

3.3.2 分析対象とする廃棄物処理・リサイクルシステム構成

本研究では、廃棄物処理・リサイクルシステムの構成に関しては以下の10通りを想定する(表3.1)。

まず、家庭から排出されるすべての廃棄物を混合収集するシステムである。この形態は特に大都市において見られ、横浜市や大阪市など(平成4年現在)がこのタイプの収集形態となっている。この場合、すべての廃棄物を焼却処理することになる。

次は、可燃ごみと不燃ごみを分けるシステムである。これは資源ごみ収集を行っていない多くの自治体でなされている。可燃ごみを焼却し、不燃ごみと焼却残渣を最終処分することになる。実際には、焼却施設の反対運動や焼却炉の耐用発熱量等関係でプラスチックを不燃ごみとして扱っている自治体もある(例えば東京都特別区、静岡県沼津市)が、塩化ビニール以外は焼却しても、安全性の観点からはほとんど問題がなく、耐用発熱量についても、今回は設備更新とインフラチェンジの観点から焼却施設の建て替えを考慮しているので、プラスチックは可燃ごみとして扱うこととする。

さらに缶・びんの資源ごみ収集を行うのが次のシステムである。可燃ごみ、不燃ごみ、資源ごみの3種分別は、廃掃法にも示された典型的なタイプといえる。缶・びんはリサイクルされ、廃棄物処理ルートから回避される。

プラスチックのマテリアルリサイクルも行うのが次のシステムである。プラスチックのマテリアルリサイクルを行うために、缶・びんに加えて、PETボトルとPストレーの分別回収を行いリサイクルセンターに輸送する。可燃ごみ、不燃ごみについては、先ほどのシステムと同様にしている。PETボトルについては、分別収集している自治体がすでにあり、埼玉県春日部市、所沢市(平成6年度現在)などである。

プラスチックを油化してリサイクルするのが最後のシステムである。油化する場合にはPET以外の容器包装プラスチックが、分別収集の対象となる。したがって、缶・びんに加えてプラスチックをリサイクルすることになる。油化を目的として、容器包装プラスチックを分別収集している自治体はない。

表3.1 分析対象とする廃棄物処理・リサイクルシステム構成

収 集 時 の 分 類				分別 数	ごみ焼却発電	
					発電なし	発電あり
混合収集				1	①	⑥
可燃ごみ		不燃ごみ		2	②	⑦
可燃ごみ		不燃ごみ	缶・びん	3	③	⑧
可燃ごみ	PETボトル Pストレー (マテリアルR)	不燃ごみ	缶・びん	4	④	⑨
可燃ごみ	プラスチック (除PET、PVC) (油化)	不燃ごみ	缶・びん	4	⑤	⑩

3.3.3 廃棄物処理・リサイクルシステムの技術

廃棄物処理・リサイクルシステムで専門的な技術であるごみ発電と、油化、プラスチックのマテリアルリサイクルについて説明を行う。

1) ごみ発電

ごみ発電は、廃プラスチックや紙ごみを厨芥等と一緒に焼却し、その焼却熱をボイラー等で吸収させ、タービンを回し発電を行う。熱利用と比較して、焼却施設と需要家との間の地域的な不整合による需給インバランスを回避できるという利点がある。

ごみ発電施設の数は1994年末現在、約130カ所あり、これは全国約2000カ所の施設の6.5%にすぎないが、焼却能力で見ると約35%である。認可出力は1000kW~5000kWのものが多く、全体の70%を占める。発電効率は10%強の施設が多い。これは、排ガス中に水分が多いこと、PVC等起因する塩化水素等の腐食性ガスを含むことから、蒸気条件を一挙に高温・高圧にできないことによる¹¹⁾。

第1章でも述べたように、通産省では分別不可能な紙ごみ、厨芥、廃プラスチック等についてはサーマルリサイクルを進める必要があるとしている¹²⁾。サーマルリサイクルには、大きく分けて発電と余熱利用の2種類がある。平成6年の「長期エネルギー需給見通し」では、2000年(平成12年)には、現状(平成6年)の4倍のごみ発電容量にしたいという目標を掲げている。

2) 油化¹³⁾

有機物の乾留(無酸素のもとで熱を加えて、化合物の炭素結合を開裂して分子数の少ない分子に分解すること)によって得られた生成物を冷却すると液体が得られる。一般にプラスチックに対して乾留して液体にすることを油化と呼んでいる。無酸素雰囲気中で約500~550°Cに加熱すると低分子化して油状となる。

廃プラスチックの油化は、安定した一定の原料と異なり、多種多様に変化に富み、異物、挟雑物も多いため、安定した乾留の継続には技術的にも、運転操作上でもかなりの工夫が必要とされている。しかしながら、油化は大気汚染防止(N_x, S_x, HCl等の発生を抑制できる)等にも効果がある。

3) プラスチックのマテリアルリサイクル¹⁴⁾

使用済みのPETボトルは、回収された後、大きく分けると洗浄→異種ボトル選別→粉碎→分離精製→乾燥の工程によってフレーク樹脂になる。フレーク樹脂は緩衝材、日用雑貨等に利用されている。

廃プラスチック包装のマテリアルリサイクルは、素材別に行う必要がある。低密度ポリエチレン(LDPE)は菓子や冷凍食品の包装に、高密度ポリエチレンはスーパーマーケットの規格袋などに用いられている。ポリプロピレン(PP)は、パンや生菓子の包装に多く使われている。塩化ビニル(PVC)は、繊維、食品、雑貨等の包装に用いられている。ポリスチレン(PS)は、食器、化粧品等の容器、カップ等に需要が伸びている。

このようにプラスチックはいろいろな種類があり、見分けにくく単一素材を回収するのはかなり困難な状況にある。こうした状況を踏まえて、現在リサイクルされているのは、単一素材として回収しやすいPETボトルとPSTレーに限定されている。回収したPSTレーは、選別→粉碎→押出等の工程を経て家庭用品、合成木材、建設材などに再生されている。

3.4 評価のためのモデル

ここでは、回収プロセス、焼却プロセス等の各プロセスでモデル化したモデルの説明と、前提条件などを整理して示す。

3.4.1 回収モデル

回収モデルについてはいろいろ議論されている。本研究では、一番モデルが詳細かつ実証的なパラメーターを用いており、学術的にも評価の高いという意味で、石川雅紀氏が作った「グリッド・シティーモデル」をそのまま用いることにする。

さらに、このモデルは都市や政策の変数から、回収の際に回収車が走行する総走行距離（総輸送距離）と、必要な収集車台数を求めることができ、環境負荷の算定やコストの算出に適している。

ここでは、このモデル理論のうち、本研究で必要な部分を、石川論文¹⁵⁾より引用し、必要な変更を加える。

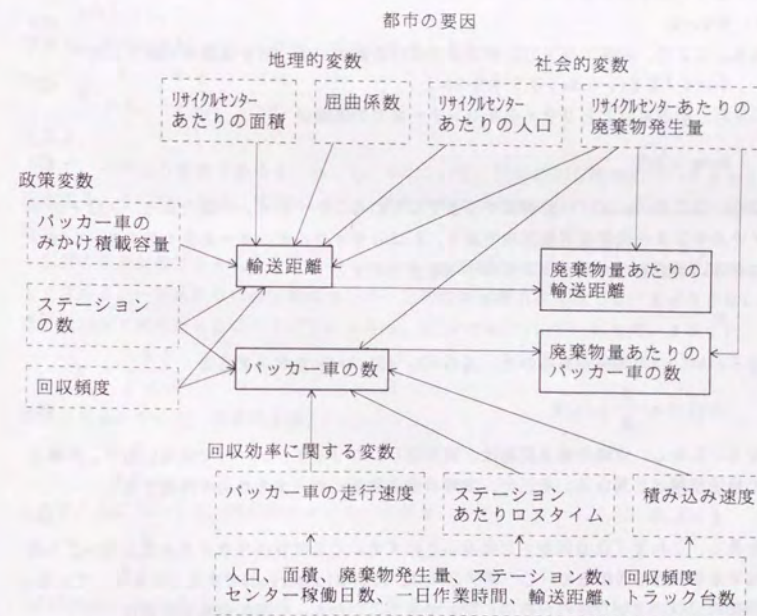


図3.3 グリッドシティーモデルの変数関係図

輸送距離とバッカー車の数が、モデルの出力である(図3.3)。

都市の要因は、地理的変数と社会的変数に分けられる。屈曲係数については日本における30自治体のデータの平均値を用いている。

バッカー車のみかけ積載容量は、京都市清掃局の家庭ごみ組成調査のデータを用いた。バッカー車のみかけ積載容量と、回収ステーションの数と、回収頻度が政策変数となる。回収効率に関する変数は、走行速度とロスタイムと積み込み速度によって決定される。回収効率に関する変数と総輸送距離との間に関係がないのは不思議に思われるかもしれないが、よく考えていただければ直接関係がないことがわかるはずである。

しかし、回収効率は回収システムの経済性に関する主要な変数であることは明らかである。

モデルでは、グリッド状の都市を考える。この都市では、回収車はリサイクルセンターあたりの回収範囲の中央にあるリサイクルセンターから出発する。回収エリアでは、回収車は最大積載量まで回収を行う。すなわち、回収エリアは回収車の能力によって決定される。ごみを満載すると回収車はセンターに戻り、一日に何度か往復する。

回収車がリサイクルセンターを出発し、戻ってくるまでに走行する距離 d は、回収するエリアとリサイクルセンターまでの往復距離(d_1)と回収エリアでの回収時の走行距離(d_2)の和であり、式で示すと

$$d = d_1 + d_2 \quad <1>$$

となる。ここで、回収エリアでの回収時の走行距離の和は、 M を収集車台数として

$$d_2 = 4 \cdot \{ \sum \sum (i-0.5+j-0.5) \} / M \cdot 2 \div L \quad <2>$$

で示され、回収エリアとリサイクルセンターまでの距離は

$$d_1 = m \cdot \sqrt{A/N} \quad <3>$$

となる。ここで、 m は、一回満載するまでにまわるステーションの数である。 A はそのリサイクルセンターの回収対象面積であり、 N はリサイクルセンターあたりのステーション数である。廃棄物のマスバランスから m を式で示すと

$$m = \frac{f \cdot q \cdot N}{W} \quad <4>$$

となる。 $A=L \times 2$ の関係があるので、式<1>に、<2><3><4>を代入すると

$$d = (1 + f \cdot q \cdot \frac{N}{W}) \cdot \sqrt{A/N} \quad <5>$$

となる。しかし、実際の輸送距離は、規則正しいグリッドシティーではないので、計算上での輸送距離 d と異なる。そこで、実際の輸送距離に補正するための係数 ξ を

$$\xi = D_0 / D \quad <6>$$

と定義し、これを「屈曲係数」と呼ぶことにする。ここで D はリサイクルセンターごとの回収車の年間総輸送距離を示し、添字の o は、実測値(observed)であることを示している。

年間の回収に必要な延べ台数は、 W/q であることから、年間の総輸送距離は

$$D = \xi \cdot D_0 = \xi \cdot \frac{d \cdot W}{q} \quad <7>$$

となることから、この式に、<5>を代入すると

$$D = \xi \left(\frac{W}{q} + f \cdot \sqrt{N} \right) \cdot \sqrt{A} \quad <8>$$

となる。

次に回収車の数を求める。まず、回収に必要な時間は、移動時間、ロスタイム、積み込み時間の和で示すことができる。移動時間は、輸送距離 d を走行速度 v_p で割ったものである。ロスタイムは、一台が満載するまでにまわるステーションの数 m と、ステーションあたりロスタイム t_L の積で示される。積み込み時間は、見かけ積載容量 q を積み込み速度 k で除して求められる。したがって、一台が満載しリサイクルセンターに帰ってくる間での時間 t_T は次の式で示される。

$$t_T = \frac{d \cdot \xi}{v_p} + \frac{q \cdot N \cdot f}{W} \cdot t_L + \frac{q}{k} \quad <9>$$

量的なバランスから考えて、一日あたりの回収車のセンターとの往復回数 n は、センターの稼働日数を F 、回収車の数を M とすると、次の式で示される。

$$n = \frac{W}{M \cdot F \cdot q} \quad <10>$$

ここで、一日の作業時間 t_0 によっても、往復回数が制限されるので、

$$n = t_0 / t_T \quad <11>$$

である。式<10>を M について解き、式<11>を代入すると、

$$M = \frac{1}{F \cdot t_0} \cdot \left\{ \frac{W \cdot \xi}{q \cdot v_p} \cdot \left(1 + \frac{f \cdot q}{W} \cdot \sqrt{N} \right) \cdot \sqrt{A + f \cdot N \cdot t_L + \frac{W}{k}} \right\} \quad <12>$$

となる。

さて、モデルの変数である ξ 、 v_p 、 t_L 、 k について、日本の30自治体のデータをもとに決定する。 ξ については、式<6>により、単純平均で求める。これによると、 $\xi=1.52$ であった。

回収の効率変数である v_p 、 t_L 、 k については、30自治体のデータから、多変量解析によって求める。一日あたりの回収車のセンターとの往復回数 n は整数でなければならないので、式<10>で求めた n を切り上げて n' を得る。式<4>の m について、 n' を用いて表すと、

$$m' = \frac{N \cdot f}{n' \cdot F \cdot M} \quad <13>$$

が得られる。すると、実際の d は、

$$d = \frac{D}{M \cdot F \cdot n'} \quad <14>$$

また、 q についても、式<10>を q について解き、

$$q' = \frac{W}{M \cdot F \cdot n'} \quad <15>$$

式<13><14><15>を式<9>に入れて、重回帰分析によって v_p 、 t_L 、 k を決定する。この解析の結果を、表3.2に示す。

表3.2 多変量解析の結果¹⁴⁾

	輸送速度 v_p	ロスタイム t_L	積み込み速度 k
値	31.5 km/h	12.1 sec/station	0.361 kg/sec
t 値	1.48	7.54	3.83
検定		1%信頼範囲	1%信頼範囲

以上のことから、このモデルにおける総輸送距離と回収車の台数は、

$$D = \xi \cdot \left\{ \frac{W}{q} + f \cdot \sqrt{N} \right\} \cdot \sqrt{A} \quad <16>$$

$$M = \frac{1}{F \cdot t_D} \cdot \frac{W \cdot \xi}{q' \cdot v_p} \cdot \left(1 + \frac{f \cdot q'}{W} \sqrt{N} \right) \cdot \sqrt{A} + f \cdot N \cdot t_L + \frac{W}{k} \quad <17>$$

となる。

以上が、モデルに関する石川論文の骨子である。変数リストを表3.3 に示す。

表3.3 回収モデルの変数リスト

P	: リサイクルセンターあたり人口
W	: リサイクルセンターあたり廃棄物発生量
A	: リサイクルセンター対象面積
ξ	: 屈曲係数 (グリッドシティーモデルでの距離と実際の距離の比)
N	: 回収ステーションの数
f	: 回収頻度
F	: リサイクルセンター稼働日数
t_D	: リサイクルセンター一日稼働時間
n	: 収集車一日往復回数
q	: 一人当たり廃棄物発生原単位
d	: 収集車一往復の回収距離
D	: 対象エリアでの年間総輸送距離
M	: 対象エリアでの必要収集車台数

本研究のモデルでも、人口、面積、清掃工場数=ストックヤード数、リサイクルセンター数、排出原単位、収集車一台当たりの積載量、ステーション数、回収頻度、清掃工場稼働時間、清掃工場稼働日数を前提条件として入力し、総輸送距離と必要台数を求める。

前提条件として、投入する値と根拠を表3.4 に示す。

また、一台あたりの積載量は、収集車の収集限界重量と収集限界容積の両方で制約がかかる。まず、限界容積の観点から収集するごみの種類ごとの積載量を求める。まず、種類別容積比と種類別重量比から次の式によって、重量/容積を求める。

$$(\text{重量/容積}) = (\text{種類別重量比}) / (\text{種類別容積比}) \quad <18>$$

この(重量/容積)の値は、ごみ全体の密度を1としたときのそれぞれのごみの密度を表すことになる。

表3.4 モデル設定値

項目	記号	設定値	単位
人口	P	3,230,000	人
面積	A	385	km ²
清掃工場数	e	5	か所
リサイクルセンター数		1	か所
排出原単位	u	925.9	g/人・日
一台あたり積載量	q	(後述)	t/台
ステーション数	N	50,000	か所
回収頻度	f	100	日/年
工場稼働時間	t_D	8	時間/日
工場稼働日数	F	313	日/年

これを説明すると次のようになる。ごみ全体の重量をW、容積をVとすると、

$$(\text{その種類のごみの重量}) = W \times (\text{その種類のごみの重量比}) \quad <19>$$

$$(\text{その種類のごみの容積}) = V \times (\text{その種類のごみの容積比}) \quad <20>$$

したがって、

$$\begin{aligned} (\text{その種類のごみの比重}) &= (\text{その種類のごみの重量}) / (\text{その種類のごみの容積}) \\ &= (\text{そのごみの重量比}) / (\text{そのごみの容積比}) \times (W/V) \\ &= (\text{重量/容積}) \times (\text{ごみ全体の密度}) \end{aligned} \quad <21>$$

だからである。

いま、混合ごみについては、京都の事例¹⁷⁾ からパッカー車内での密度が0.319であり、2tパッカー車の積載容積が4m³であることから、2tパッカー車での混合ごみの積載可能量は、

$$4(\text{m}^3) \times 0.319(\text{t/m}^3) = 1.276(\text{t})$$

この値は、重量積載限界の2tを超過していない。すなわち、混合ごみの場合はパッカー車の容積で積載可能量が決定していることがわかる。

それぞれのごみの種類ごとの積載容積からみた積載可能量は、

$$(\text{積載可能量}) = (\text{重量/容積}) \times 1.276 \quad <22>$$

によって求めることができる。

10tダンプカーの場合、荷台容積は11.8m³であるから、先ほどと同様に、

$$11.8(\text{m}^3) \times 0.319(\text{t/m}^3) = 3.764(\text{t})$$

$$(\text{積載可能量}) = (\text{重量/容積}) \times 3.764$$

によって求めることができる。これらの方法によってそれぞれのごみの種類ごとの積載可能量を算出したのが表3.5である。この表には、ごみの密度も参考に示してある。

実際の積載量は、重量にもよって決定されるので、2t車の場合2t、10t車の場合10tを超えない積載量とする。

表3.5 容積制約のもとでのごみの種類別積載可能量

	重量比	容積比	重量/容積	2t車積載量	10t車積載量	密度
混合ごみ	100.00	100.00	1.00	1.276 t	3.764 t	0.319
可燃ごみ	93.64	97.94	0.96	1.220 t	3.599 t	0.305
不燃ごみ	6.36	2.06	3.09	3.939 t	11.622 t	0.985
缶・びん	4.16	1.43	2.91	3.712 t	10.950 t	0.928
不燃-缶・びん	2.20	0.63	3.49	4.456 t	13.154 t	1.114
PET・PS	1.57	9.78	0.16	0.205 t	0.604 t	0.051
可燃-PET・PS	92.07	88.16	1.04	1.333 t	3.931 t	0.333
包装プラスチック	9.47	35.12	0.27	0.344 t	1.015 t	0.086
可燃-包装プラ	84.17	62.82	1.34	1.710 t	5.044 t	0.427

(1) コストに関する算出方法

コストについては、走行に必要な燃料費と人件費、また収集車購入で生じる減価償却費を車両費の3つが生じると考える。

燃料費については

$$(\text{燃料費}) = (\text{総輸送距離}) \times (\text{燃費}) \times (\text{燃料価格})$$

の式で求めることができる。ここで燃費は、4tパッカー車の燃費を5.5km/lとする。また、燃料価格については、軽油を想定し、80円/lとする。

人件費については、収集車一台に3人乗車を想定し

$$(\text{人件費}) = (\text{収集車台数}) \times 3 \times (\text{賃金単価})$$

の式で求める。ここで、賃金単価は700万円/(人・年)とする。車両費については、予備の収集車も考慮して安全係数 1.5をかけて

$$(\text{車両費}) = (\text{台数}) \times (\text{車両価格}) \times (1 - \text{残存価値}) \div (\text{償却年数}) \times 1.5$$

の式で一年当たりの車両費を算出する。ここで、車両価格を4tパッカー車とし、850万円/台、残存価値を10%、償却年数を5年とした。

(2) 環境負荷に関する算出方法

回収時に生じる環境負荷は、燃料消費による二酸化炭素排出量と、車両製造時に必要な二酸化炭素排出量の2つである。

燃料消費時の二酸化炭素排出量は、

$$(\text{燃料CO}_2) = (\text{総輸送距離}) \times (\text{燃費}) \times (\text{軽油二酸化炭素排出係数})$$

の式で求めることができる。ここで、軽油の二酸化炭素排出係数は2.644(CO₂kg/l)である。

つぎに、車両製造時に発生する二酸化炭素は、積み上げ法では困難なため、産業連関表分析(後述)による金額当たりの二酸化炭素排出原単位を用いて算出することにする。

$$(\text{車両製造CO}_2) = (\text{車両台数}) \times (\text{車両価格}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

の式で算出し、二酸化炭素排出係数は、産業連関表の「トラック・バス・その他の自動車」

部門の値である2.692(CO₂トン/100万円)を用いる。これを償却年数で割ったものが年間の二酸化炭素排出量とみなす。

3.4.2 焼却モデル

(1) コストに関する算出方法

コストは建設費と変動費に分けられる。建設費については、焼却施設と発電施設の2つを考える必要がある。

焼却施設の建設費は、焼却工場の規模によってほぼ決定される。年間の稼働日数を360日として一日当たりの実際の焼却量を求め、建設する焼却施設の規模を、実際の焼却量の1.3倍として設計焼却規模を求めた後、600t/日規模の建設費を120億円として0.6乗則(説明は本項(3)に後述)を用いて算出する。これを式で示すと

$$(\text{焼却施設建設費}) = \left[\frac{(\text{実際の焼却量}) \times 1.3}{(\text{基準となる焼却規模})} \right]^{0.6} \times (\text{基準となる施設建設費})$$

となる。また、施設の建屋工事費については、施設建設費の20%と仮定する。すなわち、

$$(\text{建屋建設費}) = (\text{施設建設費}) \times 0.2$$

同様に、発電施設についても発電規模で決定するとし、建設する発電施設の規模を、ごみ発熱量の1.5倍として設計発電規模を求めた後、11,000kW 規模の建設費を30億円として0.6乗則を用いて算出する¹⁸⁾。これを式で示すと、

$$(\text{発電施設建設費}) = \left[\frac{(\text{実際の発電量}) \times 1.5}{(\text{基準となる発電規模})} \right]^{0.6} \times (\text{基準となる発電建設費})$$

となる。また、施設の建屋工事費については、先ほどと同様に施設建設費の20%とする。

減価償却費については、現存価値を10%とし、償却年数を施設15年、建屋45年とする。これを式で示すと

$$(\text{減価償却費}) = (\text{建設費}) \times (1 - \text{現存価値}) \div (\text{償却年数})$$

資金の借入れ率は50%、金利を6%すると、年間の支払い利息は

$$(\text{支払い利息}) = (\text{建設費合計}) \times (\text{借入れ率}) \times (\text{金利})$$

で求められる。

補修費については、毎年施設建設費用の2%(補修費率と呼ぶ)が必要になるとする。すなわち

$$(\text{補修費}) = (\text{焼却施設建設費} + \text{発電施設建設費}) \times (\text{補修費率})$$

人件費については、規模に応じて0.6乗則を用いて算出している。

保険料は、実損補填率40%、掛け率を建設費の1.5%として、

$$(\text{保険料}) = (\text{建設費合計}) \times (\text{実損補填率}) \times (\text{掛け率})$$

の式で求める。

一般管理費は人件費に比例すると考え、人件費の25%と仮定した。

これらのことから、焼却(+発電)施設の年間建設コストは

$$(\text{年間建設コスト}) = (\text{減価償却費}) + (\text{支払い利息}) + (\text{人件費}) + (\text{補修費}) \\ + (\text{保険料}) + (\text{一般管理費})$$

で求める。

変動費は、焼却処理に必要な資源として天然ガス、電力、用水があり、それらの使用原単位を 表3.6 に示した。

表3.6 焼却処理に必要な投入資源原単位と価格¹⁹⁾

投入資源	使用原単位	資源価格	価格原単位
天然ガス	0.4 m ³ /t	100 円/m ³	40 円/t
電力	150 kWh/t	15 円/kWh	2,250 円/t
用水	2.0 m ³ /t	200 円/m ³	400 円/t

廃棄物の発熱量は、発電施設規模を決定する際にも重要な要素である。発熱量を次のように算出する。

$$(\text{全体発熱量}) = (\text{廃棄物発生量}) \times (\text{低位発熱量})$$

$$(\text{除去発熱量}) = \Sigma (\text{除去量}) \times (\text{除去されるものの発熱量})$$

$$(\text{発熱量}) = \{ (\text{全体発熱量}) - (\text{除去発熱量}) \} / (\text{焼却ごみ量})$$

ここで、低位発熱量を用いたのは、発電を行うにはベースとなる発熱量が対象となるからである。また、除去量とは、分別収集などによって焼却処理から除去される廃棄物の量を指し、具体的には不燃ごみ、びん・缶、プラスチックなどを指す。それらの発熱量は、不燃ごみとびん・缶は基本的に燃えないのでゼロであり、プラスチックが8,000kcal/kgである。したがって、実際にはプラスチックの除去のみを考えればよいことになる。

低位発熱量は、K市のデータから1,951kcal/kgを用いる。

これらの条件のもと、発電量については次の計算式で求める。

$$(\text{発電量}) = (\text{焼却量}) \times (\text{発熱量})$$

$$\times (\text{ボイラー効率}) \times (\text{蒸気利用率}) \times (\text{発電効率})$$

ボイラー効率、蒸気利用率、発電効率を、K市の実績値から、75%、84.9%、15%とする²⁰⁾。

したがって、売電することにより得られる収入(売電益)は、

$$(\text{売電益}) = (\text{発電量}) \times (\text{電力販売単価})$$

で求めることができる。また、電力販売単価は、今後の売電に対する傾向から、電力会社から電力を購入する価格と同じとする。

(2) 環境負荷に関する算出方法

焼却処理時に発生する環境負荷は、資源消費による二酸化炭素排出量と、施設建設時に必要な二酸化炭素排出量の2つである。

資源消費時の二酸化炭素排出量は、

$$(\text{資源消費CO}_2) = \Sigma (\text{資源消費量}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

資源消費は、天然ガス、電力、用水である。それぞれの二酸化炭素排出原単位は、表3.7 に示す通りである。

次に、建設時に発生する排出原単位は、積み上げ法では困難なため、産業連関分析による金額当たりの二酸化炭素排出原単位を用いて算出することにする。

$$(\text{建設CO}_2) = (\text{建設価格}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

の式で算出し、この場合の二酸化炭素排出係数は、産業連関表の「その他の土木建設」部門の値である3.854(CO₂ト/100万円)を用いる。これを償却年数で割ったものが年間の二酸化炭素排出量とみなす。

表3.7 二酸化炭素排出原単位²¹⁾

	二酸化炭素排出原単位
天然ガス	2,026.3 g-CO ₂ /m ³
電力	379.5 g-CO ₂ /kWh
用水	1.925 kg-CO ₂ /百万円

発電施設で売電した部分は、二酸化炭素排出を節約する効果がある。その算定は、

$$(\text{CO}_2 \text{ 吸収量}) = (\text{売電量}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

である。

(3) 0.6乗則について

乗則は、規模の経済が生じている場合のコスト計算における簡便的な積算則(経験則)である。特に土木建設事業においては、経費の見積もり等に多く利用されている。

標準となるものの「価格」と「能力(規模)」から、与件能力(規模)のものの価格を算定するために用いるものである。

廃棄物処理施設そのものについては、あまり公表されたものがない。それを積算資料等から能力(規模)と価格の関係を分析してみると、0.6乗則がある程度当てはまることがうかがえる。ボイラー(煙管ボイラー)(図3.4)、焼却炉(図3.5)、変圧器(図3.6)についての能力と価格の関係をそれぞれ図に示した²²⁾。図の中の点は、公表価格として提示されているものであり、3本の曲線のうち、真ん中が0.6乗則の線であり、上下2本は10%の範囲を示している。

これらは全体のシステムの1部品にすぎないが、これらが積算されてもこの法則は保存される。本分析では、焼却施設という比較的単純なシステムに対してこの法則を用いているので、この方法で積算を行っても問題がないと考えられる。

3.4.3 埋立モデル

(1) コストに関する算出方法

最終処分場の建設及び維持管理にかかる費用の原単位に最終処分量に乗じて算出する。

$$(\text{最終処分費用}) = \{ (\text{建設費単価}) + (\text{人件費単価}) + (\text{維持管理費単価}) \} \times (\text{最終処分量})$$

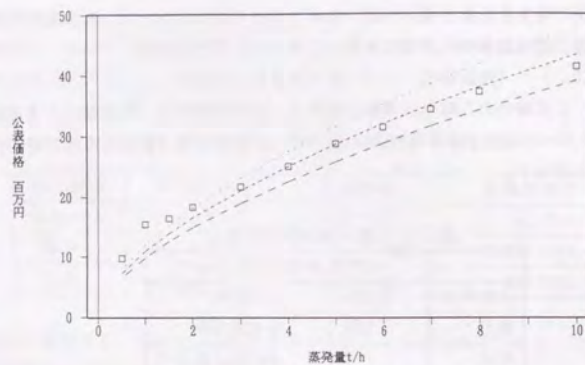


図3.4 ボイラーにおける能力と価格の関係

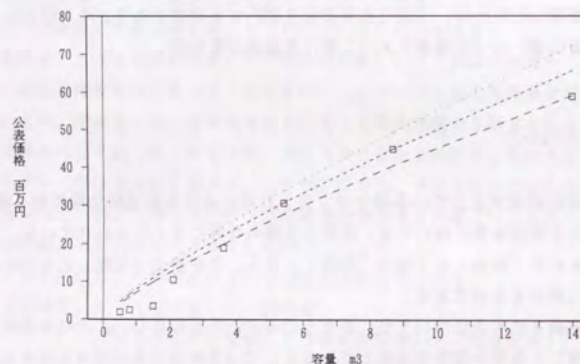


図3.5 焼却炉における能力と価格の関係

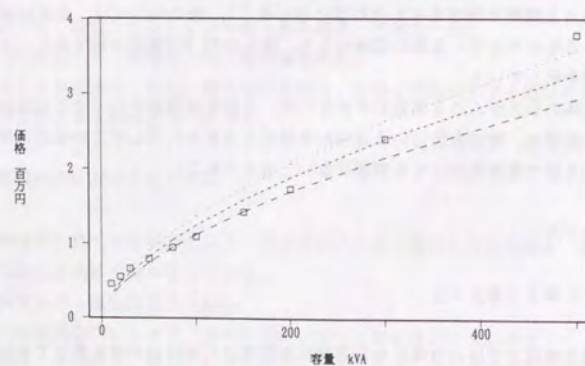


図3.6 変圧器における能力と価格の関係

この式で用いた、それぞれのコスト単価については、平成3年度実績の日本における費用²³⁾の平均から算出する。一般廃棄物処理統計によると廃棄物処理事業の経費は表3.8に示す通りとなっている。これらのデータをもとに、埋立量44,874 t/日を、年間の値である16,379,010 t/年にし、最終処分量の密度0.82 t/m^{3.4)}を用いて年間の埋立容量を算出する。この値である19,974,402 m³を用いて、最終処分容量あたりの単価にしたものを表3.9に示す。

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出に関するのは建設時と処理時である。建設に関しては建設費から、処理費に関しては、污水处理が中心となることから、焼却施設建設時と同様の考え方で、それぞれの費用に二酸化炭素排出原単位を乗じることで、排出される二酸化炭素量を算出する。

$$(\text{建設CO}_2) = (\text{建設費}) \times (\text{「その他土木建設」の二酸化炭素排出原単位})$$

$$(\text{処理CO}_2) = (\text{処理費}) \times (\text{「下水道」の二酸化炭素排出原単位})$$

$$(\text{最終処分CO}_2) = (\text{建設CO}_2) + (\text{処理CO}_2)$$

表3.8 廃棄物処理事業経費と費用の分配
(単位：経費は百万円/年、職員数は人)

			実績値		分配値	
			経費実績	職員数	職員数	経費推計値
建設改良費	工事費	中間処理施設	345,492			351,930
		最終処分場	76,763			78,193
		その他	29,061			29,603
	調査費		8,410			0
処理及び維持管理費	人件費	収集・運搬	565,186	42,887	55,098	448,066
		中間処理		9,630	12,372	100,611
		最終処分		1,580	2,030	16,508
		その他		15,403	0	0
	処理費	収集運搬	75,181			134,322
		中間処理	170,455			304,542
		最終処分	28,868			51,577
	委託費		215,937			0
	車両等購入費		17,999			17,999
	その他		53,894			53,894

表3.9 最終処分にかかる費用単価

	年間経費(百万円)	年間処理量(m ³)	費用単価(円/m ³)
建設費単価	78,193	19,974,402	3,915
人件費単価	16,508		826
処理費単価	51,577		2,582
合計			7,323

3.4.4 缶とびんのリサイクルモデル

缶とびんのリサイクル工程を次の図3.7のように想定する。

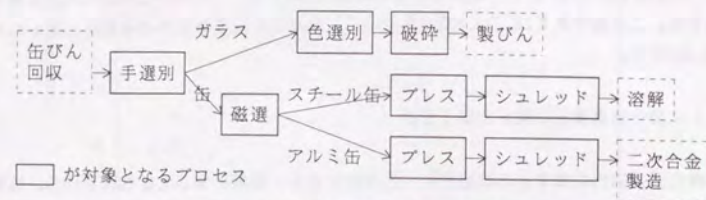


図3.7 缶とびんのリサイクル工程設定

3.4.4.1 手選別（缶、びん）

（1）コストに関する算出方法

手選別はリサイクルセンター内のベルトコンベアで行う。ベルト幅60cm、長さ12m のものを一台用いるとし、選別量に応じて選別する人を増減するものとする。この場合の全体を次のように設定する²⁵⁾。

・価格	400万円
・労働生産性	750kg/h
・稼働時間	8時間
・償却期間	8年
・残存価値	10%
・資金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	価格の2%(年間)
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	1.5kW(負荷率40%)

いま、缶、びんの分別収集合計量をW(kg/日)とすると、労働人数は次の式を切り上げた数になる。

$$(\text{労働人数}) = W / (\text{稼働時間}) / (\text{労働生産性})$$

台数は、ベルトコンベア一台あたり8人まで作業ができるものとする。

$$(\text{台数}) = (\text{労働人数}) / 8$$

その他の費用は次の式で求めることができる。

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{労働人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{電力費}) = (\text{台数}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{稼働時間}) \times (\text{電力単価})$$

（2）二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、コンベア製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。

コンベア製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.4.2 びんの破碎

（1）コストに関する算出方法

手選別されて得られたびんを破碎機によって破碎する。規格の破碎機を、処理量に応じて台数を増減する。

前提を次のように設定する²⁶⁾。

・価格	580万円/台
・処理能力	4t/h
・作業人員	1人
・稼働時間	8時間
・償却期間	8年
・残存価値	10%
・資金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	価格の2%(年間)
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	2.3kW(負荷率60%)

まず処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

（2）二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、破碎機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。

破碎機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.4.3 異物除去(びん)

(1) コストに関する算出方法

異物除去については、破碎したものを金属探知機で検査し、異物を吸引機(バキューム)で吸い取って除去する。

金属探知機とバキューム合わせたものの前提を次のように設定する²⁷⁾。

・ 価格	800万円/台
・ 処理能力	15t/h
・ 作業人員	1人
・ 稼働時間	8時間
・ 償却期間	8年
・ 残存価値	10%
・ 賃金単価	700万円/(人・年)
・ 補修費率	価格の2%(年間)
・ 管理費率	人件費の25%
・ 消費電力	10.9kW(負荷率40%)

破碎機の時と同様に処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、破碎機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。破碎機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.4.4 磁選(缶)

(1) コストに関する算出方法

磁選は、手選別で選別された缶から磁力によってスチール缶をとして取り出す工程である。磁選機的能力から台数を変えて処理量に対応させる。

磁選機的前提を次のように設定する²⁸⁾。

・ 価格	425万円/台
・ 処理能力	5t/h
・ 作業人員	1人
・ 稼働時間	8時間
・ 償却期間	8年
・ 残存価値	10%
・ 賃金単価	700万円/(人・年)
・ 補修費率	価格の2%(年間)
・ 管理費率	人件費の25%
・ 消費電力	0.75kW(負荷率40%)

破碎機の時と同様に処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、破碎機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。破碎機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.4.5 プレス（スチール&アルミ）

（１）コストに関する算出方法

プレスは、磁選で選別されたスチール缶とアルミ缶をそれぞれ圧縮する工程である。プレス機的能力から台数を変えて処理量に対応させる。

プレス機的前提を次のように設定する。

・ 価格	830万円/台（スチール缶用） 650万円/台（アルミ缶用）
・ 処理能力	1.2t/h（スチール缶用） 0.21t/h（アルミ缶用）
・ 作業人員	1人
・ 稼働時間	8時間
・ 償却期間	8年
・ 残存価値	10%
・ 賃金単価	700万円/（人・年）
・ 補修費率	価格の2%（年間）
・ 管理費率	人件費の25%
・ 消費電力	11kW（負荷率40%）（スチール缶用） 7.5kW（負荷率40%）（アルミ缶用）

それぞれ、処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

（２）二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、破碎機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。破碎機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.4.6 シュレッド

（１）コストに関する算出方法

シュレッドは、スチール缶やスチール缶を細かく裁断するプロセスである。裁断機（シュレッター）の能力から台数を変えて処理量に対応させる。

磁選機的前提を次のように設定する。

・ 価格	3000万円/台
・ 処理能力	1t/h（スチール缶） 6.25t/h（アルミ缶）
・ 作業人員	2人
・ 稼働時間	8時間
・ 償却期間	8年
・ 残存価値	10%
・ 賃金単価	700万円/（人・年）
・ 補修費率	価格の2%（年間）
・ 管理費率	人件費の25%
・ 消費電力	150kW（負荷率40%）

破碎機の時と同様に処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

（２）二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、破碎機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。

破碎機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.5 プラスチックのマテリアルリサイクルモデル

プラスチックのマテリアルリサイクルは、PETボトルとPSTレーのみを考える。それぞれのリサイクル工程を図3.8に示す。

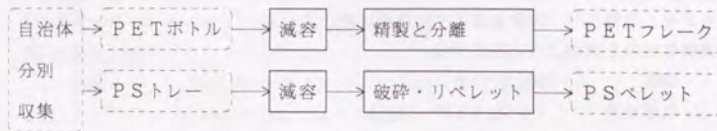


図3.8 プラスチックのマテリアルリサイクルの工程

3.4.5.1 PETの減容

(1) コストに関する算出方法

PETの減容は、回収されたPETボトルをつぶすなどして容積を小さくする工程である。機器の能力から台数を変えて処理量に対応させる。

PET減容機的前提を次のように設定する。

・価格	800万円/台
・処理能力	700m ³ /d
・密度	0.127t/m ³
・作業人員	1人
・稼働時間	8時間
・償却期間	8年
・残存価値	10%
・賃金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	価格の2%(年間)
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	5.5kW(負荷率60%)

破碎機の時と同様に処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、減容機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。減容機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.5.2 PETの精製、分離

(1) コストに関する算出方法

PETの精製・分離は、PETボトルを精製フレークにする工程である。計画処理量から精製・分離のプラントの能力を決める。焼却施設の場合と同様に乗則を用いて規模と価格を決定する。また、このプラントは大きいので建屋も必要となる。

PETの精製・分離の機械的前提を次のように設定する²³⁾。

・機械価格	1億円(基準)
・処理能力	12t/h
・作業人員	3人(基準)
・稼働時間	8時間
・条則	0.6条則
・設計規模	処理量の1.2倍
・建屋建設費	機械購入費の20%
・償却期間	15年(機器)、30年(建屋)
・残存価値	10%
・借入率	50%
・金利	6%
・賃金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	機械価格と建屋建設費合計の2%(年間)
・保険掛け率	実損補填率40%、建設費の1.5%
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	175kWh/t

式で示すと、次のようになる。

$$(\text{設備費}) = \left[\frac{(\text{処理量}) \times 1.2}{(\text{処理能力})} \right]^{0.6} \times (\text{機械価格})$$

その他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{建屋費}) = (\text{設備費}) \times 0.2$$

$$(\text{建設費}) = (\text{設備費}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{設備償却期間}) + (\text{建屋費}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{建屋償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{作業人員}) = \left[\frac{(\text{処理量}) \times 1.2}{(\text{処理能力})} \right]^{0.6} \times (\text{基準作業人員})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = (\text{処理量}) \times (\text{消費電力原単位}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、機器設備製造にかかるものと、建屋建設にかかるもの、消費電力にかかるものの3つである。機器設備製造と建屋建設にかかるものについては、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{設備CO}_2) = (\text{設備費}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{建屋CO}_2) = (\text{建屋費}) \times (\text{「その他の土木建設」の原単位})$$

$$(\text{補修CO}_2) = (\text{補修費}) \times (\text{「建設補修」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.5.3 P Sトレーの減容

(1) コストに関する算出方法

P Sトレーの減容は、回収されたP Sトレーをつぶすなどして容積を小さくする工程である。機器の能力から台数を変えて処理量に対応させる。

P Sトレーの減容機のデータはないことから、P E Tボトルの減容機を参考にして前提を次のように設定する。

・価格	800万円/台
・処理能力	700m ³ /日
・密度	0.04t/m ³
・作業人員	1人
・稼働時間	8時間
・償却期間	8年
・残存価値	10%
・賃金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	価格の2%(年間)
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	5.5kW(負荷率60%)

同様に処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、減容機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。減容機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.5.4 P Sトレーの破碎とリベレット

(1) コストに関する算出方法

P Sトレーの破碎とリベレットは、P Sトレーを破碎し、ベレット化して再生原料とする工程である。機器の能力から台数を変えて処理量に対応させる。

P Sトレーの破碎機とベレタイザー(ベレットにする機械)の前提を次のように設定する³⁰⁾。

・価格	3790万円/台
・処理能力	250m ³ /日
・密度	0.04t/m ³
・作業人員	3人
・償却期間	8年
・残存価値	10%
・賃金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	価格の2%(年間)
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	862kWh/t

同様に処理量Wから、必要な台数を次の式で求め、切り上げて整数にする。

$$(\text{必要台数}) = W / (\text{処理能力}) / (\text{稼働時間})$$

他のコストについては、次の式で求める。

$$(\text{設備費}) = (\text{価格}) \times (\text{台数}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費} + \text{管理費}) = (\text{台数}) \times (\text{作業人数}) \times (\text{賃金単価}) \times (1 + \text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = (\text{処理量}) \times (\text{消費電力原単位}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、減容機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。減容機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.6 プラスチックの油化モデル

プラスチックの油化は、ベルトコンベアでまず手選別によりプラスチック以外のものを除去する。手選別の最後の工程で風力選別を行い、PETやPVCを取り除く。こうして選別されたものを油化プラントに投入し、熱分解によって油化する。

3.4.6.1 手選別/風力選別(プラスチック)

手選別はリサイクルセンター内のベルトコンベアで行う。ベルト幅60cm、長さ12mのものを一台用いるとし、選別量に応じて選別する人を増減するものとする。この工程の最後にプロアで風をあて、風力選別を行う。この機器を次のように設定する³¹⁾。

・価格(コンベア)	400万円
(風力選別機)	80万円
・処理能力	3.51t/h(17t/h)
・労働人数	2人/ライン
・労働時間	8時間
・償却期間	8年
・残存価値	10%
・賃金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	価格の2%(年間)
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	3.7kW(負荷率40%)(コンベア+風力選別)

いま、缶、びんの分別収集合計量をW(kg/日)とすると、ラインの数は次の式を切り上げた数になる。

$$(\text{ライン数}) = W / (\text{労働時間}) / (\text{処理能力})$$

その他の費用は次の式で求めることができる。

$$(\text{施設費}) = (\text{価格}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{償却期間})$$

$$(\text{補修費}) = (\text{設備費}) \times (\text{補修費率})$$

$$(\text{人件費}) = (\text{労働人数}) \times (\text{ライン数}) \times (\text{賃金単価})$$

$$(\text{管理費}) = (\text{人件費}) \times (\text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = W / (\text{処理能力}) \times (\text{消費電力}) \times (\text{負荷率}) \times (\text{電力単価})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、コンベア・選別機製造にかかるものと、消費電力にかかるものの二つである。コンベア・選別機製造については、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{製造CO}_2) = (\text{価格}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

3.4.6.2 プラスチックの油化

(1) コストに関する算出方法

プラスチックの油化は、プラスチックを分解油にする工程である。油化処理するプラントは処理能力にあわせて設計規模を決定し、乗則によって建設等にかかる費用を推計する。また、この機械は大きいので建屋も必要となる。

プラスチックの油化プラントの前提を次のように設定する³²⁾。

・再生率	40%
・価格	15億円(基準)
・処理能力	7500t/年
・作業人員	10人
・稼働時間	8時間
・条則	0.6条則
・設計規模	処理量の1.3倍
・建屋建設費	機械購入費の20%
・償却期間	15年(機器)、45年(建屋)
・残存価値	10%
・借入率	50%
・金利	6%
・賃金単価	700万円/(人・年)
・補修費率	機械価格と建屋建設費合計の2%(年間)
・保険料	実損補填率40%、建設費の1.5%
・管理費率	人件費の25%
・消費電力	150kWh/t
・消費触媒	5000円/t

$$(\text{設備費}) = \{ (\text{処理量} \times 1.3) / 7500 \}^{0.6} \times (\text{基準価格})$$

$$(\text{労働人数}) = \{ (\text{処理量} \times 1.3) / 7500 \}^{0.6} \times (\text{作業人員})$$

ただし、労働人数は切り上げて整数とする。

$$(\text{建設費}) = (\text{設備費}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{設備償却期間}) + (\text{建屋費}) \times (1 - \text{残存価値}) / (\text{建屋償却期間})$$

$$(\text{管理費}) = (\text{人件費}) \times (\text{管理費率})$$

$$(\text{電力費}) = (\text{処理量}) \times (\text{消費電力原単位}) \times (\text{電力単価})$$

$$(\text{触媒費}) = (\text{処理量}) \times (\text{触媒使用原単位})$$

(2) 二酸化炭素排出に関する算出方法

二酸化炭素排出は、機器設備製造にかかるものと、建屋建設にかかるもの、消費電力にかかるもの、消費触媒にかかるものの4つである。機器設備製造と建屋建設にかかるものについては、産業連関表から求めた原単位を乗じる。

$$(\text{設備CO}_2) = (\text{設備費}) \times (\text{「その他の一般産業機械及び装置」の原単位})$$

$$(\text{建屋CO}_2) = (\text{建屋費}) \times (\text{「その他の土木建設」の原単位})$$

$$(\text{補修CO}_2) = (\text{補修費}) \times (\text{「建設補修」の原単位})$$

$$(\text{電力CO}_2) = (\text{消費電力費}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

$$(\text{触媒CO}_2) = (\text{触媒費}) \times (\text{「ソーダ工業製品」の原単位})$$

3.4.7 二次輸送のモデル

ここでの二次輸送は、清掃工場に収集したごみや中間処理残渣（焼却残渣）を地域内の一拠点に輸送することを指している。

清掃工場MからリサイクルセンターRへの輸送について、そのリサイクルセンターの対象地域の面積をAとすると、輸送の平均輸送距離rは、

$$r = \sqrt{A} \div 2 \quad <23>$$

で求められる。

一台の輸送車が、積載可能量qを積み込み速度kで積み込んで、往復距離d(rの2倍)のリサイクルセンターに移動速度 v_p で輸送するのにかかる時間tは、

$$t = \frac{d}{v_p} + \frac{q}{k} \quad <24>$$

収集車が一日 t_D の時間で往復する回数nは、

$$n = t \div t_D \quad <25>$$

年間輸送量Wを、年間F日で輸送するのに必要な台数Mとすると、マスバランスより、

$$W = F \cdot q \cdot n \cdot M \quad <26>$$

これらの関係式から、Mについて解くと、

$$M = \frac{W}{t_D \cdot F \cdot q} \times \left[\frac{d}{v_p} + \frac{q}{k} \right] \quad <27>$$

となる。

ここで、nは整数である必要があるため、整数化したnを n' とすると、

$$q' = \frac{W}{F \cdot M \cdot n'} \quad <28>$$

修正した q' をMの式に代入して、 M' を求める。また、総輸送距離Dは、

$$D = \frac{W \cdot d}{q'} \quad <29>$$

によって算出できる。

これらの計算により、総輸送距離と必要台数が推計できる。

以上の式における変数表と前提値を 表3.10に示す。

(1) コストに関する算出方法

コストについては、走行に必要な燃料費と人件費、また収集車購入で生じる減価償却費を車両費の3つが生じると考える。

燃料費については、

$$(\text{燃料費}) = (\text{総輸送距離}) \times (\text{燃費}) \times (\text{燃料価格})$$

の式で求めることができる。ここで燃費は、10tトラックの燃費を3.5km/lとする。また、燃料価格については、軽油を想定し、80円/lとする。

人件費については、収集車一台に1人乗車として、

$$(\text{人件費}) = (\text{収集車台数}) \times (\text{賃金単価})$$

の式で求める。ここで、賃金単価は700万円/(人・年)とする。

表3.10 二次輸送モデルの変数値

記号	説明	初期設定値
A	リサイクルセンター対象面積	38.5 km ²
d	平均輸送距離	19.6 km
W	年間の輸送量	(計算で算出)
q	輸送車一台の積載可能量	(積載物により決定)
t_D	一日の作業時間	8 hour
F	一年の作業日数	313 日/年
v_p	輸送車の移動速度	0.00875 km/sec
k	輸送車の積み込み/積みおろし速度	0.00556 t/sec
D	輸送車の年間総輸送距離	(計算で算出)
n	一日の往復回数	(計算で算出)
M	必要な輸送車台数	(計算で算出)
t	一台の輸送車が往復する時間	(計算で算出)

車両費については

$$(\text{車両費}) = (\text{車両台数}) \times (\text{車両価格}) \times (1 - \text{残存価値}) \div (\text{償却年数})$$

の式で一年当たりの車両費を算出する。ここで、車両価格を10tトラックとし、2000万円/台、残存価値を10%、償却年数を5年とした。

(2) 環境負荷に関する算出方法

回収時に生じる環境負荷は、燃料消費による二酸化炭素排出量と、車両製造時に必要な二酸化炭素排出量の2つである。

燃料消費時の二酸化炭素排出量は

$$(\text{燃料CO}_2) = (\text{総輸送距離}) \times (\text{燃費}) \times (\text{軽油二酸化炭素排出係数})$$

の式で求めることができる。ここで、軽油の二酸化炭素排出係数は2.644(CO₂kg/l)である。

つぎに、車両製造時に発生する二酸化炭素は、積み上げ法では困難なため、産業連関表分析による金額当たりの二酸化炭素排出原単位を用いて算出することとする。

$$(\text{車両製造CO}_2) = (\text{車両台数}) \times (\text{車両価格}) \times (\text{二酸化炭素排出原単位})$$

の式で算出し、二酸化炭素排出係数は、産業連関表の「トラック・バス・その他の自動車」部門の値である2.692(CO₂t/100万円)を用いる。これを償却年数で割ったものを年間の二酸化炭素排出量とみなす。

3.4.8 素材製造に関する算出方法

リサイクルを行うことによって、バージン資源の消費を削減することができる。したがって、基礎素材の製造に関して発生する環境負荷（ここでは二酸化炭素発生量）とコストを算定し、リサイクル品の量に応じてリサイクルプロセスでの環境負荷発生量やコストから引くことによって、リサイクルプロセスをより正確に評価することができる。

二酸化炭素発生量は表3.11に示す結果が得られている。

表3.11 基礎素材の製造によって発生する二酸化炭素発生量

(単位: kg-C/t)

		CO ₂ 発生量1	CO ₂ 発生量2	合計	文献
びん	無地びん	0	270	270	(33)
スチール	粗鋼 (高炉)	0	302	302	(33)
アルミ	新地金	335	2,086	2,422	(33)
プラスチック	PET (ボトル用)	154	669	823	(33)
	PS (一般用)	11	659	669	(33)

※CO₂発生量1は製造工程において反応上発生する量

CO₂発生量2は蒸気、電力、燃料等の使用により発生する量

プラスチックの油化については、軽油が再生油として精製されるので、軽油の消費によって発生する二酸化炭素量をセービングしたと考えることができる。したがって、軽油の二酸化炭素発生量を用いて効果を算出する。

コストについては、再生品購入価格を用いるか、回避されたバージン価格を用いるか議論の分かれる部分である。本研究では、わが国においては再生品市場が経済的に確立しているとはいえず、再生品価格も安定していないこと、また、再生品の品質は金属では極端に劣化するものではないし、プラスチックにおいてもバージン資源と競合するリサイクルを考慮していることから、リサイクル品によってバージン資源の価格をセービングすると思われることにする。

バージン資源の価格は表3.12の通りである。

表3.12 バージン資源の価格

		バージン価格	文献
びん	ケイ砂	3,228 円/t	(34)
スチール	粗鋼	42,700 円/t	(34)
アルミ	新地金	150,000 円/t	(34)
プラスチック	PET (ボトル用)	208,000 円/t	(34)
	PS (一般用)	75,000 円/t	(34)
	軽油	54,375 円/kl	(34)

3.4.9 産業連関分析による二酸化炭素排出原単位の算出方法

産業連関分析による二酸化炭素排出原単位とは、日本での経済活動による取引金額あたりの二酸化炭素排出量のことであり⁽³⁵⁾。

産業連関表とは、分類された産業および商品ごとに、ある一年間の投入量と産出量の連関が一つのマトリクスの形で表現されているものである。この産業連関表を用いると、総需要が与えられたとき、ある製品や産業部門に關係するすべての投入量が、逆行列 $[I - (I - M) A]^{-1}$ によって求めることができる。

このことから、ある製品や産業部門の製造段階において二酸化炭素を排出する可能性のある化石燃料、バイオマス、石灰石、の総投入量を産業連関表から求め、各々の金額ベースの投入量を二酸化炭素量に変換することによって、その製品や産業の金額あたりの二酸化炭素量を求めることができる。本研究では、1985年の産業連関表を分析した論文⁽³⁶⁾からその値を引用する。

ここで示される「金額」とは、生産者価格を差していることになる。価格には、購入者価格と生産者価格があり、生産者価格に、卸売、小売、輸送などの流通マージンを加えた者が購入者価格となる。流通の際にも化石燃料などを消費するため、二酸化炭素排出原単位を補正する必要がある。本研究では、部門での金額を生産者価格と流通マージンとに分け、生産者価格に本来の部門の二酸化炭素排出係数をかけ、流通マージンには流通部門の二酸化炭素排出係数をかけ、その和を求めて補正することにする。その算出方法を図3.9に示し、逆行列計算で求めた排出原単位と補正した値を表3.13に示した。

また、この原単位は1985年のものであるから、分析で設定した平成3年の価格をデフレーターによって調節した⁽³⁷⁾。

$$\begin{array}{l}
 \text{購入者} \\
 \text{価格} = \text{卸売} + \text{小売} + \text{JR} + \text{私鉄} + \text{陸輸} + \text{通運} + \text{沿海} + \text{港湾} + \text{航空} + \text{倉庫} + \text{生産者} \\
 \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \text{価格} \\
 \quad \text{卸売} \quad \text{小売} \quad \text{JR} \quad \text{私鉄} \quad \text{陸輸} \quad \text{通運} \quad \text{沿海} \quad \text{港湾} \quad \text{航空} \quad \text{倉庫} \quad \text{当該部門} \\
 \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \quad \text{係数} \\
 \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \\
 \text{CO}_2 = \text{卸売} + \text{小売} + \text{JR} + \text{私鉄} + \text{陸輸} + \text{通運} + \text{沿海} + \text{港湾} + \text{航空} + \text{倉庫} + \text{生産部門} \\
 \text{排出量} = \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO}_2
 \end{array}$$

図3.9 生産者価格から二酸化炭素発生量を算出する方法⁽³⁸⁾

表3.13 産業連関分析法による二酸化炭素排出原単位
(単位: t-CO₂/百万円)

	生産者価格原単位 ⁽³⁹⁾	購入者価格原単位
ソーダ工業製品	11.047	10.505
その他一般産業機械及び装置	3.589	3.468
トラック・バス・その他自動車	2.761	2.692
建設補修	3.861	3.653
その他の土木建設	4.081	3.854
工業用水	1.927	1.925
下水道	3.714	3.650

3.5 廃棄物処理・リサイクルシステム全体の設定

3.5.1 廃棄物のフロー設定

本章で設定した廃棄物処理・リサイクルシステムは、回収モデル、焼却モデル、リサイクルモデル、輸送モデル、最終処分モデルの5つによって構成される。このモデルの中で、回収モデルと輸送モデルは、人口密度、一人当たりのステーション数といった、地理的・社会的要件に影響を受けるが、焼却モデル、リサイクルモデル、最終処分モデルはほぼ処理量で決定するといえる(表3.14)。コストについては、償却年数の設定等によっても変化するが、これはとらえ方の問題であるので、ひとまず分析の段階では議論しない。

廃棄物のフローは、一人当たりの廃棄物発生量とごみの組成によって決定する。ごみの組成データを表3.15に示した。このデータは、回収モデル、輸送モデルにおいて積載可能量を算出したときに用いたものと同じである。ごみの細組成のデータは、京都市と川崎市で公表されたものがあるが、長期にわたってこの種のデータを公表してきたという信頼度の高さから、京都市のデータを用いる⁽⁴⁰⁾。

また、本研究では、家庭による分別排出率を100%と仮定し、モデルを組んでいる。

表3.14 各モデルに影響を与える主なパラメーター

	主なパラメーター
回収モデル	廃棄物発生量、センターあたり面積、ステーション数 回収頻度、回収車積載量、作業時間
焼却モデル	焼却ごみ量、ごみ発熱量
リサイクルモデル	処理量、処理能力
輸送モデル	輸送量、面積、輸送車積載量、作業時間
最終処分モデル	最終処分量、密度

表3.15 廃棄物の細組成(重量比)⁽⁴¹⁾

可燃ごみ	93.64
包装プラスチック	9.47
PET	0.50
PSTレー	1.07
不燃ごみ	6.36
びん	3.28
缶	0.88
スチール缶*	0.77
アルミ缶*	0.11

*スチール缶とアルミ缶の生産量比率から算出

3.5.2 廃棄物処理・リサイクル施設の配置

本研究のモデルは、人口323万人の大都市を仮定しており、さらに住民の分別排出率が100%と想定しているため、資源ごみを行う場合にはかなり大量に収集されることになる。実際の分別排出率を50%と高めに設定しても、この仮想都市に収集される資源ごみの量は日本全体の約19分の1となり、再生工場が都市内にあってもひどく異常な状態ではない。また、リサイクル施設の中では、油化とPET精製以外は、本モデルでは処理能力と比例する形になっており(スケールメリットが生じない)、リサイクル施設がどこに、どの規模であっても自地域の発生量あたりの負担費用はあまり変化しない。最終処分についても同様である。また、単純分析を行う場合には地域として閉じていた方が行いやすい。これらのことから、この巨大仮想都市をクローズした形でリサイクルを行うものとする。

また、資源ごみはいったん清掃工場(リサイクルセンター)内のストックヤードに収集され、その後リサイクル施設に輸送するものとする。ごみの種類別のフローを図3.10に示した。この図では、清掃工場数は5つを想定している。

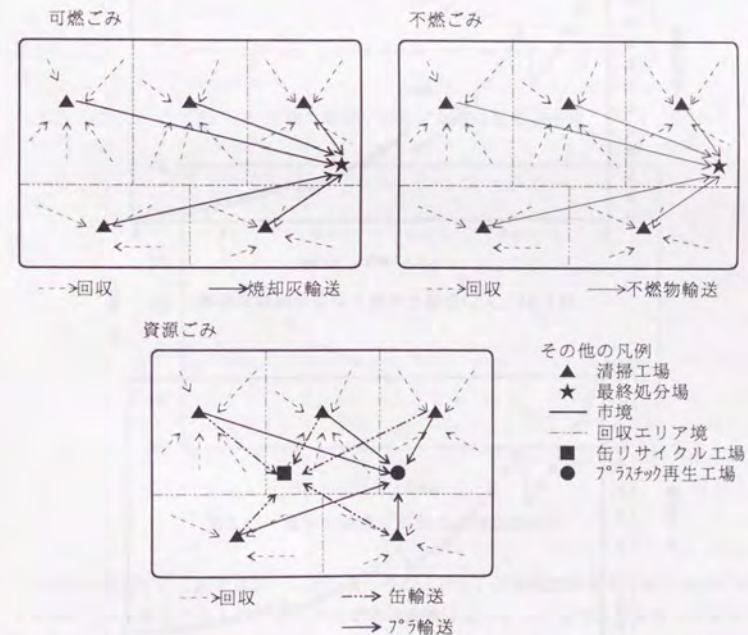


図3.10 ごみの種類別フロー図

3.5.3 各モデルのパラメーター感度

(1) 収集モデルにおけるパラメーター感度

収集モデルにおいて、収集量を一定として人口密度という地理的条件と、清掃工場数、ステーション密度、回収頻度という政策変数を変化させることによって、収集に要する総輸送距離と収集車の総台数がどのように変化するかを分析した。

それぞれ、一日の清掃工場と回収ステーション群との往復回数と収集車台数を整数化した関係で、不連続になっている部分がある。

まず、人口密度との関係では、人口密度が高いほど総輸送距離も総輸送台数も減少することがわかった。人口密度が10倍になると総輸送距離は約3分の1に、総台数は約2分の1になる(図3.11、図3.12)。

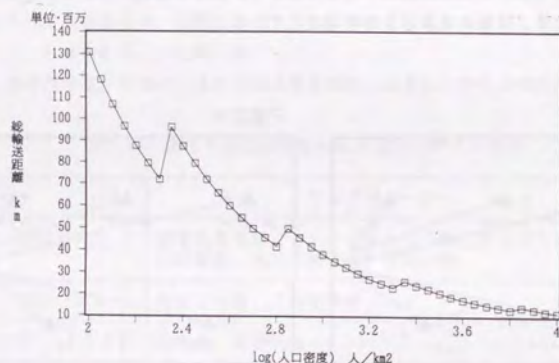


図3.11 人口密度と収集に必要な総輸送距離

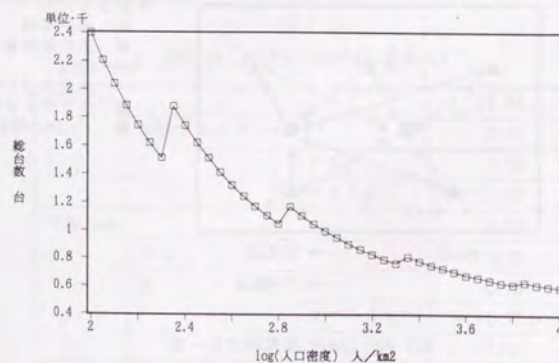


図3.12 人口密度と収集に必要な総台数

次に、回収の拠点となる清掃工場数との関係では、清掃工場が増加すると総輸送距離と総台数ともに減少することがわかる。清掃工場が1つから2つに、2つから3つになることで約25%総輸送距離が減少している。総台数でも約10%減少する。清掃工場が増加するにしたがってその効果も小さくなる(図3.13、図3.14)。

しかし、清掃工場(あるいは回収ポイント)を増加させることによって、清掃工場建設や二次輸送に多くの投入が必要となるので、システム全体から見てよいとは一概に判断できない。

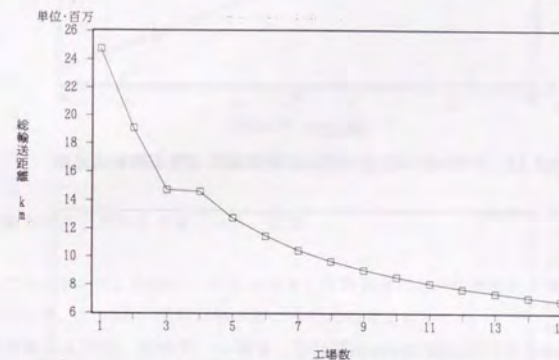


図3.13 清掃工場数と収集に必要な総輸送距離

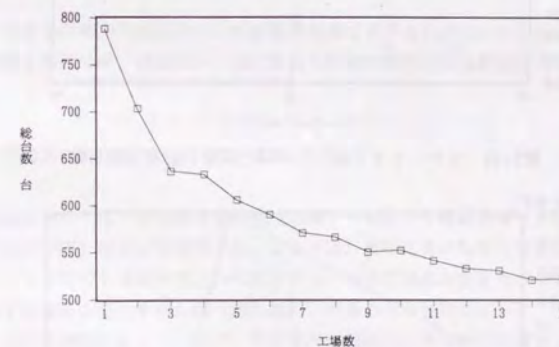


図3.14 清掃工場数と収集に必要な総台数

これらに対して、1回収ステーションあたりの人口と、回収頻度を変化させた場合には、「ステーションあたりの人口が多いほど総輸送距離は短く」、「回収頻度を多くするほど総輸送距離は長い」という一般的な結果は得られたものの、それぞれ2倍にしても総輸送距離の変化は約5%である上にこれら2つのパラメーターは何倍単位で変化するものでもないことから、実質的に影響の小さいパラメーターといえる。(図3.15、図3.16、図3.17、図3.18)

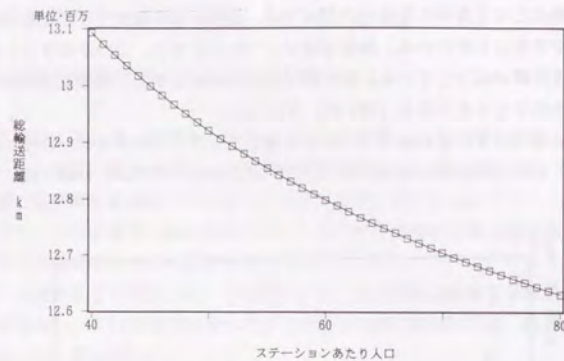


図3.15 ステーションあたり人口と収集に必要な総輸送距離

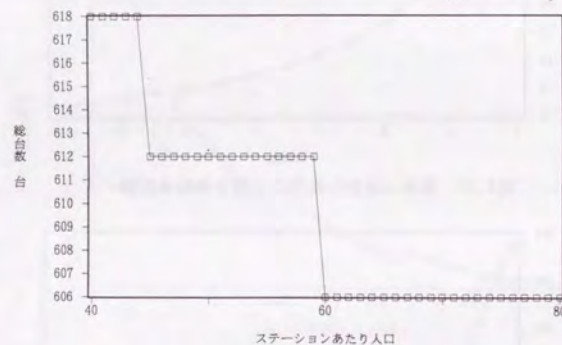


図3.16 ステーションあたり人口と収集に必要な総台数

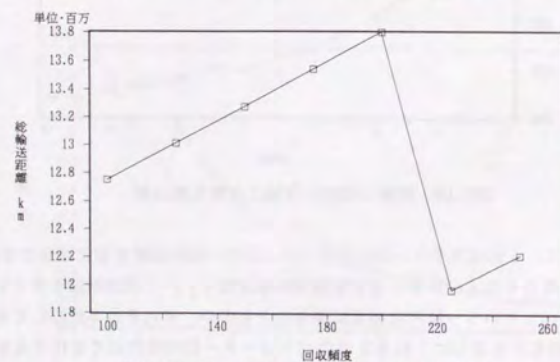


図3.17 回収頻度と収集に必要な総輸送距離

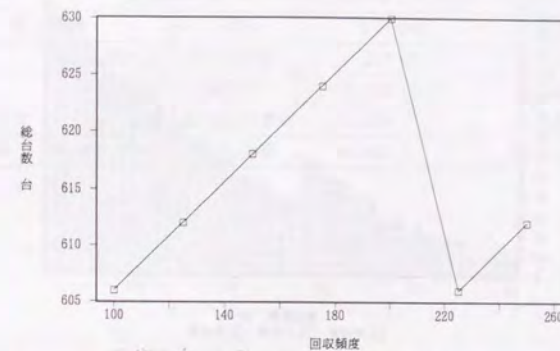


図3.18 回収頻度と収集に必要な総台数

(2) 焼却モデルにおけるパラメーター感度

焼却モデルにおいて、焼却量を変化させると年間費用がどの程度変化するのかについて、図3.19に示した。これは、発電施設がない場合の結果である。

減価償却費、人件費、補修費、保険費、管理費については、0.6乗則に従う。しかし、常識的な処理量を想定する限りスケールメリットはあまり目立たず、ほぼ線形であることがわかる。

また、必要な年間費用のほぼ半分は減価償却費で占められることもわかる。また、常識的な処理量の範囲では、処理量が2倍になると年間の費用は60%程度増加することがわかる。

(3) 二次輸送におけるパラメーター感度

二次輸送においては、本来輸送量、輸送距離と一台あたり積載重量（すなわち輸送するものの見かけ密度）によって決定する。ここでは、減容化等の処理が適切になされていれば10tトラックに10t積載するという仮定から、輸送距離のみを変化させて、年間1万トンを送送する場合の変化を示した（図3.20）。収集のときと同じように、往復回数を整数化するために不連続になっているが、年間費用は距離の二次関数的に増大していることがわかる。

内訳で見ると、燃料費よりも人件費の増え方が急である。これは、一日ごとに労働時間を決めて往復輸送しているため、長距離になればなるほど調整時間が長くなるためと考えられる。

3.5.4 モデルの妥当性

モデル全体の妥当性を検討するために、K市のデータをモデルに投入してみる。K市の

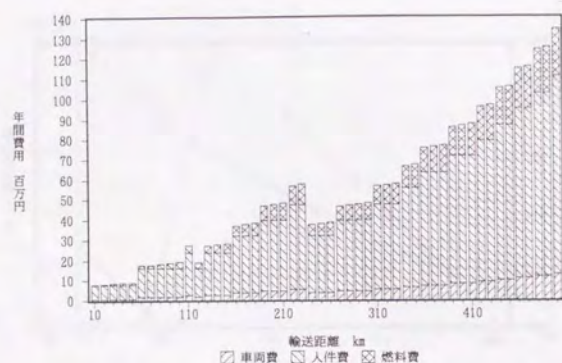


図3.19 焼却量と年間費用

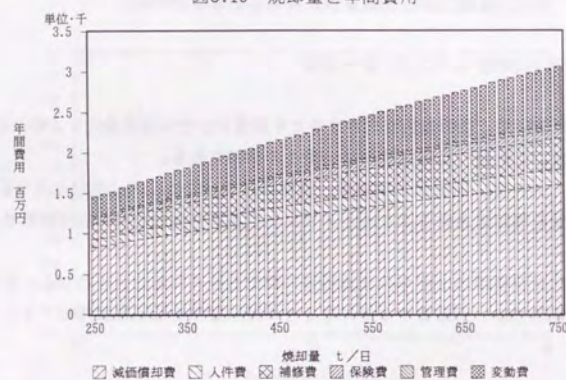


図3.20 二次輸送に関する輸送距離と費用

投入データは表3.16に示すとおりである。

これらのデータを投入して、得られたモデル値と実際値も表3.16に示した。これによると、収集車台数についてはほぼ同ような結果が得られた。収集費用については、小さい値になっている。これは、朝排出されたごみを収集するという性格上、労働時間が8時間でも収集業務のできるのは5時間程度であることなどが影響して小さくなっていると考えられる。

逆に中間処理については、モデルの方が大きい値になっている。これは、清掃工場の償却年数を超えて稼働しているものがあつたり、国から焼却施設に対して補助金が出ているためと考えられる。逆に言えば、本来はモデル値に近い金額が必要とされていると考えられる。

最終処分量については、K市のデータが普通ごみだけでなく粗大ごみ等も入っていることから多少最終処分量が多くなっていると考えられる。

表3.16 K市のデータとモデルでの出力

投入変数		出力	モデル値	実際値
人口	1,219,000 人	収集車台数	206 台	199 台
面積	143.85km ²	収集費用	12,290 円/t	18,546 円/t
清掃工場数	4 工場	処理処分費用	15,297 円/t	13,836 円/t
ステーション数	29,926ステーション	最終処分量	89,081 t	100,204 t

3.6 廃棄物処理・リサイクルシステムの分析結果

これまで説明してきたモデルによって、廃棄物処理・リサイクルシステムの各オプションを分析する。

3.6.1 コスト分析

まず、コストを収集、焼却のようなシステムごとに示したものが図3.21である。

これによると、焼却の段階で全体の費用の約50%もの多くの費用がかかっていることがわかる。また、リサイクルシステムについては、マテリアルリサイクルより油化の方が多くの費用がかかるわりに、収入は少ないことがわかる。

オプション全体で見ると、混合収集するよりは分別収集する方が、焼却工場の設計容量を小さくでき、焼却処理量も減少することから、コスト的には一番安くすむことがわかる。

次に、建設費と維持管理費に分け、維持管理費をさらに人件費とそれ以外に分けたものが図3.22である。建設費は、建設にかかる減価償却費や利息などである。これによると、年間の建設費と人件費がどちらも全体の約40%程度を占めている。建設関係の減価償却費にも建設時の人件費が入っていることから考えると半分以上は人件費であることがわかる。

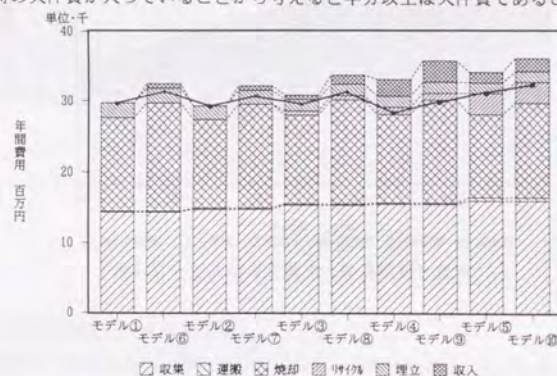


図3.21 廃棄物処理・リサイクルシステム別コスト分析結果

3.6.2 二酸化炭素排出量分析

二酸化炭素排出量を分析する場合には、イニシャル分をコストの場合と同じように減価償却という考え方で一本化することはできない。二酸化炭素自体は建設時に発生するからである。

収集、焼却等のシステム別にイニシャルで発生する二酸化炭素を図3.23に、ランニングで発生する二酸化炭素を図3.24に示した。

イニシャル部分での二酸化炭素発生量は、ここでも焼却に關係する二酸化炭素発生量が他と比べて群を抜いていることがわかる。したがって焼却施設の設計規模の全体に与える

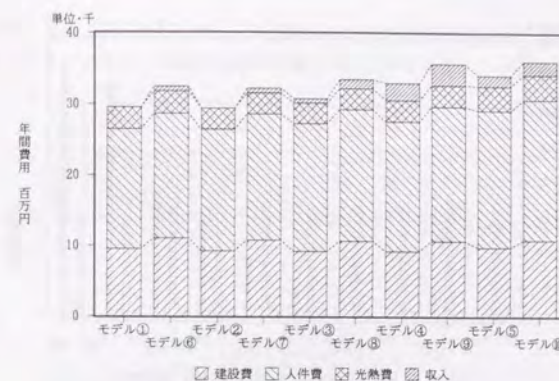


図3.22 コスト費用別分析結果

影響も大きく、分別収集やリサイクルを実施することによって、二酸化炭素発生量も少なくなる。また、ここでも油化プラント建設による二酸化炭素発生量が多い。しかし、収集や輸送に関する部分では二酸化炭素発生量は小さい。

ランニング部分では、リサイクルによって節約される量が多いことがわかる。発電や油化による再生油リサイクルは、廃棄物に内包される二酸化炭素を評価することになるので、プロセスでの二酸化炭素発生量と異なる意味を持つが、この部分こそがリサイクルの持っている本来の意義であるし、プロセスでの二酸化炭素と節約される二酸化炭素は意味は違っても、電力と熱のように科学的に質の異なるものではなく同一の二酸化炭素であることを考慮すると、二酸化炭素排出の観点から見るとリサイクルの意義は大きいといえる。

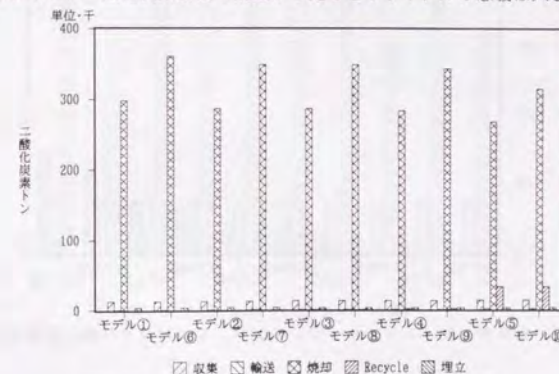


図3.23 システム別イニシャル二酸化炭素発生量

イニシャル、ランニング、セービングを総合したのが図3.25である。イニシャル発生量をランニング発生量で割ると、何年で同等の二酸化炭素を発生するかがわかる。この値は、約5年であり、一般的に償却年数より長いといえる。このことは、廃棄物処理・リサイク

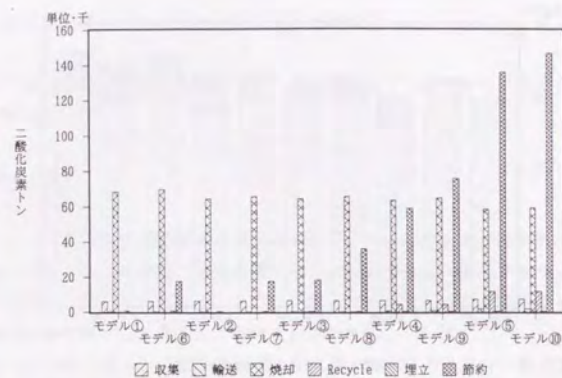


図3.24 システム別ランニング二酸化炭素発生量

ルシステムのライフサイクルで考えた場合、イニシャルよりランニング部分での二酸化炭素発生量が多いことを示している。

再生プラスチック製造による、バージンプラスチック製造時に発生する量のセービングの効果を考えると、油化を行った場合、ランニングでは二酸化炭素発生量より、節約量の方が多くなる。セービングは二酸化炭素を吸収するわけではないけれども、社会全体で見れば二酸化炭素排出抑制の効果があることになる。このように、二酸化炭素発生量からみると、リサイクルの効果が大きいことがわかる。

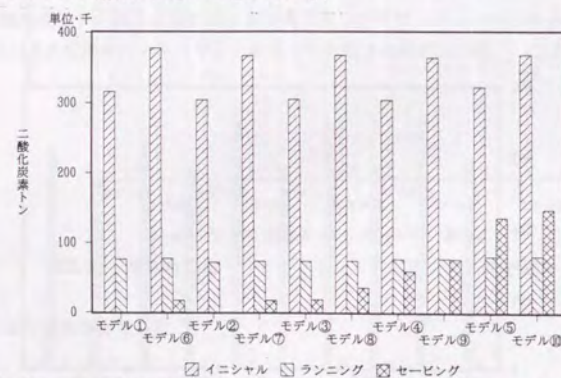


図3.25 システム別イニシャル、ランニング、セービング二酸化炭素発生量

3.6.3 最終処分量分析

最終処分量については、リサイクルによる最終処分量減量効果があらわれていると見てよい。重量の大きい缶・びんをリサイクルすることによって20%以上の減量化が図られる。その反面、プラスチックごみリサイクルによる最終処分量減量化にはあまり効果がな

いように見える。(図3.26) しかし、プラスチックごみを直接埋め立てしている自治体もあり、減容化していないとかなりの処分容量になるはずである。この議論は4章に譲る。

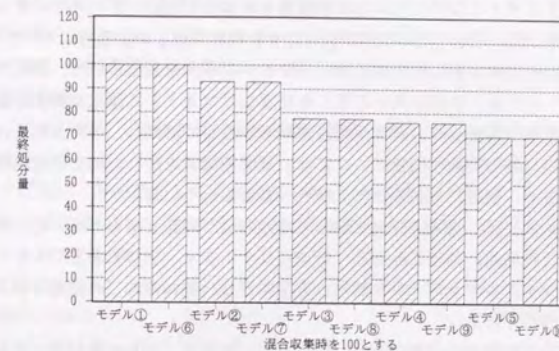


図3.26 システム別最終処分量(混合収集-全量焼却を100とする)

3. 7 本章のまとめ

本章では、ライフサイクルアセスメントの概要を示すとともに、ライフサイクルアセスメントの理念に基づく、「システムの建設時も含めた環境評価」の必要性について述べた。

さらに、本研究の対象である廃棄物処理・リサイクルシステムについて、それらの構成する要素（収集システム、焼却システム等）を規定し、コストと二酸化炭素排出量を評価項目として、初期条件等を既存の研究や報告書から引用して決定し、モデル化を行った。

また、建設時の二酸化炭素発生量については、産業連関表を用いた他の研究結果からの原単位を用いたため、建設にかかるコストがベースとなっている。

評価するオプションは、収集の分別方法と処理の方法が関係するものの、ここで取り上げたのは、混合ごみ焼却、可燃ごみ焼却、缶びんリサイクル、缶びんPETトレーリサイクル、缶びんリサイクルプラスチック油化、を基本とし、それぞれごみ発電を導入する場合を含めた10通りである。

オプション別で年間費用の少ないのは、缶・びん・PET・トレーをリサイクルする場合である。油化は、最終処分量の削減には効果があるが、多額の費用がかかることがわかった。ごみ発電についても、第4章で詳細に分析を試みるが、売電による収入を考慮しても費用として増加することがわかる。

これらのモデル化によって、廃棄物処理・リサイクルシステム全体を対象としたモデルが完成した。実際の都市のパラメーターを代入しても、かなり高い精度が確認された。このモデルが完成したことで、初期条件やパラメーターを変化させることで、廃棄物処理・リサイクルシステムにどのような影響が生じるかが評価できるようになる。これらの評価については、第4章に示す。

●参考文献（第3章）

- 1)環境庁編(1994)『環境基本計画』.大蔵省印刷局
- 2)SETAC(1991) A Technical Framework for Life-Cycle Assessments.
- 3)環境庁監修、(社)環境情報科学センター編(1996)『ライフサイクルアセスメントの実践』.化学工業日報社
- 4)内山、山本(1992)「発電プラントの温暖化影響評価」.電力中央研究所研究報告Y91005
- 5)(株)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)の実践」
- 6)環境庁(1996)「単純製品LCA調査委員会」(内部資料)
- 7)加藤 悟、盛岡通(1994)「都市代謝基盤の環境調和性の評価に関する研究」.土木学会環境システム研究VOL.22
- 8)M. ISHIKAWA(1996) A Logistics Model for Post-Consumer Waste Recycling.日本包装学会誌Vol.5 No.2
- 9)(財)クリーン・ジャパン・センター(1995)「廃棄物減量化のための社会システムに関する調査研究報告書」
- 10)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995)「包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析」.(株)野村総合研究所
- 11)(財)クリーン・ジャパン・センター編(1995)『最新リサイクルキーワード(第2版)』.(財)経済調査会
- 12)産業構造審議会廃棄物処理・再資源化部会(1994)「意見具申〜今後の我が国の廃棄物処理・リサイクルシステムのあり方について〜」
- 13)(財)クリーン・ジャパン・センター編(1995) 前掲書11)
- 14)(財)クリーン・ジャパン・センター編(1995) 前掲書11)
- 15)M. ISHIKAWA(1996) 前掲書8)
- 16)M. ISHIKAWA(1996) 前掲書8)
- 17)中村一夫、勝美潤子、高月紘、田中勝(1994)「処理コストに着目した処理困難性の評価」都市清掃47巻200号
- 18)(財)クリーン・ジャパン・センター(1995) 前掲書9)
- 19)(財)クリーン・ジャパン・センター(1995) 前掲書9)
- 20)(財)クリーン・ジャパン・センター(1995) 前掲書9)
- 21)松本泰明(1993)「日本の輸出商品の二酸化炭素集約度からみた炭素税負担移転の先進国・発展途上国間比較」.大阪大学大学院工学研究科修士論文
- 22)(財)経済調査会『積算資料』
- 23)厚生省水道環境部ヒアリング
- 24)厚生省水道環境部編「一般廃棄物処理事業調査統計」.(財)クリーン・ジャパン・センター
- 25)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)
- 26)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)
- 27)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)
- 28)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)

- 29)(財)クリーン・ジャパン・センター(1995) 前掲書9)
- 30)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)
- 31)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)
- 32)(財)クリーン・ジャパン・センター(1995) 前掲書9)
- 33)(社)化学経済研究所(1993)「基礎素材のエネルギー解析調査報告書」
- 34)包装廃棄物のリサイクルに関する定量的分析研究会(1995) 前掲書10)
- 35)宮沢健一(1985)『産業連関分析入門』,日本経済新聞社
- 36)松本泰明(1993) 前掲書21)
- 37)経済企画庁『国民経済計算年報』,大蔵省印刷局
- 38)加藤悟、盛岡通(1994) 前掲書7)
- 39)松本泰明(1993) 前掲書21)
- 40)廃棄物学会編(1995)『ごみ読本』,中央法規出版
- 41)廃棄物学会編(1995) 前掲書40)

第4章 廃棄物処理・リサイクルシステムに関する環境政策

4. 1 緒言

リサイクルの推進にあたっては、リサイクルシステムのみを分析対象とするだけでなく、分別収集や回避された焼却・埋立等を考慮し、廃棄物処理・リサイクルシステム全体で評価しなければ、部分合理性を追求して全体合理性がおろそかになり、不具合を発生させる可能性がある。また、廃棄物処理・リサイクルシステムに関係する各主体との役割分担や費用負担原則がどのように各主体に影響するかも、リサイクルを推進するインセンティブに関係してくる。

第3章では、廃棄物処理・リサイクルシステムをさまざまな前提のもとにモデル化を行った。このモデル化によって、収集システム、焼却処理システム、リサイクルシステム、輸送システム、最終処分システム等を結合させ、二酸化炭素排出量による環境影響とコスト(経済性)の二面性評価ができるようになった。

廃棄物処理・リサイクルシステムに関する政策にはさまざまなものがある。その中で現在実施されている政策概要を第1章で示した。しかし、政策を実施するには、もっと細かな問題、具体的には分別収集において何品目分別を行うか、分別品目の収集頻度をどうするか、廃棄物焼却施設を新設するか、広域化や各自治体の連携をどのようにすすめるか、ごみ有料化を導入するか、導入するならば金額をどう設定するか等の問題がある。さらに、減容機付き収集車を導入して収集効率を上げる試みや、焼却工場においてエネルギー回収を実施するというような環境資本投資も盛んに行われている。

それぞれの政策について、場合によっては政治的圧力や地域住民からの突き上げ、長期計画との整合性が優先されて決定する場合も多いのが事実であり、それらの政策の効果と影響を明らかにしておくことが、政策決定の参考になるであろう。

本章では、第3章でつくったモデルの変数等を変化させることによって、それぞれの廃棄物・リサイクルに関する環境政策の効果と影響を分析する。

4. 2 最適処理のための施策

4.2.1 清掃工場の建設数

第3章では、単純なパラメータの感度解析の中で、地域内の清掃工場の数を変えた場合の輸送への影響を分析した。これによると、地域内の清掃工場数を増加させた方が総輸送距離が短くなることが確認された。しかし、廃棄物処理・リサイクルシステム全体を考慮した場合、清掃工場を多くすることは、一工場あたりの処理量が少なくなるので建設規模を小さくできる反面、それだけ数多く建設する必要がある、建設費が増加することになる。

焼却システムでの効率低下効果も考慮した上で、廃棄物処理全体の費用の変化と限界費用の変化を示したのが図4.1である。第3章と同じ前提条件を用い、可燃ごみと不燃ごみの分別収集を行うがリサイクルやごみ発電は行わない（モデル②）として焼却工場数を変化させた。

これによると、収集費用は焼却工場が増加するにつれて一貫して減少している。これに対して、焼却処理システムにおいては、焼却工場が増加するにつれて費用が増加する傾向を示しており、総費用では焼却工場数が3つ程度の時が費用最小となることがわかった。このとき、一つの清掃工場の焼却処理量は934t/日、処理対象人口は約100万人であった。

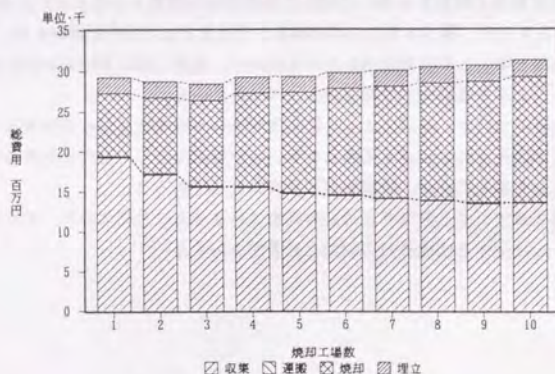


図4.1 焼却工場数と廃棄物処理総費用

さらに、焼却工場数と二酸化炭素排出量との関係を図4.2に示した。この図では、イニシャル分の二酸化炭素は耐用年数で割って一年あたりの排出量にしている。そしてイニシャル分とランニング分を合算して示してある。

これによると、工場数が増えるにしたがって、二酸化炭素排出量が一貫して増加している。内訳を見ると、当然ながら輸送コストは工場数が増えるにしたがって減少しているが、焼却工場建設時に発生する二酸化炭素排出量が大きく、工場数が増加するのにしたがって増加する二酸化炭素排出量の方が、収集における低減効果を上回っていることが分かる。輸送にはあまり影響を与えていないことも分かる。

この分析から、工学的には、もしくは効率性を考慮した場合には、より大規模な焼却工場を、数少なく建設した方が望ましいということがいえる。

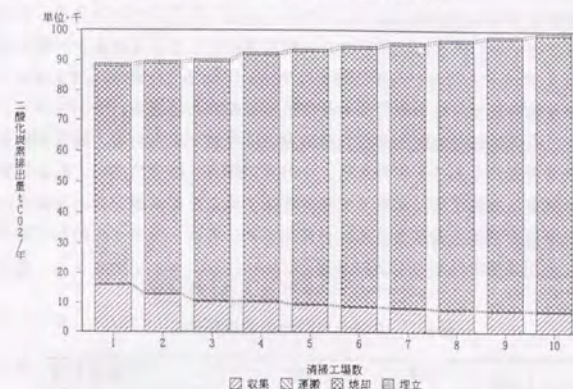


図4.2 焼却工場数と二酸化炭素排出量

4.2.2 広域処理の必要性

第3章のモデルでは、比較的大都市を対象としていた。廃棄物処理は地方自治体単位で行われているところが多く、人口20万人程度の市でも自地区内に清掃工場を建設して処理を行っている。また、町村などのさらに小さな規模の自治体では、一部事務組合などで広域処理しているところも多い。

廃棄物処理の「地区内処理の原則」、また、廃棄物処理施設の建設をめぐる住民の反対運動からみれば、他の市の廃棄物を自分たちの住んでいる場所の近くで処理することになれば「NIMBYシンドローム」の再現¹⁾にもなりかねない。それを回避するためにも、地域内処理の原則を崩すことは危険であるともいえる。

しかし、小さな自治体で少量を焼却していれば、処理におけるスケールメリットは当然小さくなり、かつ廃棄物処理施設（焼却工場）の建設に際して国が支払う補助金を、末端までゆきどかせるのは難しくなり、地方の焼却施設ほど老朽化が進行しているのも事実である。老朽化施設をそのまま使用することは、プラスチックごみなどの従来より高い発熱量を持つごみを焼却できなくて、プラスチックを埋めてざるを得なくなったり、適切な環境保全装置が機能しなくなったりする恐れが生じる。また、広域処理の処理効率の高さも注目されている。統計的には処理・処分は直営で行うよりも組合処理の方が限界コストが低いという分析もなされている²⁾。

ここでは、処理施設の建設にかかる政治的、住民運動的な問題は分析の対象外とした上で、小さな自治体が共同して質の高い処理施設を建設する場合の、コストの影響を分析する。前提として20万人都市を2つ考えて、それぞれの都市が自地域内で処理した場合と共同で一つの焼却工場を建設して処理した場合の費用について比較した。もとのモデルでは323万人都市を想定していたが、ここでは、より現実的な中小都市のデータも用い、各変

数（人口、面積、ステーション数）を投入して計算を行う。

モデルに投入した前提条件を表4.1に、それぞれの市が処理を行った場合と共同処理を行った場合の総費用を図4.3に示した。

この評価で「二倍」というのは、人口20万人都市が独立して2つあることを指し、「結合」というのは人口40万人都市が焼却工場を2つ持っていることを指している。「広域」は、二つの都市が協力して一つの都市のように処理することである。

これによると、広域処理にした方が収集運搬費用は増加するものの、焼却工場を減少させることで総費用を節約することができる。この人口20万人都市においても広域処理を行うことによって総費用を約7%（年間4億円）削減することができる。この傾向は、先の清掃工場数と総費用の関係と同様である。小都市においては、なるべく焼却工場を少なくして運用することが重要であることがわかる。

表4.1 広域処理評価の前提条件

	人口	面積	ステーション数	焼却工場
一自治体	20万人	85km ²	3,300地点(60人に1地点)	1工場
二倍	一自治体の結果を二倍する。			
結合	40万人	170km ²	6,600地点(60人に1地点)	2工場
広域	40万人	170km ²	6,600地点(60人に1地点)	1工場

※可燃ごみ+不燃ごみの2種分別、リサイクルと発電はなし。

4.2.3 リサイクル施設の配置

第3章のモデルでは、地域内を閉じたモデル作成のため、大都市を対象としたので、リサイクル施設も自地域内に充足していることを前提としていた。しかし、通常の中小都市においては、自地域内にリサイクル施設（ストックヤードではなく、資源再生業者）があ

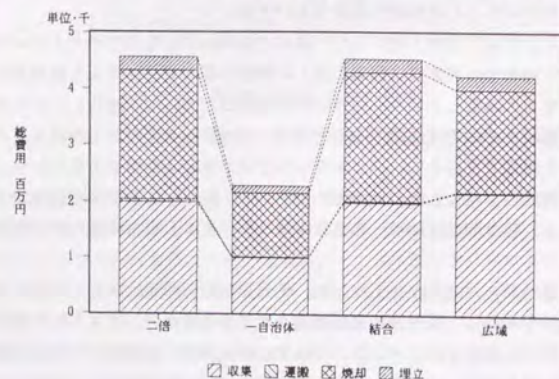


図4.3 広域処理の総費用評価

ることは少なく、ストックヤードで減容等は行うものの、かなり遠方の工場まで二次輸送を行ってそこで処理（再生）するというのが通常である。

この場合、各市町村内で行う工程と、遠方の再生処理工場で行う工程を次の図のように仮定する（図4.4）。

これらをもとに、再資源化工場における再生プロセスで発生する費用や環境負荷は、ここに搬入するそれぞれの自治体が処理量で按分する。したがって処理量あたりの原単位を算出して、搬入する量と原単位をかけて搬入する自治体分の負担とすればよいことになる。

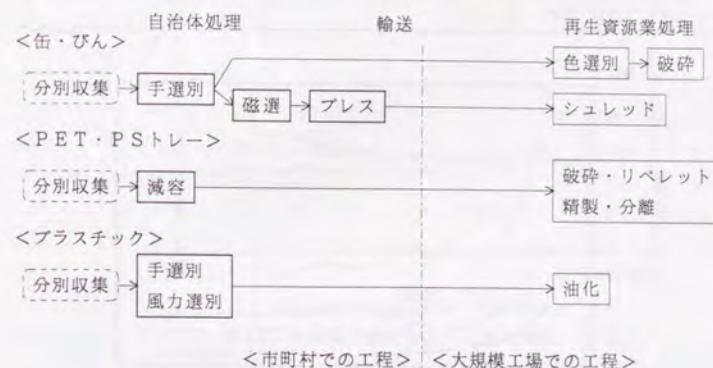


図4.4 リサイクル工程の主体

実際には、処理量のスケールメリットがあるので、集中処理を行えば行うほど処理効率が高くなることになるが、本研究のモデルでは、リサイクル技術の現状を考慮してリサイクル機器処理能力を規格化し、処理量に応じて処理機器の台数を変化させている部分が多く、スケールメリットがあるのは、プラスチックの油化程度である。

本研究では、第3章で仮定で入れた処理量に基づいて、それぞれの素材の再生に必要な原単位を求めると表4.2のようになる。

遠隔地の再資源化工場である程度の規模でスケールメリットをいかながら再資源化を行えば、ある程度の輸送費を支払って資源化を行っても、経済的に成り立つ可能性がある。すなわち、遠隔地で再資源化を行うことによるコストセービングによって輸送する費用まかなえる距離が決定する。これは、缶、びん、PETなどの素材ごとに異なる。

缶とびんに関する収集量の変化による処理量あたりの処理コストを図4.5に示した。このプロセスで一番費用のかかるのは手選別であり、トンあたり約6000円である。しかし、手選別の処理量あたりのコストは、処理量が増えれば一定であることがわかる。これに対して、缶のシュレッドプロセスは年間3000万トン以上の処理量があれば、トンあたり約3000円の処理費用となるが、年間2000万トン以下の処理量だと、処理量あたりの単位コストは急激に上昇し、年間250万トンの処理量では、処理量あたり2倍以上の費用がかかる。

表4.2 リサイクル費用の原単位

缶・びん	PET・PS	プラスチック
手選別 6,214 円/t	PS減容 1,693 円/t	手選別 2,813 円/t
破碎 1,053 円/t	PET減容 1,802 円/t	風力選別
異物除去 436 円/t	破碎・リベレット 26,317 円/t	油化 22,829 円/t
磁選 205 円/t	精製・分離 14,494 円/t	
プレス 1,730 円/t		
シュレッド 3,012 円/t		

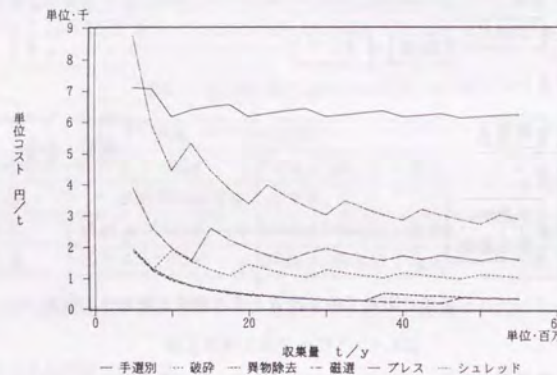


図4.5 缶びんの処理量あたりの単位コスト

このように自地域内の小規模再生資源工場で処理した場合の、収集量ごとの処理単価と、手選別、プレスなどのプロセスを自地域内で行い、シュレッドや破碎プロセスを地域外の再生資源工場で処理しその費用を按分した場合の単位コストを示したものが図4.6である。これによると、缶びんの年間処理量3000万トン以上では自地域内で処理してもほぼ同じであることがわかる。これよりも処理量が少なくなると、地域外の大規模再生資源工場で処理した方がよいことがわかる。年間500万トンでは、地域内で処理するよりも大規模処理工場で再生した方が1トンあたり1万円弱処理費が安くなる。

その安くなった分、輸送によって長距離輸送することが可能となる。また、収集地域内で減容化処理を行っているので、輸送効率もよい。

減容化した資源ごみの二次輸送は、トラック台数や一日往復回数を整数化する関係で、輸送コストは増加したり減少したりしているが、平均的にはほぼ一定であることがわかる。輸送距離を往復100kmとしたときの二次輸送コストを図4.7に示した。このときは、1トンあたりの輸送コストが2300円程度となることがわかる。

次に、二次輸送における輸送距離あたりの単位コストを示したものが図4.8である。これも、輸送車両や一日往復回数を整数化していることで急激に数値が変化しているところ

があるが、ほぼ右上がりの二次曲線である。これによると、1トンあたり1万円だと、往復400kmとなる。400km遠距離の大規模再生資源化工場に輸送しても、自地域内に小規模工場を建設するのとコスト的には同じことになる。

このことから、再生コストを最小化するためには、国内に400kmごとに大規模再生資源工場を建設して、半径200km以内の地域がその工場に搬入すればよいことがわかる。

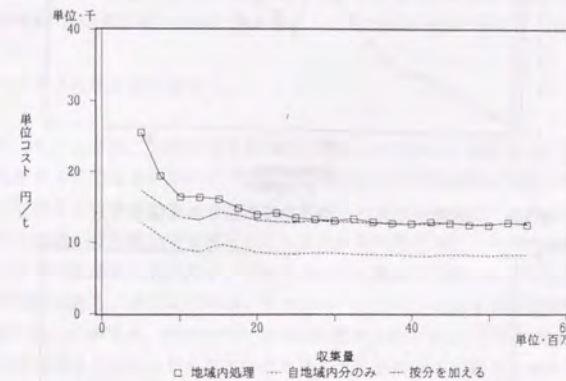


図4.6 缶びんの按分コストと処理費用

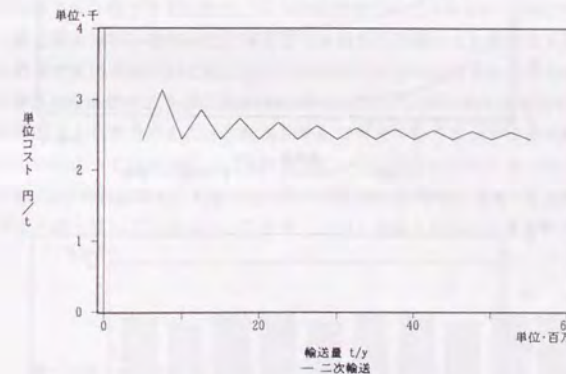


図4.7 往復100km時の二次輸送コスト

缶・びんの時と同様に、リサイクルにおける各プロセスの単位コストを図4.9に示す。また、地域外で処理を行うPSのリベレットとPETの精製についての単位コストと、地域外大規模工場での費用按分額を図4.10に示した。

これによって素材ごとの違いがわかる。まず、プラスチックについての減容化のコストは安いことがあげられる。また、缶やびんに比べてプラスチックの方が、地域外で処理した場合と地域内に工場建設した場合との差が大きいことがわかる。

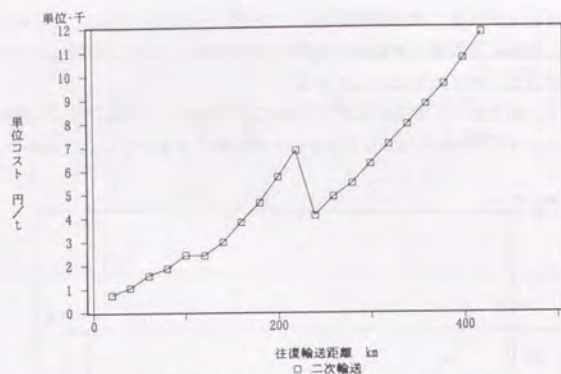


図4.8 二次輸送における輸送距離あたりの単位コスト

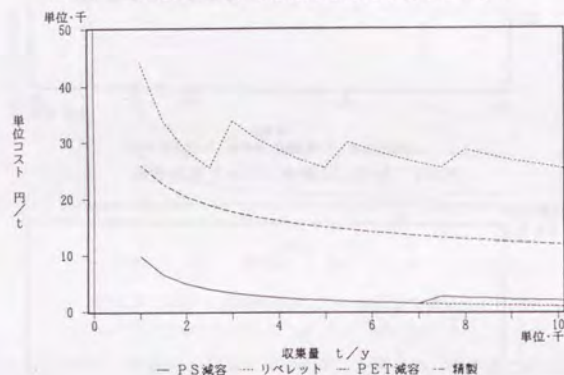


図4.9 PS・PETの各リサイクルプロセスでの単位コスト

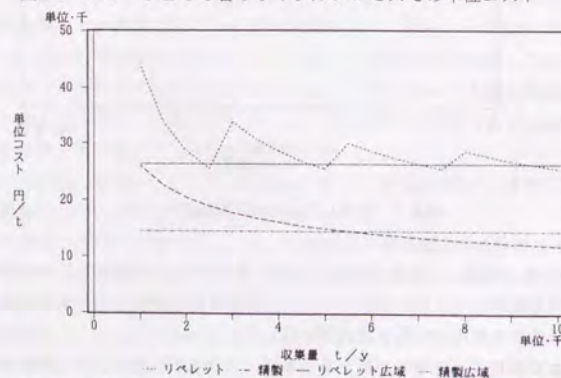


図4.10 PET精製・PSリベレットの単位コストと按分コスト

PSのリベレットでは、コストの上下が激しくてどこが分岐点なのかはわかりにくいですが、この場合PETでは年間5500トンが分岐点となっており、年間1000トンでは、トンあたり約1万円処理コストが高くなる。二次輸送のコストは、減容化されていれば一台あたりの積載量が同じなので、コストも同じで、缶・びんの時と同様に、往復400kmの輸送距離に相当する。

このように、人口や収集量の少ない地域では、自地域内に再資源工場を建設する必要はなく、400kmごとに大規模の処理工場を建設することが効率的であることがわかる。

4.2.4 リサイクル率と限界費用

第3章のモデルでは、分別排出率を100%と仮定してモデルを構築した。実際の分別率は100%に到達することはまずないが、行政の計画としては分別収集を徹底させてできる限り100%に近づけるという行動をとる必要がある。

しかし、100%の分別排出率を想定してシステムを構築すると、システム構築にかかるイニシャルコストは変化しないので、リサイクルする量あたりのコストである限界費用は上昇する可能性がある。逆に焼却等は、多少オーバーワークになるがほぼ稼働率100%で効率よく稼働することができ、処理量あたりの限界費用は減少する可能性がある。したがって、分別排出率100%としてシステムを設計した場合、分別排出率が低下することによって、リサイクルシステムにおける限界コストが上昇する効果と、中間処理（焼却処理）システムにおける限界コスト低下する効果で、全体の限界費用がどうなるかは微妙なところである。

さて、第3章のモデルを用いて、缶とびんのみ分別収集を行った場合の分別排出率の変化による総費用の変化を図4.11に示した。この場合、缶とびんは不燃ごみであるので焼却システムは関係がなくなる。不燃ごみ+資源ごみというごみ排出の全体量は不変であるので、分別排出率による総費用の変化は、輸送効率とリサイクルプロセスでの光熱費などの維持管理費の違いによってのみ発生し、設備建設にかかる費用はどちらも一定である。モデルでは、不燃ごみの輸送コストが減少し、その分資源ごみの輸送コストと、資源ごみ処理に関するコストが上昇して、全体としてあまりコストの変化がないことがわかる。

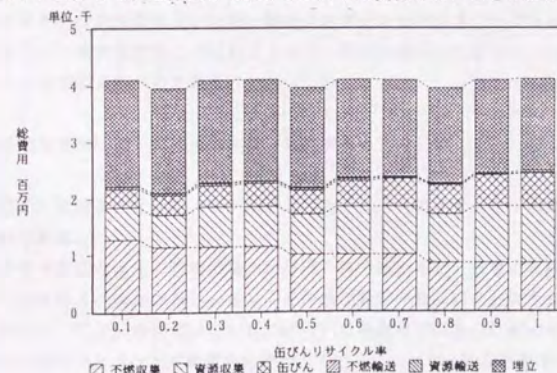


図4.11 分別排出率の変化による総費用の変化

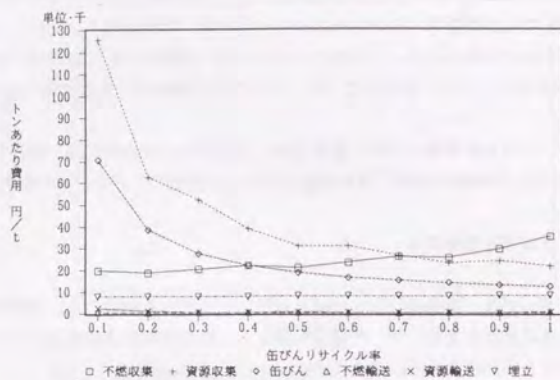


図4.12 分別排出率の変化による単位コストの変化

これらのコストを、コストの名目ごとに処理量あたりのコストで示すと図4.12のようになる。分別排出率が100%の時は、不燃ごみ収集が35円/kgで、資源ごみ収集が22円/kgとなっている。缶びんの処理コストは13円/kgである。分別排出率が減少するにしたがって資源ごみ回収の単位コストは急激に上昇し、分別排出率が20%のときには60円/kg以上にまで上昇する。缶びんのリサイクル処理コストも40円/kgとなり、100%分別排出時の3倍程度になる。これによって缶やびんの再生品を売却しようとしても、逆有償が発生することになる。すなわち、想定したリサイクル率を達成しないことが、初期投資の回収を遅れさせるばかりでなく、リサイクルによる赤字を生み出す可能性が大きいことを示している。

4.3 費用負担のあり方

4.3.1 廃棄物処理・リサイクルに関する費用負担の構造

容器包装リサイクル法では、廃棄物処理・リサイクルにかかる負担の原則が明確化された³⁾。それは、分別排出が市民の役割、一般ごみと資源ごみの収集と処理が自治体の役割、自治体が収集した資源ごみを、再商品化するのが事業者の役割である。また、自治体には分別収集を強制する項目はなく、分別収集を行う場合の指針を示したという形を取っている。

このように役割分担が明確化されると、廃棄物処理・リサイクルシステムでの総費用をトータルで評価するだけでは、社会での経済的インセンティブを評価することはできない。特に事業者は、法律での役割分担のもとで自分たちの負担を最小にするよう行動するはずである。自治体も、法律による分別収集の絶対的な義務がないことから、廃棄物処理事業が一般会計を圧迫しているという背景のもと、あまり経費がかかるようでは、分別収集の導入に二の足を踏むことになりかねない。市民にとっては、住んでいる自治体が分別収集を行えば、分別収集の義務を行うことになる。しかし、ごみ有料化等の経済的手段は容器包装リサイクル法に盛り込まれなかったため、現状では経済的負担を負うことはなくなる。

これらの費用負担を図で示すと図4.13のようになる。これは文献4)の中の図を加筆したものである。この図は逆有償が発生する場合の図である。座標の横軸は、廃棄物の量を表しており、右は一般ごみの量、左は資源ごみの量となる。また、縦軸は処理量あたりのコストであり、上は事業者が関係するもの、下は自治体が関係するコストである。

一般ごみに比べて資源ごみの量は少ないが、収集費用単価は高くなる。そして資源ごみの選別費用が追加的に必要となる。それでも一般ごみの収集・処理・処分コストよりもやすれば、リサイクル推進によって自治体のごみ処理費用は軽減できることになる。一方事業者は、第2象現にある再生コストのうち、濃い網掛け部分は再生品にする際の歩留まりを考慮した上での再生品の売却益である。したがって事業者は再商品化費用である、第2象現のコストから売却益を引いた薄い網掛けの部分を負担することになる。容器包装リサイクル法では、逆有償が生じる品目について、従来自治体が支払っていた一部を事業者負担にしたことがよくわかるであろう。

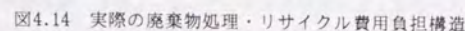
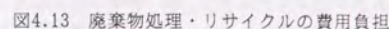
4.3.2 実際の廃棄物処理・リサイクル費用負担構造

これらのことを踏まえた上で、モデルにおけるそれぞれのリサイクル構造を図にしたものが図4.14である。

資源ごみや不燃ごみはその容積の増大が指摘されているが、重量で見れば全部合わせとも1割に満たなく、焼却ごみが一番多くその処理費が一番高いことがわかる。

収集費用については、焼却ごみが約12,500円/tで収集しているのに対して、不燃ごみについて約35,000円/tと倍以上収集費用がかかっている。しかし、焼却処理を行わないので、トータルの処理費用単価では、焼却ごみの倍も高くはない。缶びんの収集は、費用がかか

最後に埋め立て費用単価は、8,500円/㎡であり、比較的費用的には安い。しかし、費用でない面で、住民による建設反対などの深刻な状態が続いている。



収集システムにおいて、収集頻度とステーションあたりの人口を変化させたときの分析はすでに第3章で行ったが、第3章では総輸送距離と必要台数であったため、ここでは総費用を計算して図4.15と図4.16に示す。

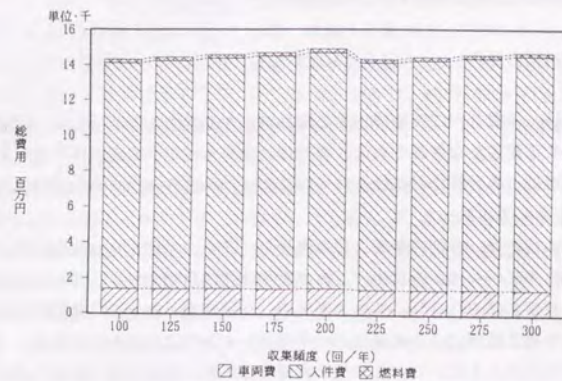


図4.15 収集頻度と総費用

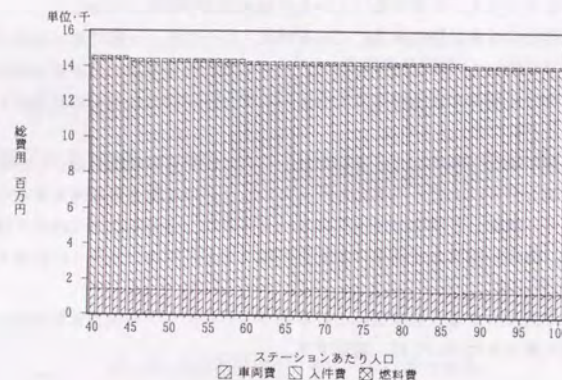


図4.16 ステーションあたり人口と総費用

先の節で、分別排出率が低下すると、処理単価が急増するという分析を行った。したがって、経済的インセンティブをかけても分別排出率を増加させるのが得策かどうかを考えてみる。

経済的インセンティブと分別排出率の関係についてはあまり明らかにされていないのが実状である。そこで、「環境保全型商品（リサイクルマークのついた商品）を購入する際に、通常の商品と環境保全型商品は値段が同じだが、環境保全型商品の売っている場所が遠いとき、何分以上遠くてもわざわざ買いに行くか」と「いくら高くてもわざわざ買いに行くか」という設問での答えを参考に、需要における時間と金額の関係から、分別排出に関する時間と金額の関係にあてはめることにする。

文献7)のアンケート調査は、スーパー4店舗と大学7キャンパスに対して実施され、スーパー 533サンプル、大学 533サンプルで、1995年3月に行われた調査である。その時の

結果を図4.17、図4.18に示す。この分析によると、1分あたり3.60円という結果が得られている。

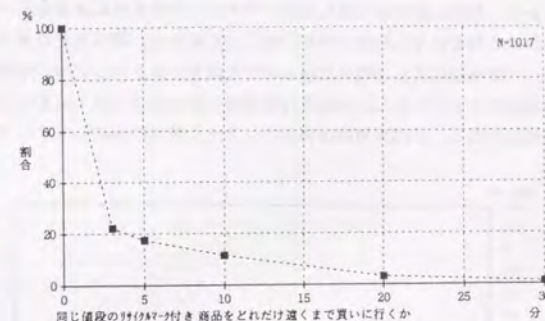


図4.17 商品購入と時間⁸⁾

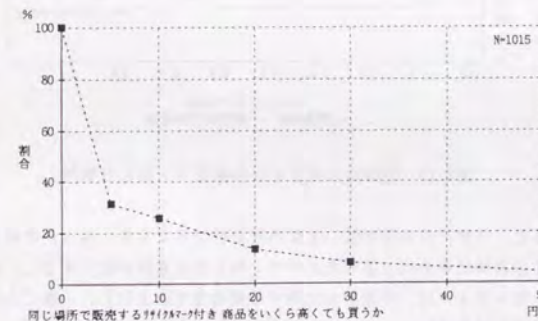


図4.18 商品購入と距離⁹⁾

ここでは、いつも買いに行く場所を、通常のごみステーションとし、ステーションまでの距離が0のひとの分別排出率を100%と仮定する。分別排出しようとする資源ごみ回収の日に余分にステーションまで資源ごみを排出のために運搬する必要がある。その行動を金銭的価値に変換する。

人の歩くスピードを60 m/sとすると、1分あたり3.60円は、1mあたり0.06円の価値となる。一方、その街の人口密度を3000人/km²、ステーションあたりの人口を60人とすると、1ステーションの対象エリアは2000m²となる。これを正方形で近似すると一片が45mとなる。このステーションから一番遠い人は、ステーションまでグリッド状に移動して45mの距離がある。ステーションから一番遠い人を分別排出させるためには、0.06円×45mで、

2.7円の価格差があればよいことになる。

缶とびんに関して、一人一日あたり0.04kgであるから、年間100日収集とし、1世帯人口を3.5人とすると、一回の排出量は0.504kgとなる。0.504kgで2.7円の価格差があれば、分別収集率が100%になることになる。この価格差の単位金額はトンあたり5357円となる。

以上のことから、缶びんについて図4.12のリサイクル率の変化による単位コストの違いと、金額差をかけてなるべく分別排出率を100%にした場合の、結果をあわせて図4.19に示す。このとき、「価格差により100%分別排出させた場合のコスト」については、分別排出率100%の時の追加コストを0とし、分別排出率0%時の追加コストをトンあたり5357円として途中を直線的に近似し、100%分別排出時のトンあたり費用に追加して示している。

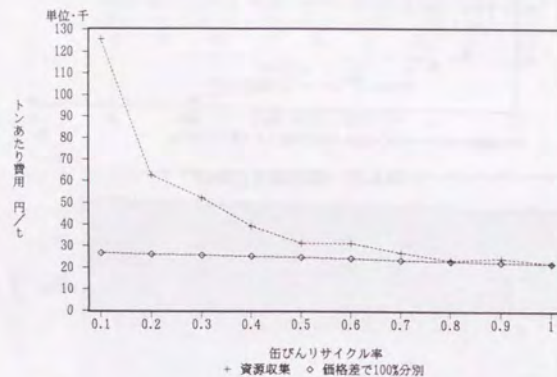


図4.19 缶びんのリサイクル率とトンあたり費用

これによると、リサイクル率が低いまま処理を続けるよりも、何らかの経済的インセンティブ与えて分別排出率を向上させた方がトンあたりの費用が安くすむことがわかる。その経済的インセンティブは、分別排出に対する補助金でもよいし、一般ごみに対する課徴金（ごみ有料化）でもよい。

ここで求めた金額は、引用したアンケートの結果から得られたものだが、コスト的にはさらに経済的インセンティブを強化することも可能である。

また、ステーション密度を上げて、総コストはあまり変化しなかった。ステーション密度が2倍になれば、ステーションまで出しに行く距離が半分となり、先の3000人/km²の都市では最高45mの距離で排出していた人が22.5mでよいことになる。分別排出率が距離に関係するという仮定の下では分別排出率も2倍となり、トンあたりの費用は結果的に安くなることがわかる。

これらのことから、経済的インセンティブを与えたり、収集のサービスレベルをあげるなどして、できる限り分別排出率を100%に近づけるよう、政策を打つことが重要となる。このことは、廃棄物処理・リサイクル政策の大きな転換であり、中途半端な修正では費用が逆に多くかかってしまうことを示している。

政策の大きな転換を実施するには、多くの主体の利害関係が生じることが予想されるが、それらの費用の再分配も同時に行い、積極的に目標に対する政策を実施することがトータルコストとして安くなるという事例でもある。

4.5 環境税導入

4.5.1 排出抑制の効果

環境税導入によるごみの排出の抑制効果については、第2章で詳細に分析を行った。これによると、エネルギー価格が10%上昇すると、民間最終消費支出が0.22%減少し、廃棄物発生量は0.11%減少するというものであった。廃棄物発生量減少の数値自体の信頼性はあまり高いとはいえないものの、エネルギー価格の上昇が廃棄物発生量も減少させるということがいえた。

現在検討が進められている炭素税は、炭素トンあたり2万円や4万円といったものである。原油に関するデータは表4.3の通りである。

これらの値から計算すると、17,232円/t-Cとなる。したがって、炭素税の導入によって原油価格は、116%~232%に上昇することになる。よって廃棄物発生量は、1.3%~2.6%も減少することになる。

表4.3 原油の炭素排出に関するデータ

原油発熱量	9,250 kcal/l	総合エネルギー統計より
原油二酸化炭素排出原単位	0.07811 gC/kcal	二酸化炭素排出調査報告書より
原油輸入価格(平成3年)	12.45 円/l	石油価格統計より

本来、炭素税等の環境政策は、二酸化炭素を経済的メカニズムによって削減しようというものである¹⁰⁾。しかし、エネルギー消費の削減は製品の需要を低下させ、結果的に発生する廃棄物も減少する。

しかし、それは環境税による直接的な消費の低下である。いま、廃棄物・リサイクルのシステムを考える場合には、直接的な効果ではないことに気づく。廃棄物処理・リサイクルシステムに限らないが、排出される廃棄物を処理するための施設整備に伴って排出される二酸化炭素も多いということである。すなわち、炭素税等の環境税が導入された場合には、施設整備により多くの費用が生じる可能性がある。

例えば、人件費を多く必要とするシステムと、機械を多く必要とするシステムでは、機械を多く必要とするシステムの方が、設備整備時に排出する二酸化炭素は多いであろう。また、リサイクルによって節約される二酸化炭素が多ければ、施設整備時に一時的に多くの二酸化炭素排出量が多くても、年数がたてばその分を回収することができる。

さらに、費用的には高くとも二酸化炭素集約度の高いものは、炭素税による影響が大きく、二酸化炭素集約度の低いものと費用が逆転する可能性もある。

このように、炭素税等の環境税の影響は、直接的なごみの排出抑制にとどまらない。これらの点を以下見ていく。

4.5.2 費用と二酸化炭素排出量の関係

環境税の導入を考える前に、まず、廃棄物処理・リサイクルオプション別の年間費用と、イニシャル/ランニングの二酸化炭素排出量の関係を示す(図4.20、図4.21)。

これによると、イニシャル二酸化炭素もランニング二酸化炭素も年間費用との関係はほぼ比例関係にあることがわかる。

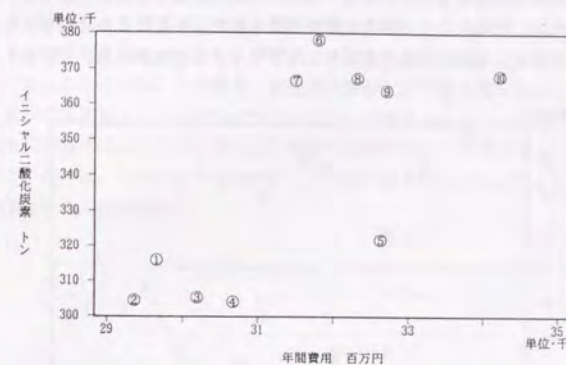


図4.20 年間費用とイニシャル二酸化炭素排出量

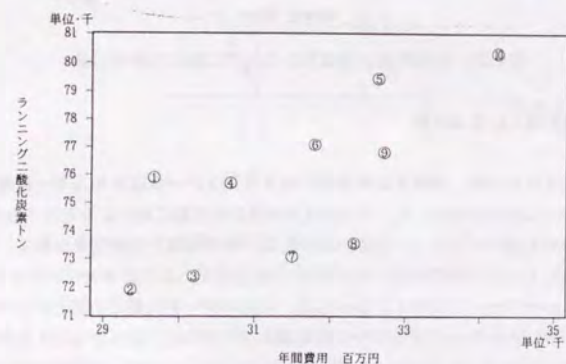


図4.21 年間費用とランニング二酸化炭素排出量

発電を行う場合(モデル⑥~⑩)と、行わない場合(モデル①~⑤)との違いをみる。年間費用あたりのイニシャル二酸化炭素排出量は、発電を行う方が高くなる傾向にある。逆に、年間費用あたりのランニング二酸化炭素発生量は、発電を行う方が低くなる傾向にある。このことは、発電を行うことはイニシャルで二酸化炭素を多量に発生させるが、ランニングでの二酸化炭素の発生量を押さえる働きがあるといえる(第5章参照)。

リサイクルオプション別にみると、缶・びんの分別収集（モデル③、⑤）は混合収集と比較して、年間の費用はあまり変化しないものの、イニシャルでもランニングでも排出する二酸化炭素量を削減することができる。油化については、設備投資も年間の運用でもかなりの費用を必要とし、そこから発生する二酸化炭素量も多くなっている。しかし、リサイクルされることによって排出が抑制される二酸化炭素量も考慮に入れると（図4.22）、年間の実質二酸化炭素発生量は、マイナスになる。すなわち、社会全体の活動でみれば二酸化炭素発生量を削減できることになる（再生油の利用によって石油の消費量が削減できるため）。これは、発電による二酸化炭素排出抑制効果よりもはるかに大きいものといえる。このことから二酸化炭素排出量に与えるリサイクルの効果は高いと評価できる。

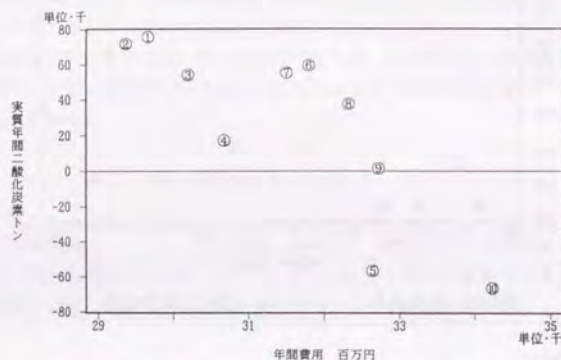


図4.22 年間費用と実質ランニング二酸化炭素排出量

4.5.3 環境税の導入による効果

環境税導入の効果には、さまざまなものが考えられる。一つはエネルギー需要の減少である。もう一つは税収を確保して、その税収を環境保全活動に用いようというものである。また、第1章でも述べたように、需要の減少には、所得効果と代替効果がある。

所得効果は、とにかく価格の高いエネルギーを使わないようにするというものである。廃棄物処理・リサイクルシステムにおいては、エネルギーを大量に必要とする中間処理を全く行わないで、アメリカのように全て直接埋め立てすれば、使用するエネルギーは削減される。しかしながら、日本は国土も狭く衛生的な問題も大きく、最終処分場の確保も困難なことから中間処理を積極的に進める方向で廃棄物政策を進めてきた。この考え方には合理性もあり、エネルギー価格が上昇するからといって中間処理をしなくなるという動きは起こりにくいであろう。したがって中間処理でも焼却を中心とするものではなく、堆肥化を行うような処理に代替されることはあっても、エネルギー消費量を削減することは難しく、炭素税に対する廃棄物処理・リサイクルシステムの弾力性は小さいと考えられる。

これに対して代替効果は、廃棄物処理・リサイクルシステムを変更したりして、エネルギー消費量を削減するようになる効果である。具体的には、エネルギー消費量を削減する

ためにごみ発電を行ったり、できる限り焼却処理でなくリサイクルを推進するといったものである。

まず、代替効果の方から分析を行う。ここでの代替効果は、環境税の導入によって経済的なインセンティブがどのように変化するかである。

いま、直行座標系で横軸に費用、縦軸に二酸化炭素排出量をとるとする（図4.23）。ここで2つのシステムを想定し、一つは費用が多少かかるが二酸化炭素排出量が少ないもの（■印）、もう一つは費用はあまりかからないが二酸化炭素排出量が多いもの（●印）である。通常の経済社会の中では、コスト削減が第一に考えられるので、より縦軸に近い●印のシステムが選択される。しかし、環境税（二酸化炭素排出税）が課税されると、縦軸は左の方に歪むことになる。この場合、変換後の縦軸との距離は■印のシステムの方が近くなり、経済的な選択として環境保全型のシステムが選択されることになる。この縦軸の傾きが環境税の税率によって決定される。経済的な選択がシステムAからシステムBに移行するための条件は、ベクトルBAの傾きより縦軸の傾きが急になることである。これが環境経済学的な考え方である。

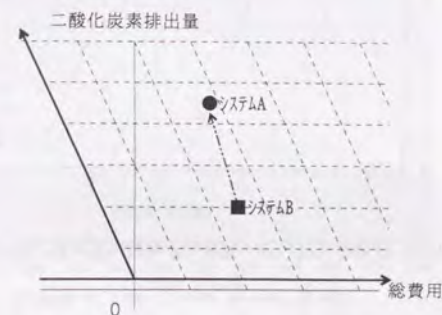


図4.23 総費用と二酸化炭素排出量

これによって、システムの代替が促進されることになる。もう一度、10の廃棄物処理・リサイクルシステムについて、総費用と実質二酸化炭素排出量を示す。このとき、炭素税が4万円/t-Cの場合（図4.24）を示す。

モデル③とモデル④（缶びんの分別収集にPETとPストレーの収集を行うか）との比較において、ほぼ同一直線上に位置することがわかる。このことは、経済性だけで評価すれば、PETやPストレーのリサイクルシステムは効果であり意味がないことになるが、炭素税を導入することでイーブンの立場に立つことを示している。

また、モデル⑤の油化もかなりの費用を必要とするシステムではあるが、炭素税を導入することによって、その経済的差額が軽減されるとともに、実質年間二酸化炭素排出量が負であることから、システム構築時に必要な二酸化炭素排出量を考慮しても、将来的に二酸化炭素を節約する効果があるということから、大きな意味を持つようになることが予想される。これらのリサイクルシステム導入を促進するためにも炭素税の政策は効果がある

ことがわかる。

逆に、ごみ発電については、年間費用増加と減少する二酸化炭素排出量の比を（グラフ上でいうベクトルの傾き）求めると、32万円/t-Cとなる。これだけの炭素税はほとんど不可能であろう。ごみ発電に関しては、発電施設建設にかかる初期投資がかなり必要となり、炭素税等による経済的インセンティブでは、ごみ発電導入のインセンティブを与えることは難しくなるということがわかる。

このように、炭素税導入によって経済的インセンティブが生じるシステム代替と生じないシステム代替がある。

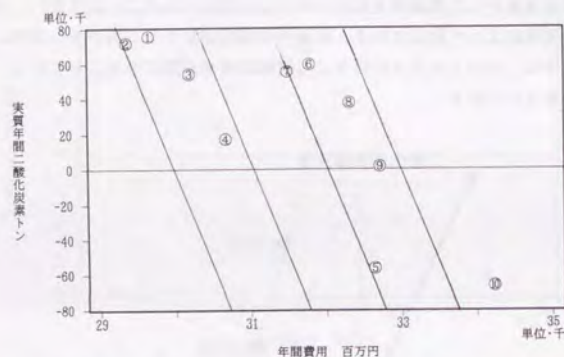


図4.24 炭素税4万円/t-Cの場合の総費用と実質二酸化炭素排出量

4.6 社会資本整備のための環境投資

4.6.1 ごみ発電施設

廃棄物処理に関するエネルギーリサイクルとしてごみ発電が注目されている。平成6年の長期エネルギー需給見通しでは、ごみ発電の容量を平成6年度の約50万kWをその2倍の200万kWの容量に拡大したいとしている¹¹⁾。特に分別の難しいプラスチックや紙ごみについては、分別をするよりも焼却し、そのエネルギーを有効に活用した方がいいという考えもある。

第3章でも示したように、ごみ発電に関しては、収集システムや最終処分システムとはあまり関係せず、焼却システムにおいて、焼却量と焼却するごみの発熱量によって決定される。そこで、ごみの発熱量と総費用の関係を図4.25に示す。

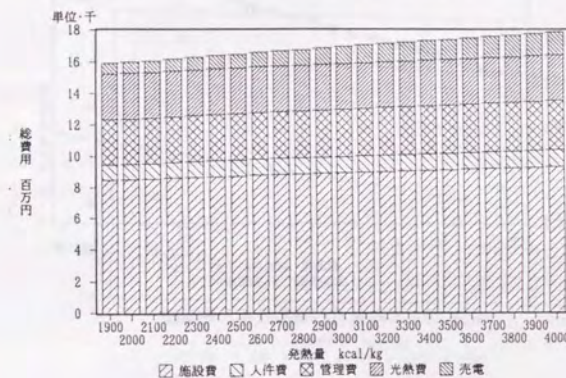


図4.25 ごみの発熱量と総費用

ごみ発電はごみ発熱量の想定量によってごみ発電施設の建設規模も変化する。発熱量が高ければ発電規模が大きくなるので、施設費もそれに伴う人件費も増加する。発電量も、ごみの発熱量にほぼ比例して増加することがわかる。しかし、ごみ発電を行わない場合と比較した追加費用とごみ発電の売電額を図4.26に示す。これによると、ごみの発熱量の増加とともに追加費用と売電による収入も増加しているが、売電による収入より発電施設建設による追加費用の方が高いことがわかる。すなわち、ごみ発電は、ごみの発熱量によらず、経済的なインセンティブが存在しないことがいえる。ごみ発電の有効性は、焼却するごみからエネルギーを回収する環境保全性にあるのであって、経済的なメリットではない。

その証拠に、ごみ発電施設を二酸化炭素排出量でみる。発電施設で追加的に必要となる二酸化炭素排出量を売電による回収二酸化炭素量で割った「投資二酸化炭素回収年数」をごみの発電量の違いで示したものを図4.27に示す。これによると、経済的にはメリットのない発電施設も数年で投資に必要な二酸化炭素を回収して二酸化炭素排出中立となる。したがってその年数を超えれば、発電の環境保全の意味は生じてくる。その回収年数は、ご

みの発熱量が 2000kcal/kg程度だと約 3.5年かかり、3000kcal/kgだと3年となり、ごみの発熱量が高い方がその効果が大きいことがわかる。

これらのことから、プラスチック等の発熱量の高いごみを焼却する場合には、二酸化炭素排出削減を目的として発電施設を建設することが望ましい。しかし、経済的なメリットはないことから、エネルギー税をかけるなどして、売電額を上昇させる等の措置を平行して行うことが望ましい。リサイクルの観点から、プラスチックなどの高カロリー廃棄物を焼却しない場合には、高価で大規模な発電施設は建設せず、熱利用や所内電力をまかなう程度にするのが望ましいといえる。

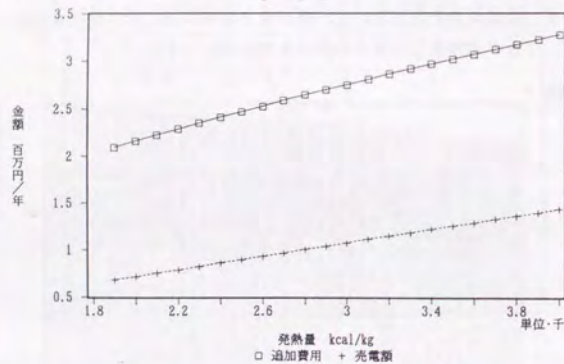


図4.26 ごみ発電の追加費用と売電額

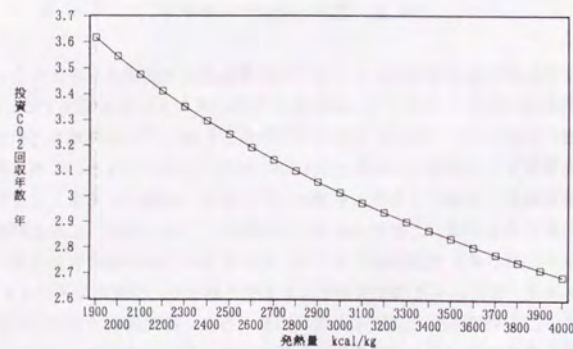


図4.27 ごみ発電による投資二酸化炭素回収年数

4.6.2 減容器つきパッカー車の導入

資源回収が収集においてコストがかかるというのは、収集効率が悪いからである。そこで、収集車に簡易の減容器をつけて、収集効率を上げる方法がある。減容プロセスは、簡易の破砕機や缶プレス器を収集車に取り付けるだけのもので技術的には可能だが、現状の収集車に取り付けるのは構造上難しく、新規に購入する必要がある。

ここでは、これらの減容器つきパッカー車の導入が、収集・処理システムにどのような影響を与えるのかを考える。

まず、収集システムだけに着目して、収集量（一人一日あたり排出原単位）と収集車積載可能量と収集費用原単位を図4.28と図4.29に示した。そのほかの都市の条件は第3章と同一である。

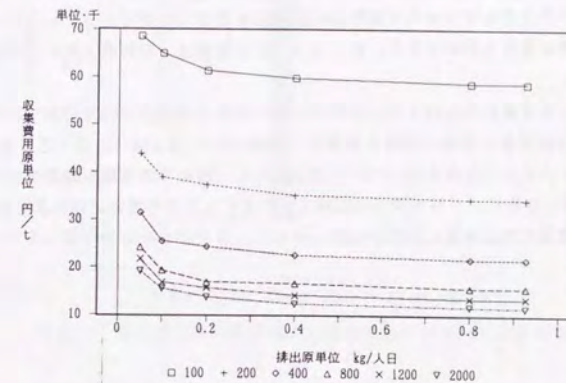


図4.28 一人一日あたり排出原単位と収集費用原単位

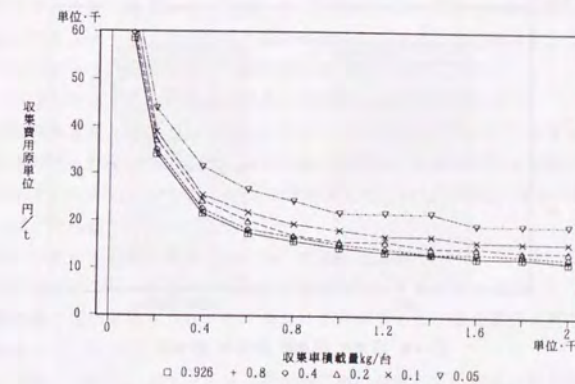


図4.29 収集車積載可能量と収集費用原単位

これによると、収集量が多いほど、また一台あたりの積載可能量が大きいほど、収集費用の原単位が小さくなるということがわかる。また、収集費用の原単位は、収集量よりも一台あたりの積載可能量に大きく影響を受けるということがわかる。

また、排出量原単位（収集量）がどの程度であっても、積載可能量変化による収集費用原単位の変化は同程度であり、積載可能量が一台あたり100gから200gに向上すると、トンあたり 25000円収集費用原単位が減少する。100gから 2000gに向上すると、トンあたりで 45000円 もの収集費用原単位が減少する。これによってPET、PSトレイ収集にトンあたり 59000円かかっていた収集費用は14000円/トンとなり、一般ごみと同様の収集費用原単位となる。ただし、これは収集車の値段上昇等を考慮せず、他の条件を変化させていないものである。

さらに、減容器つきバッカー車の導入によって節約される部分は、収集のあとのリサイクル工場への輸送プロセスでの輸送効率が向上するとともに、収集の時点で一次減容されているので、リサイクルプロセスで減容化の効率化を図ることができる。したがって、リサイクルに必要な費用も節約できる。逆にコスト増加要素は、車両購入費の上昇と、燃費の悪化である。

これらのことを考慮に入れた上で、収集車の購入価格を通常の 850万円から2000万円に上昇させ、減容器付き収集車の燃費を通常の 5.5km/lから 3.5km/lに低下させる。また、減容化後のプラスチック密度を 8.2t/m³以上と仮定し、運搬での積載可能量を10トトラックに10tとする。さらに、リサイクルの過程で、PETとPSの減容プロセスを省略する。これらによる費用の変化を図4.30に示した。さらに、各プロセスごとに変化を見たものが図4.31である。

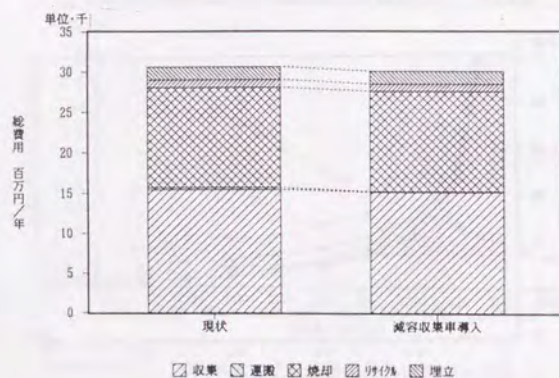


図4.30 減容器付き収集車導入の場合の総費用変化

収集車の価格が上昇し、燃費が悪化しても収集プロセス全体でコストが低下していることがわかる。さらに、運搬でも費用は低下している。リサイクルプロセスでの費用低下は小さいものの、全体では年間4.7億円もの費用低下が推計される。

したがって、特にプラスチックの収集等は減容化をいかに行うかがポイントであり、なるべく廃棄物処理・リサイクルプロセスの早い段階で減容化を行うことが望ましいといえる。本来バッカー車というものが収集効率を上げる目的で導入されたものであり、プラスチックのリサイクルを目的としたプラスチック収集には、その目的に合致したバッカー車が必要であるといえる。そのためにも、プラスチック専用収集車の規格作りをすすめ、特別注文等の収集車でなく、一台の価格が安い収集車を開発する必要がある。

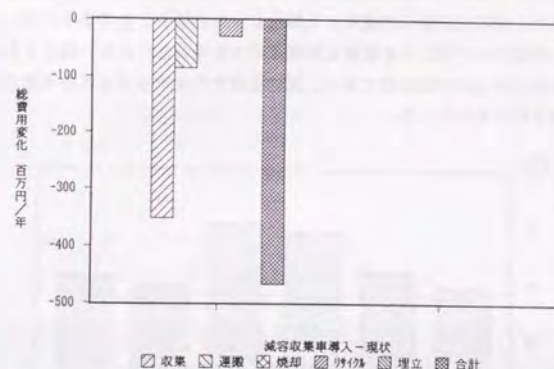


図4.31 減容器付き収集車導入の場合の各プロセスでの費用変化

4.6.3 ごみ焼却施設の新設

廃プラスチックを不燃ごみとして扱うか、可燃ごみとして扱うかは自治体によって異なる。プラスチックは焼却処理の方が合理的である。その理由として、

- ・プラスチックに付着している厨芥等も衛生的に処理できる
- ・かさばるプラスチックを減量でき、最終処分場を延命できる
- ・ごみ発熱量を上げ、ごみ発電によるプラスチックのエネルギー回収が可能となる
- ・自然界でも分解しないので、焼却しないと半永久に地上に存在する

があげられる。しかし、プラスチックを焼却することによる問題点もないわけではない。なぜならば、それは

- ・プラスチックの高発熱量のための、焼却炉を傷める
- ・特に塩化ビニールを焼却すると、ダイオキシン等を発生させる
- ・重金属で色が付けられたプラスチックを焼却すると、重金属が大気中に放出されるからである。

このようなことから、プラスチックを不燃ごみに指定して、埋め立てている自治体も多い。しかし、これらの問題点は、どれも技術的にはクリアできる問題である。すなわち、

現在新設される廃棄物焼却施設は、かなり高い発熱量を想定して設計されている。また、重金等の問題は、電気集塵機で9割以上が除去できてほとんど環境中には排出されない¹²⁾。ダイオキシン問題も塩化ビニール対策を行い、さらに高温安定燃焼+乾式反応器過+触媒脱硝の技術で問題のない対応が図れるようになった。多少古い焼却炉でも塩化ビニール以外のプラスチックを燃焼させて、焼却炉内を高温にすると発生はかなり押さえられる¹³⁾。

このようなことから、プラスチックを燃焼することの問題より、プラスチックを埋め立てて最終処分場の残余年数を低下させることの方が重要な問題になってきている。

ここでは、廃プラスチックを不燃ごみとして処理した場合の、総費用について考察を行う。この分析では、リサイクルは一切行わず、可燃ごみと不燃ごみの分別収集のみを行うものとする。また、焼却処理時に売電をする場合としない場合とを考える。さらに、プラスチックを含む収集した不燃ごみを減容化処理を行った場合と行わない場合もあわせて計算して、結果を示したものが図4.32である。減容化はプラスチック以外の不燃ごみもあわせて、プレス機で行うものとした。

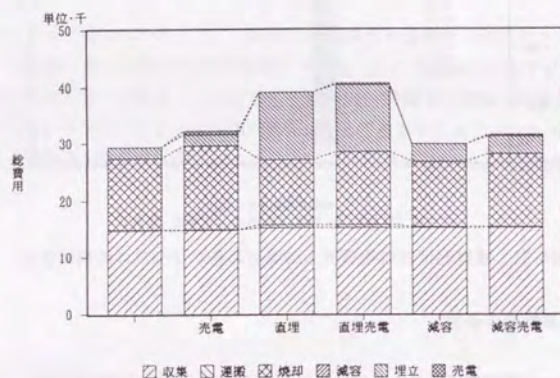


図4.32 プラスチックの扱いと総費用

プラスチック廃棄物を減容化せずに直接埋め立てると、容積比が大きく最終処分場の容積を多く必要とし、容積比でコストを算出する今回のモデルでは、収集プロセス、焼却処理プロセスと匹敵する多額の費用がかかることが明らかになった。また、費用全体から見ると少額ではあるものの、最終処分場への運搬コストも、他の処理方法と比較してかなり多くなっている。このことは他の研究事例においても見られる¹⁴⁾。

これに対して、減容化すれば最終処分に必要なコストは多少の増加で防止することができる。しかし、焼却プロセスにおける施設規模の減少とそのためコスト減少を考慮に入れることによって、焼却か減容後埋立かはコスト的には微妙となる。

ごみ発電については、プラスチックを焼却しないと発熱量が大きく減少し、低位発熱量が1000kcal/kg程度となってしまうことも考えられる。こうなるとごみ発電施設を建設しても売電額は極端に少なくなってしまう。

この結果は、地方自治体の決断を迷わせることになる。現在古い焼却工場を有していて新しい焼却工場を新設する場合に、ごみの発熱量を(従来通りに)少なく想定し、プラスチックを不燃ごみまたはリサイクル推進とするか、ごみの発熱量を高く想定しプラスチックを焼却し発電を行うかの決断がしにくくなるということである。廃棄物の分別排出方法にも大きな影響を与えることから、安易には従来の収集方法を変更することはできないであろう。

しかし、これまでも見てきたように、最終処分場の逼迫、ごみ発電があまり効率がよくないこと、リサイクルによる環境負荷減少効果が大きいこと、等を考慮すると、プラスチックを不燃ごみとしてではなく、可燃ごみとしてでもなく、リサイクルすることが時代の潮流にあっていると言えよう。

4.7 本章のまとめ

本章では、廃棄物処理・リサイクルに関する環境政策として考えられるものをいくつか取り上げ、その効果と影響を分析してきた。

処理施設等の立地については、施設数を増加させると運搬・輸送等のコストが少なくすむものの、施設数が増加すれば施設建設のためのコストが必要となってくる。100万人以上の大都市であれば、自地域内に処理施設等を持って処理することが望ましいが、中小都市においては、輸送に関する費用を増加させても、大規模で少ない処理施設で処理する方が望ましいという結論が得られた。そのためには、各自治体の固有事務となっている廃棄物処理についても積極的に広域的な対応をすることが望ましいといえる。特にリサイクル施設については、処理する量が少ないという特徴もあるので、往復400km程度は輸送を行ってでも、ある程度の処理量を確保して処理する方がよいといえる。また、収集量を計画して処理施設を建設しても、想定する処理量に達しない場合には固定費の減価償却費は一定額必要となり続けるので、できる限り計画処理量一杯に処理する方がよい。処理量が減少してくると、処理量あたりの処理費用単価は急激に上昇して、資源ごみの逆有償が生じる可能性が高くなり、そうなるリサイクルは経済的に立ち行かなくなる危険性が高まる。

新しく制定された「容器包装リサイクル法」は、自治体が収集した資源ごみの再生にかかる費用を事業者が負担するものである。事業者の負担額は、リサイクル品の市場価格によって決定し、再生品価格がバージン資源と変わらなければ逆有償はほとんど生じることなく、事業者の負担はなくなる。自治体としてはリサイクルが事業者の負担によってなされれば負担は軽減するようだが、自治体にとっての問題は重量の割に容積を占めるかさばるごみの収集における効率性の確保であり、回収したものを再生するコストの負担はあまり大きな問題ではない。

分別排出率を向上させるためには、ごみの排出者に経済的インセンティブを与えたり、分別排出のためのサービスレベルをあげることが必要となる。消費者の環境保全型商品の購入パターンから推測すると、分別排出促進のための経済的インセンティブはそれほど高くなくてもよかった。経済的インセンティブを補助金という形で、リサイクルのための費用として考えても、分別排出されなかったことによるリサイクル費用単価の増加よりも、補助金等による費用の方がはるかに小さく、経済的インセンティブを用いた分別排出の促進はリサイクル事業全体としても効果のあるものだということが確認された。消費者の分別排出行動は、資源ごみ収集サービスの向上とも関連すると言われているが、ステーション密度を上昇させたり収集頻度を上げたりすることは、収集費用の急増にはつながらず、これらの収集サービスレベルの向上についても積極的に取り組む必要があるといえる。

炭素税を導入することが、消費活動全体の縮小を招き、廃棄物発生量が減少するメカニズムについては第2章で分析した。炭素税の導入は、廃棄物処理・リサイクルシステム建設時や運用時のコストにも影響を及ぼす。炭素税導入によるコストの変化は、リサイクルを行う方がいいのか行わない方がいいのか、ごみ発電は積極的にすすめた方がいいのかあまり効果的でないのかというような、どのようなシステムを選択するか、ということに影響を及ぼす。システム構築時には、一般的には排出する二酸化炭素量と費用とは

比例関係にある。費用をかけるという行為が何かしらの、環境負荷を発生させるからである。運用時には、リサイクルによる二酸化炭素排出節約効果（リサイクルによって、リサイクル品が代替した元の製品の製造に要する二酸化炭素排出量を抑制する効果）やごみ発電による売電効果も考えると、二酸化炭素排出効果をもたらすための機能を付加させることによって、初期費用や運用費用が多少多く必要となっても、二酸化炭素排出量が削減される場合がある。こうした場合、炭素税の導入によって経済的に、環境保全型のシステムへ移行するようになる。本分析では、PETとPSTレーのマテリアルリサイクルは、炭素税の導入によってより推進されるオプションの一つであることを確認した。

最後に、廃棄物処理・リサイクル施設への資本投資のあり方について考察を行った。これによると、ごみ発電はいま積極的に推進されているが、ごみの発熱量がかなり高くても、発電施設建設にかかる費用が高額で、発電に必要な施設の減価償却費用が売電額でまかなえないことが明らかになった。しかし、二酸化炭素排出量で見た場合には、ごみ発電によって二酸化炭素排出節約効果が生じ、発電施設建設にかかる初期の二酸化炭素は3年程度で回収が可能となる。しかし、炭素税の導入によってもコスト的な問題はなかなか解消せず、環境保全という目的を前面に押し出して推進する必要がある。

容器包装廃棄物については、減容のプロセスをいかに効率よく行うかがポイントとなる。容器包装廃棄物の処理で何が問題かと言えば、収集効率の悪さである。したがって減容は収集の前に行うのが一番効果的である。この方法として考えられるのは、スーパー、ガソリンスタンド程度のステーション密度で回収を行い、そのステーションに減容器を設置することと、収集車に減容器を設置する方法である。本分析においては、後者の減容器付き収集車の導入を検討した。その結果、減容器付きの収集車の購入費用をかなり高くし、燃費を悪くしたとしても、収集効率が格段に向上して、人件費等が減少することによって収集にかかる費用全体が減少することが確認された。さらに、リサイクル施設への輸送効率の向上や、リサイクル施設での減容プロセスを省略できるなど、他のプロセスでの効果もあり、減容化はできるだけ廃棄物処理・リサイクルシステムの早期の段階で行うことが望ましいことが明らかになった。

プラスチック廃棄物の処理は、自治体の歴史的経緯から不燃ごみとして扱っているところも多い。理論的に言えば、焼却施設を新設してでも雑プラスチックは焼却することに合理性がある。しかし、最もよいのはプラスチックも分別排出してリサイクルを行うことである。これらの処理方法が何らかの理由で選択できない場合でも、プラスチックを何の処理もせず最終処分（埋立）することは、最終処分場を逼迫させるだけでなく、最終処分コストも高額になる。プラスチックごみを焼却またはリサイクルできない場合でも、必ず減容化等の中間処理を行ってから処分すべきである。

広域化の議論でもあったように、環境保全整備の整った最新鋭の大規模焼却処理場／リサイクル処理工場（再資源化工場）を広域的に建設し、リサイクルを旨とする適切な処理を行うことが必要であることを改めて示すことができる。

●参考文献 (第4章)

- 1) 末石富太郎(1987)「NIMBYsyndromeに関する一考察」, 環境問題シンポジウム15
- 2) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1995)「食品容器リサイクル対策事業報告書」, (財)政策科学研究所
- 3) 厚生省水道環境部監修(1996)『一目でわかる! 容器包装リサイクル法 (改訂版)』, 国勢情報センター出版局
- 4) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1995) 前掲書2)
- 5) リサイクルのための経済的手法検討会 (環境庁) (1994)「リサイクルのための経済的手法について (報告書)」
- 6) 山川肇、植田和弘(1996)「ごみ有料化をめぐる: 到達点と課題」, 環境科学会誌9-2
- 7) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1995) 前掲書2)
- 8) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1995) 前掲書2)
- 9) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1995) 前掲書2)
- 10) OECD(1994) "MANAGING THE ENVIRONMENT: THE ROLE OF ECONOMIC INSTRUMENTS"
- 11) (財)クリーン・ジャパン・センター編(1995)『最新リサイクルキーワード (第2版)』, (財)経済調査会
- 12) 電力中央研究所(1991)「石炭火力発電所における微量粒子の挙動に関する研究」
- 13) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1995) 前掲書2)
- 14) (社)食品需給研究センター、(社)食品容器環境美化協会(1996)「食品容器リサイクル対策事業報告書」, (財)政策科学研究所

第5章 環境政策への提言

5.1 緒言

第4章まで、さまざまな分析を通じて、廃棄物処理・リサイクルシステムに関する環境政策の影響や効果を明らかにしてきた。リサイクルに関する法制度も整備されつつあり、リサイクルの潮流も高まり、リサイクル社会の構築が進みつつあるが、実際にリサイクル社会になっていくには、まだいくつかの課題がある。

本章では、リサイクル社会を構築するためにどのような課題があり、どう施策を講じることによって、リサイクル社会に向けて前進できるのかについて、第4章までの分析結果を踏まえながら、整理および提言を行っていく。

ここでの主な視点は、市場メカニズムによるリサイクルの必要性、リサイクルに関する施設整備の推進、リサイクルに携わる各主体の役割の役割分担と費用負担等である。廃棄物処理・リサイクルに関しては、いろいろな「原則」の考え方や、歴史的背景などがあり、これらを踏まえた上で、政策づくりを行わなければならない。

さらに、現在特に注目されている「容器包装廃棄物」と「プラスチック廃棄物」を具体例として、どのように施策を行うべきかを考えていく。「容器包装廃棄物」は、容器包装自体が商品ではないこと、容積が大きいこと、などが特徴となる。また、プラスチック廃棄物については、容積が大きいこと、焼却すると発熱量が高いため焼却炉を傷める可能性があること、などが特徴となる。

最後に、本研究において改良すべき点と、今後の課題について示す。

5.2 経済的メカニズムによるリサイクル

5.2.1 リサイクル率の上昇

資源保護、環境保全が叫ばれる中、リサイクル運動が盛んになっている。多くの自治体で「リサイクル社会をめざして」とか「循環型社会」という言葉が使われ、そのための活動がなされつつある。分別収集を行い、資源ごみ回収をしている自治体が大部分を占めるようになった。また、生活協同組合や大手チェーンストア等もリサイクルには熱心で、店頭でリサイクルボックスを設置するようになってきた。業界としてもリサイクルの普及啓発に労力を割き、以前は「空き缶はくずかごへ」というロゴもいつの間にか「空き缶はリサイクルへ」という表現に変わった。

実際、アルミ缶やスチール缶、ガラスびんといった容器のリサイクル率（または再資源化率等）は年々上昇傾向にあり、どれも60%程度に達している。

PETボトルは、使われるようになったのが新しいこと、使い捨て製品としてとらえられがちなプラスチックという素材上の特性等から、リサイクル率は低いが（1.8%（1995年））リサイクル可能な素材であり、年々リサイクル率が上昇している素材である。

紙パックリサイクルについては、洗う、開く、乾燥させるという前処理を家庭から排出する前に行わなければならないという特殊な容器であり、単に燃やすことができるという素材にも関わらず、リサイクル率は20%弱と言われている。

しかしながら、決してリサイクル社会が完成しているわけではない。むしろ、再生品の需要が低く再生品がだぶつき価格が低迷し、このことは回収業者の生存を危うくしている。古紙についてはこの傾向が顕著であり、古紙の価格は低迷している。また、ガラスのカレットについてもだぶついていると言われ、技術的にはある程度完成しているリサイクルシステムも、経済的、社会的課題は多いと予想される。

5.2.2 市場メカニズムによってリサイクルできない要因

市場メカニズムによるリサイクルできない要因には次のものが考えられる。

①リサイクル施設の整備が進まないこと

現在すすめられている第8次廃棄物処理施設整備計画は、「リサイクル型社会への転換推進計画（リサイクル・ゴーゴー計画）」と題して、リサイクル関連施設の整備に5年間で5,500億円の投資がなされようとしている。計画の重点としては、①ごみの排出抑制、排出時の分別の促進、②リサイクルの推進とごみ焼却時の熱利用の促進、などがあげられている。もちろん、その他の廃棄物処理施設についても整備計画に盛り込まれることになろう。このように、リサイクル施設の整備は進められてはいるが、さまざまなリサイクル施設は費用も高く、国などからの補助金等がなければ進まないような状況になっている。

②回収品の量と質が確保できないこと

缶やビンについては、自治体による回収が進んだこともあって、かなりの回収量となっ

ているものの、その他のところではなかなか回収量が確保できずにいる。容器包装リサイクル法の分別基準でもスチール缶、アルミ缶、ガラスビン、紙パック、PETボトルともに、「原則として最大積載量が一万キログラムの自動車に積載すること」となっており、10t程度の量をユニットとして収集する必要がある。また、人口についても分別基準適合物を自治体が共同して保管する施設は30万人あたり1ヶ所を越えないものとしており、量の確保を重点課題として見ていることがわかる。

③収集・処理コストが高い

資源ゴミの収集コストは一般ゴミの収集コストよりかなり高いといわれている。本研究のモデルにおいても、収集コストは割高であった。また、処理コストの単価も再生プロセスは、単純焼却と比較すれば当然高くなる。再生品が、バージン資源の価格と同じ額で売却できれば、最終的には有価となることを確認したが、実際には現在再生品の価格は低く、収集・処理コストの低減が期待されている。

④再生品市場の確立

我が国において再生品の市場は確立しているとはいいがたい。海外では、再生品も市場で流通しているが、日本においては、再生品の流通ルートが固定化していて、フリーなマーケットになっていない。したがって市場メカニズムもはたらかず、需給バランスによって再生品価格が決定せず、不安定なものとなる。再生品価格の適正化・安定化のためにも再生品市場の確立が必要とされている。

5.2.3 リサイクルを阻害する社会的要因

廃棄物処理施設は迷惑施設と呼ばれ、住民に迷惑がられる施設の一つとなっている。それは、収集車が近くの道路を走ったり、焼却工場や最終処分場から公害（ばい煙、振動、汚水など）を発生させたりするからである。リサイクル施設も同様の評価をされ、立地に関しては大きな問題になっている。

これは、集中・効率的処理に対する社会的反発によるもので、大規模化することに対して、地域主義などがアンチテーゼとして提案されている。廃棄物については、これらの動きもあり「自区内処理の原則」が確立し、よその地域の廃棄物を処理するシステムを蔓延させ、過疎地域の更なる荒廃を招かないように配慮している。

しかし、リサイクルには廃棄物処理と対置させて議論される場合もある。すなわち、すべて焼却処理するという焼却主義に対して、できる限りリサイクルし焼却や埋立による環境被害を回避しようというものである。一般的に、再生資源化プラントから発生する環境負荷はコントロールされているのに対し、廃棄物焼却施設、廃棄物最終処分施設からの環境負荷はあまりコントロールされていないイメージがあるからである。

このように、リサイクルを積極的に推進する社会的要因と、阻害する社会的要因が混在しているのが特徴となっている。

5.3 市場リサイクルに向けての施策

5.3.1 施設整備とインセンティブ

廃棄物の処理は、廃棄物処理法によって地方自治体の固有事務となっている。したがって、人口規模の小さな自治体も自区内処理の原則にしたがって、処理を行っている。しかしながら、効率的な処理をめざすならば、リサイクルを行うにも、焼却処理を行うにもある程度の量を確保して大規模工場で処理する方が、費用的にも環境的にもよいという結論が得られた。従来の焼却工場の老朽化による建て替えも必要ではあるが、人口10万人程度の市でもさらに広域処理をめざした方が処理効率が高い。いくつかの地域が協力・連携して大規模の清掃工場を建設すれば、全体の費用が少なくてすむ分、環境保全施設にも金をかけることができ、最新鋭の機器を導入することによって、焼却工場から排出されるばいじんやダイオキシンをほぼ完全に除去することが可能となる。

容積のかさばる廃棄物の問題点は収集効率の悪さにある。下手をすると空気を収集することになりかねない。ごみ収集時または収集前に適切な減容化がなされれば収集効率を飛躍的に改善できることがわかった。すなわち、ごみの質にあった適切な段階での適切な処理が必要であることを示している。減容器付き収集車や、資源ごみステーションに簡易減容器を設置するなど、減容化処理のための初期投資を行っても収集効率の改善ですぐに減価償却が可能となる。廃棄物処理に関しては前処理が重要だということの例にもなっている。

我が国では廃棄物の中間処理に力を注いできた。中間処理率は80%を超えており、世界的に見ても高い水準となっている。これは、廃棄物処理部門における社会資本整備が着実に進められてきたことの結果といえる。これによって「廃棄物処理」に関する社会資本はほぼ整備されているといつてよい。また、処理量あたり多くのコストをかけ、廃棄物処理基盤整備に投資することによって、廃棄物処理量に対する最終処分量の比率が低下することも確認された。中間処理施設の建設があったからこそ、現在の最終処分地があるわけでこれを高く評価する必要がある。

今後は、「資源保全」「環境保護」の観点からのリサイクルをどう「廃棄物処理」に結びつけていくのが課題となろう。リサイクル施設は、廃棄物処理施設に比べて費用が多くかかり、処理量が少ないのが特徴となる。適切に計画しなければ、高額な処理費用がかかり続ける可能性もある。しかし、リサイクルは資源保全、環境保護には効果があることも確認された。例えば、推進しようとしているごみ発電は、費用的には発電施設建設にかかる費用が高く、費用的には厳しい状況にある。しかし、ごみのエネルギーを回収することができるので、二酸化炭素排出量では3年程度で初期建設時の排出分は回収することができ、それ以降は資源保全（原油消費量の削減）や環境保護（地球温暖化の防止）に貢献することができる。

環境投資は物価の上昇を招き、経済の停滞を生じさせるという指摘もある。しかし、廃棄物処理に関する長期的ニーズは資源保護と環境保全であり、それらを無視して環境投資を行わずにいては事態は進展せず、本当に危機的状況に達してから対応すれば済むような小さい問題ではない。このように、これからの社会資本整備はただ何でも国内産業活性化

という視点だけではなく、資源保護と環境保全の視点に立ち、その手段であるリサイクルを支える社会資本整備を行わなければならないといえる。

炭素税の導入は、民間の最終消費支出や固定資本形成を減少させる。民間の最終消費支出が減少することで、家庭ごみ発生量も減少する。しかし、その効果はあまり大きくなく、現在の原油価格が上昇しても、廃棄物発生量の減少率はわずかである。民間最終消費支出の減少は廃棄物を発生しないサービス部門で大きいからである。

炭素税の効果はむしろリサイクルの促進にある。リサイクル施設は、追加費用が必要となるが、環境保全性（二酸化炭素排出量削減）効果は高い。炭素税は、この環境保全効果に経済的な便益を与えることになる。プラスチックのリサイクルなどは、炭素税導入によって施設整備促進が図られる。こちらのインセンティブは大きいといえる。もちろん炭素税程度の経済的インセンティブでは、設備投資の契機となるような大きなインセンティブを持たない場合もある。ごみ発電などはその例になる。しかし、炭素税の導入によって、多少でも費用の問題点は小さくなる。環境保全や資源の有効活用を主眼におくごみ発電も導入しやすくなるのは間違いない。

炭素税の導入は、直接的な消費抑制や、景気後退に目を奪われているが、真の効果は環境保全型施設整備の促進にある。環境保全型の社会資本が整備されれば、将来的にも大きな効果が見込めるのである。

5.3.2 リサイクル収集品の量と質

再資源化工場においては、計画での資源収集量が確保できるかというのが課題となっている。一般的に上流側（動脈産業）の工場では、操業ラインの計画処理量一杯で動かし、効率よく操業を行っている。再資源化工場では、投入資源が家庭で分別される資源ごみなので、投入量についても質についても、再資源化工場側で管理することができなくなる。処理すべき資源ごみがなければ、ラインを止めなければならないし、固定費は一律に必要となるので経営状況は悪化する。質についても同じで、想定外の異物が混入しているだけでラインはストップすることになる。いずれにしても、再資源化工場において計画通りの操業ができなければ、工場のイニシャルコスト（減価償却費）の割合が高くなり、処理量あたりのコストが急増することになる。

したがって、収集する量と質が重要になってくる。リサイクル率がある程度管理できなければ、効率の良いリサイクルもできなくなるし、分別排出を徹底して行う必要がある。韓国の場合、収集品の質の悪さがリサイクルの阻害要因となっていた。いずれにしても、家庭における協力度が高くなければならない。牛乳パックリサイクルが、「開く、洗う、乾かす」などの手間がかかったにもかかわらず、社会の中に浸透していったのは、全国規模である一定の量が確保できたことと、何より消費者がかなりの手間をかけることで質の良い収集品が集まったことによる。

家庭系廃棄物からのリサイクルは、分別排出から出発する。「容器包装リサイクル法」では、分別排出は消費者の責務として位置づけられているものの、具体的な政策はなく協力を求めているにすぎないという見方もある。分別排出を促進する方法として次の二つの方法が考えられている。一つは経済的なインセンティブであり、もう一つは分別排出のた

めの収集サービスレベルの向上である。

分別排出率の向上は、リサイクルの処理費用単価に関係してくる。前述したように実際の処理量が計画処理量よりも少ない場合には、リサイクル施設の初期投資の減価償却費の割合が大きくなり、処理費用単価を引き上げて逆有償を生じさせる可能性がある。そのため、多少費用をかけてでも分別排出を促進させる政策を講じる必要がある。現在はこの部分にあまり重点が置かれていないのは一つの欠陥でもある。

分別排出に対する経済的インセンティブは、一般ごみと資源ごみで価格差をつけることである。一般ごみにマイナスの価値をつければごみ有料化となり、資源ごみにプラスの価値をつけば資源ごみに対する補助金となる。ごみ有料化は廃棄物処理法にも盛り込まれている経済的手法ではあるが、不法投棄を生むという問題も抱えている。しかし、金額的には低い価格差で資源ごみを排出するという行動も見られ、分別排出率が低くて処理費用単価が上昇するのに比較すると、分別排出促進のために費用をかけても、経済的合理性がある。また、分別排出のための収集サービスの向上についても、収集頻度や収集ステーション数を増加させても、費用の増加はそれほどでないことがわかった。これらのことから、分別排出率向上のための政策を講じる必要があることがわかる。

5.3.3 収集・処理の役割分担と費用負担

リサイクルは多くの主体を経由し、まさに各主体が手をつなぐことによってサイクルが完結する。さらに、リサイクルはそもそも廃棄物からのリサイクルを考えているわけで、再生処理コストと、再生品の価格差がリサイクルの経済的な原動力になるわけだが、現代においては、再生品の価格が低迷しているせいで、この原動力が小さいかマイナスになっている。経済性でなく、資源保全や環境保護という立場に立てば、大きな意味のあるリサイクルを行うためには、各主体の役割分担や費用負担が必要となる。

まず、収集については、自治体の役割分担になっている。これは、廃棄物処理に歴史的な経緯として公衆衛生の概念があったからである。そのため、廃棄物処理は公共財であり、公共サービスという色彩が濃かった。廃棄物収集を民間が運営すれば、不法投棄等の心配もあった。しかも、家庭から排出される廃棄物の量は一人当たりほぼ同じであったので、不公平感もあまりなかった。しかし、社会が豊かになり廃棄物発生量は増大し、自治体の財政を圧迫するようになった。しかも、ごみ処理が公共サービスというので、ごみになるような商品（ワンウェイ商品など）を企業も売るようになり、公平性も低下しつつある。

そこで、収集や処理は誰が担い、その費用は誰が負担するのかという議論が生じる。

汚染者負担の原則を用いるのであれば、汚染者は排出者である消費者となる。ごみの高額有料化ということになるが、これは工場のような点源排出源であればよいが、家庭系はほとんど面的排出源である。この場合、負担額を徴収するのはほとんど不可能である。受益者負担の原則を用いても、廃棄物処理サービスを受けるのは消費者であるから消費者が負担することになる。分別排出するのが消費者であることを考慮すると、やはり行動選択権のある人が費用負担をするのが一番のインセンティブになる。したがって、ごみ有料化の議論が正当化される。ここで問題となるのは、不法投棄の問題で、価値のない廃棄物処理に金銭負担させるだけではまずい。そこで収集のサービスレベルを向上させるというよ

うな支援は行うべきである。事業者は、店頭で回収等を行い、自治体は収集頻度を上げたり、回収ステーションを増やすなどの行為が必要となる。

自治体が担う収集は、効率よく行う必要がある。家庭に入るものも大量消費型であることを認識すれば、以下に効率よく収集するかが命題になる。収集時の適切な減容化が必要となる。また、量を確保し、高性能の処理施設を導入するために広域化を図らねばならない。

再生にあたっての費用負担は、技術的ノウハウもあり、マスバランスについてもある程度の情報がある事業者と一体化されることで、サイクルがつながることになる。

リサイクルに必要な費用の一部を事業者の負担としたのは、大きな意味がある。資源再生のプロセスコスト、再生品の市場価格は、事業者の論理で決定される部分である上に、事業者の努力によって改善できる要素を持っている。再生資源のプロセスコストを低下させるための技術開発、リサイクルしやすい製品開発等に関するノウハウは事業者が持っている。例えば、PETボトルのキャップは、PET樹脂を用いた方がいいのか、アルミ等にして再生プロセスで分離できるものにした方がいいのか、素材の統一は事業者間でどの程度まで行うことができるのかといったことである。これらの決定権は、消費者のニーズに合わせているという言い方もできるが、事業者の決定に負う部分が大きいのも事実である。対策行動ができる主体に費用を内部化させることは効果がある。

(参考)

●汚染者負担の原則

公害を発生させた企業が環境汚染の防止に必要な費用を支払わなければならないという原則で、1972年2月OECD環境委員会により採択された。企業の公害防止措置に対する政府の助成を禁じるとともに、企業はその負担した公害対策費を製品価格に反映させ、国際競争力の校正を図ろうとするもの。日本では、公害規制が厳しく企業の負担能力も十分でないとの理由から、助成措置がとられている。

●受益者負担の原則

国・地方公共団体等の行う公共事業や行政サービスによって特別の利益を受ける者にその事業に要する経費の全部または一部を負担させるという考え方、あるいはそのような場合の負担。受益の限度において課税される目的税は、実質的に受益者負担に近い。

岩波経済学事典（第2版）より

5.4 適切な廃棄物政策をめざして

廃棄物処理で決断を迫られているのは、重量の割に容積の大きい容器包装廃棄物の収集における問題と、急増するプラスチックごみをどうするかという点である。ここでは、この2点に絞って、どのような廃棄物政策が望ましいかを考える。

5.4.1 容器包装廃棄物の処理

容器それ自身は商品ではない、容器の選択は消費者ではなく事業者に決定権があるというような、容器包装廃棄物の特殊性を楯にドイツのように事業者回収として、自治体の費用増加をくい止めるという考え方もある。我が国でもその方向で事業者責任を求めていくことになるが、その方策と理屈付けを明らかにする必要がある。

まず、廃棄物の収集は「廃棄物処理法」によって自治体の責務として位置づけられている。これを改正することも考えられるが、一般的に廃棄物の収集を事業者負担とはできない。また、事業者が収集するのも混乱を招くことになりうる。そこで考えられるのは、収集を自治体が行い、処理を事業者負担とするものである。容器包装事業者に対してこれを適用したものが「容器包装リサイクル法」である。しかし、この費用負担は、汚染者負担の原則（PPP）ではない。ましてや受益者負担の原則（VPP）にも合致せず、あえていえば「原因者負担の原則」と呼ばれるような原則の適用となる。

産業廃棄物については、事業者負担となっているが、これは排出者が事業者だから汚染者負担の原則が可能なのであって、一度家庭に入ったものはこの原則で責任を問うことはできない。あくまで汚染者負担の原則を貫くのであれば、従量制のごみ有料化を実施するか、一般廃棄物、産業廃棄物という区別をはずすしかない。しかし、ごみ有料化は不法投棄を発生させる可能性がある。産業廃棄物ならある程度排出源が限られるが、一般廃棄物の場合、不法投棄の管理を行うのは実際上不可能といえる。

事業者負担の論理付けについては海外でも微妙な点になっていた。その場合、合理性から論理を導き出すのが、一番コンセンサスを得やすい。

再生に必要なプロセスコストと再生品の市場価格は、事業者の行動が影響を与え、逆に事業者が影響を受ける主体であることから、コストの内部化に近いという理由で事業者が費用負担の責務を与える。リサイクルは、再生プロセスを適切に行い、適当な再生品市場で再生品の価格が決定されれば、高額な逆有償が生じるものではない。

分別収集については、収集費用が高く分別収集に踏み切れない自治体もあるようだが、分析では適切な減容化を行いながら収集を実施すれば、それほど収集費用単価は高くない。自治体には分別収集実施を義務づけて、その中でそれぞれの自治体が合理化を図っていく必要がある。

分別排出については一番重要なプロセスであり、これをいかに高めるかが重要な点となる。資源ごみと一般ごみで高額でない価格差を設けて、不法投棄や資源ごみへの一般ごみ混入を押さえつつ、資源ごみ収集のサービスレベルを向上させることが望ましい。そのために、小売店などの事業者は、生協などがそうであるように、敷地内に回収のためのスペースを提供する程度の協力は行うべきである。ただし、その収集は自治体が責任を持って

行うことにすればよいのではないか。これによって、全体の費用をできる限り押さえつつ費用負担の不公平性も軽減されるのではないだろうか。

5.4.2 プラスチック廃棄物の処理

プラスチック廃棄物の処理については、燃焼させると有害なガスが発生するとか、発熱量が高いので焼却炉を傷める等の理由によって、焼却せず処理する自治体もある。しかし、それは老朽化した焼却炉だからである。最新鋭の焼却工場では、高い発熱量でも耐えられるように設計し、ダイオキシン等であっても処理できる環境設備が設けられている。プラスチックを焼却することによる環境負荷は二酸化炭素や排熱といった問題を除けばほとんど問題がない。大量に処理できる最新鋭の焼却工場を広域的に建設すれば費用負担も少なくなることがわかっている。

しかし、そのためには自区内処理の原則の緩和と住民の反対運動の克服がある。自区内処理の原則については完全に無視するわけではない。現在でも広域処理を行っている自治体はある。これを小規模の市にも適応させるだけである。住民の反対運動については、焼却工場の安全性を示す以外にはないが、立地の困難性は広域処理を実施してもしなくても同様であろう。収集車による交通渋滞を緩和するために、適切な減容をはかったり、中継所等を建設することは重要となるだろう。

古い焼却炉を抱え、やむを得ずプラスチックごみを焼却せずに不燃ごみとして直接埋め立てる場合でも、減容化せずに直接埋め立てする方法は最悪である。一見直接埋立はコストが安くすむように見えるが、最終処分場のコストが非常に大きくなることがわかっている。パッカー車による圧縮では不十分であり、適切な減容の中間処理を実施する必要がある。

プラスチックの発熱量を活用する方法としては、ごみ発電や余熱利用がある。しかし、ごみ発電の経済性は決して高いとはいえない。廃棄物のエネルギーを回収するという意味で環境保全性はあるものの、政策として一気に導入するのは費用対効果が疑問視される。せいぜい焼却で生じる熱を回収して市民サービスを行ったり、熱需要の高い事業者に供給するのが望ましいといえる。

したがって、プラスチックの有効活用としては、マテリアルリサイクルが一番である。資源保全の効果もあり、環境保全の効果も高い。単一素材として回収が可能なプラスチックであるプラスチックボトル、トレイ、発泡スチロール等については分別収集を実施し、リサイクルを推進することが望ましい。

また、その他の雑プラスチックについても、油化は、現状では費用が少しかかるが環境保全性は高い。もしくは今回は分析対象外としたが、紙とプラスチックで固形燃料化をはかるという手法もある。油化も固形燃料化も結局は、燃やしてしまうのでリサイクル効果は小さいという意見もあるが、それぞれの資源としての価値は高く、市場性があるという意味で、リサイクルの一手法であると考えられるのではないか。

いままで使い捨てというイメージの強かったプラスチックについても、リサイクル可能な資源であるというイメージの転換を図る必要がある。

5.4.3 今後の廃棄物処理・リサイクル政策における重点事項

容器包装廃棄物とプラスチック廃棄物について見てきたが、必要なのはリサイクルの経済性と環境保全性の高い評価と、そのためのインフラ整備である。特に廃棄物処理システムについては、できる限り問題なくこの世から廃棄物を葬るという概念が強かったといえる。それらのインフラを、リサイクル型のインフラに変更していく時期が到来しているのである。そして、それらのインフラの運用のために、炭素税やごみ有料化などの経済的手法や、事業者・自治体・市民の費用負担や役割分担の明確化が必要になってくるのである。

5.5 本研究において改良すべき点と今後の課題

5.5.1 本研究において改良すべき点

本研究では、廃棄物発生に関する経済的な分析と、廃棄物処理・リサイクルシステムのモデル化によって、この分野に関係する環境政策の影響評価を行ってきた。この研究は、国民経済の動向や、廃棄物の収集や中間処理、最終処分、リサイクルの各プロセスまで組み込んだ広範な分析となっているが、本研究での限界もある。

①モデルのパラメーターの変化

各モデルを構築する場合、いくつかの仮定に伴うパラメーターを導入しているが、これらのパラメーターが将来的にどう変化するかを分析の対象から外している。例えば、収集にあたってのロスタイムの減少、ごみ発電での発電効率の飛躍的上昇などが生じれば、モデル全体が大きく変化する。

②新しい技術革新の発生

廃棄物処理についても新しい技術が日々進歩している。焼却灰の溶融や廃棄物のパイプ輸送なども検討されている。これらが、普及すれば廃棄物処理・リサイクルシステムにおいて大きな変化が生じ、これらを評価することができなくなる。

5.5.2 今後の課題

本研究では対象外としたが、次のようなことが今後の課題として考えられる。

①環境税をどこで徴収するか

本分析では、環境税を炭素税とし、エネルギー価格の変化として分析に組み込んだが、環境税は、エネルギー価格に上乗せするのではなく、エネルギー使用者側から徴収する方法も考えられている。徴収の方法によって、事業者サイドのインセンティブが変化することも考えられ、環境税のかけ方による影響を分析する必要が生じる可能性がある。

②廃棄物処理分野に対する民間投資の動向

従来、廃棄物処理については、行政の事業として行われてきた。しかし、廃棄物処理事業に民間も参入するようになり、この分野への民間の設備投資も行われるようになってきている。本研究では、第2章で、政府の総固定資本形成のみを環境投資として捉えてきたが、民間の総固定資本形成も環境投資として影響評価に含めていく必要があるだろう。

本研究では、我が国における廃棄物処理・リサイクルシステムにおける環境政策の影響評価の分析を行った。

第1章では、我が国における廃棄物政策の現状を概観した。廃棄物処理・リサイクルについては、現在大きく見て「廃棄物処理法」「リサイクル法」「容器包装リサイクル法」の3つがある。これについて概要を整理した。さらに、廃棄物処理・リサイクル分野における経済的手法をまとめ、ごみ有料化や事業者の引き取り義務、再生資源利用率の義務づけ等の経済的手法の効率性、公平性、実施可能性についてまとめた。最後に、現在の廃棄物処理の現状のデータを示した。

第2章では、エネルギー価格、国内経済計算、家計消費構造、廃棄物排出量等のデータから相互の関連性を定量的に分析した。これにより、国内の経済状況と消費活動、廃棄行為という一連の廃棄物発生メカニズムを経済的にトレースできた。エネルギー価格の上昇は、民間最終消費や固定資本形成を縮小させる。民間最終消費の縮小に伴って、家計消費の費目ごとに消費が抑制される。その抑制は、教育・教養娯楽等のサービス部門で多くなる。廃棄物発生量は全体として減少するが、関係はあるが弾性力は小さいといえる。固定資本形成によって、中間処理率が低下する可能性があるが、我が国の中間処理率はすでに高く、弾性値は小さい。これらの分析によって、原油輸入価格が上昇すると、廃棄物発生量も減少することが明らかになった。

第3章では、廃棄物処理・リサイクルシステムをモデル化して建設時と運用時のコストと二酸化炭素排出量の分析を行った。既存の研究からモデルの値を多く引用したが、システムの建設時まで分析した例はない。この分析で、廃棄物処理・リサイクルシステムのコスト構造や二酸化炭素排出構造が明らかになった。このモデルを利用して、廃棄物処理・リサイクルシステムのオプション評価を行った。そこでは、コスト的には混焼が一番安いことがわかった。また、リサイクル品の価格をバージン価格で評価するとリサイクルの経済的効用は大きいこと等が明らかになった。

第4章では、主に第3章で作成したモデルを利用して、廃棄物処理・リサイクル政策の効果の分析を行った。処理工場数と輸送距離の分析から、広域処理の効率性について示した。また、分別排出率低下が一番のコスト増であり、費用をかけてでも分別排出率を上昇させる政策が必要であることを示した。環境税（炭素税）の導入が廃棄物処理・リサイクルシステム構築／運用時に与える影響分析では、税の導入がリサイクルシステム構築のインセンティブになることを明らかにした。さらに、減容化プロセスの重要性や、ごみ発電の限界についても示した。

第5章では、この研究で得られた知見をもとに、廃棄物処理・リサイクルシステム構築への提言を行った。ここでは、経済的に成立するリサイクルシステム構築に向けての効果的なこと、経済的手法の守備範囲と効果、社会資本整備の方向転換について既存の知見からコメントを行い、最後に容器包装廃棄物対策とプラスチック廃棄物対策を取り上げながら、あるべき廃棄物処理・リサイクルシステムのあり方を示した。

本研究は、著者の東京大学大学院工学系研究科（先端学際工学専攻）博士後期課程における3年間の研究成果をとりまとめたものである。

本研究の進行にあたり、終始適切なご指導をいただいた廣松 毅 教授に心より感謝いたします。著者の自由奔放な発想を、縛ることなく適切な方向に導いてくださいました。

1年目の指導教官をしていただいた村上 陽一郎 教授（現、国際基督教大学教授）には、社会の中での「研究」という行為の役割について考えさせられました。この問いは、終始本研究のモチベーションとなりました。深く感謝いたします。

先端研の見玉 文雄 教授には、「先端学際研究」の意義について、花木 啓祐 教授にはLCAの役割について、梶井 克純 助教授にはデータ分析の信頼性について、さらに教養学部総合文化研究科の丸山 真人 助教授にはリサイクルを見る視点の広がりについて重点的に指導をしていただきました。どれも、本研究を完成させるにあたり、重要な役割を果たしました。感謝いたします。

さらに、消費と廃棄のマクロ経済分析のきっかけは、文教大学国際学部の藤井 美文 教授、また、廃棄物処理・リサイクルのLCA評価のきっかけは、東京水産大学水産学部の石川 雅紀 助教授とのディスカッションで得ることができました。このディスカッションは、財団法人政策科学研究所の栗原 清一 研究顧問をはじめとするリサイクルチームとともに行ったものです。感謝いたします。

最後になりましたが、同期で村上研究室に入学し、後に一緒に廣松研究室に移行し、いつも著者の勝手な相談には親身になってつきあってくださった辛島 恵美子 様に感謝しています。

その他に、妻である直子をはじめ、この論文を支えてくださった多くのみなさん、ありがとうございました。

