

小型漁船のインベントリ分析に関する研究

- C : FRP 漁船の解析 -

櫻井昭男*、亀山道弘*、木原 洸*、林 慎也*、

千田哲也*、久津見都*

深町得三**、大熊正造**、田子廣政**、岡田一成**、

本多貴寿**

蒲谷勝治***

Research on Application of Inventory Analysis to Fishing Boat

- C : Inventory Analysis on FRP Fishing Boat -

by

Akio SAKURAI, Michihiro KAMEYAMA, Takeshi KIHARA, Shinya HAYASHI,
Tetsuya SENDA and Miyako KUTSUMI
Tokuzo FUKAMACHI, Shozo OHKUMA, Hiromasa TAGO
Kazunari OKADA and Takahisa HONDA
and Katsuji KABAYA

Abstract

The life cycle of the ship including materials and parts is so complicated that a full-scale LCI (Life Cycle Inventory) analysis of FRP (Fiber Reinforced Plastics) fishing boat has not been carried out yet. Therefore, the authors tried to model LCI analysis of FRP fishing boat. The scope of analysis included the production of energy and materials; shipbuilding; operation. Dismantling and recycling of used FRP from dismantled ships were not included in the analysis. CO₂ emission was selected as one of the analyzed loads to the environment.

Process analysis with matrix calculation for the simplified boat parts was used in the execution of the analysis. It was possible to estimate the amount of CO₂ emission throughout the life cycle of FRP fishing boat and through the execution of the analysis, the implementation method of LCI analysis of FRP fishing boat was created.

* LCA 研究グループ

** ヤマハ発動機(株)

*** 元ヤマハ発動機(株)

目次

1. はじめに	1	5.3.3 プロセスデータ	7
2. 対象船舶と調査範囲	1	5.4 製造インベントリデータ	7
2.1 対象船舶	1	5.4.1 燃料	7
2.1.1 船体の仕様	1	5.4.2 潤滑油	7
2.1.2 運航計画	2	5.5 インベントリ分析(運航)	8
2.2 目的と調査範囲	2	5.5.1 解析結果	8
2.2.1 目的	2	5.5.2 経済的入出力(プロセス量)	8
2.3.2 機能と機能単位	2	5.5.3 CO ₂ 排出量	8
2.3.3 システム境界	2	5.5.4 固形廃棄物	8
2.3.4 環境負荷項目	2	6. ライフサイクル	8
2.3.5 環境影響のタイプ、環境影響評価手法及び結果の解釈法	2	6.1 ライフサイクルインベントリデータ	8
2.3.6 負荷配分法	2	6.2 プロセス毎の内訳	8
3. 解析手法	2	7. まとめ	8
3.1 データ収集	2	7.1 システム範囲	8
3.1.1 収集方法	2	7.2 環境負荷項目	8
3.1.2 データ品質	2	7.3 製造インベントリデータ	8
3.2 インベントリ分析	3	7.4 船用部品と作業プロセスデータ	8
3.2.1 産業連関表と積み上げ法	3	7.5 建造	9
3.2.2 逐次法と行列法	3	7.6 運航	9
3.2.3 行列法の解析手法	3	参考文献	9
4. 建造工程の解析	3		
4.1 プロセスフロー	3		
4.2 建造データ	3		
4.2.1 エネルギー	4		
4.2.2 素材	4		
4.2.3 部品	4		
4.2.4 作業	4		
4.2.5 資源(環境からの入力)	5		
4.2.6 排出物・廃棄物	5		
4.3 作業プロセスデータ	5		
4.3.1 サンディング・トリミング作業	5		
4.3.2 塗装作業	5		
4.4 製造インベントリデータ	5		
4.4.1 エネルギー	5		
4.4.2 素材	5		
4.4.3 部品	6		
4.5 インベントリ分析(建造)	6		
4.5.1 解析結果	6		
4.5.2 経済的入出力(プロセス量)	6		
4.5.3 CO ₂ 排出量	6		
5. 運航	7		
5.1 プロセスフロー	7		
5.2 漁業データ	7		
5.3 プロセスデータ	7		
5.3.1 運航プロセス	7		
5.3.2 船舶状態	7		

1. はじめに

ホタテ桁曳き漁船を対象とした小型船舶のライフサイクルインベントリ(LCI)分析の一環として、A編(モデル船の分析)[1]、B編(アルミニウム合金漁船の解析)[2]に続き、本報告ではFRP(繊維強化プラスチック)船のLCIを行った。FRP船の場合、主に廃棄やリサイクル性に対する問題が近年クローズアップされている。しかし、FRP船の環境調和性を評価するためには、単に廃棄やリサイクル問題だけではなく、全ライフサイクルを通じた環境負荷を評価を実施することが求められる。

本研究ではその手がかりとして、FRP漁船の建造及び運航における環境負荷の概略を把握するために、インベントリ分析をモデル船の建造及び運航の実績データに基づいて実施した。以下に結果を報告する。

2. 対象船舶と調査範囲

2.1 対象船舶

解析の対象としたモデル船の仕様を以下に示す。

2.1.1 船体の仕様

解析の対象としたモデル船はFRP製で、総トン数14トンの外海ホタテ桁曳き漁船である(以下、モデル船と称す。)。モデル船の主要目と船体の重量構成表を表-1及び表-2に示す。また、一般配置図を図-1に示す。塗膜重量は船殻重量に、漁労装置と一般艀装品は船体艀装の重量に含めた。

2.1.2 運航計画

(1) 生涯計画

モデル船の使用年数等の生涯計画を表 - 3に示す。使用年数は20年とし、使用期間中の主機の交換は1回だけとした。塗装は船底塗装のみを年1回行うものとした。

(2) 運航計画

モデル船の年間の運航計画はアルミ合金船と同じとした。表 - 4に示すように、年間に実施される操業には、漁場の清掃や整備を目的として3～5月に行われる春操業と、6～12月のホタテ貝の収穫をする本操業の2種類がある。操業のないのは、1～2月の休漁期間に加え、土日及び悪天候による休漁日である。

(3) 航海計画

操業時の航行距離や主機馬力等の航海計画を表 - 5に示す。モデル船は港を軽荷状態で出航し、漁場の海区で曳網し、ホタテ貝等を満載した状態で帰港する。春操業と本操業とでは曳網状態を除き、航行時間、主機出力及び速力は同じとした。航行距離は、航行時間と速力の実績から求めたため、往路と復路の距離に違いが表れた。

2.2 目的と調査範囲

本インベントリ分析の目的及び範囲を以下にまとめる。

2.2.1 目的

FRP漁船の建造及び運航に伴うCO₂の排出量を把握し、将来的な小型漁船の環境負荷の低減等に資することを意図する。

2.2.2 機能と機能単位

解析の対象とする製品・サービスは、総トン数14トンのFRP漁船を使った四輪採制[1]によるホタテ漁業の実施とした。また、対象とする機能単位はモデル船の生涯操業でのホタテ貝(1kg)の水揚げ量とする。

2.2.3 システム境界

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本解析の対象とするシステム境界を図 - 2に示す。FRP漁船のライフサイクルにはFRP資材、主機関の部品及び電力、燃料等のエネルギーの生産に加え、漁船の建造、使用及び解体並びにリサイクル等のステージが含まれる。しかし、今回モデル船とした北海道仕様のFRP漁船は使用後に外国に転売されることが多く、解体、リサイクルの実績がほとんどない。そのため、本解析では漁船の建造及び使用のみを解析の対象とし、漁船の解体及びリサイクルはシステムの対象外とした。

ただし、FRP船体積層用の簡易め型は5回(5隻の漁船)の製造に使用して廃棄更新されるものとした。また、樹脂溶剤のアセトンがスラッジとともに廃棄処理されるもの(10%)以外は回収、再生の後再使用するものとした。

素材、部品及びエネルギー等の生産に関しては各種文献やデータベースからのインベントリデータを使用し、素材等の生産工程は対象としない。さらに、資材や部品の工

場への輸送及び廃棄物の焼却等、建造または運航に直接関係しない工程は含めない。

2.2.4 環境負荷項目

解析の対象とした環境負荷項目は二酸化炭素(CO₂)である。また、以下の資源の消費及び排出物を参考として考慮する。

- ・消費資源:石炭、原油、LNG、天然ワックス、水、原木、鉄鉱石、ガラス原料、ボーキサイト
- ・排出物:CO₂、スチレンモノマー、固形廃棄物、鉄スクラップ及び運航においてはスラッジ

2.3.5 環境影響のタイプ、環境影響評価手法及び結果の解釈法

本解析ではCO₂排出量のみを対象としたインベントリ分析を実施し、地球温暖化等の環境影響評価及び感度解析等の解釈は実施しなかった。

2.3.6 負荷配分法

漁船の建造では端材としてのガラス繊維や、トリミング・サンディングによるFRP屑が発生する。しかし、本解析ではFRPのリサイクルは解析の対象外であり、また建造ではFRP漁船のみが経済的に有益な製品として製造されるため、副産物の生産等に伴う負荷の分配は考慮しなかった。

また、漁船の使用(運航)においては、ホタテ貝の水揚げ(漁獲量)のみが経済的に有益な製品であり、負荷の分配は考慮していない。

3. 解析条件

本解析で適用したデータ収集及びインベントリ分析等の解析手法を以下にまとめる。

3.1 データ収集

解析に使用したプロセスデータの収集方法及びデータの品質は以下のとおりである。

3.1.1 収集方法

建造や運航のステージにおける資材、エネルギー及び部品等の種類と使用量は、実際の使用量の調査結果に基づいたデータ[1]を使用した。FRP資材等各種素材、燃料及び電力に関するプロセスデータには、各種データベースの解析結果や参考文献等のデータ[3]-[7]を使用し、独自の調査は実施しなかった。主機関及び艀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及び使用する素材の簡略化を行った。建造ステージでは、サンディング・トリミング作業及び塗装作業に関しては、使用する機器のカatalog及びそれらの機能等に基づいてプロセスデータを作成した。漁船の運航ステージでは、主機関の運転に関しては、使用する主機関のカatalog及びそれらの機能等に基づいてプロセスデータを作成した。

3.1.2 データ品質

解析を行ったモデル船の建造や運航は1990年代の日本の漁業協同組合(以下、「漁協」と称す。)が四輪採制で実施するホタテ漁業であり、いずれも当時の日本の平均的な技術と考えられる。また、使用したプロセスデータやインベントリデータはデータベース[3]-[5]の中から比較及び検討の上、代表的と考えられるデータを選択して使用した。

3.2 インベントリ分析

3.2.1 産業連関表と積み上げ法

製品等のインベントリ分析を行う手法としては一般に産業連関表を用いる方法[8]とプロセスの積み上げにより行う積み上げ法がある。産業連関表による解析方法は取り扱い金額に基づいて産業全体から分析を行うため、いわゆる、業界全体の平均値を大局的に算出することができるが、船舶個別の建造や運航等の解析はできない。そのため本解析では、多くのプロセスデータを収集する必要があるが、最小単位のプロセスをプロセスフローに基づいて積み上げ、船舶個別のプロセスに基づいた解析を行うことができる積み上げ法を採用した。

3.2.2 逐次法と行列法

積み上げ法の解析方法には計算手法の違いにより逐次法と行列法がある。逐次法はプロセスの流れに沿って順次解析して行くため、理解しやすい。しかし、再帰参照を必要とするプロセスでは繰り返し計算とその条件の設定が必要となり、大規模なシステムや高度な解析処理に対応することは一般に困難である。

これに対して、行列法は対象の製品の生産システム全体を複数のプロセス列行列で表現するため、比較的簡単に再帰参照を扱うことができ、また感度解析等高度な解析手法へ発展させることができる。このため、本解析では行列法を適用した。

3.2.3 行列法の解析手法

行列法の解析手法[9][10]は大略以下の通りである。詳細については、B編(アルミニウム合金漁船の解析)[2]にまとめられている。なお、計算処理には表計算ソフト(Microsoft ExcelR)を使用した。

(1) プロセス行列(AB)の作成

- ・建造等の各ステージのプロセスフローに基づいて、プロセス行列(AB)を作成する。経済的入出力の部分の行列を(A)、また環境からの入力及び環境への出力の部分の行列を(B)とする。
- ・プロセス量行列(P)はプロセス行列(AB)の経済的入出力の部分(A)にのみ対応し、行列の作成時点では未知数の行列である。
- ・核プロセス行列(Q)はプロセス行列(AB)の全ての行に対応し、経済的入出力の部分については漁船の製造等インベントリデータを作成したい項目が「1」である以外、他の項目は全て「0」であり、また環境からの入出力等の部

分については行列の作成時点では未知数の行列である。

- ・プロセス行列(AB)の経済的入出力の部分(A)とプロセス量行列(P)の積は核プロセス行列(Q)となり、ステージに関する連立一次方程式、 $AP=Q$ が成り立つ。

(2) プロセス量行列(P)の解法

- ・未知数の行列であるプロセス量(P)をプロセス行列(AB)の経済的入出力の逆行列(A^{-1})からステージに関する連立一次方程式 $AP=Q$ を解き、プロセス量行列(P)を求める。
- ・ステージにおけるプロセス毎のプロセス量の内訳を得られたプロセス量行列(P)とプロセス行列(AB)の経済的入出力(A)の部分の積から求める。
- ・核プロセス行列(Q)の未知数の行列である環境からの入出力等の部分をプロセス行列(AB)の環境からの入出力等の部分(B)と得られたプロセス量(P)の積から求める。
- ・ステージにおけるプロセス毎のプロセス量の内訳とプロセス行列(AB)の環境からの入出力の部分(B)の積から、ステージのプロセス毎の環境からの入出力を得る。

(3) ステージの区分による分析

- ・プロセス行列(AB)の経済的入出力の逆行列(A^{-1})と核プロセス行列(Q)の積からインベントリデータ表を作成する。
- ・プロセス行列(AB)の経済的入出力(A)の最終プロセス名の経済的入出力の部分とインベントリデータ表の環境からの入出力等の部分の積から、ステージの区分による環境からの入出力を求める。

4. 建造工程の解析

モデル船の建造工程のプロセスフローを作成し、建造の実績データに基づいてFRP漁船の建造に関するインベントリ分析を行った。解析における入力データ及び解析条件を以下に示す。

4.1 プロセスフロー

モデル船の建造のプロセスフローを図-3に示す。建造段階では、工場への資材の搬入、切断やトリミング等の直接作業、照明や工場内での資材の運搬等の間接作業並びに製造設備または製造機器の使用及びその償却等が含まれる。しかし、本解析ではエネルギー消費と固形廃棄物排出の観点から、トリミング、塗装等の直接作業、工作機械、コンプレッサや照明等工場全体での電力使用及び生産設備としての型、架台の使用をインベントリ分析の対象とし、工場への資材搬入等のトラックの使用やFRP端材のリサイクル及び廃棄物の処理は含まなかった。さらに、塗料の製造に必要な加工等の製造プロセスは素材の製造と同様に省略し、同じ重量のエポキシ樹脂として扱った。また、海上試運転は解析対象には含まなかった。

4.2 建造データ

解析に際し、入力データとして使用した造船所の投入電力、素材及び部品の使用量、各種作業の作業量並びに廃棄物の排出量の内訳を図 - 4に示す。

4.2.1 エネルギー

(1) 電力

工場で建造時に使用する電力は建造工場の全使用電力を当該船の建造工程数で按分して算出し、 $23,600\text{kWh} = 84,960\text{MJ}$ とした。主に、照明、エアーコンプレッサ、クレーン等の電力である。

(2) 重油

工場で建造時に使用する重油は建造工場の全使用重油を当該船の建造工程数で按分して算出し、 $2,100\text{L} = 1,890\text{kg}$ とした。ただし、重油の比重を 0.9 とした。このうち、 $160\text{g/PSH} \times 550\text{PS} \times 6\text{h} = 528\text{kg}$ が海上試運転で使用されるため、残り $1,362\text{kg}$ が建造工程で主に暖房用として使用されるものとした。

4.2.2 素材

(1) ワックス

離型処理に使用したワックス重量として、 12kg を計上した。副資材であるワックスは積層工程で使用するが、製品には残らず、固形廃棄物となる。

(2) アセトン

副資材として積層工程で使用するアセトンは $980\text{L} = 774.2\text{kg}$ (比重 0.79)である。使用したアセトンはスラッジとともに廃棄処理される 10% 以外は回収、再生の後再使用する。このため、廃棄処理される分を建造一隻当たりの使用量とし、 $774.2\text{kg} \times 0.1 = 77.42\text{kg}$ とした。

(3) 樹脂

外装ゲルコート樹脂、内装ゲルコート樹脂、一般積層用樹脂並びにミッシュマッシュペーストのいずれも同一のポリエステル樹脂とみなした。樹脂重量には硬化剤の重量も含めた。したがって、硬化後の樹脂重量は $6,222.9\text{kg}$ とした。内訳を表 - 6に示す。

ただし、硬化前の樹脂はその重量の 40% をスチレンモノマーが占めており、硬化に伴って樹脂重量の 4% のスチレンモノマーが大気中へ排出される。したがって、船舶建造のために使用する硬化前の樹脂の量は $6,222.9\text{kg} / (1 - 0.04) = 6,482.2\text{kg}$ となり、硬化によるスチレンの排出量は $6,482.2\text{kg} - 6,222.9\text{kg} = 259.3\text{kg}$ である。

(4) ガラス繊維

造船所での使用量として、船殻重量分の使用重量 $3,076.5\text{kg}$ を使用量とした。

(5) 発泡心材

造船所での使用量として、ウレタンフォーム、バルーンマットおよびアクリル発泡体を同一の発泡心材とみなし、使用重量を 69.7kg とした。内訳を表 - 7に示す。

(6) ラワン材

造船所での使用量として、船殻重量分の使用重量を

489.7kg を使用量とした。

(7) 合板

造船所での使用量として、各種板厚のラワンベニアの重量を合計し、使用重量を 670.4kg とした。内訳を表 - 8に示す。

(8) 鋼材

固着釘使用量 400kg を鋼材使用量として計上した。

4.2.3 部品

(1) 簡易め型

簡易め型の材料内訳を表 - 9に示す。米松、ラワンはラワン材とみなした。また、接着剤、パテは樹脂とみなした。樹脂は硬化によりスチレンモノマーが排出され、その量は硬化前重量の 4% とした。

1つの型は5回の積層で償却する事とし、1回の製造には型重量の 20% を使用するものとして計算した。5回で償却するため、1隻建造当たりの使用量は $12,647\text{kg} / 5 = 2,529.4\text{kg}$ である。これはすべて固形廃棄物とする。

(2) 船体艤装品

造船所に部品として搬入する一般艤装品(門型マスト、デリックブーム及び舵板等)及び漁労装置(トロールウィンチ、トロールワイヤ、カーゴウィンチ等)等が船体艤装品に含まれる。船体艤装品の重量は、表 - 2の船体艤装品の重量と同じ $10,291\text{kg}$ とした。

(3) 機関艤装品

造船所に部品として搬入する主機関、減速機、プロペラ等が機関艤装品に含まれる。機関艤装品の重量は、表 - 2の機関艤装品の重量と同じ $3,732\text{kg}$ とした。

(4) 電気艤装品

造船所に部品として搬入する発電機、バッテリー、電線等が電気艤装品に含まれる。電気艤装品の重量は、表 - 2の電気艤装品の重量と同じ $1,254\text{kg}$ とした。

4.2.4 作業

(1) サンディング・トリミング

サンディング・トリミング作業を電気サンダーによるサンディングで代表させた。サンディングはFRP漁船の(全長 + 全幅)の2倍長を幅 0.5m 、深さ 0.0005m で行うものとした。したがって、サンディング・トリミング面積はサンディング幅 $0.5\text{m} \times$ サンディング長 $52.88\text{m} = 26.44\text{m}^2$ とした。

(2) 塗装

塗装作業の作業量はFRP漁船の塗装部重量と同じと考えられる。FRP漁船の塗装部重量は 53.4kg である。

4.2.5 資源(環境からの入力)

(1) 水

工場で建造時に使用する工業用水は建造工場の全使用工業用水を当該船の建造工程数で按分して算出し、 $144,300\text{kg}$ とした。

(2) その他資源

造船所では、石炭、原油、天然ガス、天然ワックス、原木、鉄鉱石、ガラス原料及びボーキサイト等の資源は直接

使用することはない。

4.2.5 排出物・廃棄物

(1) 二酸化炭素

工場で使用した重油の燃焼により $1,362\text{kg} \times 0.85(\text{C分}) \times 44/12 = 4244.9\text{kg}$ の CO_2 が排出される。

(2) スチレンモノマー

樹脂の硬化の過程で樹脂中に溶解しているスチレンモノマーが排出される。排出量は硬化前の樹脂重量 $6,482.2\text{kg}$ の4% (259.3kg)とした。

(3) 固形廃棄物

FRP漁船の建造に係わる造船所における固形廃棄物の種類、量及び処理方法は表 - 10のとおりである。なお、処理作業は解析対象に含めていない。

4.3 作業プロセスデータ

解析に使用した、サンディング・トリミング等の作業プロセスデータを以下に示す。

4.3.1 サンディング・トリミング作業

すべてのサンディング・トリミングを電気サンダーで行うと仮定した。500W の電気サンダーにより5分間で 1m^2 のサンディングができるものとして、プロセスデータを作成した。電気サンダーによるサンディング・トリミングのプロセスデータにはサンディングディスクの消耗は考慮されていない。

4.3.2 塗装作業

FRP漁船の塗装は船底塗装のみであり、ローラー塗りが行われる。付着量は使用量の95%である。塗装で使用する塗料は全てエポキシ樹脂と考え、シンナー類は省略した。付着しなかった塗料は固形廃棄物とする。以上のデータをもとに塗装作業のプロセスデータを作成した。(表 - 11)

4.4 製造インベントリデータ

樹脂やガラス繊維等の素材、電力、燃料及び各種の部品の製造に関するプロセスデータは、原材料の採掘から製造までのすべてのプロセスを含む製造インベントリデータとして処理した。解析に使用したエネルギー、素材及び部品の製造に関するインベントリデータの詳細を以下に示す。なお、それぞれの解析においては、本報告で対象とする資源、 CO_2 等排出物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。

4.4.1 エネルギー

(1) 電力

日本における電力の製造インベントリデータとして、データベース[3]の全国平均のデータを使用した。電力構成は以下のとおりである。残り0.2%の電力の詳細は不明である。

電力 1MJ

=LNG 0.223MJ + 石炭火力 0.11MJ + 水力発電 0.105MJ + 原子力発電 0.282MJ + 石油火

力 0.278MJ

= 0.998MJ

(2) 重油

データベース[4]のHeavy Oilの解析結果を使用した。

(3) 軽油

データベース[4]のDiesel Oilの解析結果を使用した。

(4) ブタンガス

調査したデータベース[3]-[5]にはブタンガスに関する直接のインベントリデータはなかった。そのため、データベース[4]のLPGの解析結果を使用した。

4.4.2 素材

(1) ワックス

ワックスに関する直接のインベントリデータを入手できなかった。このため、表 - 12に示すワックス成分のうち、プロセスデータが入手できた代表的成分(天然ワックス、石油系溶剤、水)の混合物として、データベース[4]により解析を行い、その結果を使用した。

(2) アセトン

データベース[4]のトルエン(Toluen)の解析結果を使用した。

(3) 樹脂原料

ポリエステル樹脂原料に関するインベントリデータを入手できなかった。酸成分55%、グリコール成分45%の混合物とみなした(表 - 13)。樹脂原料成分のうち、酸成分をテレフタル酸と仮定し、またグリコール成分をエチレングリコールと仮定して、それぞれの混合比をもとに、データベース[4]により解析を行い、その結果をインベントリデータとして使用した。

(4) 樹脂

当該樹脂の製造会社に問い合わせた結果、以下の情報を得た[11]。

- ・硬化前の樹脂には重量の40%のスチレンモノマーを含有している。
- ・1kgの樹脂生産につき、製造エネルギーとして原油 0.077L を要する。このときの二酸化炭素排出量は 0.026kg である。
- ・1kgの樹脂生産につき、廃棄物焼却エネルギーとして原油 0.056L を要する。このときの二酸化炭素排出量は 0.011kg である。
- ・1kgの樹脂生産につき、スチレンモノマー 0.0002kg を大気中に排出する。
- ・1kgの樹脂生産につき、固形廃棄物 0.0005kg を排出する。

以上のデータを元に、プロセスデータを作成した。

(5) ガラス繊維

当該ガラス繊維の製造会社に問い合わせた結果、製造工程について以下の情報を得た[12]。なお、ガラス繊維は番手、繊維長、織り方により多様な種類があるが、ここではすべて同一の一般的なEガラス繊維とみなした。

- ・ 1kg のガラス原料は、溶解の工程で 0.15kg が蒸発消失する。このとき、エネルギーとして電力、重油、ブタンガスを必要とする。
- ・ 紡糸の工程で 0.05kg は再生産に戻される。このとき、エネルギーとして電力を必要とする。
- ・ 乾燥の工程でエネルギーとして電力を必要とする。
- ・ 加工の工程で 0.04kg が売却され、0.01kg が再生産に戻され、0.002kg が埋め立て処分される。さらに、1kg のガラス繊維生産につき、固形廃棄物 0.0005kg を排出する。このとき、エネルギーとして電力、ブタンガスを必要とする。
- ・ したがって、1kg のガラス原料から 0.748kg の製品として出荷される。
- ・ 全工程での消費エネルギーは製品 1kg 当たり、電力 1.0 ～ 2.0kWh、重油 300 ～ 400L、ブタンガス 100 ～ 200kg である。

以上のデータを元に、プロセスデータを作成した。

(6) モノマー

モノマーに関する直接のインベントリデータを入手できなかったため、データベース[4]のスチレン(Styrene)の解析結果を使用した。

(7) 発泡心材

当該発泡心材の製造会社に問い合わせた結果、アクリル発泡材のプロセスデータ[13]を入手し、これを解析に使用した(表 - 14)。ここで、重油比重 = 0.9とした。また、原料はモノマー、発泡剤、添加剤であるが、すべてモノマーとした。

(8) ラワン材

原木 1kg に対して、ラワン材 1kg が生産されるものとして、データベース[4]の木材の解析結果を使用した。

(9) 合板

当該合板の製造会社に問い合わせた結果、表 - 15 に示す合板製造の実測データを得た。

ここでは、軽油の比重は 0.84 とし、原木の比重は 0.59 として換算した。合板は板厚 15mm の定尺物に換算した数値であり、合板1枚は 18.58kg とした。廃材焼却は合板を製造する際の単板の乾燥用熱量として使用し、廃材焼却によるCO₂発生量は焼却した廃材重量の25%とした。また、廃材焼却による固形廃棄物発生量は焼却量の50%とした。これらの情報を元にプロセスデータを作成した。

(10) 塗料

塗料に関するインベントリデータとして、データベース[5]のエポキシ樹脂(Epoxy Resin)のデータを使用した。

(11) 鋼材

モデル船に使用された鋼材に関する製造インベントリデータを入手できなかったため、本解析では厚板鋼板に相当するデータベース[4]の鋼塊(Steel Ingot)に圧延工程(Hot Rolling)を加味してデータを作成した。これによると、

鋼塊(Steel Ingot) 1kg の製造に鉄鉱石 1.1kg とスクラップ 0.38kg 及び石炭 0.53kg を使用するとされ、また圧延工程(Hot Rolling)では、熱エネルギー、電力及び酸素の使用が考慮されている。

(12) PVC(塩化ビニル)

データベース[5]のPVC Iの解析結果を使用した。

4.4.3 部品

(1) 簡易め型

簡易め型の材料内訳は、4.2.3 部品 (1)簡易め型の項で記述した(表 - 9)。それを元に表 - 16に示すプロセスデータを作成した。

(2) 艀装品

現時点では、主機関等主な船舶用部品の製造に関するインベントリデータはない。したがってB編(アルミニウム合金漁船の解析)[2]と同様に、モデル船の建造に使用する素材と部品を船殻材料、船体艀装品、機関艀装品及び電気艀装品に分類した。各艀装品の分類で想定した製造時に使用する代表的な素材の種類を以下に示す。

・船体艀装品: 全て鋼材とみなした。

・機関艀装品: 全て鋼材とみなした。

・電気艀装品: 鋼材と塩化ビニルを各々重量の50%とみなした。

4.5 インベントリ分析(建造)

FRP漁船の建造に関するインベントリ分析の解析結果を以下に示す。

4.5.1 解析結果

プロセスフロー、プロセスデータ及び素材等の製造インベントリデータに基づいて作成したモデル船の建造に関するプロセス行列(建造)(AB)を表 - 17 に示す。また、プロセス行列(建造)(AB)の経済的入出力部(A)の逆行列から求めたプロセス量行列(建造)(P)と環境負荷行列(Q)を表 - 18 及び表 - 19 に示す。

4.5.2 経済的入出力(プロセス量)

モデル船の建造に必要な総電力量は 114GJ であり、このうち、造船所の建造工程で消費される電力は 85GJであった。また、その内訳はサンディング・トリミング作業に使用される 150kJ 以外は工場内での照明、クレーン及び工作機械の使用等の間接作業に伴う電力消費であった。

4.5.3 CO₂ 排出量

FRP漁船の建造に関するCO₂排出量は 57.3ton-CO₂であった。CO₂排出量のプロセス毎の内訳を表 - 20及び図-5に示す。鋼材の生産に係わるCO₂排出量が全体の31%、電力の生産が23%、ガラス繊維の生産が18%、樹脂及びモノマーの生産が8%を占めた。部品の製造プロセスを素材の重量のみ考慮したため、CO₂排出は主として電力製造等のエネルギー及び素材の製造に関するプロセスから排出される結果となった。

5. 運航

モデル船の運航に関するプロセスフローを作成し、運航の実績データに基づいて運航に関するインベントリ分析を行った。解析に使用した入力データ及び解析条件を以下に示す。

5.1 プロセスフロー

モデル船の運航に関するプロセスフローを図 - 6 に示す。モデル船はホタテ貝養殖を目的とした四輪採製の漁業システムの一環として使用される。運航段階には、漁場整備のための春操業及び収穫のための本操業に加え、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製造工程を省略し、使用材料を単純化して扱った。

5.2 漁業データ

解析対象とした運航プロセスは春操業、本操業、保守作業、修繕及び主機の換装とした。モデル船のライフサイクル年数を20年とした場合の春操業や本操業の回数等の運航計画は表 - 3 に示したとおりであり、ホタテ貝の総漁獲量は 62,640ton である。また、解析の機能単位はホタテ貝の漁獲量 1kg とし、入力データも機能単位に合わせた形としている。

5.3 プロセスデータ

5.3.1 運航プロセス

運航プロセスの詳細を以下に示す。

(1) 春操業

春操業は漁場整備を目的として、漁船が軽荷状態で出航し、漁場の海区をホタテ桁網を曳網しながら低速で走り回り、漁場からのゴミ等を満載して帰港する。そのため、春操業の経済的な入力項目は漁船の航行距離とし、軽荷、曳網及び満載の航行状態毎に、運航計画に基づいたデータを使用した。また、春操業で海区から収集したゴミ等は経済的な価値はないと考え、すべて固形廃棄物とし、春操業 1回 で収集するゴミの量はモデル船の最大搭載重量の 18ton とした。

(2) 本操業

本操業はホタテ貝の水揚げを目的として、春操業と同様に漁船が軽荷状態で出航し、漁場の海区でホタテ桁網を曳網してホタテ貝を収穫し、漁場からホタテ貝を満載して帰港する。そのため、本操業の経済的な入力項目は春操業と同じとし、各入力データは運航計画のとおりとした。なお、本操業で直接排出される固形廃棄物等の廃棄物や排出物はない。

(3) 保守作業

保守作業は毎年実施される船底塗装を対象とした。船

底塗装の作業量は船体に付着した塗膜重量とし、入力データは建造時の塗装重量と同じ 53.4kg とし、塗装方法はローラー塗りとした。なお、塗装の前処理として前の塗膜を除去する必要がある、この除去量は塗膜重量の 90%、すなわち、 $53.4\text{kg} \times 0.9 = 48.06\text{kg}$ とした。これはすべて固形廃棄物となる。

(4) 主機換装

主機関の換装はライフサイクルを通じて1度実施され、主機関1台が新たに使用される。入力データは主機の重量 2,000kg に相当する鋼材のみとし、換装に必要な電力や諸作業は省略した。それまで使用した主機関は中古品としての再使用は解析の対象とせず、全て固形廃棄物とした。

5.3.2 船舶状態

モデル船の船舶状態を軽荷、満載及び曳網の航行状態で表すこととし、各船舶状態での航行距離 1km 当たりに必要な船舶主機力(MJ)を航海速力及び主機馬力等の運航計画に基づいて算出した。各航行状態での主機関の運転条件と船舶主機力を表 - 21 に示す。

5.3.3 プロセスデータ

解析に使用したプロセスデータを以下に示す。

(1) 主機関運転

本解析では対象とする環境負荷項目をCO₂としたため、主機関の運転状態は定格出力の状態だけを対象とした。主機関の運転に関するプロセスデータは主機関の型式、運航実態及びメーカーからの聞き取り調査に基づいて作成した。主機関の運転における経済的な入力項目は燃料のA重油及び潤滑油であり、環境中への排出はCO₂、スラッジ並びに一定の運転時間で交換する潤滑油である。スラッジ及び交換した潤滑油は固形廃棄物とした。

(2) 塗装

塗装方法はローラー塗りとし、プロセスデータは建造ステージと同じとした。

5.4 製造インベントリデータ

解析に使用したエネルギー、素材及び部品の製造に関するインベントリデータの詳細を以下に示す。なお、電力、鋼材及び塗料は建造と同じ製造インベントリデータを使用した。

5.4.1 燃料

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た。A重油に関する製造インベントリデータとしては、データベース[5]のディーゼル油(Diesel Oil)のデータを選定して使用した。なお、船への供給のための燃料輸送等のプロセスは省略した。

5.4.2 潤滑油

船舶用のディーゼル機関が使用する潤滑油にはシステム油とシリンダー油の2種類がある。検討したデータベースには潤滑油に関する直接のインベントリデータはなかった。

そのため、上述したA重油の製造インベントリデータを使用することとした。

5.5 インベントリ分析(運航)

FRP漁船の運航に関するインベントリ分析の結果を以下に示す。

5.5.1 解析結果

プロセスフロー、プロセスデータ及び素材等のインベントリデータに基づいて作成したモデル船の運航に関するプロセス行列(運航)(AB)を表 - 22に示す。また、解析結果のプロセス量行列(運航)(P)と環境負荷行列(Q)を機能単位、年間及びライフサイクル毎に表 - 23及び表 - 24に示す。なお、年間及びライフサイクルのデータは水揚げ量に比例させて求めた。

5.5.2 経済的入出力(プロセス量)

漁船の運航に伴う燃料使用量の解析結果は年間 $7.12 \times 10^4 \text{kg}$ となった。一方、漁協の平成11年度(稼働日数231日)に支払った燃料代に基づいて算出した燃料使用量は一日当たり 248kg、年間で $5.65 \times 10^4 \text{kg}$ であった。このとき、A重油の価格は 45円/L、比重は 0.9 と仮定して計算した。したがって、燃料使用量は、解析結果の方が燃料代からの推測値より26%程度多い結果となった。

5.5.3 CO₂排出量

(1) CO₂のプロセス毎の排出量(運航)

モデル船の運航に関するCO₂の排出量はホタテ貝1kg当たり 77.3g 及び運航年数20年で 4,840ton であった。プロセス毎のCO₂排出の内訳を表 - 25及び図 - 7に示す。主機関の運転に係わるCO₂の排出量が全体の約92%を占めた。重油(ディーゼル油)の製造段階でのCO₂排出量の8.4%を加えると、運航におけるCO₂排出はほとんど主機関の運転に係わる排出であることが明らかになった。

(2) 運航の内訳

漁船の運航計画の区分毎の内訳を表 - 26及び図 - 8に示す。春操業の「漁場整備」に係わるCO₂排出量が全体の約33%、また本操業の「水揚げ作業」が約67%を占めた。保守作業及び主機換装に関わるCO₂排出量は合計で約0.1%程度であった。

5.5.4 固形廃棄物

固形廃棄物が年間約 1,030ton 排出されるが、ほとんどは春操業に伴うホタテ貝等のゴミである。

6. ライフサイクル

モデル船の建造及び運航の解析結果からライフサイクルでの環境負荷を算出した。解析結果の詳細を以下に示す。

6.1 ライフサイクルインベントリデータ

ライフサイクルでの環境負荷項目について建造と運航

のステージ毎の内訳を表 - 27に示す。また、CO₂排出量の建造と運航のステージ毎の内訳を図 - 9に示す。

ライフサイクル全体でのCO₂排出量は約 4,900ton であり、その98.8%が運航ステージから排出されたことになる。

6.2 プロセス毎の内訳

ライフサイクルでのCO₂排出量について、プロセス毎の内訳を表 - 28及び図 - 10に示す。CO₂排出量の主なプロセスの内訳は、主機関運転90.5%、重油の製造8.3%であった。

7. まとめ

本解析ではFRP漁船の建造や運航の実績に基づいて、インベントリ分析を実施し、ライフサイクルでのCO₂排出量とその内訳をプロセス単位で明らかにした。

FRP漁船のインベントリ分析を的確に実施するためにはさらに以下の課題がある。

7.1 システム範囲

FRP漁船の解体及びリサイクルを含めた解析を行う必要がある。また、今回の解析では無視したトリミングで発生するFRP端材、春操業に伴うゴミの処理等、建造や運航に伴う廃棄物の処理についても考慮することが重要である。

7.2 環境負荷項目

本解析で対象とした環境負荷項目はCO₂であった。FRP漁船の建造で考慮すべき他の環境負荷項目としては、積層時に揮散するスチレンモノマー、塗装作業で大気中に排出される溶剤等である。また運航では、NO_x等の排出量、春操業で収集されるゴミ等の固形廃棄物である。

7.3 製造インベントリデータ

本解析では、FRP漁船に係わる素材、燃料及びエネルギー等の製造インベントリデータを各種のデータベース等から使用した。個々のデータのシステム境界や割り付け等の詳細については検討できなかった。漁船のLCAを的確に実施するためには、素材個々の製造インベントリデータを収集する必要がある。

7.4 船用部品と作業プロセスデータ

船舶の機装品に関する製造インベントリデータ及び建造段階の素材加工及び運航段階の機関の運転等のプロセスデータの整備を図ることが必要である。CO₂排出量の多くを占める主機関の運転では負荷率の違い等により燃料消費量や排ガス成分が異なるため、運転状態に応じたプロセスデータの整備が不可欠である。

7.5 建造

サンディング・トリミング、塗装等の直接作業に係わる作業量を設計段階で把握できることが必要である。また、本解析では考慮しなかったが、工場への資材の搬入や工場内での運搬及び照明や暖房等の間接作業によるCO₂排出量は無視できない大きさになると考えられるため、燃料やエネルギーの使用量を的確に把握し、評価することが重要である。

7.6 運航

解析により得られた燃料消費量は実績値に比べ約26(%)程度多くなった。主機関の運転のプロセスデータの整備とともに、負荷率等の運航条件を的確に設定することが重要である。また、数十年に渡って使用する船舶では、経年変化に伴う主機関の燃費または航海性能の変化を考慮することが必要となる。

参考文献

- [1] 亀山道弘他、アルミニウム漁船とFRP漁船のライフサイクル・インベントリ分析に関する研究 - A:モデル船の分析 -
- [2] 亀山道弘他、アルミニウム漁船とFRP漁船のライフサ

イクル・インベントリ分析に関する研究 - B:アルミニウム合金漁船の解析 -

- [3] NEC LCAサポートデータベース(以下、「NEC」と称す。)、データ提供:(社)産業環境管理協会
- [4] 工業技術院資源環境技術総合研究所 NIREデータベース(Ver.2.1)
- [5] Pre社 SimaPro4.0 データベース(Pre4 database、The BUWAL250 database、IDEMAT)
- [6] 実践LCA ISO14000対応、(株)サイエンスフォーラム、1999年1月、第1版、ISBN4-916164-19-9 C3050
- [7] 科学技術庁金属材料技術研究所、エコマテリアル設計者・開発者のためのデータバンク <http://144.213.11.8080/ecomat/J/ecodb/>
- [8] 南齋規介他、産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) - LCAのインベントリデータとして -、2002年3月
- [9] 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
- [10] R.Heijungs, etc.、Environmental Life Cycle Assessment of Products-Guide & Backgrounds-October 1992、ISBN90-5191-064-9
- [11] 樹脂メーカー内部資料
- [12] ガラス繊維メーカー内部資料
- [13] アクリル発泡材メーカー内部資料

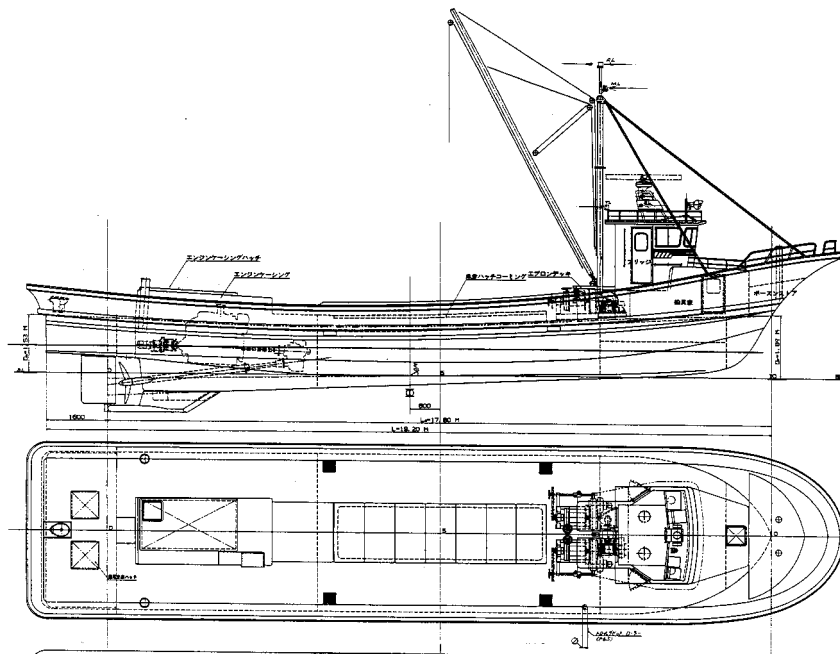


図 - 1 一般配置図 (FRP 漁船)

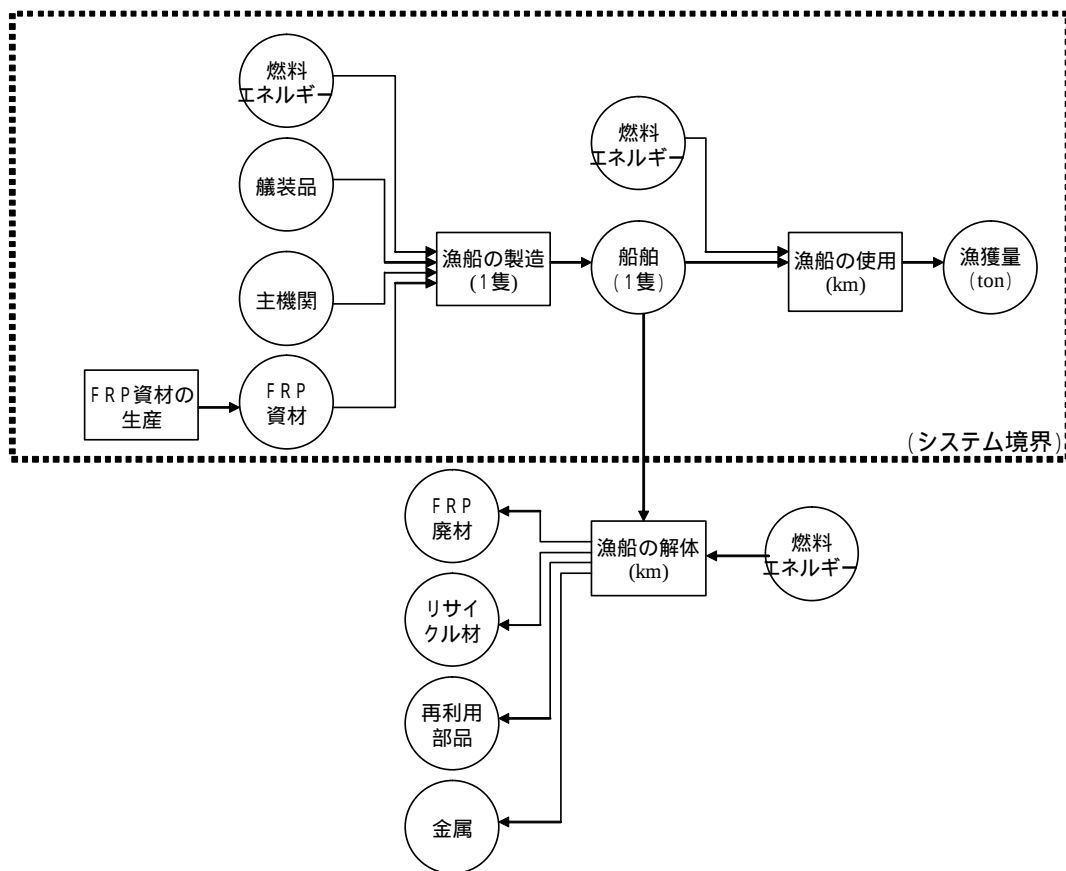


図 - 2 FRP 漁船のシステム境界

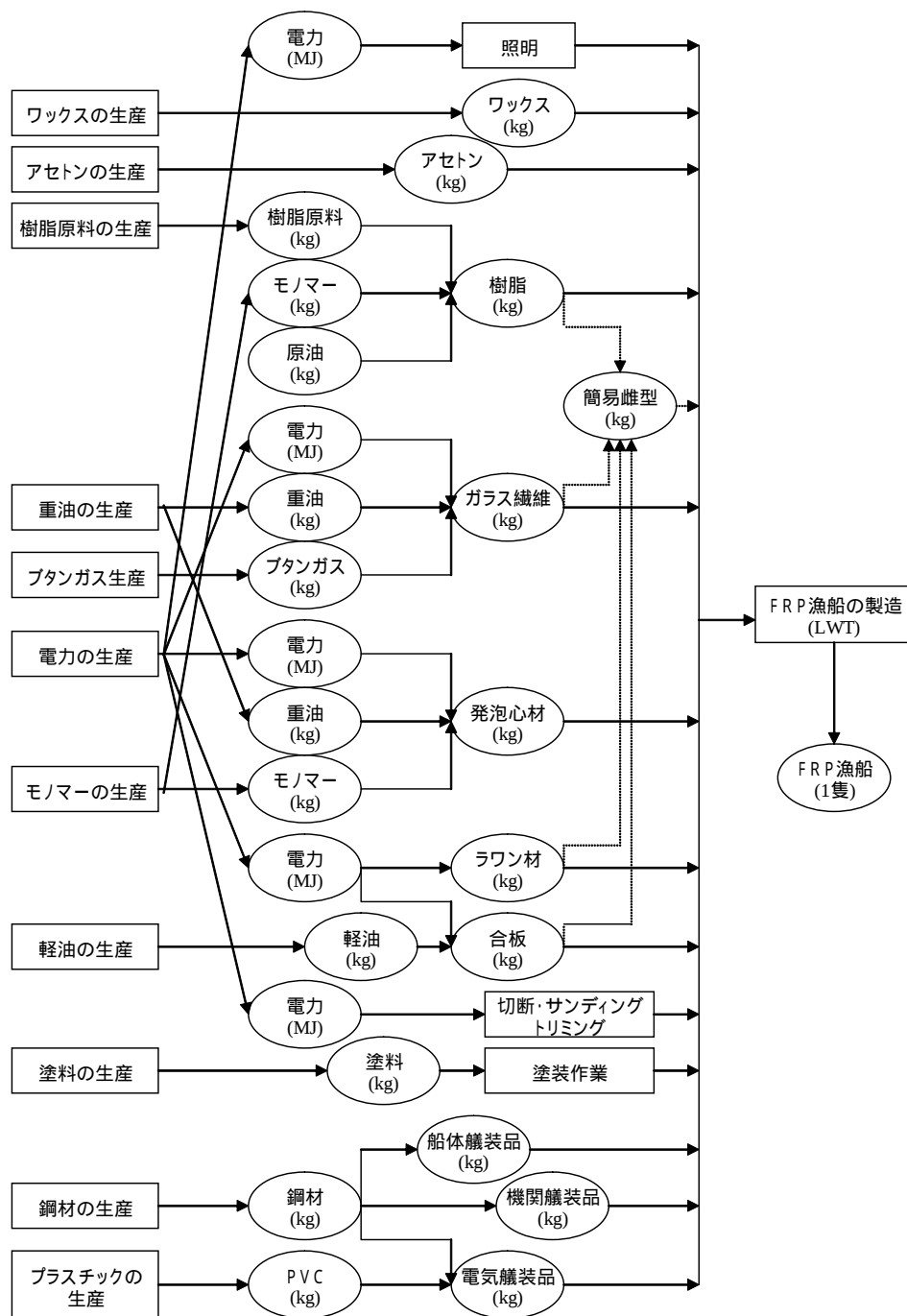


図 - 3 FRP漁船建造のプロセスフロー

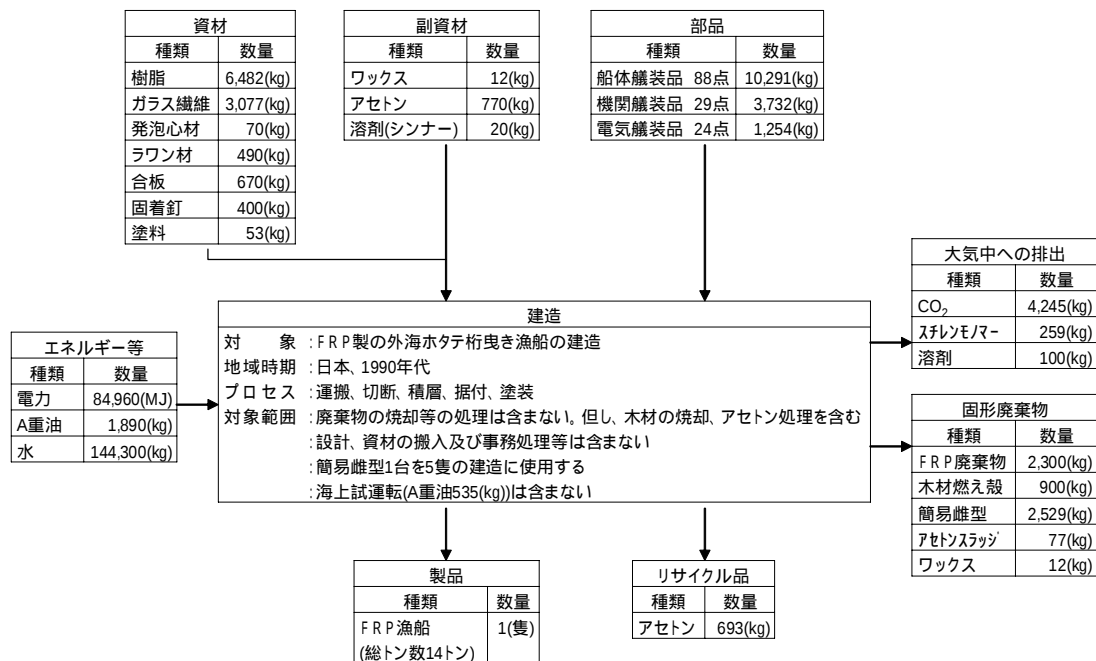


図 - 4 建造段階における造船所の入出力データ

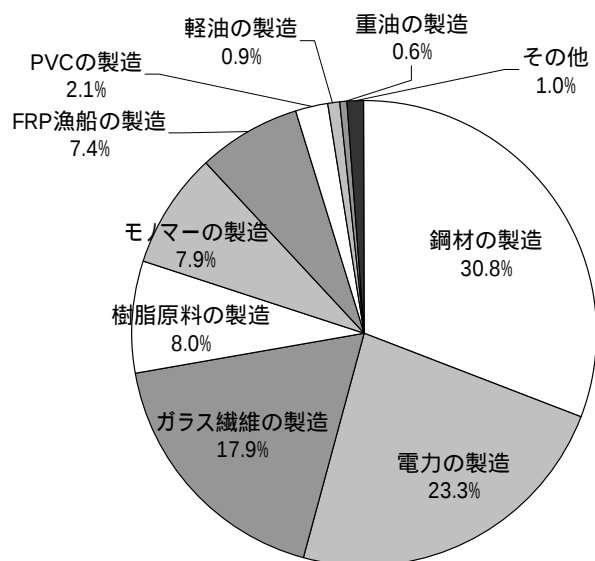


図 - 5 建造プロセス毎の CO₂ 排出量

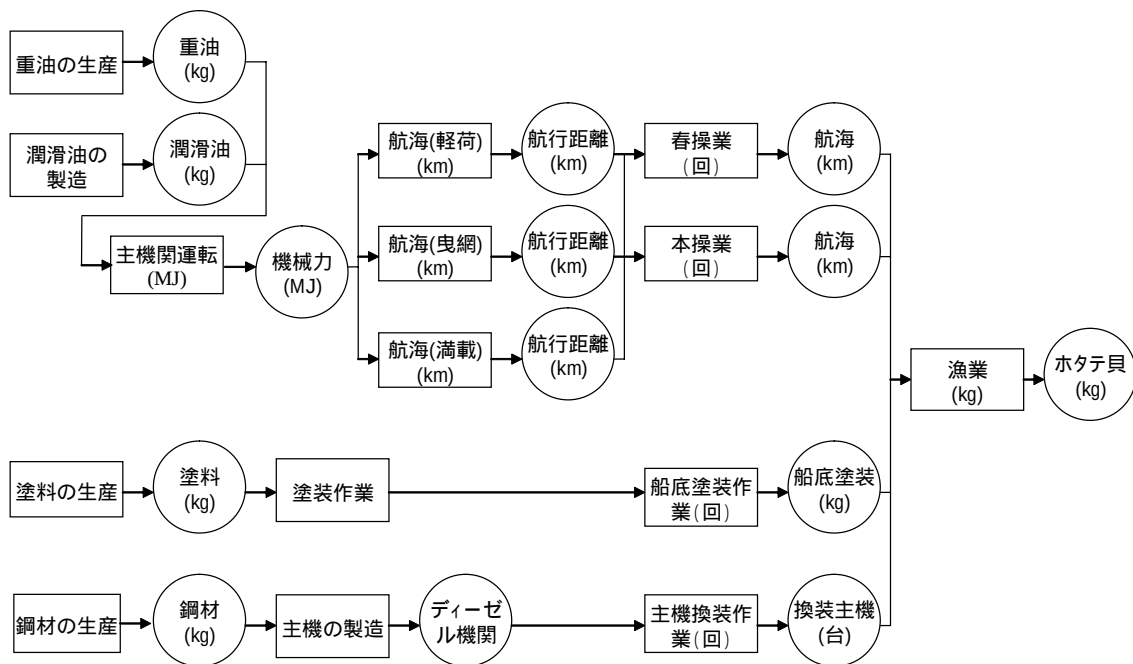


図 - 6 FRP漁船の運航プロセスフロー

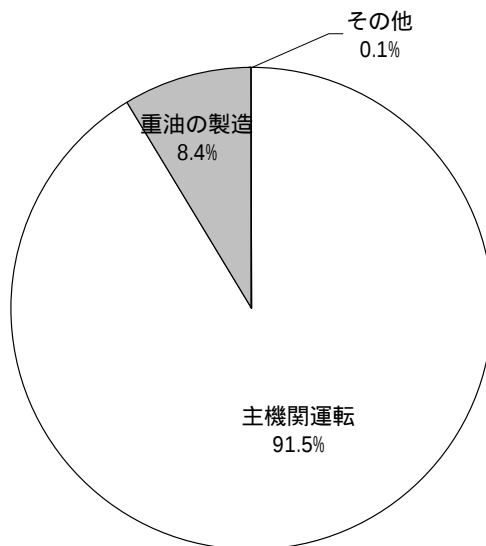


図 - 7 運航プロセス毎の CO₂ 排出量の内訳

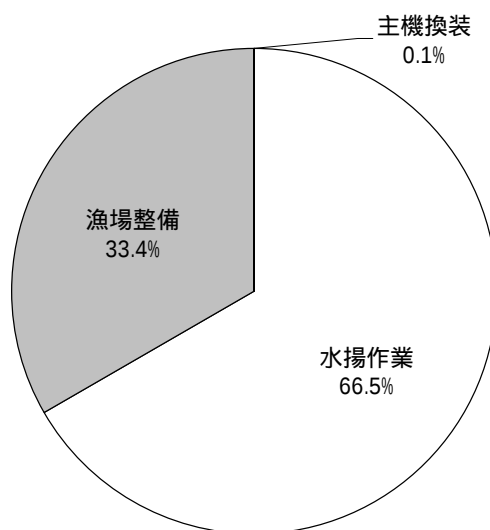


図 - 8 漁業区分毎の CO₂ 排出量の内訳

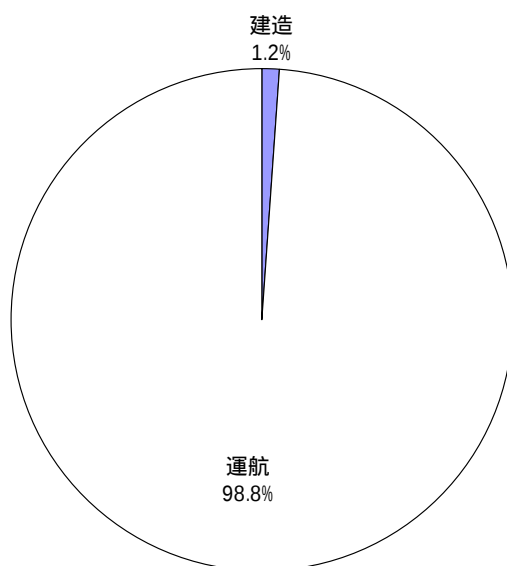


図 - 9 ライフサイクルでの CO₂ 排出量の内訳

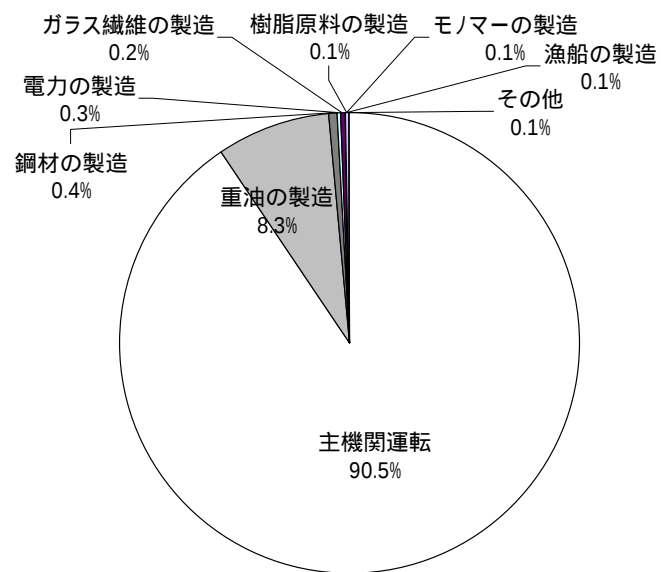


図 - 10 プロセス毎の CO₂ 排出量

表 - 1 FRP漁船の主要目

船種	外海ホタテ桁曳き漁船、総トン数 14 トン
構造	全長 21.66(m)、船体重量(軽荷排水量)26(t)、FRP製
用途	小型機船底引き網漁業
機能	ホタテ貝 搭載可能重量 18(t)、最大速力 17(kt)
主機関	定格出力 550(PS)
燃料	A 重油 162(g/PS・h)

表 - 2 船体の重量構成表

項目	重量(t)	(%)	主な部品等
船殻	10.99	42	防汚塗料 53.4(kg)を含む。
船体艀装	10.29	39	漁労装置及び一般艀装
機関艀装	3.73	14	主機関、プロペラ軸、プロペラ等
電気艀装	1.25	5	発電機、バッテリー、電線等
合計	26.26	100	

表-3 生涯計画

項 目	数量	単位	備 考
載荷重量	18	(t)	
使用年数	20	(年)	春操業 1140 回、本操業 3480 回
船底塗装回数	19	(回)	建造時を除く。
主機換装回数	1	(回)	
漁獲量	62,640	(t)	常に満載で帰港すると仮定した。

表-4 年間運航計画

操業の種類	操業日数(日)	操業内容
春操業(3～5月)	57	漁場の整備を行う。
本操業(6～12月)	174	ホタテ貝の収穫を行う。
年間の操業日数	231	
(注)1～2月は休漁し、船底塗装等の保守・修理を行う。 3～12月の操業期間のうち、土日及び悪天候による休漁日がある。		

表-5 航海計画(ホタテ貝漁)

航路と航海状態	航行時間 (h)	速度 (kt)	航行距離 (海里)	航行距離 (km)	主機馬力 (PS)
春操業(漁場の整備)					
港→漁場(往路):軽荷状態	0.6	17.0	10.2	18.9	550
漁場:曳航状態	6.0	2.5	15.0	27.8	300
漁場→港(復路):満載状態	0.8	14.0	11.2	20.7	550
本操業(ホタテ貝の収穫)					
港→漁場(往路):軽荷状態	0.6	17.0	10.2	18.9	550
漁場:曳航状態	3.0	2.5	7.5	13.9	300
漁場→港(復路):満載状態	0.8	14.0	11.2	20.7	550

表 - 6 樹脂の内訳

樹脂	重量(kg)
外装ゲルコート	231.2
内装ゲルコート	223.2
ポリエステル樹脂	5212.0
ミッシュマッシュペースト	500.0
硬化剤	56.5
計	6222.9

表 - 7 発泡心材の内訳

発泡心材	重量(kg)
ウレタンフォーム	53.7
パルーンマット	3.3
アクリル発泡体	12.7
計	69.7

表 - 8 合板の内訳

合板	厚さ(mm)	重量(kg)
ラワンベニア	9	225.6
ラワンベニア	12	33.6
ラワンベニア	15	109.9
ラワンベニア	20	255.6
ラワンベニア	30	17.1
ラワンベニア	40	28.6
計		670.4

表 - 9 簡易雌型の内訳

材料名	使用量 (m3)	比重	重量 (kg)		内訳	硬化前 重量(kg)	硬化後 重量(kg)
米松	13.2	0.50	6600.0		ラワン材	10140.0	10140.0
ラワン	6.0	0.59	3540.0		合板	2160.0	2160.0
ラワンベニア	3.6	0.60	2160.0		樹脂	339.6	326.0
接着剤			24.0	→	ガラス繊維	21.0	21.0
パテ			220.0		合計	12660.6	12647.0
ゲルコート			35.0		排出スチレンモノマー		13.6
樹脂			47.0				
ガラス繊維			21.0				
合計			12647.0				

表 - 10 固形廃棄物の種類、量及び処理方法

内訳	重量(kg)	処理方法
木材燃えがら	900	産廃業者
FRP廃棄物	2300	産廃業者
簡易雌型	2529.4	社内焼却
ワックス	12	産廃業者
アセトンスラッジ	77.42	社内焼却
計	5818.82	

表 - 11 塗装作業のプロセスデータ

建造時の使用量			プロセスデータ		
	使用量 (kg)	付着量 (kg)		1 隻 当たり	換算
FRPプライマー	18.53	17.6			
マリンスター30G (二回塗り)	37.68	35.8	→	エポキシ (kg)	56.21 1.053
				塗装(kg)	53.4 1
				固形廃棄物(kg)	2.81 0.053

表 - 12 ワックスの成分内訳

実成分(%)		→	プロセスデータ(%)	
天然ワックス	15 ~ 25		天然ワックス	25
石油系溶剤	35 ~ 45		キシレン	45
カオリン	1 ~ 5		カオリン	0
水	20 ~ 30		水	30

表 - 13 樹脂原料の成分内訳

実成分(%)		→	プロセスデータ(%)	
酸成分	55		テレフタル酸	55
グリコール成分	45		エチレングリコール	45

表 - 14 発泡心材製造のプロセスデータ

電力	2.53	(MWh)
重油	2.76	(kL)
モノマー	1464	(kg)
発泡心材	1000	(kg)
排出CO ₂	50	(kg)
固形廃棄物	410	(kg)

表 - 15 合板製造のプロセスデータ

	1ヶ月(22.2日)		換算	
電力	152800	(kWh)	550080	(MJ)
軽油	2800	(kL)	2352000	(kg)
原木	2513	(m3)	1482670	(kg)
合板	641567.4	(kg)	641567.4	(kg)
廃材焼却量	201900	(kg)	201900	(kg)
廃材焼却CO ₂			50475	(kg)
固形廃棄物			100950	(kg)

表 - 16 簡易雌型のプロセスデータ

ラワン材	0.802	(kg)
ラワンベニア	0.171	(kg)
樹脂	0.0269	(kg)
ガラス繊維	0.00166	(kg)
簡易め型	1	(kg)
排出スチレンモノマー	0.00107	(kg)

表 - 17 船舶建造のインベントリ分析表(プロセス分析) 1/2

プロセス行列(建造)

		エネルギー				素材					
プロセス行列 ABM	プロセス名	1.電力の 製造	2.重油の 製造	3.軽油の 製造	4.ブタンガスの 製造	5.ワックスの 製造	6.アセトンの 製造	7.樹脂原料の 製造	8.樹脂の 製造	9.ガラス繊維の 製造	10.モノマーの 製造
	出典データ	NEC: 産環協	NIRE	NIRE	NIRE	NIRE	NIRE	NIRE	メーカー	メーカー	NIRE
	データの種類	I	P	P	P	I	I	I	P	P	I
	備考	日本平均	Heavy oil	Diesel oil	LPG	仮定	Toluen	酸 55%グリコール 45%			stylene
経済的入出力 (製品・サービス)	電力-日本(MJ)	1	-2.82E-03	-2.82E-03	-2.82E-03	-3.54E-02	-7.86E-02	-1.88E-01	0	-5.40E+00	-3.20E-01
	重油(kg)	0	1	0	0	0	0	0	0	-4.21E-01	0
	軽油(kg)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	ブタンガス(kg)	0	0	0	1	0	0	0	0	-1.50E-01	0
	ワックス(kg)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	アセトン(kg)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	樹脂原料(kg)	0	0	0	0	0	0	1	-6.00E-01	0	0
	樹脂(kg)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	ガラス繊維(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	モノマー(kg)	0	0	0	0	0	0	0	-4.00E-01	0	1
	発泡心材(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ラワン材(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	合板(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	塗料(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鋼材(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PVC(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	簡易め型(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	船体艀装品(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	機関艀装品(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	電気艀装品(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	サンディング・トリミング(m2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	塗装(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FRP 漁船(1 隻, 26ton)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環境からの入力 (資源)	石炭(kg)	-1.20E-02	-8.42E-05	-8.42E-05	-8.42E-05	-1.06E-03	-2.35E-03	-5.61E-03	0	0	-9.56E-03
	原油(kg)	-1.80E-02	-1.01E+00	-1.01E+00	-1.01E+00	-5.48E-01	-1.22E+00	-8.12E-01	-7.18E-02	0	-1.42E+00
	天然ガス(kg)	-1.10E-02	-8.18E-05	-8.18E-05	-8.18E-05	-1.03E-03	-2.28E-03	-1.12E-02	0	0	-9.29E-03
	天然ワックス(kg)	0	0	0	0	-2.50E-01	0	0	0	0	0
	水(kg)	-1.05E+01	-7.64E-02	-7.64E-02	-7.64E-02	-1.18E+00	-1.95E+00	1.09E+02	0	0	-1.23E+00
	原木(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	鉄鉱石	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ガラス原料	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.20E+00	0
	ボーキサイト(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金属スクラップ	鉄スクラップ(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環境への排出	CO ₂ (kg)	1.17E-01	1.26E-01	1.26E-01	1.26E-01	4.47E-01	9.93E-01	1.16E+00	1.56E-02	3.33E+00	1.66E+00
	スチレンモノマー(kg)	0	0	0	0	0	0	0	1.20E-04	0	0
	固形廃棄物(kg)	0	5.95E-09	6.32E-09	6.32E-09	7.93E-08	1.76E-07	4.21E-07	3.00E-04	2.03E-01	7.17E-07

表 - 17 船舶建造のインベントリ分析表(プロセス分析) 2/2
プロセス行列(建造)

素材						部品				作業プロセス		建造
11.発泡心材の製造	12.ワッ材の製造	13.合板の製造	14.塗料の製造	15.鋼材の製造	16.PVCの製造	17.簡易め型	18.船体艦装品	19.機関艦装品	20.電気艦装品	21.サンディング・トリミング作業	22.塗装作業	23.漁船の製造
メーカー	NIRE	メーカー	S: 25800254	NIRE	S: 25800211	メーカー	仮定	仮定	仮定	仮定	仮定	ヤマハ 蒲郡
P	I	P	I	P	I	P	鋼材	鋼材	鋼鉄+PVC	P	P	P
	木材		エポキシ	鋼塊 + 圧延	プラスチック					Sander		26ton
-9.11E+00	0	-8.57E-01	0	-6.18E-01	0	0	0	0	0	-1.50E-01	0	-8.50E+04
-2.48E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.36E+03
0	0	-3.67E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.20E+01
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.74E+01
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-2.69E-02	0	0	0	0	0	-6.48E+03
0	0	0	0	0	0	-1.66E-03	0	0	0	0	0	-3.08E+03
-1.46E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.97E+01
0	1	0	0	0	0	-8.02E-01	0	0	0	0	0	-4.90E+02
0	0	1	0	0	0	-1.71E-01	0	0	0	0	0	-6.70E+02
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1.05E+00	0
0	0	0	0	1	0	0	-1.00E+00	-1.00E+00	-5.00E-01	0	0	-4.00E+02
0	0	0	0	0	1	0	0	0	-5.00E-01	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-2.53E+03
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1.03E+04
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-3.73E+03
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1.25E+03
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-2.64E+01
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-5.34E+01
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	-5.32E-01	-2.37E-02	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-4.35E+00	-4.27E-02	-5.09E-01	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-3.55E-01	-2.02E-02	-5.20E-01	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-3.70E-02	-1.68E+01	-1.90E+01	0	0	0	0	0	0	-1.44E+05
0	-1	-2.31E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1.10E+00	-4.00E-04	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1.56E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-3.83E-01	0	0	0	0	0	0	0	0
5.00E-02	1.09E-01	7.87E-02	1.10E+00	1.17E+00	1.94E+00	0	0	0	0	0	0	4.24E+03
0	0	0	0	0	0	1.07E-03	0	0	0	0	0	2.59E+02
4.10E-01	0	1.57E-01	1.43E-02	1.39E-06	1.30E-01	0	0	0	0	7.50E-01	5.26E-02	5.82E+03

表 - 18 プロセス量(建造)

経済的入出力名 製品・サービス	プロセス量 合計	
電力-日本	1.14E+05	(MJ)
重油	2.83E+03	(kg)
軽油	4.04E+03	(kg)
ブタンガス	4.62E+02	(kg)
ワックス	1.20E+01	(kg)
アセトン	7.74E+01	(kg)
樹脂原料	3.93E+03	(kg)
樹脂	6.55E+03	(kg)
ガラス繊維	3.08E+03	(kg)
モノマー	2.72E+03	(kg)
発泡心材	6.97E+01	(kg)
ラワン材	2.52E+03	(kg)
合板	1.10E+03	(kg)
塗料	5.62E+01	(kg)
鋼材	1.51E+04	(kg)
PVC	6.27E+02	(kg)
簡易雌型	2.53E+03	(kg)
船体艀装品	1.03E+04	(kg)
機関艀装品	3.73E+03	(kg)
電気艀装品	1.25E+03	(kg)
サンディング・トリミング	2.64E+01	(m2)
塗装	5.34E+01	(kg)
FRP 漁船	1	(隻)

表 - 19 環境負荷行列(建造)

	経済的入出力名 (製品・サービス)	消費 / 排出量 合計(kg)
環境からの 入力(資源)	石炭	-9.44E+03
	原油	-1.83E+04
	天然ガス	-1.98E+03
	天然ワックス	-3.00E+00
	水	-1.18E+06
	原木	-5.07E+03
	鉄鉱石	-1.66E+04
	ガラス原料	-3.71E+03
	ボーキサイト	-8.77E-02
金属スクラップ	鉄スクラップ	-5.76E+03
環境への排出	CO ₂	5.73E+04
	スチレンモノマー	2.63E+02
	固形廃棄物	6.75E+03

表 - 20 CO₂排出量のプロセス毎の内訳

プロセス名	CO ₂ 排出量(kg)	(%)
電力の製造	1.34E+04	23.3
重油の製造	3.58E+02	0.6
軽油の製造	5.11E+02	0.9
ブタンガスの製造	0.00E+00	0.0
ワックスの製造	1.03E+04	0.0
アセトンの製造	7.69E+01	0.1
樹脂原料の製造	4.56E+03	8.0
樹脂の製造	1.02E+02	0.2
ガラス繊維の製造	1.03E+04	17.9
モノマーの製造	4.51E+03	7.9
発泡心材の製造	3.49E+00	0.0
ラワン材の製造	2.74E+02	0.5
合板の製造	8.67E+01	0.2
塗料の製造	6.18E+01	0.1
鋼材の製造	1.76E+04	30.8
PVC の製造	1.22E+03	2.1
簡易め型の製造	0.00E+00	0.0
船体艀装品の製造	0.00E+00	0.0
機関艀装品の製造	0.00E+00	0.0
電気艀装品の製造	0.00E+00	0.0
サンディング・トリミング作業	0.00E+00	0.0
塗装作業	0.00E+00	0.0
FRP 漁船の製造	4.24E+03	7.4
合計	5.73E+04	100.0

表 - 21 1(km)の航行に必要な主機関の機械エネルギー

項 目	単 位	航行状態		
		軽荷	満載	曳航
主機負荷率	(%)	100	100	54.5
航海速力	(kt)	17	13.5	2.5
船舶主機力	(kW)	405	405	220
距離 1(km) 当たりの航行時間	(h / km)	3.18E-02	4.00E-02	2.16E-01
距離 1(km) 当たりの機械エネルギー	(MJ/km)	4.63E+01	5.82E+01	1.71E+02

対象機関:4 ストローク・ディーゼル機関

定格出力: 550 (PS)

1(PS) = 0.7355 (kW)

1(kt) = 1.852 (km/h)

1(kWh) = 3.6 (MJ)

表 - 22 船舶運航のインベントリ分析表(プロセス分析) 1/2
プロセス行列(運航)

		エネルギー & 燃料		素材			船舶	作業プロセス	
プロセス行列 ABO	プロセス名	1. 電力の 製造	2. 重油の 製造	3. 潤滑油の 製造	4. 鋼鉄の 製造	5. 塗料の 製造	6. 船の建 造	7. 主機関 運転	8. 塗装
	出典データ	NEC: 産環協	S: 25800016	仮定	NIRE	S: 25800254	建造	SRIMOT	仮定
	データの種類	I	I	I	P	I		P	P
	備考	日本平均	Diesel I	同左	鋼塊+ 圧延	エポキシ 樹脂	FRP 漁船	出力 550(PS)	
経済的入出力 (製品・サービス)	陸上電力(MJ)	1	0	0	-6.18E-01	0	0	0	0
	ディーゼル油(kg)	0	1	0	0	0	0	-6.11E-02	0
	潤滑油(kg)	0	0	1	0	0	0	-2.88E-04	0
	鋼材(kg)	0	0	0	1	0	0	0	0
	塗料(kg)	0	0	0	0	1	0	0	-1.05E+00
	FRP 漁船(1 隻)	0	0	0	0	0	1	0	0
	船舶主機関(MJ)	0	0	0	0	0	0	1	0
	塗装重量(kg)	0	0	0	0	0	0	0	1
	航海(軽荷)(km)	0	0	0	0	0	0	0	0
	航海(曳網)(km)	0	0	0	0	0	0	0	0
	航海(満載)(km)	0	0	0	0	0	0	0	0
	漁場整備(回)	0	0	0	0	0	0	0	0
	水揚作業(回)	0	0	0	0	0	0	0	0
	船底塗装(回)	0	0	0	0	0	0	0	0
	主機換装(台)	0	0	0	0	0	0	0	0
	ホタテ貝漁獲量(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0
環境からの入力 (資源)	石炭(kg)	-1.20E-02	-5.10E-03	-5.10E-03	-5.32E-01	0	-9.44E+03	0	0
	原油(kg)	-1.80E-02	-1.03E+00	-1.03E+00	-4.27E-02	-4.35E+00	-1.83E+04	0	0
	天然ガス(kg)	-1.10E-02	-6.19E-02	-6.19E-02	-2.02E-02	-3.55E-01	-1.98E+03	0	0
	天然ワックス(kg)	0	0	0	0	0	-3.00E+00	0	0
	水(kg)	-1.05E+01	-2.10E-01	-2.10E-01	-1.68E+01	-3.70E-02	-1.18E+06	0	0
	原木(kg)	0	0	0	0	0	-5.07E+03	0	0
	鉄鉱石(kg)	0	-1.40E-04	-1.40E-04	-1.10E+00	0	-1.66E+04	0	0
	ガラス原料(kg)	0	0	0	0	0	-3.71E+03	0	0
	ボーキサイト(kg)	0	-3.20E-04	-3.20E-04	0	-1.56E-03	-8.77E-02	0	0
金属スクラップ	鉄スクラップ(kg)	0	0	0	-3.83E-01	0	-5.76E+03	0	0
環境への排出	CO ₂ (kg)	1.17E-01	2.84E-01	2.84E-01	1.17E+00	1.10E+00	5.73E+04	1.90E-01	0
	スチレンモノマー(kg)	0	0	0	0	0	2.63E+02	0	0
	スラッジ(kg)	0	0	0	0	0	0	8.70E-06	0
	固形廃棄物(kg)	3.12.E-06	2.20E-03	2.20E-03	1.39E-06	1.43E-02	6.75E+03	9.89E-05	5.26E-02

表 - 22 船舶運航のインベントリ分析表(プロセス分析) 2/2
プロセス行列(運航)

航海			運航				漁業
9.航海(軽荷)	10.航海(曳網)	11.航海(満載)	12.春操業	13.本操業	14.保守作業	15.主機換装	16.漁業
船舶性能	船舶性能	船舶性能	航海計画	航海計画	1回/1年	1回/生涯	漁業
P	P	P	P	P	P 船底塗装	P 主機交換	P ホタテ貝
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-2.00E+03	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-4.63E+01	-1.71E+02	-5.82E+01	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-5.34E+01	0	0
1	0	0	-1.89E+01	-1.89E+01	0	0	0
0	1	0	-2.78E+01	-1.39E+01	0	0	0
0	0	1	-2.07E+01	-2.07E+01	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	-1.82E-05
0	0	0	0	1	0	0	-5.56E-05
0	0	0	0	0	1	0	-3.03E-07
0	0	0	0	0	0	1	-1.60E-08
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1.80E+04	0	4.81E+01	2.00E+03	0

表 - 23 年間・ライフサイクルで使用する製品・サービス

経済的入出力 (製品・サービス)		プロセス単位	年間漁獲量 操業日数 174(日)	ライフサイクル 使用年数 20 年
		漁獲量 1(kg)	漁獲量 3,132(t)	漁獲量 62,640(t)
陸上電力	(MJ)	1.98E-05	6.20E+01	1.24E+03
ディーゼル油	(kg)	2.27E-02	7.12E+04	1.42E+06
潤滑油	(kg)	1.07E-04	3.36E+02	6.71E+03
鋼材	(kg)	3.20E-05	1.00E+02	2.00E+03
塗料	(kg)	1.70E-05	5.33E+01	1.07E+03
FRP漁船	(1 隻)	0	0	0
船舶主機力	(MJ)	3.72E-01	1.17E+06	2.33E+07
塗装重量	(kg)	1.62E-05	5.07E+01	1.01E+03
航海(軽荷)	(km)	1.39E-03	4.37E+03	8.74E+04
航海(曳網)	(km)	1.28E-03	4.01E+03	8.01E+04
航海(満載)	(km)	1.53E-03	4.78E+03	9.57E+04
漁場整備	(回)	1.82E-05	5.70E+01	1.14E+03
水揚作業	(回)	5.56E-05	1.74E+02	3.48E+03
船底塗装	(回)	3.03E-07	9.49E-01	1.90E+01
主機換装	(台)	1.60E-08	5.01E-02	1.00E+00
漁獲量	(kg)	1.00E+00	3.13E+06	6.26E+07

表 - 24 年間・ライフサイクルでの環境負荷項目の量

環境負荷項目		プロセス単位	年間漁獲量 操業日数 174(日)	ライフサイクル 使用年数 20 年
		漁獲量 1(kg)	漁獲量 3,132(t)	漁獲量 62,640(t)
石炭	(kg)	-1.34E-04	-4.19E+02	-8.38E+03
原油	(kg)	-2.36E-02	-7.39E+04	-1.48E+06
天然ガス	(kg)	-1.42E-03	-4.45E+03	-8.90E+04
天然ワックス	(kg)	0	0	0
水	(kg)	-5.54E-03	-1.74E+04	-3.47E+05
原木	(kg)	0	0	0
鉄鉱石	(kg)	-3.85E-05	-1.21E+02	-2.41E+03
ガラス原料	(kg)	0	0	0
ボーキサイト	(kg)	-7.34E-06	-2.30E+01	-4.60E+02
鉄スクラップ	(kg)	-1.22E-05	-3.84E+01	-7.67E+02
CO ₂	(kg)	7.73E-02	2.42E+05	4.84E+06
スチレンモノマー	(kg)	0	0	0
スラッジ	(kg)	3.24E-06	1.01E+01	2.03E+02
固形廃棄物	(kg)	3.28E-01	1.03E+06	2.05E+07

表 - 25 運航プロセス毎の CO₂ 排出量の内訳

プロセス名	ホタテ貝 1(kg)当たりの CO ₂ 排出量 (kg)	(%)
電力の製造	2.32E-06	0.0
重油の製造	6.46E-03	8.4
潤滑油の製造	3.04E-05	0.0
鋼鉄の製造	3.75E-05	0.0
塗料の製造	1.87E-05	0.0
船の建造	0	0.0
主機関運転	7.07E-02	91.5
塗装	0	0.0
航海(軽荷)	0	0.0
航海(曳網)	0	0.0
航海(満載)	0	0.0
春操業	0	0.0
本操業	0	0.0
船底塗装	0	0.0
主機換装	0	0.0
漁業	0	0.0
合計	7.73E-02	100.0

表 - 26 漁業区分毎の CO₂ 排出量の内訳

プロセス名	ホタテ貝 1(kg)当たりの CO ₂ 排出量 (kg)	(%)
漁場整備	2.58E-02	33.4
水揚作業	5.14E-02	66.5
船底塗装	1.87E-05	0.0
主機換装	3.98E-05	0.1
ホタテ貝漁獲量	0	0.0
合計	7.73E-02	100.0

表 - 27 ライフサイクルでの環境負荷項目のステージ毎の内訳

環境負荷項目	ライフサイクル 全体	内訳			
		建造 FRP漁船		運航 使用年数 20 年	
	合計数量(kg)	数量(kg)	(%)	数量(kg)	(%)
石炭	-1.78E+04	-9.44E+03	53.0	-8.38E+03	47.0
原油	-1.50E+06	-1.83E+04	1.2	-1.48E+06	98.8
天然ガス	-9.10E+04	-1.98E+03	2.2	-8.90E+04	97.8
天然ワックス	-3.00E+00	-3.00E+00	100.0	0	0.0
水	-1.53E+06	-1.18E+06	77.3	-3.47E+05	22.7
原木	-5.07E+03	-5.07E+03	100.0	0	0.0
鉄鉱石	-1.90E+04	-1.66E+04	87.3	-2.41E+03	12.7
ガラス原料	-3.71E+03	-3.71E+03	100.0	0	0.0
ボーキサイト	-4.60E+02	-8.77E-02	0.0	-4.60E+02	100.0
鉄スクラップ	-6.53E+03	-5.76E+03	88.2	-7.67E+02	11.8
CO ₂	4.90E+06	5.73E+04	1.2	4.84E+06	98.8
ステンレスモノマー	2.63E+02	2.63E+02	100.0	0	0.0
スラッジ	2.03E+02	0	0.0	2.03E+02	100.0
固形廃棄物	2.05E+07	6.75E+03	0.0	2.05E+07	100.0

表 - 28 プロセス毎の CO₂ 排出量

プロセス名	CO ₂ 排出量	
	(kg)	(%)
電力の製造	1.35E+04	0.3
重油の製造	4.05E+05	8.3
軽油の製造	5.11E+02	0.0
ブタンガスの製造	0.00E+00	0.0
ワックスの製造	5.36E+00	0.0
アセトンの製造	7.69E+01	0.0
樹脂原料の製造	4.56E+03	0.1
樹脂の製造	1.02E+02	0.0
ガラス繊維の製造	1.03E+04	0.2
モノマーの製造	4.51E+03	0.1
発泡心材の製造	3.49E+00	0.0
ラワン材の製造	2.74E+02	0.0
合板の製造	8.67E+01	0.0
塗料の製造	1.24E+03	0.0
鋼材の製造	2.00E+04	0.4
PVC の製造	1.22E+03	0.0
潤滑油の製造	1.91E+03	0.0
簡易め型の製造	0.00E+00	0.0
船体艀装品の製造	0.00E+00	0.0
機関艀装品の製造	0.00E+00	0.0
電気艀装品の製造	0.00E+00	0.0
サンディング・トリミング作業	0.00E+00	0.0
塗装作業	0.00E+00	0.0
漁船の製造	4.24E+03	0.1
主機関運転	4.43E+06	90.5
航海(軽荷)	0.00E+00	0.0
航海(曳網)	0.00E+00	0.0
航海(満載)	0.00E+00	0.0
舂操業	0.00E+00	0.0
本操業	0.00E+00	0.0
船底塗装	0.00E+00	0.0
主機換装	0.00E+00	0.0
漁業	0.00E+00	0.0
合計	4.90E+06	100.0