

小型漁船の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-

亀山 道弘*、木原 洸*、林 慎也*、千田 哲也*、
櫻井 昭男*、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
-B: Inventory Analysis on Aluminum alloy Fishing Boat-

by

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

ABSTRACT

The inventory analysis of the aluminum-alloy boat is carried out by way of matrix method for simplified and reduced numbers of processes through the field survey in terms of carbon dioxide emission. The carbon dioxide emission per unit mass of scallop is estimated to be 77 g-CO₂/kg and the proportion of the emission from the processes is provided as well. It should be remarked, however, that electricity consumption estimated on the basis of the volume of welding work and the welding process data is much smaller than that according to the actual load and operating factors of welding machines in the yard.

* LCA研究グループ
** ヤマハ発動機㈱
*** 元ヤマハ発動機㈱

目次

1. はじめに	1	5.3 プロセスデータ	7
2. 対象船舶と調査範囲	1	5.3.1 運航プロセス	7
2.1 対象船舶	1	5.3.2 船舶状態	7
2.1.1 船体の仕様	1	5.3.3 プロセスデータ	7
2.1.2 運航計画	1	5.4 製造インベントリデータ	8
2.2. 目的と範囲	2	5.4.1 燃料	8
2.2.1 目的	2	5.4.2 潤滑油	8
2.3 調査範囲	2	5.4.3 主機関	8
2.3.1 機能と機能単位	2	5.5 インベントリ分析(運航)	8
2.3.2 システム境界	2	5.5.1 解析結果	8
2.3.3 環境負荷項目	2	5.5.2 経済的入出力(プロセス量)	8
2.3.4 環境影響、影響評価手法及び結果の解釈	2	5.5.3 CO ₂ 排出量	8
2.3.5 負荷分配	2	5.5.4 固形廃棄物	8
3. 解析手法	2	6. ライフサイクル	8
3.1 データ収集	2	6.1 ライフサイクルインベントリデータ	8
3.1.1 収集方法	2	6.2 プロセス毎の内訳	8
3.1.2 データ品質	2	7. まとめ	8
3.2 インベントリ分析	2	参考文献	9
3.2.1 産業連関表と積み上げ法	2		
3.2.2 逐次法と行列法	3		
3.2.3 船舶への適用手法	3		
3.2.4 解析手法	3		
4. 建造工程の解析	5		
4.1 プロセスフローとプロセス行列	5		
4.2 建造データ	5		
4.2.1 エネルギー	5		
4.2.2 素材	5		
4.2.3 部品	5		
4.2.4 作業	5		
4.2.5 排出物・廃棄物	5		
4.2.6 環境中への排出	5		
4.3 作業プロセスデータ	6		
4.3.1 切断作業	6		
4.3.2 溶接作業	6		
4.3.3 塗装作業	6		
4.4 製造インベントリデータ	6		
4.4.1 エネルギー	6		
4.4.2 素材	6		
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)	7		
4.5.3 CO ₂ 排出量	7		
4.5.4 海上試運転によるCO ₂ 排出量	7		
5. 運航	7		
5.1 プロセスフローとプロセス行列	7		
5.2 漁業データ	7		

1. はじめに

「小型漁船のインベントリ分析に関する研究 -A : モデル船の建造・運航状況調査-」において、アルミ合金製及び繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastic : FRP) 製のホタテ桁網漁船の仕様、建造方法及び運航方法に関して調査を行い、建造及び運航を対象としたインベントリ分析の解析モデルの作成と解析実施のための設定条件が明らかになった。¹⁾

そこで、本研究ではアルミニウム合金製漁船(以後、「アルミ合金漁船」と言う。)の建造と運航を対象にインベントリ分析を実施する。本報告(B編)では、アルミ合金漁船のインベントリ分析に適用した解析手法、解析モデル及びプロセスデータについて紹介し、その解析結果を報告する。なお、FRP製漁船に関するインベントリ分析の実施については、C編において報告する。

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

解析の対象としたアルミ合金漁船は総トン数14トンの外海ホタテ桁曳き漁船である。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。防食用及び防汚用の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としてまとめた。

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。アルミ

合金漁船の使用年数を20年とし、使用期間中の主機の交換を1回、船体の全体塗装を2年に1回及び船底塗装を年1回行う。

(2) 運航計画

モデル船の年間の運航計画を表-4に示す。操業は漁場の清掃や整備を目的とした春操業を3～5月の57日間、また、ホタテ貝の収穫をする本操業を6～12月の174日間行う。なお、1～2月の休漁期間に加え、各操業は土日及び悪天候による休漁日がある。

(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、漁場の海区内で網を曳網し、ホタテ貝等を満載した状態で港に帰港する。春操業と本操業では曳網状態を除き、航行時間、主機出力及び速力を同じとした。なお、モデル船の主機関の定格出力は表-1に示すように650PSであるが、僚船との操業上の理由により主機馬力を550PSとした。また、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

アルミ合金漁船の建造及び運航に伴う二酸化炭素(CO₂)の排出量を把握し、単位漁獲量あたりのCO₂排出を低減させるための基礎データを把握することを意図する。

2.3 調査範囲

2.3.1 機能と機能単位

ライフ・サイクル・アセスメント(Life Cycle Assessment: LCA)では、解析対象の機能とその機能を定量的に表現するため単位を定義することが求められる。本解析で対象とする機能は漁船を使ったホタテ漁業の実施とした。また、その機能単位は漁船の生涯操業でのホタテ貝1kgの水揚げとした。

2.3.2 システム境界

アルミ合金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。アルミ合金漁船のライフサイクルには、アルミ合金材等の素材、主機関等の部品及び電力、燃料等のエネルギーの生産に加え、アルミ合金漁船の建造、使用(運航)及び解体並びにアルミ材のリサイクル等のステージが含まれる。しかし、アルミ合金漁船は漁船としての役割を終えた後も、瀬渡し船等として再利用されること、また、現時点で一般的と認識されている解体方法は確立されていないことから、本解析では解体及びアルミ材のリサイクルは、システムの対象外とし、漁船の建造及び使用のみを解析の対象とした。また、部品の造船所等への輸送及び廃棄物の処理等、建造又は運航に直接関係しない工程は含め

なかった。

2.3.3 環境負荷項目

解析の対象とした環境負荷項目はCO₂とした。

2.3.4 環境影響、影響評価手法及び結果の解釈

本解析ではCO₂排出量のみを対象とするインベントリ分析を実施する。また、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い。

2.3.5 負荷分配

漁船の建造工程では端材や切削屑等として経済的に価値の有るアルミスクラップが発生する。しかし、建造ではアルミ合金漁船のみが経済的に有益な製品であるため、副産物の生産等に伴う負荷の分配は考慮しない。また、漁船の運航においてもホタテ貝の水揚げのみが経済的に有益な製品であり、他への負荷の分配は考慮しない。

3. 解析手法

本解析で使用したデータ及びインベントリ分析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

建造や運航で使用する素材、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¹⁾に基づいたデータを使用した。アルミニウム合金等の素材、燃料及び電力の製造に関するインベントリデータには、各種データベースや文献等のデータ²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾を使用し、独自の調査は実施しなかった。また、主機関及び艀装品等の部品の製造に関するプロセスデータは、製造工程を省略し、代表的と考えられる素材として扱った。建造段階の切断、溶接及び塗装の各作業並びに運航段階の主機関の運転プロセスデータは、機器のカタログに表示される性能に基づいて作成した。

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日本の1990年代の漁業協同組合(以後、「漁協」と言う。)の4輪採制によるホタテ増養殖を対象とし、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等の中から比較、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。ただし、アルミインゴット製造のインベントリデータは国内データが得られなかったため、欧州のデータを使用した。

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産業連関

表を用いる方法とプロセスの積み上げにより行う方法がある。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、所謂、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。一方、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る積み上げ法は、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が、多くのプロセスデータを収集する必要がある。

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いくため、理解しやすい。しかし、発電所の運転のためには電力が必要といった再帰参照を扱えないため、くり返し計算とその条件の設定が必要となる。また、感度解析や信頼性分析等の高度な解析処理に対応することが難しい。

一方、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行列で表現するため、再帰参照を扱うことができ、また、高度な解析手法へ発展させることができる。

3.2.3 船舶への適用手法

本解析では船舶個別の解析を行うため、プロセスの積み上げに基づく解析方法を適用する。また、本解析では対象としなかったが、LCAにおける解釈の実施のためには、今後、感度解析等を実施できるように準備しておく必要があること、更に解体した船舶から回収した素材をリサイクルし、再び新造船の建造で使用するような解析では、再帰参照を処理することが必要となること等、解析手法の今後の発展を考慮して行列法を適用することとした。以下に行列法の解析手法をまとめる。⁶⁾⁹⁾

3.2.4 解析手法

(1)プロセスの列ベクトル表現

行列法ではプロセスは列ベクトルで表現し、列ベクトルの上部(a₁, a_r)は経済上のインプットとアウトプット、また、列ベクトルの下部(b₁, b_s)は環境からのインプットとアウトプットである。ただし、インプットを(-)、アウトプットを(+)とする。プロセスは以下の(1)式のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ \Lambda \\ a_j \\ \Lambda \\ a_r \\ b_1 \\ \Lambda \\ b_k \\ \Lambda \\ b_s \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

(2)プロセス行列

全てのプロセスに番号を付ける。ここでは i 番目のプロセスを添字i とし、プロセスフロー中のプロセス数をq とすると、プロセスフロー全体の行列は以下の(2)式になる。ここで、列はプロセスを表し、行はプロセスツリーの中の1つの製品やサービス又は物質の流れを示す。

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \Lambda a_{1i} \Lambda a_{1q} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ a_{j1} \Lambda a_{ji} \Lambda a_{jq} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ a_{r1} \Lambda a_{ri} \Lambda a_{rq} \\ b_{11} \Lambda b_{1i} \Lambda b_{1q} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ b_{k1} \Lambda b_{ki} \Lambda b_{kq} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ b_{s1} \Lambda b_{si} \Lambda b_{sq} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

(3)プロセスフロー全体の列ベクトル表現

(2)式のプロセスフロー全体が、外部からは1つのプロセスとしてみなすことができるためプロセスフロー全体を(1)式の列ベクトルと同じ形で(3)式のように表現することができる。

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \Lambda \\ \alpha_j \\ \Lambda \\ \alpha_r \\ \beta_1 \\ \Lambda \\ \beta_k \\ \Lambda \\ \beta_s \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、(1)式と同様に列ベクトルの上部(α₁ … α_j … α_r)は経済上のインプットとアウトプットであり、また、下部(β₁ … β_k … β_s)は環境からのインプットとアウトプットとなる。

このプロセスフロー全体を表す(3)式を、ゴールである経済的な製品又はサービス以外は生産しない仮想的なシステムとして設定すると、j番目のタイプ(製品、材料、サービス)以外の値は全て「0」とおける。また、βは求めるインベントリーデータであり、この段階では未知の値となる。

(4) プロセスの寄与

プロセスフローでの各プロセスの定量的寄与(プロセス量)をp_iとする。ここで、(2)式を単位プロセスとプロセス量として表現し直すと(4)式となる。

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \Lambda a_{1i} \Lambda a_{1q} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ a_{j1} \Lambda a_{ji} \Lambda a_{jq} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ a_{r1} \Lambda a_{ri} \Lambda a_{rq} \\ b_{11} \Lambda b_{1i} \Lambda b_{1q} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ b_{k1} \Lambda b_{ki} \Lambda b_{kq} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ b_{s1} \Lambda b_{si} \Lambda b_{sq} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ \Lambda \\ p_i \\ \Lambda \\ p_q \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

(5) 平衡式

工程(プロセス) iで使用する製品、材料又はサービス

等はプロセスフロー中の他のプロセスから供給され、処理すべき排出物も他のプロセスで処理されることとする。製品やサービス等を示す各行において物質量、エネルギー量又はサービス量等で平衡式(balance equation)が成り立つと考えられるので、以下の(5)式が成り立つ。

$$\sum_{i=1}^q a_{ji} p_i = \alpha_j \dots\dots\dots (5)$$

(6) 連立平衡式

これは経済的部分の各行で成り立つので、以下の(6)式が成り立つ。

$$\forall j = 1, K, r : \sum_{i=1}^q a_{ji} p_i = \alpha_j \dots\dots\dots (6)$$

(7) 正則行列

プロセスに副産物がない、又は、プロセスの割り付けが行われている場合、プロセスの総数qと経済部分の製品・サービスの数は1対1に対応し、行列Aはp=qとなる正方行列である。また、プロセスフローに不要な工程又は矛盾する工程を含んでいない場合、行列式|A| ≠ 0 (det(A) ≠ 0)であり、行列Aは正則行列となり、逆行列A⁻¹が存在する。

(8) 連立方程式の解法

行列Aが正方行列(p=q)で、行列Aが特異でない(det(A) ≠ 0)正則行列の場合、(6)式のような線形連立方程式はCramerの方法による解(p₁, …, p_q)を持つ。Cramerの方法による解を以下の(7)式に示す。

$$p_i = \frac{\det(A^i)}{\det(A)}, i = 1, K, q \dots\dots\dots (7)$$

ここで、Aⁱは(8)式に示すi番目の列をαで置換した行列である。

$$A^i = \begin{pmatrix} a_{11} \Lambda a_{1i-1} \alpha_1 a_{1i+1} \Lambda a_{1q} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ a_{j1} \Lambda a_{ji-1} \alpha_j a_{ji+1} \Lambda a_{jq} \\ \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \Lambda \\ a_{r1} \Lambda a_{ri-1} \alpha_r a_{ri+1} \Lambda a_{rq} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

ただし、本解析では逆行列A⁻¹を用いて、p_iを求めた。

(9) インベントリーデータ

(7)式等から得られたp_iから(9)式により、インベントリーデータB(b_{ki})が求まる。

$$\beta_k = \sum_{i=1}^q b_{ki} p_i, k=1, K, s \quad \dots\dots\dots (9)$$

4. 建造工程の解析

アルミ合金漁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アルミ合金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 プロセスフローとプロセス行列

本解析で対象としたアルミ合金漁船の建造プロセスフローを図-3に示す。建造段階では、切断、溶接、塗装等の素材加工、照明や製造装置の使用に伴う電力消費及び建造に必要な架台の使用を含めた。一方、工場への資材の搬入と廃棄物の処理及び自主的な社内データの取得が目的である海上試運転は解析対象には含めなかった。また、各プロセスで消費する資材のうち、溶接ワイヤー、塗料及び架台の製造工程は省略し、同じ重量のアルミニウム合金の地金、エポキシ樹脂及び鋼材として扱った。

図-3のプロセスフロー図に基づいて、造船所の建造データ、作業プロセスデータ及び素材等の製造インベントリデータを用いて3.2.4(2)式のプロセス行列を作成した。アルミ合金漁船の建造に関するプロセス行列を表-6に示す。また、以下に使用したデータの詳細を示す。

4.2 建造データ

解析の入力データとして造船所がアルミ合金漁船の建造のために投入した電力、素材及び部品の使用量、各種作業並びに廃棄物の内訳を表-7に示す。また、データの詳細を以下に示す。

4.2.1 エネルギー

造船所における照明等の間接作業での電力使用量の内訳を表-8に示す。電力使用量は造船所におけるアルミ合金漁船の平均的な建造時間、稼働率等の実績値¹⁾に基づいている。なお、溶接等の直接、作業を行う工程での電力使用量は各々のプロセスデータとして考慮されるため、この入力データには含めていない。また、電力以外のエネルギーは省略した。

4.2.2 素材

(1) アルミ合金材

船殻の製造には主にアルミ合金の板材、型材及び管材を使用する。ただし、溶接作業に使用する溶接ワイヤーはプロセスデータで考慮するため、アルミ合金材の使用量には含めなかった。アルミ合金材の使用量と切断後の残材量(スクラップ)を表-9に示す。

(2) 鋼材

鋼材は建造時の架台に使用される。モデル船の建造のために製作され、建造後に鉄スクラップとして処理される。鋼材の使用量の内訳を表-10に示す。

4.2.3 部品

(1) 船体艤装品

門型マスト、デリックブーム、舵板等の一般艤装品とロールウィンチ・ワイヤ、カーゴウィンチ等の漁労装置を含む。船体艤装品の部品は85品目、合計7.99tである。

(2) 機関艤装品

主機関、減速機及びプロペラ等、機関艤装品の部品は35品目、合計5.56tである。

(3) 電気艤装品

発電機、バッテリー及び電線等、電気艤装品の部品は約40品目、合計重量1.62tである。

4.2.4 作業

(1) 切断

切断の作業量をアルミ合金材の切断断面積(m²)として表すこととした。切断断面積は切断長(m)と平均板厚(mm)の積として算出することを想定したが、工場では切断長は把握していなかった。そのため、本解析ではアルミスクラップの切断屑の量及び設定した切断条件等からモデル船の建造時の切断断面積を算出し、切断の作業量とした。

(2) 溶接

溶接の作業量を船体の溶着金属の重量(kg)として表し、船体重量に記載された溶接部の重量を解析用の入力データとした。表-2の船体の重量構成表に記載されている溶接部の重量は設計上の重量であり、削除された余盛部の重量は含まれていない。しかし、溶着金属の重量に比べ削除された余盛の重量は少ないと考えられるため、本解析の溶接の作業量には、設計上の溶接部の重量を溶接の作業量とした。

(3) 塗装

塗装の作業量を船体に付着した塗膜重量(kg)として表した。なお、溶剤は最終的には揮発してしまうと考えられるため、その使用量は含めなかった。

4.2.5 排出物・廃棄物

(1) アルミスクラップ

表-9に示されたアルミ合金材の残材をアルミスクラップとした。なお、溶接ワイヤーと溶接棒の使用後の残材及びアルミの切削屑は省略した。

(2) 鉄スクラップ

表-10に示した架台作成の鋼材使用量と同じ重量が鉄スクラップになるものとした。

4.2.6 環境中への排出

(1) CO₂

海上試運転や灯油焚きの暖房装置の使用等は解析対象ではないため、建造段階で直接CO₂を排出する工程はない。

(2) 固形廃棄物

アルミ合金材の梱包等に使用された木材やラワンベニヤ等が固形廃棄物として排出される。状況調査の結果に基づくモデル船の建造に係わる固形廃棄物の内訳を表-11に示す。主に溶接部のサンディングにより排出される切削屑は廃棄物処理業者に、また、木材及びラベル等は社内で焼却される。

4.3 作業プロセスデータ

解析に使用した溶接等の作業のプロセスデータを以下に示す。

4.3.1 切断作業

全ての切断作業を電気丸鋸で行うと仮定し、アルミ合金板の板厚や平均的と考えられる切断条件に基づいてプロセスデータを作成した。なお、丸鋸の回転歯の消耗は考慮しなかった。

4.3.2 溶接作業

全ての溶接をMIG(Metal Inert Gas)溶接で行うと仮定し、平均的と考えられる溶接条件に基づいてプロセスデータを作成した。なお、溶接で使用するアルミ溶接ワイヤーや溶接棒は単純化してアルミ合金材として扱い、シールドガスは考慮しなかった。

4.3.3 塗装作業

本解析では全ての塗装作業をエアレススプレーで行うと仮定した。工場での聴き取り調査の結果に基づいてプロセスデータを作成した。なお、エアレススプレーを駆動するための圧縮空気の製造で消費する電力は工場全体の電力使用量に含まれているために除いた。また、塗料は単純化して全てエポキシ樹脂として扱い、溶剤は考慮しなかった。

4.4 製造インベントリデータ

アルミニウム合金や鋼材等の素材、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全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。

4.4.1 エネルギー

日本での電力の製造インベントリデータとして、データベース²⁾の全国平均のデータを使用した。使用した電力データは日本における製造インベントリデータであり、電源構成はLNG(22%)、石炭火力(11%)、水力(11%)、原子力(28%)、石油火力(28%)及びその他(2%)である。

4.4.2 素材

(1) アルミニウム合金材

船殻材料にはアルミニウム合金(A5083又はA5183)の板材、型材及び管材が使用されている。使用したデータベースにはこれらの材料に関する適当な製造インベントリデータはなかった。アルミニウム合金材はアルミ地金

から casting、圧延、押出及び鍛造等の加工プロセスを経て製造される。この加工プロセスの段階で消費されるエネルギーは、アルミニウム合金材の製造に要する全エネルギーの9%程度であり、本解析では省略できると考えた。⁷⁾

そのため、本解析ではアルミ新地金の製造データをデータベース⁴⁾から選定し、加工プロセスを省略してアルミニウム合金材の製造インベントリデータとした。このアルミ新地金の製造データには原材料としてアルミスクラップは使用されていない。また、欧州のデータベースであり、電解精錬では欧州平均の電力データが用いられているが、そのまま使用した。

(2) 鋼材

データベースにはモデル船に使用された鋼材に関する適切な製造インベントリデータはなかった。そのため、本解析では鋼材の製造インベントリデータとしてデータベース³⁾の鋼塊製造に圧延工程のデータを加味して作成した。なお、鋼塊製造での主な原材料には鉄鉱石や石炭に加え、鉄スクラップを含んでいる。

(3) 塩化ビニル(PVC)

塩化ビニルの製造インベントリデータはデータベース⁴⁾のデータを使用した。

(4) エポキシ樹脂

エポキシ樹脂の製造インベントリデータはデータベース⁴⁾のデータを使用した。

4.4.3 部品

大型船舶のディーゼル機関に関する製造¹⁰⁾を除き、船舶の部品の製造に関する製造インベントリデータはなかった。そのため、本解析においては、部品の製造インベントリデータはその製造工程を省略し、構成する素材の種類を簡略化した素材の製造データとして扱った。

モデル船の建造に使用する素材と部品を船殻材料、船体艤装品、機関艤装品及び電気艤装品に分類した。艤装品の分類毎に作成した製造に関するプロセスフローを図-4に示す。なお、各艤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。

- ・船体艤装品: 全て鋼材。
- ・機関艤装品: 全て鋼材。
- ・電気艤装品: 鋼材と塩化ビニルを各々重量の50%。

なお、多数の部品から構成される複写機のLCA¹¹⁾では、スクリー、半導体集積回路、電気・電子部品、配線及び機械部品等の部品の製造工程は無視し、部品の合計重量の50%の鋼材とHDPE(プラスチック)に置き換える等簡略化した解析を実施している。こうした簡略化は現時点で行われるLCAではやむを得ないものと考えられる。

4.5 インベントリ分析(建造)

アルミニウム合金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

表-6に示したプロセス行列(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(P)と環境負荷行列(Q)を表-12及び表-13に示す。

4.5.2 経済的入出力(プロセス量)

モデル船の建造工程での消費電力量の解析結果は $1.8 \times 10^2 \text{GJ}$ ($4.9 \times 10^4 \text{kWh}$)となり、実績値と一致した。このうち、溶接作業に伴う電力消費量はプロセスデータに基づく解析結果($2.8 \times 10^3 \text{kWh}$)と溶接の負荷率とアークタイム率から求めた実績値が概ね一致した。ただし、建造に必要な電力消費量のうち溶接作業が占める割合は約6%と小さく、大部分は照明やクレーン等の間接作業に伴う電力消費が占めた。解析結果の信頼性を高めるためには、これら間接作業の作業量を実績値等からの確に推定することが必要と考えられる。

4.5.3 CO₂排出量

アルミ合金漁船の建造に関するCO₂排出量は $1.6 \times 10^2 \text{t-CO}_2$ であった。CO₂排出量のプロセス毎の内訳を図-5に示す。アルミ新地金の製造に係わるCO₂排出量が全体の75%、電力の製造が13%及び鋼材の製造が11%を占めた。なお、溶接作業に伴う電力やワイヤーの製造を含めた溶接作業全体のCO₂の排出量は全排出量の5%を占めた。

4.5.4 海上試運転によるCO₂排出量

本解析では海上試運転は解析対象には含めなかったが、海上運転で主機を定格出力(550PS)で6時間運転した場合、燃料(A重油)の使用量は約 $5.3 \times 10^2 \text{kg}$ となる。燃料の製造と主機関の運転に伴うCO₂排出量は約1.8t-CO₂となり、モデル船建造に関わる全CO₂排出量の約1%程度に相当する。

5. 運航

アルミ合金漁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 プロセスフローとプロセス行列

本解析で対象としたアルミ合金漁船の運航に関するプロセスフローを図-6に示す。アルミ合金漁船はホタテ貝増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。運航段階で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・修繕作業を含めた。ただし、発生するスラッジや固形廃棄物の処理は対象としなかった。なお、塗料や部品の製造インベントリデータは建造工程と同様に加工工程を省略し、使用材料を単純化して扱った。

プロセスフローに基づいて作成したアルミ合金漁船の運航に関する漁獲量1kg当たりのプロセス行列を表-14に示す。また、以下に使用したデータの詳細を示す。

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 $6.3 \times 10^4 \text{t}$ である。

5.3 プロセスデータ

5.3.1 運航プロセス

解析条件として対象とした運航プロセスを以下に示す。

(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。軽荷、曳網及び満載等の航行状態毎の航行距離は表-5の航海計画に示した。また、春操業で海区から収集した死んだホタテ貝等のゴミは全て固形廃棄物とし、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18tとした。

(2) 本操業

本操業はホタテ貝の水揚げを目的とし、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。春操業と同様に、航行状態毎の航行距離は表-5の航海計画に示した。

(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、建造時の防汚塗料と同じ重量とした。また、船底の塗装方法は主にローラー塗りであるが、本解析では全体塗装と同じエアレススプレーを想定した。

(4) 修繕

修繕は2年に1度実施する全体塗装を対象とした。全体塗装の作業量も(3)保守作業と同様に、船体に付着した塗膜重量とした。また、全体塗装の塗装方法はエアレススプレーとした。

(5) 主機換装

主機関の換装はライフサイクルを通じて1度実施されることとした。なお、中古となった主機関の再使用や処理等は解析の対象としなかった。

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(J)を航海速度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の主機馬力を表-15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) 主機関の運転

主機のディーゼル機関の運転に伴う排気ガス中の成分は運転状態により変化する。しかし、解析の対象とした

CO₂は、燃料の消費量に比例すると考えられることから、主機関の運転に関するプロセスデータは、定格出力を対象に型式、運航実態及びメーカーの聴き取り調査に基づいて作成した。

船舶用のディーゼル機関は主にクランク軸の潤滑を目的とするシステム油とピストンとシリンダーライナーを保護するシリンダー油の2種類の潤滑油を使用する。これら潤滑油は主機関の使用時間に応じて消費される。なお、システム油は主機関の使用に伴い、固形廃棄物として排出されるものとした。

(2) 塗装

塗装方法はエアレススプレーとし、プロセスデータは建造工程と同じとした。なお、塗装作業で使用する圧縮空気の製造工程は省略した。

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ため、ここでは省略する。

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。本解析ではA重油(Diesel油)の製造インベントリデータとしてデータベース⁴⁾のデータを使用した。なお、燃料は漁協から購入するが、漁協までの燃料の輸送等は考慮しなかった。

5.4.2 潤滑油

本解析では潤滑油の製造インベントリデータとして同等と考えられるA重油(Diesel油)の製造インベントリデータを使用した。

5.4.3 主機関

換装する主機関の製造インベントリデータは主機関重量に相当する鋼材として扱った。また、主機関の換装作業に必要な電力や諸作業は省略した。

5.5 インベントリ分析(運航)

アルミニウム合金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

表-14に示したプロセス行列に基づく解析結果であるプロセス量行列(P)と環境負荷行列(Q)を機能単位(ホタテ貝の水揚げ1kg)、年間及びライフサイクル毎に表-16及び表-17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で約71tとなった。漁協が平成10年度に支払った燃料代に基づいて算出した消費量(約64t)に比べ約10%程度多い結果となった。

5.5.3 CO₂排出量

(1) プロセスの内訳

モデル船の運航におけるCO₂排出量はホタテ貝1kg当たり約77g-CO₂、運航年数20年で約4.9×10³t-CO₂であった。プロセス毎のCO₂排出の内訳を表-18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91%を占めた。重油の製造段階でのCO₂排出量を考慮すると、運航におけるCO₂排出量のほとんどは主機関の運転に伴うことが明らかになった。

(2) 運航の内訳

漁業の運航計画の区分毎の内訳を表-19及び図-8に示す。春操業に係わるCO₂排出量が全体の約33%、また、本操業の「水揚作業」が約66%を占めた。保守作業及び修繕等に関わるCO₂排出量は合計で全体の約0.3%程度であった。

5.5.4 固形廃棄物

固形廃棄物が年間約1.0×10³t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の建造と運航のステージ毎の内訳を表-20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5.0×10³t-CO₂であり、運航によるCO₂排出量がライフサイクル全体のCO₂排出量の約97%を占めた。

6.2 プロセス毎の内訳

ライフサイクルでのCO₂排出量のプロセス毎の内訳を表-21及び図-10に示す。CO₂排出量の内訳は、主機関運転約89%、重油の製造約8%、アルミ新地金の製造約2%及びその他1%であった。

7. まとめ

小型船舶のライフサイクルにわたる環境負荷を把握するため、CO₂排出量を対象にモデル船としたアルミ合金製のホタテ桁曳き漁船の建造工程と運航に関してインベントリ分析の解析手法、解析モデル及びプロセスデータを作成した。また、実績データに基づいてインベントリ分析を行い、ホタテ貝1kg当たりの水揚げに対するCO₂排出量とその内訳をプロセス単位で明らかにすることができた。小型船舶へのインベントリ分析の適用方法を作成したことによ

り、今後、チタン合金等新しい素材を用いた小型船舶の環境負荷を評価する手法の基礎ができたと考えられる。

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:モデルの分析
- 2) NEC LCAサポートデータベース(以下、「NEC」と言う。)データ提供:(社)産業環境管理協会
- 3) 工業技術院 資源環境技術総合研究所 NIREデータベース(Ver2.1)
- 4) Pre社 SimaPro4.0 データベース(Pre4 database、The BUWAL250 database、IDEMAT)
- 5) 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
- 6) 科学技術庁 金属材料研究所 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/>
- 7) (社)未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会、「環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書(別冊)-金属素材インベントリデータ-、平成7年11月、p26
- 8) 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
- 9) R.Heijungs, etc., Environmental Life Cycle Assessment of Products -Guide & Buckgrounds-October 1992、ISBN 90-5191-064-9
- 10) 城田英之他、船用主機の製造工程におけるLCI解析、1999年12月、日本機械学会第8回交通・物流部門大会講演論文集 P251~254
- 11) International Comparison of LCA Methodologies(LCA 日本フォーラム 平成11年3月)

表-3 生涯計画(アルミ合金漁船)

項目	数量	単位	備考
1 載荷重量	18	t	生涯漁獲量 62,640t
2 使用年数	20	年	春操業 1140回、本操業 3480回
3 船底塗装回数	18	回	建造時と最終年を除く。
4 全体塗装回数	9	回	2年に1度、全体塗装を行う。
5 主機換装回数	1	回	

表-4 年間運航計画(アルミ合金漁船)

操業の種類	日数
1 春操業(3-5月)	
操業日数	57 (日)
悪天候等による休漁日数	11 (日)
2 本操業(6-12月)	
操業日数	174 (日)
悪天候等による休漁日数	34 (日)
3-12月の暦日数	276 (日)

(注)1-2月は休漁し、船底塗装等の保守・修理を行う。

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)
(1) 港→漁場(往路):軽荷状態	6.00E-01	1.70E+01	1.02E+01	1.89E+01	5.50E+02
(2) 漁場:曳網状態(春操業)	6.00E+00	2.50E+00	1.50E+01	2.78E+01	3.00E+02
漁場:曳網状態(本操業)	3.00E+00	2.50E+00	7.50E+00	1.39E+01	3.00E+02
(3) 漁場→港(復路):満載状態	8.00E-01	1.40E+01	1.12E+01	2.07E+01	5.50E+02

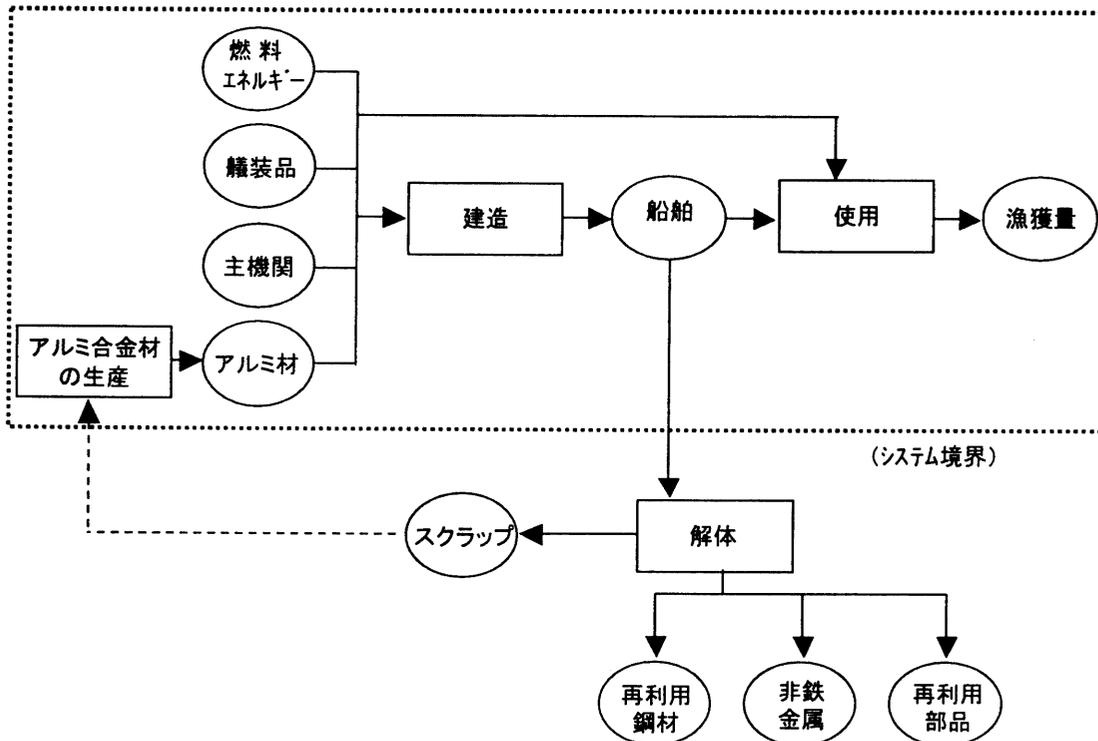


図-2 アルミ合金漁船のシステム境界

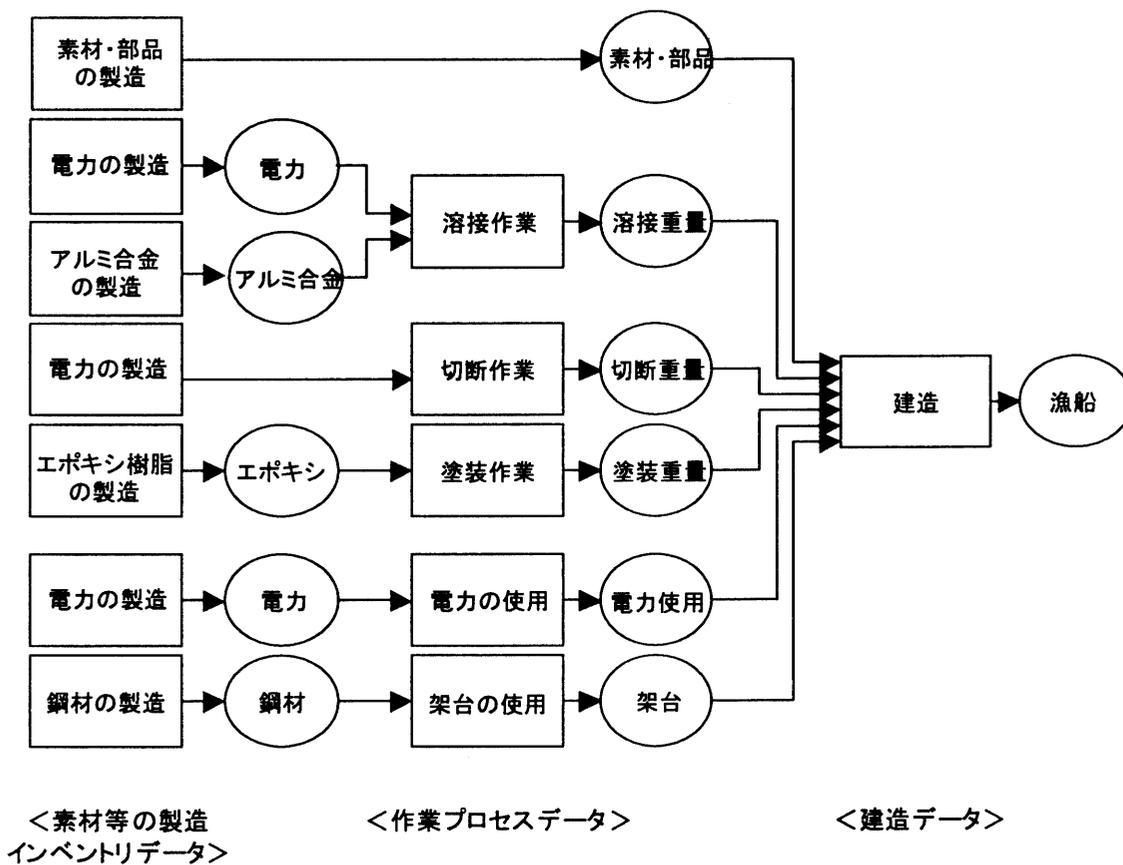


図-3 船舶建造のプロセスフロー

表-6 船舶建造のインベントリー分析表(プロセス分析)

プロセス行列(建造)

プロセス行列 ABM	プロセス名 出典データ データの種類 備考	エネルギー&素材					部品			作業プロセス			建造
		1電力の生産	2.アルミ新地金	3鋼材の製造	4.PVCの製造	5エポキシの製造	6.船体雑装品	7.機関雑装品	8.電気雑装品	9.切断作業	10.溶接作業	11.塗装作業	12漁船の製造
		NEC:産環協	S:25700027	NIRE(v2.1)	S:25800211	S:25800254	仮定	仮定	仮定	船研データ	船研データ	船研データ	ヤマハ蒲郡
8		I	I	I	I	P	P	P	P	P	P	P	
		日本全国平均	オランダ	日本:鋼塊+圧延	塩化ビニル	プラスチック	鋼材	鋼材	鋼材+PVC	丸鋸:AL厚6mm	MIG-Ar	スプレー	25ton
経済的入出力 (製品・サービス)	1 電力-日本(MJ)	1	0	0	0	0	0	0	0	-2.10E+01	-1.63E+01	0	-1.67E+05
	2 アルミ材(地金)(kg)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1.03E+00	0	-1.18E+04
	3 鋼材(kg)	0	0	1	0	0	-1.00E+00	-1.00E+00	-5.00E-01	0	0	0	-1.16E+02
	4 塩化ビニル(kg)	0	0	0	1	0	0	0	-5.00E-01	0	0	0	0
	5 エポキシ樹脂塗料(kg)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1.30E+00	0
	6 船体雑装品(kg)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-7.99E+03
	7 機関雑装品(kg)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-5.56E+03
	8 電気雑装品(kg)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1.62E+03
	9 切断面積(m2)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-8.64E+00
	10 溶接重量(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-6.15E+02
	11 塗装重量(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4.34E+02
	12 アルミ漁船(1隻:25ton)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
環境からの入力 (資源)	13 ボーキサイト(kg)	0	-4.81E+00	0	0	-1.56E-03	0	0	0	0	0	0	0
	14 鉄鋼石(kg)	0	-1.78E-05	-1.10E+00	-4.00E-04	0	0	0	0	0	0	0	0
	15 石炭(kg)	-1.20E-02	-1.70E+00	-5.32E-01	-2.37E-02	0	0	0	0	0	0	0	0
	16 原油(kg)	-1.80E-02	-1.43E-01	0	-5.09E-01	-4.35E+00	0	0	0	0	0	0	0
	17 天然ガス(kg)	-1.10E-02	0	0	-5.20E-01	-3.55E-01	0	0	0	0	0	0	0
金属スクラップ	18 アルミスクラップ(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	8.10E+00	0	0	2.07E+03
	19 鉄スクラップ(kg)	0	0	-3.83E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	1.16E+02
環境への排出	20 CO2(kg)	1.17E-01	9.49E+00	1.17E+00	1.94E+00	1.10E+00	0	0	0	0	0	0	0
	21 固形廃棄物(kg)	3.12E-06	6.43E-01	1.39E-06	1.30E-01	1.43E-02	0	0	0	0	3.000E-02	3.000E-01	3.61E+02

(注)(+)(-):インプットを(-)、アウトプットを(+とした。

表-7 建造データ(アルミ合金漁船)

	項目	数量
使用	電力-日本 (MJ)	1.67E+05
	アルミ合金材 (kg)	1.18E+04
	鋼材 (kg)	1.16E+02
	船体艗装品 (kg)	7.99E+03
	機関艗装品 (kg)	5.56E+03
	電気艗装品 (kg)	1.62E+03
	切断断面積 (m ²)	8.64E+00
	溶接重量 (kg)	6.15E+02
	塗装重量 (kg)	5.36E+02
	排出	アルミスクラップ (kg)
鉄スクラップ (kg)		1.16E+02
CO ₂ (kg)		0
固形廃棄物 (kg)		3.61E+02

表-8 ホタテ漁船(アルミ合金船)建造における電力使用量

作業分類	機器の種類	電力使用量		(%)
		(kWh)	(MJ)	
1. 照明・換気	1. 天井水銀灯	1.01E+04	3.63E+04	22
	2. ルーフファン	3.17E+03	1.14E+04	7
2. 移動	3. 天井クレーン	1.65E+04	5.94E+04	36
	4. ノビルーン	1.58E+03	5.70E+03	3
3. 工作機器使用	5. 電気工具	1.20E+03	4.32E+03	3
	6. 工作機械	1.39E+04	5.01E+04	30
4. 架台製作	7. 架台製作	4.30E+01	1.55E+02	0
合計		4.65E+04	1.67E+05	100

表-9 アルミ合金材の使用量と残材量

アルミ合金材	材質	使用量(kg)	船体重量(kg)	残材(kg)
板材	A5083	9.42E+03	7.55E+03	1.88E+03
型材	A5083	2.07E+03	1.91E+03	1.60E+02
管材	A5083	2.60E+02	2.30E+02	3.00E+01
小計	-	1.18E+04	9.69E+03	2.07E+03

表-10 使用する鋼材の種類と使用量

使用場所	内訳	板厚(mm)	重量(kg)
架台	チャンネル	9	7.15E+01
	アングル	6	2.98E+01
	アングル	5	1.47E+01
合計			1.16E+02

表-11 固形廃棄物の種類、量及び処理方法

廃棄物名	重量(kg)	処理方法
アルミ合金(溶接部サンディング)	1.75E+01	産廃業者
木材(アルミ材梱包)	2.07E+02	社内焼却
木材(アルミ材梱包)	1.03E+02	社内焼却
ラベ(アルミ材梱包)	3.38E+01	社内焼却
ビニルシート(板・型材)	-	産廃業者
紙(薄い)板材	-	社内焼却
紙(厚い)型材	-	ダンボール扱い
(合計)	3.61E+02	(平均)361kg

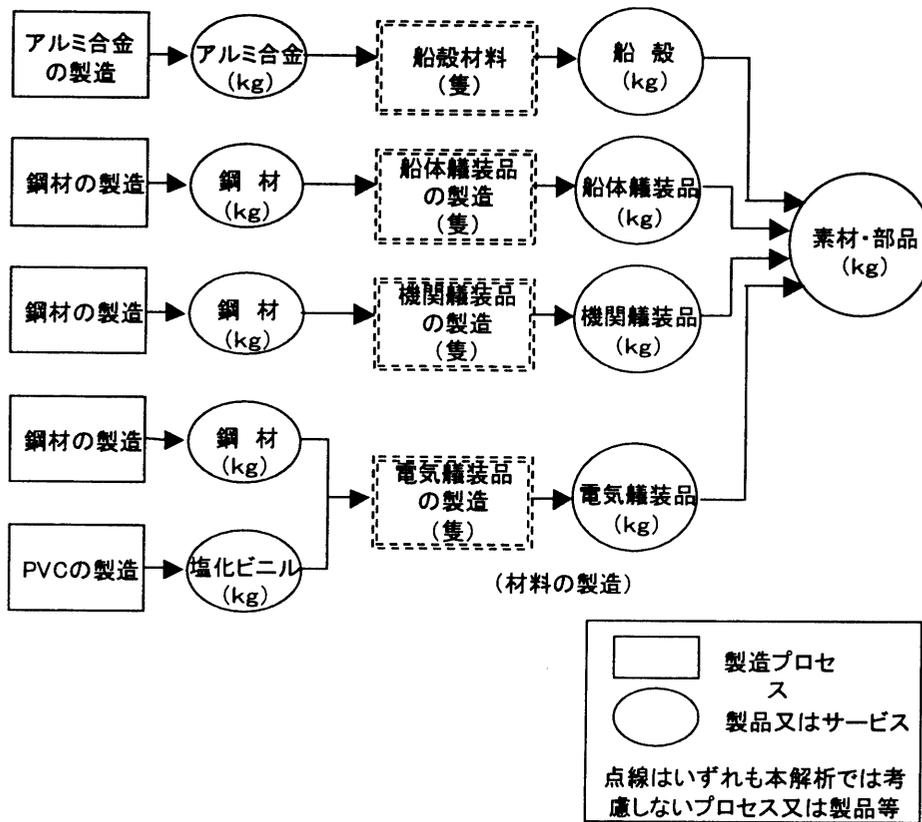


図-4 艦装品の分類ごとに作成した部品の製造プロセスフロー

表-12 プロセス量行列(建造)PM

経済的入出力名 (製品・サービス)	プロセス量 合計
1 電力-日本(MJ)	1.78E+05
2 アルミ材(地金)(kg)	1.24E+04
3 鋼材(kg)	1.45E+04
4 塩化ビニル(kg)	8.10E+02
5 エポキシ樹脂(kg)	5.64E+02
6 船体織装品(kg)	7.99E+03
7 機関織装品(kg)	5.56E+03
8 電気織装品(kg)	1.62E+03
9 切断断面積(m ²)	8.64E+00
10 溶接重量(kg)	6.15E+02
11 塗装重量(kg)	4.34E+02
12 アルミ漁船(1隻:25t)	1

表-13 環境負荷行列(建造)QM

	環境負荷項目名	消費/排出量 合計
環境からの入力 (資源)	13 ボーキサイト(kg)	-5.96E+04
	14 鉄鋼石(kg)	-1.59E+04
	15 石炭(kg)	-3.09E+04
	16 原油(kg)	-7.83E+03
	17 天然ガス(kg)	-2.58E+03
金属スクラップ	18 アルミスクラップ(kg)	2.13E+03
	19 鉄スクラップ(kg)	-5.43E+03
環境への排出	20 CO ₂ (kg)	1.57E+05
	21 固形廃棄物(kg)	8.59E+03

(注)(+)(-):インプットを(-)、アウトプットを(+とした。

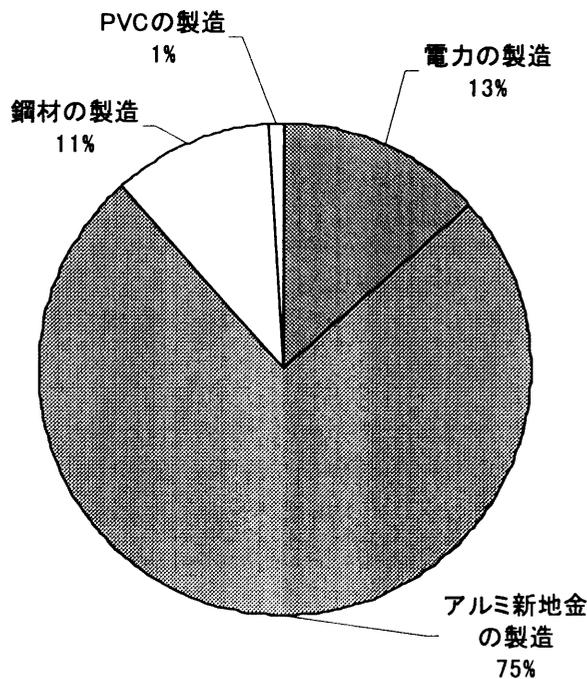


図-5 建造プロセス毎のCO₂の排出量 (アルミ合金船)

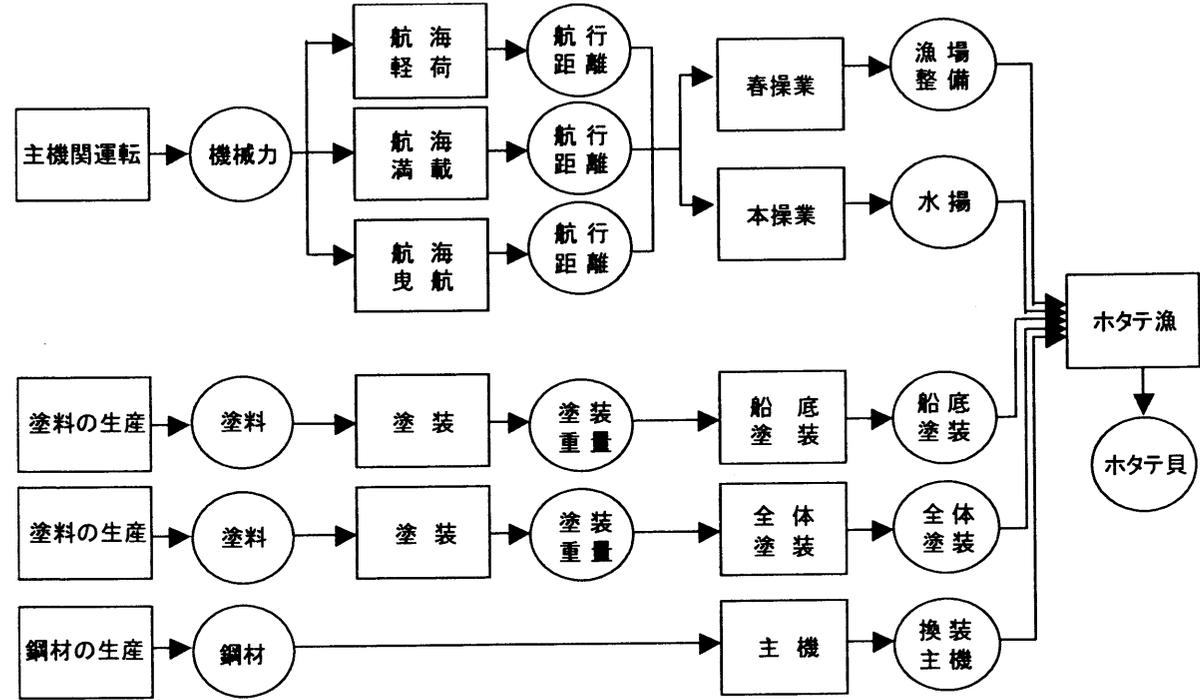


図-6 ホタテ漁船の使用に関するプロセスフロー

表-14 船舶運航のインベントリー分析表(プロセス分析)

①プロセス行列(運航)

プロセス行列	プロセス名	エネルギー&燃料		素材			部品	プロセス			船舶状態			運航				漁業
		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.主機関製造	7.主機関運転	8.塗装	9.航海(軽荷)	10.航海(曳綱)	11.航海(満載)	12.春操業	13.本操業	14.保守作業	15.修繕	16.主機換装	17.漁業
ABO	出典データ	NEC:産理協	S:25800016	仮定	NIRE2.1-REF	S:25800254		SRMOT	SRMOT	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/2年	1回/生涯	漁業
	データの種類の備考	I	I	I	I	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		日本平均	Diesel I	同左	鋼塊+圧延	エポキシ樹脂	鋼材	550(PS)							船底塗装	全体塗装	主機交換	ホタテ貝
経済的入出力 (製品・サービス)	1 陸上電力(MJ)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 ディーゼル油(kg)	0	1	0	0	0	0	-6.11E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3 潤滑油(kg)	0	0	1	0	0	0	-2.88E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4 鋼材(kg)	0	0	0	1	0	-2.15E+03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 塗料(kg)	0	0	0	0	1	0	0	-1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 主機関(1台)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
	7 船舶主機力(MJ)	0	0	0	0	0	0	1	0	-4.63E+01	-1.71E+02	-5.82E+01	0	0	0	0	0	0
	8 塗装重量(kg)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-9.09E+01	-3.43E+02	0	0
	9 航海(軽荷)(km)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1.89E+01	-1.89E+01	0	0	0	0
	10 航海(曳綱)(km)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-2.78E+01	-1.39E+01	0	0	0	0
	11 航海(満載)(km)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2.07E+01	-2.07E+01	0	0	0	0
	12 漁場整備(回)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1.82E-05
	13 水揚げ作業(回)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-5.56E-05
	14 保守作業(回)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-3.03E-07
	15 修繕(回)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1.44E-07
	16 主機換装(台)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1.60E-08
	17 漁獲量(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環境からの入力 (資源)	18 ボーキサイト(kg)	0	-3.20E-04	-3.20E-04	0	-1.56E-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19 鉄鉱石(kg)	0	-1.40E-04	-1.40E-04	-1.10E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20 石炭(kg)	-1.20E-02	-5.10E-03	-5.10E-03	-5.32E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21 原油(kg)	-1.80E-02	-1.03E+00	-1.03E+00	0	-4.35E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22 天然ガス(kg)	-1.10E-02	-6.19E-02	-6.19E-02	0	-3.55E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金属スクラップ	23 アルミスクラップ(kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24 鉄スクラップ	0	0	0	-3.83E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環境への排出	25 CO2(kg)	1.17E-01	2.84E-01	2.84E-01	1.17E+00	1.10E+00	0	1.90E-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26 スラッジ(kg)	0	0	0	0	0	0	8.70E-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27 固形廃棄物(kg)	3.12E-06	2.20E-03	2.20E-03	1.39E-06	1.43E-02	0	9.02E-05	3.00E-01	0	0	0	1.80E+04	0	0	0	0	0

(注)(+)(-):インプットを(-)、アウトプットを(+とした。

表-15 航行距離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	(%)	1.00E+02	1.00E+02	5.45E+01
航海速度	(kt)	1.70E+01	1.35E+01	2.50E+00
船舶の主機馬力	(kW)	4.05E+02	4.05E+02	2.20E+02
1km当たり航行時間	(h/km)	3.18E-02	4.00E-02	2.16E-01
1km当たり主機関エネルギー	(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)
 1PS = 0.7355 kW
 1kt = 1.852 km/h
 1kWh = 3.6 MJ

表-16 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)	機能単位	年間漁獲量 操業日数 174(日)	ライフサイクル 使用年数20年
ホタテ貝の漁獲量	1kg	3.1E+03	6.3E+04
1 陸上電力(MJ)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2 ディーゼル油(kg)	2.27E-02	7.12E+04	1.42E+06
3 潤滑油(kg)	1.07E-04	3.36E+02	6.71E+03
4 鋼材(kg)	3.44E-05	1.08E+02	2.15E+03
5 塗料(kg)	1.00E-04	3.13E+02	6.26E+03
6 主機関(1台)	1.60E-08	5.01E-02	1.00E+00
7 船舶主機力(MJ)	3.72E-01	1.17E+06	2.33E+07
8 塗装重量(kg)	7.69E-05	2.41E+02	4.82E+03
9 航海(軽荷)(km)	1.39E-03	4.37E+03	8.74E+04
10 航海(曳網)(km)	1.28E-03	4.01E+03	8.01E+04
11 航海(満載)(km)	1.53E-03	4.78E+03	9.57E+04
12 漁場整備(回)	1.82E-05	5.70E+01	1.14E+03
13 水揚作業(回)	5.56E-05	1.74E+02	3.48E+03
14 船底塗装(回)	3.03E-07	9.49E-01	1.90E+01
15 全体塗装(回)	1.44E-07	4.51E-01	9.02E+00
16 主機換装(台)	1.60E-08	5.01E-02	1.00E+00
17 漁獲量(kg)	1.00E+00	3.13E+06	6.26E+07

(注)(+)(-):インプットを(-)、アウトプットを(+とした。

表-17 年間・ライフサイクルで環境負荷項目の量

環境負荷項目	機能単位	年間漁獲量 操業日数 174(日)	ライフサイクル 使用年数20年
ホタテ貝の漁獲量	1kg	3.1E+03	6.3E+04
18 ポーキサイト(kg)	-7.47E-06	-2.34E+01	-4.68E+02
19 鉄鉱石(kg)	-4.10E-05	-1.29E+02	-2.57E+03
20 石炭(kg)	-1.35E-04	-4.22E+02	-8.44E+03
21 原油(kg)	-2.40E-02	-7.51E+04	-1.50E+06
22 天然ガス(kg)	-1.45E-03	-4.54E+03	-9.08E+04
23 アルミスクラップ(kg)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
24 鉄スクラップ	-1.32E-05	-4.13E+01	-8.25E+02
25 CO2(kg)	7.73E-02	2.42E+05	4.85E+06
26 スラッジ(kg)	3.24E-06	1.01E+01	2.03E+02
27 固形廃棄物(kg)	3.28E-01	1.03E+06	2.05E+07

(注)(+)(-):インプットを(-)、アウトプットを(+とした。

表-18 運航のプロセス毎のCO₂排出量の内訳

プロセス名	ホタテ貝1kg当たりのCO ₂ 排出量(kg)	(%)
1 電力の製造	0	0.0%
2 重油の製造	6.46E-03	8.4%
3 潤滑油の製造	3.04E-05	0.0%
4 鋼鉄の製造	4.02E-05	0.1%
5 塗料の製造	1.31E-04	0.2%
6 船の建造	0	0.0%
7 主機関運転	7.07E-02	91.4%
8 塗装	0	0.0%
9 航海(軽荷)	0	0.0%
10 航海(曳網)	0	0.0%
11 航海(満載)	0	0.0%
12 春操業	0	0.0%
13 本操業	0	0.0%
14 保守作業	0	0.0%
15 修繕	0	0.0%
16 主機換装	0	0.0%
17 漁業	0	0.0%
合計	7.74E-02	100%

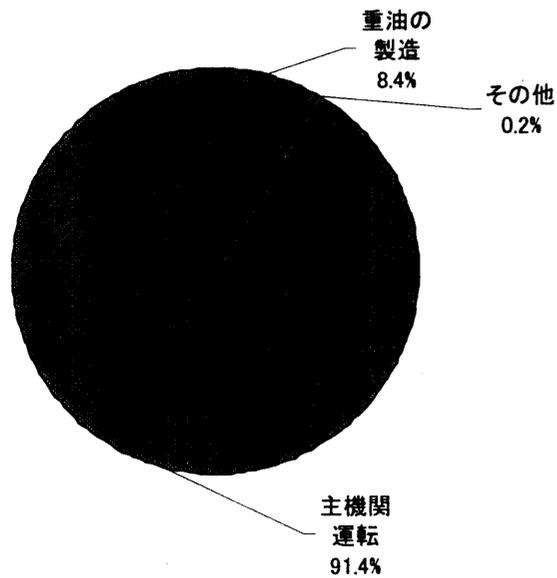


図-7 運航のプロセス毎のCO₂排出量の内訳

表-19 漁業区分毎のCO₂排出量の内訳

プロセス名	ホタテ貝1kg当たりの CO ₂ 排出量(kg)	(%)
1 漁場整備(回)	2.58E-02	33.3%
2 水揚作業(回)	5.14E-02	66.4%
3 船底塗装(回)	3.94E-05	0.1%
4 全体塗装(回)	9.16E-05	0.1%
5 主機換装(台)	4.02E-05	0.1%
6 ホタテ貝漁獲量(kg)	0	0.0%
合計	7.74E-02	100%

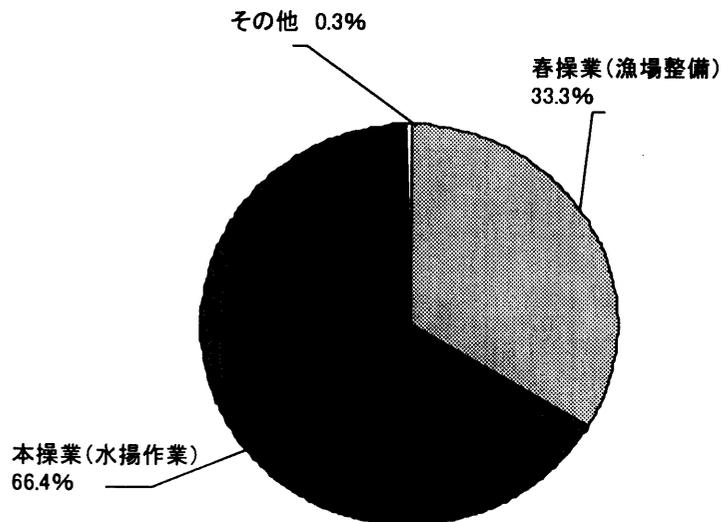
図-8 漁業区分毎のCO₂排出量の内訳CO₂ 排出量 77 g-CO₂/kg

表-20 ライフサイクルでの環境負荷項目のステージ毎の内訳

ステージ	ライフサイクル 全体	内訳			
		建造		運航	
		アルミ合金漁船	使用年数20年	アルミ合金漁船	使用年数20年
環境負荷項目	合計数量	数量	(%)	数量	(%)
ボーキサイト(kg)	-6.01E+04	-5.96E+04	99%	-4.68E+02	1%
鉄鉱石(kg)	-1.85E+04	-1.59E+04	86%	-2.57E+03	14%
石炭(kg)	-3.93E+04	-3.09E+04	79%	-8.44E+03	21%
原油(kg)	-1.51E+06	-7.83E+03	1%	-1.50E+06	99%
天然ガス(kg)	-9.34E+04	-2.58E+03	3%	-9.08E+04	97%
アルミスクラップ(kg)	2.13E+03	2.13E+03	100%	0.00E+00	0%
鉄スクラップ	-6.26E+03	-5.43E+03	87%	-8.25E+02	13%
CO2(kg)	5.00E+06	1.57E+05	3%	4.85E+06	97%
スラッジ(kg)	2.03E+02	0	0%	2.03E+02	100%
固形廃棄物(kg)	2.05E+07	8.59E+03	0%	2.05E+07	100%

(注) (+)(-) : インプットを(-)、アウトプットを(+)とした。

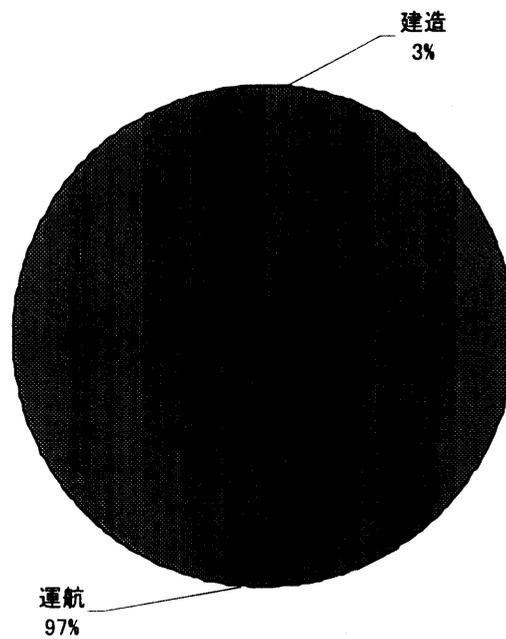
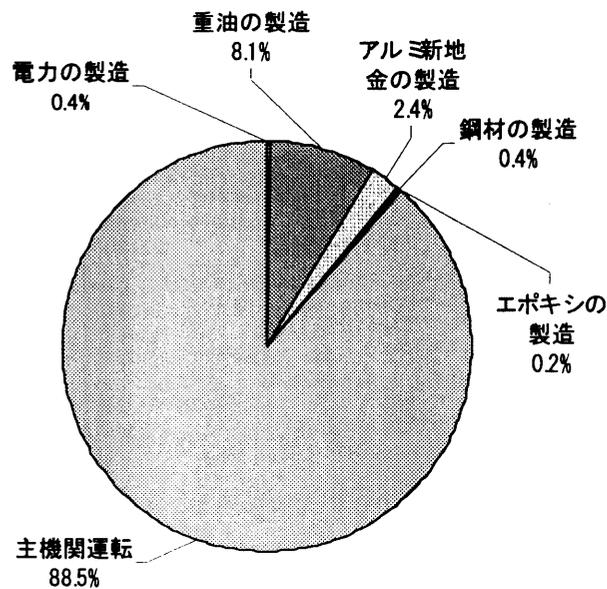


図-9 ライフサイクルでの環境負荷項目(CO₂ 排出量) のステージ毎の内訳

表-21 ライフサイクルでのプロセス毎の環境負荷項目(CO₂)の排出量

プロセス名	環境負荷項目	
	CO ₂	
	(kg)	(%)
1:電力の製造	2.08E+04	0.4%
2:重油の製造	4.05E+05	8.1%
3:潤滑油の製造	1.90E+03	0.0%
4:アルミ新地金の製造	1.18E+05	2.4%
5:鋼材の製造	1.94E+04	0.4%
6:PVCの製造	1.57E+03	0.0%
7:エポキシの製造	8.97E+03	0.2%
8:船体織装品の製造	0.00E+00	0.0%
9:機関織装品の製造	0.00E+00	0.0%
10:電気織装品の製造	0.00E+00	0.0%
11:切断作業	0.00E+00	0.0%
12:溶接作業	0.00E+00	0.0%
13:塗装作業	0.00E+00	0.0%
14:漁船の製造	0.00E+00	0.0%
15:主機関運転	4.43E+06	88.5%
17:航海(軽荷)	0.00E+00	0.0%
18:航海(曳網)	0.00E+00	0.0%
19:航海(満載)	0.00E+00	0.0%
20:春操業	0.00E+00	0.0%
21:本操業	0.00E+00	0.0%
22:船底塗装	0.00E+00	0.0%
23:修繕	0.00E+00	0.0%
24:主機換装	0.00E+00	0.0%
25:漁業	0.00E+00	0.0%
合計	5.00E+06	100%

図-10 ライフサイクルでのCO₂排出量のプロセス毎の内訳