

容器包装プラスチックの材料リサイクルにおける

素材別選別の費用収支および二酸化炭素排出量の定量評価

循環型社会創成学分野 原田太郎 47-156681 2017年3月修了予定

指導教員：田崎智宏教授 脇岡靖明教授 中島謙一准教授

キーワード：容器包装プラスチック 材料リサイクル 費用 環境負荷

1. 研究の背景と目的

容器包装プラスチックの材料リサイクルは日本¹⁾や欧州などの先進国²⁾において推進されている。しかし、日本において消費者から排出された容器包装プラスチックの中で材料リサイクルされる量は全体の約11%³⁾にとどまる。この理由として、費用面では、材料リサイクルを行う上で、自治体の負担が高くなること⁴⁾、ケミカルリサイクルと比較して、材料リサイクルは再商品化費用が高いこと¹⁾が理由として挙げられる。また環境面では、環境負荷の削減効果についての優位性が明確に示されていないため、材料リサイクルの優先的な取り扱いに対して肯定的な結果が得られていない¹⁾。これらの課題に対して、自治体の費用⁵⁾、事業者が負担している再商品化費用⁶⁾・環境負荷の削減効果⁸⁾の改善策として素材別選別を伴う材料リサイクルが注目されている。本研究において、素材別選別とは、回収された廃プラスチックをポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)等の素材ごとに選別することを意味する。(以下、素材別選別を「単一化」と称する。)

素材別選別の導入効果については、WRAP(2009)⁶⁾や紺野(2012)⁸⁾により費用の削減効果が、そして、奥野ら(2010)⁷⁾による環境負荷等の削減効果が示されている。しかしながら、これらの既存研究は(a)素材別選別が容器包装リサイクルの費用評価をする際のシステム境界の設定が不十分^{6), 8)}あるいは、(b)評価結果に影響を与える要因の不確実性を踏まえた評価が不十分^{7), 8)}であり、素材別選別が費用収支と環境負荷排出量に与える効果の不確実性が十分に評価できていなかった。

そこで本研究では、容器包装プラスチックのリサイクルシステムを対象として、(1)素材別選別が材料リサイクルの費用や環境負荷に影響を与える要因を整理し、(2)不確実性を踏

まえた上で、(3)費用収支と環境負荷排出量を定量化すると共に、単一化材料リサイクルが他のリサイクル手法と比べて費用あるいは環境負荷の削減効果において優位となる条件とその有無を考察する事を目的とする。

2. 容器包装プラスチックの素材別選別の効果の整理

2.1 方法

容器包装プラスチックの材料リサイクルに関わる費用や環境負荷を評価している28件の先行研究を対象として、他のリサイクル手法と比較した際に素材別選別が費用や環境負荷に与える影響を整理した。整理は、単一化材料リサイクルの導入による正負の影響、費用や環境負荷の評価に影響を及ぼす要因、指標の有無および定量評価の実施の有無の3つの観点で行った。併せて、各評価で対象とするシステム境界を整理した。

2.2 結果

単一化材料リサイクルの導入による影響として10種(正の影響：7種、負の影響：3種)の影響が抽出できた。費用への影響は、正の影響としては再生ペレットの収率や売価の向上等が、負の影響としては施設費の向上に関する議論がある事が明らかとなった、一方、環境負荷への影響は、正の影響としては再生ペレットの収率の増加による二酸化炭素削減効果の向上等が、負の影響として、電気使用量の増加による二酸化炭素削減効果の低減に関する議論がある事が明らかとなった。

要因については、23件(費用12件、環境負荷11件)の論文より、費用への影響については31種の要因、環境負荷への影響については23種の要因が抽出できた。その結果、単一化材料リサイクルの費用収支に影響を及ぼす要因として、ベール組成、再生ペレット収

率、再生ペレットの種類、再生ペレット売価、電気量、人件費、資本金、施設規模などが取り上げられていることが明らかとなった。一方、単一化材料リサイクルの環境負荷排出量に影響を及ぼす要因としては、ペール組成、再生ペレット収率、残渣処理の方法などがとりあげられたが、奥野(2010)⁷⁾により、残渣処理の手法のみが考慮されていた。

各評価の評価範囲を定めるシステム境界について、単一化材料リサイクルの WRAP(2009)⁶⁾および紺野(2012)⁸⁾による費用評価では、再商品化工程のみを評価範囲としていた。本研究で調査対象としたいいずれの研究においても容器包装プラスチックのリサイクルシステムを構成する分別収集から埋立までの全ての工程を考慮した研究は確認できておらず、特定の工程のみに注目した評価であることが確認できた。一方、環境負荷排出量対象とする既存研究⁷⁾では、リサイクルに関わる一連の工程を対象とした LCA が実施されていることが確認できた。

以上の結果より、リサイクルシステムの費用収支あるいは環境負荷排出量を評価する上で、費用収支の評価においては評価範囲が不十分であること、環境負荷の評価においては影響を与える要因の考慮が不十分である事が明らかとなった。これに対して、本論文では、容器包装プラスチックのリサイクルの全行程を評価範囲とし、既存研究において、評価されていない要因として、施設規模、再生ペレット収率、ペール組成などを考慮することで、単一化が材料リサイクルの費用収支、環境負荷に与える効果を定量的に論じる。

3. 材料リサイクルにおける素材別選別の費用面と環境負荷面の効果の算出

3.1 方法

本研究では、ライフサイクルコスト(LCC)、ライフサイクルアセスメント(LCA)の手法を用いて、積み上げ方式により、容器包装プラスチックのリサイクルシステムにおける費用収支と環境負荷排出量の定量化を行った。なお、本研究では、環境負荷排出量として二酸化炭素排出量を取り上げた。

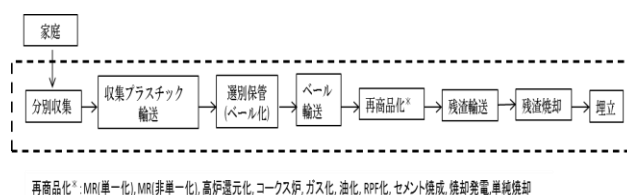


図1 本研究におけるシステム境界

3.2 機能単位,システム境界,評価項目

機能単位は家庭から排出される容器包装プラスチック 1kg の処理とした。本研究でのシステム境界を図1に示す。図1の分別収集から埋立までを本研究の対象として、費用、環境負荷の算出を行った。再商品化製品利用による代替効果としては、単一化材料リサイクル(「MR(単一化)」という。)、単一化材料リサイクル(「MR(非単一化)」という。)では樹脂を代替、高炉における還元剤の代替(高炉還元)、コークス炉における石炭の代替、ガス化における都市ガスの代替、油化におけるガスの代替、焼却発電では電力を代替、セメント焼成、RPF化では、石炭を代替することを考慮し、代替する物質の価格あるいは物質の製造に関わる環境負荷排出量を割り付ける事で代替効果を評価した。

費用収支の評価では、各工程における燃料・電力消費量、再商品化製品の利用による代替効果を考慮した。また、LCCの算定項目として、分別収集、選別保管、再商品化、埋め立てにおいては、減価償却費、維持管理費、運転費を検討しており、残渣焼却においては、文献¹⁰⁾の値を参照し、工程間の輸送においては、km・t当たりの輸送原単位と輸送距離を検討している。

3.3 費用収支・二酸化炭素排出量の算出結果

容器包装プラスチックのリサイクルにおいて、総費用、二酸化炭素排出量を再商品化手法ごとに比較した結果をそれぞれ図2、3に示す。図2より、MR(単一化)の総費用は152円/kgであり、MR(非単一化)(148円/kg)よりも高かった。MR(単一化)の総費用がMR(非単一化)よりも高いのは、単一化を行ったことによる再生利用費の増大分よりも施設費、運営費の増大分の方が大きいことに起因する。

(図 2 より) 図 3 より、MR(単一化)の二酸化炭素排出量は 878 kg-CO₂/t であり、MR(非単一化)(1038 kg-CO₂/t)、焼却発電(1417 kg-CO₂/t)、焼却(2358 kg-CO₂/t)と比較して低かった。MR(単一化)が MR(非単一化)と比較して二酸化炭素排出量が低い理由として、単一化を行うことによる、電力量の増加による環境負荷の増大分よりも再生樹脂量の増加による環境負荷発生量の低減の方が大きかったことに起因する。

4. 考察：各種要因の不確実性が与える影響の評価と解釈

本研究では、MR(単一化)の再商品化費を(1)から式(6)より、環境負荷の発生量を式(7)から式(9)より、算出している。ここで i は、電力、工業用水、軽油、COG を示し、式(6)、式(9)において、 $j=PP, PE, PS, PET$ を示している。

$$C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 - S_c \quad \cdots \text{式(1)}$$

$$C_1 = C_{1a} / (L \times W \times P) \quad \cdots \text{式(2)}$$

$$C_2 = (C_{2a} \times N) / (L \times W \times P) \quad \cdots \text{式(3)}$$

$$C_3 = \sum(C_i \times W_i) \quad \cdots \text{式(4)}$$

$$C_4 = (C_1 \times 0.07) \quad \cdots \text{式(5)}$$

$$S = \sum(S_{c,j} \times W_j \times Y_j) \quad \cdots \text{式(6)}$$

ここで、 C_{total} は再商品化費用、 C_1 は減価償却費、 C_2 は人件費、 C_3 は燃料費、 C_4 は維持管理費、 S は収益、 C_{1a} は施設投資費、 L は耐用年数、 N は処理能力、 P は稼働率(処理量/処理能力)、 C_{2a} は作業員の年収、 N は作業要員数、 C_i 、 W_i はそれぞれ投入物の単価と消費量、 S_j 、 W_j 、 Y_j は樹脂の売価と収率とペール内組成を示している。

$$E_{total} = E_1 - S_E \quad \cdots \text{式(7)}$$

$$E_1 = \sum(E_i \times W_i) \quad \cdots \text{式(8)}$$

$$S_E = \sum(S_{E,j} \times W_j \times Y_j) \quad \cdots \text{式(9)}$$

ここで、 E_{total} は再商品化工程における二酸化炭素排出量、 E_1 は燃料、電気消費による二酸化炭素発生量、 S_E は再商品化製品による代替効果、 $S_{E,j}$ は再生ペレットの代替効果原単位を示している。

本研究では、各種の要因が有する不確実性

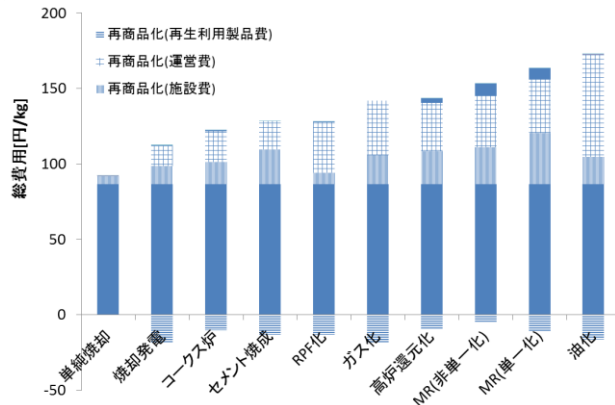


図 2 再商品化手法別の費用収支

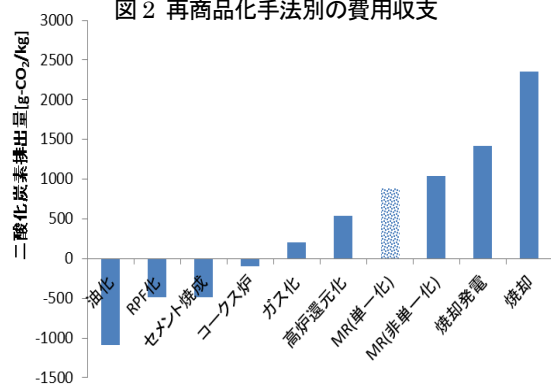


図 3 再商品化手法別の二酸化炭素排出量

の評価として、式(1)~式(9)において下線と斜線がなされている要因を変数として、変動させた際に費用や二酸化炭素排出量に与える影響の評価を行った。ここで、処理能力においては、処理能力を 7,300t/年から 50,000t/年に変化させた際の稼働率ごとの総費用の変動を評価した。また、収率(収量/ペール内組成)においては、PP、PE、PS、PET の収率を、ペール内組成においては、ペール内の PP・PE 率(PP・PE 量/ペール量)を変数とした。ここで、収率の変化が与える MR(単一化)の総費用、二酸化炭素排出量への影響を評価し、総費用への影響を図 4 に示した。図 4 より、各ペレット収率が PE では 96%、PP では 96%、PS では 88%を上回る際に MR(非単一化) (148 円/kg)よりも総費用が低くなった。また、ペレットの収率が PE では 27%を下回る際に、MR(単一化)の総費用は油化(156 円/kg)よりも高くなった。各ペレット収率を 100%と仮定しても、高炉還元化(134 円/kg)、コークス炉(112 円/kg)、ガス化(122 円/kg)、RPF 化(115 円/kg)、セメント焼成(115 円/kg)、焼却発電(94

円/kg)、単純焼却(87 円/kg)よりも MR(単一化)の総費用は低くならなかった。また、二酸化炭素排出量においては、ペレットの収率が PE では、26.4%を上回る際に、MR(単一化)の二酸化炭素排出量が MR(非単一化)(1038 kg・CO₂/t)よりも低くなった。

次に PP・PE 率の変化が与える MR(単一化)の総費用、二酸化炭素排出量への影響を評価した結果、総費用において、PP・PE 率の変動しようと MR(単一化)の総費用は油化(156 円/kg)よりも低く、MR(非単一化)よりも高くなった。また、二酸化炭素排出量においては、PP・PE 率が 30.3%を上回る際に、MR(単一化)の二酸化炭素排出量は MR(非単一化)(1038 kg・CO₂/t)よりも低くなった。

これらの変数の中で、最も MR(単一化)の総費用の値が低くなったのは、処理能力を考慮した場合で、処理能力 50,000t/年の MR(単一化)において、稼働率が油化(156 円/kg)では、11.4%を、MR(非単一化)(148 円/kg)では、14.5%を高炉還元化(112 円/kg)、では、23.9%を、ガス化(122 円/kg)では、36.1%を、RPF 化(115 円/kg)では、48.7%を、セメント焼成(115 円/kg)では、49.2%を、コークス炉(112 円/kg)では、55.6%を上回った際に該当する再商品化手法よりも MR(単一化)の総費用は低くなった。しかし、処理能力 50,000t/年の MR(単一化)において、稼働率が 100%の場合でも、焼却発電(94 円/kg)、単純焼却(87 円/kg)よりも MR(単一化)の総費用は低くならなかった。

5. まとめ

容器包装プラスチックのリサイクルシステムの費用収支の分析の結果、

MR(単一化)の総費用は、油化よりも低く、MR(非単一化)、高炉還元化、コークス炉、ガス化、RPF 化、セメント焼成、焼却発電よりも高いことが分かった。MR(単一化)の評価結果に影響を与える要因の不確実性を踏まえた評価より、高炉還元化、コークス炉、ガス化、RPF 化、セメント焼成よりも MR(単一化)の総費用が低くなる条件が示された。

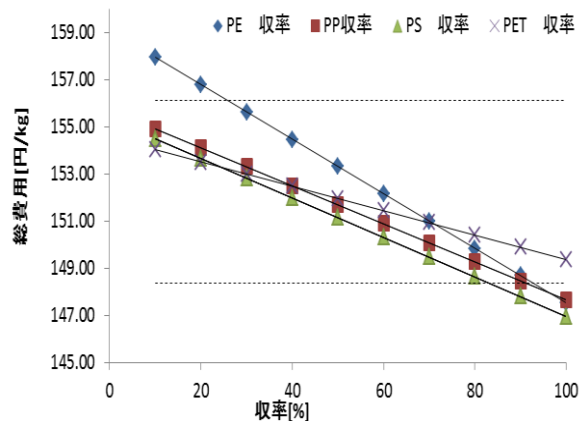


図4 総費用に与える樹脂別の収率の影響

一方、MR(単一化)の二酸化炭素排出量は、MR(非単一化)、焼却発電、単純焼却と比較して少なく、高炉還元化、コークス炉、ガス化、RPF 化、セメント焼成、焼却発電よりも高いことが分かった。また、MR(単一化)の評価結果に影響を与える要因の不確実性を踏まえた評価より MR(非単一化)よりも二酸化炭素排出量が低くなる条件が示された。

6. 参考文献

- 1) 近藤亮太:「プラスチック製容器包装の再商品化手法及び入札制度の在り方に係るとりまとめ案」について、廃棄物資源循環学会誌, 21(5), 265-272, (2010).
- 2) KaRL S. WILLIAMS: Plastic Packaging: Not a Throw-away Resource, Waste as a Resource, 83-109, (2013).
- 3) 環境情報科学センター: 容器包装リサイクル法に係る審議会に向けた資料作成及び根拠となる各種情報収集業務報告書 平成 27 年度, (2016).
- 4) 環境省 廃棄物・リサイクル対策部: 平成 16 年度 効果検証に関する評価事業調査 (市区町村等における分別収集・選別保管費用に関する調査) 中間報告, (2005).
- 5) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会 プラスチック容器事業部 プラスチック製容器包装に係る実証試験評価委員会: プラスチック製容器包装に係る実証試験 (平成 24 年 4 月~平成 26 年 3 月実施) 報告書, (2014).
- 6) WRAP: A financial assessment of recycling mixed plastics in the UK, (2009).
- 7) 奥野亜佐子: プラスチック製容器包装の収集方法の違いが材料リサイクルの環境負荷と環境効率に与える影響, 廃棄物資源循環学会研究発表会, (2010).
- 8) 紺野聖人: 容器包装プラスチックリサイクルにおける大規模選別施設の導入の評価, 日本 LCA 学会研究発表
- 9) プラスチック処理促進協会: プラスチック製容器包装の処理に関するエコ効率分析 (2005)

