

樹脂リサイクル

～繊維強化プラスチックのリサイクル～

自動車分野では、軽量化のために部品の樹脂化が進められている。特に機械的、熱的特性に優れた繊維強化プラスチック(FRP)の使用は増加傾向にあるが、反面、そのリサイクルは非常に難しく、廃車後のFRPの処理問題が浮上してきている。また、CO₂排出量削減や海洋プラスチックごみ削減等の課題もある。我々は、プラスチックの使用と廃棄にどう向き合えば良いのだろうか。

1. はじめに

2020年7月1日から全国で一律にプラスチック製レジ袋の有料化が始まり、廃棄プラスチックの処理問題が一般生活にも大きな影響を及ぼし始めている。ある樹脂成型品メーカーでは購入したプラスチックの内、生産時に10-20%程度の排出物(主にスプルー、ランナー等)が発生している。しかしながら、そこでのプラスチック排出物は、全て社外でリサイクル利用されており、現状、プラスチック排出物を“有価物”として処理できているため、“廃棄物”としては計上されていない状況にある。

2018年1月から中国へ資源ごみを輸出できなくなり、東南アジア諸国がそれに追従したため、プラスチック排出物の行き場がなくなりつつある。そのため、リサイクルコストが高騰してきており、今後、上記樹脂成型品メーカーのプラスチック排出物の処理には費用が発生し、“有価物”から“廃棄物”へ変貌する可能性がある。

規制関連では、国内で、2019年に「プラスチック資源戦略」が制定され、再生利用の促進(2030年までに倍増)、1回使い切りの製品に対して規制強化(2030年までに排出物25%削減)、使用済プラスチックを有効利用(2025年までにサーマルリサイクルを含め100%)等の目標が設定されている。また、今後CO₂の排出規制では、LCA基準での排出量削減が求められ、材料の生産～廃棄処分までを含めたCO₂排出量削減の技術戦略が必要となる。

2. 樹脂リサイクル方法と現在の状況

プラスチックのリサイクル方法を表1にまとめる。

日本においては、樹脂のリサイクル率(2018年度)は、84%と非常に高レベルであるが、その内訳は、マテリアルリサイクル:28%、ケミカルリサイクル:5%、サーマルリサイクル:67%である。

表1. プラスチックのリサイクルの方法

| 分類(日本) | リサイクルの手法 | ISO 15270 |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| マテリアルリサイクル (材料リサイクル) | 再生利用 ・プラ原料化 ・プラ製品化 | Mechanical Recycle (メカニカルリサイクル) |
| ケミカルリサイクル | 原料・モノマー化 | Feedstock Recycle (フィードストックリサイクル) |
| | 高炉還元剤 | |
| | コークス炉化学原料化 | |
| サーマルリサイクル (エネルギー回収) | ガス化 油化 | Energy Recovery (エネルギーリカバリー) |
| | 化学原料化 燃料 | |
| | セメント原・燃料化 ごみ発電 RPF*1 RDF*2 | |

* 1: Refuse Paper & Plastic Fuel

* 2: Refuse Derived Fuel

出所: 一般社団法人プラスチック循環利用協会編
「プラスチックリサイクルの基礎知識2020」

海洋プラスチックごみの問題解決には、リサイクルを困難にする汚れ等が問題とならないサーマルリサイクルが有効な手段であると考えられる。しかしながら欧州では、日本に先行し、排出業者に対して樹脂リサイクル率の達成が義務化されている一方、サーマルリサイクル(エネルギーリカバリー)は、リサイクルの手法としては認められていないため、縮小傾向にある。

3. 繊維強化プラスチック (FRP) のリサイクル

繊維強化プラスチック(以下、FRP)の種類として、熱硬化性FRPと熱可塑性FRPの2種類がある。その使用量としては、熱硬化性FRPの方が多く、特に海外では、熱硬化性FRPを用いてこれまでに大量に製造された風力発電の羽根がその寿命を迎え、今後廃棄物化する事が懸念されている。

熱硬化性FRPを、加熱により融解再利用したり、溶媒等で溶解し、ポリマーやフィラー成分を再利用したりするマテリアルリサイクルは難しく、サーマルリサイクル以外のリサイクルは、殆ど実施されていない状況にある。

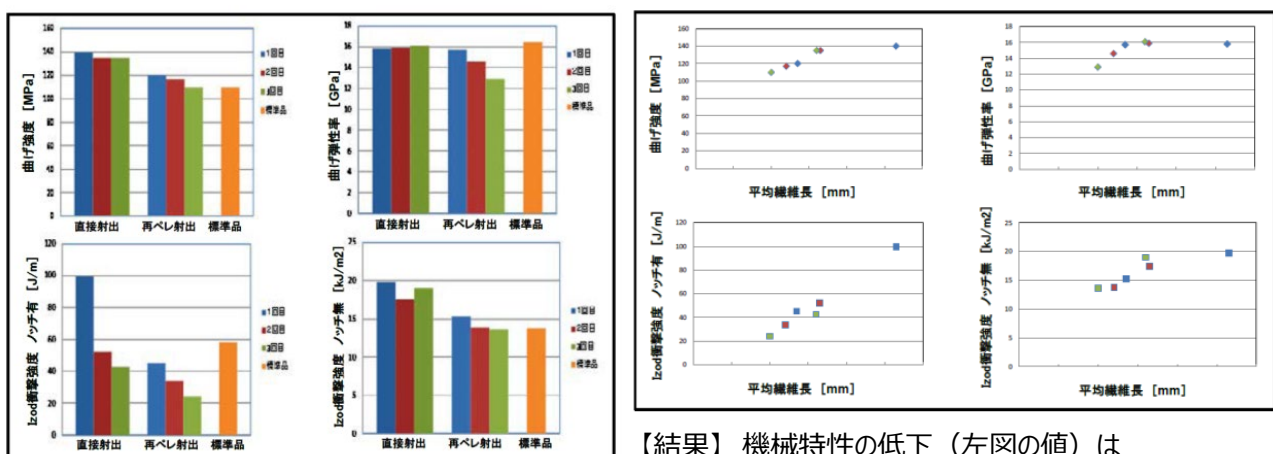
一方、熱可塑性FRPは、そのマトリックス樹脂としてポリプロピレンやナイロン等の熱可塑性プラスチックが使用されているため、マテリアルリサイクルがし易いと考えられている。その事例として、強化繊維が高価な炭素繊維である場合、熱や溶剤により、樹脂成分を除去し、炭素繊維を再利用する方法が提案されている。また、図1に示すように、粉碎→(ペレット化)→再成形(射出、スタンピング等)し、マテリアルリサイクルする方法が研究されている。

図1. 熱可塑性繊維強化樹脂のマテリアルリサイクル研究事例
(a) サンプル作製方法



出所: NEDO「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」平成20年度～平成24年度
PL: 高橋 淳(東京大学)

(b) サンプル評価結果



【結果】 繰り返し使用、再ペレット化工程により成形品の機械特性が劣化する

【結果】 機械特性の低下(左図の値)は平均CF長の短さと相関する。
→ CFの破断が機械特性低下の要因である。

その研究結果によると、リサイクル材中のカーボン繊維が短くならなければ、特性が維持されることが明らかになっている。しかしながら、実際の成型時には、フィラー繊維の破断は避けられず、バージン樹脂と同等の特性を確保することは難しく、品質低下を伴うリサイクル(カスケードリサイクルと呼ぶ)に限定されると考えられる。また上記研究事例の様なテストピースレベルの成型では、リサイクル材料の成型性が成形品の特性に及ぼす影響は小さいと考えられるが、製品レベルの成型では、熔融樹脂の流動性やフィラー繊維の配向性等が製品特性に大きな影響を及ぼすため、リサイクル材を用いる場合、成形条件等の再検討が必要となる。

以上のように、FRPをリサイクルしようとする多くの困難が伴う。欧州では、FRPのリサイクル/リユースを推進するためのプロジェクトであるFiberEUse(<http://www.fibereuse.eu/>)が、2017年度より立ち上がっている。自動車用FRPに関しては、他の部品と比べて経時劣化が少ないため、部品として再度利用するリユースが主に検討されている。FiberEUseでは、リユースを実現するためにFRP部品形状や接合(接着)や検査方法の規格化が協議されている。

4. おわりに (テクノバからの提言)

これまで、サーマルリサイクルに代わる使用後のFRPの処分方法として、マテリアル(カスケード)リサイクルやリユースが検討されている事を述べた。ここで、欠けている視点として、マテリアルリサイクルの場合もリユースの場合もFRPの寿命を先延ばししているだけで、いずれは処分する必要があるという点である。

一方、樹脂リサイクルをCO₂の排出量の観点で見ると、これまでとは異なった側面が見えてくる。表2は、リサイクル手法とCO₂の排出量削減効果の関係を示している。廃棄プラスチックをリサイクルして、製品を製造する際のCO₂排出量(表中のCO₂排出量(A)に相当)を比較すると、マテリアルリサイクルのCO₂発生量が最も少ない(再生樹脂パレットの場合、2.30 kg-CO₂)といえる。一方、表中のCO₂排出量(B)には、廃棄プラスチックをリサイクルしないで、リサイクル製品と同等の製品を従来手法で製造する際のCO₂排出量が示してある。リサイクルによるCO₂排出量の削減効果は、B-Aに相当し、マテリアルリサイクルが必ずしも有利ではなく(樹脂パレットの場合のCO₂排出量削減効果は1.65 kg-CO₂)、アンモニアを製造するケミカルリサイクルや石炭代替のサーマルリサイクルではCO₂排出量の削減効果は大きい場合もあること(それぞれ、2.11 kg-CO₂と2.97 kg-CO₂)が示されている。

表2. 樹脂リサイクル方法とCO₂排出量削減効果の関係

| リサイクルの有無 | | リサイクルした場合 | | リサイクルしない場合 | | CO ₂ 排出量削減効果(B-A)(kg-CO ₂) |
|------------------------|-----------------|---------------|---|------------------|---|---|
| 製品/CO ₂ 排出量 | リサイクル手法 | リサイクルで再生される製品 | CO ₂ 排出量(A)(kg-CO ₂) | 従来の方法で製造される製品 | CO ₂ 排出量(B)(kg-CO ₂) | |
| マテリアルリサイクル | | 再生樹脂パレット | 2.30 | 樹脂パレット | 3.95 | 1.65 |
| | | | | 木製パレット | 2.93 | 0.63 |
| ケミカルリサイクル | ガス化(アンモニア製造) | アンモニア、炭酸ガス | 4.98 | 天然資源から製造されるアンモニア | 7.09 | 2.11 |
| サーマルリサイクル | 固形燃料(RPF)利用 | 固形燃料 | 2.89 | 石炭 | 5.86 | 2.97 |
| | 発電焼却(発電効率12.8%) | 焼却炉からの電力 | 2.71 | 系統電力 | 3.45 | 0.73 |
| | 発電焼却(発電効率25%) | 焼却炉からの電力 | 2.71 | 系統電力 | 4.15 | 1.43 |

出典: 海洋プラスチック問題対応協議会(JaIME), プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価(LCA)を基にテクノバで作成

また、経済産業省 循環型社会システム動向調査「プラスチックのケミカルリサイクルの動向調査」や NPO法人 国際環境経済研究所「小手先ではないプラスチック戦略を」においても、ケミカルリサイクルがマテリアルリサイクルと比べて、処理コストが下回る場合も多いこと、処理に関わるCO₂排出量が少ないこと、再商品化率(回収樹脂の利用率)が高いこと等のケミカルリサイクルの優位性が示されている。国内のケミカルリサイクル率は、現在5%(39万トン)程度と必ずしも大きい訳ではないが、これはリサイクル施設(国内で8か所)の処理能力で制限されているためである。ケミカルリサイクル施設の増設により、リサイクル率の増加が期待できるが、その設置にはコストが掛かる反面、リサイクル市場価格が不安定であり、積極的な設備投資ができないといわれている。また単純に燃焼熱を利用するサーマルリサイクルと比較すると処理コストは高く、更なる低コスト化が求められている。

今後、世界的にプラスチック廃棄物が増加する傾向にあり、マテリアルリサイクルと比較してケミカルリサイクルの大幅な伸びが予想されている。(<https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/how-plastics-waste-recycling-could-transform-the-chemical-industry>)

ケミカルリサイクルの場合、廃棄プラスチックから、バージン状態のプラスチック材料や工業的に有用なアンモニア等を作りだす事が可能である。また、マテリアルリサイクルが困難なFRPのリサイクルも可能である。ケミカルリサイクルには、まだ技術的な開発余地もあり、ケミカルリサイクルへの急激な転換は起こらないと考えられるが、“究極のリサイクル方法”として、今後推進すべきである。

今後、樹脂成型メーカーにおいては、短～中期的には、マテリアル(カスケード)リサイクルし易いプラスチック部品への変更、中～長期的には、ケミカルリサイクルし易いプラスチック部品(例えば、不純物が存在しない又は外れやすい構造、ケミカル反応を阻害しない材料やフィラー等)へ変更する取り組みを行う事を推奨したい。

テクノバでは、今後も樹脂リサイクル技術の動向を引き続き注視してゆく予定である。

まとめ

- 自動車用途でも繊維強化プラスチック (FRP) の使用量は増える傾向にある
- 熱可塑性FRPであっても、マテリアルリサイクルは困難で、品質を落としたカスケードリサイクルに限定される
- 欧州では、FRPのリユースが検討されており、それを実現するためにFRP部品形状や接合(接着)や検査方法の規格化が協議されている
- FRPのリサイクル方法として、長期的にはケミカルリサイクルを推進すべきである

本レポートに関する問い合わせ先:

株式会社テクノバ

岡本光

E-mail : okamoto[a]technova.co.jp

Tel : 03-3508-2280