

ワンウェイペットボトルから他容器への代替による環境影響評価  
—中身製品および容器の特性を考慮したケーススタディー—

Evaluation Of the Environmental Loads Saving by Substituting Returnable Bottles for  
One Way Bottles Made of PET—Case Study Considering Kinds of Substances and  
Bottles—

佐藤大介\* 内海秀樹\* 寺島泰\*\*

Daisuke Sato\* Hideki Utsumi\* Yutaka Terashima\*\*

ABSTRACT

In this paper, it is cleared the flow of waste materials and evaluated environmental impacts through the lifecycle of bottles made of Poly Ethylene Terephthalate (PET) and glass by the method of Life Cycle Analysis (LCA) as a case study. In LCA, Grid City Model is applied to set the distance needed for the transportation of products, and so on. It is used the seven scenarios made according to the method to spread returnable bottles instead of one-way bottles made of PET taking into account kinds of substance in the bottle to evaluate environmental impacts.

As a result, a returnable bottle made of PET has less impact than a one-way bottle made of PET in the items on energy consumption, the emissions of CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, and solid waste generation.. A returnable bottle made of glass has less impact than one made of PET in the every items except energy consumptions and solid waste generation. This result is caused that many bottles made of grass is broken by the way to collect bottles of grass and PET mixed at the same time in target city. It is important to be spread returnable bottles made of grass considering waste management systems.

KEYWORDS : LCA , returnable bottle , PET bottle, environmental impact

1 はじめに

最終処分場の残余容量不足、一般廃棄物中に容器包装が体積で 60.8%を占有していること等から 1995 年に容器包装リサイクル法が制定された。その目的は、生産者である事業者に責任を課すことにより、廃棄物の発生抑制を促進することである。しかし、ペットボトルは、再商品化施設の増強が生産量の増加に追い付かず、再生品の受入先も確保されているわけではない。2000 年に循環型社会推進法案が衆議院で可決され、容器の再使用が推進されている。

ワンウェイボトルをリターナブルボトルに代替する場合、返却時に預り金を返却するのであれば、その実質的な価格は変動しない。しかし、返却等の手間等を考慮すれば、より広範な意味での価格は増大していると考えられる。このことは家計消費にも影響すると思われる。リターナブルボトル導入に際して、各家庭の支出額が減少し社会全体での需要量が減少するならば、製造者にとっては損失となる。このことは、リターナブルボトルを導入する上で、大きな障害となりうる。しかし、現実には、人に対する衛生面への配慮、コストといった観点から、リターナブルボトルを適用できる場合が限定される。また、容器代替を行うことにより、その内容物の消費量が大きく抑制され、結果として経済的な負担が生じる可能性もある。従って、

---

\*京都大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering , Kyoto University

\*\*大阪産業大学 Osaka Sangyo University

容器の代替が各方面に与える影響を考慮する必要があると思われる。

ある製品のライフサイクルにおける環境への影響度を評価するライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment, 以下 LCA) 手法を応用することで、ある地域でリターナブルボトル導入時した場合、どれほどの環境負荷削減が期待できるかを試算することも可能となる。

以上を踏まえ、本研究では、中身製品および容器の特性について考察し、ワンウェイペットボトルからリターナブルボトルへの導入の可能性を考察する。そして、ケーススタディにおいて、廃棄物のフローを調査・作成した上で、LCAにおける各容器の廃棄シナリオを決定する。ワンウェイペットボトルからリターナブルボトルへの代替シナリオをいくつか設定し、相互を比較することで、K市全体の環境負荷削減の可能性を考察することを目的とする。

## 2. 中身製品および容器の特性に対する分析

### 2.1 中身製品および容器の特性に対する考察

一般家庭における家計消費の変遷から、内容物の財としての性質を定義できる。内容物に対する一般家庭の総支出額の変化に応じて、財の性質が決定する。これを指標化したものを支出弾力性といい、 $\eta$ で表す。 $0 < \eta < 1$ の財を必需品、 $\eta > 1$ の財を奢侈品と呼び、 $\eta$ の値がその程度を示す。財が必需品に近いほど、その容器包装の特性が財の需要量に及ぼす影響も少なく、リターナブルボトルへの代替も容易になる。

### 2.2 各容器のライフサイクルにおける環境負荷の算出

#### (1) 対象製品と対象範囲

今回は、ペットボトルとガラスびんについての環境負荷を算定する。対象範囲は、資源採取、素材製造、容器製造、洗浄、廃棄・埋立、リサイクルとする。飲料の充填は、データ入手上の制約により組み入れられなかった。

#### (2) 各容器の環境負荷算出方法

容器のライフサイクルにおける環境負荷算出するの為のシナリオの概要を以下に列挙する。

・原料採取から流通までの LCA シナリオは、原則として容器間比較研究会のものを採用する。しかし、廃棄・埋立、リサイクル各段階のシナリオは、ケーススタディに反映させ、修正する。

・収集・廃棄段階とリターナブルボトルの洗浄施設までの輸送距離は、ケーススタディの値をグリッドシミュレーションによって導出された式に代入することで、各輸送距離を算出する。

#### (3) 輸送の各段階における環境負荷原単位

消費者が収集ステーションに廃棄物を排出してから各々の焼却施設（またはリサイクルセンター）に搬送されるまでの輸送（以下、一次輸送とする）と、廃棄物が焼却施設から埋立地（または再商品化工場）に搬送されるまでの輸送（以下、二次輸送とする）について考察する。（図 2.2）

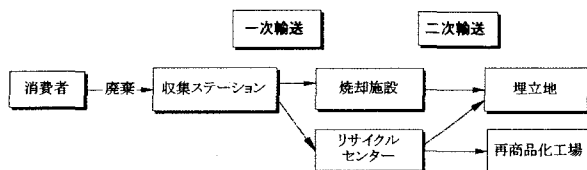


図 2.1 一次輸送と二次輸送

一次輸送における収集車は、2トントラック

一車（4m<sup>3</sup>）とする。その際に生じる環境負荷は、軽油：8[km/L]、CO<sub>2</sub>：0.323[kg/km]、SO<sub>x</sub>：0.0004[kg/km]、NO<sub>x</sub>：0.001[kg/km]とする。収集方法は、缶・びん・ペットボトルがまとめて資源ゴミとして回収される場合、消費者が可燃ゴミとして廃棄したのち回収される場合、の二ケースが該当する。

二次輸送における収集車は、10トントラック（32m<sup>3</sup>）で搬送とする。その際に生じる環境負荷は、軽油：3.5[km/L]、CO<sub>2</sub>：0.742[kg/km]、SO<sub>x</sub>：9.1×10<sup>-4</sup>[kg/km]、NO<sub>x</sub>：2.3×10<sup>-3</sup>[kg/km]とする。また、ヒアリングから、積載効率（重量比）は90%と定めた。今回は、焼却施設から埋立地に搬送される場合、リサイ

クルセンターから再商品化事業者（または埋立地）にまで搬送される場合、の三ケースが該当する。

#### (4) グリッドシティモデルによる各輸送距離の算定式

グリッドシティモデルとは、都市構造が均一で格子状であるものと仮定して各種推計を行うモデルである。その概要を図 2.3 に示す。

モデルの対象となる地域にて、可燃ごみの一次輸送距離の推定値を  $Lf_1$ 、各焼却施設が担当する地域（以下、収集区域と呼ぶ）の一次輸送距離の推定値を  $Lf_i$ 、モデルの対象地域全体の可住地面積：  $Sm$  [ $km^2$ ]、各焼却施設が担当する地域の可住地面積を  $Sm_i$  [ $km^2$ ]、収集車の可燃ごみ積載可能量を  $Wcar^f$  [ $t$ ]、各収集ステーションに排出される可燃ごみ量を  $x_1$  [ $t$ ]、各焼却施設の日あたり平均廃棄物処理量を  $w_i$  [ $t$ ]、対象とする地域全体の可燃ごみ排出量を  $Yf$  [ $t$ ] とすると、以下の式のようにになる。

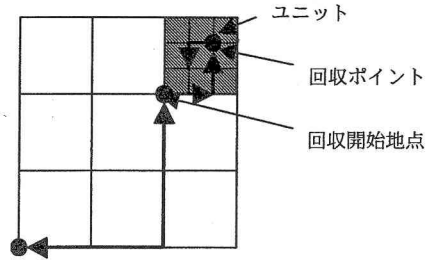


図 2.2 モデル概念図

$$Lf_i = \sum_{i=1}^n \left( Lf_i \times \frac{Sm_i}{Sm} \right) = \frac{1}{Sm} \times \sum_{i=1}^n \left[ \left( 1.52 \times Wcar^f \times \sqrt{\frac{x_1}{w_i \times Yf}} + 3.04 \right) \times Sm_i^{\frac{3}{2}} \right] \quad (2-1)$$

( $i = 1, 2, \dots, n$ )

資源ごみの一次輸送距離についても、可燃ごみの場合と同様に推定する。資源ごみの一次輸送距離の推定値を  $Lf_1$ 、各焼却施設が担当する地域（以下、収集区域と呼ぶ）の一次輸送距離の推定値を  $Lr$ 、収集車の資源ごみ積載可能量を  $Wcar^r$  [ $t$ ]、各収集ステーションに排出される可燃ごみ量を  $x_2$  [ $t$ ]、リサイクルセンターの日あたり平均廃棄物処理量を  $Wr$  [ $t$ ]、対象とする地域全体の可燃ごみ排出量を  $Yr$  [ $t$ ] とすると、以下の式のようにになる。

$$Lr = 1.52 \times Lr^g = \frac{29.04 \times Wcar^r}{x_2} \times \sqrt{\frac{Sm \times x_2}{Wr \times Yr}} + 3.04 \times \sqrt{Sm} \quad (2-2)$$

### 3 K市におけるケーススタディの結果

#### 3.1 対象地域の概要

K市は、南北方向 48.5km、東西方向 25.8km の広がりがある。人口は 145 万 9715 人を有する。総面積が 610.22 $km^2$ 、森林面積が 408.46 $km^2$ 、である。可燃ごみの収集は、1 週間に 2 回行われている。収集地域が北部、東部、南部、西部に 4 分割され、それぞれの収集地域に焼却施設が設置されている。缶・びん・ペットボトルの収集は、資源ゴミとして、1 週間に 1 回行われている。収集後、リサイクルセンターに搬送されたのち、それぞれ再商品化事業者に売却されている。

#### 3.2 K市におけるびん・ペットボトルの廃棄フローの作成

本研究の LCA における廃棄フローの設定では、焼却、埋立、再資源化それぞれに配分される割合に関しては K市の現状を適用する。

ペットボトルは、

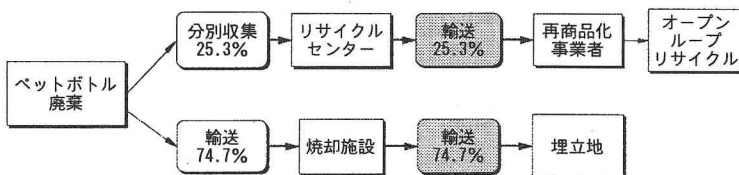


図 3.1 K市のペットボトルの廃棄フロー

平成 10 年度における K 市の回収実績が 25.3%で、回収されたペットボトルは全て売却されていることおり、京都市におけるペットボトルの廃棄フロー図（図

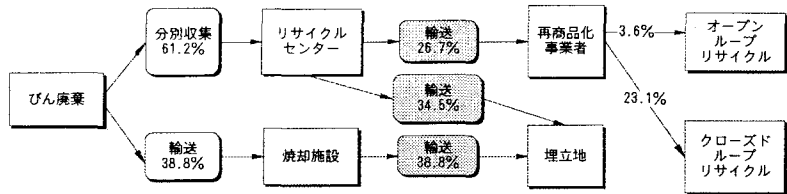


図 3.2 K 市のガラスびんの廃棄フロー

3.1) を作成した。

ガラスびんについては、ガラスびんリサイクル協会の資料を参考にし、輸入ガラスびんは全て未回収又は廃棄にされると仮定し、その割合は総量と同様（未回収量）：（一次廃棄量）＝76：25 になるように配分した。回収後に廃棄される割合については K 市の現状（56.4%）を適用した。リターナブルびんは、廃棄される量が 50%、リターナブルボトルは、逆流通された後にボトル・カレットとしてクローズドループリサイクルされる量が 50%としている。また、K 市では、ガラスびんが回収量の 43.6%ほどしか売却されていない。これらに基づき、K 市におけるガラスびんの廃棄フロー図（図 3.2）を作成した。

3.3 対象容器間のライフサイクルにおける環境負荷比較

対象製品に関してライフサイクルにおける環境負荷を算出する。環境負荷項目としては、固形廃棄物発生量、消費エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量、SO<sub>x</sub>排出量、NO<sub>x</sub>排出量を取り上げる。また、リターナブルボトルの再使用回数は、感度分析の結果、概ね 5 回以上にて環境負荷削減が期待できることから判明したため、リターナブルびんの再使用回数は 5 回、リターナブルペットボトルの再使用回数は 10 回とした。リターナブルボトルの洗浄施設までの輸送距離は 100km とする。なお、全て内容物 1 L 当たりで換算している。その結果の概要を表 3.1 に示す。

各環境負荷項目の傾向を見ると、固形廃棄物発生量、エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量、はガラスびんの方が大きく、NO<sub>x</sub> 排出量、SO<sub>x</sub> 排出量はペットボトルの方が大きいという結果になった。ガラスびんの固形廃棄物発生量が、ペットボトルと比較して特に目立っているが、これは、分別収集したガラスびんの 56.4%が K

表 3.1 現状での容器の環境負荷比較（内容物 1L 換算）

|                        | ペットボトル   |          |          | ガラスびん    |          |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                        | ワンウェイ    |          | リターナブル   | ワンウェイ    | リターナブル   |
| 容量 [ml]                | 1000     | 1500     | 1500     | 1800     | 1800     |
| 本体重量 [kg]              | 0.033    | 0.06     | 0.107    | 0.93     | 0.98     |
| エネルギー [kcal/L]         | 544.67   | 657.60   | 256.60   | 1262.10  | 442.51   |
| CO <sub>2</sub> [kg/L] | 1.32E-01 | 1.59E-01 | 6.24E-02 | 3.27E-01 | 1.17E-01 |
| SO <sub>x</sub> [kg/L] | 5.56E-02 | 6.74E-02 | 8.13E-03 | 7.20E-04 | 2.60E-04 |
| NO <sub>x</sub> [kg/L] | 1.26E-03 | 1.52E-03 | 2.46E-04 | 3.43E-04 | 1.49E-04 |
| 廃棄物 [kg/L]             | 1.92E-03 | 2.33E-03 | 8.96E-04 | 3.58E-01 | 4.72E-02 |

市では埋立に回されていること、等が大きな原因であると思われる。

エネルギー消費に着目すると、容量が大きい 1.5L ワンウェイペットボトル（60g）は 658kcal、1.8L ワンウェイびん（930g）は 1262kcal となり、ペットボトルのエネルギー消費量は、ガラスびんの約半分となる。容器の容量が 500ml と 1.5L（または 1.8L）とを比較すると、ペットボトル場合の重量は 31.87g（500ml）と 60g（1.5L）と 2 倍程度であるのに対し、ガラスびんの重量は 190g（500ml）、980g（1.8L）へと 5 倍以上にもなる。そして、ワンウェイガラスびんのライフサイクルエネルギーのうち、びん製造時の消費エネルギー（1020kcal）が 80%ほどを占める。一方、ワンウェイペットボトルの製造時のもの（166kcal）は全体の 25%ほどである。従って、エネルギー消費の面から見れば相互を比較する場合、容器の容量が小さな場合はガラ

スビンが有利に、容量が大きい場合はペットボトルが有利になることが分かる。

3.4 リターナブルボトル導入による環境負荷削減の可能性

ペットボトル・びんのリターナブルボトル化が、K市全体に及ぼす環境負荷を試算する上で、前提となる条件を以下に挙げておく。

- ・調味料、食用油に対しては 1000ml ペットボトルが使用され、それ以外の内容物には 1.5L ペットボトルが使用される。
- ・リターナブルびんの容量は 1800ml (980g)、再使用回数は 10 回、洗浄輸送距離は 100km とする。
- ・リターナブルペットボトルの容量は 1500ml (107g)、再使用回数は 20 回、洗浄輸送距離は 100km とする。
- ・対象となる内容物は、食品用(醤油、醤油を除く調味料、食用油、酒類、清涼飲料)とする。

参考文献 5) を参考にして、内容物の財としての性質を支出弾力性から判断すると、調味料類 (0.587) は、飲料全体 (0.383)、茶類 (0.814)、コーヒー (0.475)、他の飲料 (0.196) と比べ、ペットボトルからリターナブルボトルへと代替した場合において、最も需要量の変動は少なく、社会的合意が得やすいと思われる。

これを基に、K市において、

ペットボトルからリターナブルボトルへの移行しやすいと思われるものの順にシナリオを作成した。(表 3.2) そして、各シナリオについて、K市における環境負荷を算定した。結果は表 3.3 のようになった。

また、図 3.4、図 3.5 では、現状①の環境負荷を 1 とし、各シナリオの環境負荷と比をとっている。

K市の現状では、ガラス

びんの固形廃棄物排出量が非常に多くなるため、それが各シナリオにも影響している。廃棄物排出量項目を除いて評価した場合には、全内容物に対しリターナブルびんを代替使用するシナリオ④や、全内容物をリターナブルプラスチックボトルに代替使用するシナリオ⑥が、最も環境負荷低減につながる。しかし、固形廃棄物排出量に着目すると、シナリオ④では増大してしまうが、シナリオ⑥では削減が期待できる。従って、K市でリターナブルガラスびんへ容器代替を行うならば、最終処分場の残余容量とガラスびんの収集方法に対する対策を

練る必要がある

と思われる。

表 3.2 K市におけるリターナブルボトル導入シナリオ

|       | 施策                        | 飲料全体 |      |               |    |     |
|-------|---------------------------|------|------|---------------|----|-----|
|       |                           |      | 炭酸飲料 | ミネラル<br>ウォーター | 酒類 | 調味料 |
| 現状①   | 全てペットボトル                  |      |      |               |    |     |
| シナリオ② | リターナブルびん導入                |      |      |               |    | ○   |
| シナリオ③ | リターナブルびん導入                |      |      |               | ○  | ○   |
| シナリオ④ | リターナブルびん導入                | ○    | ○    | ○             | ○  | ○   |
| シナリオ⑤ | リターナブルペット導入               |      | ○    | ○             |    |     |
| シナリオ⑥ | リターナブルペット導入               | ○    | ○    | ○             | ○  | ○   |
| シナリオ⑦ | リターナブルびん導入<br>リターナブルペット導入 |      |      |               |    | ○   |

表 3.3 シナリオ毎の環境負荷変動量算出結果

|             | 現状①      | シナリオ②    | シナリオ③    | シナリオ④    | シナリオ⑤    | シナリオ⑥    | シナリオ⑦    |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| エネルギー(kcal) | 6.39E+10 | 6.18E+10 | 6.07E+10 | 3.32E+10 | 6.30E+10 | 3.22E+10 | 2.94E+11 |
| CO2(kg)     | 1.55E+07 | 1.50E+07 | 1.48E+07 | 8.89E+06 | 1.52E+07 | 7.84E+06 | 7.18E+07 |
| SOx(kg)     | 6.54E+06 | 5.99E+06 | 5.76E+06 | 1.97E+04 | 6.41E+06 | 1.76E+06 | 1.24E+07 |
| NOx(kg)     | 1.48E+05 | 1.36E+05 | 1.32E+05 | 1.24E+04 | 1.45E+05 | 4.49E+04 | 3.40E+05 |
| 廃棄物(kg)     | 2.26E+05 | 4.47E+05 | 5.19E+05 | 2.36E+06 | 2.23E+05 | 1.13E+05 | 1.03E+06 |

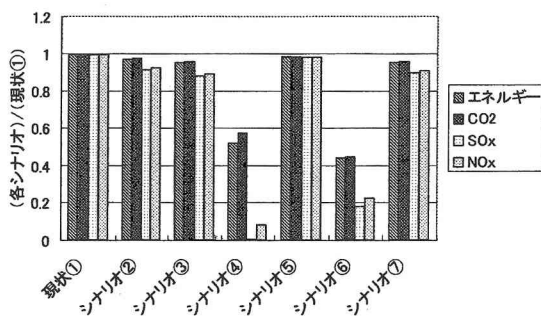


図 3.4 K市全体におけるシナリオ別の環境負荷

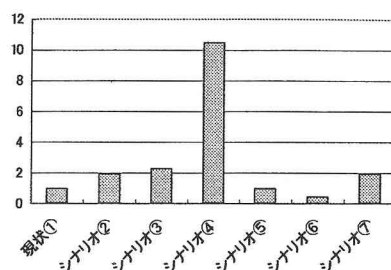


図 3.5 K市におけるシナリオ別  
固形廃棄物発生量

#### 4. 結論

本論文のケーススタディで得た結論は、次の通りである。

- ・ K市における資源ごみ収集で最も問題となるのは、収集後に廃棄されるガラスびんであり、その内訳はガラスびん全収集量の 56.4%にも上る。この収集時のガラスびんの損傷を低減させることで、リサイクルが効率的になる。
- ・ K市において、ワンウェイペットボトルとワンウェイガラスびんの環境負荷を比較した場合、原則として環境負荷が低いのはリターナブルガラスびんであるが、固形廃棄物排出量においてのみ、ワンウェイペットボトルの方が環境負荷が低いと推察される。  
従って、以下のような事柄が類推される。
- ・ リターナブルペットボトルの導入は、環境負荷削減の方策としては適していると考えられる。だが、コストがかかることや必要な原単位が不足していることを鑑みると、その方面での更なる検討を要する。
- ・ 最終処分場がある程度確保されているならば、リターナブルガラスびんの導入を推進していくべきであるが、その場合、ガラスびんを損傷しないような分別・収集システムを考えるべきである。

#### 5. 参考文献

- 1) PETボトル協議会資料
- 2) ガラスびんリサイクル促進協議会資料
- 3) 環境庁企画調整局環境保全活動推進室：リターナブルプラスチックボトルモデル事業研究会・PCリターナブルボトル素材安全性研究会・PCリターナブルボトル再使用安全衛生研究会報告書、1997
- 4) 容器間比較研究会（代表、安井至）：LCA手法による容器間比較報告書、2000
- 5) 総務庁統計局：家計調査年報平成11年、1999
- 7) 環境情報科学センター：ライフサイクルインベントリー分析の手引き、化学工業日報社、1998
- 8) Masanobu ISHIKAWA：A Logistics Model for Post-Consumer Waste Recycling、日本包装学会誌 Vol5.No1、1996