特集「インパクトアセスメント(2)」

研究資料

各種容器の環境影響評価および環境負荷低減策の調査

吉村 祐美・小松 郁夫・伊坪 徳宏

Life Cycle Impact Assessment and Approaches for Reducing the Environmental Impact of Each Type of Container

Yumi YOSHIMURA, Ikuo KOMATSU and Norihiro ITSUBO

Synopsis:

Objective. Find out how containers impact the environment in order to advance containers designs that are friendly to the environment. Approaches for reducing the environmental impact of aluminum cans, PET bottles, and stand-up pouches, using the life cycle impact assessment have been studied.

Results and Discussion. Using the life cycle impact assessment method based on endpoint modeling (LIME2) to evaluate the environmental impact, the system boundary of this assessment includes from the material production phase to the product manufacturing, filling, use, disposal, and recycling phases. The results of the study indicate the following: 1) Aluminum cans have a large impact in terms of CO₂ emissions, PM10 and waste. The effective way to diminish this impact is to reduce the quantities of aluminum plates used; however, it could be observed that the reduction of aluminum plate use resulted in increased SO₂ emissions. For aluminum cans, we can suppose that a reduction of the volume of plates used should diminish the SO₂ emissions as well, inventory data of the aluminum canstock manufacturing needs to be carefully investigated. 2) PET bottles have a large impact in terms of CO₂ emissions and SO₂ emissions. Reducing energy (electricity) consumption during the conversion process is the effective to reduce this impact. 3) Stand-up pouches have a large impact in terms of CO₂ emissions and non-methane volatile organic compounds (NMVOC). Reducing usage of plastic films and usage of organic solvent for the laminating and printing processes is the effective way to reduce this impact. However, a reduction of plastic films usage should be considered carefully as it reduces the energy recovery quantities and will affect, notably, coal usage.

Conclusions. We demonstrated that each type of container impacts the environment differently; the impact reduction approach will therefore be different. Furthermore, in order to complete the validity of this evaluation, it is necessary to take into account the different filling methods for each type of container.

Keywords: Containers; life cycle impact assessment; life cycle impact assessment method based on endpoint modeling (LIME2)

1. はじめに

容器は内容物の輸送効率向上や保存性向上により、製品全体の環境負荷を下げる役割がある。その一方、容器自体は使用後に不要となることから、より環境影響が少ない容器の開発が望まれる。

環境省が主体となり財団法人政策科学研究所が平成14年度から16年度までの3カ年にわたって、主要な飲料容器を対象にインベントリ分析を行い¹⁾、その結果、リサイクル

することによって環境負荷が低減することを示した。その後さらに活動が進み、現在では、リサイクルに適している容器の多くが容器またはその他の製品に再利用されている。ただし、油脂が含まれる内容物の容器はリサイクルに適さないため、焼却せざるを得ないのが現状である。

リサイクルに適さない容器、また、それに限らず全ての容器で環境負荷低減に有効なのが容器の軽量化である。これまでも容器の軽量化を図り環境負荷低減を進めてきた

吉村 祐美・小松 郁夫／東洋製罐株式会社／〒100-8522 東京都千代田区千代田1-3-1

伊坪 徳宏／東京都市大学／〒224-0015 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1

Yumi YOSHIMURA, Ikuo KOMATSU / Toyo Seikan Kaisha, Ltd. / 1-3-1 Uchisaiwaicho, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8522

Norihiro ITSUBO / Tokyo City University / 3-3-1 Ushikubo-nishi, Tsuzuki-ku, Yokohama, Kanagawa 224-0015

が、既存容器の性能を維持しながら軽量化を進めるには、容器のデザイン変更が必須となる場合も多く、容器メーカーとブランドとの連携がますます重要となっている。しかし、デザイン変更による軽量化は理解を得るのが難しいのが現状であり、これを進めるためには、環境負荷が確実に低減することを証明するのが重要である。

これまでに上記財団法人政策科学研究所をはじめとして、主要な容器のインベントリ分析が多く行われ、容器種による環境負荷の違いは示されているが、その評価は、資源消費やエネルギー消費、二酸化炭素、 NO_x 、 SO_x 、固形廃棄物等に限られている^{2, 3)}。その中でも、特に二酸化炭素について評価されることが多く、容器の環境負荷低減策も二酸化炭素の削減を実現するためのものが多かった。しかし、容器は種類によって素材やリサイクルシステムが異なっているため、二酸化炭素以外にも考慮すべき環境影響があると考えられる。

個々の容器でのインパクト評価はこれまでも行われているが、同じ条件下で素材やリサイクルシステムの異なる複数容器種で環境影響領域の違いを示す評価は少なく⁴⁾、これを行うことで容器の種類に依存した環境影響の違いが見られ、重点的に削減すべき環境影響が明らかになるのではないかと考えた。そこで本分析では、代表的な3種の容器についてライフサイクルを通じたインパクト評価を行い、その環境影響を把握することとし、さらにその環境影響の違いから、より有効な容器の環境影響低減策を調査することとした。

2. 評価対象製品および前提条件

2.1 対象製品

容器の種類による環境影響の違いを評価するため、素材およびリサイクルシステムの異なる容器のうち、東洋製罐で製造している内容量350mlのアルミ缶 Aluminum Toyo Ultimate Can (aTULC)、PETボトル、スタンディングパウチ各1製品を対象とした。なお、容器は日本国内で使用、廃棄されることを想定した。

これらの容器は種類によってバリエーションや強度等の機能が異なるが、本調査では容量以外の機能は考慮せずに評価を行った。以下に各容器の特徴を示す。

2.1.1 アルミ缶 (aTULC)

缶胴と缶蓋からなる、炭酸飲料向けの東洋製罐独自のアルミ缶とした。一般的なアルミ缶は缶胴製造時に潤滑剤を用いてDrawing and ironing (DWI) 成形し、成形後に缶内面の保護のため塗料を塗布するが、aTULCはアルミニウム板にあらかじめポリエステルフィルムをラミネートした材料を使用することにより、缶胴製造時の潤滑剤や内面

の塗装が不要となる。製品の重量は14.2gである。

使用済みアルミ缶の約90%が、クローズドループリサイクルおよびオープンループリサイクルされている⁵⁾。

2.1.2 PETボトル

お茶等の炭酸を含まない飲料を高温の状態で充填できる耐熱ボトルで、樹脂を射出およびブロー成形することで製造される。評価にはキャップおよびラベルも含む。350mlの容量では炭酸飲料向けの製品がないため耐熱ボトルとした。ボトル重量 (PET) は24.6g、キャップ重量 (PP) は3.2g、ラベル重量 (PS) は1.3gで、製品の合計重量は29.1gである。なお、キャップおよびラベルの材料と重量は、財団法人政策科学研究所で行った調査結果を用いた¹⁾。

使用済みPETボトルは約75%が回収され、多くがオープンループリサイクルされている⁶⁾。

2.1.3 スタンディングパウチ

洗剤等で用いられる詰め替え用パウチで、プラスチックフィルムに印刷、ラミネート、製袋等の加工を施すことにより製造される。飲料向けで350mlの製品がないため、洗剤用途を評価対象製品とした。素材はナイロンとLLDPEで、製品重量は8.2gである。

スタンディングパウチが属するPETボトルを除く使用済みプラスチック製容器包装は約25%が回収され⁷⁾、多くがオープンループリサイクルされていると考えられている⁸⁾。

2.2 調査範囲

容器はその種類によりリサイクル手法が異なることから、資源採掘から廃棄・リサイクルまでのライフサイクル全体を評価する必要がある。ここでは、社団法人産業環境管理協会が管理しているエコリーフ環境ラベルの「飲料および食品用金属缶」製品分類別基準 (PCR) (PCR番号: BC-01)⁹⁾ をもとに、容器の素材製造から製品製造、物流、使用、廃棄、リサイクルプロセスまでの各段階を対象とした。なお、内容物自体の製造については多岐にわたり、詳細データの入手は困難であったため、対象外とした。各種容器のライフサイクルフロー図を図1に示す。

2.3 評価方法

インベントリ分析では、アルミ缶はエコリーフ環境ラベルの「飲料および食品用金属缶」PCRに従い、エコリーフ原単位^{10, 11)} を用いて算定した。このため、表2に示す項目をインベントリ分析の対象とした。また、PETボトルとスタンディングパウチの算定についてもシステム設定をアルミ缶と合わせるため、上記「飲料および食品用金属缶」PCRに準じた算定を行った。

図1 ライフサイクルフロー図

2.3.1 素材製造段階および製品製造段階

算定に用いた数値のうち、アルミ缶の缶胴・缶蓋製造、PETボトルのボトル製造、スタンディングパウチのパウチ製造プロセスでの素材・資源・エネルギーの投入量については、2008年度東洋製罐実測データを用いた。

成形後の容器の輸送は、10tトラックで400km輸送するシナリオを用い、積載率は東洋製罐実測データを用いた。

飲料の充填プロセスは容器種によりその手法は異なるが、本調査では缶飲料以外の充填プロセスの詳細が把握できなかったため、全ての容器に缶飲料を充填した場合の負荷を計上した。充填プロセスで使用したシナリオは、「飲料および食品用金属缶」PCRの充填工程シナリオ2（低酸性飲料の例）に従い、飲料1,000リットルあたり、用水2,970リットル、電力23.8kWh、蒸気172kgを用いた。

2.3.2 物流段階

充填済み製品の輸送（物流）は、4tトラックに10,752本積載し、200km輸送するシナリオを用いた。

2.3.3 使用段階

充填済み製品の輸送に用いる梱包材は、同PCRに従い、アルミ缶の場合は230gの段ボールに24本梱包するとして計上した。このシナリオは財団法人政策科学研究所の調査結果であるため、PETボトルの梱包材は同報告書より、140gの段ボールに24本梱包するとして計上した。

スタンディングパウチは、同報告書に記載はないが、容器の強度が劣るため、PETボトルより梱包材重量が重いアルミ缶のシナリオを用いた。

2.3.4 廃棄・リサイクル段階

アルミ缶の廃棄・リサイクルシナリオについても同PCRに従い、クローズドループリサイクル (Can to Can) と、オープンループリサイクルで算定した。リサイクル率およびCan to Can率は、アルミ缶リサイクル協会が公表している2008年度のリサイクル率87.3%、Can to Can率66.8%を用いた。

PETボトルの廃棄・リサイクルシナリオは財団法人政策科学研究所の調査報告書での手法を用いたが、同報告書に記載されているクローズドループリサイクルは適切なインベントリデータが得られなかったため、全てオープンループリサイクルで算定した。なお、PETボトルの回収率はPETボトルリサイクル推進協議会が公表している2008年度の回収率77.9%を用いた。

PETボトルのキャップ、ラベル、およびスタンディングパウチの廃棄・リサイクルシナリオは、エコリーフ環境ラベル「プラスチック製素材を主体とする軟包装材」PCR (PCR番号：CX-01)¹²⁾に従い、オープンループリサイクルとして算定した。スタンディングパウチが属するプラスチック製容器包装の回収率は、2007年度プラスチック製容器包装分別収集量64.4万t(環境省)¹³⁾を分子に、2007

年度一般廃棄物としての容器包装の廃棄量353万t(社団法人プラスチック処理促進協会)¹⁴⁾からPET樹脂販売量57.3万t(PETボトルリサイクル推進協議会)を引いた295.7万tを分母とした21.8%を採用した。リサイクル手法についてはPCRに従い、マテリアルリサイクルおよびケミカルリサイクルで算定した。

各種容器で用いた廃棄・リサイクルシナリオを表1に示す。なお、詳細は引用した各PCRを参照されたい。

2.3.5 環境影響評価

環境影響評価の評価指標は、日本版被害算定型影響評価手法(LIME: Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)の更新版(LIME2)¹⁵⁾を利用し、特性化、被害評価、統合化の3ステップについて評価を実施した。評価にはLIME Sheet¹⁶⁾を用いた。

評価に用いたインベントリ結果を表2に、各ステップにおいて評価対象とした影響領域を表3に示す。

3. インパクト評価結果

3.1 特性化結果

3.1.1 資源(エネルギー)消費特性化結果

資源(エネルギー)消費の特性化結果を図2に示す。

アルミ缶は原油および天然ガスの影響が大きいという結果となった。樹脂を原料とするPETボトルおよびスタンディングパウチについては、原油の影響割合が大きく、天然ガスの影響割合はアルミ缶ほど大きくはなかった。共に樹脂を主原料としているPETボトルとスタンディングパウチを比較した場合は、使用樹脂量の差により、スタンディングパウチの方が原油の影響は少ないという結果が得られた。

次に、容器種によって資源消費が大きい段階が異なることが考えられたため、段階別の特性化評価を行った。その結果を図3に示す。

アルミ缶では、素材製造段階にクローズドループリサイクルが含まれているため、これを考慮すると資源消費の影響が大きい段階は素材製造であると言える。これはアルミ製造(ボーキサイト採掘～アルミ板製造まで)での影響によるものであった。PETボトルとスタンディングパウチでは、素材製造と製品製造での資源消費の影響割合は同じくらいであるが、PETボトルは使用後にリサイクルされているため、廃棄・リサイクル段階での控除分を考慮すると、製品製造での影響が大きいと言える。

従って資源消費の影響を小さくするためには、アルミ缶ではアルミ板材使用量の削減、PETボトルではボトル製造時のエネルギー(電力)を削減することが有効であると考えられる。

3.1.2 光化学オキシダント特性化結果

光化学オキシダントではスタンディングパウチで大きな影響が見られた(図4)。スタンディングパウチの製造では印刷工程やラミネート工程で他容器に比べ有機溶剤を多く使用し、乾燥設備で揮発させている。揮発した有機溶剤は排ガス処理装置で燃焼・無害化しているが、現実的に100%の回収・処理は出来ず、わずかながらそのまま大気へ排出してしまうため、光化学オキシダントへの影響が大きくなる結果につながった。従って、スタンディングパウチにおける光化学オキシダントの影響を小さくするためには、印刷工程およびラミネート工程での有機溶剤使用量の削減、溶剤の水溶性化、無溶剤化等が考えられる。

表1 各種容器の廃棄・リサイクルシナリオ

		リサイクル			廃棄
		リサイクル率 または回収率	クローズドループ リサイクル	オープンループ リサイクル	廃棄処理
アルミ缶		87.30% (リサイクル率)	リサイクルされる量のうち66.8%(Can to Can率)を缶胴に再利用	リサイクルされる量のうち33.2%が再生地金となり(再生比率95%)、アルミ新地金を100%代替	埋立処理100%
PET ボトル	ボトル	77.90% (回収率)	—	再生PET樹脂(収率90%)としてバージンPET樹脂を100%代替	焼却処理73.5%:発電設備を有する焼却場割合(32.7%)から発電分を控除 埋立処理26.5%
	キャップ ラベル	21.80% (回収率)	—	マテリアルリサイクル39.4%:再生樹脂(収率51.0%)としてバージンPE、PP樹脂を70%代替 コークス炉化学原料製造36.4%:コークス炉化学原料(収率91.5%)とし、使用済み容器包装1.0kgから、原料炭1.1kgを代替 合成ガス製造14.9%:合成ガスとし、使用済み容器包装1.0kgから都市ガス0.4Nm ³ を代替 高炉還元剤製造8.2%:高炉還元剤(収率77.0%)とし、使用済み容器包装1.0kgから、原料炭0.951kgを代替 油化1.1%:熱分解油(収率29.0%)とし、使用済み容器包装1.0kgから石炭0.1kg、ナフサ0.1kg、重油0.2kg、塩酸0.1kgを代替	焼却処理61.1%:発電設備を有する焼却場割合(32.7%)から発電分を控除 埋立処理17.1%
スタンディング パウチ					

表2 各種容器のインベントリ分析結果

			単位	アルミ缶*	PETボトル*	スタンディングパウチ*
消費負荷	資源枯渇	エネルギー消費	石炭	kg	1.20×10^{-2}	7.30×10^{-3}
			原油 (燃料)	kg	2.31×10^{-2}	2.24×10^{-2}
			天然ガス	kg	1.56×10^{-2}	5.09×10^{-3}
			ウラン鉱石	kg	2.12×10^{-7}	5.62×10^{-7}
		鉱物資源	原油 (原料)	kg	9.43×10^{-4}	1.78×10^{-3}
			鉄鉱石	kg	0.00	0.00
			銅鉱石	kg	0.00	1.50×10^{-9}
			ボーキサイト	kg	2.10×10^{-3}	7.26×10^{-9}
			ニッケル鉱石	kg	0.00	0.00
			クロム鉱石	kg	0.00	0.00
			マンガン鉱石	kg	0.00	0.00
			鉛鉱石	kg	0.00	5.54×10^{-11}
			錫鉱石	kg	0.00	0.00
			亜鉛鉱石	kg	0.00	3.07×10^{-10}
			金鉱石	kg	0.00	0.00
			銀鉱石	kg	0.00	0.00
			硅砂	kg	0.00	4.48×10^{-10}
			石灰石	kg	3.50×10^{-4}	1.05×10^{-8}
	環境排出負荷	大気へ	CO ₂	kg	1.12×10^{-1}	1.25×10^{-1}
			SO _x	kg	3.53×10^{-5}	8.34×10^{-5}
			NO _x	kg	3.27×10^{-4}	3.30×10^{-4}
			N ₂ O	kg	1.15×10^{-5}	5.72×10^{-6}
			CH ₄	kg	5.52×10^{-7}	1.32×10^{-6}
			NM VOC	kg	9.77×10^{-6}	2.56×10^{-6}
			dust	kg	6.51×10^{-5}	2.16×10^{-5}
		水域へ	COD	kg	2.81×10^{-6}	0.00
			全P	kg	6.58×10^{-8}	0.00
			全N	kg	4.75×10^{-7}	0.00
		土壌へ	不特定固形廃棄物	kg	2.85×10^{-3}	3.07×10^{-4}
			スラグ	kg	0.00	0.00
			汚泥類	kg	0.00	0.00

* インベントリ分析の項目はエコリーフ原単位^{10, 11)}を使用したため、分析対象によっては「0.00」となる。

表3 評価対象とした環境影響領域と評価ステップ

	特性化	被害評価	統合化
資源消費 (エネルギー)	○	○	○
資源消費 (鉱物)	○	○	○
地球温暖化	○	○	○
都市域大気汚染	—	○	○
オゾン層破壊	○	○	○
酸性化	○	○	○
富栄養化	○	○	○
光化学オキシダント	○	○	○
人間毒性	○	○	○
生態毒性	○	○	○
室内空気質	—	○	○
騒音	※	※	※
廃棄物	○	○	○
土地利用	※	※	※

※：LIME 計算シートでは非対応

—：LIME の係数なし

図2 資源(エネルギー)消費特性化結果

図3 段階別資源(エネルギー)消費特性化結果

図5 地球温暖化特性化結果

図4 光化学オキシダント特性化結果

3.1.3 地球温暖化特性化結果

地球温暖化では、3.1.1項の資源消費特性化結果とは異なる結果となった(図5)。

スタンディングパウチは他の容器に比べ軽量で資源消費が少ないため、地球温暖化の影響も小さくなると考えられたが、次の要因により他の容器と同程度の影響となった。スタンディングパウチの属するプラスチック製容器包装は、素材が多岐に渡ることや食品残渣の影響等により、そのほとんどが焼却処理されている。このため焼却時の樹脂由来の二酸化炭素の発生量が多い。また、3.1.2項でも述べたように、印刷工程やラミネート工程で使用した有機溶剤を無害化するため排ガス処理装置で燃焼させることによる二酸化炭素の発生量も他の容器より多い。従って、スタンディ

ングパウチの地球温暖化影響を小さくするためには、フィルム使用量の削減と有機溶剤使用量の削減、溶剤の水溶性化、無溶剤化等が有効であると考えられる。

資源消費の多いアルミ缶に比べ、PETボトルの影響が大きく現れたのは、使用済みPETボトルの回収率は高いものの、資源回収されないPETボトルは焼却処理され、樹脂由来の二酸化炭素が発生するためである。

なお、アルミ缶とPETボトルの地球温暖化の段階別による傾向は3.1.1項と同様であった。従って、アルミ缶とPETボトルの地球温暖化による影響を小さくするためには、3.1.1項と同様の対策が有効であると言える。

3.2 被害評価結果

3.2.1 人間健康被害評価結果

人間健康に関する物質毎の被害評価を行った結果、全ての容器において二酸化炭素の影響が大きかったが、粒子状物質(PM10)、二酸化硫黄および非メタン揮発性有機化合物では、各種容器で異なる影響がみられた(図6)。これらの要因を明らかにするため、段階別の評価結果を図7に示す。

アルミ缶において粒子状物質(PM10)の影響が大きくなったのは、素材製造での影響によるものでありアルミ板材の使用量削減が粒子状物質(PM10)の影響を小さくするのに有効であると考えられる。PETボトルで二酸化硫黄の影響が大きくなったのは、ボトル製造時に二酸化硫黄の発生が多いエネルギー(電力)を多く使用しているためであり、その削減が二酸化硫黄の影響を小さくするのに有効であると考えられる。スタンディングパウチにおいて、非メタン揮発性有機化合物の影響が大きくなったのは3.1.2項と同様であり、図7では製品製造段階の影響が大きく現れた。

図6 人間健康被害評価結果

図8 生物多様性被害評価結果

図7 段階別人間健康被害評価結果

図9 段階別人間健康被害評価結果

3.2.2 生物多様性被害評価結果

生物多様性を物質毎に評価した結果、アルミ缶において廃棄物による影響が大きくみられた (図8)。PETボトルとスタンディングパウチでは、廃棄物の影響は同程度であるが、石炭による影響はPETボトルの方が大きい結果となった。次にこれらの要因を明らかにするため、段階別の評価結果を図9に示す。

アルミ缶において生物多様性の影響が大きい段階は素材製造であり、これはアルミ製造で発生するドロスの影響によるものであった。従って、生物多様性の影響を小さくするにはアルミ板材の削減が有効で、これにより3.1.1項の資源消費も影響が小さくなると考えられる。PETボトルにおいては製品製造段階の影響が大きく、エネルギー（電力）削減が有効であると考えられる。

3.3 統合化結果

各種容器において、どの物質による影響が大きいかを把握するため、統合化を行った。その結果を図10に示す。

全ての容器において、影響割合が大きい項目は二酸化炭素の排出であった。ただし、3.1.3項において二酸化炭素排出が多い段階は容器種により異なることが示されている。

二酸化炭素以外の大きな影響因子については、アルミ缶は粒子状物質 (PM10) および廃棄物、PETボトルは二酸化硫黄の排出、スタンディングパウチは非メタン揮発性有機化合物の排出であった。

これら統合化の結果から、各容器の環境影響を小さくするには、3.1節および3.2節で示した結果が有効であると考えられる。

図10 物質別統合化結果

4. 環境影響低減策の効果

3章で示した環境影響低減策について検証を行った。その結果を以下に示す。

4.1 アルミ缶における環境影響低減策の効果

アルミ缶は板材を5%削減することにより、二酸化炭素、粒子状物質 (PM10)、廃棄物の影響が大きく減少することが示された (表4)。しかし、二酸化硫黄についてのみ、増加が見られた。この原因を調査するため、アルミ板材を10%削減した場合を検討した結果、板材5%削減の場合より二酸化硫黄の影響は増加した。これは、算定に用いたアルミ缶用の板材製造の原単位に対し、廃棄・リサイクル段階の控除で用いたアルミ新地金の原単位の値が大きく、アルミ板材の使用量削減により、使用済み容器のリサイクル量も減少し、結果としてアルミ新地金として控除される量も減少したためである。

4.2 PETボトルにおける環境影響低減策の効果

PETボトルは製造時のエネルギーを10%削減することにより、二酸化炭素および二酸化硫黄の影響が大きく減少することが示された (表5)。

また、1章で述べた回収量の増加による環境影響低減を確認するため、使用済みPETボトルの回収率が90%に上昇した場合について評価を行った。その結果、二酸化炭素や二酸化硫黄の影響が大きく減少し、統合化の合計値は低減した。しかし、回収量の増加による焼却処分量の減少でエネルギー回収が減少し、石炭等いくつかの項目で増加が見られた。従って、回収量の増加は環境影響低減に有効だが、エネルギー回収量減少による石炭等の影響については注意する必要がある。

4.3 スタンディングパウチにおける環境影響低減策の効果

スタンディングパウチについては、有機溶剤使用量を5%削減することにより、二酸化炭素および非メタン揮発性有機化合物の影響が大きく減少し、フィルム使用量を5%削減することにより、二酸化炭素の影響が大きく減少することが示された (表6)。しかし、フィルム使用量を削減した場合は、石炭等いくつかの項目で増加が見られた。これはフィルム使用量の削減により、廃棄時の焼却によるエネルギー回収が減少したためである。統合化の合計値は低減しているため、フィルム使用量の削減は環境影響低減に有効だが、エネルギー回収量減少による石炭等の影響については注意する必要がある。

次に、使用済みスタンディングパウチの回収量が増加すると、どのような傾向が現れるのかを調査するため、回収率が50%になった場合の評価を行った。その結果、フィルム使用量を削減する場合より、環境影響が低減する物質数は多くなったが、3.1.3項で述べたように、現状ではリサイクルが難しい容器であるため、回収量増加による環境影響低

表4 アルミ缶における環境影響低減策による統合化結果

項目			板材 5%削減		板材 10%削減	
			物質影響割合	現行からの増減量 (円)	物質影響割合	現行からの増減量 (円)
Output	Air	二酸化炭素	43.70%	-7.61×10^{-3}	43.80%	-1.52×10^{-2}
Output	Air	粒子状物質 (PM10)	10.90%	-3.41×10^{-3}	10.70%	-6.83×10^{-3}
Output	General	廃棄物	10.30%	-3.84×10^{-3}	10.00%	-7.68×10^{-3}
Output	Air	二酸化硫黄	9.50%	1.62×10^{-4}	9.70%	3.24×10^{-4}
Output	Air	窒素酸化物	8.30%	-7.41×10^{-4}	8.50%	-1.48×10^{-3}
Input	Energy	原油	8.40%	-1.37×10^{-3}	8.50%	-2.73×10^{-3}
Input	Energy	石炭	3.60%	-1.12×10^{-3}	3.50%	-2.24×10^{-3}
Input	Energy	天然ガス	2.30%	-6.72×10^{-4}	2.20%	-1.34×10^{-3}
Output	Air	亜酸化窒素	2.20%	-3.06×10^{-5}	2.30%	-6.12×10^{-5}
Input	Material	アルミニウム	0.90%	-3.62×10^{-4}	0.80%	-7.24×10^{-4}
削減量合計 (削減割合)				-1.90×10^{-2} (-2.3%)		-3.80×10^{-2} (-4.6%)

表5 PETボトルにおける環境影響低減策による統合化結果

項目			成形時のエネルギー 10%削減		回収率 90%	
			物質影響割合	現行からの増減量 (円)	物質影響割合	現行からの増減量 (円)
Output	Air	二酸化炭素	50.80%	-1.52×10^{-2}	50.80%	-2.69×10^{-2}
Output	Air	粒子状物質 (PM10)	3.90%	-2.05×10^{-4}	4.10%	1.68×10^{-5}
Output	General	廃棄物	1.20%	0	1.30%	4.17×10^{-10}
Output	Air	二酸化硫黄	22.50%	-7.32×10^{-3}	21.60%	-1.93×10^{-2}
Output	Air	窒素酸化物	8.90%	-6.38×10^{-4}	9.00%	-1.43×10^{-3}
Input	Energy	原油	8.50%	-1.98×10^{-3}	8.60%	-3.73×10^{-3}
Input	Energy	石炭	2.20%	-1.44×10^{-3}	2.50%	4.47×10^{-4}
Input	Energy	天然ガス	0.70%	-4.55×10^{-4}	0.80%	-9.90×10^{-7}
Output	Air	亜酸化窒素	1.10%	-5.40×10^{-4}	1.20%	6.39×10^{-5}
Output	Air	非メタン揮発性有機化合物	0.10%	-5.38×10^{-5}	0.10%	1.07×10^{-5}
削減量合計 (削減割合)			-2.78×10^{-2} (-3.5%)		-5.08×10^{-2} (-6.5%)	

表6 スタンディングパウチにおける環境影響低減策による統合化結果

項目			有機溶剤 5%削減		フィルム 5%削減		回収率 50%	
			物質影響割合	現行からの増減量 (円)	物質影響割合	現行からの増減量 (円)	物質影響割合	現行からの増減量 (円)
Output	Air	二酸化炭素	44.60%	-4.36×10^{-3}	43.50%	-3.32×10^{-3}	43.20%	-1.51×10^{-2}
Output	Air	粒子状物質 (PM10)	2.70%	-1.22×10^{-4}	2.70%	2.78×10^{-5}	2.60%	-1.16×10^{-3}
Output	General	廃棄物	1.20%	-3.54×10^{-8}	1.20%	-8.33×10^{-9}	1.20%	1.33×10^{-9}
Output	Air	二酸化硫黄	12.90%	-1.25×10^{-3}	12.80%	6.52×10^{-6}	12.30%	-6.22×10^{-3}
Output	Air	窒素酸化物	5.80%	-9.26×10^{-5}	5.70%	2.16×10^{-5}	5.70%	-6.74×10^{-4}
Input	Energy	原油	4.90%	-7.76×10^{-5}	4.80%	-1.31×10^{-5}	4.90%	5.86×10^{-6}
Input	Energy	石炭	0.80%	-9.37×10^{-5}	0.90%	1.34×10^{-4}	0.30%	-3.14×10^{-3}
Input	Energy	天然ガス	0.50%	-2.20×10^{-5}	0.50%	4.37×10^{-6}	0.50%	-5.12×10^{-5}
Output	Air	亜酸化窒素	1.40%	-6.48×10^{-5}	1.40%	-4.99×10^{-6}	1.50%	-9.07×10^{-5}
Output	Air	非メタン揮発性有機化合物	25.30%	-1.78×10^{-2}	26.80%	-2.02×10^{-3}	27.90%	7.53×10^{-6}
削減量合計 (削減割合)			-2.39×10^{-2} (-3.3%)		-5.16×10^{-3} (-0.7%)		-2.65×10^{-2} (-3.6%)	

減を実現するためには、リサイクルシステムの見直しが望まれる。

5. 結論と今後の課題

本考察では、アルミ缶 (aTULC)、PETボトル、スタンディングパウチを対象として、ライフサイクル (素材製造、製品製造、物流、使用、廃棄・リサイクル) 全体での環境影響の評価を行い、容器の種類による環境影響の違い、および容器の種類による環境影響低減策について調査した。その結果、以下の結論を得た。

アルミ缶では二酸化炭素、粒子状物質 (PM10)、廃棄物の影響が大きく、これらを削減するためにはアルミ板材の削減が有効である。ただし、使用した原単位の特性により、アルミ板材の削減で二酸化硫黄の影響が増える結果が得られた。アルミ缶においては、板材の使用量削減に伴い、二酸化硫黄の影響も小さくなると考えられるため、今後ア

ルミ缶用板材製造の原単位を精査する必要がある。

PETボトルでは二酸化炭素、二酸化硫黄の影響が大きく、これらを削減するためにはPETボトル製造時のエネルギー (電力) 削減が有効である。

スタンディングパウチでは二酸化炭素、非メタン揮発性有機化合物の影響が大きく、これらを削減するためには、印刷およびラミネートプロセスでの有機溶剤使用量の削減とフィルム使用量の削減が有効である。ただし、フィルム使用量削減については、エネルギー回収量減少による石炭等の影響について注意する必要がある。

今回の検討では、各容器で容量以外の機能を揃えることはできていない、また、容器種の違いによる内容物充填方法の違いも加味されていない。従って、この評価による単純な容器間比較は行えない。これらの点については、今後さらに検討を行う必要がある。

謝辞

本検討は2009年度にLCA日本フォーラムのLIME2検討ワーキングパート2にて検討した結果である。検討にあたり、独立行政法人 産業技術総合研究所・本下晶晴研究員および社団法人 産業環境管理協会LCA開発推進室、同エコリーフ事業室に協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

(平成23年1月24日受付、平成23年6月17日採択)

参考文献

- 財団法人 政策科学研究所 (2005): 平成16年度容器包装ライフ・サイクル・アセスメントに係る調査事業報告書, 267pp.
- 容器間比較研究会 (2001): LCA手法による容器間比較報告書<改訂版>, 228pp.
- 社団法人 日本包装技術協会 (2004): 包装機能のLCA研究, 社団法人 日本包装技術協会, 東京, 154pp.
- Fujimori A., Itsubo N. (2004): Proc. 6th. Int. Conf. Ecobalance, Tsukuba, 547-548
- アルミ缶リサイクル協会, 平成20年度飲料用アルミ缶リサイクル率 (再生利用率) について, アルミ缶リサイクル協会ホームページ, 入手先 <<http://www.alumi-can.or.jp/data/2008.pdf>>, (参照 2010-1-23)
- PETボトルリサイクル推進協議会 (2010): PETボトルリサイクル年次報告書2009年度版, 21pp.
- 森口祐一, 寺園淳, 藤井実, 匂坂正幸, 田原聖隆, 平尾雅彦, 村上進亮, 中谷隼 (2008): 平成19年度廃棄物処理等科学研究 研究報告書 国外リサイクルを含むシナリオ間のライフサイクル比較手法と廃プラスチックへの適用 (K1951), 森口祐一, 3
- 公益財団法人 日本容器包装リサイクル協会, プラスチック製容器包装 リサイクルのゆくえ, 日本容器包装リサイクル協会ホームページ, 入手先 <<http://www.jcpa.or.jp/recycle/recycling/recycling13/index.html>>, (参照 2010-1-23)
- 社団法人 産業環境管理協会, 飲料および食品用金属缶製品分類別基準 (PCR番号: BC-01), 産業環境管理協会ホームページ, 入手先 <http://www.jemai.or.jp/JEMAI_DYNAMIC/data/current/groupobj-646-pdf.pdf>, (参照 2011-2-1)
- 社団法人 産業環境管理協会, エコリーフPCR原単位 飲料および食品用金属缶, ver.2.1, 東京, 2007.7.1
- 社団法人 産業環境管理協会, エコリーフPCR原単位 プラスチック製素材を主体とする軟包装材, ver.2.1, 東京, 2010.3.28
- 社団法人 産業環境管理協会, プラスチック製素材を主体とする軟包装材製品分類別基準 (PCR番号: CX-01), 産業環境管理協会ホームページ, 入手先 <http://www.jemai.or.jp/JEMAI_DYNAMIC/data/current/groupobj-583-pdf.pdf>, (参照 2010-1-23)
- 環境省, 平成19年度容器包装リサイクル法に基づく市町村の分別収集及び再商品化の実績について (お知らせ), 環境省ホームページ, 入手先 <<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=10335>>, (参照 2010-1-23)
- 社団法人 プラスチック処理促進協会, プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 2007年, プラスチック処理促進協会ホームページ, 入手先 <http://www2.pwmi.or.jp/siryo/flow/flow_pdf/flow2007.pdf>, (参照 2010-1-23)
- 伊坪徳宏, 稲葉敦 (2010): LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法, 社団法人 産業環境管理協会, 東京, 666pp.
- 独立行政法人 産業技術総合研究所, LIME計算シート, 2005.10.12 版+ecoinvent import (ver.1), 東京, 2008.6.23