

ペットボトルのリサイクルシステムに関する総合評価

天野耕二[†], 田灘未来^{**}

*立命館大学理工学部・環境システム工学科, 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

**株式会社 S R A, 〒171-8513 東京都豊島区南池袋 2-32-8

Comprehensive evaluation on PET bottle recycling system

AMANO Koji[†]* and TANADA Miki^{**}

*Department of Environmental Systems Engineering, Ritsumeikan University,
1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577 JAPAN

** Software Research Associates, Inc., 2-32-8, Minami-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 171-8513 Japan

(Received September 6, 2004, Accepted October 22, 2004)

For a comprehensive evaluation on the PET bottle recycling, cost and major environmental load including energy consumption and emissions of CO₂, SO_x and NO_x related material recycling system and other three alternatives (incineration, thermal recovery and direct landfill) were estimated. Based on general lifecycle inventory over the PET bottle disposal or recycling stages, material recycling system was found to have a conclusive advantage on environmental load reduction. Ratios of environmental load related to material recycling system to those related to other alternatives were 4 to 10%. On the other hand, disadvantage of material recycling system on the cost was also indicated. Ratios of the cost covering material recycling system to those covering other alternatives were between four and ten. As to promote the material recycling system for PET bottle waste management with environmental load reductions, several types of economic policies sustaining disposal or recycling cost balance should be needed.

Key Words: PET bottle waste, material recycling, lifecycle analysis, environmental load, cost of disposal or recycling

1. 緒言

飲料容器としてのペットボトルの需要が増え続けており、その生産量及び使用後の廃棄ボトル収集量も年々増大している。この理由としては、軽くて持ち運びやすいペットボトルの特性が市場に受け入れられたことなどがあげられる。平成7年6月には「容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(以下、通称で容器包装リサイクル法)」が制定されており、ペットボトルを始めとする飲料容器ごみについても、近年多くの自治体でリサイクルを前提とした分別収集が進められている。しかし、多くの市町村においては、コストを抑えながら品質の高いリサイクル製品を供給するシステムを維持していくことが大きな課題となっている。一方で、近年国際社会においては地球温暖化問題が重大な課題となっており、国連気候変動枠組条約における京都議定書では、日本全体の温室効果ガス排出量の削減目標として2008年から2012年までの5年間につい

て温室効果ガスを1990年比で少なくとも6%削減することが定められている。温室効果ガスの排出・削減にあたっては、廃棄物処理処分やリサイクルの過程を含む、経済社会の中のさまざまな場所で対策を強化していくことはもちろん、現代の大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会経済システムを見直し、いわゆる循環型社会へとシフトしていく抜本的な取り組みが必要とされている。

ペットボトルに関して、廃棄物としての処理処分およびリサイクルの問題と温室効果ガス排出など他の環境負荷やコスト負担を併せて総合的に検討した知見としては、以下のような報告が挙げられる。寺園ら^{1,2)}は、ペットボトルに関する各種のリサイクルシステムを対象として、環境負荷と費用を試算することにより、環境負荷が小さいリサイクルシステムほど事業者による費用負担が大きくなっていることを明らかにしている。石川³⁾は、物質やエネルギー回収を伴わない単純な処理プロセスを対象として、ペットボトルのマテリアルリサイクル、サーマルリサイクル、単純焼却、埋立てのオプションにおける環境負荷比較を行い、マテリアルリサイクルによる環境負荷削減の可能性を示した。堀口ら⁴⁾は、ペットボトル本体だけではなくラベルとキャップも含め

[†]E-mail: amano@se.ritsumei.ac.jp

て調査対象としながら、ペット樹脂の再生工程における消費エネルギーは同等のバージン樹脂製造に伴う消費エネルギーのおよそ8分の1であることを明らかにしている。これらの既往の研究知見を鑑みて今後重要視しなければならないことは、ペットボトルの処理処分工程やリサイクルプロセスだけでなく、リサイクル材料代替物としてのバージン素材製造や燃料油製造などのシステムを考慮したライフサイクル的な評価であろう。

本研究では、人口10万人程度の地方中核都市におけるペットボトルのリサイクル実績(マテリアルリサイクル)を基本的なケーススタディ対象として、マテリアルリサイクルおよび代替案としての処理処分システム(焼却処理、サーマルリサイクル、不燃物埋め立て)について主要な環境負荷量(エネルギー消費量、CO₂排出量、SO_x排出量、NO_x排出量、最終処分量)と処理コストを試算し、環境負荷量と処理コストの両面からペットボトルのリサイクルシステムの総合評価を試みる。現行で多くの自治体で行われている処理処分あるいはリサイクルの問題点を整理することによって、今後のリサイクルシステムのあり方やペットボトルごみ政策への提言を行うことが本研究の目的である。

2. 使用したデータおよびデータ解析方法

本研究の対象は、人口11万人余りの地方中核都市であるK市におけるペットボトルごみのマテリアルリサイクルである。K市では、普通(可燃)ごみ・

不燃ごみ・ペットボトル・その他プラスチック・金属・びん・小型破碎ごみという7種類分別のごみ収集を行っており、普通(可燃)ごみ・ペットボトル・その他プラスチックの3種類については指定袋制度となっている。2001年度時点では、分別収集されたペットボトルは市内のクリーンセンターにおいてリサイクル前処理(キャップ・ラベルおよび異物の除去、圧縮によるベール成形および梱包)が行われた後、独自ルートでのマテリアルリサイクルを行っていた。これは、前処理後のベールを市外のリサイクル業者に搬入し、その再生量に応じて換金された分の再生品(軍手と買い物袋)がK市に戻ってくるという仕組みである。2001年度におけるペットボトルごみ総収集量は市全体で191.42トン、前処理後のベール搬出量は184.4トンであり、同年度にリサイクル業者から還元された再生品は軍手7200双と買い物袋1800枚であった。Fig.1にK市におけるペットボトルの流れと本研究の対象範囲を表す。

2.1 解析対象のシステム境界と解析フロー

本研究では、ペットボトルの処理段階を対象として、マテリアルリサイクルシステムと他の3種類の代替処理システム(焼却処理、サーマルリサイクル、不燃物埋め立て)を比較評価することを目的としている。各処理方法のシステム境界をFig.2に示す。今回はペットボトル製品としてのライフサイクル全体ではなく、処理あるいはリサイクル段階に着目してその総合評価を行うため、ペットボトルごみがクリーンセンターに収集された時点から後を研究対象

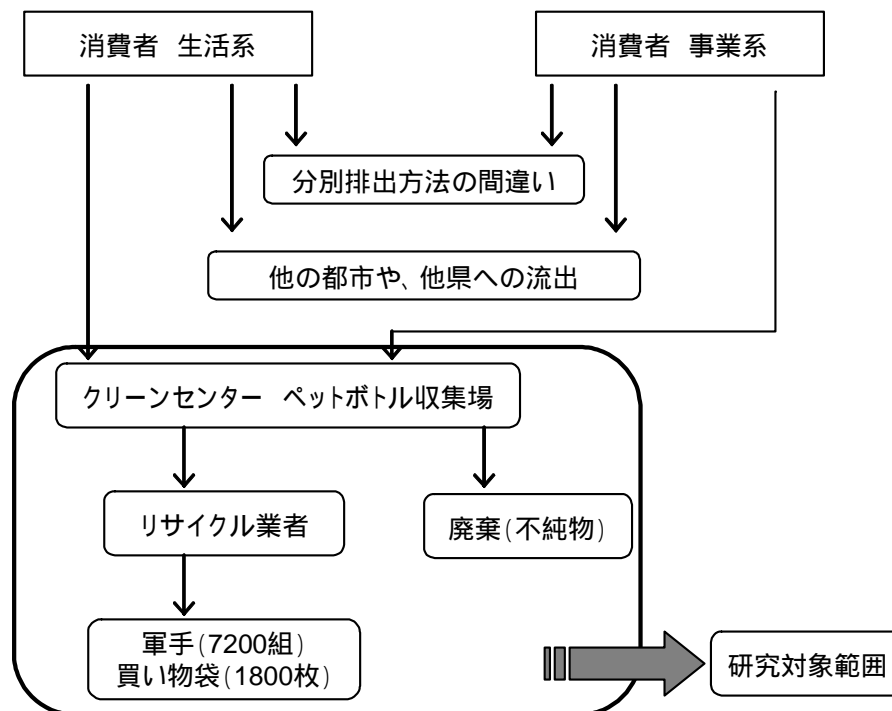


Fig.1 Flow of PET bottle in the objective region and system boundary of this study.

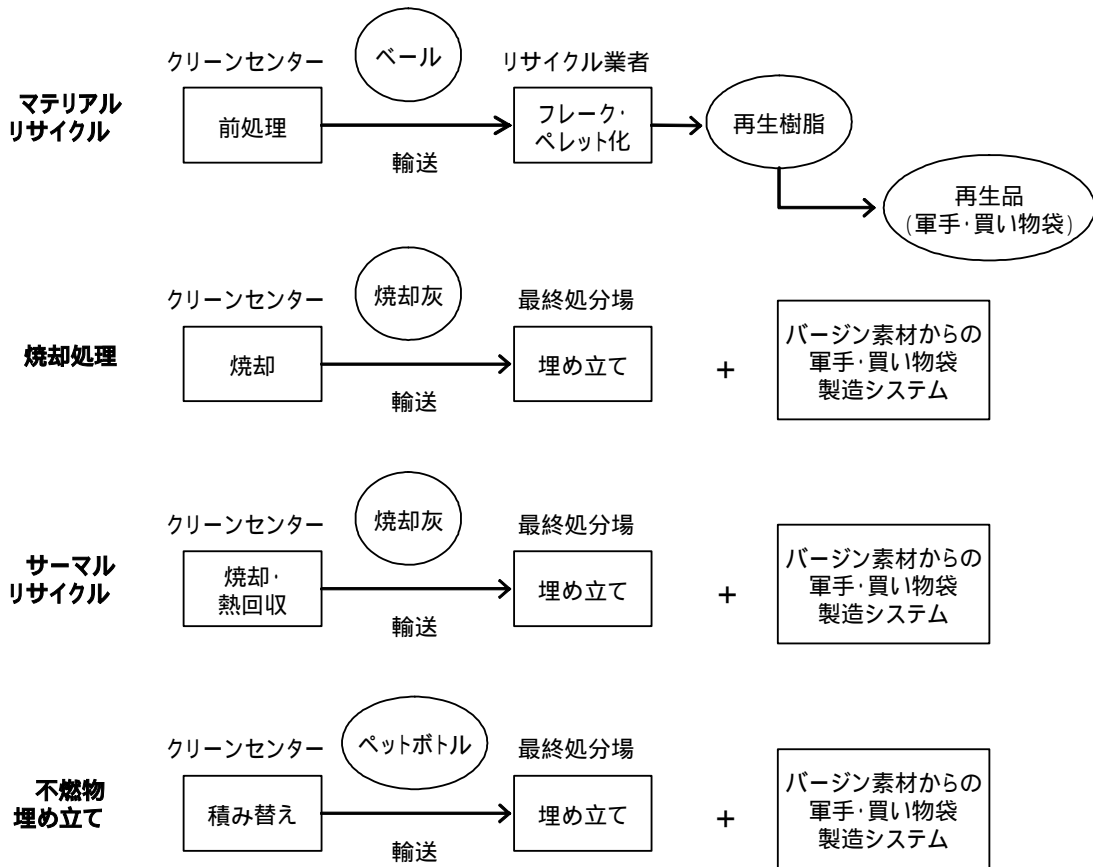


Fig.2 PET bottle waste flow and system boundary on each disposal or recycling alternative.

範囲としている。本研究で扱う環境負荷項目は、エネルギー消費量、CO₂ 排出量、SO_x 排出量、NO_x 排出量、最終処分量の5項目であるが、環境負荷原単位については、実際にK市のペットボトルごみを扱っているマテリアルリサイクル業者へのヒヤリングおよび各種公表データ⁵⁻⁸⁾から引用した。各処理システムの解析フローの概略を以下に示す。

マテリアルリサイクル

2001年度にK市が分別収集したペットボトルごみをクリーンセンターで減容後ペール化した後、10トントラックで輸送し(輸送距離 88.0km)、マテリアルリサイクル業者においてペレット化・再商品化された実績値を基本とした。再生工程としては、まず、ペール選別・粉碎の過程を経てフレーク化の後、比重分離・洗浄・脱水乾燥の後ペレット化される。これら各工程での電力・ガス・重油の使用割合について、業者へのヒヤリング調査から使用量を推定し、原燃料の原単位⁶⁻⁸⁾からCO₂・SO_x・NO_x排出量を推計した。再生樹脂の生産量はK市が受け取った再生品の割合に応じて割り振った。輸送工程については、実際にペールを搬出した回数(41回)から、10トントラック輸送(輸送距離 88.0km)41回分の環境負荷量を軽油消費量原単位⁵⁾から推計した。最終処分量は、クリーンセンターで異物として扱われた量、す

なわち、ペットボトル収集量 191.42 トンと再資源化搬出量 184.4 トンの差 7.02 トンとした。

焼却処理

上記マテリアルリサイクルのケースと同量のペットボトルごみ 191.42 トンをクリーンセンターで焼却後、焼却灰を輸送し埋め立てるものとする。焼却後の焼却灰量は焼却前の12%⁷⁾である22.97 トンとし、この焼却灰が埋め立てられる最終処分量となる。輸送には10トントラックを使用するが、K市で焼却灰搬出の際に平均8.5トンの焼却灰を積載していた実績から、年間で3回の輸送における環境負荷量を軽油消費量原単位⁵⁾から算定した。輸送先である埋め立て場所は、K市が最終処分場として使用している市外の処分場(輸送距離は現状 84.5km)とした。

サーマルリサイクル

ペットボトルごみをクリーンセンターで焼却の際、ごみ発電設備により電力を回収(発電効率10%)し、焼却灰を輸送し埋め立てるものとする。焼却処理と同様に、焼却後の焼却灰量は焼却前の12%⁷⁾であり22.97 トンとなる。ここでの消費エネルギーは焼却に必要なエネルギー(エネルギー消費量)から熱回収によるエネルギー(エネルギー回収量)を差し引いたエネルギー(総エネルギー消費量)とする。輸送条件は、焼却処理と同じである。

不燃物埋め立て

ペットボトルごみを不燃物として扱い、そのまま無処理で最終処分場まで輸送し、直接埋め立てるものとする。クリーンセンター内でのエネルギー消費量、CO₂・SO_x・NO_x排出量はゼロとし、収集されたペットボトルの量がすべて最終処分量となとした。輸送工程については、マテリアルリサイクルではベールの状態で10トントラックに平均4.5トン積載していた(年間搬出量184.4トンに対して、搬出回数41回)ことから、減容していないペットボトルはその半分である2.25トンを積載すると仮定した。輸送する総量191.42トンから輸送回数は86回と推計され、86回の輸送における環境負荷量を軽油消費量原単位⁵⁾から算定した。輸送条件は、焼却処理およびサーマルリサイクルと同じである。

2.2 バージン素材からのリサイクル同等商品製造システムにおける環境負荷

マテリアルリサイクルにおいては、ペットボトルごみを処理処分するというサービスに加えて、再生品(軍手・買い物袋)という生産物を産出するというサービスが付加されている。廃棄物として処理処分すると最終的に埋め立てられて終わりになるが、リサイクルすると再生原料による再商品化があるため、そのままでは公正な総合評価にならないと考えることがリサイクル評価においては一般的になりつつある⁴⁾。そこで、比較対象である他の代替システムにバージン素材から同等の商品を製造するシステムを付加することで、処理処分あるいはリサイクルのシステムとしての総合比較を試みる。なお、サーマルリサイクルにおいて回収されるエネルギーはその分を他のシステムに付加するのではなく、サーマルリサイクルシステムの消費エネルギーから回収エネルギーを差し引くことによって他のシステムと比較できるようにした。

バージン素材からのリサイクル同等商品製造システムにおける環境負荷を算定する際に使用した原単位は、国立環境研究所「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)」⁸⁾に掲載されている生産額100万円あたりの環境負荷量データである。2001年度にK市が搬出したベールから再生できる理論上の再生樹脂量から生産額を推計し、上記報告書から引用した原単位を乗じて環境負荷量を算出した。産業部門分類としては、「作業用ニット手袋」および「ポリエステル」とした。

2.3 処理コストの算定方法

各処理方法における処理コストについては、クリーンセンターでの処理費用や人件費、埋め立て地までの輸送費、埋め立て場所での処分量に応じた埋立地の建設負担金などを合計した値から算出されたランニングコストを計算対象とした。全ての評価対象システムにおいて最終処分量が計上されることから、最終処分量に応じた埋立地の建設負担金をランニングコストの一部として算入したが、焼却処理や再生処理などの中間処理施設建設に関するイニシャルコ

ストは考慮していない。設備投資が大きければ運用費用が小さくなることなども評価する必要もあるが、多種多様な廃棄物処理を同時に行う施設建設に関わるイニシャルコストの割り振りについては、今後の課題としたい。焼却処理、サーマルリサイクル、不燃物埋め立てに関しては、処理コストにK市が搬出したペットボトルベールに対するリサイクル業者からの還元金額1,389,968円を付加した上で評価した。

マテリアルリサイクルのコストについては2001年度のK市におけるペットボトル処理費用実績を基に推計し、焼却処理コストについては普通ごみ処理費用実績値から重量換算でペットボトルごみを全量焼却処分した場合のコストを推計した。サーマルリサイクルのコストについては、エネルギー回収に関連するコストを考慮すべきであるが、回収されたエネルギーでまかなうクリーンセンター内のエネルギーコストの一部でほぼ相殺されると仮定して、今回は基本的に焼却処理と同等の処理コストであるとした。不燃物埋め立てコストについては、不燃物埋め立て費用実績値から重量換算でペットボトルごみを全量直接埋め立て処分した場合のコストを推計した。

3. 結果および考察

各処理システムの処理工程別にみたエネルギー消費量、CO₂・SO_x・NO_x排出量をFig.3に、各処理システムの最終処分量をFig.4に、いずれもペットボトル収集量あたりの値として示す。バージン素材からのリサイクル同等商品製造に伴う環境負荷の大きさから、いずれの環境負荷項目においてもマテリアルリサイクルが他の代替処理方法の4~10%という極めて低い値となった。これは、マテリアルリサイクルによる再商品化に伴うCO₂・SO_x・NO_x排出量の値がバージン素材からの同等商品製造に伴う排出量よりも少ないことが要因であり、バージン素材からの同等商品製造工程が占める割合をCO₂排出量について見ると、焼却処理とサーマルリサイクルでは89%、不燃物埋め立てでは99%という値となっている。しかし、バージン素材から同等商品製造工程の環境負荷を付加しない場合でも、マテリアルリサイクルは、焼却処理よりもエネルギー消費量が小さく、焼却処理およびサーマルリサイクルよりもNO_x排出量が小さい値である。不燃物埋め立ての場合に対するマテリアルリサイクルの最終処分量は3.7%という値を示し、最終処分場(埋め立て地)の限界からもマテリアルリサイクルが非常に有効な処理システムであることがわかる。また、輸送に伴う負荷がマテリアルリサイクル全体の環境負荷に占める割合は、エネルギー消費量で約3%、CO₂・SO_x・NO_x排出量でそれぞれ約2%・11%・22%であった。再商品化施設が自治体内もしくは近傍にあるケースでは、これら輸送に伴う環境負荷量を大幅に削減することができる。

各処理システムの運用に伴うコストをFig.5にペットボトル収集量あたりの値として示す。マテリアルリサイクルは、処理コストの面では全ての処理システムの中で最も大きい値となり、焼却処理あるい

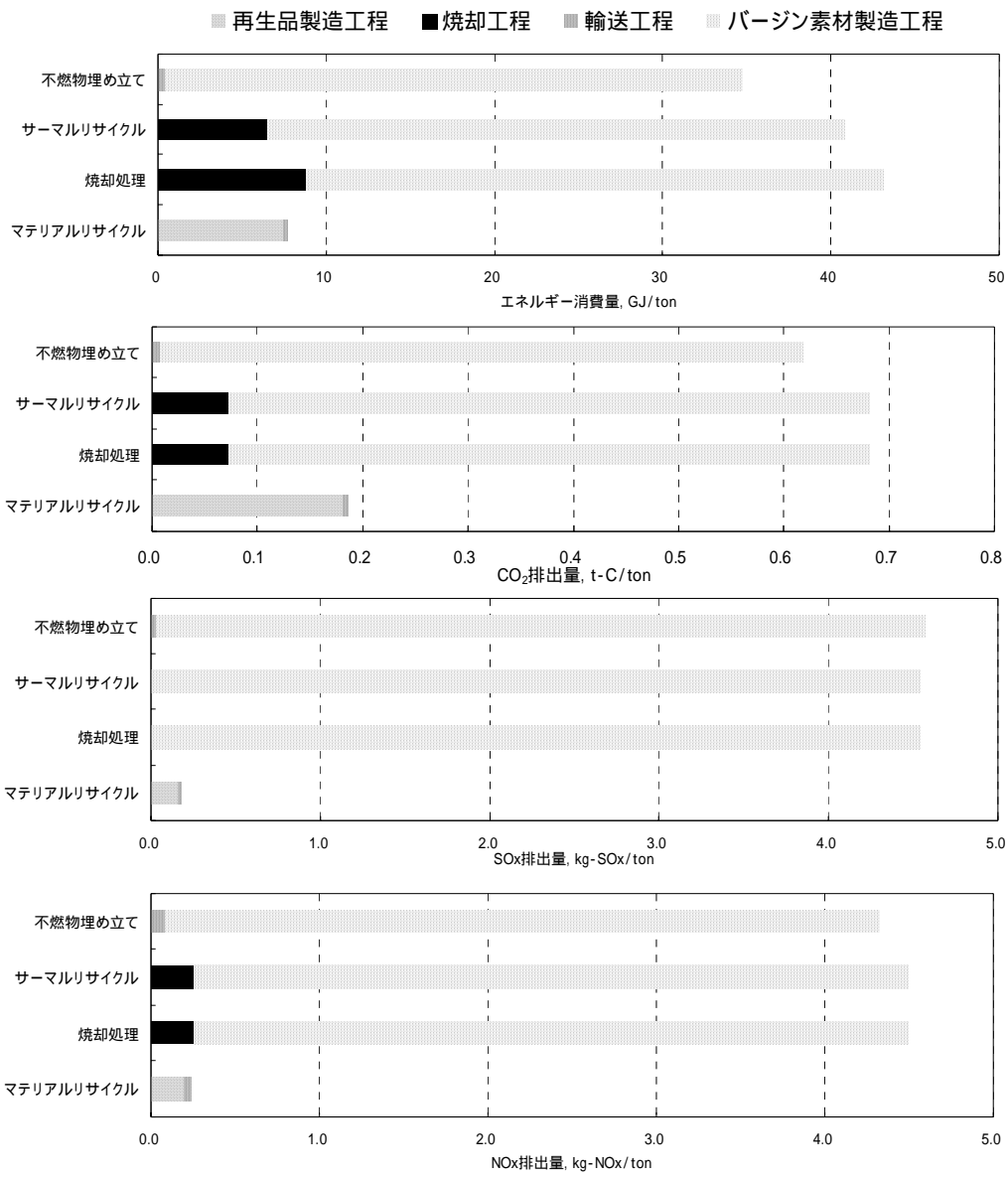


Fig.3 Energy consumption and emissions of CO₂, Sox and NO_x on each disposal or recycling stage related to all PET bottle waste management alternatives.

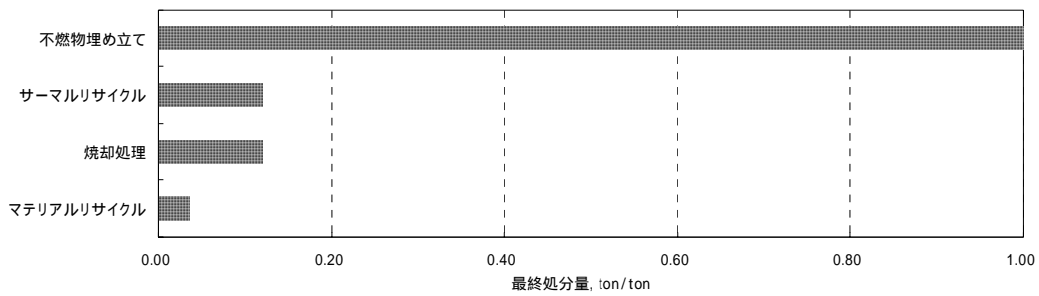


Fig.4 Landfill mass weight on each PET bottle waste management alternative.

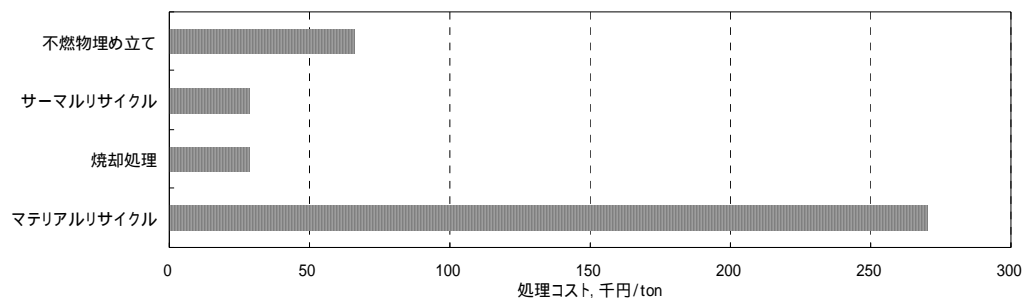


Fig.5 Overall cost covering each PET bottle waste management alternative.

はサーマルリサイクルの約 10 倍、不燃物埋め立ての約 4 倍であった。これは、分別収集に関わる費用やクリーンセンターでの前処理に関わる人件費が大きいことによるものと考えられる。マテリアルリサイクルに関わる費用の一部を上乗せして飲料等ペットボトルを販売すると想定した場合、焼却処理やサーマルリサイクルと同じコスト負担を維持するためには 1500ml ペットボトル 1 本あたり約 15 円、不燃物処理と同じコスト負担では約 13 円を内部費用化すれば、コスト面で均衡が取れることが今回の試算からわかった。不燃物埋め立てのコストは、クリーンセンターでの処理を行わない（積み替えのみ）にも係わらず、焼却処理やサーマルリサイクルのコストよりも大きい値を示している。これは、最終処分場の維持管理と大量輸送（中間処理による減量が無い）に関わる費用が大きいためである。マテリアルリサイクルの処理コストの内、輸送費の占める割合は、約 3%であった。

4. まとめ

ペットボトルリサイクルに関する問題点の抽出を目的として、現在多くの地域で行われているマテリアルリサイクルおよび代替案としての処理処分システム（焼却処理、サーマルリサイクル、不燃物埋め立て）に関わる主要な環境負荷量（エネルギー消費量、CO₂ 排出量、SO_x 排出量、NO_x 排出量、最終処分量）と処理コストを試算し、環境負荷量と処理コストの両面でペットボトルのリサイクルシステムの総合評価を試みた。

いずれの環境負荷項目においても、マテリアルリサイクルが他の代替処理方法の 4～10%という極めて低い値となったが、マテリアルリサイクルによる再商品化に伴う環境負荷がバージン素材からの同等商品製造に伴う負荷よりも極めて少ないことに注目すべきであることが確認できた。最終処分量の削減効果から見ても、マテリアルリサイクルが非常に有効な処理システムであることが示されたが、再商品化施設を自治体内もしくは近傍に確保することで輸送に伴う環境負荷量を大幅に削減することも期待できる。一方で、処理コストの面では、マテリアルリサイクルは焼却処理あるいはサーマルリサイクルの

約 10 倍、不燃物埋め立ての約 4 倍という高い値を示し、分別収集や前処理に関わる費用の大きさが改めて浮き彫りになった。ただし、多種多様な廃棄物処理を同時に行う施設建設に関わるイニシャルコストの割り振りについても、今後詳細に考慮する必要がある。

環境負荷と処理コストの両面でペットボトルのマテリアルリサイクルを総括的に評価すると、環境負荷削減効果は極めて大きい一方で、処理コストの面で自治体の負担を重くしていると考えられる。現在施行されている容器包装リサイクル法では、容器包装ごみの扱いにおける消費者・市町村・事業者の 3 者の役割分担が定められている。その中でも、収集および中間処理段階は自治体が負担することになっているが、製品価格における処理費用の内部化を図るなど、特にコスト面において上記 3 者の実質的な負担割合を均衡させる新たな仕組みを検討することが求められよう。

謝辞

本研究の一部は、平成 15 年度文部省科学研究費補助金（基盤研究(C)）の交付を受けておこなわれたことを記し、謝意を表します。また、解析対象データの収集に際して詳細なヒヤリング調査および資料閲覧に際して資料閲覧にご協力頂いた自治体ならびに関連各種協会団体の方々に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 寺園 淳, 乙間 末広, 酒井 伸一, 高月 紘; PET ボトルリサイクルについてのライフサイクルアセスメント, *ECO INDUSTRY* VOL.2 No.2, 37 - 45 (1997)
- 2) 寺園 淳, 日引 聡; PET ボトルのリサイクルにおける環境負荷と費用負担の評価, 第 3 回エコバランス国際会議講演集, 483 - 486 (1998)
- 3) 石川 雅紀; 包装廃棄物リサイクルの可能性 - 第 2 回: プラスチック包装容器 -, *資源環境対策*, Vol.31 No.11, 51 - 59 (1995)
- 4) 堀口 誠, 林 廣和, 長谷川 浩, 富田 岳人; PET ボトルのライフサイクルインベントリー分析, 第 4 回エコバランス国際会議講演集, 683 - 686 (2000)
- 5) 社団法人環境情報科学センター; 製品等による環境負荷評価手法等検討調査報告書, (1998.3)

- 6) 財団法人日本エネルギー経済研究所 編；EDMC / エネルギー・経済統計要覧(2002年版)
- 7) 社団法人プラスチック処理促進協会；石油化学製品の LCI データ調査報告書 (1999.7)
- 8) 国立環境研究所；産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) - LCA のインベントリデータとして -