

容器包装リサイクルに伴う環境負荷等調査結果（未定稿）

2010年8月

1. プラスチック製容器包装の再商品化手法に係る環境負荷分析を行うに当たっての留意点

中央環境審議会プラスチック製容器包装に係る再商品化手法専門委員会・産業構造審議会プラスチック製容器包装に係る再商品化手法検討会合同会合（以下「合同会合」という。）及び合同会合作業チームでは、プラスチック製容器包装（以下「容リプラ」という。）のリサイクルの現状、容器包装リサイクル制度（以下「容リ制度」という。）との整合性等の観点から、容リプラの再商品化手法の環境負荷分析を行う場合の留意点として、以下の項目を挙げている。

<環境負荷分析を用いる際の留意点（第2回合同会合作業チーム資料より抜粋）>

① シナリオ設定に当たっての留意点

- ・ 材料リサイクルにおける産業廃棄物系プラスチック（以下、産廃プラ）の混合の扱い
- ・ 利用製品（再商品化製品利用製品）の処分方法
 - 利用製品の処分において、被代替系、リサイクル系ともに単純焼却としていることの妥当性
 - リサイクル制度の有無を前提に、利用製品の処分について、被代替系、リサイクル系で異なる前提を置くことの妥当性
- ・ 他工程利用プラスチックの扱い
- ・ 適切なシステム境界の設定 等

② リサイクルにより代替される資源の評価の考え方

- ・ 化石系資源（石油、石炭、その他）、バイオマス、土石、金属

③ リサイクルにより代替されるシステムの評価の考え方

- ・ 環境負荷等の絶対規模、改善可能性 等

(1) 留意点の整理と評価方針・方法の設定

合同会合及び合同会合作業チームでの議論等を踏まえ、上記に示した留意点の各項目について、環境負荷分析での具体的な検討項目及び各検討項目の評価方法について検討した結果は、以下のとおり。

表1 各留意点における検討項目と評価方法

No.	留意点	具体的な検討項目	評価方法
①	材料リサイクルにおける産廃プラの混合の扱い	・材料リサイクルにおいて産廃プラスチック（以下「産廃プラ」という。）の混合をどのように設定するか	・産廃プラ混合を想定した場合の環境負荷分析の妥当性を検証
②	利用製品の処分方法	・材料リサイクルにおける利用製品の処分方法をどのように設定するか	・製品の処理を単純焼却から RPF 製造、焼却発電に変更した場合の環境負荷削減効果を比較（平成 21 年度環境省調査*を参考） ・材料リサイクルにおける他工程利用プラスチック（以下「他工程利用プラ」という。）の処分割合と同等と設定して試算
③	他工程利用プラの扱い	・他工程利用プラの処理処分による環境負荷削減効果を再商品化の効果に含めるか	・他工程利用プラの処理処分を除く環境負荷削減効果を比較（平成 21 年度環境省調査を参考）
④	適切なシステム境界の設定	・コークス炉化学原料化におけるコークス炉ガスの代替品をどのように設定するか（重油か電力か）	・コークス炉ガスの代替品を重油及び電力とした場合の環境負荷削減効果を比較（平成 19 年度環境省調査**を参考）
⑤	リサイクルにより代替される資源の評価の考え方	・化石系資源の節約効果をどのように評価するか（資源による希少性等の考慮）	・資源を単一の指標で評価するための指標を検討 ・石油節約量での評価 ・エネルギー資源、可採年数、価格などによる統合化（平成 21 年度環境省調査を参考）
⑥	リサイクルにより代替されるシステムの評価の考え方	・今後の材料リサイクルの改善可能性をどう評価するか	・材料リサイクルの機能代替による感度分析

* 環境省「平成 21 年度容器包装リユース・リサイクルに係る環境負荷等調査報告書」（2010）

** 環境省「平成 19 年度容器包装リユース・リサイクルに係る環境負荷等調査報告書」（2008）

(2) 各留意点の評価・検討

上記の各検討項目について環境負荷分析による試算等を用いた評価・検討を行うに当たり、ベール組成、各再商品化手法の LCI データ及び機能代替の前提条件については、公益財団法人日本容器包装リサイクル協会（以下、「容リ協会」という。）の「プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討」（以下、「容リ協会報告書」という。）及び環境省が平成 21 年度に実施した「容器包装リユース・リサイクルに係る環境負荷等調査報告書」（以下、「平成 21 年度環境省調査」という。）に準じた。代表的なベール組成、他工程利用プラスチックの処理方法は、表 2 及び表 3 のとおり。

表 2 ベール組成の設定

PE	PP	PS	PET	PVC	その他	金属類	水分	合計
30.2%	21.1%	17.7%	13.8%	4.9%	2.4%	2.6%	7.3%	100%

※社団法人プラスチック処理促進協会の数値をもとに作成されたもの。この際、複合材の 3 割を PE 及び PP、残り 7 割をその他の素材（PS、PET、PVC、その他）として設定。

表 3 再商品化手法別の他工程利用プラの処分方法と処分割合

再商品化手法	他工程利用プラスチック処分方法及び処分割合					
	単純焼却	焼却発電	RPF 製造	セメント原燃料	直接埋立	
材料リサイクル*	0.0 %	27.8%	40.0%	32.2 %	0.0 %	
ケミカルリサイクル**	高炉原料化	0.0%	45.0 %	0.0 %	55.0 %	0.0 %
	コークス炉	24.0%	76.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	油化	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	ガス化					

* 容リ協会「プラスチック残渣の処理方法（材料リサイクル）」の「その他」を「焼却発電」「RPF 製造」「セメント原燃料」に比例配分して算出

** 再商品化事業者からの情報提供に基づき設定。ガス化・油化については、他工程利用プラスチックは発生しないと設定している。また、金属等の異物については、共通して埋立処分を行うと設定している

機能代替については、容リ協会報告書に基づき設定する。しかし、現状では再商品化技術の向上等により改善されているも考えられ、また、機能代替の設定において、複数意見が提唱されている再商品化手法も存在する。機能代替の設定に係る論点は、以下のとおり。

<パレット（ワンウェイ）>

容リ協会報告書では、容リプラを用いた再生パレットの重量を 20 kg/枚、バージンパレットの重量を 7.5 kg/枚と設定している。しかし、再商品化事業者から現状の再生パレット重量はより軽量化が進んでいるとの指摘¹がある。ここでは、ベースとなる計算は容リ協会の設定（20 kg/枚）とし、将来の改善可能性として軽量化された場合についての計算を示すこととする。また、今後実態調査を行った上で機能代替のアップデートを検討することとする。

¹再生プラスチックを原材料とするパレットの重量について、現状では 19kg/枚、最軽量の試作品の場合、15kg/枚との指摘や 8 kg/枚での作成も可能であるとの指摘もあったが、有識者やパレットメーカー等へのヒアリング調査を行った結果、現状値として、容リ協会報告書の設定を踏襲しても問題ないと判断した。

<コークス炉化学原料化>

コークス炉化学原料化においては、副産物として発生するコークス炉ガスを、構内燃料の重油を代替していると考えるか、自家発電後の電力を代替していると考えるかによって、分析結果が変化しうる²。ここでは、重油代替と系統電力代替の2ケースを併記することとする。

<ガス化（アンモニア製造）>

ガス化のアンモニア製造においては、工程から発生するCO₂はドライアイス、飲料用炭酸等に利用される。これら炭酸ガス製品の環境負荷のカウント方法によって、以下の2ケースが存在する。どちらのケースを採用すべきかは意見が分かれる³部分であるため、以下の検討では2ケースを併記することとする。

- ▶ 炭酸一般製品ケース…炭酸ガス製品が一般的な製品と同様に需要に合わせて原料から生産されるものと考え、容リプラを再商品化する工程からのCO₂発生がなかった場合、他工場で炭酸ガス製品のためのCO₂が原料から製造されると想定する。この場合、オリジナルシステムにおいて、資源採掘～炭酸ガス製品製造のプロセスが追加され、結果としてリサイクルシステムのアンモニア製造工程の環境負荷をシステム境界外とする設定となる。以下、図中では、「アンモニア一般」とする。
- ▶ 炭酸特殊製品ケース…炭酸ガス製品は、原料のCO₂の供給量に比べて市場が限定的であり、容リプラを再商品化する工程からのCO₂の炭酸ガス製品への利用が増えたとしても、他工場における炭酸ガス製品へのCO₂利用量が減少し、CO₂として大気に排出されると想定する。この場合、社会全体での排出量は変化せず、リサイクルシステムのアンモニア製造工程の環境負荷をすべてカウントする設定となる。以下、図中では、「アンモニア特殊」とする。

以上の論点を踏まえ設定した各再商品化手法の機能代替は、表4のとおり。

² 「④適切なシステム境界の設定」を参照。

³ 再商品化事業者からは、現行のガス化（アンモニア製造）工程が炭酸一般製品ケースに近いと、炭酸一般製品ケースでの評価が妥当との指摘がある。一方、専門家からは、社会全体のCO₂排出量で考えるならば炭酸特殊製品ケースでの評価が妥当との指摘がある。

表4 各再商品化手法における機能代替一覧※

収集方法	再商品化手法 その他の処理処分		用途	代替する用途	代替率		備考		
分別収集	材料リサイクル (MR)		パレット (ワンウェイ)	バージンパレット (ワンウェイ)	37.5%	再生パレット：20 kg/枚 バージンパレット：7.5 kg/枚	再生パレット重量については実態調査が必要		
			パレット (リターナブル)	バージンパレット (リターナブル)	71.4%	再生パレット：28 kg/枚 バージンパレット：20 kg/枚			
			プラスチック板 (コンパネ)	コンクリート型枠 用パネル (木材)	木材パネルに対し寿命 5 倍		プラスチック板の寿命については実態調査が必要		
			再生樹脂 (コンパウンド)	バージン樹脂	代替率※※50%と設定		本検討では参考として代替率50%の場合を設定		
	ケミカル リサイクル (CR)		高炉原料化	高炉還元剤	コークス	高炉還元剤粒 1 kg に対しコークス 1 kg (原料炭 1.4 kg)			
					微粉炭	高炉還元剤粒 1 kg に対し微粉炭 1.07 kg			
			ガス化	コークス炉 化学原料化	コークス炉化学 原料	原料炭	コークス炉化学原料粒 1 kg から得られる 3種の物質に相当する原料		コークス炉ガスは重油代替と系統電力代替を想定
				燃料利用	アンモニア 製造の原料	アンモニア製造原 料	プラ合成ガス 1 Nm ³ に対し都市ガス 0.19 Nm ³ (アンモニア当量) (スラグは砕石・砂利代替とする)		工程から発生する CO ₂ のカウント方法によって、炭酸一般製品ケースと特殊製品ケースを想定
			油化	燃料利用	重油	プラ合成ガス 1 MJ に対し重油 1 MJ		重油ボイラの効率は 0.9	
	サーマル リサイクル (TR)	RPF 利用	燃料利用	石炭 (一般炭)	RPF 1 kg に対して石炭 1.48 kg (熱量換 算で当量)		収率は 75%、RPF ボイラの効率は 0.88、石炭ボイラの効率は 0.9		
		セメント 焼成	セメント原燃料	石炭 (一般炭)	セメント原燃料 1 kg に対して石炭 1.52 kg (熱量換算で当量)		収率は 75%、石炭ボイラの効率は 0.9		
混合収集	焼却・ エネルギー回収	焼却発電	燃料	系統電力	電力 1 kWh に対し系統電力 1 kWh		発電効率 10%		

※ 容リ協会報告書及び平成 21 年度環境省調査に基づき設定

※※ 「代替率」とは、再商品化製品によって代替される部分の製品重量全体に占める割合ではなく、バージン品と同等の機能を実現するために必要な再商品化製品利用製品の重量とバージン材料で製造した場合の製品との重量比である。以下、同じ。

①材料リサイクルにおける産廃プラの混合の扱い

容リ協会報告書ではリターナブルパレットのシステム境界を下図のように設定し、パレット全体の効果から産廃プラの効果を除くため、パレット全体のリサイクルシステムに産廃プラのオリジナルシステムを加える取り扱いをしている。すなわち、①

- ・リサイクルシステム

＝パレット全体のリサイクルシステム＋産廃プラのオリジナルシステム

- ・オリジナルシステム

＝パレット全体のオリジナルシステム＋産廃プラのリサイクルシステム

としている。

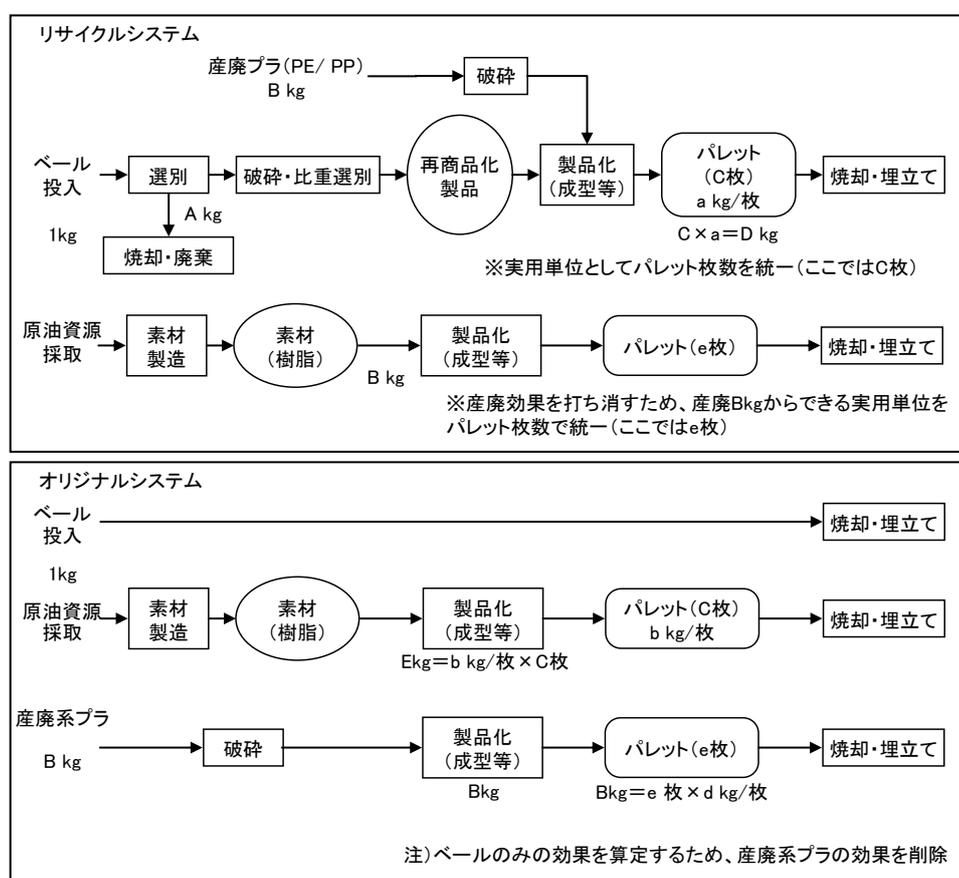


図1 容リ協会報告書におけるリターナブルパレットの機能単位とシステム境界

この場合、容リ協会報告書でも指摘されているとおり、混合する産廃プラの重量 B kg が重くなるほど、リサイクルシステムにおける新規樹脂製造および使用後処理の環境負荷が増加するため、容リプラの再商品化に伴う環境負荷削減効果は小さくなる。これは、再生樹脂（コンパウンド）においても、同様である。

混合する産廃プラの重量について、容リ協会報告書では、実態調査に基づき、リターナブルパレットへの混入量を 0.01 kg と設定している（図2）。これは、容リプラ由来のパレット重量の 2 %程度と非常に少ない。平成 21 年度環境省調査においても上記の設

定を踏襲した計算を行っている。このため、産廃プラの混入による環境負荷削減効果への影響は限定的と考えられる。

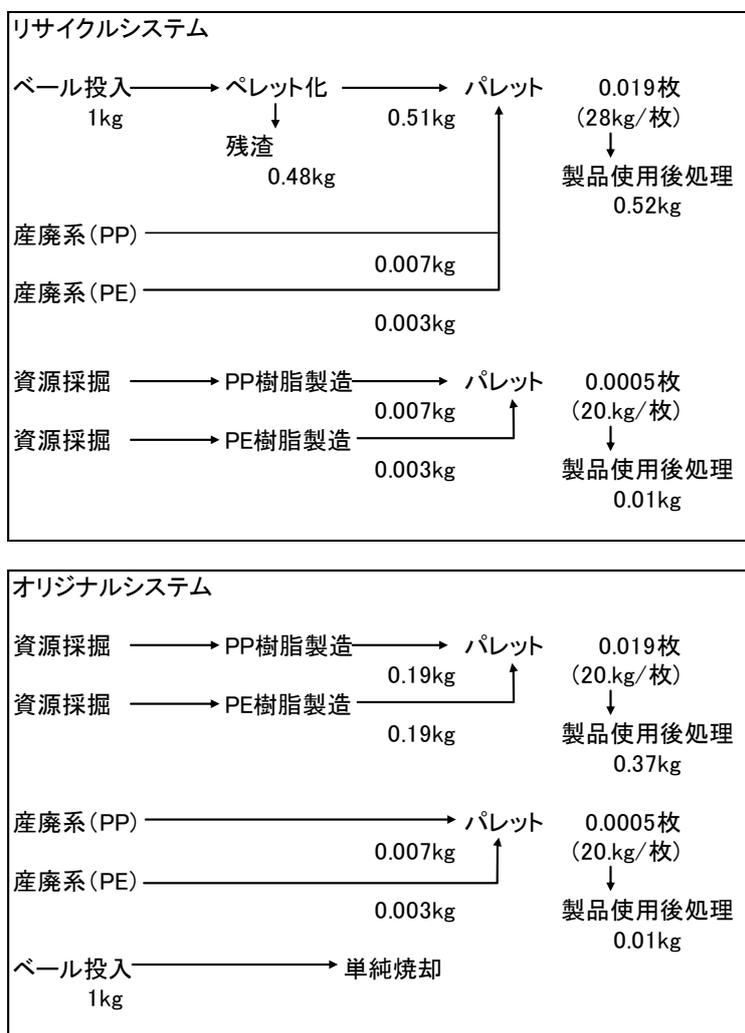


図2 容り協会報告書におけるリターナブルパレットのマテリアルフロー

② 利用製品の処分方法

容リ協会報告書や平成 21 年度環境省調査では、容リプラの材料リサイクルシナリオについて、パレット等の再商品化製品利用製品が使用後に単純焼却されるものとして、システム境界を設定している。しかし実際には、処理コスト等の観点から、単純焼却される製品は少なく、相当量が RPF やセメントの原料、もしくは焼却・エネルギー回収に供されているという指摘がある。この点について、最終製品利用事業者を対象としたヒアリング調査を行ったところ、以下の回答を得た。

- ▶ 破損したパレットは、破砕後、パレットの成型工程へ混入し、再度パレットとして製品化したり、もしくは熱回収や RPF 製造でのサーマルリカバリーに供している。近年、最終製品利用事業者による自主回収もかなり実施されている。
- ▶ どの処理となるかは処理コストによって決定される。処理比率は分からないが、単純焼却は処理費が高いため、皆無であると考えられる。

上記のような再商品化製品利用製品の二次利用は材料リサイクルにのみ可能であり、ケミカルリサイクルと比較した場合の材料リサイクルの優位性であると考えられる。このため、再商品化製品の使用後の処理を単純焼却から有効利用に変更した場合の環境負荷削減効果の変化を確認するため、単純焼却から RPF 利用やセメント焼成及び焼却・エネルギー回収（焼却発電：効率 10%）に変更した場合の環境負荷削減効果の変化量を算出した。

パレット（ワンウェイ）を例とした、再商品化製品利用製品を単純焼却するシナリオと有効利用（RPF 利用、セメント焼成、焼却発電）するシナリオのそれぞれのマテリアルフローは、図 3 のとおり。

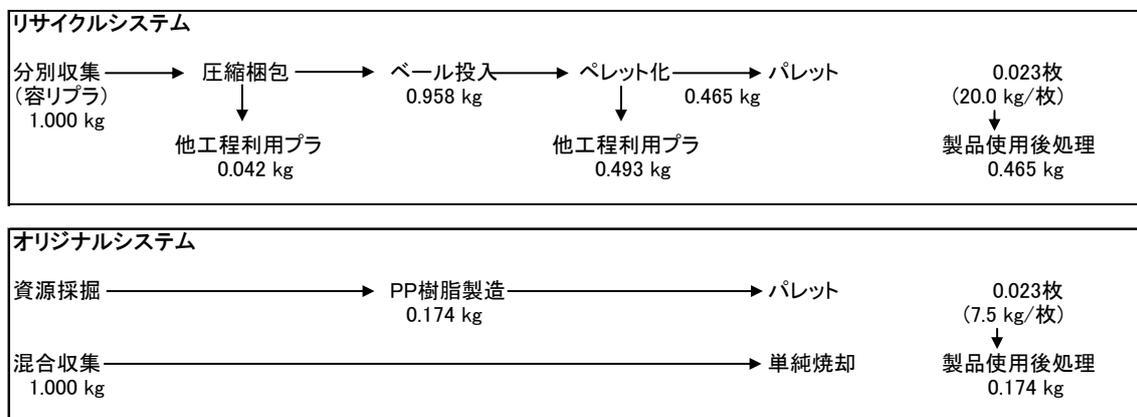
いずれのシナリオでも、リサイクルシステムとオリジナルシステムの評価条件を統一するため、オリジナルシステムのバージンパレットも使用後にリサイクルシステムと同様の有効利用に供されるものと設定する。このとき、リサイクルパレットがバージンパレットよりも重いため（リサイクル 20 kg/枚、バージン 7.5 kg/枚）、有効利用した場合に得られるエネルギー（熱量もしくは電力）に差が生じる。このため、オリジナルシステムでは、これを補うエネルギー消費のフローを追加することとなる。

各有効利用シナリオの機能代替の考え方として、容リ協会報告書と同様に、RPF 利用及びセメント焼成では石炭を、焼却発電では系統電力を代替していると設定した。焼却発電の効率については、産業廃棄物として収集されることを考慮して、可燃ごみよりも高効率な 20% と設定した。また RPF 及びセメント原燃料の製造効率は 90%、RPF ボイラの効率は 0.88、石炭ボイラの効率は 0.9 とし、石炭は低位発熱量に換算する。

さらに、プラスチック板（コンパネ）では、オリジナルシステムにおいて木材ボードを設定した。廃木材の有効利用としては、主にボイラでの直接燃焼やガス化による熱回収や発電、石炭混焼等が考えられる。その効率は直接燃焼では 10~20% であるのに対し、ガス

化や石炭混焼では、30%以上の効率も想定される⁴。ここでは、上記手法の平均的な値として、全てのシナリオにおいて高効率な発電用ボイラ（発電効率 20%）で焼却されるものと設定した。

単純焼却シナリオ



有効利用を行うシナリオ

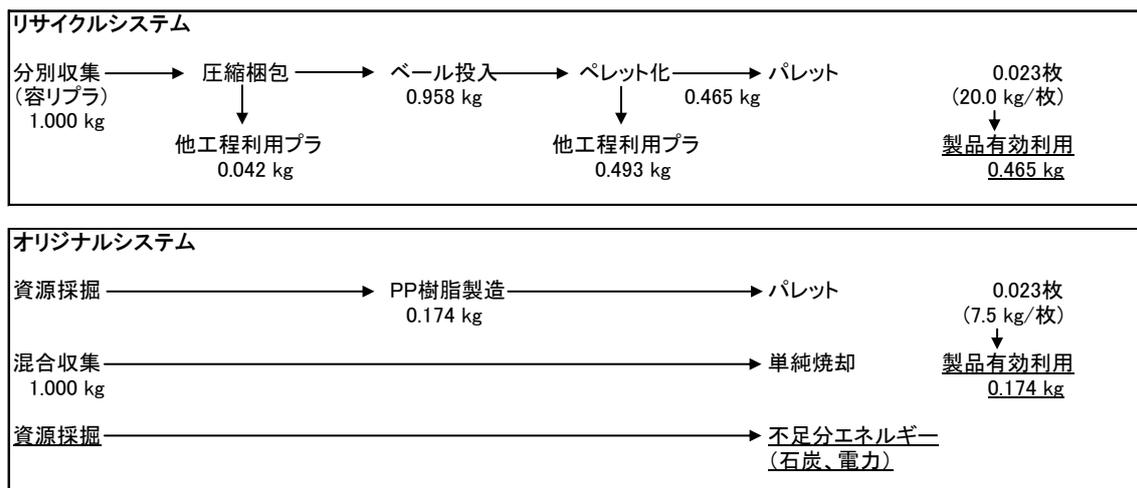


図3 単純焼却シナリオ・有効利用（RPF 利用、セメント焼成、焼却発電）を行うシナリオのマテリアルフロー（パレット（ワンウェイ））

以上の条件において、材料リサイクルの各再商品化手法（パレット（ワンウェイ）、パレット（リターナブル）、コンパネ、再生樹脂）の各シナリオにおける CO₂ 削減効果を比較した結果は図4のとおり。また、比較対象として再商品化製品利用製品の使用後処理をシステム境界外と設定した場合の CO₂ 削減効果を併せて示す。

⁴ NEDO 「バイオマスエネルギー導入ガイドブック」より

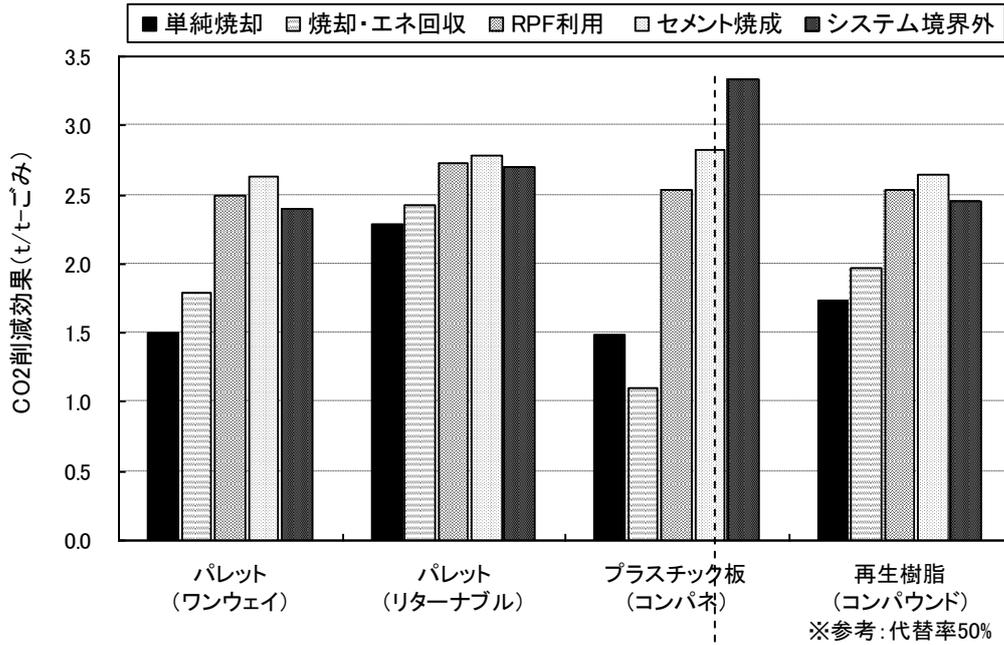


図4 再商品化製品利用製品の使用後処理を有効利用に変更した場合及びシステム境界外とした場合のCO2削減効果の比較（ごみ1t当たり）

上図の結果より、全ての手法において再商品化製品利用製品の使用後処理を単純焼却とすることによりCO2削減効果が減少していることが分かる。プラスチック板（コンパネ）で特に減少幅が特に大きいのが、これはオリジナルシステムが木材であるため、リサイクルシステムでのリサイクル製品の単純焼却によるCO2排出量が全量計上されているのに対し、その他の手法では、オリジナルシステムのバージン製品の焼却によるCO2排出量が控除されていることに起因する。

また、有効利用を行った場合には、単純焼却時と比較して、概ねCO2削減効果は向上していることが分かる。特に、パレット（ワンウェイ）において、CO2削減効果の顕著な増加が見られる。これは、パレット（ワンウェイ）では、リサイクル製品のバージン製品に対する代替率が小さい、すなわちリサイクル製品の重量がバージン製品より顕著に大きいことによる処分段階でのCO2排出量の増大が軽減されたことに起因する。

一方、プラスチック板（コンパネ）の焼却・エネルギー回収では効果の減少が見られる。これはリサイクル製品のプラスチック板が、バージン製品の木材ボードの5倍の寿命があると設定しているため、廃棄されるプラスチック板0.47kgに対して木材ボード3.02kgとなり、木材ボードの有効利用の効果の方が大きく出たことによる。RPF利用やセメント焼成では、木材ボードの有効利用が焼却・エネルギー回収のままであるのに対し、プラスチック板ではより効果の高い有効利用を行うため、環境負荷削減効果の増加が見られる。

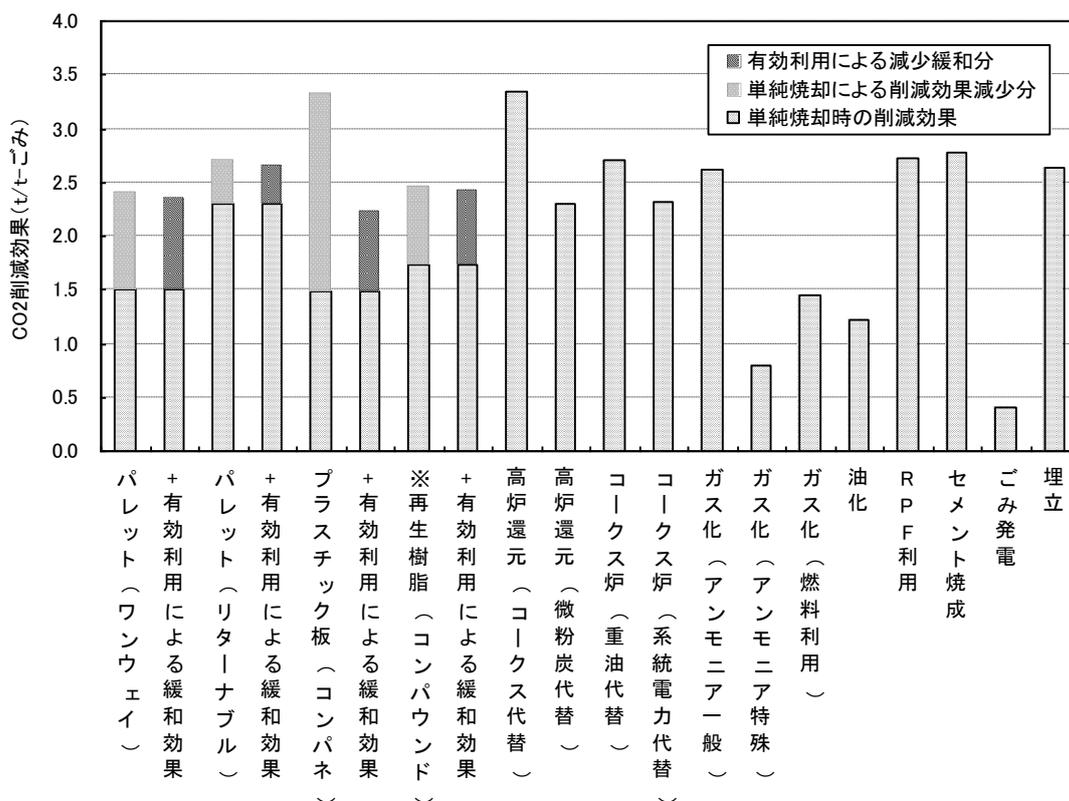
また、上記で検討した再商品化製品利用製品の使用後の処理比率については、適切な統計データが無いため、表5に示す材料リサイクルにおける他工程利用プラスチックの処理比率と同等であると仮定した。

表5 材料リサイクルにおける他工程利用プラスチックの処理方法と比率

処理方法	単純焼却	焼却発電	RPF 利用	セメント 焼成	直接埋立
比率	0.0 %	27.8 %	40.0 %	32.2 %	0.0 %

※容リ協会「プラスチック残渣の処理方法（材料リサイクル）」の「その他」を「焼却・エネルギー回収」「RPF 利用」「セメント焼成」に比例配分して算出

設定した比率で再商品化製品利用製品の使用後の有効利用が行われた場合の材料リサイクルにおける CO2 削減効果（ごみ 1t 当たり）とその他の再商品化手法及び処理・処分手法の CO2 削減効果は、図5のとおり。



※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図5 各再商品化手法の CO2 削減効果と材料リサイクルにおける再商品化製品利用製品の使用後の有効利用による増加分

上記の結果から、再商品化製品利用製品の使用後処理を単純焼却と設定した場合の CO2 削減効果の減少に対して、有効利用を考慮した場合、RPF 利用やセメント焼成などのサーマルリカバリーによる削減効果が追加されるため、材料リサイクルの CO2 削減効果の減少が緩和され、全体の削減効果としてケミカルリサイクルと遜色ない数値となることが分かる。今回の試算では、製品の使用後製品の処理方法及び比率を仮定しているが、今後、再商品化製品利用製品の使用後の有効利用実態を調査し、実態に即したデータに基づく設定を行うことで、材料リサイクルのライフサイクルの環境負荷削減効果に変化する可能性がある。

今回のこれ以降の検討においては、処理実態を把握できていない現状に鑑み、再商品化製品利用製品の使用後の処分をシステム境界外とした環境負荷削減効果の算出を行うこととする。

なお、使用後製品の有効利用による削減効果を『材料リサイクルの削減効果』に含めることの適否についても、更なる検討が必要である。

③ 他工程利用プラスチックの扱い

容リ協会報告書では、各再商品化手法の環境負荷削減効果をベール 1t 当たりで算出している。また平成 21 年度環境省調査では、収集・輸送時の環境負荷も考慮し、他工程利用プラスチックの処理・処分も含めたごみ 1t 当たりの環境負荷削減効果を算出している。これに対して、合同会合では、「他工程利用プラスチックの処理・処分」は本来の再商品化とは異なる工程であるため、再商品化による環境負荷削減効果から除くべきであるという指摘もされている。

以上を踏まえ、ここでは各再商品化手法において、他工程利用プラスチックの処理・処分と再商品化製品のみでの環境負荷削減効果を区別して表示する手法の検討を行う。

パレット（ワンウェイ）とコークス炉化学原料化の 2 つの再商品化手法について、再商品化による CO₂ 削減効果及び資源節約効果を内訳表示した例を

図 6、図 7 に示す。環境負荷を各再商品化製品と他工程利用プラスチックとに分類することを基本とし、パレット（ワンウェイ）などの材料リサイクルでは、再商品化製品利用製品の使用後処理の環境負荷も追加した。

各製品等のグラフ表示は『工程負荷』『代替効果』『削減効果』から構成されている。『工程負荷』とは再商品化プロセスにおける環境負荷を示しており、複数の再商品化製品が製造されるプロセスでは、原則、製品の重量に基づき按分している。『代替効果』とは再商品化が行われなかった場合の環境負荷であり、再商品化製品により代替される製品の製造に伴う環境負荷と、容リプラが混合収集され単純焼却される場合の環境負荷を含んでいる。なお、容リプラの単純焼却に伴う環境負荷については、組成データを基に再商品化製品と他工程利用プラスチックとに配分し、複数の再商品化製品がある場合には、原則として製品重量に基づき按分している。『削減効果』とは、『代替効果』から『工程負荷』を差し引いたものであり、当該再商品化製品及び他工程利用プラスチックによる環境負荷削減効果を示している。

図 6 の CO₂ 削減効果の内訳を見ると、パレット（ワンウェイ）では、他工程利用プラスチックの有効利用による削減効果が一定の割合を占め、再商品化製品利用製品の使用後処理（単純焼却）による環境負荷が全体の削減効果を押し下げる要因となっていること（(2) における検討参照）、またコークス炉化学原料化（重油代替）では、他工程利用プラスチックの効果は非常に小さく、コークス利用と COG 等の燃料利用による削減効果が大部分を占めていることが分かる。

一方、図 7 の資源節約効果の内訳を見ると、パレット（ワンウェイ）では、再商品化製品による原油の節約効果と、他工程利用プラスチックの有効利用（主に RPF 利用・セメント焼成）に伴う石炭の節約効果により構成されていること、コークス炉化学原料化（重油代替）では、コークスの石炭節約効果、プラ製品（BTX）の原油節約効果に加え、COG 等の燃料利用（重油代替と設定）による原油節約効果が大きいこと、また他工程利用プラスチックによる効果は CO₂ と同様、ほとんど見られないことが分かる。

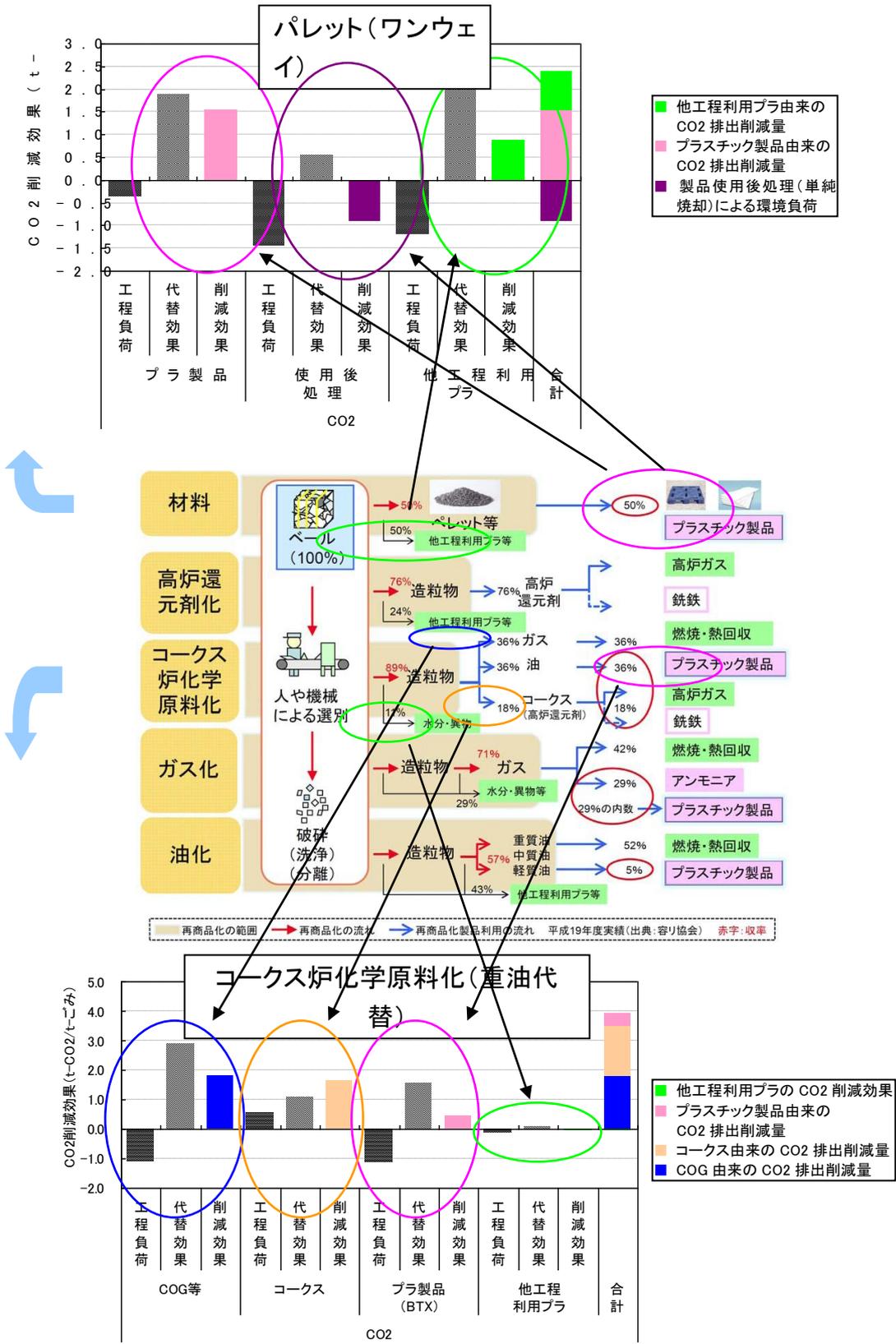


図6 CO2削減効果の内訳例 (パレット(ワンウェイ)、コークス炉化学原料化)

上記の検討に基づく、各再商品化手法の環境負荷削減効果における再商品化製品と他工程利用プラスチックの処理・処分との内訳を以下に示す。材料リサイクルにおける再商品化製品利用製品の使用後処理はシステム境界外と設定している。

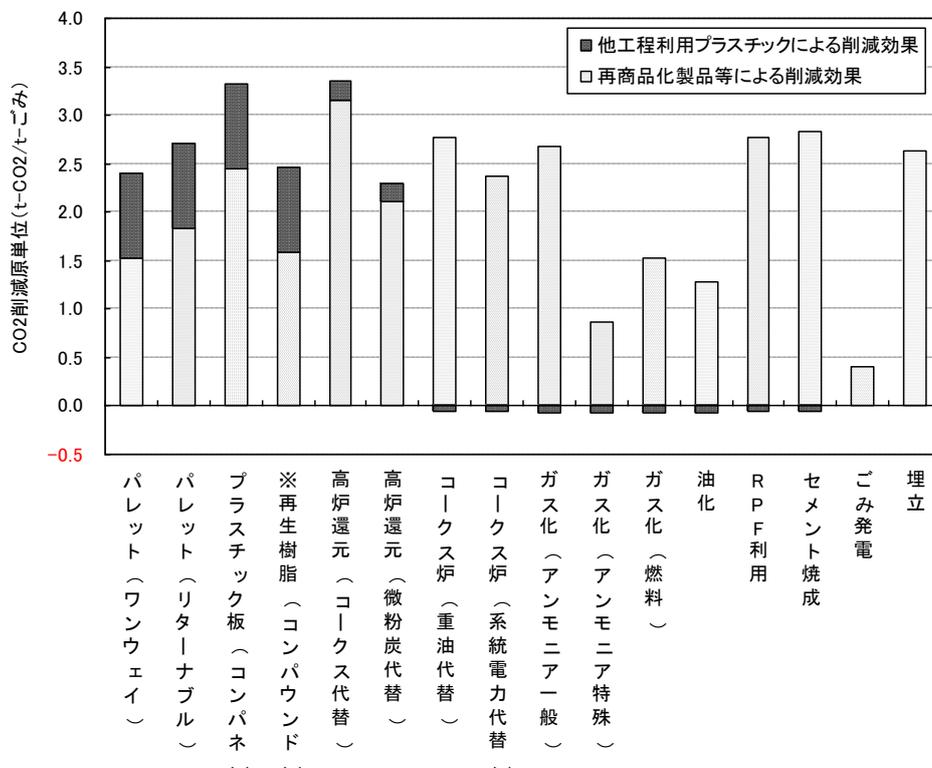


図8 各再商品化手法のCO2削減効果における再商品化製品と他工程利用プラスチックの処理・処分との内訳
(再商品化製品利用製品の使用後処理はシステム境界外とする)

【環境負荷削減効果の算出基準の考え方について】

再商品化製品分の効果の表示法として、各再商品化製品 1t (ペレット 1t もしくは造粒物 1t) 当たりのCO2削減効果についても参考値として示す。

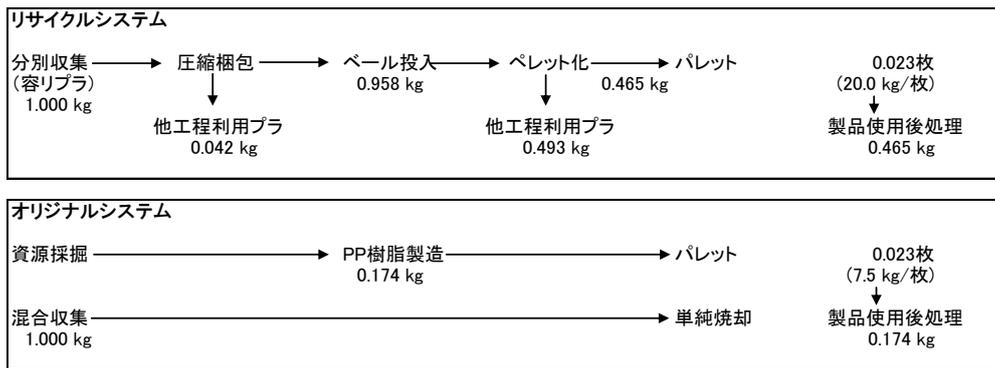
パレット (ワンウェイ) を例とした、

(i) 従来のごみ 1t 当たりで算出し、再商品化製品分のみの効果を区別する場合

(ii) 他工程利用プラスチックの効果を除外し、製品 1t 当たりで算出する場合

のそれぞれのマテリアルフローは、図のとおり。製品 1t 当たりで算出する場合は、リサイクルシステムとオリジナルシステムの評価条件を統一するため、オリジナルシステムにおいてもリサイクルシステムの製品相当分のプラスチックごみが単純焼却されるものとし、他工程利用プラスチック相当分のプラスチックごみの単純焼却はシステム境界外と設定した。

(i) ごみ 1t 当たりで算出



(ii) 製品 1t 当たりで算出

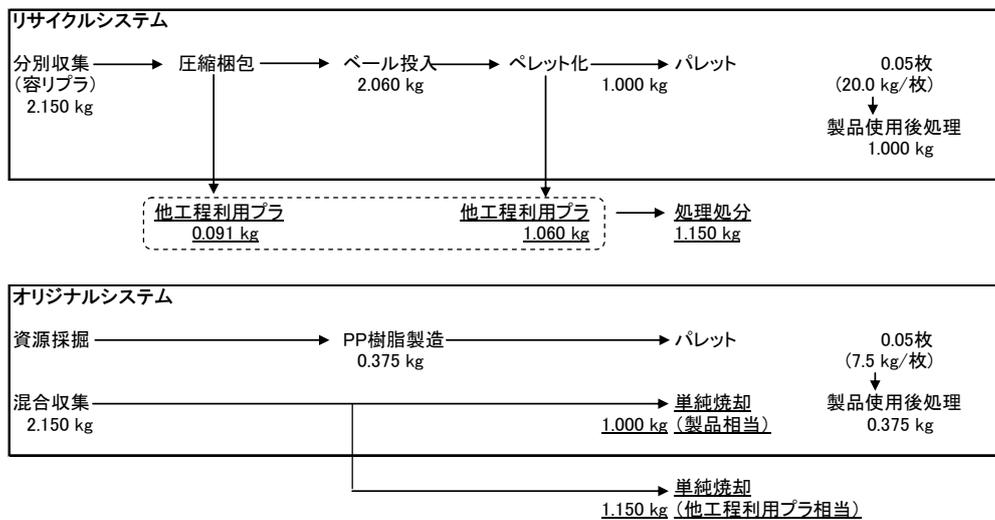
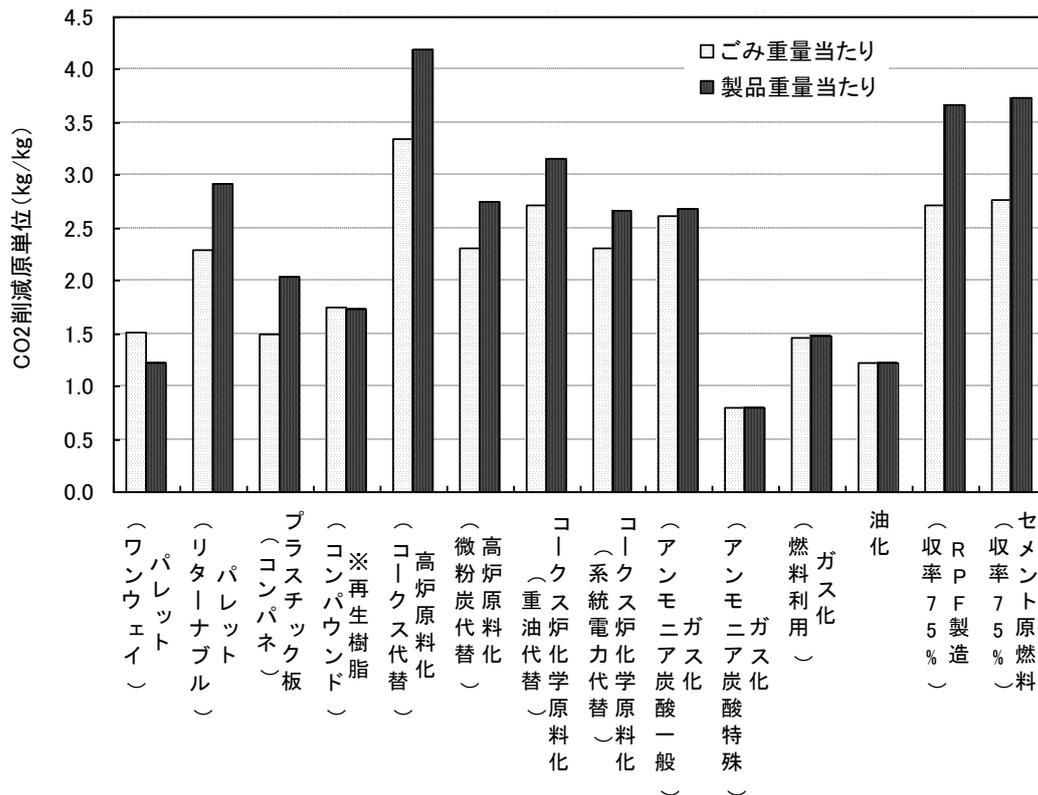


図9 ベール 1t 当たりで算出を行う場合と製品 1t 当たりで算出を行う場合のマテリアルフロー (パレット (ワンウェイ))

上記設定に基づき、各再商品化手法の CO2 削減効果を算出した結果は、図のとおり。パレット (リターナブル) やプラスチック板、高炉原料化、コークス炉化学原料化では、製品重量あたりで見た効果のほうが大きい。パレット (ワンウェイ) や、再生樹脂 (コンパウンド)、ガス化や油化ではほとんど差異がないか、減少している。

これらは主に以下の 2 点の影響によるものと考えられる。

- 1) 再商品化製品の収率向上による削減効果の増加
- 2) 他工程利用プラスチックの有効利用の除外による削減効果の減少分



※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図 10 算出基準を変更した場合の CO2 削減効果の比較

すなわち、材料リサイクルでは再商品化製品の収率が 50% 程度のため、ごみ 1t から製品 1t 当たりに変更した場合には再商品化製品に由来する環境負荷削減効果は大きくなるが、他工程利用プラの有効利用による環境負荷削減効果を除外することにより削減効果の増加分が減少する。パレット (ワンウェイ) では、製品による削減効果よりも他工程利用プラの削減効果が大きいため、総量として削減効果がむしろ小さくなる。

一方、ケミカルリサイクルでは、他工程利用プラの処理による削減効果はほとんどないため、収率が考慮される分、製品重量あたりのほうが効果が大きくなる。ガス化及び油化では、ほぼ収率が 100% と設定しているため大きな変化はない。

以上の結果から、材料リサイクルでは、他工程利用プラの有効利用による環境負荷削減効果が無視できないため、他工程利用プラを除いた算出方法でも削減効果の大幅な向上は見られないことが分かる。

また、ごみ処理に係る環境負荷を削減するという観点からは、最終的にはごみ処分量を基準に環境負荷削減効果を測るべきものであり、製品重量に基準を置く標記の算出手法の妥当性は低いと考えられる。

④ 適切なシステム境界の設定（コークス炉化学原料化）

容り協会報告書では、コークス炉化学原料化の再商品化手法において、コークスを主産物としてリサイクルシステムとオリジナルシステムにおける生成量を統一した上で、副産物であるコークス炉ガス、炭化水素油の生成量の差を原油から生産される重油や炭化水素油で賄うという設定をしている（図 11）。これに対して、再商品化事業者では、製鉄所の自家発電は常にフル稼働しており、コークス炉ガスの増加分は最も単価の高い燃料である重油を置換して自家発で使用されているため、重油代替と考えるべきとの指摘がある。

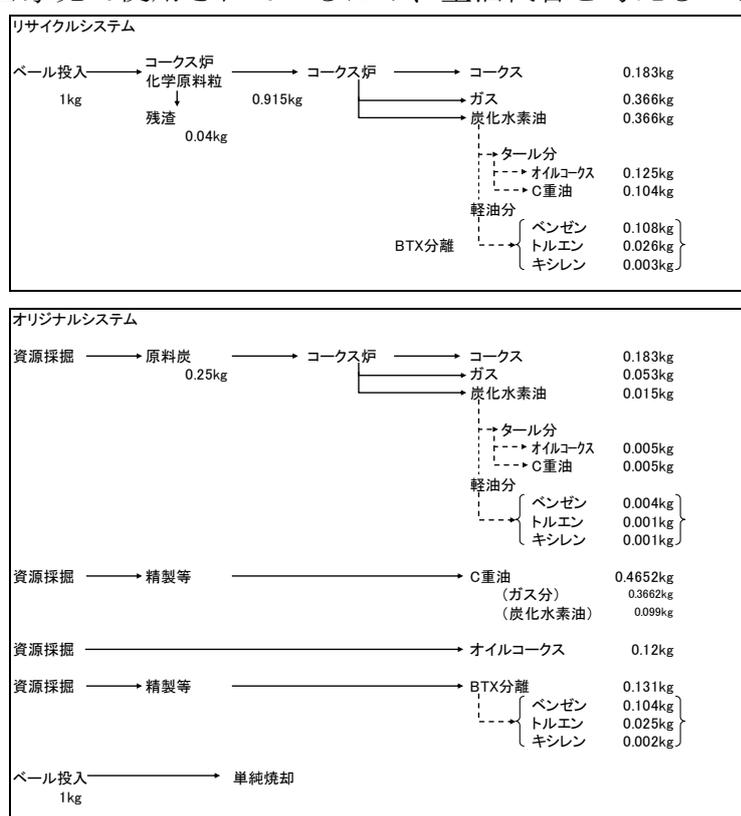


図 11 容り協会報告書におけるコークス炉化学原料化のマテリアルフロー

一方、自家発の発電電力を外部に販売している場合や、コークス炉ガスの増加分が購入電力を置き換えられる場合には、電力代替と考えることもできる。稲葉らの研究⁵では、コークス炉からの生成物の用途を発電電力とし、その機能代替に関して電源構成を考慮した評価が行われている。

これらを踏まえ、平成 19 年度環境省調査では、コークス炉、高炉からの生成ガスの用途である発電電力までをシステム境界とし、発電電力の機能代替を電力会社からの電力と設定した検討を行っている（図 112）。また電力原単位として、i) 全電源平均と ii) 火力平均の 2 種類を設定している。

⁵ 稲葉陸太、橋本征二、森口祐一:(2005) 鉄鋼産業におけるプラスチック製容器包装リサイクルの LCA : システム境界の影響, 廃棄物学会論文誌, 16(6),467-480

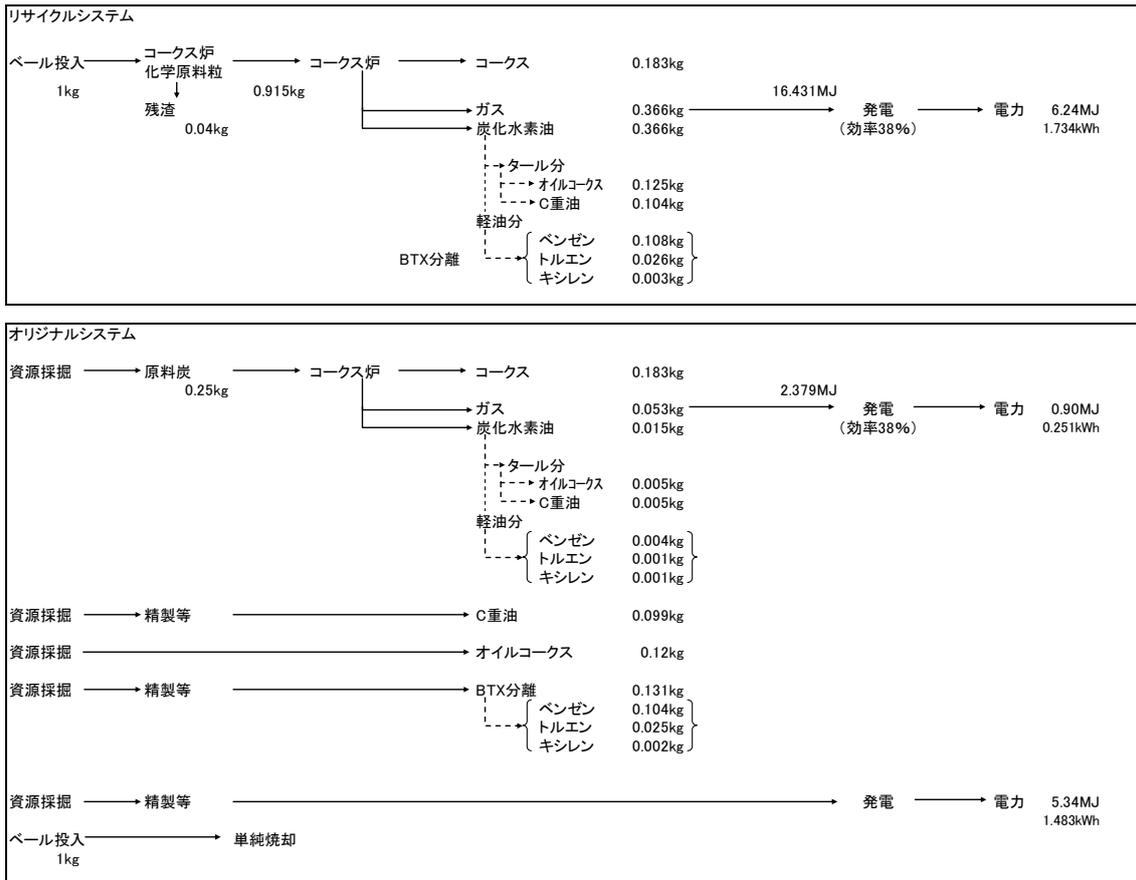


図 1 平成 19 年度環境省報告書におけるコークス炉化学原料化のマテリアルフロー

上記の検討結果は、表 6 及び図 2 のとおり。コークス炉ガスの機能代替として、容リ協会報告書の重油代替から電力代替としたことにより、原油節約の効果は大幅に減少している。また、CO₂ の削減効果では、機能代替となる電力の原単位を全電源平均とするか火力平均とするかによって大きく異なり、火力平均の場合、容リ協会検討（重油代替）⁶からの減少幅は小さいことが分かる。

表 6 コークス炉化学原料化の環境負荷削減効果（システム境界の設定による変化）

削減効果項目	容リ協検討 (重油代替)	電力代替 (全電源平均)	電力代替 (火力平均)
CO ₂ (t-CO ₂ /t)	2.90	2.46	2.85
天然ガス (t/t)	-0.01	0.05	0.10
原油 (t/t)	0.66	0.37	0.39
石炭 (t/t)	0.22	0.35	0.42

⁶ 容リ協検討（重油代替）：容リ協会報告書の検討結果

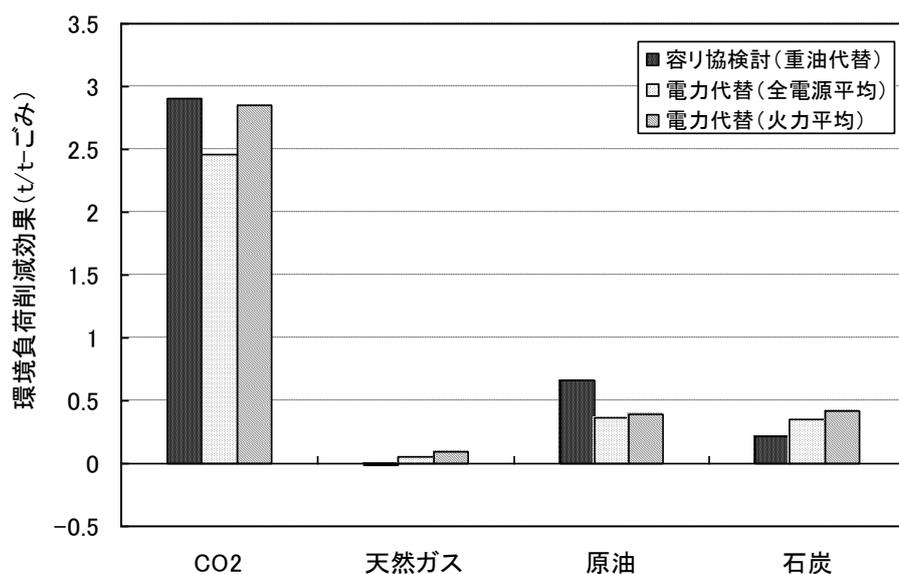


図2 コークス炉化学原料化の環境負荷削減効果

電力代替と考える場合、本来は電力の性格によって使い分けるのが理想であるが、解釈の振れ幅が大きいため、現時点でどちらを選択するのは難しい。このため、今後の検討では、システム境界の考え方として、例えば重油代替と電力代替の結果を併記しつつ、製鉄所内の電力・燃料の需給バランスを検討し、実際に燃料・電力のどちらの節約につながっているかを検証していく必要がある。

⑤ リサイクルにより代替される資源の評価の考え方（化石系資源、バイオマス、土石、金属等）

環境負荷分析に当たっては、CO₂ 排出削減量のみならず資源節約量からも評価すべきとの意見が多い。しかしながら、プラスチック製容器包装の再商品化製品による資源節約効果は、主に化石燃料代替を前提として算出されることから、その利用方法によって、天然ガス・石油・石炭という複数の代替物が考えられるため、一元的に評価することが難しい。そこで、天然ガス・原油・石炭について、その資源価値から重み付けを行い、単一の指標に統一することで、再商品化手法の総合的な資源節約効果を表示できる評価手法の検討を行った。

ここで、プラスチックは本来原油から生産されるため、そのリサイクルの過程でより希少価値の低い石炭などに代替されるべきではなく、原油代替の効果によって評価すべきであるとの意見がある。また、化石燃料のエネルギー側面を考慮するには、発熱量が最も明解な指標であるという意見もある。さらに既往研究では、一般に資源の価値を究極埋蔵量や可採埋蔵量、可採年数によって表すことが多い。例えば、LIME⁷では、鉱物資源とエネルギー資源を含む特性化係数として、可採年数の逆数を採用している。一方で、市場価格についても、資源の入手容易さ、資源の代替性、リサイクルの容易さ等、様々な要素を反映した資源価値指標であると考えられている。

以上の状況を考慮して、ここでは、(i)原油単独での表示を行うとともに、天然ガス・原油・石炭の化石燃料資源の特性化を図るため、エネルギー側面を考慮した(ii)エネルギー資源消費、枯渇可能性を表す指標として(iii)可採年数、またエネルギーの大部分を輸入に頼る我が国の価値指標として(iv)発熱量当たりの輸入価格、の4つの資源価値指標を設定した。

⁷ 独立行政法人産業技術総合研究所が LCA 国家プロジェクト（1998 年 4 月～2003 年 3 月）と連携して、環境影響の統合化まで行う被害算定型のアプローチとして開発した被害算定型環境影響評価手法（LIME：Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)のこと。

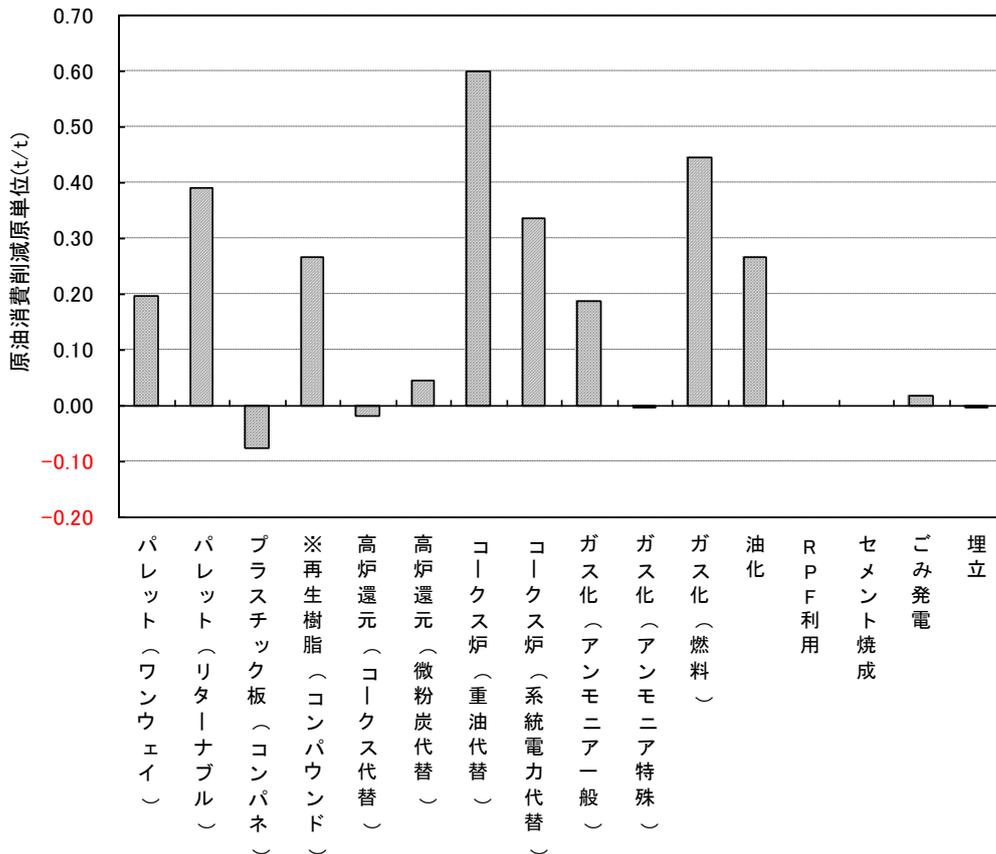
(i)原油

各再商品化手法の環境負荷削減効果のうち原油の削減効果は、図3のとおり。

材料リサイクルでは、主に原油由来のバージンプラスチックを代替すると設定されているため、概ね高い代替効果を示している。一方、プラスチック板（コンパネ）では代替品が木材ボードと設定されているために、原油の代替効果が極めて低く、工程での原油消費量を下回るため、マイナスの値となっている。

ケミカルリサイクルでは、主に燃料として利用されるガス化（燃料）や油化及び副生物として炭化水素油が得られるコークス炉化学原料化が高い代替効果を示している。特にコークス炉化学原料化（ガス代替）では、副生物のコークス炉ガスが燃料として重油代替と設定されているため、上記の炭化水素油とあわせて、非常に高い代替効果を示している。

一方、高炉還元や RPF 利用、セメント焼成など、主に石炭代替の手法については、石油代替の効果は低い。また、ごみ発電や埋立も原油の節約効果としては、非常に低いことが分かる。



※再生樹脂（コンパウンド）は、代替率 50% の場合の値を記載

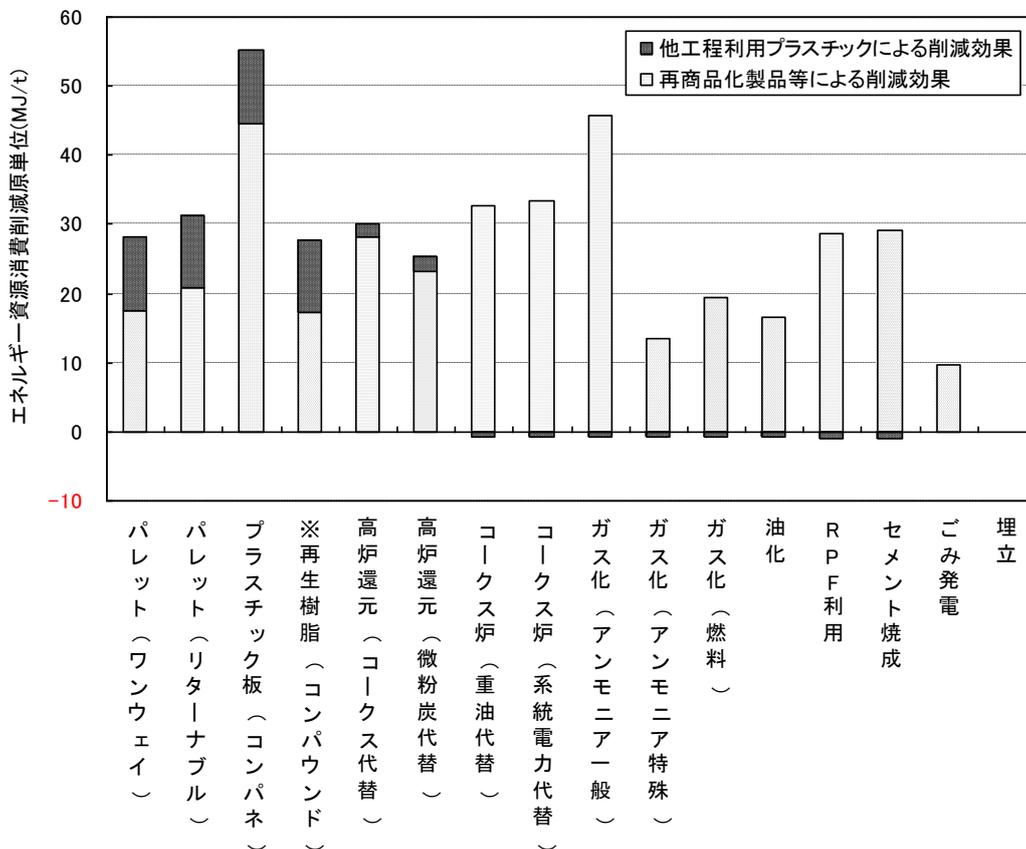
図3 各再商品化手法の原油消費削減原単位

(ii) エネルギー資源消費

各再商品化手法の環境負荷削減効果のうち、天然ガス・原油・石炭を発熱量換算したエネルギー資源消費削減効果は、図4のとおり。

一般的に発熱量は、天然ガス>原油>石炭という関係にあるため、比較的石炭代替効果が大きい高炉還元やRPF利用、セメント焼成の値が小さい。一方で、プラスチック板（コンパネ）やガス化（アンモニア一般）などは、天然ガス代替効果が高いため、エネルギー換算で評価した場合には非常に高い削減効果を示す。

エネルギー資源消費量換算での評価は、化石燃料の指標として一般的に用いられている。しかし、例えば、プラスチックのように、化石燃料を燃料ではなく化学物質として利用する場合のポテンシャルを十分に評価できておらず、また資源の枯渇可能性等も考慮されていない等の課題もあるため、ここで検討している「プラスチックのリサイクル」の評価に用いる際には、留意が必要である。



※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図4 各再商品化手法のエネルギー資源消費削減原単位
(再商品化製品利用製品の使用後処理はシステム境界外とする)

(iii)可採年数

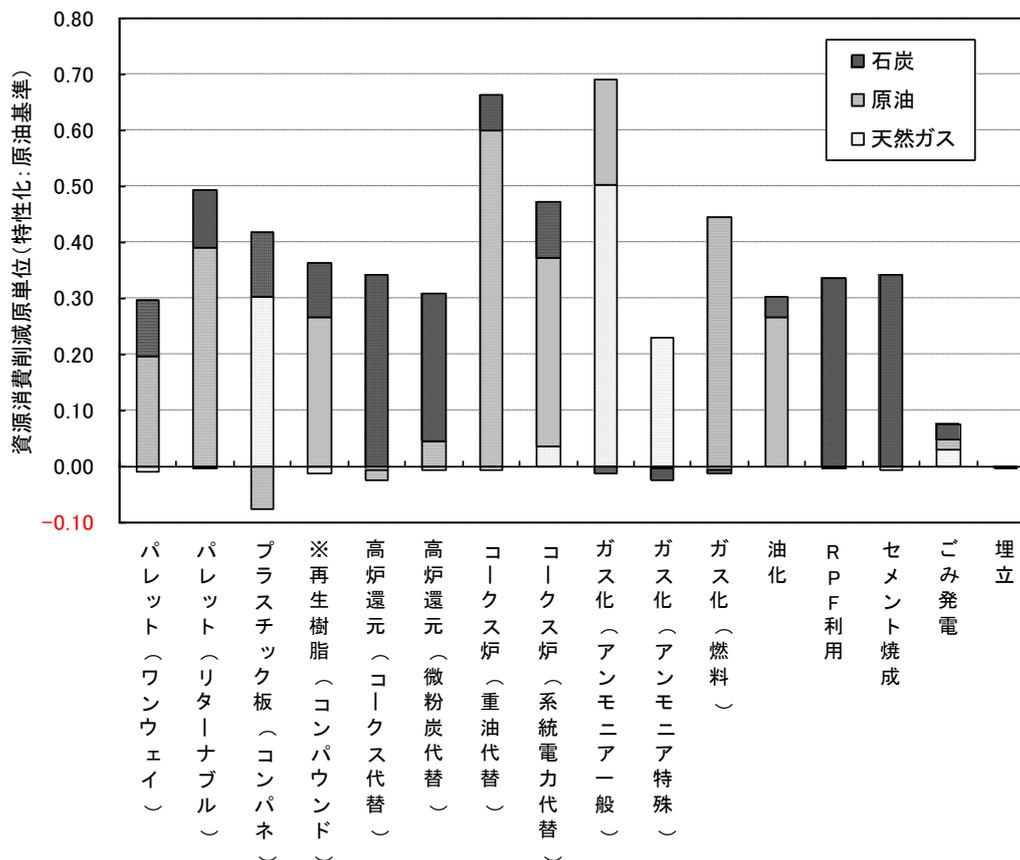
天然ガス・原油・石炭の可採年数は、下表のとおり。『可採年数』とは、可採埋蔵量を年間生産量で除した数値であり、今後の生産量の増減や採掘技術の発展及び油田の発見による可採埋蔵量の増加による可能性も加味した数値である。特性化においては、原油を基準物質とし、原油の可採年数を各資源の可採年数で除した数値を係数とした。

表7 化石燃料資源の可採年数と特性化係数

資源種	天然ガス	原油	石炭
可採年数	60年	42年	133年
特性化係数	0.70	1.00	0.32

出典) 資源・エネルギー庁「日本のエネルギー2009」

上記の特性化係数を用いて、各再商品化手法における資源消費削減原単位の評価を行った結果は、図5のとおり。



※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図5 各再商品化手法の資源消費削減原単位 (可採年数で特性化)

(iv)発熱量当たりの輸入価格

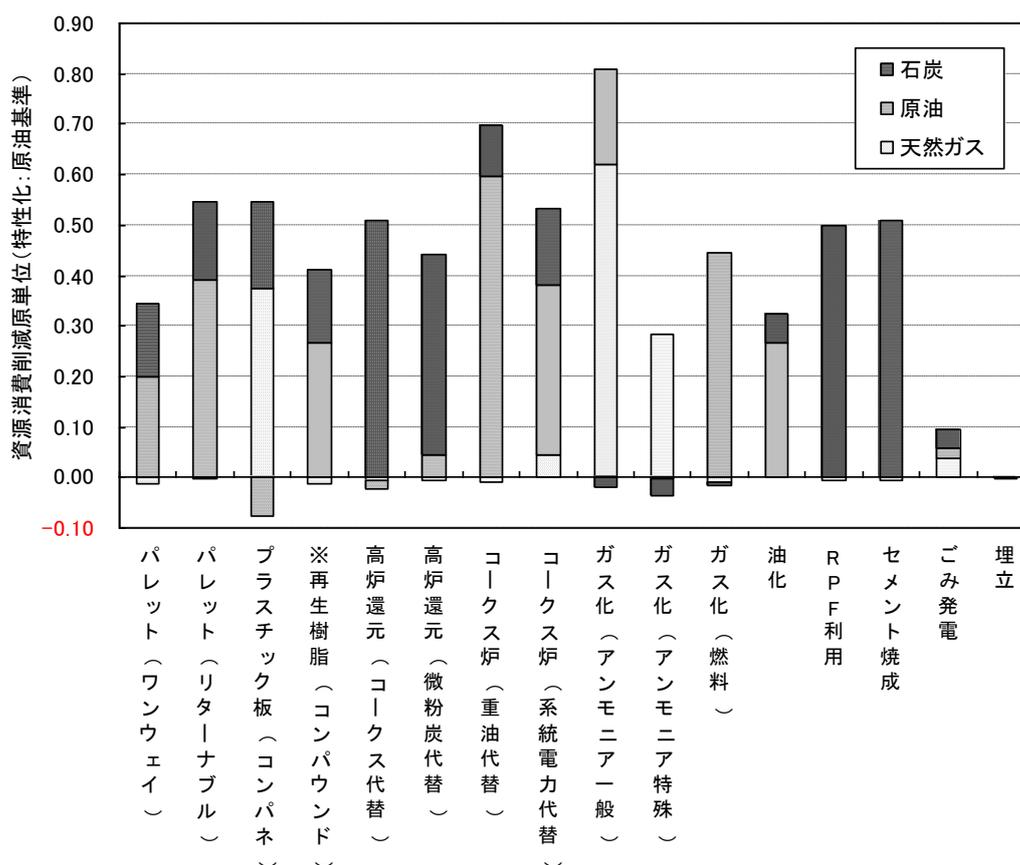
天然ガス・原油・石炭の2009年における輸入単価と発熱量、発熱量当たり単価は、表8のとおり。特性化においては、①と同様、原油を基準物質とし、各資源の発熱量当たり単価を原油の発熱量当たり単価で除した数値を係数とした。

表8 化石燃料資源の可採年数と特性化係数

資源種	天然ガス	原油	石炭
輸入平均単価	43,813 円/t	35,510 円/kL	12,665 円/t
発熱量	54.5 GJ/t	38.2 GJ/kL	28.9 GJ/t
発熱量当たり単価	804 円/MJ	930 円/MJ	438 円/MJ
特性化係数	0.86	1.00	0.47

出典) 財務省貿易統計、環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

上記の特性化係数を用いて、平成21年度の各再商品化手法における資源消費削減原単位の評価を行った結果は、図6のとおり。



※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図6 各再商品化手法の資源消費削減原単位 (発熱量当たり輸入価格で特性化)

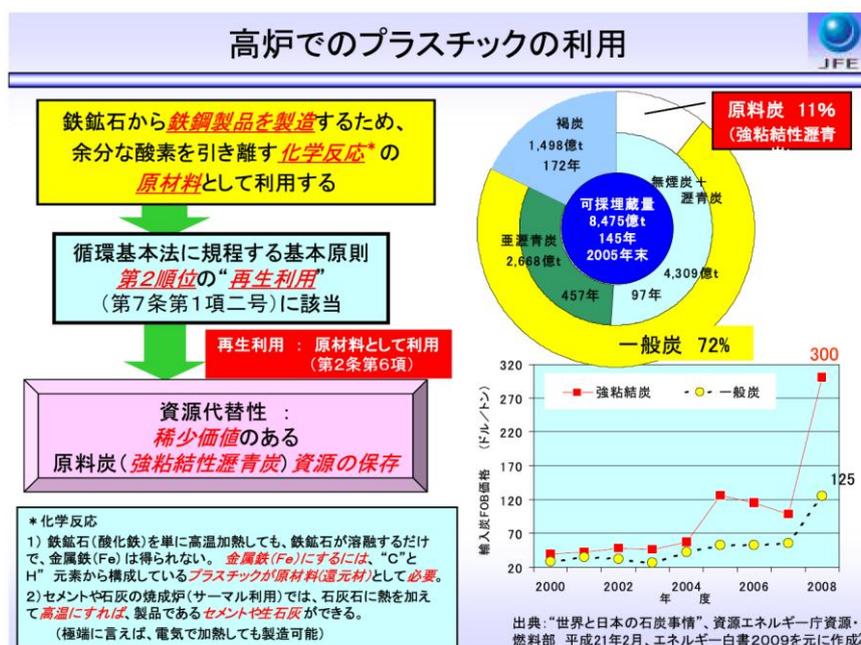
(iii) 及び (iv) の検討では、資源価値を可採年数や市場価格を用いた特性化によって、

各再商品化手法の資源消費削減量の評価を行っている。可採年数と市場価格という比較的相関のある指標を用いたため、両者の結果に大きな変化はなく、ともに石炭の価値が比較的安く、原油の価値が高く見積もられる結果となっている。(iii) 及び (iv) の検討で用いた統合化指標はあくまで一例であるが、より希少価値もしくは価格が高い資源を有効に活用する、というリサイクルの目的に照らし合わせると、有効な指標であると考えられる。

なお、いずれの指標においてもごみ発電や埋立処分の資源節約効果が非常に低い結果となっている。

【参考】

本検討では、石炭の可採年数や市場価格について、平均値である 133 年及び 12,665 円/t を採用しているが、原料炭（鉄鋼用）および一般炭（鉄鋼用微粉炭）の可採年数はより短く、また市場価格も高いため、より希少価値を高く評価とすべきとの指摘もある(図 7)。これらの数値を考慮した場合には、上記の指標が変わりうることに留意する必要がある。



※合同会合作業チーム (第3回資料より)

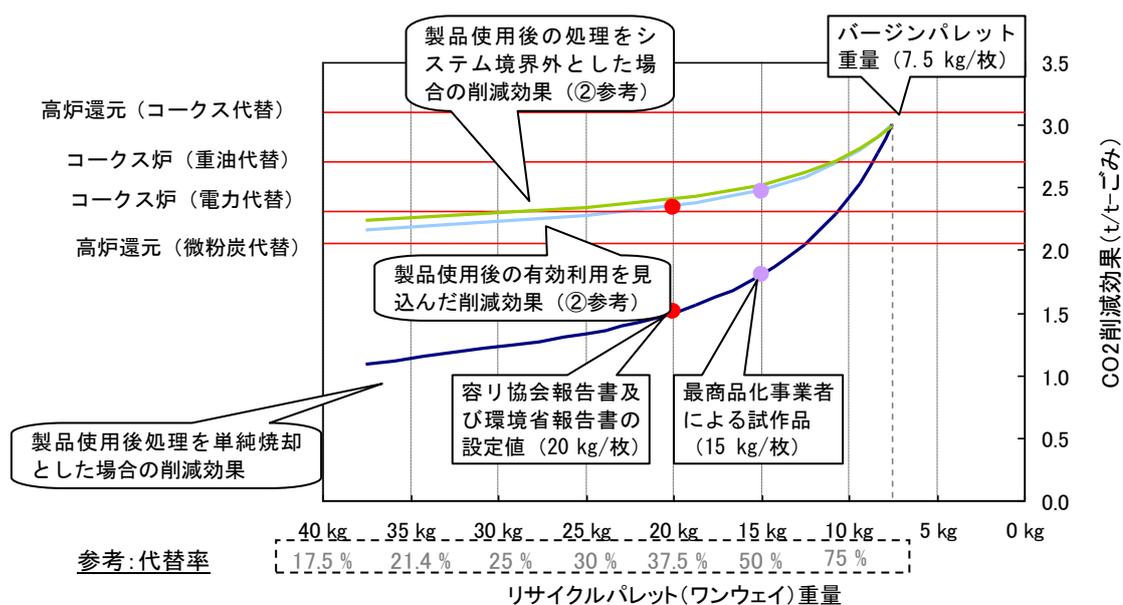
図 7 高炉における使用石炭の可採年数及び市場価格の参考資料

⑥リサイクルにより代替されるシステムの評価の考え方（材料リサイクルの改善可能性）

容リ協会報告書の設定では、材料リサイクルにおいて、容リプラから製造するパレット（リサイクルパレット）やコンパネの単位重量が新規樹脂から製造される製品と比較して大きい。これは容リプラの新規樹脂に対する代替率が100%より小さいことを示している。この代替率について明確な記述はないが、現行の技術で同一品質を保つ場合に必要なものと想定される

ここで、将来の技術開発やベールの高品質化等により、容リ由来の再商品化製品利用製品の重量が軽減される、すなわち新規樹脂製品に対する代替率が向上した場合、環境負荷削減効果の向上が期待される。例えば、容リ由来の再商品化製品利用製品であるパレット（ワンウェイ）の重量及び代替率とCO₂削減原単位との関係は、下図のとおり（参考としてCO₂削減効果の高いケミカルリサイクルの削減効果を併記（代替率には依存していない））。

容リ協会報告書及び平成21年度環境省調査の設定では、リサイクルパレットの重量が20kgとバージンパレット（7.5 kg/枚）と比較して重く、代替率も37.5%と低い。このため、CO₂削減効果もケミカルリサイクルに比べ低い値となっている。パレット重量の軽量化によりCO₂削減効果の向上が見られるが、現状の試作品の15 kg/枚のパレットでも、ケミカルリサイクルを越えるまでには至っていない。しかし、今後の技術開発等により、12.5 kg/枚以下（代替率62.5%以上）のリサイクルパレットの製造が可能となれば、CO₂削減原単位は約2.0 t-CO₂/t-ごみ以上となり、ケミカルリサイクルによる削減効果と遜色ないレベルとなる事が分かる。

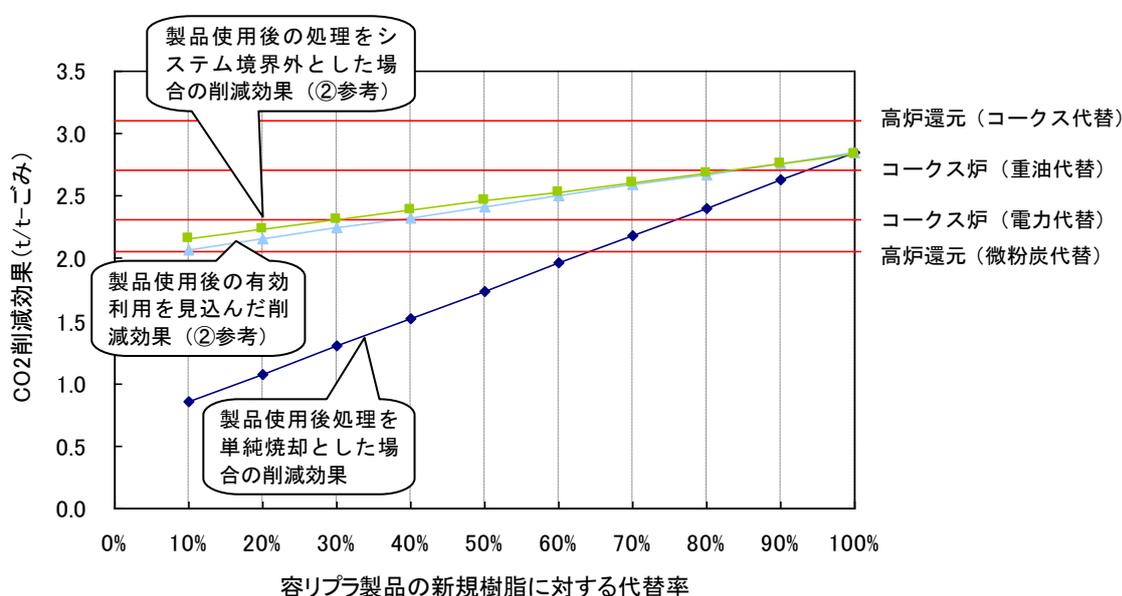


※平成21年度環境省調査の数値を基に算出

図8 パレット（ワンウェイ）における製品重量と削減効果の関係

また、図 8 には「②製品の処分方法」において検討した『再商品化製品利用製品の使用後の有効利用の効果』を見込んだ場合のパレットの CO2 削減効果を併せて示している。全体的に有効利用による削減効果の向上が見られるが、パレット重量が軽くなる (=代替率が高くなる) につれて、その追加効果は減少し、リサイクルパレットとバージンパレットの重量が同等の場合には、有効利用による追加効果は全く見られなくなる。これは、有効利用による追加効果が、リサイクルパレットとバージンパレットの重量差によって有効利用した際に生じるエネルギー差を補うため、オリジナルシステムにエネルギー消費のフローを追加していることに起因するためである (図 3 参照)。いずれの設定においても、パレットの軽量化が CO2 削減効果の向上に寄与している。

また、再生樹脂 (コンパウンド) を例に、代替率と CO2 削減効果の関係性は、図 9 のとおり。代替率に対する CO2 削減効果の挙動は、パレット (ワンウェイ) とほぼ同様である。



※平成 21 年度環境省調査の数値を基に算出

図 9 再生樹脂 (コンパウンド) における代替率と削減効果の関係

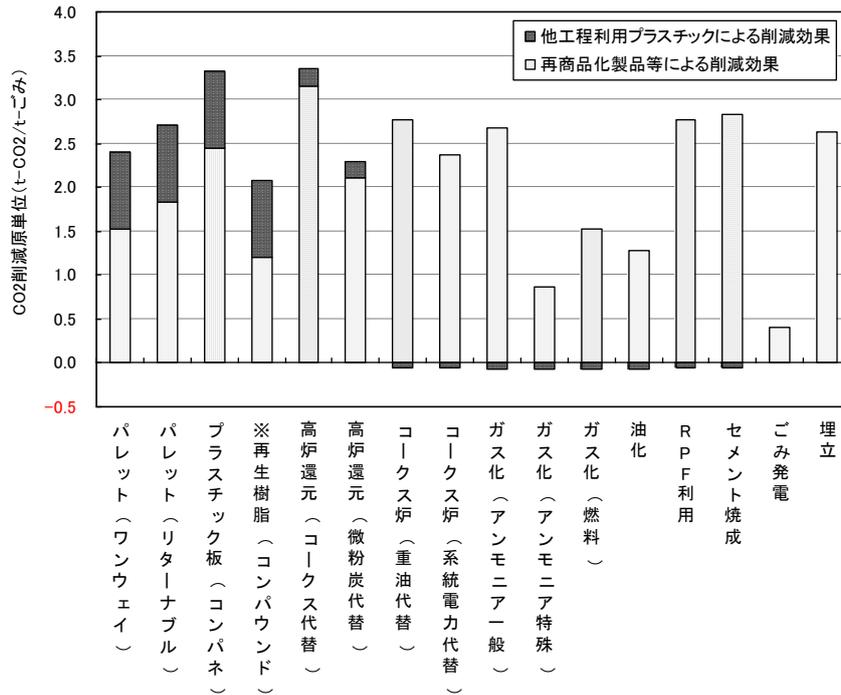
上記結果のように、再商品化手法の LCA は代替率 (機能代替) の設定により、環境負荷削減効果が大きく変動する。特に材料リサイクルの場合は、再商品化製品の品質向上により、代替率が大きく向上することも想定される。このため、再商品化事業者のデータやヒアリングを基に、容リ協会報告書の時点から現在までの再商品化製品利用製品の代替率の変化に関する実態調査を行い、その結果を今後の環境負荷分析に取り込むことが必要と考えられる。

(3) 各留意点のまとめ

表9 各留意点の評価・検討結果と今後の分析での設定

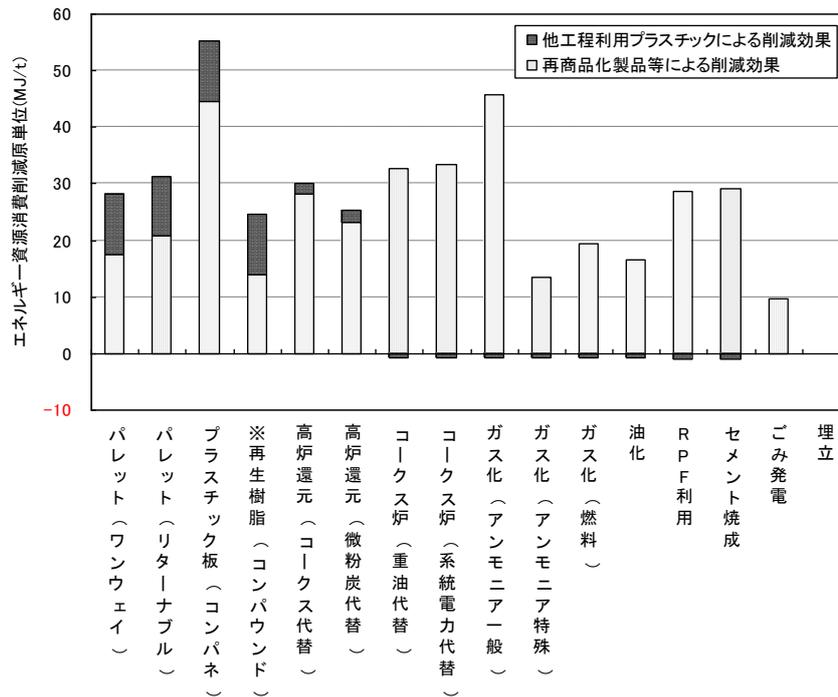
No.	留意点	評価・検討結果	今後の分析での設定
①	材料リサイクルにおける産廃プラの混合の扱い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の設定では、産廃プラの混合量に応じて環境負荷削減効果が抑制されるが、産廃プラの混合比率は小さいため、その影響は限定的である 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現行の設定を継続する
②	利用製品の処分方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料リサイクルの再商品化製品利用製品の使用後の有効利用（焼却発電・RPF利用・セメント焼成）を考慮した場合、単純焼却に伴う環境負荷削減効果の減少の緩和が確認される ・ 材料リサイクルの再商品化製品利用製品の処理・処分実態の調査が必要である 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 暫定的に再商品化製品利用製品の使用後の処分をシステム境界外として、環境負荷削減効果の算出を行う
③	他工程利用プラスチックの扱い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製品重量に基準を置く算出手法の妥当性は低いと考えられる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現行のごみ当たりの算出基準を継続して使用する ・ 再商品化製品等による削減効果と他工程利用プラスチックによる削減効果を分類して表示する
④	適切なシステム境界の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ コークス炉におけるコークス炉ガスの代替の設定によって、環境負荷削減効果に差異が生ずる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再商品化手法の比較においては、重油代替と系統電力代替の2ケースを併記する
⑤	リサイクルにより代替される資源の評価の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー資源消費や可採年数、熱量当たり市場価格などの指標により、資源の有効利用を単一の指標で評価することが可能である ・ 各再商品化手法が資源節約の観点から、焼却発電・埋立等に比べて優れていることを示す上で有用である 	<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー資源消費、可採年数、熱量当たり市場価格の指標で資源節約効果を表示する
⑥	リサイクルにより代替されるシステムの評価の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料リサイクルでは、代替率（リサイクル製品とバージン製品の重量比）の向上により、環境負荷削減効果の改善が見込まれる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現状の材料リサイクルの製品重量等の実態調査が必要である

上記効果を組み込んだ評価結果は、以下のとおり。



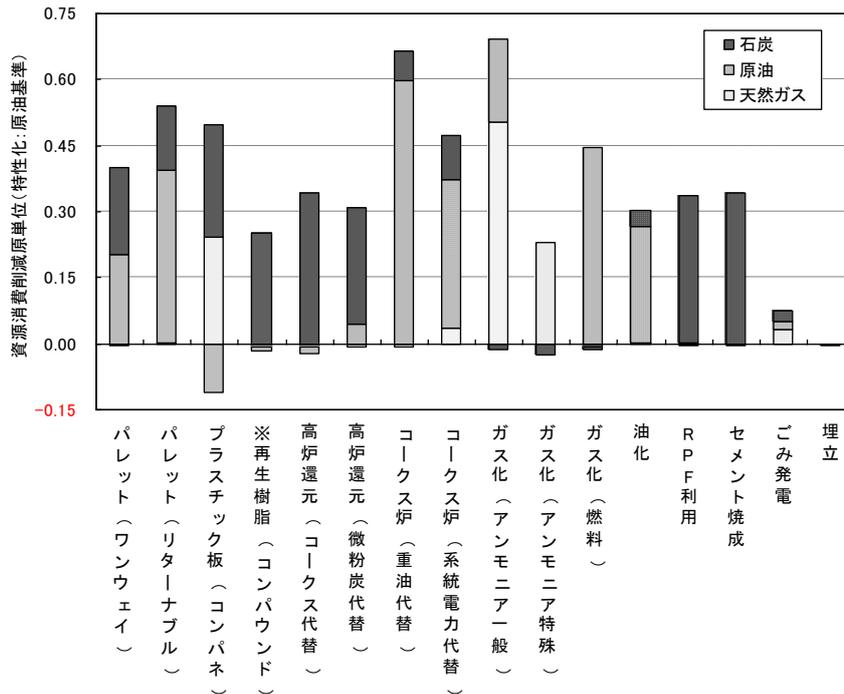
※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図 10 各再商品化手法の CO2 削減効果 (ごみ 1t 当たり)



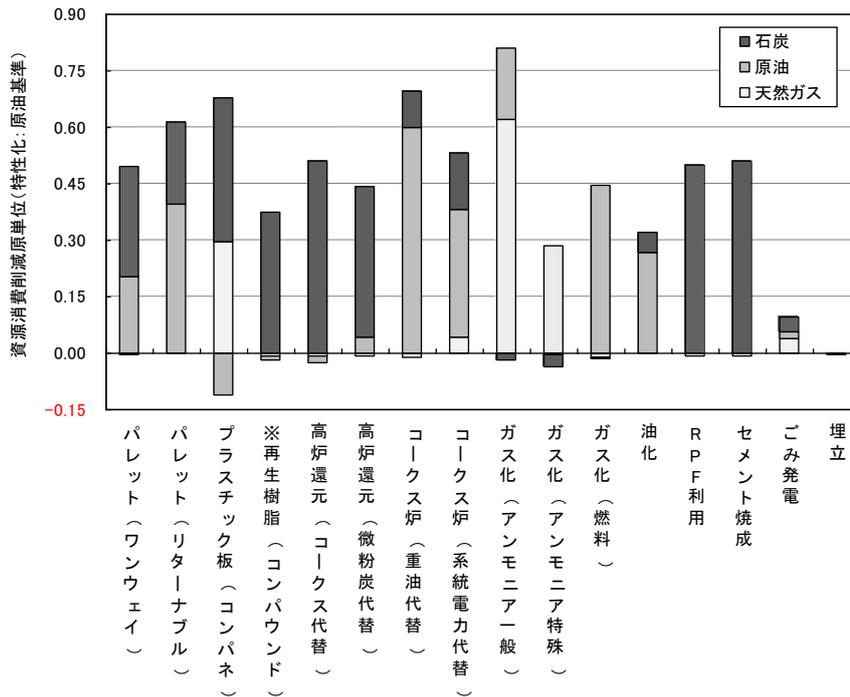
※再生樹脂 (コンパウンド) は、代替率 50% の場合の値を記載

図 11 各再商品化手法のエネルギー資源消費原単位 (ごみ 1t 当たり)



※再生樹脂(コンパウンド)は、代替率50%の場合の値を記載

図12 各再商品化手法の資源消費削減原単位(可採年数で特性化、ごみ1t当たり)



※再生樹脂(コンパウンド)は、代替率50%の場合の値を記載

図13 各再商品化手法の資源消費削減原単位(発熱量当たり輸入価格で特性化、ごみ1t当たり)