

1. 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

循環型社会・低炭素社会を構築するために、省資源化、排出物の減量化が取り組まれている。特に 2R、すなわち発生抑制・再使用が重要であり、市民の間でも環境問題への関心の高まりとともに広まりつつある。しかし、定量的で確かな評価情報の不足等もあり、本当に環境によいのか分からないというもどきや、過剰にエコバッグを買うという矛盾した行動なども見られる。

1.2 既存研究の概要

消費者の 2R 行動に関する環境影響評価を行った文献はいくつか見られるが、近年広がりつつあるマイボトル利用行動についてはほとんど見当たらない。そうした中、三木ら¹⁾は、消費者の選択による飲料水・飲料容器のライフサイクル評価の違いを分析するとともに、消費者への情報提供方法について検討している。多くの選択肢が用意されているが、飲料容器の使用回数は固定であること、近年伸びているステンレスボトルではなく、アルミボトルで評価を行っていること、水のみで評価であり他の飲料については評価されていないことなどの限界がある。

一方、飲料容器の中でも PET ボトル等の環境負荷については、PET ボトル協議会²⁾政策科学研究所³⁾、容器間比較研究会⁴⁾などが評価を行っている。しかし、いずれも容器のみの評価で、飲料製造部分は対象外であり、充填工程についても飲料に起因するものとして対象外としている。またマイボトルや家で湯呑みで飲むなどの状況との比較が行われていない。

1.3 研究の目的

本研究では近年利用が伸びているマイボトルに注目し、茶、コーヒーに関する 2R 行動の環境負荷削減効果を LCA を用いて定量的に評価するとともに、マイボトル利用等の 2R 行動を行う上で注意すべき点を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2.1 LCA の考え方と本研究の実施範囲

LCA (Life Cycle Assessment) は、対象とする製品に関する資源の採掘から素材製造から、製品生産、使用・廃棄段階まで、ライフサイクル全体を考慮し、資源消費量や排出物質を算出するとともに、その環境への影響を評価する手法である。一般に LCA では (1) 目的と調査範囲の設定、(2) インベントリ分析、(3) ライフサイクル影響評価、(4) ライフサイクル解釈の順に分析を進める。本研究では、地球温暖化、廃棄物処分、資源消費に

ついて特性化まで行い、シナリオを使用した比較を行う。

2.2 機能単位とシステム境界

機能単位は「500ml の飲料の提供」とする。対象とする飲料は緑茶、およびコーヒーとした。飲料の供給・消費パターンとして、緑茶についてはリーフ茶の形態で消費者に供給されて、湯呑みまたはマイボトルで消費されるパターンと、500ml または 2L の PET ボトルで消費されてそのまま、または湯呑みに入れて消費されるパターンを扱った。コーヒーの場合、インスタントコーヒー・レギュラーコーヒーの形態で消費者まで供給されてマイボトルで消費される場合と缶でコーヒー飲料として供給されてそのまま消費される場合を扱った。それぞれのシステム境界を図 1~4 に示す。

2.3 分析対象データ

評価対象には機械設備などの建設にかかる固定資本分を含めず、製品・容器包装の製造、輸送、消費、再使用・再利用、廃棄物処理にかかる分とした。評価項目は、化石燃料消費量、温室効果ガス排出量 (以下 GHG 排出量と略記) 廃棄物処分量とし、影響領域は、化石燃料資源消費、地球温暖化と廃棄物処分とする。その他の資源消費、酸性化、水質汚濁に関しては、一部のプロセスで資源・排出物質のデータが得られないことがあることから今回は扱わないこととした。なおカーボンニュートラルの観点から、バイオマス由来の CO₂ は対象外とした。

2.4 分析方法

本研究では積上げ式を採用しデータ処理は Excel を使用した。プロセスデータは、茶葉製造工程、抽出・充填工程、マイボトル製造工程およびそれらに関する輸送はヒアリングおよび質問紙調査を実施して収集・設定し、それ以外の部分は既存文献のデータを使用した。各種原単位については LCA 支援ソフトウェア JEMAI-LCA Pro および産業環境管理協会が公開しているデータベース LCA 日本フォーラム 2009 年度版 4 版を用いた。

2.4.1 リーフ用茶葉、飲料用茶葉の製造

茶栽培は、農業環境技術研究所⁵⁾が行った研究から、東海と南九州の茶栽培のデータを使用し生産量に応じて案分したデータを使用した。荒茶製造工程については、5 つの荒茶製造工場に対するヒアリング・質問紙調査に基づき、代表的と考えられた 2 工場のプロセスデータを平均化した値を用いた。窒素肥料投入量は、各都道府県別施肥基準を各産地の荒茶生産量で案分して 52.9 kg-N/10a とした。ただし肥料製造部分段階の負荷は計上せず、窒素肥料からの一酸化二窒素排出のみ計上した⁶⁾。農薬と水消費の負荷についてはデータの制約上、評価に含めて

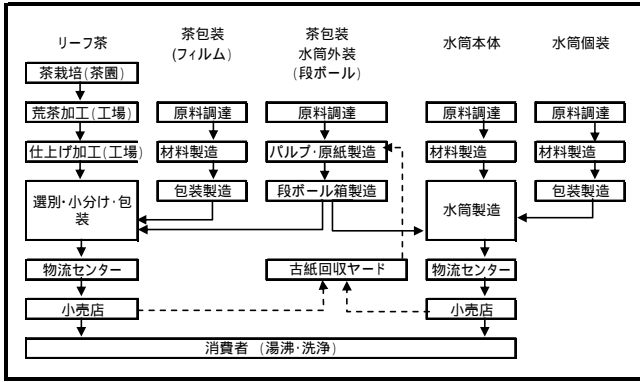


図1 茶（マイボトル）のシステム境界

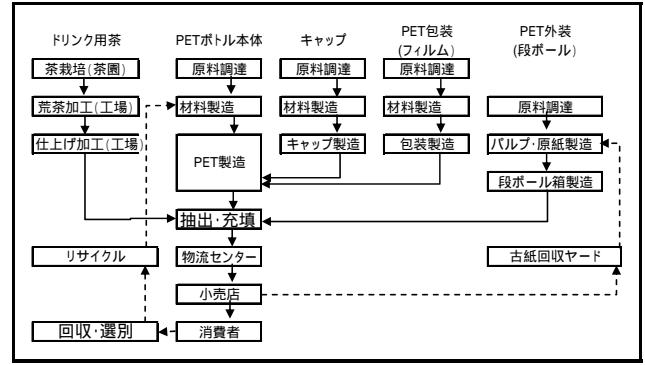


図2 茶（PETボトル）のシステム境界

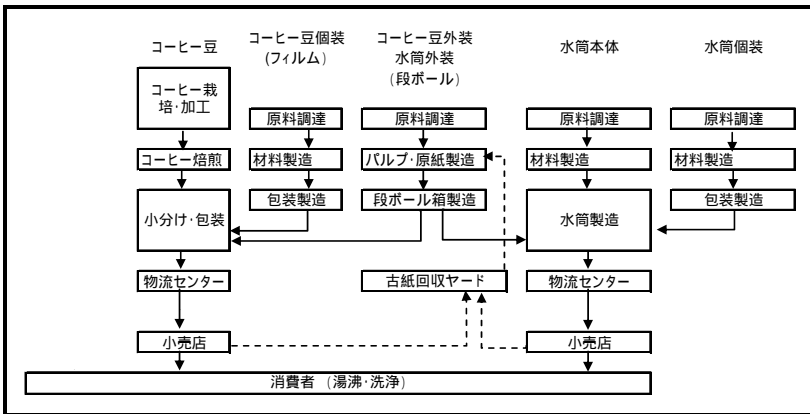


図3 コーヒー（マイボトル）のシステム境界

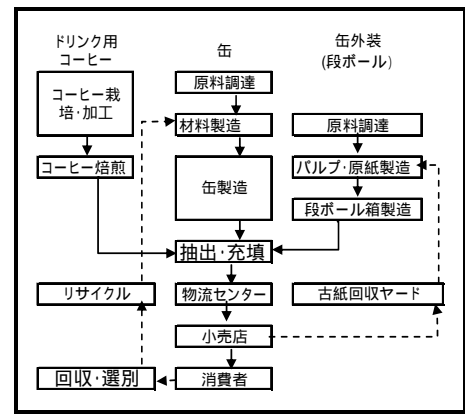


図4 缶コーヒーのシステム境界

いない。なお枝や落葉に土壌へ澆き込まれるため、廃棄物発生量は0とした。なお茶園と荒茶工場は一般に近接しているため、輸送距離は0とした。

仕上茶工程については、4つの仕上茶製造工場に対するヒアリング・質問紙調査を踏まえて、代表的な2工場のデータを平均化して使用した。

荒茶工場から仕上茶工場までの輸送は、荒茶、仕上茶の都道府県別生産量に基づき、近距離の需要を優先的に満たすと仮定して、平均距離を470kmと設定した。仕上茶工場から小売店の物流センターまでの輸送シナリオも同様に推定して430kmとした。長距離輸送はいずれも10t車で輸送することとした。なおいずれも復路は空載とした。

2.4.2 コーヒーの栽培・製造

コーヒー栽培にはLeda Coltroら⁷⁾のブラジルのコーヒー栽培・精製工程のデータを使用した。ただし、ブラジル電力の原単位⁸⁾以外のエネルギーのデータに関してはJEMAI-LCA Proの値を用いた。肥料についてはDiers Aら⁹⁾のデータに基づき算出した。ただし製造部分の負荷は計上せず、農地に投入した窒素肥料から発生する亜酸化窒素排出のみ一般的な値を計上した。

インスタントコーヒー・レギュラーコーヒーの製造は欧州と同様と仮定して、Sebastin Humbert¹⁰⁾らのデータを使用し、エネルギー原単位のみ日本の値を用いた。

2.4.3 PETボトル・キャップ・ラベル・パッキン製造

PETボトルのデータは充填工程等の負荷を別途計上しているため、プロセスの分離が可能な容器間比較研究会⁴⁾のプロセスデータを使用した。ただしボトル重量は、最近の緑茶飲料用PETボトルの実測値に基づき500mlボトル25.6g、2Lボトル53.3gと設定した¹¹⁾。

2.4.4 飲料用金属缶の製造

飲料用金属缶に関しては、エコリーフ環境ラベルのデータが公開されている軽量TULC200ml低パキュム(ラベル缶)の値¹²⁾を使用した。

2.4.5 マイボトルの製造

マイボトルの製造については1社にヒアリング・質問紙調査を行い、350ml前後の容量の製品の平均的な値として設定した(表1)。材料投入量・ロスは設計値・実態等のヒアリングから設定した。マイボトル本体・フタに使われるステンレス鋼版のロスは業者によりリサイクルされるが、データの制約上今回は埋立処分扱いとした。内ぶたに使われるPPのロスは工場内再生利用と廃棄処分にわけて評価している。

調査対象の工場では複数種類のステンレス魔法瓶等を生産しているため、電力・軽油・LPガス・工業用水消費量は案分により求めた。ヒアリングに基づきステンレス加工部分とそれ以外の部分の消費量比を設定し、ステンレス加工部分は生産個数で、それ以外はPP使用量で案

表1 マイボトル1本の製造原単位

		マイボトル製造
産出	350mlステンレス魔法瓶 kg	0.248
投入	ステンレス鋼 kg	0.269
	PP kg	0.055
	アクリル樹脂(塗装) kg	0.016
	シリコンゴム kg	0.004
	洗浄液 kg	0.001
	電力 kWh	2.964
	軽油 L	0.001
	LPガス kg	0.008
工業用水 kg	0.041	
排出	ステンレスロス kg	0.093
	PPロス kg	0.001
	アクリル樹脂塗装 kg	0.002
	PP樹脂袋 kg	0.001
	紙類廃棄物 kg	0.001
	ステンレス洗浄液 kg	0.001

20tトレーラーで輸送、物流センターから小売業者までを100kmとし、4t車で輸送するとした。いずれも復路は空載とした。

2.4.6 湯呑みの製造

湯呑みについては、浦野¹³⁾の九谷焼容器の評価のうち、材料調達部分までを重量で案分し、成形焼成から輸送部分までは1個あたりの値としてそのまま利用した。

2.4.7 飲料の抽出・充填

抽出・充填工程に関しては、2工場のヒアリング・質問紙調査に基づき設定した。なお緑茶飲料・コーヒー飲料の製造工程は類似しているため、製造原単位は等しいものとした。その際、ヒアリング結果からPETボトル・飲料金属缶のロス率はそれぞれ4%・2%とした。製品は、小売流通センターまで1000kmを10t車で輸送し、さらに小売店まで100kmを4t車で輸送するものとした。

2.4.8 販売・使用

缶・ボトル飲料は自動販売機で販売するものとし、缶・ボトル飲料自販機1台あたりの年間電力消費量と清涼飲料等の自販機一台あたり販売金額から一台・販売金額1円あたり自販機電力消費量を算出し、飲料の値段を130円として1本飲料販売あたりの消費電力とした。

家庭で緑茶・コーヒーを淹れる際に使用する熱湯の負荷については、杉山¹⁴⁾に基づきガスコンロで湯を沸かす場合の都市ガス消費量として1.86E-2 m³/Lと算出した。

2.4.9 廃棄・リサイクル

家庭から排出される飲料容器・茶殻・コーヒー滓・包装の収集は、乾燥状態で一律100km・2tパッカー、積載率往路12%復路0%で実施されるとした。PETボトル・缶は日本のリサイクル率の割合でリサイクル、廃棄されるとした。家庭からの茶殻・コーヒー滓・包装は一般廃棄物として焼却し、焼却灰埋立するとした。仕上茶製造時の茶滓、飲料の抽出充填の際排出される茶・コーヒー滓は肥料・飼料利用されるが、適当な処理のデータがなく、その負荷は評価対象外とした。

3.分析

分した。

輸送は、工場から輸出港まで45kmを20tトレーラーで牽引、輸出港から日本の寄港地まで1300kmは4000TEU以下のコンテナ船で輸送、日本の港から物流センターまで20kmを

3.1 シナリオ間の環境影響に関する比較

初めにマイボトル、湯呑みの使用回数を設定した上で、シナリオ間の環境影響を比較する。なお、紙面の都合で以下では主にGHG排出量について述べる。

マイボトルを廃棄するまでの使用回数は、週3回程度5年間使用するとして700回、湯呑みの使用回数は既存文献¹³⁾と同様に7300回と設定した。緑茶、コーヒーの

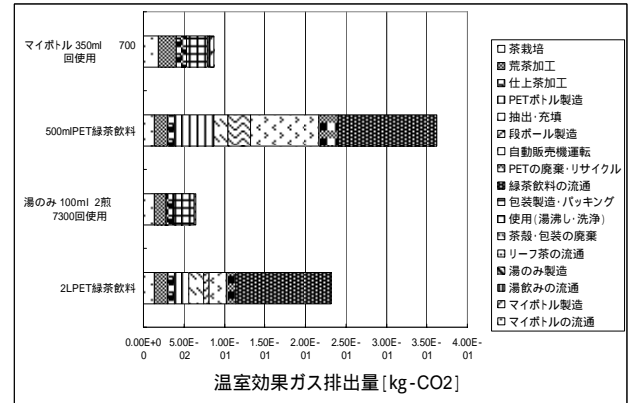


図5 緑茶飲料提供の際の温室効果ガス排出量

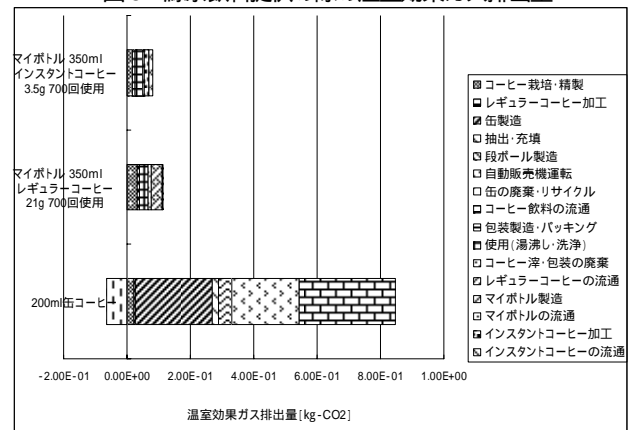


図6 コーヒー飲料提供の際の温室効果ガス排出量

500mlあたりのGHG排出量を図5、図6に示す。

マイボトルでお茶を提供する場合のお茶500mlあたりのGHG排出量は、0.087 kg-CO₂で、使用が29.5%、荒茶加工が24.8%、茶栽培が21.6%を占めている。使用は主に湯沸しと洗浄の負荷である。今回の分析結果から、700回使用した場合はマイボトルの負荷はほとんど無視できる程度となる。

500mlPETボトルで提供する場合のGHG排出量は0.362 kg-CO₂で、33.6%を飲料の流通、23.3%を自販機運転、13.2%を抽出・充填工程が占める。PET飲料の場合、液体で運ぶ区間が生じるため輸送効率が悪くなることから流通の負荷が大きい要因の一つと考えられる。

2L PETボトルの場合、中身500mlあたり0.232 kg-CO₂と500mlPETボトルより小さい。50.8%を飲料の流通、9.1%を自販機運転、7.7%を抽出・充填工程、同じく7.7%をPETボトル製造工程で排出される。

一方、湯呑みで提供する場合のGHG排出量は、0.065 kg-CO₂である。39.5%を使用、23.3%を荒茶加工、20.2%

を茶栽培が占めている。

また湯呑みの場合は2L PET ボトルの場合と比べて0.167kg-CO₂分のGHG 負荷削減が可能である。

次にコーヒーの分析結果を検討する。インスタントコーヒーをマイボトルで利用した場合の GHG 排出量は0.082 kg-CO₂で、31.3%は使用、20.8%はコーヒー栽培・精製、17.3%はインスタントコーヒーの加工工程、15.9%がインスタントコーヒーの流通で排出される。

レギュラーコーヒーのGHG 排出量は0.114 kg-CO₂で、インスタントコーヒーと同程度である。30.3%をレギュラーコーヒーの流通、27.5%をコーヒーの栽培・精製、22.4%を使用が占めている。いずれもコーヒー栽培・精製時の負荷が高くなっている。

一方、缶コーヒーのGHG 排出量は0.784 kg-CO₂で、39.0%を飲料の流通、31.0%を缶の製造、26.9%を自販機の運転が占めている。流通、自販機の負荷が高いのは緑茶のPET ボトル利用の場合と同様である。

なお今回は、コーヒー畑のN₂O 排出係数が見当たらなかったため、その他の係数を使用した。しかし、コーヒー栽培の施肥量は他と比較しても多いと言われており、実際のGHG の値は、もっと大きい可能性もある。

このように1つのマイボトルにつき700回使用すれば、インスタントコーヒーやレギュラーコーヒーをマイボトルに淹れた場合は缶コーヒーに比べて500ml 当たりそれぞれ約0.7 kg-CO₂の環境負荷削減が可能である。

3.2 マイボトル、湯呑みの使用回数による負荷の変化

次にマイボトルの使用回数と環境負荷削減効果の関係について検討する。図7に使用回数変更とGHG 排出量削減効果との関係を示す。

2L PET の緑茶飲料とリーフから淹れた茶を湯呑みに淹れて提供する場合は、回数によって減少する負荷は共通なので差は一定となる。

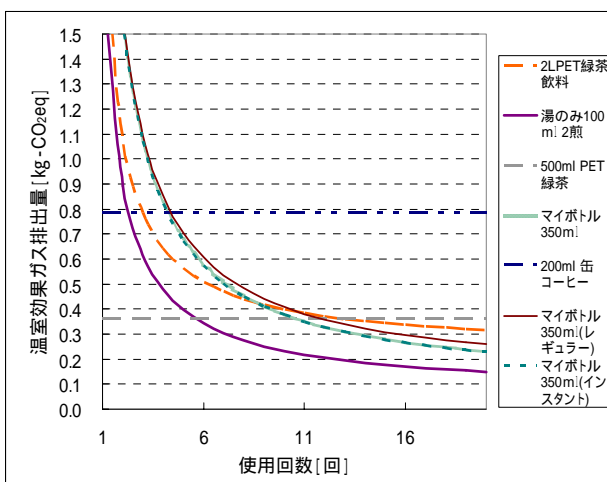


図7 マイボトル・湯呑みの使用回数による負荷の変化
緑茶の500mlPET ボトル飲料とマイボトル利用との比較では、マイボトルを1回しか使わないとPET ボトルの

方がGHG 排出量は約2.7 kg-CO₂少ないが、11回以上で逆転する。コーヒーについても同様に200ml 缶コーヒーとマイボトルを利用してコーヒーを飲む場合の比較では、マイボトルを1回しか使用しないと約2.3 kg-CO₂負荷が高くなるが、5回以上使用すればマイボトルを利用する方が負荷が低くなる。缶コーヒーの場合、缶自体のGHG 排出量が多いことに加え、1本の容量が少ないことも相対的に高くなった要因として考えられる。

5. 結論と今後の課題

本研究で得られた結論は、以下の通りである。

- ・マイボトル700回、湯呑み7300回使用の条件のもとで比較すると、緑茶の場合、GHG 排出量は500mlPET ボトル入りの1/4以下、2L PET 入りでも半分以下になった。コーヒーの場合は、インスタントコーヒー、レギュラーコーヒーとも200ml 缶の1/7以下となった。
- ・湯呑み・マイボトルの方が環境負荷が低くなる使用回数を考えると、GHG 面では5~11回以上となった。

以上より、通常の使用状況であればマイボトル、湯呑みの利用により環境負荷を削減できるが、繰り返し使用が重要であることを定量的に示すことができた。

なお、栽培時の肥料・農薬・用水などは製造・使用のデータが見つからなかったため今回は評価対象外としたが、これらも含めた評価は今後の課題である。

【参考文献】

- 1)三木暁子ほか 第4回日本LCA学会研究発表会講演論旨集(2009) / 2) PET ボトル協議会：“PETボトルのインベントリ分析報告書”，(2004) / 3) 財団法人 政策科学研究所：“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 -飲料容器を対象としたLCA調査-”，(2005) / 4) 容器間比較研究会：“LCA手法による容器間比較報告書<改訂版>”，(2001) / 5) 独立行政法人 農業環境技術研究所：“環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発，“茶栽培におけるLCAの農業生産技術への対応””(2003-11) / 6) 独立行政法人 農業環境技術研究所：“環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発 研究成果報告書別冊 LCA手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル”，(2003-11) / 7) Leda Coltro ,Anna Mourad ,Paula Oliveira ,Jose Baddini ,Rojane Kletecke: ,(2006), Int J LCA / 8) Leda Coltro, Eloisa E.C. Garcia, Guilherme de C. Queiroz, (2003), Int J Life Cycle Assess 8 5 pp. 290-296 / 9) Diers A, Langowski HC, Pannkoke K, Hop R, (1999) , .comed publishers and Eco-Infoma Press, Landsberg and Bayreuth,214 pp / 10) Sebastien Humbert , Yves Loerincik , Vincent Rossi ,Manuele Margni ,Olivier Jollie, (2009) , Journal of Cleaner Production,17, pp1351-1358 / 11) 大橋可奈子, (2009) 京都府立大学環境デザイン学科卒業論文 / 12) 社団法人 産業環境管理協会 (オンライン)エコリーフ環境ラベラー覧：“東洋製罐株式会社 軽量TULC 低バキューム缶 (登録番号BC-09-31)” < http://www.jemai.or.jp/JEMAI_DYNAMIC/data/current/prodobj-2316-pdf.pdf > , (2010-01-27確認) / 13) 浦野恵未香, 平成20年度石川県立大学生物資源環境学部環境化学科卒業研究, (2009) / 14) 杉山久仁子, (2007), 横浜国立大学教育人間科学部紀要 . , 自然科学, 9, , pp.31-42