

市民の受入れ意思を考慮した 飲料用PETボトルリサイクルの評価

和田安彦¹・中野加都子²・尾崎平³・岩本綾乃⁴

¹正会員 工博 関西大学教授 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:ywada@ipcku.kansai-u.ac.jp

²正会員 博(工) 関西大学研究員 先端科学技術推進機構 (同 上)

³正会員 修(工) 関西大学助手 工学部都市環境工学科 (同 上)

⁴学生会員 関西大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (同 上)

PETボトルのクローズドリサイクルを想定したリサイクルPETボトル、リユースPETボトルおよびバージン材PETボトルの回収率の違いによる環境負荷、コストを定量した。さらに、アンケート調査により、リサイクル、リユースPETボトルに対する市民の受入れ意思も明らかにした。得られた各結果より、各PETボトルの環境負荷、コスト、受入れ意思を統合した総合評価を行った。その結果、回収率が50%以下の場合、バージン材PETボトルの評価が最も評価が高く、回収率が60%以上の場合、リサイクルPETボトルが最も評価が高くなった。リユースPETボトルは回収率にかかわらず、今回最も低い評価であった。リユースPETボトルの評価を高めるためには、回収率とともに市民の受入れ意思の向上が必要である。

Key Words : PET bottle, recycle, reuse, citizens consciousness

1. 結論

現在、使用済みのPETボトルは分別収集や拠点回収により、主に自治体が回収し、再資源化あるいは処理がされている。PETボトル再資源化は容器包装リサイクル法のもとに進められており、法施行前は、10%¹⁾を下回っていた回収率(=分別収集量/PETボトル用樹脂生産量)が2002年度では、45.6%¹⁾まで上昇している。現在、PETボトルの再利用品は、構成比で繊維製品が52%、シート製品が41%とその両者が大半を占めている²⁾。しかし、再びPETボトルへ作り変えるため(PET to PET)の技術が開発されており、事業化の見通しが立っている。また、諸外国においてはPETボトルのリユースも行われている。

PETボトルの回収率は向上しているものの、近年、PETボトルの生産量も増加しており¹⁾、それに伴いリサイクルされる使用済みPETボトルの量も増加することから、再生される製品の需要を確保することが重要になっている。その観点から、使用済みPETボトルを再びPETボトルの資源とすることが出来れば需要に関する問題は解消され、循環型社会形成に向けて有効な手段となる。しかし、そのためには使用済みのPETボトルを利用したPETボトルが十分に市民に受け入れられ、購入されなければならない。

さらに、PETボトルをリサイクルする場合にも、回収や中間処理、再商品化等の過程においてバージン材からのPETボトルの製造時と同様、石油や電力などのエネルギー資源を消費する。これに伴う環境負荷やコストがバージン材から製造するよりも高環境負荷・高コストであってはリサイクルの意義に反する。

本研究では、今後のPETボトルリサイクルに関して、循環型社会の形成のためにPETボトルから再びPETボトルを製造するクローズドシステムを前提とし、環境負荷・コストだけではなく、再生PETボトル飲料に対する利用の市民意識も考慮して検討を行った。具体的には、ボトルtoボトルを行う「リサイクルPETボトル」とリユースを行う「リユースPETボトル」、さらに比較のためにリサイクルを行わない「バージン材PETボトル」の3つのケースを想定し、3者の環境負荷とコストを比較した。また、市民を対象として再生商品やリサイクルPETボトルとリユースPETボトルについて意識調査を行い、両者が実現した場合に受入れられるかを調査した。そして、環境負荷、コストの算出結果と市民の意識から総合評価を行い、「バージン材PETボトル」「リサイクルPETボトル」「リユースPETボトル」の3者を比較し今後のPETボトルリサイクルの方向性について検討した。

2. 本研究の位置づけ

地球規模での環境問題への取り組みや、循環型社会の形成を目指した容器包装リサイクル法の制定を背景として、容器包装類のリサイクルに関する論文は多数発表されている。

安田³⁾は研究発表会で、自治体におけるPETボトルのリサイクルの取り組みに関して、社会的費用便益分析を用いた評価を行っている。特に、処理に伴う環境負荷をLCAを用いて測定し、その価値を貨幣換算して評価に組み込んでいる。その結果、指定法人ルート・独自のルートを採用しているいずれの自治体においても社会的便益がマイナスとなりシステムの改善が必要であることを示唆している。澤谷・花木⁴⁾は研究発表会で、スチール缶、アルミ缶、PETボトル、リターナブルびん、紙容器を対象としてLCAを用いてリサイクルにおける環境負荷の検討を行っている。いずれの飲料容器の場合でも自治体による収集に伴う環境負荷が大きいことが明らかとなっており、PETボトルに関しては、使用済みのPETボトルから再びPETボトルを製造することが環境負荷の面から望ましいという結果を示している。寺園ら⁵⁾は研究発表会で、PETボトルを、リサイクルなし、ケミカルリサイクル、マテリアルリサイクル、再使用の4つの処理方法での環境負荷・コストを定量し、いずれもリサイクルなしより環境負荷・コストを低減できることを示している。

PETボトルのリサイクルなどに対する市民調査では、及川・谷川⁶⁾が研究発表会で家庭に対してPETボトルの購入や回収への協力、再生商品についての購入やイメージについての質問を行い、消費者の意識の把握を行っている。その結果、消費者のリサイクルに対する意識は向上しているが、行動としては協力できていないことが明らかになっている。さらに、消費者にとって再生商品が識別しにくいこと、再生商品が「価格が高い」「種類が乏しい」と捉えられていることが、再生商品の購入の進まない原因として挙げられている。

以上のようにPETボトルのライフサイクルにわたる環境負荷やコストを定量し評価したものや、容器間のリサイクル費用を比較したもの、容器毎に適したリサイクル方法を示した論文は見られる。しかし、環境負荷・コストだけでなく、市民の評価を取り入れたPETボトルのリサイクルシステムについて評価を行ったものは皆無である。また、欧州の一部では、PETボトルのリユースが普及しているが、国民性の違いなどから、日本において、リユースPETボトルあるいはリサイクルPETボトルが受け入れられるかは明らかになっていない。

本研究では、今後のPETボトルのリサイクルシステム

について環境負荷、コストに加え、市民意識も考慮した評価を行った。

3. 総合評価方法

「バージン材PETボトル」「リサイクルPETボトル」「リユースPETボトル」の3者を比較するために用いた評価方法を示す。

(1) 総合評価指標

循環型社会形成に向けたクローズド・システム型のPETボトルリサイクルシステムを評価するためには、実際にPETボトル飲料水を購入する市民に受け入れられるかを併せて評価する必要がある。そのため「バージン材PETボトル」、「リサイクルPETボトル」、「リユースPETボトル」3者のいずれが最適であるかを評価するために環境負荷、コスト、市民の意識によって総合評価を行う。

総合評価の算定式を式(1)に示す。総合評価値は、各PETボトルの環境負荷とコストを相対評価したものに、環境負荷とコストの重要度(重み)を乗じ、その和に各PETボトルの受け入れ意思割合を乗じて求める。総合評価値が大きいほど、評価が高いことを意味する。

$$T_i = (\alpha I_i + \beta C_i) \cdot W_i \quad (1)$$

ここで、 T : 総合評価値、 I : 環境負荷の相対評価値、 C : コストの相対評価値、 α : 環境負荷の重要度、 β : コストの重要度($\alpha + \beta = 1.0$)、 W : (バージン材PETボトル、リサイクルPETボトル、リユースPETボトル)の受け入れ度、添字 i : 各PETボトルの方策を表す。

式(1)中の $(\alpha I_i + \beta C_i)$ は、製品製造とリサイクルシステムを環境負荷、コスト面から評価するものである。環境負荷、コストという異なる次元のものを統合評価するために、環境負荷、コストを指数化し、さらに環境負荷とコストに重み付けを行った。重み付け(α , β)は、製品製造・リサイクルする際に環境負荷とコストのどちらが重要であるかを評価するものである。受け入れ度(W)は、リサイクルPETボトル、リユースPETボトルが市民にどれだけ受け入れられるか、購入されるかを評価するものである。

したがって、式(1)は製品製造・リサイクルする際の環境負荷、コスト及び市民の受け入れ意思を考慮した総合的な評価指標である。

(2) 環境負荷・コストの算定方法

環境負荷，コストはLCA，LCC手法を用いて算出する。「バージン材PETボトル」「リサイクルPETボトル」「リユースPETボトル」の評価範囲を設定し，積み上げ法により算出した。詳細は，4章，5章で述べる。

(3) 環境負荷・コストの相対評価値(C , C_i , α , β)

算出した環境負荷，コストの相対評価の方法は，「バージン材 PET ボトル」「リサイクル PET ボトル」「リユース PET ボトル」3者のうち，最も環境負荷，コストの少ないPETボトルを「10」と指数化し，その他のPETボトルについては，環境負荷量，コストの比に応じて指数値(C , I)を与えた。

環境負荷とコストを統合評価する場合，方策の実施により生じる環境負荷，コストの重要度を考慮しなければならない。例えば，コストは少なく，環境負荷が大きい方策 A とコストは高く，環境負荷が小さい方策 B を比較した場合，市民がコストよりも環境負荷をより重要と判断すると，その重要度によっては，方策 A よりも方策 B が選定されなければならない。

本研究では，環境負荷とコストの重要度を，主観を取り入れ合理的に示すことが出来る AHP 法 (Analytic Hierarchy Process) ⁷⁾を用いて算定した。この手法により製品製造及びリサイクルを行う方法に対して市民が「環境への優しさ」と「価格」の要素をどの程度重要視するかを算出し「環境への優しさ」に対する重要度を環境負荷の相対的な重要度 α ，「価格」に対する重要度をコストの相対的な重要度 β とした。なお，重要度の算出については後述の(6)で詳しく述べる。

(4) 各PETボトルの受け入れ度(W)

各 PET ボトル(バージン材 PET ボトル，リサイクル PET ボトル，リユース PET ボトル)に対する市民の受け入れ意思をアンケート調査より明らかにした。

具体的には，リサイクル PET ボトルとリユース PET ボトルを購入しても良いと答えた人の割合を各 PET ボトルの受け入れ度とした。なお，現状のバージン材からの PET ボトルは，今回対象とした被験者全員が購入したことがあるため，受け入れ度は100%とした。

4. 各PETボトルのLCA評価

(1) LCA評価の範囲

a) 各PETボトルの評価範囲の概要

本章では各PETボトルの環境負荷をLCA手法を用いて定量した。各PETボトルの評価範囲は，図-1～図-3に

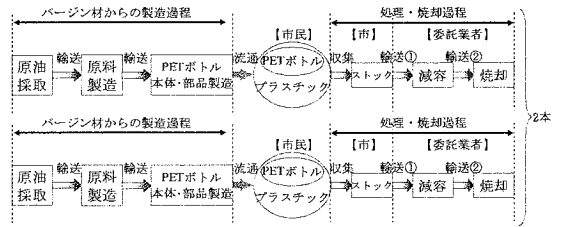


図-1 バージン材 PET ボトルの評価範囲

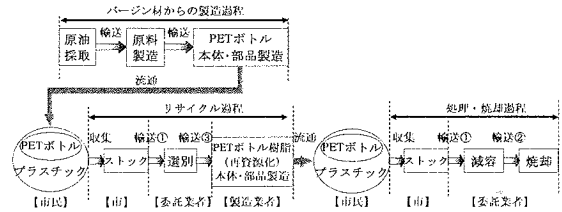


図-2 リサイクル PET ボトルの評価範囲

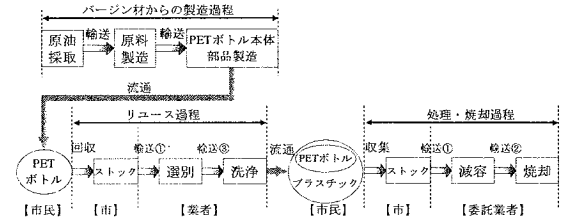


図-3 リユース PET ボトルの評価範囲

示すとおり，資源採取から焼却までを対象とした。各PETボトルの機能単位を統一するため，評価対象はPETボトル2本とし，いずれの場合も単位重量当たりの環境負荷量に換算して評価した。

具体的には，バージン材PETボトルは，原油採取から焼却までを2サイクルとした。リサイクルPETボトル，リユースPETボトルは1本目はバージン材から製造するとし，2本目をリサイクル，リユースするとした。また，ともに一度リサイクル，リユースしたものは焼却処分するとした。なお，リサイクル，リユースPETボトルのキャップ，ラベル，パッキンについては，2本目もバージン材を使用するとした。

リユースPETボトルは欧州諸国では厚手のものが使用されている例もあるが，現在では薄手のPETボトルも使用されている⁸⁾。したがって，本研究ではバージン材，リサイクル，リユースPETボトルとも同様の形体のボトルとした。

b) バージン材からのPETボトル製造の評価範囲

バージン材からのPETボトル製造過程(図-4)は，PETボトルの原料となる原油採取，テレフタル酸やエチレングリコールといった素材製造，容器成型までを評価範囲とした。

対象としたPETボトルは、容量1.5L、重量は本体が60.00g、キャップが2.87g、パッキンが0.29g、ラベルが1.29gの合計64.45gとした⁸⁾⁹⁾。

c) 処理・焼却過程の評価範囲

処理・焼却過程の評価範囲は、家庭から排出されたPETボトルをストックヤードまで集める収集過程、ストックヤードから減容施設までの輸送①、減容、減容施設から焼却施設までの輸送②および焼却とした。減容および焼却は、PETボトルを減容、焼却するために必要となる燃料消費に伴う環境負荷を対象とし、さらに焼却は、PETボトル燃焼に伴う環境負荷も対象とした。なお、収集は、データの得られたA市をモデル都市として利用した。具体的な内容については、後述(3)にて示す。

d) リサイクル過程の評価範囲

リサイクル過程の評価範囲は、家庭から排出されたPETボトルをストックヤードまで集める収集過程、ストックヤードから選別施設までの輸送①(選別施設と減容施設は同じ場所とした)、選別、選別施設から再資源化施設までの輸送③および再資源化とし、再び飲料容器として使用できる状態にするまでとした。選別は、選別に係る燃料消費の環境負荷を対象とし、再資源化は、回収した廃PETからのPET樹脂製造とバージン材を使用するキャップ、ラベル、パッキン製造に係る環境負荷を対象とした。

e) リユース過程の評価範囲

リユース過程の評価範囲は、家庭から排出されたPETボトルをストックヤードまで集める収集過程、ストックヤードから選別施設までの輸送①、選別、選別施設から洗浄施設までの輸送③、洗浄とし、再び飲料容器として使用できる状態にするまでとした。選別および洗浄は、その作業に伴う燃料消費の環境負荷を対象とした。

リユースPETボトルが使用されている欧州諸国では、PETボトルの回収は店頭で行われているが、デポジット制度など経済的手法と同時に進められている場合が多い。しかし、本研究では経済的手法を用いる場合を想定しておらず、また、店頭回収では回収率が低下するなどの問題があるため、バージン材、リサイクル、リユースPETボトルとも分別収集で行うと設定した。

f) 評価項目

環境負荷の評価項目はCO₂排出量とし、製造や輸送に用いられる原油・C重油・軽油・電力消費量⁹⁾にCO₂排出原単位¹⁰⁾¹¹⁾を乗じて各資源のCO₂排出量を算出した。使用した原単位の一覧を表-1に示す。

(2) バージン材PETボトル製造の環境負荷算出方法

図-4に示したPETボトルの製造工程から既往研究⁹⁾を参考に、消費エネルギー、原材料に環境負荷原単位を乗

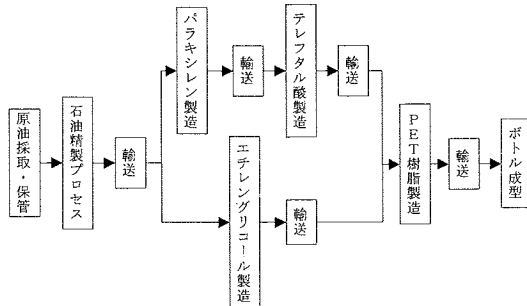


図-4 バージン材からのPETボトル製造工程

表-1 環境負荷原単位一覧

項目		環境負荷原単位	備考	
共通	電力消費	0.380 kg-CO ₂ /kWh	(10)	
製造	原油採取	1.67 × 10 ² kg-CO ₂ /kg	(10)	
	C重油消費	3.22 kg-CO ₂ /kg	(10)	
	20万tタンカー消費C重油	3.13 kg-CO ₂ /kg	(10)	
	2,500tタンカー消費C重油	3.12 kg-CO ₂ /kg	(10)	
	タンカー、トラック消費軽油	3.13 kg-CO ₂ /kg	(10)	
焼却	PETボトル自体の燃焼	1.42 kg-CO ₂ /kg	(11)	
	軽油消費	10t車 3.13 kg-CO ₂ /kg	(10)	
リサイクル	(収集・輸送車両)	4t車		3.13 kg-CO ₂ /kg
		2t車		3.11 kg-CO ₂ /kg
		天然ガス消費(収集車)	2.23 kg-CO ₂ /m ³	(10)

表-2 PETボトル製造における輸送条件

船輸送	20万tタンカー	原油輸送	9割5分積載
	内航タンカー	パラキシレン輸送	往復輸送
トラック輸送	15tタンクローリー	PET樹脂輸送	9割積載
	10tタンクローリー	テレフタル酸輸送	片道100km 往復輸送

じて算出した。輸送条件は表-2を用いた。なお、施設建設や、PETボトルの中身充填及び販売店での保管などの環境負荷は考慮していない。

(3) 収集以降のプロセスに伴う環境負荷の算出方法

本研究では、PETボトルの収集以降の環境負荷やコストを定量するため、PETボトルのリサイクルを実施する前(焼却処理)と実施後(再資源化(フレーク化))のデータが得られたA市を対象とした。

a) 実都市の収集以降プロセスの実態調査

A市は人口約16万人、世帯数は約6万世帯、人口密度は約3,000人/km²の都市である。A市に対してPETボトルの収集方法、処理方法など収集以降のプロセスについて実態調査を行った(表-3)。

A市はPETボトルを他のプラスチック類と一緒に収集している。収集頻度は概ね月2回、市による直営で収集している。収集車は2tパッカー車(ディーゼル車と天然ガス車)で行っている。収集されたPETボトルを含むプラスチック類は市の処理センターにストックされた後、委託業者に引き取られる。

A市では、平成13年度からPETボトルを選別・フレ

ーク化するようになり、その他のプラスチックは廃棄物処理業者によって助燃材として焼却処理している。委託業者に引き取られた PET ボトルの選別は手選別で行われており、ベルトコンベアを用いている。PET ボトルは本体、キャップ、ラベルともにフレーク化される。フレークは再商品化事業者に売却されている。

平成 13 年度以前は PET ボトルもその他のプラスチック類とともに、委託業者を経て、減容されたのち、焼却されていた。

b) 収集過程の環境負荷の算出方法

バージン材 PET ボトルおよびリサイクル PET ボトルの収集は、現在の A 市の収集システムを用いた。

その収集過程の環境負荷は、A 市のヒアリング結果から得られた収集車(パッカー車)の燃料消費量に環境負荷原単位¹⁰⁾を乗じて算出した。

リユース PET ボトルの場合、パッカー車による収集では、リユースできないと考え、平ボディ車(2t 車)による収集とした。パッカー車と平ボディ車の積載量、燃費の違い¹²⁾を考慮して、リユース PET ボトルの収集に伴う環境負荷を算出した。

c) 処理・焼却過程の環境負荷算出方法

ストックヤードから減容施設までの輸送①は、ヒアリングデータから、4t ダンプ車で輸送するとし、得られた燃料消費量に環境負荷原単位を乗じて算出した。減容施設は、施設の消費電力に作業時間と環境負荷原単位を乗じて算出した。減容施設から、焼却施設までの輸送②は、ヒアリングデータから、4t ダンプ車で輸送するとし、得られた燃料消費量に環境負荷原単位を乗じて算出した。

焼却は、施設運用として既往研究⁹⁾に示されている PET ボトル処理量当たりの電力、C 重油、都市ガスの消費量に環境負荷原単位を乗じて算出した。また、PET ボトルの燃焼時に発生する CO₂排出量¹¹⁾も考慮している。

d) リサイクル過程の環境負荷算出方法

収集、輸送①までは、上述と同様とした。選別は、選別、保管、ベアリングを考慮した原単位¹⁰⁾を使用した。再資源化は、再生 PET 樹脂(フレーク化)と再生 PET 樹脂から PET ボトル製造とした。フレーク化は、ヒアリングより得られた単位重量当たりの電力消費量に環境負荷原単位を乗じて算出した。再生 PET 樹脂からの PET ボトルを製造する過程は、バージン材の PET 樹脂のかわりに、再生 PET 樹脂を使用するとし、ボトル成型以後は、バージン材からの PET 樹脂を用い PET ボトル本体を製造する場合と同じとした。

e) リユース過程の環境負荷算出方法

ストックヤードから選別施設の輸送①、選別施設から洗浄施設の輸送③は、4t ダンプの積載量を考慮して環境負荷を算出した。選別は、手選別で行うとし、ベルトコ

表-3 ヒアリング結果

A 市の人口	158,296 人
A 市の世帯数	59,395 世帯
ステーション数	3,049 ヶ所
収集頻度	概ね月 2 回
プラスチック類収集車	ディーゼル車 6 台 天然ガス車 1 台
委託業者による輸送車両	ディーゼル車
選別方法	手選別
PET ボトルの処理方法	フレーク化
フレーク化に要する電力量	92.25kWh
フレーク化に要するコスト	10,471 円/t
フレーク売却価格	5 円/kg

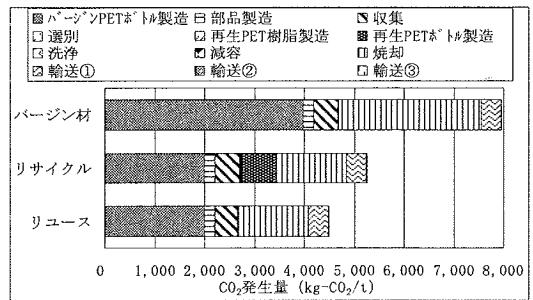


図-5 各 PET ボトルの LCA 評価結果

ンベアの消費電力に環境負荷原単位を乗じて算出した。洗浄は、既往研究¹⁰⁾のリターナブルビンの洗浄の原単位を用いた。

(4) 各 PET ボトルの LCA 評価結果

各 PET ボトルの LCA 評価結果を図-5 に示す。

a) バージン材 PET ボトルの環境負荷

CO₂排出量は、全体で約 7,970kg-CO₂/t である。バージン材 PET ボトル製造に伴う CO₂排出量が 50%と最も大きな割合を占めている。次に大きな割合を占めているのは PET ボトルの焼却に伴う CO₂で合わせて 36%を占めている。収集に伴う CO₂排出量は、全体の 6%と低い。

b) リサイクル PET ボトルの環境負荷

リサイクル PET ボトルの CO₂排出量は約 5,260kg-CO₂/t である。リサイクル PET ボトルの場合も始めは、バージン材から製造するとしているため、バージン材 PET ボトル製造に伴う CO₂排出量が最も多く、約 38%である。また、1 度リサイクルした PET ボトルは焼却すると想定しているため、次に大きな割合を占めているのは焼却に伴う CO₂排出量で約 27%である。選別から再生 PET 樹脂による PET ボトルの製造までの CO₂排出量は、約 14%と小さい。

c) リユース PET ボトルの環境負荷

リユース PET ボトルの CO₂排出量は約 4,510kg-CO₂/t である。リユースの場合も始めは、バージン材から製造す

るとしているため、バージン材 PET ボトル製造に伴う CO₂ 排出量が最も多く、約 44%であり、次に大きな割合を占めているのは焼却に伴う CO₂ 排出量で約 32%である。

d) 各 PET ボトルの環境負荷の比較

算出の結果、リユース PET ボトルの CO₂ 排出量が最も少なくなった。また、いずれのケースに置いてもバージン材からの PET ボトル製造時及び焼却時の CO₂ 排出量の占める割合が高い。

現状のバージン材 PET ボトルでは、PET ボトルの製造および焼却による CO₂ 排出量が大いため、リサイクル PET ボトル、リユース PET ボトルよりも CO₂ 排出量がそれぞれ 1.5 倍、1.8 倍多い。

PET ボトルはそのライフサイクルにおいて、バージン材によって製造する過程および焼却において環境負荷が多く発生することが明らかとなった。

大量の PET ボトルが消費されている今日において、バージン材を用いて大量の PET ボトルを製造し、焼却することは環境へ多大な負荷を与えることになる。使用済みの PET ボトルを用いて再び PET ボトルを製造するリサイクルや、リユースを行うことにより、環境負荷を低減することは可能である。

(5) 回収率を考慮したリサイクル、リユース PET ボトルの LCA 評価

a) 回収率の考え方

上記までの LCA 評価は、機能単位として PET ボトル 2 本として定量した環境負荷を、単位重量あたりに換算して評価したものである。すなわち、上記の条件では、バージン材から製造された PET ボトルが全て回収され、かつ全てがリサイクル、リユース適合物であることを意味する。

しかし、現在の PET ボトル回収率は、公称で 45.6% であり、かつ、その回収された PET ボトル全てがリサイクル、リユース適合品ということはない。

そこで、本研究では、回収率を式(2)のように定義し、回収率の減少により、減少する PET ボトルをバージン材から製造すると設定して評価も行った。

$$\text{回収率(\%)} = \frac{\text{回収量 - リサイクル or リユース非適合物量}}{\text{PET ボトル製造量}} \times 100 \quad (2)$$

b) 評価結果

回収率を考慮したリサイクル PET ボトル、リユース PET ボトルの LCA 評価結果を図-6 に示す。リサイクル、リユースともに回収率が減少することにより、再生 PET 樹脂から PET ボトルを製造する、あるいは、リユースする場合よりもバージン材から製造する PET ボトルの CO₂ 排出量の方が多いため、全体の CO₂ 排出量は増加している。

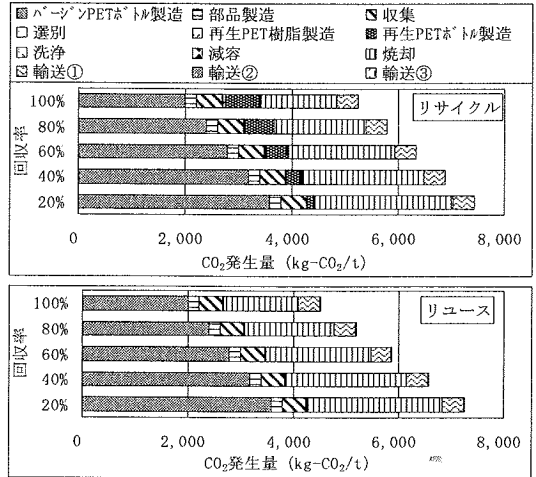


図-6(1) 回収率を考慮した PET ボトルの LCA 評価の内訳

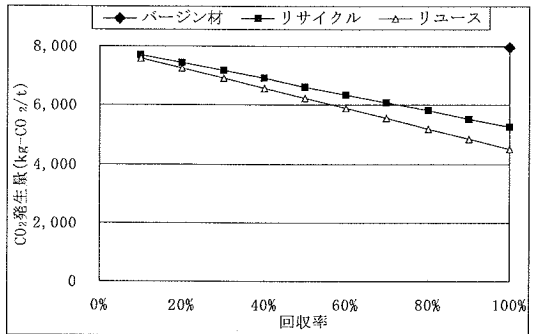


図-6(2) 回収率を考慮した PET ボトルの LCA 評価の結果

しかし、リサイクル、リユースの非適合物量を除外した回収率が 10% になった場合でも、バージン材 PET ボトルの CO₂ 排出量より、リサイクル、リユース PET ボトルの CO₂ 排出量は少ない。

5. 各 PET ボトルの LCC 評価

(1) LCC 評価の範囲

本章では、各 PET ボトルのコストを LCC 手法を用いて定量した。各 PET ボトルの評価範囲は、4 章で示した LCA の評価範囲(図-1~3)と同じであるとした。具体的な LCC の評価範囲を図-7 に示す。燃料消費に伴うコストと、収集や減容、選別、洗浄、その間の輸送については人件費を考慮した。PET ボトルの流通についてのコストは考慮していない。評価対象も、LCA 評価と同様に、各 PET ボトルの機能単位を統一するため、PET ボトル 2 本とし、いずれの場合も単位重量あたりのコストに換算して評価した。

コストは、人件費および製造や輸送に用いられる原油・C重油・軽油・電力消費量等にコストの原単位を乗じて算出した。原単位¹¹⁾¹³⁾¹⁶⁾の一覧を表-4に示す。

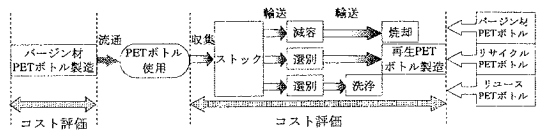


図-7 コストの評価範囲

(2) バージン材 PET ボトル製造のコスト算出方法

バージン材からの PET ボトル製造に伴うコストは、飲料容器メーカーにヒアリングを行ったが、企業秘密に関わるためデータは得られなかった。したがって過去に発表された論文¹⁷⁾に掲載されている「飲料メーカーの容器買値 500mL PET ボトル 1本 26円」を参考とし、全国清涼飲料工業会へのヒアリングから、500mL と 1.5L のコスト比として約 1.35 倍と得られたことから、1.5L の製造に伴うコストは、35.1 円/本とした。

表-4 コスト原単位一覧

		項目	コスト原単位	備考
燃料費	共通	電力消費	25 円/kWh	11)
		軽油消費	68 円/L	13)
		天然ガス	76 円/m ³	14)
		C重油	29,703 円/kL	15)
	焼却	都市ガス	37 円/m ³	16)
人件費	収集・洗浄	2,000 円/人	11)	
	選別・減容	1,000 円/人	11)	
	輸送	19,000 円/日・人	11)	

(3) 収集以降のプロセスに伴う環境負荷の算出方法

a) 収集過程のコストの算出方法

バージン材 PET ボトルおよびリサイクル PET ボトルの収集は、環境負荷と同様に現在の A 市の収集システムを用いた。その収集過程のコストは、A 市のヒアリング結果から得られた収集車(パッカー車)の燃料消費量に燃料単価を乗じて求めた。

リユース PET ボトルの場合は、平ボディ車(2t 車)による収集とし、パッカー車と平ボディ車の積載量、燃費の違い¹²⁾を考慮して、リユース PET ボトルの収集に伴うコストを算出した。

A 市では 1 台あたりの作業員を 2 名、6 台で収集していることから計 12 名ですべての PET ボトルを回収している。そのため、収集の人件費は、作業時間を 8 時間/日、勤務日数は 240 日とし、労務単価を乗じて求めた。

なお、車両の購入費は考慮していない。

b) 処理・焼却過程のコストの算出方法

処理・焼却過程のコストは、運転にかかる燃料消費量のヒアリング結果に各単価を乗じて求めた。

減容の人件費は作業員を 2 名、作業時間を 7 時間/日、勤務日数は 240 日とし、労務単価を乗じて求めた。焼却の人件費は、PET ボトル焼却のためだけに作業員がいるわけではなく、また、全体のごみ量に占める割合が小さいことから、重量比による按分も行わず、今回は無視した。なお、施設の建設、機器の購入費は考慮していない。輸送は、燃料消費量に燃料単価を乗じて算出した。輸送の人件費は、勤務日数 240 日として労務単価を乗じて求めた。

c) リサイクル過程のコストの算出方法

選別は燃料や電力の消費量に単価を乗じて求め、フレーク化に伴うコストはヒアリングによってデータを入力した。選別の人件費は、ヒアリングより、作業員を 4 名、作業時間を 7 時間/日、勤務日数は 240 日とし、労務単価

を乗じて求めた。

再生 PET 樹脂(フレーク)から再び PET ボトルを製造するコストは不明のため、「再生 PET 樹脂製造の後のコストは、バージン材から PET ボトルを製造する場合における、PET 樹脂から PET ボトルを製造し流通するまでの CO₂ 排出量(33%)に比例する」と設定し、約 12 円/本とした。輸送は、燃料消費量に燃料単価を乗じて算出した。なお、施設の建設コストや機器、車両の購入コストは含めていない。

d) リユース過程のコストの算出方法

選別、洗浄および輸送は燃料や電力の消費量に単価を乗じて求めた。洗浄、選別の人件費は、作業員数をそれぞれ 2 名、4 名とし、作業時間を 7 時間/日、勤務日数 240 日として労務単価を乗じて求めた。

(4) 各 PET ボトルの LCC 評価結果

各 PET ボトルの LCC 評価結果を図-8 に示す。

a) バージン材 PET ボトルのコスト

コストは全体で約 1,880 千円/本である。環境負荷と同様にバージン材 PET ボトル製造に伴うコストが最も大きな割合を占めている(約 47%)。次に大きな割合を占めるのは収集に伴うコストで合わせて約 30%を占めている。これは、収集時の人件費が高いためである。

b) リサイクル PET ボトルのコスト

リサイクル PET ボトルのコストは、全体で約 1,590 千円/本である。収集に伴うコストが最も大きな割合を占め、約 36%である。これは、収集時の人件費にかかる費用が高いためである。次に大きな割合を占めるのは、バージン材 PET ボトル製造に伴う費用であり、約 27%である。選別から再生 PET 樹脂による PET ボトルの製造にかかる費用は全体の 13%程度である。

c) リユース PET ボトルのコスト

リユース PET ボトルのコストは全体で約 1,650 千円/t である。環境負荷面では、リユース PET ボトルが最も評価が高かったが、コスト面では、リサイクル PET ボトルよりも評価が低い。これは、リユース以外の PET ボトルでは、収集車がパッカー車であるに対し、リユース PET ボトルの場合は、平ボディ車のため、積載量が少ないため、車両台数の増加により人件費が大きくなるためである。そのため、リユースの場合は、収集によるコストの占める割合が最も高く 45% である。

d) ライフサイクルコスト

ライフサイクルコストでは、リサイクル PET ボトルが最もコストが安価で、評価が高い。リユース PET ボトルは収集時の人件費が高いため、リサイクル PET ボトルに比べて評価が低くなる。また、バージン材 PET ボトルは、製造時のコストが他のケースよりも非常に高いため、ライフサイクルでのコストも最も高い。すなわち、リサイクル、リユース PET ボトルを導入することにより、バージン材 PET ボトルの 15%、12% コストを削減可能である。

(5) 回収率を考慮したリサイクル、リユース PET ボトルの LCC 評価

a) 回収率の考え方

環境負荷と同様にコストについてもリサイクル、リユースの回収率を考慮した評価を行った。回収率の考え方は、LCA の場合(4. (5), a) と同じである。

b) 評価結果

回収率を考慮したリサイクル PET ボトル、リユース PET ボトルの LCC 評価結果を図-9 に示す。リサイクル、リユースともに回収率が減少することにより、再生 PET 樹脂から PET ボトルを製造する、あるいは、リユースする場合よりもバージン材から製造する PET ボトルのコストの方が高いため、全体のコストは増加している。

今回定義したリサイクル、リユースの非適合物量を除外した回収率が40%を下回ると、リユースPETボトルの方が、バージン材PETボトルよりもコストは高く、リサイクルPETボトルは10%を下回るとコストは高くなる。したがって、非適合物も含めた回収率が高くなければ、リサイクル、リユースをすることのメリットは小さくなり、回収率が低い場合は、逆にコストは高くなる。そのため、回収率を上昇させることが重要である。

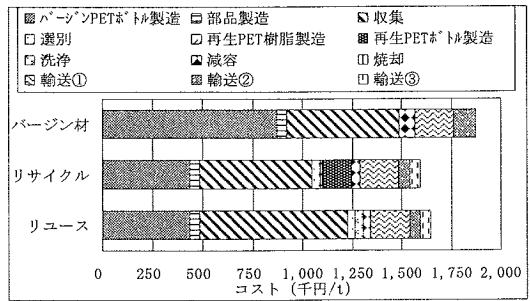


図-8 各 PET ボトルの LCC 評価結果

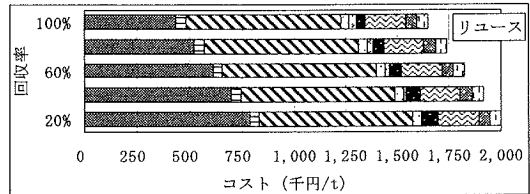
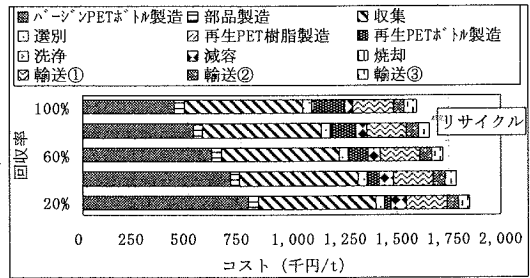


図-9(1) 回収率を考慮したPETボトルのLCC評価の内訳

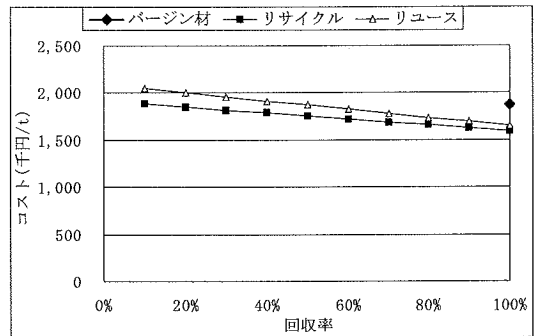


図-9(2) 回収率を考慮したPETボトルのLCC評価の結果

6. PETボトルリサイクル、リユースに対する市民意識

(1) 調査概要

a) 調査目的と内容

調査の目的は、①消費者が再生商品を購入する時点で、環境への優しさとコストのどちらの要素を重要視しているのか把握すること、②リサイクルPETボトルとリユース

スPETボトルについて、消費者の受け入れ意思を把握することである。

調査内容は、①消費者が再生商品を購入するときに重要視する要素、②PETボトルのリサイクル、リユースの受け入れ意思、③受け入れられない場合の理由である。

b) 調査概要

アンケート調査は幅広い年代の意見を得るためにB市の市民を対象に行った。回答数は148、有効回答数は118である(有効回答率：80%)。アンケート手法として訪問留置法を用いた。リサイクルPETボトルとリユースPETボトルの説明は表-5のようにアンケート用紙に明示している。

回答者属性を図-10に示す。女性が多く、男性よりも56ポイント多い。年代は50代が最も多く(32%)、次いで40代(23%)、60代(14%)の順である。アンケート対象者の職業は主婦が最も多い(61%)。

B市ではPETボトルの分別収集は行われておらず、市民が自主的に店頭や公共施設に設置されている回収ボックスへ持って行く方式となっている。

(2) 重要度の算出

消費者が商品を購入する場合、どのような要素を重要視しているのかを評価するためにAHP法⁷⁾(Analytic Hierarchy Process：階層分析法)を用いた。

筆者らは、PETボトルの再生商品として、消耗品である「三角コーナー」、誰にでも身近なものとして「文房具」、肌に直接触れるものとして「カーペット」、「ワイシャツ」を対象に環境への優しさ、価格、見た目、手触りの重要度を明らかにし、既に発表している¹⁸⁾。本来ならば、各PETボトルについて、環境への優しさや価格の重要度を市民に尋ね、把握する必要があるが、今回のアンケート調査では、リサイクルPETボトルとリユースPETボトルの環境への優しさや価格に関する重要度について調査をしていない。そこで、今回は先の研究¹⁸⁾で評価した肌に触れる商品である「カーペット」と「ワイシャツ」の環境への優しさや価格の重要度の平均を用いて評価することにした。

一対比較した結果を表-6に示す。その結果、環境への優しさ(環境負荷)と価格の重みは、0.538：0.462となり、わずかに環境への優しさの方が重要視されている。今回は、環境負荷の重要度(α)を0.54、コストの重要度(β)を0.46として計算した。

(3) リサイクルPETボトルとリユースPETボトルの受け入れ意思

a) リサイクルPETボトルの受け入れ意思

リサイクルによって製造されたPETボトルの受け入れ

表-5 アンケートに用いたリサイクルの説明

リサイクル PET ボトル・・・現在はまだ事業化されていませんが、使用済み飲料用 PET ボトルを化学的に分解し、それを原料として再び飲料用 PET ボトルを製造する方法です。
リユース PET ボトル・・・現在、日本では行われていませんが、欧州のいくつかの国では、実施されている使用した飲料用 PET ボトルを回収・洗浄し、再び飲料水を充填して販売する方法です。

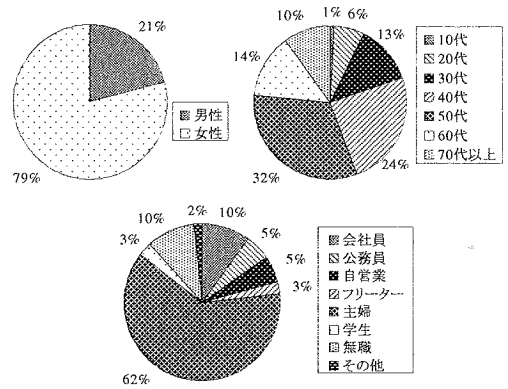


図-10 アンケート回答者の属性

表-6 検討に用いた重要度

	環境への優しさ	価格
カーペット	0.574	0.426
ワイシャツ	0.503	0.497
平均	0.538	0.462

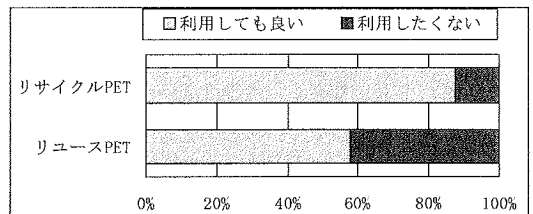


図-11 リサイクル・リユースPETボトルに対する受け入れ意思

意思のアンケート結果を図-11に示す。90%近くの人がリサイクルされたPETボトルを購入してもよいと答えており、消費者に受け入れられると判断できる。利用に難色を示している人の理由のほとんどは、「衛生面・安全性に不安があるから」である(図-12)。

今回の総合評価で用いるリサイクルPETボトルの受け入れ度(初)は、本アンケート結果より、90%とする。

b) リユースPETボトルの受け入れ意思

リユースされたPETボトルの受け入れ意思を図-11に示す。リサイクルPETボトルの場合とは異なり、42%の人がリユースされたPETボトルを利用したくないと答えている。リサイクルPETボトルの受け入れ意思は9割近いにも関わらず、リユースPETボトルでは6割弱とその受け入れ意思は弱い。理由として最も多かったのは、リサイクルと同様に「衛生面・安全面に不安があるか

ら」である(図-13)。

今回の総合評価で用いるリユースPETボトルの受け入れ度(%)は、本アンケート結果より60%とする。

7. 各PETボトルの総合評価

本章では、3章で示した式(1)で示した総合評価値を用いて、バージン材PETボトル、リサイクルPETボトル、リユースPETボトルの評価を行う。また、今回定義したリサイクル、リユースの非適合物量を除外した回収率を考慮した評価も同時に行う。

(1) 各PETボトルの総合評価結果

上記までで算定した環境負荷、コストおよび両者の重要度、リサイクル、リユースPETボトルの住民受入度を考慮した各PETボトルの評価結果を図-14に示す。なお、バージン材PETボトルの受入度は100%としており、環境負荷の相対評価は、環境負荷の最も少ないリユースPETボトルの回収率100%の環境負荷を基準(得点:10)とし、コストの相対評価は、コストの最も少ないリサイクルPETボトルの回収率100%のコストを基準(得点:10)として行った。

a) バージン材PETボトル

バージン材PETボトルは、回収率が50%より低い場合は、最も評価が高い。これは、環境負荷、コストはリサイクルPETボトルより高く、評価は低いが、回収率が下がるとその差が縮まり、市民のPETボトル受け入れ意思を考慮すると、バージン材PETボトルが100%であるのに対し、リサイクルPETボトルが90%のため評価順位が入れ替わる。したがって、非適合物割合を含めた回収率が50%以下の場合には、現在のバージン材PETボトルが最も良いと評価できる。

b) リサイクルPETボトル

リサイクルPETボトルは、コスト面は最も評価が高く、環境負荷面もリユースPETボトルよりやや排出量が多いが、市民の受入度が90%とリユースPETボトルの60%より30ポイントも大きいため、総合評価結果は、リユースPETボトルよりも評価が高い。また、回収率が50%より大きくできれば、現状のバージン材PETボトルよりも、環境負荷、コストも含め総合的に最も良いケースとなる。

そのため、今後、PETボトルの回収率が上昇すれば、リサイクルPETボトルが最も良いと評価できる。

c) リユースPETボトル

リユースPETボトルは、環境負荷面では最も評価が高いが、コスト面においてリサイクルPETボトルよりも評価が低い。しかし、バージン材PETボトルよりは、環境

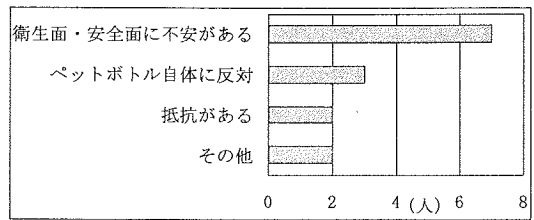


図-12 リサイクルPETボトルを利用したくない理由

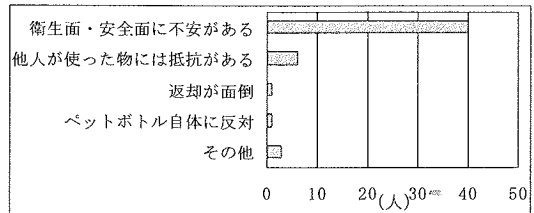


図-13 リユースPETボトルを利用したくない理由

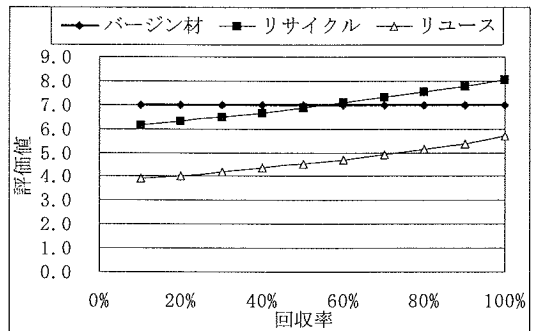


図-14 各PETボトルの総合評価結果

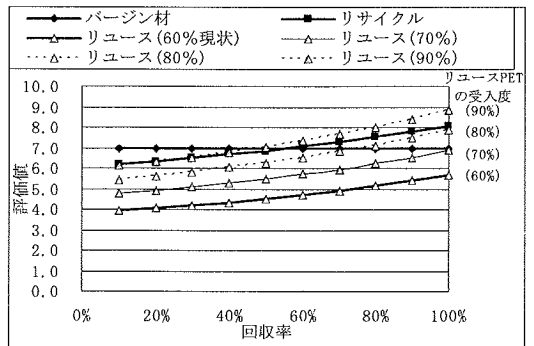


図-15 リユースPETボトルの受入度を変化させた場合の総合評価結果

負荷、コストともに評価は高い。しかし、市民のリユースPETボトルの受入度が60%と低いことから、回収率にかかわらず、今回検討した中で最も評価が低い。

したがってリユースPETボトルの問題点は、市民の受け入れ意思が非常に低く、多くの市民が抵抗感を持っていることにある。そのため、リユースPETボトルの場合には、回収率も重要であるが、市民評価(市民の受け入れ

度)を得なければならない。

リユースPETボトルの市民受け入れ度を変化させた場合の総合評価結果を図-15に示す。

リユースPETボトルの市民受け入れ度が80%を越え、かつ、回収率が80%を越えた場合に、はじめてリユースPETボトルの方が、バージン材PETボトルよりも評価は高くなる。また、市民受け入れ度がリサイクルPETボトルと同じ90%の場合には、リサイクルPETボトルよりも評価は高い。これは、環境負荷面でリユースPETボトルの方が評価が高く、かつ、AHP法で求めた環境負荷とコストの重要度では、環境負荷の方がその重要度が高いためである。

したがって、リユースPETボトルが効果的に機能するためには、回収率の向上とともに、リユースPETボトルの衛生面・安全面が担保された上での、市民の受け入れ度の向上が必要である。

8. 結論

本研究では、バージン材PETボトル、リサイクルPETボトル、リユースPETボトルのLCA、LCC評価を行い、市民の受け入れ意思も考慮した各PETボトルの総合評価を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 各PETボトルの総合評価として、環境負荷とコストの相対評価値に環境負荷とコストの重要度を乗じた和に、市民の受け入れ度を乗じる総合評価値を提案し、それに基づいてPETボトルのリユース、リサイクルの受け入れやすさを含めた評価を行った。
- 2) 各PETボトルのCO₂排出量を算出した結果、リユースPETボトルの環境負荷が最も少なくなった。
- 3) 各PETボトルのCO₂排出量で大きなウエイトを占めるのは、バージン材からのPETボトルの製造時および焼却時であった。
- 4) PETボトルの回収率が高ければ(100%)、リサイクル、リユースすることにより、現状よりもCO₂排出量は30~40%削減可能である。
- 5) 各PETボトルのコストを算出した結果、リサイクルPETボトルのコストが最も低くなった。
- 6) リサイクル、リユースPETボトルを導入することにより、回収率が高ければ(100%)、バージン材PETボトルのコストよりも15%、12%削減可能である。しかし、回収率が低い場合は、逆にリサイクル(回収率10%以下)、リユース(同40%以下)することがかえって高コストとなる。
- 7) リサイクル、リユースPETボトルの市民の受け入れ意思を調査した結果、リサイクルPETボトルは

90%と高いが、リユースPETボトルは60%程度であり、リサイクルPETボトルと比べると受け入れ意思は低い。リユースPETボトルは、衛生面・安全面が不安と考える市民が多い。

- 8) 各PETボトルの総合評価を行った結果、リサイクル、リユースの回収率が50%以下の場合には、現在のバージン材PETボトルが最も総合評価が高く、50%より大きくなれば、リサイクルPETボトルの総合評価が最も高い。

- 9) リユースPETボトルは、回収率の向上とともに、リユースPETボトルの衛生面・安全面が担保された上での、市民の受け入れ度の向上が必要である。

今回、バージン材PETボトル、リサイクルPETボトル、リユースPETボトルを評価した結果、LCA、LCCの観点から考えれば、回収率が高ければ、既に欧州で行われているようにリサイクル、リユースを行った方が良い。しかし、欧州と日本では国民性の違いもあり、本研究で提案した市民の受け入れ意思を考慮した総合評価では、リサイクル、リユースが必ずしも良いわけではない。特に、リユースPETボトルは、現在の市民の受け入れ意思が低いため、LCA、LCCの評価は高いにも関わらず、総合評価値は低い。リユースPETボトルの導入時には、リユースの衛生面・安全面の確保を担保とした市民の受け入れ意思を向上させる政策、ソフト対策も必要であり、現在の状態では、リユースPETボトルを導入しても市民に受け入れられにくく、利用されないという問題が生じると判断できる。

以上のことから、今回のような製品の製造・リサイクルを評価する場合には、環境負荷、コストのみによる評価だけではなく、本研究で提案したような市民の受け入れ意思も考慮した評価を行うことが重要である。

謝辞：最後に、本研究の遂行に当たり、貴重な助言をいただいた広島修道大学 教授 三浦浩之先生に感謝いたします。また、貴重な資料等を提供いただいた方々にお礼申し上げます。なお、本研究は平成14、15年度の文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(C)「飲料用PET容器の廃棄後プロセス環境負荷とコストの比較評価」の補助を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) PETボトルリサイクル推進協議会：PETボトルリサイクル年次報告書，<http://petbottle-rec.gr.jp/henji/2003/p04.html>
- 2) PETボトルリサイクル推進協議会：PETボトルリサイクル年次報告書，<http://petbottle-rec.gr.jp/henji/2003/p10.html>
- 3) 安田八十五，松田愛礼：飲料容器のリサイクル費用の容

- 器間比較～自治体における飲料容器のリサイクル費用の総合評価へ，第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.168-170，2001.
- 4) 澤谷精，花木啓祐：LCAによる各種飲料容器材料の環境負荷の検討，第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.131-133，2001.
 - 5) 寺園淳，山辺浩，酒井伸一，高月紘：ライフサイクルアセスメントとコストの視点から見たPETボトルリサイクル，第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.115-117，1996.
 - 6) 及川智，谷川昇：リサイクルに対する消費者の意識調査結果（回収への協力と再生商品の購入について），第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.75-77，2000.
 - 7) 刀根薫：ゲーム感覚意思決定法，日科技連出版社，pp.8-25,42-46，1986.
 - 8) 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，p.75，1993.3.
 - 9) 容器間比較研究会：LCA手法による容器間比較報告書<改訂版>，pp.4,7-9,73-89，2001.8.
 - 10) 財団法人環境情報センター：ライフサイクルインベントリ一分析の手引き，pp.72,73,88，1998.9.
 - 11) 包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会，株式会社野村総合研究所：包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析，p.88，1995.
 - 12) 社会経済研究部会 容器LCC研究会：市町村における容器包装リサイクルのコスト，第14回廃棄物学会研究発表会 社会経済研究部会小集会資料，p.5，2003.
 - 13) 日本貨物運送協同組合連合会：<http://www.nikka-net.or.jp/hiroba/keiyu/keiyu.gif>
 - 14) 大阪ガス：<http://www.osakagas.co.jp/ngv/top.html>
 - 15) 石油連盟：<http://www.paj.gr.jp/html/statis/index.html>
 - 16) 石油連盟：北海道石油システムセンター<http://www.005.upp.so-net.ne.jp/cb3/house/ti-4yuu.htm>
 - 17) 細田衛士：容器包装リサイクル法施行3年を振り返ってーペットボトルを中心にー，都市清掃，Vol.53; No.237，pp.21-26，2000.

(2003.11.10 受付)

EVALUATION OF RECYCLING SYSTEM OF BEVERAGE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE BOTTLE IN CITIZENS' ACCEPTANCE INTENTION

Yasuhiko WADA, Kazuko NAKANO, Taira OZAKI and Ayano IWAMOTO

We calculated the amount of carbon dioxide emission and cost each case of different recover rate of PET bottle material recycling, reuse and not recycling. From a questionnaire, it was made clear citizens' acceptance intention degrees toward recycle and reuse PET bottle in order to evaluate citizens' intention about recycling PET. And, we carried out integrated evaluation of each PET bottle by the amount of carbon dioxide emission, cost and citizens' intention. As a result, material recycling is the best evaluation when recover rate is over 60%. If citizens' acceptance for reuse PET bottle becomes 90%, reuse is the best evaluation over the 50% recover rate.