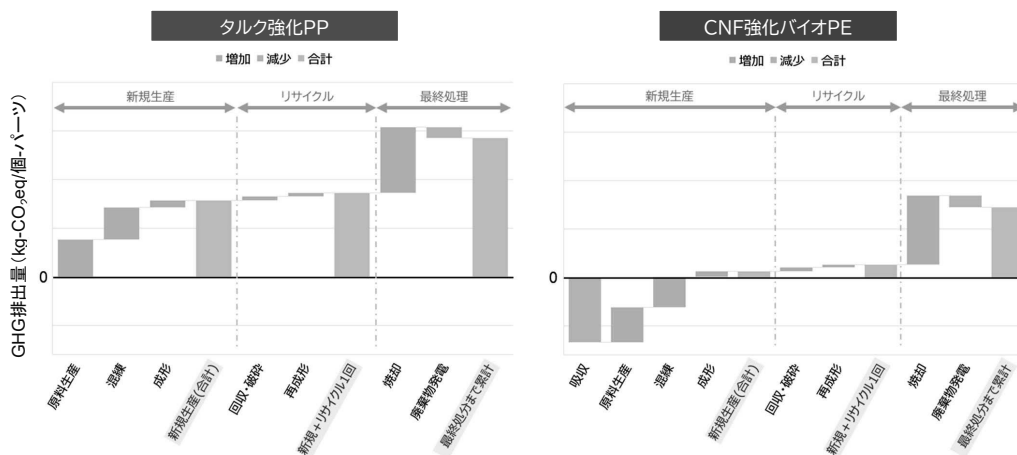


※アセチル化パルプには低位GHGの値を適用

- 植物原料の成長時のCO₂吸収効果は大きい
- 混練工程の大規模化(生産速度向上)も効果大
 - ・ ただし、パルプの解繊性を犠牲にしない範囲で
- 今後期待される電力の低炭素化によりさらに低減可能
 - ・ 再生可能エネルギーを調達するのも効果的

リサイクルを含めた時系列CO₂収支

自動車リサイクルシステムにおいて、パーツ単位での取り外し※が可能になったと仮定
※現行システムではほぼ実現していない



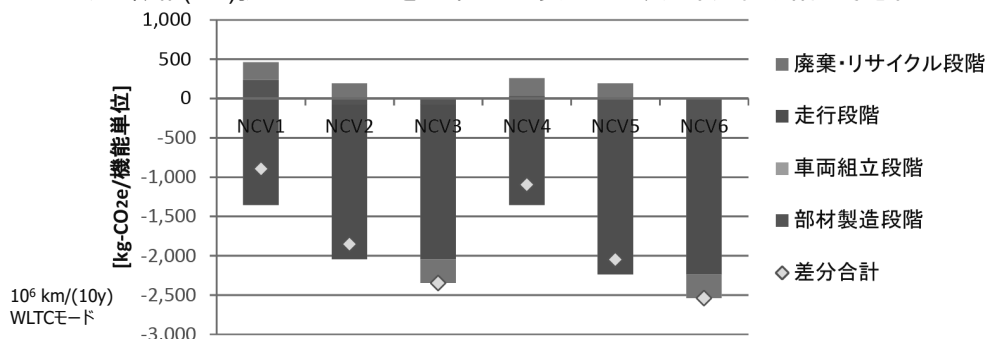
- リサイクル効果そのものはどちらのケースでも高い
- バイオ材料はリサイクルすると植物原料が吸収したCO₂を長期間固定できる
(特に自動車のように比較的寿命が長い製品において)

CNF強化ナイロン6の自動車への適用事例

(化石資源由来)

NCVプロジェクト成果

- ガラス繊維(GF)強化ナイロン6を基準とした変化量で表示。走行段階も考慮。



CNF材料負荷	高	高	高	低	低	低
二次的軽量化		✓	✓		✓	✓
材料リサイクル			✓			✓

http://www.env.go.jp/earth/mat49_kyoto-univH31.pdf

- 部材製造によるCO₂排出は少し増えるが、削減の余地あり
 ➤ 軽量化による走行段階のCO₂削減効果が大きい
 ➤ マテリアルリサイクルの可能性(GF強化材は物性低下するが、CNF強化材は物性を維持)

まとめ

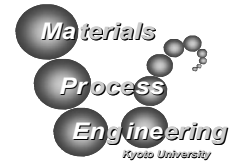
■ プロセスシミュレーションや現場調査に基づいて
 将来的な技術発展やスケールアップを考慮した
 CNF強化樹脂のLCAを実施

■ LCAから明らかになってきた脱炭素化へのポイント

- 化学修飾プロセスでは分離回収工程の充実化で無水酢酸を無駄なく使用することが重要
- バイオPEとCNFの組合せでは、植物原料の成長時CO₂吸収による寄与は大きく、リサイクルによって炭素固定期間も延長できる
 - パーツ単位の分離が可能なリサイクルシステムの構築が必要
- 混練プロセスの改善と低炭素電源の活用も効果大
- 化石由来プラとの組合せでは、製造由来CO₂は増える場合もあるが削減の余地はあり、軽量化できる場合には走行時CO₂削減に寄与
 → 基材樹脂や適用先によって脱炭素戦略は変わりうる。

本検討は「環境省：令和元年度、2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（京都プロセスで製造したアセチル化セルロースナノファイバー強化バイオPEの社会実装評価）」の成果を含みます

熱可塑性樹脂と CNF の
ナノコンポジットの成形性
— 発泡射出成形を事例として —
京都大学大学院工学研究科
大嶋 正裕氏



熱可塑性樹脂とCNFの ナノコンポジットの成形性と性能 —発泡射出成形を事例として—

京都大学大学院工学研究科
大嶋 正裕

1

本日の内容

- 熱可塑性樹脂（PP/PLA）にCNF（ASA変性）を添加して得られる効果
 - 増粘効果
 - 結晶化促進効果
- 発泡成形上のCNFのメリット
 - 気泡成長の抑制効果（気泡径の微細化）
 - 高倍率発泡の実現（連通性の向上）
- CNF複合樹脂発泡体の性能
 - 機械的強度
 - 断熱性
 - 吸油性
 - 吸音性
- まとめ

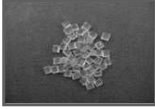
2

CNF / 熱可塑性樹脂 ナノコンポジット材料

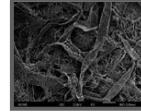
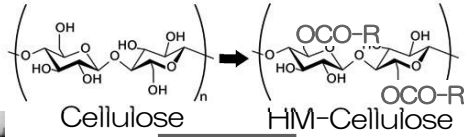
●ポリプロピレン(PP)
F133A (日本ポリプロ)

●ASA変性セルロースナノファイバー (CNF)
ASA : alkenyl succinic anhydride
(無水コハク酸)

●ポリ乳酸(PLA)
テラマック TP-4000
(ユニチカ)



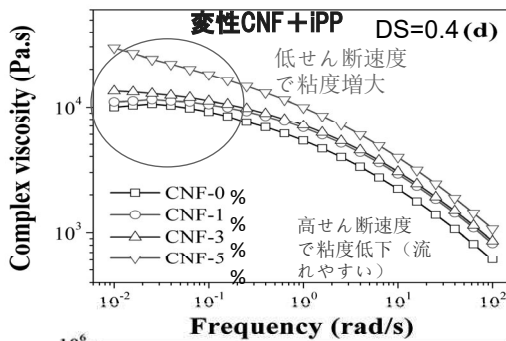
京都プロセス法



● iPP/ASA-CNF (17%) マスターバッチ
水酸基置換度 (DS) = 0.4, 0.2, 0 (星光PMC)

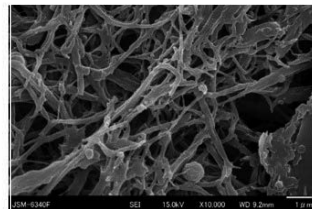
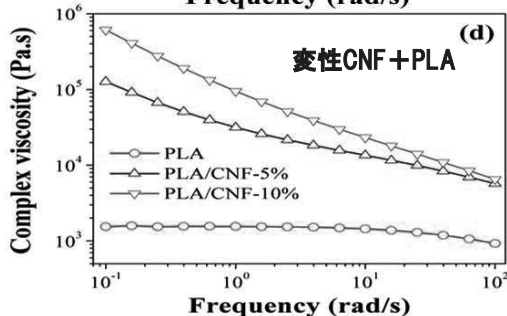
● PLA/Ac-CNF (10%) マスターバッチ化
水酸基置換度 (DS) = 0.7 (京都市産技研)

CNFの熱可塑樹脂への添加効果(その1 増粘)



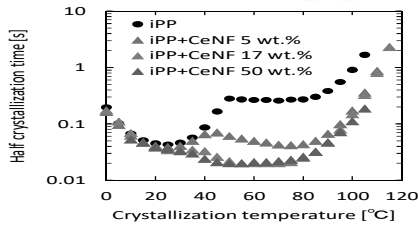
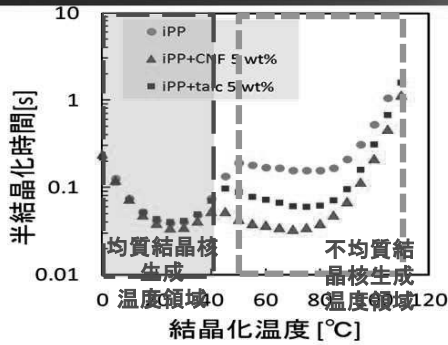
CNFの添加により増粘する。
特に低周波(低せん断で弾性が高くなる)

低せん断速度で粘度が上がる原因
(樹脂中でのネットワーク形成)



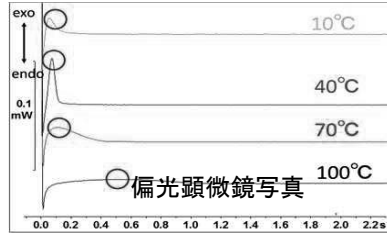
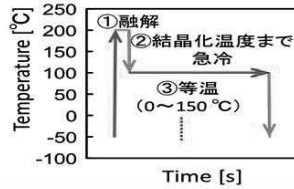
● ポリマー中でネットワーク構造を形成する

CNFの熱可塑樹脂への添加効果(その2 結晶化促進)



等温結晶化

- ・等温過程での結晶化を測定
- ・各温度で結晶化の始まる時間を測定



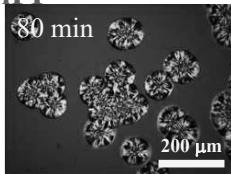
CNFは結晶化時間を不均質核生成温度領域で大幅に短くする
すなわち、変性CNFは、不均質結晶核生成を促進し、結晶を微細化する

5

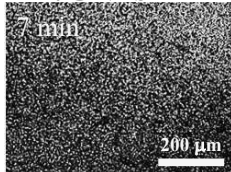
CNF (DS=0.4) 添加量とPP結晶性

CNFの結晶成長を阻害 CNFの添加量の増加にともない、結晶が微細化する。

iPP



PP/CNFs



isothermal crystallization at 135 °C

		PP	PP+CNF1%	PP+CNF5%	PP+CNF10%
Exposed time	0h				
	900h				
	2500h				

Figure 6. (Color online) Polarizing microscope images for pure PP and PP/CNF composites exposed to hot air at 100°C.

✓ 同様にCNFの添加量の増加に伴い、CNFの結晶成長の抑制効果が増し、結晶は微細化する。

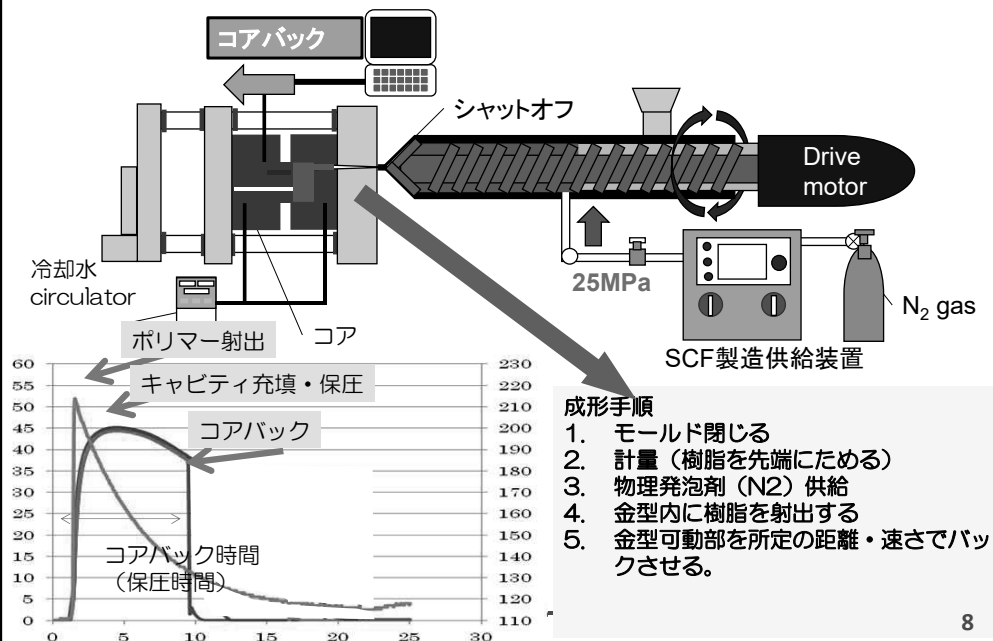
6

CNFの熱可塑性樹脂への効能

- 熱可塑性樹脂（PP/PLA）にCNF（ASA変性）を添加して得られる効果
 - 増粘効果：CNFの添加量・分散性に応じて増粘できる
 - 結晶化促進効果：異物として働き促進と微細化する
- 発泡成形上のCNFのメリット
 - 気泡成長の抑制効果（気泡径の微細化）
 - 高倍率発泡の実現（連通性の向上）
- CNF複合樹脂発泡体の性能
 - 機械的強度
 - 断熱性
 - 吸油性
 - 吸音性
- まとめ

7

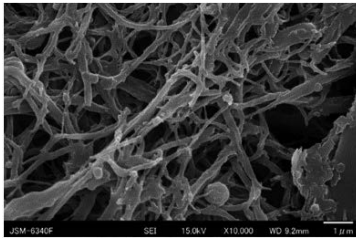
成形法：コアバック式射出発泡成形装置



8

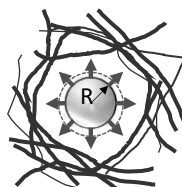
増粘効果と発泡成形(気泡の微細化効果)

- ポリマー中でネットワーク構造を形成することで低周波で粘度が上がる



$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \gg \dot{\gamma} \gg \text{大きい}$$

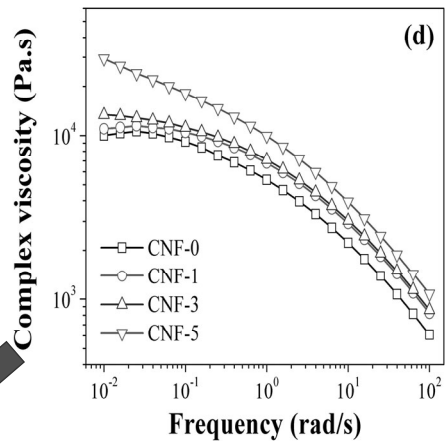
R (気泡半径)が小さいため



$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \ll \dot{\gamma} \ll \text{小さい}$$

R が大きいため

変性CNF + IPP



気泡が大きくなってきた低せん断での気泡成長の抑制が可能な樹脂となる

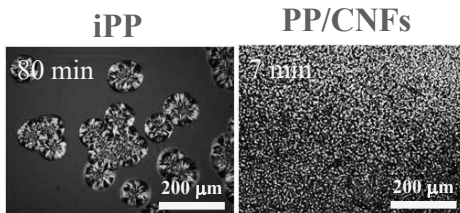
9

結晶化促進効果と発泡成形(気泡核剤としての機能)

結晶性ポリマーにとっては異物
(結晶核剤として機能)

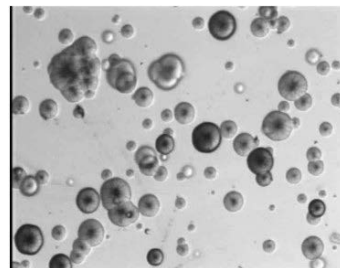
結晶核は発泡核剤となる

PLAの結晶の周りから気泡が発生する



isothermal crystallization at 135 °C

CNF添加は結晶を微細化する
結晶化を促進する

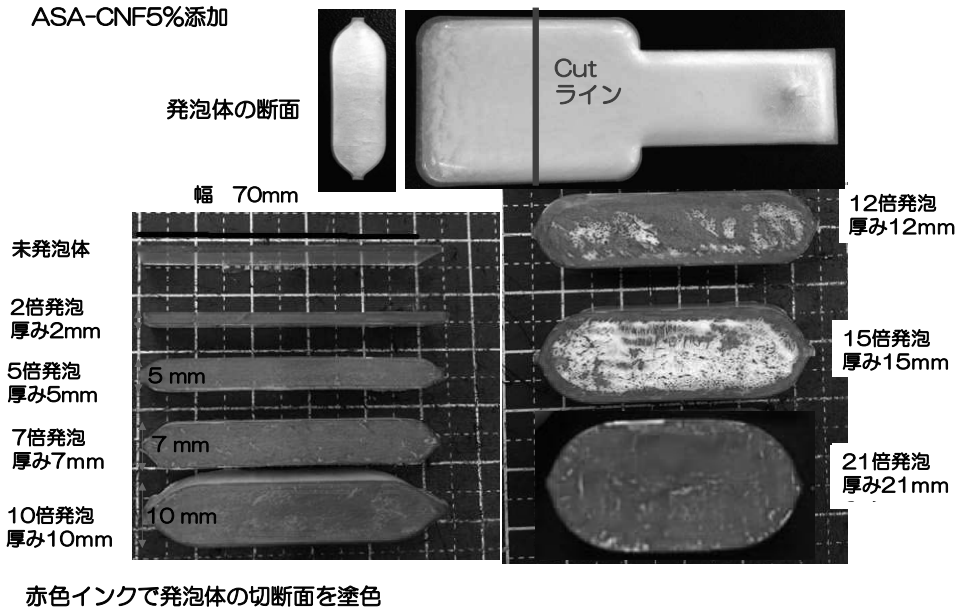


気泡核生成の促進
気泡数の増加・微細化

10

CNFでPP発泡体の高倍率化

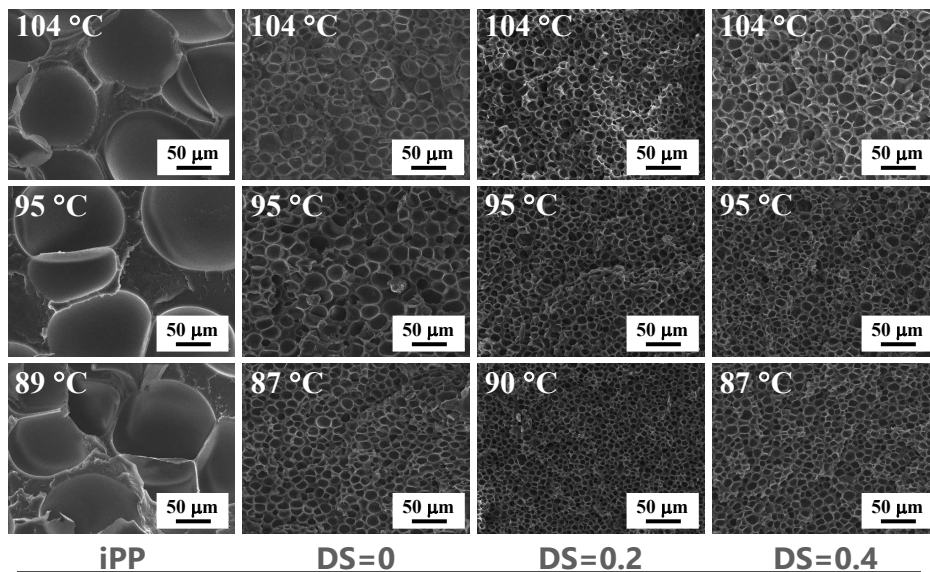
ASA-CNF5%添加



11

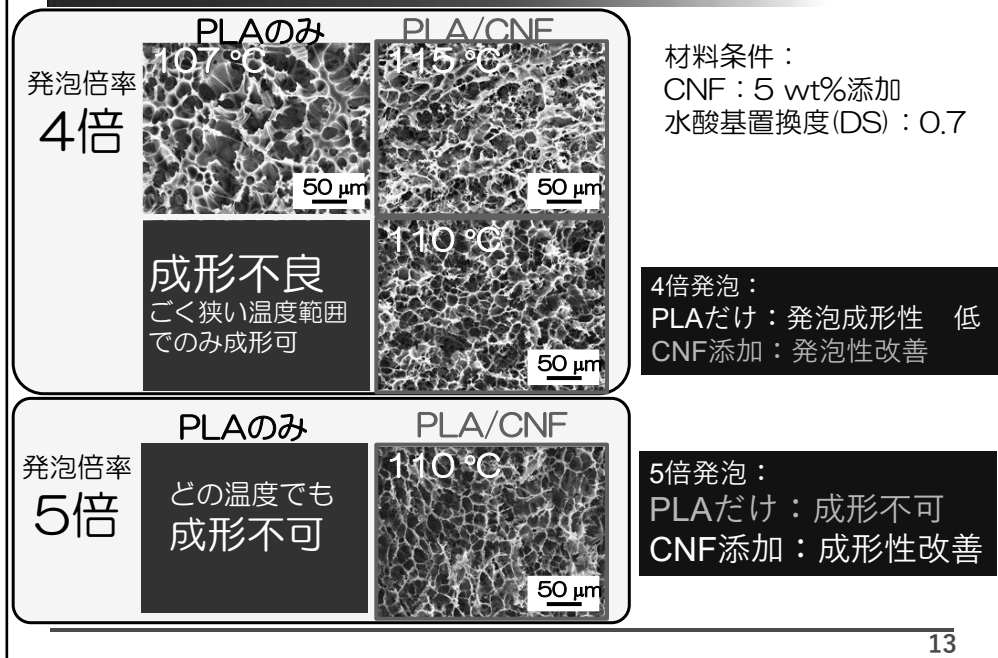
PP/CNFの2倍発泡の気泡構造(DS依存性)

発泡体断面SEM写真 (コバック垂直方法)



12

PLAもCNFで気泡は微細化・高発泡率が実現



13

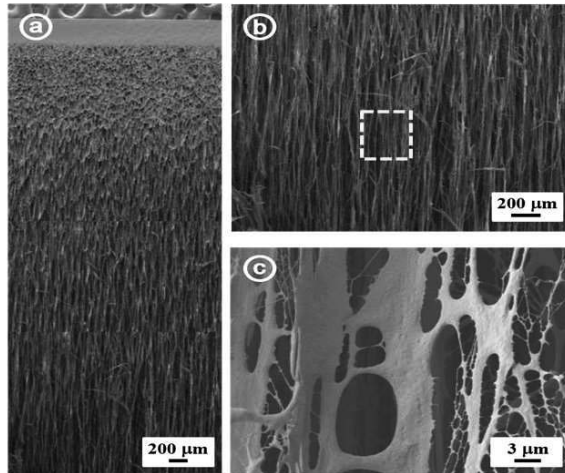
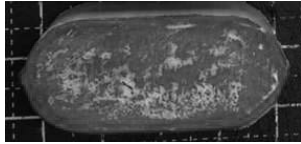
CNFの発泡成形（微細発泡体生産）への効能

- 熱可塑性樹脂（PP/PLA）にCNF（ASA変性）を添加して得られる効果
 - 増粘効果：CNFの添加量・分散性に応じて増粘できる
 - 結晶化促進効果：異物として働き促進と微細化する
- 発泡成形上のCNFのメリット
 - 増粘→気泡粗大化抑制→気泡微細化
 - 結晶の微細化と数の増大→気泡核数の増大→気泡微細化・数増大
 - 微細化・数増大→気泡壁の延伸性向上→高倍率発泡体の実現
- CNF複合樹脂発泡体の性能
 - 機械的強度
 - 断熱性
 - 吸油性
 - 吸音性
- まとめ

14

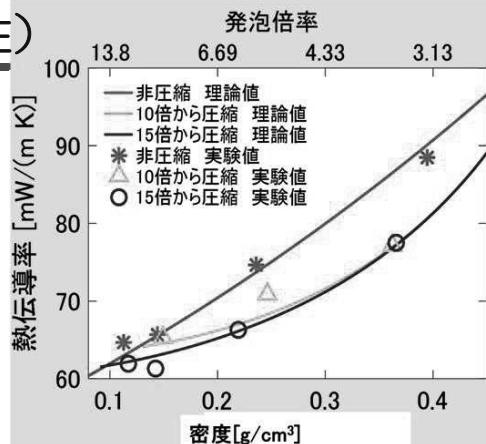
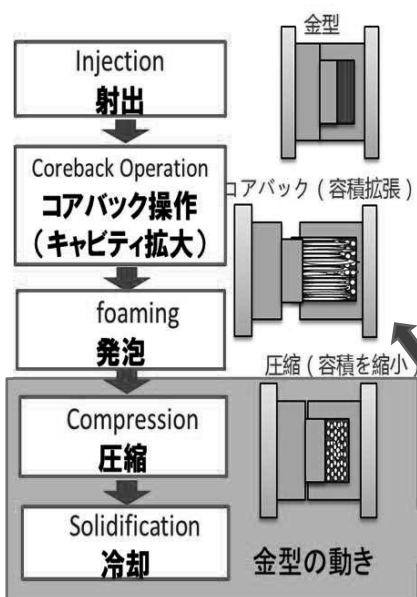
高倍率化できることにより連通構造化する

機能：吸音性・吸油性は向上／断熱性は構造の点から少し損をする



SEM micrographs for the (a) 18-fold PP/CNF nanocomposites foams viewed parallel to the core-back direction, (b) the core layer, and (c) is the magnified image of (b). The vertical direction is the core-back direction

発泡体の機能（断熱性）



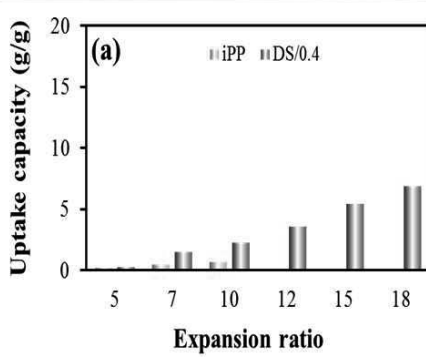
空隙率向上（密度低下）で断熱性の向上

高倍率発泡体（伝熱方向に繊維状構造が配向）

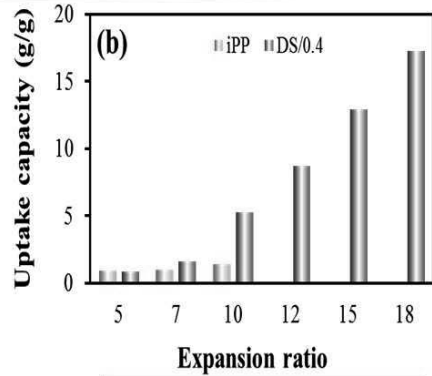
→ 熱が伝わりやすい構造（上図：赤）

繊維状構造の配向性を圧縮で変えて熱が伝わりにくくする（上図：緑と青）

発泡体の機能（油（有機溶剤）の吸収量）



Solvent: アセトン
Uptake time: 10 min



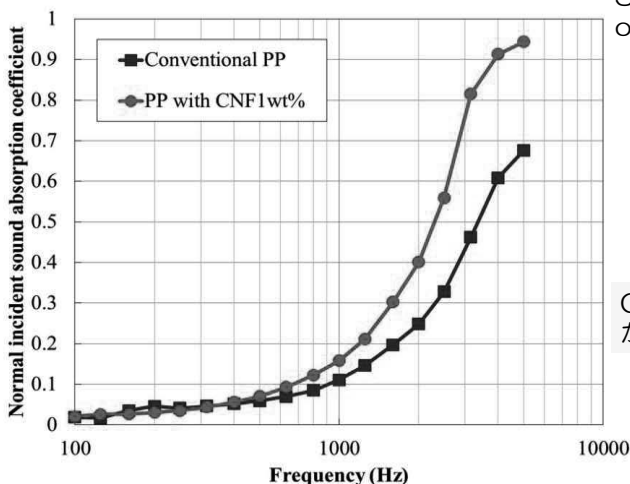
Solvent: クロロホルム
Uptake time: 10 min

- CNF の添加は、溶剤の吸収量を増す。
CNFの添加で高い発泡倍率のものほど孔の連通率（OCC）が増大しているため。

17

発泡体の機能（吸音特性）

Φ40 mm Acoustic impedance tube was used



Skin was removed from one side



CNFによって、吸音性が上がっている。6倍の発泡体

18

まとめ

- 熱可塑性樹脂 (PP/PLA) にCNF (ASA変性) を添加して得られる効果
 - 増粘効果 : CNFの添加量・分散性に応じて増粘する
 - 結晶化促進効果: 異物として、結晶生成の促進と微細化の働き
- 発泡成形上のCNFのメリット
 - 増粘→気泡粗大化抑制→気泡微細化
 - 結晶の微細化と数の増大→気泡核数の増大→気泡微細化・数増大
 - 微細化・数増大→気泡壁の延伸性向上→高倍率発泡体の実現
- CNF複合樹脂発泡体の性能
 - 機械的強度: CNFでヤング率は向上。DS依存性有
 - 断熱性: 高倍率にすれば、断熱性向上 (配向構造で損)
 - 吸油性: 高倍率で連通化することで機能向上
 - 吸音性: 高倍率で連通化することで機能向上

19

参考文献

- 1) Long Wang, Shota Ishihara, Yuta Hikima, Masahiro Ohshima, Takafumi Sekiguchi, Akihiro Sato, Hiroyuki Yano, "Unprecedented Development of Ultrahigh Expansion Injection Molded Polypropylene Foams by Introducing Hydrophobic-Modified Cellulose Nanofibers", Applied Materials & Interfaces, 9(11), pp.9250-9254, (2017)
- 2) Long Wang, Megumi Ando, Masaya Kubota, Shota Ishihara, Yuta Hikima, Masahiro Ohshima, Takafumi Sekiguchi, Akihiro Sato, Hiroyuki Yano, "Effects of Hydrophobic-Modified Cellulose Nanofibers (CNFs) on Cell Morphology and Mechanical Properties of High Void Fraction Polypropylene Nanocomposite Foams", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 98, 166-173(2017)
- 3) Long Wang; Yuta Hikima; Masahiro Ohshima; Takafumi Sekiguchi; Hiroyuki Yano, "Evolution of Cellular Morphologies and Crystalline Structures in High-Expansion Isotactic Polypropylene/Cellulose Nanofiber Nanocomposite Foams", RSC Advances, 8, 28, 15405-15416(2018)
- 4) Long Wang, Kiyomi Okada, Minami Sodenaga, Yuta Hikima, Masahiro Ohshima, Takafumi Sekiguchi, Hiroyuki Yano, "Effect of surface modification on the dispersion, rheological behavior, crystallization kinetics, and foaming ability of polypropylene/cellulose nanofiber nanocomposites", Composites Science and Technology, 168, 10, 412-419(2018)
- 5) Long Wang, Kiyomi Okada, Yuta Hikima, Masahiro Ohshima, Takafumi Sekiguchi, Hiroyuki Yano "Effect of cellulose nanofiber (CNF) surface treatment on cellular structures and mechanical properties of polypropylene/CNF nanocomposite foams via core-back foam injection molding", Polymers, 11, 2, 249-1-249-18(2019)

20

CNF 強化 PA6 を用いた 3 D プリンター 成形体の力学的特性とその応用

京大生生存圏研究所

奥平 有三氏

CNF強化PA6を用いた3Dプリンター成形体の力学的特性とその応用

京都大学 生存圏研究所

奥平 有三

2021年3月09日

1

1. 3Dプリンター成形 (Additive Manufacturing) の動向

1.1 3Dプリンター成形の用途の変化

(1) 試作品製作向け(ラピッドプロトタイピング)

形を見る、触る、確かめる時代から
実製品として使用できる新しい時代へ

3D成形機の低コスト化、成形速度の高速化、エンブラの使用による機械特性の向上

(2) 実部品・パーツの実部品製造向け

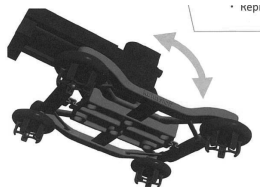
金型不要で、複雑な形状にも対応可(ハニカム構造、リップ付き構造など)、
且つ、形状変更が容易な3Dプリンター成形のニーズ拡大

(3) 鋳物型、樹脂金型への応用

(3Dプリンター成形実部品の例)



義足



ドローンのボディ



ファン



継ぎ手(航空機部品)

射出成形用型

(ラピッドプロトタイピングの例)



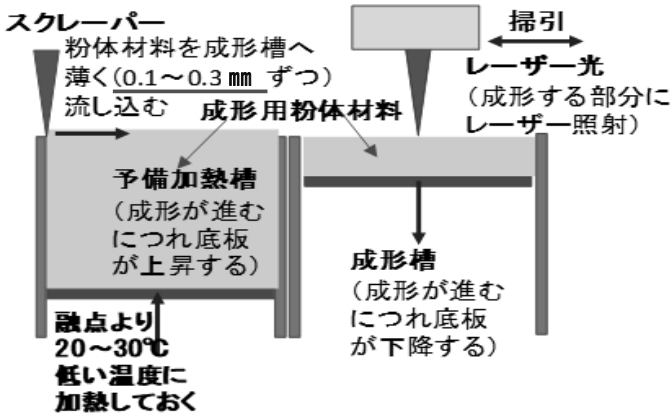
インテークマニフォールド
(自動車エンジンの吸気管)

2

2. 粉体床溶融結合法による成形装置、および使用した材料

2.1 PBF(Powder Bed Fusion) Manufacturing

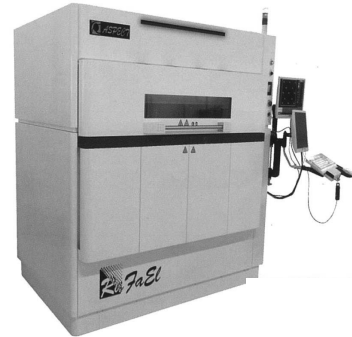
SLS(Selective Laser Sintering) Manufacturing



レーザー照射により材料の温度を融点以上に高め、溶融させる。レーザーをスキャンした後すぐに粉体層を積層し、成形する部位にレーザーを照射する。この操作を繰り返し、成形を行う。

材料の融点の近傍温度と再結晶温度の間で成形プロセスを行う

PBF装置(3Dプリンター成形)



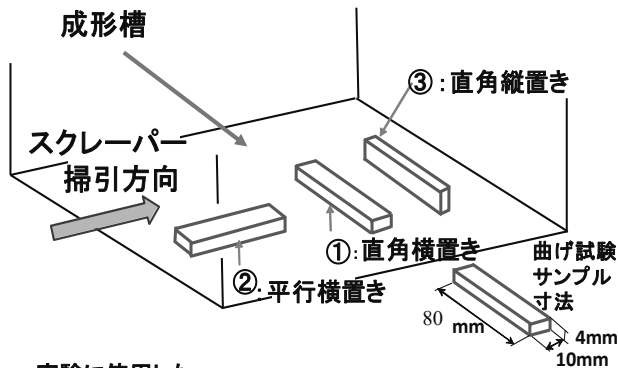
	ワークサイズ (mm)	レーザー出力	走査速度
小型機	135 × 135 × 200	60W	5 m/sec
中型機	300 × 300 × 440	60w、100W	15m/sec
大型機	550 × 550 × 540	100W	15m/sec

株式会社アスペクト製のPBF装置をレンタル使用

小型機は 物性試験用のサンプル成形に利用、中型機は部品の成形に利用。

3

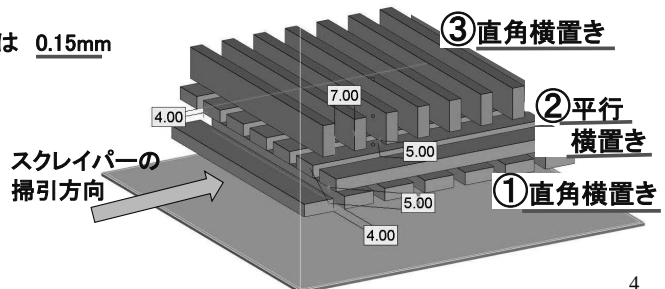
2.2 成形槽内の設置異方性の評価



実験に使用した成形槽のサイズ:
15 × 15cm × 深さ20cm

今回の試作について: 粉体層の積層厚は 0.15mm

設置①②③の試験サンプルを各7本(合計21本)を一度に成形



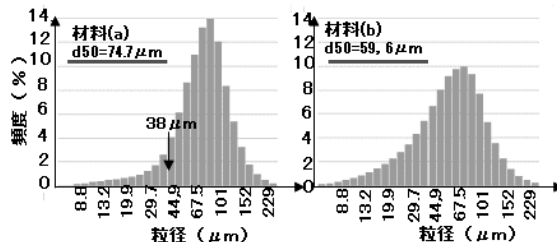
4

2.3 成形実験に使用したPA6/CNF複合粉体材料の特性

7種類の複合粉体材料
CNFの含有率 2.5%~15%

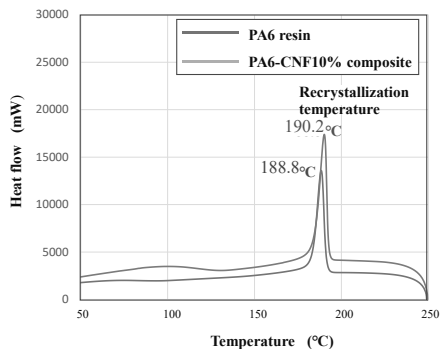
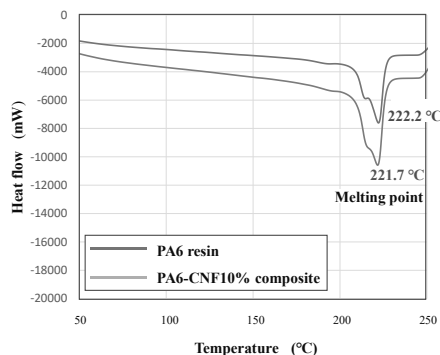
粉体材料の粒度分布

実験材料	樹脂-CNF 複合材料の構成	平均粒径 d50 (μm)
材料(a)	PA6 (ニート)	74.7
材料(b)	PA6-CNF2.5%	60
材料(c)	PA6-CNF5%	59.6
材料(d)	PA6-CNF7.5%	60.7
材料(e)	PA6-CNF10%	60.3
材料(f)	PA6-CNF12.5%	58.8
材料(g)	PA6-CNF15%	57.8



材料の示差走査熱量(DSC)測定

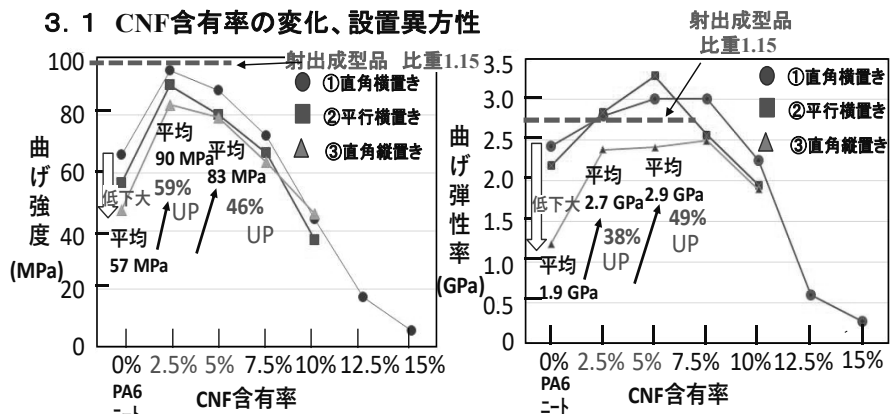
融点と再結晶温度の差が大きいほど PBF法に適している。
最低30°C以上が望ましい。



5

3. 3D成形品の曲げ弾性率、曲げ強度

3.1 CNF含有率の変化、設置異方性



CNF含有率	0	2.5%	5%	7.5%	10%	12.5%	15%
比重	1.01	1.04	1.04	1.01	0.88	0.70	0.54
空隙率	12%	10%	11%	14%	26%	41%	55%

CNF含有率	0	2.5%	5%	7.5%	10%	12.5%	15%
比重	1.01	1.04	1.04	1.01	0.88	0.70	0.54
空隙率	12%	10%	11%	14%	26%	41%	55%

曲げ強度、曲げ弾性率の
計測結果 まとめ

1. 曲げ弾性率、曲げ強度ともCNFの含有率2.5%~5%で最大となる
2. PA6ニートに比べて
強度で46~59%、弾性率で38~49% 向上。
3. CNFを複合することによりPA6ニートの射出成型品の
強度 (103MPa)、弾性率 (2.53GPa)とほぼ同等かそれ以上の物性を発現
4. CNF複合により強度、弾性率の設置異方性が小さくなる

6

3. 2 CNFの含有率が5%を超えると機械特性が低下する理由

生産機実機により生産した PA6-CNF複合ペレットを用いた射出成形品の機械特性 (2019年7月生産。膨潤剤使用せず)

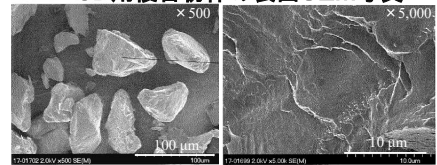
	PA6(ニート)	PA6-CNF5%	PA6-CNF10%	PA6-CNF15%
CNF製造	U社	A社		
マスターバッチ製造		A社		
種家コンパウンド		H社	U社	
曲げ強度 (MPa)	103	120	142	162
曲げ弾性率 (GPa)	2.53	3.28	4.05	5.28
引張強度 (MPa)	49.2	82.2	94.8	114
引張弾性率 (GPa)	2.68	3.29	4.13	5.5
MFR (g/10min.)	18	13	8.8	1.3

CNFの含有率が高くなるに従い、個々の粉体粒子の曲げ強度、曲げ弾性率は向上する。

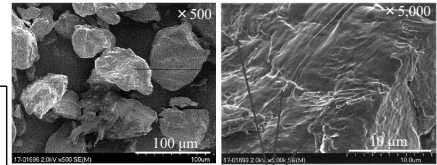
逆に、CNFの含有率が高くなるに従い、粉体粒子の表面にCNFが多く存在するようになり、粉体粒子間の凝固結合力は大きく低下する(右図)。

従って PBF法による成形体の機械特性は CNFの含有率が5%を超えると 低下していくと推測される。

3D用複合粉体の表面SEM写真

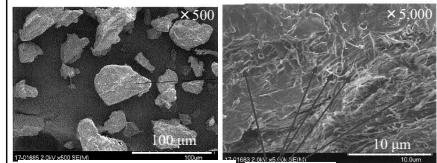


PA6 (ニート)



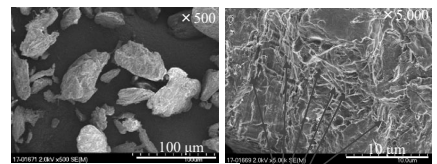
PA6-CNF5%

CNF



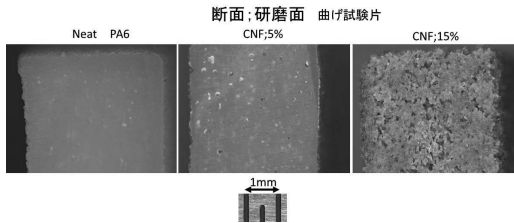
PA6-CNF10%

CNF

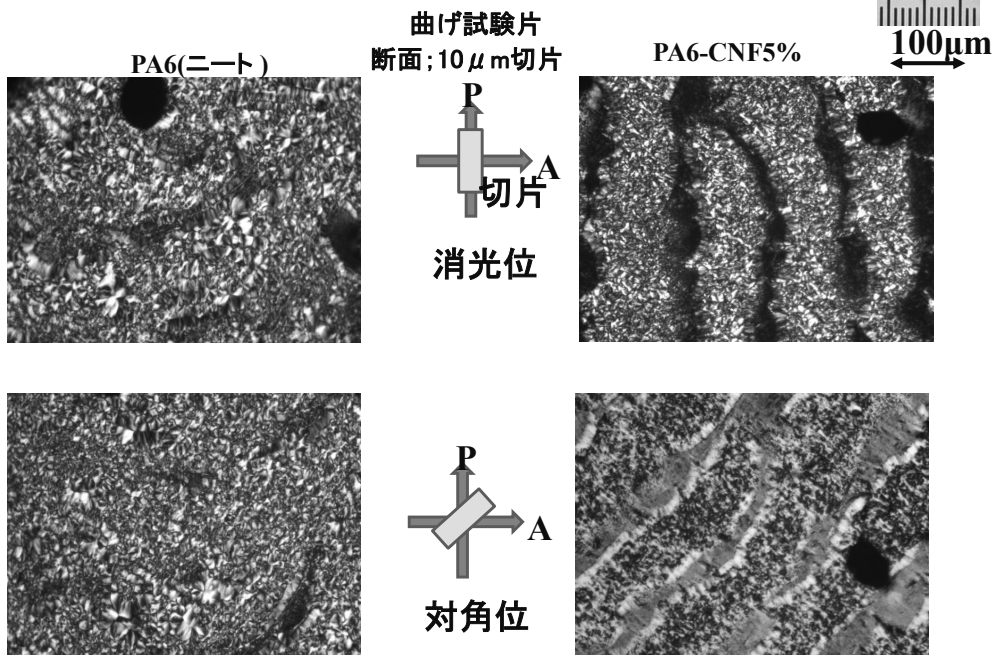


PA6-CNF15%

CNF



3. 3 3D成形体 (PA6ニート、PA6-CNF5%)の顕微鏡による断面観察

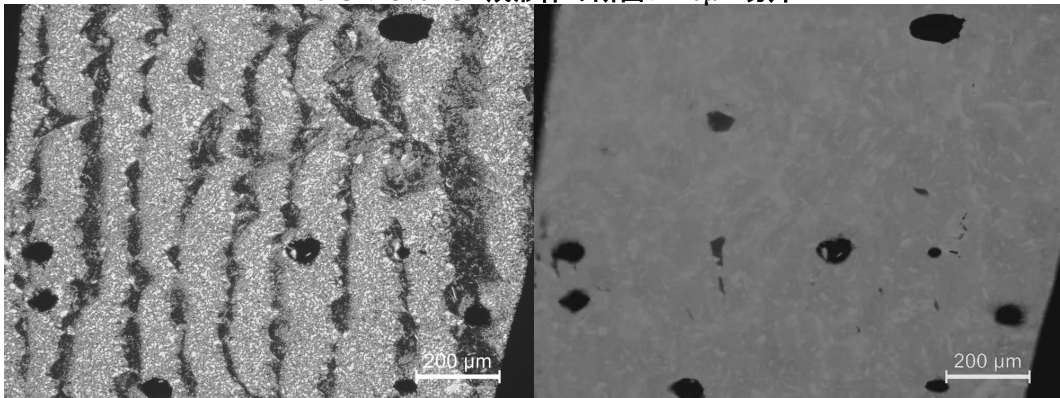


PA6-CNF5%のみ、150μm毎に結晶配向層が現れている。

PA6(ニート)の場合は 結晶配向層はない。

3. 4 PA6-CNF5% を使用した 3D成形体の断面観察

PA6-CNF5% 3D成形体の断面：10μm切片



同一視野における、偏光顕微鏡と蛍光顕微鏡の写真

蛍光顕微鏡によるCNFの分散形態は、
偏光顕微鏡による結晶構造の違いとは無関係

注) 蛍光顕微鏡で全体光っているのは、PA分子骨格由来である。

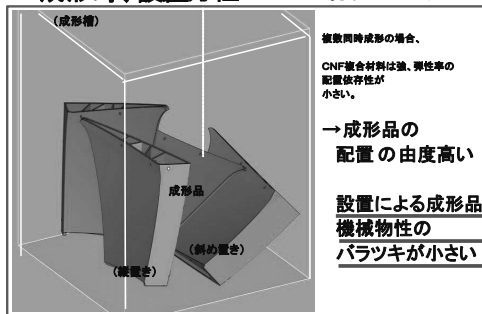
CNFの分散と 結晶配向層により PA6-CNF5% 3D成形体の強度が向上と 推定

9

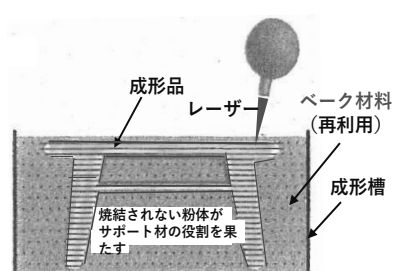
4. PA6-CNF 複合粉体材料の特徴(PBF法材料として)

- ・成形品：軽量（比重約1.0） 現行材料による成形品の比重1.4~1.5
- ・成形品の品質ばらつきが小さい
- ・成形槽内での配置異方性が小さく配置の自由度が大きい。
→複数の成形体を自由に配置でき、成形時間の短縮可。
- ・ベーク材料（成形時の残り材料）が使いやすい
- ・成形品のリサイクルが容易。

* 成形時、設置方向性のない場合のメリット



* ベーク材料の利用が容易

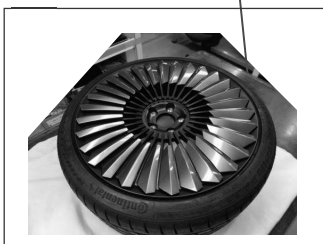
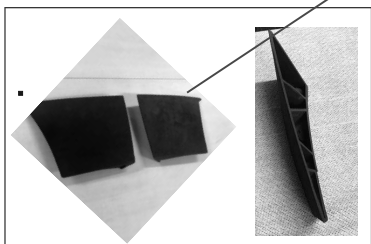


10

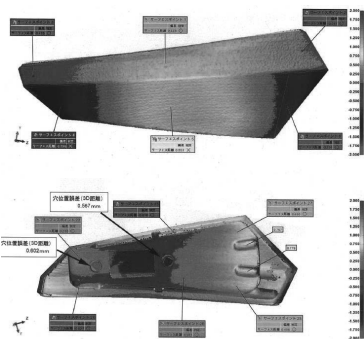
5. PA6-CNF複合材料を用いた3D成形体の応用

5.1 PA6-CNF複合粉体材料による自動車部材の3D成形(環境省NCVプロジェクト)

- ・バンパーフィン(フロント両サイド)
- ・ホイールフィン (30個×4=120個)



経時的な寸法の変化の評価
ネジの取り付け強度の評価



塗装性の評価

現行の塗装法が適用可能

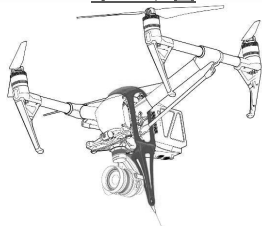
11

5.2 ドローン用アタッチメントへの応用 (環境省NCMプロジェクト)

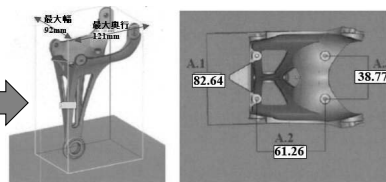
使用した材料

- ・PA6-CNF3% 粉体材料
- ・平均粒径 65 μ m (106 μ m以上カット。微粉20~30 μ m以下カットせず)

イメージ図



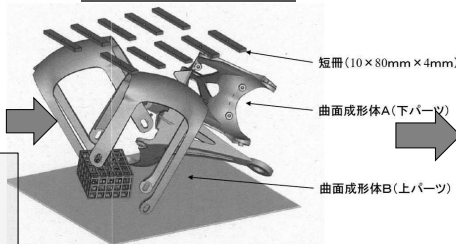
3D用CAD図面作成



環境省NCMプロジェクトにて

立体造形品製造会社
FES(株)(京都市)が試作
(右図は試作の流れ)

3D成形槽内 配置図



3D成形品



応用展開

- ・ドローンの空気抵抗低減アタッチメント
- ・雨よけフード
- ・センサー取り付け治具
- ・ドローン本体 など

塗装



ドローン本体に取り付け



(軽量、高強度部品)

- ・機械部品
- ・医療器具部品
- ・ファン など

12

100% CNF 材料の開発と応用事例の紹介

利昌工業(株)

奥村 浩史氏

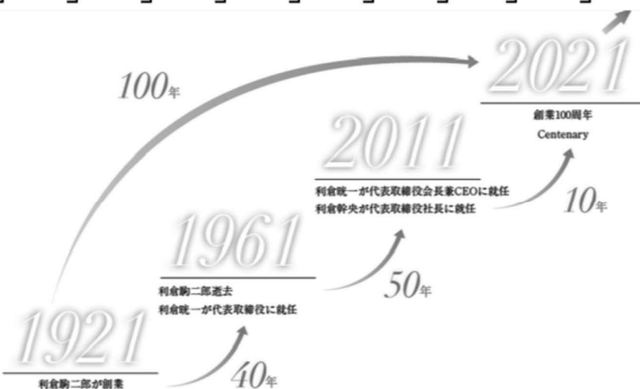
100%-CNF材料の開発と 応用事例紹介

開発本部 先進材料開発室
奥村 浩史



利昌工業株式会社
RISHO KOGYO CO., LTD.

1. 会社紹介



- ☆創 業
1921年10月
- ☆資本金
4億5千万円
- ☆従業員
690名
- ☆主な事業内容
電子材料
電気絶縁材料
重電機器



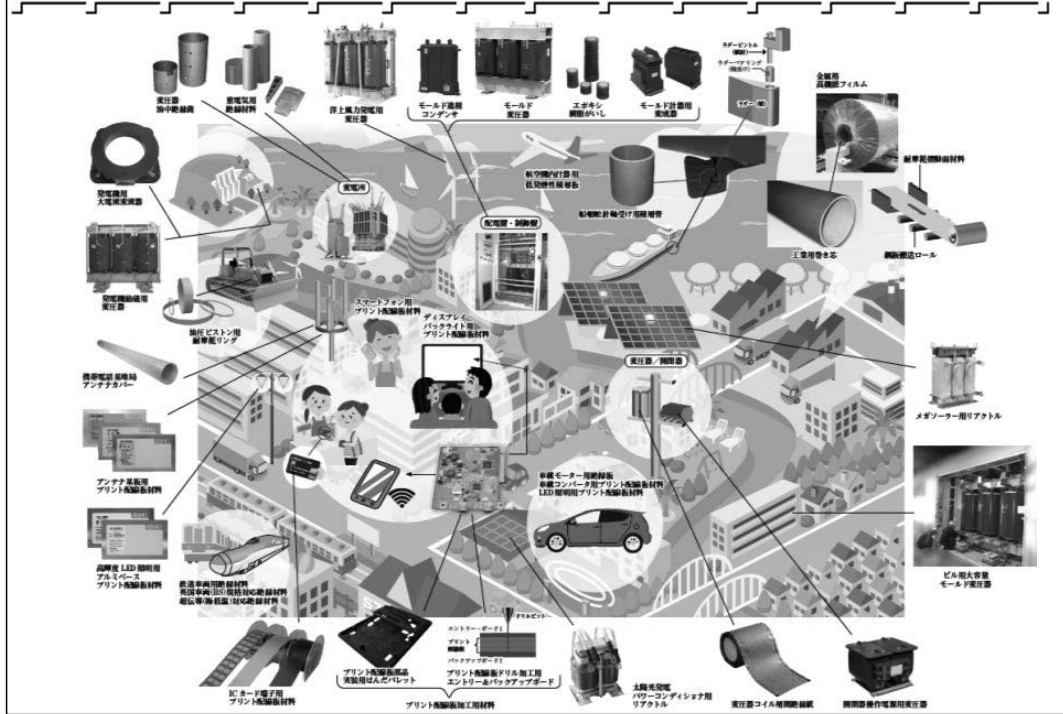
1946年の尼崎工場



2018年の尼崎工場

2. 主要商品紹介

RISHO

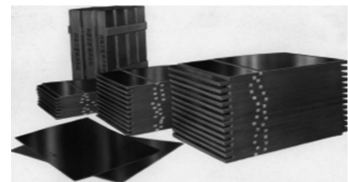
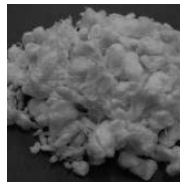


3. 天然素材と利昌工業の関わり

RISHO

1925年

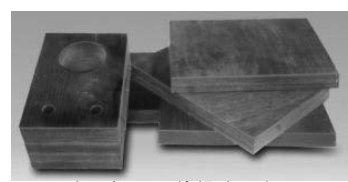
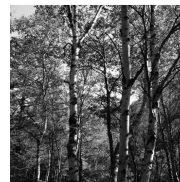
紙基材フェノール樹脂積層板の国産化



紙フェノール積層板(当時)

1945年

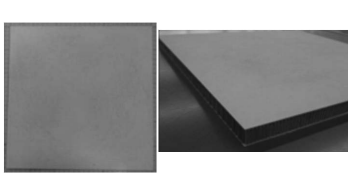
単板に樹脂を含浸して高圧で積層した絶縁強化木「ウッドライト」を開発
特高用絶縁材料などに採用
金属代替部材にも適用例あり



ウッドライト(絶縁強化木)

2016年

CNF材料の開発に着手
100%-CNF板材、成形体の開発
CNF-ハニカムサンドイッチ材なども開発



100%-CNF成形板例

4. ウッドライトのご紹介

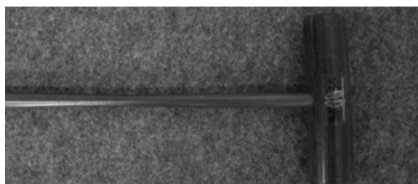
RISHO

◆ 特長

- ・ 絶縁・機械強度(曲げ弾性率: 20GPa)に優れる。
- ・ 高密度で耐湿・耐熱・寸法安定性が高い。
- ・ 加工が容易で切削等で自然な木目が得られる。
- ・ 木質由来で環境に優しい。



(株)IZOO様、大谷プロセス(株)様ご提供



5. CNFについて

RISHO

◆ 特徴

セルロースの微細繊維。

◆ 性質

- ① 高弾性率、低熱膨張
- ② 無毒、無味、無臭

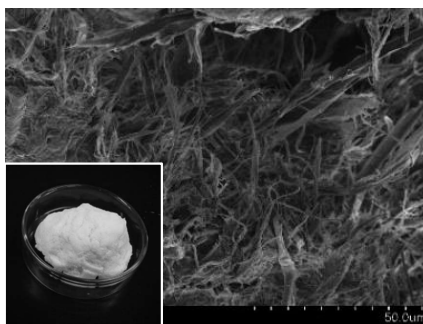


表 主な繊維の物性比較

	CNF	炭素繊維	ガラス繊維	アラミド繊維
密度 (g/cm ³)	1.50	1.82	2.55	1.45
弾性率 (GPa)	140	230	74	112
引張強度 (GPa)	3.0	3.5	3.4	3
熱膨張係数 (ppm/K)	0.1	0	5	-5

6. CNF成形体の先行研究

◆100%-CNF材

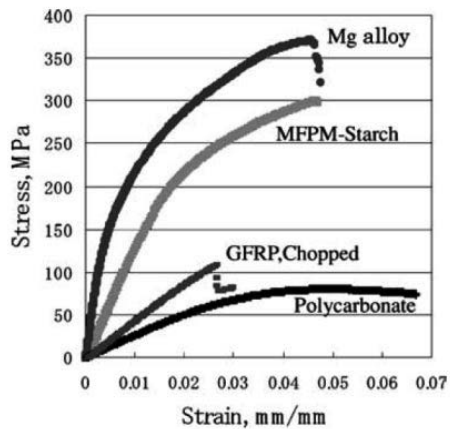
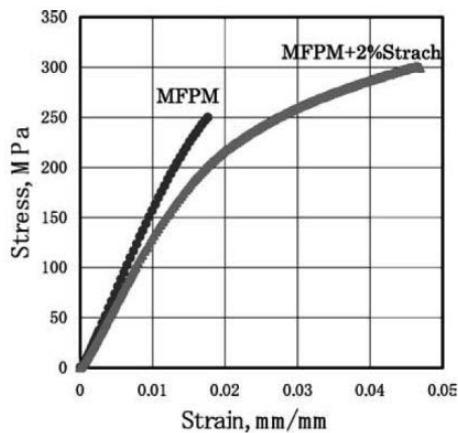


Figure 3 Effect of starch on stress strain curve of microfibrillated pulp re 4

Stress strain curve for starch mixed microfibrillated plant fiber moulding (MFPM-Starch) and various materials.

H.Yano, S. Nakahara, *J. Materials Science* 39(2004), 1635-1638

7. CNFの用途について

◆CNFの用途と本質

100%-CNF材

構造材料、工業材料
部品、民生品など



生体無毒性
天然物由来の素材
改質が可能

樹脂等の補強材

熱可塑性樹脂の充てん材
(自動車や家電分野)



分散・混合が難しい
CNFの前処理等が必要

機能性付与

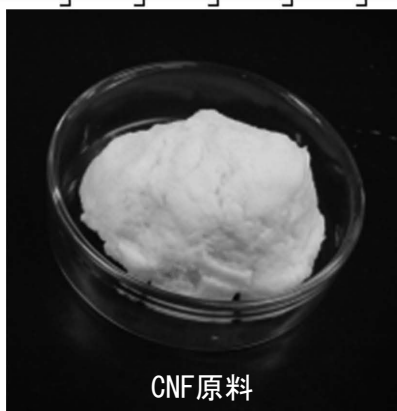
食品、化粧品
衛生用品等



高付加価値品

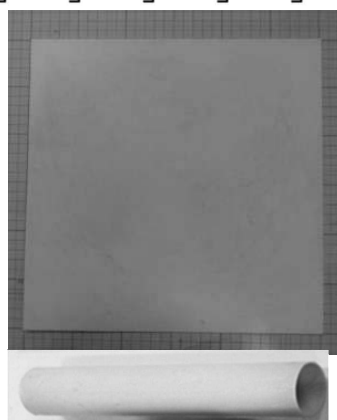
8. 100%-CNF成形品の開発

RISHO



CNF原料

積層・成形技術

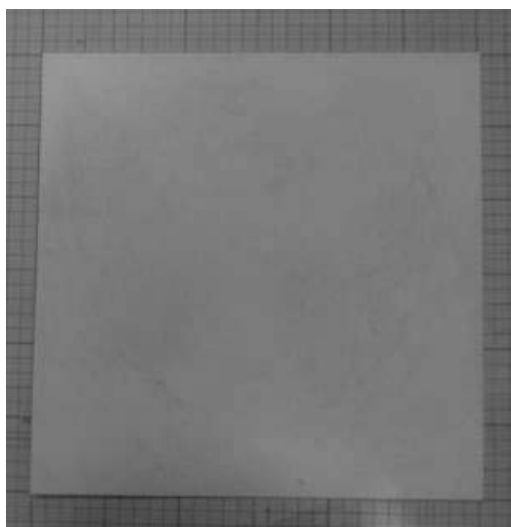


★利昌工業のCNFのおもな成形技術

- ・ 100%-CNF成形体の工業的製法
- ・ CNF高含有樹脂複合成形体
- ・ CNFの複合・積層成形品
- ・ CNF/フェノール樹脂プリプレグ
- ・ CNFの3次元成形体

9. 100%-CNF成形板のご紹介

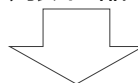
RISHO



100%-CNF板材

◆特長

- ・ 樹脂等のバインダーが無い
- ・ 切削性が良い
- ・ 耐油性に優れる
- ・ 熱の膨張収縮がほぼ無い



- ・ 構造材料
- ・ 高誘電材料
- ・ 生体材料など



(株)IxZOO様、大谷プロセス(株)様ご提供

切削加工例

10. 環境省CNF性能評価モデル事業

RISHO

NCV Nano Cellulose Vehicle プロジェクト

自然なクルマ ナノセルロース・ヴィークル

CNFを活用した、軽量化自動車の製造にチャレンジ！

樹脂素材改良

内装材・外装材の全面代替をめざす

- ・ PP, PA素材を使用する部位→ CNF複合材へ
- ・ 薄肉化による軽量化を実現

金属素材代替

外板の可能性を見極めボディ、エンジン、構造部材へ発展

- ・ 金属部材より比重が小さいことを生かす
- ・ 強度と耐熱性を見極める



その他挑戦

ガラス等

- ・ 透明樹脂をCNFにより強化
- ・ 透明性を生かした部材の活用

京都大学生存圏研究所 NCVプロジェクトホームページより
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ncv/outline/>

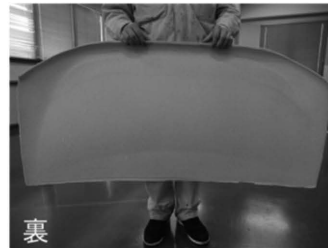
11. 環境省CNF性能評価モデル事業

RISHO

◆NCVプロジェクト平成29年度成果報告会
(平成30年6月6日 科学技術館(東京))



表



裏

100%-CNF製トランクカバー試作品(トヨタ 86)

12. 100%-CNF材料の設計

RISHO

◆CNF材料の軽量化の提案

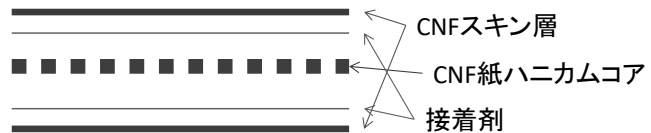
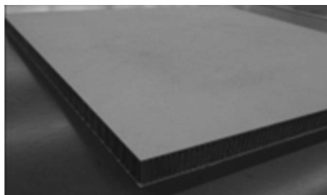
- ・ 100%-CNF材料の比重は1.5程度。
→強度や剛性を得るためには、厚くする必要がある。
- ・ 100%-CNF材料は高い弾性率を示す。
→部材の剛性を得るため、ハニカムサンドイッチ材を提案。
- ・ ハニカムコアを薄いCNF材でサンドイッチして厚くする。
→軽くてたわみ難い構造にできる。
※曲げ剛性は断面モーメントが支配的。
(断面モーメントは厚さの3乗に比例)
- ・ 100%-CNF 3次元成形体をハニカムサンドイッチ構造を検討。
→軽量で高剛性のボンネットアウターを試作。

13. CNFハニカムサンドイッチ材

RISHO

◆CNFハニカムサンドイッチ材の設計

- ・ ハニカムサンドイッチ材の構造。



- ・ ハニカムサンドイッチ材の構成要素。

- | | |
|-----------|----------------|
| ①表層材厚さ | : 曲げ弾性率、強度、密度 |
| ②ハニカムセル寸法 | : 圧縮強度、曲げ強度、密度 |
| ③ハニカムコア厚さ | : 剛性率、密度 |
| ④接着剤 | : 強度 |

⇒ 軽量・高剛性材の設計が可能

14. 100%-CNF材料の物性例

RISHO

表 100%-CNF材を用いたハニカムサンドイッチ材の物性例

コア厚 (mm)	表層厚 (mm)	密度 (g/cm ³)	曲げ弾性率 (GPa)	比弾性率	曲げ強度 (MPa)
2.0	0.3	0.39	5.7	14.6	46
	0.5	0.53	8.1	15.2	78
	0.8	0.67	10.7	16.0	128
3.0	0.3	0.32	4.3	13.4	35
	0.5	0.46	7.6	16.5	72
	0.8	0.58	9.4	16.2	117
100%-CNF板	2.0mm	1.5	13.5	9.0	240

●CNFハニカムコア

紙厚 : 50 μ m
セルサイズ : 3.3mm

●ASTM-C393 (3点曲げ)

試験片寸法 : 10x250 (幅x長さ)
支点間距離 : 150mm
試験速度 : 2mm/分

➡ 密度0.46、比弾性率16.5となる構成でボンネットを作製

15

15. 環境省CNF性能評価モデル事業

RISHO

◆東京モーターショー2019



CNF/ハニカムのボンネット

本業務は、環境省プロジェクトである「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～」におけるNCVプロジェクト (Nano-Cellulose Vehicle Project)として2016年度から2019年度に実施しました。

また、ボンネットアウター等の試作に当たり、秋田県立大学様、名古屋工業大学様、トヨタカスタマイジング&ディベロップメント様をはじめ、参画されていた機関のメンバー様に感謝いたします。

◆CNFの成形板、成形体のまとめ

- ・ CNFをそのまま固めた「100%-CNF成形体」は、平板のほか、3次元の成形体も作製できる。
- ・ CNF平板は、他材料と積層することでハニカムサンドイッチパネルのような軽量で剛性のある材料として利用が可能。
- ・ CNFとフェノール樹脂を混合すれば、CNFの耐水性の他、難燃化、寸法安定性の向上が見込める。
- ・ CNF成形体は設計や使用者の工夫次第で広範な用途を見出せる可能性がある。

レースカーへの CNF 材料の応用事例

大王製紙(株)

玉城 道彦氏

レースカーへのCNF材料の応用事例



大王製紙株式会社
新素材研究開発室
玉城 道彦



©SAMURAI SPEED



1

発表内容

レースカーへのCNF材料の応用事例 ～ PPIHC※ へのチャレンジ～



※Pikes Peak International Hill Climb

1. 当社のCNF開発状況について
2. ELLEX-M(成形体)の開発
3. ELLEX-R55(複合樹脂MB)の開発
4. レースカーへの実装 2020年度版
5. まとめ

2

CNFラインナップ

大王製紙株式会社

当社CNF「ELLEX」のラインナップ



水分散液

成形体

ELLEX-S

ELLEX-M



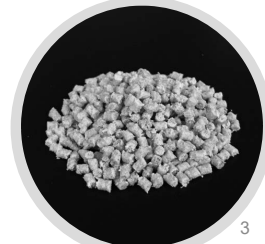
乾燥体

樹脂ペレット

ELLEX-P

ELLEX-R55

ELLEX-☆



3

当社のCNF開発状況

大王製紙株式会社



- 2013年 12月 水分散液サンプル 提供開始
- 2016年 4月 水分散液パイロットプラント稼働
- 10月 **成形体の開発**
- 2017年 4月 トイレクリーナー「キレキラ! ナノEX」発売
- 8月 **成形体のサンプル提供開始**
- 10月 「キレキラ!」リニューアル
- 12月 乾燥体パイロットプラント稼働
- 2018年 1月 乾燥体のサンプル提供開始
- 9月 高透明度CNFのサンプル提供開始
- 11月 セルロース複合樹脂ペレットのサンプル提供開始
- 2019年 2月 水分散液製造プロセス開発 NEDO事業「優良」表彰
- 6月 **卓球ラケット部材の開発**
- 6月 **成形体実装車両が米国レースに参戦**
- 2020年 4月 **卓球ラケット「レボルディアCNF」発売**
- 8月 **成形体を車体外装全体に実装した車両完成**
- 9月 **CNF複合樹脂ペレットのサンプル提供開始**

4

ELLEX-M の開発

大王製紙株式会社

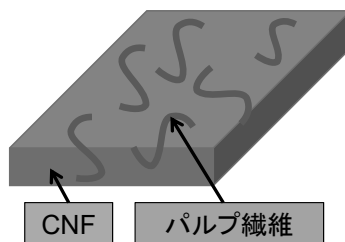
2016年10月

CNF成形体の開発に成功



CNF成形体の特徴

- ・ 厚み：200～500 μm 程度
- ・ 軽量 高強度
- ・ 汎用プラスチックと比較して
5倍の力学物性
- ・ 高温領域では20倍の弾性率



汎用プラスチックとの物性比較 (CNF配合率80%での例)

	23℃	90℃
引張弾性率	約5倍 (13～17 GPa)	約20倍 (10～12 GPa)
引張強度	約5倍 (100～150 MPa)	約8倍 (55～70 MPa)

※上記数値は測定値の1例であり、品質を保証するものではありません。

5

ELLEX-M の開発

大王製紙株式会社

2017年8月～

CNF成形体のサンプル提供を開始



2017年7月28日

セルロースナノファイバー (CNF) 成形体のサンプル提供開始

大王製紙株式会社 (東京本社：東京都千代田区富士見二丁目 10 番 2 号、以下「当社」) は、セルロースナノファイバー(以下「CNF」)の研究開発を進めており、昨年10月にはCNFとパルプ繊維を複合化したCNF高配合の成形体の開発に成功したことを発表いたしました。8月より、このCNF成形体のサンプル提供を開始しますのでお知らせいたします。

1. CNF成形体のサンプル提供について

- 時期：2017年8月より提供開始
仕様：CNF含有率 50～80%
サイズ 280×170mm
厚さ 200～500 μm



6

用途開発事例①

大王製紙株式会社

2019年6月

卓球ラケット用部材の開発に成功



2019年6月13日

セルロースナノファイバー成形体

ELLEX - M 卓球ラケット用部材の開発に成功

大王製紙株式会社(住所:東京都千代田区)は、セルロースナノファイバー(以下「CNF」)の用途開発として、株式会社タマス※(住所:東京都杉並区)と共同で、CNF成形体『ELLEX-M』を高性能卓球ラケットの部材として用いる開発に成功しましたのでお知らせします。

※(株)タマスは、『バタフライ』商標で数多くの卓球用品を製造販売しており、選手用の高品質ラケットでは世界トップの実績(世界卓球2019全出場選手の56.6%が同社製ラケットを使用)を有し、国内トップ選手を多数契約選手に抱える国内卓球用品メーカーです。

7

用途開発事例①

大王製紙株式会社

2020年4月

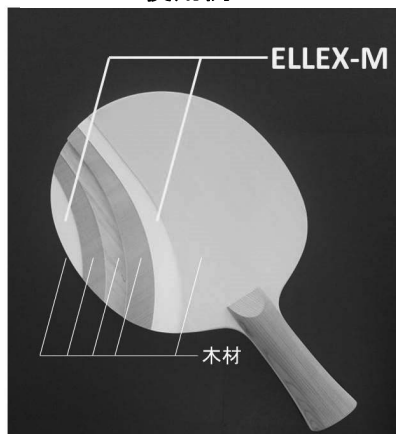
高性能卓球ラケット部材に採用



REVOLDIA CNF
レボルディア CNF

球持ちの良さや高反発を両立するCNF搭載ラケット
新たに採用したナノテクノロジー素材であるセルロースナノファイバーを搭載することにより、高反発でありながら、振動特性を低く抑えることを実現しました。威力のある打球を可能にしながらも、ボールをつかむ感覚を持つラケットです。

ELLEX-Mの使用例



8

用途開発事例②

大王製紙株式会社

2019年6月

米国レースに参戦する電気自動車に実装



2019年6月20日

米国レースに

電気自動車で参戦する



に協賛

—セルロースナノファイバーを車体に実装—

大王製紙株式会社(住所：東京都千代田区)は、セルロースナノファイバー(以下「CNF」)の事業化に向けた取組みとして、エクストリームパワースポーツチーム・SAMURAI SPEED(住所：東京都港区)にCNFを使用したシート成形体であるELLEX-Mをレースカーの軽量化ボディパネル製作用に提供いたしましたのでお知らせいたします。



9

用途開発事例②

大王製紙株式会社

2019年6月

米国レースに参戦する電気自動車に実装



レース結果

- ・前年から16秒のタイム短縮
2019年：4分55秒927
2018年：5分11秒974
- ・ショートコース出走車で
クラス11台中1位
全クラスでも21台中3位
- ・練習走行から決勝レース
まで過酷な実戦走行に
耐えうる性能を発揮



10

用途開発事例②

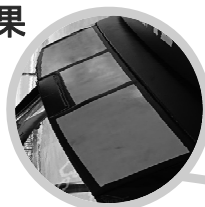
大王製紙株式会社



2019年6月

米国レースに参戦する電気自動車に実装

軽量化効果



後部スポイラー
樹脂製パネル部分を
CNFに置換え
2kg → 1kg
(50%軽量化)

ボンネット
スチール製アウターパネル
部分をCNFに置換え
8.6kg → 4kg
(58%軽量化)



合計

25.6kg → 13kg
12.6kg (49%)の
軽量化!!



後部座席ドア(左右2枚)
スチール製アウターパネル
部分をCNFに置換え
15kg → 8kg(47%軽量化)

11

用途開発事例②

大王製紙株式会社



2020年8月

電気自動車の車体外装全体にCNFを実装

2020年8月26日



電気自動車の車体外装全体に
セルロースナノファイバーを実装!



大王製紙株式会社(住所: 東京都千代田区)は、セルロースナノファイバー(以下「CNF」)の事業化に向けた取り組みとして、モータースポーツチーム・SAMURAI SPEED(住所: 東京都港区)に対してCNFを使用したシート成形体である「ELLEX-M」を提供し、車体外装全体へ実装されましたのでお知らせいたします。



12

ELLEX-R55 の開発



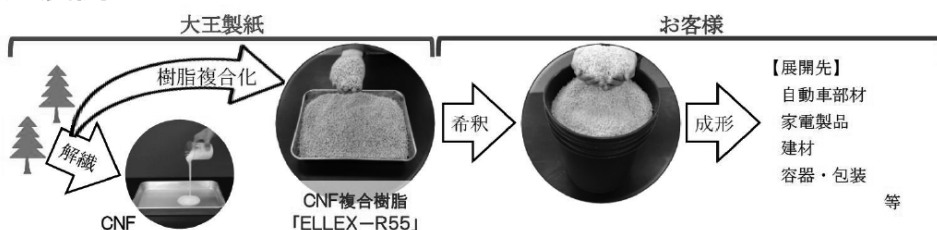
2020年8月

セルロース濃度を高めたCNF複合樹脂の開発に成功

ELLEX-R55の特徴

- ・セルロース濃度55%のCNF複合樹脂
- ・ニーズに合わせて任意のセルロース濃度に希釈可能
- ・成形加工しやすい樹脂ペレット状での供給

用途展開のイメージ



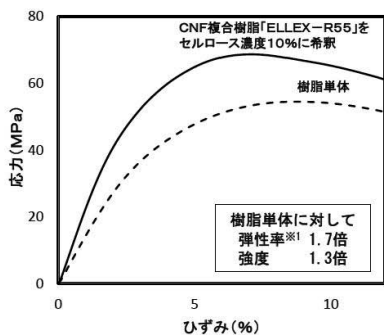
13

ELLEX-R55 の開発



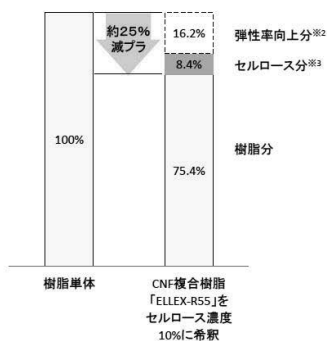
2020年8月

セルロース濃度を高めたCNF複合樹脂の開発に成功



※1 材料を曲げた際の変形のしにくさ

<減プラスチック効果のイメージ>



※2 材料力学の理論から、弾性率向上分で剛性を維持できる厚み低減率を算出

※3 材料中のセルロース含有量

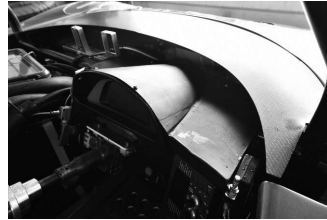
注：上記データは測定値の1例であり、品質を保証するものではありません。

14

レーサーへの実装 2020

大王製紙株式会社

2018年よりELLEX-Mを加工し、車両部品への実用展開の可能性を探ってきました。
2020年は使用範囲を車体外装全体(ボンネット・ドア・リア・サイド)、内装(インストルメントパネル)に拡大し、加えて、CNF複合樹脂をドアミラーに活用しました。



©SAMURAI SPEED

15

レーサーへの実装 2020

大王製紙株式会社



©SAMURAI SPEED

16

まとめ

CNFの活用を促進して
SDGsの取組、2050年GHGゼロを目指そう



大王製紙の『ELLEX』をどうぞ検討ください
E-mail: ellex@daiogroup.com

17

謝辞

CNF成形体の製造技術開発は、ヤマセイ(株)が
愛媛県、(公財)えひめ産業振興財団の
「えひめ中小企業応援ファンド」事業の助成を受け、
進めた研究開発の成果によるものです。



CNF省エネルギー型製造プロセスの開発は、2015～
2017年度 (国研)新エネルギー・産業技術総合開発
機構 (NEDO) の戦略的省エネルギー技術革新
プログラムの助成事業の成果によるものです。

CNF乾燥体の開発の一部は、2015～2016年度の
環境省「セルロースナノファイバー製品製造工程の
低炭素化対策の立案事業委託業務」の成果によるものです。

18

CNF 強化樹脂のマテリアルリサイクル

京大生存在圏研究所

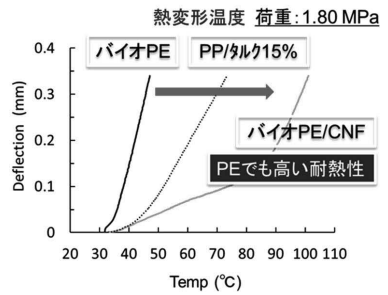
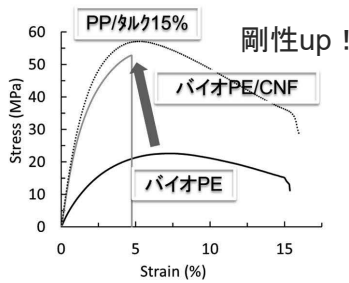
矢野 浩之氏

CNF強化樹脂のマテリアルリサイクル

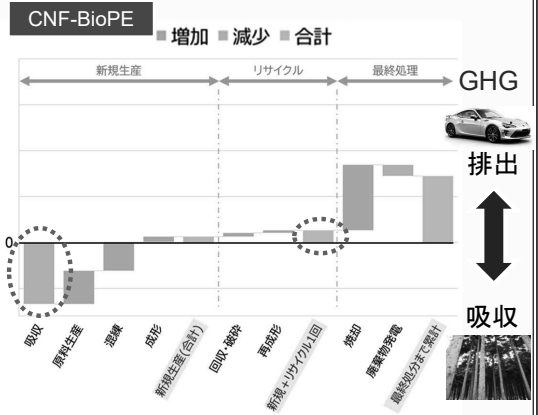
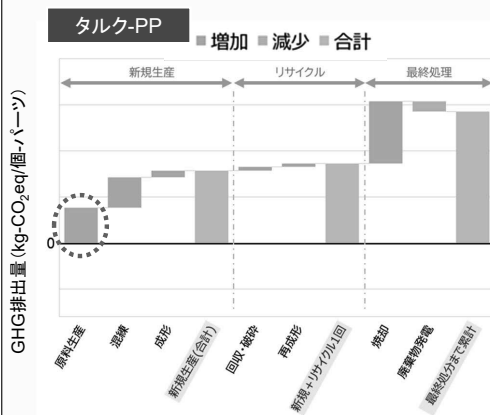
- 21世紀のモノづくりはベジタリアン -



バイオ×バイオ

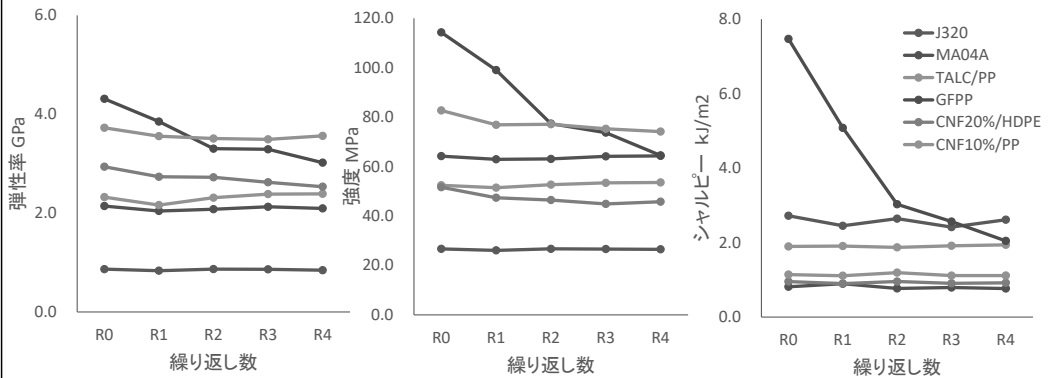


■ 5%の軽量化 → 樹脂量削減効果を考慮 → パーツ単位での評価を実施



令和2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成果 2

リサイクル特性 曲げ試験

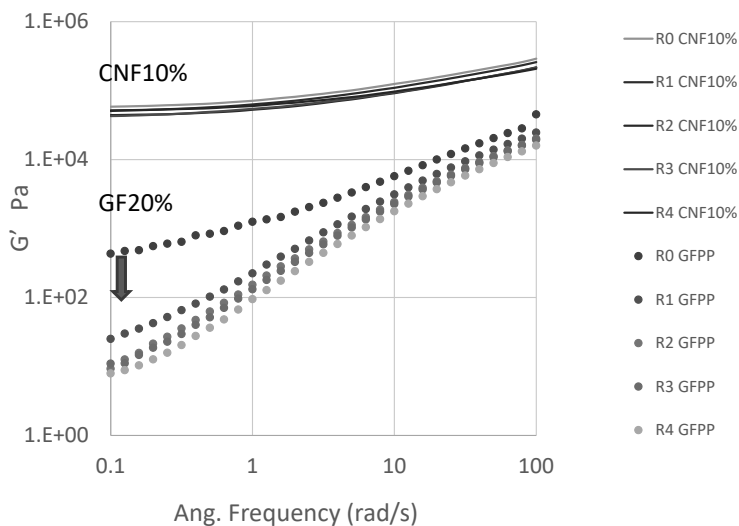


(R0)、粉碎(R1)→2軸押出混練(R2)→粉碎(R3)→2軸押出混練(R4)の各工程後に射出成型

NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

3

G' の周波数依存性@170°C GF20%PPとCNF10%PPの比較

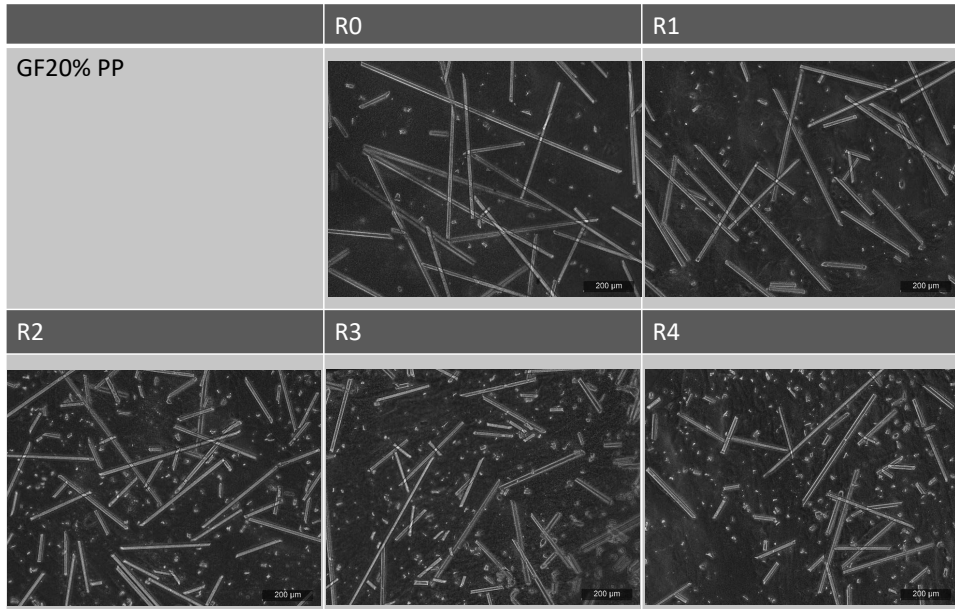


(R0)、粉碎(R1)→2軸押出混練(R2)→粉碎(R3)→2軸押出混練(R4)の各工程後に射出成型

NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

4

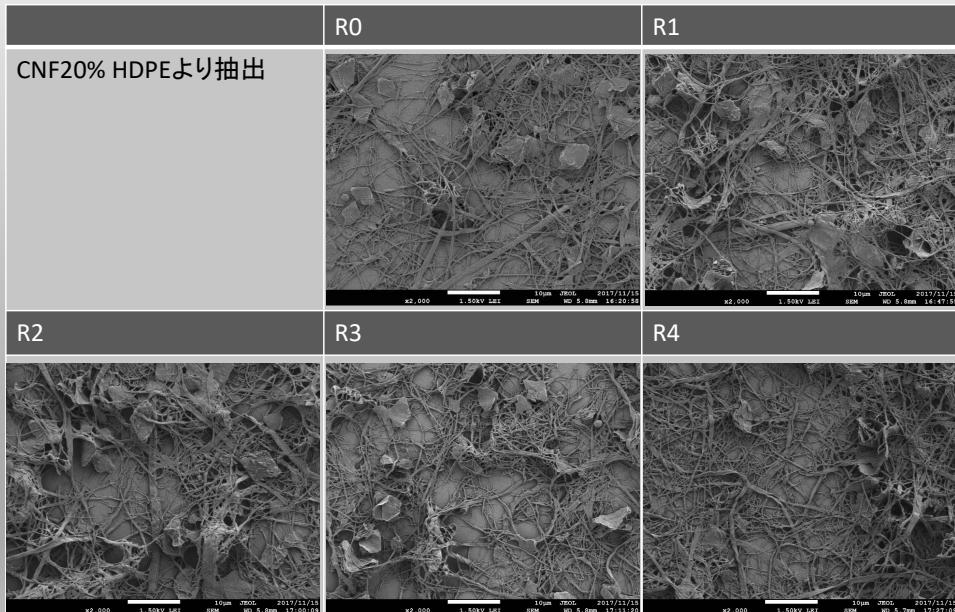
× 100 位相差



NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

5

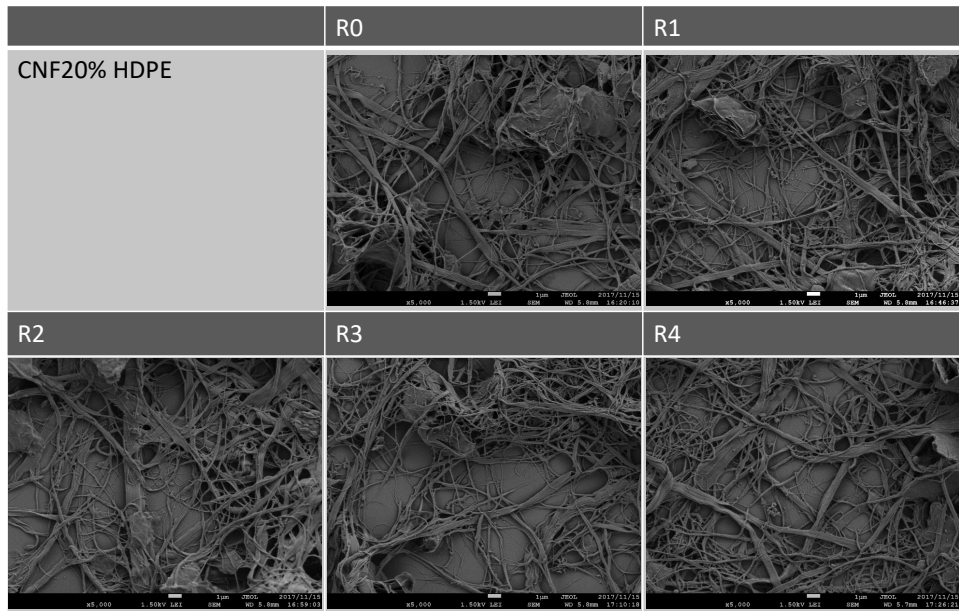
SEM観察 CNF20%HDPE(樹脂抽出後) × 2000



NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

6

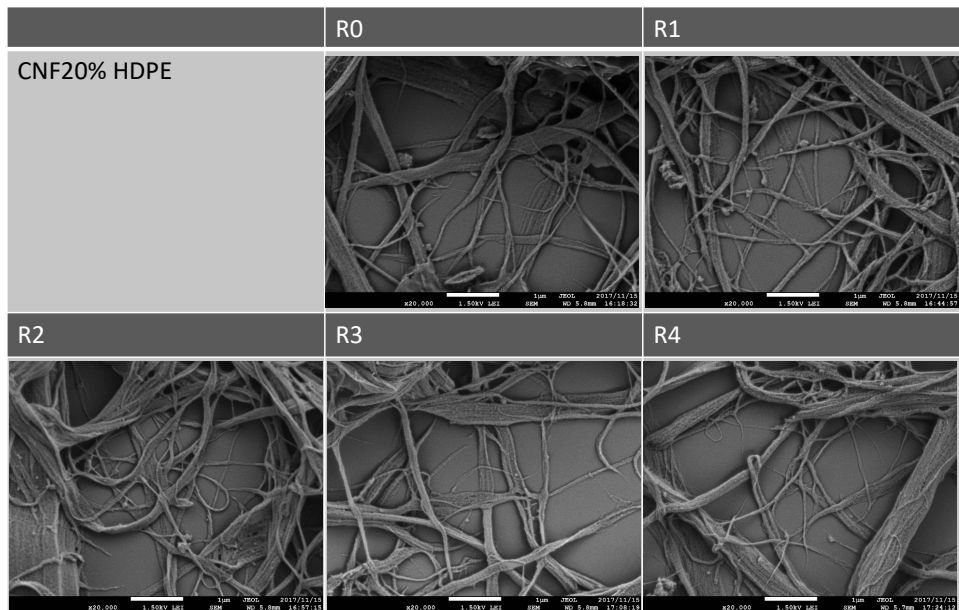
SEM観察 CNF20%HDPE(樹脂抽出後) × 5000



NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

7

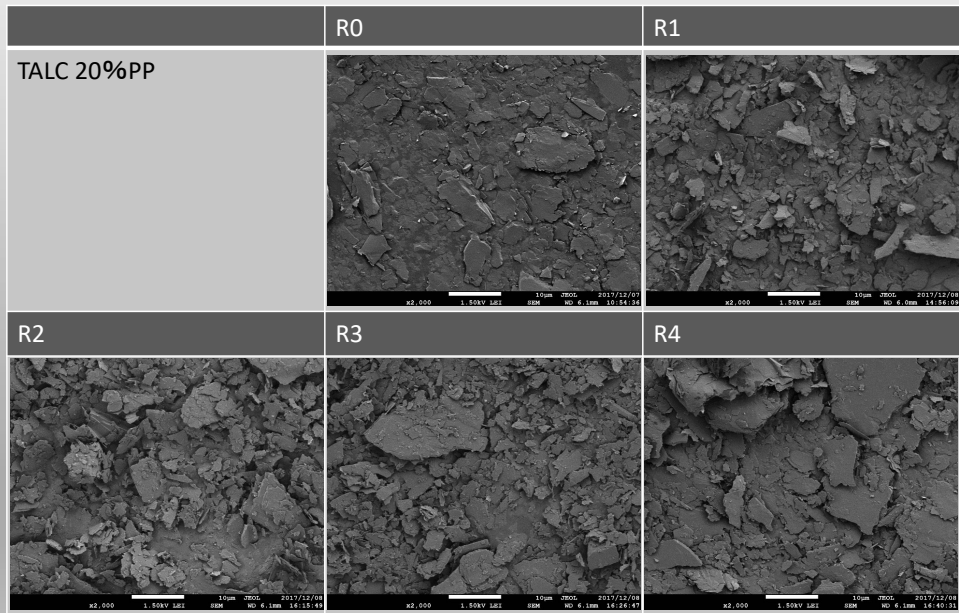
SEM観察 CNF20%HDPE(樹脂抽出後) × 50000



NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

8

SEM観察 TALC添加PP(樹脂抽出後) ×2000

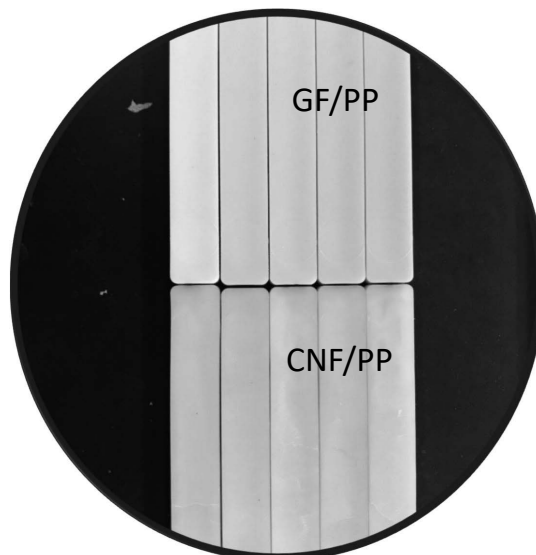


NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

9

コンポジット 色の変化

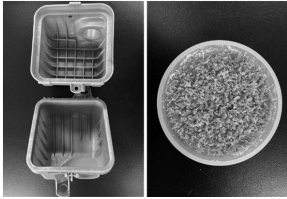
R0 R1 R2 R3 R4



NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」事業成果

10

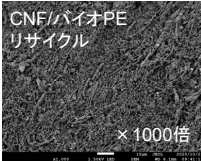
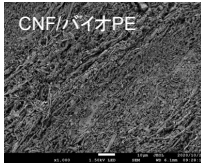
CNF強化バイオPEのリサイクル性評価



成形品を粉碎・成形

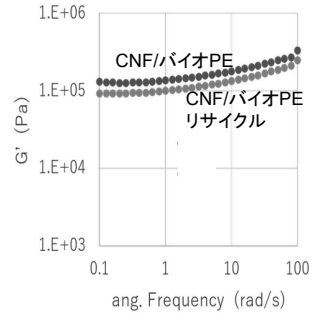
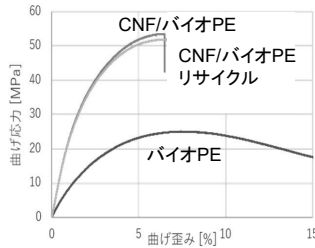
優れたマテリアルリサイクル性

	弾性率 [GPa]	強度 [MPa]	歪み [%]	シャルピー 4J [kJ/m ²]
バイオPE(SHA7260)	1.04 [0.011]	25.1 [0.25]	-	2.69 [0.08]
CNF10%/バイオPE オリジナル	2.62 [0.029]	53.4 [0.05]	6.59 [0.19]	2.47 [0.08]
CNF10%/バイオPE リサイクル 1回	2.62 [0.033]	51.8 [0.26]	6.89 [0.28]	2.41 [0.08]



PEを除去して観察

曲げ試験の試験速度 10mm/min、[]内は標準偏差

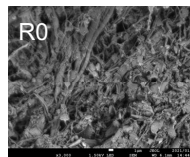
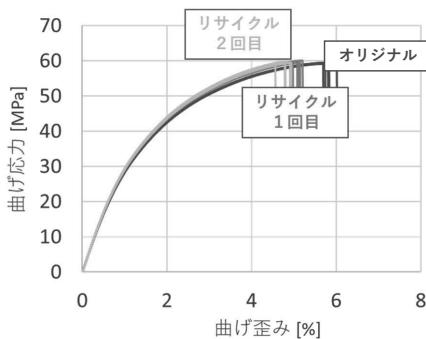


令和2年度脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業成果

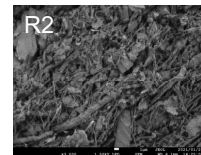
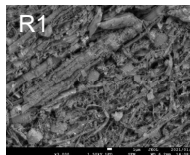
CNF強化バイオPEのリサイクル性評価

CNF10%+タルク15%品

成形→粉碎・混練・成形→粉碎・混練・成形



(talc 15%)



	弾性率 [GPa]	強度 [MPa]	歪み [%]	シャルピー 4J [kJ/m ²]
BioPE/CNF10% タルクあり HS2012-10 Re0	3.60 [0.024]	59.3 [0.44]	4.80 [0.15]	2.65 [0.11]
BioPE/CNF10% タルクあり HS2012-10 Re1	3.57 [0.024]	59.7 [0.24]	5.10 [0.09]	2.16 [0.19]
BioPE/CNF10% タルクあり HS2012-10 Re2	3.46 [0.022]	59.4 [0.19]	5.82 [0.12]	2.30 [0.20]

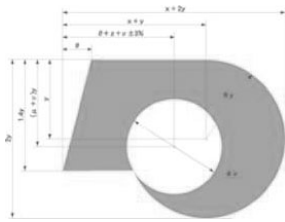
曲げ試験の試験速度 10mm/min、[]内は標準偏差

令和2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成果

CNF の特徴援用による
遮光・遮熱機能ガラスの開発

熊本県産業技術センター

永岡 昭二氏



CNFの特徴援用による 遮光・遮熱機能ガラスの開発

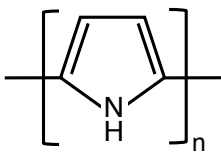


熊本県産業技術センター
熊本大学 熊本創成推進機構
熊本県産業技術センター
同
同
熊本大学大学院先端研

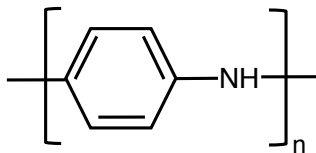
永岡 昭二
堀川 真希
吉田 恭平
城崎 智洋
高藤 誠

令和3年3月9日
Nanocellulose Symposium 2021
第445回生存圏シンポジウム

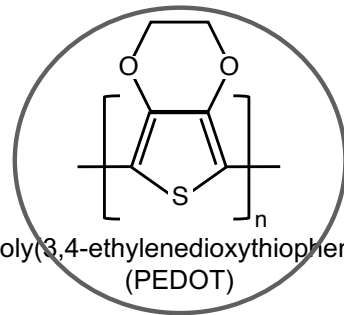
導電性ポリマー



Polypyrrole



Polyaniline



Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)
(PEDOT)

Application



Solar cell
OLED



Capacitor



Touch panel



Thermoelectric
transducer

Exhibit

Solar cell, <http://www.gioa-life.com/opv/>

Capacitor, http://www.electronicproducts.com/Passive_Components/Capacitors/14_fast_facts_on_capacitors.aspx

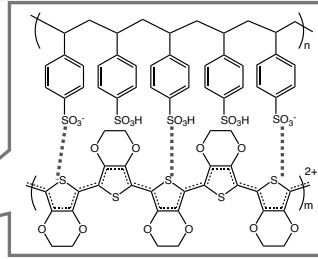
Touch panel, <http://www.boistec.com/jp/services/electronics/touch-panel/>

Thermoelectric transducer, http://www.aist.go.jp/aist_1/press_release/pr2012/pr20120831/pr20120831.html

遮光材料(近赤外線(熱線)吸収剤)



Adsorption of NIR light



PEDOT

- 代替アンチモン錫酸化物(ATO)
- 代替セシウムW酸化物(CWO)
- 代替インジウム錫酸化物(ITO)

Transmission of Vis light

合わせガラス



快適空間

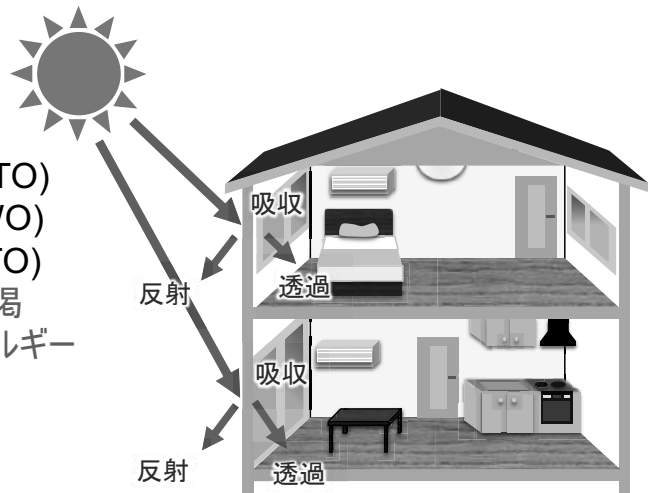
遮熱(調光)ガラスとは



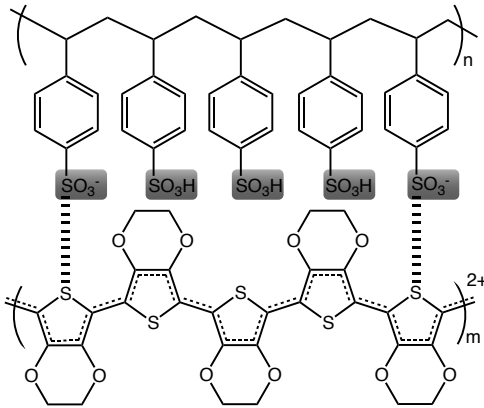
従来の技術

熱線吸収材料
 近赤外光吸収材料
 アンチモン-錫酸化物 (ATO)
 セシウム-W酸化物 (CWO)
 インジウム-錫酸化物 (ITO)
 人体への影響、資源枯渇
 製造にかかる大きなエネルギー

熱線反射材料
 近赤外光反射材料
 銀ナノ粒子~コスト高、不安定
 Low-eガラス



PEDOT/PSS



Poly(styrenesulfonate)
(PSS)

PSSの機能

1. PEDOTカチオンに対する
カウンターイオン
2. PEDOTの水への分散化

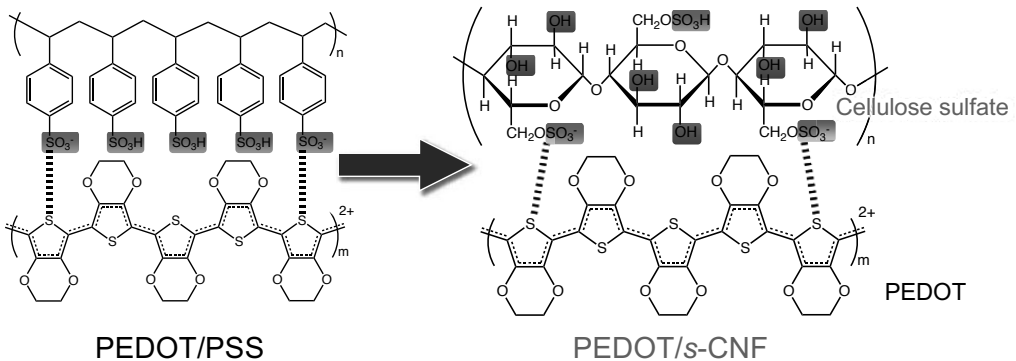
Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)
(PEDOT)

Ethylene glycol、EthanolやDMFのような極性化合物を添加
PEDOTの結晶性を促進。ベンゾイド構造からキノイド構造へ変化

➡ PEDOT/PSSの導電性を増幅させる。¹⁾

1) T. Takano, H. Masunaga, A. Fujiwara, H. Okuzaki, T. Sasaki, *Macromolecules*, 2012, 45, 3859.

PEDOTのドーパントとして硫酸化セルロースナノファイバー



PEDOT/PSS

PEDOT/s-CNF

- セルロースを用いるPEDOTのドーパントとしての優位点
- ✓ β -1.4結合。CNFは直線的で規則的な構造である。
 - ✓ 多くの水酸基を有する。極性基が既に存在。
 - ✓ エチレングリコールのような二次ドーパントが不要。
 - ✓ 硫酸基の導入制御。
 - ✓ サステナブルな材料、天然高分子のメリット。

セルロースナノファイバーを用いた高い導電性をもつ材料



Journal of Materials Chemistry C, 2015, Vol. 83, pp. 8881-8887
Thin Solid Films, 2020, Vol. 709, pp. 138221-138229



インジウム錫酸化物などの無機系透明電極材が使われる

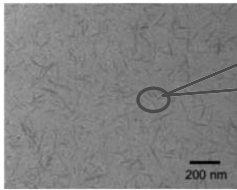


無機系透明電極材
問題点
レアメタル、重い
硬い、高い、焼結製造

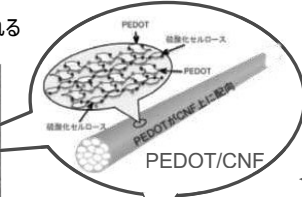
代替材料として
導電性高分子

ポリピロール、ポリアニン、
ポリアセチレン、
ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)
(PEDOT)

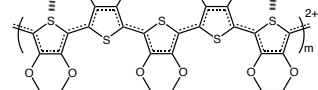
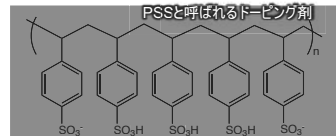
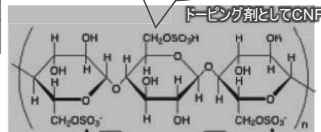
最も注目されている
PEDOTの特性
塗布型、軽い、フレキシブル
導電性が低い



セルロースナノファイバー
(ナノクリスタル)のTEM画像
上にPEDOTが配向



PSSをCNFへ

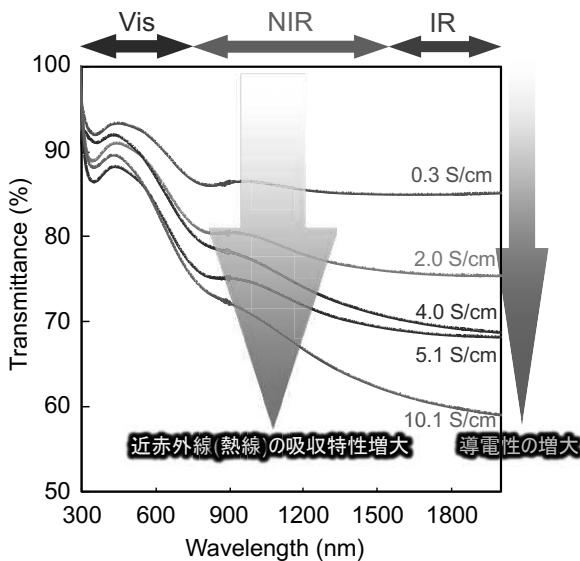


PEDOT/PSSの構造式
(従来のPEDOT)

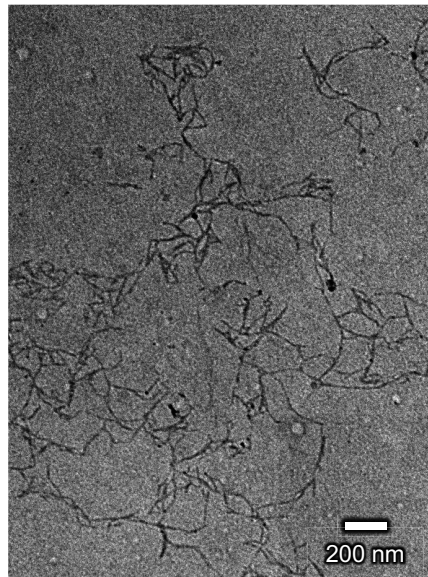
導電性: 基本PEDOT/PSSの700倍向上

PEDOT/s-CNF (特許出願中)
特願2017-247188

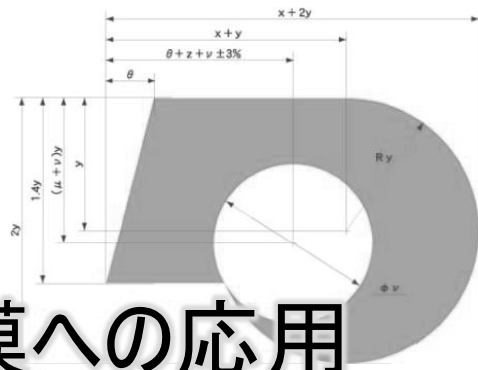
PEDOT/s-CNF薄膜の光学特性に対する導電性の影響



PEDOT/s-CNFの導電性と光学特性



PEDOT/s-CNFのTEM写真



遮光中間膜への応用

Application to light shielding material

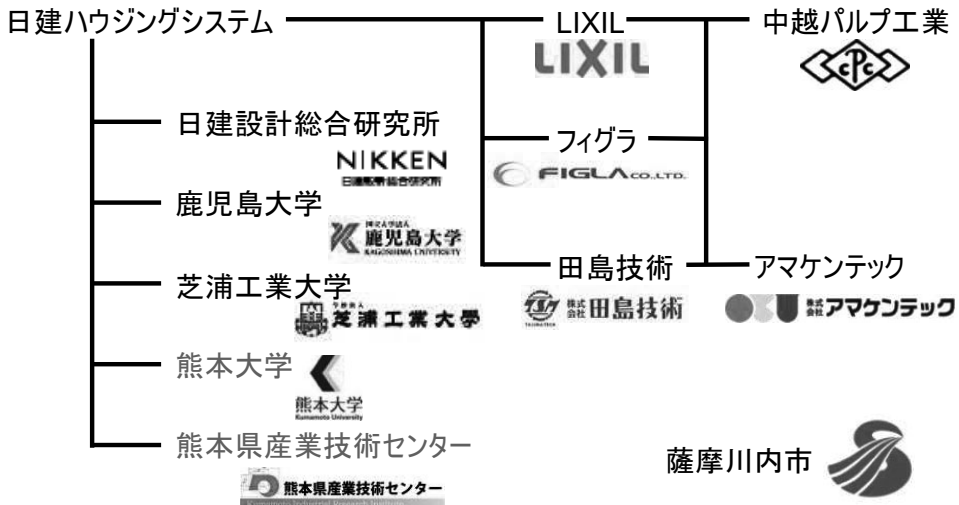


環境省プロジェクト 2017.10～2020.3
 セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業
 (竹CNFを活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装によるCO2削減効果の実証)

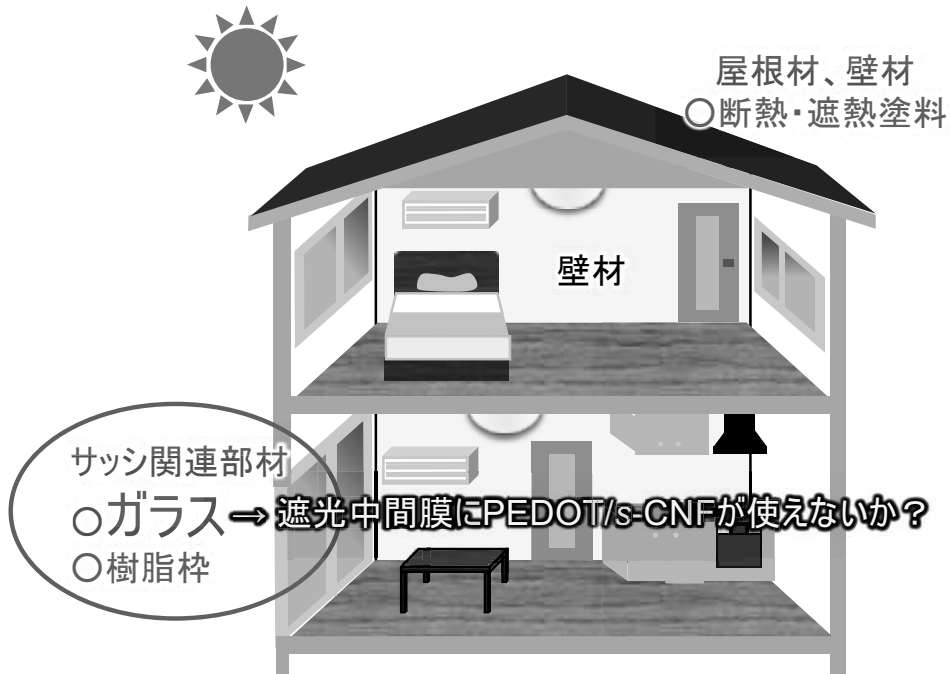
セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務 ～2017年10月～2020年3月
 課題：竹CNFを活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装によるCO2削減効果の実証



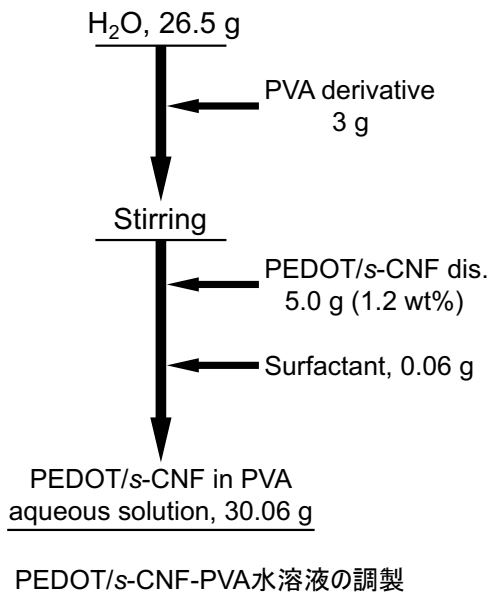
環境省プロジェクト



開発内容～ガラス、サッシ樹脂枠、塗料



PEDOT/s-CNF-PVA コンポジットフィルムの作製



PEDOT/s-CNF-PVAコンポジットフィルム

透明なフィルムが得られる。
(10～40 μm)

PEDOT/s-CNF-PVA コンポジットフィルムの強度



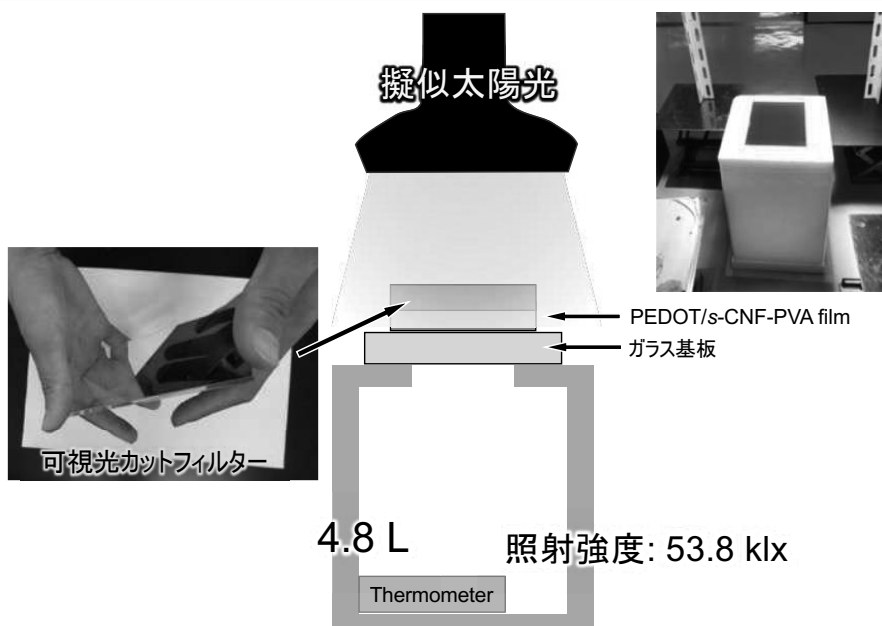
PEDOT/s-CNF-PVAコンポジットフィルムの引張強度

Film	PEDOT Content (wt%)	PVA deriv. Content (wt%)	Thickness (μm)	Tensile strength MPa
PVA derive alone	0	100	40	22.4
PEDOT/PSS-PVA	2.0	98	40	22.7
PEDOT/s-CNF-PVA	2.0	98	40	31.9

1.4 times

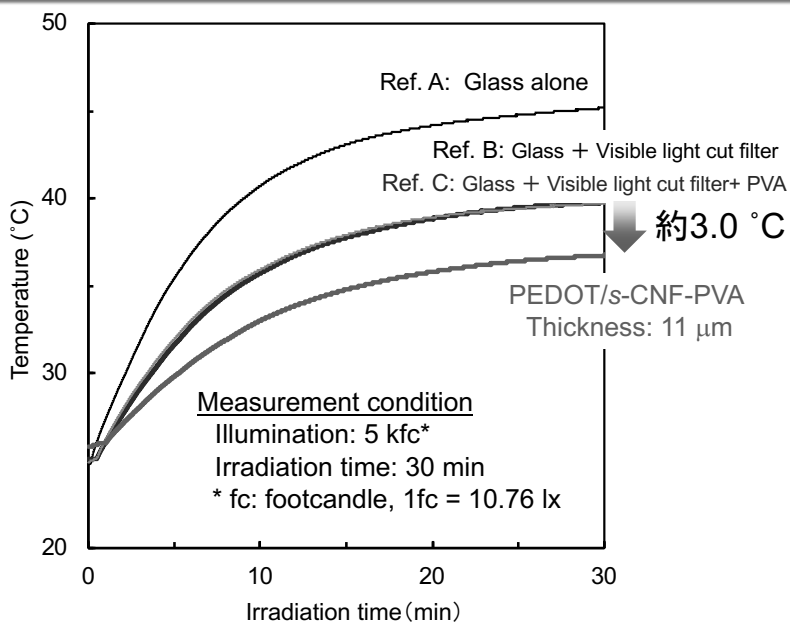
PEDOT/s-CNF-PVAフィルムの引張強度は、PVA単独およびPEDOT/PSS-PVAコンポジットフィルムより、1.4倍大きい。

PEDOT/s-CNF-PVA コンポジットフィルムの遮光効果-1



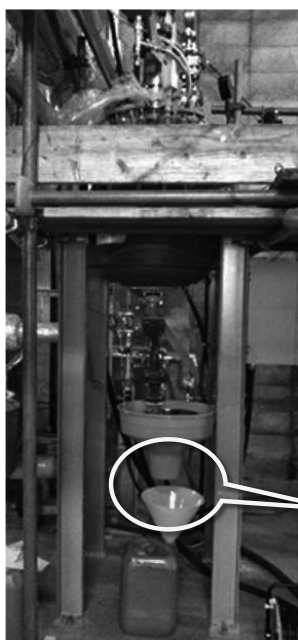
擬似太陽光を用いた温度上昇モニタリング装置

PEDOT/s-CNF-PVA コンポジットフィルムの遮光効果-2



擬似太陽光による温度上昇の挙動

PEDOT/s-CNF-PVAの水系塗工液の実機での調製



100 LのGL製造バッチ

塗工液の大量調製

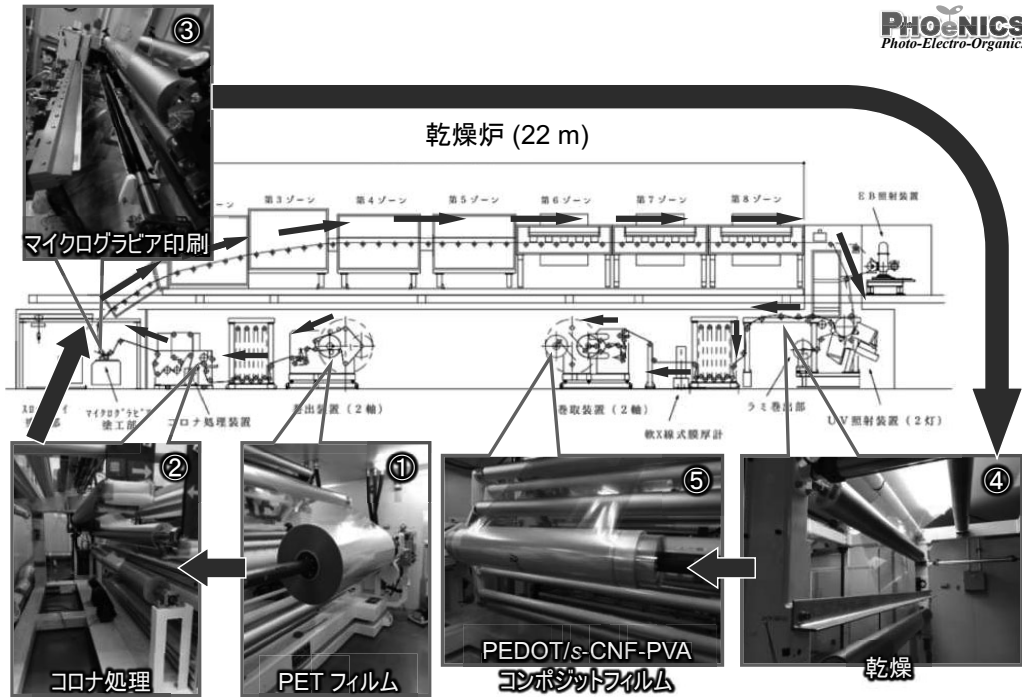
Materials	Weight	
	(Kg)	(wt%)
PEDOT/s-CNF	0.176	0.20
H ₂ O	78.892	89.65
PVA derivative	8.800	10.00
Surfactant-1	0.044	0.05
Surfactant-2	0.088	0.10
Total	88	100



回収

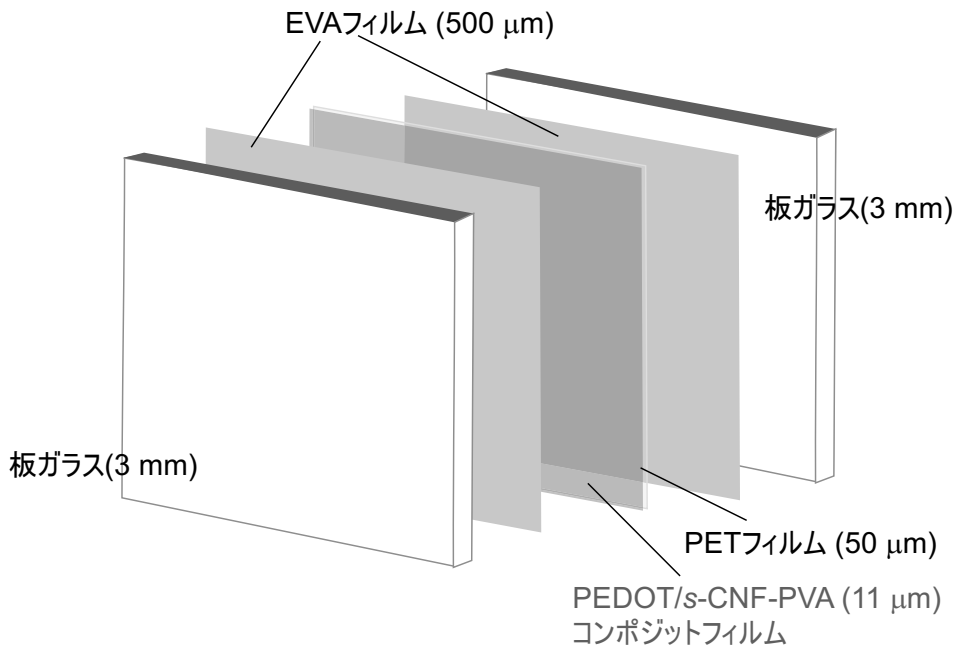


塗工液

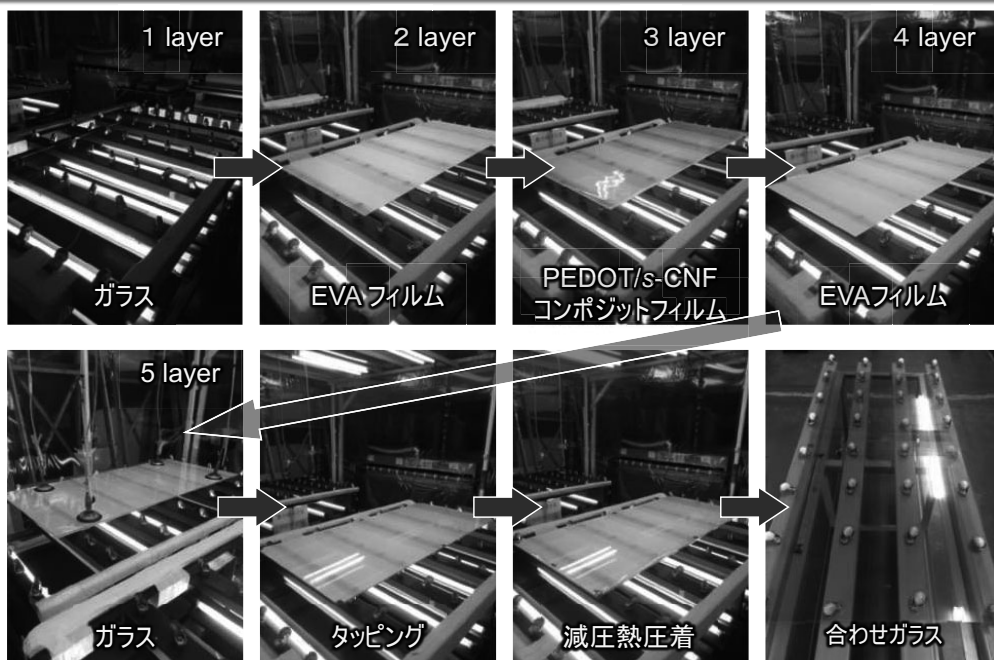


ロールtoロール・グラビア印刷法によるPEDOT/s-CNF-PVA 複合PETフィルム

PEDOT/s-CNF 合わせガラスの作製



PEDOT/s-CNFコンポジットフィルムの合わせガラスへの組み込み-1

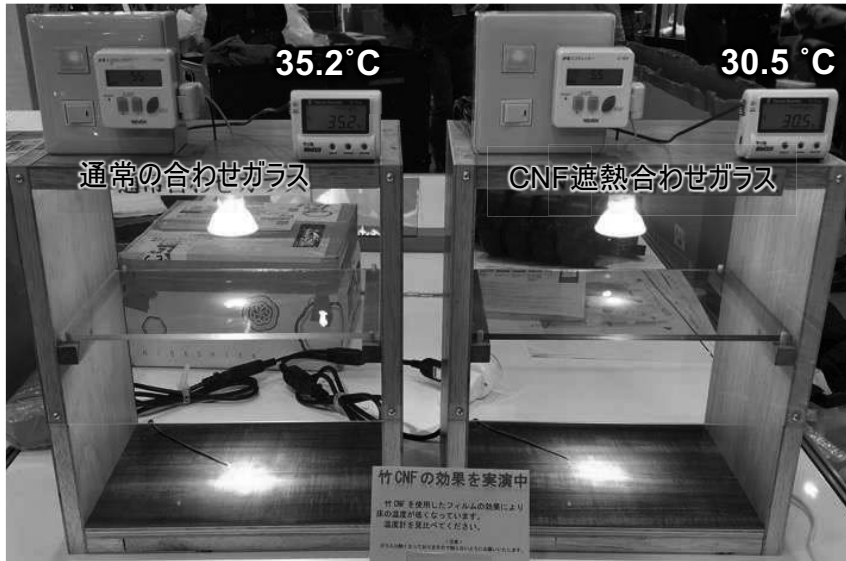


PEDOT/s-CNFコンポジットフィルムの合わせガラスへの組み込み-2



PEDOT/s-CNF-PVAコンポジットフィルムを用いた合わせガラス

PEDOT/s-CNFコンポジットフィルムの合わせガラスへの組み込み-3



導電性CNFからなる遮光中間膜を用いた
合わせガラスの温度上昇低減効果

エコプロ2019でも展示

※CNF遮熱合わせガラスの方が4.7°C低い

遮熱(調光)ガラスとは

PHOENICS
Photo-Electro-Organics

従来の技術

熱線吸収材料

近赤外光吸収材料

アンチモン-錫酸化物 (ATO)

セシウム-W酸化物 (CWO)

インジウム-錫酸化物 (ITO)

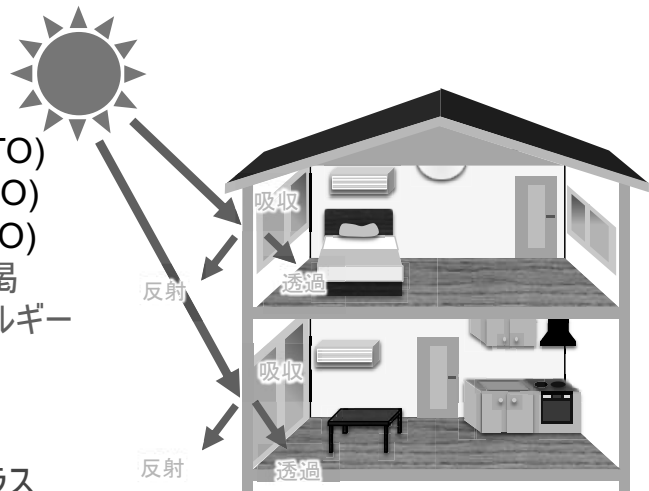
人体への影響、資源枯渇
製造にかかる大きなエネルギー

熱線反射材料

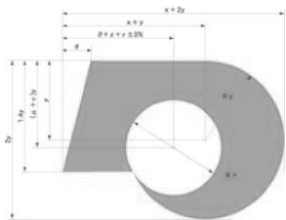
近赤外光反射材料

銀ナノ粒子 → Low-eガラス

コスト高、不安定



液晶技術～瞬時に調光できる。電界の印可。ITOを使用。



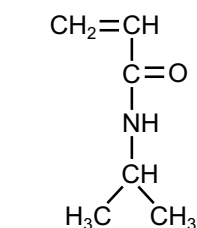
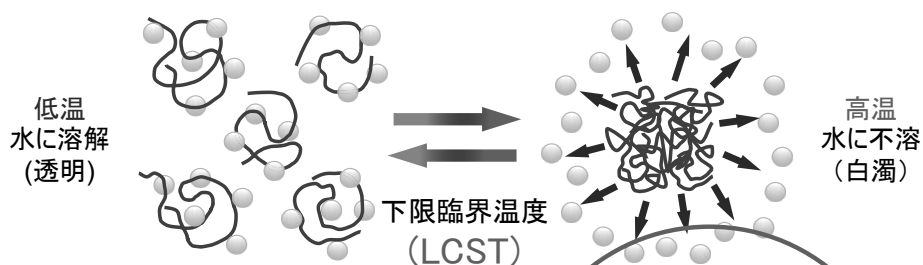
調光技術に 感温性高分子を活用できないか？

自律応答型の高分子

電源・電界フリー サーモクロミック材料



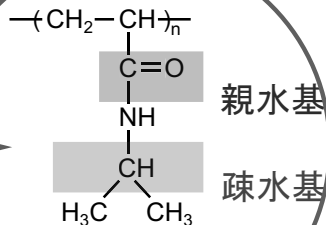
感温性高分子を活用



N-isopropylacrylamide
(NIPAM)

APS, TMED

レドックス重合 (at 5 °C)



親水基

疎水基

Poly N-isopropylacrylamide
(PolyNIPAM)

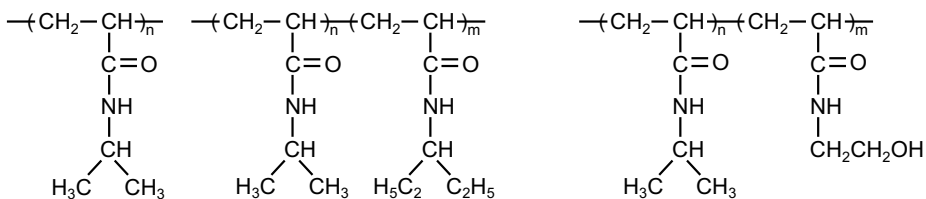
APS: 過硫酸アンモニウム, TMED: N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン

感温性高分子を活用

ポリイソプロピルアクリルアミド(PolyNIPAM)およびその共重合体
水中で白濁する温度、下限臨界温度(LCST)を有する。

✓ PolyNIPAM, 下限臨界温度、LCST: 34°C

✓ 共重合することにより、LCSTを制御



PolyNIPAM

Poly(NIPAM-co-N,N-Diethyl acrylamide)
Poly(NIPAM-co-DEAA)

Poly(NIPAM-co-N-2-Hydroxyethyl acrylamide)
Poly(NIPAM-co-HEAA)

疎水性モノマーと共重合
LCSTを下げる。

親水性モノマーと共重合
LCSTを上げる。

コンセプト～調光ガラスのイメージ

感温性高分子を用いた調光ガラス

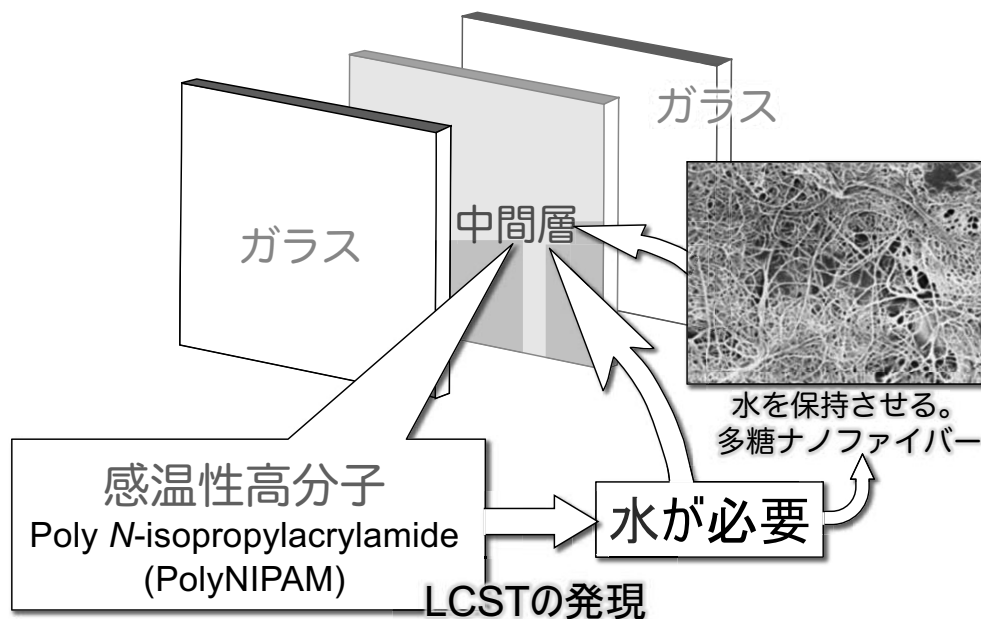


低温になると透明

高温になると曇る

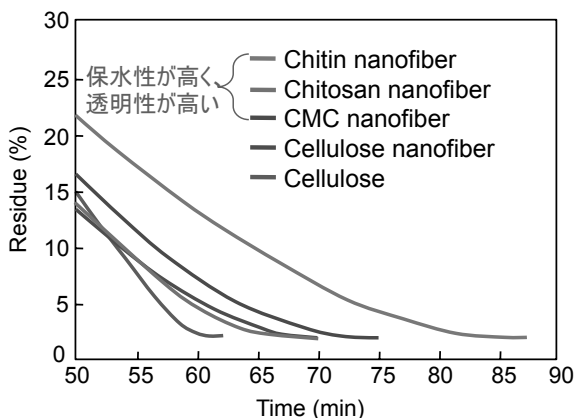
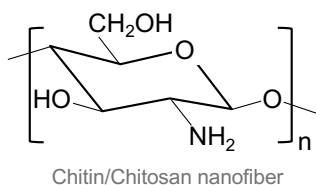
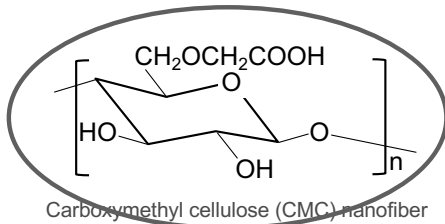
電源を必要とせず、
自律的に日射透過率を制御する。

ガラス中間層に感温性高分子と多糖ナノファイバー



水の保持のために、多糖ナノファイバーを活用

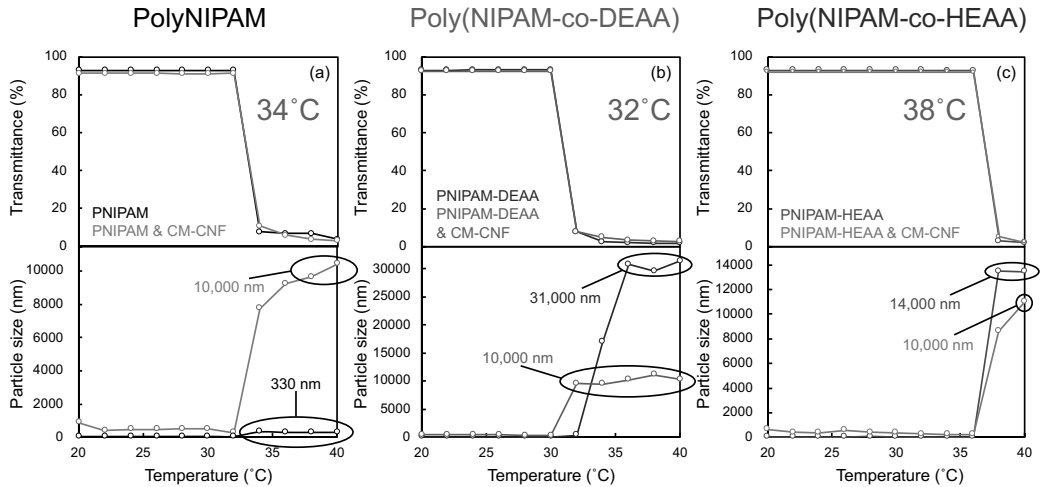
- ✓ 透明性が高い。←ガラス用途。
- ✓ 粘性が高い。←塗布に適応。
- ✓ 保水性が高い。←LCST発現。
- ✓ 三次元網目構造、フィラー効果



105°Cにおける多糖ナノファイバーからの水の蒸発速度

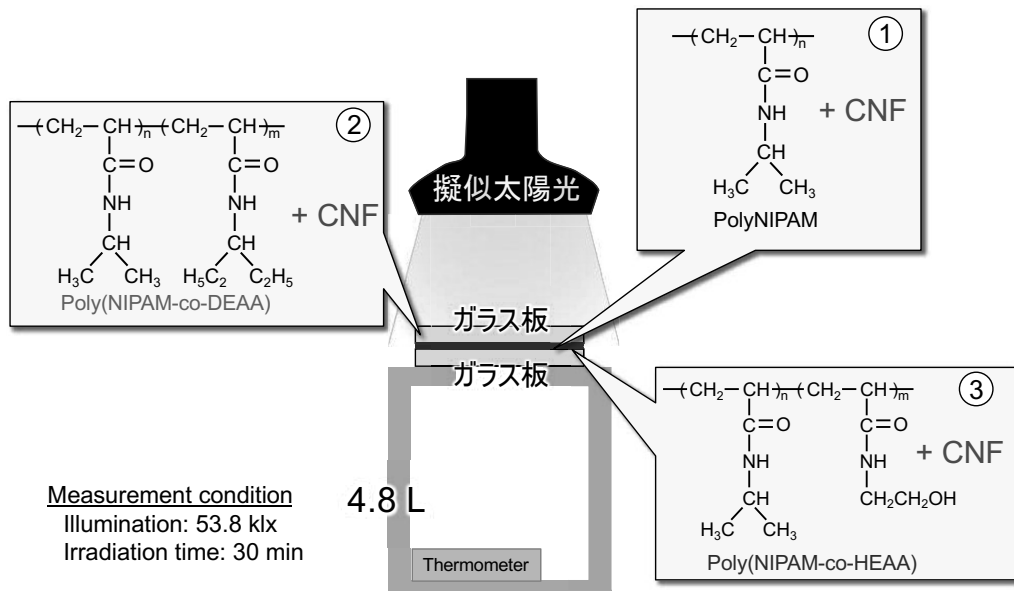
参考文献: 技術情報協会セミナーテキスト “セルロースナノファイバーの解織、樹脂への分散性向上と複合材料の開発”
CNF添加による高付加価値複合材料の開発, 小倉孝太, 2019年11月14日

CNFを添加した際のLCSTおよび水溶液の温度依存性



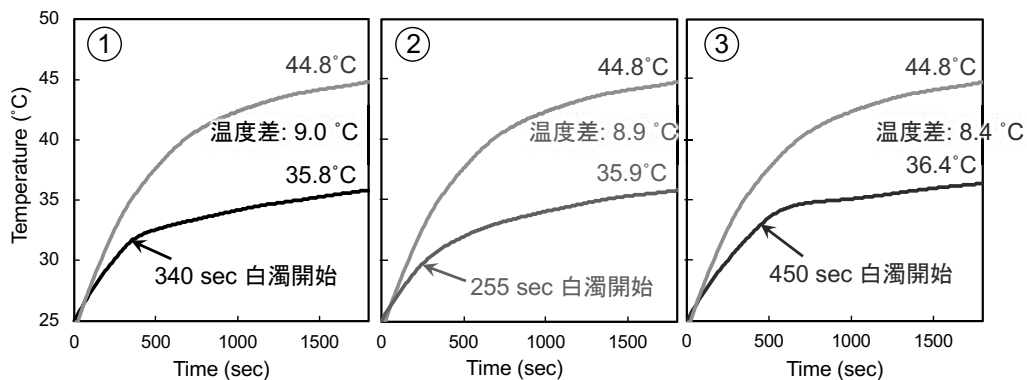
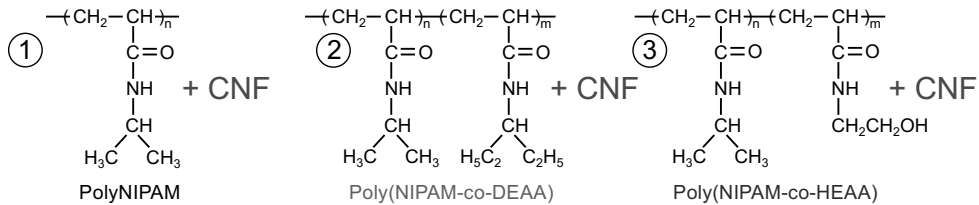
(a) PolyNIPAM, (b) Poly (NIPAM-co-DEAA), (c) Poly (NIPAM-co-HEAA) 水溶液およびCM-CNFを分散させた水溶液の透過率およびDLSによる粒径分布
 水溶液の濃度: 0.5 wt%, CM-CNF: 0.5wt%

擬似太陽光照射実験～温度上昇低減効果の検証



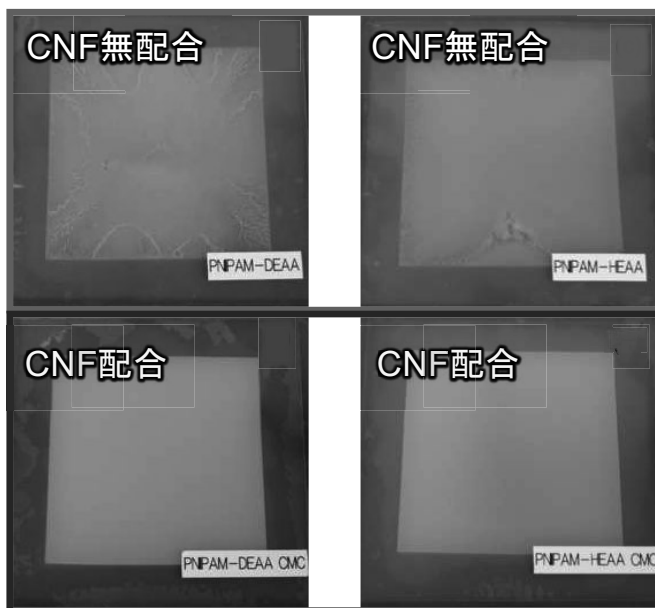
擬似太陽光を用いた温度上昇モニタリングボックス

感温性高分子/CNF調光ガラスの温度上昇低減効果



温度応答性調光ガラスを用いた温度上昇低減効果

フィルター効果～温度変動に対して中間層が安定化



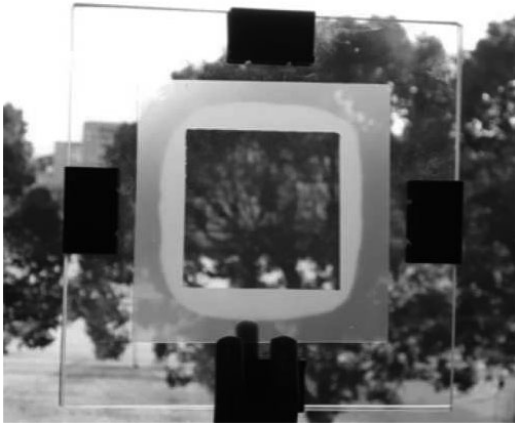
Poly(NIPAM-co-DEAA)Glass

Poly(NIPAM-co-DEAA)Glass

CNF無配合
温度変動で
クラック出現
不安定・不均質

CNF配合
温度変動で
クラック生じない
安定・均質

白濁の迅速化



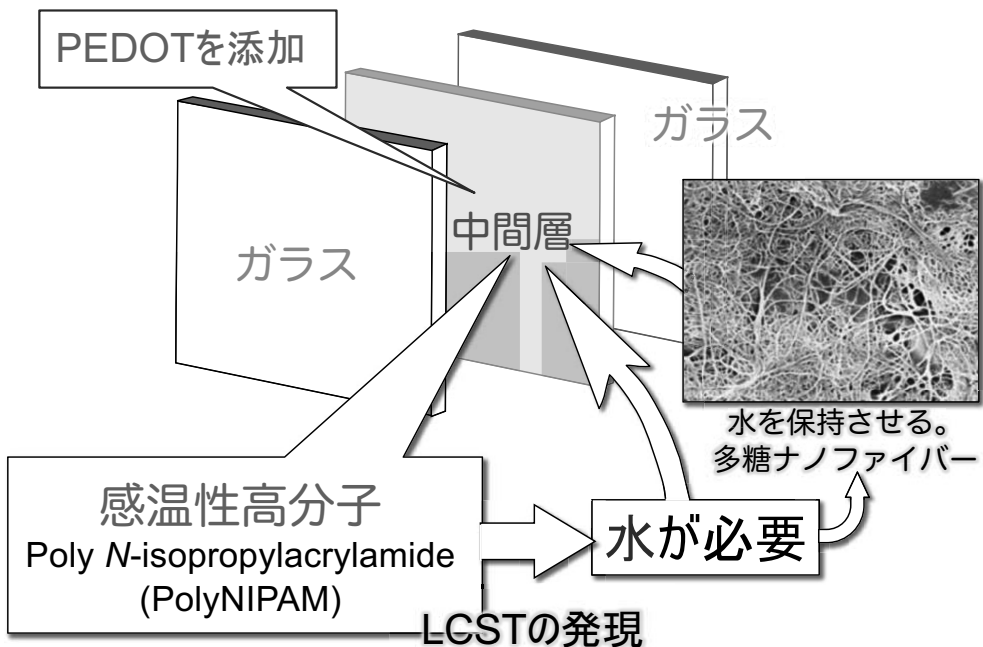
白濁速度の検討

熱の伝搬をもっと
迅速にできないか？

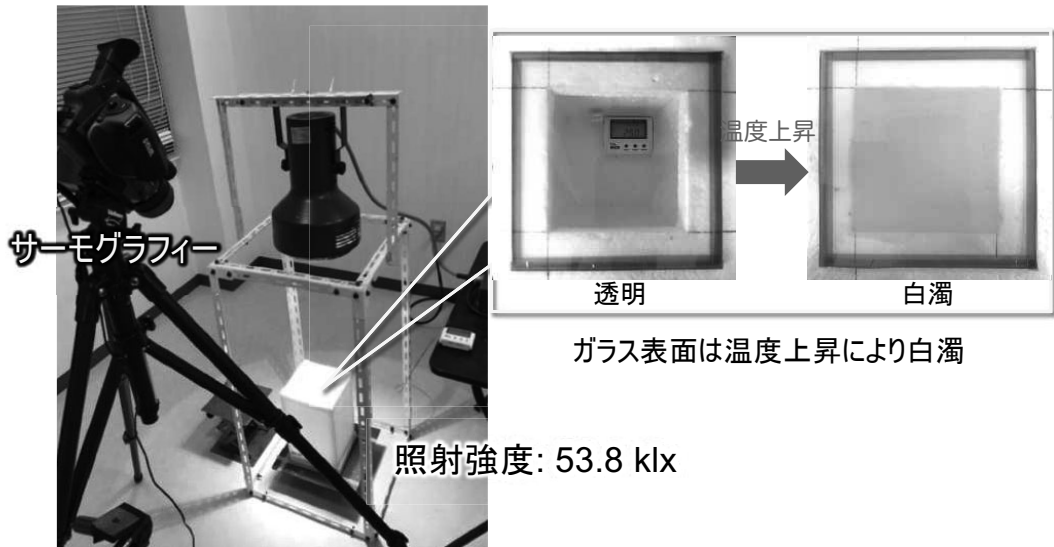
導電性高分子等の熱伝導が
良好な水系材料を添加する。

PEDOT？

さらにガラス中間層にPEDOT/s-CNFを添加



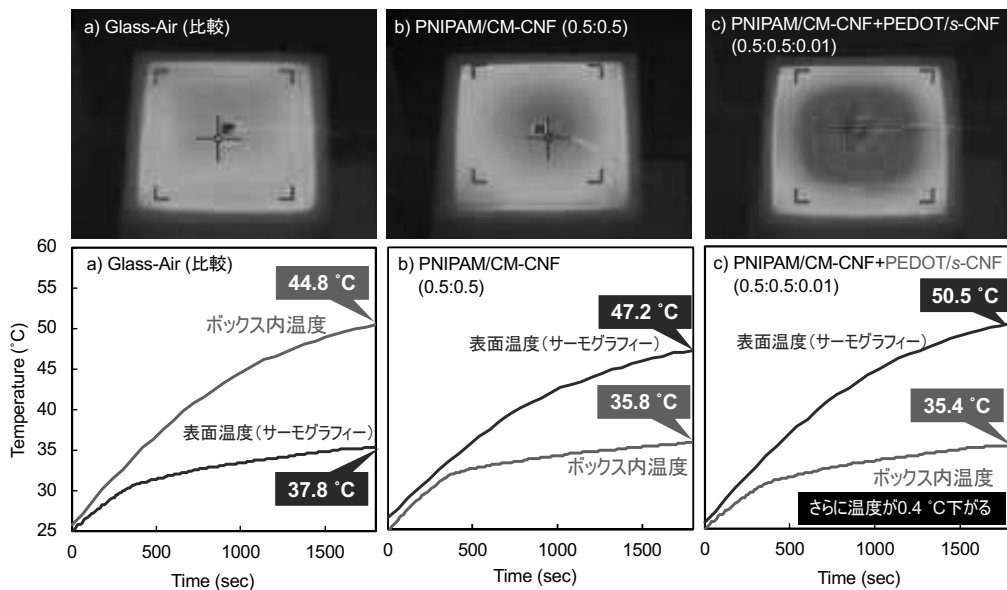
温度応答調光ガラスをサーモグラフィーで評価



ガラス表面は温度上昇により白濁

合わせガラスをモデルボックスの上面に設置

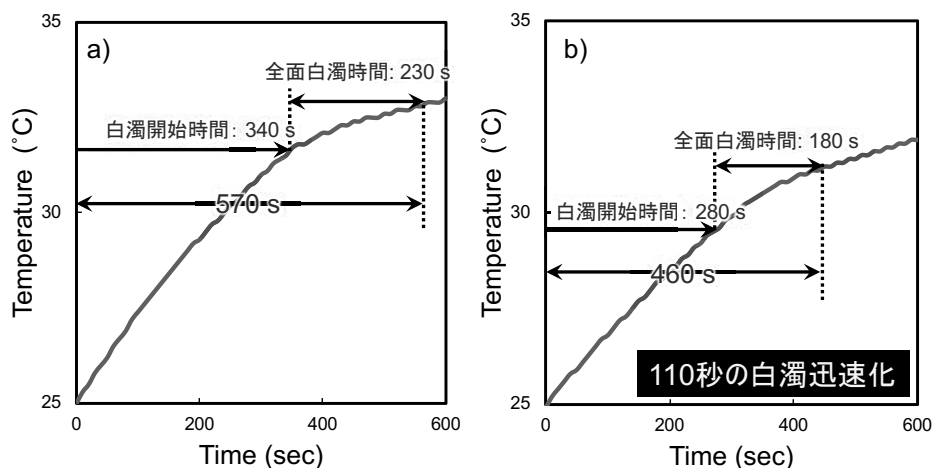
温度上昇に伴うガラス表面と温度上昇抑制効果



擬似太陽光の照射実験におけるサーモグラフと温度上昇低減効果

PEDOT/s-CNFの添加効果による白濁の迅速化

LCST: 34°CのPNIPAMポリマー



擬似太陽光照射によるボックス内の温度上昇と合わせガラスの白濁に要する時間

a) PNIPAM/CM-CNF, b) PNIPAM/CM-CNF+PEDOT/s-CNF

新技術の特徴

- ✓ PolyNIPAMおよびその共重合体と多糖ナノファイバーのコンポジットから合わせガラス用遮光中間層を構築した。
- ✓ 温度スイッチング機能をもつ遮光合わせガラスを作製できた。
- ✓ 共重合体化により、白濁温度を制御可能であることを確認した。
- ✓ 導電性材料、PEDOTとの組み合わせにより、白濁化時間の短縮化の可能性を見出した。
- ✓ 温度上昇、低下に伴う亀裂や劣化がなく、白濁化できることが確認された。ナノファイバーフィラー効果。従来の技術では亀裂や劣化を生じた。
- ✓ 電源を必要とせず、自律的に日射透過率を制御できた。
- ✓ 最終的に9.6°Cの温度上昇低減効果を確認した。

Nanocellulose Symposium 2021
「ゼロエミッション・マテリアルへの戦略
バイオ化・軽量化・リサイクル・断熱」

発行日 令和3年3月5日

編集兼発行者 京都大学 生存圏研究所

〒611-0011 京都府宇治市五カ庄

電話0774-38-3658

印刷所 株式会社 田中プリント

〒600-8047 京都市下京区松原通麴屋町東入



共催：近畿経済産業局、地方独立行政法人京都市産業技術研究所、環境省ナノセルロース・マッチング事業、
ナノセルロースジャパン

後援：紙パルプ技術協会、日本製紙連合会、セルロース学会、公益社団法人日本材料学会関西支部、
公益社団法人日本材料学会木質材料部門委員会、一般社団法人日本接着学会、一般社団法人日本木材学会、
一般社団法人プラスチック成形加工学会、京都大学産官学連携本部、
一般社団法人西日本プラスチック製品工業協会、SPE 日本支部、公益財団法人都市活力研究所、
一般社団法人京都知恵産業創造の森、公益社団法人日本木材加工技術協会関西支部、
四国 CNF プラットフォーム、ふじのくにCNFフォーラム、薩摩川内市竹バイオマス産業都市協議会