

第4章 CNFのリサイクル

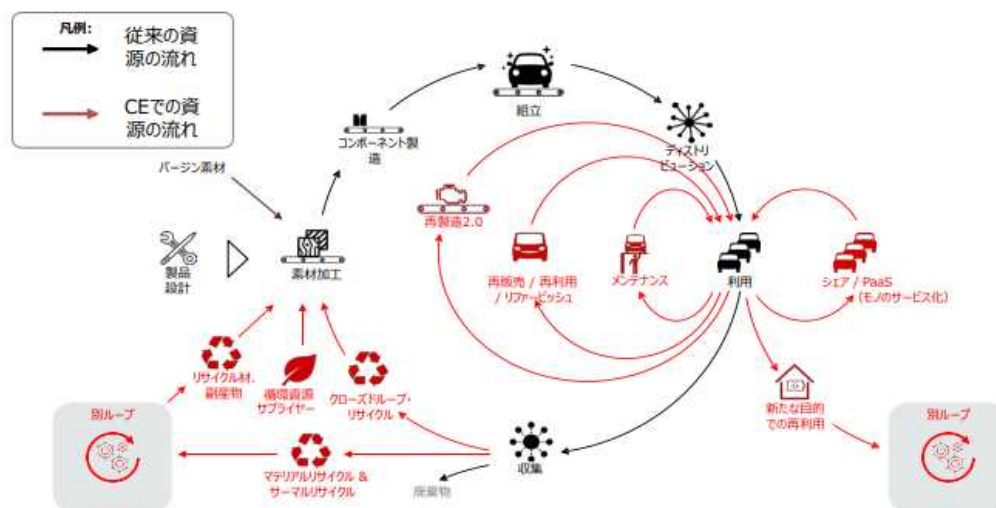
4.1 循環経済に関するCNFの有用性

4.1.1 循環経済に関する社会動向

日本ではこれまでに、循環型社会形成を目指して 3R（Reduce リデュース、Reuse リユース、Recycle リサイクル）に取り組む、廃棄物最終処分場の残余年数増加やリサイクル率の向上等、資源循環の領域で世界をリードしてきました。一方、国内外の経済社会情勢は、世界的な人口増加と経済成長、デジタル技術の発展と市場・社会の環境配慮要請の高まりを背景に、大量生産・大量消費型の線形経済から循環経済へ移行する転換期にあります。循環経済は、世界的には「サーキュラーエコノミー」と呼ばれ、資源を効率的に循環させながら付加価値を生み出すことで経済成長と環境保全の両面にアプローチする経済システムへの移行が求められています。循環経済のイメージを図 4-1 に示します。

サーキュラーエコノミーに移行することによる経済効果は 2030 年までに 4.5 兆 US ドル（約 460 兆円）に上ることが予想されており、EU（European Union 欧州連合）では「国際競争力の向上」、「持続可能な経済成長」、「新規雇用創出」などが期待されています。2015 年 12 月に欧州委員会は、2030 年に向けた成長戦略の核として「サーキュラーエコノミーパッケージ」を発表し、2020 年 3 月 11 日には、EU 全域でサーキュラーエコノミーを加速させるための新計画「新循環型経済行動計画（New Circular Economy Action Plan）」を公表しています。

これらの経済社会情勢を受けて、化石資源由来の素材からバイオマスや生分解性素材等の再生可能資源への転換が図られており、植物由来素材でかつリサイクルが可能な CNF の活用が期待されています。



（出典）経済産業省「循環経済ビジョン 2020」

<https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200522004/20200522004-1.pdf>

図 4-1 循環経済とは

4.1.2 循環経済に有用な CNF の特性

CNF は、類似素材である GFRP（ガラス繊維）、CFRP（炭素繊維）、アラミド繊維などと比べて高いリサイクル性を持つと言われています。特に CNF と同様に高い機械物性を持つ GFRP や CFRP と比較すると、CNF はマテリアルリサイクル時に繊維破断が少なく、繰り返しリサイクルしても物性の低下が少ないことが確認されています¹³。また、CNF は植物由来素材であるため燃焼性を持ち、紙やプラスチックと同じようにサーマルリカバリーが可能です。表 4-1 に CNF、GFRP、CFRP のマテリアルリサイクル・サーマルリカバリーの比較を示します¹⁴。

表 4-1 CNF、GFRP、CFRP のマテリアルリサイクル・サーマルリカバリーに関わる特性の比較

		マテリアルリサイクルに関わる特性	サーマルリカバリーに関わる特性
概要		廃プラスチック類などを破碎溶解などの処理を行った後に同様な用途の原料として再生利用する ¹⁵ 。	廃プラスチック類などを主燃料あるいは助燃材として利用することにより、その燃焼処理により得られる熱量を原料等の製造工程などに有効利用する ¹⁶ 。
材質	CNF 複合材	マテリアルリサイクル時の繊維破断が少なく、物性の低下が少ないため可能性は高い。	原料が木材等であり、燃焼する材料であるため、サーマルリカバリーが可能である。
	GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）	高い耐熱性により処理が難しく、マテリアルリサイクルを行うと繊維長が短くなり利用価値が低下するため、可能性が低い。	不燃性・難燃性・耐熱性という性質から、処理効率等の課題があり、可能性は低い。
	CFRP（炭素繊維強化プラスチック）		

（出典）環境省「平成 29 年度セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価等事業委託業務報告書」を基に作成

4.2 CNF 製品・素材のリサイクルの可能性

4.2.1 想定可能な CNF 製品・素材のリサイクル

CNF 素材には、CNF+熱可塑性樹脂、CNF+熱硬化性樹脂、CNF100%材、CNF+ゴム、CNF 使用発泡断熱材などがあります。複合化する熱可塑性樹脂としては、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS、塩化ビニル、ナイロン 6、ポリエステルなどがあります。熱硬化性樹脂としては、エポキシやフェノールなどがあります。CNF+熱可塑性樹脂はマテリアルリサイクルできることが一部実証されています。CNF 素材の各種類とリサイクルの可能性を表 4-2 に示します。

¹³ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業委託業務（セルロースナノファイバーを用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討）成果報告書』（トヨタ車体株式会社、平成 30 年度）

¹⁴ 廃プラスチック類など廃棄物を化学的に分解して石油原料等を得て製品原料（元の製品であるかは問わない）として再利用するケミカルリサイクルは、CNF のリサイクルではなく樹脂のリサイクルとなるため、本ガイドラインでは扱わない。

¹⁵ 「5 章 リサイクルシステム」（経済産業省、『3R 政策』、pp170、2019 年）

¹⁶ 「5 章 リサイクルシステム」（経済産業省、『3R 政策』、pp170、2019 年）

表 4-2 CNF 素材の種類とリサイクルの可能性

手法 \ 素材	CNF+ 熱可塑性樹脂	CNF+ 熱硬化性樹脂	CNF100%材	CNF+ゴム	CNF を活用した発泡断熱材
マテリアルリサイクル	可能であり、物性が低下しないことが一部実証されている ¹⁷	可能性はあるが、実証されていない	可能性があるが、実証されていない	可能であり、一部実証されている	困難
サーマルリカバリー	有効と考えられる	有効と考えられる	有効と考えられる	有効と考えられる	有効と考えられる

(出典) 環境省「平成 29 年度セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価等事業委託業務報告書」及び環境省 CNF 事業の各報告書を基に作成

4.2.2 CNF 複合材に活用可能と考えられるリサイクル技術

(1) CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程

マテリアルリサイクルの一般的な工程は、回収、異物除去、選別、破碎、洗浄、調質、造粒の主要 7 工程で構成されます。CNF 複合材（CNF100%材以外の CNF 素材を“CNF 複合材”とする）は、工程の「6.調質」では、マテリアルリサイクルした CNF 複合材にバージン CNF を添加することで物性が初期値に戻る可能性が示唆されています。CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程（例）を表 4-3 に示します。

表 4-3 CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程（例）

工程	内容	回収リサイクル方法	
		工程内	市場回収
1.回収	市場に出て使用済みの混入製品を回収する		↑ ↓
2.異物除去	回収した製品に付設・付着する部品、ネジ、表示ラベルなどを除去する		
3.選別	高純度（99%以上）の単一材質として選別する	↑ ↓	
4.破碎	調質器や造粒器に使える大きさ（約 10mm）に破碎する		
5.洗浄	ほこりや表面異物を水などで洗浄除去する		
6.調質	用途に合わせた物性にするために調質剤を添加する		
	リサイクルした CNF 複合材にバージン CNF を添加する		
7 造粒	市販商品として数 mm 円柱状のペレットにする	↓	

(出典) 一般社団法人廃棄物資源循環学会、リサイクルシステム・技術研究部会著「プラスチックリサイクル入門」を基に作成

(2) 工程内リサイクルと市場回収リサイクル

マテリアルリサイクルはリサイクルする素材の回収段階で、工程内リサイクルと市場回収リサイクルに区別されます。工程内リサイクルとは、CNF 複合材の製造時に発生する端材をリサイクルすることで、組成がほぼ一定で、物性劣化が少ないものをリサイクルするため、比較的容易とされています。

¹⁷ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価等事業委託業務（CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発）成果報告書』（パナソニック株式会社、平成 31 年度）

一方、市場回収リサイクルは、市場で製品として利用したものを回収し、リサイクルすることです。組成が不均一で、市場で物性劣化しているものをリサイクルするため、異物除去及び選別が工程内リサイクルに比べて難しくなります。表 4-4 では工程内リサイクルと市場回収リサイクルの概要を示しています。

表 4-4 CNF 複合材の工程内リサイクルと市場回収リサイクルの概要

回収方法	概要
工程内リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF 複合材の製造時に工場で発生する端材を利用する。 ■ 組成はほぼ一定である。 ■ 市場で利用されていないことから、物性低下等の可能性は低い。 ■ 環境省事業等の実証において、既に製造プロセスでの端材は再利用されている。
市場回収リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF 活用製品として市場で利用され、リサイクル施設に運ばれてきた物質を利用する。 ■ 組成は不均一である。 ■ 物性低下等の可能性がある。 ■ 異物除去及び選別が難しく、高速選別技術の精度向上が必要である。

(3) 選別技術

CNF 複合材に適用可能な選別技術として、水比重選別、中赤外線選別、近赤外線選別、静電分離が平成 29～31 年度（2017～2019 年度）環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業で検討されました。各選別技術の概要と CNF 複合材への適用可能性を表 4-5 に示します。光学分離（中赤外線選別と近赤外線選別）及び静電分離は CNF 複合材への適用可能性が実証されています¹⁸。ただし、市場回収リサイクル等に利用する場合、回収される CNF 複合材の物性が不均一で、かつ樹脂の種類が多様であるため、より高精度の選別技術開発が必要とされます。

表 4-5 選別技術の概要と CNF 複合材への適用の可能性

選別技術	技術の概要 ¹⁹	CNF 複合材への適用の可能性
水比重選別	水を媒介にして水に浮く樹脂を回収し、水に沈んだ樹脂を比重調整した塩水でさらに分離回収する工法	CNF 含有率によっては比重が大きく変動することが予想されるため、水比重選別は CNF 複合材の選別に適用できない可能性がある。
中赤外線選別	中赤外線を照射して、樹脂種ごとの吸光スペクトルの違いを利用して樹脂種を選別する工法	濃色樹脂の検出において、CNF 含有率 55%以上の製品を識別できる。
近赤外選別	近赤外線を照射して、樹脂種ごとの吸光スペクトルの違いを利用して樹脂種を選別する工法	CNF 含有率 10%の CNF と PP の複合材料を選別できる。
静電分離	互いに摩擦させることで、一方が正に、他方が負に帯電する現象を利用して樹脂を選別する工法	比重が同程度のプラスチックと混合しても選別ができるが、多くの素材が混合している場合、他の選別技術と組み合わせる必要がある ²⁰ 。

¹⁸ 『環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業』（環境省、平成 29 年～31 年度）

¹⁹ 「廃プラスチック選別技術の動向」、（伊藤真由美、恒川昌美共著、『資源と素材』Vol.122、2006 年、p.142 - 149）

²⁰ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業委託業務（セルロースナノファイバーを用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討）成果報告書』（トヨタ車体株式会社、平成 31 年度）

4.3 環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業の概要と成果

4.3.1 環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業の概要

平成 29 年～31 年度（2017～2019 年度）環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業では、トヨタ車体株式会社、パナソニック株式会社、国立大学法人静岡大学が CNF 複合材を製造する段階での易リサイクル性、リサイクル材料の性能評価の実証を行い、課題を明らかにし、課題解決に係る方向性を示しました。

(1) CNF を用いた自動車部品のリサイクル性に関する評価結果

CNF を用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討では、工程内リサイクル及び市場回収リサイクルと CO₂ 削減効果の検討がトヨタ車体株式会社によって行われました。表 4-6 に成果を示します。

表 4-6 CNF を用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討の概要²¹

代表事業者名	トヨタ車体（株）
事業期間	平成 29～31 年度
地域	愛知県豊田市
調査概要	・自動車用金属部品の樹脂代替を狙い、高強度かつ低比重なセルロースナノファイバー（CNF）強化樹脂（CNFRP）を用いて、自動車部品の開発が進められている。LCA 全体での環境負荷低減を達成するために、CNFRP を用いた自動車部品のリサイクル性について検討を行った。
CNF 製品用途	自動車部品
調査項目	・自動車部品製造時に排出される CNFRP の射出成形廃材を再度製造に使うための手法の検討（部品製造工程で発生する CNFRP の端材のリサイクル性についての検証） ・市場回収 CNFRP をリサイクルするための手法の検討（CNFRP を使った部品が使用され廃棄されるとき CNFRP の性能の検証）。
成果	
部品製造工程で発生する CNF のリサイクル	・自動車部品製造時に排出される CNFRP の射出成形廃材は、内部が蓄熱して CNFRP の酸化劣化が発生して機械特性が低下する。CNFRP のバージン材に 30%以下の比率で混合すれば CNFRP のバージン材とほぼ同等の機械特性を確保できる。
市場回収 CNF のリサイクル	・使用済み部品の水平リサイクルを想定した耐熱試験及び耐光試験後、CNFRP 中に含まれる酸化防止剤、耐光剤が消失するため、リサイクル時には酸化防止剤、耐光剤を追加添加する必要がある。 ・廃車時、ASR(Auto mobile Shredder Residue)中に CNFRP が混合した場合の選別には静電分離や光学分離（赤外分光）がある程度、有効である。
CO ₂ 削減効果（廃棄・リサイクル）	・CNFRP のリサイクル材を用いることで、CNFRP のバージン材のみを使用するよりも CO ₂ 排出量は 70%以上の削減を見込める。

²¹ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業委託業務（セルロースナノファイバーを用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討）成果報告書』（トヨタ車体株式会社、平成 29 年度～31 年度）を基に整理。

(2) CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発に関する評価結果

CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発が、パナソニック株式会社により行われました。選別工法と再生工法技術を開発し、各工程の技術的課題と今後の展開を提示しています。表 4-7 に成果を示します。

表 4-7 CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発の概要²²

代表事業者名	パナソニック（株）
事業期間	平成 29～31 年度
地域	大阪府門真市
調査概要	CNF 複合樹脂を適用した使用済み家電製品を対象とし、その解体工程で生じるシュレッダーダスト（混合樹脂等）から、効果的に CNF 複合樹脂を選別回収・再生することで、単純焼却からマテリアルリサイクルへ変革させ、CO ₂ 削減を図る。
CNF 製品用途	家電製品
調査項目	・選別工法の開発（近赤外線／中赤外線） ・再生工法の開発
成果	
選別工程	・中赤外線スペクトル検出の性能評価の結果、濃色系樹脂においても樹脂種の判定は可能だが、CNF 含有無については、CNF15%程度の含有率では検出は非常に困難である。濃色樹脂の CNF 複合樹脂検出においては、CNF 含有率 55%程度で判別の可能性がある。
再生工程	・再生リサイクルペレット作製時に、複合化した CNF の凝集・膨張・断裂等の防止・抑制が課題であり、熔融混練押出方式での高温下では CNF の炭化が進む。添加剤処方有り無しに関わらず再生工程時に熔融温度を適切に抑制し、押出成形する工法で検証を行った。CNF-PS は材料投入部で 150℃、シリンダ内材料混練域で 180～200℃が好適である。5 回繰返し成形で機械物性の保持率は平均で 95% 以上であった。CNF-PS においても酸化防止剤処方による効果検証を実施し、熱酸化劣化に対しては処方の有無による効果に差異は見られなかった。 ・再生処方・工法の見極め検証評価を実施し、混練押出時のスクリーンメッシュサイズの適正な仕様を見出した。

²² 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価等事業委託業務（CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発）成果報告書』（パナソニック株式会社、平成 29 年度～31 年度）を基に整理。

(3) 樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとした CNF 複合材廃材のリサイクルモデル評価結果

樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとした CNF 複合材廃材のリサイクルモデル評価では、マテリアルリサイクル技術の実証、マスターバッチの作成及び CO₂ 削減効果の検討の結果を示しています。また、CNF 素材のリサイクルの社会実装に関する検討を行っている。表 4-8 に成果を示します。

表 4-8 樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとした CNF 複合材廃材のリサイクルモデル評価の概要²³

代表事業者名	(国) 静岡大学
共同事業者名	化薬アゾ (株)、(株) エコフィール、トクラス (株)
実施年度	平成 29～31 年度
地域	静岡県静岡市 (静岡大学農学部所在地)
調査概要	新たに考案した簡略式製法により、CNF 複合材廃材を新たな化学的機能の付与された各種フィラー充填マスターバッチ用の酸変性樹脂へと変換する技術を確立するとともに、CO ₂ 削減効果を検証する。発生する廃棄物の回収・分別方法といった「仕組み」の観点からも、事業の実用性、経済性等を検証し、社会実装に向けて取り組む。
CNF 製品用途	建材、家電、自動車部品想定
調査項目	・マテリアルリサイクル技術の実証 ・再生利用の仕組み検証 ・社会実装の検証
成果	
マテリアルリサイクル技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> ・近赤外分光分析により、1%以上の CNF 含有率があれば選別は可能である。 ・可視～近赤外短波長領域の反射スペクトルを用いることで、CNF を含有するポリプロピレンを 90%以上の精度で選別できるモデルが構築された。 ・本事業で開発した CNF 複合材含有容器包装リサイクル樹脂モデルにリアクティブ処理を行い、作製したフィラー充填マスターバッチを使用したプラスチック複合材料は既存品のタルク 20%配合 PP と同等以上の性能を示す。 ・開発したマスターバッチの量産技術を確立し、その CO₂ 削減効果、製造コストが既存品以上に優れていることを確かめた。
CO ₂ 削減効果 (廃棄・リサイクル)	<ul style="list-style-type: none"> ・リアクティブシステムによる CO₂ 削減効果の検証 <p>開発品 MB (マスターバッチ) は既存品 MB と比較して、木粉、タルク、建材 (WPC デッキ)、自動車 (アウターカバー)、家電・OA 機器 (複合機の部品) で 20%以上の CO₂ 排出量削減が可能であった。</p>

²³ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価等事業委託業務 (樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとしたセルロースナノファイバー複合材廃材のリサイクルモデル評価) 成果報告書』(事業代表者: 国立大学法人静岡大学、共同実施者: 学校法人同志社同志社大学、コニカミルタ株式会社、化薬ヌーオン株式会社、株式会社エコフィール、トクラス株式会社、平成 29 年度～31 年度) を基に整理。

4.3.2 CNF リサイクルの評価等事業の成果のまとめ

平成 29～31 年度（2017～2019 年度）の環境省の CNF リサイクルの評価等事業の成果は、主にリサイクルプロセスの検討、選別技術の実証でマテリアルリサイクル技術の課題解決を行ったことです。工程内リサイクルの可能性が高いこと、マテリアルリサイクル後の物性保持率が高いこと、赤外線分光法や静電分離が適用可能であることなどが実証されました。

（1）リサイクルプロセス全体に関する知見

- 自動車部品の射出成型時の部品製造工程で発生する CNF 複合材の端材のリサイクルは有効であるため、他の製造工程で発生する CNF 複合材のリサイクルも有効である可能性が高い。
- 使用済み家電製品の解体過程で発生するシュレッダーダストに含まれる CNF 複合材は、5 回繰返し成形した時の機械物性の保持率は平均で 95%以上である。

（2）選別技術に関する知見

- 回収された樹脂中から CNF 複合材を選別する際に、赤外分光法は有効である。しかし、多くの素材を含む容器包装材やシュレッダーダスト等から高い精度で CNF 複合材のみを選別することは難しい。
- ASR（Automobile Shredder Residue）からの CNF 複合材を選別するためには、静電分離や光学分離技術の組み合わせや他の前処理などの導入による新たな選別方法の確立が望まれる。
- 使用済み家電製品の解体過程で発生するシュレッダーダストに含まれる CNF 複合材の選別工法として、中赤外線スペクトル検出を利用する場合は、濃色樹脂における CNF 含有率 55%程度であれば判別が可能である。

（3）CO₂ 削減効果に関する知見

- 開発品 MB は既存品 MB と比較して、木粉、タルク、建材（WPC デッキ）、自動車（アウターカバー）、家電・OA 機器（複合機の部品）で 20%以上の CO₂ 排出量削減が可能である。
- CNF 複合材のリサイクル材を用いることで、CNF のバージン材のみを使用するよりも CO₂ 排出量が 70%以上削減できる。

4.4 CNF リサイクルの推進に向けて

4.4.1 CNF リサイクルの課題・留意点

平成 29～31 年度（2017～2019 年度）の環境省の CNF リサイクルの評価等事業から、リサイクルプロセス全体や選別技術に関する課題及び留意点を得ることができました。また、過年度事業及び有識者ヒアリングの結果から見えてきている技術的・社会的・経済的課題（例）とそれぞれの課題の解決に向けた方向性（例）を表 4-9 に示します。

表 4-9 CNF リサイクルの課題と解決に向けた方向性（例）

分類	課題（例）	解決に向けた方向性（例）
技術的課題	工程内リサイクル技術の一部は開発・実証されているが、市場回収リサイクル技術については、実証事業で一部検討がされているが、開発・実証が十分でない	<ul style="list-style-type: none"> 多様な工程内リサイクル技術の開発・実証 市場回収リサイクルの関する技術開発・実証 繰り返し利用についての経年劣化の検証 リサイクルによる付加価値の創出
	異物除去技術が確立されていない	<ul style="list-style-type: none"> プラスチック中金属や塗膜等の高精度異物除去技術の開発
	高速・高精度の選別技術が無い	<ul style="list-style-type: none"> 高速・高精度選別技術の開発
	CNF のリサイクル製品に関する性能評価手法が明確でない（そもそもの CNF 製品の性能評価手法も同様）	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル CNF 製品の性能評価方法の明確化（そもそもの CNF 製品も同様）
社会的課題	CNF リサイクルの有用性に関する社会的認知度が低い	<ul style="list-style-type: none"> CNF リサイクルの有用性に関する継続的な効果検証 CNF リサイクルの有用性に関する P R
	CNF リサイクルの仕組みや、CNF 含有製品に関する廃棄・分別ルールがない	<ul style="list-style-type: none"> CNF リサイクルの仕組みづくり 市場回収スキームの確立 ※例えば CNF を使った家電製品であれば家電リサイクル法の枠組みの中で回収することなどが考えられる。
	CNF 含有製品と一般のプラスチックが容易に識別できない	<ul style="list-style-type: none"> CNF マークの添付 CNF 製品の識別技術の開発
経済的課題	安定した回収量が無ければコスト高となる	<ul style="list-style-type: none"> 市場回収スキームの確立（再掲） リサイクル CNF の用途開発による用途拡大
	リサイクル製品の価値が小さければ、リサイクル市場が成立しない	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル製品の高付加価値化 リサイクルの価値の見える化
その他の課題	いつ頃どの程度の市場になるか分からない	<ul style="list-style-type: none"> 関連業界によるロードマップ等の作成等

4.4.2 CNF リサイクルの推進に向けて

CNF は木材等を原料としたバイオマス素材で、かつ高いリサイクル性を有するとされているため、CNF 製品で他の石油由来素材に代替し、リサイクルすることで資源枯渇の緩和につながります。循環経済への移行を見据えた素材として自動車や家電、建材、包装・容器などへの活用が期待されます。

既にいくつかの CNF 複合材のリサイクル技術が開発されています。平成 29 年度～31 年度（2017～2019 年度）の環境省の CNF リサイクルの評価等事業では、CNF リサイクルの推進に向けて、CNF 複合材のマテリアルリサイクル技術の開発や回収の仕組み、CO₂ 削減効果を検討し、適用可能な技術が実証されました。特に、CNF 複合材は繰り返しリサイクルをしても物性の低下が少ないことが明らかになりました。また、工程内リサイクルの実現可能性が高いことが実証されているため、今後工程内リサイクルにおける更なる技術開発が期待されます。一方で、市場回収リサイクルでは、前述したとおり課題が数多く残っています。今後も研究開発や実証実験を通して、均質な CNF を安定して回収するスキームの確立や、高精度選別技術の開発、異物除去技術の開発などを行い、それぞれの課題を解決していくことが必要です。CNF が一定量普及しなければリサイクル技術の開発もできないという考え方もありますが、社会が循環経済へ移行する中で、将来の経済と環境を見据えて資源循環の可能性を追究することが求められています。