

# LCAによるリサイクル効果の定量化 —PSPトレイのリサイクルへの適用—

和田安彦<sup>1</sup>・三浦浩之<sup>2</sup>・中野加都子<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564 大阪府吹田市山手町3-3-35)

<sup>2</sup>正会員 関西大学助手 工学部土木工学科

<sup>3</sup>関西大学工学部 研究員

LCAにおいてリサイクルプロセスの環境負担性を定量評価する手法を提案する。本手法はリサイクルプロセスを二次製品製造プロセスの一部と考え、そのプロセスからの環境負荷を、同質製品をバージン資源より製造する場合の環境負荷と比較することにより、リサイクルの効果を定量評価する。本手法をPSPトレイのマテリアルリサイクル、サーマルリサイクルに適用した結果、及び、リサイクルする場合の輸送効率の評価結果への影響について報告する。

*Key Words* : LCA(Life Cycle Assessment), material recycling, thermal recycling, transportation, effect of recycling

## 1. 序 論

循環型社会の構築に向けてリサイクルを促進することが必要になっている。リサイクルの必要性については、「再生資源の利用の促進に関する法律」(リサイクル法)の制定、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の見直し等により、廃棄物の減量化及び再生利用の必要性が法的に明確に打ち出された他、環境基本法に基づく「環境基本計画」でも大量生産・大量廃棄型の社会のあり方を見直し、持続可能な社会を構築するための具体的な目標が明確化されている。

現在、リサイクルに適合する社会システムの構築に関する検討<sup>1) - 3)</sup>やリサイクル技術の開発<sup>4) - 6)</sup>が行われているが、これまでの生産から消費に向かう一方にのみ効率的な社会システムのなかでは、リサイクルすることがコスト高になるという経済性がネックとなってリサイクルが円滑に行われていないこと<sup>7)・8)</sup>が多い。

このような経済性についての問題解決が必要<sup>9) - 11)</sup>である一方、地球環境負荷の低減化が国際的にも人類の大きな課題として認識されている現在、環境影響面からのアプローチ、すなわち①リサイクルが環境負荷低減化効果があることを科学的、客観的に示すこと、②現状のリサイクルよりもさらに環境負荷を低減化するための目標を明確にすることが必要となっている。

製品等のライフサイクルにわたって環境に与える環境負荷を定量的に評価するツールにはLCA(ライフサイクルアセスメント)がある。LCAは原料採取から材料製造、製品製造、使用、リサイクルを経て処理処分に至る全ライフサイクルで環境に与える負荷を複数の項目から収支計算、評価するツールであり<sup>12)・13)</sup>リサイクルの環境影響面での評価や、環境負荷の高いプロセスを特定するためにも適用<sup>14)・15)</sup>できる。

しかし、LCAのこれまでの研究事例では製造から使用までの上流プロセスに重点を置いた評価が中心であり、リサイクルから処理処分に至る下流プロセスでの詳細な評価は少ない。このため、リサイクルによる環境負荷低減化効果の有無の明確化や、リサイクルにおける環境負荷の高いプロセスの特定、及びリサイクルにおいて環境負荷を低減化するための目標を得るためには、リサイクル、処理処分プロセスを十分に考慮したLCAを実施し、リサイクル効果を定量化するための手法を確立する必要がある。

著者らは既論文<sup>16)</sup>で、LCA手法におけるリサイクルフェーズの評価に関する問題点を指摘し、リサイクルすることによる環境影響を評価する場合には、リサイクルによって再生材料を製造する場合の環境負荷と、ごみとして処理処分した場合の環境負荷に再生材料と等価の材料をバージン資源から製造する場合の環境負荷を加えて比較する必要があることを述べた。また、

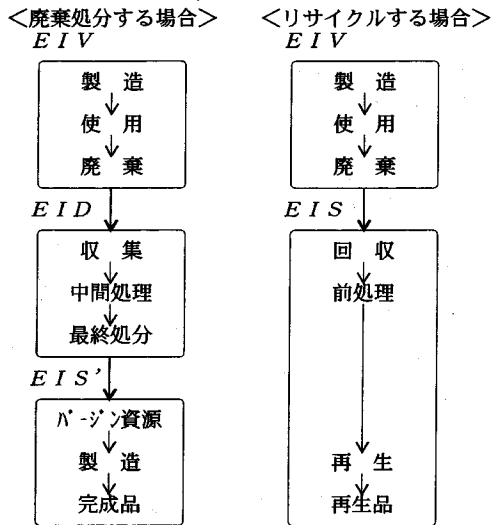


図-1 評価範囲

わが国の現状のリサイクルシステムでは再生にかかわる環境負荷よりも輸送距離，減容化の有無がリサイクルする場合の環境負荷を左右する可能性が高いため，それらを評価に反映する必要があることを指摘し，これらに対応できる評価手法を提案した。

さらに，既論文ではケーススタディとしてマテリアルリサイクルを扱い，リサイクルの環境影響上の効果の定量化を行ったが，本論文ではサーマルリサイクルにも適用し，リサイクルの形態の違いによる環境負荷の比較を行った。さらに，新たに最終処分することによる環境負荷の定量化の考え方を述べ，これを取り入れた評価を行った。

## 2. リサイクル効果の定量化の考え方と主なプロセスの環境負荷原単位

### (1) 評価対象プロセス

LCA手法を使ってリサイクルすることが環境影響上どれだけ効果があるかを評価する場合，図-1に示す $(EIV+EIS)$ と $(EIV+EID+EIS')$ の環境負荷を比較する必要がある(リサイクルによってつくられた二次製品はさらにリサイクルして三次製品材料となるというサイクルが考えられるが，ここでは二次製品までの環境負荷を考える)。

リサイクルありのシステム $=EIV+EIS$

リサイクルなしのシステム

$=EIV+EID+EIS'$

$EIV$  : 一次製品が廃棄されるまでの環境負荷

$EID$  : 廃棄物処理・処分による環境負荷

$EIS$  : 二次製品製造の環境負荷

$EIS'$  : 二次製品と等価の製品をバージン資源から製造することによる環境負荷

ここで，両者とも $EIV$ は同等であることから実際には廃棄以降の $EIS$ と $(EID+EIS')$ の比較を行うことになる。

リサイクルの形態にはリユース，マテリアルリサイクル，ケミカルリサイクル，サーマルリサイクル(エネルギーリカバリー)があるが，それぞれの形態について，リサイクルにかかわる環境負荷( $EIS$ )と，廃棄物として処理処分することによる環境負荷( $EID$ )，二次製品と等価の製品をバージン資源から製造することによる環境負荷( $EIS'$ )を説明すると表-1のようになる。

### (2) 最終処分による環境負荷の定量化の考え方

既論文では中間処理(破碎，焼却)にかかわる環境負荷まで計算に取り入れたが，今回はごみとして処理処分する場合に，さらに最終処分にかかわる環境負荷を新たに取り入れる。最終処分のための環境負荷には，

- ① 最終処分場への埋立作業に必要な重機(ブルドーザー，ダンプ等)の稼働に伴う環境負荷(重機を運用することによる化石燃料の消費による大気汚染物質等の排出によるもの)
- ② 最終処分場埋立物質からの排出物による環境負荷(最終処分場に埋立後，対象廃棄物から排出される浸出水と温室効果ガスの排出によるもの)
- ③ 最終処分を行うことによる環境資源の喪失による間接的な環境負荷(埋め立てることにより森林資源等が失われることによるもの)

が考えられる。現段階では③は把握できないため，

- ①，②を最終処分による環境負荷と考える。ここで，一般的に製品製造時にも資本財に必要な環境負荷(工場建設や機械製造のためのもの)は考慮していないため，最終処分場を造成するために必要な環境負荷は考慮しない。

また，ここではある年度に排出される浸出水は，その年度に埋め立てられた廃棄物から発生すると考え，埋立処分場浸出水の環境負荷には浸出水処理に消費される電力，薬品，処理により発生する汚泥量も評価に含める。

### (3) 主なプロセスの環境負荷原単位

ある都市の中間処理(破碎)施設，最終処分場の実態調査によって得られた中間処理と最終処分のそれぞれにかかる環境負荷原単位を表-2，3に示し，本研究でのそれぞれのプロセスの環境負荷計算にはこれらの原単位を用いる。

表-1 リサイクル形態別の環境負荷評価プロセス

リサイクル形態	内容	環境負荷評価プロセス
リユース	使用済商品を廃棄せずに再び利用することである。ビール瓶の再利用や自動車業界における中古車が該当する。	リサイクルする場合の環境負荷としては、回収、リユースのための前処理（ビンの場合は洗浄、中古車の場合は整備）等に関わるものが考えられる。 廃棄物として処理・処分する場合の環境負荷としては、中間処理、最終処分時の環境負荷、リユース品と同等の製品をバージン資源から製造するまでの環境負荷が考えられる。
マテリアルリサイクル	廃棄された材料をもう一度材料として利用する方法である。この例としては、アルミ缶、スチール缶、紙のリサイクル等が挙げられる。このとき、再生材料の品質の劣化は避けられず、再生材料は必ずしも同一製品に利用されるとは限らない。	リサイクルする場合の環境負荷としては、回収、破碎などリサイクルに必要な中間処理、再生材料の部品、製品への加工等に関わるものがある。 廃棄物として処理・処分する場合の環境負荷としては、中間処理、最終処分時の環境負荷、再生材料や部品と同量同程度の材料、部品をバージン資源から製造するときの環境負荷が考えられる。
ケミカルリサイクル	石油製品（プラスチック製品）を、化学反応によって石油製品の出発原料であるモノマーまで戻し、これを再合成して再生材料、再生燃料を製造する方法である。	リサイクルする場合の環境負荷としては、回収、破碎などリサイクルに必要な中間処理、再生材料の部品、製品への加工等に関わるものが考えられる。 廃棄物として処理・処分する場合の環境負荷としては、中間処理、最終処分時の環境負荷、再生材料や部品と同量同程度の材料、部品をバージン資源から製造するときの環境負荷が考えられる。
サーマルリサイクル (「リカバリー」)	いわゆる熱回収のことであり、ごみ焼却時に発生する低圧蒸気を利用して蒸気タービンを回して発電するごみ発電が一般的な形態である。	リサイクルする場合の環境負荷としては、ごみ回収、焼却、発電時の環境負荷等が考えられる。 廃棄物として処理・処分する場合の環境負荷としては、焼却処理、最終処分時の環境負荷、ごみ発電により発電される電力量と同量の電力をバージン燃料を用いて発電するときの環境負荷が考えられる。

表-2 破碎時の環境負荷原単位

投入物	排出物
電力 $1.55 \times 10^{-2}$ kwh/kg (34.9 kcal/kg)	CO <sub>2</sub> $2.7 \times 10^{-3}$ kg-C/kg NOx $7.4 \times 10^{-6}$ kg/kg SOx $5.0 \times 10^{-6}$ kg/kg
軽油 $6.00 \times 10^{-4}$ l/kg (5.5 kcal/kg)	
エネルギー消費量 4.0 × 10 <sup>4</sup> kcal/kg	ダスト $2.0 \times 10^{-1}$ kg/kg 汚泥 $9.1 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup> /kg

表-3 埋立作業時の環境負荷原単位

投入物	排出物
軽油 $9.4 \times 10^{-4}$ l/kg	CO <sub>2</sub> $6.7 \times 10^{-4}$ kg-C/kg NOx $7.5 \times 10^{-6}$ kg/kg SOx $3.0 \times 10^{-6}$ kg/kg
エネルギー消費量 8.6 kcal/kg	

#### 4. ケーススタディによる評価

提案した評価手法を用いて、PSPトレイを対象としてリサイクル効果の定量化評価を行う。

##### (1) 前提条件

###### a) 評価対象製品

評価対象のPSPトレイは、一般的に流通している製品（D125×W180×H35mm、4.4g）<sup>17)</sup>とした。評価では、使用枚数を「1枚/日/人」とし、これよ

り1世帯の年間使用枚数を「1,500枚/年」と設定した。この設定した「1,500枚」がリサイクル、処理・処分された場合を想定して評価を行う。

また、マテリアルリサイクルを行うにあたって、PSPトレイ排出者によって、洗浄し選別が行われているものとし、評価範囲は材料製造までとする。

###### b) シナリオの設定

本研究ではリサイクル効果の定量化を行うとともに、リサイクル形態の違いによる環境負荷の差を定量化も行えるように次の2つのシナリオを設定して評価を行う。

##### <シナリオⅠ：マテリアルリサイクル>

- I-1 マテリアルリサイクルを行った場合
- I-2 可燃物として処理・処分する場合
- I-3 不燃物として処理・処分する場合

評価範囲は、製造メーカーのリサイクル工場で再生PSベレットを製造するまで<sup>18)</sup>であり、図-2に示す通りである。

##### <シナリオⅡ：サーマルリサイクル>

今回の評価では、サーマルリサイクルはごみ発電とした。

- Ⅱ-1 ごみ発電を行った場合
- Ⅱ-2 可燃物として処理・処分する場合
- Ⅱ-3 不燃物として処理・処分する場合

ごみ発電施設の発電方式は蒸気タービンのみで発電

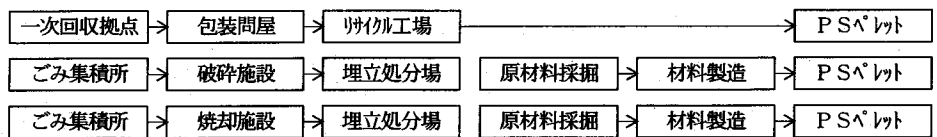


図-2 マテリアルリサイクルの評価範囲

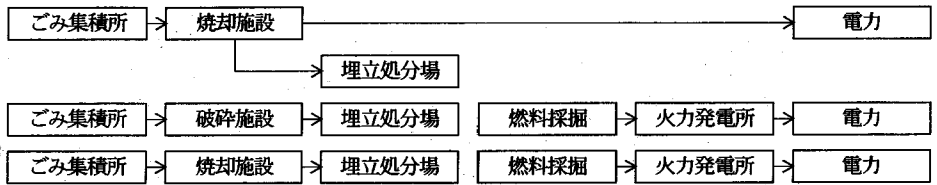


図-3 サーマルリサイクルの評価範囲

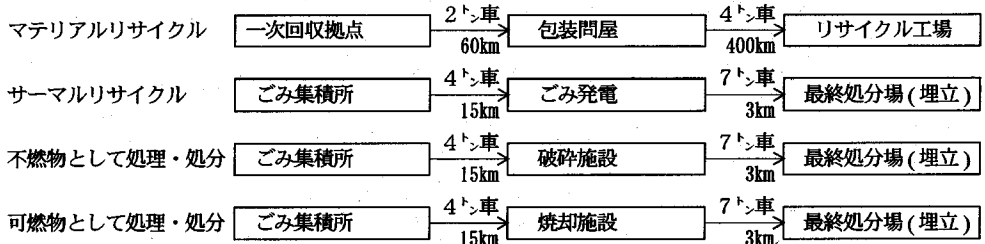


図-4 PSPトレイの廃棄後の流れ

を行うものとし、発電効率を15%と設定した<sup>19)-21)</sup>。また、ごみ発電の比較対象となる電力の発電方式は石油火力発電とした。

評価範囲は発電までと焼却灰の埋立処分までであり、図-3の通りである。

c) 評価項目

評価項目は「エネルギー消費量」「CO<sub>2</sub>排出量」「天然資源消費量」の3つである。「エネルギー消費量」はエネルギー資源消費量を熱量換算<sup>22)-25)</sup>して求めた。

d) 輸送条件

<輸送距離>

輸送距離はモデル的な地域の実測データを用いて評価を行う。ある都市で行った調査結果をモデル化して図-4に示す。

<環境負荷原単位>

輸送による環境負荷は次の値<sup>26)</sup>を用いて算出した。

	燃料消費量	CO <sub>2</sub> 排出原単位
2トﾝ車	8.0km/l	0.089kg-C/km
4トﾝ車	6.5km/l	0.109kg-C/km
7トﾝ車	3.5km/l	0.202kg-C/km

(2) 評価結果

a) マテリアルリサイクルの効果<シナリオI>

評価結果を図-5, 6に示す。

これによると廃棄物として処理処分するよりも、リサイクルの方が「エネルギー消費量」「CO<sub>2</sub>排出量」ともに少なくなっている。両方で大きな差は、ペレット製造時の環境負荷の違い(エネルギー消費の場合、バージンペレット製造は再生ペレット製造の約60倍)に起因する。

輸送プロセスに注目すると、リサイクルの場合、本リサイクルシステムでは輸送距離が非常に長く、未破碎のまま輸送しているために輸送効率も悪いため、輸送による環境負荷が大きくなっている。

さらに、可燃物として処理・処分した場合と不燃物として処理・処分した場合とを比較した場合、「エネルギー消費量」の差はほとんどないが、「CO<sub>2</sub>排出量」は、焼却時に大量にCO<sub>2</sub>を排出するため可燃物として処理・処分した場合の方が排出量が多くなっている。

「天然資源消費量」の面では、リサイクルする場合は新たな天然資源(原油)を投入せずに廃棄トレイ1,500枚(6.6kg)から再生ペレットを5.5kg製造できる。

これに対してバージン資源から5.5kgのペレットを製造するには約5.9kgの原油が必要である。つまり、1,500枚のPSPトレイをリサイクルすることで約5.9kgの原油使用が削減できることになる。

シナリオ1

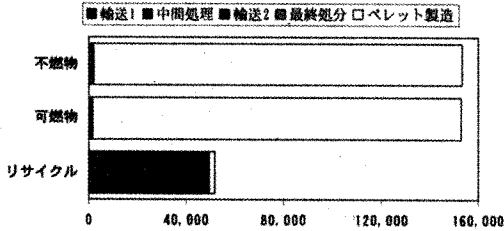


図-5 マテリアルリサイクルの効果 (エネルギー消費量: kcal/年・世帯)

シナリオ1

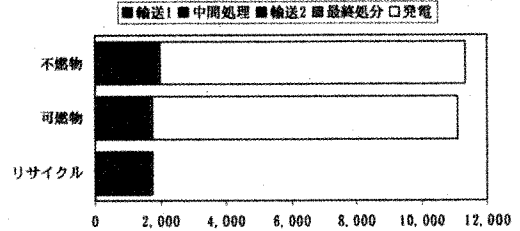
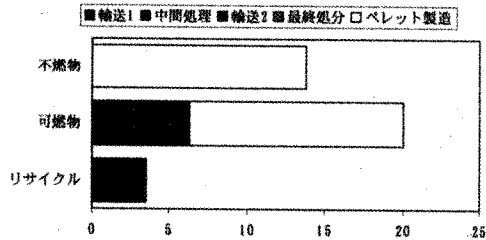
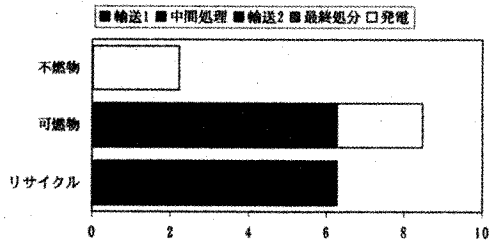


図-7 サーマルリサイクルの効果 (エネルギー消費量: kcal/年・世帯)

シナリオ1

図-6 マテリアルリサイクルの効果 (CO<sub>2</sub>排出量: kg-C/年・世帯)

シナリオ1

図-8 サーマルリサイクルの効果 (CO<sub>2</sub>排出量: kg-C/年・世帯)

## b) サーマルリサイクルの効果&lt;シナリオII&gt;

評価結果を図-7, 8に示す。

図に示したように、「エネルギー消費量」はリサイクルの場合が少なく、「CO<sub>2</sub>排出量」は不燃物として処理処分する場合が少なくなっている。このように、サーマルリサイクルはマテリアルリサイクルよりもリサイクルの優位性が明確に現れなかった。これは、ごみ発電の発電効率が低い(15%)ため少量しか発電できず、その発電には焼却処理を伴うために「CO<sub>2</sub>排出量」が多く、環境負荷原単位に大きな違いがないためである。

発電における「天然資源消費量」については、サーマルリサイクルする場合は新たな天然資源(原油)を投入せずに廃棄トレイ1,500枚(6.6kg)から約4.2kWh発電できる。これに対してバージン資源を利用して4.2kWhを発電する場合には約1kgの原油が必要である<sup>27)</sup>。このことから、サーマルリサイクルにより約1kgの原油使用が削減できることになる。

## c) リサイクル効果の比較

マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルは再生物質が異なるため、同等に比較することはできないが、マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルを比較した結果を図-9, 10に示す。

図からもわかるように、「エネルギー消費量」はサーマルリサイクルの場合が少なく、「CO<sub>2</sub>排出量」はマテリアルリサイクルの場合が少なくなっている。

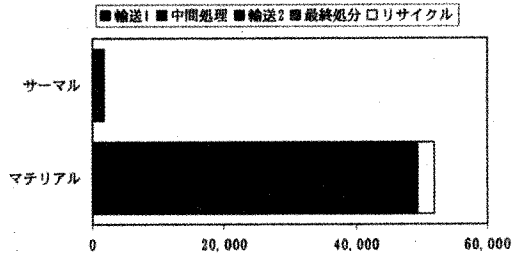
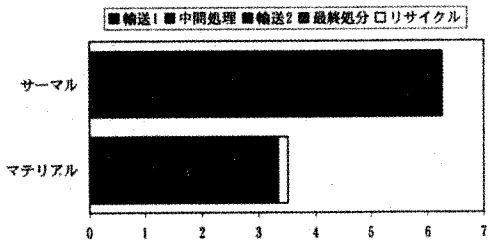
CO<sub>2</sub>排出量

図-9 マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの比較 (エネルギー消費量: kcal/年・世帯)

CO<sub>2</sub>排出量図-10 マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの比較 (CO<sub>2</sub>排出量: kg-C/年・世帯)

「エネルギー消費量」の差は、輸送プロセスの環境負荷の違いによるものである。これは、マテリアルリサイクルの輸送距離が非常に長いいため、環境負荷が増大しているのに対して、サーマルリサイクル(今回の評

価では、ごみ発電)では、各自治体が所有している既存の焼却施設に発電施設を付加してリサイクルを実施すると設定したため、輸送距離が短く、環境負荷が少なくなっているからである。

## 5. 評価結果の考察

### (1) リサイクル効果

提案した手法によるケーススタディの評価により、評価対象地域で PSP トレイの材料リサイクルを実施した場合、以下に示すような効果があることを明らかにできた。

- ・天然資源消費の削減 (原油約 6kg の削減\*)
- ・エネルギー消費の削減 (廃棄する場合の1/3\*)
- ・CO<sub>2</sub> 排出の削減 (廃棄する場合の1/3~1/4\*)

同様に PSP トレイのサーマルリサイクルを実施した場合は、以下に示すような効果が期待できる。

- ・天然資源消費の削減 (原油約 1kg の削減\*)
- ・エネルギー消費の削減 (廃棄する場合の約15%\*)

(\* は1世帯1年当たりの使用量であるトレイ1,500枚分の効果)

### (2) サーマルリサイクル効果定量化についての問題点

本評価により、材料リサイクルについてはその効果が明確に現れているが、サーマルリサイクルについてはその効果が明確に現れていない。その理由としては以下に示すことが考えられる。

- ・発電方式の熱効率が低く (15%) 発電量が少い蒸気タービン方式と設定
- ・トレイ消費量がリサイクル効果の有無に対して結論づけるには少ない (1,500 枚)

### (3) 輸送条件を変えた場合のリサイクル効果の比較

本評価では、評価対象地域の実測データを利用したことにより、以下に示すような評価対象地域の社会システムの抱える問題点を明確にできた。

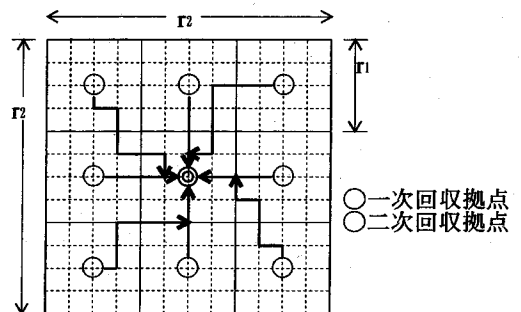
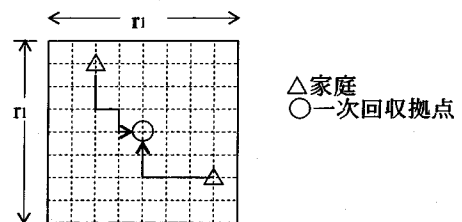
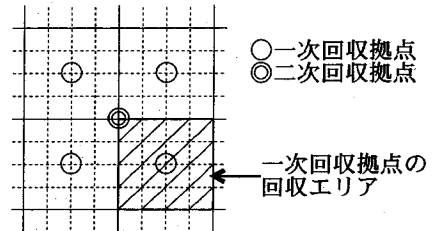
- ・リサイクル施設が遠いと、輸送プロセスの環境負荷が非常に大きくなる。
- ・軽量で空隙の多い PSP トレイを破碎せずに輸送すると、輸送効率が悪く環境負荷が増大する。

このため、輸送システムの改善により、リサイクルによる環境負荷の大幅な低減化を期待できる。そこで、輸送距離をパラメータとして輸送条件の変化がリサイクル効果に及ぼす影響を検討した。

#### a) 前提条件の設定

次に示す人口15万人の中規模都市を想定したモデル域において使用・廃棄される PSP トレイの輸送条件

人口	150,000人
可住地面積	7,000ha
収集戸数	50,000戸
収集 PSP トレイ	150,000枚/日
収集車両積載量	4トナリ車
	未破碎時 36,000枚
	破碎時 (手作業, 容積4/5) 45,000枚
	破碎時 (機械破碎, 容積1/10) 360,000枚



の影響を検討する。

輸送条件の設定において次の施設の配置を検討する。

- ①一次回収拠点
- ②二次回収拠点 (包装問屋)
- ③リサイクル工場
- ④食品加工工場

輸送条件設定における前提条件は次の通りである。

- ①モデル域の都市構造を均一と考え、モデル域内の任意の地点から他の地点への輸送は、上記のグリッド状の道路網を利用する<sup>28)</sup>。ここで、各回収拠点は回収エリアの中央に位置するものとする。
- ②一次回収の回収エリア内のグリッド上にある各家庭から一次回収拠点までの平均輸送距離  $D_1$  は、輸送をグリッドに沿って行うと考える。こ

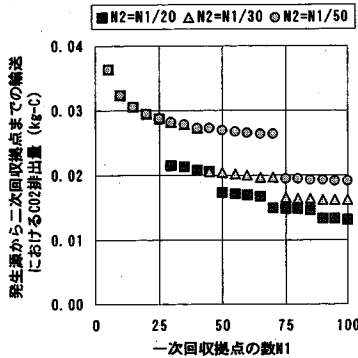


図-11 一次回収拠点、二次回収拠点の数と輸送によるCO<sub>2</sub>排出量

[ PSP トレイ1,500枚当たり, 対象地域面積7,000ha ]  
 N<sub>1</sub>: 一次回収拠点数  
 N<sub>2</sub>: 二次回収拠点数 (一次回収拠点に対する設置数)

の場合, エリアの大きさを( $r_1 \times r_1$ )とすると, すべてのグリッド上の家庭から一次回収拠点までの輸送距離の平均値は

$$D_1 = r_1 / 2$$

で求めることができる。

- ③同様に一次回収拠点から二次回収拠点までの平均輸送距離  $D_2$  は, 次式により求められる。

$$D_2 = r_2 / 2$$

#### b) 回収拠点の設置数

一次回収拠点, 二次回収拠点の設置数の影響を検討した。モデル地域内の一次回収拠点数  $N_1$  を5~100の範囲で変化させ, 二次回収拠点数  $N_2$  を一次回収拠点20箇所に1地点( $N_2=N_1/20$ ), 30箇所に1地点( $N_2=N_1/30$ ), 50箇所に1地点( $N_2=N_1/50$ )とした場合の輸送に関わるCO<sub>2</sub>排出量を算出した結果を図-11に示す。計算は1世帯の年間PSPトレイ消費数1,500枚に対して行った。一次回収拠点, 二次回収拠点の設置数が多い方が輸送による環境負荷を少なくでき, その影響は一次回収拠点の方が大きい。また, 一次回収拠点が75箇所を超えると, それ以上回収拠点を増やしても環境負荷低減割合は小さなものとなり, 二次回収拠点の設置割合の影響も少ないものとなる。

1,500枚のPSPトレイをPSペレットに再生する際に排出されるCO<sub>2</sub>の量が0.17kg-Cであることと比較すると, 各家庭から二次回収拠点までの輸送における環境負荷は, 回収拠点数が多い場合でも再生プロセスにおける環境負荷の10%程度であり, 回収拠点数が少ないと20%以上にもなる。このように, 地域からの回収に係る輸送による環境負荷は再生プロセスにおける環境負荷と比べて無視できるものではなく, しかも回収拠点数が少ないとさらにその影響は大きくなる。

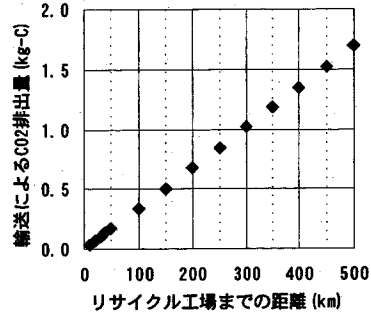


図-12 リサイクル工場までの距離と輸送によるCO<sub>2</sub>排出量

[ PSP トレイ1,500枚当たり, 対象地域面積7,000ha ]

#### c) リサイクル工場の立地

先の解析結果では, PSPトレイをリサイクルする場合の環境負荷の大部分が二次回収拠点からリサイクル工場までの輸送に係るものであった。そこで, リサイクル工場が二次回収拠点よりどの程度の距離の場所に立地していれば再生プロセスからの環境負荷よりも少ない環境負荷となるのかを検討した。

二次回収拠点とリサイクル工場との距離と, 輸送によるCO<sub>2</sub>排出量との関係を図-12に示す。計算は上の場合と同様に, 1世帯の年間PSPトレイ消費数1,500枚に対して行った。

1,500枚のPSPトレイのPSペレット再生時のCO<sub>2</sub>排出量0.17kg-Cと同じCO<sub>2</sub>排出量となるのはリサイクル工場が二次回収拠点から50kmにある場合であり, それ以上であると環境負荷は距離に比例して多くなる。

二次回収拠点までの輸送における環境負荷も考慮すると, リサイクル工場は二次回収拠点より30~40kmの場所に立地していないと, 再生における環境負荷よりも再生するための輸送による環境負荷の方が多くなる。

## 6. 結論

本論文では最終処分を行うことによる環境負荷の考え方を述べ, それを取り入れたLCAを用いたリサイクル効果の定量化を行った。そのうえで, 今回はPSPトレイを評価対象としたケーススタディを行い, マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの効果の定量化を行った。これらの結果, 以下のことを明らかにした。

- ・現状のリサイクルシステムで, マテリアルリサイクルでは環境負荷低減化効果があることを定量的に示した。

- ・リサイクルによる環境負荷には輸送距離、及び輸送効率が大きな影響を与えることを示した。
- ・輸送がリサイクル効果に及ぼす影響をさらに詳細に検討するため、輸送距離を規定する因子として回収拠点の設置数、回収拠点からリサイクル工場までの距離をとりあげた感度解析を行い、モデル地域においてリサイクル効果のある条件を明らかにした。
- ・ケーススタディによりサーマルリサイクルによるリサイクル効果の定量化はさらに検討を行う必要があることを示した。

今後は本手法によるリサイクル効果の定量化を他のリサイクル方法（リユース、ケミカルリサイクル）にも適用し、それぞれについてリサイクル効果の定量化を行うとともに、リサイクル方法の違いによるリサイクル効果の違いを比較し、リサイクルによる環境負荷を低減化する方法を明らかにする必要がある。

**謝辞：**最後に、本研究の遂行に当たり計算の実行過程において協力を得た関西大学大学院生・平田明寿君（現、㈱日水コン）、及び種々の面からお世話になった方々、調査・評価に協力していただいた研究室の方々に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 和田安彦：ごみリサイクルー環境にやさしいライフスタイルの提案一，読売新聞社，1991。
- 2) 環境庁編，環境にやさしい暮らしの工夫，「暮らしと環境に関する研究会」報告書，1989。
- 3) 環境庁リサイクル研究会編，リサイクル新時代ー環境保全のための循環型社会に向けて一，中央法規，1991。
- 4) (財)クリーン・ジャパン・センター編，リサイクルキーワード，(財)経済調査会，1993。
- 5) 村田徳治：最新リサイクル技術の実際，オーム社，1993。
- 6) 本田淳裕：ごみにならない製品の開発，日刊工業新聞社，1993。
- 7) 寄本勝美：省資源・リサイクル社会の構築，2. リサイクルをめぐる公共政策と経済的手法，ぎょうせい，1994。
- 8) 郡島 孝：リサイクルの採算性をめぐる諸問題，廃棄物学会誌，Vol. 2, No. 2, pp. 124-130, 1991。

- 9) 植田和弘：廃棄物とリサイクルの経済学 大量廃棄社会は変えられるか，有斐閣選書，497, 1992。
- 10) 寺西俊一：地球環境問題の政治経済学，東洋経済新報社，1992。
- 11) 熊本一規：ごみ問題への視点，三一書房，1995。
- 12) (社) 未踏科学技術協会・エコマテリアル研究会編，LCAのすべてー環境への負荷を評価する一，工業調査会，1995。
- 13) 山本良一：「LCA～地球へのやさしさの尺度～環境への負荷の定量的評価法」に向けて，日本の科学と技術，Vol. 35, No. 273, pp. 18, 1994。
- 14) 和田安彦，三浦浩之，他：日本のLCA的研究の動向とその特徴，廃棄物学会誌，Vol. 6, No. 1, pp. 54-61, 1995。
- 15) 和田安彦，三浦浩之，中野加都子：日本のLCA研究の現状と課題，環境科学会誌，Vol. 8, No. 1, pp. 47-58, 1995。
- 16) 和田安彦，三浦浩之，平田明寿：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。
- 17) プラスチックなど包装材料の環境影響評価（LCA），(社)プラスチック処理促進協会，1993。
- 18) R. J. Ehrig 編著，プラスチックリサイクリング研究会訳，プラスチックリサイクリング，工業調査会，1993。
- 19) 市川元政：ごみ発電の現状と課題，PPM，Vol. 25, No. 7, pp. 5-13, 1994。
- 20) 吉澤 均：ごみ発電の意義と技術開発課題，PPM，Vol. 25, No. 7, pp. 14-25, 1994。
- 21) 折田寛彦，岡田光浩，吉良雅治，山田明弘：ごみ発電システムの適用例，PPM，Vol. 25, No. 7, pp. 41-53, 1994。
- 22) 地球温暖化対策地域推進モデル計画策定調査報告書，平成3年度環境庁委託調査，北九州市，1992。
- 23) 基礎素材のエネルギー解析調査報告書，(社)化学経済研究所，1993。
- 24) 平成4年度石油製品需給適正化調査報告書ー自動車用石油代替エネルギー導入によるCO<sub>2</sub>削減効果調査一，三菱総研，1992。
- 25) 廃プラスチックの処理・再資源化に関する環境影響評価，(社)プラスチック処理促進協会，1992。
- 26) 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，(社)プラスチック処理促進協会，1993。
- 27) 松井兼一：エネルギーデータの読み方使い方，電力新報社，1991。
- 28) 包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析，包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会，1995。

(1995. 2. 22受付)



A NEW APPROACH TO ESTIMATION OF THE EFFECT  
OF RECYCLING FOR LCA  
— A CASE OF PSP TRAY —

Yasuhiko WADA, Hiroyuki MIURA and Kazuko NAKANO

This paper presents a new approach to estimation of environmental impacts at the process of recycling quantitatively for Life Cycle Assessment. The method assesses an effect of recycling on reducing the environmental impacts with the comparison of environmental loads from the process of recycling and the loads from the process of the same product manufacturing from natural resources. An effect of material recycling and thermal recycling of PSP tray is estimated with the new method. An improvement of the efficiency of transportation of discarded PSP tray is effective to reduce the environmental impacts from the life-cycle of the PSP tray.