

# セルロースナノファイバー

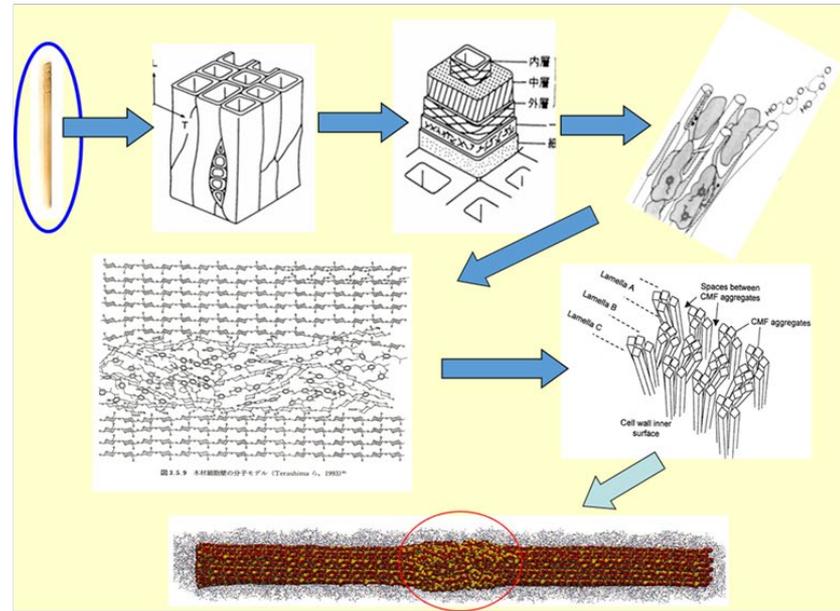
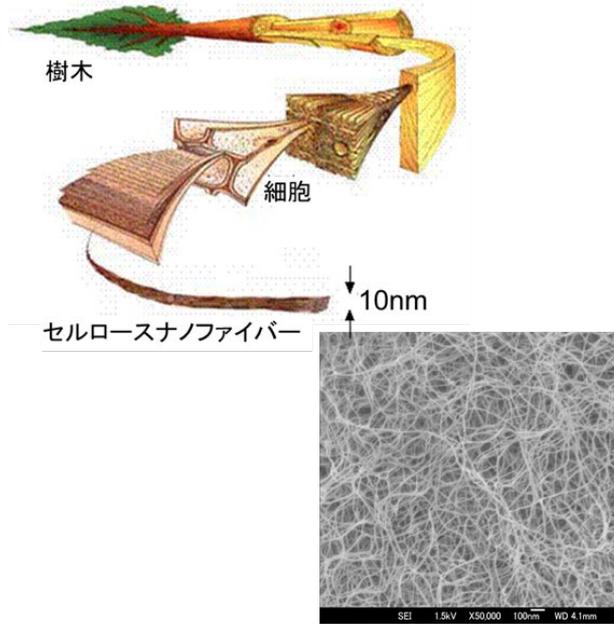
- バイオ×バイオでCO<sub>2</sub>大幅削減へ -

Jイノベ  
J-Innovation HUB



京大大学生存圏研究所 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結晶を形成している幅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、 $-200^{\circ}\text{C}$ 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、 $200^{\circ}\text{C}$ 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。

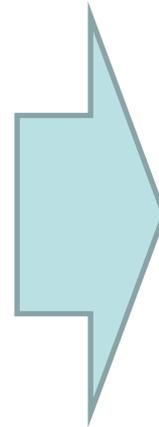
# セルロースナノファイバーで補強可能なバイオマスプラスチック

## 代表的な バイオマスプラスチック

(2024年の生産予想:242万トン)

- バイオPE (29万トン)
- バイオPP(13万トン)
- バイオPA(30万トン)
- PLA(32万トン)
- PBS(9万トン)
- PHBH等(16万トン)
- バイオPC(—)
- バイオPET(15万トン)

CNFで補強可能なバイオマスプラスチック  
制約は有機フィラーゆえの耐熱性:200-230℃



- バイオPE
- バイオPP
- バイオPA
- PLA
- PBS
- PHBH等
- バイオPC
- バイオPET

バイオプラスチックを取り巻く国内外の状況、環境省、2020

有機フィラーゆえのCNFの耐熱性(200-230℃以下の温度での加工)を考えると、バイオPE、バイオPA、PA12、ポリ乳酸、PBS(ポリブチレンサクシネート)、PHBH(ポリヒドロキシブチレート-ヘキサノエート)などがバイオ×バイオ戦略の対象となります。

## 課題

- バイオPE  
易加工性
- PLA  
高剛性
- PBS  
土壌分解性
- PHBH等  
海洋分解性

→ 耐熱性・剛性  
寸法安定性

→ 加工性・寸法安定性  
(結晶化温度)

→ 強度・剛性

→ 強度・剛性

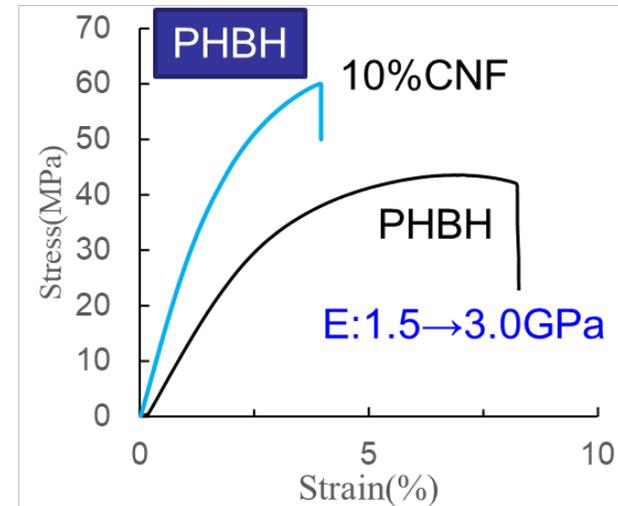
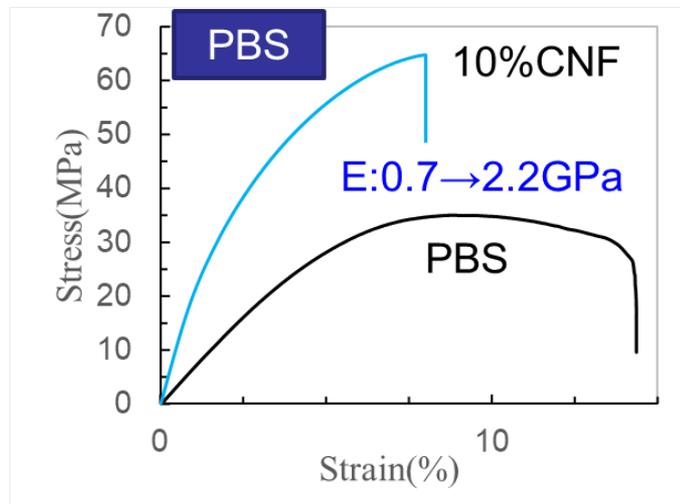
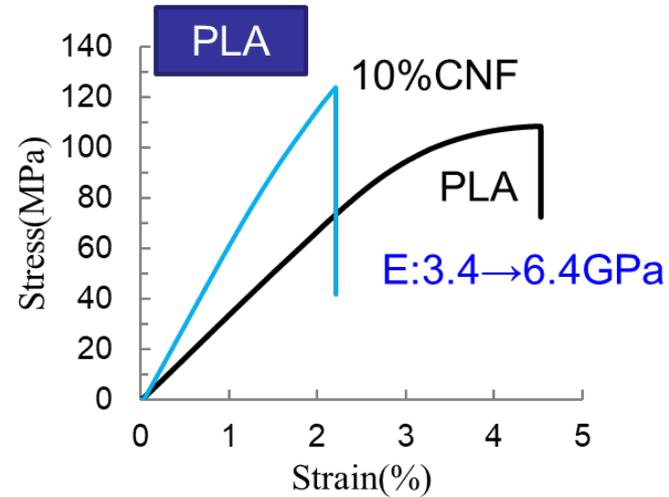
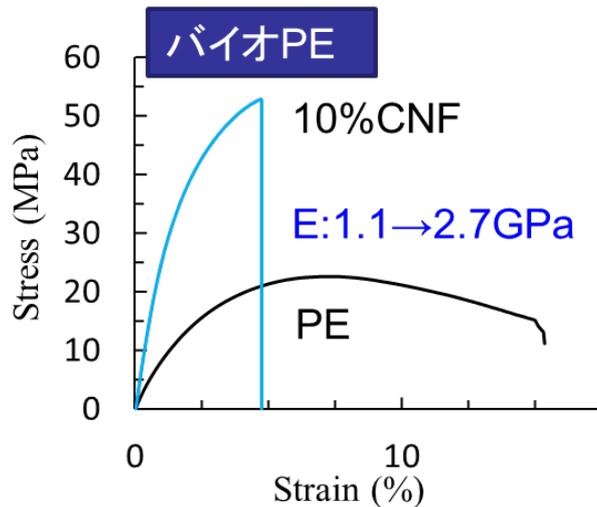
## 用途拡大



高強度・  
高剛性  
CNFで  
補強

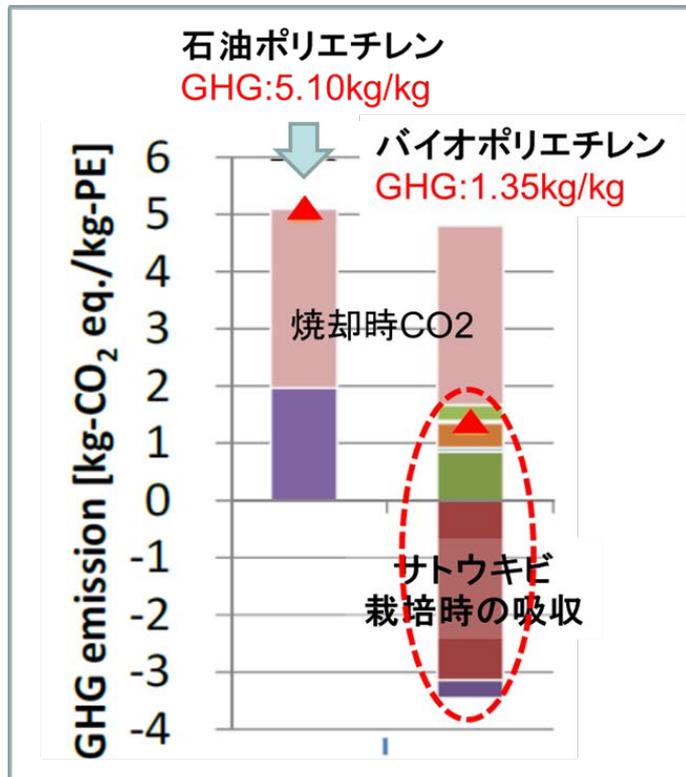
バイオマスプラスチックについては、それぞれに用途拡大、社会実装における課題があります。バイオPEは剛性、耐熱性および線熱膨張で示される寸法安定性です。ポリ乳酸については結晶化速度に関係する加工性、寸法安定性です。生分解性のバイオマスプラスチックであるPBS、PHBHは強度、剛性が向上すれば用途は拡大します。セルロースナノファイバーは、化学変性品も含め、土壌、海洋中で生分解することが明らかになっています。

# CNFによるバイオマスプラスチックの補強性



いずれのバイオマスプラスチックもCNFを10%添加することで、弾性率や耐熱性(線熱膨張、HDT)、寸法安定性が大きく向上します。

# バイオ(CNF) & バイオによるCO2排出の削減(1)



バイオポリエチレンを  
1kg製造すると大気中  
のCO<sub>2</sub>は約2kg減少

しかし

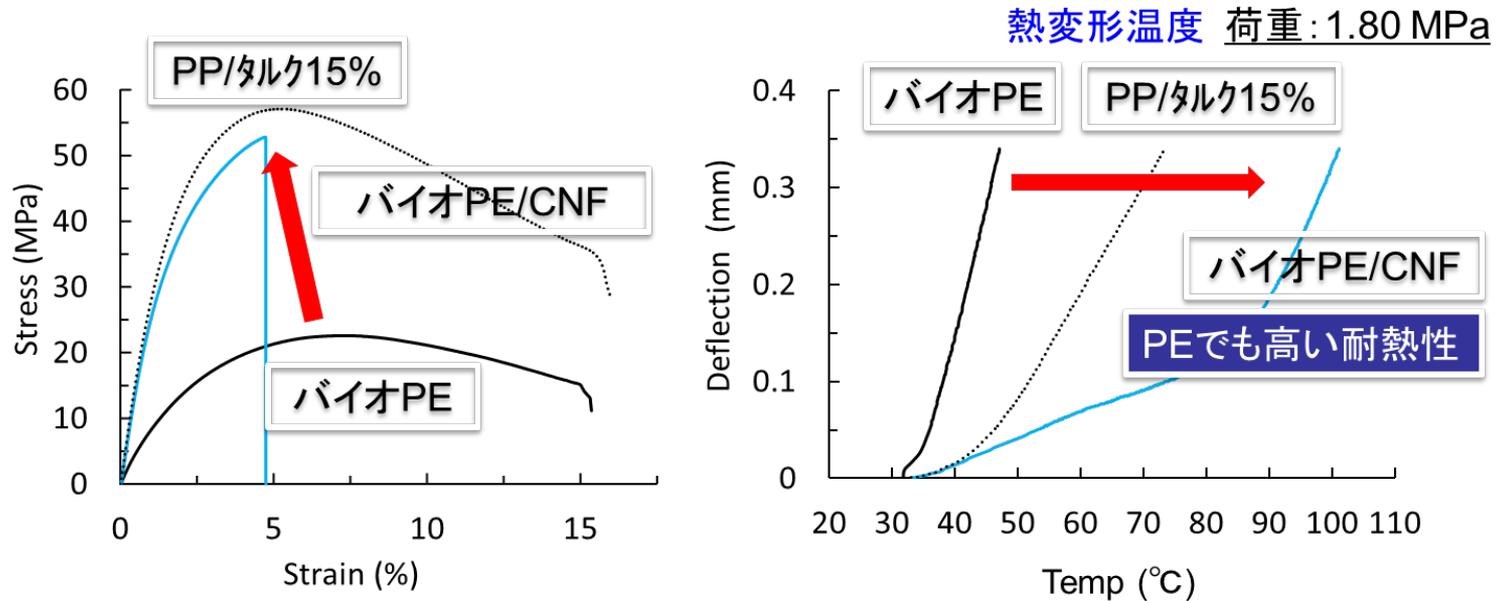
構造用途には  
耐熱性・剛性に課題



菊池、平尾、他、日本LCA学会、2011 (矢野改変)

バイオポリエチレンを1kg製造すると原料となるサトウキビの栽培時の二酸化炭素吸収により、大気中のCO<sub>2</sub>は約2kg減ります。温室効果ガスの削減のためには積極的にバイオポリエチレンを生産し、使用して行きたいところです。しかし、ポリエチレンは、大きなマーケットが期待できる構造用途に使用するには、耐熱性・剛性に課題があります。

# CNF補強によるバイオPEの強度、耐熱性向上(1)



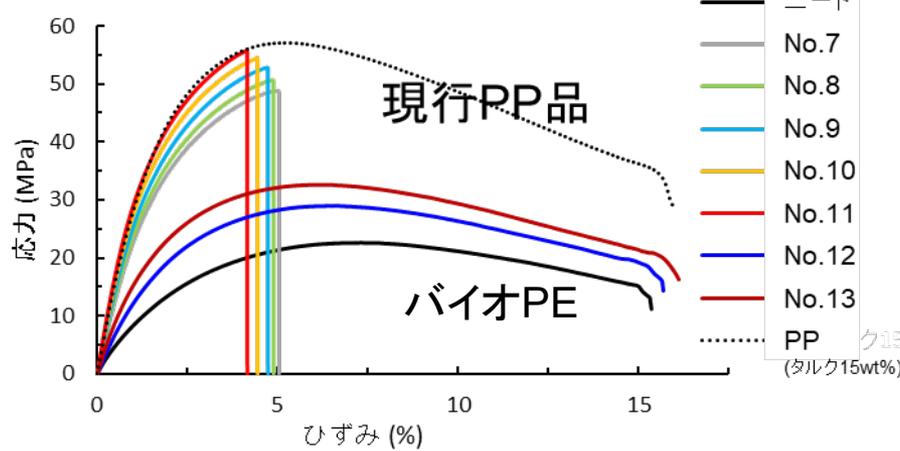
	CNF (wt%)	Talc (wt%)	E (MPa)	Strength (MPa)	Impact strength (kJ/m <sup>2</sup> )		CTE* (ppm/ K)	HDT (°C)	
					Izod	Charpy		0.45 MPa	1.80 MPa
PE	0	0	1108	22.5	3.61	3.34	131.8	84.3	47.1
CNF/PE	10	0	2716	48.5	2.54	2.28	55.9	128	101
Talc/PP	0	15	3450	56.2	3.52	4.48	47.2	134	73.5

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

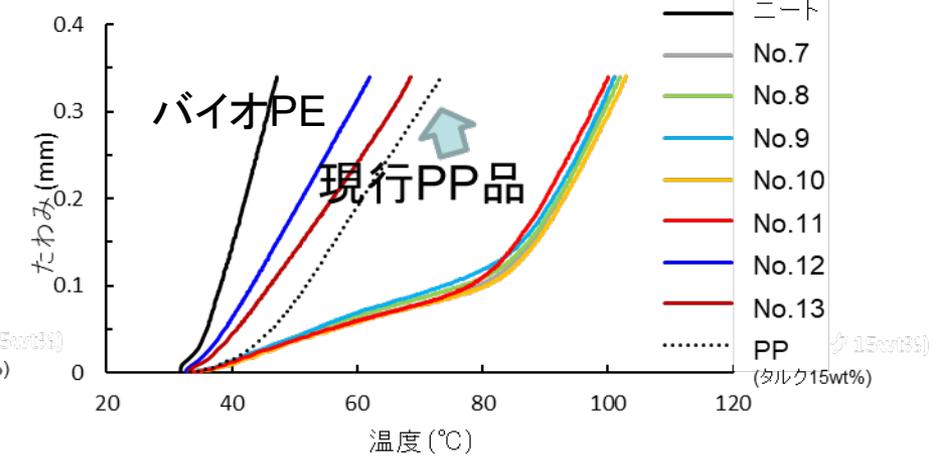
10%のCNF添加でバイオPEの弾性率は1.1GPaから2.7GPaまで増大します。これはタルク添加PP品に近い剛性です。さらに、荷重1.8MPaでの熱変形温度(HDT)がタルクPP品より30°Cも高くなり100°Cに達します。PEのクリープ変形も大きく抑えられます。

# CNF補強によるバイオPEの強度、耐熱性向上(2)

応力-ひずみ曲線



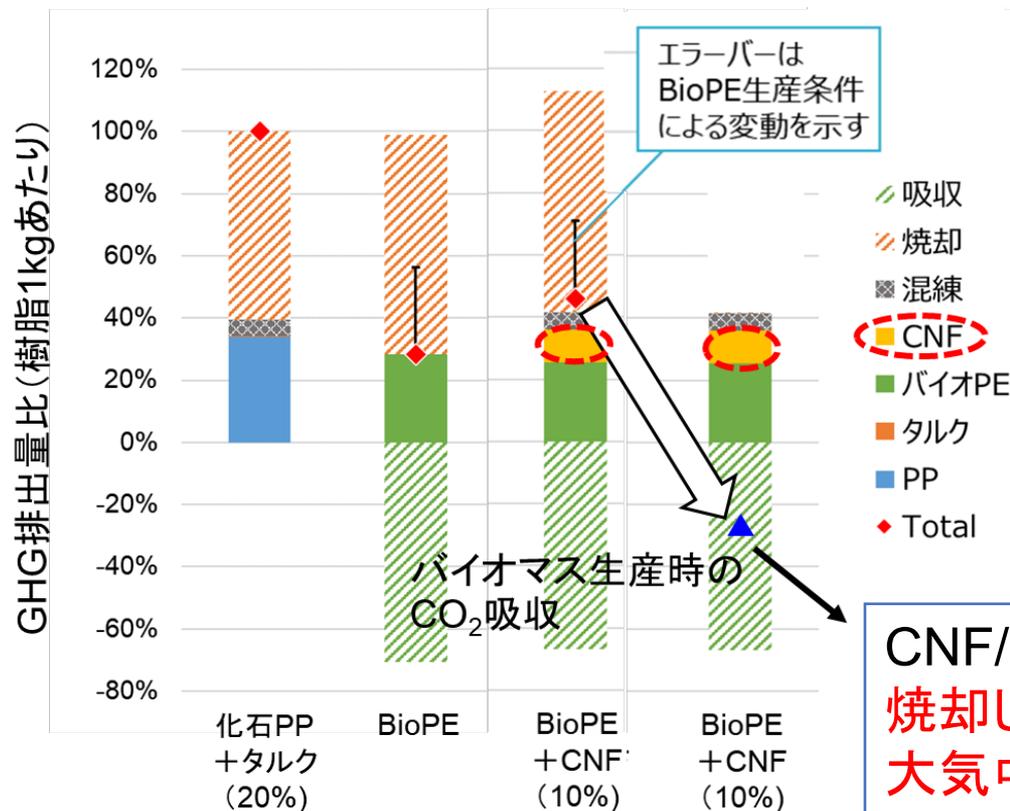
温度-変位曲線(高荷重: 1.80 MPa)



No.	パルプ 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 <sup>2</sup> )		線熱膨張率* (ppm/ K)	荷重たわみ温度(°C)	
						Izod	シャルピー		0.45 Mpa	1.80 MPa
0	バイオPE	0	0	1108	22.5	3.61	3.34	131.8	84.3	47.1
7	0.9	10	0	2716	48.5	2.54	2.28	55.9	128	101
8	0.9	10	5	2888	50.4	3.02	2.41	66.5	129	102
9	0.9	10	10	3156	52.5	3.07	2.73	65.0	126	101
10	0.9	10	15	3554	54.5	3.03	3.35	54.0	129	103
11	0.9	10	20	3836	55.7	1.75	1.77	66.2	128	100
12	-	0	10	1554	29.0	2.79	2.33	94.4	90.0	62.3
13	-	0	20	2060	32.4	2.58	2.31	97.7	95.5	68.2
	現行タルクPP品	0	15	3450	56.2	3.52	4.48	47.2	134	73.5

\*MD方向、評価温度範囲 10-30°C

# バイオ(CNF) & バイオによるCO2排出の削減(2)



- 原料採取から樹脂ペレット生産までを範囲とした評価
- CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを検討するために、排出量最小となる条件を組み合わせた評価
- 生産条件や外部要因によって変動しうる
- 電力の排出原単位に2015年日本平均を採用

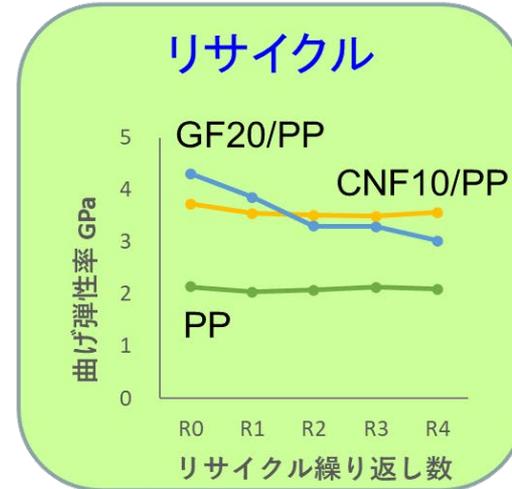
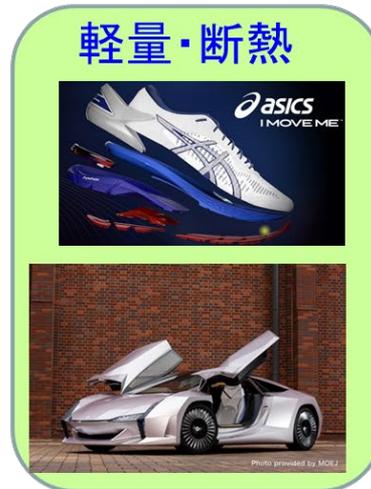
CNF/バイオPEは  
 焼却しなければ  
 大気中のCO<sub>2</sub>が減っていく!

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実証事業「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」成果報告(評価)成果報告書」に基づき作成

LCA評価によれば、CNFで補強した場合においても、焼却しなければ排出温室効果ガスがマイナスになることが明らかとなっています。これはバイオポリエチレンに加えセルロースナノファイバーも原料が植物バイオマスであり、その生産時において二酸化炭素を吸収していることに他なりません。

## 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



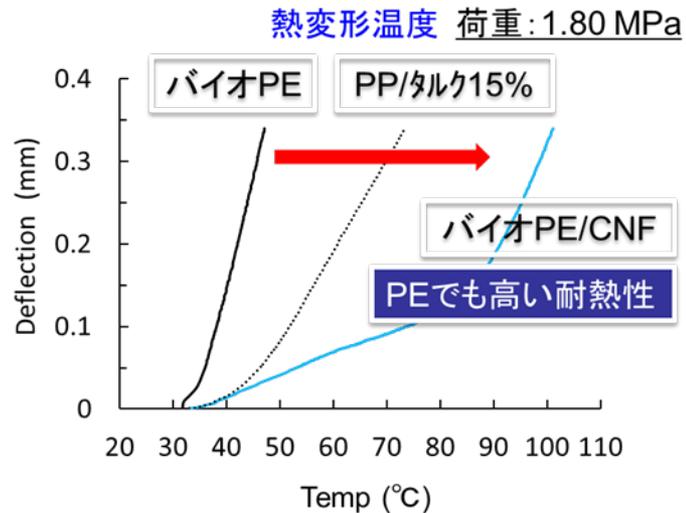
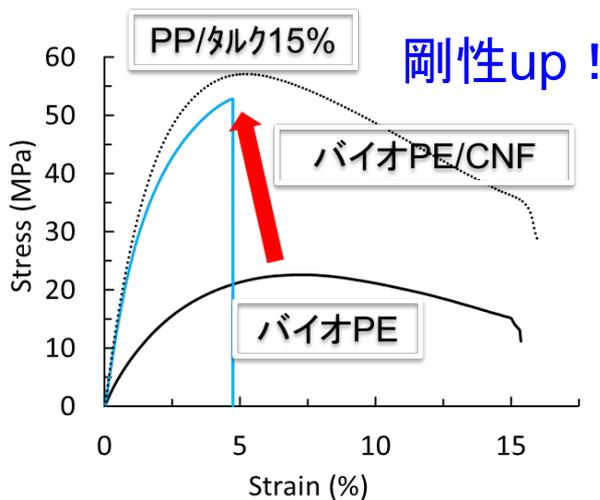
R1-R2年度 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業(環境省)

燃やさなければ

使えば使うほど大気中のCO<sub>2</sub>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。

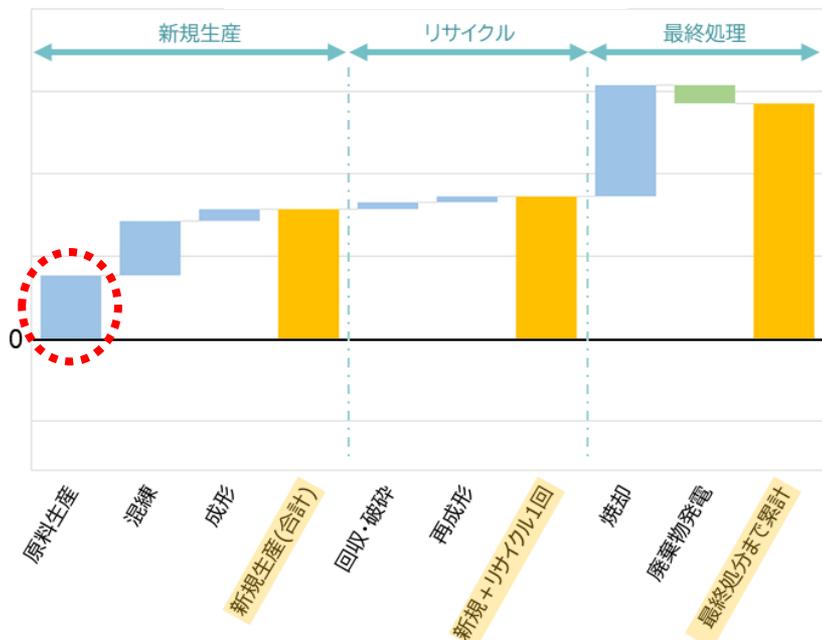
# バイオ×バイオ



■ 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

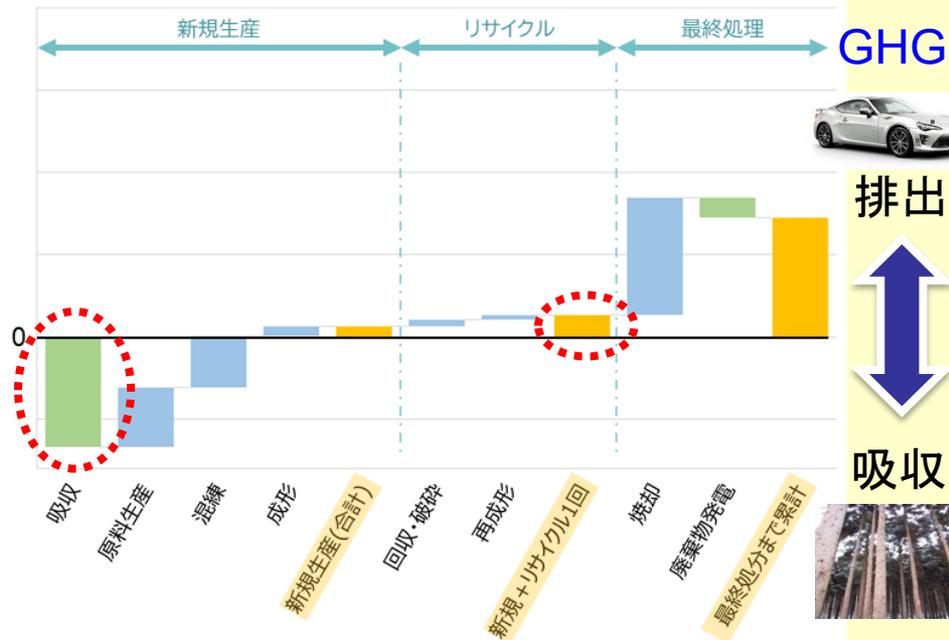
## タルク-PP

■ 増加 ■ 減少 ■ 合計



## CNF-BioPE

■ 増加 ■ 減少 ■ 合計



# 2050年は

当たり前のようにバイオマスから  
日用品、家電、自動車を作る時代



世界に先駆け  
日本から！

CO<sub>2</sub>  
ゼロエミッション