

B-54 容器包装プラスチックの単一樹脂マテリアルリサイクル において樹脂分別タイミングの違いがライフサイクルコスト および環境負荷に及ぼす影響

○奥野 亜佐子^{1*}・山本 和夫²・中島 典之²

¹ 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 ² 東京大学環境安全研究センター

*E-mail: okuno@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

容器包装リサイクル制度に基づき、「その他の容器包装プラスチック」はマテリアルリサイクルが優先実施されている。しかし、容器包装プラスチックのマテリアルリサイクルはケミカルリサイクルや他の容器包装のリサイクルに比べ再商品化事業者の落札単価が高く、樹脂の種類が単一でないため PET ボトルや白色発泡スチロールトレイに比べ再生品の用途が制限されている。それらの原因の一つとして、リサイクルに適さないプラスチックも含めて収集されリサイクルに回されていることが挙げられる。そのため、マテリアルリサイクルを推進するためには品質のよい単一樹脂を再生品として製造し、そうするために適したプラスチックのみを収集対象とすることが望ましいと考えられるが、どの段階でそれぞれの樹脂に分別するかによってライフサイクルコストや環境負荷に及ぼされる影響が異なる可能性が考えられる。

そこで本研究は再生材として単一樹脂を得るマテリアルリサイクルに適したプラスチックのみを収集対象とした際、樹脂の分別タイミングの違いがライフサイクルコストや環境負荷に及ぼす影響を比較することを目的とした。

2. 評価方法

各樹脂に分別するタイミングを消費者排出・選別保管施設・再商品化工場とし、消費者排出分別シナリオ・選別保管施設分別シナリオ・再商品化工場分別シナリオの3つのシナリオを設定した(以下、これら3つのシナリオをまとめて単一樹脂 MR シナリオと呼ぶ)。そして、現状マテリアルリサイクルシナリオ(現状 MR シナリオ)を加えた4つのシナリオにおいて、ライフサイクルコストと環境負荷(エネルギー消費量・CO₂ 排出量・NO_x 排出量)の差異を比較した。単一樹脂 MR シナリオは HDPE・

LDPE・PP・PS・PET の5樹脂を収集対象とし、現状 MR シナリオの再生品はポリオレフィン混合樹脂とした。

収集プラスチック量の比は(現状 MR シナリオ):(単一樹脂 MR シナリオ)=109:84 とする。そして、収集プラスチックは選別保管施設にて91.8%がベールプラスチックとなり、ベールプラは再商品化工場にて単一樹脂 MR シナリオは92.5%、現状 MR シナリオは52.0%が再生品となり、残りは残渣となるとする。これらプラスチック量の変化は3つの文献^{1,2,3}と工場ヒアリング結果から算出した。これらの値を用いて、次の計算を行った。

a…現状 MR シナリオ、b-1…消費者排出分別シナリオ、b-2…選別保管施設分別シナリオ、b-3…再商品化工場分別シナリオ、として用いる。

(1) 分別収集

現状 MR シナリオ・選別保管施設分別シナリオ・再商品化工場分別シナリオにおいては現状通りパッカー車で収集し、消費者排出分別シナリオにおいては5種類の樹脂を別々に収集するために平ボディ車とコンテナを用いて収集するとした。

コストについては、人口10万人以上都市を対象として直営収集の原単位³(a:56.7, b-1:106.8, b-2:58.5, b-3:58.5[円/収集プラスチック kg])を算出した。

環境負荷については、軽油使用量(a:0.029, b-1:0.039, b-2:0.038, b-3:0.038[L/収集プラスチック kg])を算出⁴し、それぞれの負荷の原単位⁵(エネルギー:41,680[kJ/L], CO₂:0.8[kg-C/L], NO_x:3.1[g-NO₂換算/L])を乗じた。

(2) 選別保管

既存施設の使用を前提とし、投入されるプラスチック量に変化しても施設の耐用年数は変化しないとした。

コストについては、人口10万人以上都市を対象とした。選別保管施設分別シナリオにおいては、再生品とし

て単一樹脂を得るタイプⅠと再生品としてポリオレフィン混合樹脂を得るタイプⅢの再商品化事業者落札単価⁶の加重平均値の差(8.1[円/プラスチック kg])を、樹脂別に選別するのにかかる人件費として加えた。直営選別保管の原単位³(a:41.4, b-1:41.9, b-2:50.6, b-3:41.9 [円/収集プラスチック kg])を算出した。

環境負荷については、プラスチック投入量あたりの機器の稼働能力は同じであると考えられ、投入量あたり燃料使用量はどのシナリオも同じであるとし、施設ヒアリング結果による燃料使用量(電力:94.4[kWh/投入プラスチック t], ガソリン:0.16[L/t], 軽油:4.2[L/t], 天然ガス:0.067[m³/t])にそれぞれの負荷の原単位⁵(電力-エネルギー:9,936[kJ/kWh], CO₂:0.096[kg-C/kWh], NOx:0.29[g-NO₂換算/kWh], ガソリン-エネルギー:41,517 [kJ/L], CO₂:0.7[kg-C/L], NOx:4.4[g-NO₂換算/L], 天然ガス-エネルギー:47,552[kJ/m³], CO₂:0.7[kg-C/m³], NOx:1.24[g-NO₂換算/m³])を乗じて算出した。

(3) 再商品化工程

コストについては、選別保管施設から再商品化工場への輸送費と再生品製造費の和とした。現状 MR シナリオはタイプⅢの工場の再商品化事業者落札単価⁶の加重平均値(88.9[円/プラスチック kg])から残渣処理コスト((5)参照)を減じ、他のシナリオについてはタイプⅠの工場の加重平均値(97.1[円/プラスチック kg])から残渣の減少を考慮して工場ヒアリング結果を参考に残渣処分費を低減(8.4[円/ベールプラスチック kg])させた値から残渣処理コスト((5)参照)を減じた。なお、単一樹脂 MR シナリオにおいては1種類の樹脂からなるベールも5種類の樹脂が混じったベールも必要な樹脂を人が選び取ると考えられるためどちらのベールの場合も作業量は同じとし、3シナリオとも同じだけコストがかかるとした。

環境負荷については、再生品製造量あたりの燃料消費量は等しいと仮定して2工場ヒアリング結果による再生品製造量あたりの燃料使用量の平均値(電力:1.3 [kWh/再生プラスチック kg])に原単位⁵を乗じ算出した。

(4) 再生品評価

コストについては、タイプⅠの工場のヒアリングにより得た再生樹脂販売額(ポリオレフィン混合樹脂:8[円/kg], HDPE:45[円/kg], LDPE:30[円/kg], PP:30[円/kg], PS:55[円/kg], PET:17.5[円/kg])を用いた。

環境負荷については、新規樹脂製造の LCI データ⁷(HDPE-エネルギー:22,009[kJ/kg], CO₂:0.34[kg-C/kg], NOx:0.26[g-NO₂換算/kg], LDPE-エネルギー:25,720[kJ/kg], CO₂:0.39[kg-C/kg], NOx:0.29[g-NO₂換算/kg], PP-エネルギー:24,745[kJ/kg], CO₂:0.38 [kg-C/kg], NOx:0.28[g-NO₂換算/kg], PS-エネルギー

:27,806[kJ/kg], CO₂:0.50[kg-C/kg], NOx:0.31[g-NO₂換算/kg], PET-エネルギー:27,648[kJ/kg], CO₂:0.40 [kg-C/kg], NOx:0.26[g-NO₂換算/kg])を用いた。ここで再生品は、ヴァージン材より品質の悪い再生樹脂でも代替できる用途において、ヴァージン材を代替するとした。

(5) 残渣処理

選別保管施設・再商品化工場から排出される残渣は、可燃残渣は焼却処理、不燃残渣は埋立処理とした。

コストについては、選別保管施設で生じる残渣の処理費は選別保管施設コストに含まれるとし、ここでは再商品化工場で生じる残渣の処理費を残渣処理コストとする。工場ヒアリング結果の残渣量あたり処理コスト(17.8[円/残渣プラスチック kg])に残渣量を乗じて算出した。

環境負荷については、焼却による燃料使用量⁸(電力:32.1[kWh/焼却ごみ kg], 重油:0.17[L/焼却ごみ kg])もしくは埋立による燃料使用量⁸(電力:30.6[kWh/埋立ごみ kg], 重油:2.4[L/埋立ごみ kg], 軽油:0.62[L/埋立ごみ kg])に原単位⁵(重油-エネルギー:45,250[kJ/L], CO₂:0.9[kg-C/L], NOx:2.7[g-NO₂換算/L])を乗じて算出した。

3. 結果と考察

(1) コスト

収集プラスチック量あたり自治体負担コスト・再生品製造量あたり再商品化事業者負担コストを図-1に示す。

a) 自治体負担(分別収集・選別保管)

分別収集コストについて、消費者排出分別シナリオが最も高いが、その原因は他のシナリオがパッカー車収集であるのに対して平ボディ車にコンテナ収集であるために積載効率が悪いことが挙げられる。選別保管コストについて、選別保管施設分別シナリオが最も高いが、この原因は他のシナリオに比べて1つにまとまっているプラスチックを5種類の樹脂に選別する人件費がかかるためである。

b) 再商品化事業者負担(再商品化・再生品評価・残渣処理)

再商品化コストについて、現状 MR シナリオが最も高いが、その原因は主として工場投入プラスチックに対して再生品製造量が少ないためである。再生品販売額(再生品評価)について、現状 MR シナリオより単一樹脂 MR シナリオの方が販売額は高いが、その原因は単一樹脂 MR シナリオの再生品が5種類の単一樹脂で品質が良く販売単価が高いためである。再生品製造量あたりの残渣量が現状 MR シナリオの方が多いため、残渣処理コストも高い。

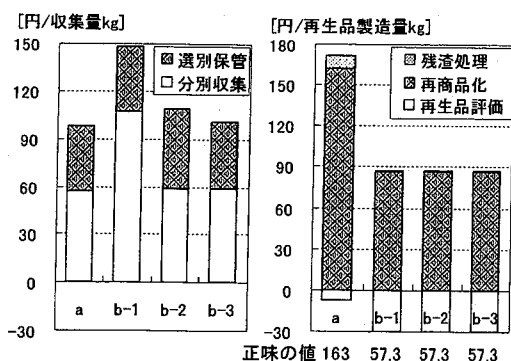


図-1 自治体負担(左)・再商品化事業者負担(右)コスト

(2) 環境負荷

再生品製造量あたりの分別収集・選別保管・再商品化・残渣処理の環境負荷とヴァージン材代替(再生品評価)による環境負荷減少分を表-1a)b)c)に示す。

表-1 環境負荷

a)エネルギー消費量		[kJ/再生品製造量kg]				
	分別収集	選別保管	再商品化	再生品評価	残渣処理	合計
a	2544	2161	12940	-24209	364	-6200
b-1	1915	1214	12940	-25574	48	-9457
b-2	1853	1214	12940	-25574	48	-9519
b-3	1853	1214	12940	-25574	48	-9519

b)CO ₂ 排出量		[kg-C/再生品製造量kg]				
	分別収集	選別保管	再商品化	再生品評価	残渣処理	合計
a	0.049	0.024	0.125	-0.372	0.562	0.388
b-1	0.037	0.014	0.125	-0.409	0.017	-0.217
b-2	0.036	0.014	0.125	-0.409	0.017	-0.218
b-3	0.036	0.014	0.125	-0.409	0.017	-0.218

c)NO _x 排出量		[g-NO _x 換算/再生品製造量kg]				
	分別収集	選別保管	再商品化	再生品評価	残渣処理	合計
a	0.189	0.079	0.378	-0.276	0.012	0.382
b-1	0.142	0.045	0.378	-0.284	0.001	0.282
b-2	0.138	0.045	0.378	-0.284	0.001	0.278
b-3	0.138	0.045	0.378	-0.284	0.001	0.278

a) エネルギー消費量

単一樹脂 MR シナリオの 3 シナリオにおいて、分別収集以外の再生品製造量あたり消費量は同じ値となっているが、その原因は 5 種類の樹脂の選別は手選別であり燃料消費量に影響を与えず、またプラスチックの変化量が同じなためである。分別収集の消費量は消費者排出分別シナリオがわずかに高いが、それは他のシナリオがバックカー車収集なのに対して平ボディ車収集であり収集効率が悪く燃料使用量が多いためである。また、現状 MR シナリオの消費量は単一樹脂 MR シナリオより高いが、それは主として収集量あたりの再生品製造量が少ないことが挙げられる。再生品評価のマイナス分は単一樹脂 MR シナリオの方が大きい、その原因は樹脂製造エネルギー消費量の大きい PS や PET が再生品として製造されるためである。

b) CO₂ 排出量

エネルギー排出量と同じく、単一樹脂 MR シナリオの 3

シナリオにおいて分別収集以外の排出量が同じ値となっており、分別収集の排出量は消費者排出分別シナリオがわずかに高い。また、現状 MR シナリオの排出量は単一樹脂 MR シナリオより高い。再生品評価のマイナス分は単一樹脂 MR シナリオの方が大きい、その原因は樹脂製造 CO₂ 排出量の大きい PS が再生品として製造されるためである。現状 MR シナリオの残渣処理排出量は単一樹脂 MR シナリオの 33 倍でエネルギー消費量や NO_x 排出量に比べて大きい、それは現状 MR シナリオの方が再生品製造量あたりの残渣量が多いためだけでなく、C 含有率の高い PS が多量に残渣に含まれ焼却されるためでもある。

c) NO_x 排出量

エネルギー排出量と同じく、単一樹脂 MR シナリオの 3 シナリオにおいて分別収集以外の排出量が同じ値となり、分別収集の排出量は消費者排出分別シナリオがわずかに高い。また、現状 MR シナリオの排出量は単一樹脂 MR シナリオより高い。再生品評価のマイナス分は単一樹脂 MR シナリオの方が大きい、それは NO_x 排出量の大きい PS が再生品として製造されるためである。

4. まとめ

単一樹脂 MR シナリオの 3 シナリオにおいて、自治体負担コストは再商品化工場分別シナリオが最も低く、再商品化事業者負担コストは 3 シナリオ同じ値で、環境負荷は選別保管施設分別シナリオと再商品化工場分別シナリオが低くなった。3 シナリオの中では再商品化工場分別シナリオが最も優れていると言え、樹脂の分別は再商品化工場で行うとコストを低減できることが分かる。また、現状 MR シナリオと比べても、収集量あたり自治体負担コストが 2%ほど増加するに過ぎず、残渣を減らしたマテリアルリサイクルが望ましいことが分かる。

5. 参考文献

- 中環審・産構審：合同会合(第3回)資料 5
- (財)日本容器包装リサイクル協会 HP 市町村・一部事務組合保管施設毎の品質調査結果一覧表 H18
- 環境省：平成 15 年度容器包装廃棄物の使用・排出実態調査及び効果検証に関する事業報告書
- (社)神奈川県トラック協会 HP 軽油価格
- (社)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 年 3 月
- (財)日本容器包装リサイクル協会 HP 落札結果一覧表
- (社)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 2006 年度
- (社)プラスチック処理促進協会：プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 調査研究報告書