

## ■ 研究論文 ■

## 産業廃棄物リサイクルによる環境負荷の低減効果分析

## Recycling Effects of Industrial Wastes on Reduction of Environmental Burdens

廣部 祐司\*・内山 洋司\*\*

Yuji Hirobe Yohji Uchiyama

(原稿受付日1998年9月28日, 受理日1999年4月14日)

## Abstract

The amounts of industrial wastes have been increasing year by year in Japan. Local governments start to reduce industrial wastes in order to protect their environment. Recycling is one of the most useful approach to reduce the quantity of industrial waste disposal. Many guidance manuals are available which instruct people on how to conduct recycling assessment. However, these assessments typically focus on a particular product and do not consider the entire industrial system.

The study aims to develop an inventory method which investigates recycling effects of industrial wastes with the entire industrial system in an input/output table. We also developed a database of environmental burdens such as energy requirements, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and nineteen industrial wastes for thirty three different industrial sectors in the input/output table. We focus on the recycling effects on seven different fuel recyclable wastes among the nineteen industrial wastes.

The simulation of recycling effect indicates the following results ;

- (1) Fuel recycling contributes to reduce energy consumption of the entire industry.
- (2) In order to reduce the amounts of air emissions, electricity recycling is more effective than other recycling options.
- (3) Material recycling has much advantage to reduce the total amount of industrial wastes.

## 1. はじめに

地球規模の環境問題の高まりにより、大量生産と大量消費、および大量廃棄で成り立つ現代の工業化社会のあり方が問われ始めている。そして大量の資源消費と廃棄物を低減する解決策の1つに、リサイクルが注目されている。リサイクルは、社会における廃棄物量の低減とエネルギーや資源の節約に期待されており、循環型社会の構築手段とされている。

リサイクルによる環境負荷の低減に関する研究は、これまで古紙や金属屑などを対象に、ライフサイクル分析や産業連関分析が行われてきている<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。しかし既存の研究は、特定品目をリサイクルした場合のCO<sub>2</sub>排出量を分析するなど、リサイクル物質も分析項目も限定されている。社会全体の廃棄物をリサイクルした効果の分析やリサイクル方法の比較など、総合的な視点からリサイクルを検討した例はまだない。

本研究は、社会全体からみて、省エネルギーや環境負荷の低減に貢献できるリサイクル法が、次の2つの方法のうちどちらかを明らかにすることを目的としている。2つの方法とは、廃棄物を素材として利用するマテリアルリサイクルと、エネルギーとして利用するサーマルリサイクルである。そのことから、産業廃棄物のうち、マテリアルとサーマルの両方の用途にリサイクルできる7種類の有機系廃棄物を分析の対象に選んだ。また産業全体からみたリサイクル効果を明らかにするため、分析方法に産業連関分析法<sup>2)</sup>を用いた。分析には19種の産業廃棄物についての業種別排出量が要求されるため、本研究では各都道府県データをもとに、デトロイト法により全国大の排出量データを作成した。

## 2. 産業廃棄物のリサイクル効果推計方法

## 2.1 推計方法の概要

リサイクル効果の推計方法は、デトロイト法による産業廃棄物の業種別排出量の推計と、産業廃棄物のリサイクル効果分析からなっている。全体構成を図1に示す。リサイクル効果分析では、産業廃棄物を排出す

\* ㈱日立製作所 公共情報事業部システム開発部第二グループ  
〒136-8632 東京都江東区新砂1-6-27

\*\* ㈱電力中央研究所 経済社会研究所上席研究員  
〒100-0011 東京都千代田区大手町1-6-1

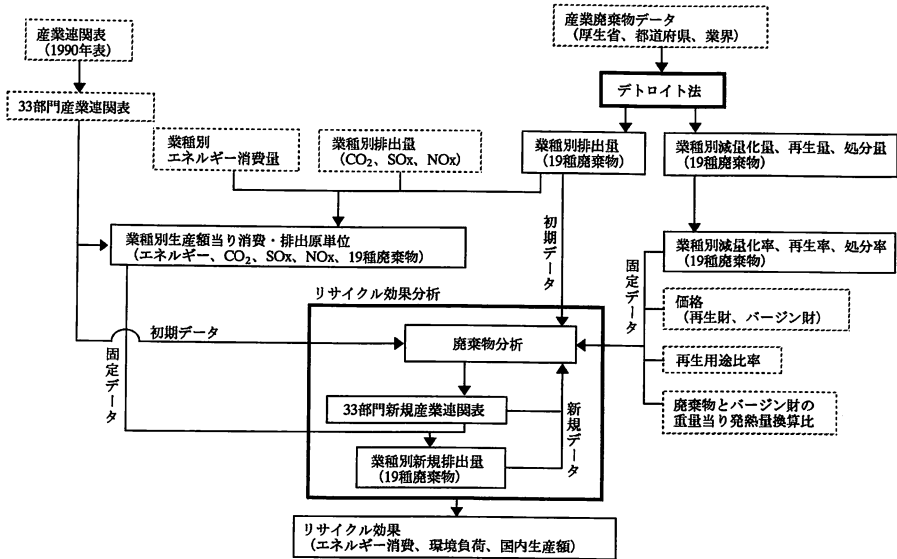


図1 推計方法の全体構成

る業種と産業連関表の業種が対応しなければならぬ。本研究で検討した業種分類は、厚生省が産業廃棄物(表1)について検討している業種分類を基本に33業種とした(表2)。厚生省の分類は33業種であるが、そのうち1部門に統一されている電気・ガス・水道部門を分割した。それは、本研究の分析が、それらの部門から排出されるCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>に力点を置いているためである。その他、厚生省分類の公務部門はサービス部門に、武器製造業はその他製造業に含めた。

リサイクル効果分析を行うためには、各産業廃棄物排出量が、業種別に行列で表わされていなければならない。厚生省のデータ<sup>5)</sup>は、その行列の行合計と列合計が示されているだけで、行列の要素がない。それに対して、各都道府県のデータは行列で示されている。本研究では、全国大の「33の業種×19種類の産業廃棄物の排出量」を示す行列を、都道府県の行列データをもとに推計した。

行列の推計方法として、排出量の推計という計算の性格と簡便性とを考慮し、交通計画で交通量の推計に使われているデトロイト法<sup>6)</sup>を用いた。デトロイト法とは、次式を用いた収束計算で、行と列の合計が合致するように行列の要素を求めるものである。

$$T_{ij}^n = T_{ij}^{n-1} \frac{A_j}{a_i^{n-1}} \frac{G_j}{g_j^{n-1}} \frac{t^{n-1}}{T} \quad (1)$$

ただし、 $T_{ij}^n$ はn回目の収束計算を行った行列であり、 $a_i^{n-1}$ は $T_{ij}^{n-1}$ の行合計値、 $g_j^{n-1}$ は $T_{ij}^{n-1}$ の列合計値、 $t^{n-1}$

表1 19種産廃分類

1	燃え殻
2	汚泥
3	廃油
4	廃酸
5	廃アルカリ
6	廃プラスチック類
7	紙くず
8	木くず
9	繊維くず
10	動植物性残渣
11	ゴムくず
12	金属くず
13	ガラス・陶磁器くず
14	鉱さい
15	建設廃材
16	ばいじん
17	家畜の糞尿
18	家畜の死体
19	その他の産業廃棄物

表2 33産業部門

一次産業	1	農業
	2	林業
	3	漁業
二次産業	4	鉱業
	5	建設業
	6	食料品
	7	飲料・飼料・たばこ
	8	繊維工業
	9	衣服その他繊維製品
	10	木材・木製品
	11	家具・装飾品
	12	パルプ・紙・紙加工
	13	出版・印刷・関連連
	14	化学工業
	15	石油製品・石炭製品
	16	プラスチック製品
	17	ゴム製品
	18	なめし皮・同製品
	19	窯業・土石製品
	20	鉄鋼業
21	非鉄金属	
22	金属製品	
23	一般機械器具	
24	電気機械器具	
25	輸送用機械器具	
26	精密機械器具	
27	その他製造業	
三次産業	28	電気
	29	ガス・熱供給
	30	水道
	31	運輸・通信業
	32	卸売り・小売業・飲食店
	33	サービス業

は $T_{ij}^{n-1}$ の全要素の合計値、 $A_i$ は求める行列の行合計値、 $G_j$ は求める行列の列合計値、 $T$ は求める行列の全要素の合計値である。

2.2 産業連関表を用いたリサイクル効果分析

産業連関表を用いたリサイクル効果の分析には、すでに特定の廃棄物を対象に分析した吉岡ら<sup>2) 3) 4)</sup>の論文がある。吉岡らは、廃棄物関連部門を新たに追加し

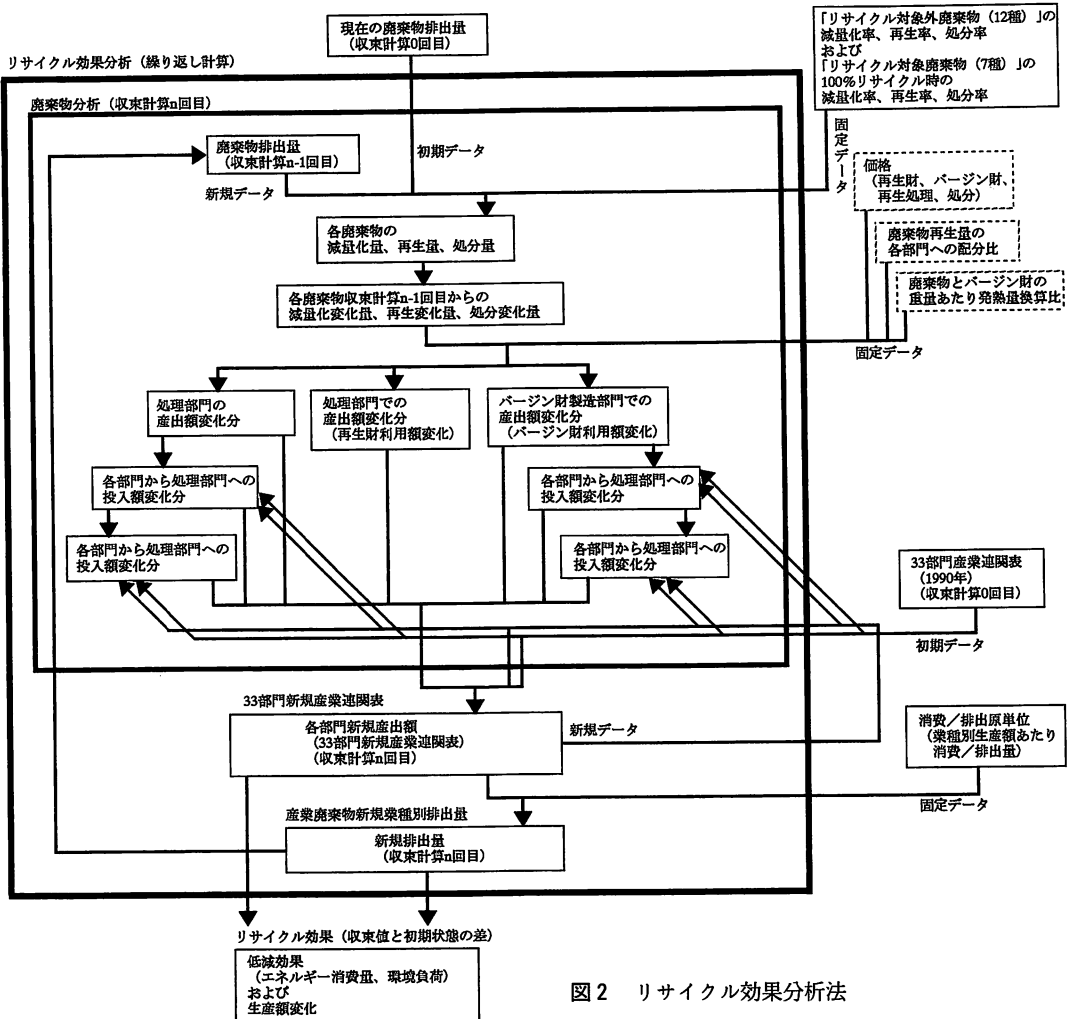


図2 リサイクル効果分析法

た産業連関表を用いて分析している。しかし、19種類の各廃棄物について統計データが不十分な段階で、関連部門を詳細に洗い出し、それらを産業連関表の部門に追加することは不可能である。そこで本研究では産業部門数を33とし、また廃棄物再生処分関連の部門を廃棄物処理部門とし、サービス業部門に含めて検討した。分析では、廃棄物リサイクルの実態に合わせて中間需要を作成し、さらに中間投入の増減を、現在の産業連関表(1990年表)の投入係数を使って算出した。

産業連関表を用いた本研究のリサイクル効果分析の詳細な流れを図2に示す。概括すると、まず、リサイクル率を設定値に変化させ、産業活動が収束するまで繰り返して新産業連関表を算出する。それにより産業廃棄物の減量化量、再生量、処分量を安定させる。その安定状態と、リサイクル率を変える前の状態との環境負荷量を比較して、リサイクル効果を求める。

繰り返し計算では、計算n-1回目の産業連関表の内生部門要素 $P_{ab}^n$ と、リサイクル率の変化に対応する各種変化額 $\Delta P1 \sim \Delta P7$ をもとに、次式のようにして $P_{ab}^n$ を求める。

$$P_{ab}^n = P_{ab}^{n-1} + (\Delta P1_{wb}^n + \Delta P2_{wb}^n + \Delta P3_{vr}^n + \Delta P4_{aw}^n + \Delta P5_{av}^n + \Delta P6_{ab}^n + \Delta P7_{ab}^n) \quad (2)$$

ここで、 $n$ は繰り返し計算回数、 $a$ は内生部門表の列要素、 $b$ は内生部門表の行要素、 $w$ は廃棄物処理部門、 $v$ はバージン財製造部門、 $r$ は再生財利用部門を表す。 $\Delta P1 \sim \Delta P7$ の計算には、産業廃棄物の減量化量 $M_{b,k}$ 、再生量 $R_{b,k}$ 、処分量 $D_{b,k}$ が必要である。減量化率、再生率、処分率は固定値としているので、 $P_{ab}^n$ をもとに次式のように、 $X_a^n$ を介してそれらの量が求まる。

$$X_a^n = \sum_{b=1}^{33} P_{ab}^n + F_a$$

(転値)  $X_a^n \rightarrow X_b^n$

$$EU_{b,k} \cdot X_b^n = E_{b,k}^{n+1} = M_{b,k}^{n+1} + R_{b,k}^{n+1} + D_{b,k}^{n+1} \quad (3)$$

ここで、 $EU_{b,k}$ はb部門の生産額あたりk廃棄物排出原単位、 $X_a^n$ はa部門の生産額、 $F_a$ はa部門財の最終需要、 $E_{b,k}^{n+1}$ はb部門のk廃棄物排出量である。

排出量 $E_{b,k}^{n+1}$ が収束したとき、新産業連関表も収束する。その表と生産額あたり環境負荷排出量をもとに各環境負荷量が計算できる。すなわち、内生部門要素の収束値 $P_{ab}^\infty$ を用いて、初期状態x(例:n=0)から収束状態までの生産額変化 $\Delta X_a$ および環境負荷の変化量 $\Delta E_{b,k}$ が次のようにして算出できることになる。

$$\left. \begin{aligned} X_a^\infty &= \sum_{b=1}^{33} P_{ab}^\infty + F_a \\ \Delta X_a &= X_a^\infty - X_a^x \\ \text{(転値)} \quad \Delta X_a &\rightarrow \Delta X_b, \quad X_a^\infty \rightarrow X_b^\infty, \quad X_a^x \rightarrow X_b^x \\ \Delta E_{b,k} &= EU_{b,k} \cdot \Delta X_b \\ (\Delta E_{b,k} &= EU_{b,k} \cdot (X_b^\infty - X_b^x)) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ただし、 $EU_{b,k}$ はエネルギー消費や大気排出物の消費/排出原単位にも拡大する。計算は、マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの各方法について別々に行うことになる。

研究では、現状のリサイクル率から、およびリサイクル率を0%にしたときから、リサイクル率を100%に変化させたときの効果を、それぞれ分析している。また、本計算は、廃棄物一種のリサイクルだけでなく複数の廃棄物を同時にリサイクルする場合にも成り立つ。3章では、完全なポテンシャルを分析するため、対象とした7種の廃棄物のリサイクル率を、同時に0%から100%に変化させたときの効果を述べた。

以下、繰り返し計算で用いる各種変化額 $\Delta P1 \sim \Delta P7$ の詳細を解説する。始めに、リサイクル率を変化させたときの、リサイクル関連部門(処理処分部門、バージン材部門)の産出額変化分( $\Delta P1 \sim \Delta P3$ )を求める。次にその変化分に対する投入額変化量( $\Delta P4, \Delta P5$ )を求め、さらに全ての部門での二次的な投入額変化量( $\Delta P6, \Delta P7$ )を求める。そしてそれら全ての変化分を踏まえた産業連関表を作ることになる。

まず、現在の廃棄物排出量は繰り返し計算1回目に想定する産業活動で用いるので、その内訳について、

減量化量を $M_{b,k}^1$ 、再生量を $R_{b,k}^1$ 、処分量を $D_{b,k}^1$ と表す。すると現在の廃棄物処理部門の産出額 $P_{wb}^0$ は、処理処分額と再生財販売額の合計として次式で表現できると考える。

$$P_{wb}^0 = P1_{wb}^0 + P2_{wb}^0 = \sum_{k=1}^{19} (MC_k^1 \cdot M_{b,k}^1 + RC_k \cdot R_{b,k}^1 + DC_k \cdot D_{b,k}^1) + \sum_{k=1}^{19} \{ UC_{b,k} \cdot (\sum_{b=1}^{33} R_{b,k}^1) \cdot Q_{b,k} \}$$

ここで、 $k$ は19種産業廃棄物( $k=1 \sim 7$ はリサイクル対象、 $k=8 \sim 19$ はリサイクル対象外)、0は繰り返し計算0回目(現在)を表す。また、 $P1_{wb}^0$ は処理処分費、 $P2_{wb}^0$ は再生財販売額、 $UC_{b,k}$ はb部門が利用するk廃棄物の再生財単価、 $Q_{b,k}$ はk廃棄物再生量のb部門への配分比、 $MC_k, RC_k, DC_k$ はそれぞれk廃棄物の減量化単価、再生単価、処分単価を表す。

繰り返し計算n-1回目の廃棄物処理部門の産出額 $P_{wb}^{n-1}$ は、次式のように表せると考える。

$$P_{wb}^{n-1} = P1_{wb}^{n-1} + P2_{wb}^{n-1} = \sum_{k=1}^{19} (MC_k^n \cdot M_{b,k}^n + RC_k \cdot R_{b,k}^n + DC_k \cdot D_{b,k}^n) + \sum_{k=1}^{19} \{ UC_{b,k} \cdot (\sum_{b=1}^{33} R_{b,k}^n) \cdot Q_{b,k} \}$$

ただし、現在の状態からリサイクル率を100%にした場合、リサイクル対象廃棄物排出量の内訳のうち、処分量は0となる。例えば、繰り返し計算1回目における廃棄物処理部門の産出額 $P_{wb}^1$ は、次式の通りである。

$$P_{wb}^1 = \sum_{k=1}^{19} (MC_k^2 \cdot M_{b,k}^2 + RC_k \cdot R_{b,k}^2 + DC_k \cdot D_{b,k}^2) + \sum_{k=1}^{19} \{ UC_{b,k} \cdot (\sum_{b=1}^{33} R_{b,k}^2) \cdot Q_{b,k} \} = \sum_{k=1}^7 (MC_k^1 \cdot M_{b,k}^1 + RC_k \cdot (R_{b,k}^1 + D_{b,k}^1) + DC_k \cdot 0)$$

$$+ \sum_{k=1}^7 [ UC_{b,k} \cdot \{ \sum_{b=1}^{33} (R_{b,k}^1 + D_{b,k}^1) \} \cdot Q_{b,k} ] + \sum_{k=8}^{19} (MC_k^1 \cdot M_{b,k}^1 + RC_k \cdot R_{b,k}^1 + DC_k \cdot D_{b,k}^1) + \sum_{k=8}^{19} \{ UC_{b,k} \cdot (\sum_{b=1}^{33} R_{b,k}^1) \cdot Q_{b,k} \}$$

また、 $MC_k^n$ は、次式の通りであり、独立した値とはみなさない。

$$MC_k^n = \frac{R_{b,k}^n \cdot RC_k + D_{b,k}^n \cdot DC_k}{R_{b,k}^n + D_{b,k}^n}$$

それでは、廃棄物のリサイクル率を高めたと想定する。このとき、廃棄物処理部門で、廃棄物の再生処理が増え、処分が減る。産業連関表上では、廃棄物処理部門から各部門への処理処分サービス産出額の変化として現れる ( $\Delta P1_{wb}^n$ )。また、再生財を利用する部門では、再生財利用量が増え、その分バージン財利用量が減る。産業連関表上では、再生財製造部門とバージン財製造部門から再生財利用部門への産出額変化として現れる ( $\Delta P2_{wb}^n$ ,  $\Delta P3_{vr}^n$ )。廃棄物処理部門の産出額変化 ( $\Delta P1 + \Delta P2$ ) とバージン財製造部門の産出額変化  $\Delta P3$  は、それぞれ次の式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta P1_{wb}^n &= \sum_{k=1}^{19} (MC_k^n \cdot M_{b,k}^n - MC_k^{n-1} \cdot M_{b,k}^{n-1} + RC_k \cdot \Delta R_{b,k}^n + DC_k \cdot \Delta D_{b,k}^n) \\ \Delta P2_{wb}^n &= \sum_{k=1}^{19} \{ UC_{b,k} \cdot (\sum_{b=1}^{33} \Delta R_{b,k}^n) \cdot Q_{b,k} \} \\ \Delta P3_{vr}^n &= \sum_{k=1}^{19} \{ VC_{vr,k} \cdot (-\sum_{b=1}^{33} \Delta R_{b,k}^n) \cdot Q_{b,k} \cdot S_k \} \end{aligned} \right\} (5)$$

ここで、 $VC_{vr,k}$  は k 廃棄物の再生財と代替するバージン財の単価、 $S_k$  は k 廃棄物サーマルリサイクル時のバージン財に対する発熱量換算比である。ただし、リサイクルの方法によって、 $Q_{b,k}$ ,  $S_k$  の値は変化する。そして、 $\Delta R_{b,k}^n$ ,  $\Delta D_{b,k}^n$  は、下式の通りである。

$$\Delta R_{b,k}^n = R_{b,k}^n - R_{b,k}^{n-1}$$

$$\Delta D_{b,k}^n = D_{b,k}^n - D_{b,k}^{n-1}$$

また、重油代替の時の再生財とバージン財の代替比率は、発熱量が同じになるようにする。電気代替の時は、発熱量を電力量に換算し、電力量が同じになるよ

表 3 処理処分価格

廃棄物の種類	処理費用 (万円/トン)	処分費用 (万円/トン)
燃え殻	0.51	0.31
汚泥	0.13	0.40
廃油	1.81	1.03
廃酸	0.10	0.17
廃アルカリ	0.27	0.28
廃プラスチック類	1.52	1.32
紙くず	0.72	0.50
木くず	0.31	0.50
繊維くず	1.25	1.44
動植物性残渣	0.49	0.85
ゴムくず	1.25	1.70
金属くず	0.90	1.00
ガラス・陶磁器くず	0.32	0.40
鉱さい	0.11	0.15
建設廃材	0.57	0.28
ばいじん	0.10	0.34
家畜の糞尿		
家畜の死体		
その他の産業廃棄物	0.79	0.57

うにする。また電気代替の発電効率は0.2とする。

さて、式 (5) の産出額変化は、同時に廃棄物処理部門、バージン財製造部門への投入額変化をもたらす。それぞれを  $\Delta P4$ ,  $\Delta P5$  と表すと、投入ベクトルの要素比は基本的に不変と考えられることから、投入ベクトルの各要素変化額は投入係数に比例するとして、次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta P4_{aw}^n &= \left\{ \sum_{b=1}^{33} (\Delta P1_{wb}^n + \Delta P2_{wb}^n) \right\} \cdot \frac{P_{aw}^{n-1}}{X_w^{n-1}} \\ \Delta P5_{av}^n &= \left( \sum_r \Delta P3_{vr}^n \right) \cdot \frac{P_{av}^{n-1}}{X_v^{n-1}} \end{aligned} \right\} (6)$$

上式の変化は、全部門の産出額変化に相当し、この変化がもたらす産業全体への二次波及効果を検討する必要がある。  $\Delta P4$ ,  $\Delta P5$  の二次波及をそれぞれ  $\Delta P6$ ,  $\Delta P7$  と表すと、変化額は、式 (6) の時と同様に、次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta P6_{ab}^n &= \Delta X6_b^n \cdot \frac{P_{ab}^{n-1}}{X_b^{n-1}} \\ \Delta P7_{ab}^n &= \Delta X7_b^n \cdot \frac{P_{ab}^{n-1}}{X_b^{n-1}} \end{aligned} \right\} (7)$$

ただし、

$$\Delta X6_b^n \leftarrow \sum_w \Delta P4_{aw}^n$$

$$\Delta X7_b^n \leftarrow \sum_v \Delta P5_{av}^n$$

以上の  $\Delta P1 \sim \Delta P7$  までと  $P_{ab}^{n-1}$  とによって、 $P_{ab}^n$  が求められる。

### 3. リサイクル効果の推計結果

#### 3.1 利用データ

今回の分析でリサイクル対象とした有機廃棄物 7 種は、廃油、廃プラスチック類、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残渣、ゴムくずである。7 種合計で 2000 万トン弱の排出量であり、産廃全体の 5% 弱の規模である。本研究では、この 7 種の廃棄物を同時にリ

表 4 廃棄物の発熱量

項番	リサイクル対象 廃棄物の種類	発熱量設定値 (kcal/kg)
1	廃油	油泥のみ4500 その他7000
2	廃プラスチック類	廃プラ6000 廃タイヤ7000
3	紙くず	4250
4	木くず	4500
5	繊維くず	3500
6	動植物性残渣	3000
7	ゴムくず	5780

表 5 廃棄物の炭素含有率

項番	廃棄物	C含有率 (%)
1	廃油	55
2	廃プラスチック類	58
3	紙くず	48
4	木くず	50
5	繊維くず	44
6	動植物性残渣	46.8
7	ゴムくず	53

表6 廃棄物の再生用途比

再生用途比率 (%)	鉄鋼原料	非鉄金属・ 貴金属材料	燃料	肥料・ 土壌改良	飼料	建設材料	パルプ・紙 原材料	ガラス 原材料	プラスチック 原材料	その他	計
燃え殻	0.01	0.00	0.00	55.34	0.00	44.65	0.00	0.00	0.00	0.00	100
汚泥	0.58	0.74	1.81	30.11	0.26	63.02	0.00	0.00	0.00	3.48	100
	有機性汚泥	1.60	0.00	5.99	91.54	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	100
	無機性汚泥	0.15	1.06	0.02	3.82	0.00	89.98	0.00	0.00	4.97	100
廃油	0.00	0.05	88.35	0.05	0.44	3.93	0.00	0.00	0.00	7.16	100
	一般廃油	0.00	0.06	99.34	0.06	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	100
	廃浴剤	0.00	0.00	38.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.42	100
	固形油	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100
油泥	0.00	0.00	56.46	0.00	0.00	43.54	0.00	0.00	0.00	100	
廃酸	0.00	21.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.44	100
廃アルカリ	0.00	12.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.48	100
廃プラスチック類	0.01	0.07	40.04	0.00	0.00	3.31	0.00	0.00	17.46	39.13	100
	廃プラスチック	0.02	0.23	2.09	0.00	0.00	11.80	0.00	61.92	23.93	100
	廃タイヤ	0.00	0.00	54.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	45.04	100
紙くず	0.00	0.00	40.96	0.04	0.00	0.00	59.00	0.00	0.00	0.00	100
木くず	0.00	0.00	77.79	19.42	0.02	1.28	1.49	0.00	0.00	0.00	100
繊維くず	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100
動植物性残渣	0.00	0.00	0.35	35.20	64.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
ゴムくず	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100
金属くず	98.14	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
ガラス・陶磁器くず	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	76.33	0.00	23.61	0.00	0.00	100
鉱さい	0.00	7.04	0.00	2.09	0.00	90.87	0.00	0.00	0.00	0.00	100
建設廃材	0.21	0.05	0.00	0.00	0.00	99.74	0.00	0.00	0.00	0.00	100
ばいじん	0.00	61.21	0.00	0.00	0.00	30.93	0.00	0.00	0.00	7.86	100
家畜の糞尿	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
家畜の死体	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
その他の産業廃棄物	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
計 (糞尿死体その他を除く)	1.80	0.52	3.77	7.17	4.95	80.56	0.29	0.07	0.10	0.79	100

表7 再生財・バージン財の価格と製造部門と利用部門

項番	用途	再生財	再生財 価格 (千円/ト)	バージン財	バージン財 価格 (千円/ト)	バージン財 製造部門	再生財・バージン財 利用部門			
1	鉄鋼原料		6.13	鉄鋼石	6.13	金属鉱物 (鉱業)	鉄鋼			
2	非鉄金属・ 貴金属材料	再生対象廃棄物ほか ばいじん以外から	7.32	非鉄金属鉱石	7.32	非金属鉱物 (鉱業)	非鉄金属			
		ばいじんから	135.31	亜鉛鉱	135.31	金属鉱物 (鉱業)				
3	燃料		17.91	A重油	25.73	石油製品 (石油石炭製品)	各部門			
4	肥料・ 土壌改良材	(再生対象の 7廃棄物から)	30.43	肥料・ 土壌改良材	20.15	飼料・有機質肥料 (飲料・飼料・たばこ)	農業			
		燃え殻・鉱さいから	80.00							
		汚泥から	15.00							
		糞尿・死体から	25.50							
5	飼料		31.35	混合飼料	44.19	飼料・有機質飼料 (飲料・飼料・たばこ)				
6	建設材料	アスファルト	6.95	アスファルト	20.95	石油製品 (石油石炭製品)	建設			
		プラスチック建材	369.31	木材	113.84	木材・木製品				
		木材	6.59							
		セメント原材料 (燃え殻・汚泥)	0.74					石灰石	0.74	非金属鉱物 (鉱業)
		セメント原材料 (ばいじん)	9.90					粘土	9.90	非金属鉱物 (鉱業)
コンクリート骨材	2.23	コンクリート骨材	2.23				非金属鉱物 (鉱業)			
7	パルプ・紙 原材料	パルプ	14.78	パルプ	83.58	パルプ (パルプ・紙・紙加工品)	パルプ・紙・紙加工品			
		木材チップ	21.61	木材チップ	21.61	木材・木製品				
8	ガラス原材料	珪石等	1.69	珪石等	1.69	非金属鉱物 (鉱業)	窯業			
9	プラスチック 原材料	合成樹脂	100.00	合成樹脂	231.33	合成樹脂 (化学工業)	プラスチック製品			
10	その他	溶剤	203.75	溶剤	203.75	有機化学基礎・中間製品 (化学工業)	各部門			
プラスチック資材		448.60	プラスチック資材	448.60	プラスチック製品	各部門				
タイヤ		911.14	タイヤ	911.14	ゴム製品	ゴム製品				
紡績原材料		36.14	紡績原材料	1493.13	繊維工業	繊維工業				
再生ゴム		121.22	合成ゴム	381.00	合成ゴム (化学工業)	ゴム製品				
窯業原料 (汚泥から)		0.74	石灰石	0.74	非金属鉱物 (鉱業)	窯業				
窯業原料 (ばいじんから)		9.90	粘土	9.90	非金属鉱物 (鉱業)	窯業				
酸		10.78	硫酸	10.78	無機化学中間製品 (化学工業)	各部門				
アルカリ	53.20	カセイソーダ	53.20	無機化学中間製品 (化学工業)	各部門					

注1) 再生財製造部門は、家畜の糞尿と家畜の死体以外はすべて廃棄物処理処分部門とした。糞尿死体の処理は農業部門内で行われ、産業連関表に現れないとした。

サイクルした場合の効果を分析した。リサイクル方法としては、マテリアル代替、重油代替、電気代替の3種を比較した。分析にあたって必要なデータは、各種資料<sup>7) 8) 9) 10) 11)</sup>を調査して求めた。産業連関表が1990年表なので、できる限り1990年のデータを用いた。その中で、各廃棄物に対応する再生財とバージン財は、都道府県資料における再生用途分類を元に、各種資料<sup>12)</sup>から推定した。また再生財とバージン財の製造部門は、それを元に推定した。用いたデータを表3～7に示す。

それから、デトロイト法のn=0の初期値としては、東京、北海道、神奈川、愛知、兵庫など人口の多い24都道府県のデータを用いた。産業別人口、業種別排出量、及び種類別排出量を全国値と比較した結果、大勢として同じ傾向であり、廃棄物の構成比率の差異は、デトロイト法により丸められる。よって、24都道府県に全国の代表性をもたせてよいと判断した。

そして、分析にあたり、以下のような仮定をおいた。

①各産業から排出される環境負荷量は、各部門の生産額に比例し(従来の研究におけるCO<sub>2</sub>、エネルギー消費量の扱いと同様)、各産業の生産額あたり環境負荷排出量(排出原単位直接分)は不変である。

②家畜の糞尿、家畜の死体は農業部門で、それ以外の廃棄物は廃棄物処理部門で処理・処分されている。これは、産業連関表上で廃棄物の処理変化を想定して効果を把握するための仮定である。

③廃棄物処理部門が、廃棄物処理サービス、処分サービス再生財製造の、3つの財・サービスを提供している。産業連関表の原則を崩すことになるが、産業連関表の成り立ち等から今回の思考実験については構わないと判断した。

④マテリアルリサイクルの用途比は不変である。

⑤どの用途に再生する場合も再生価格は不変である。

⑥廃棄物のストック、処理処分施設の立地、財の輸出入、財の価格変化を考慮しない。

3.2 産業廃棄物の業種別排出量

デトロイト法による、産業廃棄物の業種別排出量推計結果を図3に示す。

特定業種から排出される廃棄物と、各業種から排出される廃棄物がある様子を全国大で描くことが出来た。

3.3 リサイクルによる環境負荷の低減効果

リサイクル効果の推計結果を表8に示す。表8は、7種の廃棄物を同時に100%リサイクルしたときのエネルギー消費、環境負荷(CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>)、GDPの増減率推計結果である(低減効果を正の値にした)。廃棄物をサマールリサイクルした場合の推計結果には、産業活動の変化によるエネルギー削減分(間接分)のほかに廃棄物の燃焼エネルギー利用によるエネルギー削減分(直接分)を含んでいる。同じようなことは、CO<sub>2</sub>排出量についても検討している(SO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>に

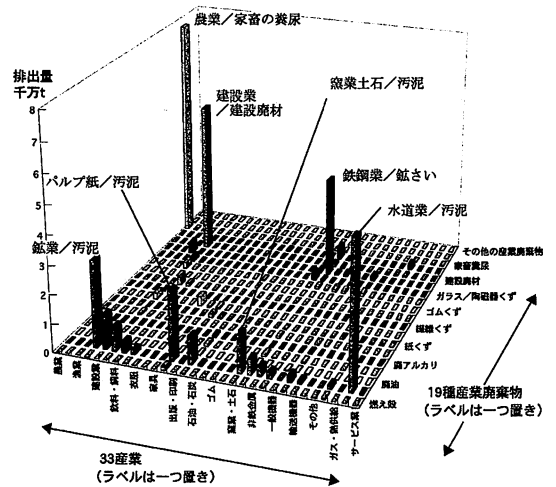


図3 産業廃棄物の業種別排出量

表8 リサイクルの効果推計結果

消費/排出量の低減率	エネルギー消費	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	産廃	GDP
単位	%	%	%	%	%	%
マテリアル代替	0.5667	0.4643	0.5435	0.3224	0.6345	0.2737
重油代替	1.5846 (0.0810)	-2.3828 (0.0906)	0.0418	0.0554	0.3745	0.0111
電気代替	1.1605 (0.7846)	-1.6334 (0.8399)	0.4795	0.2912	0.2109	0.0207
発熱量あたり低減量	エネルギー消費	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	産廃	GDP
単位	Tcal/Tcal					
マテリアル代替	0.3015					
重油代替	0.8431 (0.0431)					
電気代替	0.6174 (0.4174)					
投入量あたり低減量	エネルギー消費	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	産廃	GDP
単位	Tcal/t	t/t	kg/t	kg/t	kg/t	万円/t
マテリアル代替	0.0015	0.3582	0.5754	0.6524	188	17.86
重油代替	0.0042 (0.0002)	-1.8382 (0.0699)	0.0442	0.1121	111	0.73
電気代替	0.0031 (0.0021)	-1.2601 (0.6480)	0.5076	0.5894	62	1.35

注2) 重油代替および電気代替時の、エネルギー消費およびCO<sub>2</sub>排出量の値は直接間接効果の値で、( )内は間接効果。その他は全て間接効果。

ついでに直接分は考慮していない)。

推計によると、環境負荷の低減率は、リサイクルの方法にかかわらず、1%を越えていない。これは、今回検討したリサイクル財の量が、産業全体で利用される資材量に比べわずかであるため、リサイクルによる環境負荷の低減効果も小さくなるからである。

以下、7種同時にリサイクルした場合の、環境負荷低減効果の主な推計結果を説明する。

#### (1) エネルギー消費量

エネルギー消費量は、廃棄物の重油代替時および電気代替時に、間接効果でそれぞれ1.58%、1.16%低減する。間接効果のみでは、電気代替時の低減効果が0.78%で、最も高い。

それから、投入カロリーあたりのエネルギー消費量低減効果を間接効果のみで見ると、効果の大きい順に、電気代替>マテリアル代替>重油代替となっている。間接効果で見ると、重油代替>電気代替>マテリアル代替の順である。これは、重油代替の直接効果が間接効果の18~19倍と大きいからである。それに対して電気代替では、0.5~0.6倍である。

#### (2) 環境負荷

CO<sub>2</sub>排出量は、エネルギーリサイクルでは1.6~2.4%程度増加する結果になった。この増加は直接効果によるもので、間接効果のみで見ると、やや低減する。また間接効果による低減量は、電気代替時に大きく、重油代替時の約9倍低減する。これは、電気部門が、バージン財製造部門を含む各部門へ、しかも多くの財(電気)を供給していることによると考えられる。

SO<sub>x</sub>排出量は、廃棄物の重油代替による低減効果が0.04%と小さく、他の方法による効果の10分の1程度である。

NO<sub>x</sub>排出量は、SO<sub>x</sub>と同様の傾向を示す。ただし、重油代替の効果は他の方法の5分の1程度である。

産業廃棄物総量は、マテリアル代替時の低減効果が大きい。

#### (3) GDP (国内生産額)

GDPは、マテリアルリサイクルによる減額効果がサーマルリサイクルに比べて大きい。しかし今回の分析では、価格の変動影響や、部門設定等に問題があるので、経済への実際の波及を論じることは難しい。

## 4. まとめ

産業連関分析法による産業廃棄物のリサイクル効果、エネルギー消費、大気排出物(CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、

NO<sub>x</sub>)、19種廃棄物排出量、国内生産額について分析する手法を開発し、その分析に必要なデータベースを構築した。開発した手法により、サーマルリサイクルが可能な7種類の有機系産業廃棄物についてマテリアルリサイクルとサーマルリサイクル(重油代替、電気代替)の影響を産業全体で分析した結果、それぞれに以下に示す異なる効果があることが明らかになった。

①マテリアルリサイクルは、廃棄物排出量の削減に最も大きな効果がある。

②省エネルギーには、重油代替のサーマルリサイクルが有利である。

③CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の削減には、電気代替のサーマルリサイクルが有利である。

今後の課題としては、19種類の産業廃棄物ごとに、処理部門を分けられるようにして、リサイクルの分析精度を上げていく必要がある。また、今回の分析で扱わなかった12種の産業廃棄物や一般廃棄物についても検討し、リサイクル効果を総合的に評価することが望まれる。

## 参考文献

- 1) 石川雅紀;包装廃棄物リサイクルの可能性, 資源環境対策, 31巻, 9号(1995), 800~810.
- 2) 吉岡完治, ほか4名;環境分析用産業連関表の応用(4) -高炉セメント利用のすすめ-, イノベーション&I/Oテクニク, 4巻, 3・4号(1993), 21~28.
- 3) 菅幹雄, 石川雅紀;環境分析用産業連関表の応用(6) -故紙リサイクルの実証分析-, 産業連関, 6巻, 1号(1995), 35~45.
- 4) 池田明由, ほか4名;環境分析用産業連関表の応用(7) -鉄くず・高炉スラグ・フライアッシュ利用のシミュレーション-, 産業連関, 6巻, 2号(1995), 39~61.
- 5) 谷上裕;産業廃棄物対策の取り組み, 生活と環境, 38巻, 6号(1993), 24~30.
- 6) 森地茂, 山形耕一;新体系土木工学60 交通計画(1993), 技報堂.
- 7) 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-産業連関表のLCAへの適用について-, 電力中央研究所報告, Y95013(1996), 1~55.
- 8) 総務庁 ほか;平成2年(昭和60年)産業連関表-計数編(1)(1996), 全国統計協会連合会.
- 9) クリーン・ジャパン・センター;相談事例集(平成元年度)(1990), クリーン・ジャパン・センター.
- 10) 片岡静夫;燃焼・熱回収技術, プラスチックス, 2月号別冊(1994), 50~53.
- 11) クリーン・ジャパン・センター;木質系廃棄物の処理と再資源化技術(1986), クリーン・ジャパン・センター.
- 12) 東京ガス産業廃棄物問題研究会;産業廃棄物処理ガイドブック(1995), 電力新報社.