

FRP漁船の廃船処理時のインベントリ分析

大阪支所材料研究グループ * 櫻井昭男

環境・エネルギー研究領域環境影響評価研究グループ 亀山道弘、久津見都

海上技術安全研究所顧問 木原 洸

1. まえがき

製造物に対する環境調和性の要求は今後ますます厳しくなると予想され、これに対応していくために、FRP船の全ライフサイクルを通じて環境負荷を適正に評価し、必要な改善を施すことが求められている。筆者らは、FRP船の環境負荷の概略を把握するため、過去に製造されたFRP漁船の実績値に基づいてCO₂排出に関するインベントリ分析を実施し、建造、運航、廃船処理という一連のライフサイクルのうち、これまでに建造及び運航に関する解析の結果を報告した¹⁾。本報ではFRP漁船の生涯における最後のステージである廃船処理に関して解析を行った。また、これまでの解析結果をとりまとめ、全ライフサイクルを通じてのCO₂排出について示す。

2. 対象船舶と調査範囲

2.1 対象船舶

解析の対象としたFRP漁船は養殖ホタテを漁の対象とする、総トン数14トンの外海ホタテ桁曳き漁船である。主要目、一般配置図等は既報¹⁾を参照されたい。

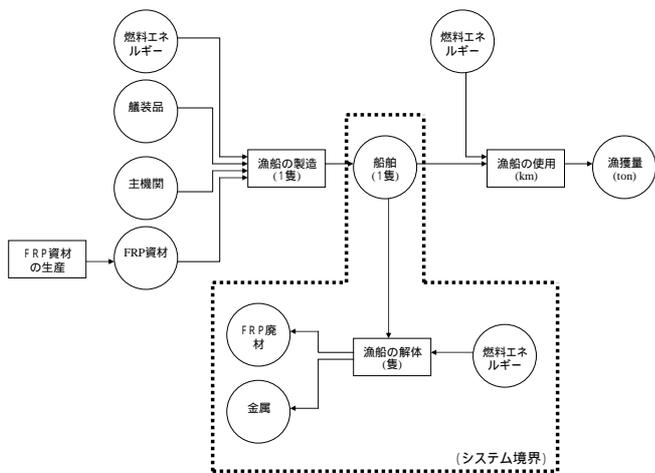


図 - 1 FRP漁船のライフサイクルにおける全体プロセスフローとシステム境界

2.2 調査範囲

FRP漁船のライフサイクルにおける全体プロセスフローは図 - 1 に示すとおりである。FRP漁船のライフサイクルには建造、運航及び廃船処理のステージがあり、同図中に示すシステム境界が、本報告で解析した廃船処理ステージである。

3. 解析手法

3.1 解析手順

建造及び運航のインベントリ分析では、FRP漁船建造工場(造船所)並びに使用者からの聞き取り調査を元にプロセスフローを作成し、それぞれのプロセスで使用した資源、エネルギー、排出物等のデータを収集し、プロセスフローに沿ってデータを集計する、という手順で行った。しかし、廃船処理ステージのインベントリ分析を実施するにあたり、今回解析の対象としたFRP漁船は通常、中古船として売却されるため、廃船処理の実績データがほとんどみあたらなかった。このため、本報告では近隣地域で破碎処理の後、管理型処分場へ埋め立てるものと仮定して、文献情報等をもとに廃船処理プロセスフローを作成し、これに基づいて解析を実施した。

3.2 データの収集

FRP船の廃船処理解析に必要な船体、艀装品の重量、素材等の建造データは、建造工場での聞き取り調査結果に基づいて、実際の使用量をデータとして用いた¹⁾。また、回航のための燃料消費量等は運航ステージでの解析結果¹⁾を活用した。その他の燃料、電力、破碎分別処理、運搬、埋立等に関するプロセスデータは、JEMAI-LCAデータベース²⁾の解析結果を使用した。

扱った環境負荷項目は、建造、運航ステージと同じく、消費資源としては、石炭、原油、LNG、天然ワックス、水、原木、鉄鉱石、ガラス原料及びポーキサイトである。また、排出物としては、

CO₂、スチレンモノマー、固形廃棄物、鉄スクラップ及びスラッジである。

3.3 計算手法

計算は後述するFRP漁船廃船処理のプロセスフローに基づいてプロセス行列を作成し、行列法³⁾により解析を実施した。なお、計算処理には表計算ソフト(Microsoft ExcelR)を使用した。

4. 解析

4.1 プロセスフロー

近年、循環型社会の構築や資源の有効活用が求められ、FRP船の処理法についても様々な方策が過去に検討されている。たとえば、粉碎してアスファルトやモルタル等に混入する方法、熱分解によりFRP中の樹脂成分を再利用する方法などが提案されたが、十分な経済性を有する手法は今のところ確立されていない。このような状態に対処するため、ミレニアムプロジェクトとして、FRP廃材をセメントの焼成燃料として使用する、現時点で最も実現の可能性が高いリサイクル技術の研究が進められている。ここで検討されているリサイクル処理工程が図 - 2⁴⁾である。FRP廃船を前処理、粗破碎及び粉碎工程によりFRP粉砕片を作成し、これを原料である石灰石等に混ぜて、セメント焼成燃料として利用するものである。しかしながら、このプロジェクトも現在は実証試験段階であり、FRP船処理法の現状としては、解体、粉碎した後に埋設または焼却処分していることは周知のとおりである。

したがって本解析では、現状に即して、FRP漁船を粉碎し、埋立処理するものとして廃船処理工程を仮定した。作成した廃船処理プロセスフロー

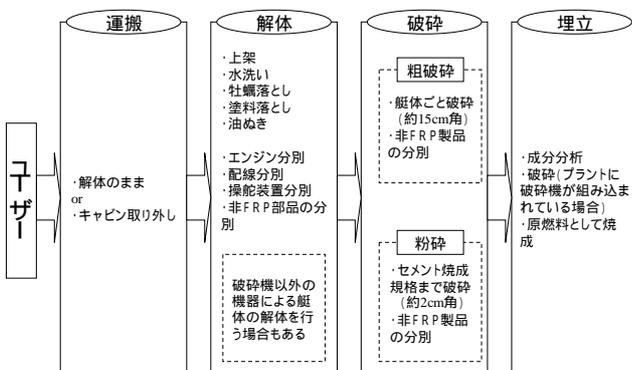


図 - 2 FRP 漁船のリサイクル処理工程

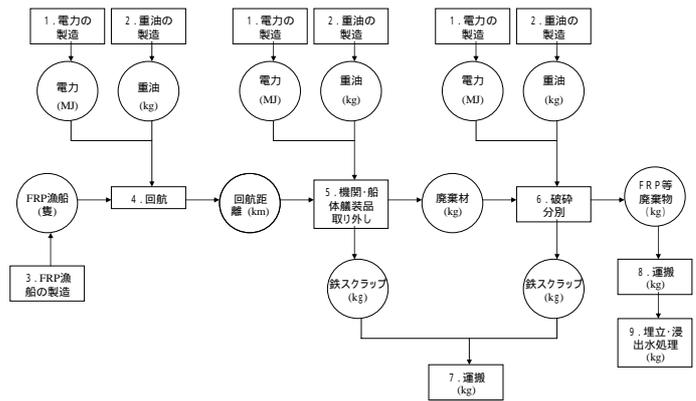


図 - 3 廃船処理のプロセスフロー

を図 - 3 に示す。廃船は解体工場まで自力回航し、ハルとデッキを分離した後、船体艙装品及び機関艙装品を取り外す。電気艙装品を含む船体については、破碎・分別の行程を経て金属を分離し、FRP破碎材等のシュレッダーダストを管理型処分場に埋め立てる。金属は全てマテリアルリサイクルされるものとした。すなわち、FRPの焼却は考慮しなかった。

4.2 廃船処理データ

廃船処理プロセスの解析に使用した各入出力の項目と量を表 - 1 に示す。回航は母港から解体工場まで100(km)自力航走するものとした。解体はハルとデッキを分離させる作業で代表させ、切断長を当該船全周((全長+全幅)×2)の2倍の106(m)とした。破碎分別装置に投入する重量は全重量から船体艙装品と機関艙装品とを取り外した重量とした。回収する鉄スクラップ重量は船体艙装品、機関艙装品、電気艙装品のすべての金属とし、これ以外は廃棄物として埋め立てることとし、それぞれの運搬距離は300(km)、100(km)とした。

表 - 1 廃船処理データ

項目	数量	備考
回航	100(km)	母港から解体工場まで
切断長	106(m)	ハルとデッキを分離
破碎分別重量	12.2(ton)	船体艙装品と機関艙装品を取り外した重量
鉄スクラップ輸送	4,400(ton・km)	船体艙装品、機関艙装品、電気艙装品の金属部分を300km輸送
廃棄物輸送	1,160(ton・km)	上記以外の部分を100km輸送
埋立	11.6(ton)	管理型処分場

4.3 プロセスデータ

分析に使用したプロセスデータを以下に示す。

これらのデータのうち、本解析で対象となる資源、CO₂及び固形廃棄物のデータのみを計算し、他の消費資源や排出物等は省略した。

(1)電力の製造（プロセス1）

JEMAI-LCAデータベース²⁾の解析結果を使用した。使用した電力データは国内電力各社の統計から得られた標準値である。

(2)重油の製造（プロセス2）

船舶用のディーゼル機関の燃料としてA重油を使用するものとし、JEMAI-LCAデータベースのHeavy Oilの解析結果を使用した。

(3)船舶の製造（プロセス3）

建造ステージの解析結果¹⁾から得られた資源、排出物等の環境的入出力量を使用した。

(4)回航（プロセス4）

運航ステージの解析結果¹⁾をもとに、軽荷、最大速度で航走するときの燃料消費率から換算してプロセスデータとした。

(5)解体（プロセス5）

500(W)ハンドグラインダを用いて、1(m)あたり5(分)で、所要長を切断するものとし、必要電力を求めた。また、環境への排出物は固形廃棄物として切削粉を計上することとし、切断幅、板厚、単位時間当たりの切断長から算出した切削粉体積を重量に換算して適用した。

(6)破碎分別（プロセス6）

JEMAI-LCAデータベースのShredderの解析結果を使用した。

(7)鉄スクラップ運搬（プロセス7）

JEMAI-LCAデータベースのTruck diesel 15tの解析結果を使用した。単位はton・kmである。

(8)破碎物運搬（プロセス8）

JEMAI-LCAデータベースのTruck diesel 15tの解析結果を使用した。

(9)埋立・浸出水処理（プロセス9）

JEMAI-LCAデータベースのLandfilとWater treatmentの解析結果を使用した。

4.4 計算結果

FRP漁船の廃船処理に関するインベントリ分析の結果を以下に示す。

(1)経済的入出力

廃船処理ステージにおける経済的入出力(プロセス量)の解析結果を表-2に示す。回航等を使用

表 - 2 経済的入出力(プロセス量)

	経済的入出力	プロセス量	単位
1	電力	783	(MJ)
2	重油	0	(kg)
3	FRP漁船	0	(隻)
4	回航	100	(km)
5	解体作業	106	(m)
6	破碎分別	12,200	(kg)
7	鉄スクラップ輸送	4,400	(ton・km)
8	破碎物輸送	1,160	(ton・km)
9	埋立	11,600	(kg)
10	廃船処理	1	(隻)

する重油は、その原料である原油、天然ガス、電力等にさかのぼって解析したため、この表には現れていない。

(2)環境的入出力

廃船処理ステージにおける環境的入出力(環境負荷項目)の解析結果を表-3に示す。FRP漁船の廃船処理ステージでのCO₂排出量は1.4(ton)であった。固形廃棄物が埋立重量11.6(ton)より約

表 - 3 環境的入出力(環境負荷項目)

	環境的入出力	プロセス量	単位
11	石炭	-1.17E+01	(kg)
12	原油	-4.31E+02	(kg)
13	天然ガス	-1.29E+01	(kg)
14	天然ワックス	0	(kg)
15	水	0	(kg)
16	原木	0	(kg)
17	鉄鉱石	0	(kg)
18	ガラス原料	0	(kg)
19	ボーキサイト	0	(kg)
20	鉄スクラップ	1.47E+04	(kg)
21	CO ₂	1.43E+03	(kg)
22	ステンレモノマー	0	(kg)
23	スラッジ	4.03E-02	(kg)
24	固形廃棄物	1.85E+04	(kg)

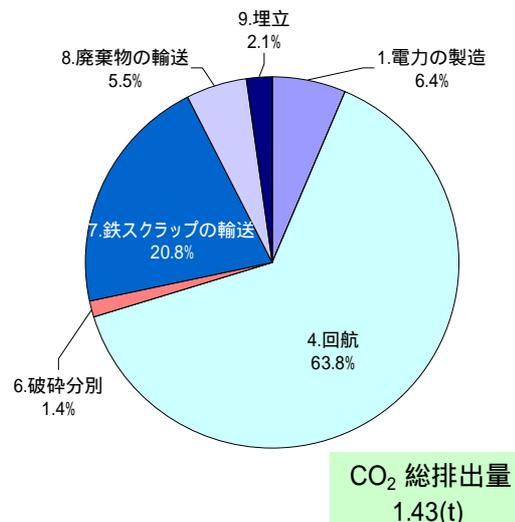


図 - 4 廃船処理プロセス毎のCO₂排出量

60%多いのは埋立により発生する汚泥の量を含んでいるためである。

(3)CO₂排出量の内訳

FRP漁船の廃船処理に関するCO₂排出量について、プロセス毎の内訳を及び図 - 4 に示す。処理工場への回航に係わるCO₂の排出量64(%)、鉄スクラップの運搬21(%)等運送に伴うものが大半を占めた。

5 . ライフサイクルでの環境負荷

環境負荷項目の全ライフサイクルを通じての入出力量とステージ毎の内訳を表 - 4 に示す。CO₂に関しては、ライフサイクル全体での排出量、約4,700(ton)のうち98(%)が運航ステージから排出されたことになる。また、固形廃棄物はそのほとんどが運航ステージの舂操業で漁場から回収されたゴミ等であり、廃船処理で発生するFRP廃材等の廃棄物は0.1(%)以下であった。

表 - 4 ライフサイクル全体の環境負荷

ステージ	ライフサイクル全体	内訳					
		建造		運航		廃船処理	
環境負荷項目	合計数量(kg)	数量(kg)	割合(%)	数量(kg)	割合(%)	数量(kg)	割合(%)
石炭	-1.21E+04	-1.07E+04	89	-1.36E+03	11	-1.17E+01	0
原油	-1.62E+06	-2.34E+04	1	-1.60E+06	99	-4.31E+02	0
天然ガス	-2.42E+04	-1.32E+03	5	-2.29E+04	94	-1.29E+01	0
天然ワックス	-3.00E+00	-3.00E+00	100	0	0	0	0
水	-1.57E+05	-1.57E+05	100	-4.21E+00	0	0	0
原木	-5.07E+03	-5.07E+03	100	0	0	0	0
鉄鉱石	-1.22E+04	-1.08E+04	88	-1.44E+03	12	0	0
ガラス原料	-3.70E+03	-3.70E+03	100	0	0	0	0
ボーキサイト	-1.75E+00	-8.77E-02	5	-1.66E+00	95	0	0
鉄スクラップ	8.17E+03	-5.76E+03	-70	-7.67E+02	-9	1.47E+04	180
CO ₂	4.70E+06	7.91E+04	2	4.62E+06	98	1.43E+03	0
スチレンモノマー	2.63E+02	2.63E+02	100	0	0	0	0
スラッジ	2.05E+02	6.44E-01	0	2.04E+02	100	4.03E-02	0
固形廃棄物	2.05E+07	9.48E+03	0	2.05E+07	100	1.85E+04	0

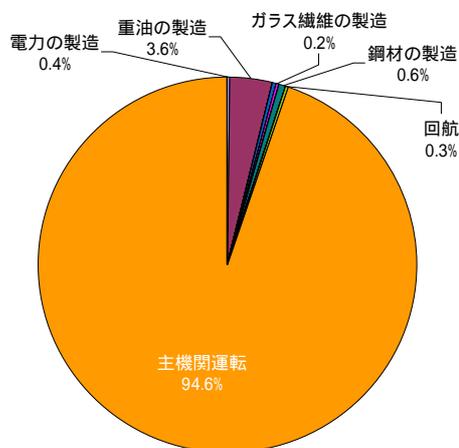


図 - 5 ライフサイクル全体での CO₂ 排出内訳

つぎに、プロセスベースでのCO₂排出の内訳を求めるため、各ステージでの排出内訳を合算した結果が図 - 5 である。これからわかるように、主機関運転94.6(%)、重油の製造3.6(%)、鋼材の製造0.6(%)となった。

6 . まとめ

FRP漁船の環境負荷を全ライフサイクルで考慮することを目的として、インベントリ分析を実施した。その結果、FRP漁船のCO₂排出量は、船の建造2(%)、運航98(%)であり、廃船処理ステージからは0.1(%)以下であった。また、プロセスベースにおいては、主機関の運転と重油(燃料油)の製造でCO₂排出のほとんどを占めた。

以上の結果からCO₂排出に関しては運航ステージ、すなわち運航形態や機関性能が大きく影響することは明白である。したがって、計算精度の向上のためには、運航データの精度を左右する船体や機関の経年劣化、及び実海域における船舶の運航状況を把握することが重要となる。

一方、建造、廃船処理ステージからのCO₂排出は比較的少なかったが、今後スチレンモノマー、固形廃棄物、NO_x等の排出量の解析を行うためには建造、廃船処理ステージの解析が不可欠であり、また、それらを的確に表現するプロセスデータを整備しなければならない。

今後、上記の問題点の調査を続けて、環境負荷の計算精度を高めるとともに、汎用性の高い計算システムの開発に結びつきたいと考えている。

なお、本研究の実施に当たり、データ収集にご協力いただきましたヤマハ発動機(株)舟艇事業部をはじめとする関係各位に感謝いたします。

参考資料及び文献

- 1) 櫻井昭男他、「FRP漁船の製造・運航時のインベントリ分析」, 第74回船舶技術研究所研究発表会講演集(平成12年6月)、p329-334
- 2) (社)産業環境管理協会
- 3) R.Heijungs、Environmental life cycle assessment of product Backgrounds LCA、(1992)、p52、Center of Environmental Science
- 4) FRP廃船高度リサイクルシステム構築推進委員会資料