

Title	ライフスタイルに関するLCA分析：リサイクルによるCO2削減可能性の研究
Sub Title	
Author	岡村, 智仁(Okamura, Tomohito) 石谷, 久(Ishitani, Hisashi) 松橋, 隆治(Matsuhashi, Ryuji) 吉田, 好邦(Yoshida, Yoshikuni) 正田, 浩一(Hikita, Koichi)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	2000
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』(KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-94
JaLC DOI	
Abstract	概要我々人類は、現在、様々な環境問題に直面している。多くの地球環境問題は、第2次世界大戦以降の科学技術を主体とした文明のもとで、人々が利便性を追求し、大量生産・大量消費・大量廃棄のライフスタイルを構築したことと、それを支えてきた産業が主な要因である。従って、様々な環境問題への対策として、環境への負荷の少ないライフスタイルへの転換と、それに対応する新たな商品開発や社会経済システムの構築が求められている。本研究では、まず、ライフスタイルに直接関わる産業のCO2排出量を産業連関表より算出・考察した。次に、近年増加傾向にあり、すっかり我々の日々の生活に定着した1回使用の飲料容器（アルミ缶・スチール缶・ペットボトル）を対象に、そのリサイクルに関する調査をおこない、CO2排出量の基礎となるエネルギー消費に関するデータを容器のリサイクル工程に沿って収集・解析し、環境負荷の削減効果をCO2排出量の削減量という形で算出した。また、リサイクルし再使用する回数を増やした場合の各飲料容器のCO2排出量削減効果についても検討した。その結果、全ての飲料容器リサイクルにおいて、リサイクルをおこなったケースの方が、おこなわないケースよりもCO2排出量は削減されるという結果が得られ、アルミ缶リサイクルのCO2排出量削減効果については、アルミ地金を全てボーキサイトから製造するとした場合が、アルミ缶1kg当たり1964.8 (g-c)、アルミ地金を1996年の海外輸入・国内生産に合わせた場合が、1233.0 (g-c) であった。スチール缶リサイクルは、261.3 (g-c) のCO2排出量削減量であった。ペットボトルリサイクルについては、使用済ペットボトルからPET樹脂が再生されるといったマテリアルリサイクルと、使用済ペットボトルを燃焼させて物質に含有するエネルギーを利用するサーマルリサイクルの2ケースを想定して分析した。マテリアルリサイクルではペットボトル1kg当たり458.9 (g-c)、サーマルリサイクルでは、発電時の発電効率を15%としたケースが83.9 (g-c)、発電効率を22%としたケースが151.6 (g-c)、発電効率を30%としたケースでは228.9 (g-c) のCO2排出量削減量であるという結果が得られた。また、リサイクル回数についても、回数を増やせば増やすほど、容器1個当たりのCO2排出量は削減され、新規容器製造ではアルミ缶・スチール缶・ペットボトルの順に多かったCO2排出量が、リサイクル回数を増やすことで、アルミ缶が最もCO2排出量が少なくなるという結果を得た。以上の結果から、飲料容器のリサイクルは確実に、地球温暖化や酸性雨などの環境問題の要因である二酸化炭素の排出量を削減することにつながるといったことを結論できたが、現代の社会ではコスト面を重視するあまり、コストが余計にかかってしまういわゆるリサイクル活動が推進されてこなかった。しかし、ごみ減量化やリサイクルに関する論議が各方面で盛んにおこなわれ、飲料容器に関しても1997年（平成9年）に「容器包装リサイクル法」が施行されるといった社会の動きも出てきている。今後、様々な分野でリサイクルに関する活動が盛んになり、我々のライフスタイルが環境に優しいものに転換され、そのような生活様式に対応した社会経済システムが構築されることが、21世紀に向けて、後の世代に住みよい環境・ライフスタイルを残していくといった我々の最低限度の使命であると考えらる。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000094-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

ライフスタイルに関するLCA分析
～リサイクルによるCO₂削減可能性の研究～

岡 村 智 仁
石 谷 久
松 橋 隆 治
吉 田 好 邦
疋 田 浩 一

No.G-94

学振未来 WG2-32

ライフスタイルに関する L C A 分析

～リサイクルによる C O 2 削減可能性の研究～

岡村 智仁、石谷 久、松橋 隆治、吉田 好邦、足田 浩一

2000年4月

キーワード

LCA、産業連関分析、飲料容器リサイクル、

概要

我々人類は、現在、様々な環境問題に直面している。多くの地球環境問題は、第2次世界大戦以降の科学技術を主体とした文明のもとで、人々が利便性を追求し、大量生産・大量消費・大量廃棄のライフスタイルを構築したことと、それを支えてきた産業が主な要因である。従って、様々な環境問題への対策として、環境への負荷の少ないライフスタイルへの転換と、それに対応する新たな商品開発や社会経済システムの構築が求められている。

本研究では、まず、ライフスタイルに直接関わる産業の CO₂排出量を産業連関表より算出・考察した。次に、近年増加傾向にあり、すっかり我々の日々の生活に定着した 1 回使用の飲料容器（アルミ缶・スチール缶・ペットボトル）を対象に、そのリサイクルに関する調査をおこない、CO₂排出量の基礎となるエネルギー消費に関するデータを容器のリサイクル工程に沿って収集・解析し、環境負荷の削減効果を CO₂排出量の削減量という形で算出した。また、リサイクルし再使用する回数を増やした場合の各飲料容器の CO₂排出量削減効果についても検討した。

その結果、全ての飲料容器リサイクルにおいて、リサイクルをおこなったケースの方が、おこなわないケースよりも CO₂排出量は削減されるといった結果が得られた。アルミ缶リサイクルの CO₂排出量削減効果については、アルミ地金を全てボーキサイトから製造するとした場合が、アルミ缶 1kg 当たり 1964.8(g-c)、アルミ地金を 1996 年の海外輸入・国内生産に合わせた場合が、1233.0(g-c)であった。スチール缶リサイクルは、261.3(g-c)の CO₂排出量削減量であった。ペットボトルリサイクルについては、使用済ペットボトルから PET 樹脂が再生されるといったマテリアルリサイクルと、使用済ペットボトルを燃焼させて物質に含有するエネルギーを利用するサーマルリサイクルの 2 ケースを想定して分析した。マテリアルリサイクルではペットボトル 1kg 当たり 458.9(g-c)、サーマルリサイクルでは、発電時の発電効率を 15%としたケースが 83.9(g-c)、発電効率を 22%としたケースが 151.6(g-c)、発電効率を 30%としたケースでは

228.9(g-c)のCO₂排出量削減量であるという結果が得られた。また、リサイクル回数についても、回数を増やせば増やすほど、容器1個当たりのCO₂排出量は削減され、新規容器製造ではアルミ缶・スチール缶・ペットボトルの順に多かったCO₂排出量が、リサイクル回数を増やすことで、アルミ缶が最もCO₂排出量が少なくなるといった結果を得た。

以上の結果から、飲料容器のリサイクルは確実に、地球温暖化や酸性雨などの環境問題の要因である二酸化炭素の排出量を削減することにつながるといったことを結論できたが、現代の社会ではコスト面を重視するあまり、コストが余計にかかってしまういわゆるリサイクル活動が推進されてこなかった。しかし、ごみ減量化やリサイクルに関する論議が各方面で盛んにおこなわれ、飲料容器に関しても1997年（平成9年）に「容器包装リサイクル法」が施行されるといった社会の動きも出てきている。今後、様々な分野でリサイクルに関する活動が盛んになり、我々のライフスタイルが環境に優しいものに転換され、そのような生活様式に対応した社会経済システムが構築されることが、21世紀に向けて、後の世代に住みよい環境・ライフスタイルを残していくといった我々の最低限度の使命であると考ええる。

ライフスタイルに関する L C A 分析

～リサイクルによる CO₂ 削減可能性の研究～

岡村 智仁^{*}、石谷 久^{*}、松橋 隆治^{*}、吉田 好邦^{*}、疋田 浩一[†]

2000年4月

第1章 はじめに

我々人類は、現在、様々な環境問題に直面している。多くの地球環境問題は、第2次世界大戦以降の科学技術を主体とした文明のもとで、人々が利便性を追求し、大量生産・大量消費・大量廃棄のライフスタイルを構築したことと、それを支えてきた産業が主な要因である。従って、様々な環境問題への対策として、環境への負荷の少ないライフスタイルへの転換と、それに対応する新たな商品開発や社会経済システムの構築が求められている。

本研究では、ライフスタイルに直接関わる産業の CO₂ 排出量を産業連関表¹⁾より算出・考察した。また、近年増加傾向にあり、すっかり我々の日々の生活に定着した1回使用の飲料容器（アルミ缶・スチール缶・ペットボトル）を対象に、そのリサイクルに関する調査をおこない、CO₂ 排出量の基礎となるエネルギー消費に関するデータを容器のリサイクル工程に沿って収集・解析し、環境負荷の削減効果を CO₂ 排出量の削減量という形で算出した。また、リサイクルし再使用する回数を増やした場合の各飲料容器の CO₂ 排出量削減効果についても検討した。

第2章 研究手法

2. 1 産業連関分析

産業連関表の部門 i から部門 j への中間投入 x_{ij} を部門 i の総生産 X_i で割った値 x_{ij}/X_i を ij 成分とする行列を A として、総生産量を X とすれば、中間投入の部分は AX と書ける。 A の ij 成分は部門 j が1単位の生産をするために必要な部門 i からの投入量を表し、投入係数と呼ばれる。したがって、産出のバランス式

$$(\text{中間投入}) + (\text{最終需要}) = (\text{総生産})$$

は F を最終需要ベクトルとして、

$$AX + F = X \quad (1)$$

で表すことができる。この式を総生産量 X について解くと、

^{*} 東京大学大学院工学系研究科

[†] 慶応義塾大学産業研究所

$$X = (I - A)^{-1} F \quad (2)$$

となり、総生産量 X が最終需要 F の線形関数で表される。係数 $(I - A)^{-1}$ を投入逆行列と呼び、その ij 成分は部門 j の 1 単位の最終需要に対して部門 i が直接間接に産出するすべての生産量を表している。

2. 2 リサイクルベクトルの導入

産出のバランス式 (2) を

$$\begin{aligned} x &= B_0^{-1} f \\ B_0 &= I - A \end{aligned} \quad (3)$$

と表せる。このバランス式にリサイクルベクトル b を導入すると、

$$B_0(x + \Delta x) + \theta b = f \quad (4)$$

となる。ここで Δx は総生産の変化量、 θ はリサイクルベクトルの導入単位量を表す。式(3)より式(4)は、

$$\Delta x = -\theta B_0^{-1} b \quad (5)$$

と変形できて、 Δx は、生産量変化を表す。よって、環境排出物質の変化量を Δy とすると、

$$\Delta y = -\theta E B_0^{-1} b + \theta e \quad (6)$$

となる。ここで、 E は環境排出物質の換算行列、 e はリサイクルベクトルからの直接排出物質を表す。本研究では、上記の式(6)より、リサイクル効果を定量的に評価する。

また、環境排出量を算定するに当たっては、リサイクルベクトル導入による石炭、石油、天然ガスの生産変化量から CO_2 排出量に換算した。その際に使われる数値を表 1 に示す。

表 1 石炭・原油・天然ガスの生産者価格・エネルギー密度・ CO_2 原単位

	生産者価格	エネルギー密度	CO_2 原単位
石炭	9060(円/t)	7161(kcal/kg)	0.1016(g-c/kcal)
原油	22794(円/kl)	9250(kcal/kl)	0.0782(g-c/kcal)
天然ガス	28729(円/t)	13720(kcal/kl)	0.0577(g-c/kcal)

第3章 ライフスタイルと環境問題

この章では、今日の我々のライフスタイルを衣・食・住に分け、各分野がどれほど環境に影響を与えているのかを分析した。分析の方法として、1990 年(平成 2 年)産業連関表を用いて、環境への影響の内、特に最近問題・話題になっている地球温暖化・酸性雨などに影響する CO_2 排出量について着目して考察した。

3. 1 衣生活と環境

衣の分野の環境問題を考える場合は、衣服の場合、繊維製品のもとになる原料繊維の資源問題、繊維素材から繊維製品を製造する段階における問題、繊維製品を消費する段階での問題の大きく 3 つに分けることが出来る。今回は、衣服のほかにも、履物、ベルトなどの装飾品についても合わせて分析してみた。

3. 1. 1 原料繊維と環境

繊維には、綿、麻、羊毛、絹、生糸、パルプなどの天然繊維や、石油等から科学的に合成して作る合成繊維、さらには再生繊維などがある。そこで、産業連関表から、主な各部門のCO₂排出量を生産額百万円単位、年間排出量と分けて示す。

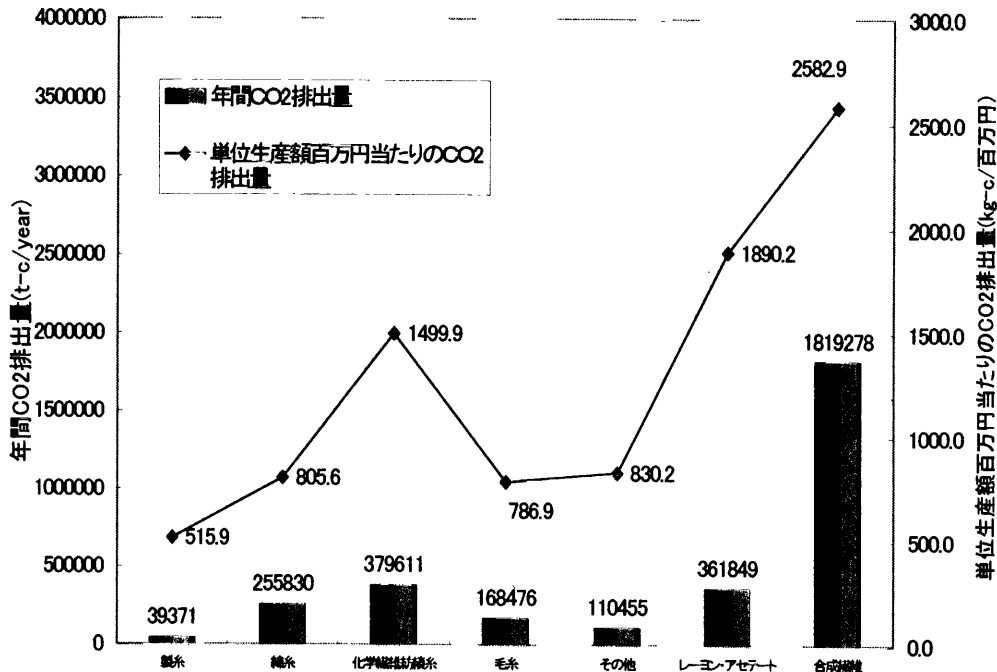


図1 原料繊維の各部門のCO₂排出量

3. 1. 2 繊維製品と環境

繊維などの原材料を生産加工し、製品を作る為にはエネルギーが必要である。また、繊維製品の場合、洗濯・クリーニングといった消費段階も見逃すことはできない。

図2・図3で取り上げた部門は、原料繊維を製造する過程から、最終的な製品に加工されるまでの全工程でのCO₂排出量を算出している。

3. 2 食生活と環境

食の分野における環境問題は、主にその国の食生活と大きく関係している。日本を例にした場合も、高度成長期以前までは、それほど環境問題は生じてなかったはずである。日本の食生活の変化では、外食が増えたなどの食の外部化や、流通面で食品の購入場所が量販店へと重点が移ってきているなどの変化が挙げられ、このような食生活の変遷が、環境に与えた影響を考察する為に、食生活の各部門のCO₂排出量を算出した。ここでは、年間CO₂排出量の上位24部門のグラフを図4～6に載せる。

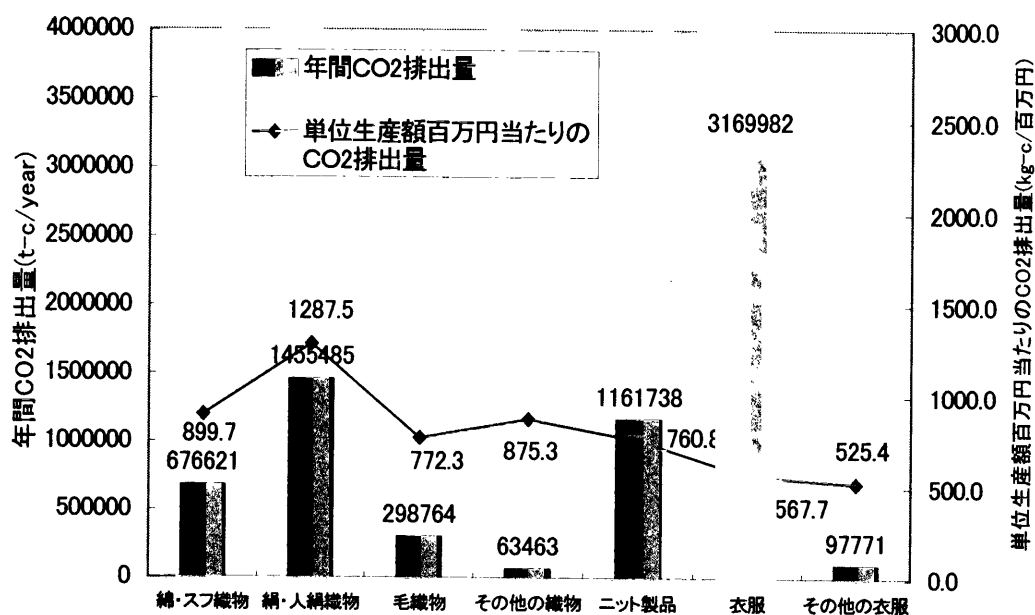


図2 繊維製品の各部門のCO₂排出量 (その1)

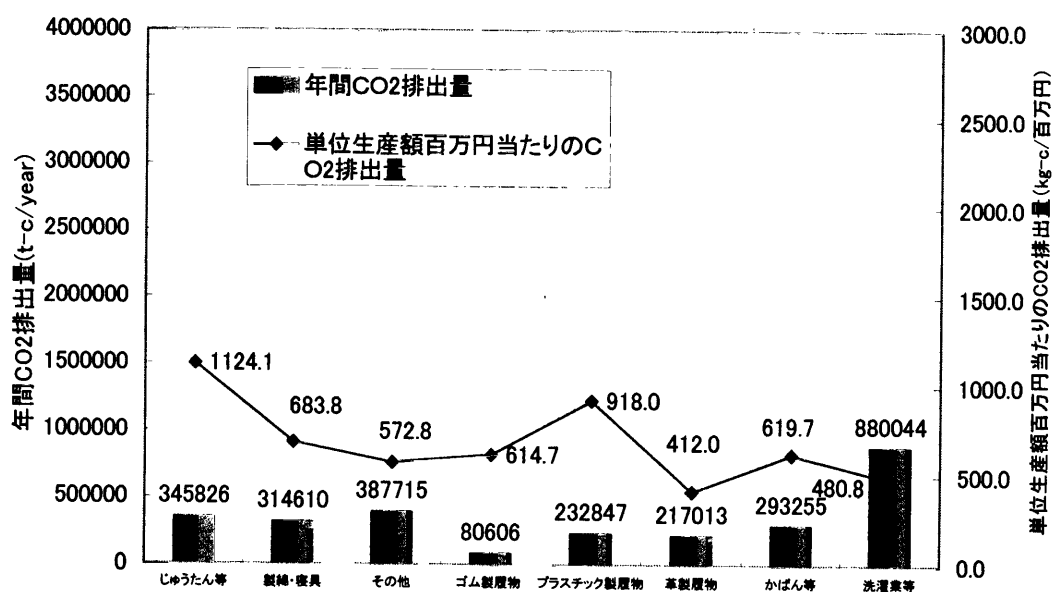


図3 繊維製品・サービスの各部門のCO₂排出量 (その2)

3. 3 住生活と環境

建設活動が地球環境で占める割合は大きく、建設業協会の調査では、日本の建築物の建設・運用・維持管理に関わって放出されるCO₂量は、炭素換算で年間7,100万トン、日本全体の放出炭素量の25%にも達すると推定されている。このうち、建設段階の鉄とコンクリートに関わる

ものが我が国の7.1%を占めているのに対し、木材からは0.07%と極めて低い。また、照明や空調などの運用エネルギーが16%と大きくなっている。また、集合住宅の方が一戸建て住宅よりもCO₂放出量が多い。このようなことから、戦後の、和風建築から洋風建築へ、一戸建て住宅から集合住宅へ、というような建築・生産様式の変化が地球環境への負荷を増大させていると考えられる。

図7に住生活の各部門のCO₂排出量のグラフを載せる。

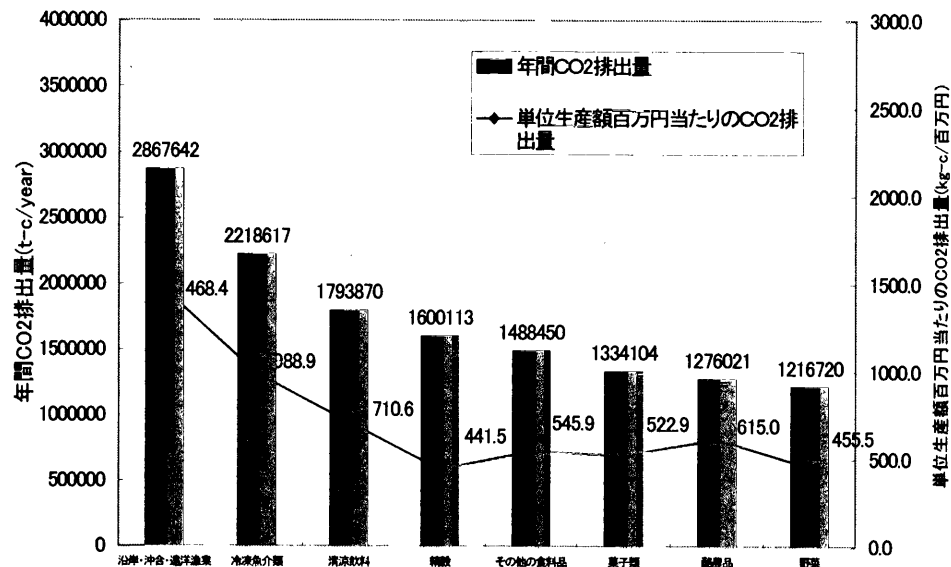


図4 食生活の各部門のCO₂排出量 (その1)

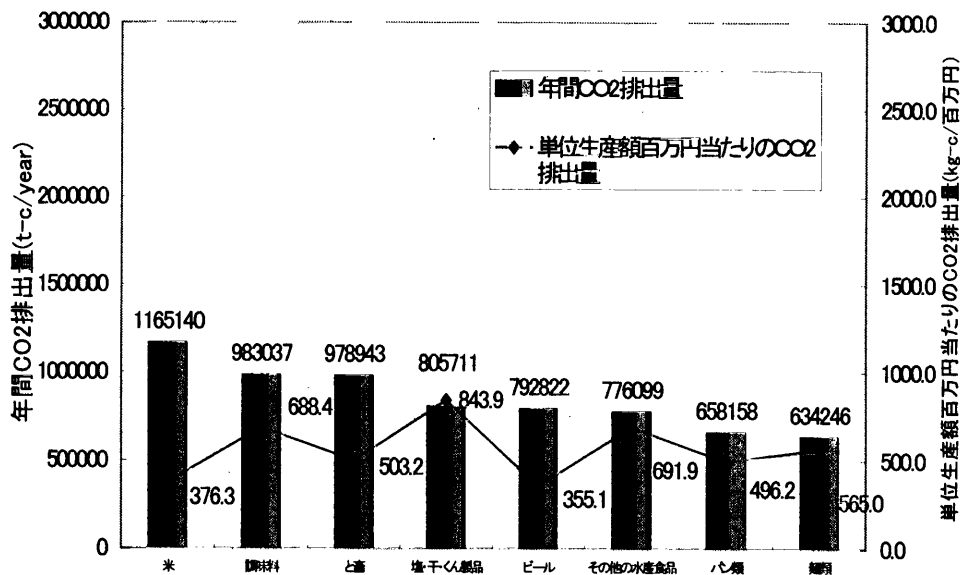


図5 食生活の各部門のCO₂排出量 (その2)

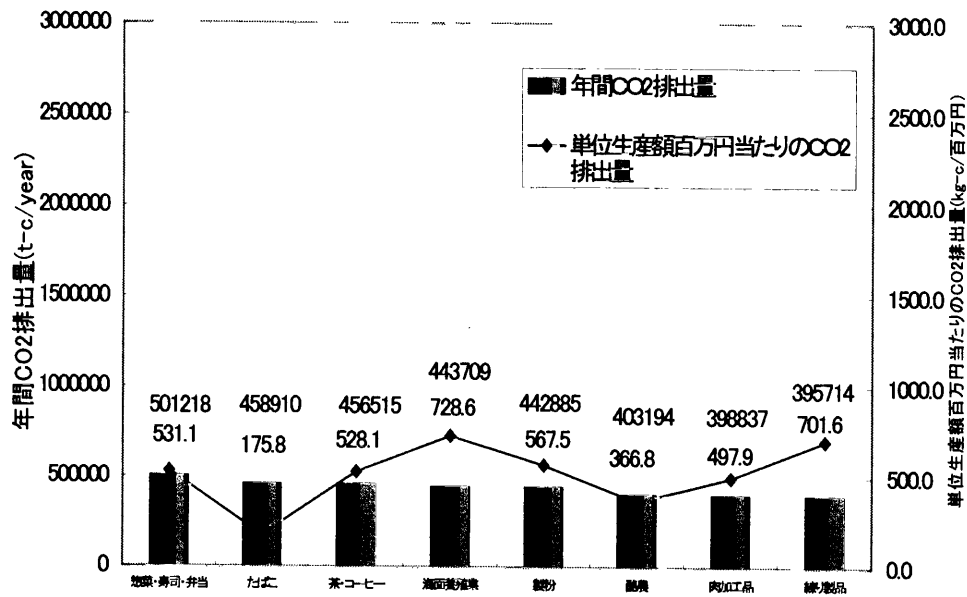


図6 食生活の各部門のCO₂排出量 (その3)

3. 4 娯楽と環境

娯楽活動の面でも、様々な娯楽施設が建設・運営されているが、最近では屋内の施設が増えてきている為に、空調や照明などによるCO₂排出量が増えてきていることが予想される。そこで、現在（1990年）の娯楽活動に関連していると思われる部門のCO₂排出量のグラフを図8に載せる。

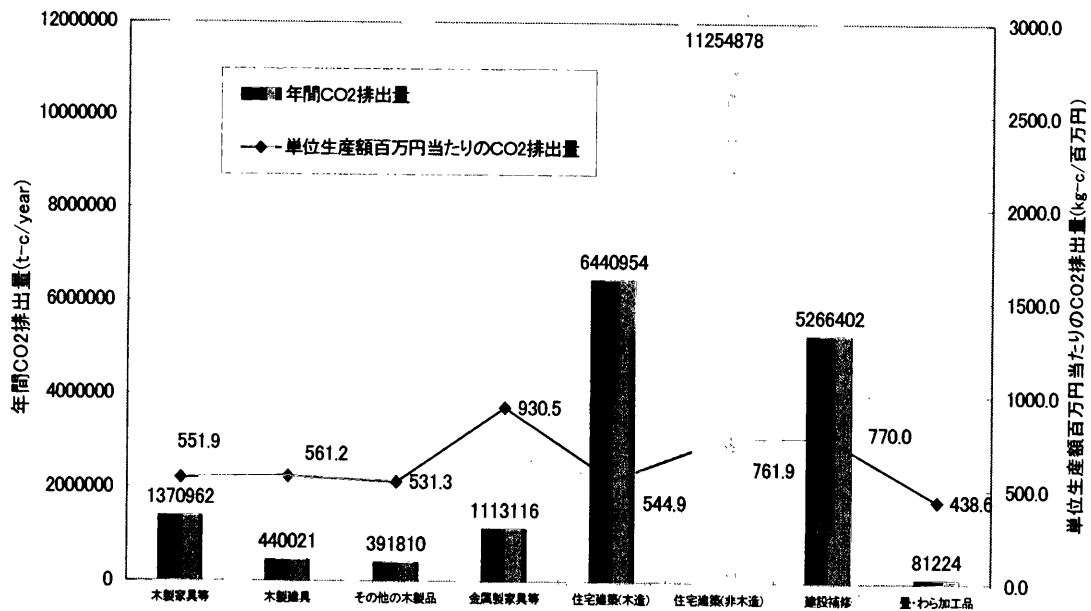


図7 住生活の各部門のCO₂排出量

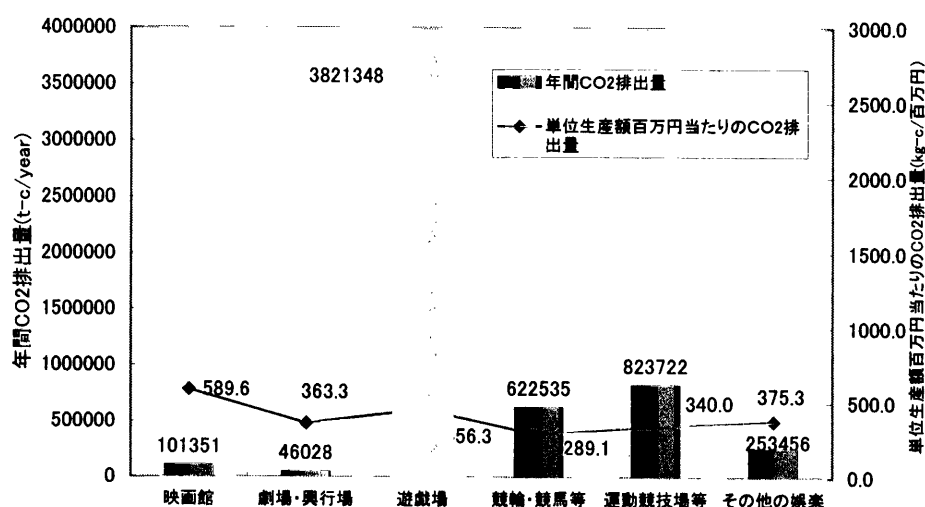


図8 娯楽の各部門のCO₂排出量

第4章 飲料容器リサイクルについてのLCA

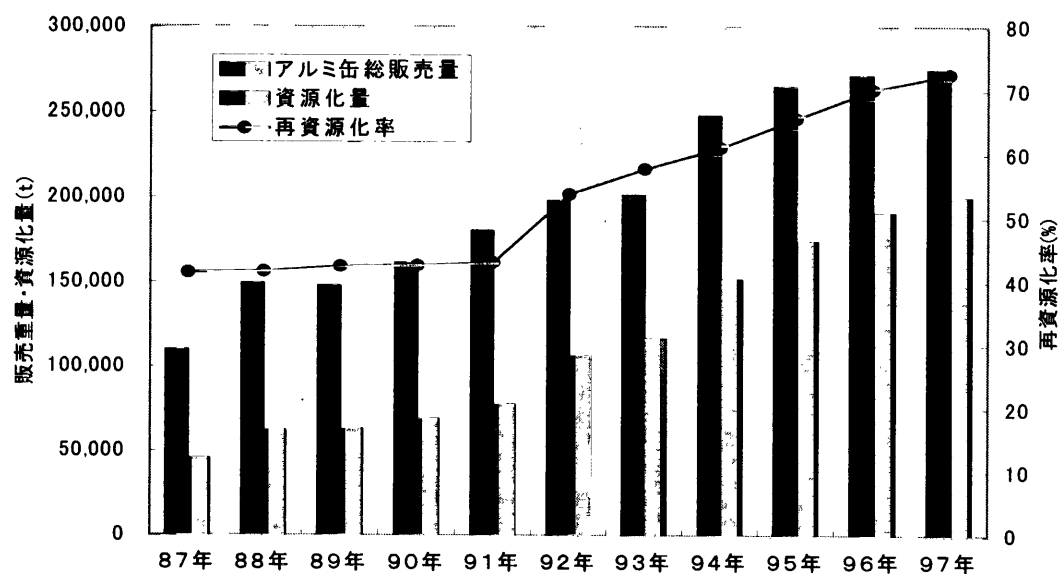
4. 1 各飲料容器のリサイクルの現状

4. 1. 1 アルミ缶リサイクルの現状

日本では、飲料容器として、アルミ缶よりスチール缶やガラスビンが長い間優位を保ってきたが、近年、地球環境保全・資源の有効利用・ごみ処理費の削減などの社会的な総費用を長い目で見て小さくする観点からアルミ缶の良さが理解され、使い捨て型飲料容器の中ではアルミ缶比率が高まりつつあり、生産量・資源化率も共に年々着実に上昇しており、資源化率は1996年には70%を超えている。

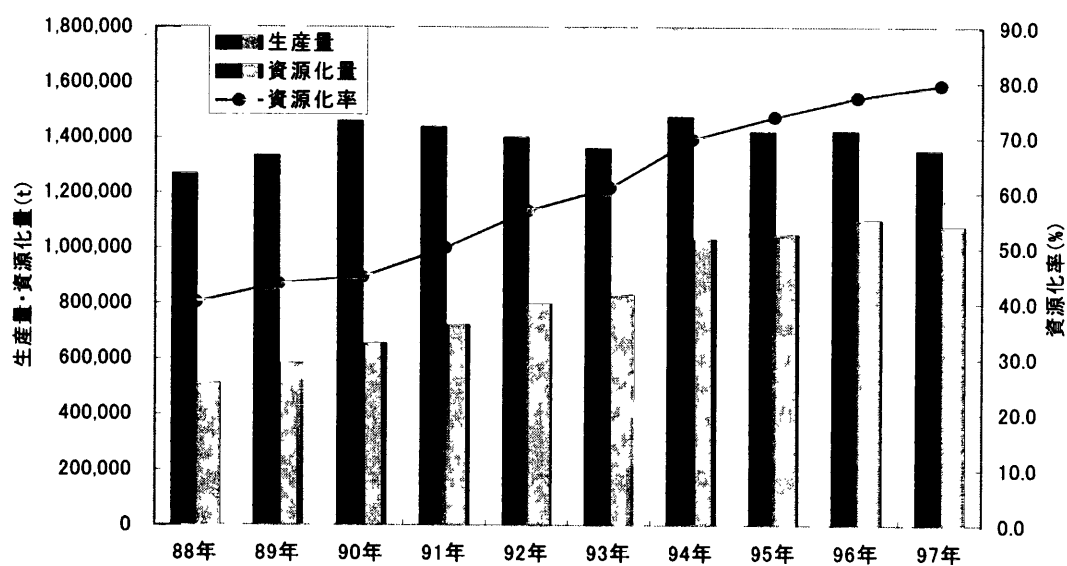
4. 1. 2 スチール缶リサイクルの現状

長い間飲料容器の中では優位を保っていたスチール缶も、最近では、建設鋼材などにしかリサイクルできないこと、アルミ缶のような「CAN TO CAN」のシステムが成り立っていないこと、スクラップ価格がアルミ缶に比べかなり安いこと、アルミ缶より重い為、輸送コストが余計にかかってしまうなどの理由から、生産量は1994年をピークに減少方向にある。



(出典: アルミ缶リサイクル協会、H10/06/16)

図9 アルミ缶の販売量と資源化率の推移



(出典: あき缶処理対策協会、H10/06/30)

図10 スチール缶の生産量・資源化量の推移

4. 1. 3 ペットボトルリサイクルの現状

1982年に食品衛生法が改正されてPETの清涼飲料への使用が認められてから、年率7～8%の伸長があったが、1996年に業界の自主規制が撤廃され、小型ペットボトル（500m

1) の販売が始まり、消費者に受け入れられていることから、今後、更にペットボトルの需要が増加すると考えられる。

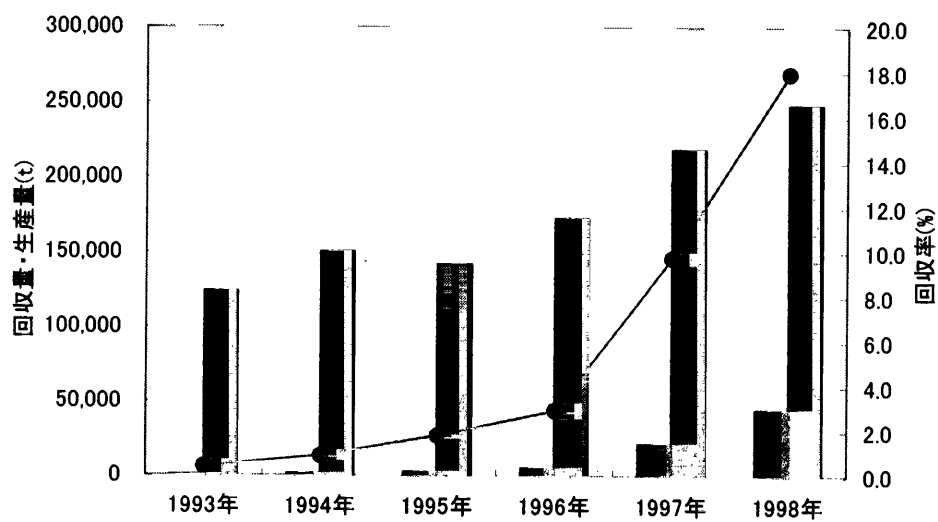


図11 ペットボトルの生産量と回収率の推移

4. 2 各飲料容器リサイクルの流れ

各飲料容器リサイクルのフローチャートを図12～15に示す。

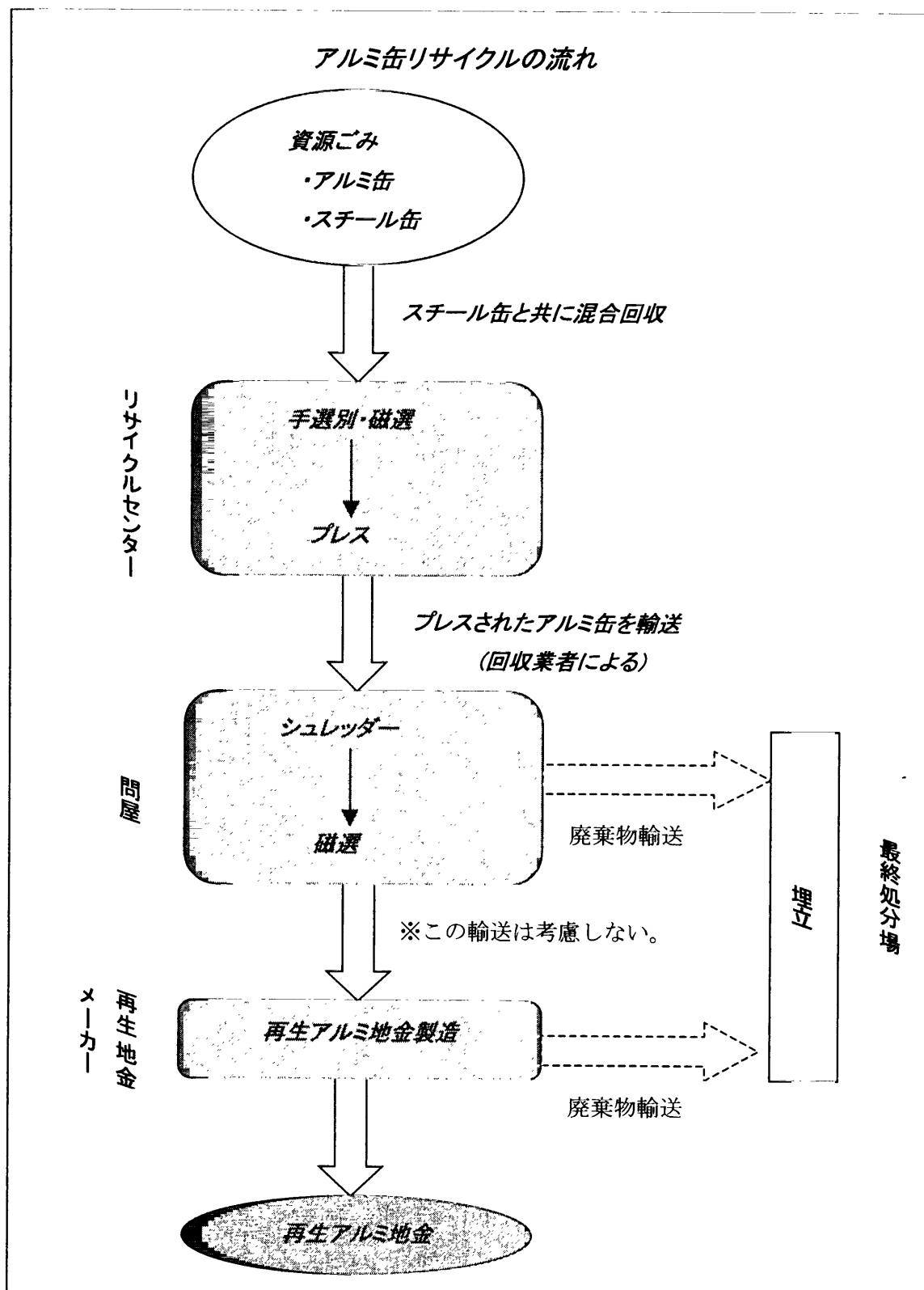


図12 アルミ缶リサイクルの流れ

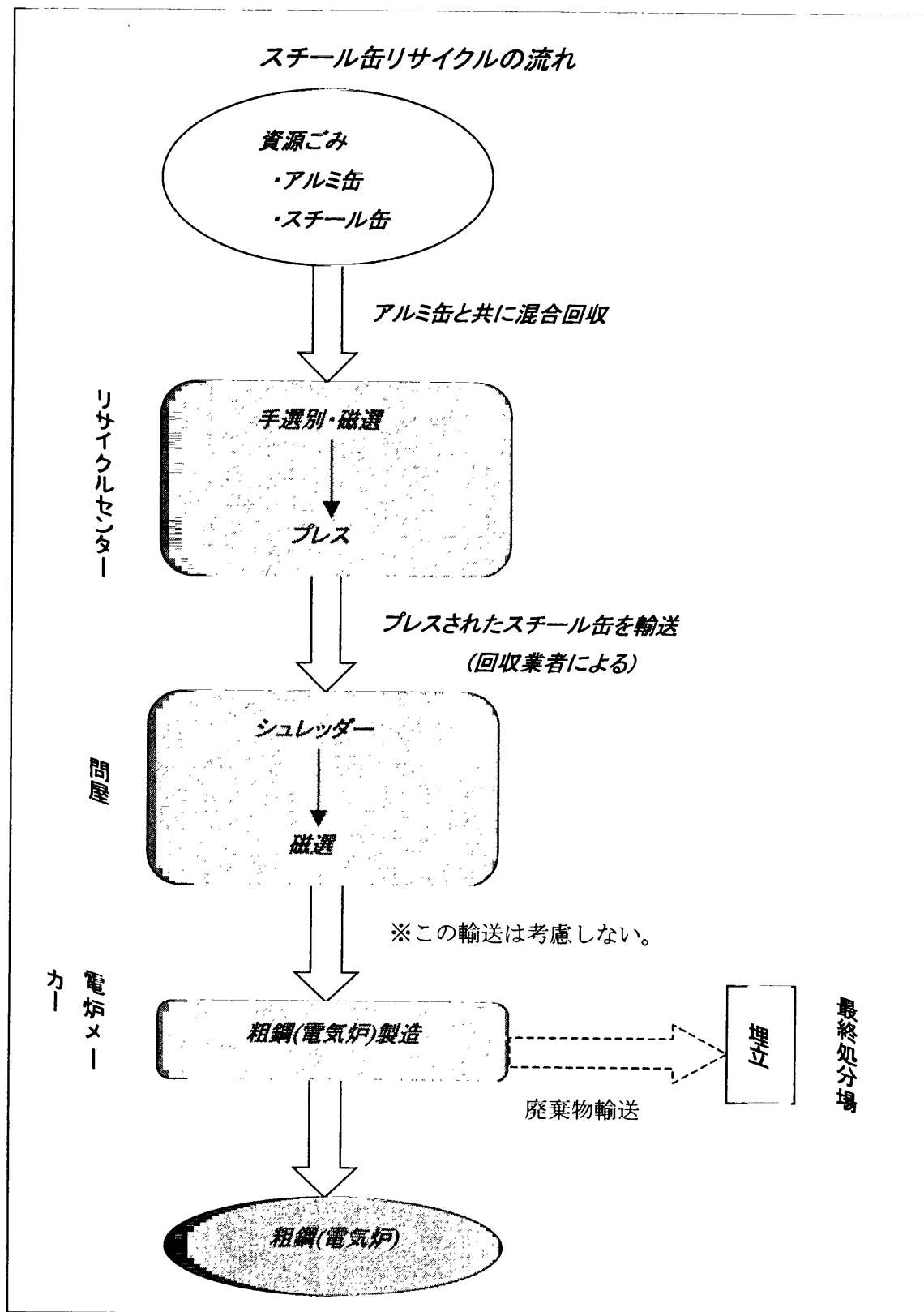


図13 スチール缶リサイクルの流れ

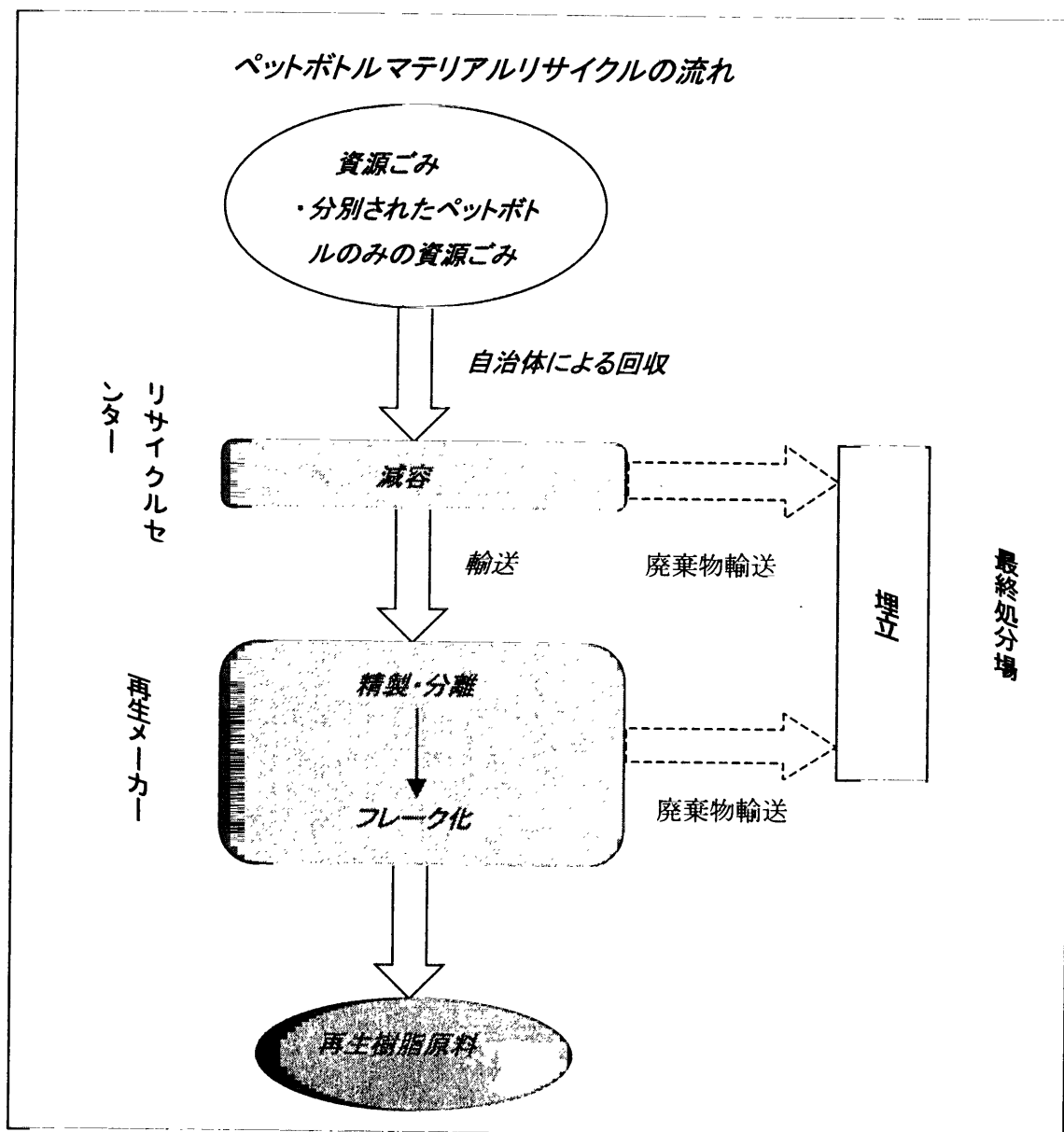


図14 ペットボトルのマテリアルリサイクルの流れ

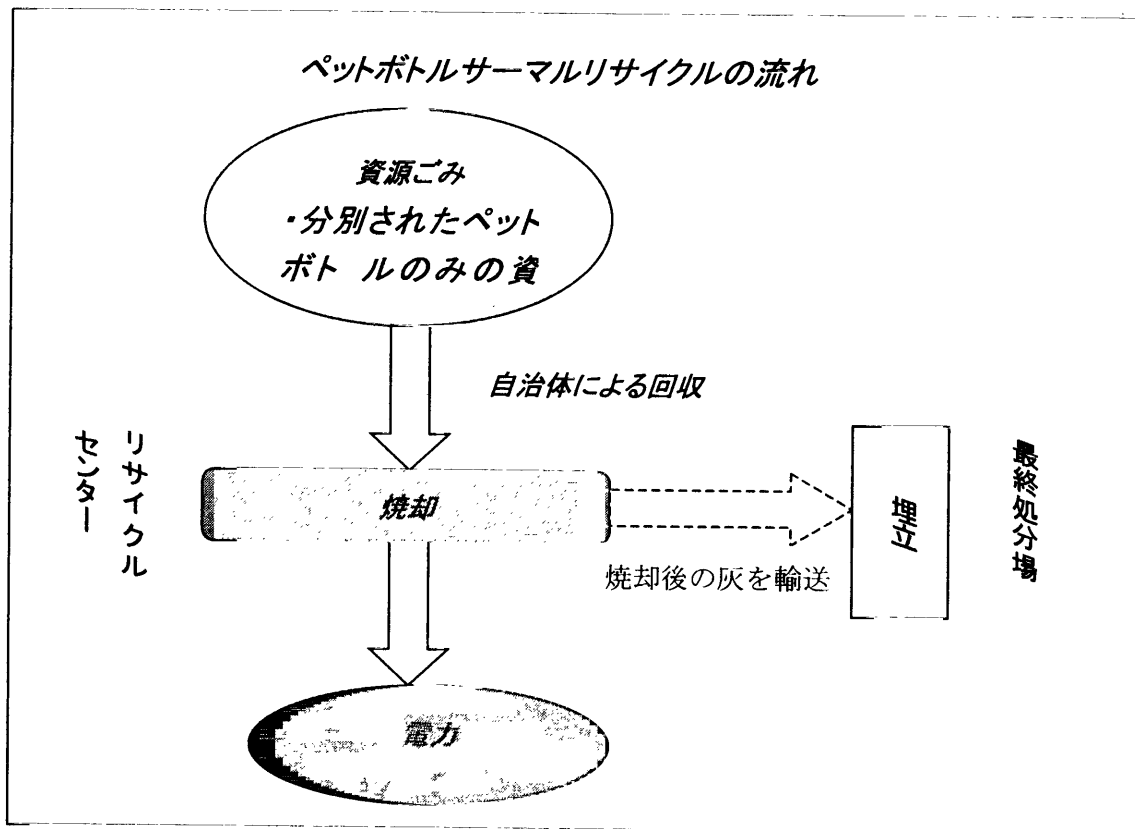


図15 ペットボトルのサーマルリサイクルの流れ

4. 3 輸送におけるエネルギー消費

本節から、各飲料容器のリサイクル効果の計算に入る。まず、各飲料容器が消費されて資源ごみとして集められてからの回収や、リサイクルセンター・再生メーカー・最終処分場への輸送に必要なエネルギー消費量を計算する。

4. 3. 1 積載重量に関するデータ

各自治体での資源ごみの回収方法²⁾を調べた結果、使用されている車種は主に平ボディ車とパッカー車の2ケースであることより、今回の分析では2 tパッカー車で回収するものとする。

各飲料容器の見かけの積載重量を次のデータを基に求める。

- 2 tパッカー車の容積：4 m³
- 1本の重量：資料のデータを500ml容器の重量に換算
- 見かけ容積：(容器の容積)×1.5(150%) (日本生協連合会データより推定)
- 積載可能本数：4 m³／(見かけ容積)
- 積載可能重量：(積載可能本数)×(1本の重量)
- 見かけの最大積載重量：重量制限(と容積制限のもとで、2 tパッカー車に何トン載せられるかを示す数値。

表2 各飲料容器を2 tパッカー車に積載した場合の見かけの積載重量

容器	1本の重量	容量	見かけの 最大積載重量
アルミ缶	25.4(g)	500(ml)	0.136(t)
スチール缶	71.4(g)	500(ml)	0.381(t)
PET容器	20.0(g)	500(ml)	0.107(t)

(文献3より)

アルミ缶とスチール缶は混合回収を想定するので、今後回収した場合の体積比・重量比を算出する。算出の際には、1997年のアルミ缶・スチール缶の国内販売量と、表2の見かけの積載重量の値を用いる。その結果を表3に載せる。

表3 アルミ缶・スチール缶を混合回収した場合の体積比・重量

容器	回収重量	体積比	重量(2tパッカー車 1台当たり)
アルミ缶	27.5 万(t)	36.3(%)	0.049(t)
スチール缶	135.1 万(t)	63.7(%)	0.243(t)

4. 3. 2 輸送距離・手段に関するデータ

各飲料容器を回収してから、リサイクルセンターやそれぞれの再生・加工メーカーまでの輸送距離・手段を表4のように仮定する。計算では往復での輸送距離で計算した。

表4 輸送距離・手段の設定

	ごみステーション～ リサイクルセンター	リサイクルセンター～ 再生・加工メーカー	廃棄物輸送
輸送距離	片道 30(km)	片道 100(km)	片道 100(km)
輸送手段	2t パッカー車	10tトラック(平ボディ車)	10tトラック(平ボディ車)
燃費	軽油 8.0(km/l)	軽油 3.5(km/l)	軽油 3.5(km/l)

4. 4 各リサイクル工程でのエネルギー消費

表5に各飲料容器のリサイクル工程でのエネルギー消費量のデータを載せる。

表5 各飲料容器のリサイクル工程でのエネルギー消費量

●アルミ缶・スチール缶

リサイクル工程	アルミ缶	スチール缶
手選別	<電力>0.21(kWh/t)	<電力>0.21(kWh/t)
磁選	<電力>0.28(kWh/t)	<電力>0.28(kWh/t)
プレス	<電力>38.57(kWh/t)	<電力>14.04(kWh/t)
シュレッド・磁選	<電力>28.5(kWh/t)	<電力>60.28(kWh/t)
再生処理	<電力>90.0(kWh/t) <C 重油>75.5(l/t) <液化石油ガス>10.0(kg/t)	<電力>469(kWh/t) <石炭>17.87(kg/t)
マテリアルバランス	アルミ缶1t ↓ 再生地金 0.855(t)	スチール缶1t ↓ 再生粗鋼 0.9678(t)

(文献3, 4より)

●ペットボトル(マテリアルリサイクル)

リサイクル工程	ペットボトルリサイクル	マテリアルバランス
減容	<電力>36.67(kWh/t)	0.99
異物除去	<電力>39.93(kWh/t)	↓
精製・分離	<電力>175(kWh/t)	0.81
フレーク	<電力>1093(kWh/t)	↓
マテリアルバランス (合計)	ペットボトル 1t ↓ 再生樹脂 0.81t	

(文献3より)

●ペットボトル(サーマルリサイクル)

エネルギー源	消費量
都市ガス	0.37(Nm ³ /t)
A重油	0.07(k/l)
事業用電力	13(kWh/t)

(文献3より、葛飾清掃工場データ)

4. 5 環境負荷削減効果の算出

4. 3, 4. 4節で示したデータを基に、各飲料容器別に環境負荷削減効果を計算する。産業連関分析法を用いるので、各工程での投入・産出されるものを金額ベースに換算してから、環境負荷削減効果をCO₂排出量削減量として産出した。

表6に投入されたエネルギー源・製品を金額ベースに換算するのに用いた値を、表7にリサイクルすることで得られる製品を金額ベースに換算するのに用いた値を示す。

表6 各エネルギー源・製品の単位量当たりの価格

エネルギー源	数量	金額(百万円)	単位量当たりの価格
揮発油	106613(kl)	5089	$4.77 * 10^{(-5)}$ (百万円/l)
灯油	23119140(kl)	623200	$2.70 * 10^{(-5)}$ (百万円/l)
軽油	31980387(kl)	1638387	$5.12 * 10^{(-5)}$ (百万円/l)
C重油	44787376(kl)	1021600	$2.28 * 10^{(-5)}$ (百万円/l)
炭化水素油	629449(t)	52545	$8.35 * 10^{(-5)}$ (百万円/kg)
液化石油ガス	2574048(t)	58310	$2.27 * 10^{(-5)}$ (百万円/kg)
石油コークス	314496(t)	3239	$1.03 * 10^{(-5)}$ (百万円/kg)
石炭			$0.91 * 10^{(-5)}$ (百万円/kg)
コークス炉ガス	11786418(千Nm ³)	294660	$2.50 * 10^{(-5)}$ (百万円/Nm ³)
天然ガス			$2.87 * 10^{(-5)}$ (百万円/kg)
事業用電力	667435(百万kWh)	13054255	$1.96 * 10^{(-5)}$ (百万円/lWh)

(文献1より)

表7 リサイクルで得られる製品の単位量当たりの価格

項目	数量(t)	金額(百万円)	単位量当たりの価格
再生アルミ地金	2,030,967	590,057	$290.55 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
粗鋼(電炉)	34,698,486	1,975,239	$51.23 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
PEI樹脂	454,639	132,625	$291.72 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)

(文献1より)

4. 5. 1 アルミ缶リサイクル

アルミ缶のリサイクルを考える場合、新規アルミ缶製造の際に使用されたアルミ地金によって場合分けを考える必要がある。本研究では、新規アルミ缶製造に使われたアルミ地金を、以下のような2ケースに場合分けしてリサイクル効果を算出した。

(I) アルミ地金を全てボーキサイトから製造するとした場合

(以下 case1)

ボーキサイトからアルミ新地金を製造する場合は、殆ど海外のボーキサイトの産地でアルミ地金に製錬されてから日本に輸入されている。その際に使われる電力は、水力発電のものか石炭火

力発電で発電された電力を使っているケースが多い。そこで、金属鉱業事業団の調査などにより、海外でボーキサイトから製造されているアルミ新地金の内の55.3%が石炭火力発電で発電された電力を使用しているもの仮定する。

今回の分析では、アルミ缶を再生アルミ地金にリサイクルすることで、海外で製造されるアルミ新地金が代替されるとし、軽減された分だけ使わずに済んだ電力は、発電に使用されなかった石炭が得られるものとする。また、その他のアルミ新地金をボーキサイトから製造する際に投入されるエネルギー源(表8)も、軽減された分だけ得られるものとした。尚、水力発電などによる電力は、今回の分析では考慮していない。

以上の表4・5・6・8の数値から、各リサイクル工程で新たに投入するものはプラスの値で、算出されるものをマイナスの値にして、アルミ缶リサイクルbベクトル(case1)を設定すると、表9のようになる。

表9のリサイクルbベクトルと、1990年の産業連関表逆行列を掛け合わせ、石炭・原油・天然ガスの投入量変化をCO₂排出量の変化量に換算すると、アルミ缶1kg当たり1964.8(g-c) CO₂排出量が削減されることになる。

表8 アルミ新地金をボーキサイトから製造する場合のエネルギー消費量

エネルギー源	投入量	平均発熱量	熱量換算 (10 ⁶ kcal)
揮発油	0.6(l/t)	8,400(kcal/l)	0.005
灯油	108.0(l/t)	8,900(kcal/l)	0.961
軽油	3.3(l/t)	9,200(kcal/l)	0.030
C重油	340.1(l/t)	9,800(kcal/l)	3.333
炭化水素油	168.7(l/t)	12,600(kcal/l)	2.125
液化石油ガス	10.4(kg/t)	12,000(kcal/kg)	0.125
石油コークス	157.4(kg/t)	8,500(kcal/kg)	1.338
石炭	56.8(kg/t)	7,600(kcal/kg)	0.432
コークス炉ガス	52.0(m ³)	4,800(kcal/m ³)	0.250
天然ガス	20.6(m ³)	9,800(kcal/m ³)	0.202
電力	16,665(kWh/t)	1,364(kcal/kWh)	22.731
合計			31.532

(文献4より)

表9 アルミ缶リサイクルbベクトル (case1)

エネルギー源	アルミ缶リサイクルbベクトル (case1)
揮発油	$-0.02 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
灯油	$-2.49 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
軽油	$8.03 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
C重油	$-4.91 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
炭化水素油	$-9.37 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
液化石油ガス	$0.03 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
石油コークス	$-1.39 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
石炭	$-22.87 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
コークス炉ガス	$-1.11 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
天然ガス	$-0.36 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
事業用電力	$3.08 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)

(II) アルミ地金を1996年の海外輸入・国内生産の状況に合わせる場合(case2)

表10に日本の1996年のアルミ地金の海外輸入・国内生産の状況を示す。表10より、海外から輸入されるものは全てアルミ新地金、国内では全て再生アルミ地金と仮定し、アルミ新地金はcase1と同様に、再生アルミ地金から製造されたアルミ缶はリサイクルすることで再びアルミ地金が得られるものとして、(7)式のようにアルミ缶リサイクルbベクトル(case2)を設定する。

$$b_{case2} = b_1 \times 0.61 + b_2 \times 0.39 \quad (7)$$

b_{case2} : アルミニウム缶リサイクルbベクトル (case2)

b_1 : 海外から輸入されるアルミ新地金を代替する際の投入・算出ベクトル

b_2 : 国内で生産されている再生アルミ地金製造の投入・算出ベクトル

表10 アルミ地金の海外輸入・国内生産の状況(1996年)

種類	内訳	数量(単位:千トン)	割合(%)	
新地金	国内生産	17	0.4	61.0
	輸入	2,471	60.5	
再生地金	国内生産	1,226	30.0	39.0
	輸入	367	9.0	
合計		4,081	100.0	

(日本アルミニウム連盟社より)

表11のアルミ缶リサイクルbベクトル(case2)を用いて、リサイクル効果を算出すると、アルミ缶1kg当たり1233.0 (g-c) CO₂排出量が削減される。

表11 アルミ缶リサイクルbベクトル(case2)

エネルギー源	アルミ缶リサイクルbベクトル(case2)
揮発油	$-0.01 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
灯油	$-1.52 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
軽油	$8.09 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
C重油	$-2.32 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
炭化水素油	$-5.72 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
液化石油ガス	$0.10 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
石油コークス	$-0.85 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
石炭	$-13.57 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
コークス炉ガス	$-0.68 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
天然ガス	$-0.22 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
再生アルミ地金	$-96.88 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
事業用電力	$3.08 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)

4. 5. 2 スチール缶リサイクル

表3・4の輸送に関するエネルギー消費の数値と、表5の各リサイクル工程でのエネルギー消費の数値、更に、リサイクルで得られるものを粗鋼(電炉)と仮定して、表6・7より数量を金額に換算した上で、投入するものをプラスで、算出するものをマイナスとして、スチール缶リサイクルbベクトルを設定すると表12の

ようになり、リサイクル効果を算出すると、261.3 (g-c) CO₂排出量が削減される。

表12 スチール缶リサイクルbベクトル

エネルギー源	スチール缶リサイクルbベクトル
事業用電力	$10.64 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
石炭	$0.16 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
軽油	$1.88 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)
粗鋼(電炉)	$-55.09 * 10^{(-6)}$ (百万円/kg)

4. 5. 3 ペットボトルリサイクル

ペットボトルのリサイクルは、廃ペットボトルから再びPET樹脂を再生するマテリアルリサイクルと、燃焼させることで得られる熱量を利用して電力を回収するサーマルリサイクルの2ケースを想定した。

(I) ペットボトルのマテリアルリサイクル

表2・4の輸送におけるエネルギー消費の数値と、表5の各リ

サイクル工程でのエネルギー消費の数値、更に、リサイクルで得られるものをPET樹脂と仮定して、表6・7より数量を金額に換算した上で、新たに投入するものをプラスで、逆に産出されるものをマイナスとしてペットボトルのマテリアルリサイクルbベクトルを設定すると表13のようになり、廃ペットボトル1kg当たりのリサイクル効果を算出すると、458.9(g-c) CO₂排出量が削減される。

表13 ペットボトルのマテリアルリサイクルbベクトル

項目	ペットボトルマテリアルリサイクルbベクトル
事業用電力	22.20×10^{-6} (百万円/kg)
軽油	3.94×10^{-6} (百万円/kg)
PET樹脂	-236.29×10^{-6} (百万円/kg)

(II) ペットボトルのサーマルリサイクル

廃ペットボトルを燃焼させ、その熱量を利用し発電することで電力を回収するサーマルリサイクルは、発電効率を15%・22%・30%の3ケースを想定して分析した。その結果、廃ペットボトル1kg当たり、発電効率が15%のケースは83.9(g-c)、22%のケースは151.6(g-c)、30%のケースは228.9(g-c) CO₂排出量が削減される。

表14 ペットボトルのサーマルリサイクルbベクトル

項目	発電効率15%	発電効率22%	発電効率30%
軽油	3.60×10^{-6} (百万円/kg)	3.60×10^{-6} (百万円/kg)	3.60×10^{-6} (百万円/kg)
都市ガス	0.04×10^{-6} (百万円/kg)	0.04×10^{-6} (百万円/kg)	0.04×10^{-6} (百万円/kg)
A重油	0.002×10^{-6} (百万円/kg)	0.002×10^{-6} (百万円/kg)	0.002×10^{-6} (百万円/kg)
事業用電力	-23.65×10^{-6} (百万円/kg)	-34.81×10^{-6} (百万円/kg)	-47.56×10^{-6} (百万円/kg)

4.6 各飲料容器間での比較

各飲料容器の製造工程や再生工程、使用用途や再生されたものの使用用途などが異なる為、ここでの比較が飲料容器の環境面での価値を定めるとはいえないが、同じ種類の飲料容器によって同じ程度の効用が得られるケースを想定して、今回は全ての飲料容器を500(ml)容器とした場合のリサイクル効果をCO₂排出量削減量という形で表したのが図16である。

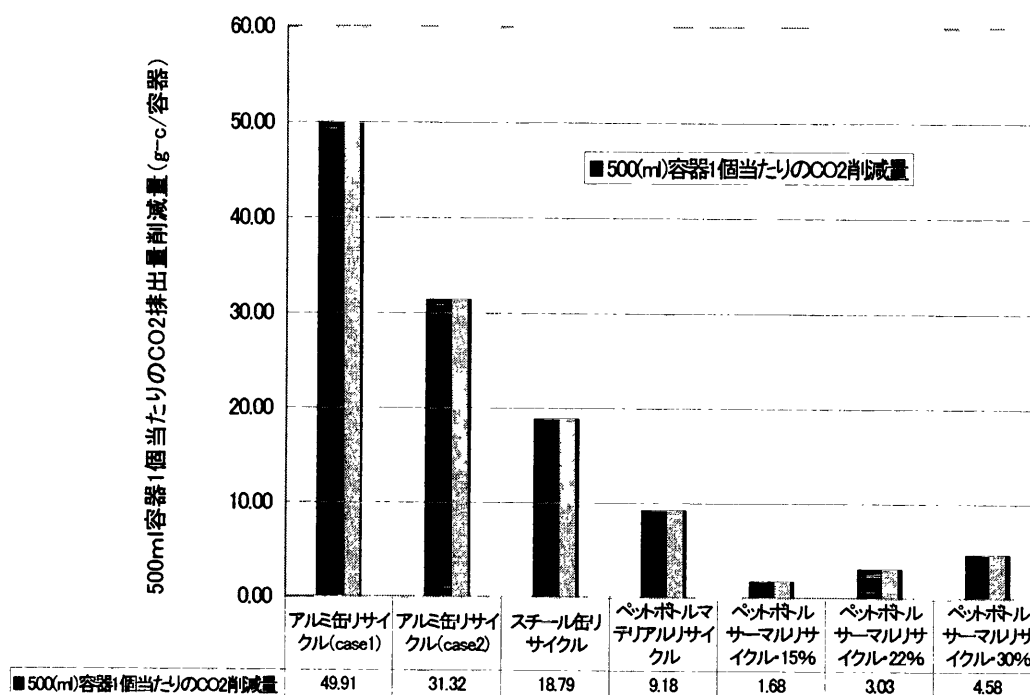


図16 各飲料容器500 (ml) 1個当たりのリサイクル効果

次に、原材料から容器を新規製造してから、リサイクルを何回か繰り返すことで、容器1個当たりのCO₂排出量がどれ程削減されるのかを表したのが図17である。ここで、新規容器を1個製造する際のCO₂排出量を算出する。今回は、スチール缶・ペットボトルの新規製造エネルギーは産業連関表から算出し、アルミ缶に関しては、文献1のデータと表9の各エネルギー投入量の数値にそれぞれのCO₂原単位を使って計算した。その結果、各素材の500 (ml) 容器の新規製造の際に排出されるCO₂量は表15のようになる。

表15 各素材の500 (ml) 容器1個製造の際のCO₂排出量

素材	CO ₂ 排出量 (g-c/容器1個)
アルミ缶(case1)	54.06
アルミ缶(case2)	33.78
スチール缶	28.58
ペットボトル	16.26

但し、スチール缶は粗鋼(転炉)、ペットボトルはPET樹脂

この結果を利用して、リサイクル回数を増やした場合の容器1個当たりのCO₂排出量をグラフに表すと図17のようになる。リサイクル回数を増やした場合の容器1個当たりのCO₂排出

量の計算方法は、次の通りである。

(容器 1 個当たりの CO₂ 排出量)[g-c/容器 1 個]

$$=(\text{投入された全エネルギーによる CO}_2\text{ 排出量})[\text{g-c}]/(\text{製造された容器の個数})[\text{個}]$$

第5章 おわりに

今回の分析では、第3章で、ライフスタイルの各部門の CO₂ 排出量を計算することで、大まかに各部門の 1990 年時点での環境負荷を算出した。

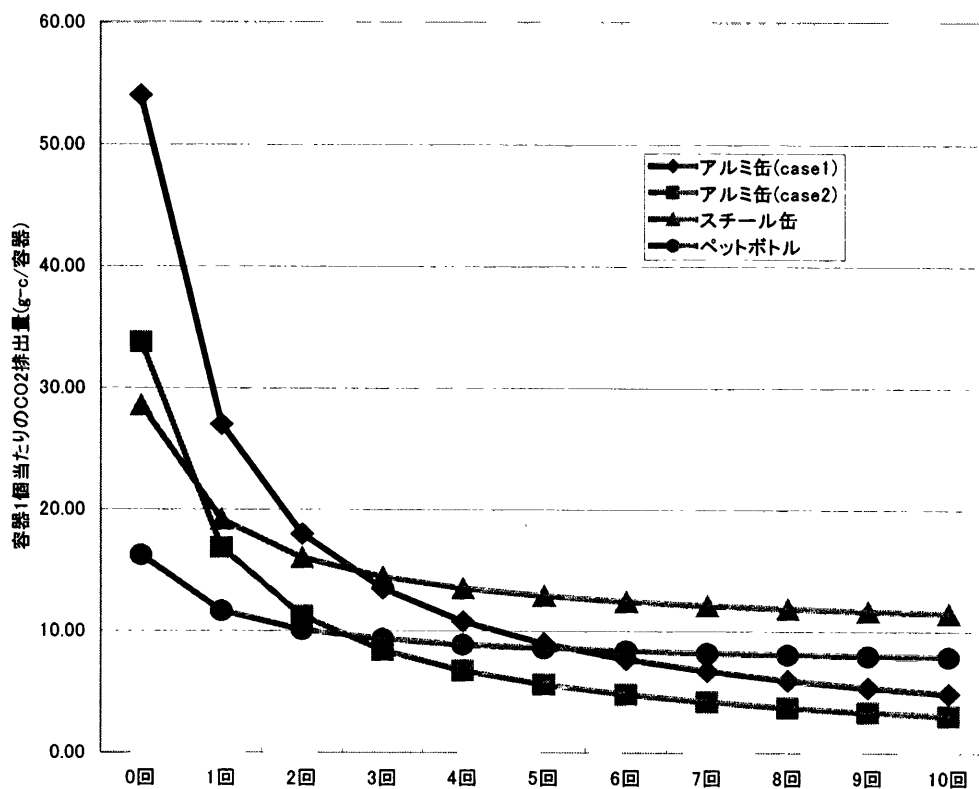


図17 リサイクル回数による各飲料容器の容器1個当たりのCO₂排出量

第4章ではライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いることで、アルミ缶・スチール缶・ペットボトルの各飲料容器を取り上げて、各飲料容器のリサイクル効果をCO₂排出量削減量に着目して算出した。算出結果は、アルミ缶(case1)が1964.8(g-c/kg)、アルミ缶(case2)が1233.0(g-c/kg)、スチール缶が261.3(g-c/kg)、ペットボトルマテリアルリサイクルが458.9(g-c/kg)、ペットボトルサーマルリサイクルが発電効率30%のケースで228.9(g-c/kg)であった。

また、各飲料容器を複数回リサイクルした場合、容器1個当たりのCO₂排出量に注目した場合、新規容器製造ではアルミ缶・スチール缶・ペットボトルの順にCO₂排出量が多いのだが、リサイクル回数を増やすことで、アルミ缶が最もCO₂排出量が少なくなるといった結果が得ら

れた。

今後の課題は、産業連関分析においては、海外で生産されているものの取り扱いが、飲料容器に関する分析ではリサイクル品の質の評価や CO₂排出量以外の環境影響負荷の評価などが挙げられる。

参考文献

- 1) 総務庁：1990年産業連関表
- 2) あき缶処理対策協会：スチール缶リサイクリングマニュアル
- 3) 野村総合研究所など：包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析
- 4) 日本アルミニウム連盟発表資料