

平成 17 年 2 月 / 財団法人政策科学研究所

容器包装ライフサイクル・アセスメントに係る調査事業
- 飲料容器を対象とした LCA 調査 -

【 骨 子 】

平成 9 年 4 月に本格施行され、平成 12 年 4 月に完全施行された「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」(容器包装リサイクル法)は、分別収集計画の策定市町村数や分別収集量、再商品化量のいずれも増加し、着実に制度が普及・定着してきている。

こうした中、容器包装の中でも代表的な飲料容器については、リサイクルの促進とともに、製造方法やリサイクル方法において新たな技術の開発、導入が見られる等の状況も踏まえた上で、より環境負荷の少ない容器の普及を促すための施策を検討することが重要な課題になってきている。

このため、環境省では、平成 14 年度から 16 年度までの 3 ヶ年にわたって、主要な飲料容器を対象に、ライフサイクル・アセスメント(LCA)の手法を用い、各容器における環境負荷の実態及び課題を把握するとともに、リサイクルによる環境負荷低減効果の推計等を行った。

このたび、調査結果の骨子が取りまとまったので、以下に報告する。

調査結果の要点

1. 現時点における活用可能な最新のデータ・知見の集積を基にした LCA 調査の実現

本調査は、飲料容器の LCA 調査に係る幅広い関係者が一同に会しての合意に基づいて行われたものであり、可能な限り最新のデータと知見の集積に基づいて中立かつ客観的に実施されたものである。

2. リサイクルの環境負荷低減効果の実証

調査対象とした飲料容器は、基本的に、リユースやリサイクルすることにより環境負荷が低減することがわかった。これまでリユースやリサイクルを進めてきたことと、また、今後さらに進めることが環境負荷低減に有効であることがわかった。

3. 関係者が一つのテーブルを囲むことによる様々な効果の発揮

本調査にあたっては、各容器関連業界をはじめとして、様々な関係者が一つのテーブルを囲んで真摯に議論を重ねた。このような場を設けることによって、不明点の共有化など、今後の環境負荷低減に向けての様々な示唆と刺激を参加者に与えることができた。

1. 目的

代表的な飲料容器であるガラスびん、ペットボトル、スチール缶、アルミ缶、紙パックを対象に、ライフサイクル・アセスメント（LCA）の手法を用いて、各容器の環境負荷の側面を把握し、各容器の環境負荷の実態及び課題を把握するとともに、リサイクルや新技術による環境負荷の低減効果等を検討した。

2. 事業年度と各年度の調査概要

（1）平成 14 年度（基礎調査）

- ・調査対象容器を各素材別に使用実態等を踏まえて抽出した。
- ・調査対象容器のライフサイクルフローを作成した。
- ・既存の各業界の LCA 調査結果についてデータ範囲の違い等を整理した。
- ・各対象容器について、既存調査等に基づき LCI（ライフサイクルインベントリ）分析を行うとともに、回収率の向上に伴う環境負荷の変化を分析した。

（2）平成 15 年度（実態調査）

- ・LCI データのうち、廃棄物と水の使用量についてデータの見直しを図った。
- ・市町村のリサイクル・廃棄工程の環境負荷に関して特定市を対象に実態調査を実施した。
- ・調査対象容器を資源ごみとして収集する際に混入する資源対象外物の実態を調査した。
- ・家庭における容器の洗浄に伴う環境負荷をアンケートとキッチンテストから推計した。
- ・LCA の評価段階に該当する LCIA（ライフサイクル・インパクトアセスメント）に関するレビューを実施した。

（3）平成 16 年度（最終調査報告）

- ・調査対象容器を現在の市場等を踏まえて再抽出した。
- ・ライフサイクルフローを直近年度にあわせて修正した。
- ・LCI データを最新のものに改めた。
- ・家庭における洗浄工程を LCI 分析の中に取り入れた。
- ・本調査結果の解釈や限界を含めて課題を整理した。

3. 体制等

- ・本調査の実施主体は、財団法人政策科学研究所である。
- ・3カ年を通し、植田和弘京都大学教授を委員長とする専門委員会を設置した。
- ・平成14年度は、石川雅紀神戸大学教授を委員長とする分科会を設置し LCI データの諸課題等を検討した。

【専門委員会の委員構成（平成16年度）】

学識経験者

植田 和弘	京都大学大学院経済研究科 教授（委員長）
石川 雅紀	神戸大学大学院経済学研究科 教授
中澤 克仁	株式会社富士通研究所材料・環境技術研究所環境材料ステーション
松藤 敏彦	北海道大学大学院工学研究科 助教授
森口 祐一	独立行政法人国立環境研究所社会環境システム研究領域 資源管理研究室長

業界関係者

知久 清	ガラスびんリサイクル促進協議会 企画委員
堀口 誠	PET ボトル協議会技術委員会 委員長
瀧 文男	スチール缶リサイクル協会スチール缶 LCA 調査委員会 主査
大久保正男	社団法人日本アルミニウム協会 理事
長谷川 浩	全国牛乳容器環境協議会紙パック LCI 調査委員会 委員長
荷福 正隆	社団法人プラスチック処理促進協会 総合企画室長
大平 惇	社団法人全国清涼飲料工業会 専務理事

自治体関係者

庄司 元	社団法人全国都市清掃会議 調査普及部長
小林 幸文	神奈川県環境農政部廃棄物対策課リサイクル推進班 技幹

消費者関係者

佐藤 博之	グリーン購入ネットワーク 事務局長
-------	-------------------

4. 調査結果（平成 16 年度調査結果を中心に）

4.1 調査対象容器

現在の市場や社会の認知度、データの収集可能性等を勘案して、リターナブルガラスびん 4 種類、ワンウェイガラスびん 2 種類、ペットボトル 5 種類、スチール缶 3 種類、アルミ缶 2 種類、紙パック 3 種類の合計 19 容器とした。（付属資料 1 調査対象容器）

他に、環境負荷の低減効果に関するシミュレーション対象容器として、軽量ガラスびん 3 種類とアルミラミネート缶をとりあげた。

4.2 飲料容器が持つ機能の設定と LCA の基本単位

本調査では、飲料容器が持つ機能を「内容物である飲料を保護して消費者に提供する」という各容器に共通した基本的な機能に限定した。従って、LCA の基本的な単位とする機能単位は、各飲料容器 1 個（あるいは 1 本や 1 缶）の容量としている。繰り返し使用されるリターナブルびんについては、びん 1 本 1 回使用あたりの容量である。

すなわち、各容器は、リキャップ性や、炭酸の含有・要冷蔵適性など中身飲料にも関連して、それぞれに異なる機能を持っているが、本調査では、これらの機能は考慮せずに、各容器の容量を基本単位にして環境負荷を示している。

4.3 調査したライフサイクルの範囲（システム・バウンダリ）

各飲料容器のライフサイクル全体から、原則として飲料充填・流通・消費工程を除いた工程を対象とした。本来はこれらの工程も含めることが望ましいと考えられるが、小売りや家庭における冷蔵保管など、環境負荷は大きいと想定されるものの、多様な販売・消費形態があり LCI データの構築が困難であること、また、中身飲料との関わりが大きいことから今回の調査範囲には含めなかった。ただし、排出のための家庭における容器の洗浄にかかる環境負荷は、洗浄しないと想定される容器を除いて含めている。また、各飲料容器のキャップ、ラベル、ストロー等の付属品と、飲料メーカーからの出荷時に使用される段ボールやプラスチックケース等の外装材は対象範囲とした。ただし、データの有無等から、一部原則とは異なる部分がある。（図 1）

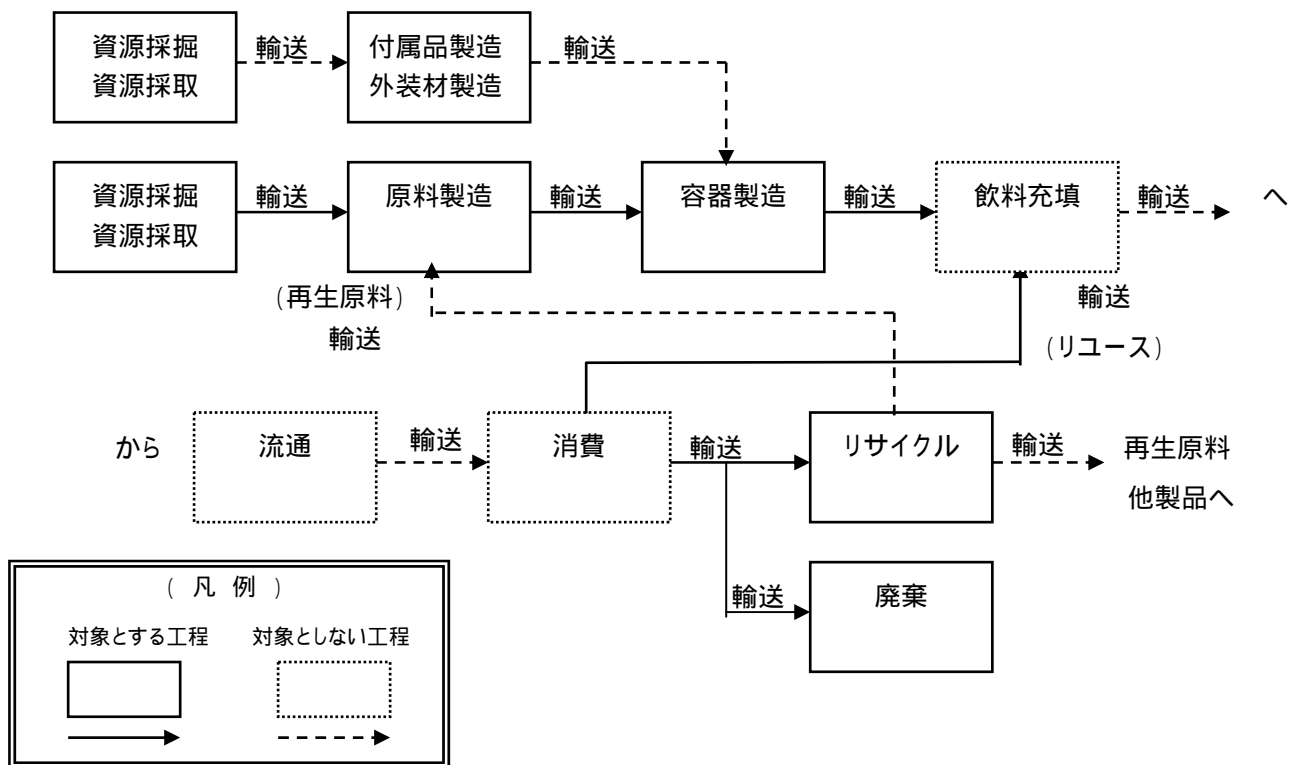
4.4 調査対象とした環境負荷項目

資源消費----- 各原材料の消費と水資源の消費、化石資源の消費

排出物 ----- 陸圏への排出物である固形廃棄物

大気圏への排出物である温室効果ガス(CO₂)と大気汚染物質(NO_x、SO_x)

水圏への排出物の水質汚濁の指標である BOD（生物化学的酸素要求量）、COD（化学的酸素要求量）、SS（浮遊物質質量）



- (注1) 本図はあくまで基本であり、具体的な範囲やフローは素材によって異なる。
- (注2) リターナブルびんは、繰り返し使用されることから、ワンウェイ容器の資源採掘等から容器製造工程に該当すると考えられるびん工程を対象に含めている。
- (注3) 輸送工程のうち、飲料充填後の販売店までの輸送は、データが入手できたアルミ缶と紙パック(200mlと1000ml)について対象に含めている。また、リターナブルびんは、店舗からの回収を(注2)と同様な理由から対象に含めている。現実には店舗への輸送と店舗からの回収が同時に行われていることから、店舗への輸送と店舗からの輸送の両方を対象に含めていることになる。
- (注4) 家庭における洗浄工程の負荷は、リターナブルびんと紙パックの小型容器は家庭で洗浄しないと想定されることから、対象に含めていない。
- (注5) 付属品は、原則として、資源採掘・資源採取から当該樹脂製造までと、廃棄工程を含んでいる。また、ペットボトルのキャップ・ラベルは、製造工程を対象に含めている。
- (注6) 外装材は、原則として、資源採掘・資源採取から当該樹脂製造までを含むが、製造工程と廃棄工程は対象に含めていない。

図1 本調査におけるシステム・バウンダリ

4.5 分析の前提と方法

(1) 採用したデータ

採用したデータは、各飲料容器にかかる業界団体によるものを含めて、主に公開されている LCA に関する文献から、可能な限り国内の代表的かつ最新のものとした。データが不足する部分や、データがあっても今日の容器包装の仕様に適合しない部分は、業界団体等の協力を得て、できるだけ最新のデータを入手し採用した。

また、資源ごみや廃棄物処理工程は、既存調査の活用とともに、独自調査を実施しデータ収集を行った。家庭における容器の洗浄に関しては、アンケート調査とキッチンテストからデータを作成した。

(2) ライフサイクルのフロー

LCA に用いるフローは、各飲料容器の業界団体が公表している最新のマテリアルフロー等の値を使用した。また、資源ごみや廃棄物処理の工程については、既存資料と独自の実態調査から作成した。

(3) LCI データの調査範囲等の比較表（プロフィール）の作成

データを正確に解釈して適正な利用を行う上で、各容器の個別データの調査範囲等の相違を把握することは不可欠である。そこで、各容器の LCI データの重要な部分を占めるデータを対象に、調査範囲やデータ収集方法、計算の前提や方法、データ品質等に関する比較表（プロフィール）を作成した。本報告書における検討は、これらの前提のもとに実施したことに留意する必要がある。概要は下記の通りである。

化石資源消費量、エネルギー消費量、CO₂・NO_x・SO_x 排出量に関しては、各データ間で調査範囲や対象の定義に大きな差異はあまり見られないが、水資源消費量、廃棄物排出量、水質汚濁物質排出量に関してはデータ間で対象範囲や定義に差異が見られた。

原材料や資材、エネルギー、水資源に関する遡及に関して、データ間でのばらつきがあった。

同一容器のライフサイクルの各工程間で、対象とする環境負荷項目が異なる場合があった。

使用したデータには、容器素材毎にデータとして提示されている範囲が大きく束ねられているものと、より分割した工程で示しているものがあり、取扱いや解釈の上で注意が必要になった。

(4) リサイクル代替値の導入

オープンループ・リサイクルにおけるリサイクル代替値の導入

リサイクルには、その工程が、ある製品のライフサイクル境界内にすべて含まれるようなクローズドループ・リサイクルと、リサイクル先がライフサイクルの境界外に出ていくオープンループ・リサイクルがある。リサイクル先が同一の飲料容器ではないことからオープンループになっている容器の場合は、当該飲料容器の工程だけでなく、リサイクル先の製品工程まで含めないとリサイクルの効果は把握できない。本調査では、リサイクルによって他の製品の環境負荷を低減しているものは、その環境負荷低減量をリサイクル代替値として計算し、リサイクルの効果としている。

リサイクル代替値の課題

リサイクル代替値の適用には、次のような課題がある。

- ・ 代替する原材料の特定（何を代替しているのか）
- ・ 代替する原材料に関する LCI データの不足
- ・ 適切な代替率の設定（例えば、単位量の代替品投入が別の材料をどれだけの量代替しているか）

本調査では、各容器素材毎に、代替する原材料を特定し、LCI データを作成した。また、代替率は全て 100%とした。

4.6 各飲料容器の LCI データ

(1) 各飲料容器の LCI データの概要

各容器 1 個あたり（あるいは 1 本や 1 缶、リターナブルびんに関してはびん 1 本の 1 回使用あたり）のライフサイクルフローと LCI を構築した。各素材容器別の LCI データの概略を図表にとりまとめた。（付属資料 2 各容器の LCI データ）

LCI データ表において、化石資源消費量、エネルギー消費量、CO₂ 排出量、NO_x 排出量、SO_x 排出量の 5 つの環境負荷項目は各容器素材間で対象範囲等の違いは比較的少ないが、水資源消費量と廃棄物排出量は、各容器素材毎に対象範囲や定義が大きく異なるので数値を入れていない。BOD 排出量等の水質汚濁物質排出量は、一部の工程にデータの不足があり欄そのものを割愛している。また、紙パックの CO₂ は、バイオマス CO₂ を含んでおらず、別途表記している。

ライフサイクルフロー図は、LCI データの構築に用いたものであり、各素材容器から代表的な容器を抽出して示している。

各工程の環境負荷図は、ライフサイクルフロー図を示した容器の工程毎のエネルギー消費量と CO₂・NO_x・SO_x 排出量を図示したものである。

(2) 各容器の環境負荷に関する課題と改善の方向性の検討

LCI データから、リターナブルびんを除く全ての容器に共通して、ライフサイクル全体の中で原料製造工程（図2の太字の部分）が占める割合が最も高くなるという傾向が見られた。このように各容器に共通する点と各容器固有の特徴を把握し、課題と改善の方向性を検討した。主要な改善策である軽量化は、各容器それぞれにこれまで工夫を重ねてきたものであるが、環境負荷の側面からは、さらなる努力が期待される。

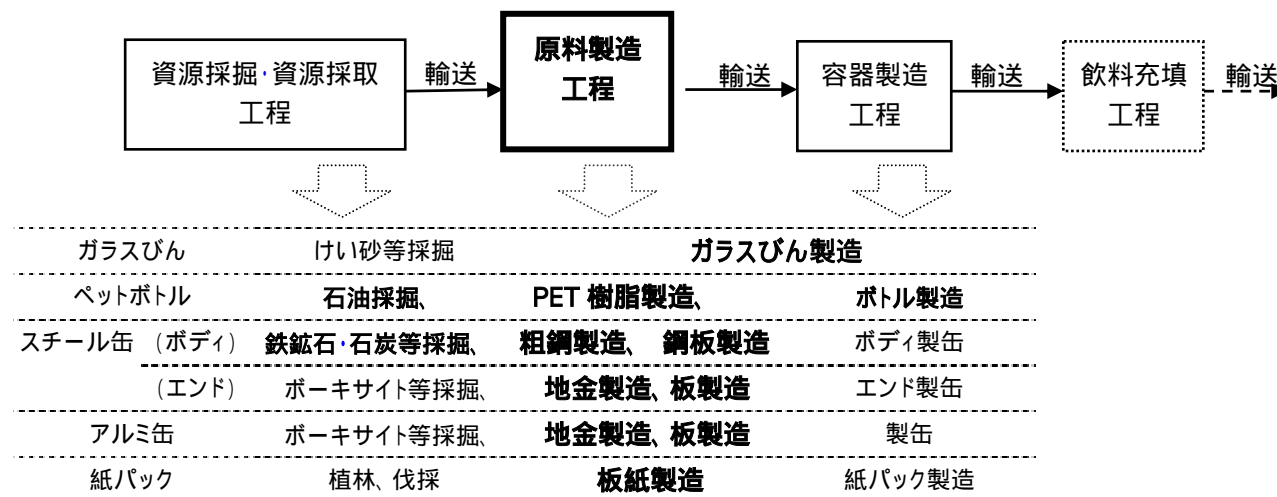


図2 各容器のライフサイクルの上流の工程

リターナブルびんは、回収率が100%に近い容器が対象であり、ガラスびん製造、洗びん工程、びんの回収のための輸送の割合が高くなっている。軽量化や洗びん工程の改善等の対策が重要と考えられる。

ワンウェイびんは、ガラスびん製造工程の環境負荷割合が高く、軽量化等の対策が重要と考えられる。

ペットボトルは、PET樹脂～ボトル製造工程の環境負荷割合が高く、ペットボトルにおいても軽量化が重要と考えられる。

スチール缶は、回収率(87.5%)が高いものの、ボディ(胴及び底部)とエンド(アルミ製の上ふた)の原材料の製造・製缶工程に由来する環境負荷が大きな割合を占めており、かつ、ボディとエンドでほぼ同等程度となっている。ボディとエンドの軽量化等の改善が重要と考えられる。

アルミ缶は、回収率(81.8%)が高く、原料に占める再生原料の割合(ボディ用板で約70%)も高いが、ライフサイクル全体の中でアルミ新地金製造工程の占める割合が高い。アルミ使用量の低減等の改善が重要と考えられる。また、ボディ製缶工程の割合も低くないので、製缶工程の改善等の対策が有効と考えられる。

紙パックは、主原料である板紙製造工程の割合が高く、次いで、付属品に含めているラミネート用LDPE(低密度ポリエチレン)の樹脂製造までの割合が高くなっている。板紙製造工程の改善が有効と考えられる。

4.7 回収率の変化と軽量化に関する分析

LCI データに基づき、2 種類の分析を行った。

(1) 回収率による影響分析 (付属資料3 回収率による影響分析)

各素材の代表的な容器を対象に、現在のシステムを前提にした回収率の変化に伴う環境負荷絶対値の変化を次の3つのケースで比較した。

現状：使用済み容器を現状の回収率で回収してリユースやマテリアルリサイクルするケース

リサイクル：使用済み容器を回収率 100%で回収してリユースやマテリアルリサイクルするケース

廃棄：使用済み容器をまったく回収せず全て廃棄するケース (回収率 0%)

また、同じく、回収率を 0%から 100%まで変化させたときの環境負荷の変化をみた。

結果として、ほぼすべての容器において回収しリユースやリサイクルする場合の方が環境負荷項目の数値は低下する傾向がみられた。容器や環境負荷項目によって違いがあるものの、今回対象とした容器と環境負荷項目に限ればリユースやリサイクルの促進により環境負荷が低減することが明らかになった。

(2) 飲料容器の新たな環境対策の事例に関する分析

飲料容器は従来から環境負荷の低減に繋がる技術開発が進められてきたが、特に容器包装リサイクル法の施行等の影響を受けて動きが活発になったと思われる。ここでは、ガラスびんの軽量化とポリエステルフィルムラミネートを行ったアルミ缶について従来容器と比較分析した。

軽量びんの開発

ビールびん (633ml) では、従来比で約 21%軽量化 (605g から 475g) したびんを大手ビールメーカーが 1993 年より導入している。同軽量びんと従来びんを比較した結果、全ての環境負荷項目について、9~19%の環境負荷低減効果があった。また、びんの表面にコーティングを行うことにより表面強度が向上したため従来のビールびんよりも平均回転数が増加していることが判明している。ただし、LCI 分析には、コーティングに関する環境負荷は含めていない。

牛乳びん (200ml) では、従来比で 33%軽量化 (182g から 122g) したびんが既に市場に出ている。軽量化の効果は、ビールびんと似た傾向を示している。この LCI 分析においても、コーティングに関する環境負荷は含めていない。

軽量ガラスびん (500ml) は、従来比で 38%軽量化 (320g から 195g) され、2000 年より一部の生協で導入されている。主に液体調味料等に使われているが、果汁等にも利用されている。分析結果によれば、軽量ガラスびんは従来びんに比べて、多くの環境負荷項目に関して 18~34%の低減効果があった。また、直近の年度の回収率の実績が 79.8%であったので、回収率を 100%にしたケースとの比較を行った。約 20%の回収率の向上によって、軽量化以上の環境負荷低減効果がみられ、リターナブルびんにおけるリユースの効果の大きさが確認された。なお、同軽量びんに関しては、コーティング剤とびん表面へのコーティング工程に関する LCI データを含んでいる。

アルミラミネート缶に関する分析

軽量化による環境負荷低減は、ガラスびんだけでなく、ここで取り上げるアルミ缶を含め、多くの容器で進められている。このような中で、スチール缶ではポリエステルフィルムをラミネートしたものが主流を占めているが、アルミ缶も 2002 年より一部の商品にラミネート缶が使われ始めた。アルミラミネート缶は水を全く使用しないので、水資源消費量や汚泥の発生が低減される。また、ポリエステルフィルムがあるために内面に塗料を使用しないので乾燥や溶剤の処理が不要となる。アルミの重量が従来容器に比べて、缶ボディで 0.37g、缶エンド（ふた）で 0.27g 減少している。環境負荷項目に関しては、6～16%の低減効果となり、環境負荷の低減効果を有していることを示している。

4.8 課題等

ダイナミックに動く社会との整合性に関する課題

本調査では、容器の仕様や飲料市場における各容器の使用量等の変化を調査した。結果として、飲料容器の市場は、近年大きく変化していることがわかった。また、個別容器そのものの技術革新や、市町村の廃棄物処理方法等も変化してきている。本調査は、このような変化の激しい分野での調査でありながらも、断面的なデータを基本としている。飲料容器をめぐる動向については、分析等で極力考慮するようにしているが、本調査のような LCA 手法の基本フレームのもとでは限界がある。従って、何らかの大きな変化が見られたときは、データ等を見直すといった対応が必要になる。あわせて、対象とする環境負荷項目も、社会的な関心の変化を含めて、見直すことが考えられる。

新たな飲料容器やリサイクル・製造技術に関する LCI の構築に関する課題

本調査では、既存の市場等に実在する容器とともに、既に技術開発されて、今後普及の可能性を持つ軽量容器等で LCI を構築した。一方、製造・消費が急増しているにもかかわらず LCI データの構築ができなかったものには、アルミボトル缶、ペットボトルのホット対応ボトルがある。また、ペットボトルの化学分解法はボトル to ボトルを実現するものであるが、現在のデータからはクローズドなループを持つマテリアルフローは描けていない。

ライフサイクルの範囲（システム・バウンダリ）に関する課題

本調査のシステム・バウンダリは、飲料充填工程、流通工程、消費工程を原則として除外している。本来はこれらの工程も含めることが望ましいと考えられるが、中身飲料と容器との関連整理と、多様な販売形態の解明が必要とされる。

遡及範囲については、本調査のように異なる素材を対象に LCI を構築する場合、同範囲を揃えることは困難であり、不整合が避けられない面がある。それぞれの遡及の範囲を明確にすることが重要である。

本調査における LCI 分析については、資源の採掘・採取や容器製造といった、いわゆる消費前の上流部分については、可能な限り海外に関わる部分も取り込んでいる。一方で、消費後の

下流部分については、国内でのリサイクル・廃棄物処理を前提としており、海外に輸出されるペットボトルについては反映していない。今後の調査によるマテリアルフローの解明を経て LCI 分析まで発展させることが今後ますます重要になってくると考える。

評価ならびにアセスメント上の課題

本調査によって評価可能な範囲は、LCI 分析による各飲料容器毎の特性に関する部分である。容器包装リサイクル法の効果については、各容器毎の回収率の変化に伴う環境負荷の変化分析によって部分的に把握できる。

なお、各飲料容器毎の LCI データの前提条件が異なっていること、さらに本調査では追求していないが各飲料容器が持っている機能が異なっていることから、各飲料容器間の比較はできないことに留意する必要がある。

また、LCIA（ライフサイクル・インパクトアセスメント）については、各種の手法が提案されている段階であることから、本調査ではこれら手法のレビューに留めている。

リサイクル・廃棄物処理工程に関する課題

資源ごみ収集では、容器のラベルやキャップを含めて対象外物が混入している状態で収集、中間処理、再生処理が行われる。しかし、これらの組成と量に関するデータが入手できないために、対象外物を考慮していないライフサイクルフローになっていた。このため、資源ごみとして収集されたものの中にどれだけの対象外物があるかについて実態調査を実施し、収集時における対象外物を含めた場合の LCI を参考として計算した。また、同実態調査を通して、中間処理施設における選別工程で本来資源となるものが他資源に紛れ込んだり選別できずに廃棄されることがあることが判明し、これらの比率は市町村によって大きく異なると想定された。そこで、本調査における市町村のリサイクル・廃棄システムに関する分析では、実態調査を行った都市における中間処理施設の選別率を考慮している。

データの精度、代表性、透明性等に関する課題と各業界等の協力に関する課題

3 年にわたった調査の結果、現在考えられる最善の LCI データが得られたと考えるが、LCI データの調査範囲等の比較表（プロフィール）でみたように、精度、完全性、代表性、整合性といった事項について各容器素材それぞれに異なり、問題を抱えているものもある。このようなデータに関しては、新たなデータの収集・更新が必要である。また、社会は、急速に透明性と説明責任を強く求めるよう変化しており、再現性と透明性が高い LCI データであることが、信頼の獲得を含めて重要になってきている。

本調査は、関係する各業界や市町村の皆様にご多大なご協力をいただいた。結果、相応の成果を達成することができたが、上記の状況に鑑み、引き続き関係する皆様には、協力をいただくことが不可欠である。関係者が同一のテーブルにつき、本調査の成果をさらに高めるとともに、様々な有益な知見を得つつ、新たな改善に向かうことを期待する。

以上