

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究  
(2) 民生分野における重点対策の普及に当たっての技術的評価  
③ エネルギー多消費型民生関連製品に関する技術的評価

研究代表者 国立環境研究所社会環境システム部 乙間 未広

環境庁 国立環境研究所

社会環境システム部	資源管理研究室	乙間未広・森 保文
	環境計画研究室	近藤美則
地域環境研究グループ	交通公害防止研究チーム	清水 浩
	水改善手法研究チーム	森口祐一

平成6-8年度合計予算額 13,431千円  
(平成8年度予算額 4,731千円)

〔要旨〕 本研究は、ケーススタデーを通して、民生関連部門におけるエネルギー多消費型の製品とその省エネルギー対策技術に対する総合評価手法の確立と有効対策技術の提示を目的として実施した。

まず、民生部門におけるエネルギーの使用状況を、マクロな統計データとミクロな製品データの両面から分析し比較した。その結果、精度面で課題は残したものの、1世帯あたりの原単位値がマクロ、ミクロ両面からの推定が概ね一致した。民生部門の中の家庭部門については、個々の民生製品の積み上げによって、国全体の該当分野のエネルギー消費を推定するののも一つの方法と考えられる。この方法では、家庭部門における省エネルギー化対象製品を検討していくにあたり必要となり、かつマクロデータだけでは知り得ない製品種ごとの内訳が推定できるというメリットがある。一方、業務部門については、マクロ統計データと相互比較できるほどには、ミクロデータがいまだ十分に整備されていないことがわかった。

続いて、エネルギー多消費型製品のひとつとされている飲料用自動販売機を対象にして、ケーススタデーを実施しライフサイクル・エネルギーの現状分析を行った。自動販売機のように多くの部品からなる複合製品の場合、部品及び製品の加工・組立に必要なエネルギーを算定する実用的な手法は従来なかったが、素材エネルギーに対する加工・組立比を示すパラメータを導入し、近似的に推定する手法を提案した。また、ケーススタデーを通してこの手法の適用可能性を検討するとともに、自動販売機の生産過程及び使用過程におけるエネルギー消費量の概要を明らかにした。

さらに、自動販売機の現状のエネルギー消費量を実験観測とモデルによる推定から詳細に検討を加え、省エネルギー策の抽出とその採用による省エネルギー効果を検討し、1台あたり、50%程度の省エネルギーが可能であることを明らかにした。また、この省エネルギー自販機の普及に伴うCO<sub>2</sub>排出量の低減ポテンシャルを推定した。一連の解析手順は他のエネルギー多消費型の製品にも適用可能と思われる。

[キーワード] エネルギー、二酸化炭素、民生製品、自動販売機、ライフサイクルアセスメント

## 1. 序

わが国においては、第一次石油ショック以降、産業部門からの二酸化炭素排出量は技術革新により横這いあるいは減少傾向にあるが、民生部門からの排出量はその後も着実に伸びている。この分野における有効かつ早急な対策の実施がなければ、今後もこの傾向は拡大的に継続するものと予想され、対策技術の開発および普及、さらにはその前提となる精度の良い総合的な評価手法の確立が急務である。

本研究では、主たる地球温暖化ガスである二酸化炭素の排出量削減対策という観点から、民生関連部門におけるエネルギー多消費型の製品とその省エネルギー対策技術に対する総合評価手法の確立と有効対策技術の提示を目的としている。評価にあたっては、ライフサイクルアセスメント手法(LCA)を導入し、資源の採取から製品の廃棄に至るまでの全生涯を視野に入れて実施する。

具体的には、民生部門におけるエネルギーの使用状況を、マクロな統計データとマイクロな製品データの両面から分析し、比較する。また、電力の総使用量が大型原子力発電所1ヶ所分に相当すると言われていた飲料用自動販売機を対象にして、LCAのケーススタディーを実施する。その過程で、自動販売機のような複合製品のLCAを簡便に実施するための新たな実用的手法を提案するとともに、自動販売機の現状のエネルギー消費量を実験観測とモデルによる推定から詳細に検討を加え、省エネルギー策の抽出とその採用による省エネルギー効果を検討する。この省エネルギー自動販売機の普及に伴うCO<sub>2</sub>排出量の低減ポテンシャルについても推定する。

## 2. 民生部門製品によるエネルギー消費量に関する調査

民生部門におけるエネルギー消費について、国内の用途別エネルギー源別使用量を示すマクロな統計データと製品の普及率から積み上げたマイクロな統計データとを比較、検討した。

### 2.1 家庭部門

民生部門は大別して、家庭部門と業務部門に分けることができる。まず、家庭部門における1世帯あたりのエネルギー消費をマクロ、マイクロ双方のデータから算出し、まとめると表1のようになった。

これによると、トータルのエネルギー消費原単位(1世帯あたりのエネルギー消費原単位)は概ね一致しており、その違いとしては、マクロ統計データからの値の方が、「暖房用」に使用される電気、灯油の消費量が少なく、「その他用」に含まれる電気の消費量が著しく多く、2倍以上になっている点などが挙げられる。表にあるマイクロデータは、平均的な家庭の機器保有とその稼働状態をシナリオとして想定し算出したものであることから、それぞれの用途に対応して設定した機器シナリオと現実の状況との間にずれがあったものと推定される。すなわち、(1)電気ストーブ・こたつ、灯油ストーブなどの保有・稼働状況が実際は想定よりも少なく、他方、(2)その他用途に含まれる電気利用製品についてはその逆になった。家庭用電気製品は技術革新により省エネルギー化が進んでいるが、一方で大型製品・高機能製品の普及が加速しており、シナリオ

表1 エネルギー消費原単位比較

単位：千kcal/世帯 ( 上段：ミクロ (表3.2-7) )  
 ( 下段：マクロ (表1.2-4) )

	暖房	冷房	給湯	厨房	その他	合計
電 気	電気ストーブ：21 電気エアコン：22 電気こたつ：368 計：411 264	電気エアコン：136 計：136 193	電気温水器：258 計：258 271	電気炊飯ジャー：77 電子ポット：20 電気その他：86 計：183 146	冷蔵庫：574 カラーテレビ：254 洗濯機：15 掃除機：71 衣類乾燥機：37 照明：418 その他：134 計：1,503 3,274	2,491 4,149
ガ ス	ガスストーブ：190 ガスセントラルヒーティング：240 計：430 618		ガス湯沸器：900 ガス給湯機：1,430 風呂釜 計：2,330 2,269	ガスこんろ ガス炊飯器 計：920 770		3,680 3,656
灯 油	灯油ストーブ：2,750 計：2,750 1,959		灯油給湯機：501 風呂釜 計：501 798	32		3,251 2,790
その他	8		(太陽熱温水器：150) 275	8		(150) 292
合 計	3,591 2,850	136 193	3,089 3,613	1,103 956	1,503 3,274	9,422 10,886

はこの点への配慮が不足していたと考えられる。

以上のように、精度面で課題は残しているものの、1世帯あたりの原単位値がマクロ、ミクロ両面からの推定において概ね一致していることから、家庭部門については、個々の民生製品の積み上げによって、国全体の該当分野のエネルギー消費を推定するのも一つの方法と考えられる。この方法では、想定する機器シナリオによって精度が大きく左右されるが、家庭部門における省エネルギー化対象製品を検討していくにあたり必要となり、かつマクロデータだけでは知り得ない製品種ごとの内訳が推定できるというメリットがある。精度面での向上には製品のエネルギー原単位と保有・稼働状況の十分な把握が必要であり、また、表1のような表を作成しマクロ統計との比較によりチェックすることが重要である。

## 2. 2 業務部門

業務部門については、業種によりそのエネルギー消費が大きく異なり、平均的な像が存在しないことから、マクロ統計データからの分析と個々の製品のマイクロなデータからの積み上げを比較することは、現状で利用可能なデータの範囲では極めて難しい。

例えば、現存のマクロ統計データから業種別・用途別・エネルギー源別のエネルギー消費源単位の推定は可能であるが、これに対応する平均的な像が想定できない、すなわち個々の業種の平均的な製品の保有と稼働状況が描けないことから、比較検討ができない。パソコンなど一部のオフィス機器については製品種ごとの国内総消費エネルギーが発表されているが、その算出根拠は明確でなく信頼度に疑問が残る。

このように、業務部門については、マクロ統計データと相互比較できるほどに、対応するマイクロデータがいまだ十分に整備されておらず、製品エネルギー原単位、稼働状況、耐用年数などのデータ整備が求められる。

## 3. 自動販売機のLCAケーススタディー

エネルギー多消費型の民生製品の1つである飲料用自動販売機を対象に、ライフサイクルエネルギーの解析を実施した。1995年現在、飲料用自動販売機（清涼飲料、乳飲料、コーヒー、酒・ビール）は年間約34万台出荷され、合計で約254万台普及しており、国民50人に1台の割合である。使用時の年間総電力量は国内消費電力量の1.07%と推定され、また、真夏のピーク時の総電力は1.27百万kwに達し、これは大型原子力発電所1基に相当する。

自動販売機のライフサイクルの概略は図1のようである。本研究では、中でもエネルギー消費にとって重要と思われる組立・製造段階と使用段階について検討した。前者におけるエネルギー消費については、主に部品の詳細な積み上げから求め、後者については、多様な条件下での試験運転により観測した。なお、ここでの組立・製造段階には素材製造をも含んでいる。

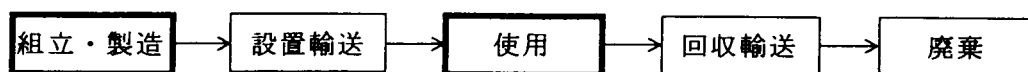


図1 自動販売機のライフサイクル

### 3. 1 自動販売機の組立製造までのフロー

通常の自動販売機は 700近い部品からできており、その多くは下請け工場生産されている。それらを大別すると、素材を加工しただけの部品（単純部品）と部品自体が複数の部品から構成されている部品（複合部品）から構成される。その概要を図2に示す。自動販売機の場合、複合部品には、コンプレッサ、蒸発機、モーター、基板類、電球類が該当する。

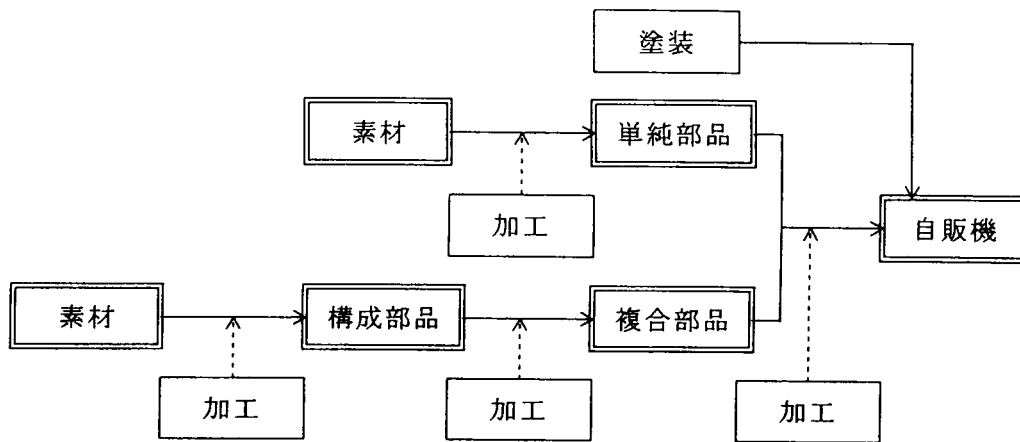


図2 自動販売機の組立・製造までのフロー

### 3. 2 組立・製造段階

#### 3. 2. 1 素材製造のためのエネルギー消費量と二酸化炭素排出量

自動販売機の素材構成については、実際に製品を分解して、素材別の重量を測定することで把握した。素材の分類は、既存のLCA適用研究において、製造に係るエネルギー消費原単位、二酸化炭素排出原単位が把握されているレベルとした。コンプレッサ、モータ等、複数の部品から構成されている部品（複合部品）については、部品単位とし、部品全体の重量として把握した。

既存のLCA適用研究から収集した鉄鋼、樹脂材料等の製造原単位の中から、その前提条件を考慮したうえで、素材製造に伴うエネルギー消費原単位、二酸化炭素排出原単位を抽出・整理し、素材重量を掛けることによって、素材製造時に必要となるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を算出した。なお、原単位が不明な素材や材料構成が不明な部品については、計算上、類似と思われる素材のデータあるいはその組み合わせを適用した。図3～6に結果を図示する。

エネルギー消費量では、溶融メッキ鋼、塗装鋼、硬質ウレタンフォーム、基盤類、PMMA、形鋼、PC、ABS等の順、二酸化炭素排出量では、溶融メッキ鋼、塗装鋼、基盤類、硬質ウレタンフォーム、銅製品、形鋼、線材、PC等の順となっている。鉄鋼関連が大きな割合をしめるのは、使用重量が多いせいである。一方、ここでは示していないが、基盤類の重量は全体の約0.45%であるが、エネルギー消費量では3.58%、二酸化炭素排出量では5.63%にもなり、基盤類がエネルギー集約型の部品であることがわかる。

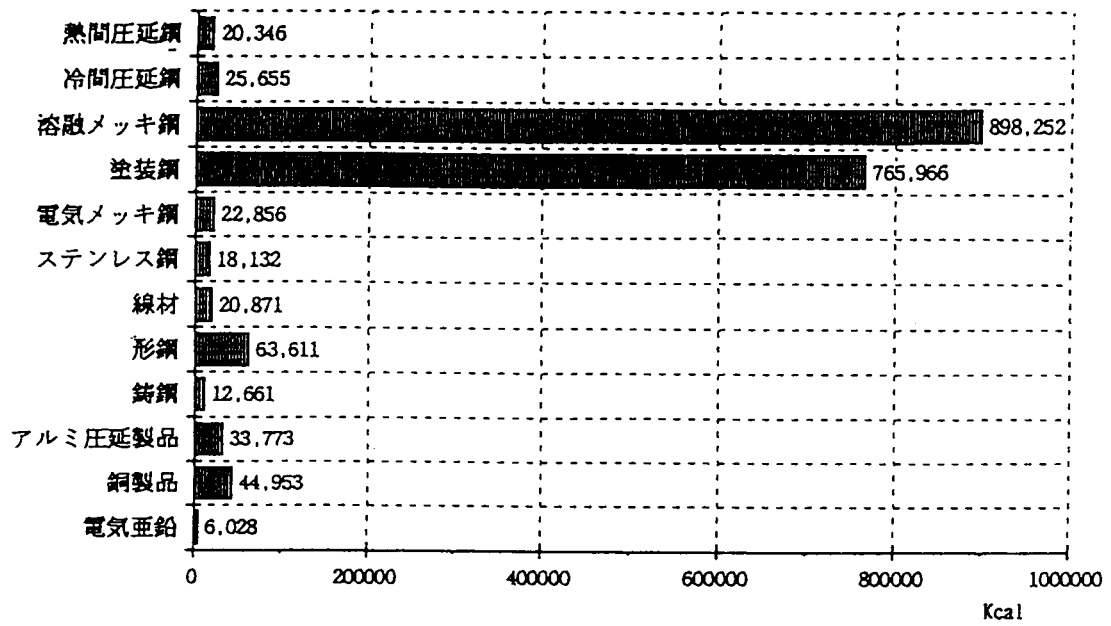


図 3 金属類の素材別エネルギー消費量

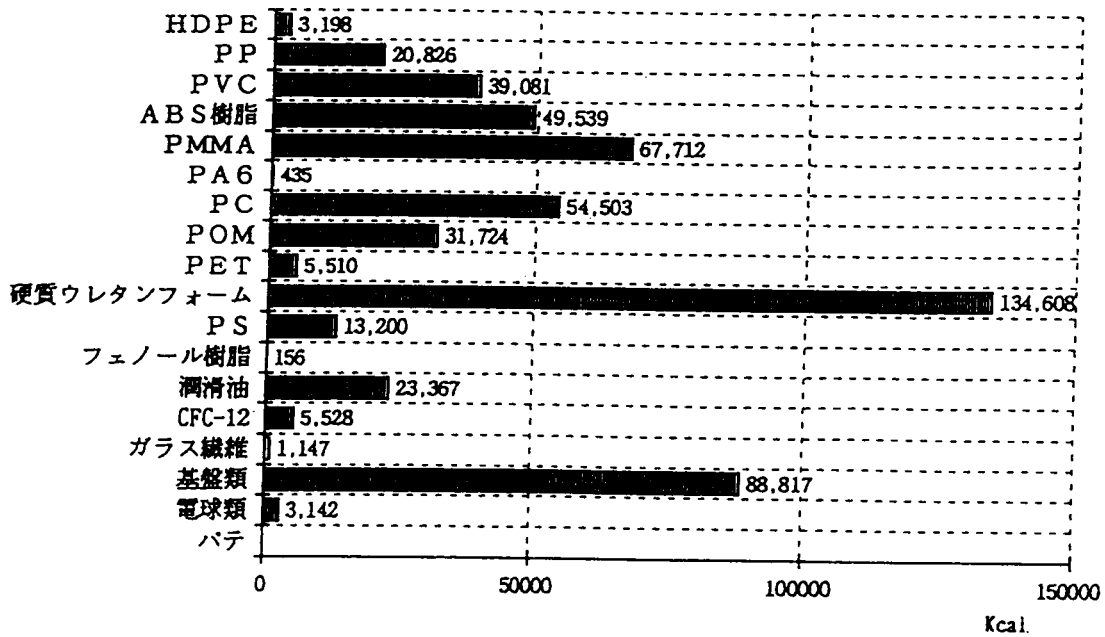


図 4 樹脂類・その他の素材別エネルギー消費量

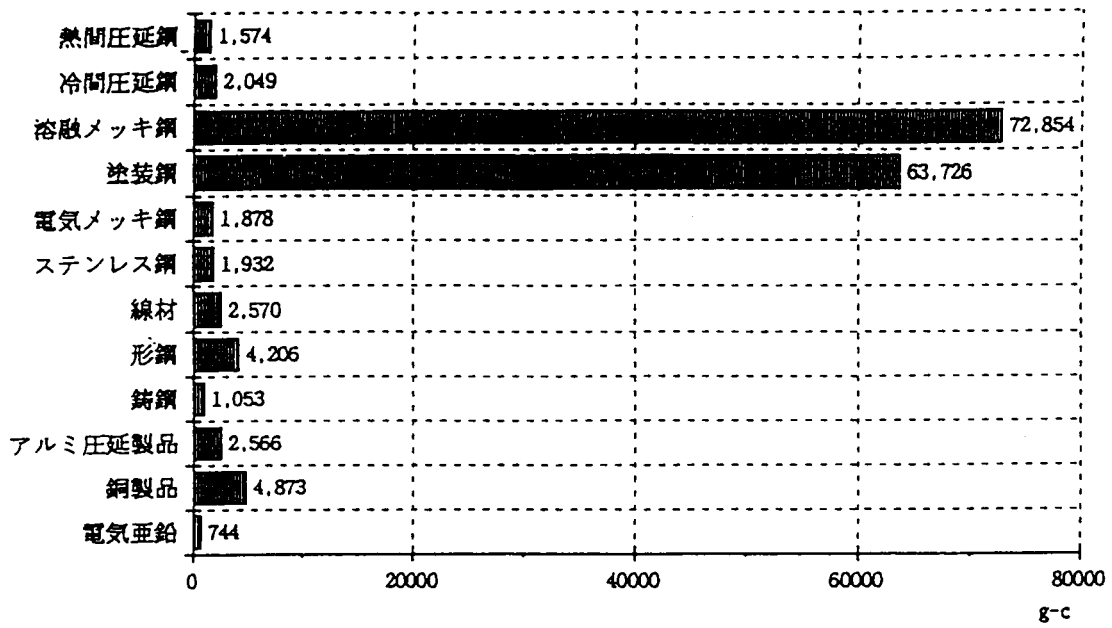


図 5 金属類の素材別二酸化炭素排出量

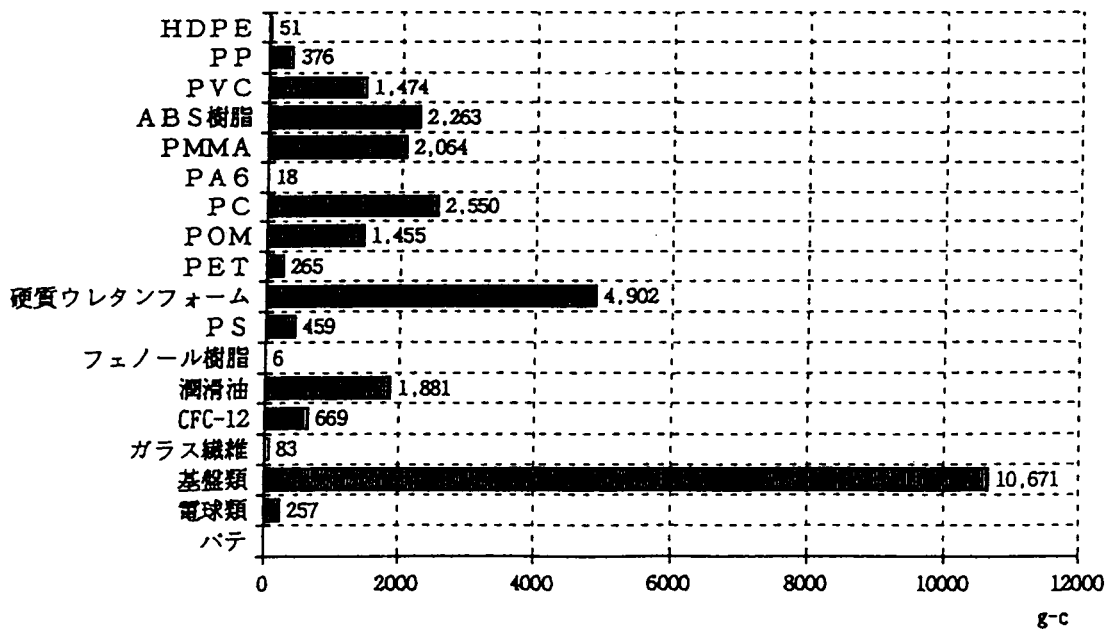


図 6 樹脂類・その他の素材別二酸化炭素排出量

### 3. 2. 2 加工・組立のためのエネルギー消費量と二酸化炭素排出量

自動販売機のような複合製品には大小数多くの部品が使われており、LCAを積み上げによって厳密に実施する場合はこれらの部品を一つずつ漏れなく追跡しなければならない。部品に係わるエネルギー消費量は部品を構成する素材の生産に必要なエネルギーと部品を組立て加工（輸送等を含む）するのに必要なエネルギーの和として推計できる。前者の素材生産に必要なエネルギーは、前節で記述したように、最終製品の素材構成重量と既存原単位データから比較的容易に計算できるが、後者の組立・加工エネルギーについては個々に調査する方法が一般に採用されている。複合製品を対象とする場合、この調査を多数必要とするうえ、納入業者など他の事業体の生産方法を詳細に調べる必要があり、現実的にはほぼ不可能に近い。そこで、ここでは複合製品の部品をも含めた組立・加工エネルギーを製品の素材構成重量から推定する実用的な方法を提案し、その適用した。

自動販売機のような複合製品を構成する部品のうち、あるものはそれ自体が複合製品であり、複数の加工・組立工程を経て製造されている。このような複合製品の加工・組立のフローを図7に示す。

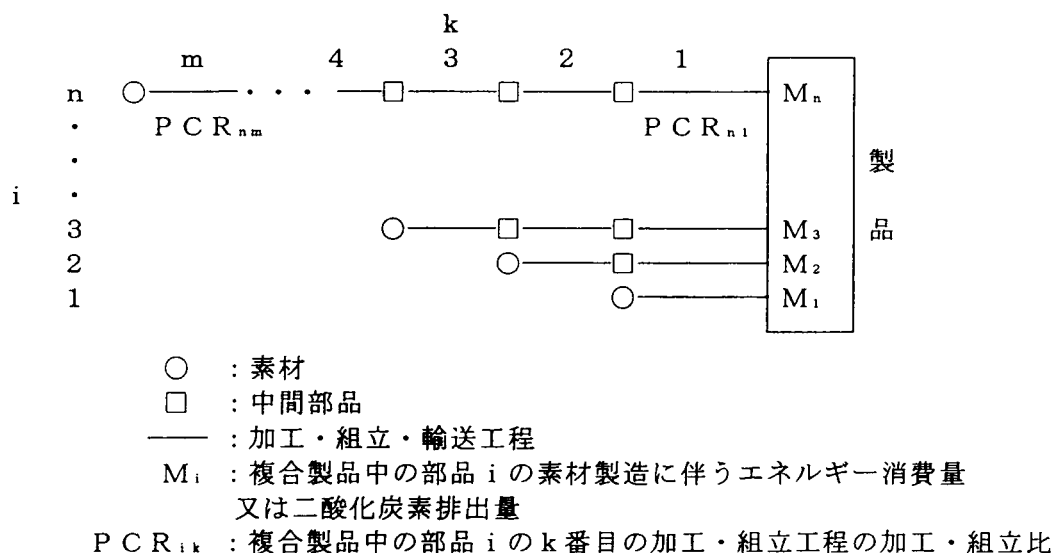


図7 複合製品の加工・組立のフロー

この図は、複合製品を構成する部品  $i$  が、その素材から  $k$  回の加工・組立・輸送工程を経て最終製品になる様子を示している。図中の「加工・組立比」とは、複合製品中の部品  $i$  の  $k$  番目の加工・組立に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量を中間部品の素材の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量で除した値であり、次式により定義される。

$$\begin{aligned}
 & \text{「加工・組立比」} \\
 & = \left( \text{「部品・中間部品の構成素材の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量」} \right. \\
 & \quad + \text{「部品・中間部品の加工・組立工程におけるエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量」} \\
 & \quad + \left. \text{「部品・中間部品の加工・組立に伴い発生する廃棄物（加工屑等）の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量」} \right) \\
 & \div \text{「部品・中間部品の構成素材の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量」}
 \end{aligned}$$



いま、複合製品を構成する部品  $i$  の素材の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量を  $M_i$  とすると、複合製品の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量 ( $P$ ) は次式により定義されるが、自動販売機のような複合製品は複数の製造・加工・組立工程を経て製造されるため、すべての製造・加工・組立工程の加工・組立比を求めることは不可能である。

$$P = \sum_{i=1}^n (M_i \times PCR_{i1} \times PCR_{i2} \times \dots \times PCR_{im})$$

そこで、本研究では、自動販売機の部品の加工・組立工程（塗装工程を除く）における加工・組立比を一定 ( $K$ ) であると仮定し、基本的に、次式により複合製品の製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量 ( $P$ ) を算出することとした。

$$P = \sum_{i=1}^n (M_i \times K^m)$$

ただし、 $K = PCR_{i1} = PCR_{i2} = \dots = PCR_{im}$  である。

加工・組立比の算定にあたっては、代表的な工程について、下請け部品工場およびメーカー組立工場の協力を得て、用役量や廃棄物量に関するデータを収集した。表2はそれらをまとめたものである。

表2 製品や部品の加工・組立ステージにおける用役量や廃棄物量

単位：上段 Mcal/台  
下段 kg-C/台

	製品素材	組立・加工	輸 送	廃棄物	加工・組立比
塗装 A社	0.024(塗料)	307.524(塗装)	0.000	—————	12,708
	0.001	17.530	0.000	—————	13,952
板金 B社	347.024(鋼板)	49.262(板金)	2.136	—————	1.1
	26.185	2.609	0.164	—————	1.1
樹脂成形 C社	122.137(樹脂)	0.536(成形)	0.373	—————	1.0
	9.216	0.037	0.029	—————	1.0
配線類 D社	46.162	5.094(加工)	0.140	0.058	1.1
	9.255	0.238	0.011	0.012	1.0
製品組立 E社	—————	64.163(組立)	5.376	0.624	—————
	—————	3.180	0.412	0.062	—————

注) 輸送については、トラックに10 t 積載して100km 輸送すると仮定し、燃料をガソリン、燃費を5 km/ℓ と仮定して計算した。

加工・組立比は、塗装工程を除いて、ほぼ同じ値 (1.0~1.1) となっているため、本研究では、塗装、製品組立については、表2の用役量、廃棄物量をそのまま使用し、その他の部品の加工・組立については、加工・組立比を1.1として、自動販売機の製造に係るエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を算出した。

ここで、単純部品の場合、素材から1回の加工工程（素材製造・部品加工に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量は素材製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量の1.1倍となる）を、複合部品の場合、素材から2回の加工・組立工程（素材製造・部品加工に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量は素材製造に伴うエネルギー消費量又は二酸化炭素排出量の1.21（1.1×1.1）倍となる）を経るものと仮定した。その結果を表3に示す。

表3 製品組立製造ステージにおけるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量

		エネルギー消費量 Mcal/台	二酸化炭素排出量 kg -C/台	備考
単純部品	素材	2,226.580	166.230	図3、4
	加工	222.658	16.623	素材の0.1倍
複合部品	素材	249.018	23.240	図4
	加工・組立	52.294	4.880	素材の0.21倍
塗装	素材	0.024	0.001	表2、塗装
	加工組立	307.524	17.530	
製品組立		70.163	3.654	表2、製品組立
合計		3,128.261	232.157	
素材		2,475.622	189.470	
加工組立		652.639	42.687	

自動販売機のオーバオールな加工・組立比は、エネルギー消費量については1.26で、二酸化炭素排出量については1.23となった。なお、筆者らがごみ焼却場で実施した同様の調査では加工・組立比の平均的な値は1.5であった。加工・組立比は業種によって異なると考えられる。今後、業種毎の加工・組立比が明らかになりデータベース化されるなら、ここでの手法はさらに適用し易くなり、各種のLCAの実施が一段と容易になることが期待される。

### 3.3 使用段階

自動販売機の使用（供用）時のエネルギー消費は電力のみであり、耐用期間や冷凍機などの使用部品の仕様からエネルギー消費の概要は推測できる。本研究で評価対象とした自動販売機は平成7年時点で最も普及していた機種の一つで、表4のような仕様を持つ3冷却庫室タイプであり、平均消費電力及び圧縮機の運転率は実績値である。

業界の統計では自動販売機の平均耐用年数は7年強であるが、都市部では3～5年で新規の機種に交換されている。ここでは、耐用年数を7.5年として、平均消費電力から、自動販売機の使用ステージにおける消費電力量を求めると、

$$\text{消費電力量} = \text{平均消費電力} \times 24 \text{時間/日} \times 365 \text{日/年} \times \text{耐用年数}$$

$$= 340\text{W} \times 24\text{ h/day} \times 365\text{day/year} \times 7.5\text{year}$$

$$= 22,338\text{ kWh}$$

となる。電源構成、発電効率を考慮し、1 kWhあたりの平均一次エネルギー使用量(2.25 Mcal/kWh)、二酸化炭素排出原単位(0.118kg-C/kWh)を消費電力量に乗じて、製品使用段階におけるエネルギー消費量および二酸化炭素排出量は、それぞれ50,261Mcal および2,636kg-Cとなる。

表4 評価対象とした自動販売機の仕様

設置場所	屋内	総合定格消費電力	603W
周囲温度	24℃	圧縮機定格入力	361W
庫内温度	5℃	運転率	40%
庫内構成	C-C-C	凝縮器側ファンモータ	39W
電源	100V 50Hz	蒸発器側ファンモータ	53W
総合定格電流	8.2A	蛍光灯29W×3、42W×1	129W
平均消費電力	340W	DC電源(コインメック等)	21W

### 3.4 組立・製造段階と使用段階の比較

素材製造、製品組立製造、製品使用の各段階におけるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を表5に整理する。自動販売機の場合、製品の耐用年数が7.5年と長いため、全消費量、全排出量に占める割合は、製品使用段階において高い。

表5 各段階におけるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量の比較

	単位	素材製造	製品組立製造	製品使用	合計
エネルギー消費量	Mcal (%)	2,476 (4.6)	653 (1.2)	50,261 (94.1)	53,390 (100.0)
二酸化炭素排出量	kg-C (%)	189 (6.6)	43 (1.5)	2,636 (92.0)	2,868 (100.0)

素材製造を含む組立・製造段階と使用段階とのエネルギー消費量の比はほぼ1:16であり、二酸化炭素排出量ではほぼ1:11.5である。使用時の省エネルギー対策の重要性がうかがわれる。ちなみに、自動販売機の価格と7.5年間の電気料金の比はほぼ1:1.0~1.2である。

## 4 自動販売機の省エネルギー対策とその効果

### 4.1 使用時のエネルギーの内訳

前章の検討から、自動販売機に関する二酸化炭素排出量の削減には、使用時の省エネルギー対

策が効果的であることがわかった。そこで、対策を検討するため、エネルギー消費の内訳を各種条件下での試験（計測）運転と自動販売機の設計仕様から推定した。

自動販売機の使用時には、大きく分けて、冷却目的のためのコンプレッサ、および照明・コインメカ等の付属機器に電力が消費される。さらに、コンプレッサは、内部モータからの発熱、および伝熱と気密漏れによる侵入熱の排除のために作動する。以下の方法によって、電力消費量をこれらの要因別に推定した。

- (1) 内部モータ：モータの実作動時間の計測
- (2) 伝熱：使用断熱材等の物性から計算
- (3) 気密：ビニールシート等による気密確保時の計測
- (4) 付属機器：機器の仕様から計算

表6 自動販売機使用時の電力消費の内訳

要因	コンプレッサによる排熱			付属機器
	内部モータ	伝熱	気密	
電力消費の割合	15%	22%	27%	36%

推定結果は表6の通りである。付属機器の電力消費が最も多く、その大半が照明によるものである。また、コンプレッサ稼働の要因である熱源に卓越したものはなく、省エネルギーにはそれぞれの対策を組み合わせる必要がある。これらの結果と自動販売機製造メーカーへのヒヤリングをもとに、取りうる対策とその推定効果を表7に示す。ただし、推定効果は厳密な計算によるものではなく、表6を参照して推測したものである。

表7 自動販売機の省エネルギー対策と推定効果

分野	対策	推定効果
内部モータ	◎コンプレッサ停止時には内部モータも停止する	9%
	○現在の内部モータを庫外に設置する	15%
伝熱	◎断熱材を現場発泡にする	5%
	△断熱に真空パネルを使用する	15%
気密	◎内箱を一体成形にする	3%
	○前面および取出口を気密度の高い設計にする	18%
照明等	◎過剰照明をなくす	8%
	○前面のデザイン、素材を工夫する	3%
その他	◎高性能コンプレッサを使用する	13%

(注) 対策の実施し易さ ◎>○>△

#### 4. 2 省エネルギー機導入のシナリオと普及効果

1995年現在、我が国では飲料用自動販売機が約254万台普及しており、平均消費電力を実績値である8.2 kWh /日/台 (342 W に相当) とすると、年間総消費電力量は $7.6 \times 10^7$  kWh/年となり、これは日本の消費電力量の1.07%に相当する。これに伴う二酸化炭素排出量は0.897 Mt-C/年であり、日本全体の二酸化炭素排出量はほぼ320 Mt-C/年であるから、これは0.28%をしめる。

現在の技術レベルと大幅なコストの増加を招かないことを前提として、表8のような省エネルギー対策を導入した2通りの機種をここでは想定した。ただし、高性能コンプレッサの使用効果は他の対策の効果と重複するため、前節の値よりも低く設定した。

表8 想定した省エネルギー型飲料用自動販売機

ケース1		ケース2	
導入する対策	省エネ効果	導入する対策	省エネ効果
・ 通常時のモータ停止	9%	・ モータの庫外設置	15%
・ 断熱材の現場発砲	5%	・ 断熱材の現場発砲	5%
・ 内箱の一体成形	3%	・ 内箱の一体成形	3%
・ 過剰照明の排除	8%	・ 前面及び取出口の気密設計	15%
・ 高性能コンプレッサの使用	8%	・ 過剰照明の排除	8%
・ 高性能コンプレッサの使用	8%	・ 高性能コンプレッサの使用	8%
合 計	33%	合 計	54%

省エネルギー機導入のシナリオとして、1997年より年出荷台数の34万台すべてにケース1の機種が導入され、さらに2000年よりケース2の機種に切り替わるとして計算した結果が図8である。

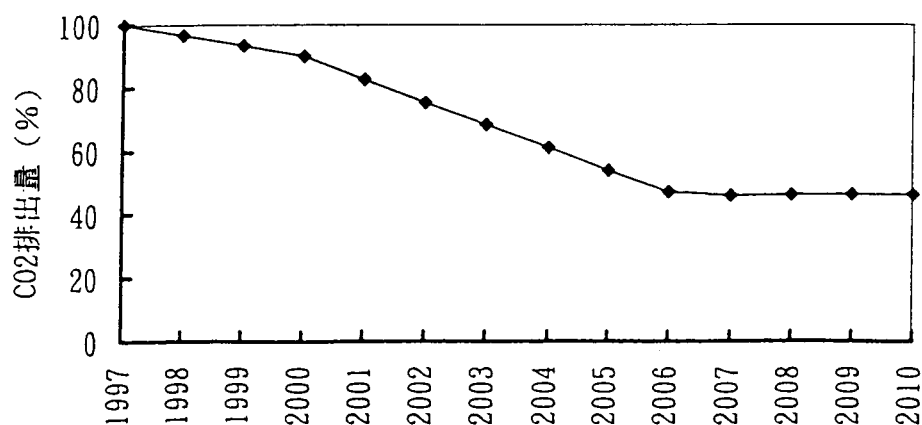


図8 省エネルギー機種の普及に伴う二酸化炭素排出量削減効果

自動販売機が完全にケース2の機種に置換されるのは、計算上では、2008年であるが、耐用年数に分布があることを考慮するともう少し遅れることになる。この結果によると、2000年頃には飲料用自動販売機全体で約20%の省エネルギーが達成され、完全に新機種に置換されているで

あろう2000年頃には54%の省エネルギーが見込める。これによって、日本全体の二酸化炭素排出量の0.15%に相当する0.48 Mt-C/年の削減が期待できる。

コンプレッサの高性能化などに伴い、製造時のエネルギー消費が若干増大することも予想されるが、すでに説明したように、自動販売機の場合、使用時のエネルギー消費が圧倒的であり、省エネルギー対策の効果を損なうものとはならない。

#### 4. 3 省エネルギー機器導入への課題

ここで提案している省エネルギー策の導入に関して、技術的な課題はそれほど大きなものではない。むしろ、経済的な側面が重要な課題といえる。

自動販売機の価格に対する使用時の電気料金の比は、加工・製造段階に対する使用段階のエネルギー消費量比ほど、大きくはない。しかし、なお電気料金の占める割合は大きく、製造段階での省エネルギー策への投資は、全体として十分見合うものとおもわれる。すなわち、自動販売機の場合は、トータルコストの削減がそのまま省エネルギー、二酸化炭素排出量削減につながる事例である。にもかかわらず、比較的容易な策も講じられていないのが現状である。

自動販売機の維持管理会社（飲料の販売会社でもある）は製造業者に発注、購入し、設置場所提供者に謝礼を支払って飲料を販売している。ただし、通常は設置場所提供者が使用時の電気料金を支払っている。すなわち、自動販売機の購入価格と使用時の維持費を支払う主体が異なり、両者をトータルで最適化するメカニズムが今のところ存在していない。製造業者が販売価格の上昇を伴う対策を導入した場合、購入者である維持管理会社の直接の利益を損ない、その成果は製造業者にとって顧客でない設置場所提供者が受けることになる。この問題は維持管理会社と設置場所提供者の間で工夫すれば容易に解決することであり、今後、省エネルギー策が積極的に導入されることを期待したい。

#### 5. まとめ

民生部門におけるエネルギーの使用状況を、マクロな統計データとマイクロな製品データの両面から分析し、比較した。そのうち、家庭部門については、概ね一致し、マクロ統計データからは得られないエネルギー消費データの内訳が、マイクロデータから推定できることがわかった。しかし、この推定を業務部門について行うにはマイクロデータが不十分であった。

エネルギー多消費型の複合製品である自動販売機について、製造段階および使用段階のエネルギー消費量の解析を実施した。製造段階の解析では、加工・組立比の導入を提案し、適用した。従来、加工・組立に要するエネルギー消費量および二酸化炭素排出量は無視されるか、素材エネルギーあるいは二酸化炭素の総量に一定の比をかけて算出するなど、十分考慮されてこなかったが、ここでの提案は、比較的簡便でかつ製品の特性をより反映した推定が可能である。

使用段階については試験運転と設計仕様から電力消費量とその要因別内訳を推定した。その結果、製造段階に比べて、使用段階の電力消費量を低減することが特に重要であると確認された。要因別では、照明等の付属機器が最も多く電力を消費しているが、消費量の大半をしめるような卓越した要因はなく、決定的な1つの対策はない。しかし、個々の要因に対する対策を組み合わせることによって50%以上の省エネルギーが可能なのことがわかった。

最後に、自動販売機の省エネルギー対策の導入とその効果について検討した。現在、飲料用自

動販売機の稼働に伴う二酸化炭素の排出量は日本全体の0.28%と推定できるが、省エネルギー機の普及により、その内の0.15%は低減の可能性がある。また、省エネルギー機の導入はトータルコストを削減する方向で一致しており、経済的な観点からも推進されるべきもので、そのための課題にも言及した。

本研究で開発あるいは適用した一連の解析手法はエネルギー多消費型の他の製品に関する解析にもそのまま適用可能である。

#### [国際共同研究等の状況]

本研究の中核となっているライフサイクルアセスメント (LCA) について、オランダのライデン大学環境科学センター (Udo de Haes 教授) と共同研究を実施している。

#### [研究発表の状況]

- ・ 森 保文・乙間末広ほか：ごみ発電によるエネルギー回収および CO2 排出量削減効果の推定、エネルギー・資源、vol. 15、617～624 (1994).
- ・ 森 保文・乙間末広ほか：製品組み立ておよび加工に関わるエネルギー消費量 / CO2 排出量の簡易算定法、エネルギー・資源学会第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、297～302 (1995).
- ・ Y. Mori, G. Hupes, H. A. Udo de Haes and S. Otoma: Component manufacturing analysis: A simplified but reproducible and encompassing LCI method for the manufacturing stage, 7th annual meeting of SETAC-Europe, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, April 6-10, Amsterdam (1997).
- ・ S. Otoma, Y. Mori, T. Aso and R. Sameshima: Estimation of energy recovery and reduction of CO2 emissions in municipal solid waste power generation, Resource, Conservation and Recycling (in press).