

セルロースナノファイバー補強による バイオマスプラスチック用途拡大の推進

(JPMEERF20211G01)

【重点課題】

主:【重点課題④】環境問題の解決に資する新たな技術シーズの発掘・活用

副:【重点課題⑥】海洋プラスチックごみ問題への対応

【行政要請研究テーマ(行政ニーズ)】

(1-④) バイオテクノロジー等を活用した環境問題の解決に資する新素材等の技術シーズの発掘、活用に向けた研究・技術開発

(1-⑥) 従来のプラスチックの代替となる生分解性プラスチックやバイオマスプラスチック等の環境配慮型素材の応用に関する研究・技術開発

研究代表機関: 京都大学 研究代表者: 矢野浩之

実施期間: 令和3年度～5年度

研究分担機関: (地独)京都市産業技術研究所、サステナブル経営推進機構

1. はじめに

大目標

2050年ゼロエミッション 我が国の脱炭素対策

そのために

2030年までに
バイオプラスチック*を
200万トン導入

(*:以後、バイオマス由来のプラスチックと生分解性プラスチックの総称として使用)



図 バイオプラスチック200万トン導入に向けて
我が国のバイオプラスチック導入ロードマップ

(環境省HPより、<https://www.env.go.jp/content/900534515.pdf>)

バイオプラスチック

代表的な バイオプラスチック

(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(ー)
- バイオPET(15万トン)

CNFで補強可能な バイオプラスチック

律速は有機フィラーゆえの(10万トンの用途創出)
耐熱性:200-230℃

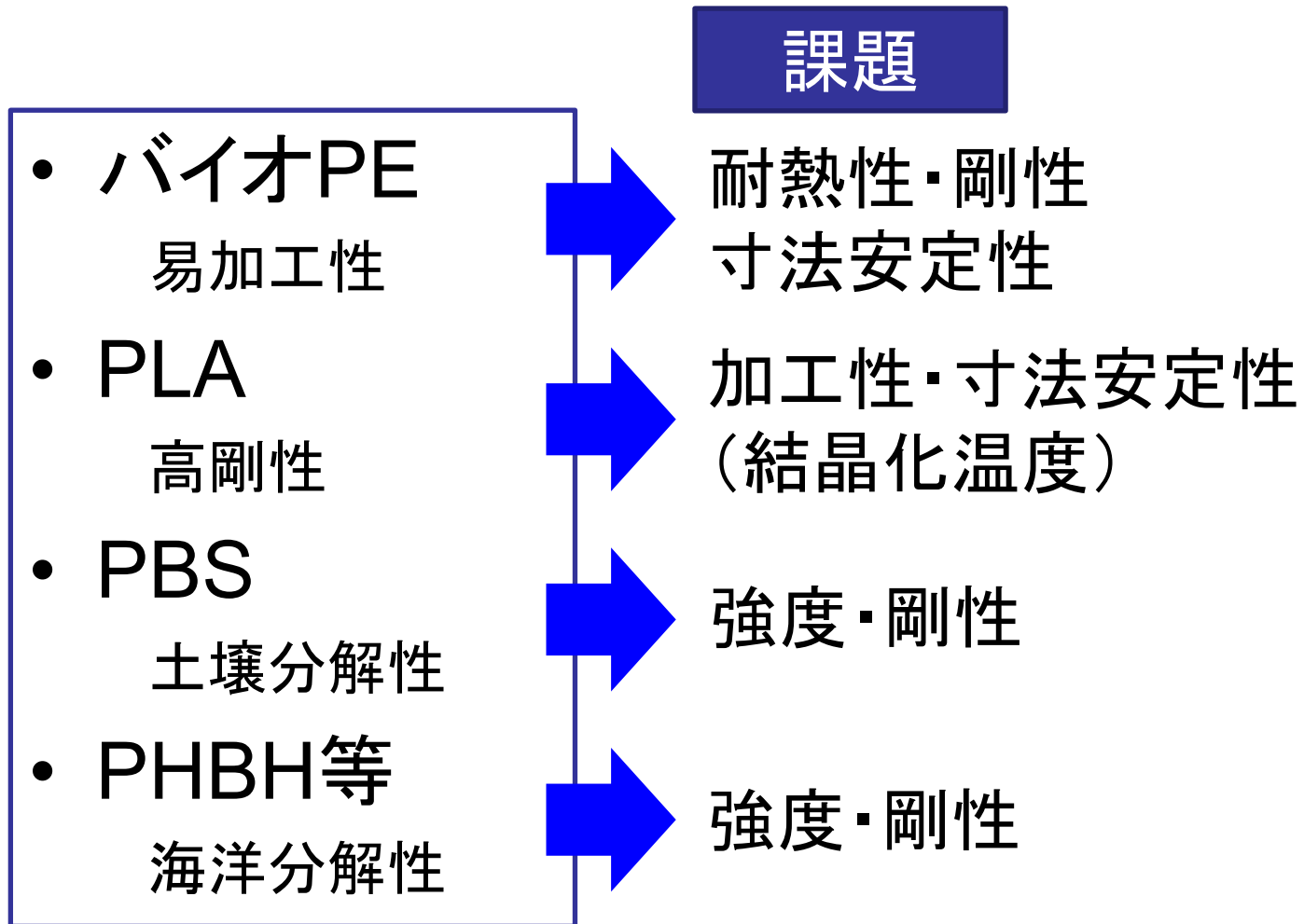
- バイオPE
- バイオPP
- バイオPA
- PLA
- PBS
- PHBH等
- バイオPC
- バイオPET

本研究で扱う バイオプラスチック

- **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の性能課題

バイオマス由来であること、生分解性であることを求めると

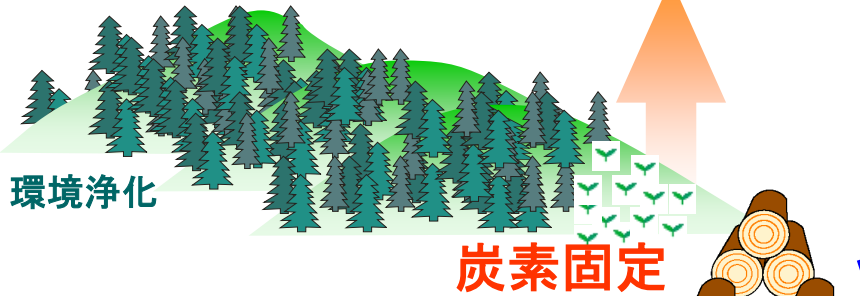


セルロースナノファイバー



二酸化炭素吸収

酸素放出



環境浄化

炭素固定

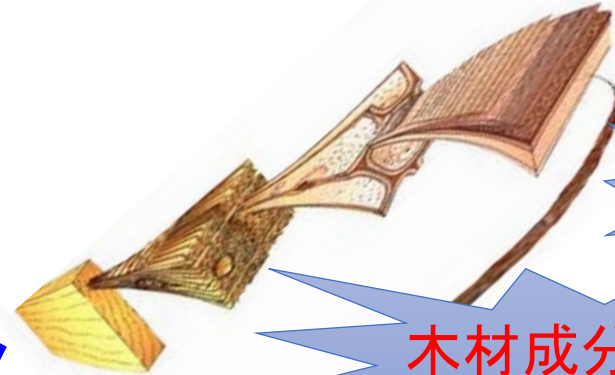
自国産業造林

セルロースナノ材料

- ・鋼鉄の1/5の軽さで鋼鉄並の強度
- ・低熱膨張で透明フレキシブル

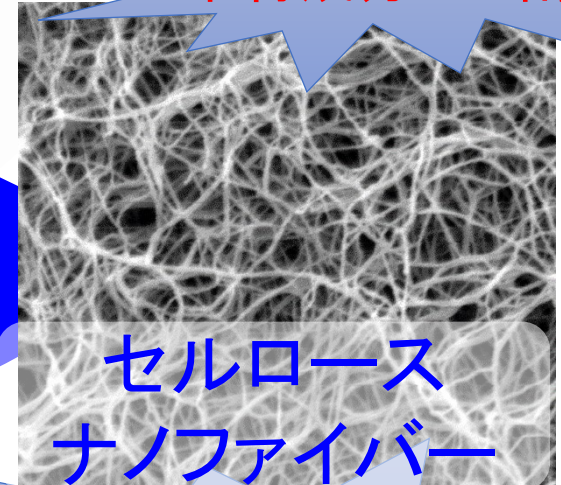
温暖化ガス大幅削減！

抽出・
複合化



幅10nm

木材成分の5割



セルロース
ナノファイバー

鋼鉄の5倍の強度
ガラスの1/50の熱膨張



バイオプラスチックの性能課題

課題

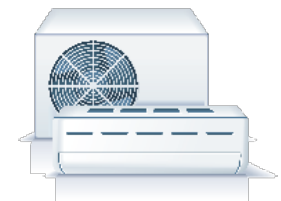
- バイオPE
易加工性
- PLA
高剛性
- PBS
土壌分解性
- PHBH等
海洋分解性

- ➔ 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

高強度・
高剛性
CNFで
補強



用途拡大



2. 研究開発目的、3. 研究目標及び研究計画

研究開発目的

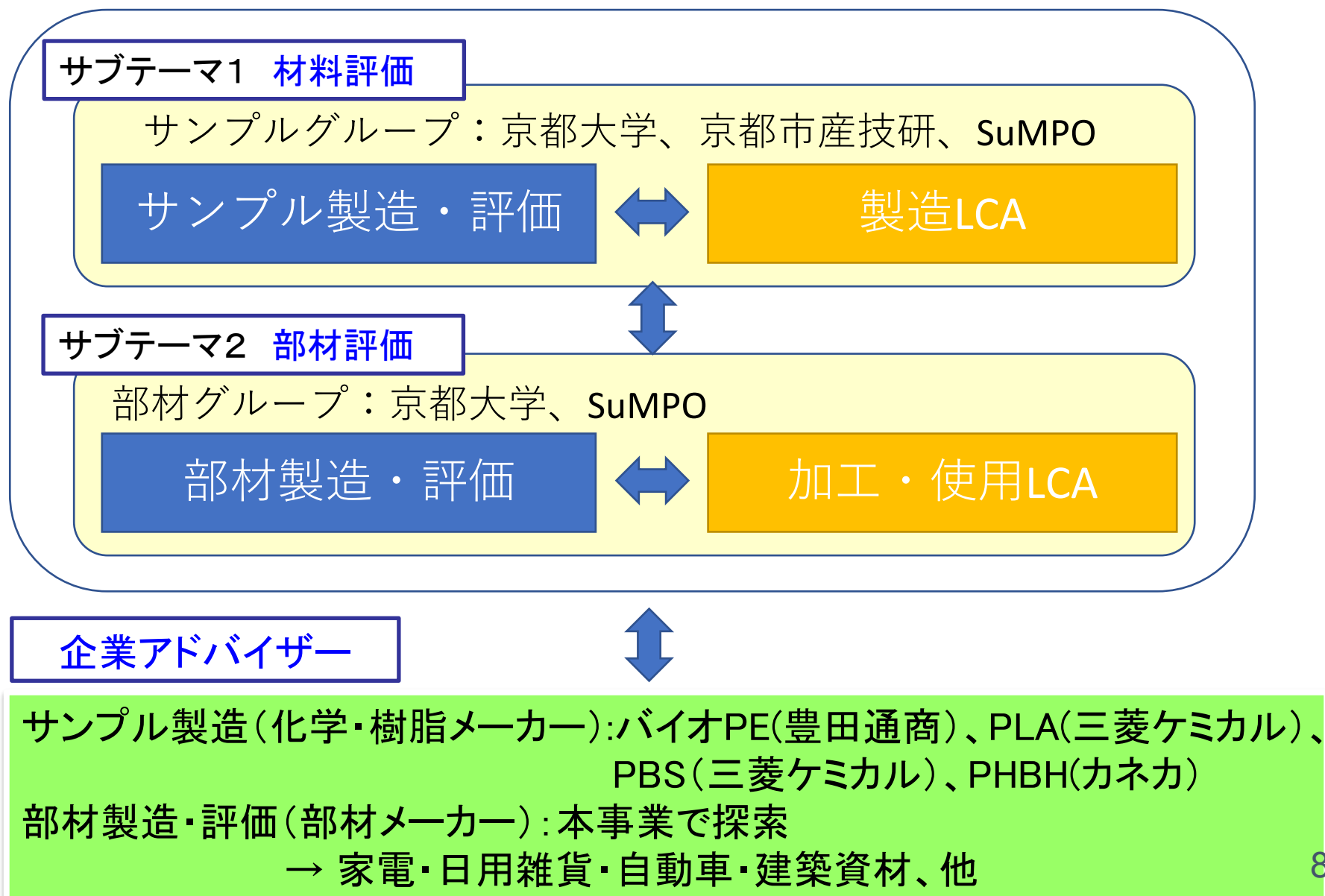
植物由来の高強度ナノ繊維であるCNFによる補強による、
バイオPE, PLA, PBS, PHBHの導入拡大について検証。

研究目標

4種類のバイオプラスチックについて、
コスト/パフォーマンスの壁をクリアして
10万トンの実用化可能な製品、用途を見出す。

3. 研究目標及び研究計画

研究計画



4. 研究開発内容

研究開発内容のポイント

社会実装のためのユーザーの実感/うれしさに向けて

ポイント①. 用途に応じた

CNF強化バイオプラスチックの**カスタマイズ**

ポイント②. 製造・加工時の**LCAデータの取得と提供**

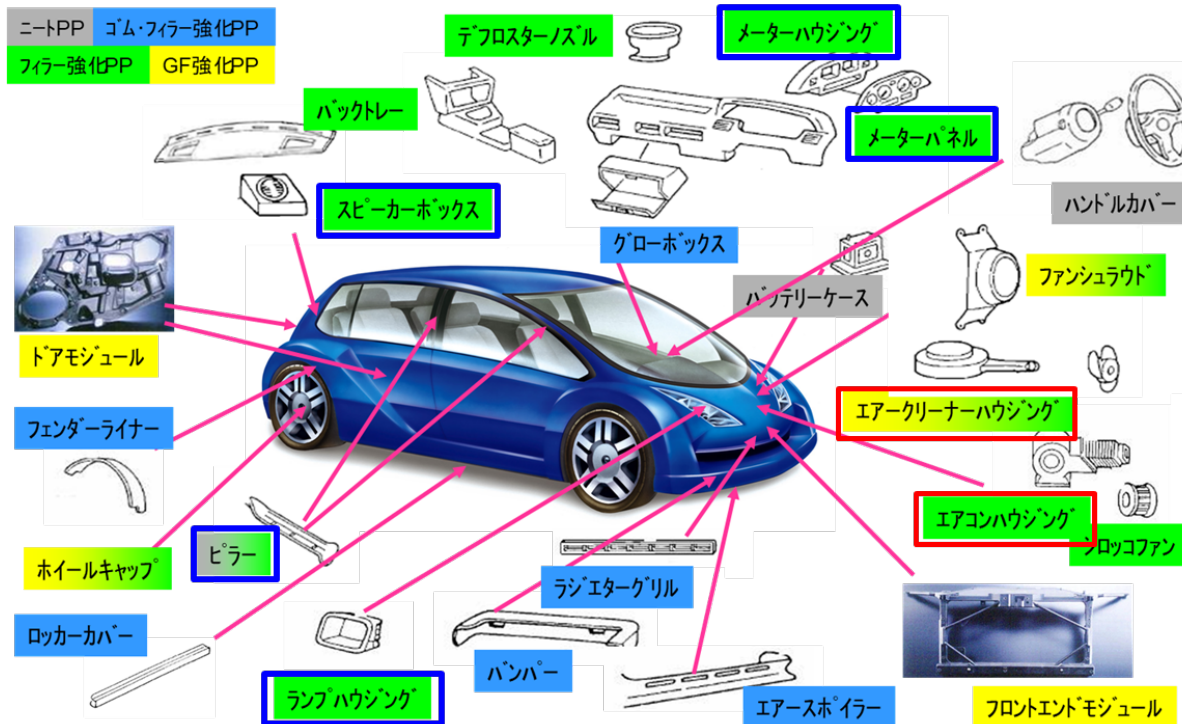
カスタマイズ

部品ごとに樹脂の組成、性能が異なる

家電・日用品・
建築資材も同様

自動車用PP搭載部品

国内70万トン！
(PPベース)



LCA、CO₂削減効果の見える化

サステナブル経営推進機構

- CNFで強化したバイオプラスチック材料およびその成形品について、製品ライフサイクルにおけるCO₂削減ポテンシャルを算定。
- 算定結果を材料・成形品の評価実証研究に随時フィードバック。実用物性等の向上検討を加速。
- 次世代バイオプラスチックのLCA算定ルールの在り方について要件を整理。



事業者の次世代バイオプラスチック活用推進に必要な環境性能基盤構築に貢献

CNF/バイオプラスチック材料の製造

『パルプ直接混練法』“京都プロセス”



繊維のナノ化と高融点樹脂への均一分散を同時に達成。

製造コストの大幅削減！

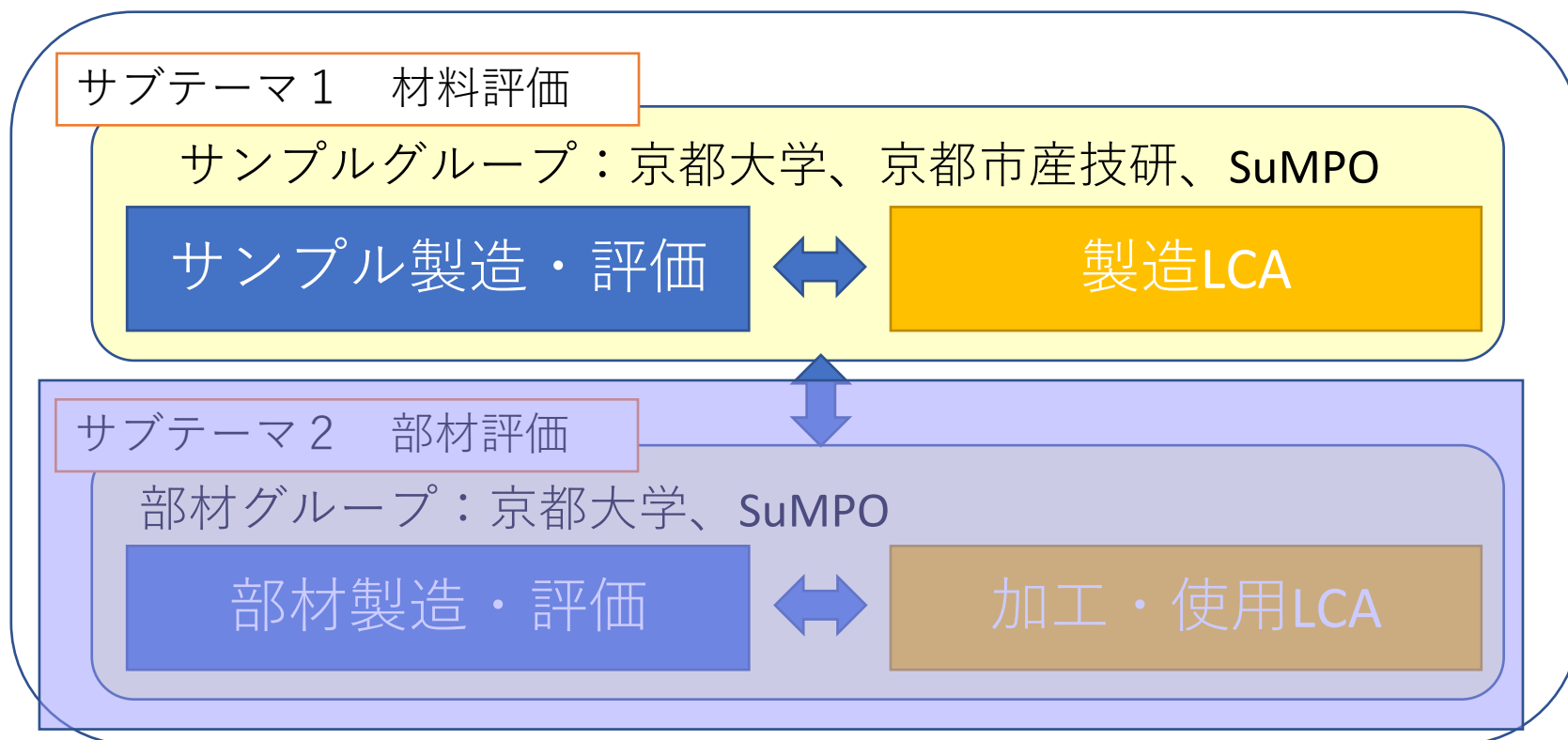


NEDOプロジェクトで京都市産技研等と共同開発

2016年度本田賞(日本初の国際賞)を受賞

5. 結果及び考察

サブテーマ 1



令和3年度目標

(研究計画)

バイオプラスチック:ポリ乳酸、バイオPE、PBS、PHBHについてアセチル化CNF添加率等を変化させて複合材を作製し、射出成形サンプルについて強度性能、環境性能および土壌分解性、海洋分解性を評価する。

LCAについて原料栽培時の土地利用変化等の最新の評価動向を踏まえて暫定的な算定方法論を作成し、各材料の製造時温室効果ガス排出原単位を整備する。

サブテーマ 1

令和5年
度までの
目標

①高剛性構造用途: CNF複合ポリ乳酸、CNF複合ポリ乳酸/バイオPE

曲げ弾性率: 10%CNF複合でポリ乳酸、ブレンド樹脂の2倍、
線熱膨張係数: 10%CNF複合でポリ乳酸、ブレンド樹脂の半分。

②耐衝撃構造用途: CNF複合バイオPE

耐衝撃性(Charpy強度): 10%CNF CNF複合でバイオPE(1.5kJ/m²)の2倍。衝
撃性を有した状態で熱変形温度(高荷重)をバイオPEより30°Cアップ。

③土壌分解性・高剛性構造用途: CNF複合PBS

PBSと同等の土壌分解性を保持した状態で、曲げ弾性率: PBSの2倍、曲げ強
度: PBSの2倍、熱変形温度(高荷重)をPBSより30°Cアップ。

④海洋分解性・高強度材料用途: CNF複合PHBH、CNF複合PHBH/PBS

PHBHと同等の海洋分解性を保持した状態で、曲げ弾性率: PHBHの2倍、曲げ
強度: PHBHの2倍、熱変形温度(高荷重)をPHBHより30°Cアップ。

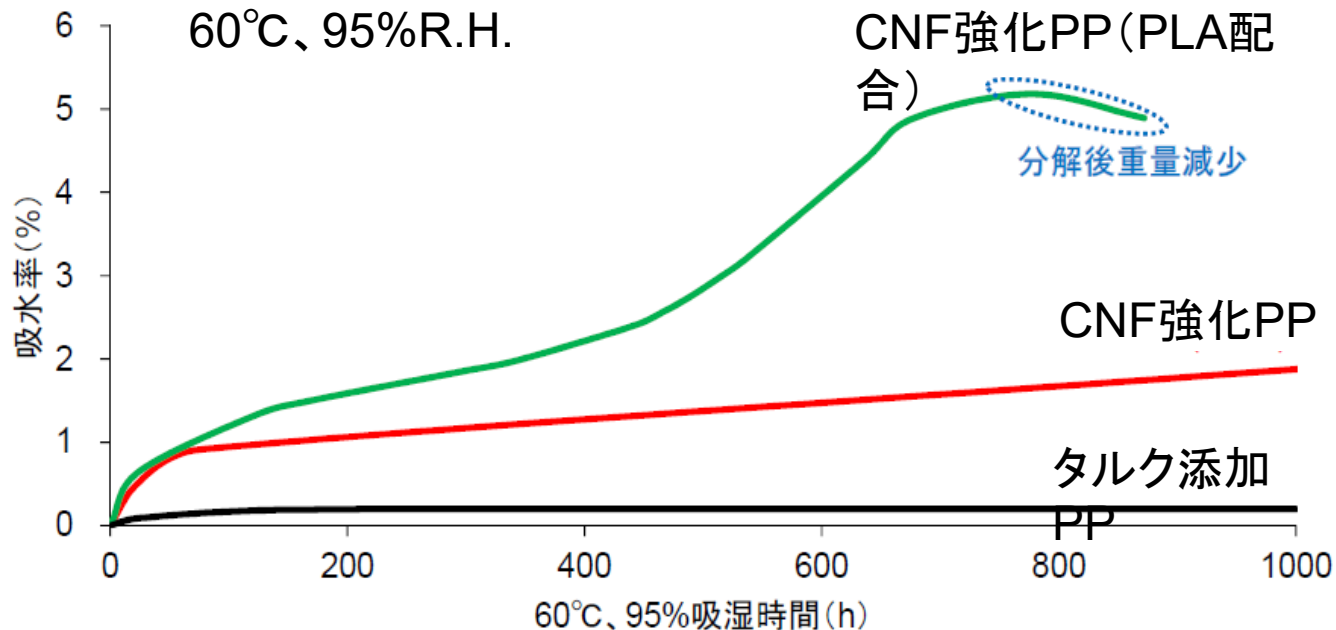
⑤環境性能(各複合材共通)

上記CNF複合材について、環境性能の代表指標としてLCA手法を用いて複
合材製造プロセスまでのライフサイクル温室効果ガス排出量を明らかにする。

サブテーマ 1

令和5年
度までの
目標

①高剛性構造用途: CNF複合ポリ乳酸、CNF複合ポリ乳酸/バイオPE
曲げ弾性率: 10%CNF複合でポリ乳酸、ブレンド樹脂の2倍、
線熱膨張係数: 10%CNF複合でポリ乳酸、ブレンド樹脂の半分。



PLAを配合したCNF強化PP品において、PLAの分解によると思われる現象を確認。
今後、PLAに関しては、CNF強化PEにおける解繊補助剤としての利用を検討。

射出成形



目標

耐衝撃構造用途： CNF複合バイオPE

- ・耐衝撃性 (Charpy強度) : 10%CNF複合でバイオPE(1.5kJ/m²)の2倍。
- ・耐衝撃性を有した状態で熱変形温度(高荷重)をバイオPEより30°Cアップ。

表 CNF補強による射出成形グレードバイオPEの強度特性変化

	曲げ試験			シャルピー衝撃試験 4J		備考
	弾性率 (GPa)	強度 (MPa)	破断ひずみ (%)	ノッチあり (kJm ⁻²)	ノッチなし (kJm ⁻²)	
ベース樹脂 SHA7260	1.13	25.1	-	2.68	(103)*	*すべてNBのため参考値
CNF10% +タルク15%	3.76	60.8	4.4	3.00	21.5	MFR 0.33 (190°C, 2.16 kg) CTE 38 ppm/K
CNF5%+タルク2.5%	1.73	36.8	-	2.43	30.9	
CNF5%+タルク10%	2.24	42.2	-	2.57	27.1	

目標を概ね達成。

R5年度までの目標達成

→ 成形法に応じたバイオPEの選択とカスタマイズ。

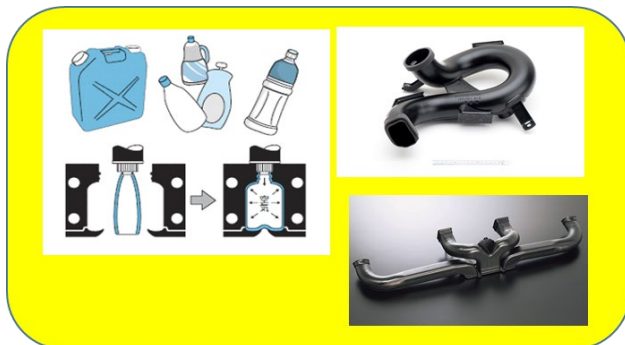
バイオPEのカタログから (Braskem社)

射出成形



Injection Molding														
Typical Properties	Melt Flow Rate (190°C/2.16 kg)	Melt Flow Rate (190°C/2.16 kg)	Density	Tensile Strength at Yield *	Tensile Strength at Break *	Flexural Modulus (1% Strain) *	Shore D Hardness *	Notched Izod Impact Strength *	Environmental Stress Cracking Resistance (10% Igepal) **	Environmental Stress Cracking Resistance (100% Igepal) **	Vicat Softening Temperature *	Deflection Temperature Under Load (0.45 MPa) *	Minimum Iib-based content	
ASTM Methods	D 1238	D 1238	D 1505/D 792	D 638	D 638	D 790	D 2240	D 256	D 1693	D 1693	D 1525	D 648	D 6866	
Unit	g/10 min	g/10 min	g/cm ³	MPa	MPa	MPa	-	J/m	hF50	hF50	°C	°C	%	
HDPE	SHA7260	20	-	0.955	29	-	1,350	64	25	-	<4	124	74	94
	Pails & basins; Caps & Closures; Toys; Lids; Thin-walled parts and Housewares.													
	SHC7260	7.2	-	0.959	30	-	1,350	64	35	-	<4	126	76	94
	Industrial containers; Safety Helmets; Toilet seats; Housewares; Toys; Lids; Caps & Closures; Pallets and Boxes for beverages bottles; Boxes for fish and groceries.													
	SHC7260LSL	7.2	-	0.959	30	-	1,350	64	35	-	<4	126	76	94
	Industrial containers; Safety Helmets; Toilet seats; Housewares; Toys; Lids; Caps & Closures; Pallets and Boxes for beverages bottles.													
SHD7255LSL	4.5	-	0.954	27	-	1,270	63	45	-	<5	127	74	94	
Bins; Boxes for fish and groceries; Boxes for general purpose.														
SGE7252	2.0	85.0	0.952	26	14	1,200	55	50	40	-	125	72	96	
Caps and closures for beverages.														
SGE7252XP	2.0	85.0	0.952	26	14	1,200	55	50	-	-	125	72	94	
Caps and closures for CSD.														

ブロー成形



HDPE	SGF4950	0.34	28	0.956	30	30	1,350	63	150	40	70	129	75	96
	Bottles for household cleaning products and health and care products; Bottles for food products; Rigid containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 33).													
	SGF4950HS *	0.21	20	0.951	-	35	1,100	-	175	150	1,000	-	70	95
	Canisters from 2 to 20L for chemical products; Flasks for concentrated detergent; Reservoir for wind shield wiper and air ducts.													
	SGF4960	0.34	28	0.961	30	35	1,400	64	225	-	25	129	79	96
Bottles for household cleaning products and health and care products; Bottles for food products; Rigid containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 33).														
SGD4960	0.70	50	0.961	32	22	1,600	64	89	19	24	128	79	96	
Bottles for food applications such as dairy products and beverages; Containers for non-food applications such as alcohol; cosmetics and lubricant oils.														

目標

耐衝撃構造用途:

CNF複合バイオPE

- ・耐衝撃性(Charpy強度): 10%CNF複合でバイオPE(1.5kJ/m²)の2倍。
- ・耐衝撃性を有した状態で熱変形温度(高荷重)をバイオPEより30°Cアップ。

目標を概ね達成。

→ 成形法に応じたバイオPEの選択とカスタマイズ。

表 CNF補強による射出成形グレードバイオPEの強度特性変化

	曲げ試験			シャルピー衝撃試験 4J		備考
	弾性率 (GPa)	強度 (MPa)	破断ひずみ (%)	ノッチあり (kJm ⁻²)	ノッチなし (kJm ⁻²)	
ベース樹脂 SHA7260	1.13	25.1	-	2.68	(103)*	*すべてNBのため参考値
CNF10% +タルク15%	3.76	60.8	4.4	3.00	21.5	MFR 0.33 (190°C, 2.16 kg) CTE 38 ppm/K
CNF5% +タルク2.5%	1.73	36.8	-	2.43	30.9	
CNF5% +タルク10%	2.24	42.2	-	2.57	27.1	

表 CNF補強による**ブロー成形**グレード・バイオPEの強度特性変化

CNF添加率：5%	曲げ試験			シャルピー衝撃試験 4J		備考
	弾性率 (GPa)	強度 (MPa)	破断ひずみ (%)	ノッチあり(kJm ⁻²)		
ベース樹脂 SHE150	1.01	22.1	-	33.4		CTE 190ppm/K (40-60°C)
二段階	1.49	35.6	-	4.92		
一段階	1.49	36.3	-	4.62		
一段階・ 高吐出量	1.60	34.8	-	5.47		MFR 0.25 (190°C, 2.16 kg) CTE 130ppm/K (40-60°C)

表 CNF補強による**フィルム成形**グレード・バイオPEの強度特性変化

	曲げ試験			シャルピー衝撃試験 4J		備考
	弾性率 (GPa)	強度 (MPa)	破断ひずみ (%)	ノッチあり (kJm ⁻²)		
ベース樹脂 SLH118	0.272	8.49	-	(64.4)*		*すべてNBのため参考値
CNF10%	1.30	26.2	-	10.8		
CNF1%	0.341	10.2	-	(72.3)**		**すべて不完全破壊

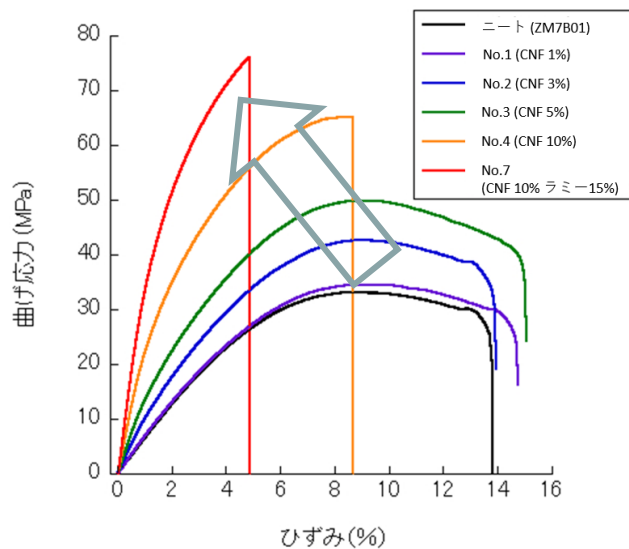
CNF複合PBS

令和5年
度までの
目標

③土壌分解性・高剛性構造用途：CNF複合PBS

PBSと同等の土壌分解性を保持した状態で、**曲げ弾性率：PBSの2倍、
曲げ強度：PBSの2倍、熱変形温度（高荷重）をPBSより30°Cアップ。**

表4 CNF複合PBSの性能一覧



No.	CNF (%)	ラミー	曲げ弾性率 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	HDT (°C)
ニート	0	0	660	33.2	70.2
1	1	0	710	35.2	75.0
2	3	0	1090	42.7	78.6
3	5	0	1460	49.9	84.1
4	10	0	2430	64.5	93.2
5	10	5	2780	66.0	95.4
6	10	10	3230	70.3	95.7
7	10	15	3720	75.3	100.0

図 代表的なCNF複合PBSの
応力—ひずみ曲線

 R5年度までの目標達成

CNF複合PHBH

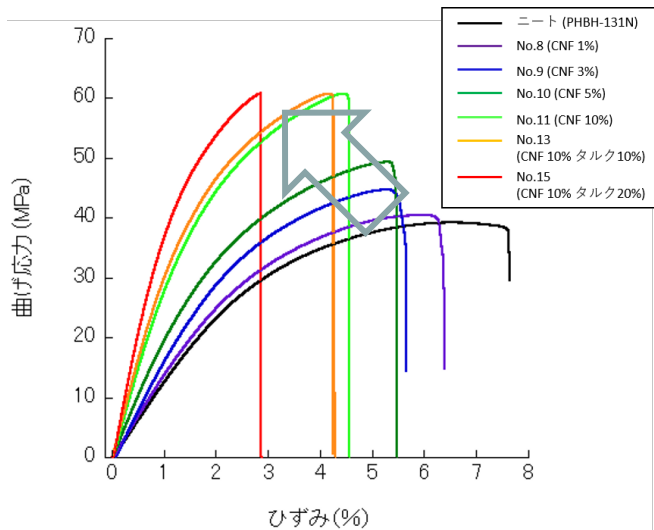
令和5年度までの目標

④海洋分解性・高強度材料用途：

CNF複合PHBH、CNF複合PHBH/PBS

PHBHと同等の海洋分解性を保持した状態で、曲げ弾性率：PHBHの2倍、曲げ強度：PHBHの2倍、熱変形温度(高荷重)をPHBHより30°Cアップ。

表 CNF複合PHBHの性能一覧



No.	CNF (%)	タルク (%)	曲げ弾性率 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	HDT (°C)
ニート	0	0	1310	39.5	77.0
8	1	0	1460	40.5	80.0
9	3	0	1790	44.8	80.8
10	5	0	2090	49.4	85.3
11	10	0	3080	60.9	94.4
12	10	5	3100	58.0	92.3
13	10	10	3320	59.7	94.5
14	10	15	4130	62.7	94.2
15	10	20	4490	61.4	93.0
16	0	5	1570	41.4	77.9
17	0	10	1770	41.0	78.7
18	0	20	2310	41.4	80.6

図 代表的なCNF複合PHBHの応力—ひずみ曲線

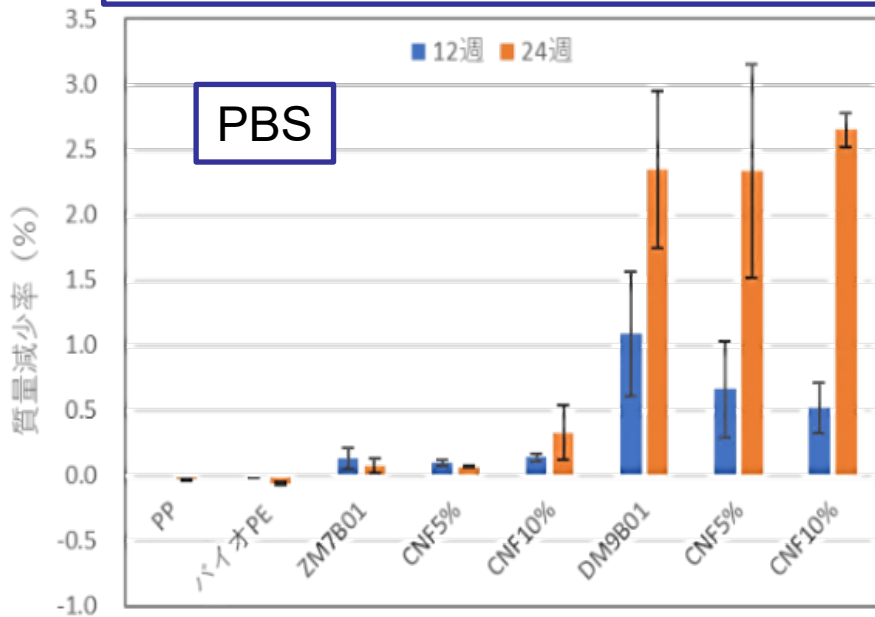
□ R5年度までの目標達成

土壌中での生分解性試験

土壌埋設
28°C、12週間および24週間



CNF添加でも同等の生分解性を維持



CNF添加で生分解性促進の傾向

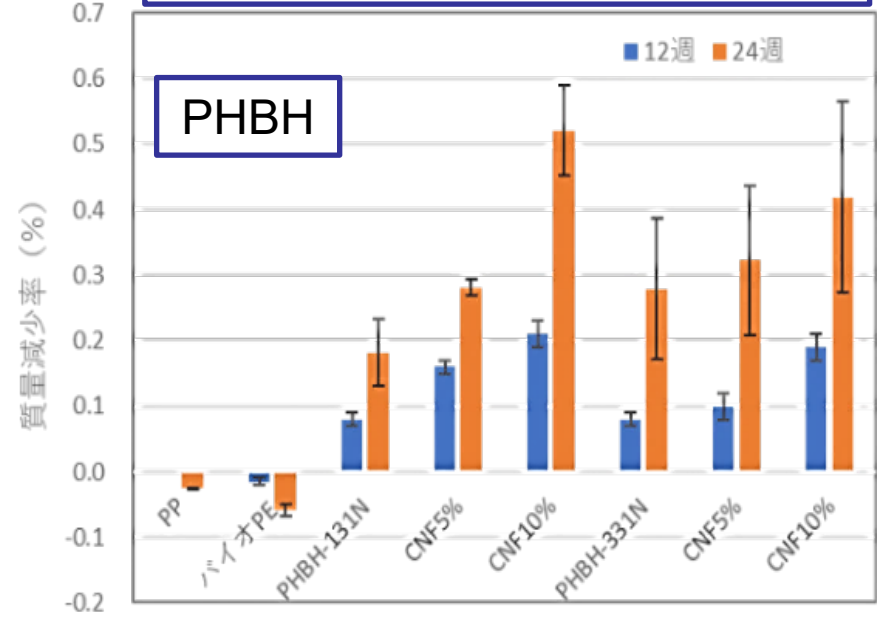


図 生分解試験後のサンプルの重量減少率
左:PBS、右:PHBH 対象としてPP、バイオPEを使用。

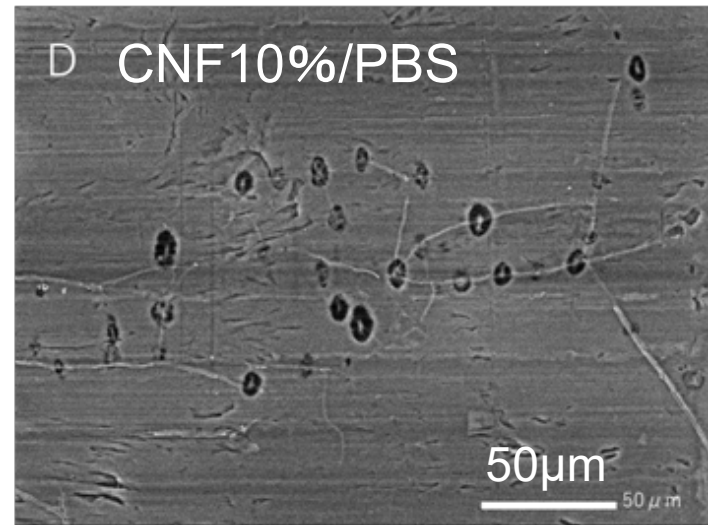
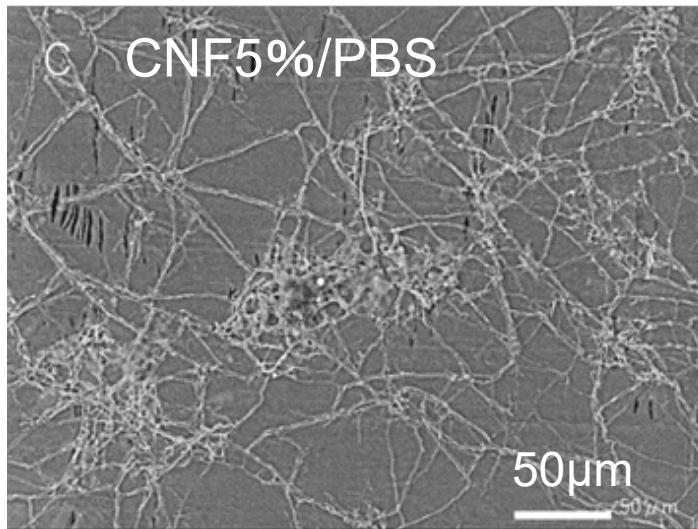
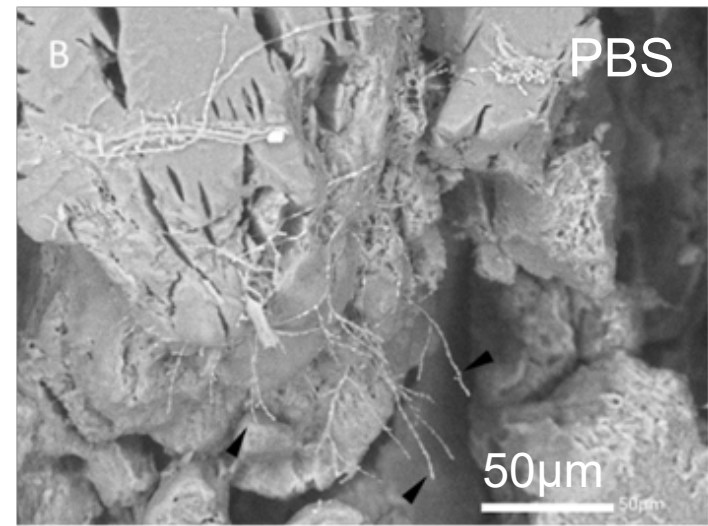
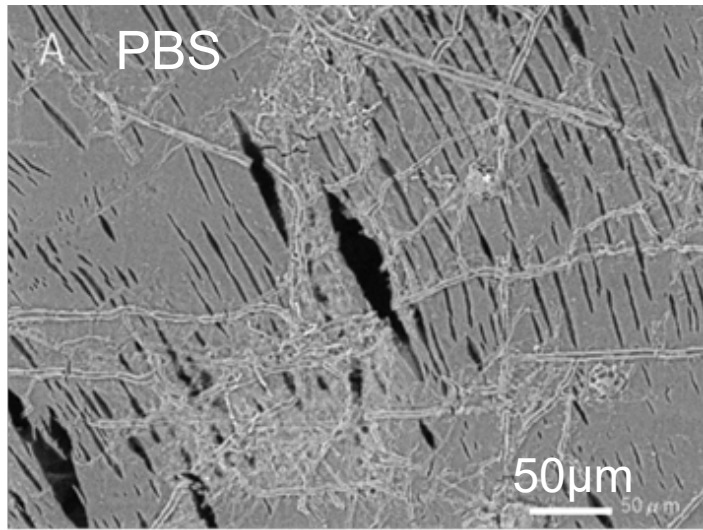


図 低真空SEMを用いた生分解後PBSサンプル表面の観察

A: DM9B01 (12週)、B: DM9B01 (12週) 放線菌 (黒矢印)、C: CNF5%/DM9B01 (12週)、
D: CNF10%/ZM7B01 (12週) 糸状菌の菌体外酵素による劣化

評価サンプルの提供(目標)

第一段階評価:5kg評価×2回 → 第二段階評価:20-50kg
すべてのサンプルで強度・耐熱性、LCA評価

		2021	2022	2023	計
樹脂		提供件数	提供件数	提供件数	計
バイオPE	第一段階 5kg×2回	5→6	3→3	3	11
	第二段階 20-50kg	0→1	3	4	7
PLA	第一段階 5kg×2回	3→0	3	2	8
	第二段階 20-50kg		1	2	3
PBS	第一段階 5kg×2回	2→0	3→1	1	6
	第二段階 20-50kg		1	2	3
PHBH	第一段階 5kg×2回	2→0	3→1	1	6
	第二段階 20-50kg		1	2	3

要耐久性の改善

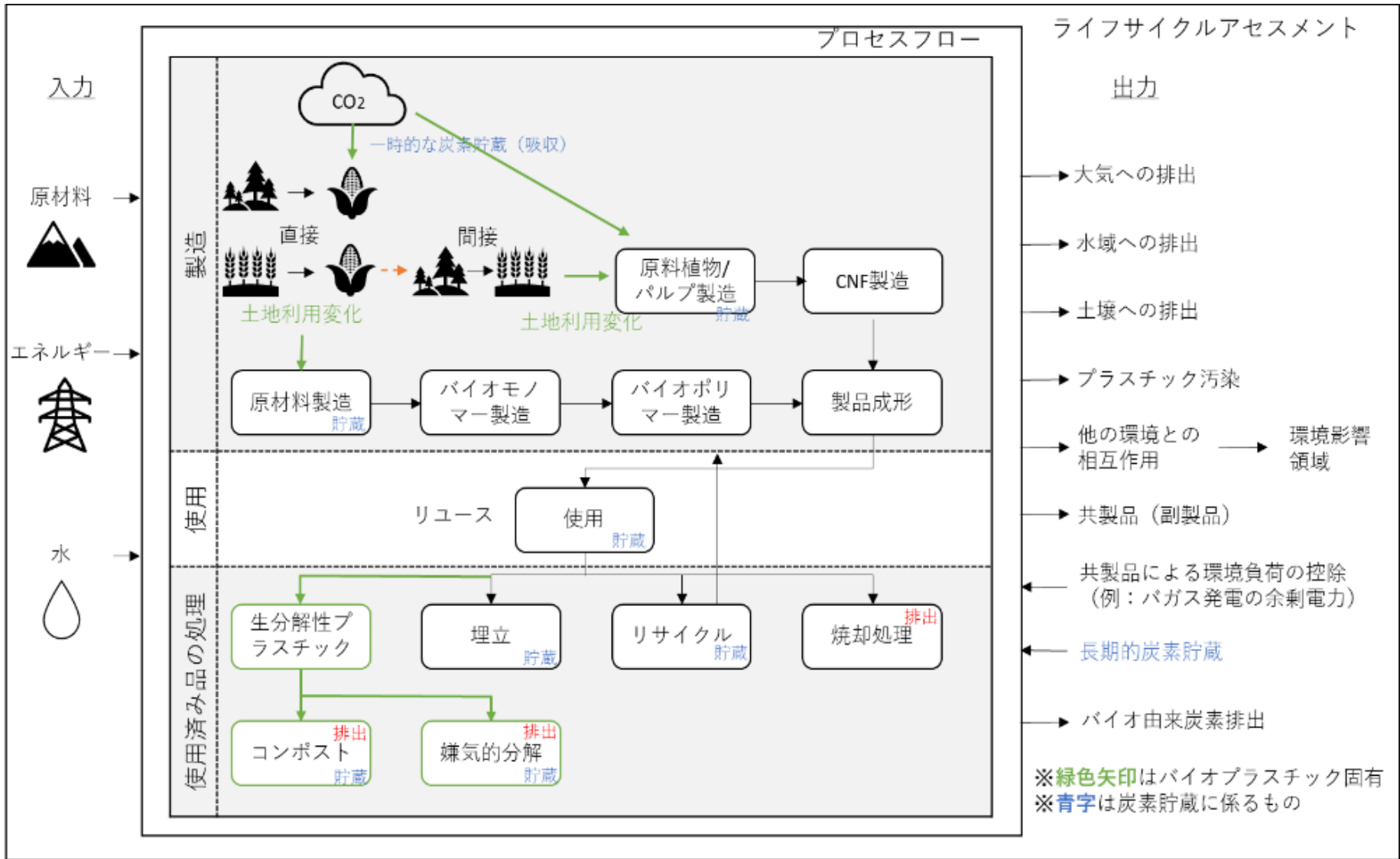


図 バイオ素材のLCA実施時のプロセスフロー

バイオプラスチック95%/CNF5% (アセチル化パルプ高位ケース)

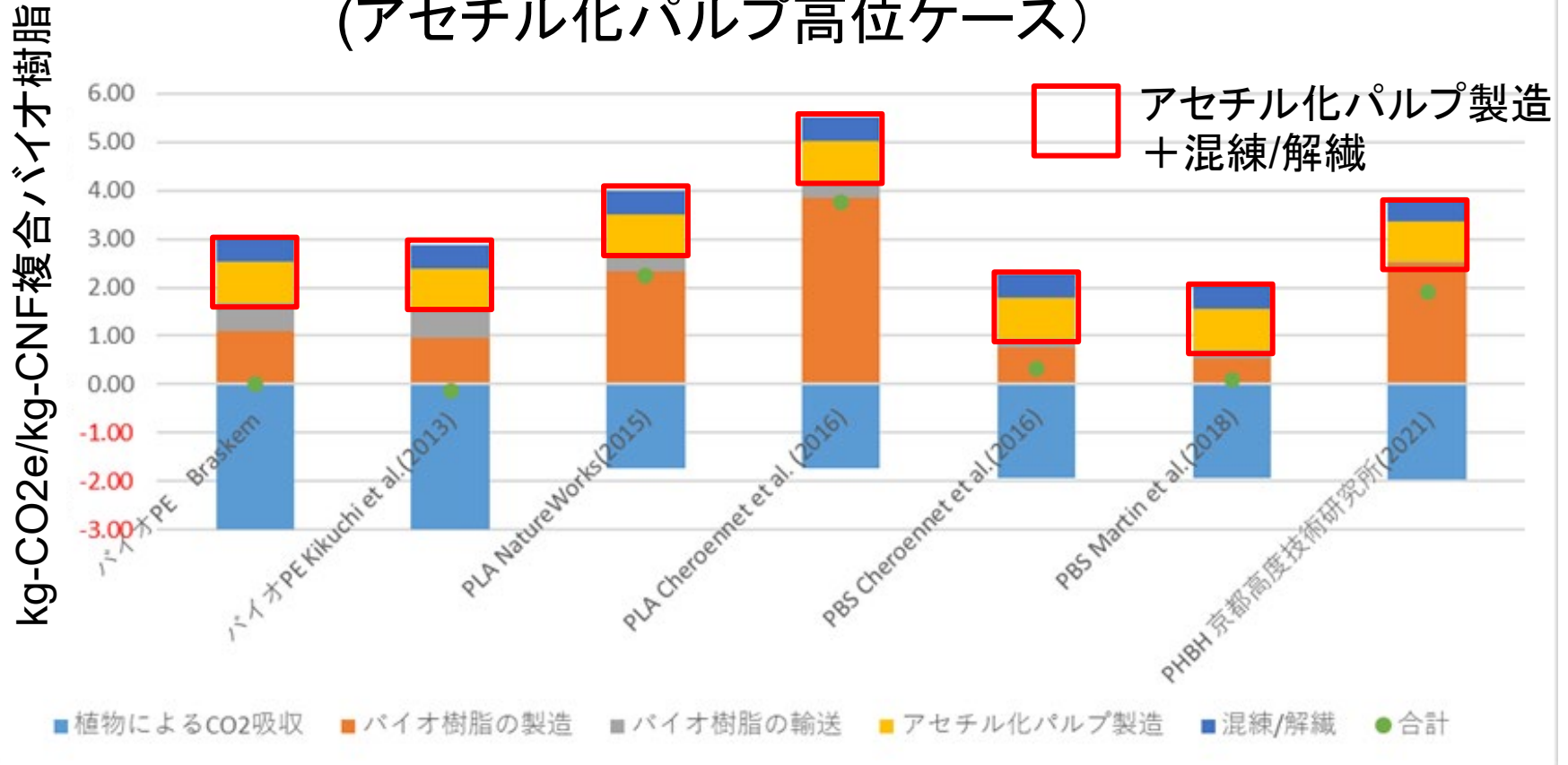
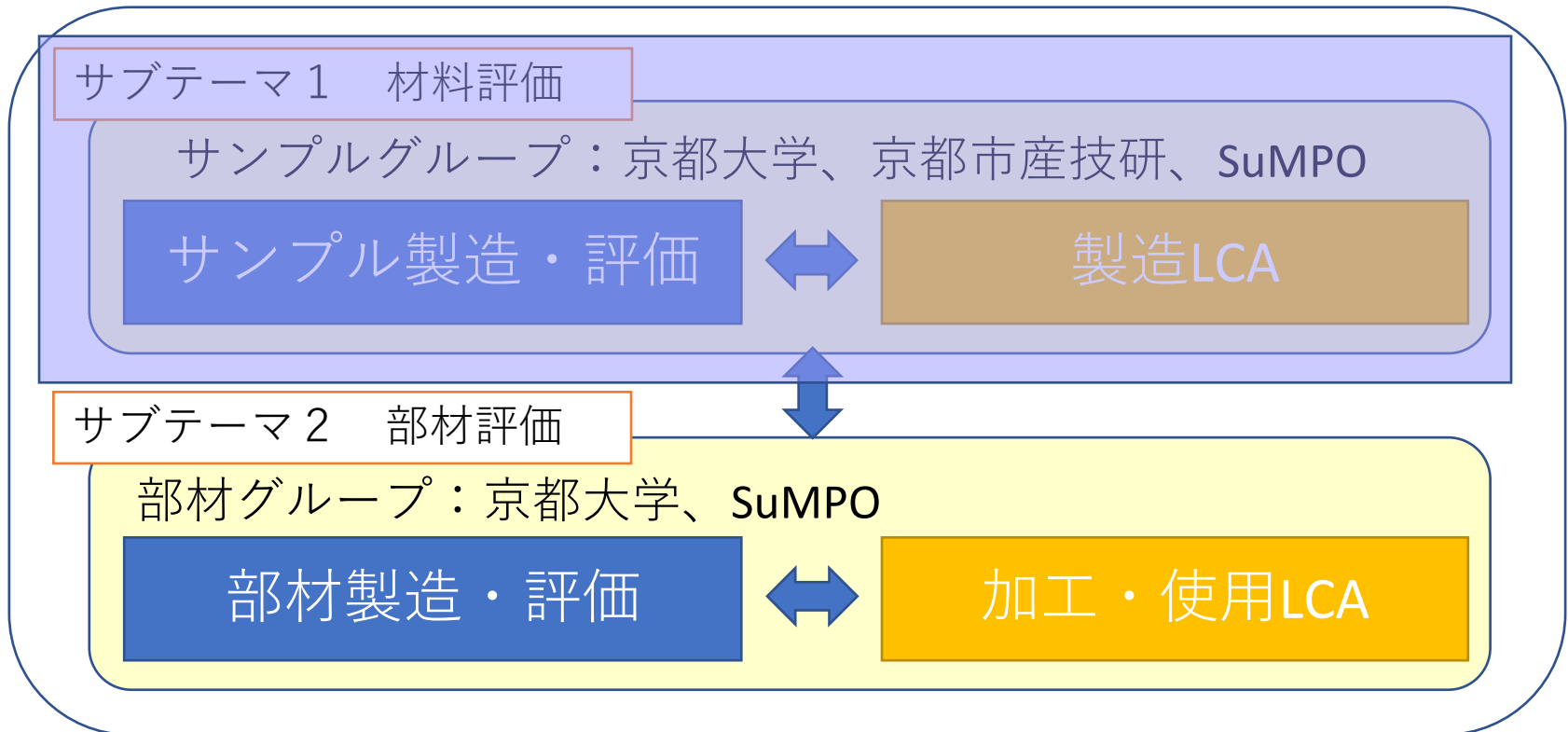


図 CNF/バイオプラスチック複合材製造時のライフサイクル温室効果ガス排出量の例

サブテーマ 2



サブテーマ 2

サブテーマ1で開発したCNF複合材料を実際の製品に加工し、その実用性能評価、LCA評価を通じて、低炭素化に貢献し、コスト的、性能的に実用化可能な用途を樹脂、成形方法ごとに下記の通りに見出す。

①高剛性構造用途射出成形品(CNF複合ポリ乳酸、CNF複合ポリ乳酸/バイオPE): 射出成形可能でサブテーマ1で開発した性能に基づき実用化可能な用途を3つ以上見出す。

②耐衝撃構造用途射出成形品(CNF複合バイオPE): 射出成形可能でサブテーマ1で開発した性能に基づき実用化可能な用途を3つ以上見出す。

③高耐熱構造用途ブロー成形品(CNF複合バイオPE、CNF複合ポリ乳酸/バイオPE): ブロー成形可能でサブテーマ1で開発した性能に基づき実用化可能な用途を2つ以上見出す。

④高耐熱構造用途押出成形品(CNF複合バイオPE): 押出成形可能でサブテーマ1で開発した性能に基づき実用化可能な用途を2つ以上見出す。

⑤土壌分解性・高剛性構造用途射出成形品(CNF複合PBS、CNF複合PBS/PHBH): 日用品(ワンウェイ Spoon、等)射出成形可能でサブテーマ1で開発した性能に基づき実用化可能な用途を3つ以上見出す。

⑥海洋分解性・高剛性構造用途射出成形品(CNF複合PHBH、CNF複合PHBH/PBS): 射出成形可能でサブテーマ1で開発した性能に基づき実用化可能な用途を3つ以上見出す。

⑦環境性能(各成形品共通)

サブテーマ1-⑤を踏まえ、CNF複合材を使用した成形品の製品ライフサイクル全体のLCA手法を整備するとともに低炭素化への技術ポテンシャルを明確にする。

令和3年度目標

(研究計画)

サブテーマ1で開発したCNF複合材の特性をもとに、4種類のバイオプラスチックで利用が期待できる用途について情報収集するとともに、一部の樹脂についてアドバイザー企業の生産用金型を用いて射出成形品を作製し、実用物性と環境性能を評価する。

LCAについて文献調査と評価シナリオ設定を中心に行い、暫定的算定方法論を作成する。

<アドバイザー企業> 本研究ではアドバイザー企業を複数選定し、秘密保持契約を締結後、アドバイザー企業保有の生産用金型を用いて成形品を製造し、実用物性を評価し、結果を材料開発にフィードバックする。

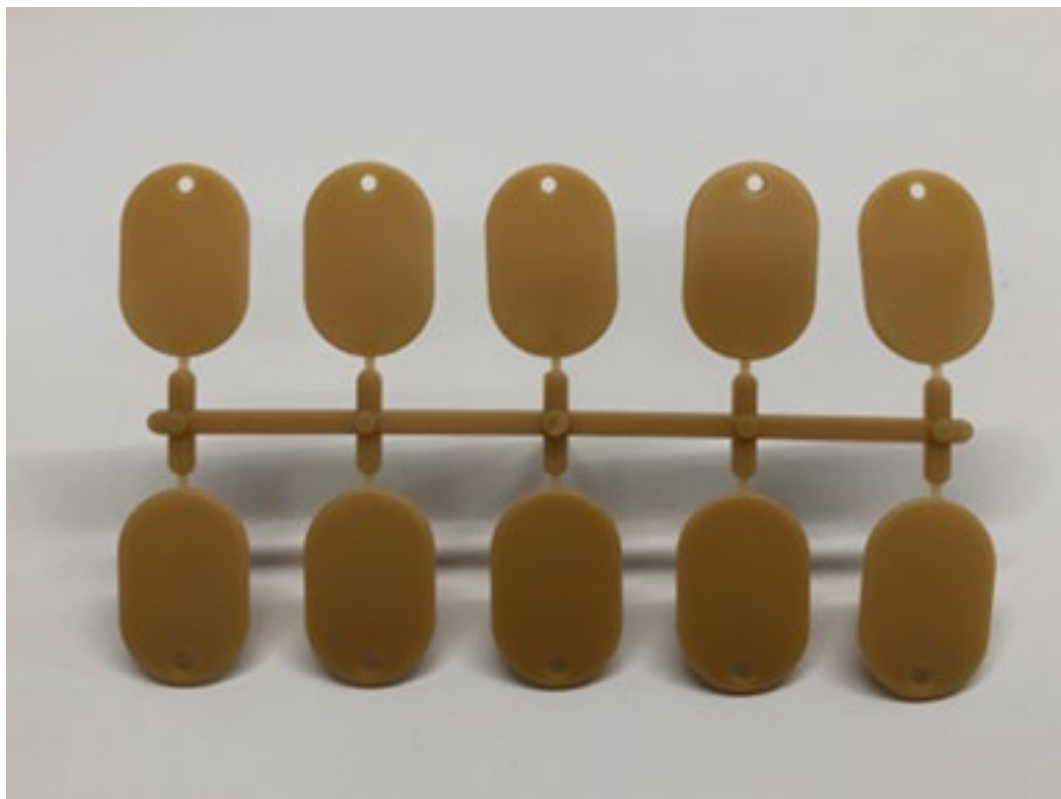


図 CNF補強バイオPEを用い射出成形で製造した番号札
(上山製作所)。

企業評価:加工性が良く、一度に複数個の成形が可能。



図 CNF補強PHBHを用い射出成形で製造したスプーン
(カネカ)。通常条件で成形できることを確認。

評価シナリオの設定

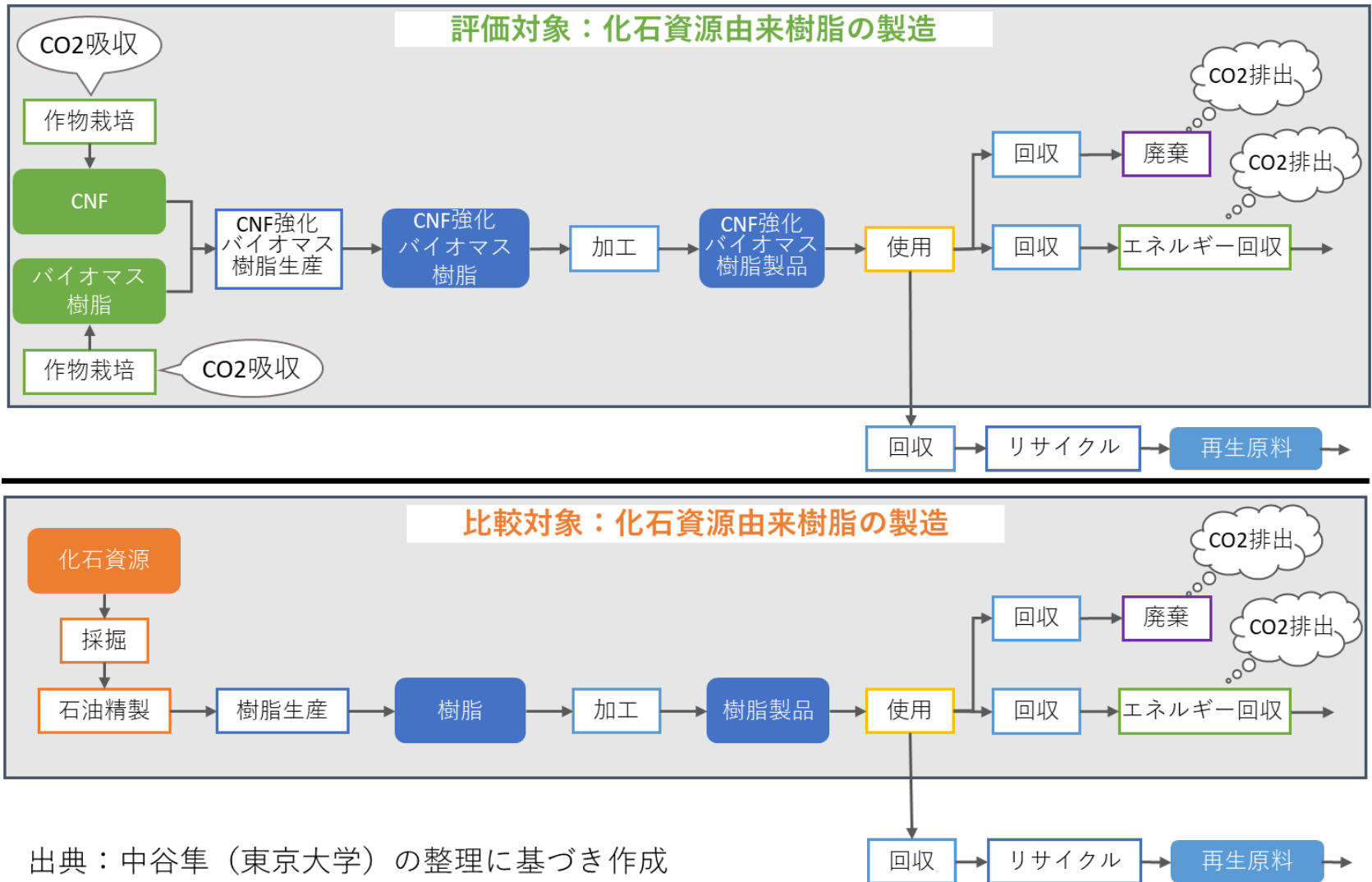


図 温室効果ガス排出削減ポテンシャル評価を行う際のシステム境界

進捗状況

本年度は構造用バイオプラスチック、生分解性バイオプラスチックについてCNF補強による性能変化(強度、耐熱性、生分解性等、環境特性(温室効果ガス排出削減ポテンシャル))を評価した。

進捗状況: 計画通り進展している

①バイオPEについて、CNF補強で自動車用タルク添加PP樹脂と同等の剛性、強度で、より軽量かつ耐熱性に優れた複合材を製造できた。用途に応じた材料のカスタマイズを進め、企業アドバイザー10社へのサンプル提供を行った。その評価に基づき文具において商品化が進行中である。

②生分解性バイオプラスチックのPBS及びPHBHについて、CNF補強で生分解性を損なうことなく、剛性、強度および耐熱性の大幅な向上を達成。それに基づき、企業アドバイザー2社へのサンプル提供を行った。

③ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて、CNF複合材について植物の栽培からCNFとバイオ樹脂の複合までの累積での温室効果ガス排出量を算定するなど、CNF複合材を使用した成形品の製品ライフサイクル全体のLCA手法を整備するとともに、文献調査と評価シナリオ設定を通じて、次世代バイオプラスチックのLCAガイドライン策定のための暫定的算定方法論を作成。

今後の展望：環境政策等への貢献

- ・CNF複合材については排出CO₂の削減に効果があるマテリアルリサイクルが容易なことが明らかになっている。
- ・LCA評価に基づき、適切にマテリアルリサイクルを行うことで、CNF複合材は使用すれば使用するほど大気中の二酸化炭素が減少していく“ネガティブエミッション”材料になる可能性を有している。
- ・石油由来のプラスチックのバイオプラスチックへの置き換えとマテリアルリサイクルの推進との相乗効果により、温室効果ガス2050ゼロエミッションに大きく貢献することが期待できる。

バイオ & バイオとマテリアルリサイクルで
温室効果ガス・ゼロエミッションに貢献

7. 研究成果の発表状況

【サブテーマ1】

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）> なし

<査読付論文に準ずる成果発表> なし

<その他誌上発表（査読なし）> 特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 小野和子、野口広貴、仙波健、矢野浩之：第29回セルロース学会（2022）、
CNF強化生分解性プラスチックの土壌中での分解性

(3) 知的財産権: 特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 大阪府立天王寺高等学校の生存圏研究所見学時における特別授業「未来のクルマは裏山で作る
- セルロースナノファイバー材料の開発 -」（令和4年6月3日、聴講者26名）
- 2) 京都大学創立125周年記念アカデミックマルシェ
（主催：京都大学、令和4年6月18日、ロームシアター京都、参加者約3000名）にて研究紹介

(5) マスコミ等への公表・報道等：特に記載すべき事項はない。

(6) 本研究費の研究成果による受賞： なし

8. 国際共同研究等の状況： 特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

【サブテーマ2】

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)> なし

<査読付論文に準ずる成果発表> なし

<その他誌上発表(査読なし)> 特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等) なし

(3) 知的財産権：特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 大阪府立天王寺高等学校の生存圏研究所見学時における特別授業「未来のクルマは裏山で作る
- セルロースナノファイバー材料の開発 -」(令和4年6月3日、聴講者26名)
- 2) 京都大学創立125周年記念アカデミックマルシェ
(主催：京都大学、令和4年6月18日、ロームシアター京都、参加者約3000名)にて研究紹介

(5) マスコミ等への公表・報道等：特に記載すべき事項はない。

(6) 本研究費の研究成果による受賞：なし

8. 国際共同研究等の状況：特に記載すべき事項はない。