

# LCAからみたプラスチックのリサイクル

## Plastics Recycling From a Viewpoint of LCA

中 野 加 都 子

キー・ワード：Plastics, Recycling, LCA, Toxic Substances

### Abstract

In the previous recycling systems in Japan, only valuable resources were recovered and most of small amount toxic substances were left untreated and managed, so they tended to be scattered somewhere in the environment. To neglect the potential of these substances become environmental pollutants. It is therefore necessary to maintain recycling systems adequately for any products containing toxic substances. In the plastics products, it is more important because small amount toxic substances are often contained in them.

In this paper, I proposed the analytical method that used LCA based with the consideration of adverse effects of small amount of toxic substances.

### 1. 序論

拡大生産者責任の概念がわが国に取り入れられるまでは、使用後製品に対する責任の所在が明確でなかったことから、たとえ資源回収が行われるとしても有価性と純度の高いものが中心となってきた。それ以外については管理者が不明確な状態で処理が行われ、その過程で有害微量物質が環境中に拡散していったケースが多々あったと予想される。中間処理後に処分される過程でも、行方不明となっている微量物質が多数存在し、投入されたそれら物質の量的な収支、廃棄以降のマテリアルフローとも明確にすることができない状況にある。

一方、欧州では電気電子機器への特定有害物質の使用を制限するRoHS指令<sup>1)</sup>が出され、6物質の使用制限または中止が求められ、新たにREACH<sup>2)</sup>による化学物質規制が求められているように、微量でも環境に与える影響の強い物質の明確な管理責任の重要性が国際的に高まっている。

微量物質が用いられることの多いプラスチック類は、一般的なエネルギー消費関連の環境負荷だけでなく、使用後プロセスで拡散する可能性のある微量物質による有害性を含めた環境負荷低減を実現する必要がある。このためには、エネルギー消費関連の環境負荷と微量物質による有害性の両指標から回収の優先度を明確にし、今後の製品設計、適切な回収システムの整備等に反映していく必要がある。

このための手法として微量物質が使用後プロセスで拡散することによる有害性ポテンシャル

を推算し、従来のLCAによるエネルギー消費関連の環境負荷と組み合わせて評価する手法を提案した。

2. 手法の概要

本手法は、単一製品をユニットに分割して、単一ユニットのみリサイクルし、他のユニットはすべて処理処分するというケースごとに、製品全体の環境負荷を比較するものである (Table. 1: 網掛けのユニットのみリサイクル)。これは、従来のLCA研究の多くでは資源採掘、材料製造、製品製造といった資源採取から始まる各プロセスにおける環境負荷を積み上げていくのに対し、本手法では使用済み製品を現状の方法ですべて処理処分した場合の環境負荷を基準と考え、あるユニットのみリサイクルした場合に低減できる環境負荷を定量・評価することによって、リサイクルすべきユニットの優先順位を決定するためである。

手法の概要を以下に示した。

Table. 1 Scenario by the Recycling Unit

	UNIT I (7,196.1g) Iron: 59.2% plastics: 30.1%	UNIT II (60,689.2g) Iron: 99.9% plastics: 0%	UNIT III Iron: 0.01% plastics: 99.5% (25,510.5g)	UNIT IV (4,391.1g) Iron: 71.7% plastics: 3.4%	UNIT V (2,794.8g) Iron: 0% plastics: 0.7%	UNIT VI (6,472.9g) Iron: 37.8% plastics: 21.6%	UNIT VII (2,323.5g) Iron: 0% plastics: 48.9%	UNIT VIII (763.9g) Iron: 8.5% plastics: 33.7%	UNIT IX (70,195.5g) Iron: 71.4% plastics: 14.0%
CASE1									
CASE2									
CASE3									
CASE4									
CASE5									
CASE6									
CASE7									
CASE8									

2.1 背景

Fig. 1に示すように、現状ではリサイクル時の表面割れ、不純物の混入によって2次製品に与える悪影響などリサイクルの阻害要因となるバリア<sup>3)</sup>があるため、特に複合材料を含む製品・部品では複数の資源回収業者や中間処理工場等を経てカスケードリユース、リサイクル、または中間処理後に処理処分されている。

一般的な製品のリサイクルは、一旦、メーカー関連のリサイクル施設に回収されるが、ユニットや部品に解体された後は、他の複数の関連業者に運ばれて資源回収が行なわれることが多い。このような場合に、マテリアルフロー上で管理者が不明確な状態となった有害な微量物質が潜

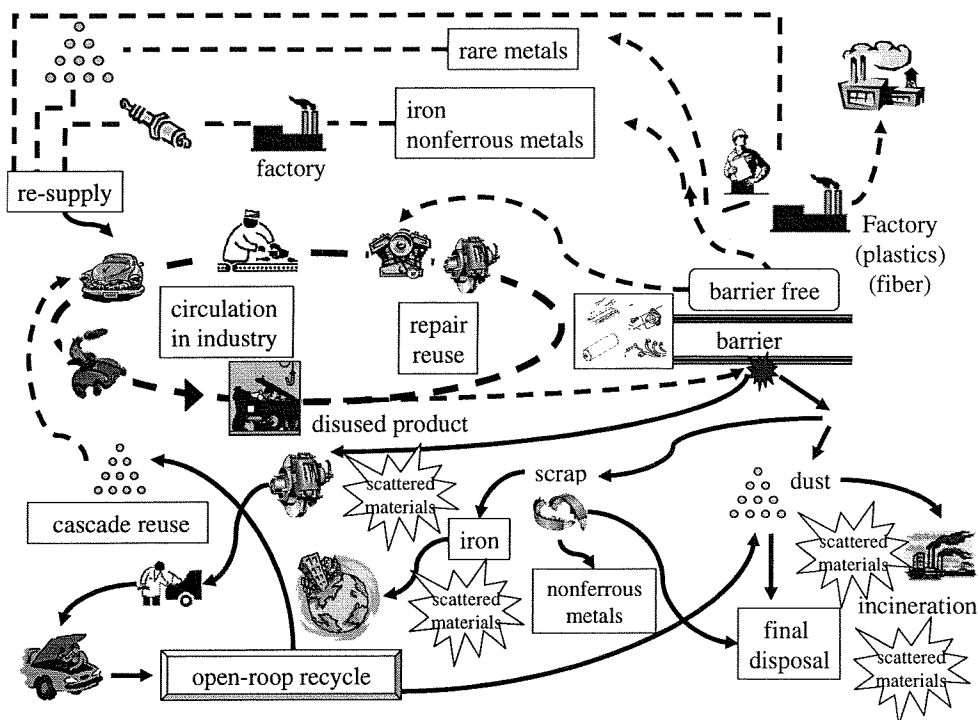


Fig. 1 Flow of Disused Product

在的な有害性を持ったまま環境中に蓄積され続けている可能性があるため、エネルギー消費関連の環境負荷だけでなく、微量物質による環境影響を最低限にする必要がある。

## 2.2 目的

製品における現状の使用後プロセスにおいて、CO<sub>2</sub>排出量と微量物質の拡散による有害性のポテンシャルの統合評価を行うことによってリサイクルすべき部品等の優先順位を明らかにし、環境に配慮した製品設計、適切な回収システムの整備、有害物質の管理を促進する。但し、部品が数千、数万にのぼる製品の場合は、部品群をまとめてユニットとして扱うことも含める。

## 2.3 範囲

環境負荷を分析・評価する範囲はFig. 2のとおりであり、使用後製品がリサイクルまたは処理処分されてから、2台目の製品材料がすべてそろうところまでである。ここで、処理処分を行なった場合は2台目に必要な材料を新たな資源から製造することとなる。リサイクルを行なう場合でも非回収分は同様に扱う。また、ここではリサイクルによって得られる材料と新材料の質は同等と扱った。

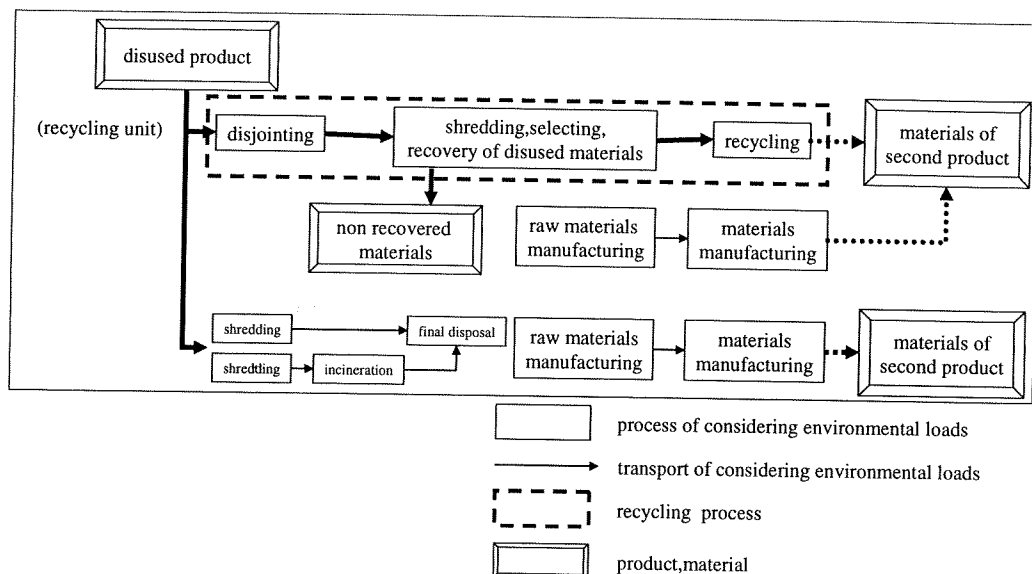


Fig. 2 Scope of Evaluation

## 2.4 用語の定義

本研究では、微量物質の拡散による有害性のポテンシャルを示す「潜在的有害性強度」を新たな指標として設定した。

また、「拡散」についても明確な定義があるわけではない。特に化学物質による拡散といった場合には異種の粒子の混合系が熱平衡状態に近づく際に起こる、濃度分布の変化の過程という意味もあり<sup>4)</sup>、今回の意味するところとは異なる概念である。

一方、拡大生産者責任によって、基本的にはメーカーが製品の最終段階まで管理責任を負うことが必要となっているが、使用後製品のフローに対する管理という概念も明確でない。そのため、本研究においては「拡散」「管理者」「潜在的有害性」を次のように定義した。

- ① 拡散：製品中に含有される特定物質が、その特性を発現しうる形態で環境中に排出される現象
- ② 管理者：本来、製品のマテリアルフローに対して管理責任を持つべき主体
- ③ 潜在的有害性強度：ある特定の製品が特定の使用後プロセスにおいて含有有害物質を拡散させことによって潜在的に有する環境負荷の大きさを定量化する指標

## 2.5 CO<sub>2</sub>排出量と潜在的有害性強度の算出式

CO<sub>2</sub>排出量は、次式で表される。

$$\text{各ケースのCO}_2\text{排出量の合計} = \sum \{ \text{原単位 (①} \sim \text{⑬)} \times \text{各重量} \} \quad (1)$$

ここで、各プロセスは、①リサイクルユニットの破碎選別、②資源回収、③回収材料から再生材を製造、④ダスト処理、⑤ダスト処理された材料を新しい資源から製造、⑥リサイクルユニットの破碎選別後の資源を資源回収工場に輸送、⑦ダストを最終処分場に輸送、⑧安定型処理するユニットを中間処理施設に輸送、⑨中間処理、⑩最終処分、⑪中間処理後の焼却灰、⑫ダストなどの輸送、⑬安定型処理するユニットを構成する材料を新たな資源から製造、である。

潜在的有害性強度の指標としては、プラスチック類が使用されることの多い日本の電機業界では、米国のRCRA (Resource Conservation and Recovery Act)、欧州のEACEM (European Association of Consumer Electronics Manufacturers) に準拠して84種を特定化学物質と定めている。また、わが国では環境汚染の恐れのある物質を適切かつ効果的に管理する手法として「環境汚染物質排出・移動登録制度」(PRTR) が1999年から法制化されている。このことから、本研究では特定化学物質84種のうち、PRTRの指定化学物質に該当する36物質を潜在的有害性評価の対象物質とした。

また、本研究では使用後製品プロセスで拡散することによる影響を分析・評価することが目的であるため、化学物質の3つの暴露機会である1次暴露(汚染源からの直接暴露)、2次暴露(使用段階、消費段階での暴露)、3次暴露(環境中に放出された化学物質による暴露)<sup>5)</sup>のうち、主として3次暴露レベルが対象となる。

これらのことから、各物質の有害性の重み付けは、公開されている有害物質リストのうち、36物質と該当する物質数が最も多く(28種)、3次暴露を対象としているUSES-LCAのリストを例として用いることとした<sup>6)-9)</sup>。ここで、この有害性指標は物質そのものの持つ有害性ポテンシャルであり、燃焼等の特定のプロセスを経た場合に排出される有害性ではない。

この指標を用いた場合の潜在的有害性強度は以下の式で表される。

#### a. リサイクルするユニットの場合

$$\text{潜在的有害性強度} = \sum \{ (\text{USES-LCAによる各有害物質の有害性の重み付け}) \times (\text{ユニット中の各有害物質の含有量}) \times (1 - \text{回収率}) \times (\text{拡散物質発生率}) \} \quad (2)$$

#### b. リサイクルしないユニットの場合

$$\text{潜在的有害性強度} = \sum \{ (\text{USES-LCAによる各有害物質の有害性の重み付け}) \times (\text{ユニット中の各有害物質の含有量}) \times (\text{拡散物質発生率}) \} \quad (3)$$

により計算できる。

## 2.6 評価指標の統合化方法

エネルギー消費関連の環境負荷と潜在的有害性強度の指標の統合化は、すべてのユニットを

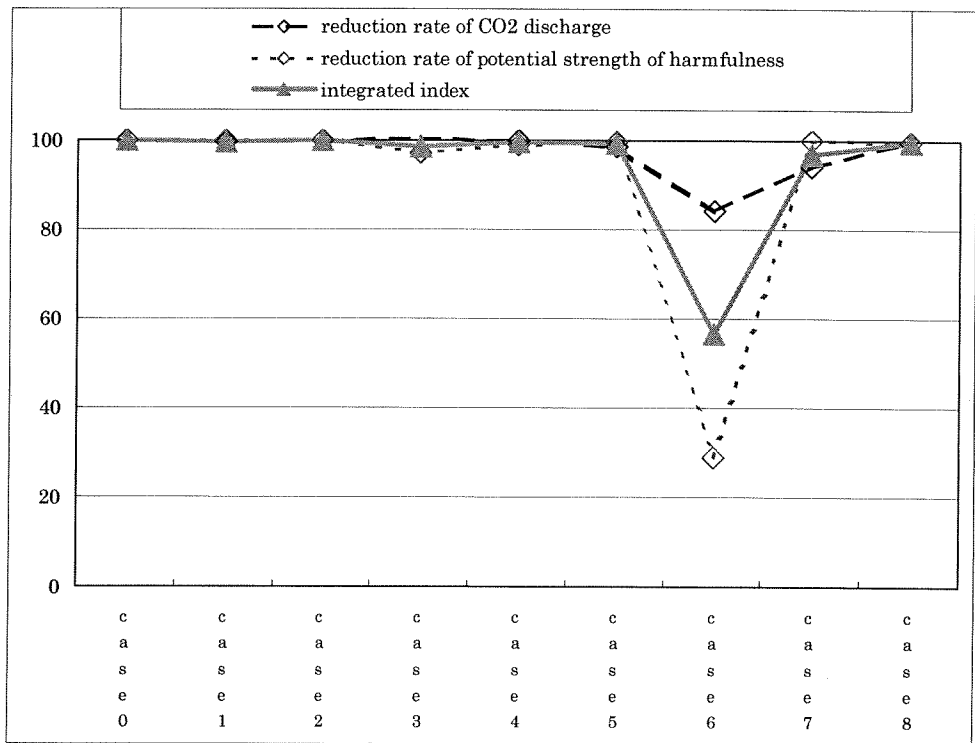


Fig. 3 Integrated Index

reduction rate of CO<sub>2</sub> discharg: reduction rate of potential strential strethg of harmfulness = 1:1

処理処分した場合に対する、それぞれの指標の低減率を平均することによって求める。

これは今回の目的が、特定の製品を対象に、リサイクルを行なった場合の環境負荷低減効果を相対的に評価することによりリサイクルの対象とすべきユニットの優先順位を決定し、環境に配慮した製品設計、適切な回収システムの整備、有害物質の管理を促進することにあり、環境影響の種類を特定したり、低減できる環境負荷の絶対値を求めることが目的ではないからである。

また、今回は両指標の重みづけを、例として1:1と考えたが、エネルギー消費関連の環境負荷と潜在的有害性強度の重要度が同じでないと考えられる場合もある。このため、統合化指標値は重要度に応じて重み付けが可能であることとする。

3. 評価事例

Fig. 3は、ある電気電子製品を事例に評価した結果を示したものである。

対象とした製品重量は約180kgであり、全体としての構成材料は、鉄が約67%と最も大きな割合を占め、次にプラスチック類が約22%となっている。回収システム、回収率等は平成13～14年度にかけて本製品について行った実態調査による結果を用いた。

本製品ユニットは9つに分類できるが、CASE6はプラスチックを主体とするユニットをリサイクルするケースである。本ユニット中のプラスチックには難燃剤が含まれていたために(但し、対象製品は比較的古いタイプのものであり、現在の製品には同種の難燃剤は使用されていない)、鉄を主体とするユニットをリサイクルするCASE7より回収が最も優先されるべきことが示されている。

このように、微量物質の拡散による影響を評価に加えれば、有害性の高い微量物質の拡散を防ぐ厳重な管理を伴ったリサイクルの方が重要となる可能性のあることが示されている。

このことから製品製造、使用だけでなく、使用后プロセスにおいても回収物質と非回収物質の最終的な行方と処理について管理者の徹底した責任管理下に置けるようリサイクルシステムを構築する必要性を指摘できる。

一方、管理者として適正な回収・処理システムを整備できるなら、必ずしも潜在的有害性強度の高い物質を使用ゼロとする必要はなく、ライフサイクルにわたってタグ等による情報媒体を用いて管理を厳重に行なうことも考えられる。即ち、閉鎖的に潜在的有害性の高い物質を繰り返し利用、または安全に処理処分するなど、徹底的な情報管理の元での拡散を防ぐ方法も検討される必要がある。

#### 4. 結 論

各種リサイクル法が施行される中、回収システムの整備は順調に進みつつある。しかし、単純な資源回収ではなく、拡散を防ぐための管理が、特に微量物質を含む材料、部品、製品の場合は今後非常に重要度を増す。

従来のLCAで行われてきたCO<sub>2</sub>排出量を軸とする評価のみでなく、非意図的に拡散していく物質による潜在的有害性強度を含めた評価を行うことが今後のプラスチックリサイクルに重要な課題になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, official Journal of the European Union, 13.2(2003)T.A. Jones, "Writing a good paper," *IEEE Trans. on General Writing*, vol. 1, no. 2, pp.1-10, May 2002.
- 2) 欧州の新化学品規制 (REACH)、日本化学工業協会化学品管理部講演資料 (2004.3.22).
- 3) (社) 未踏科学技術協会：材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のためのバリアフリープロセス技術に関する研究成果報告書 (2002.3).
- 4) 久保ら：岩波理化学辞典第4版、岩波書店 (1987).
- 5) 立医薬品食品衛生研究所：化学物質のリスクアセスメント、現状と問題点、薬業時報社 (1999).
- 6) Goedkoop: The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment Methodology Report Pre Consultants (1999).
- 7) Huijbregts Priority assessment of toxic substance in life cycle assessment. Part I Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effect model USES-LCA, *Chemosphere*, 41, pp541-573 (2000).
- 8) (社) 産業環境管理協会：製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書 (2002).
- 9) 坂尾知彦：有害物質の排出による生物多様性への影響評価、第二回日本版被害算定型影響評価ワークショップー生物多様性への影響評価ー講演集 (2002).

