

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

STUDY ON EVALUATION METHOD OF ENVIRONMENTAL IMPACT ON THE PHASE OF RECYCLE FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT

和田 安彦*、三浦 浩之*、平田 明寿**

Yasuhiko WADA*, Hiroyuki MIURA*, Akihisa HIRATA**

(全文審査の上、受理。1994年7月25日)

ABSTRACT ; An evaluation method of environmental loads that occurs with the phase of recycle is behind with the evaluation methods for the other phase. This is caused by that a grasp of the actual situation of a recycle industry is difficult with that a process of recycling is complicated. Therefore we suggest the evaluation method for calculating the environmental impact on the phase of recycle. The evaluation method has three new concepts that are "Agreement an evaluation range around the phase of recycle and the phase of disposal", "Taking the transportation distance and the way of transportation into consideration", "Taking the waste reduction ratio around a transportation into consideration". As we evaluate an influence to an environment at a process of PSP TRAY recycling by this evaluation method, we obtained a result that applies. If we evaluate it while being careful of this point, we can evaluate social system such as waste collection, processing - disposal and recycle in aspect of environmental impact.

KEYWORDS ; PLCA, Recycle, Environmental impact, Transportation process, Social system, Waste collection, Processing-disposal

1. はじめに

資源・エネルギー浪費型の社会システムから資源・エネルギー循環型の社会システムへの転換期がきており、21世紀に向けて環境負荷低減(環境調和性の増大)が望まれている。しかし、一般の市場に流通している製品がどれだけ「リサイクル性」に富み、「環境負荷が小さい」のかを知るための明確な尺度が存在しないのが現実である。

最近、ある製品のライフサイクルにおける環境負荷を知る尺度の一つとして、ライフサイクルアセスメント(LCA)が注目を集めている。LCAの定義や手法についてはその確立、標準化に向けて国際的な議論が行われている段階である。手法としては様々な問題が提起されているが、その中でも大きな問題の一つがリサイクルの取り扱いである。リサイクルは、そのフローが複雑である事、さらにリサイクル技術自体が未成熟にある事から実態を把握しにくい、評価方法の確立が遅れている。そこで我々は、LCAにおけるリサイクルフェイズの評価方法について問題点を整理した上で、評価方法の検討を行った。

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

**関西大学大学院工学研究科 Graduate Student, Department of Civil Engineering, Kansai Univ.

2. リサイクルフェイズの評価方法の問題点

2.1 LCAとリサイクル

現在、LCAに関してISOやSETAC、UNEPによる国際的な枠組みづくりが活発に行われており^{1) 2)}、日本国内でもLCAに関するいくつかの報告書が出されている^{3) ~7)}。

日本におけるLCA研究は、その評価目的から次の6つに分類できる³⁾。

- ①製品・製法等の変更・改良に伴う環境負荷の評価
- ②環境目標値、基準値に対する達成度の評価
- ③環境負荷低減面からの製品・製法等の改善点の抽出
- ④製品間の環境負荷の比較
- ⑤流通・処理・リサイクル等社会システムの検討評価
- ⑥ライフスタイルの評価と改善目標の抽出

これまでの研究事例は主として、①～④の製品の設計、製造に関わるものであり、⑤、⑥の社会システムやライフスタイルに関わるものは少なかった。これは、これまでのLCA研究の実施主体が企業、業界団体であること、製造に関わるデータは統計資料などが整備されており収集しやすいこと等から、生産から流通、使用に至るライフサイクルにおける評価が主となったこととともに、リサイクルや廃棄は地域差が大きく、適切な評価方法が検討段階であることが要因である。

しかし、製品などのライフサイクル全般に渡る環境への影響を評価するには、リサイクルや廃棄時の評価は不可欠であり、特に、次に示すような場合には、リサイクルの扱い方がきわめて重要な意味を持つ。

- ① 副生物が他の製品材料として使われる場合（スラグ、スラッジ等）。
- ② 技術的にリサイクルが可能であるが、普及に至っていない場合。
- ③ 評価対象製品（または使用材料の一部）のリサイクル方法が複数存在する場合。
- ④ リサイクル、廃棄フェイズに焦点を当てた評価を行うことを目的にLCAを実施する場合。
- ⑤ ある製品の環境負荷の高いプロセスを明らかにすることを目的にLCAを実施する場合で、その使用材料が廃棄後にリサイクル可能なもの、または、リサイクル材料を含む製品である場合。
- ⑥ リサイクルに必要な次に示す行為に伴う環境負荷が評価結果を大きく左右する場合。
 - ・リサイクルするための中間処理（減容化、洗浄等）
 - ・リサイクルにおける輸送方法と距離（輸送のための車両台数を多く必要とする場合等）

2.2 評価方法の課題

これまでのLCA実施例におけるリサイクルの取り扱い方法、評価方法は以下のものであった。

①環境負荷を減じることによる評価

リサイクル材をバージン材と同等とみなし、リサイクル率相当分のバージン材製造にかかわる環境負荷をトータルな環境負荷より減じることによって評価する⁵⁾。

②環境負荷排出原単位の減少化による評価

リサイクル、リユースによる環境負荷排出原単位を0とし、対象製品のリユース率、リサイクル材のリサイクル率に相当する環境負荷を減少することで、リサイクル、リユースの効果を考慮する⁶⁾。

これらの評価方法には、次の問題点がある。

- ① リサイクルの効果は、リサイクル材の対象製品への使用等による直接的な環境負荷の低減により評価しているが、この方法ではリサイクル材が対象製品に用いられない場合の評価が困難であり、しかも、廃棄・処理・処分した場合の環境負荷を考慮していないこと。
- ② 廃棄された製品の回収輸送距離が長い場合等、ライフサイクル全体で輸送による環境負荷が大きな割合を占めることがあるにも関わらず、輸送プロセスはあまり重要視されていないこと。
- ③ 空き缶や食品用トレイなどのそのまま積載するとかさばる製品の場合、破砕機などで減容化するか

しないかで積載量が大幅に変化するが、これについて評価していないこと。

また、次の点が課題である。

- ① 評価対象製品から発生するリサイクル材が同一製品に使用されていない場合の、リサイクルによる環境負荷減少化の評価方法を確立すること。
- ② 地域によってリサイクル施設の種類や立地場所が大幅に異なるため、地方、地域ごとに評価する必要があること。

3. 評価方法と評価結果

以上の問題点、課題を踏まえ、LCAにおけるリサイクルフェイズの評価手法を提案する。

なお、ここでは廃棄処分時もリサイクル時も原材料製造、製品製造、製品使用までのフェイズは同様であるため、ライフサイクルフローのうち廃棄以降を範囲として評価を行った。

3.1 評価方法

先に示した既存の評価方法の3つの問題点（①リサイクル時と廃棄・処理・処分時との評価範囲の乖離、②輸送プロセスの軽視、③中間処理の未評価）に対処するため、廃棄以降のライフサイクルでの環境への影響の評価において、次の3点に留意した。

- ① リサイクル時と廃棄・処理・処分時の評価範囲の一致
- 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輸送プロセスでの環境負荷低減化効果の評価

（A）リサイクル時と廃棄・処理・処分時の評価範囲の一致

リサイクルは回収された廃棄製品を材料として再生材を製造するプロセスである。これまでの評価方法では、この再生材が再びその製品に使われることを想定して、製造プロセスへフィードバックして環境負荷低減化を評価していた。この方法では、再生材が対象製品に使われない場合は評価しにくい。そこで、廃棄・

処理・処分する場合において、リサイクルにより製造される再生材と同等品を天然資源から製造するプロセスを付加することにより、リサイクルによる環境負荷低減化効果を評価した（図-1）。この方法を用いれば、リサイクルの効果を評価できると同時に、従来の評価方法においてリサイクル時と廃棄・処理・処分時の評価範囲が一致していなかった問題点にも対処できる。

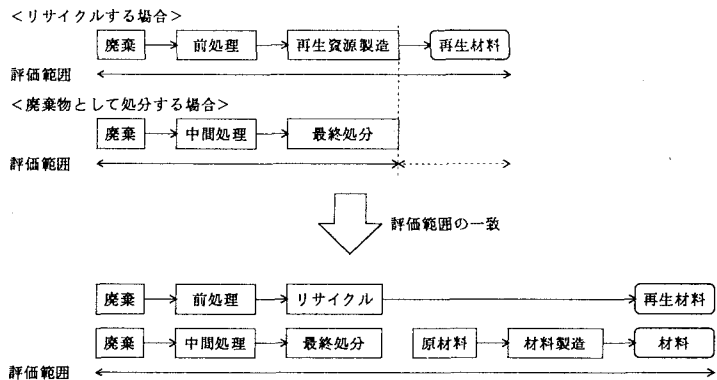


図-1 リサイクル時と廃棄処分時の評価範囲の一致

（B）輸送プロセスの具体的評価

リサイクルするための回収や、処理・処分するための収集での輸送プロセスを評価するため、実際の輸送状況を調査し、輸送距離や輸送手段を踏まえた環境への影響の評価を行った。これにより、地域による収集箇所、中間処理施設、最終処分地の位置関係の差や、リサイクル施設の立地位置の及ぼす環境への影響の違いを明らかにできる。さらに、ライフサイクル全体での環境への影響に対する廃棄以降の輸送の寄与も明らかにできる。

(C) 中間処理による減容化の輸送プロセスでの環境負荷低減化効果の評価

空き缶やPETボトル、食品用PSPトレイなどのごみ処理において問題となる製品の多くは、非常に軽量であるが容積は大きいものであり、これらの製品の輸送では、どれだけ容積を抑えて積載・輸送するかが、その輸送効率に大きく影響する。このため、廃棄されたこれらの製品を回収する場合においても、破砕機などによる減容化がしばしば行われている。

この輸送効率向上のために行われている減容化の環境負荷低減化における効果を評価するため、各種減容化方法による減容化率を調査し、一回の輸送で積載・輸送できる量を設定した上で、各減容化方法での輸送プロセスの環境負荷を定量化した。

3.2 前提条件

(A) 評価対象製品

評価対象製品は比較的評価の行い易い単一材料製品とし、その中でも大量に生産、消費、廃棄されているが、リサイクル技術・システムが確立されつつあるPSPトレイとした。

PSPトレイは一般的に流通している製品（D125×W180×H35mm、4.4g）とした。評価では、一人当たりの平均的な年間使用枚数である500枚と設定し、この500枚のトレイの処理・処分あるいはリサイクルされた場合の環境負荷、及び、この間の輸送に伴う環境負荷を定量化した。なお、トレイの輸送では、トレイのみを輸送、製品輸送の帰便で回収されていると仮定した。

(B) 評価範囲

リサイクルするため回収されたPSPトレイは、PSペレットに再生されており、その再生材の質はバージン資源から製造した場合と遜色ないものと言われている。そこで、廃棄・処理・処分する場合には、石油からPSペレットを製造するまでの環境負荷を追加した。

(C) 輸送プロセス

廃棄されたPSPトレイの回収・リサイクルには

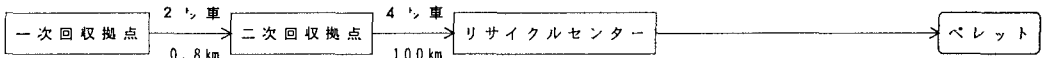
- ①自治体所有のリサイクル施設によるリサイクル
- ②製造メーカー所有のリサイクル工場によるリサイクル

の2ケースがあり、収集・処理・処分には、次の2ケースがある。

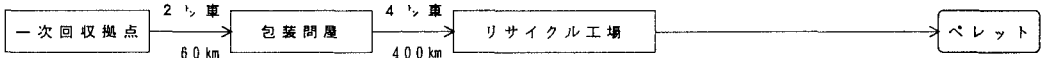
- ③不燃物として処理・処分
- ④可燃物として処理・処分

各ケースの輸送プロセスは、対象とする自治体により異なるが、ここでは一例として、図-2に示す都市での値を用いる。

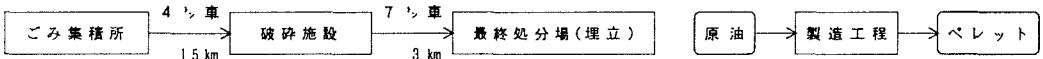
ケース1：自治体所有のリサイクル施設によるリサイクル



ケース2：製造メーカー所有のリサイクル工場によるリサイクル



ケース3：不燃物として処理・処分



ケース4：可燃物として処理・処分

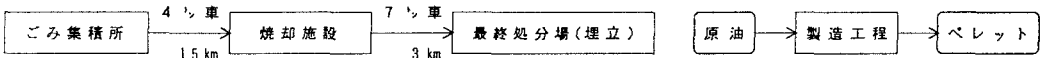


図-2 PSPトレイの輸送プロセス

(D) 中間処理での減容化

PSPトレイの減容化方法には、手により減容化するものと、機械により減容化するものがある。それぞれの減容化率は調査結果よりそれぞれ元の容積の20%減、90%減と設定し、これにもとづいて一回の輸送量を設定した。

3.3 評価結果

以上の方法により得られた評価結果について以下に考察する。評価結果としてはエネルギー消費量を示している。なお、今回の評価では焼却時のサーマルリサイクルは考慮していない。

(A) リサイクル時と廃棄・処理・処分時の評価結果の比較

廃棄・処理・処分時のエネルギー消費量を、最終処分までの範囲で評価すると、リサイクルする場合よりもエネルギー消費量は少ない結果となっている。しかし、廃棄・処理・処分時に天然資源から再生材同等品製造までの環境負荷を加算すると、反対に、リサイクルした場合の方が廃棄・処理・処分した場合よりもライフサイクル全体でのエネルギー消費量は少なくなる結果となっている(図-3)。

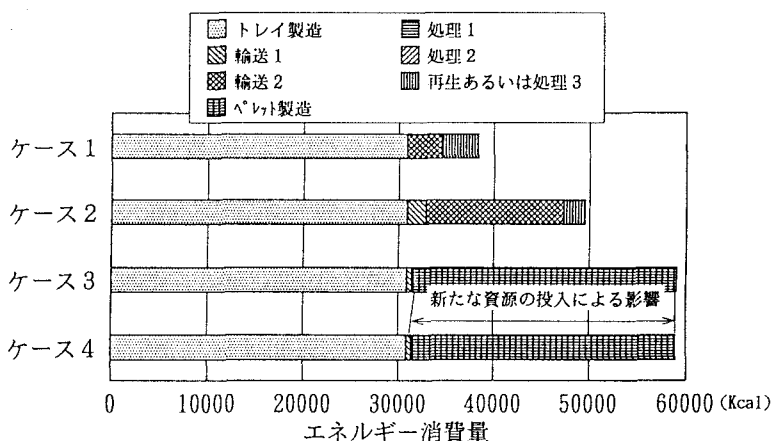


図-3 PSPトレイの処理・処分方法による環境負荷の違い

このように、評価範囲の設定の仕方により、評価結果に大きな差が生じるため、LCA実施時には、適切な評価範囲の設定が重要となる。

(B) 輸送プロセスの具体的評価の結果

自治体と製造メーカーで同様なリサイクルを行う場合でも、自治体でリサイクルする場合には、回収拠点とリサイクル施設が比較的自治体の近傍にあるのに対して、製造メーカーでは回収拠点、リサイクル施設共に自治体から離れた場所にある。このため、図-3に示されているように、輸送時のエネルギー消費量の差がそのままライフサイクル全体でのエネルギー消費量の差となっている。また、製造メーカーによるリサイクルでは、ライフサイクル全体でのエネルギー消費量の1/3以上が輸送プロセスに起因していることも明らかになった。このように、輸送プロセスは、場合によってはライフサイクル全体における環境負荷評価結果を大きく左右するほどの影響を及ぼすため、LCA実施においては、対象製品の輸送を考慮することが不可欠である。

(C) 中間処理による減容化効果の評価の結果

中間処理施設において、減容化しない場合、手で減容化する場合、機械により減容化する場合のエネルギー消費量を、廃棄以降を評価範囲として比較した結果を図-4に示す。図はリサイクルする2ケースについて比較した結果を示している。ここで、機械で減容化を行えばエネルギー消費を伴う(70.4kcal/500枚)が、これは「処理1」に含めている。

手による減容化(容積20%減)ではあまり効果はないが、機械による減容化(容積90%減)では中間処理後の輸送に関わるエネルギー消費量が激減している。このため、中間処理後の輸送距離の長い製造メーカーによりリサイクルするケース2でのエネルギー消費量が、輸送距離の短い自治体によりリサイクルするケー

ス1よりも廃棄以降の範囲ではエネルギー消費量が少なくてきている。

このように、中間処理施設での減容化の効果は大きく、この結果は、「中間処理施設での減容化」がリサイクル拠点が少ない現状の社会システムにおいて、輸送による環境負荷、コストの面からリサイクルが進まない問題を解決する一方法となる可能性をもっていることを表している。

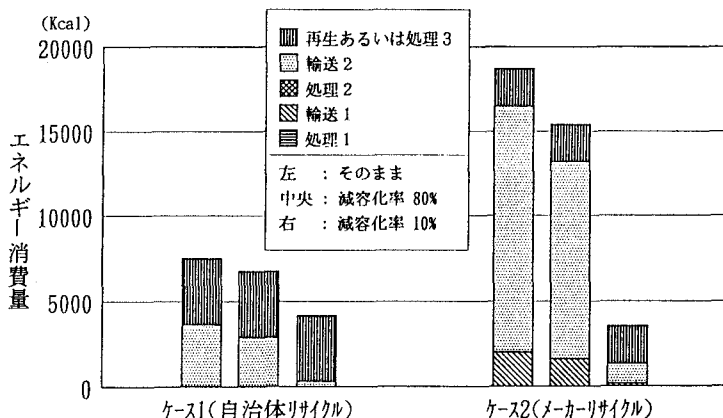


図-4 減容化による環境負荷の違い

4. まとめ

本研究では、既存のLCAにおけるリサイクルフェイズの評価での問題点、課題を抽出し、それに対応できる評価方法を提案した。

廃棄・処理・処分することに対するリサイクルの環境負荷低減における効果を適正に評価するには、リサイクルしない場合にリサイクルにより生み出される再生材と同等の製品（材料）を天然資源から製造することによる環境負荷を付加する方法が有効であることを明らかにした。

廃棄後の処理・処分やリサイクルに伴う輸送プロセスについては、従来は1パターンの固定した輸送プロセスで評価される事が多かったため、地域的による回収方法などの差異やリサイクル施設の位置などの社会システムを十分配慮したものとは言えなかった。これに対して、今回、実際の輸送プロセスに基づく評価を行った結果、輸送プロセスの違いによって、評価結果が大きく異なることが明確になった。また、リサイクルに関連する施設と廃棄物の発生する自治体などとの位置関係が、ライフサイクル全体での環境負荷に大きな影響を与える可能性を持っていることが明らかになった。そのため、今後、リサイクルフェイズに焦点を当ててLCAを実施する場合には、実態に基づく複数の輸送プロセスを設定することが重要であることを明確にした。

さらに、リサイクル施設が自治体などの廃棄物発生場所近傍にないことにより、リサイクルの実施が遅れている現状の社会システムのもつ問題に対して、中間処理施設での輸送効率向上のための減容化が、解決のための有効な手段となることも明らかになった。

今後は、リサイクルフェイズに焦点を当てた同様な評価を様々な製品に対して実施し、リサイクルフェイズを十分考慮したLCAの実施方法を確立していくことが重要課題である。

参考文献

- 1) SETAC & SETAC Foundation: A Technical Framework for Life-Cycle Assessment, SETAC Foundation, 1991, 1.
- 2) Sustain Ability, SPOLD, Business in the Environment: The LCA Sourcebook, London, 1993.
- 3) エコマテリアル研究会: 日本におけるLCA研究の現状と将来の課題, 1994, 1.
- 4) 日本エコライフセンター: 環境への負荷の評価に関する予備的検討, 1993, 6.
- 5) 日本生活協同組合連合会: 容器包材の環境評価に関する中間報告書, 1993.
- 6) (社) プラスチック処理促進協会: プラスチック製品の使用量増加が地球環境に及ぼす影響評価報告書, 1993.
- 7) (社) プラスチック処理促進協会: 廃プラスチックの処理・再資源化に関する環境影響評価 概要版, 1992.