

バイオフィラーを活用した材料開発

内田 均^{*1}, 田中靖昭^{*1}, 佐藤厚子^{*1}, 太田笑美子^{*1}, 池田 彩^{*1}

Material Development Using Bio-fillers

Hitoshi Uchida^{*1}, Yasuaki Tanaka^{*1}, Atsuko Sato^{*1}, Emiko Ota^{*1}, Aya Ikeda^{*1}

要旨

カーボンニュートラルを目指して、軽量化や形状変更などによる材料削減、リサイクル材などの省CO₂材料や、CO₂を固定化したバイオ由来材料の使いこなしが必須となっている。豊田合成では、石化メーカーとの連携によるポリマー部分のCO₂排出量低減と併せて、樹脂やゴムの複合材に使用されるフィラー部分の材料開発を進めている。バイオフィラーであるセルロースナノファイバー（CNF）は森林資源、農業廃棄物等を原料とする高機能材料で、地球温暖化対策への多大な貢献が望める。CNFを樹脂材料に適用することで、製品原材料のCO₂を削減し、製品を軽量にすることで車両走行時の燃費向上に貢献する。

本検討では、ポリプロピレン（PP）にCNFを20wt%配合した複合材を開発し、その結果、従来の自動車用材料と同様の成形加工性を示し、特性値も一般部品レベルであることが確認された。また製品のCO₂排出低減は約4%と試算された。今後、サーキュラーエコノミー（CE）を物流資材領域で検証したのち、自動車部品への拡大に繋げる。

Abstract

In aiming for carbon neutrality, it is essential to reduce the amounts of materials used by reducing the weight and changing the shape of products and making good use of CO₂-saving materials, such as recycled materials and bio-derived materials that fix CO₂. In collaboration with petrochemical manufacturers, Toyoda Gosei is developing materials for fillers used in plastic and rubber composites and reducing CO₂ emissions from polymer parts. Cellulose nanofiber (CNF), which is a biofiller, is a highly functional material made from forest resources, agricultural waste and similar matter, and is expected to contribute greatly to countering global warming. By applying CNF to plastic composites, the CO₂ in the product raw material is reduced and the product is made lighter, contributing to improved vehicle fuel efficiency.

In this study, we developed a composite material containing 20 wt% of CNF in polypropylene (PP). It was confirmed that this material shows the same moldability as conventional automobile materials and that its characteristic values are at the level of general parts. The CO₂ emissions of products were estimated to be reduced by about 4%. In the future, we will test this circular economy (CE) in the area of logistics materials, after which we will expand it into automobile parts.

1. はじめに

2020年の“カーボンニュートラル宣言”により、低CO₂、脱炭素やカーボンネットゼロが様々な領域で求められている。さらには、資源・エネルギー・食料需要の増大、廃棄物量の増加、気候変動等の環境問題の深刻化が世界的な課題となる中、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型のリニアエコノミー（線形経済）から、中長期的にサーキュラーエコノミー（CE）への移行が必要となっている

（図-1）。CEへの移行は、事業活動の持続可能性を高め、中長期的な競争力の源泉となりうる。

たとえば、ESG要因（環境（E）、社会（S）、ガバナンス（G）の3つの分野）を考慮する投資は国内外で年々拡大しており、循環ビジネスの市場規模の拡大が見込まれることから、CE分野に関するサステナブル・ファイナンスの動きが活発化している。自動車材料にも、脱炭素が求められ、高分子素材はもとより、材料を構成する充填剤等についても脱炭素が同様に求められている。

*1 先端材料開発部 有機材料開発室

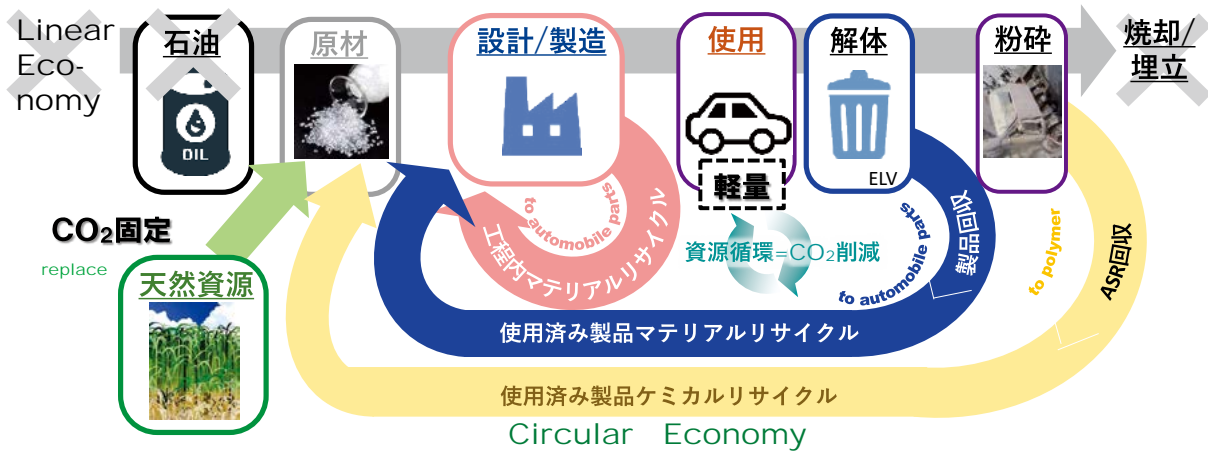


図-1 線形経済からサーキュラーエコノミーへの変換に伴うサプライチェーンの変化

脱炭素の方策として、樹脂・ゴムの原材料をCO₂が固定化されたバイオ素材への代替するバイオナフサ化や、使用済み製品からのマテリアル・ケミカルリサイクル材料を自動車製品へ適用を進めることで、CEへ移行する。ここでは、社内にて管理運用が可能な物流領域を皮切りに、CEモデルを構築し、検証を進め、自動車部品へ拡大する礎をつくる。

2. 背景と目的

2-1. 背景

自動車に用いられる材料において、走行時のCO₂排出量抑制を目的に軽量化が計られ、金属から高分子材料への置換が進んでいる。高分子の素材の中でも比重が低いことを特徴とするPPやエチレン-プロピレンゴム (EPDM) への材料変更と統合が進んでいる。

これらの自動車材料は、樹脂やゴムなどの高分子量材料だけではなく、カーボンや無機フィラーなどの充填剤を含んでいる複合材が多くを占め、CO₂を低減する複合材の配合設計が求められている。

豊田合成では、高分子材料と各種フィラーを配合設計し、工場で混練し、各種成形手段を駆使することで自動車部品を製造している。

カーボンニュートラルの社会ニーズに対して、これらのフィラーへの要求性能も、従来の剛性、低コストに加え、軽量、環境性などが新たなニーズとして重要となっている (表-1)。

ここでは、軽量、環境性に優れたバイオ素材に注目し、その中でも、近年、間伐材や食物残渣などから得られるセルロースファイバーに注目する。

表-1 各種フィラーのニーズ変化¹⁾

フィラー種類	特性 ○:優 ×:劣				
	コスト	分散性	剛性	軽量	環境性
炭酸カルシウム (重質,沈降,軽質)	○	○	○	-	○
水酸化アルミニウム、アルミナ	-	-	○	-	-
マグネシウム	-	-	○	-	×
シリカ (天然,溶融,合成,気相法)	△,×	○	◎	-	○
タルク	○	○	○	-	○
マイカ	○	○	○	-	○
カオリン・クレー	○	○	○	-	○
酸化チタン	-	○	△	-	×
ガラス繊維	○	△	◎	-	×
炭素繊維	×	×	◎	○	×
セルロース (CNF: Cellulose Nanofiber)	×	×	◎	○	○
カーボンブラック (CB, CNT)	○,×	◎,×	○	×	×

2-2. セルロース材料

バイオフィラーであるセルロースナノファイバー (CNF と略す) は、近年、注目度が更に高まっている素材で、森林資源、農業廃棄物等を原料としながら、鋼鉄の5分の1の軽さで5倍の強度等の特性を有すると言われている (図-2)。

図-2 CNF の特徴²⁾

自動車部材の軽量化による燃費改善，住宅部材や家電の高断熱化によるエネルギー消費の減少から地球温暖化対策への多大な貢献が望める。また，森林資源活用により循環型社会実現に貢献できる。

環境省においても，さまざまな製品等の基盤となる樹脂材料をセルロースで補強した活用材料（複合樹脂等）を使用することで，CO₂の効果的な削減を図ることを目的とした，CNF 性能評価モデル事業を推進している。豊田合成は，2020年度にセルロースマッチング事業（NCM）に参画し，その成果を公表した（<https://cnf-ncp.net/deliverable2.html>）。

自動車用の材料について，取扱いの多い各種フィラーと CNF の比較を図-3，図-4 に示す。

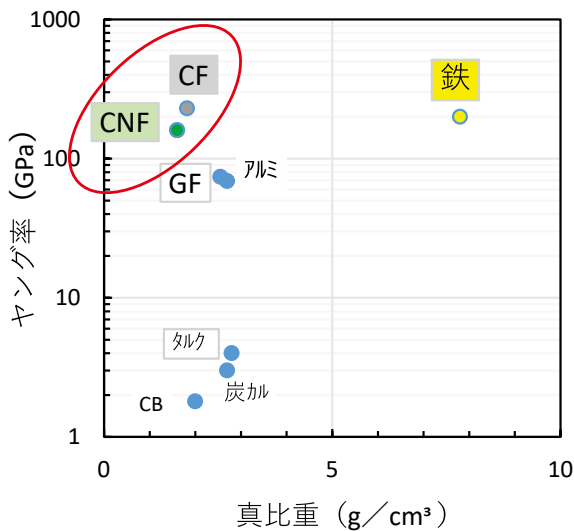


図-3 フィラーの比重とヤング率

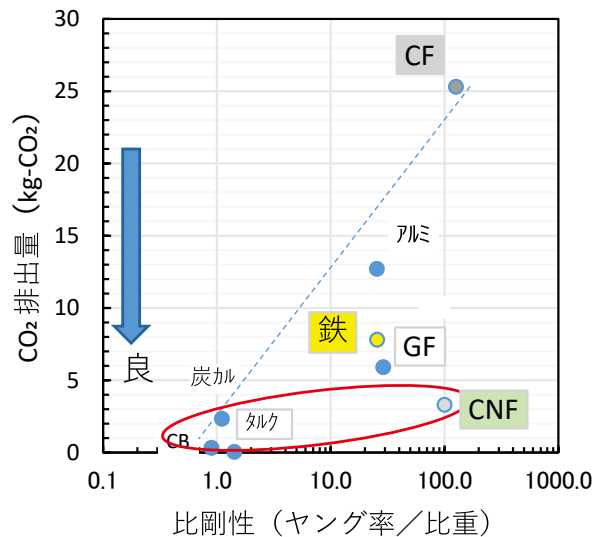


図-4 比剛性と CO₂ 排出量

図-3 のように，CNF は比重が低いにも関わらずヤング率がカーボンファイバー（CF）並み

に高い。また，図-4にてCO₂排出量を各フィラーと比較すると，地中から掘削し，粉碎する炭カルやタルクと同等レベルであり，高剛性で且つ，低CO₂排出量のフィラーであることが解る。そのため，従来フィラーの代替をすることで，適用先への広がりが図-5のように期待される。

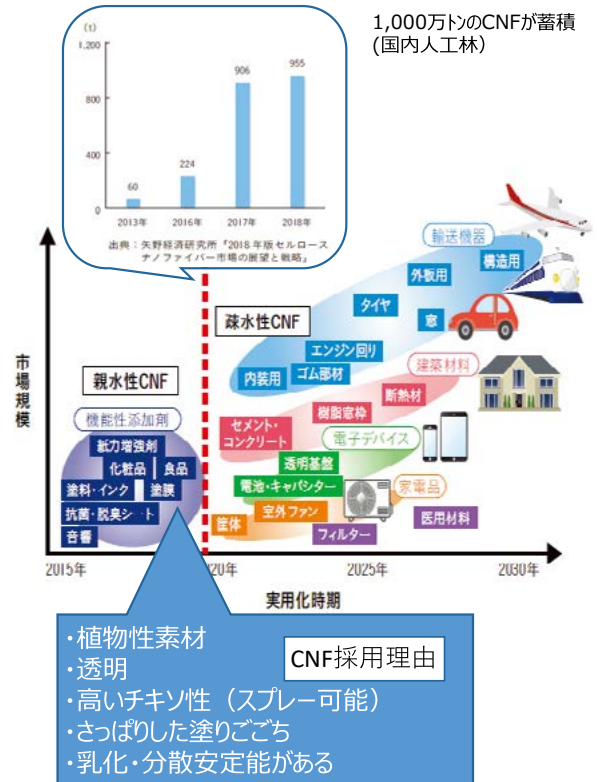


図-5 CNF の実用化ロードマップ³⁾

一方で，社会実装への期待が高いにもかかわらず，化粧品やインク，塗料の添加剤としての採用にとどまっている。これらは粘度調整機能に注目されて採用が進んでいると予想される。2020年以降の筐体，キャパシタ，車部品への普及が進んでいない理由について，CNFは高強度，軽量に優れた特性のポテンシャルがあるものの，まだ十分に，その特徴を引き出せる“材料”として取り扱いが難しいためと考えられる。

2-3. 目的

CO₂削減とサーキュラーエコノミーの素材供給を目的に，活用の広がりが予想されるバイオ素材のセルロースファイバーに着目し，自動車部品への適用を目指して，材料開発を進める。

本検討においては，従来の材料特性のみならず，CO₂排出量についても，従来材料と比較・検証をすることで，低減効果の試算を実施した。

3. PP 樹脂コンパウンドの取り組み

自動車用の樹脂材料はタルク入り PP が多くを占めており、無機フィラーのタルクを代替する CNF 含有 PP (CNF - PP コンパウンド) について検討した。

3-1. CNF - PP 試作結果

我々は、社内配合設計によるタルク - PP コンパウンドを製造している。PP、ゴムとタルク及び添加剤の配合設計と、量産材料として安定的に製造する生産技術のノウハウを蓄積しており、それらの配合設計を応用することで、本検討のオリジナル CNF - PP コンパウンドの配合設計を行った。図-6 に検討概要をしめす。ここでは、あらかじめ分散しやすい CNF の選定、耐衝撃性を高める樹脂の配合設計及び材料を均一に分散・混練するコンパウンド製造技術を駆使することで、従来のセルローズ材料の弱点であった“耐衝撃性”を一般 PP 樹脂並みに引き上げることが可能となった。材料物性の結果を、表-2 に示す。

表-2 PP コンパウンドの材料物性⁴⁾

項目	単位	試験条件	開発材料
			ソリッド
密度	g/cm ³	ISO 1183-1	1.03
MFR	g/10min	ISO 1133 230°C, 21.2N	5.4
曲げ弾性率	MPa	ISO 178 2mm/min.	1810
曲げ強度	MPa		36
シャルピー衝撃強度	kJ/m ²	ISO 179-1 23°C	8.3
バンクチャー試験 全吸収エネルギー	J	ISO 6603-2 23°C	4.1

表-2 において、耐衝撃性が 8kJ/m² 程度と、汎用の耐衝撃性 PP に近い性能を有していることから、本材料が PP 材料の代替として、使用可能なレベルであることが解った。

また、フロントピラーガーニッシュの実機試作を行った。その結果、ほぼ従来材料と同等の成形条件での加工が可能であり、また寸法の修正も必

要ないことが解った。なお、押出ペレット及び成形品は茶色身を帯びており、色調の変更が求められる。

3-2. CO₂ 低減量の試算

本材料を、クルマのピラーへ搭載し、約 10 年間走行したときの CO₂ 排出量を、従来の部品とした時の CO₂ 排出量を比較した。試算の範囲を工程フローと併せて図-7 に示す。

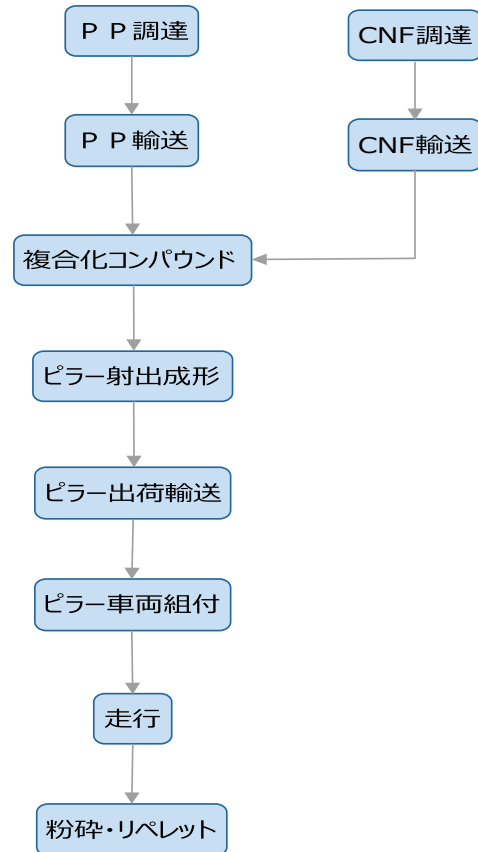


図-7 CO₂ 排出量の試算用工程フロー

本試算においては、粉砕・リペレット後の再度の製品利用を含んでいない。ただし、粉砕・リペ

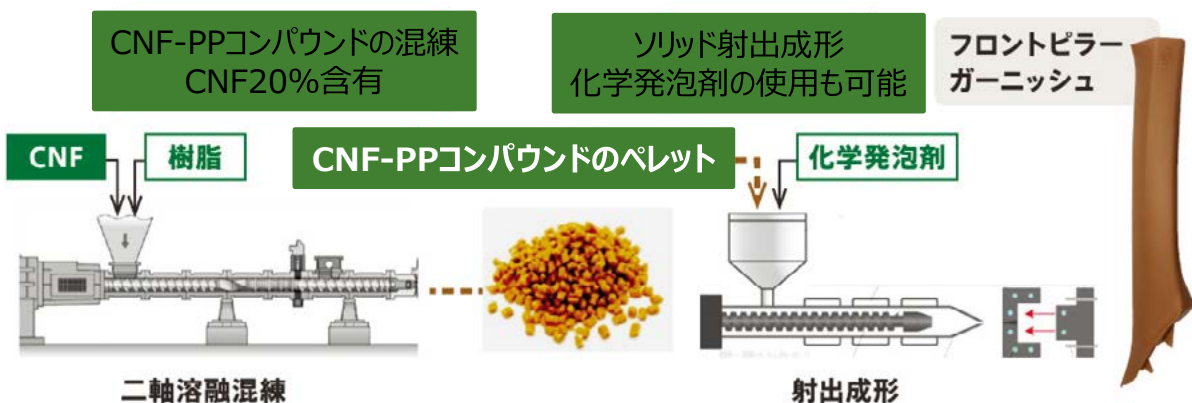


図-6 CNF - PP コンパウンドの検討概要⁴⁾

レット後の材料でリサイクルを実施し、燃焼廃棄処理はされないことと仮定する。CO₂の試算結果は、従来のタルク-PPコンパウンドと比較して、約4%のCO₂排出量低減効果があると試算された。

ここでの試算によると、自動車に搭載され、走行しているときのCO₂排出量が最も多く試算される。これは、材料のバイオ化などによる材料の低CO₂化も大切であるが、ガソリンを利用しているユーザーにおいては車両を使用している際の軽量化の効果が最も効果的であることを示している。

一方で、クルマの電動化が進んで、走行時のCO₂排出量が少なくなったときは、材料そのもののCO₂排出量比率が高くなり、材料そのもののCO₂排出量を低減することが、効果として大きくなることが想定される。

4. 社会実装へ向けた 梱包資材への材用適用

豊田合成では、本テーマのCNF-PPコンパウンド材料を用いて、CEの移行へ向けて検証を進めている。社内にて管理運用が可能な物流資材を皮切りに、CEを自動車部品へ拡大する礎をつくる。

対象とする物流資材のうち、通箱の例を図-8に示す。顧客への部品納入に際し、その部品に合わせた通箱を作製し、製品を梱包して納入する。荷の傷つきや変形抑制のため、箱だけではなく緩衝材などの内容物も多く含まれる。



図-8 通箱の部品納入のイメージ⁵⁾

4-1. サプライチェーンの変換

現状のサプライチェーンを図-9に示す。箱(コンテナ)、緩衝材、包装材を各素材メーカーが成形し、その素材を、梱包資材組立メーカーにて通箱に加工後、工場に通箱として納入される。その後、豊田合成の各工場と自動車メーカー各工場との間を、部品を梱包しながら物流用のトラックで搬送される。本通箱は概ね約4年間使用される。

使用後は、廃棄物として処理しており、素材が戻ってくることはない。これと比較してCEを具現化した時のサプライチェーンを図-10に示す。

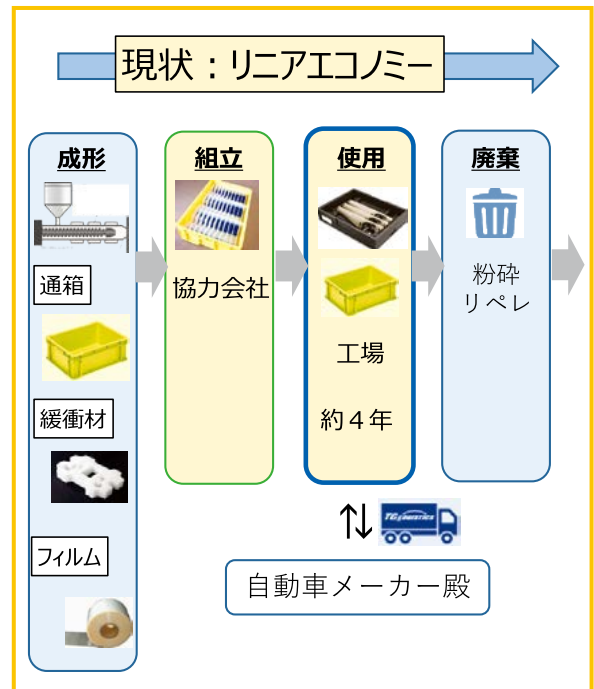


図-9 現状のサプライチェーン

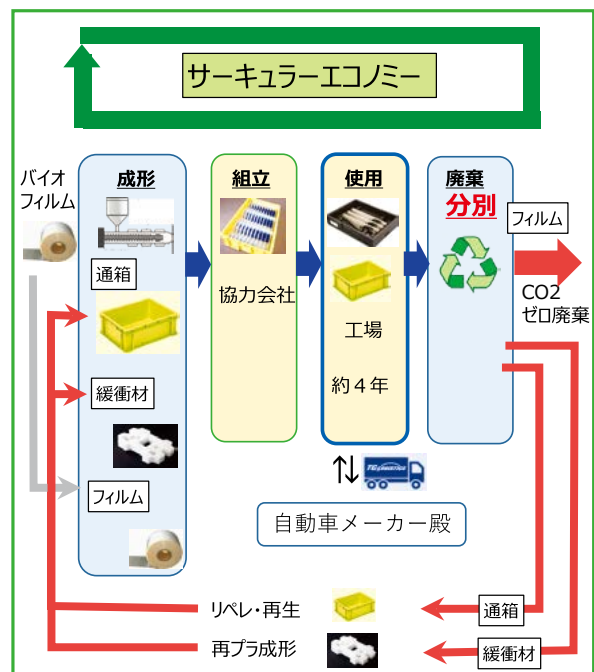


図-10 サーキュラーエコノミーの新サプライチェーン

CEへ移行するためには、図-10の“廃棄”に示すように、各素材に分別し、コンテナはリペレ・再生、緩衝材は粉碎・再成形、製品袋は焼却してもCO₂を増加させない素材への転換などが必要である。本検討では、通箱のコンテナに注目し、使用後の通箱からコンテナを分離回収し、その後リペレすることで材料を使い続けることを企画する。また、再生材料の物性が不足するときは、再成形時の物性向上も想定する。

4-2. 通箱のセルロース材料適用効果

図-11に樹脂コンテナに本材料を適用した時のCO₂低減効果試算結果を示す。本材料を適用し、従来の材料よりも高剛性化することで、コンテナ自体の重量を5%軽量化する。それにより、使用時のCO₂排出量が低減され、トータル約6%のCO₂排出量低減が見込まれる。使用時（製品搬送による走行時）に排出されるCO₂が約80%を占めており、通箱自体の軽量化による効果が最も有効であることが解る。

本企画は環境省“令和3年度革新的な省CO₂実現のための部材や素材の社会実装・普及展開加速化事業”に採択され、具現化を目指して検討を進めている⁶⁾。

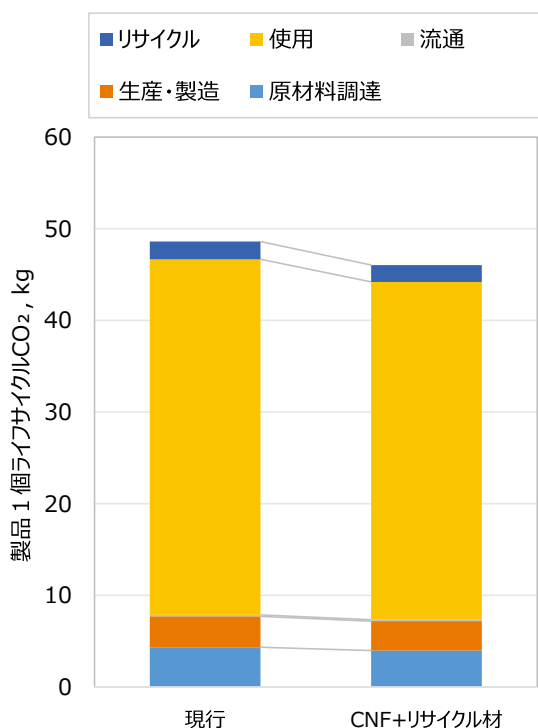


図-11 CO₂ 排出量の試算⁷⁾

前提条件：現行はバージンPPを使用
1日往復100km 300日/年 4年間運搬活用

5. まとめ

CO₂削減を目的にCE実現へ向けてバイオフィラーであるセルロースファイバーを素材として検討した。CNF-PPコンパウンドの物性等を評価し、実製品への適用を検証した結果、一般材料や梱包資材に使用できるレベルの材料であることが実証できた。

ただ、素材のセルロースのコストは、その他のバイオ素材と同様に高価であり、自動車部品への採用は、これらの課題が解決されない限り難しいと予想される。

今後はセルロース素材や材料メーカーと連携したコスト低減の取り組みが必要と考える。また、引き続き自動車用途へ向けた本材料の開発を継続し、ナノセルロースプロモーション事業なども通じて技術成果を展開する。

謝辞

本検討はナノセルロースマッチング事業を通じて京都大学 矢野先生、臼杵先生のアドバイスのもと大きく進捗しました。また製品の成形・評価においてTGテクノ乾GM殿に多大なるご協力をいただきました。

参考文献

- 1) フィラー研究会, 2010年 フィラー一覽抜粋
- 2) NCP_HP <https://cnf-ncp.net/about.html>
- 3) 出典: 京都大学 矢野教授
- 4) NCP_HP <https://cnf-ncp.net/deliverable2.html>
- 5) <http://www.miyajima-co.jp>
- 6) http://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/03_a01_3/r3_gancnf.html
- 7) SuMPO 殿試算結果

著者



内田 均

田中靖昭

佐藤厚子



太田笑美子

池田 彩