

容器包装の収集・選別における物質フロー分析

松藤敏彦¹・小石哲央²・柴田哲也²

¹正会員 工博 北海道大学助教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: matsuto@eng.hokudai.ac.jp

²北海道大大学院工学研究科 修士課程 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

ガラスびん、スチール缶・アルミ缶、PET ボトルを対象に、自治体における収集方法別実施状況と収集量、選別施設における物質収支を明らかにするため、全国の自治体を対象としたアンケート調査、ヒアリングを行った。

大部分の飲料容器は自治体収集によって集められており、品目別収集よりも混合収集を行っている自治体が多い。しかし混合収集は品目別収集より選別施設における回収率が低く、特にパッカー車による場合に低下している。この原因は収集時のガラスびんの破損であり、回収されずに残渣として埋め立てられている。またエネルギー消費量、コストによって自治体の収集方法を評価し、ガラスびんを平ボディ車、缶、PET ボトルを積載効率の高いパッカー車とするのがよいことを示した。

Key Words: Beverage containers, collection, material recovery, material balance, cost

1. はじめに

容器包装リサイクル法が施行されて以降、市町村による容器包装の定期収集が大幅に増加した。しかし一方で、収集、選別費用が自治体の大きな負担となっており、事業者・自治体間の費用負担・責任のあり方が議論されている。

容器包装リサイクルに関しては、法制度の解説、実施状況報告は数多く見られるが、定量的な調査研究は少なく、しかもその多くは上記の事情を背景としてコストに関わるものである。(たとえば、プラスチック容器を対象とした樋口ら¹⁾、PET ボトルを対象とした鍵山ら²⁾の研究がある。)

容器包装リサイクル法は、循環型社会構築を実現するための具体的手段の一つであり、循環型社会の目的は環境負荷低減と天然資源消費の削減である。コストも環境負荷評価も排出量に対する収集率、選別施設における回収率、さらには回収後の再利用率、すなわちマテリアルフローに依存するが、そうした研究はほとんど行われていない。本研究は、全国自治体を対象とした調査によって、自治体収集、およびその後に行われる選別の物質収支を明らかにした。またわが国では、家庭から排出されるごみの収集は、複数世帯が一箇所にゴミを持ち寄るステーション収集が最も一般的な方法となっており、容器包装リサイクル法の施行以後、いわゆる資源ごみも同じ方法で収集されている。しかし、資源物については古くから行われている集団回収や、スーパー、路上などに置か

れた大型容器、コンテナに住民が持ち寄る方法、あるいは資源化施設等に持ち寄る方法がある。本論文では、さまざまな自治体分別収集方法について、収集・選別に要するエネルギー消費量、およびコストを計算した。

2. 調査方法

(1) 飲料容器の収集方法・収集量

各自治体において、どのような方法で飲料容器が収集されているかに関するアンケート調査を実施した。対象としたのは全国都市清掃会議会員の人口 1 万人以上 492 自治体 (東京 23 区を含む) であり、質問項目は①自治体収集 (市町村が定期的に行う収集)、②集団回収、③その他の収集方法の回収方法、品目、収集量などである。アンケートは 2004 年 9 月に送付し、287 自治体 (58%) より回答が得られた。

(2) 自治体収集の分別方法・選別施設

環境省による一般廃棄物処理実態調査データ「資源化等を行う施設」よりさまざまな分別方法を網羅できるような 96 施設を選び、さらに対象抽出の偏りを避けるため、人口 20 万人以上の自治体へもアンケートを送付した。調査項目は①施設搬入物 (種類ごとの車両種類、収集容器、搬入量)、②施設搬出量 (資源物、残渣種類ごと)、③消費電力、燃料使用量、水使用量である。アンケートは平成 16 年 8 月に送付し、124 施設 (84 自治体) より回答が

得られた。

さらに、同年10～11月、物質収支のとれる90施設に対し、施設の設備構成についてアンケートを行った。調査項目は①計画処理能力、作業時間、②投入方法、③設備構成の台数、である。回答は42施設より得られた。

(3)収集車両

平成16年10～11月、自治体収集で使用する収集車両に関するアンケート調査を行った。走行距離あたりの燃料消費量を得るため、①車両種類と台数、②積載容量（あるいは重量）、③年間総走行距離、④年間総燃料消費量を、収集物ごとに尋ねた。

(4)その他の回収方法

(1)の回答自治体のうち、自治体収集、集団回収以外を行っている83自治体（東京23区を含む）に対し、①回収容器の大きさ、②設置場所（あるいは回収施設の場所）、③収集車両の種類などを尋ねた。アンケートは平成16年11月に送付し、58自治体（70%）より回答が得られた。

3. 自治体における収集の実施状況と回収量

(1)収集方法別実施割合

表-1に方法別の実施状況を示す。自治体収集が最も多

く、びん、缶については集団回収も多く行われている。複数の方法を併用している自治体も多く、施設持ち込み、拠点回収、コンテナ収集を行っている自治体は20%以下である。ただし、表-1の拠点回収は自治体が自ら行うか、事業者等による実施状況を把握している割合であり、実際の実施率は100%近いと思われる。「拠点回収」、「コンテナ収集」は、アンケート回答用紙の選択肢ではなく、各市町村が自由に記入した名称である。容器の大きさと設置箇所を比較したところ、両者に明らかな違いは見られず、以降は両者を合わせて拠点回収と呼ぶ。

(2)自治体収集、集団回収の収集量

図-1に、主要な収集方法である集団回収、自治体収集の合計量の分布を示す。回収を行っていない自治体、飲料容器以外の収集量との合計が示されており、内訳がわからない自治体は、図に含めていない。図の凡例は自治体の人口（万人）であり、かっこ内は該当自治体数である。矢印で示したのは、ガラスびん生産量、アルミ缶家庭系消費量、スチール缶自治体回収量、PETボトル樹脂需要実績を人口ひとりあたりとしたものである。なお、飲料容器は混合収集される場合が多くある。選別施設における回収率は100%ではないので回収量から収集量を推定することはできず、選別を行わない場合には回収量データもない。そこで、上記生産量（あるいは排出量）の比よりガラスびん、缶（スチール缶、アルミ缶の合計）、

表-1 飲料容器の収集方法分布（回答287自治体、重複回答あり）

	自治体収集	集団回収	施設持ち込み	拠点回収	コンテナ収集
ガラスびん	264(92.3%)	153(53.5%)	41(14.3%)	15(5.2%)	3(1.0%)
スチール缶・アルミ缶	239(83.2%)	189(65.7%)	42(14.7%)	25(8.7%)	5(1.7%)
PETボトル	181(63.3%)	9(3.1%)	41(14.3%)	53(18.5%)	7(2.4%)

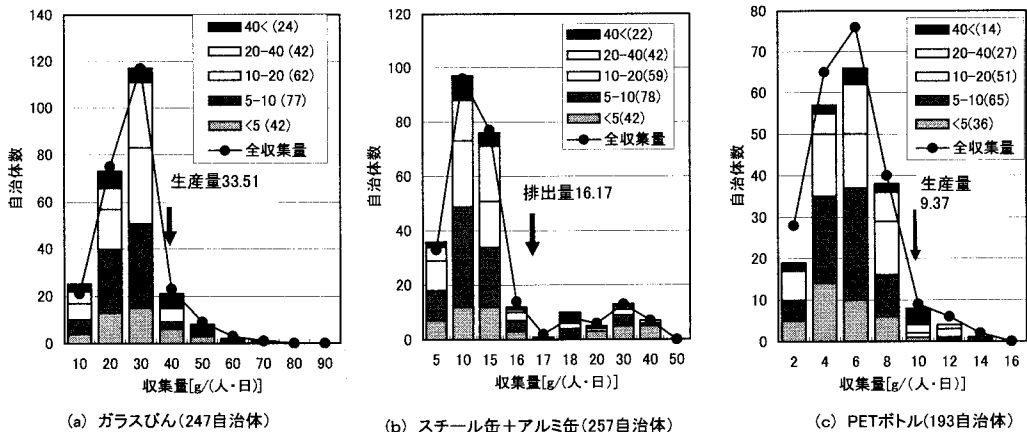


図-1 住民一人あたり収集量分布（自治体収集と集団回収の合計量）
横軸は階級の上限值。凡例は自治体の人口、数値は自治体数

PET ボトルの排出量比を 4:2:1 とし、この比によって混合収集における各品目の収集量を推定した。

図-1 より、アルミ缶+スチール缶はピークが2つ見られるが、収集量が多い上位 20 自治体に再度問い合わせたところ、飲料缶以外の金属を含む:8、観光地である:4、事業系を含む:1 との回答が得られ、家庭系の飲料缶以外が含まれることで見かけ上大きくなっている。PET ボトルは指定製品以外を含めれば生産量は 10.11 g/(人・日)となり、収集量の最大値はこれに近い。これに対し、ガラスびんは一人当たり生産量と較べて収集量が多めである。これは、びんは従来集団回収、店頭への返却などの方法で回収されていたが、容器包装リサイクル法の施行に伴って自治体収集されるようになり、再利用可能なリターナブルびんも一緒に収集されるためと考えられる。

なお、その他の収集方法を含め、自治体が関与する(あるいは把握している)すべての収集量合計の分布を、図-1 中に折れ線で示したが、収集量分布に大きな変化はない。自治体収集と集団回収の一人当たり収集量を中央値と比較すると、ガラスびんは 21.3:1.1、缶、PET ボトルはそれぞれ 9.6:0.8、4.6:2.0 (ただし PET ボトルの集団回収実施数は少ない)であり、わが国においてはびん、缶、PET ボトルの大部分が自治体収集によって収集されている。

(3) その他の収集方法による収集量

図-2 に、拠点回収による PET ボトル収集量を示す。自治体収集、集団回収を同時に行うかどうか、また人口に対する回収拠点数、持込施設数に影響されるので、自治体における全収集量に対する拠点回収量あるいは施設持込量の割合 α をパラメータとした。横軸は回収容器あたり人口を横軸にとり、ひとりあたり収集量/ひとりあたり生産量の比をプロットした。拠点回収は、他の方法で収集せずに拠点回収のみの自治体が多くあり、拠点あた

りの人口は最小で 640~690 人(3 自治体)である。人口に対する拠点数が多くなるほど収集量が多くなり、収集量/生産量比で 60%に達している。最も拠点あたりの人口が少ないのは松江市であるが、ガラスびん、スチール缶・アルミ缶に対しても拠点回収を行っており(拠点数は同じ)、それぞれ収集量/生産量、収集量/排出量比は、62%、55%であり、品目に関係なく高い収集率が達成されている。

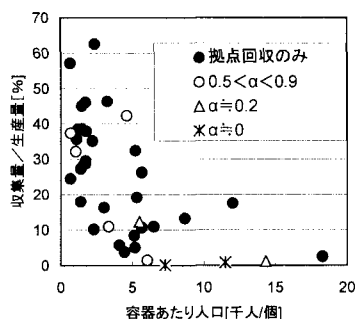
4. 自治体収集における物質収支

(1) 選別施設における回収率

2(1)のアンケートに対して回答のあった 124 施設のうち、単なる積み替え施設(搬入量と搬出量が等しい)、ごみ処理施設を兼ねる(粗大ごみ、不燃ごみなどを搬入しており、回収鉄の内訳がわからない)施設を除く 90 施設についてデータ解析をおこなった。

図-3 に、選別施設における搬入量(収集量、横軸)と搬出量(資源物回収量、縦軸)の関係の例を示す。混合収集の場合は複数品目の合計であり、収集車両の種類を記号で区別した。

図中の直線は回収率(=回収量/収集量) 100%、50%であるが、びんを回収する場合、単独収集、混合収集によらず回収率が 50%を下回る施設もあり、全体的に低い。施設内の平均回収率を表-2 に示すが、混合収集は品目別収集より回収率が低い。車両種類別に見ると、パッカー車による収集は平ボディ車と較べて回収率が低くなり、品目別に見るとガラスびんを回収するときに回収率が低くなっている。これは、ガラスびんが破損し、そのために手選別で回収できないことを示唆している。施設設備構成に関する回答のあった 42 施設のうち、11 施設はびん選別機を設置していたが、破損したびんの選別はやや困難になる。



(α : 各自治体における拠点回収収集量の全収集量に占める割合)

図-2 PET ボトルの拠点回収による
ひとりあたり収集量//生産量

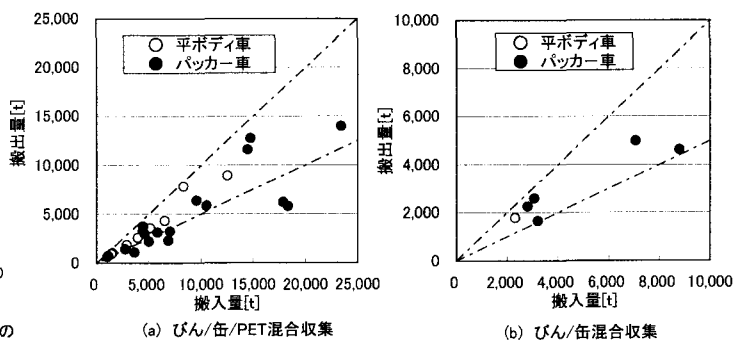


図-3 選別施設における搬入量と資源物回収量(搬出量)の関係

(2) ガラスびん破損とその原因

表-2 より、収集・選別後の回収率はパッカー車を用いると低下する。(ただし 3(2) で述べたように、異物あるいは回収対象外製品の除去も含まれている。) そこで、スチール缶・アルミ缶、PET ボトルともに回収率が 90% であるとして品目別回収量 $\div 0.9$ を搬入量とし、搬入量のうち残りすべてがガラスびんであると考えてその回収率を推定し、収集時のかさ密度に対してプロットした(図-4)。かさ密度は、一台ごとの収集量と荷箱容積から算出し、図の縦軸は非回収率(=1-回収率)とした。

図より、かさ密度を大きくする、つまり積載率を上げるにつれてガラスびんの非回収率が増加し、収集車内でびんが破損していることがわかる。非回収率はびん・缶・PET ボトル混合収集の場合が最も高い。施設の投入方法、設備構成とガラスびん非回収率の間に明らかな関係は認められず、収集時の圧縮が破損の原因と考えられる。

5. 収集・選別のエネルギー消費量とコスト

(1) 選別施設の電力消費量

2(2) のアンケートにより 49 施設から電力消費量が得られたが、焼却・破碎施設、破碎施設との併設、その他プラスチック、紙類、古布などの搬入量がびん、缶、PET 以上である施設などを除く 14 施設を分析対象とした。設備機器の動力は計画量にもとづいて選定されているため、稼働率が低い施設では処理量あたりの電力消費量は大きな値となってしまう。施設の年間計画処理量[t/年]=施設規模[t/日] $\times 265$ [日/年]に対する年間処理量の比(稼働率)は平均 0.66(最小 0.37, 最大 1.11) となり、稼働率は一般に低い。そこで計画処理量あたり電力消費量[kWh/t]を求めたところ、3 品目の単独収集であり機器数が少なく、消費電力が小さい 3 施設は 10kWh/t 程度、混合収集の場合は 20~40kWh/t の範囲にあることがわかった。

(2) 収集車両の燃費

図-5 に、燃料 1 リットルあたりの走行距離を、横軸に(人口密度) $^{-1/2}$ をとってプロットした。単独収集を行う場合にはひとつの自治体から品種ごとのデータが得られ、異なる大きさの車両がひとつの品目に用いられていることもあり、自治体数は 9 である。横軸は収集ごみあたりの走行距離に比例すると考えられ、車種ごとに直線関係が見られ、車両が大きくなると燃費が低下する。次節の計算では、図-5 の関係を $y = 79x + b$ とし、b の値を平ボディ車 2.9 (2~3 トン)、1.6 (4 トン)、パッカー車 2.4 (2 トン)、1.4 (4 トン) とした。

(3) 分別収集方法別のエネルギー消費量

自治体で実施されている飲料容器の分別・収集方法別の、エネルギー消費量を以下の条件で計算した。

- 1) 人口 20 万人の都市を想定し、図-1 に示した一人あたり生産量分をすべて収集する。
- 2) 収集車積載量を、平ボディ車は 4 t (16m³)、パッカー車は 4 t (8m³) とする。
- 3) 収集車の種類、分別方法ごとの収集車内かさ密度は平均値を用い、1) 2) より収集車年間のべ台数を求める。
- 4) ステーション数は 50 人に 1 箇所、50m 間隔とする。全地域を収集するための走行距離は 4000 $\times$ 50m であり、収集頻度を週 1 回とすると 1 週間かけて全地域を収集するので、この 52 週分が年間収集走行距離である。
- 5) 収集現場から選別施設までの距離を 15 km とする (1

表-2 収集方法別の選別施設内回収率

回収品目	回収率 [%]			
	平ボディ車	施設数	パッカー車	施設数
混合	びん/缶/PET	71.2	9	56.2
	びん/缶	77.5	1	68.1
	びん/PET	72.3	3	
	缶/PET			70.6
品目別	びん	89.4	20	42.7
	缶	90.6	11	87.4
	PET	92.0	8	81.0

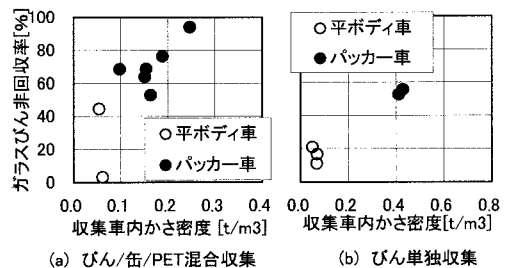


図-4 収集車内かさ密度とガラスびん非回収率の関係

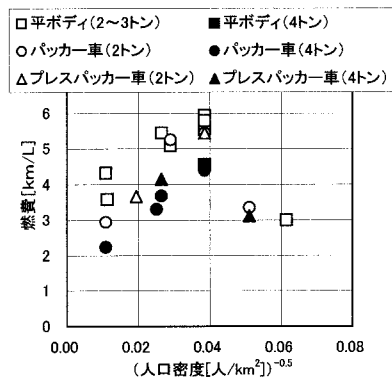


図-5 車種別の単位燃料あたり収集車走行距離

表-3 自治体収集の分別方法別エネルギー消費量

		収集車内 かさ密度	収集量	延べ台 数	収集距 離	輸送距 離	資源 回収量	エネルギー消費量	
		[t/m ³]	[t/年]	[台/年]	[km/年]	[km/年]	[t/年]	軽油	電力
平ボディ 車	びん/缶/PET	0.058	4,311	4,645	10,400	139,336	3,069	1,423	1,218
	びん	0.067	2,446	2,279	10,400	68,373	2,187	748	230
	缶	0.019	1,180	3,876	10,400	116,287	1,069	1,204	111
	PET	0.010	684	4,275	10,400	128,252	629	1,317	64
パッカー 車	びん/缶/PET	0.159	4,311	3,386	10,400	101,586	2,423	1,104	1,218
	びん/缶	0.166	3,627	2,727	10,400	81,804	2,470	909	1,025
	缶/PET	0.074	1,864	3,156	10,400	94,694	1,316	1,036	527
	びん	0.419	2,446	729	10,400	21,879	1,045	318	230
	缶	0.100	1,180	1,476	10,400	44,265	1,032	539	111
	PET	0.084	684	1,017	10,400	30,499	554	403	64

回の収集で往復する)。

- 6) 燃費は人口密度 1000 人/km² として 5(2) より平ボディ車 4.1km/L, パッカー車 3.9km/L とする。
- 7) 収集車の種類, 分別方法ごとの選別後の回収率, 施設における回収率は表-2 を用いる。
- 8) 選別施設の消費エネルギーは, 5(1) の結果より混合収集は 30kWh/t, 品目別収集は 10 kWh/t とする。
- 9) エネルギー消費量³⁾は, 軽油を 38.5MJ/L, 電力は発電効率を考慮して 9.42MJ/kWh とし, 一次エネルギー換算する。

以上の計算における主な数値を表-3 にまとめた。これらの分別方法を組み合わせ、現実的に考えられる分別収集法に対して計算したエネルギー消費量を図-6 に示す。棒グラフは収集量あたりであり、平ボディ車は大型としたので品目別収集 (I, II) を除いて収集エネルギーは分別収集方法による差は小さく、選別エネルギーの小さな V が最もよい。しかしガラスびんが破損するため、回収量あたりとすると III のエネルギー消費量が最小となる。

なお、拠点回収に関して 15 自治体にヒアリングしたところ、収集車はびんが平ボディ車 (2/2), 缶はパッカー車 (3/4), PET ボトルは半々 (8/4) との回答であり、収集頻度は週 1 ～週 3 回が多かった。収集量は変わらないので収集車積載容量が同じならば必要車両台数、輸送回数は自治体収集と同じだが、拠点の数が少ないため (2000 人に 1 箇所とすれば自治体収集の 1/40) 1 箇所の収集量が多く、拠点間の走行がほとんどなくなる。III の場合、走行距離は約 1/5 となる。また収集した飲料容器を資源取り扱い業者に輸送するので、選別が不要となり、エネルギー消費量は減少する。

(4) 分別収集方法別のコスト

表-3 をもとに、以下の条件で収集・選別コストを計算した。

- 1) 年間収集日数を 26 日、一日一台あたりの収集回数を 2.5 回とし、必要台数を計算する。車付定員を運転手も含めて 3 名とし、予備車は考慮しない。
- 2) 軽油、電気の単価をそれぞれ 70 円/L, 20 円/kWh と

する。

- 3) 選別施設人員数 (アンケートによる) を, 管理+運転部門 8 名, 手選別は混合収集 (2 品目, 3 品目) のとき 15 名, 品目別収集の場合 20 名とする。
- 4) 施設建設費は, 人口 180 万人の札幌市における 2 施設の合計が 44.3 億円であることから, その 1/8 とする。建設費の内訳は, 建築費 2/3, プラント建設 1/3 である。品目別収集の場合は機器構成が簡単になることから, プラント建設をさらに 1/3 (すなわち全体では 0.66+0.11) とする。収集車の減価償却は無視した。
- 5) 年間給与は, 収集, 管理, 運転部門を 600 万円, 手選別はパートとして 150 万円とする。

以上の仮定の下で計算した結果を図-7 に示す。図-6 と同様、収集量あたりを棒グラフ、回収量あたりを「●」で示した。3 品目混合、パッカー車収集の札幌市が公表している収集・処理原価 (平成 15 年度) はトンあたり 66,800 円, うち収集 23,300 円, 処理 43,500 円である。処理には PET ボトル油化施設が含まれていると思われる、図-7 の計算はおおよそ一致している。

パッカー車のみを用いる V ～VII は収集、選別がほぼ半々だが、平ボディ車を用いると収集人件費の割合が高くなる。平ボディ車で 3 品目とも単独収集を行う I は、

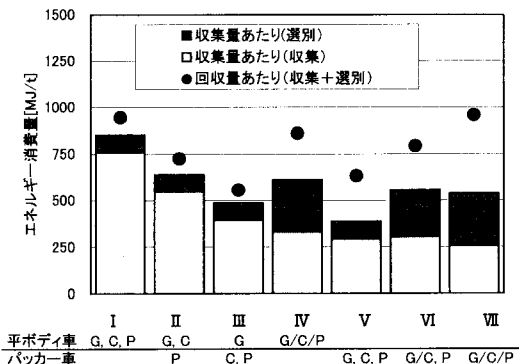


図-6 容器包装の収集方法別エネルギー消費量

G: ガラスびん, C: スチール・アルミ缶, P: PET ボトル
G/C は混合収集, G, C は品目別収集

3/4 が人件費である。収集量あたりで見るとパッカー車の使用はコスト低減になるが、回収量あたりとすると、資源回収率の低さのため平ボディ車使用と変わらなくなる。最も費用効果の高いのは、やはり3品目の個別収集で、びんを平ボディ、缶、PETをパッカー車によるⅢである。

6. おわりに

本研究の結果から、容器包装リサイクルに対して以下の提言を行うことができる。

- 1) 容器包装リサイクルに関しては、費用負担の見直しに注目されているが、ガラスびんの混合収集、パッカー車による収集はびんを残渣として埋め立て、資源浪費を促進する結果となっている。物質支に注目すべきである。
- 2) エネルギー消費量、コストで見ると、混合収集ではなく、ガラスの破損を避けるためにガラスびんを平ボディ車、缶、PETボトルを積載効率の高いパッカー車とするのが最も優れている。こうした、科学的根拠のもとに収集方法を決定すべきである。
- 3) すべて自治体収集によるのではなく、集団回収、施設持込も含めた収集方法の見直しが必要である。1000～2000人に1箇所程度まで設置密度を高くすれば、拠点回収のみによって高い収集率を得ることが可能であり、大幅なコスト削減になる。

参考文献

- 1) 樋口隆哉, 田中健三郎, 浮田正夫, 関根雅彦, 今井剛,

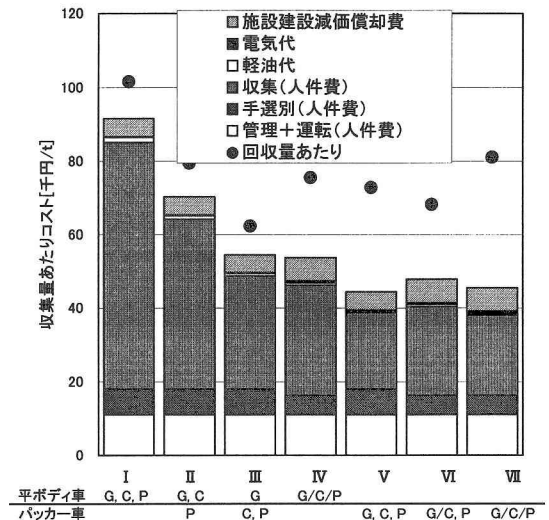


図-7 容器包装の収集方法別コスト

城田久岳：宇部市におけるプラスチック製容器包装の収集・処理費用の解析，第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集，202-204，2004。

- 2) 鍵山喬，青山敦，仲勇治：PETボトルリサイクルシステムの現状とコスト調査解析，第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集，214-216，2004。
- 3) 松藤敏彦，田中信壽：一般廃棄物処理システムのコスト・エネルギー消費量・二酸化炭素排出量評価手法の提案，土木学会論文集，678 (VII19)，49-60，2001。

MATERIAL FLOW ANALYSIS OF BEVERAGE CONTAINERS IN COLLECTION AND RECOVERY PROCESSES OF MUNICIPALITIES

Toshihiko MATSTUTO, Tetsuo Koishi, Tetsuya Shibata

Material flow of glass bottles, steel and aluminum cans, and PET bottles in municipalities were analyzed through extensive questionnaire surveys concerning collection and material recovery.

Among options available for collecting beverage containers from householders, municipality's curbside collection accumulates the largest mass. However, recovery rate of collected material in material recovery facilities significantly drop when glass bottles are loaded in mechanical truck both in single and mixed material collection due to the breakage of glass at the time of collection. In terms of energy consumption and cost for collection and recovery, several collection scheme, combination of truck and material, were evaluated. Instead of curbside collection, bring system to material banks at high-density can be used to obtain high collection rate of material.