

リサイクル可能材料の使用拡大による環境負荷低減効果

EFFECT OF AN IMPROVEMENT RECYCLABILITY OF PRODUCTS FOR THE ENVIRONMENTAL LOADS DECREASES

和田 安彦*・三浦 浩之*・中野 加都子*

Yasuhiko WADA*, Hiroyuki MIURA* and Kazuko NAKANO*

ABSTRACT ; Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology to assess the environmental impacts of products. In an LCA the environmental impacts in all stages of life cycle of the product are taken into account. The environmental impacts in the processes of processing and final disposal of waste are however often assessed only the volume of waste. And the effect of use of recyclable materials into the products is not assessed adequately. Therefore we try to assess the effect of improvements in the recyclability of the bumper of automobile and the washing bucket of electric washing machine for decreasing of the environmental loads. From assessing the environmental loads in the life cycle of the products with the evaluation way which we suggested, it became clear that if recyclable materials are used into the bumper and the washing bucket, the energy consumption, CO₂ emissions and SO_x emissions in the life cycle of the products decrease.

KEYWORDS ; Recycle, Life Cycle Assessment, Environmental Load, Energy Consumption, CO₂ emissions

1. はじめに

地球規模の環境問題に対応するため、廃棄物の減量化・再資源化を進めるリサイクル社会の構築が国際的に求められている。日本においても、「リサイクル法」の制定等もあって、自動車や家電製品等の再生資源としての利用促進が重要課題となり、リサイクルに有利な材料選択や構造の工夫、部品・材料の分別・分離の容易化等の配慮が行われつつある。

リサイクル社会を構築するに当たっては製品をリサイクル可能な設計にするとともに、リサイクルによる環境負荷をできるだけ低減化する必要がある。そのためには、リサイクルによる環境負荷を定量化し、評価する必要がある。

環境負荷を定量化する手法にはLCAがあるが、現状のLCAでは廃棄された際の環境負荷やリサイクルによる環境負荷低減化効果を十分に評価する方法が確立されていない。

そこで、自動車バンパについてリサイクル材を使用する場合と使用しない場合（新たにバージン材料からバンパ材料をつくる）、洗濯槽についてステンレス製（リサイクルによって新たな槽をつくる）のものとプラスチック製（リサイクルできないため、バージン材料から新たに槽をつくる）の環境負荷を比較することによって、リサイクルすることによる環境負荷低減化効果の定量的評価及び相対的な比較を試みた。

2. 評価手法

2.1 評価の基本的考え方

環境負荷の評価範囲は全ライフサイクルとするが、特にリサイクル及び廃棄後の処理・処分における環境

*関西大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kansai University

負荷評価を重視する。

(1) リサイクル材料の使用による環境負荷低減化効果の評価の考え方

リサイクル材料の使用による環境負荷低減化効果の評価は、基本的には筆者らが提案したリサイクルフェイズの評価方法¹⁾ (①リサイクル時と廃棄処理・処分時との評価範囲の一致、②輸送プロセスの具体的評価、③中間処理による減容化の考慮)を用いる。すなわち、再生材料化する際の環境負荷と、処理・処分する際の環境負荷に再生材料と同等、同量の材料をバージン資源から製造する際にかかる環境負荷を加えたものとを比較して、リサイクル効果を定量評価する。

(2) 中間処理による環境負荷評価の対象

中間処理は破碎・選別処理を対象とする。すなわち、プレシュレッダー、シュレッダー、集塵機、磁選機の稼働及びそれらに付随するベルトコンベア、クレーン、ショベル等の運用に関わる環境負荷を対象とする。ここで、製品製造時の評価において資本財(工場や製造機器を作るための環境負荷等)は考慮していないので、中間処理施設建設における環境負荷は考慮しない。

(3) 最終処分による環境負荷評価の対象

最終処分は、実際の処分は個々の製品毎に行われず、廃棄された種々雑多な製品等が同時に埋め立てられているため、個々の製品毎に環境負荷値を定量的に把握することは困難である。そのため、最終処分における環境負荷として次のものを取りあげる。

① 中間処理施設から最終処分場までの輸送に伴う環境負荷

② 処分場から環境中への各種排出物量：

処分場から環境中への排出量を処分場に受け入れたすべての廃棄物の総重量で除して求めた環境負荷原単位を用い、対象物の重量配分により環境負荷を算出

③ 埋立処分作業に必要な重機(ダンプ、ブルドーザー等)の稼働に伴う環境負荷

重機の燃料消費量と燃料消費に伴う環境中への排出物量を、埋立処分作業の対象となった廃棄物量で除して求めた環境負荷原単位を用い、対象物の重量配分により環境負荷を算出

④ 浸出水処理に伴う環境負荷：

浸出水処理において消費するエネルギー量と薬品などの消費量を、処分場に受け入れたすべての廃棄物の総重量で除して求めた環境負荷原単位を用い、対象物の重量配分により環境負荷を算出

中間処理同様に、最終処分地建設における環境負荷は考慮しない。

2.2 評価対象

(1) 自動車

自動車の場合はバンパ(PP製)を評価対象とする。プラスチック類のリサイクルの必要性に対応して、①単一の樹脂で構成され、②大量に回収しやすく、③部品としての取り外しも比較的容易で、④再生利用が効率的であるという特性を持つバンパのリサイクルが最近実施されている。ここでは、リサイクル材料使用による環境負荷低減の効果を、バンパのリサイクルにより再生ペレットを製造する場合と、リサイクルせずに新たに原油からPPペレットを製造する場合の環境負荷を定量的に比較することによって求める。ここで、販売店に下取車等として廃棄された自動車のバンパは一旦パーツセンターへ集められた後、再生工場まで輸送されて再生プラスチックになると考える。

(2) 洗濯機

洗濯機では従来採用されていたプラスチック製の洗濯槽からステンレス性の洗濯槽への転換が進み、現在では全販売台数の約3割を占めている。これは、現状ではプラスチックのリサイクルは困難であるが、ステンレスは鉄としてリサイクルをすることは可能である等のためであり、今後、各メーカーでステンレス製の洗濯槽が採用され、需要が伸びてくることが予想される。これを踏まえて、ステンレス洗濯槽材料をリサイクルによってつくる場合と、プラスチック槽をリサイクルせずに新たな原油から材料製造を行う場合の環境

負荷の比較を行った。

プラスチック槽：廃棄後はリサイクルされず最終処分され、原油からプラスチック槽材料が製造される。
ステンレス槽：廃棄後に再資源化され、再びステンレス槽材料になる。

なお、洗濯槽材料が違っても洗濯時に消費する電力等は同等であることから、使用時の環境負荷についての比較は省略した。

2.3 前提条件等

(1) 評価項目と対象プロセス

対象とする環境負荷項目は表－1に示すものであり、評価範囲は図－1に示す「(資源)採掘」「原材料製造」「製品製造」「製品使用」「中間処理」「最終処分」と「リサイクル」「資源回収」「原材料再生」の9プロセス、および各プロセス間の「輸送」である。評価内容は表－2に示すものである。

表－1 環境負荷項目

材料資源消費量	原油、鉄鉱石
エネルギー資源消費量	軽油、重油、LPG、LNG、石炭、電力等
エネルギー消費量	kcal換算
CO2排出量	
大気汚染物質排出量	NOx、SOx、ばいじん、フロン、CH4等
水質汚染物質排出量	BOD、COD、SS、N、P
固形廃棄物排出量	汚泥、廃油、廃プラ、紙類、ガラス類、鉛滓、スラグ等

表－2 評価する環境負荷の内容(工程)および仮定条件など

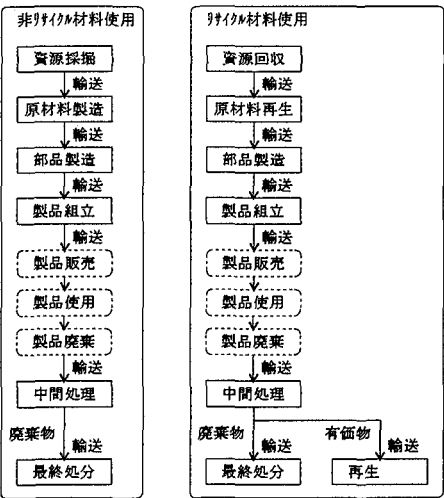
採掘、材料製造	a. 鉄類		○鉄鉱石、石炭の採掘・積み出し ○鉄鉱石、石炭の輸送(海外からの輸入) ○製鉄 ○各鉄鋼材料製造
	b. 非鉄金属類	アルミニウム	○ボーキサイト採掘・輸送 ○アルミナ製造・輸送 ○アルミ精錬
		銅	○銅鉱石精錬 ○溶銅 ○電解
	c. 石油製品		○原油採掘・保管・輸送 ○原油蒸留(ナフサ製造) ○ナフサ分解 ○抽出(ベンゼンなど) ○各石油製品製造
製品製造	a. 自動車(パンパ)		両者同じであるので省略
	b. 家電製品		○組立工場における消費エネルギー等と排出物
処理・処分	a. 自動車(パンパ) b. 家電製品	処	○販売店から中間処理業者までの輸送 ○破碎処理とこれに付随する工程からの排出物 ○選別とこれに付随する工程からの排出物
		処分	○販売店から中間処理業者までの輸送 ○処分場から環境中への各種排出物量 ○埋立処分に必要な重機の稼働 ○浸出水処理
再生	a. 自動車(パンパ)		○PPベレット再生
	b. 家電製品(ステンレス槽)		○鉄再生
輸送	a. 自動車(パンパ)		○原材料製造工場から部品製造工場までの輸送 ○部品製造工場から製品組立工場までの輸送 ○組立工場から販売店までの輸送 ○中間処理業者から鉄、アルミニウム再生業者までの輸送
	b. 家電製品		○原材料製造工場から部品製造工場までの輸送 ○部品製造工場から製品組立工場までの輸送 ○製品組立工場内の輸送 ○組立工場から販売店までの輸送 ○中間処理業者から鉄、アルミニウム再生業者までの輸送

(2) 前提条件

さらに、次の前提条件を設定した。

- ・同一プロセス、工程から副産物が生み出される場合には、対象物と副産物の重量比で環境インパクトを配分する。

- ・同一プロセス、工程において複数の材料などが製造される場合には、環境インパクトは各材料の重量比で配分する。一方、原材料については対象材料製造に必要な量とする。
- ・石油等の有するポテンシャルエネルギーについては考慮しない。
- ・資本財（工場や製造に関わる設備等）については考慮しない。
- ・労働力については付記する方向であるが、現時点では考慮していない。
- ・製品の包装、梱包材は評価対象に含まない。
- ・材料資源やエネルギー資源の中で対象とする消費材のライフサイクルにおいて消費量の少ないものは評価対象から除外する。
- ・評価対象とする環境インパクトは、ライフサイクル全般で定量評価できたものを用いる（一部のプロセスでしか定量評価できなかったものは評価対象から除外）。



図－1 各ケースの評価範囲

(3) 評価対象の設定条件

バンパは一般的な小型大衆車に用いられているPPバンパを対象とする。リサイクル時にはフロントとリアのバンパを同時に交換しているものとし、その重量は

PPバンパ	7.0kg
-------	-------

とする。

洗濯槽は洗濯容量6kgのものを想定し、洗濯槽の材質変更に伴い設計変更・材料変更される箇所がほとんどないことから、洗濯槽の重量はプラスチック槽、ステンレス槽とも、

洗濯槽	4.0kg
-----	-------

とする。

(4) データ収集の方法及びインベントリ分析方法

データについてはバンパ、洗濯機とも製造に関しては関連メーカーへのヒヤリング、リサイクルに関しては関西を中心として行われているリサイクル（バンパ）、及び代表的な都市における廃家電回収システム（洗濯機）、最終処分については代表的な都市における実態調査を行うことにより収集した。

また、インベントリ分析方法は積み上げ法を用いた。

(5) 中間処理等に関する設定値

中間処理における前提条件（調査による）を表－3に示し、それぞれの中間処理に伴う環境負荷はこれを元に重量に比例して排出されるものとする。また、輸送トラック及び燃費等に関しては各輸送について最も一般的なものを採用し、輸送距離については製造工場から最も消費量が多い都市への輸送距離を採用した。

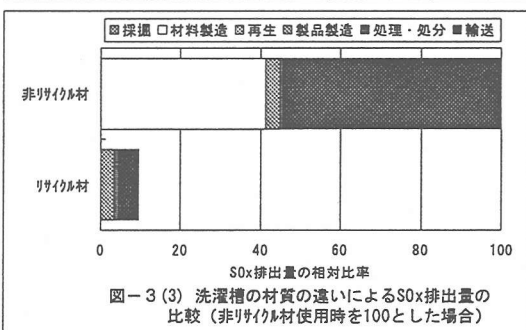
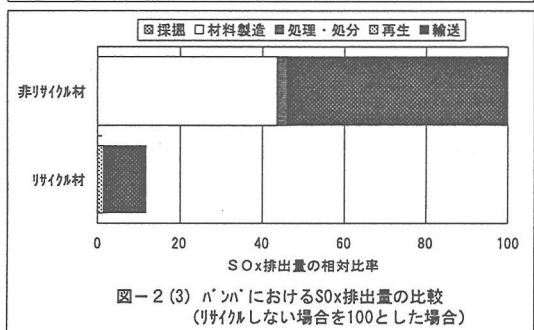
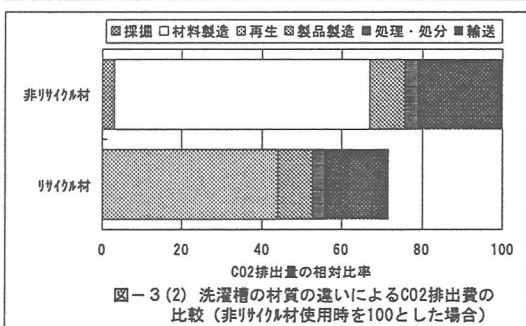
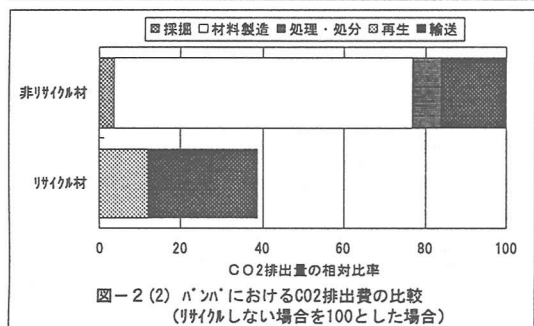
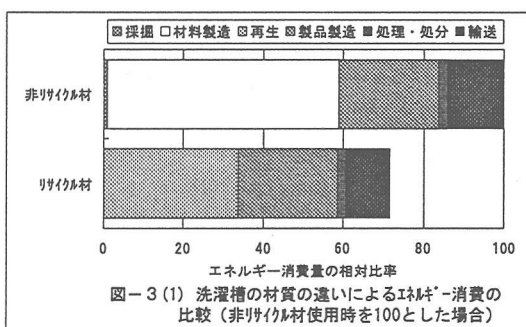
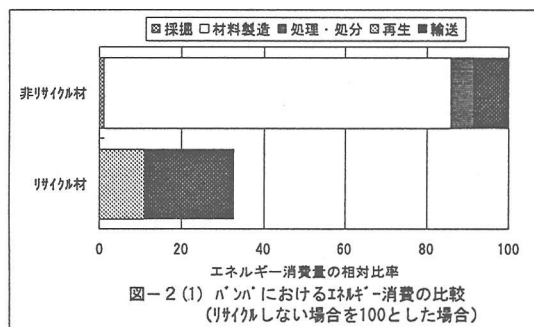
表－3 中間処理前提条件

項 目	条 件	備 考
全搬入量	約1,000ト／日	
消費エネルギー		
電力	34万kwh/月＝1.55万kwh/日	ショレッタ [®] 等の稼働用、稼働日数22日/月
軽油	600リットル/日	油圧ショベル等の稼働用

3. 評価結果

(1) 自動車（バンパリサイクル）

ライフサイクルの各プロセスにおける環境負荷を、その違いが明確なエネルギー消費量、CO₂排出量、SO_x排出量の項目について、リサイクル材料を使用しない場合（廃棄後はごみとして処分し、新たにバージン原料から材料製造する）の値を100として図-2に相対的に表した（表-1に示したその他の環境負荷項目についても算出しているが、紙面の都合上省略する）。



リサイクル材料を使用することにより、エネルギー消費量は33%、CO₂排出量は41%、SO_x排出量は12%にまで低減化できている。また、リサイクル材料を使用しない場合ではエネルギー消費量、CO₂排出量の約8割がバージン資源からの製造プロセスで占められており、残りの大部分は輸送プロセスによるものである。SO_x排出量では6割弱が輸送プロセスに由来している。一方、リサイクル材料を使用する場合では輸送プロセスからの環境負荷が大きな割合を占め、エネルギー消費量、CO₂排出量では約7割を、SO_x排出量では約9割を占めている。したがって、リサイクルにかかる輸送プロセスなどの環境負荷を考慮しても、リサイクル材料を用いたバンパは環境負荷低減化に大きな効果があり、リサイクル材料を使用する場合に輸送効率を向上させるとさらに環境負荷低減化効果が向上できることがわかる。

リサイクル材を使用しない場合の中間処理、最終処分による環境負荷（エネルギー消費量、CO₂排出量、SO_x排出量）は、全ライフサイクルにおける環境負荷の3～7%を占めている。「①中間処理施設から最終処分場までの輸送に伴う環境負荷」は、最終処分時の環境負荷の80%程度を占めている。

(2)家電製品（ステンレス槽リサイクル）

ライフサイクルの各プロセスにおける環境負荷を、自動車と同様にプラスチック槽の値を100として図-3に相対的に表した。

リサイクル材料使用により、エネルギー消費量、CO₂排出量は72%，SO_x排出量は9%にまで低減化できている。SO_x排出量が大幅に低減化されるのは、非リサイクル材料使用（バージン資源からPPを製造した場合）では、原油輸送と原油からPP製造する際の排出量が多く、リサイクル材料を使用すればこのプロセスを経る必要がなくなるためである。また、リサイクル材料を使用しない場合では自動車バンパの場合と同様に、エネルギー消費量、CO₂排出量の約8割がバージン資源からの製造プロセスで占められており、残りの大部分は輸送プロセスによるものである。SO_x排出量では半分以上が輸送プロセスに由来し、残りはほとんど製造プロセスからの排出である。一方、リサイクル材料を使用する場合ではエネルギー消費量、CO₂排出量は材料再生プロセスのものが多く、エネルギー消費量の4割強、CO₂排出量の6割を占めている。SO_x排出量は非リサイクル材料使用時とほぼ同様の内訳であり、やや輸送プロセスによるものの割合が多くなっている。したがって、自動車バンパの場合と同様に、リサイクルする場合の材料再生プロセス、輸送プロセスなどの環境負荷を考慮しても、部品にリサイクル材料を用いることは環境負荷低減化に大きな効果がある。

中間処理、最終処分による環境負荷は少なく、全ライフサイクルにおける環境負荷の約1～3%にすぎない。これは、中間処理、最終処分がエネルギー消費型のプロセスではないためである。中間処理、最終処分することの環境負荷を評価するには、今回取り上げたエネルギー消費に関連する環境負荷項目、環境中への排出される環境負荷項目だけでは十分ではない。なお、プラスチック槽の場合に生じる最終処分時のエネルギー消費量、CO₂、SO_x排出量は、「③埋立処分作業に必要な重機（ダンプ、ブルドーザー等）の稼働」（全体の40～50%程度）と「①中間処理施設から最終処分場までの輸送」（同40%程度）の2つのプロセスによるものが多い。

4. まとめ

リサイクル可能材料の使用による環境負荷低減化効果を、自動車におけるリサイクルバンパの使用、洗濯機における洗濯槽のプラスチック製からステンレス製への変更という面から評価した。対象としたプラスチック材料と鉄鋼材料では、バージン資源から製造する際の環境負荷よりも、リサイクルするための回収、再生プロセスによる環境負荷の方が小さく、特にリサイクル材料ではバージン資源の海外からの輸送におけるSO_xの排出をなくすることができるため、リサイクル材料の使用は環境負荷面で有利であることを定量的に示した。また、リサイクル材料の使用による環境負荷低減化効果をさらに高めるには、輸送プロセスの効率化が必要であることを明らかにした。今回の評価では、①リサイクル材料の質はバージン資源から製造する場合と同様として取り扱ったが、実際には質的低下が避けられない場合もあり、この問題を考慮した評価手法とすることが必要である。また、②最終処分地は他の諸施設（材料製造工場、製品組立工場など）とは異なっており、繰り返し利用できるものではなく、廃棄することによって空間的、生態的資源を消費しているため、その点を適切に評価する手法を検討し、組み入れていくことも必要である。今後はさらにこれらの課題について検討を進める必要がある。

《参考文献》

- 1) 和田、三浦、平田：Life Cycle Assessment におけるリサイクルフェイズの評価手法に関する研究，環境システム研究，Vol. 22, pp. 141-146, 1994.
- 2) 基礎素材のエネルギー解析調査報告書，化学経済研究所，1993/9.
- 3) 北九州市：地球温暖化対策地域推進モデル計画策定調査報告書，1992/3.
- 4) 松藤敏彦，田中信寿，永谷かおり：ライフサイクルアセスメントにおける廃棄物処理の評価，第5回廃棄物学会研究発表 会講演論文集，pp. 103～105, 1994.