

PET ボトル等のリユースによる環境負荷分析結果について

検討の背景・経緯

ペットボトルを始めとする容器包装について、容器包装リサイクル法に基づく「リサイクル」は一定程度進展してきたが、更なる循環型社会の形成を目指して廃棄物の発生抑制とより一層の環境負荷低減を図るため、平成20年3月に「リユース」や「デポジット」の導入について検討する研究会（座長：安井至国連大学名誉副学長、東京大学名誉教授。以下「リユース研究会」とする。）を設置し、審議を行ってきたところである。平成20年7月にとりまとめられた同研究会の「中間とりまとめ」では、リユースとリサイクルの環境負荷についてライフサイクルアセスメントによる分析（LCA分析）が有用とした上で、「リユースとリサイクルの場合のペットボトルの厚さの違いや、我が国における輸送距離等の条件、メカニカルリサイクルの可能性等、我が国でペットボトルのリユースとリサイクルの環境負荷を定量化するためのデータや条件の設定についてさらに精査した上で、LCAを行う必要がある」と指摘されている。

今般、上記「中間とりまとめ」での指摘を踏まえ、容器包装リユース・リサイクルに伴う環境負荷等調査検討委員会（座長：森口祐一国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長）を設置し、PETボトル・ガラスびんのリユースとリサイクルの環境負荷・コストについて比較検討を行った。

I. 再使用容器に係る環境負荷分析

1. 調査範囲・前提条件等の設定

(1) 調査対象容器の選定

容器の再使用（リユース）に伴う環境負荷定量化の調査対象容器の選定にあたっては、リユース研究会において検討の俎上に挙がっているなど再使用容器の導入可能性の検討が政策課題となっている以下の容器を選定した。

- PET ボトル
 - ・ ミネラルウォーター用ボトル（2L、500ml）
 - ・ 茶系飲料用ボトル（2L）
- ガラスびん
 - ・ 焼酎・清酒用一升びん（1.8L）
 - ・ 焼酎・清酒用Rびん（900ml）

(2) 評価指標の選定

LCA で評価する際の評価指標についてはエネルギー消費量、CO2 排出量、廃棄物発生量・最終処分量、水消費量とした（水環境への負荷側面については、水処理工程に投入するエネルギー量を評価することで間接的に評価するものとする。なお、廃棄物発生量・最終処分量、水消費量については、十分なデータが得られなかったことから算定結果の一部を参考値として提示するにとどめることとした）。

(3) システム境界の設定

(1) で設定した調査対象容器について、LCA を行えるよう、適切な評価範囲（システム境界）を設定した。

PET ボトル・ガラスびんとも、原則として、飲料充填・販売・消費工程を除く全工程とした（本来はこれらの工程を含めることが望ましいが、販売店や家庭における冷蔵保管など多様な形態がありデータの収集が困難であること、容器というよりは中身飲料等に大きく依存することから含めないことを原則とした）。

2. 評価シナリオの設定

1. で選定した調査対象容器に関してリユース容器とワンウェイ容器の LCA 分析による比較を行うため、次表のとおり評価シナリオを設定した。

表 調査対象容器の設定

容器種類	容量		ボトル重量 (斜体は推計に基づく重量)	付属品等の材質と重量 (斜体は推計に基づく重量)	備考
ペットボトル	ミネラルウォーター 1.5L	ワンウェイ (無菌)	<i>30.0g</i>	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS): <i>2.00g</i>	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく(ミネラルウォーター市場における1.5Lボトルのシェアは非常に小さい。よって、初期コストを抑える意味で市場では耐熱ボトルが主流となっているが、今回はリターナブルボトルとの対比という観点から無菌ボトルを想定。1.5Lの無菌ボトルは実際に上市されていないため、ボトル重量は推計値)。
		リターナブル用 (耐熱)	59.0g	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS): <i>2.00g</i>	・ ボトル重量はパルシステムの実証実験で使用しているボトルと同一の値とした。 ・ ラベル重量は、リターナブル用2Lと500mlのラベル重量から内挿して推計。
ミネラルウォーター2L	2,000ml	ワンウェイ (無菌)	40.0g	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):2.06g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく。 ・ ラベル重量は、ワンウェイ用1.5Lと500mlのラベル重量から外挿して推計。
		リターナブル用 (耐熱)	<i>88.5g</i>	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):2.06g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく(10~15回程度リターナブル可能な強度を保つには現状の耐熱ボトル重量の1.5倍が必要と想定)。
ミネラルウォーター500ml	500ml	ワンウェイ (無菌)	<i>15g</i> / 20.5g	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):1.88g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく(現行のボトルで最軽量な水準(20.5g)と、近々上市される軽量ボトル(15g)の2パターンを想定)。
		リターナブル用 (耐熱)	<i>39.0g</i>	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):1.88g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく(10~15回程度リターナブル可能な強度を保つには現状の耐熱ボトル重量の1.5倍が必要と想定)。
茶系飲料2L	2,000ml	ワンウェイ (無菌)	42.0g	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):2.06g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく。 ・ ラベル重量は、ワンウェイ用1.5Lと500mlのラベル重量から外挿して推計。
		リターナブル用 (耐熱)	<i>88.5g</i>	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):2.06g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく(10~15回程度リターナブル可能な強度を保つには現状の耐熱ボトル重量の1.5倍が必要と想定)。
茶系飲料500ml	500ml	ワンウェイ (無菌)	23.5g	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):1.88g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく。
		リターナブル用 (耐熱)	<i>39.0g</i>	キャップ(PP):3.19g ラベル(OPS):1.88g	・ ボトル重量はPETボトルリサイクル推進協議会へのヒアリングに基づく(10~15回程度リターナブル可能な強度を保つには現状の耐熱ボトル重量の1.5倍が必要と想定)。
ガラスびん	焼酎・日本酒用一升びん	リターナブル用	950g	王冠:3.0g 中栓:1.5g ラベル:1.0g	・ 容器重量については(株)東洋ガラス一般びんカタログより入手した。 ・ **現状流通している主たる再使用容器のひとつ。
	焼酎用Rびん	リターナブル用	480g	キャップ:1.25g 中栓:0.3g ラベル:1.0g	・ 容器重量については、(社)環境生活文化機構資料より入手した。 ・ *九州地方において再使用容器利用の取組が進行中。
	焼酎用ワンウェイびん	ワンウェイ	450g	キャップ:1.25g 中栓:0.3g ラベル:1.0g	・ 容器重量については、(社)環境生活文化機構資料より入手した。 ・ **一般的に流通している900mlワンウェイびん。

※ボトル重量については 2009 年 1 月時点の状況を基に設定した。

表 検討テーマと評価シナリオ (PET ボトル)

検討テーマ	検討に用いる評価シナリオ	シナリオの設定	使用済ボトルの用途先
<p>A. ミネラルウォーター2L ボトルを対象としたワンウェイとリユース (クローズド、オープン) との比較、現行リサイクルと B to B リサイクルとの比較</p>	<p>A-1. ワンウェイシステム (現行リサイクル) シナリオ (水 2L)</p>		<p>繊維等</p>
	<p>A-2. リユース (クローズド) システムシナリオ (水 2L) ※広域で販売する場合 (A-2) と、地域を限定して販売する場合 (A-2') の 2 パターンを設定。</p>		<p>PET ボトル</p>
	<p>A-3. リユース (オープン) システムシナリオ (水 2L) ※広域で販売する場合 (A-3) と、地域を限定して販売する場合 (A-3') の 2 パターンを設定。</p>		<p>PET ボトル</p>
	<p>A-4. ワンウェイシステム (メカニカルリサイクル導入) シナリオ (水 2L) ※MR (B to B) で再生したボトル原料の最大使用率を 50% と想定し、残りは MR (カスケード) と設定。</p>		<p>PET ボトル</p>
	<p>A-5. ワンウェイシステム (ケミカルリサイクル促進) シナリオ (水 2L)</p>		<p>PET ボトル</p>
<p>B. 容器の容量が異なる場合 (ミネラルウォーター 500mL ボトルを対象) のリユースシステムとワンウェイシステムとの比較</p>	<p>B-1. ワンウェイシステムシナリオ (水 500mL) ※現行の最軽量ボトルの場合 (B-1) と近々上市予定の軽量化ボトルの場合 (B-1') の 2 パターンを設定。</p>		<p>繊維等</p>
	<p>B-2. リユース (オープン) システムシナリオ (水 500mL) ※広域で販売する場合を想定。</p>		<p>PET ボトル</p>
<p>C. 中身飲料が異なる場合 (茶系飲料 2L ボトルを対象) のリユースシステムとワンウェイシステムとの比較</p>	<p>C-1. ワンウェイシステムシナリオ (茶系飲料 2L)</p>		<p>繊維等</p>
	<p>C-2. リユース (オープン) システムシナリオ (茶系飲料 2L) ※広域で販売する場合を想定。</p>		<p>PET ボトル</p>

表 検討テーマと評価シナリオ (ガラスびん)

検討テーマ	検討に用いる評価シナリオ	シナリオの設定
A. 一升びんにおけるシステム間比較	A-1. ベストシナリオ (高い回収率を想定したシナリオ) (焼酎・清酒 1.8L)	
	A-2. 現状シナリオ (現状での平均回転数を元に回収率を設定したシナリオ) (焼酎・清酒 1.8L)	
B. Rびんにおけるリターナブルシステムとワンウェイシステムとの比較	B-1. リターナブルシステムシナリオ (焼酎・清酒 900ml) ※主に生産地 (九州地方等) で生産・消費される焼酎 (Rびん使用) を想定してシナリオを設定。	
	B-2. ワンウェイシステムシナリオ (焼酎・清酒 900ml) ※主に生産地 (九州地方等) で生産され、大消費地 (首都圏など) で消費される焼酎 (ワンウェイびん使用) を想定してシナリオを設定。	

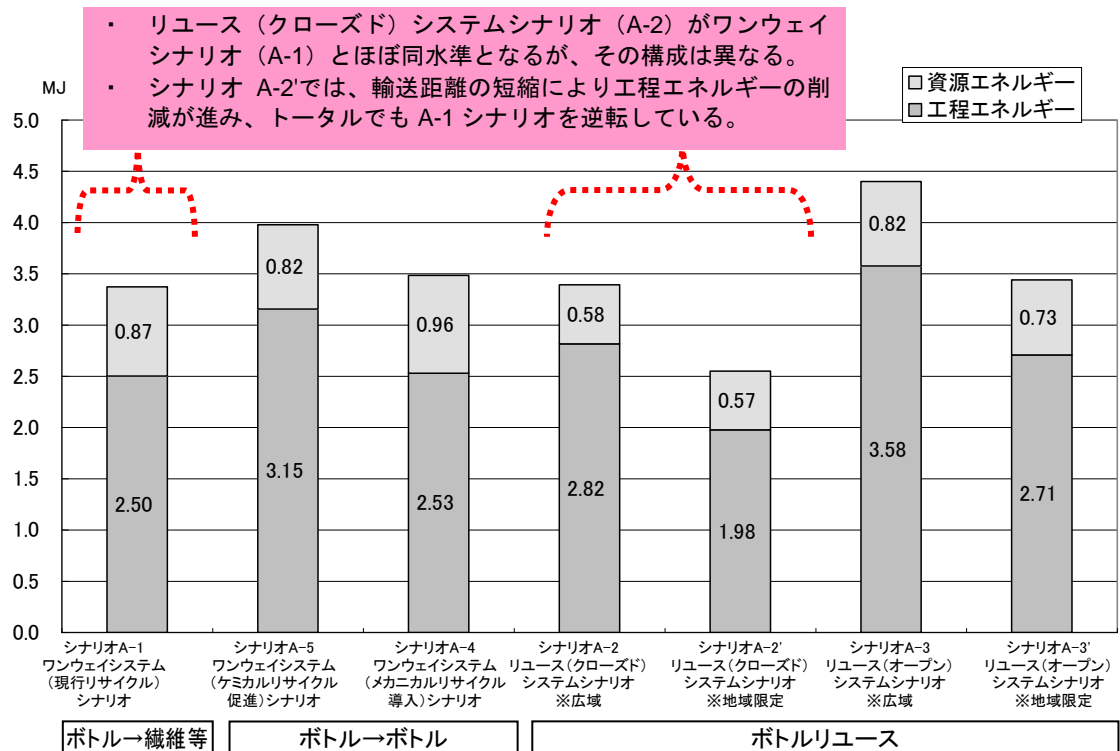
3. 環境負荷分析の実施

(1) PET ボトル

① ミネラルウォーター2L ボトルでの比較（検討テーマ A）

a) エネルギー消費量

- ・ リユースシナリオ間で比較すると、回収率が高い（90～95%）クローズド（A-2、A-2'）の方が、オープン（A-3、A-3'）よりもエネルギー消費量が小さい結果となった。さらに、いずれのシステムも輸送距離を短く（充填工場から販売拠点までの距離を260km→50km）した「地域限定」ケースにおいて、エネルギー消費量がより小さい結果となった。
- ・ ワンウェイ（A-1）とリユース（A-2、A-3）のシステム間で比較すると、リユース（クローズド）システムシナリオ（A-2）がワンウェイシナリオ（A-1）とほぼ同水準となるが、その構成が異なる点が特徴的である。すなわち、資源エネルギーは容器の再使用による資源投入量の削減効果が働きリユースシステムの方が小さくなるが、リユースシステムにおいて再使用容器輸送に伴う負荷が増大することから、工程エネルギーはリユースシステムの方が大きくなる。シナリオA-2'では、輸送距離の短縮により工程エネルギーの削減が進み、トータルでもA-1シナリオを逆転する結果となっている。
- ・ 一方、回収率の低い（60～70%）リユースオープンシナリオ（A-3）では、資源投入の削減効果が小さく、むしろ1本当たりの容器重量が増加することにより資源エネルギー消費量はわずかながら大きい値となる。その上、輸送時の負荷による工程エネルギーが大きいことから、トータルでもワンウェイよりもエネルギー消費量が大きい結果となる。
- ・ ワンウェイシステムシナリオ（A-1、A-4、A-5）間で比較すると、従来型（繊維等へのリサイクル：A-1）とメカニカル（ボトルへのリサイクル：A-4）はほぼ同水準となり、ケミカル（ボトルへのリサイクル：A-5）のエネルギー消費量が最も大きい結果となった。資源エネルギーについてはリサイクルにおける歩留まりの違いによる差が僅かに生じる程度であり、工程エネルギーの差がトータルに影響していることが窺える。



- リユース(クローズド)システムシナリオ(A-2)がワンウェイシナリオ(A-1)とほぼ同水準となるが、その構成は異なる。
- シナリオA-2'では、輸送距離の短縮により工程エネルギーの削減が進み、トータルでもA-1シナリオを逆転している。

ボトル→繊維等
ボトル→ボトル
ボトルリユース

- 回収率が高い(90~95%)A-2、A-2'の方が、A-3、A-3'(60~70%)よりもエネルギー消費量が小さい。
- 輸送距離を短くした「地域限定」ケースにおいて、エネルギー消費量がより小さい。

- ワンウェイシステムでは、従来型(繊維等へのリサイクルA-1)とメカニカル(ボトルへのリサイクル:A-4)はほぼ同水準となり、ケミカル(ボトルへのリサイクル:A-5)のエネルギー消費量が最も大きい結果となった。

図 検討テーマA(ミネラルウォーター2L)エネルギー消費量算定結果(1本あたり)

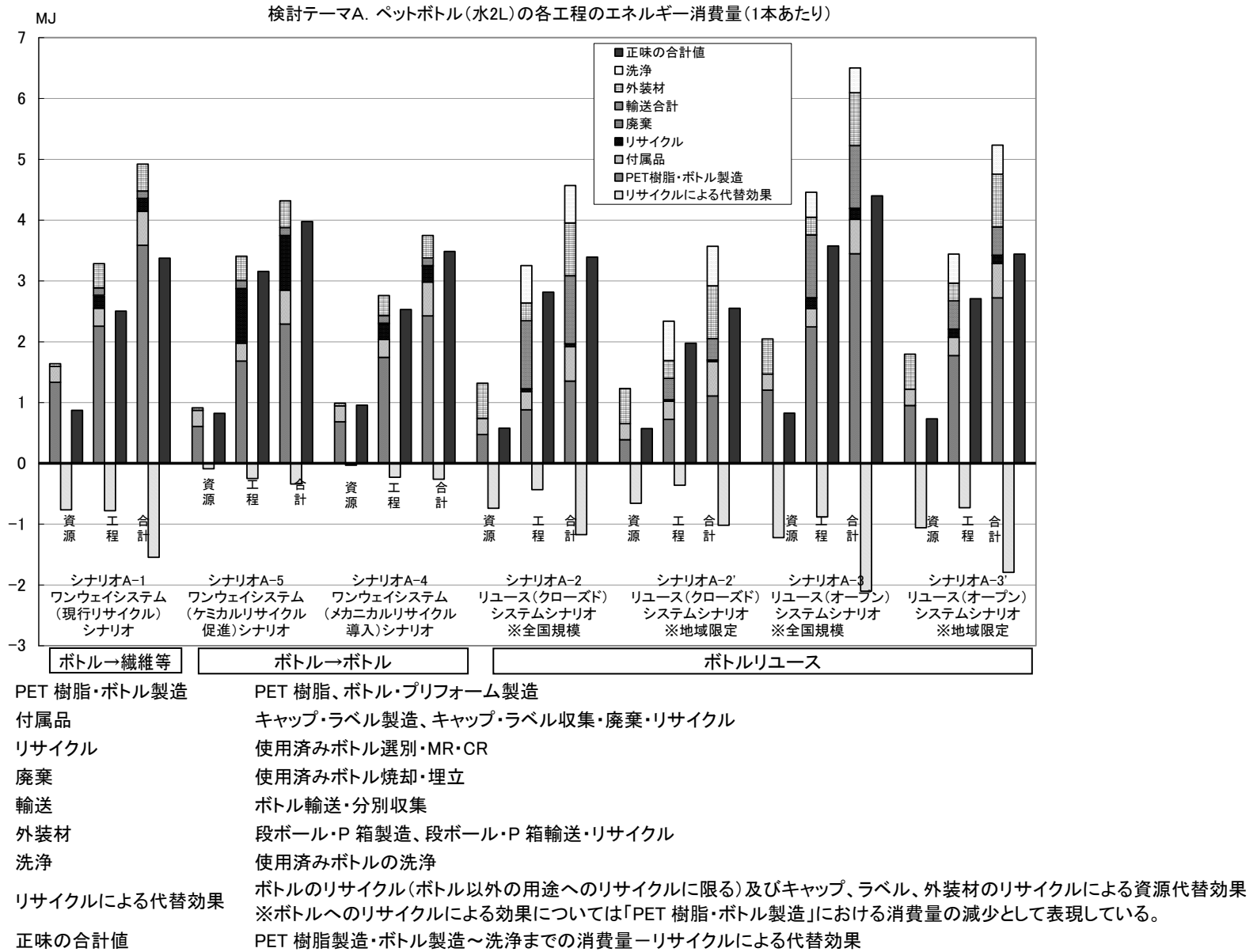


図 検討テーマA (ミネラルウォーター2L) エネルギー消費量算定結果 (段階別内訳、1本あたり)

b) CO2排出量

- ・ リユースシナリオ間で比較すると、回収率が高い(90~95%)クローズド(A-2、A-2')の方が、オープン(A-3、A-3')よりもCO2排出量が小さい結果となった。さらに、いずれのシステムも輸送距離を短く(充填工場から販売拠点までの距離を260km→50km)した「地域限定」ケースにおいて、CO2排出量がより小さい結果となった。
- ・ ワンウェイ(A-1)とリユース(A-2、A-3)のシステム間で比較すると、リユース(クローズド)システムシナリオ(A-2)はワンウェイシナリオ(A-1)よりもCO2排出量が40gCO2/本程度大きくなっている。その内訳を見ると、PET樹脂・ボトル製造からのCO2排出は容器の再使用による資源投入量の削減効果が働きリユースシステムの方がかなり小さくなるが、リユースシステムにおいて再使用容器輸送に伴う負荷が増大することから、輸送時のCO2排出量はリユースシステムの方が大きくなる。
- ・ A-1においてはリサイクル段階、廃棄段階の負荷が相対的に大きくなるが、リサイクルによる代替効果(ボトル以外の用途へのリサイクルによる代替効果)も大きくなる。なお、A-2の洗浄段階のCO2排出量はA-1のリサイクル段階の排出量とほぼ同水準となっている。
- ・ また、ワンウェイシステムシナリオ(A-1、A-4、A-5)間で比較すると、従来型(繊維等へのリサイクル:A-1)とメカニカル(ボトルへのリサイクル:A-4)では、より高品質の樹脂に再生するA-4の方が残渣処理に伴う廃棄段階でのCO2排出量が大きく、その差が全CO2排出量の違いとなっていることが窺える。ケミカル(ボトルへのリサイクル:A-5)では、リサイクル段階でのCO2排出量の増加が顕著である。
- ・ なお、段階別内訳のグラフにおいて、ボトル以外の用途へのリサイクルによる代替効果を含まないCO2排出量(各シナリオの左端のグラフ)を見ると、従来型(A-1)よりもメカニカル(A-4)の方が小さい値となっている。これは、もう一度ボトルにリサイクルされることによって新たなPET樹脂の投入量の削減による新樹脂製造段階までの排出削減効果が働くためである。望ましいリユース・リサイクルのあり方を検討するにあたってはこの点にも配慮すべきと考えられる。

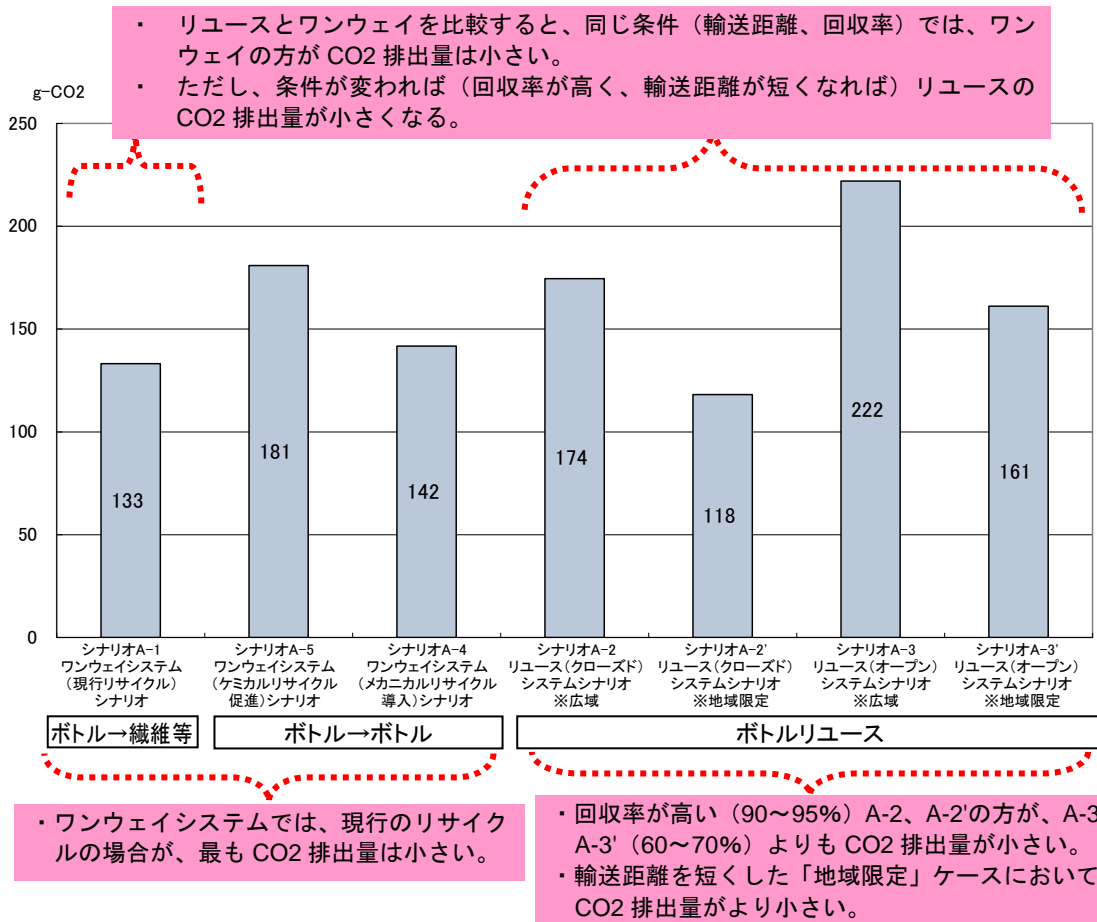
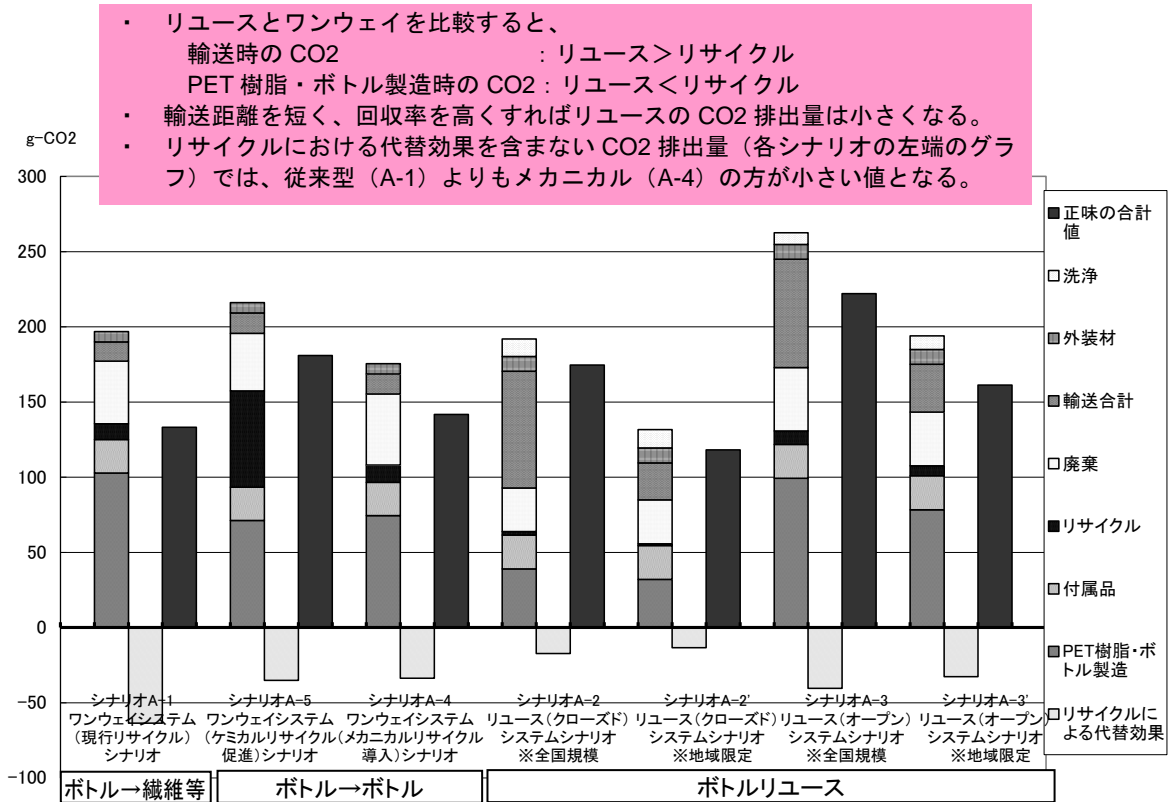


図 検討テーマA（ミネラルウォーター2L）CO₂排出量算定結果（1本あたり）



PET 樹脂・ボトル製造	PET 樹脂、ボトル・プリフォーム製造
付属品	キャップ・ラベル製造、キャップ・ラベル収集・廃棄・リサイクル
リサイクル	使用済みボトル選別・MR・CR
廃棄	使用済みボトル焼却・埋立
輸送	ボトル輸送・分別収集
外装材	段ボール・P 箱製造、段ボール・P 箱輸送・リサイクル
洗浄	使用済みボトルの洗浄
リサイクルによる代替効果	ボトルのリサイクル (ボトル以外の用途へのリサイクルに限る) 及びキャップ、ラベル、外装材のリサイクルによる資源代替効果 ※ボトルへのリサイクルによる効果については「PET 樹脂・ボトル製造」における負荷の減少として表現している。
正味の合計値	PET 樹脂製造・ボトル製造～洗浄までの環境負荷ーリサイクルによる代替効果

図 検討テーマA (ミネラルウォーター2L) CO2排出量算定結果 (段階別内訳、1本あたり)

c) 最終処分量¹ (参考)

- ・ リユースクローズドシステムシナリオ (A-2、A-2') が最も小さく0.49gであった。最終処分量については、実質的な回収率 (リユース+リサイクルの回収率) による影響が大きく、実質回収率の最も高い (約97~99%) A-2、A-2' シナリオで最も小さい値となったことが窺える。
- ・ また、リサイクルシナリオ (A-1、A-4、A-5) 間では、残渣の処理方法と同じ

¹使用済みボトルのうち最終処分される量のみを計上しており、原材料や容器製造工程の廃棄物の最終処分量は含んでいないため参考値として提示。

としていることから、リサイクルにおける歩留まりの違いによる差が生じている。

・実質回収率（リユース+リサイクルの回収率）の最も高い（約 97～99%）A-2、A-2'シナリオで最も小さい値となっている。

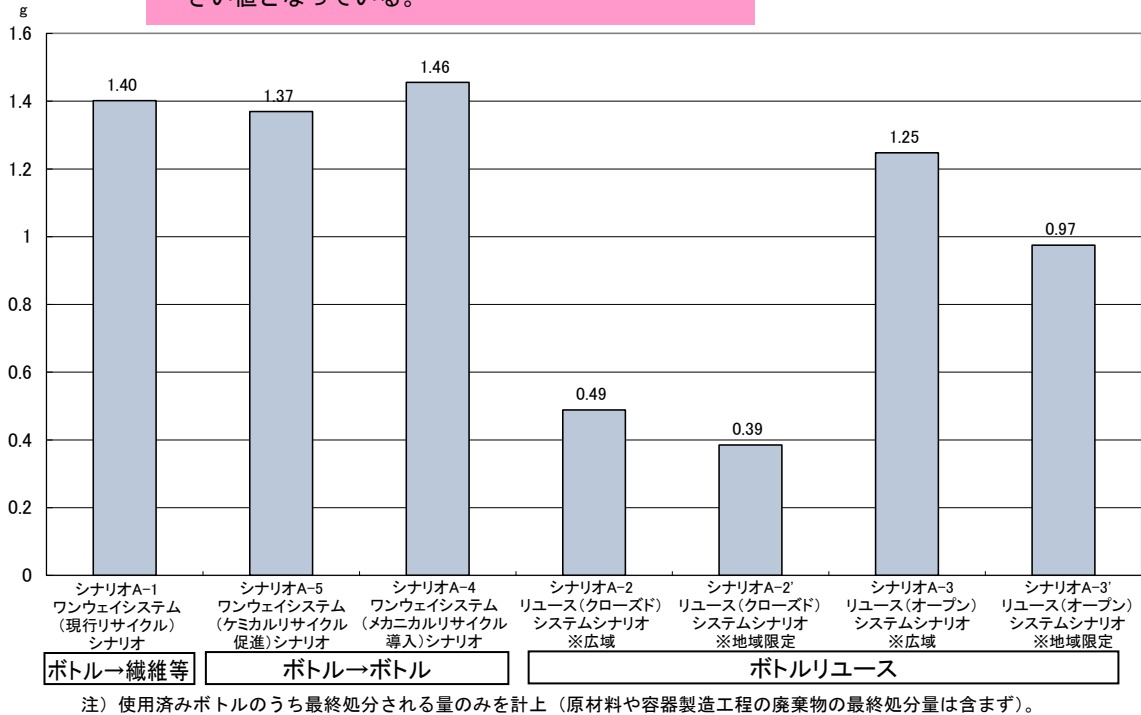


図 検討テーマA（ミネラルウォーター2L）最終処分量算定結果（1本あたり）（参考）

②ミネラルウォーター500ml ボトルでの比較（検討テーマ B）

- ・ CO2排出量について比較した結果は以下のとおり。2Lボトルの場合と同様、リターナブル（B-2）よりもワンウェイ（B-1、B-1'）が、更には軽量ボトル（B-1'）の方がCO2排出量が小さい結果となっている。
- ・ 内訳を見ると、PET樹脂製造・ボトル製造段階では、B-2の方がB-1よりもCO2排出量が小さい結果となっている。これは、容器の再使用による資源投入量の削減効果（B-2のCO2排出量を押し下げる）が容器重量の差（B-2のCO2排出量を増大させる）を上回っているためと推察される。また、B-1'では、容器重量が更に小さく設定されている（B-2の約4割の重量）ことから、B-2よりもCO2排出量も小さい値となっている。
- ・ 輸送段階について見ると、リユースシステム（B-2）において再使用容器輸送に伴うCO2排出量が大きいことが窺える。

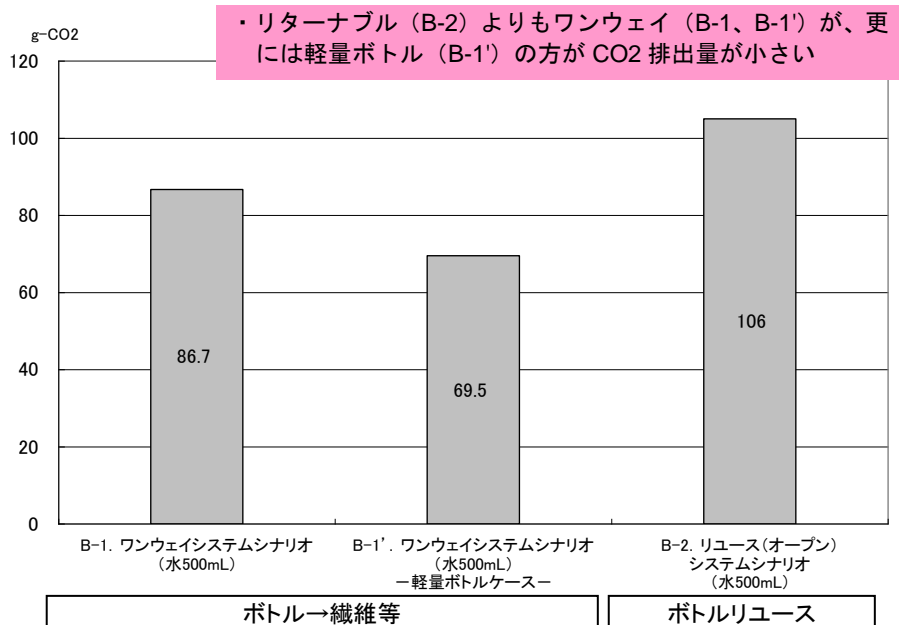
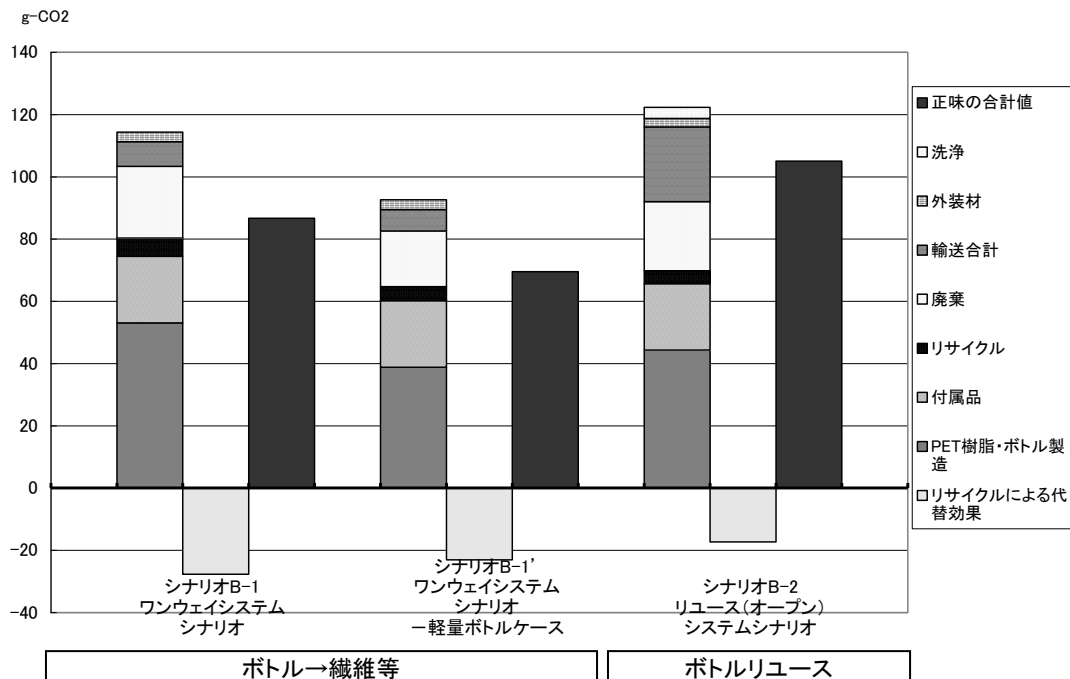


図 検討テーマB (ミネラルウォーター500ml) CO2排出量算定結果 (1本あたり)



- | | |
|--------------|---|
| PET樹脂・ボトル製造 | PET樹脂、ボトル・プリフォーム製造 |
| 付属品 | キャップ・ラベル製造、キャップ・ラベル収集・廃棄・リサイクル |
| リサイクル | 使用済みボトル選別・MR・CR |
| 廃棄 | 使用済みボトル焼却・埋立 |
| 輸送 | ボトル輸送・分別収集 |
| 外装材 | 段ボール・P箱製造、段ボール・P箱輸送・リサイクル |
| 洗浄 | 使用済みボトルの洗浄 |
| リサイクルによる代替効果 | ボトルのリサイクル(ボトル以外の用途へのリサイクルに限る)及びキャップ、ラベル、外装材のリサイクルによる資源代替効果
※ボトルへのリサイクルによる効果については「PET樹脂・ボトル製造」における負荷の減少として表現している。 |
| 正味の合計値 | PET樹脂製造・ボトル製造～洗浄までの環境負荷ーリサイクルによる代替効果 |

図 検討テーマB CO2排出量算定結果 (段階別内訳、1本あたり)

③茶系飲料とミネラルウォーター2L ボトルでの比較（検討テーマA、C）

- ・ CO2排出量について比較した結果は以下のとおり。ミネラルウォーターと茶系飲料との比較においては、大きな差は見られない結果となった。ワンウェイシステムにおける差が6gCO2/本あるが、これはボトル重量の差に起因するものである。一方、リユースシステムでは、洗浄工程について十分なデータが得られなかったため、ほとんど差が見られない結果となった（データが得られなかったため洗浄時の薬剂量を茶の場合は水の1.5倍と設定して試算した。結果的にはCO2排出量への影響は僅かであった）。

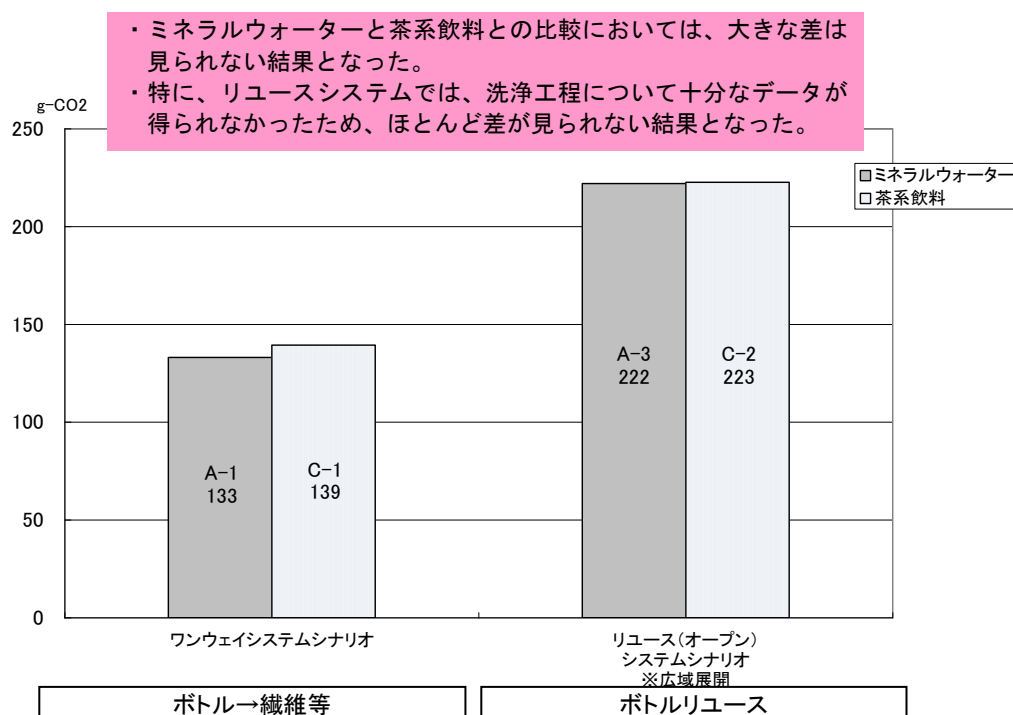


図 検討テーマA（水2L）と検討テーマC（茶系飲料2L）CO2排出量算定結果（1本あたり）

④感度分析（検討テーマA）

- ・ ミネラルウォーター2L（検討テーマA）を対象に、特に結果へ及ぼす影響が大きいと想定される因子（容器重量、容器回収率、輸送距離）について、感度分析を実施した。

a) 容器重量の感度分析

- ・ 容器重量を変更した場合におけるCO2排出量について試算を行った。設定条件は、ワンウェイシナリオ、リユースシナリオともに「軽量ケース」「当初設定値」「現行最大値ケース」の3ケースを設けて分析を実施した。ワンウェイシナリオでは、軽量ケースとして、近い将来、上市が見込まれる軽量ボトルの重量（38.0g）を設定し、現行最大値ケースには現行流通商品の実測値における最大値（46.8g）を用い、当初設定値（40.0g）とともに分析を実施した。

リユースシナリオについては、容器の耐用性に配慮して、軽量ケース（81.0g：実証実験で使用した1.5Lボトル重量を2L耐熱用として換算した重量）、当初設定値（88.5g：ワンウェイ耐熱ボトルの1.5倍相当）、現行最大値ケース（118g：ワンウェイ耐熱ボトルの2倍相当）について試算を行った。

- ・ 試算結果は以下に示すとおりであり、いずれのシナリオにおいても、容器重量の増加によりCO2排出量は増加する結果となった。
- ・ 本試算をベースに、容器重量増減g当たりのCO2排出量増減量を算定してみると、ワンウェイでは3.1~4.2gCO2/容器g、リユースでは0.7~1.6gCO2/容器gとなり、リユースの方が容器重量の変化に対するCO2排出量の変化が緩やかであることが窺える結果となった。

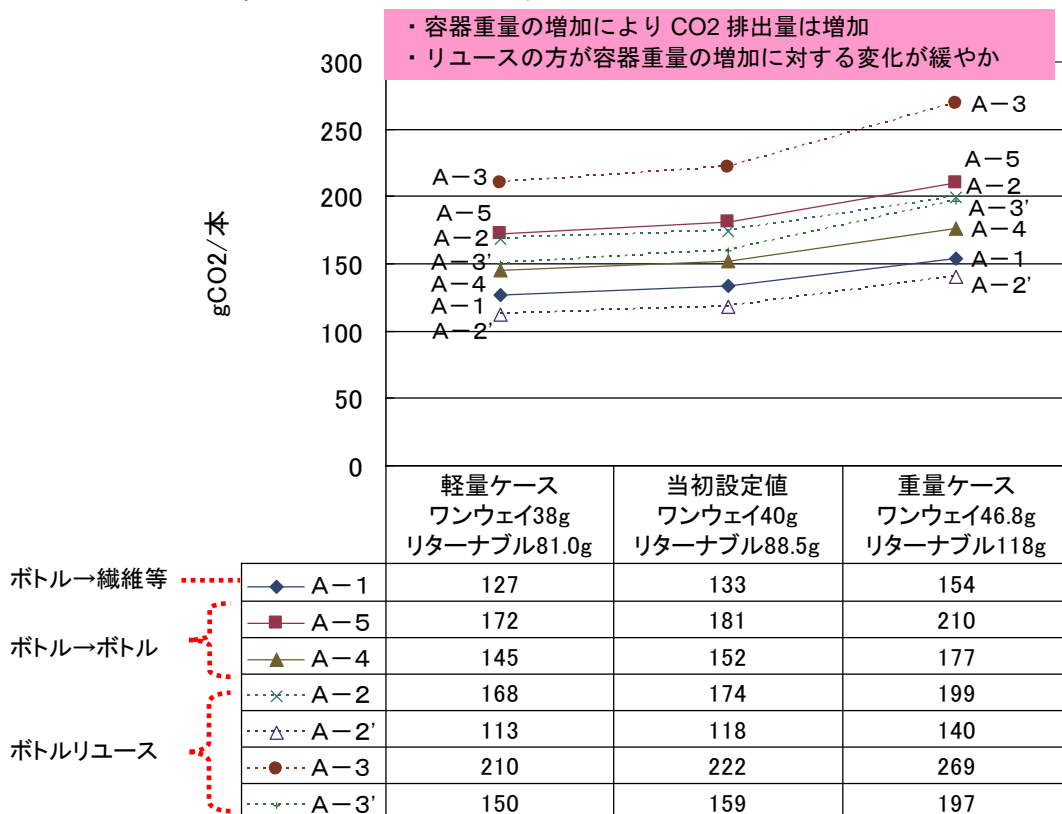


図 容器重量のCO2排出量への影響分析結果（ミネラルウォーター2L）

b) 容器回収率の感度分析

- ・ 容器回収率を変更した場合におけるCO2排出量について試算を行った。ワンウェイシナリオについては回収率（＝分別収集に向かう量／使用済みボトル排出量）について40~90%まで10%刻みと95%の値を設定した。一方、リターナブルシナリオについては、リユース率（＝宅配時・店頭回収に向かう量／使用済みボトル排出量）について、40~90%まで10%刻みと95%の値を設定した。また、シナリオA-1については、容器重量の影響分析で設定した現行流通品における最重量品についても分析を行った。
- ・ 試算結果は以下のとおりであり、いずれのシナリオにおいても回収率が高く

なるほどCO2排出量は小さい結果となったが、その感度については各シナリオ間で違った特徴が見られた。

- まず、ワンウェイとリユースで比較すると、全体的にリユースにおいて回収率に対する感度が高い傾向が見られた。すなわち、回収率が低い場合にはリユースによる環境負荷削減効果が大きく低下することが示唆される。
- また、ワンウェイシナリオの中でも現行リサイクル（繊維へのリサイクル：A-1）の方が、メカニカル（ボトルへのリサイクル：A-4）、ケミカル（ボトルへのリサイクル：A-5）と比較して回収率に対する感度が高い傾向が見られた。これは、リサイクル段階における全CO2排出量への寄与がA-4、A-5において相対的に大きいため、回収率の増加がリサイクル段階の負荷へダイレクトに影響していることが主たる要因と考えられる（ただし、A-4については新規ボトルの代替率の上限を50%とし、残りは繊維等へリサイクルされるとしている。このため、回収率が高くなるにつれ、繊維等へのリサイクル分が増加し、感度がA-1に近づいていくことが見て取れる）。
- リユースシナリオでは、地域限定シナリオ（A-2'、A-3'）において、90%以上の回収率が得られれば、現行のワンウェイシナリオにおけるCO2排出量を下回る可能性があることが示唆された（なお、参考までに、ボトル以外の用途へのリサイクル代替効果を含まない場合では70%以上の回収率でワンウェイシナリオのCO2排出量を下回る結果となる）。

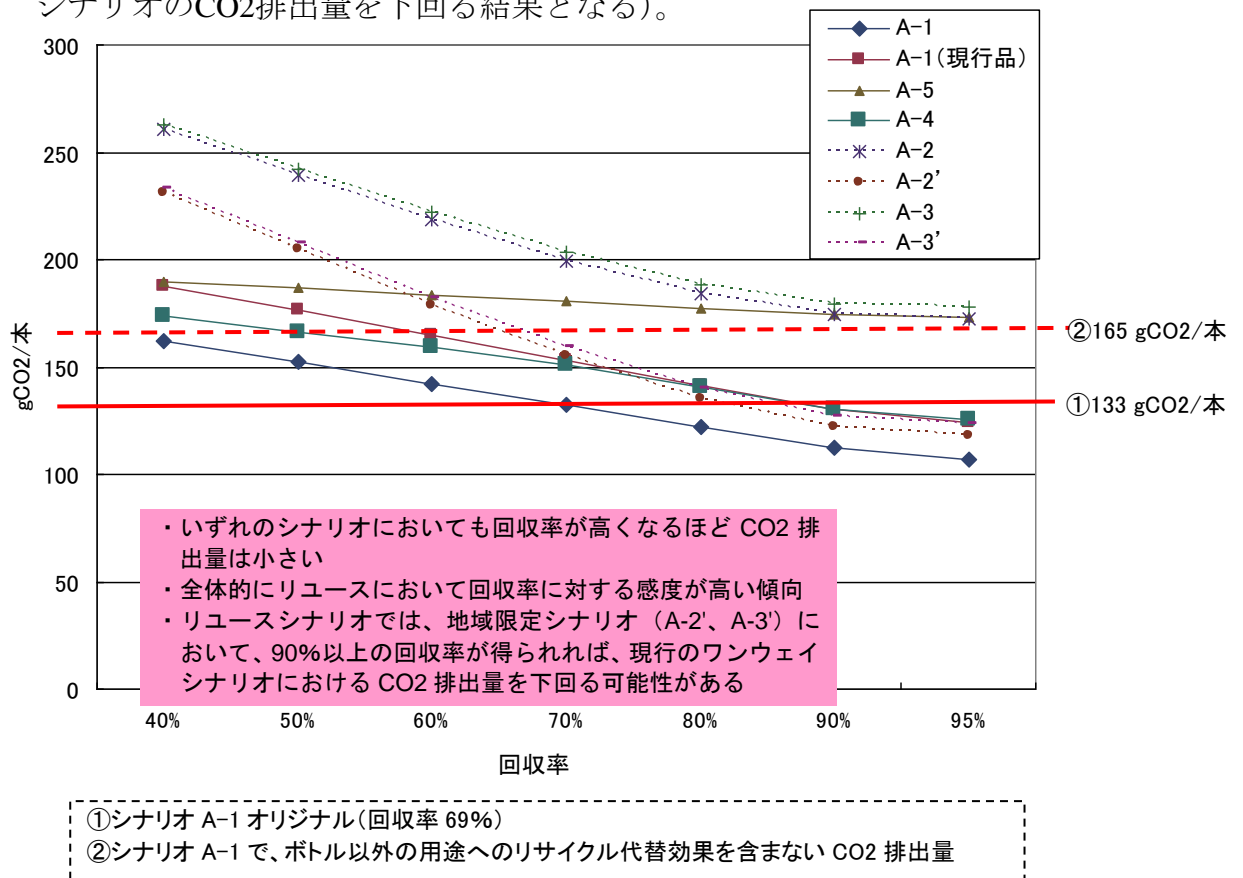


図 容器回収率のCO2排出量への影響分析結果（ミネラルウォーター2L）

- シナリオA-1とA-2に関して、回収率別の内訳を示した結果は以下のとおりである。シナリオA-1では回収率の増加に伴い、廃棄段階の負荷が減少するとともにリサイクル代替効果（ボトル以外の用途へのリサイクルによる代替効果）が増加していることが推察される。一方、シナリオA-2では、回収率の増加に伴うPET樹脂・ボトル製造の負荷減少が顕著であり、回収ボトルの輸送時の負荷増加を上回っている状況が窺える。

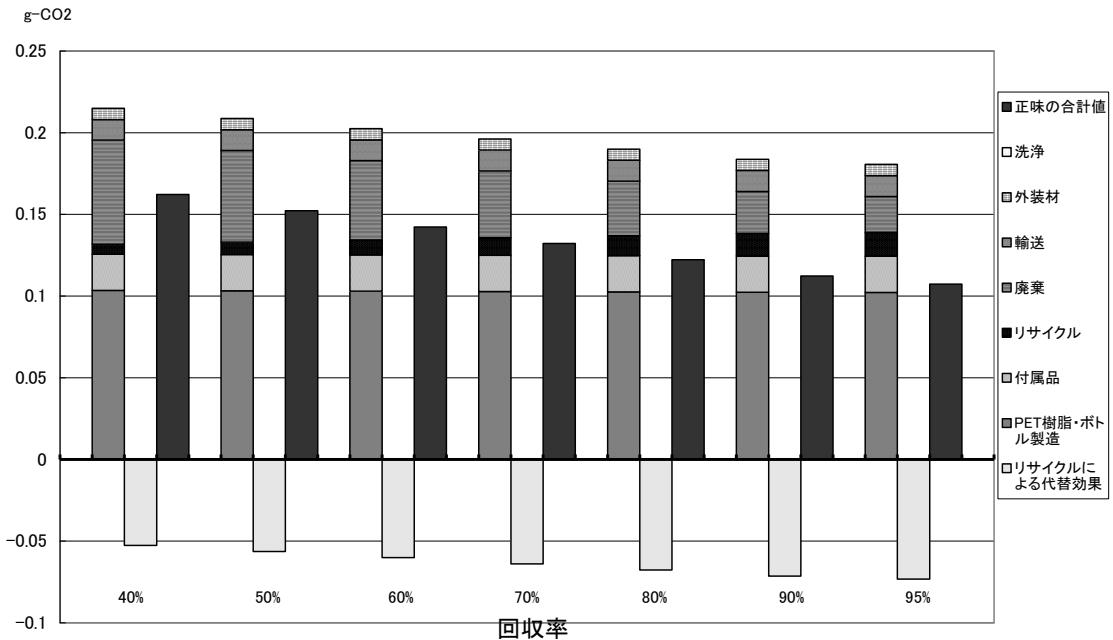


図 容器回収率のCO2排出量への影響分析結果（ミネラルウォーター2L）
（A-1：ワンウェイシステム（現行リサイクル）シナリオ、段階別内訳）

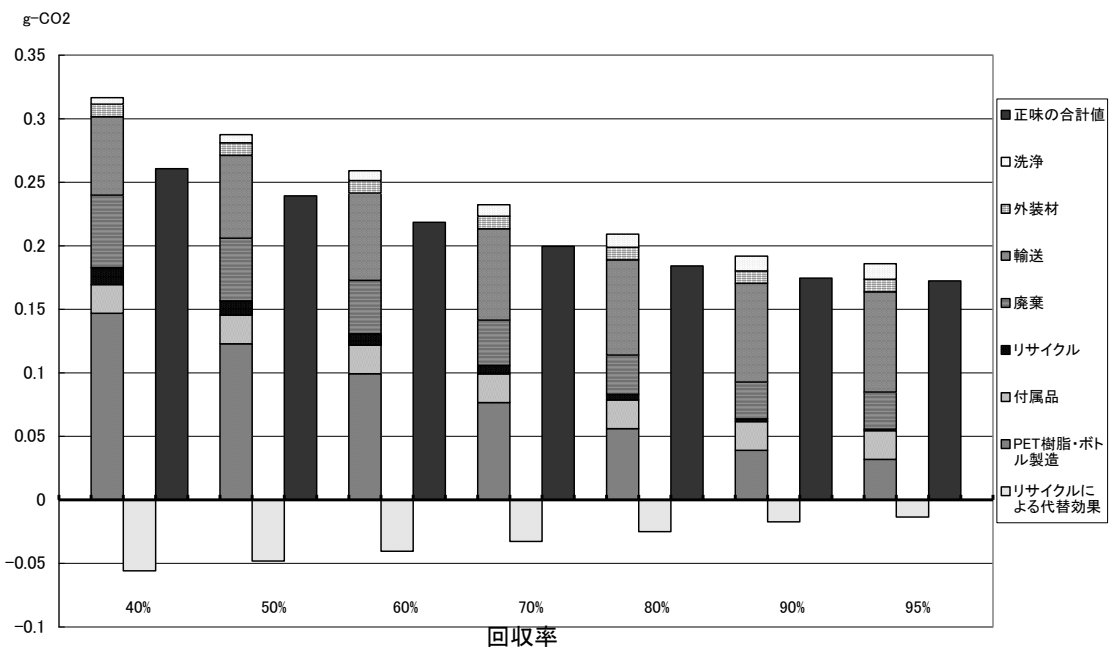


図 容器回収率のCO2排出量への影響分析結果（ミネラルウォーター2L）
（A-2：リユース（クローズド）システムシナリオ ※全国規模、段階別内訳）

c) 輸送距離の感度分析

- ・ シナリオA-2：リユース（クローズド）システムシナリオ（ミネラルウォーター2L）については、空ボトル輸送距離の影響が大きいと推察されることから、充填・販売地域を限定することによって環境負荷の削減が期待される。ここでは、輸送距離を変更した場合のCO2排出量について試算を行った。
- ・ 設定条件は以下のとおりであり、当初設定の広域ケース（ワンウェイボトルと同じ距離設定）、地域限定ケース（取水地と販売地が同一県内）に加えて、今回の実証実験での条件に近いケース（取水地：山梨県→販売：首都圏）を設定し、CO2排出量を試算した。

表 シナリオA-2の輸送距離影響分析における設定値

	全国ケース	A-2 (広域ケース)	今回実証実験 ケース	地域限定ケース
充填→販売拠点	500km	260km	100km	50km
回収拠点→洗浄	50km	50km	30km	20km
洗浄→充填	500km	260km	100km	50km
自治体→選別・焼却・処分	5km	5km	5km	5km
自治体→MR・CR	50km	50km	50km	50km

- ・ 結果は以下のとおりであり、今回実証実験ケースでワンウェイシナリオ(A-1)とほぼ同水準のCO2排出量となり、地域限定ケースではワンウェイシナリオを下回るという結果となった（なお、参考までに、ボトル以外の用途へのリサイクル代替効果を含まない場合ではより広域なケースでもワンウェイシナリオのCO2排出量とほぼ同じ水準となる）。本試算により、リユースの実施にあたっては輸送距離が重要な因子となりうることが示唆された。

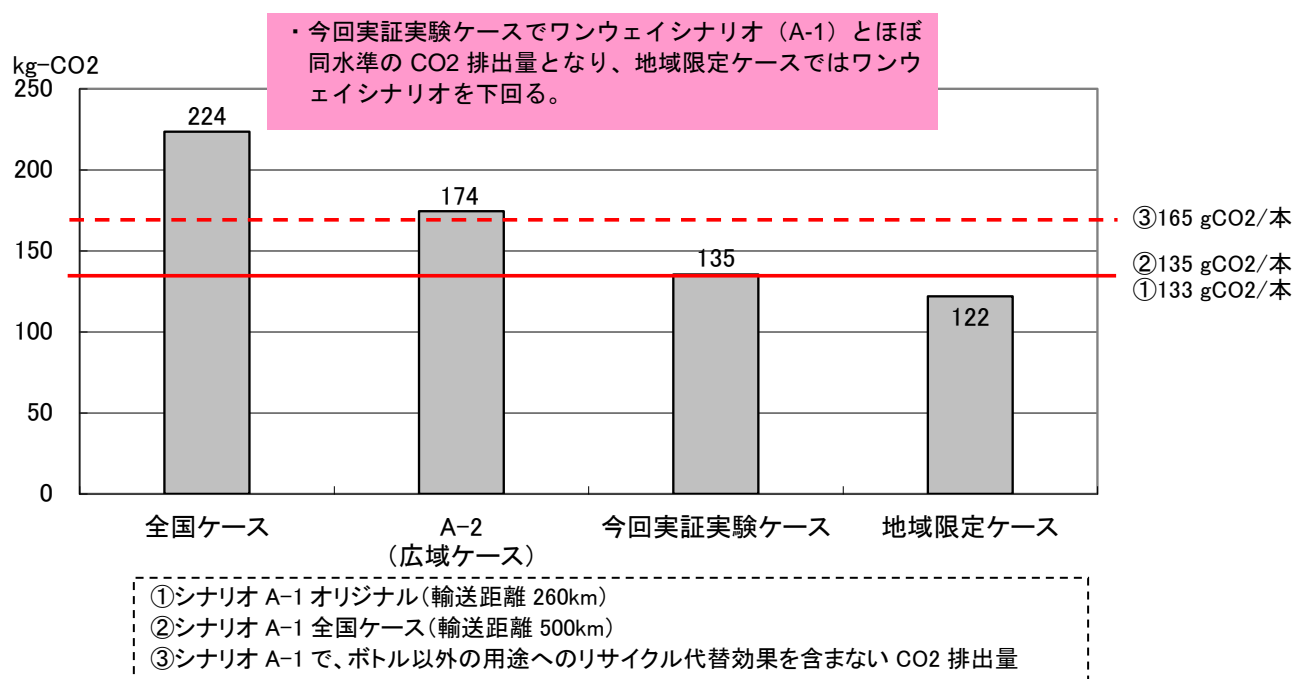


図 輸送距離のCO2排出量への影響分析結果（ミネラルウォーター2L）

(2) ガラスびん

①一升びんについての比較（検討テーマA）

a) エネルギー消費量

- シナリオA-1よりも、A-2のエネルギー消費量が低い結果となった。工程エネルギーによる影響が大きく、資源エネルギーの投入は、王冠および外装材に限られたため極めて低い数値となっている。

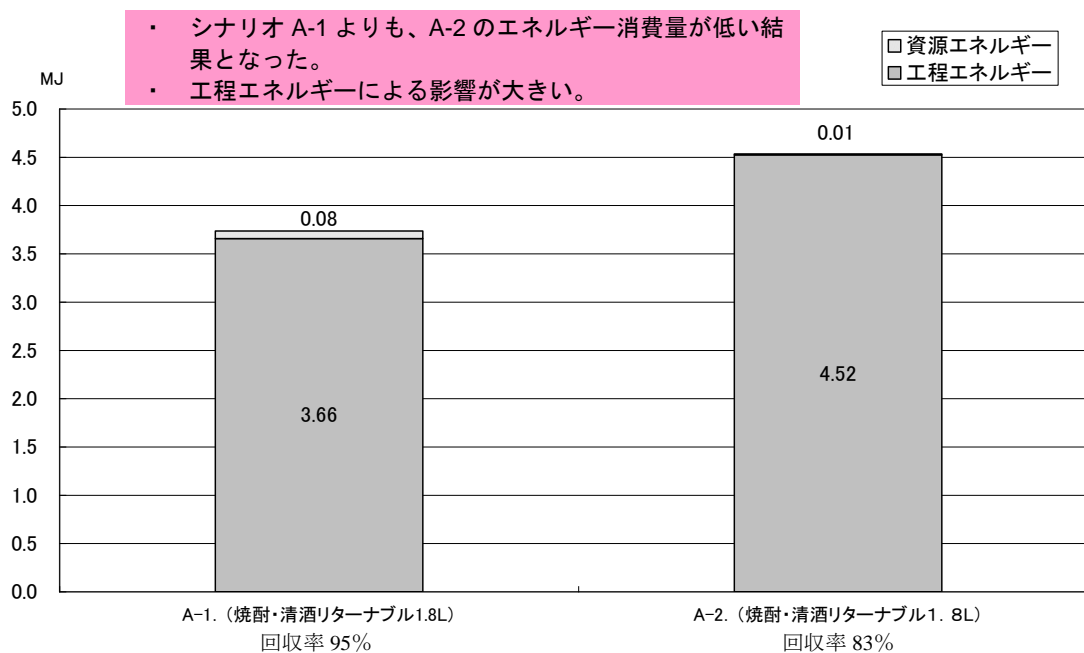


図 一升びん（検討テーマA）エネルギー消費量算定結果

b) CO2排出量

- より回収率の高いシナリオA-1がシナリオA-2より低い値となった。

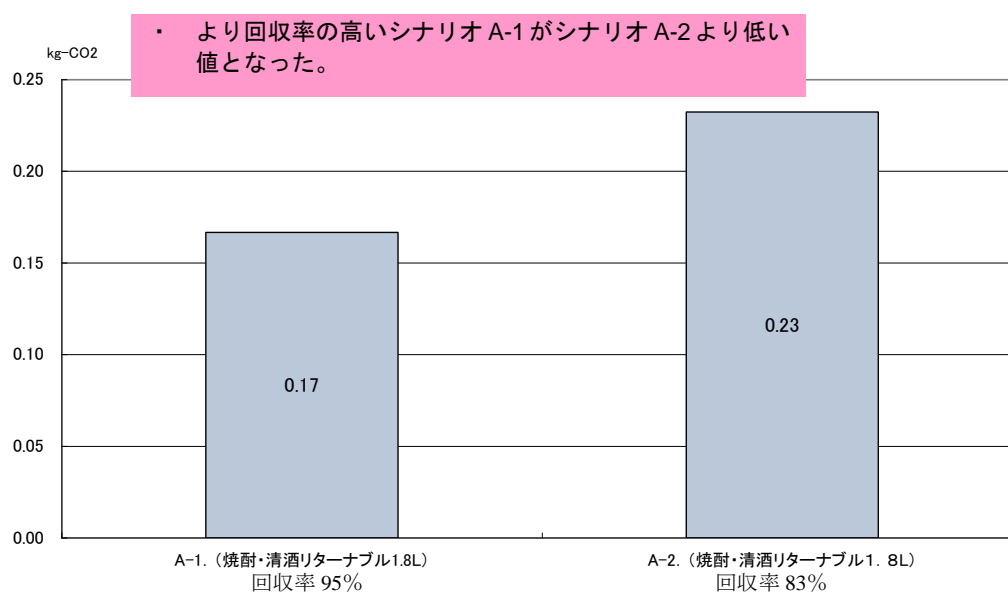


図 一升びん（検討テーマA）CO2排出量算定結果

c) 最終処分量

- ・ 回収率が高いシナリオA-1が低い環境負荷を示す結果となった。なお、CO2およびエネルギー消費量よりも、廃棄物排出量について両シナリオの差は顕著である理由として、びんの容器重量が廃棄物排出量に大きく関係することが考えられる。

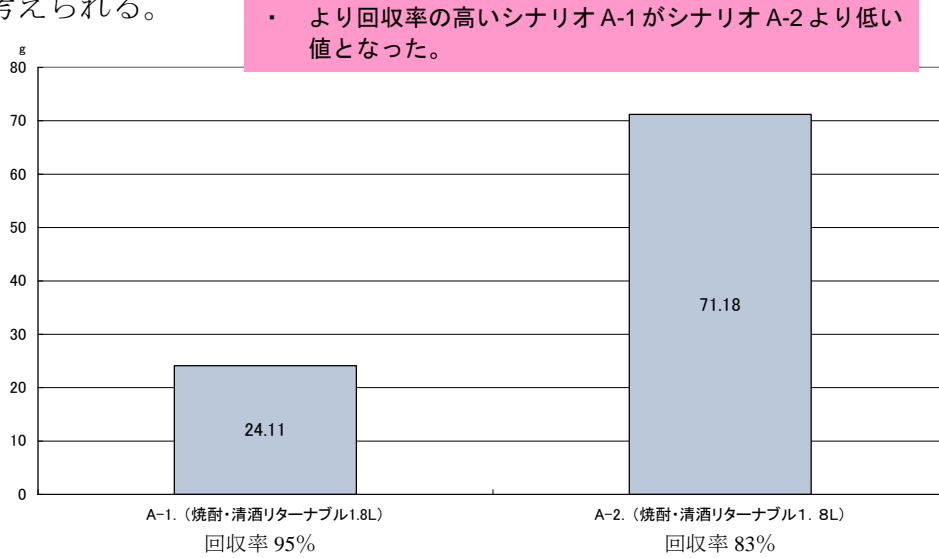


図 一升びん（検討テーマA）最終処分量算定結果

②Rびんについての比較（検討テーマB）

a) エネルギー消費量

- ・ リターナブル（B-1）とワンウェイ（B-2）を比較すると、リターナブルが低い結果となった。また、一升びんと同様、ほぼ全てが工程エネルギーの消費量となっている。

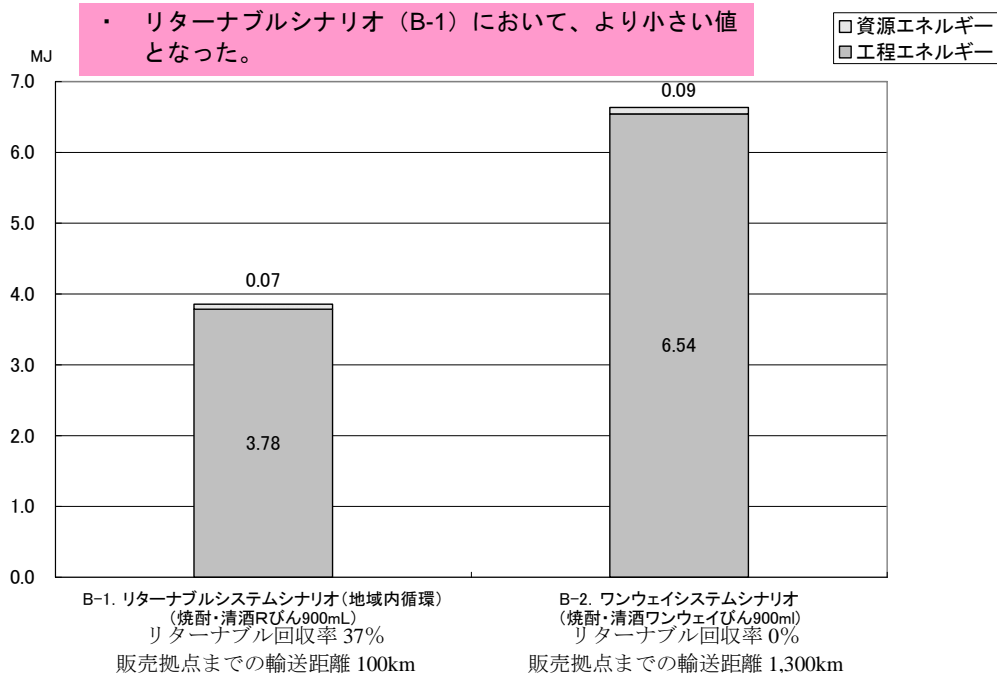


図 Rびん（検討テーマB）エネルギー消費量算定結果

b) CO2排出量

- リターナブル (B-1) よりもワンウェイ (B-2) の方が、CO2排出量大きい結果となっている。
- これは、シナリオB-1が地域内における循環を前提に充填～店舗配送と回収の距離を200kmに設定しているのに対し、シナリオB-2が南九州から東京への出荷 (1300km) を想定しているためであると考えられる。

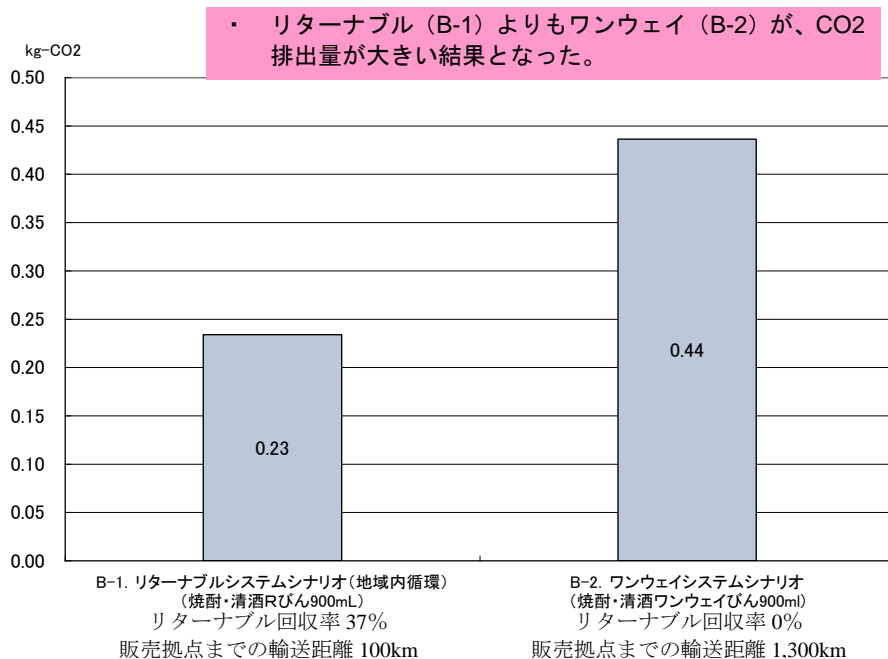


図 Rびん (検討テーマB) CO2排出量算定結果

c) 最終処分量

- リターナブル (B-1) よりもワンウェイ (B-2) が高い環境負荷を示す結果となった。

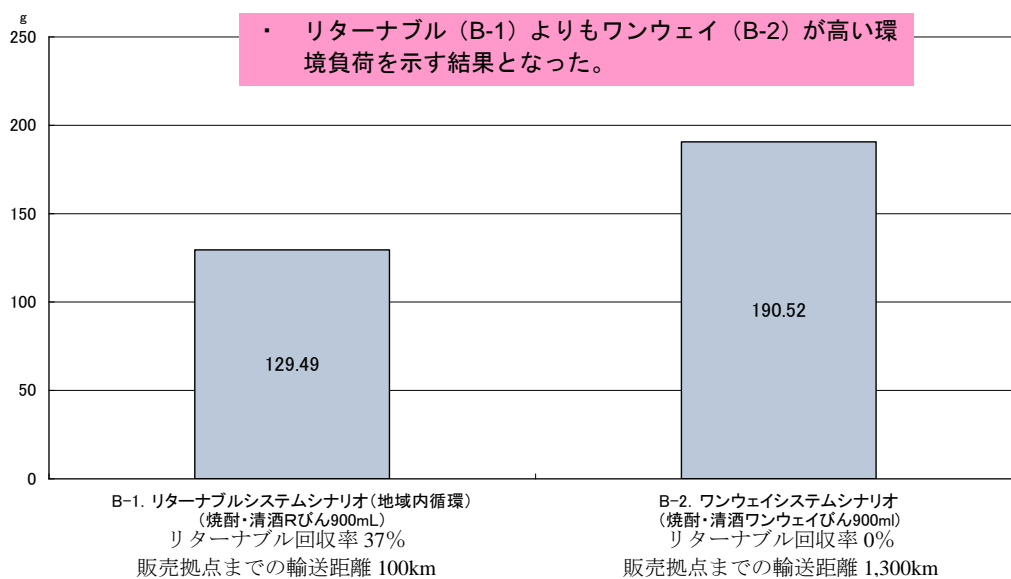


図 Rびん (検討テーマB) 最終処分量算定結果

4. まとめと今後の課題

PET ボトルとガラスびんに対して環境負荷分析を行った結果、以下が確認された。

<PETボトル>

- ・ ワンウェイシステムとリターナブルシステムで回収率や輸送距離が同じ水準であれば、ワンウェイシステムの方がエネルギー消費量、CO₂排出量は小さくなるが、回収率の向上、輸送距離の短縮化、容器重量の軽量化を図ることでリターナブルシステムが有利となるケースがあることが明らかとなった
- ・ 具体的には、洗浄や充填、配送等に係るボトルの輸送距離が100km未満であって、90%以上の回収率が達成される場合、リサイクルシステムよりもリターナブルシステムの方が、CO₂排出量が小さくなる（なお、ボトル以外の用途へのリサイクルの代替効果を考慮しない場合には、より輸送距離が大きく、回収率が低い場合でも同等の水準となる）。
- ・ 最終処分量については、総じて高い回収率が期待できるリターナブルシステムにおいて環境負荷が小さくなると考えられるが、データの更なる収集を通じた算定結果の精査が必要であると考えられる。
- ・ ワンウェイシステム間において、現行リサイクルシナリオ（ボトル→繊維等のマテリアルリサイクル中心）とメカニカルリサイクル導入シナリオ（ボトル→ボトルのマテリアルリサイクル中心）、ケミカルリサイクル促進シナリオ（ボトル→ボトルのケミカルリサイクル中心）を比較すると、CO₂排出量については、現行リサイクルシナリオがもっとも少なくなる。一方、リサイクルにおける代替効果（ボトル以外の用途へのリサイクルによる代替効果）を含まないCO₂排出量を見ると、現行リサイクルシナリオよりもメカニカルリサイクルシナリオの方が小さい値となっている。今後のペットボトルにおけるリユース、リサイクルのあり方を検討するにあたってはこの点にも配慮すべきと考えられる。

<ガラスびん>

- ・ 一升びんについて、回収率が高い方が、エネルギー消費量、CO₂排出量、最終処分量とも小さい値となることが明らかとなった。
- ・ Rびんについて、リターナブルシステムの方がワンウェイシステムよりも環境負荷が小さい結果となることが示唆された。

本事業における環境負荷分析では、データ入手における制約等から、様々な仮定を置いて算定を行った。特に、PET ボトルの LCA の精度向上に向けては、以下の課題についての検討が重要であると考えられる。

- 洗浄の LCI データの拡充
- 調査対象容器の容量や形状の違いによる影響の分析
- メカニカルリサイクルデータの拡充
- ケミカルリサイクルデータの拡充

■ 再生樹脂の品質を考慮したリサイクル代替効果の評価

また、ガラスびんについては、びんの回収に関するインベントリデータの拡充が重要な課題であると考えられる。

Ⅱ. 再使用容器に係るコスト分析

1. 調査範囲・評価シナリオ等の設定

(1) 調査対象容器の選定

コスト分析のための調査対象容器については、データの入手可能性等を踏まえ、別途実施する実証実験の対象であるミネラルウォーターPETボトル1.5Lとした(なお、現状におけるPETボトル入りミネラルウォーターで1.5Lのシェアは極めて小さいことから、データの一部は2Lボトルのデータにて代用することとした)。

(2) 算定するコストの範囲(コスト評価のフレームワーク)

算定するコストの範囲については、誰にとってのコストであるかの捉え方によって異なるが、本事業では、リターナブル容器導入における決定権を有するボトラー(小売業のプライベートブランド商品(以下、「PB商品」とする)の場合は決定権を有する販売事業者) にとってのコストを算定対象とした。なお、ボトラーの研究開発費用や普及啓発費用など個々の製品毎のコストとして切り出すことが困難な費用については考慮しないことを原則とした。

また、評価にあたっては、ボトラー(もしくはPB商品における販売事業者)がリターナブル容器を導入した場合における追加的な費用(ワンウェイ容器導入時との差)を求め、その大小をもって評価・分析を行うこととした。

以上の考え方に基づき設定したコストの算定範囲(コスト評価のフレームワーク)は以下のとおりである。

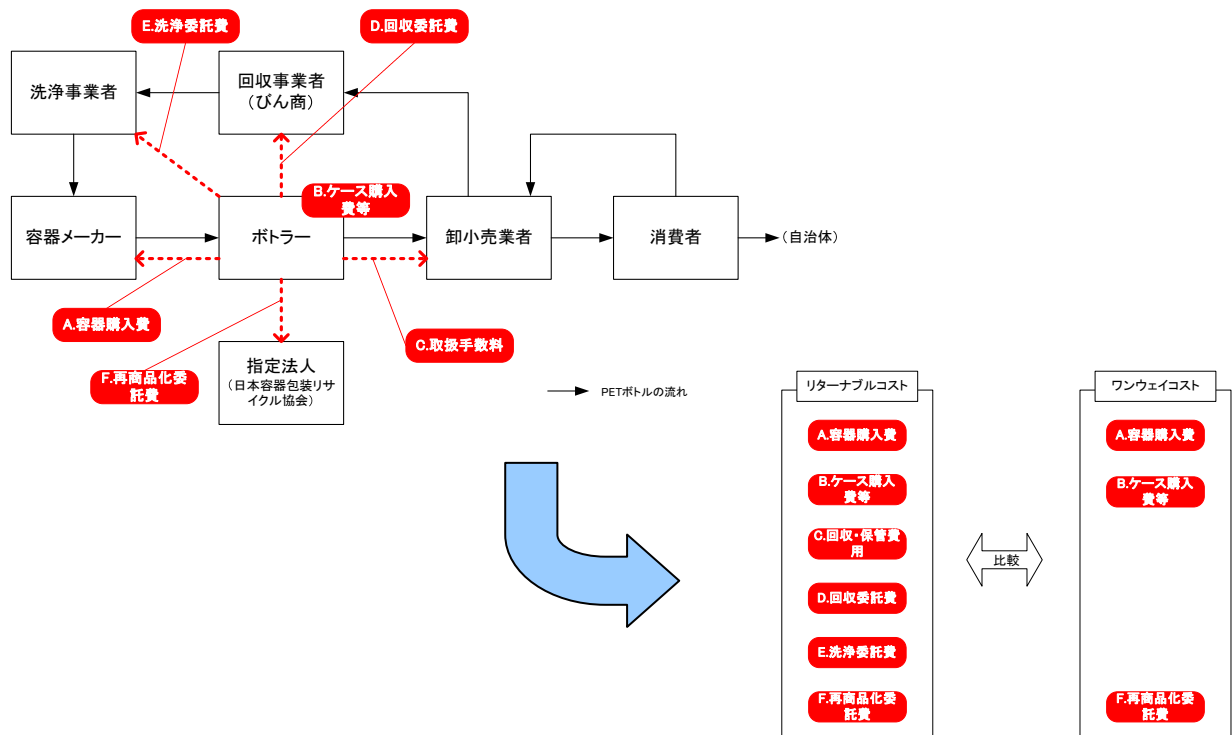


図 コスト評価のフレームワーク

(3) コスト評価シナリオ

コスト評価にあたっては、別途実施するリターナブルPETボトル実証実験の実施内容を踏まえて、以下の2つのシナリオを想定した。

表 リターナブルPETボトルのコスト評価シナリオ

	①クローズドシナリオ	②オープンシナリオ
販売形態	クローズド（宅配）	オープン（スーパー売り切り等）
回収方法	宅配時回収	販売店店頭回収
回収率	90～95%程度（実証実験結果に基づき設定）	60～70%程度（実証実験結果に基づき設定）

コスト算定においては、対象とする販売規模や対象地域の広さ等の前提条件によって結果が変わりうる。このため、試算にあたっては以下の2つのモデルケースを設定し、各ケースについて試算した。

表 設定したモデルケース

	ア．地域限定ケース	イ．広域展開ケース
充填工場数	1箇所	1箇所
販売地域	都道府県内	隣接する複数都道府県
回収インフラ	びん商等	びん商等
洗浄インフラ	既存のびん洗浄施設1箇所	新設1箇所

なお、上記以外の前提条件については、以下のとおりとした。

- ・ 事業開始に伴うイニシャルコストについては原則として評価しないこととした（ただし、その一部については、回収や洗浄等の委託費用に含まれていると推察）。
- ・ 事業者にとっての直接的な負担とはならないが、参考までに市町村の分別収集・選別コストについても併記した。

2. コスト分析結果

各シナリオに関してコスト算定について試行を実施した。結果（試算における課題が多く残っていることから、「検討イメージ」とした）は次ページのとおりであり、いずれのシナリオにおいても、リターナブル容器導入による容器購入費及び再商品化委託費の削減分と回収・保管・洗浄に関する費用の増加分がどの程度となるかでどちらが有利かが変わってくる結果となった。

- ・ クローズドシナリオ（地域限定ケース）においては、リターナブルで41.7～71.0円/本、ワンウェイで31.6～55.2円/本という結果となった。内訳を見ると、リターナブルでは洗浄委託費、容器購入費が、ワンウェイでは容器購入費の寄与が相対的に大きいことが窺える。
- ・ クローズドシナリオ（広域展開ケース）においては、リターナブルで47.2～74.1円/本、ワンウェイで31.6～55.2円/本という結果となった。内訳を見ると、リターナブルでは洗浄委託費、回収委託費、容器購入費が、ワンウェイでは地域限定ケースと同じく容器購入費の寄与が相対的に大きいことが見て取れる。
- ・ オープンシナリオ（地域限定ケース）においては、リターナブルで56.3～103.9円/本、ワンウェイで31.6～55.2円/本という結果となった。内訳を見ると、リターナブルでは洗浄委託費、容器購入費が、ワンウェイでは容器購入費の寄与が相対的に大きい結果となっている。
- ・ オープンシナリオ（広域展開ケース）においては、リターナブルで59.6～112.8円/本、ワンウェイで31.6～55.2円/本という結果となった。内訳を見ると、リターナブルでは洗浄委託費、容器購入費が、ワンウェイでは容器購入費の寄与が相対的に大きい結果となっている。
- ・ シナリオ間で比較すると、クローズドシナリオ、オープンシナリオともに、地域限定ケースに比べ広域展開ケースのリターナブルのコストが大きくなる結果となった。回収委託費の差が大きな要因であり、広域展開するに従って店舗から回収センターへの回収にかかる費用が大きくなると推察される。
- ・ クローズドシナリオとオープンシナリオ間の比較においては、クローズドシナリオに比べオープンシナリオのリターナブルのコストが大きくなる結果となった。要因としては、回収・保管費用と容器購入費の差が顕著であり、特に、回収・保管費用の中でもオープンシナリオでは自動回収機レンタル費用が発生することが大きな差となっている（ただし、回収本数が多くなれば費用の削減が可能である点に留意が必要である）。また、オープンシナリオにおいてはリターナブルの再商品化委託費用が発生すること、同じくオープンシナリオの広域展開ケースにおいては、回収委託費の保管費用が大きくなっていることも要因に挙げられる。
- ・ なお、ワンウェイでは今回試算したコスト以外に自治体の分別収集・選別コストを要する点についても考慮しておく必要がある。

表 コスト評価結果（検討イメージ）

シナリオ		①クローズドシナリオ		①クローズドシナリオ		②オープンシナリオ		②オープンシナリオ	
モデルケース		ア. 地域限定ケース		イ. 広域展開ケース		ア. 地域限定ケース		イ. 広域展開ケース	
前提条件	販売形態	宅配		宅配		店頭		店頭	
	回収率(%)	95%		90%		70%		60%	
	洗浄歩留まり	99%		99%		99%		99%	
	回転数(回/年)	7.7		6.3		3.2		2.5	
	平均耐用回数(回)	10		10		10		10	
コスト(単位:円/本)		リターンブル	ワンウェイ	リターンブル	ワンウェイ	リターンブル	ワンウェイ	リターンブル	ワンウェイ
A. 容器購入費		8.8 ~ 17.6	26.3 ~ 43.9	9.6 ~ 16.0	26.3 ~ 43.9	17.7 ~ 23.1	26.3 ~ 43.9	16.4 ~ 27.3	26.3 ~ 43.9
	ボトル	3.5 ~ 8.7	21.0 ~ 35.0	4.3 ~ 7.1	21.0 ~ 35.0	12.4 ~ 14.1	21.0 ~ 35.0	11.0 ~ 18.3	21.0 ~ 35.0
	キャップ	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3	3.8 ~ 6.3
	ラベル	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6	1.6 ~ 2.6
B. ケース購入費等		1.9 ~ 2.4	3.8 ~ 6.3	1.9 ~ 2.4	3.8 ~ 6.3	1.9 ~ 2.4	3.8 ~ 6.3	1.9 ~ 2.4	3.8 ~ 6.3
	P箱	1.9 ~ 2.4		1.9 ~ 2.4		1.9 ~ 2.4		1.9 ~ 2.4	
	段ボール		3.8 ~ 6.3		3.8 ~ 6.3		3.8 ~ 6.3		3.8 ~ 6.3
C. 回収・保管費用		0.7 ~ 0.7		0.7 ~ 0.7		5.9 ~ 26.7		5.9 ~ 26.7	
	回収(消費者→店舗・配送センター)	0.0		0.0		0.0		0.0	
	保管費用(店舗・配送センター)	0.7		0.7		0.7		0.7	
	自動回収機レンタル費用					5.2 ~ 26.0		5.2 ~ 26.0	
D. 回収委託費		7.3 ~ 7.3		12.0 ~ 12.0		7.3 ~ 7.3		12.0 ~ 12.0	
	回収(店舗→回収センター)	2.9		5.8		2.9		5.8	
	保管費用	2.6		2.6		2.6		2.6	
	運搬(回収センター→洗浄工場)	1.8		3.6		1.8		3.6	
E. 洗浄委託費		23.0 ~ 43.0		23.0 ~ 43.0		23.0 ~ 43.0		23.0 ~ 43.0	
	洗浄委託費用	20.0 ~ 40.0		20.0 ~ 40.0		20.0 ~ 40.0		20.0 ~ 40.0	
	保管費用	0.4		0.4		0.4		0.4	
	運搬(洗浄工場→充填工場)	2.6		2.6		2.6		2.6	
F. 再商品化委託費用			1.5 ~ 5.0		1.5 ~ 5.0	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 5.0	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 5.0
	指定法人委託費用		0.0 ~ 2.5		0.0 ~ 2.5	0.0 ~ 0.8	0.0 ~ 2.5	0.0 ~ 0.8	0.0 ~ 2.5
	事業系回収分処理委託費用		1.5 ~ 2.5		1.5 ~ 2.5	0.4 ~ 0.7	1.5 ~ 2.5	0.4 ~ 0.7	1.5 ~ 2.5
A. ~F. 合計		41.7 ~ 71.0	31.6 ~ 55.2	47.2 ~ 74.1	31.6 ~ 55.2	56.3 ~ 103.9	31.6 ~ 55.2	59.6 ~ 112.8	31.6 ~ 55.2
(参考)									
自治体分別収集・選別コスト(円/本)			8.1		8.1		8.1		8.1

3. 今後の課題

本事業におけるコスト分析については、データ入手における制約等があり、試行の域を出るものとはなっていない。したがって、試算結果の活用にあたっては、試算における限界を理解した上で、慎重な取扱いが望まれる。特に、以下の点が今後の検討課題と考えられる。

- イニシャルコストの取扱い
- 実証実験データの活用における限界
- 適切な事業化シナリオの設定
- 調査対象容器の容量や形状の違いによる影響の分析
- データの不確実性への配慮

(参考) 検討体制

座長	森口 祐一	独立行政法人国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター センター長
委員	浅川 薫	財団法人日本容器包装リサイクル協会 プラスチック容器事業部 部付部長
	匂坂 正幸	独立行政法人産業技術総合研究所 安全科学研究 部門 素材エネルギー研究グループ グループ長
	中野 加都子	神戸山手大学 現代社会学部環境文化学科 教授
	西原 一	社団法人プラスチック処理促進協会 技術開発部 部長
	平尾 雅彦	東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専 攻 教授
オブザーバー		
	岩本 正憲	日本ガラスびん協会 (東洋ガラス(株)生産技術本部 知的財産グループ リ ーダー)
	小松 郁夫	PETボトルリサイクル推進協議会 技術検討委員会 委員 (東洋製罐株式会社資材・環境本部 環境部 課長)
	林 英一	PETボトルリサイクル推進協議会 リターナブル分科会委員長 (日本コカ・コーラ(株) テクニカルコマースリゼー ション パッケージグループ グループマネジャー)

表 環境負荷分析の各評価シナリオにおける設定値 (PET ボトル：総括表)

		A-1	A-2	A-2'	A-3	A-3'	A-4	A-5
		ワンウェイシステム(現 行リサイクル)シナリオ	リユース(クローズド)シ ステムシナリオ※全国 規模	リユース(クローズド)シ ステムシナリオ※地域 限定	リユース(オープン)シ ステムシナリオ ※全国 規模	リユース(オープン)シ ステムシナリオ ※地域 限定	ワンウェイシステム(メ カニカルリサイクル導 入)シナリオ	ワンウェイシステム(ケ ミカルリサイクル促進) シナリオ
		水ワンウェイ2L	水リターナブル2L	水リターナブル2L	水リターナブル2L	水リターナブル2L	水ワンウェイ2L	水リターナブル2L
ボトル重量(g)		40.0	88.5	88.5	88.5	88.5	40.0	40.0
輸送用資材		段ボール	P箱	P箱	P箱	P箱	段ボール	段ボール
回収率	リユース	—	90%	95%	60%	70%	—	—
	リサイクル	69%	7%	4%	28%	21%	69%	69%
輸送距離(km)	充填→販売拠点	260	260	50	260	50	260	260
	回収拠点→洗浄	—	50	20	50	20	—	—
	洗浄→充填	—	260	20	260	20	—	—
	自治体→選別・焼却・処分	5	5	5	5	5	5	5
	自治体→MR・CR	50	50	50	50	50	50	50
リサイクル手法 別割合	MR(カスケード)	96%	96%	96%	96%	96%	13%	0%
	MR(B to B)	0%	0%	0%	0%	0%	87%	0%
	CR(B to B)	4%	4%	4%	4%	4%	0%	100%

		B-1	B-1'	B-2	C-1	C-2
		ワンウェイシステムシナ リオ	ワンウェイシステムシナ リオ —軽量ボトルケース—	リユース(オープン)シ ステムシナリオ	ワンウェイシステムシナ リオ	リユース(オープン)シ ステムシナリオ
		水ワンウェイ500mL	水ワンウェイ500mL	水リターナブル500mL	茶系飲料ワンウェイ2L	茶系飲料リターナブル2L
ボトル重量(g)		20.5	15.0	39.0	42.0	88.5
輸送用資材		段ボール	段ボール	P箱	段ボール	P箱
回収率	リユース	—	—	60%	—	60%
	リサイクル	69%	69%	28%	69%	28%
輸送距離(km)	充填→販売拠点	260	260	260	260	260
	回収拠点→洗浄	—	—	50	—	50
	洗浄→充填	—	—	260	—	260
	自治体→選別・焼却・処分	5	5	5	5	5
	自治体→MR・CR	50	50	50	50	50
リサイクル手法 別割合	MR(カスケード)	96%	96%	96%	96%	96%
	MR(B to B)	0%	0%	0%	0%	0%
	CR(B to B)	4%	4%	4%	4%	4%

表 環境負荷分析の各評価シナリオにおける設定値（ガラスびん：総括表）

		A-1	A-2	B-1	B-2
		クローズドシステムシナリオ	オープンシステムシナリオ	リターナブルシステムシナリオ	ワンウェイシステムシナリオ
		焼酎・清酒リターナブル1.8L	焼酎・清酒リターナブル1.8L	焼酎・清酒リターナブル0.9L	焼酎・清酒ワンウェイ0.9L
びん重量(g)		950	950	480	450
輸送用資材		P箱(6本入り)	P箱(6本入り)	P箱(12本入り)	段ボール
回収率		95%	83%	37%	0%
平均回転数		8.0	5.0	1.6	-
輸送距離(km)	新びん→洗びん	260	260	750	750
	充填→販売拠点	200	200	100	1300
	回収→洗びん	200	200	100	-