

## ■ 研究論文 ■

# プロセスモデルによる製品製造時の包含負荷量の比較分析 — ガソリン車とEVの比較 —

Analysis of Embodied Liability Using Process Model : Gasoline-vs. Electro-powered Vehicle

西村 一彦\*・本藤 祐樹\*\*・内山 洋司\*\*\*

Kazuhiko Nishimura Hiroki Hondo Yohji Uchiyama

(原稿受付1997年6月4日, 受理日10月14日)

## Abstract

We attempt to estimate the embodied liability required for the entire production process for different kinds of goods including automobiles. Embodied liability includes the direct and indirect emission of green house gases and labor required for the entire production process. We have developed a process model of economy-wide production systems by incorporating process systems concept into the input-output framework. This process model infers each process by using the available input-output coefficients on aggregated processes (sectors) and some physically prevalent assumptions. By linearly approximating the process model, we derived embodiment functions that evaluate the embodied liability for arbitrary product in terms of material content. By using detailed data on carbon emission and labor requirement for each sector, we analyzed each item of liability by different factors as well as different stages of production processes. A popular gasoline-powered vehicle and an electro-powered vehicle (EV) were selected and compared for our empirical study.

## 1. はじめに

財の製造時の直接及び間接プロセスにおいて、消費したエネルギー（財の包含消費エネルギーと呼ぶ）を分析する<sup>※1)</sup> 目的で、70年代初頭から、産業連関分析とプロセス分析を融合したハイブリッド手法<sup>1) 2)</sup> が開発され、我が国でも適用されてきた<sup>3)</sup>。これは財の直接製造プロセスに投入される全ての財やサービス（プロセスデータ）を計上し、産業連関分析で得られるこれらのエネルギー原単位を用いて包含消費エネルギーを導出する手法である。しかし、製造プロセスに於いて、投入される全ての財やサービスに関するデータを得ることは実際には難しい。従って実際にはシステムバウンダリーを限定するか、産業連関表から求められる平均的な値を代表させてしまう場合がほとんどである。前者の場合は負荷の間接分を過少評価する傾向にあり、後者の場合は対象とする代替財自体の分析ができないという点が問題となる。

消費財の代表格である乗用車には、非常に多岐にわたる代替財が存在し、多くの選択肢の中での意思決定を求められる。特にこのような場合には、従来の方法に倣って無数の代替財に関するプロセスデータを完備することが、実質的に不可能である。加えて、乗用車産業はし烈な競争にさらされており、企業の内部情報であるプロセスデータを入手することはもとより困難である。以上の点を踏まえ、本研究では財の構成素材量や産業連関表などの入手可能なデータを用い、プロセスに関する何らかの一般的な仮定を補うことで全ての製造プロセスを推定するモデル<sup>5) 6)</sup> を構築し、これを用いて様々な財の包含負荷量を評価する手法を提案する。

この手法では、直接及び間接製造プロセスを、財の構成素材を手掛かりにして推定する。その際、あらかじめ産業連関表に物質保存則を適用することで社会全体の平均的な物質移動を表す「部門モデル」を準備しておく。プロセスモデルでは、部門モデルで得られる各部門の平均的物質移動シナリオ（プロセス）を拡張することで部門モデルとは異なる様々なプロセスに対

\* 財団法人中央研究所 経済社会研究所研究員

\*\* " " 主任研究員

\*\*\* " " 上席研究員

注1) 本研究ではインベントリー分析を行う。構造変化を伴う新技術や財の導入評価分析に関しては文献<sup>7)</sup> などがあ

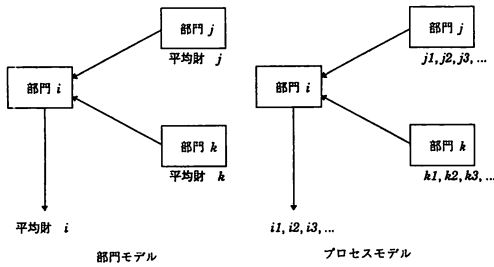


図-1 部門モデルとプロセスモデル

応する。これにより、様々な財の生産プロセスを推定することが可能である（図-1参照）。このモデルを用いて、様々な財が製造され需要されるまでに消費したエネルギーや排出した二酸化炭素などの環境汚染物質、投入された労働量などの社会的負担（これらを総じて財の包含負荷と呼ぶ）を評価し、比較分析する手法を提案する。

## 2. 平均構成素材量の推定

一般的な産業連関表を利用して、社会全体の平均的な素材フローをモデル化し、各部門の平均財の構成素材量を求めることができる。本研究では、文献4）、5）の「部門モデル」を応用し、直接廃棄量と間接廃棄量や、直接リサイクル量と間接リサイクル量の関係の分析を可能にした。はじめに産業連関表における各部門を次のような集合に分類する。N=産業連関表の全部門の集合；M=素材生産部門の集合；K=中間財生産部門の集合；R=屑部門の集合；F=最終財生産部門の集合；H=エネルギー財生産部門の集合；S=その他の部門の集合；但しN=MUKURUFUHUS。また、M、K、R、F、H、Sに関して交わりはないものとする。

その他の部門は、輸送や電力などの、消費が非物質的に享受される財やサービスを生産する。従って、部門モデルの目的はK、Fの平均財の構成素材量を求めることである。そこで、これらの部門集合に対する物質的投入に関して物質保存則を適用することで、平均的財の素材構成量を求める。一般的に、素材生産部門(M)、中間財生産部門(K)、屑部門(R)からの財の投入は、素材の物質的な投入を伴い、これらの部門から直接的間接的に投入された素材は当該部門で生産される財の構成要素となる。これに対して、最終財部門群(F)からの投入は、生産財に対して物質的には投入されない。また、その他の部門からの投入は素材

が関与しないため、同様に素材の物質的な投入はない。一方、K、F部門において、素材は製品の構成要素となるか、産業廃棄物、もしくはリサイクル物として、プロセス外に出る。これを式で表すと次のようになる。

$$\bar{c}_i^m = \sum_{j \in M \cup K \cup R} \bar{c}_j^m \bar{a}_{ji} - \bar{g}_i^m \quad i \in K \cup F, m \in M \quad (1)$$

但し、 $\bar{c}_i^m$ =平均財の構成素材量[¥素材/¥財]、 $\bar{a}_{ji}$ =投入産出係数[¥財/¥財]、 $\bar{g}_i^m$ =素材廃棄係数[¥素材/¥財]（部門*i*の平均財1円に対してその部門*i*で廃棄される廃棄素材*m*の金額）。 $\bar{c}_i^m$ の定義により次の事項を得る。

$$\bar{c}_i^m = 1 \text{ when } i = m; 0 \text{ otherwise,} \\ i \in M, m \in M \quad (2)$$

$$\bar{c}_i^m = \frac{\text{price of } m}{\text{price of } i} \text{ when } i \text{ recycles material } m; \\ 0 \text{ otherwise, } i \in R, m \in M \quad (3)$$

投入産出係数 $\bar{a}_{ji}$ は産業連関表<sup>11)</sup>より直接得られる。一方、平均素材廃棄係数 $\bar{g}_i^m$ に該当するデータは直接得られないが、本研究では、データの存在する全国廃棄物別廃棄量<sup>10)</sup>及び、全国産業別廃棄量<sup>9)</sup>を主な制約条件とし、東京都産業別廃棄物別廃棄量<sup>13)</sup>との隔たりを最小化するように全国産業別廃棄物別廃棄量を推定した。

$C_{MM} = [\bar{c}_k^m]$ ,  $k \in M, m \in M$  (但し,  $(M \times M)$  行列);  
 $A_{MK} = [\bar{a}_{mk}]$ ,  $k \in K, m \in M$  (但し,  $(M \times K)$  行列);  
 $G_{MF} = [\bar{g}_k^m]$ ,  $k \in F, m \in M$  (但し,  $(M \times F)$  行列) などと定義すると、(1)は行列を用いて次のように表すことができる。

$$C_{MK} = C_{MM}A_{MK} + C_{MR}A_{RK} - G_{MK}$$

$$C_{MF} = C_{MM}A_{MF} + C_{MR}A_{RF} - G_{MF}$$

ここで(2)及び(3)を考慮すると、 $C_{MM}$ 、 $C_{MR}$ は既知となり、 $C_{MK}$ 、 $C_{MF}$ は次のように求められる。

$$C_{MK} = [C_{MM}A_{MK} + C_{MR}A_{RK} - G_{MK}] \cdot [I - A_{KK}]^{-1} \quad (6)$$

$$C_{MF} = C_{MM}A_{MF} + [C_{MM}A_{MK} + C_{MR}A_{RK} - G_{MK}] \cdot [I - A_{KK}]^{-1} \cdot A_{KF} + C_{MR}A_{RF} - G_{MF} \quad (7)$$

これらの式により、平均財の構成素材量算定における、屑リサイクル及び産業廃棄物の影響を分析することができる。最終財部門の構成素材量の内訳は、(7)を展開することで求められる。

$$C_{MF} = C_{MM}A_{MF} + C_{MM}A_{MK} [I - A_{KK}]^{-1} A_{KF} \\ + C_{MR}A_{RK} [I - A_{KK}]^{-1} A_{KF} + C_{MR}A_{RF} - G_{MF} \\ [I - A_{KK}]^{-1} A_{KF} - G_{MF}$$

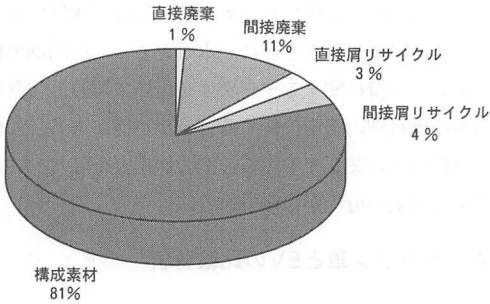


図-2 構成素材と廃棄・屑リサイクル素材

上記の各項において、乗用車部門の列だけを抜き出し、集計することにより、乗用車の単位生産当り平均構成素材量 [kg-素材/¥-財] と、それに伴う直接的及び間接的な屑リサイクル量、廃棄物量を分析することができる。その結果を図-2<sup>注2)</sup>に示す。

### 3. プロセスモデル

#### 3.1 負荷量のバランス

今、各部門（各産業）の生産する財の単位包含負荷量を包含負荷ベクトルで表したものを単位包含負荷行列  $B = [b_{ji}] (N \times N)$  [負荷/¥-財] と呼ぶことにする。これは  $i$  部門の財が 1 単位需要された時に  $j$  部門で  $b_{ji}$  だけの負荷が発生するというを表す。また、 $i$  財の包含負荷ベクトルを  $B$  の  $i$  列目のベクトル  $b_i$  で表すことにする。産業連関分析における知見から、単位包含負荷行列は次のように求められる。

$$B = E[I - A]^{-1}$$

但し、 $A$  : 産業連関表産出投入係数表、 $E$  : 各部門の単位直接負荷量  $e_i$  [負荷/¥-財] を対角上に持つ対角行列である。また、 $E$  の各列ベクトルを  $f_i (N \times 1)$  と書くことにする。即ち  $E = [f_i]$  である。これは、 $[I - A]^{-1} = I + A + A^2 + \dots = [I - A]^{-1}A + I$  を用いて次のように書ける。

$$B = E[I - A]^{-1}A + E = BA + E$$

これより、

$$b_i = [b_1a_{1i} + b_2a_{2i} + \dots + b_Na_{Ni}] + f_i \quad (8)$$

を得る。即ち、財  $i$  の包含負荷ベクトル  $b_i$  が、全投入財の包含負荷ベクトル  $b_1 \dots b_N$  と当該部門の投入量（産出投入係数） $a_{ji}$  の積和に、当該部門の単位直接負荷量  $f_i$  を加えたものとなる。これは、包含負荷ベクトルを用いた場合でも、産業連関のフレームワークでは負荷量が各プロセスでバランスすること<sup>5)</sup>を示している。

注2) 図の円全体は社会に廃棄及びリサイクルが存在しないとした場合の平均構成素材量を表す。

尚、以下の議論のために集計された産出投入係数（産業連関表） $\bar{A}$  を用いて  $\bar{B} = \bar{E}[I - \bar{A}]^{-1}$  より算出される平均財  $i$  の包含負荷ベクトルを  $\bar{b}_i$  と書く。

#### 3.2 プロセスモデルの線形近似

各部門（各プロセス）での素材別物質収支式は次のようになる。但し、任意の  $i$  財の構成素材量を  $c_i = [c_i^m]$  ; その際直接廃棄される素材量を  $g_i = [g_i^m]$  という  $(M \times 1)$  ベクトル ;  $i$  プロセスの生産量  $x_i$  [¥-財] ;  $j$  から  $i$  への投入量  $y_{ji}$  [¥-財] とする。

$$c_i x_i = \sum_{j \in M \cup K \cup R} c_j y_{ji} - g_i x_i, \quad i \in K \cup F, m \in M$$

構成素材量に基づき、プロセスモデルを用いて全てのプロセスを推定することにより包含負荷量を求めることを考える。本研究で用いたプロセスモデルの仮定は次のようなものである。1) 非物質的投入財（最終財及びその他の財）の単位包含負荷量は一定である。2) 非物質的投入財の投入量は当該生産財の物理量（重量または体積）に比例する。3) 物質的投入財（素材財及び中間財）の素材構成は、当該生産財の素材構成に比例する。4) 当該プロセスの直接負荷量は、生産財の物理量に比例する。素材の価格を  $P_m$  [¥/kg-素材] これらを式で表すと次のようになる。

$$b_j = \bar{b}_j, \quad j \in F \cup S \quad (9)$$

$$c_j^m y_{ji} = (\bar{c}_j^m a_{ji} / \bar{c}_i^m) c_i^m x_i, \quad m \in M, i \in K \cup F, j \in M \cup K \cup R \quad (10)$$

$$y_{ji} = \left( \sum_{m \in M} c_i^m / P_m / \sum_{m \in M} \bar{c}_i^m / P_m \right) a_{ji} x_i, \quad m \in M, i \in K \cup F, j \in F \cup S \quad (11)$$

$$e_i = \left( \sum_{m \in M} c_i^m x_i / P_m / \sum_{m \in M} \bar{c}_i^m / P_m \right) \bar{e}_i \quad (12)$$

更に、任意の財の構成素材ベクトル  $z_i$  [kg-素材]  $(M \times 1)$  から、プロセスモデルを経て包含負荷ベクトル<sup>注3)</sup>  $q_i (N \times 1)$  を求める手続き、

$$q_i = f(z_i)$$

を線形近似し、

$$q_i = \varepsilon_i z_i, \quad i \in M \cup K \cup F \quad (13)$$

と表す。但し、パラメータ行列  $\varepsilon_i$  [負荷/kg-素材] は  $(N \times M)$  行列である。  $z_i = c_i x_i$  であることから、リサイクル屑及び、廃棄物はそれ自身に包含する負荷を持たない<sup>注4)</sup> とすると、

注3) 任意の財の包含負荷ベクトルであり、平均財の包含負荷ベクトルではない。

注4) リサイクル屑や廃棄物が包含負荷量を持つとした場合、式(8)の様に負荷量がバランスしない。

$$q_i = \varepsilon_i c_i x_i = \sum_{j \in M \cup K} \varepsilon_j c_j y_{ji} + \sum_{j \in F \cup S} b_j y_{ji} + e_i \quad i \in K \cup F$$

を得るが、これに式 (13) を用いることにより、次式を得る。

$$\partial q_i / \partial z_i = \varepsilon_i = \sum_{j \in M \cup K} \varepsilon_j \lambda_{ji} + \sum_{j \in F \cup S} b_j \mu_{ji} + f_j \sigma_i \quad (14)$$

但し、各パラメータは、 $\lambda_{ji} = [a_{ji} \bar{c}_j^m / \bar{c}_i^m] : (M \times M)$   
 対角行列； $\mu_{ji} = (a_{ji} / p_m) / \left( \sum_{m \in M} \bar{c}_i^m / p_m \right) : (1 \times M)$   
 ベクトル； $\sigma_i = (1 / p_m) / \left( \sum_{m \in M} \bar{c}_i^m / p_m \right) : (1 \times M)$  ベクトルである。さらに、 $\varepsilon_K = [\varepsilon_i] : i \in K$  (但し、 $(N \times MK)$  行列)； $\lambda_{MK} = [\lambda_{ji}] : j \in M, i \in K$  (但し、 $(MM \times MK)$  行列)； $b_F = [b_j] : j \in F$  (但し、 $(N \times F)$  行列)； $\mu_{FK} = [\mu_{ji}] : j \in F, i \in K$  (但し、 $(F \times K)$  行列)； $d_K = [f_j \sigma_i] : i \in K$  (但し、 $(N \times MK)$  行列) などと定義すると、(14) は次のように書ける。

$$\varepsilon_K = \varepsilon_M \lambda_{MK} + \varepsilon_K \lambda_{KK} + b_F \mu_{FK} + b_S \mu_{SK} + d_K \quad (15)$$

$$\varepsilon_F = \varepsilon_M \lambda_{MF} + \varepsilon_K \lambda_{KF} + b_F \mu_{FF} + b_S \mu_{SF} + d_F \quad (16)$$

式(13)より、 $\varepsilon_m = b_m$  であるので、 $\varepsilon_M = [b_m] : m \in M$  は既知となる。従って、 $\varepsilon_K$ 、 $\varepsilon_F$  は式 (15)、(16) を連立することにより求めることができる。

本研究では、 $E$ に排出(二酸化)炭素、労働投入な

どの負荷データを用いたため、財の加工工程<sup>(5)</sup>別の分析が可能である。さらに、本研究では、部門別燃料別炭素排出量に関するデータ<sup>3)</sup>を用いており、包含炭素量の燃料別内訳を分析することが可能である。同様に労働投入に関しても産業連関表雇用表を用いており、職業別内訳の分析が可能である。

#### 4. ガソリン車とEVの比較分析

##### 4.1 ガソリン車とEVの素材構成

本節では上述のパラメータ行列を用いて、乗用車やEVの包含負荷量を求め比較する。乗用車部門は最終財部門に含まれるためより当該パラメータ行列を取り出し、表1に示した2000ccクラスのカソリン車の構成素材量<sup>(6)</sup>より、式(13)を用いて、包含炭素排出量と包含労働投入量を導出した。

EVは乗用車の中でも非常に特殊であり、分析を行う際平均的乗用車のプロセスをもとに推定するプロセスモデルではバイアスが大きく生ずると判断し、車体、モータ、電池を別々にそれぞれの負荷パラメータ行列を用いて分析した。但し、車体に関しては乗用車部門のパラメータ行列を用いることで、EV組み立てに直

注5) 加工工程とは、ある財を生産する場合に誘発される各部門を指す。

注6) 文献<sup>10)</sup>及び、メーカーのヒアリングにより作成。

表1 乗用車(2000cc)構成素材量

素材	構成素材量[kg]
鉄(他)	231
鍛造品	44
鋳造品	58
板材	502
棒、線材	41
パイプ	52
ボルトetc.	21
アルミ	56
鋼	18
ステンレス	4
樹脂	56
ゴム	44
ガラス	31
オイル	46
塗料	2
その他	54
合計	1259

表2 EV車体構成素材量

素材	構成素材量[kg]
鉄(他)	34
鍛造品	44
鋳造品	58
板材	487
棒、線材	41
パイプ	52
ボルトetc.	21
アルミ	7
鋼	18
ステンレス	4
樹脂	55
ゴム	44
ガラス	31
オイル	8
塗料	2
その他	45
合計	951

表3 EV車用モータ構成材量

素材	構成素材量[kg]
ケイ素鋼板	22.0
銅	3.0
磁石	1.5
炭素鋼	5.0
アルミ	11.5
ベアリング	1.0
エポキシ	0.1
合計	44.1

表4 EV車用鉛電池構成素材(50Ah, 12V)

素材	構成素材量[kg]
鉛	54.0
ポリプロ	5.0
ポリエチ	2.0
他金属	1.1
合計	62.1

表5 EV車用NiCd電池構成素材量(100Ah, 12V)

素材	構成素材量[kg]
帯鋼	6.3
Ni粉	0.3
Cd	4.5
ナイロン	0.5
Cu	0.3
ポリプロ	2.8
ステンレス	0.5
塩ビ	0.5
合計	15.5

表6 3車種の包含負荷分析結果

	エネルギー	排出炭素	労働投入
EV車体	0.79	0.8	0.83
EVモータ	0.03	0.03	0.02
EV電池(鉛)	0.32	0.4	0.24
EV電池(NiCd)	0.7	0.76	0.51
鉛電池EV	1.15	1.22	1.08
NiCd電池EV	1.52	1.59	1.35
ガソリン車	1	1	1

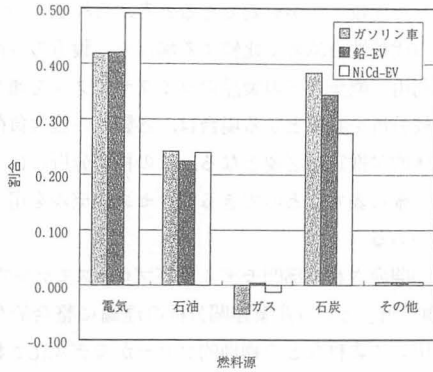


図-3 包含炭素排出量のエネルギー源別内訳

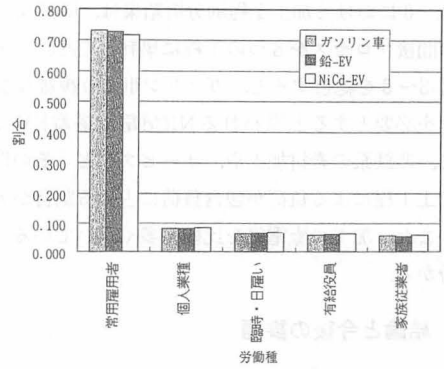


図-5 包含労働投入量の労働種別内訳

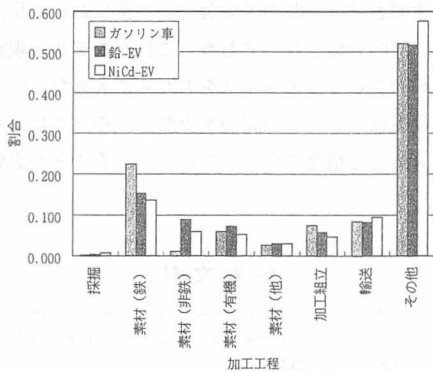


図-4 包含炭素排出の加工工程別内訳

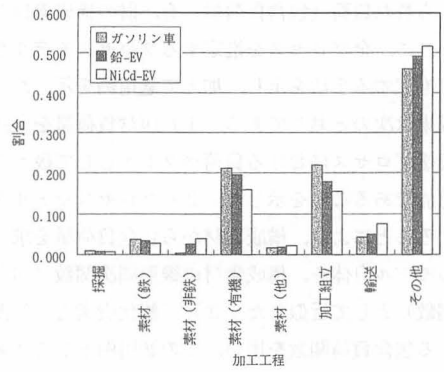


図-6 包含労働投入量の加工工程別内訳

接必要な負荷を計上している。(乗用車部門でモータ、電池抜きの「乗用車」を組み立て、それにモータ、電池を「直接負荷なしに」搭載したものをEVとしている。)

本研究では、鉛電池及びNiCd電池を使用する2種類のEVを比較対象としている。但し、これらのEVは使用する電池が異なるだけであり、その他の車体、モータは同じものを用いていることとする。表2、3、4、5に、本研究で用いた車体、モータ、鉛電池、NiCd電池の各構成素材量<sup>注7)</sup>を示す。

4.2 分析結果

本研究では、鉛電池EV1台に対して、表2に記した素材構成の車体1台、表3に記したモータ1台、表4に記した鉛電池38個<sup>注8)</sup>が必要であると仮定した。また、NiCd電池EVには、表5に記したNiCd電池19個<sup>注8)</sup>が必要であると仮定した。3車種の包含炭素排出量、包含労働投入量の分析結果を表6に示す。但し、この表ではガソリン車の負荷量を1に基準化している。

注7) 鉛電池、NiCd電池の構成素材量データはメーカーのヒアリングにより作成。

これより、NiCd電池搭載EVよりも鉛電池搭載EVの方が、鉛電池搭載EVよりもガソリン車の方が、包含負荷が少ないという結果が得られる。尚、EVでは電池の包含負荷の占める割合がかなり大きいことが分かる。

次に、これら3車種の包含負荷量の内訳を分析する。図-3<sup>注9)</sup>、4に包含炭素排出量の燃料源別内訳と加工工程別内訳をそれぞれ示す。図-5、6に包含労働投入量の労働種別内訳と加工工程別内訳をそれぞれ示す。

但し、図-3における包含炭素排出量の燃料源別分析では、1次エネルギー表示を用いている。従って、「電気」には、対象とするガソリン車1台を生産するために直接・間接に消費された電力量を発電する際に排出された炭素量が計上されており、その他の石炭、石油由来の炭素排出量には発電に要した分は含まない。

注8) 車体1500ccクラスのEVでは通常60Ah(12V)の電池を24個搭載する。本研究ではこれを外挿し、100Ah(12V)を19個、50Ah(12V)を38個搭載すると仮定した。

注9) ガスには高炉ガスも含まれる。生産工程で高炉ガスを多く発生するプロセスを含む場合、「ガスをネットで生産」する、即ち「ガスをマイナスに消費する」可能性がある。

図-4、6における加工工程別分析結果は、直接及び全ての間接プロセスを8つの工程に集計して表している。

図-3～6を総合すると、ガソリン車より複雑な加工工程を必要とすると思われるNiCd電池搭載EVにおいて、非鉄系の素材加工や、サービスなど「その他」の加工工程による負荷が包含負荷に占める割合が大きく、また、加工の際電気を比較的多く用いていることが分かる。

## 5. 結論と今後の課題

### 5.1 結論

乗用車の製造時に、直接及び間接プロセスに於いて、加えられた負荷（包含負荷量）を、財の構成素材を手掛かりに、全プロセスを推定するプロセスモデルを用いて推定する手法を示し、加えて適用例を示した。主な成果は次のとおりである。1) 包含負荷量を全産業の直接プロセスにおける負荷ベクトルとして扱うことが可能であることを示した。2) プロセスモデルを解析することにより、構成素材から包含負荷量を求めるこのモデル自体を、構成素材の線形同次関数（包含負荷関数）として近似した。3) 二酸化炭素と、労働に関する包含負荷関数を用い、この適用例として従来型のガソリン車と電気自動車の分析を行った。

プロセスモデルを用いた分析の結果、排出炭素、労働投入の何れにおいても、ガソリン車に比べ、EVの「製造段階」での負荷が大きいという結果を得た。これにより、製品製造時にかかる労働投入の対価としての「コスト」や二酸化炭素排出などの「外部性」に関する分析が可能となった。また、乗用車のライフサイクルでは、走行時に起因する負荷が非常に大きいと思われるが、この部分に関しては対象製品のスペック（これは製造プロセスの情報とは異なり入手可能）から容易に算定できる。またその結果を用いることにより、ガソリン車とEVの本来の意味での比較が可能となるが、これは、本研究の「希薄な情報から複雑な製造過程の負荷を推定する」という趣旨から外れるので、他の機会に譲る。

### 5.2 今後の課題

乗用車の製造時の負荷分析のように、包含負荷の比較による製品の選択意思決定が、産業連関表の部門に集計された製品同士の間で行われる場合は、本研究で

提案した比較手法が有効であると考えられる。しかし、製品の代替性を越えて比較する場合や、製造のみならず、利用、廃棄などの製品のライフサイクルを通じての比較分析を必要とする場合は、各製品の包含負荷量の具体的な推定が必要となる。この種の分析には、現実を正確に表すことのできるプロセスモデルを用いる必要がある。

今回開発された部門モデル及びプロセスモデルでは、「一物一価」という産業連関分析の理論に整合的な仮定を用いて素材などの物理的フローがモデル化されているが、これは現実の物量ベースの取り引きを必ずしも的確に表していない場合がある<sup>注10)</sup>。また、現状の産業連関表では中間的工業製品の産業において集計が大きい部門分類となっており、これもモデルと現実との物理的フローのギャップをもたらす大きな原因となる。今後は、これらの課題を克服し、モデルによるプロセス推定を精度の高いものにしていくことが必要である。

## 参考文献

- 1) Bullard, C. W. and Herendeen R. A., Energy impact of consumption decisions, Proceedings of the IEEE, vol. 63 (1975) 484-493.
- 2) Bullard, C. W., Penner P. S., and Pilati D. A., Net energy analysis: Handbook for combining process and input-output analysis, Resources and Energy, vol. 1 (1978) 267-313.
- 3) 本藤祐樹, 西村一彦, 内山洋司, 産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量, (1996) 電力中央研究所研究報告Y95013
- 4) 本藤祐樹, 内山洋司, 産業連関表を用いた製品の素材消費量に関する分析, (1994) エネルギー・資源学会第13会研究発表会講演論文集
- 5) Nishimura, K., Hondo H. and Uchiyama Y., Derivation of Energy Embodiment Functions to Estimate the Embodied Energy form the Material Content, Energy, vol. 21 (1996) 1247-1246.
- 6) Nishimura, K., Hondo H. and Uchiyama Y., Estimating the Embodied Carbon Emissions from the Material Content, Energy Conversion and Management, vol. 38 (1997) S589-S594.
- 7) 西村一彦, 技術代替を考慮した一般均衡の計算法, 電力経済研究 vol. 37 (1996) 59-66.
- 8) Suga, M., Hondo H., Estimating the Emissions of Fossil-fired and Nuclear Power Plants, Working Paper, The Harvard-Japan Project on Energy and Environment (1997)
- 9) 厚生省 平成2年度産業廃棄物の業種別排出量
- 10) 厚生省 平成2年度産業廃棄物の種類別排出量
- 11) 総務庁 平成2年度産業連関表基本表
- 12) 総務庁 平成2年度産業連関表雇用表
- 13) 東京都清掃局 東京都産業廃棄物実態調査報告書
- 14) 自動車技術会編, 自動車の素材技術 (1996), 朝倉書店

注10) 本藤ら<sup>1)</sup>は、産業連関表を用いて求められる乗用車単位当りの素材誘発量が、実際の平均的乗用車の構成素材量よりも少ないことを示している。