

消費者のためのライフサイクル評価による飲料水利用のシナリオ分析

誌名	環境科学会誌 = Environmental science
ISSN	09150048
著者名	三木, 暁子 中谷, 隼 平尾, 雅彦
発行元	環境科学会
巻/号	23巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 447-458
発行年月	2010年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



一般論文

消費者のためのライフサイクル評価による
飲料水利用のシナリオ分析

三木 暁子*・中谷 隼**・†・平尾 雅彦*

摘 要

消費者の環境配慮行動の指針となる情報を提供するために、消費者にとって身近であり、なおかつ、利用形態によって環境負荷物質排出量に変化しうるものとして飲料水を取りあげ、ライフサイクル評価を用いたシナリオ分析を行った。まず、利用する飲料水は水道水かペットボトル飲料水か、ペットボトル飲料水を消費した後に空になったペットボトル容器をどのように処分するのか、などといった消費者が実行しうる飲料水の利用形態によって異なる要素を列挙した。併存しない要素同士を、「飲料水の生産・流通」「水質改善処理／飲料水の販売」「飲料水の保存」「飲用容器の使用」「ペットボトルの処分」という5つのステージに分類した。各ステージから1つずつ要素を選択し、モジュールとして組み合わせることにより、飲料水の利用形態を消費者視点の「飲料水利用シナリオ」として可視化した。次に、飲料水利用シナリオにて利用される5種類の飲料水（水道水、国産500mLペットボトル飲料水、輸入500mLペットボトル飲料水、国産2000mLペットボトル飲料水、輸入1500mLペットボトル飲料水）および3種類の飲用容器（ガラスコップ、水筒、ペットボトル）を対象として、ライフサイクル評価を行った。評価項目は二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、および亜酸化窒素（N₂O）の3種類の温室効果ガスとした。機能単位を任意の体積の飲料水の消費とし、積み上げ法を用いてモジュールごとに温室効果ガス排出量を算出することにより、各モジュールの温室効果ガス排出量を飲料水の体積の関数として表し、さまざまなシナリオにおける任意の体積の飲料水利用に伴う温室効果ガス排出量の評価を可能とした。さらに、この評価結果を用いて、特定の状況や嗜好を持った消費者へ提供する情報とするため、それらに合致したシナリオを抽出し、温室効果ガス排出量を比較した。

キーワード：飲料水、水道水、ペットボトル、ライフサイクル評価、シナリオ分析

1 はじめに

日本の二酸化炭素（CO₂）排出量のうち、家庭部門が占める割合は、産業部門、運輸部門、業務その他部門に次いで、全体の14%程度である¹⁾。しかしながら、製品やサービスの生産から廃棄までを含むライフサイクルは、消費者がそれらを利用することによって誘発されているという見方に立つと、ライフサイクルを通じて排出される環境負荷物質に対する、消費者の寄与がより大きくなる。また、有害化学物質や廃棄物などさまざまな環境負荷

物質の中でも、CO₂をはじめとした温室効果ガスは、直接的な排出のみではなく誘発された間接的な排出も含めたライフサイクル全体で考える必要があること、必ずしもエンドオブパイプ技術が有効ではないことなどから、家庭でのエネルギー消費に加え、製品やサービスの選択を含めた消費者の環境配慮行動が特に重要となる。一方で、環境配慮行動を行いたいと考える消費者は少なくないが、既往の調査事例²⁾や内閣府の世論調査³⁾からは、行動の指針となる情報が不足していると感じている傾向が見受けられる。

2010年3月9日受付、2010年8月6日受理

* 東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻、〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

** 東京大学大学院 工学系研究科 都市工学専攻

† Corresponding author: nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

消費者にとって身近で利用頻度が高く、なおかつさまざまな利用形態があるもの、すなわち消費者の容易な行動の変更によって環境負荷物質排出量に変化しうるものとして、飲料水がある。近年、水道水に加えて、ペットボトルによる飲料水の提供が一般的になってきた⁴⁾。1996年に、全国清涼飲料工業会による小型の飲料用ペットボトルの販売の自主規制が廃止されて以来⁵⁾、自動販売機やコンビニエンスストアのシェア拡大や、再度キャップで密封できるというリシール性、軽量かつ丈夫であるといった使い易さとあいまって、ミネラルウォーターなどペットボトル入りの飲料水（ペットボトル飲料水）の普及が進んだためである。2008年において、ペットボトルのミネラルウォーター類の国内生産量は186万kL、輸入量は50万kLである^{6,7)}。これまでに、CO₂排出量やエネルギー消費量の観点から、水道水の供給⁸⁾やペットボトルの製造・リサイクル・廃棄⁹⁻¹³⁾を対象として評価がなされてきた。これらの評価結果から、ペットボトル飲料水の提供は、水道水の供給に比べCO₂排出量が大きいと予想される。仮に、500mLおよび2000mLペットボトルについての推計事例¹³⁾をもとに概算すると、ペットボトル容器の製造のみで飲料水1L当たり0.1～0.2kgのCO₂が排出されることとなり、上記の国内生産量を乗じると年間0.2～0.4Mtとなる。これは、2008年における家庭部門のCO₂排出量（171Mt）¹⁾の0.1～0.2%に相当し、必ずしも大きな割合ではないものの、単体の製品としては無視できないCO₂排出の削減ポテンシャルを有するものと言える。一方で、森本らの評価¹⁴⁾から、ペットボトル飲料水の購入方法などの消費者の行動の変化に伴ってCO₂排出量に変化しうるものと、中谷らの評価¹⁵⁾から飲

料水の嗜好を満たすことに消費者が一定の価値を感じていることが示されてきた。したがって、消費者へ環境配慮行動の指針となる情報を提供するためには、これまでに示されてきた水道とペットボトルの単純な比較ではなく、飲料水を消費する状況や個人の嗜好を考慮した、消費者が実行しうるさまざまな飲料水の利用形態を評価する必要がある。

本稿では、まず、消費者の実行しうるさまざまな飲料水の利用形態を、それらを構成する飲料水の生産・流通・販売・保存、飲用容器の使用といった各ステージの要素（以下「モジュール」と記す）の組み合わせにより、消費者視点の「飲料水利用シナリオ」として可視化した。次に、各モジュールの温室効果ガス排出量を、ライフサイクル評価によって飲料水の体積の関数として表し、さまざまなシナリオにおける任意の体積の飲料水の利用に伴う温室効果ガス排出量の評価を可能とした。さらに、特定の状況や嗜好を持った消費者にとって有用な情報とするため、その状況や嗜好に合致したシナリオを抽出し、温室効果ガス排出量を比較した。

2 飲料水利用シナリオの可視化

消費者が実行しうる飲料水の利用形態を評価するために、消費者の視点に立った飲料水利用のシナリオ（以下「飲料水利用シナリオ」と記す）を作成した。消費者の視点に立った飲料水利用シナリオは、消費者の利用形態によって異なる要素の組み合わせによって表現される。さまざまなアンケート^{4, 16-18)}を参考に要素を列挙し、併存しない要素同士を同じグループ（以下「ステージ」と記す）に分類し、図1のように可視化した。ステージは全部で5つであり、時系列に並べると、「飲料水の生産・

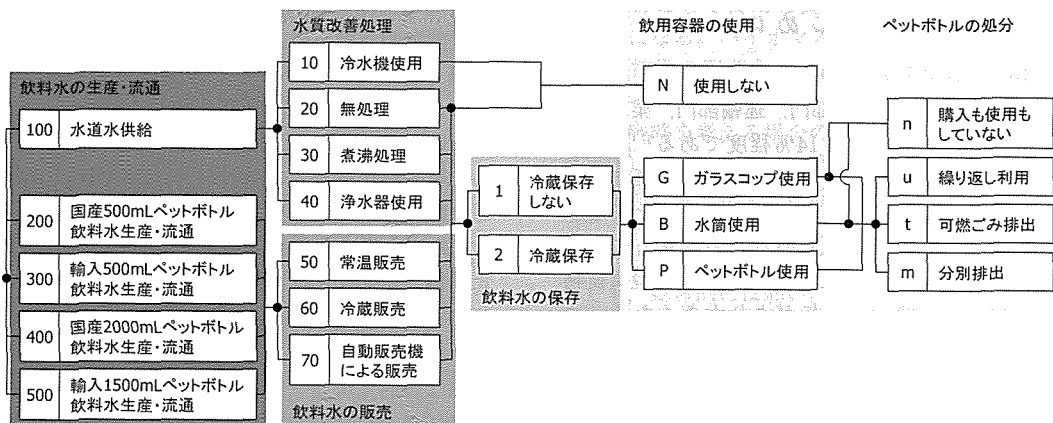


図1 飲料水利用シナリオの要素と組み合わせ

流通」「水質改善処理／飲料水の販売」「飲料水の保存」「飲用容器の使用」「ペットボトルの処分」となる。

「飲料水の生産・流通」とは、飲料水が生産され、消費者が入手可能な場所まで輸送されるステージである。入手可能な場所は、飲料水が水道水であれば蛇口、ペットボトル飲料水であれば店舗または自動販売機となる。消費者の視点では、水道水とペットボトル飲料水という飲料水の種類以外に、ペットボトル飲料水の容量と生産地が区別されている^{17, 18)}。したがって、ペットボトル飲料水では、小容量と大容量、国産製品と輸入製品をそれぞれ別の要素として扱った。現在流通しているペットボトル飲料水の傾向から、小容量は国産製品、輸入製品ともに500mLボトルとし、大容量は国産製品を2000mLボトル、輸入製品を1500mLボトルと設定した。

水道水は消費される前に、消費者によって水質改善処理がほどこされる場合がある^{4, 16)}。代表的な水質改善処理として、煮沸処理、浄水器使用、および冷蔵保存が挙げられているが、煮沸処理と冷蔵保存は併存しうることと、ペットボトル飲料水も消費者によって冷蔵保存されうることから、冷蔵保存を「飲料水の保存」のステージに、それ以外の処理を「水質改善処理」のステージに分類した。

一方で、ペットボトル飲料水は、主に小売店および自動販売機にて消費者に販売されている^{17, 18)}。小売店の中では、ディスカウントストアなどで冷蔵することなく販売されている場合と、コンビニエンスストアなどで冷蔵されて販売されている場合とがあり、それぞれを常温販売と冷蔵販売として区別した。

「飲用容器の使用」とは、消費者が飲料水を消費するステージである。飲用容器を使用しない場合と使用する場合に大別される。飲用容器を使用しない場合では、冷水機や蛇口に口を寄せ、飲料水を消費する。飲用容器を使用する場合では、飲用容器の種類を、ペットボトル、蓋ができ持ち運びに適した飲用容器である水筒、蓋を持たず持ち運びに適さない飲用容器であるガラスコップの3つを区別した。ペットボトルの使用には、購入したペットボトル飲料水をそのまま消費する場合の他に、家庭での繰り返し利用のために洗浄および保管していたペットボトルを、水道水、あるいは水質改善処理をほどこした水道水の飲用容器として使用する場合がある。

「ペットボトルの処分」とは、飲料水を消費した後に残ったペットボトルを処分するステージである。ガラスコップを飲用容器として水道水を消費した場合など、飲料水の消費後に処分するペットボ

トルがない場合は、使用していないという要素にあてはまる。ペットボトルの処分方法では、消費者による繰り返し利用、可燃ごみとして排出、資源ごみとして分別して排出という3つを区別した。

各ステージから1つずつ要素を選択し、モジュールとして組み合わせることにより、飲料水の利用形態が消費者視点の飲料水利用シナリオとして網羅的に作成される。各シナリオは、[飲料水の生産・流通：100の位の数字][水質改善処理または飲料水の販売：10の位の数字][飲料水の保存：1の位の数字]－[飲用容器の使用：大文字のアルファベット][ペットボトルの処分：小文字のアルファベット]によって特定される。例えば、冷蔵販売されている国産500mLペットボトル飲料水を購入し、冷蔵保存することなく消費し、空になったペットボトルを分別して排出する場合、対応するシナリオはシナリオ261-Pmとなる。

3 ライフサイクル評価の方法

飲料水利用の評価範囲は、飲料水の採水から消費までと飲用容器の原料採掘から廃棄またはリサイクルまでと設定した。図1のモジュールに含まれる単位プロセスのインベントリデータをもとに、積み上げ法によってモジュールごとの任意の体積の飲料水利用による温室効果ガス排出量を評価した。例として、冷蔵販売されている国産500mLペットボトル飲料水を購入し、冷蔵保存することなく消費し、空になったペットボトルを分別して排出するシナリオ261-Pmについて、各モジュールに設定したシステム境界を図2に示す。機能単位は飲料水の任意の体積の消費とした。単位プロセスのインベントリデータは、それぞれのプロセスの実施者による報告、検証された日本平均のデータを保有するJLCA-LCAデータベース¹⁹⁾の工業会提供データ、参考データおよび自主提供データ、JEMAI-LCA Pro²⁰⁾の優先順位で収集した。温室効果ガスとしては、評価に必要なとされるインベントリデータが十分に整備されているCO₂、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)の3種類を対象とし、特性化係数としてIPCC第3次評価報告書²¹⁾の地球温暖化係数(GWP)の100年値(CO₂:1, CH₄:23, N₂O:296)を用いて、CO₂等量として評価した。ハイドロフルオロカーボン(HFC)類やパーフルオロカーボン(PFC)類については、インベントリデータが十分に整備されていないことに加え、HFC類やPFC類の中でもGWPが大きく異なることから、「HFC類」または「PFC類」として得られたインベントリデータも特性化の段階で大きな不確実性を生じるため、本稿で

は対象外とした。

水道水供給（モジュール 100）では、原水が浄水場および給水所を経由して各水道口へと配水されるまでを対象とした。

ペットボトル飲料水の生産・流通（モジュール 200, 300, 400, 500）では、原水が採水され、生産されたペットボトル容器に充填され、販売地点に輸送されるまでを対象とした。原水の殺菌について、国産製品は原則として加熱殺菌あるいは同等の効果を有する殺菌・除菌法が義務付けられている²²⁾ため、国産製品には原水を加熱殺菌するプロセスを加えた。各ペットボトル容器の仕様を、表 1 にて示す。表 1 の重量は、文献²³⁾を参考に設定した。国産製品は、加熱殺菌により高温となった飲料水を充填することにより、ボトルとキャップの殺菌を行うとしたため、耐熱ボトルの重量を使用した。流通の際に梱包材として使用される段ボール箱は、飲料水 1L あたりに必要な重量を、実測値をもとに 30g と設定した。段ボール箱は、主に古紙を原料とした原紙か

ら製造され、使用された後、再び段ボール原紙の原料としてリサイクルされることから¹⁹⁾、評価範囲は原紙および段ボール箱の製造プロセスとして、原料となる古紙および段ボールのリサイクルプロセスは対象外とした。輸入製品の流通プロセスは国産製品の流通プロセスにおける陸上輸送に加えて、海上輸送が行われる。海上輸送距離は日本－フランス間を想定し、18,000km とした。

無処理（モジュール 20）、煮沸処理（モジュール 30）、浄水器使用（モジュール 40）に共通する給水プロセスでは、配水管の水圧のみで給水されるものとして、ポンプ等のエネルギー消費はないものとした。煮沸は、沸騰するまで加熱容器の蓋を閉じた状態で強火にて加熱し、沸騰後 15 分間は加熱容器の蓋を開けた状態で弱火にて加熱することと仮定した。浄水器はカートリッジ 1 個あたりの生産・流通・廃棄に伴うインベントリを総ろ過水量ベースにて配分した。浄水器カートリッジの仕様は浄水器メーカーへのヒアリング結果を参考に、中空糸膜、粒状活性

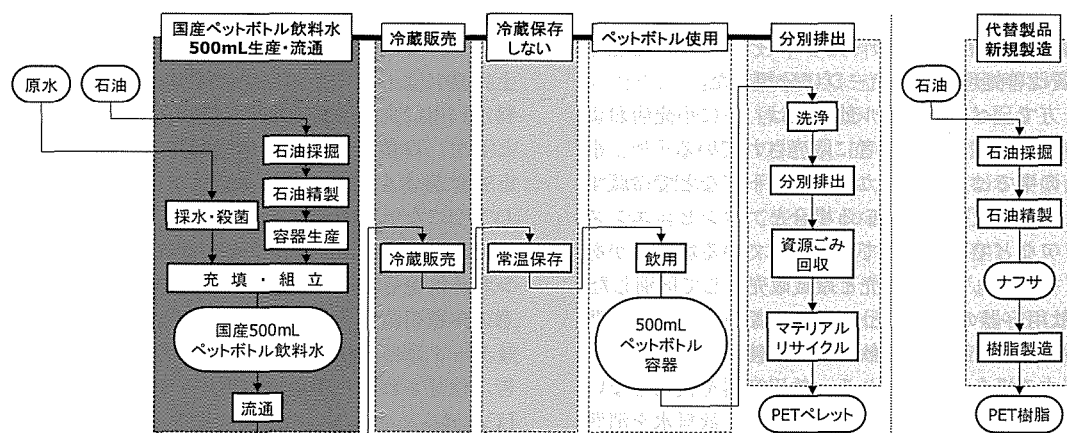


図 2 シナリオ 261-Pm における各モジュールのシステム境界

表 1 ペットボトル容器の仕様

	ペットボトル		キャップ		ラベル	
	素材	重量 [g]	素材	重量 [g]	素材	重量 [g]
国産 500mL ペットボトル飲料水	PET	26.0	PP	3.19	OPS	1.88
輸入 500mL ペットボトル飲料水	PET	20.5	PP	3.19	紙	1.88
国産 2000mL ペットボトル飲料水	PET	59.0	PP	3.19	OPS	2.06
輸入 1500mL ペットボトル飲料水	PET	30.0	PP	3.19	紙	2.06

PET：ポリエチレンテレフタレート，PP：ポリプロピレン，OPS：二軸延伸ポリスチレン

炭、カートリッジケースの重量を、それぞれ 2.00 g, 62.0 g, および 67.0 g と設定した。総ろ過水量は 900L と設定した。中空糸膜および粒状活性炭については、それぞれ等しい重量の高密度ポリエステルフィラメントおよび粉末活性炭にて代用した。カートリッジケースは ABS 樹脂を射出成型して製造するものと仮定した。

飲料水の販売における各要素は、販売店および自動販売機の電力消費を販売価格ベースにて配分した。ただし、ペットボトル飲料水の体積あたりの販売価格は、ペットボトル飲料水 500mL を 130 円と設定し、これをもとに 1mL あたり 0.26 円とした。

冷蔵保存（モジュール 2）では、冷蔵時間を一律 8 時間と仮定し、体積ベースにて配分した。その際、JIS 規格の家庭用電気冷蔵庫の試験方法²⁴⁾に準じて、定格内容積 75L 当たり 500mL ペットボトル 1 本の割合を仮定した。

飲用容器を使用しない場合（モジュール N）、給水された分の 4 割がロスとなるという冷水機の仕様情報²⁵⁾の仮定に従い、ロスとなる分の水道水の供給および下水処理にかかるインベントリデータは、このモジュールに計上することとした。繰り返し使用される容器である、ガラスコップおよび水筒を使用する場合（モジュール G, B）では、1 個あたりの生産・流通・廃棄に伴うインベントリを使用回数ベースにて配分した。洗浄済みの容器を用いて任意の量の飲料水を消費し、洗浄するまでを 1 回の使用と数え、使用回数を 100 回と仮定した。ガラスコップは重量を 160g とし、等しい重量のガラスびんで代用した。水筒は、ステンレス製の水筒本体とポリプロピレンキャップの重量を、それぞれ 200g および 50.0g とし、水筒本体と等しい重量のステンレス鋼・鋼管で代用した。洗浄は水道水のみで行い、容器 1 点あたりの洗浄に必要な水量は一定であると仮定した。ペットボトルを使用する場合（モジュール P）は、その製造・流通・廃棄の温室効果ガスは「飲料水の生産・流通」および「ペットボトルの処分」のステージで計上し、「飲用容器の使用」のステージにおける温室効果ガス排出量は 0g とした。

「ペットボトルの処分」では、ペットボトル容器を購入も使用もせず、処分するペットボトルがない場合（モジュール n）の温室効果ガス排出量は 0g とした。可燃ごみ排出（モジュール t）では、ペットボトル容器が可燃ごみとして収集され、ごみ発電による電力回収が行われるプロセスを想定した。分別排出（モジュール m）では、図 2 の右端に示すプロセスを対象とした。ペットボトル容器は洗浄され、資源ごみとして分別排出された後、国内に

おいてマテリアルリサイクルにより PET ペレットとなるものとした。リサイクルの効果を算出するため^{26, 27)}、リサイクルによって得られた再生 PET ペレットが長繊維や高品質のシートといった要求品質の高い用途の原料となる程度に異物が除去されていることから²⁸⁾、既往の評価事例^{11, 12)}と同様に同量の新規 PET 樹脂が代替されるものとして、リサイクルにかかる分の負荷より、図 2 に示す代替される新規 PET 樹脂を製造するプロセスの負荷を控除した。キャップおよびラベルについては、マテリアルリサイクルのプロセスで選別された後、再生原燃料となるものと残渣として処分されるものの比率が不明であるため、それらの焼却による負荷も新規原燃料の代替によって控除される負荷も評価範囲に含めなかった。また、日本の使用済ペットボトルの一部は中国をはじめとした国外へ輸出されているが²⁹⁾、国外リサイクルは依然として実態が明らかとなっていない部分も多いことから、本稿では対象外とした。ただし、既往の評価事例¹¹⁾において、国内および国外におけるマテリアルリサイクルの使用済ペットボトル 1 kg 当たりの CO₂ 排出量に大きな差はないことが示されており、分別排出（モジュール m）において国外リサイクルを考慮しないことの影響は大きくないと言える。

ここで、ペットボトル容器を繰り返し利用する場合については、以下のように評価範囲を設定した。まず、「ペットボトルの処分」のステージにおける繰り返し利用（モジュール u）では、空になったペットボトル容器を洗浄し、再使用可能な状態にするまでを対象とした。ペットボトル容器の洗浄は、ガラスコップおよび水筒と同様に水道水のみで行い、容器 1 点あたりの洗浄に必要な水量は一定であるとした。このようにペットボトル容器を再使用可能な状態にした場合、次のサイクルで「飲用容器の使用」のステージのモジュール P が選択可能となる。例として、国産 500mL ペットボトル飲料水を購入し、消費した後に空になったペットボトル容器を繰り返し利用のために洗浄するシナリオ 261-Pu（1 サイクル目）と、洗浄されたペットボトル容器を使用して水道水を消費し、ペットボトル容器を分別排出するシナリオ 121-Pm（2 サイクル目）のシステム境界を図 3 に示す。ペットボトル容器はペットボトル飲料水に付属して生産されるものであること、消費者が繰り返し利用を目的としてペットボトル飲料水を購入することは稀であることを考慮して、ペットボトル容器の生産・流通プロセスは、1 サイクル目の「飲料水の生産・流通」のステージに含まれる。2 サイクル目では、「飲用容器の使用」のステージ

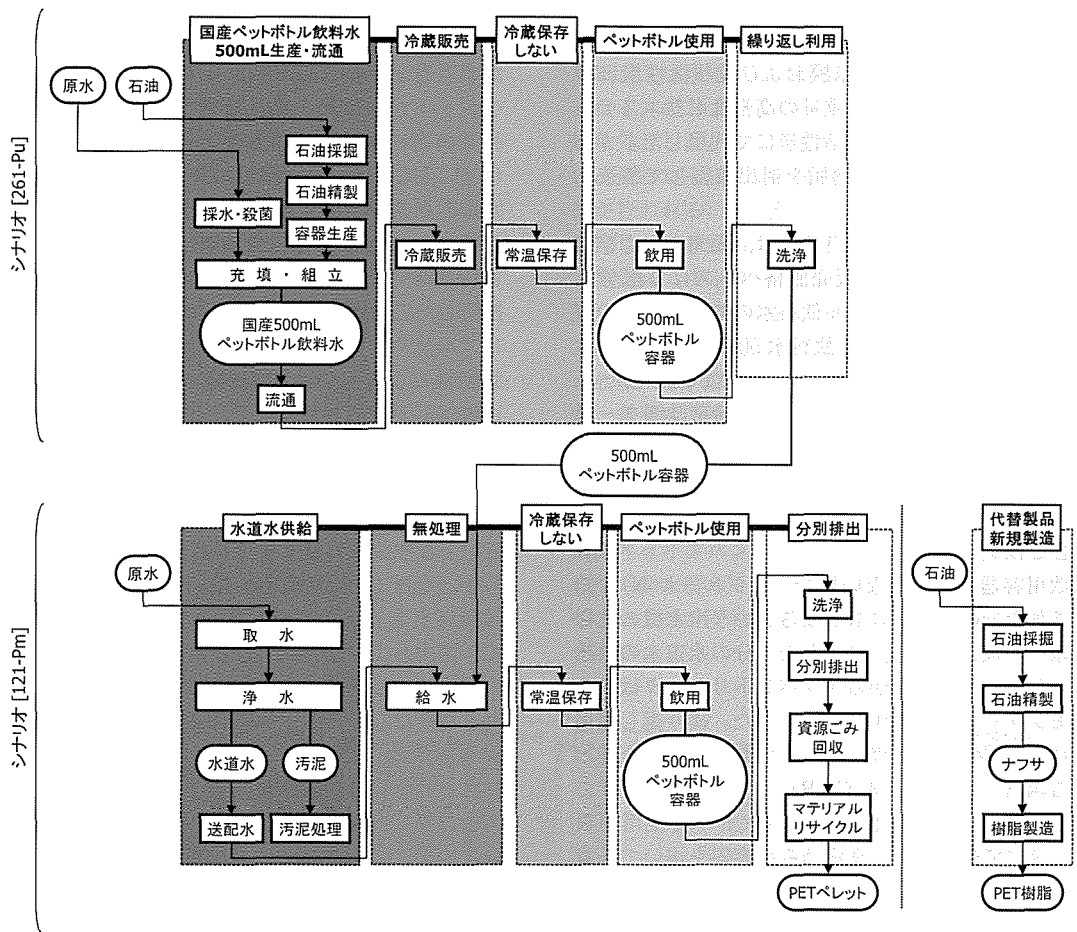


図3 シナリオ 261-Pu とシナリオ 121-Pm のシステム境界

における温室効果ガス排出量は0 gとなる。このような対象範囲の設定では、繰り返しの利用回数は評価結果に影響しない。ただし、ペットボトル容器の耐久性の限界に達した場合には、モジュール u が選択不可能となる。

化石燃料、電力、用水、各種薬品に関しては、資源探掘からの累積環境負荷原単位を求めた。表2にて、計算に使用した原単位とその出典を示す。資材、ペットボトル飲料水、および焼却灰を陸上輸送する際の積載率は、それぞれ文献⁴⁴⁾における「化学工業品」、「食料工業品(常温)」および「混載」の値を引用した。同様に、輸送距離は、それぞれ文献⁴⁵⁾における「その他の石油及び石油製品」、「食料工業品」、「廃棄物」の値を引用した。可燃ごみ排出および分別排出における収集の燃料消費については、文献⁴⁶⁾の原単位を引用した。

4 ライフサイクル評価の結果

4.1 モジュールごとの温室効果ガス排出量

モジュールごとの温室効果ガス排出量の評価結果を、飲料水 x mL の関数として図4にて示す。各モジュールの下段に示した関数の x に、機能単位として設定した飲料水の体積 [mL] を代入することにより、温室効果ガス排出量の算出が可能である。ガラスコップ使用および水筒使用(モジュール G および B)については、それらの生産・流通・廃棄による温室効果ガス排出量を、飲料水の量によらず、使用回数あたりで配分しており、洗浄についても必要な水道水の量を容器1点あたりで一定と仮定しているため、 x の関数ではない定数となっている。繰り返し利用(モジュール u)についても同様に、洗浄に必要な水道水の量を容器1点あたりで一定と仮

表 2 計算に使用した原単位

モジュール名	単位プロセス	原単位	備考	出典
水道水供給	浄水場での処理 (オゾン製造・汚泥処理除く)	エネルギー・薬剤・汚泥	東京都水道局の 金町浄水場の 実データ	29)
	オゾン製造	エネルギー		30)
	汚泥処理	エネルギー		31)
	給水所での処理	エネルギー・薬剤	東京都水道局の 全給水所の実データ	29)
ペットボトル飲料水生産・流通 (国産 500mL・輸入 500mL・ 国産 2000mL・輸入 1500mL)	原水処理・充填・組立	エネルギー・用水	水処理メーカーへの ヒアリング	
	紙ラベルの製造	エネルギー・薬剤・用水		32)
冷水機使用	冷水機の稼働	エネルギー		25)
煮沸処理	水道水の煮沸	エネルギー・ ロスされる水道水		33)
常温販売・冷蔵販売	店舗の稼働	エネルギー		34)
自動販売機による販売	自動販売機の稼働	エネルギー		35)
冷蔵保存	冷蔵庫の稼働	エネルギー		36)
使用しない	飲用	ロスされる水道水		25)
ガラスコップ使用	ガラスコップの生産	エネルギー・原材料・廃棄物		37)
水筒使用	水筒の生産	エネルギー・原材料・廃棄物		20)
分別排出	減容～フレーク化	エネルギー		11), 19)
共通	樹脂製造	エネルギー・薬剤		19)
	樹脂の成型	エネルギー		38), 39)
	洗浄	水道水		40)
	下水処理	エネルギー・薬剤		20)
	廃棄物の燃焼	エネルギー・薬剤		19)
	化石燃料・電力・用水・ 各種薬品の製造	エネルギー・用水・原材料		19), 20)
	陸上輸送	エネルギー		19)
	海上輸送	エネルギー		41)
	化石燃料の燃焼	発熱量		42)
		CO ₂ 排出量		43)

定しているため、 x の関数ではない定数となっている。例えば、そのままの水道水 500mL を、容器を使用せずに消費するシナリオ 121-N の温室効果ガス排出量 [g-CO₂e] は以下の式によって計算する。

$$0.000288 \times 500 + 0 + 0 + 0.000515 \times 500 = 0.402 \quad (1)$$

可燃ごみ排出 (モジュール t) と分別排出 (モジュール m) については、ペットボトル飲料水の種類によって容器の重量が異なるため (表 1 参照),

購入した製品、あるいは使用したペットボトルに合わせて適当な関数を選択する。例えば、輸入ペットボトル飲料水 500mL を自動販売機から購入し、冷蔵保存したのちに消費し、空になったペットボトルを可燃ごみとして排出するシナリオ 372-Pt の温室効果ガス排出量 [g-CO₂e] は以下の式によって計算する。

$$0.484 \times 500 + 0.254 \times 500 + 0.0350 \times 500 + 0 + 0.138 \times 500 = 455 \quad (2)$$

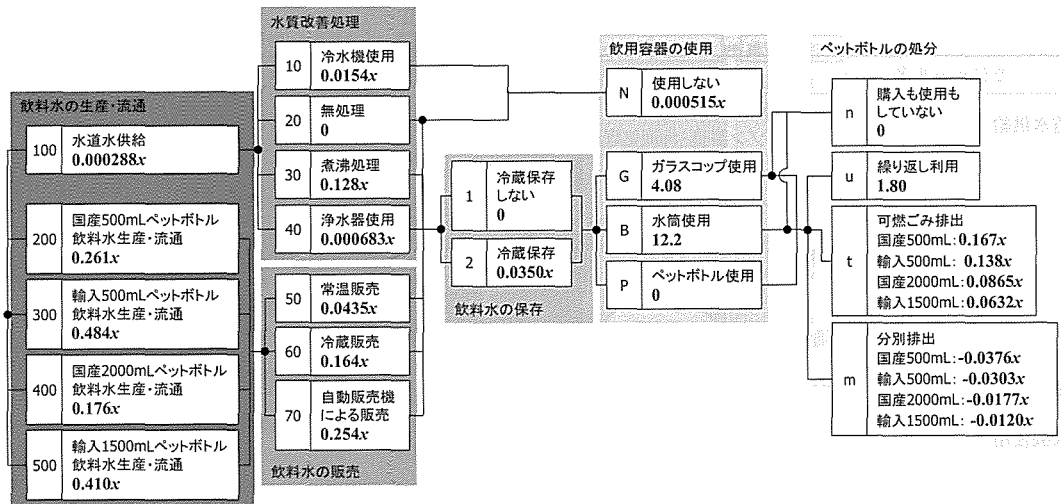


図4 モジュールごとの温室効果ガス排出量 [g-CO₂e] (機能単位: 飲料水 x mL の消費)

4.2 消費者の状況や嗜好に合致したシナリオ同士の比較

消費者の状況や嗜好により、無理なく実行可能なシナリオは変化する。このことに対応するため、網羅的に作成したシナリオ群から、特定の状況や嗜好に合致するシナリオを抽出し比較した。この方法は、無理なく実行可能でありながら、それまで消費者が認識していなかったシナリオの発見にも有効である。

本稿では、消費者の状況と嗜好の具体例を3つとりあげ、それぞれに合致する代表的なシナリオを5つずつ抽出し、前節の結果をもとに温室効果ガス排出量を比較した。機能単位はすべて飲料水 500mL の消費とした。

まず、外出先にて飲料水利用を考える、という状況下におけるシナリオの比較結果を図5に示す。最左部に示すシナリオ 271-Pm は、手近な自動販売機から国産 500mL ペットボトル飲料水を1本購入し、空になった容器を分別排出するシナリオである。このシナリオにおける黒色の部分は、国産 500mL ペットボトル飲料水の生産から自動販売機への輸送までに排出された温室効果ガス、斜線部分は自動販売機の稼働のために排出された温室効果ガス、網かけの部分はごみ回収から再生製品の製造までに排出された温室効果ガスの量を表す。棒グラフの上部に合計値を付記した。シナリオ 271-Pt とシナリオ 361-Pt の黒色部分より、輸入 500mL ペットボトル飲料水は、国産 500mL ペットボトル飲料水と比較して、生産・流通段階において約 1.9 倍の温室効果

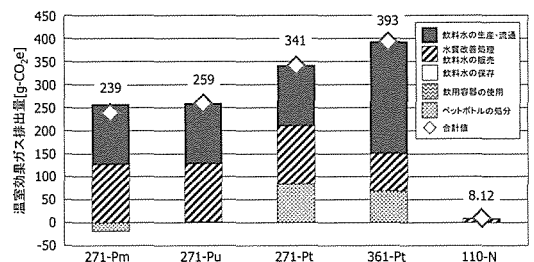


図5 外出先にて飲料水利用を考える場合の温室効果ガス排出量 (機能単位: 飲料水 500mL の消費)

ガスを排出していることがわかる。輸入 500mL ペットボトル飲料水生産・流通段階では、海外からの海上輸送の際の燃料消費に伴う温室効果ガス排出量が 139g-CO₂e と全体の 6 割程度を占めている。公園や地下鉄の駅などに設置された、手近な冷水機を探して水道水を飲むシナリオ 110-N は、他のペットボトル飲料水を利用するシナリオと比べ、温室効果ガス排出量がおよそ 30 分の 1 以下となった。

次に、外出先での飲料水利用を事前に考える、という状況下でのシナリオの比較結果を図6に示す。この状況では、先ほど比較した外出先で飲料水入手するシナリオに、自宅で飲料水を準備しておくシナリオが追加される。シナリオ 551-Bm は、シナリオ 551-Bm、輸入 1500mL ペットボトル飲料水を購入し、飲料水を水筒に移して外出先で飲用し、ペットボトル容器は分別して排出するシナリオである。

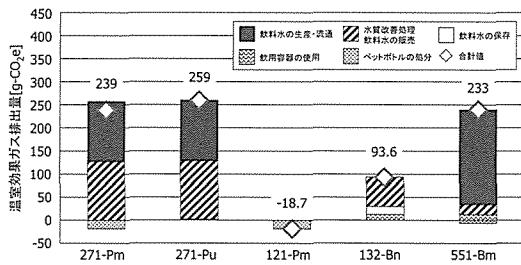


図6 外出先での飲料水利用を事前に考えた場合の温室効果ガス排出量（機能単位：飲料水 500 mL の消費）

この中で最も温室効果ガス排出量が少なくなったシナリオ 121-Pm は、そのままの水道水を、繰り返し利用のために自宅に保管してある 500mL ペットボトル容器につめ、飲用した後に容器を分別して排出するシナリオである。このような繰り返し利用のためのペットボトル容器を使用するシナリオは、事前にペットボトル飲料水を購入し、繰り返し利用のために洗浄しておく（モジュール 200 または 300 とモジュール u を含む）シナリオが実行されていることが前提となっている。消費者がペットボトルの繰り返し利用の効果を正しく解釈するためには、評価結果だけでなくこのような前提条件をも提供する必要がある。

最後に、水道水に特有のカルキ臭のない水を飲用したいという嗜好を考慮した場合のシナリオの比較結果を図 7 に示す。シナリオ 251-Pm やシナリオ 451-Gm のようにペットボトル飲料水を購入するシナリオと、シナリオ 122-Gn、シナリオ 132-Gn、シナリオ 141-Gn のように各種水質改善処理を行うシナリオが挙げられる。シナリオ 251-Pm は、国産 500mL ペットボトル飲料水を購入し、そのままペットボトルから飲用するシナリオである。一方で、シナリオ 451-Gm は、国産 2000mL ペットボトル飲料水を購入し、ガラスコップに移して飲用するシナリオである。500mL ペットボトル飲料水に比べ、大容量ペットボトル飲料水の生産・流通に伴う温室効果ガス排出量が少ない原因として、容量が大きくなると同量の飲料水に配分される容器の重量が減少することが挙げられる。煮沸処理を行うシナリオ 132-Gn は、他の水質改善処理を行うシナリオと比べると、冷蔵保存するシナリオ 122-Gn の 4 倍程度、および浄水器を使用するシナリオ 141-Gn の 18 倍程度となった。一方で、シナリオ 451-Gm と比べると、8 割程度となった。

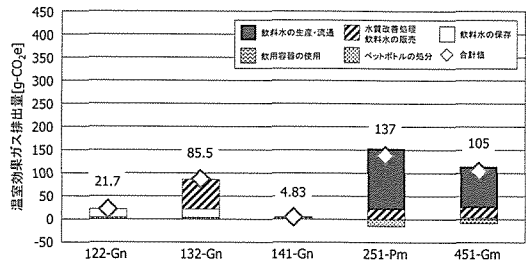


図7 カルキ臭のない水を飲用したい場合の温室効果ガス排出量（機能単位：飲料水 500mL の消費）

5 おわりに

本稿では、飲料水の利用形態によって異なる消費者の行動を要素として列挙し、時系列にしたがって 5 つのステージに分類した。各ステージから 1 つずつ要素を選択し、モジュールとして組み合わせることにより、さまざまな飲料水の利用形態を、消費者視点の飲料水利用シナリオとして可視化した。また、飲料水の任意の体積を機能単位としたライフサイクル評価を行い、モジュールごとの温室効果ガス排出量を計算した。評価結果を飲料水の体積の関数としてまとめ、さまざまなシナリオにおける任意の体積の飲料水利用に伴う温室効果ガス排出量の評価を可能とした。さらに、ケーススタディとして、網羅的に作成したシナリオ群から、特定の状況や嗜好に合致するシナリオ同士を抽出し、温室効果ガス排出量を比較した。

本稿で提示した手法は、環境負荷原単位をモジュール別に評価し、その組み合わせによってシナリオを表現することで、消費者の行動に伴って変化する環境負荷についての情報提供を可能とするものであり、飲料水の利用形態が変化する、あるいは新たに発見された際にも、モジュールを追加することによって容易にシナリオの拡充が可能であることが特長である。さらに、この手法の枠組みは、飲料水利用に限らず他の消費者の行動へも適用するものであり、さらなる発展可能性を持っている。

今後の課題は、本稿の分析結果を消費者の実際の環境配慮行動に反映させることである。そのためには、消費者の意思決定に資する情報提供方法について検討すること、さらに実際に消費者に情報提供を行い、その前後における飲料水の利用形態を観察することなどを通じて、情報提供方法の有効性について検証することが求められる。

文 献

- 1) 環境省, 2008 年度 (平成 20 年度) 温室効果ガス排出量 (確定値), <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/>, (参照 2010.7.6).
- 2) 榎本博明 (1994) 環境問題関連情報への心理的態度: 環境教育の視点からの検討, 日本教育情報学会学会誌, 10 (1), 49-54.
- 3) 内閣府, 環境問題に関する世論調査, <http://www8.cao.go.jp/survey/h17/h17-environment/images/z05.gif>, (参照 2009.1.20).
- 4) 内閣府, 水に関する世論調査, <http://www8.cao.go.jp/survey/h20/h20-mizu/images/z13.gif>, (参照 2008.9.2).
- 5) PET ボトルリサイクル推進協議会 (2009) PET ボトルリサイクル年次報告書 2009 年度版.
- 6) 日本ミネラルウォーター協会 (2010) ミネラルウォーター類 国内生産, 輸入の推移, http://minekyo.net/public/_upload/type017_5_1/file/file_12686215792.pdf, (参照 2010.7.6).
- 7) 日本ミネラルウォーター協会 (2010) 容器別生産数量の推移, http://minekyo.net/public/_upload/type017_5_1/file/file_12686216930.pdf, (参照 2010.7.6).
- 8) 岡村 整・小林健一郎 (2001) 水道事業におけるライフサイクルアセスメント (LCA) に関する調査, 水道協会雑誌, 70 (11), 14-26.
- 9) 福島康裕・平尾雅彦 (1998) ライフサイクルモデルによる PET ボトルリサイクルシステムの評価, 電気学会論文誌 C, 118 (9), 1250-1256.
- 10) 和田安彦・中野加都子・尾崎 平・岩本綾乃 (2004) 市民の受入れ意思を考慮した飲料用 PET ボトルリサイクルの評価, 土木学会論文集, 769 (VII-32), 43-54.
- 11) 中谷 隼・藤井 実・森口祐一・平尾雅彦 (2008) 使用済ペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルのライフサイクル評価, 日本 LCA 学会誌, 4 (4), 324-333.
- 12) Jun Nakatani, Minoru Fujii, Yuichi Moriguchi, and Masahiko Hirao (2010) Life-Cycle Assessment of Domestic and Transboundary Recycling of Post-Consumer PET Bottles, International Journal of Life Cycle Assessment, 15 (6), 590-597.
- 13) PET ボトル協議会・産業情報研究センター (2006) PET ボトルの LCI 分析調査報告書.
- 14) 森本涼子・加藤博和・柴原尚希・金原 宏 (2009) 製品の流通・販売形態のライフサイクルアセスメント: 容器入り清涼飲料水を例として, 日本 LCA 学会誌, 5 (1), 47-53.
- 15) 中谷 隼・志摩 学・荒巻俊也・花木啓祐 (2006) 選択型コンジョイント分析を用いた飲料水に対する消費者の受容性評価, 環境科学会誌, 19 (4), 355-364.
- 16) 東京都水道局 (2007) 平成 19 年度第 1 回インターネット水道モニターアンケート.
- 17) インターネットワイヤード株式会社 DIMSDRIVE 事務局, ミネラルウォーターに関する調査結果, <http://www.dims.ne.jp/timelyresearch/2008/080605/>, (参照 2009.1.29).
- 18) マイボイスコム株式会社, ミネラルウォーターの飲用 (第 4 回), <http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/12605/>, (参照 2009.11.27).
- 19) LCA 日本フォーラム, JLCA-LCA データベース 2010 年度 1 版, <http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm>, (参照 2010.7.5).
- 20) 社団法人産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro ライフサイクルアセスメント実施ソフトウェア ver. 2.1.1.
- 21) Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001: Synthesis Report, Working Group I - Technical Summary, C.6, http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/, (参照 2010.2.3).
- 22) 厚生省 (1957) ミネラルウォーター類の製造基準.
- 23) 環境省, 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, http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=14085&hou_id=11451, (参照 2009.12.10).
- 24) 日本工業標準調査会 (2006) JISC9801 家庭用電気冷蔵庫及び電気冷凍庫の特性及び試験方法, <http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=77831>, (参照 2010.2.3).
- 25) 東芝, ウォータークーラー: 家電製品 Toshiba Living Doors, http://www.toshiba.co.jp/living/lineup/professional/0223_k1_pic_01.html, (参照 2008.12.5).
- 26) 藤井 実・橋本征二・南斉規介・村上進亮・稲葉陸太・森口祐一 (2008) マテリアルリサイクルの LCI 分析手法の整理と評価事例, 日本 LCA 学会誌, 4 (1), 78-88.
- 27) 藤井 実・橋本征二・南斉規介・村上進亮・稲葉陸太・森口祐一 (2007) リサイクルの LCI 分析結果の表記法, 土木学会論文集 G, 63 (2), 128-137.
- 28) 中谷 隼・藤井 実・吉田 綾・寺園 淳・森口祐一・平尾雅彦 (2008) 使用済ペットボトルの国内リサイクルと日中間リサイクルの比較分析, 廃棄物学会論文誌, 19 (5), 328-339.
- 29) 東京都水道局 (2006) 平成 17 年度事業年報.
- 30) 富士電機サーモシステムズ, 富士電機サーモシステムズ: オゾナイザ: 空気原料大型タイプ (FON シリーズ), http://www.fuji-thermo.co.jp/products/ozon_02.html, (参照 2008.5.20).
- 31) 山下博文 (2008) 汚泥処理動力削減のための重力濃縮をベースとした汚泥処理システムの構築, 東京都下水道局技術調査年報 2007.
- 32) 容器間比較研究会 (2000) LCA 手法による容器間比較報告書.

- 33) 水野千恵・四谷美和子・北山英子・山田克子・萩野正子・山本由美・内田真理子・梶田武俊・安藤孝雄・生野世方子・芥田暁栄・山下英代・山野澄子・川内由美・奥田展子 (2002) 煮る調理におけるガス加熱の条件設定, 日本調理科学会誌, 35(3), 275-280.
- 34) 株式会社セブンイレブン・ジャパン, 2006年度のチェーンの事業活動における環境負荷 (Input-Output), http://www.sej.co.jp/corp/social/plan/input_output.html, (参照 2008.10.31).
- 35) 経済産業省総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会, 物品自動販売機の現状, <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g61114b06j.pdf>, (参照 2008.11.5).
- 36) 財団法人省エネルギーセンター (2005) 食生活に伴う直接的・間接的エネルギー消費実態調査報告書.
- 37) 株式会社東レリサーチセンター (1996) ライフサイクルアセスメント (LCA) の実際－「製品のゆりかごから墓場まで」の環境影響評価－.
- 38) プラスチック処理促進協会 (2000) 樹脂加工におけるインベントリデータ調査報告書.
- 39) 経済産業省製造産業局繊維課 (2003) 繊維製品 (衣料品) の LCA 報告書.
- 40) 経済産業省, 省エネ・防犯情報提供事業研究会報告書, <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g50331f01j.pdf>, (参照 2009.12.3).
- 41) 平岡克英・亀山道弘 (2006) 外交貨物船の運行実績値に基づく LCA のための海上輸送データ (単位輸送量当たり燃料消費量と大気環境負荷ガス排出量), 日本 LCA 学会誌, 2 (3), 273-280.
- 42) 資源エネルギー庁 (2002) エネルギー源別標準発熱量の改訂について, http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/download/pdf/tar011-x1031ebs_8.pdf, (参照 2010.2.2).
- 43) 石油産業活性化センター (2000) 石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書.
- 44) 東京都市圏交通計画協議会, 第 4 回東京都市圏物資流動調査, http://www.tokyo-pt.jp/pd/H15_syukei.html, (参照 2009.12.7).
- 45) 国土交通省総合政策局情報管理部, 平成 19 年度分自動車輸送統計調査, <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200700a00000.pdf>, (参照 2009.12.7).
- 46) 藤井 実・村上進亮・南齋規介・橋本征二・森口祐一・越川敏忠・中村卓也 (2007) 家庭系ごみの分別収集に係わる収集車の走行距離・台数等の調査, 廃棄物学会論文誌, 18(6), 443-453.

Scenario Analysis of Drinking Water Usage Applying Life-Cycle Assessment for Consumers

Akiko MIKI *, Jun NAKATANI ** and Masahiko HIRAO *

(* Department of Chemical System Engineering, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

** Department of Urban Engineering, The University of Tokyo)

Abstract

To promote consumers' pro-environmental behavior, scenario analysis by life-cycle assessment was applied to drinking water usage, the environmental consequences of which depend on usage behavior. First, elements that characterize drinking water usage were listed, and incompatible elements were grouped into five stages: production and distribution of drinking water, water quality improvement/sales of drinking water, storage of drinking water, use of drink containers, and disposal of plastic bottles. The usage of drinking water was described from consumers' viewpoints, and each scenario was identified by selecting a single element as a module from each of the five stages and then combining the modules. Then, greenhouse gas emissions were evaluated with regard to five types of drinking water (i.e., tap water, small and large containers of domestic bottled water, and small and large containers of imported bottled water) and three types of drink containers (i.e., drinking glasses, water flasks, and plastic bottles). Greenhouse gas emission for each module was formulated as a function of the volume of drinking water, then that in a given scenario for a given volume of drinking water became calculable. Greenhouse gas emissions were compared among scenarios consistent with particular situations or tastes of consumers.

Key Words: Drinking water, tap water, PET bottle, life-cycle assessment, scenario analysis