

56 FRP製プレジャーボートのLCI分析

大阪支所 * 櫻井 昭男
ヤマハ発動機(株) 菅澤 實
墨田川造船(株) 狼谷 喜和

1. はじめに

FRP廃船の不法投棄、放置艇の沈廃船化等の問題に対処し、循環型社会の構築や資源の有効活用等の社会的要請に応えるため、平成12年度から15年度まで、国土交通省を主体として、FRP廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクトが実施された。その中で、ウレタン発泡構造による艇体をベースにし、環境に優しい船としてFRP標準化船(エコボート)が設計、建造された¹⁾。

本研究では、エコボートの環境負荷を評価するため、その全ライフサイクルを通じてインベントリ分析を実施し、従来型FRP艇並びに軽合金艇との比較を通じて、その優位性を検証した。

2. 対象プレジャーボートと調査範囲

2.1 対象プレジャーボート

2.1.1 船体の仕様

解析の対象とした艇は、発泡ウレタンを心材としたFRPサンドイッチ構造を艇体を使用した総トン数2.8トンの限定沿海プレジャーボートである。比較のために、艇体の素材を従来タイプのFRP並びにアルミ合金とした同一形状寸法の艇を設計し、比較計算に使用した。船外機はいずれも115PS、190kgのものを搭載している。対象艇の主要目を表1に、一般配置図を図1に示す。

2.1.2 運航計画

(1) 生涯計画

対象艇の使用年数は15年とし、使用期間中の機関の交換は2回とした。船底塗装は毎年1回行い、軽合金艇のみ船底塗装に加えて全体塗装を5年に1

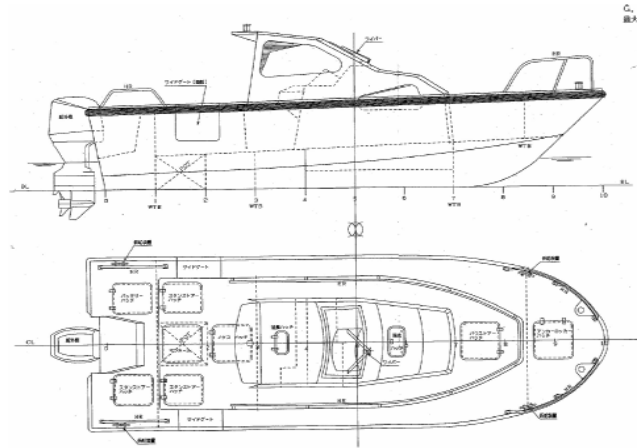


図1 解析対象艇の一般配置図

回行うものとした。

(2) 運航計画

対象艇の運航は、4～10月は2回/月、11～3月は1回/月、年間19回とした。1回の運航時間は2時間とし、運航中は最大出力で機関運転するものとした。

2.1.3 廃船処理計画

対象艇の廃船処理は、解体・破砕分別の後、鉄、アルミ合金は全量回収して製鋼所、精錬所へ搬出することとした。FRP破砕材のうち回収できたものは運搬、焼却して熱エネルギーに変換し、その他の廃材は管理型処分場に埋め立てることとした。

2.2 調査範囲

2.2.1 システム境界

対象艇のライフサイクルにおける全体プロセスフローを図2に示す。対象艇のライフサイクルには建造、運航及び解体のステージに加え、素材、機関等の部品及び電力、燃料等のエネルギーの生産、廃材の処理が含まれる。回収金属材料についてはリサイクル工場への搬入までを解析の対象とした。

2.2.2 環境負荷項目

以下の資源の消費及び排出物を考慮した。

- ・消費資源：石炭、原油、LNG、水、鉄鉱石、ボーキサイト
- ・排出物：CO₂、SO_x、NO_x、スチレンモノマー、飛散塗料(ダスト)、固形廃棄物、排水、

表1 解析対象艇の主要目

供試艇	エコボート	従来艇	軽合金艇
船質	FRP+発泡材	FRP	アルミ合金
航行区域	限定沿海		
全長(Loa)	7.13(m)		
登録長さ(LR)	6.32(m)		
登録幅(BR)	2.37(m)		
登録深さ(DR)	1.25(m)		
総トン数	2.8(ton)		
艇体質量(重量)	1150(kg)	1300(kg)	1509(kg)
最大搭載人員	8(名)		

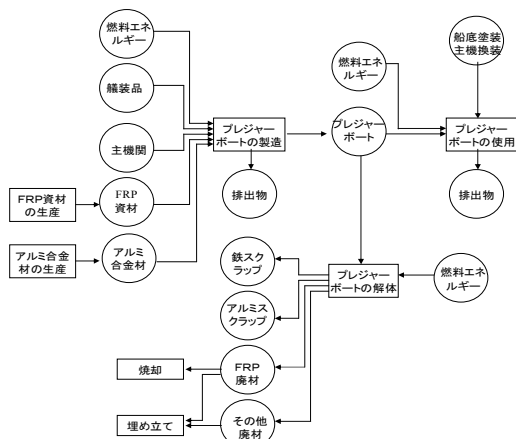


図2 解析対象艇の全体プロセスフロー
アルミスクラップ、鉄スクラップ

3. 解析手法

3.1 ステージごとのプロセスフローの作成

はじめに、建造、運航、解体のステージごとに詳細なプロセスフローを作成した。対象艇の建造ステージにおいては、設計図面、聞き取り調査結果等を元に作成した。運航ステージについては供試艇の運航特性に加え、機関換装及び再塗装を考慮した。廃船処理ステージについては、廃船の破砕分別と、金属類のリサイクル、非金属類の焼却、埋め立てをプロセスフローに組み込んだ。

3.2 データの収集

つづいて、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た。建造、運航ステージで使用するエネルギー量、船体、機装品の重量、素材等のデータは、実際の使用量もしくは設計図面から得られる値を用いた。燃料、電力、素材、運搬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、独自の調査は実施しなかった。主機関及び機装品等の部品に関するプロセスデータは部品の製造工程の省略し、使用する素材の内訳を考慮して作成した。切断、溶接、塗装等の作業に関しては、経験値に基づいてプロセスデータを作成した。

3.3 集計

データの集計については、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^{3,4)}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 Excel®)を使用した。

4. 建造ステージの解析

4.1 プロセスフロー

対象艇の建造のプロセスフローとしてFRP船の例を図3に示す。建造ステージには、建造に必要な

FRPの積層、サンディング等の直接作業に加え、工場への資材の搬入、照明や工場内での資材の運搬及び製造設備または製造機器の使用並びに機材の消耗や設備の償却等が含まれる。

船殻はガラス繊維やポリエステル樹脂などを用いて製作される。また、同様に各種の機装品は複数の素材を加工または組立等を行い製造される。しかし、本分析では船殻材料及び機装品の加工等の製造プロセスを省略し、同じ重量の鋼材やABS等の素材として扱った。また、工場からの廃棄物

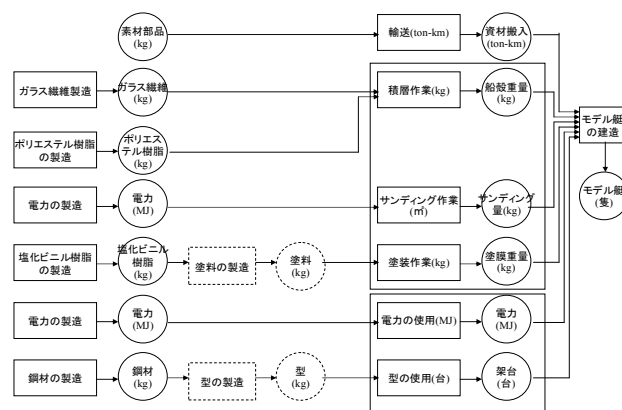


図3 対象艇建造のプロセスフロー（FRP船）

表2 対象艇の建造データ

項目	単位	エコボート	従来艇	軽合金艇
素材	ガラス繊維	kg	273.5	314.9
	ポリエステル樹脂	kg	584.6	652.1
	アクリル発泡体	kg	17.4	10.3
	ウレタン発泡体	kg	94.9	—
	アルミ合金	kg	—	1520.0
	鋼材	kg	—	237.5
	塗料	kg	293.0	293.0
部品	船外機	kg	1900.0	1900.0
	機装品	kg	202.7	348.8
補助材料	ワックス	kg	2.0	2.0
	アセトン	kg	7.9	7.9
	型	kg	100.0	100.0
	水	kg	—	6730.0
搬入輸送	4トントラック	ton・km	379.8	413.6
	10トントラック	ton・km	—	152.0
エネルギー	電力(切断)	kwh	—	10.5
	電力(溶接)	kwh	—	404.4
	電力(サンディング)	kwh	0.4	0.4
	電力(塗装)	kwh	3.9	3.9
	間接電力	kwh	859.5	859.5
	燃料(軽油)	kg	10.9	10.9
	アセチレンガス	kg	—	1.5
	プロパンガス	kg	—	46.6
製品	プレジャーボート	隻	1.0	1.0
	サンディング粉	kg	2.1	2.1
固形廃棄物	ワックス	kg	2.0	2.0
	アセトン	kg	7.9	7.9
	型(鉄スクラップ)	kg	50.0	50.0
	型(その他廃材)	kg	50.0	50.0
	アルミ廃材	kg	—	254.5
	鉄廃材	kg	—	237.5
	スチレン	kg	23.4	26.1
大気放出物	アセチレン燃焼CO ₂ ガス	kg	—	5.1
	プロパン燃焼CO ₂ ガス	kg	—	146.5
	燃料燃焼CO ₂ ガス	kg	33.0	33.0
	塗料	kg	88.0	88.0
水圏廃棄物	冷却水排水	kg	—	6730.0

及び金属スクラップのリサイクルの処理は分析の対象とするシステムには含めない。

4.2 建造データ

建造ステージの解析に際し、入力データとして使用した素材、部品、エネルギー等の使用量並びに廃棄物の排出量等の内訳を表2に示す。

5. 運航ステージの解析

5.1 プロセスフロー

対象艇の運航に関するプロセスフローを図4に示す。運航段階には、航走に加え、塗装や主機関の交換等の保守・修繕作業を含める。ただし、発生するスラッジや固形廃棄物の処理は分析対象とはしない。なお、塗料や部品の製造は前章の建造の分析と同じく、製造工程を省略し、使用材料を単純化して扱った。

5.2 運航データ

前述したように、対象艇の使用年数は15年とし、運航は4月～10月は2回/月、11月～3月は1回/月で、年間19回とした。一回の運航距離は60海里とし、運航中は最大出力で機関運転するものとした。最大出力時の速度は艇体重量の影響で艇により異なるため、航行時間に差が生じている。保守作業は塗装と機関換装を考慮した。表3に運航ステージの解析に用いたデータを示す。

6. 廃船処理ステージの解析

6.1 プロセスフロー

対象艇の廃船処理に関するプロセスフローを図5に示す。廃船は上架後、船外機を取り外す。ハルとデッキを分離した後、艀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する。プラスチック材等のシュレッターダストはセメン

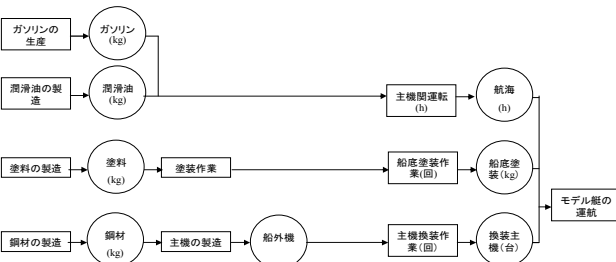


図4 運航のプロセスフロー

表3 対象艇の運航データ

項目	単位	エコボート	従来艇	軽合金艇
使用年数	年	15	15	15
年間運航回数	回	19	19	19
1回の航行距離	海里	60	60	60
1回の航行時間	時間	1.935	2.041	2.182
全体塗装回数	回	—	—	2
船底塗装回数	回	14	14	12
機関換装回数	回	2	2	2

トキルンに運搬・投入して熱エネルギーとして回収し、残りは管理型処分場に埋め立てる。金属のうち、鋼とアルミ合金はマテリアルリサイクルされるものとした。

6.2 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4に示す。解体はハルとデッキを分離させる作業で代表させた。破碎分別装置に投入する重量は船殻と艀装品の重量とした。破碎分別の後、鉄、アルミ合金は全量回収して製鋼所、精錬所へ搬出することとした。FRP破碎材のうち回収できたものは運搬、焼却して熱エネルギーに変換し、その他の廃材は管理型処分場に埋め立てることとした。なお、FRP破碎材の回収率は、エコボート99%、従来型FRP艇75%とした。それぞれの運搬距離は廃棄物を100kmとし、それ以外は300kmとした。

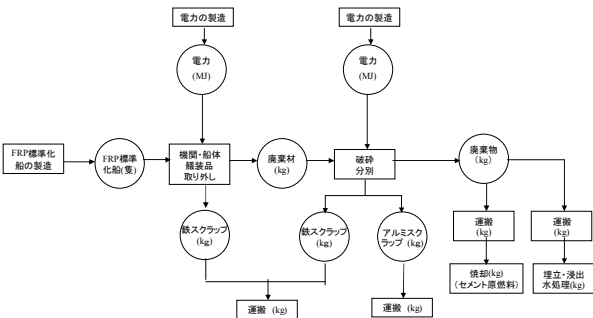


図5 廃船処理のプロセスフロー

表4 対象艇の廃船処理データ

項目	単位	エコボート	従来艇	軽合金艇
廃船運搬	km	100.0	100.0	100.0
切断長	m	19.0	19.0	19.0
破碎分別重量	kg	1149.7	1300.0	1509.0
アルミスクラップ重量	kg	30.8	40.4	1256.5
鉄スクラップ重量	kg	221.7	231.5	243.6
スクラップ輸送距離	km	300.0	300.0	300.0
回収ガラス繊維	kg	270.7	236.2	—
回収プラスチック類	kg	572.8	477.2	—
回収ウレタン発泡材	kg	94.0	—	—
回収材輸送距離	km	300.0	300.0	—
廃棄物重量	kg	149.7	504.7	199.3
廃棄物輸送距離	km	100.0	100.0	100.0

7. 解析結果と考察

7.1 解析結果

対象艇について、インベントリ分析を行った結果、電力使用量、主な資源使用量、代表的な排出物の一覧を表5に示す。電力には溶接、工作機械の使用等直接使用するものだけでなく、資材の製造等で必要となる電力を含む。資源、排出物については電力の製造に関わる資源、排出物も含む。

7.2 エネルギー消費について

使用電力量は、エコボート及び従来艇では概ねそれぞれの艇体重量と相関している。またその内訳は約3割が工作機械、工場照明に費やされ、残りのほとんどは資材の製造に使用された。一方軽合金艇については、その建造にエコボートの8倍以上の電力が使用されている。その9割はアルミ合金の製造であり、溶接電力は建造全体の約2%であった。

資源である石炭は鋼材の製造及び電力の製造に使用されるため、電力使用の多い軽合金艇での消費が大きい。また、原油についてはほとんど全ての素材の製造に使用されるが、燃料であるガソリンの製造に使用される割合が高く、艇体重量の大

表 5 インベントリ分析結果

		エコボート	従来艇	軽合金艇	
艇体重量(kg)		1150	1300	1509	
機関重量(kg)		190			
機関最大出力(kw,ps)		84.6(kW)、115(ps)			
最大速度(knot)		31.0	29.4	27.5	
項目		ステージ			
電力(MJ)		建造	9878.6	10367.9	81514.9
		運航	810.0	817.6	896.4
		廃船処理	68.2	79.1	88.6
		計	10756.8	11264.6	82499.9
資源(kg)	石炭	建造	339.6	363.3	1592.4
		運航	233.7	233.8	235.0
		廃船処理	1.0	1.2	1.3
		計	574.3	598.3	1828.7
	原油	建造	1564.2	1746.0	3666.2
		運航	19314.3	20365.5	21779.3
		廃船処理	13.3	13.5	16.9
		計	20891.8	22125.0	25462.4
	天然ガス	建造	196.5	215.8	660.6
		運航	304.1	320.4	342.7
		廃船処理	0.7	0.8	0.9
		計	501.3	537.0	1004.2
排出物(kg)	CO ₂	建造	4004.8	4448.0	17818.5
		運航	65093.0	68604.3	73309.9
		廃船処理	1599.7	1289.8	60.8
		計	70697.5	74342.1	91189.2
	stylene	建造	23.5	26.2	0.0
		運航	0.0	0.0	0.0
		廃船処理	0.0	0.0	0.0
		計	23.5	26.2	0.0
	固形廃棄物	建造	258.6	294.1	3196.4
		運航	488.7	488.7	499.0
		廃船処理	390.6	1313.6	519.6
		計	747.3	2096.4	4215.0

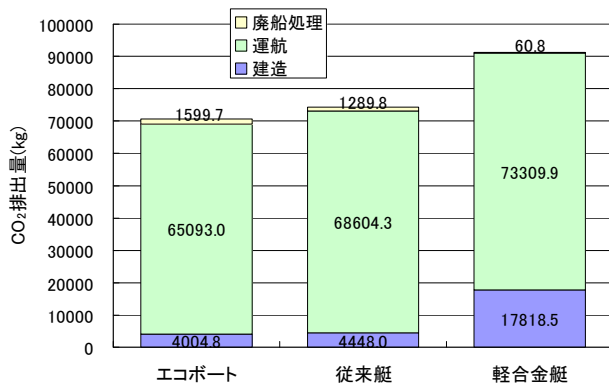


図 6 CO₂の排出分布

きい軽合金艇での使用が大きくなっている。天然ガスもほとんど全ての素材の製造に使用されるが、アルミ合金の製造に使用される量が多く、軽合金艇での使用が突出することが明らかになった。

7.3 排出物について

CO₂の排出分布を図6に示す。エコボートのCO₂排出量を基準として、従来艇のCO₂排出量は105%、軽合金艇は129%であった。また、建造工程だけと比較すると、従来艇は111%で概ね艇体重量比に近いが、軽合金艇では445%と飛躍的に増大する。廃船処理においては、FRP廃材の回収、焼却を考慮したため、回収率の高いエコボートのCO₂排出量が大きくなっている。しかし全体として、エコボートの重量軽減の効果がはっきりと表れている。

スチレン排出はFRP製造の宿命であり、エコボート及び従来艇の建造工程において発生する。樹脂の使用量が少ないエコボートでの発生が少なくなっている。

固形廃棄物については、軽合金艇ではアルミ合金の製造過程で発生する固形廃棄物が大勢である。一方、エコボート及び従来艇については、廃船処理後のFRP廃材等の割合が高い。これらFRP艇では破碎分別後に回収できなかった廃材の重量がそのまま廃棄物量となるため、FRP廃材を効率よく回収できるエコボートが全体の廃棄物量も少なくなっている。

8. まとめ

ウレタン発泡構造による艇体をベースにし、環境に優しいプレジャーボートとして開発されたエコボートについて、全ライフサイクルのインベントリ分析を詳細に実施し、従来型FRP艇並びにアルミ合金艇に対する優位性を明らかにした。この後、このエコボートがその名の通り、標準的なFRP艇として普及していくことを期待する。

本解析の実施にあたり、ご協力をいただいた日本舟艇工業会その他関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) FRP廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト報告書、国土交通省海事局船舶工業課
- 2) (社)産業環境管理協会
- 3) 戦略LCA研究フォーラム、LCA製品の環境ライフサイクルアセスメント、1995年11月、第1版第2刷、p178
- 4) R.Heijungs, etc, Environmental Life Cycle Assessment of Products-Guide & Backgrounds, October 1992、ISBN90-5191-064-9