

漂流・漂着ゴミの処理・処分の費用分析に関する研究

COST ANALYSIS ON REFINERY TREATMENT AND FINAL DISPOSAL OF DRIFTING AND LANDING DEBRIS

鈴木覚¹・磯部雅彦²・吉田儀弘³・福田賢吾⁴・藤田伸也⁵・齊藤正幸⁶
Satoru SUZUKI, Masahiko ISOBE, Nobuhiro YOSHIDA, Kengo FUKUDA, Shinya FUJITA
and Masayuki, SAITOU

¹学生会員 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

²フェロー 工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

³非会員 社団法人マリノフォーラム 21 (〒110-0016 東京都台東区台東 4-8-7)

⁴非会員 水博 社団法人海と渚環境美化推進機構 (〒107-0052 東京都港区赤坂 3-21-5)

⁵非会員 株式会社東京久栄

⁶非会員 有限会社マコト

This research is for cost analysis on refining and recycling treatment of marine drifting and landing debris from fisheries wastes. The experiments of refining treatment of plastic debris and expanded polystyrene debris were executed in Tsushima Island where huge amount of debris are drifted. Plastic debris was crushed and its volume was diminished to 15%. Expanded polystyrene debris are diminished to 5% by ester solvents. The diminish of debris volume can decrease the transportation cost and enable the material recycle. The total cost of diminishing debris is almost the same as landfill disposal. However, this cost is not acceptable for us. Because we use the crushing equipment of small type, we had to cut down by hands before using refining machine. Cost analysis result shows that more expensive refining machine that refine plastics without pretreatment may reduce the total cost.

Key Word : marine debris, refining system, cost analysis, material recycle

1. はじめに

わが国の海岸域には、国内河川等からの流出物のもとより外国起源の様々な人工物が大量に漂着し、景観悪化、沿岸漁業被害、沿岸生態系への影響など様々な問題を引き起こしている¹⁾。

漂着ゴミ対策は、発生量を減らすこと、回収と処理処分の効率を高めることに集約される。発生量を減らす対策としては法的規制、経済的インセンティブ、社会的抑制（モラルの向上など）がある。回収を効率化する対策は漂流物の発見・移動予測に基づく回収システム²⁾や効率的な回収装置の開発、漂流物の誘導などが考えられる。また、効率的な処分では、地域の特性に応じた減容手法、リサイクルなどによる方法などが考えられる。

漂着ゴミは、様々な素材が混在していること、塩分や砂が混じっていること、長時間の浮遊で品質が劣化していることなどから、これまでリサイクルは極めて困難であると考えられてきた。実際、ほとんどの自治体は、直接埋立処分や焼却処分などの方法で処分している。焼却する場合には塩分等による焼却炉の劣化の問題などがあり、漂着ゴミのリサイクルや処理処分効率を高める必要が高まっている。

これらのことから、水産庁は平成19年度より「漂流・漂着物処理推進モデル事業」を実施し、漂着ゴ

ミの効率的な処理処分の仕組みづくりに取り組んでいる。この事業は、特に減容処理が困難な魚網・プラスチックおよび発泡スチロール等の漁業系資材を対象とし、地域の実情にあった減容等の処理方法の開発・普及、リサイクルシステムの検討、及び処理経費の削減を図ることを目的としている。

本研究は、これらの成果に基づいて漂流漂着ゴミの処理・処分システムのあり方について検討を行ったものである。

2. 研究の方法

研究の目的は次の2点である。第一には地域の実情に応じて減容や処分の効率化を図ることである。第二にはリサイクルの可能性をコスト面からも明らかにし資源のより有効な活用に貢献することである。

第一の目的については、現地で実証実験を行い減容効率や費用に関するデータを取得し、現状処分手法との比較を行い、効率性を評価した。

第二の目的については、リサイクル事業者を特定しその可能性を実際の取引を通じて明らかにするものとした。

(1) 実証実験場所

実証実験場所は図-1に示すような大量のゴミの漂着がある長崎県対馬市とした。対馬市は一箇所の

クリーンアップで 500m³ を超える漂着ゴミが回収される。長崎県はこうした現状から平成 17 年にゴミ特区を申請した。対馬市は島内での焼却埋立処分が困難であり、有効な処理方法が強く求められている。



図-1 対馬市に漂着したゴミ

(2) 処理方法の選定

処理方法として、プラスチック類については破碎減容処理、ペットボトルは圧縮処理、発泡スチロール製品は溶剤減容処理を行なうものとした。

プラスチック類・ペットボトルのリサイクルを行なう事業者は、北九州地区の各企業、業界等に問い合わせることで確保することができた。

発泡スチロール製品は、現地で取り組み可能な実用的な手法として溶剤減容と破碎圧縮機による減容が考えられた。溶剤減容は、地域に特別な装置等が無くても、海浜ごとにドラム缶で減容を行い回収することができる。将来的にこの手法が有効になる可能性が高いと考え、今回は溶剤を用いるものとした。

(3) 処理手順

処理の手順は図-2 に示すとおりである。

最初にリサイクル等処理の目的に合わせ、プラスチック系と発泡スチロール製品、その他（処理不能なゴミ）に分別する作業を行った。

前処理として、PE・PP 等のプラスチック類は洗浄し小型の破碎機での処理が可能な大きさに裁断する作業を行った。また、ペットボトルは選別・洗浄し、透明品と着色品に仕分けした。

これらのゴミについて、破碎機による減容、溶剤による減容を実際に行った。

プラスチック類の処分委託は、九州地区にあるプラスチックリサイクル業者に委託し、その工場でのプラスチック再利用を行った。発泡スチロール製品は溶剤を提供したメーカーの化学工場でのスチレンのペレット化を行い、再利用資源とした。

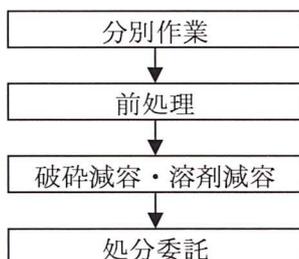


図-2 処理手順

2. 実証実験の結果

(1) 分別作業

分別は作業員による目視判定によって行った。事前にプラスチックリサイクル業者の指導を受け、材質を判定した。対象とした漂着ゴミはフレコンバッグ（1m³）で 404 袋である。

分別を行った結果は表-1 に示すとおりである。195 袋と発泡スチロール製品が最も多く、次いでその他の廃棄物、プラスチック類、ペットボトルの順であった。その他の廃棄物は有価物としての再利用は困難であった。全体の約 2/3 が資源として再利用が可能であることが明らかになった。

表-1 分別作業結果（分別前後袋数）

項目	分別前	分別後
PE, PP 等のプラスチック類	61 袋	58 袋
発泡スチロール製品	205 袋	195 袋
ペットボトル	24 袋	23 袋
その他廃棄物	114 袋	108 袋
合計	404 袋	384 袋

(2) 前処理

前処理としてゴミの洗浄、及び裁断を行った。裁断は、ポリタンクなど、破碎機による直接破碎処理ができない大きさのものを小型化するため行った。

分別後のプラスチック類は 58 袋あり、次の処理を行った。

- ・汚れのひどいものの洗浄
- ・塩ビ製品・ガラス繊維等を混入するものの除外
- ・HDPE と記載のある製品の抽出
(HDPE 製品は比較的高額の買取価格である)
- ・ペットボトル（23 袋;分別後）の洗浄および透明ボトルと有色ボトルの選別。

分別処理及び前処理時間を表-2 に示す。

表-2 分別処理・前処理の時間効率

処理内容	処理数量	処理時間	時間効率
分別処理	404 袋	192.5 人時	2.1 袋/人時
前処理	81 袋	272.0 人時	0.3 袋/人時

注：1 袋=1m³、404 袋は分別前の袋数

(3) 破碎減容・溶剤減容

プラスチック類は小型破碎機により、破碎減容した。小型の破碎機は下記の用途を勘案して選定した。

- ・漁業系資材にはプラスチックのほか、漁網・ロープなどの繊維性の廃棄物も破碎が可能であること。
- ・地域の実情に応じて、比較的小規模な処理ニーズに応えられる費用対効果が得られること。
- ・廃掃法などの規制を受けることなく処理が可能であること（具体的には日処理能力 5 トン未満であ

ること)。

破砕機の投入口の大きさは 58cm×15cm であり、これ以上の大きさの漂着ゴミは前処理の裁断により小型化する必要が生じた。

一方、発泡スチロール製品は下記の理由から溶剤減容を行なうものとした。

- ・処理量が少ない場合にも現地で簡易に減容出来ることからコスト面等で有利と考えたこと（当初）。
- ・破砕圧縮機による処理作業場（屋内施設）が確保できなかったこと。
- ・溶剤減容を実地に行い、その問題点やコストなどを詳細に分析する必要があったこと。

分別作業を含む減容処理結果を表-3に示す。PE・PP等のプラスチック類は15.5%にまで減容した。これは空隙の多いポリタンクなどが多く破砕によって空隙がほとんどなくなったことによる。ペットボトルは同様の理由によって13.9%にまで減容することができた。

一方発泡スチロールは4.7%すなわち1/20以下に減容することができた。

表-3 減容処理結果

分類	当初	処理後	減容率
PE・PP等	58袋	9.0袋	15.5%
ペットボトル	23袋	3.2袋	13.9%
発泡スチロール	195袋	9.1袋	4.7%



図-3 破砕機

図-4 圧縮減容装置

時間効率を表-4に示す。PE・PPの時間効率が最も低い。これは図-3に示す小型の破砕機を用いたことによる。この装置では、一度破砕したプラスチックを再度破砕機に通過させて所定の大きさにする必要があるため、通常の2倍の時間がかかる。

ペットボトルは洗浄後図-4に示す圧縮機を用いて、圧縮処理を行った。

洗浄等の前処理と破砕、圧縮減容作業は一連の作業として監督員1名、作業員5名の体制で実施した。

表-4 分別処理・前処理の時間効率

処理内容	処理数量	処理時間	時間効率
PE・PP	58袋	96.0時	0.6袋/時
ペットボトル	23袋	25.0時	0.9袋/時
発泡スチロール	195袋	120.0時	1.6袋/時

注：1袋=1m³

一方、発泡スチロールは最も高い減容効率であった。分別前の数量で205袋(m³)の減容を行なうため、図-5に示すような専用の浸食プレス機械を用いた。これにより監督員1人と作業員1人の体制で、逐次に容器に発泡スチロールを投入して処理を行なうことができた。

なお、作業は11月に行なわれたため、気温が10度以下になり固化したゲルの回収に時間がかかり作業効率に影響した。気温条件によってはさらに高い効率が得られたと考えられる。



図-5 溶剤減容作業

3. 処理・処分コストの検討

(1) プラスチック類処理・処分コストの検討

発泡スチロールを除く、プラスチック類の分別と処理処分及びその他のゴミの処分に要した費用（分別経費を含む、対象は発泡スチロール製品を除く分別前の199袋分のゴミ）を表-5に示す。

表-5 プラスチック類の処理・処分コスト

	費目	費用	備考
処理費	施設費	87,450	装置償却費
	水道光熱費	14,806	洗浄、破砕機
	消耗品費	142,498	梱包袋他
	人件費	587,295	作業員
	機械補修費	40,000	破砕機補修
	処理費計	832,048	
処分費		993,008	
合計		1,825,056	

従来の処分費用は1万円/袋程度であり、199袋の処分には約199万円程度が見込まれる。したがって若干のコストダウンを図ることができかつリサイクルが実現できたことになる。

(2) 発泡スチロール製品

発泡スチロール製品についての分別、溶剤減容処理、運搬リサイクル処理コストは表-6に示すとおりである。

発泡スチロール製品は分別を含めて205袋の処分、従来型の処分費用は205万円程度であり、若干のコスト削減が見込まれ、かつ今回はマテリアルリサイクルを行なうことができた。処理費用の多くは、

溶剤費や運搬費が占めていることが特徴である。

表－6 発泡スチロール製品処理処分費用

費 目		費用	備 考
処 理 費	施設費	50,000	溶剤浸食槽
	溶剤費	838,350	S 溶剤
	溶剤運搬費	643,650	現地～工場
	人件費	315,705	作業員
	消耗品その他	143,502	発電機リース等
処理費計		1,991,207	
処分費		-78,780	有価売却
合計		1,912,427	

(3)費用の詳細な分析

表－5, 6は全体費用について検討したものである。ここでは種類別の費用（発泡スチロール製品, PE・PP(破碎処理), ペットボトル(圧縮処理)及びその他廃棄物)を, 処理工程, 処分工程に分けて産出した。

a) 処理の体制

分別処理は, 表－7に示す体制で処理を行なった。

表－7 処理作業人数

処 理 体 制	監督員	作業員
分 別 (P-1)	1	5
プラスチック類処理(P-1)	1	5
発泡スチロール処理(P-2)	1	1

b) 処理時間

各作業に要した作業員の時間を表－8に示す。

表－8 作業時間

体制	P-1				P-2
	分別	プラスチック前処理	プラスチック減容	ペットボトル減容	
作業内容					発泡スチロール減容
時間	192.5	272	96	25	120

c) 分別時の減容効果

404袋を対象として分別を行なった結果, 全体で384袋になった。減量した20袋分は分別後のそれぞれの袋数比率で配分した。配分結果は表－1に示したとおりである。

d) 人件費の配賦

分別に要した人件費は, 処理体制 P-1 に要した費用は表－8の時間比率によって配分した。また, 分別前の処理対象別の袋数の比率を用いて処理対象物毎の人件費を求めた。

e) 施設費の配賦

プラスチック, ペットボトル, 発泡スチロールは

それぞれに使用した機材が異なるため用いた機械の償却費を配分した。

f) 水道光熱費の配賦

水道光熱費は電力のほとんどを破碎機が利用しているため, プラスチックに配分した。

g) 消耗品費の配賦

消耗品費はそれぞれの用途区分に応じて配分した。フレコンバッグについては, 分別後の袋数の比率により配分した。

h) 発泡スチロール製品処理費

表－6の発泡スチロール製品の処理費は, 他の処分費に配賦する必要がないのでそのまま計上した。

k) 処分費

処分費には, 廃棄物輸送費, リサイクル不可能な廃棄物の産廃処分委託費及び有価での売却費がある。売却費は処分費用から控除される金額とした。

プラスチック類は破碎または圧縮減容を行った結果, 表－9に示すように売却処分ができた。売却できたのは約2t, 売却金額は22千円余であったが, 漂着ゴミは有価であることは, 作業員のモチベーションを高める効果もあった。

表－9 プラスチック類の売却金額

	数量 (kg)	単価 (円/kg)	売却金額 (円)
PE・PP	1,328	5	6,640
HDPE	503	25	12,575
ペットボトル(透明)	334	10	3,340
ペットボトル(有色)	37	1	37
合 計	2,202		22,592

一方, 溶剤減容を行った発泡スチロールもマテリアルリサイクル資源として, 今回は10円/kgで売却できた。減容した発泡スチロールは全体で7,878kgあり, 売却金額は78,780円となった。

(4)分析結果

分析結果を表－10に示す。プラスチック類は一袋(1m³)あたり処理コストが11,427円と他の処理費用よりも高く, 処分費を含めるとその他の廃棄物の処分委託費と比べても割高な結果となった。プラスチック類は破碎機に投入できる大きさまで裁断する前処理作業があったことなどがコスト高を招いた要因と考えられる。また, 分別費も前処理に次いでコスト高の要因となっている。分別費は, 回収時に適切な分別を行なうことで費用の発生を抑えることができるものである。

一方ペットボトルの処理費は他の手法に比べて半以下になった。これは低価格の圧縮機により簡単に処理できることによるものである。

発泡スチロール製品の処分コストはその他の廃棄

物処分と同程度の費用で処理・処分できることが明らかになった。

処理費の内訳（前処理費，分別費，減容費）は表-11のとおりとなる。もし，回収時に分別が行なわれていれば，一袋あたりの減容処理は900円程度削減できる。プラスチックは前処理費の削減が課題である。ペットボトルや発泡スチロールは，その他の廃棄物処理コスト以下となり，効率化とリサイクルが同時に実現できる。

表-10 各製品別処理コスト計算結果

	処理費		運搬処分費		処理処分費	
	費用計	一袋当り	費用計	一袋当り	費用計	一袋当り
プラスチック類	646,475	10,594	50,827	833	697,302	11,427
ペットボトル	82,289	8,401	24,181	999	106,469	4,400
その他廃棄物	103,285	909	918,000	8,079	1,021,285	8,988
発泡スチロール	1,847,557	6,568	564,870	2,753	1,912,427	9,322

表-11 処理費用の内訳

	前処理費		分別費		減容費	
	費用計	一袋当り	費用計	一袋当り	費用計	一袋当り
プラスチック類	853,515	5,793	55,393	908	237,566	4,096
ペットボトル	0		21,903	905	60,386	2,625
その他廃棄物	0		103,285	909	0	0
発泡スチロール	0		186,207	908	1,161,350	5,956

a) プラスチック類のコスト削減方策について

この結果を用いてプラスチック類の処理・処分費が従来と同様な処分を行ったその他の廃棄物の処理処分費8,988円（表-10）と同程度とするための方策を以下に検討する。

今N袋を処理・処分すれば（同じ期間，装置で）その他廃棄物と同じ処分費になるとすると，

$$(646,475 + 833 \times N) \div N = 8,988$$

が成り立つから，これを解くとN=79袋が得られる。すなわち，現状61袋の処分を行ったが，その効率を30%程度引き上げる作業方法を考案する必要があるといえる。

次に，現在の破砕機（償却費は63,000円/月）の倍額の装置を導入した場合，中間処分コストをどの程度削減すれば，同様の結果が得られるか検討する。プラスチック類の運搬費用から売却金額を控除すると50,827円となるので，次の式を解けばよい。

$$(646,475 + 63,000 - X + 50,827) \div 61 = 8,988$$

ゆえにX=212,034円削減する必要がある。現状では前処理コスト353,515円程度となる。時間換算すると今回272時間要した前処理を109時間程度に削減する必要がある。前処理を洗浄作業中心にすれば達成できるものと考えられる。

b) 発泡スチロール製品について

発泡スチロール製品の処理費は，輸送費，溶剤費が多くを占めている。人件費はほぼ溶解の時間に左右されるので効率化の余地は少ない。溶剤価格の低下や輸送コストの低い地域（工場との距離が短い）での実施によって，一層のコスト削減が可能になる。

4. 結論

本研究によって，これまでリサイクルは困難であるとされてきた漂着ゴミのリサイクルが可能であることが明らかになった。リサイクルできたのは全体の70%程度である。これらは有価にて販売することができた。

リサイクルのためには，分別作業，前処理作業，減容作業などが必要になるが，そのコストは全体とすれば概ね，現状での処分コストと同程度であることがわかった。

処理費用を一層軽減するためには，回収時の分別作業の実施や前処理作業を効率化する必要がある。

また，本研究で行ったコスト分析により必要な装置の価格や作業速度の向上目標などが具体的に設定できることが明らかになった。

一方，以下の事項が今後の課題として残されていると考える。

- ・ 小規模な発生量に対する効率的な処理処分の仕組みなど，様々な地域でその実情にあった処理処分方式を検討していくこと。
- ・ 今回の分析では使用した機械装置の稼働をほぼ100%として，償却額を設定している。そうした稼働を実現できる処理のあり方を提言していくことが求められている。
- ・ 新たな処理・処分を行なうことによる社会的便益を考慮すること。
- ・ 効率的な処理・処分を行なうことで，廃棄物を適切な処分が促進され，漂流の恐れのある放置ゴミが減少するなど発生源の対策となることが期待できる。今後は発生源対策としての処理・処分を含めた，漂着物対策全体の仕組みを検討していく必要がある。

最後に，ゴミの回収作業と合わせて分別や処理の作業への市民参加を呼びかけていく必要もあると考える。ゴミを拾う作業に加えて，分別やリサイクルに向けた作業活動への市民参加は，一層ゴミ問題に関する理解の促進等に貢献するものと考えられる。

謝辞：本研究の実施に際して，自然資源保全協会の宮本部長からは貴重な助言を頂きました。また，対馬市廃棄物対策課の阿比留氏からは現地写真等の提供を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小島あずさ・眞淳平，海ゴミ－拡大する地球環境汚染，中公新書，232p.,2007
- 2) 日向博文・諸星一信・金津信好，HFレーダーによる漂流ゴミ回収効率化の試み，沿岸海洋研究，第45巻，第2号，pp.105-114，2008