

船舶へのLCAの適用に関する調査研究

木原 洸*、亀山 道弘*、平岡 克英*、千田 哲也*、
成瀬 健*、城田 英之*、櫻井 昭男*、福元 正明*

Study for the Application of LCA to Ship

by

Takeshi KIHARA, Michihiro KAMEYAMA,
Katsuhide HIRAOKA, Tetsuya SENDA,
Takeshi NARUSE, Hideyuki SHIROTA,
Akio SAKURAI and Masaaki FUKUMOTO

ABSTRACT

In order to analyze the environmental effects of products, a life cycle assessment (LCA) method has been proposed and widely used. However, LCA of ships has not been performed probably because of a large number of components and complicated operation of ships. In this study, some fundamental problems in conducting LCA of ships are investigated.

First, all of the constituent processes of the shipbuilding, operating and dismantling of ships are investigated in detail and inventory, quantitative data of inputs and outputs through each process, is estimated. Based on this inventory data, a life cycle inventory of a model ship, which is an oil tanker of 85,000DWT, is then analyzed, where quantity of carbon dioxide emission is calculated. The total emission of carbon dioxide is obtained as $1.4 \times 10^{+6}$ ton, consisting of $2.0 \times 10^{+4}$ ton from shipbuilding phase (1.5%), $1.3 \times 10^{+6}$ ton, from operating phase and $3.6 \times 10^{+2}$ ton from dismantling phase. This method is also applied to fishing boats (an aluminum and FRP ship), a container and a cargo ship. Finally, a piece of software for LCA of ships is also prepared.

* LCA研究グループ

目次

1. はじめに	37	6.1 船舶の解体の状況	87
2. ライフサイクルアセスメント(LCA)の概要	38	6.2 海外の解体工場	87
2.1 LCA(Life Cycle Assessment)とは	38	6.2.1 調査の目的	87
2.2 LCAの手法	38	6.2.2 調査工場の概要	87
参考文献	39	6.2.3 解体作業	87
3. 解析手法	42	6.2.4 伸鉄材の製造	88
まえがき	42	6.2.5 中古部品と鉄スクラップの販売	88
3.1 インベントリ分析	42	6.2.6 エネルギー	88
3.1.1 産業連関表と積み上げ法	42	6.2.7 廃棄処理	88
3.1.2 計算法	42	6.2.8 解体・伸鉄材の製造のシステムデータ	88
3.2 行列法	42	6.3 国内の解体工場	88
参考文献	44	6.3.1 全体概況	88
4. 建造及び部品製造に関する調査	44	6.3.2 船舶解体工程の作業の流れと入出力	89
まえがき	44	6.3.3 解体工程における実績	89
4.1 造船所	44	6.3.4 船舶の解体工程におけるLCI分析	89
4.1.1 造船所の作業工程の流れと資材、エネルギー および排出物の入出	44	6.4 まとめ	90
4.1.2 造船所における資材、エネルギーおよび排出 物の管理状況	44	7. 船舶への適用	101
4.1.3 プロセスデータ	45	まえがき	101
4.1.4 まとめ	45	7.1 建造	101
4.2 主機関製造	45	7.1.1 システム境界	101
4.2.1 概要	45	7.1.2 材料調達	101
4.2.2 主機関製造工程	45	7.1.3 加工／組み立て	101
4.2.3 各種部品の製造工程	46	7.1.4 間接業務	102
4.2.4 主機関製造のLCI解析	47	7.1.5 工場内排出物処理	102
4.2.5 まとめ	47	7.1.6 廃棄物処理	102
5. 運航に関する調査	62	7.2 運航	102
まえがき	62	7.2.1 システム境界	102
5.1 概要	62	7.2.2 機関運転	103
5.2 調査した船の要目	62	7.2.3 航海	103
5.3 撒積貨物船の運航概要	62	7.2.4 保守・修繕	103
5.3.1 航海概要	62	7.2.5 排出物処理	103
5.3.2 燃料消費量とエンジン負荷率	63	7.2.6 廃棄物処理	103
5.4 AFRAMAXの運航概要	63	7.3 解体	103
5.4.1 航海概要	63	7.3.1 システム境界	103
5.4.2 燃料消費量とエンジン負荷率	63	7.3.2 材料調達	104
5.5 VLCCの運航概要	63	7.3.3 解体作業	104
5.5.1 航海概要	63	7.3.4 間接業務	104
5.5.2 燃料消費量とエンジン負荷率	64	7.3.5 排出物処理	104
5.6 コンテナ船の運航概要	64	7.3.6 廃棄物処理	104
5.6.1 航海概要	64	7.4 伸鉄材製造	104
5.6.2 燃料消費量とエンジン負荷率	65	7.4.1 システム境界	104
5.7 輸送量当たりの油類消費量	65	7.4.2 材料調達	104
5.8 要目性能と実績値の比較	65	7.4.3 製造工程	104
5.9 まとめ	65	7.4.4 間接業務	104
6. 解体・リサイクルに関する調査	87	7.4.5 排出物処理	104
		7.4.6 廃棄物処理	104
		7.5 まとめ	104
		参考文献	104
		8. 各種船舶の解析事例	126

まえがき	126	9.5.3 他のデータセット	165
8.1 87油タンカーのLCI分析	126	9.6 解析ソフトの使用と入力データ	166
8.1.1 要旨	126	9.6.1 デモンストレーション機能	166
8.1.2 インベントリ分析	126	9.6.2 データ入力	166
8.1.3 モデル船への適用	126	9.7 解析ソフトの使用環境	166
8.1.4 結論	127	9.7.1 作動環境	166
8.2 各種大型船舶の運航に関するインベントリ分析	127	9.7.2 解析限界	166
8.2.1 まえがき	127	9.7.3 インストールソフト	166
8.2.2 対象船舶	127	9.7.4 データベース	166
8.2.3 解析手法	127	9.8 まとめ	166
8.2.4 解析条件	128	参考文献	166
8.2.5 解析結果	128	10. まとめ	184
8.2.6 課題	128	謝辞	184
8.2.7 まとめ	129	[付録] 研究発表等	184
8.3 アルミニウム合金漁船	129		
8.3.1 まえがき	129		
8.3.2 対象船舶と調査範囲	129		
8.3.3 解析手法	129		
8.3.4 建造	129		
8.3.5 運航(操業)	131		
8.3.6 ライフサイクルでの環境負荷	131		
8.3.7 まとめ	131		
8.4 FRP漁船	132		
8.4.1 まえがき	132		
8.4.2 対象船舶	132		
8.4.3 調査範囲	132		
8.4.4 解析手法	132		
8.4.5 製造	132		
8.4.6 運航	133		
8.4.7 ライフサイクルでの環境負荷	133		
8.4.8 まとめ	133		
8.5 まとめ	133		
参考文献	133		
9. 船舶用LCA解析ソフト	164		
9.1 背景	164		
9.2 解析ソフトの概要	164		
9.2.1 目的と機能	164		
9.2.2 範囲	164		
9.3 構造	164		
9.3.1 全体構成	164		
9.3.2 解析処理部	164		
9.3.3 データベース	164		
9.4 解析方法	164		
9.4.1 解析の種類	164		
9.4.2 インベントリ分析	164		
9.4.3 インパクト評価	165		
9.5 データベースの詳細	165		
9.5.1 船舶仕様データ	165		
9.5.2 プロセスデータ	165		

1. はじめに

ISO14000シリーズの普及に伴い、資源の多くを船舶で輸入している日本では、船舶輸送に関わるインベントリデータの整備が求められている。しかし、船舶は数万の部品で構成され、その建造、運航及び解体の方法や場所は多種多様であり、これまで、船舶のライフサイクルの環境負荷を定量的に評価するLCA(Life Cycle Assessment)手法の具体的な適用は検討されてきていない。

本研究では船舶へのLCA手法の適用の初めとして、モデル船を対象とした船舶のライフサイクルインベントリ(LCI)分析を実施し、船舶輸送のCO₂排出量に関するインベントリデータの作成を行う。また、試解析の実施を通じて、船舶へのインベントリ分析の実施方法を作成し、その適用方法を解析ソフトとして試作することを目標とする。

著者等は船舶輸送のインベントリデータを提供する手法を確立するため、船舶のLCI分析のモデル化を試みた。船舶の建造、運航、解体及び鋼材のリサイクル等で消費される主な材料、エネルギー及び排出物に関する実態調査を行い、製造工程や運航パターンを最小技術単位(プロセス)で把握した。ライフサイクル中での環境負荷を与えるプロセスを明確にするため、解析手法は各段階の実態調査の結果に基づいて把握したプロセスの積み上げによる行列法とした。油タンカー(87,000dwt)をモデル船としてCO₂排出量に関するLCI分析を実施し、ライフサイクル全体でのCO₂排出量を船舶に関係するプロセス単位で求めた。また、本手法を大型タンカー(VLCC)、大型撤積船又は大型コンテナ船等の各種船舶に適用し、運航時の単位輸送量当たりのCO₂排出量等を求めた。これらの解析の実施を通じて、船舶のLCI分析の実施方法を明らかにし、船舶用のLCA解析ソフトの試作を行った。

本報告では、本研究で実施した船舶の建造、運航、解体・リサイクル等の実態調査、解析手法の作成、モデル船舶や各種船舶への解析手法の適用及び船舶用解析ソフトの作成についての研究結果を報告する。

2 ライフサイクルアセスメント(LCA)の概要

2.1 LCA(Life Cycle Assessment)とは

地球温暖化、有害物質による健康被害、資源枯渇等の環境問題は、21世紀における最大の問題の一つとなると予測される。これに対処するためにはいろいろな試みが必要であるが、一つの環境負荷を低減するための改善が別の面での環境負荷を増すこともありうる。船舶でいえば、運航時の二酸化炭素の排出を低減するために船型の改良や機関の熱効率向上の改善を行った場合でも、もし製造時の投入エネルギーの増大や廃棄困難な物質の使用を伴うならば、トータルでの環境負荷がはたして本当に低減したかといった疑問が生じる。そこで、ある製品の環境負荷は、図-2.1に示すように、原料の採取から始まり、製造、使用、そして最終的な廃棄までの生涯(Life Cycle)の環境影響を、輸送やリサイクルを含めてすべて算出して評価

(Assessment)しなければならないと考えられるようになった。このような評価を行うために、科学的根拠を有する客観的な手法として、ライフサイクルアセスメント(LCA)が提唱された。

LCAでは、製造から廃棄までに投入されたすべての資源、排出されたすべての物質を調べ上げ、その環境への様々な影響を見積もらなければならない。たとえば、製造時に使用した電力については、発電所の建設・廃棄まで含めて単位電力あたりの環境負荷を見積もらなければならない。船舶では、機関から排出される二酸化炭素等だけでなく運航時の生活廃水やごみ焼却まで対象にする必要がある。このような計算を完全に行うことは現実的には不可能であり、合理的な考え方に基づく簡略化や不足データの補完が必要である。LCAの手法はまだまだ発展途上にあるが、研究レベルだけでなく、国際規格とするための作業がISOで議論されており、環境管理規則を定めるISO-14000シリーズの一環であるISO-14040（日本工業規格ではJIS Q 14040）シリーズとして採り入れられつつある。¹⁾

2.2 LCAの手法

LCAの分析作業は、図-2.2に示すように、目的と調査範囲の設定、インベントリ分析、影響評価及び解釈の4つの段階(phase)に分けられる。これらの段階は、単に順番に進めればよいというものではなく、図-2.2の双方向の矢印が示すように、再検討や再定義など、相互にやりとりをしながら進められる。

目的と調査範囲の設定 (Goal and scope definition) は、LCAにおいて非常に重要でありISOでも項目を具体的に定

めている。目的としては、実施理由（新製品開発、環境情報の開示等）、報告の対象者（消費者、社内職員等）、結果の用途（製品比較情報の提供、自主的な改善等）を定め、調査範囲としては、考慮する対象範囲、比較する場合の機能単位、手法・前提・制約条件、データの品質要件等を目的に応じて設定する。たとえば、工場での加工法の改良による近隣への環境負荷低減を目的とするのか、環境負荷低減をセールスポイントとする新しい製品の開発を目的とするかで、考慮すべき環境負荷の範囲や調査すべき項目、分析手法が異なる。目的と調査範囲は、必要に応じて分析途中で随時見直すこともある。

製品の生涯にわたる物質の収支の算出すなわちインベントリ分析 (Inventory analysis) は、実際の作業としてはもっとも時間を要する部分であり、図-2.3に示すような製品の入出力のフローを考えて、部品の構成材料を重量別に集計し、加工・運搬等のエネルギーは廃棄物を積算する。環境影響を評価するためのインベントリ分析では、本来は製品システムへの入出力は図-2.3の下段のような自然との直接の入出力のレベルまで行う必要がある。すなわち、入力としては鉱石や原油、太陽光などであり、出力は大気や水中へ放散される物質である。

しかし、通常の生産現場で把握できるのは、上段に示すような電力、燃料油等のエネルギー、購入される資材、部品及び出荷される製品と処理業者に委託される廃棄物等であることから、まず資材や製品のレベルで出入力フローを作成することが行われる。さらに上流・下流側のデータは、関係企業との協力、コンサルタントへの依頼、データベースの利用等で補うが必要になるが、これらのデータの整備は不十分であり、現状ではインベントリ分析を完全に行うことは難しい。欠けているデータを、一定の原則のもとにいかに合理的に補完するかが、インベントリ分析の質を左右する。

自社内での作業プロセスに関するデータは、図-2.4に示すように、作業を単位プロセスにわけたフロー図を作成し、個々の単位プロセスの入出力を把握し、それらを積み上げて総和として出入力を求める必要がある。ただ、目的によっては工場単位の入出力を求めて、重量比や価格比により個々の製品に割り付けるといった簡略化も行われる。対象とするシステムへの物質・エネルギーの出入を定量的に算出した表を作成することがインベントリ分析の目的である。

環境影響評価 (Impact assessment) では、環境影響領域 (impact category) ごとに、対象とする製品がどれだけの負荷を与えるかを定量的に求める。環境影響領域としては、たとえば表-2.1に示すようなものが提案されている。²⁾

ここでは、大きく資源の枯渇、汚染及び破壊の3つの分野にわけている。インベントリ分析で求めた排出物を物質ごとに集計し、どの影響領域に関係するかを割り振り (classification)、それぞれの影響度を定量化する

(characterisation)。

影響領域の影響度を定量化するためには、いくつかの方法等が提案されている。たとえば、鉄鉱石や原油等の「非生物資源の枯渇」という影響領域では、式(1)のように可採資源量との比として定量化できる。 Σ 記号は、複数の資源についての和をとることを意味する。

$$\text{非生物資源の枯渇} = \Sigma \frac{\text{資源使用量(kg)}}{\text{可採資源量(kg)}} \quad (1)$$

「温暖化効果」という影響領域では、温暖化効果を有する二酸化炭素、フロン、メタン等の排出物質を二酸化炭素量に換算して定量化する方法が提案されている。換算のための係数として温暖化ポテンシャル GWP (Global Warming Potential) を定義すると、温暖化の定量化は式(2)で表される。

$$\text{温暖化効果(kg)} = \Sigma GWP_i \times \text{大気中への排出量(kg)} \quad (2)$$

GWPについては、各物質について二酸化炭素との比として値が決められている。物質ごとに分解までの時間が異なるため、温暖化効果を何年のスケールで考えるかによりその値が異なり、たとえば、20年という期間を考えた場合にメタン 1kg は二酸化炭素 35kg に相当するという意味で $GWP_{20}(\text{CH}_4)=35$ といった値が提案されている。

個々の環境影響の定量化はこのような換算により可能であるが、LCAの本来の目的からいえば、さらに進めて異なる環境影響を統一的に評価する必要がある。このためには、それぞれの影響領域ごとに「年間許容排出量」のような基準値を定め、排出量との比をとることで正規化し、影響領域間の重み付けを行い加算することが提案されている。しかし、影響領域の特性はさまざまで、地球規模(たとえば地球温暖化)から局所的なもの(富栄養化)まで、また蓄積性のあるもの(オゾン層破壊)から一過性のもの(騒音)といった地域的、時間的な差があり、統一的かつ普遍的な評価を与えることを困難にしている。

たとえば、ディーゼル機関の技術開発の場合、光化学スモッグや酸性雨に影響のある窒素酸化物を低減するため

の改善が燃料消費量の増加を伴うことがある。燃料消費の増大には石油資源の枯渇と地球温暖化をもたらす二酸化炭素排出の増加という環境影響がある。この場合には、二酸化炭素低減と窒素酸化物低減とが技術的にトレードオフの関係にあり、地球温暖化ポテンシャル(GWP)と、酸性雨についての定量化ファクターである酸性化ポテンシャル(AP)を統一的に評価しなければ結論が得られないことになる。

統一化手法はいくつか提案がされているが、どれを採用するかでかなり違った結果が導かれるのが現状である。LCAの目的が環境負荷の低減にあることから、環境影響評価はLCAの核心部分であるが、「年間許容量」といった基準値は純粋に科学的には決定できないという認識もあり、影響領域の重み付けについてはコンセンサスの得られる手法がなく、統一指標は研究者の間で最も議論のなされている分野である。

これまでの作業で、LCAとしての結論が得られるが、インベントリや環境影響評価のデータには不確実な要素を含んだり、範囲の設定により結果が変化することがある。これらの影響を評価し、得られたLCA結果の妥当性の検証を行う必要がある。このような段階は、結果の解釈(Interpretation)と呼ばれる。LCAは解釈までのすべての項目を網羅しなければならず、特に公表を目的とした比較評価を行う場合は結果の解釈を含め、専門家や利害関係者等のクリティカルレビュー(critical review)を受けるなどの厳密な手順を踏む必要がある。

しかし、自社内の技術開発や工程改善の参考として行う場合にはインベントリ分析までで十分なことも多く、このような分析をライフ・サイクル・インベントリ(LCI)分析という。環境影響評価以降のプロセスは、まだ学術的にも議論が続いている分野であり、広く認知された手法がないのが現状であることを考慮すると、とりあえずインベントリを作成してみるのがLCAの第一歩として重要だといえる。

参考文献

- 1) 日本工業規格JIS Q 14040 (1997).
- 2) R. Heijungs et al., Environmental Life Cycle Assessment of Products (邦訳は、戦略LCA研究フォーラム訳、「製品の環境ライフサイクルアセスメント」サイエンスフォーラム(1994)).

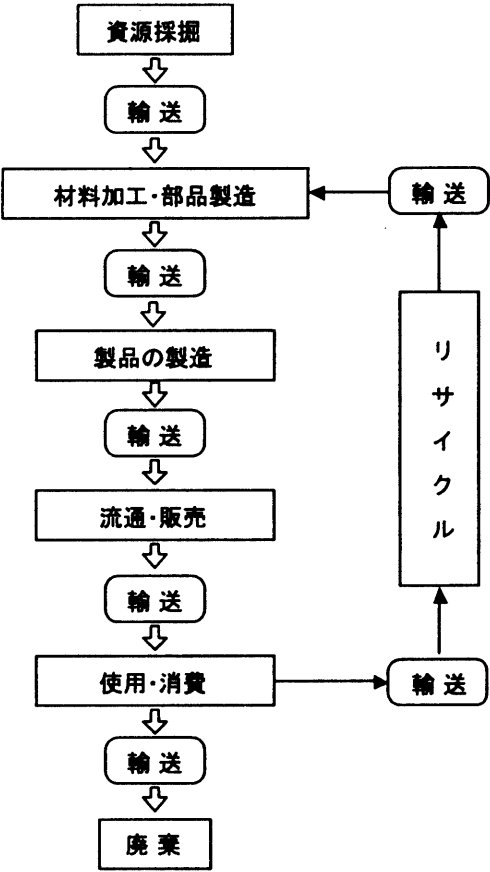


図-21 製品のライフサイクル

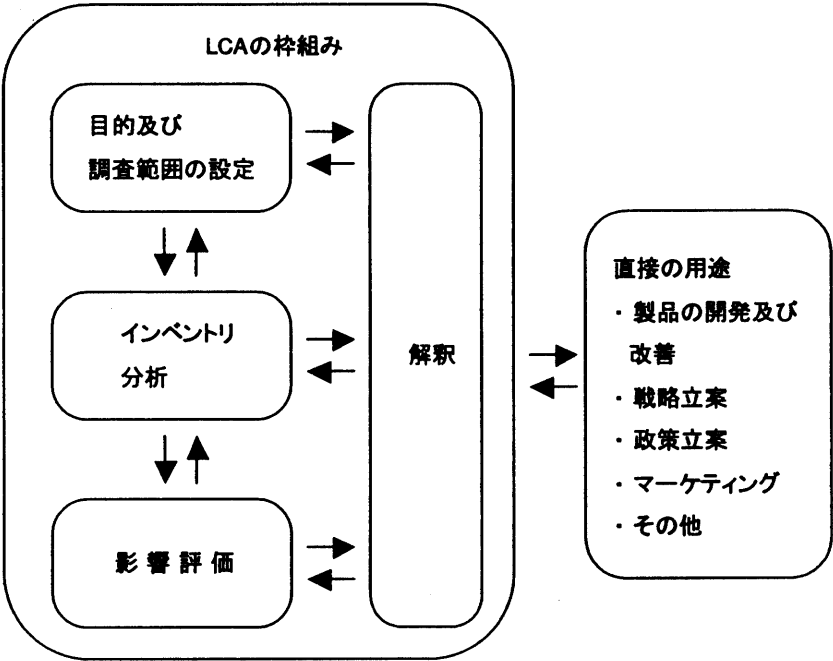


図-22 LCAの枠組み(フレームワーク)

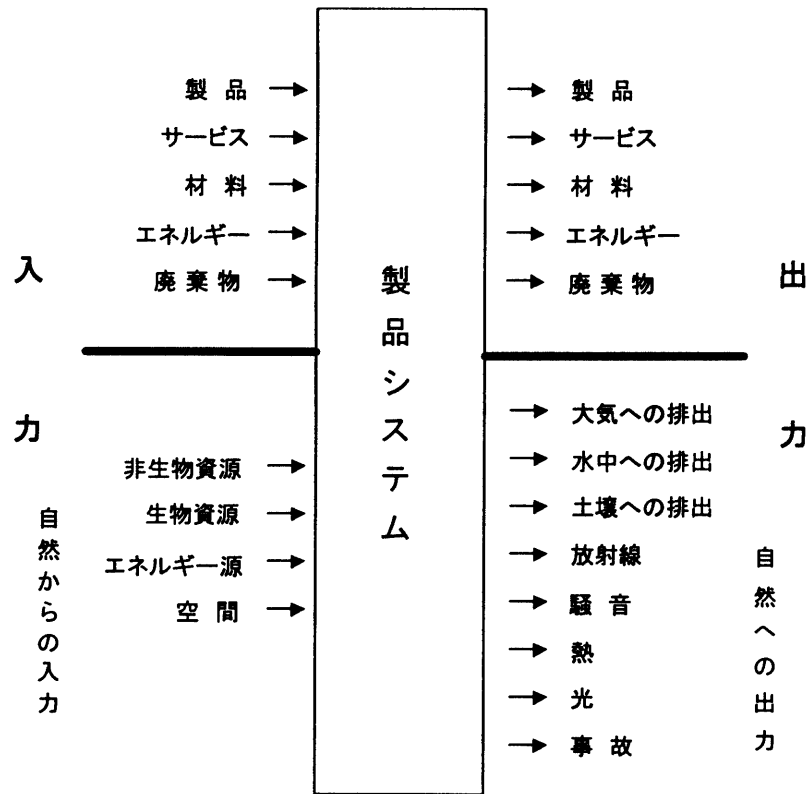


図-23 製品システムへの入出力

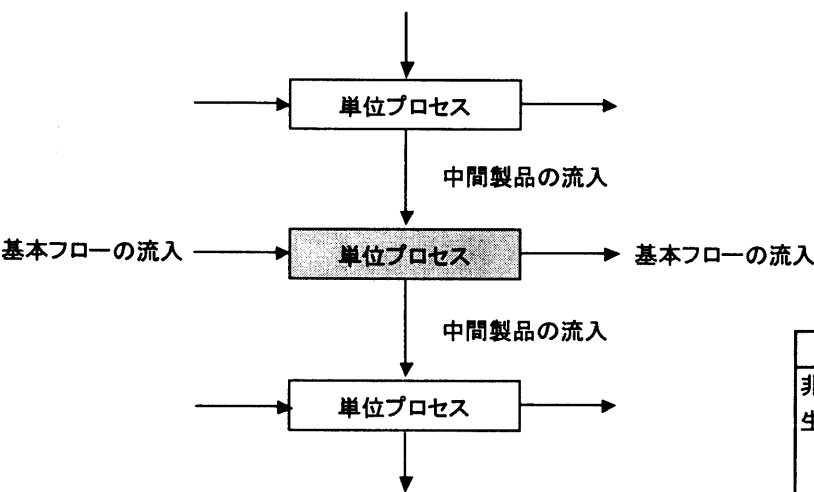


図-24 単位プロセスの入出力

表-2.1 環境影響領域の種類²⁾

枯 渇	汚 染	損 傷
非生物資源 生物資源	地球温暖化 オゾン層破壊 人体への毒性 生態への毒性 光化学スモッグ 酸性雨 富栄養化 放射線 廃熱 騒音 臭気 労働環境	砂漠化 物理的損傷 景観の損壊 人的犠牲

3. 解析手法

まえがき

本研究で解析に使用したインベントリ分析の手法について以下にその概要をまとめる。

3.1 インベントリ分析

3.1.1 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、個別の船舶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個別の船舶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。

3.1.2 計算手法

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、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であり、また、信頼性分析等高度な解析処理に対応することができない。

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列行列で表現するため、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。

3.2 行列法

本研究では個別の船舶の解析を要素技術をベースとして直接解析できる積み上げ法を適用することとした。また、計算手法には感度解析等への発展が比較的容易と考えられる行列法により解析を実施することとした。以下に行列法の概要を紹介する。¹⁾²⁾

(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(a_1, a_j)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(b_1, b_j)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。

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

(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、また、プロセスフロー中のプロセス数をq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。

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

(3)核プロセス

プロセスフロー全体は1つの機能単位として機能し、解析対象としたゴールの定義を外部に対して提供する。つまり、(2)式全体で、1つの機能単位と考えられ、全体を1つのプロセス(システム)データとして表現することができる。プロセスフロー全体を(1)式と同じ形で表現すると(3)式になる。

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

ここで、このプロセスは、(1)式と同様に列ベクトルの上部($\alpha_1, \dots, \alpha_j, \dots, \alpha_r$)は経済上のインプットとアウトプットである。また、列ベクトルの下部($\beta_1, \dots, \beta_k, \dots, \beta_s$)は環境からのインプットとアウトプットである。ただし、核プロセスは求めるゴールであるインベントリデータなので、現段階では β は未知の値である。また、このプロセスの機能単位は、対象とす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である。従って、 j 番目のタイプ(製品、材料、サービス)以外の値は全て「0」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 とし、列ベクトル(p)をプロセス量行列 P と呼ぶ。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。

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

(5) 平衡式

各工程 i で使用される製品、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。

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

(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 $|A| \neq 0$ ($\det(A) \neq 0$)であり、行列 A は正則行列であり、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($\det(A) \neq 0$) 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($p_1, \dots, p_q$)を持つ。Cramerの方法による解を以下の(7)式に示す。

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

ここで、 A^i は(8)式に示す i 番目の列を α で置換した行列である。

$$A^i = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{i1-1} & \alpha_1 & a_{i1+1} & \dots & a_{1q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & \dots & a_{ji-1} & \alpha_j & a_{ji+1} & \dots & a_{jq} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{r1} & \dots & a_{ri-1} & \alpha_r & a_{ri+1} & \dots & a_{rq} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

ただし、本解析ではプロセス量行列 P は、行列 A の逆行列 A^{-1} と核プロセスの経済的入出力に関する列ベクトル(α_i)を用いて求めた。

(9) インベントリデータ

(8) 式から得られた p_i から (9) 式により、インベントリデータ $B(b_k)$ が求まる。

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

参考文献

- 1) 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
- 2) R.Heijungs, etc., Environmental Life Cycle Assessment of Products -Guide & Buckgrounds-October 1992、ISBN 90-5191-064-9

4. 建造及び部品製造に関する調査

まえがき

船舶の建造に関するインベントリ分析を実施するため、建造及び主機関製造での作業工程(プロセス)の流れ、各プロセスで使用する資材、エネルギー及び排出物の種類等について現地調査を実施した。本章では、建造及び主機関製造の現地調査の結果及び主機関製造に関するインベントリ分析の解析結果を紹介する。

4.1 造船所

本節では、造船所におけるインベントリ分析の方針を検討することを目的に、造船所の各工程における作業内容、投入される資材、エネルギーおよび排出物の種類とそれらの管理状況について現地調査等を行った結果を報告する。

4.1.1 造船所の作業工程の流れと資材、エネルギーおよび排出物の出入

実地調査等をもとに作成した造船所の作業工程の流れと資材、エネルギーおよび排出物等の入出例を図-4.1に示す。対象とする範囲は鋼板、艦装品等の資材搬入から海上試運転終了後の船舶の引き渡しまでとし、それ以前の段階(資材・艦装品の製造および輸送)は含まない。

造船所に搬入される資材等は、図-4.1に示すように、鋼板、型鋼(T型鋼・アングル材)、パイプ、艦装品(小)、艦装品(大)に大きく分類できる。鋼板は、水切りされ、ショットブラストおよびプライマー塗装された後、型鋼とともに、平行部と曲がり部の2つの加工ラインにおいて切断、曲げ、溶接、塗装等が行われる。これにより、ある程度の大きさまで組み立てられた後、それらを合わせたブロックに組み立てられる。一方、パイプは、別のラインで切断、曲げ、溶接等により艦装可能な状態にまで加工され、艦装品(小)とともにブロックに艦装される。艦装の終了したブロッ

クはドックの中で結合される。その際、主機等の艦装品(大)およびパイプの接合部等が取り付けられる。この段階まで完成した船舶は進水し、外の岸壁で残りの艦装を行った後、海上試運転が行われ、最終的に完成・引き渡しとなる。

また、各工程において、投入される資材、エネルギーおよび排出物も図-4.1にあわせて示す。例えば、鋼板平行部加工の溶接工程では、CO₂溶接および被覆アーク溶接の二種類の作業が行われ、新たな資材として溶接棒(ワイヤ)が、エネルギー等として電力、二酸化炭素がそれぞれ投入されている。一方、排出物には二酸化炭素、スラグおよびヒュームがある。

4.1.2 造船所における資材、エネルギーおよび排出物の管理状況

(1) 資材

造船所において投入される資材の管理状況は、以下のよう分類して整理できる。

①船舶の構成要素となるもの(鋼板、型鋼、パイプ、艦装品)

これらは、設計データ(図面、部品表等)から数量が把握されている。

②溶接、塗装等の作業に伴い投入されるもの(溶接棒、フラックス、裏あて材、塗料、シンナー等)

これらは、作業所毎に使用量が管理されており、合計すれば総量の計算が可能である。また、溶接線長および塗装面積は、設計データから計算が可能であり、歩留まりを考慮すれば、設計段階で量の推定が可能である。

③消耗品・設備

これらについては、使用量または交換頻度は把握されているものの、船舶一隻あたりに割り付けるためには、建造トン数等をもとに按分するなどの方法が必要である。

(2) エネルギー等

造船所において投入されるエネルギー等は、電力、燃料ガス(プロパンガス等)、その他のガス(酸素、二酸化炭素等)、油類(重油、軽油等)および水に分類される。これらの多くが、造船所単位で管理されており、工程または作業単位で管理されていない場合が多い。したがって、船舶1隻当たりの使用量は、建造トン数等をもとに年間使用量等を按分して推定するなどの方法が必要である。

① 電力

電力はすべての工程で使用されており、使用量は、変電所(建屋またはドック)単位で管理されており、各工程または作業単位で管理されていない。一時的ではあるものの、ドック排水時には大容量の電力が必要となり、この部分については特に考慮が必要である。

② 燃料ガス(プロパンガス等)

燃料ガス(プロパンガス等)は、主に切断、溶接および加熱(曲げ)に使用される。これらは、造船所単位で管理されており、工程または作業単位では管理されていない。

③その他のガス(酸素、二酸化炭素等)

酸素は、切断および加熱に、二酸化炭素は溶接にそれぞれ主に使用されている。使用量管理は、燃料ガスと同様に造船所単位で管理されている。しかし、ボンベで購入される窒素、アルゴン等については作業所単位で量の把握が可能である。

④油類(重油、軽油、灯油、ガソリン)

油類の中で、重油は海上試運転に、軽油またはガソリンは運搬等の車両に、灯油は暖房およびパイプ洗浄にそれぞれ使用される。車両に使用される軽油等については、工程または作業単位で使用量を把握することは難しい。

⑤水

水は、鋼板の曲げ作業、出航バラストおよび生活用水に主に使用される。使用量は、出航バラスト量の把握、漏水検知等を目的に数力所で管理している。また、汚水は造船所内で処理し、再利用している。

(3)排出物

①産業廃棄物

産業廃棄物として処理されるものは、スラグ、焼却処理後の灰、廃塗料、廃油、梱包材、廃水処理後の汚泥等である。現状では、これらの分別は行っておらず、合計として廃棄物の量を把握しているのみである。したがって、船舶1隻あたりの排出量は、建造トン数等をもとに年間排出量等を按分して推定する方法が必要である。

②大気中への排出

大気中に排出されるものは、塗料・シンナー、二酸化炭素(CO₂溶接用)、ヒューム、排ガス等である。塗装中にミストとして大気中に放出される塗料の量は概ね把握している。また、シンナーおよび二酸化炭素は最終的にすべて大気中に放出されるものと考えられる。したがって、これらについては投入量から排出量の概算が可能である。一方、車両の排ガス等については、現状では把握が難しい。

③リサイクル原料(スクラップ)

リサイクル原料(スクラップ)として出されるものは、鋼板、パイプ、使い残した溶接棒および電線である。量は管理されており、歩留まりもそれぞれ把握していることから、1隻あたりの量は計算可能である。

4.1.3 プロセスデータ

造船所の管理状況から、投入される資材およびスクラップについては、設計および資材管理面で数量が詳細に管理されており、インベントリの作成は可能であると考えられる。しかし、投入されるエネルギー等と排出物は、造船所単位の管理となっており、船舶1隻あたりの使用量または排出量は、年間の総量を建造トン数等で按分して推定する方法が必要となる。それ以上詳細な工程または作業単位での推定を行うためには、各作業のプロセス(溶接、塗装等)において、プロセスデータ(ある単位の作業を行う際に必要となる資材、エネルギーおよび排出物の数量の関係を表すデータ)を整備し、それをもとに積算して推定する

ことが必要となる。

溶接作業のプロセスデータの一例を図-4.2に示す。これは、ワイヤ径φ1.2mmのスラグ系フラックス入りワイヤを用いた炭酸ガスアーク溶接により脚長6mmの水平すみ肉溶接を行った場合、溶接線長1mに対して使用されるワイヤ、電力、炭酸ガスの量および排出される炭酸ガスの量を表している。厳密にはスラグ、ヒューム等の排出物も存在するが、非常に少量であることからここでは考慮していない。設計データから溶接線長が分かれば、投入されるエネルギーおよび排出物の量が推定できる。すべての工程または作業において、このようにプロセスデータを整備して積算することができれば詳細なインベントリ分析が完成する。しかし、プロセスデータによる推定法は、積算による誤差増大をまねく恐れがあるため、按分による推定法等と比較・検討を重ねながら行われる必要がある。

4.1.4 まとめ

船舶の建造工程におけるインベントリ分析方針の検討を目的に、造船所の各工程の作業内容、投入される資材、エネルギーおよび排出物の種類およびそれらの管理状況について造船所の現地調査等を行った。その結果、設計および資材管理のデータと各工程または作業におけるプロセスデータの整備により、投入されるエネルギーと排出物についてのインベントリ分析が可能であることが分かった。

4.2 主機関製造

4.2.1 概要

船用主機関のライフサイクルインベントリ(LCI)分析を試みることを目的に、国内の主要な船用主機関製造工場の現地調査を行い、製造工程、作業内容、投入資材・エネルギーおよび排出物の種類と管理・処理状況について調査した。

これにより主機関製造工場の主要な製造工程は、機械加工、機関組立、試運転であり、部品については大方が購入調達されていた。そこでさらに主機関構成部品の主要部品である鋳・鍛造部品、製缶部品について現地工場調査を行った。調査結果に基づき、主機関製造のLCI分析を試みた。

4.2.2 主機関製造工程

大型船の主機関は2サイクル船用ディーゼル機関が多いことから、調査対象として、1.6万〜2万PSクラスの2サイクルエンジンを選んだ。

船用主機関の製造工程は、工場の所有する設備の種類と能力や製造するエンジンの出力レベルなどによって多少異なるが、受注から試運転・発送までの流れは概ね図-4.3に示されるとおりである。素材・部品の多くは購入品として工場外部から調達され、それらの一部部品には機械加工が施されて、エンジン全体が組み立てられる。図-4.4に組立工程のイメージを例示する。組立工程は、エンジン構造

用主要部品である台板、架構およびシリンダーフレームを中心とした3ラインの部分組立、これらと部品ユニットによる全体組立からなる。図-4.5に主要部品ユニットおよびそれらの機械加工などの作業工程を含めたより詳細な製造工程を例示する。

エンジンは、数え方にもよるが数万～10万の部品からなる。また、部品単体については、台板、架構といった大重量部品からボルト・ナットのような小物まで大小さまざまであったり、過給機、補助ブローアなど多くの部品で組み上がった完成品を1個の部品として数えたり、種々様々である。部品把握レベルの設定は難しい面があるが、表-4.1に出力16,800PSの機関Aと出力19,320PSの機関Bの主要部品26項目の重量と材料を例示する。これら主要部品によって機関乾燥重量(潤滑油等を含ない重量)の約80%程度が把握されている。なお、機関Aと機関Bでは、重量部品である台板と架構の材料が異なっており(一方が鋳鉄、他方が炭素鋼)、総重量は機関Bの方が軽くなっている。

図-4.5に示す製造工程の枠内で機関Aを1台製造する場合に必要な資材、部品、エネルギー等および環境への排出物の入出力を図-4.6に示す。以下に補足説明を記す。

(1) 素材および部品

全部品の素材までさかのぼって詳細を把握するのは困難であり、大きくくくってはいるが、鋳鉄、炭素鋼、鋼板、鋼管として示した。これらで乾燥重量の約80%である。

エンジン全体の塗装としては、下地処理の後、下塗り1回、上塗り1回の合計2回の塗装が基本的に行われる。塗装作業はエアレスガンを用いて行われるが、狭隘部等については一部ハケを使つての手塗りである。使用した溶剤は塗装後、すべて大気中に放出される。

(2) エネルギー等

電力使用量(kWh)は機械加工・組立・塗装・試運転・出荷の各工程単位でそれぞれ管理・把握されており、作業時間、機械稼働時間等を基準に按分して求めることが可能である。ここでは製造馬力で按分して求めた。

A重油、シリンダ油およびシステム油は試運転時に消費される。多量に使用されるため、工事番号単位で用量が管理・把握されている。なお、試運転は、①すりあわせ運転(無負荷から全負荷まで負荷上昇)、②確認運転(カム・燃料噴射時期・排気弁開閉時期の調整、出力割合25%、50%、75%、85%、100%)、③陸上公試運転(顧客立ち会いの下、無負荷から全負荷まで)の3段階で実施され、実質運転時間は12時間から25時間である。

切削油は生産馬力あたりの使用量を原単位として予算計上され、使用実績も把握されている。機械加工は主として切削であり、大型機械には、NCプラノミラー(フライス削り)、NC立旋盤(旋削)、横中ぐり盤(旋削)、マシニングセンター(フライス削り、穴あけ等)等がある。これら大型機械は各機械毎に稼働時間が記録されている。消耗工具類は

量的に把握されていない。

水は主に試運転用に使用され、機械加工の切削水用、洗浄用、生活水として少量使用される。水の使用量は各工程単位で管理・把握されている。ここでは製造馬力で按分して求めた。

都市ガス、酸素ガスは配管部品や手すり等の切断に使用される。それらの溶接には、Arガス(TIG溶接)、炭酸ガス(アーク溶接)が使用され、これらは使用量が少ないため、ポンベ単位で購入・管理されている。

ガソリン及び軽油は工場内搬送用のフォークリフトやトラックの燃料として使用される。

(3) 廃棄物・排出物

廃棄物は全て工場内で管理・収集されて、全て産業廃棄物業者に委託されている。廃油の大部分は試運転時及び機械加工時に発生する。このうち純度の高いものは、専門業者に売却された後に再生利用される。木材・紙類は、運搬用の梱包材料で、大量に発生する。切削金属くずはすべてスクラップ業者に売却されている。これらは重量で把握されており、製造馬力等で按分可能である。その他一般可燃ゴミ、不燃ゴミは、定量的には把握されていない。

排ガスの大部分は試運転時のものであり、CO₂、硫黄酸化物、窒素酸化物等がある。これらは燃料使用量と運転条件から推算することは可能である。その他溶接時のCO₂ガス、ヒュームガスがあるが少量である。

排水には、切削水、エンジンのドレンなど工業排水と生活排水等があるが、定量的な把握はなされていない。工業排水は工場内の排水処理場で油水分離、化学処理を行った上で廃棄処分しているが、生活排水はそのまま工場内の下水に排出している。

4.2.3 各種部品の製造工程

(1) 製缶工程

掃気管、排気レシーバ、鋼板溶接構造の台板、架構などの大型部品は、鋼板を溶接して製作される。製作工程は板材切断(アセチレンガス切断)、製缶組立仮付け(CO₂アーク溶接)、溶接(CO₂アークロボット溶接・手動)、焼鈍、プラスト、塗装となる。塗装はエアレスガンで塗料の付着率は80～85%が見込まれている。製品単位重量当たりの原材料、エネルギー消費量の試算例を図-4.7に示す。

(2) 鑄造工程

シリンダカバー、連接棒、ガイドシュウ、軸受台などの鋳鉄、鋳鋼、合金鋼部品を製造する場合に必要な原材料、副材料、エネルギー等および環境への排出物等の入出力を削り代を含む製品1tあたりで試算した例を図-4.8に示す。以下に鑄造工程の概略を記す。

原材料の鋼くずは工場内リサイクル材である。溶解はアーク炉で行われ、黒鉛電極、炉の耐火材が消耗品となる。精錬には酸素が使用され、造洋材として石灰石が使用される。押し湯、湯道の切断はガス切断で、主としてアセチレンガスと酸素が使用される。熱処理は、鋳鋼品が全品焼

鈍される。合金鋼はさらに調質工程(焼き入れ、焼き戻し)が入る。欠陥の補修には CO_2 溶接が施され、鑄仕上げには、圧縮空気駆動のグラインダーが使用される。検査には、全点放射線検査と超音波検査が行われる。鑄物砂は、成形材として樹脂と硬化剤が混入される。解砕・砂落とし後、焼き付き防止のため塗型材を施した製品近くの砂は廃棄され、約90%が再利用される。

(3) 鑄鍛鋼工程

調査した工場では、船舶用および発電用の中大型鑄鍛鋼品が製造される。船舶用の製品としては、鍛鋼品では一体型クランク軸、組立型クランクジャーナル、連接棒、推進軸、ラダーストックである。鑄鋼品では鑄鋼クランクスロー、ラダーフレームなどである。

鑄鍛鋼品の製造工程は図-4.9に示すように、概ね、製鋼工程(溶解、精錬、造塊)、鍛鋼工程(鍛練、熱処理)、機械加工工程(機械加工、組立)になる。なお、鑄鋼品はそのまま製品になる場合と機械加工を経て製品になるもの、鑄鋼スローのように鍛鋼クランクジャーナルと一緒に組立型クランク軸になるものがある。また、鍛鋼品も機械加工工程を経るものとそうでないものがある。これらの製品の割合は受注状況によって大きく変動し、それぞれの重量割合まで有意に区別できるデータは把握できなかった。

図-4.10にある特定期間に出荷された製品の単位重量に対する原材料、燃料・エネルギーの消費量の試算結果を例示する。

4.2.4 主機関製造のLCI解析

主機関製造による環境負荷を算出するために行列表を用いてインベントリ分析を行った。4.2.1節で述べた主機関製造工程を簡略化して図-4.11に示すプロセスフローにまとめ、表-4.2に示す①主機関製造プロセス行列を構築した。ここで、主機関は表-4.1の機関Aを想定し、その部品・材料構成を使用した。また、廃棄物の処理及びリサイクルについては解析の範囲外とした。

プロセス行列の経済的入出力データとして、入力項目は、電力、A重油(試運転用)、アルゴンガス(溶接用)、 CO_2 ガス(溶接用)、鑄鋼部品、鍛鋼部品、鋼板、購入完成部品、出力項目は製品の主機関を考慮した。環境負荷入出力項目は、鉄鉱石、石炭、原油、天然ガスの天然資源および鉄スクラップ、環境排出にされる CO_2 、固形廃棄物の7項目とした。鉄スクラップは社外でリサイクルされる材料、固形廃棄物は廃油、包装紙類の環境負荷物である。 CO_2 に関しては、試運転時における発生分と溶接時における発生分の和として算出している。

インベントリデータは、以下のものを使用している。

・電力: NECによるLCAサポートデータベースのデータで、電力構成は、水力(11%)、石炭火力(11%)、石油火力(28%)、LNG火力(22%)、原子力(28%)となっている。

・A重油: オランダPre社SimaPro4.0のデータを使用した。

・アルゴンガス: 酸素ガスの副生材料であることから、酸素ガスのインベントリデータと同等と見なした。

・鑄鋼部品及び鍛鋼部品: 4.2.3節(3)の鑄鍛鋼工程のデータに基づいて、本節と同じ行列法によって作成した。

・鋼板: NIREデータベースの鋼塊(Steel Ingot)に圧延工程(Hot Rolling)を加味したデータを使用した。

・購入完成部品: 船舶関連の機械及び部品のインベントリデータは現在のところ存在しない。一般に機械及び部品の製造では、素材の製造段階におけるエネルギー使用量が組立段階におけるそれの方が大きいものと考えられる。以上のことより、本解析では購入完成部品はすべて鍛鋼部品に相当するものとみなした。

各製造プロセスの機能単位は次のように定めた。

・機械加工プロセス: 機械加工は切削作業が主であり、その切削量を機能単位とし、切削量は切削屑の量で表した。

・溶接プロセス: 溶接の作業量については溶着金属重量とし、溶接棒の使用量を使用した。

・組立プロセス: 組立の作業量については組立時間(hour)として考えた。組立工数のデータ(部分組み立て工数=903、全体組立工数=913)から、部分組立と全体組立の作業人数をそれぞれ3名、8名と仮定して算出した。

・試運転プロセス: 試運転の作業量については試運転時間(hour)として考え、その平均的データを使用した。

上記条件の下で表-4.2の②プロセス量行列を計算した後、表-4.2の③主機関製造の環境負荷インベントリを算出した。

CO_2 排出量に注目すると、主機関重量460tに対して約2.5倍の約1,100tとなった。船用主機関製造による CO_2 排出量の内訳を図-4.12に示す。約90%が素材・部品の製造段階で発生しており、船用主機関製造工場からの CO_2 排出量は約10%である。さらに、船用主機関製造工場における CO_2 排出量の内訳を図-4.13に示す。機械加工工程や組立工程における CO_2 排出量はわずかで、約94%は試運転工程からの排出である。

4.2.5 まとめ

船用主機関のLCI分析を試み、主として CO_2 排出量について解析した。排出量の約90%は素材・部品の製作段階で排出され、船用主機関製造工場からの CO_2 排出量の大部分(約94%)は試運転工程からの排出である。

今後、解析精度を上げるためには、素材・部品の数量と材料の把握レベルの向上と素材・部品製造段階のプロセスデータやインベントリデータの整備が必要である。

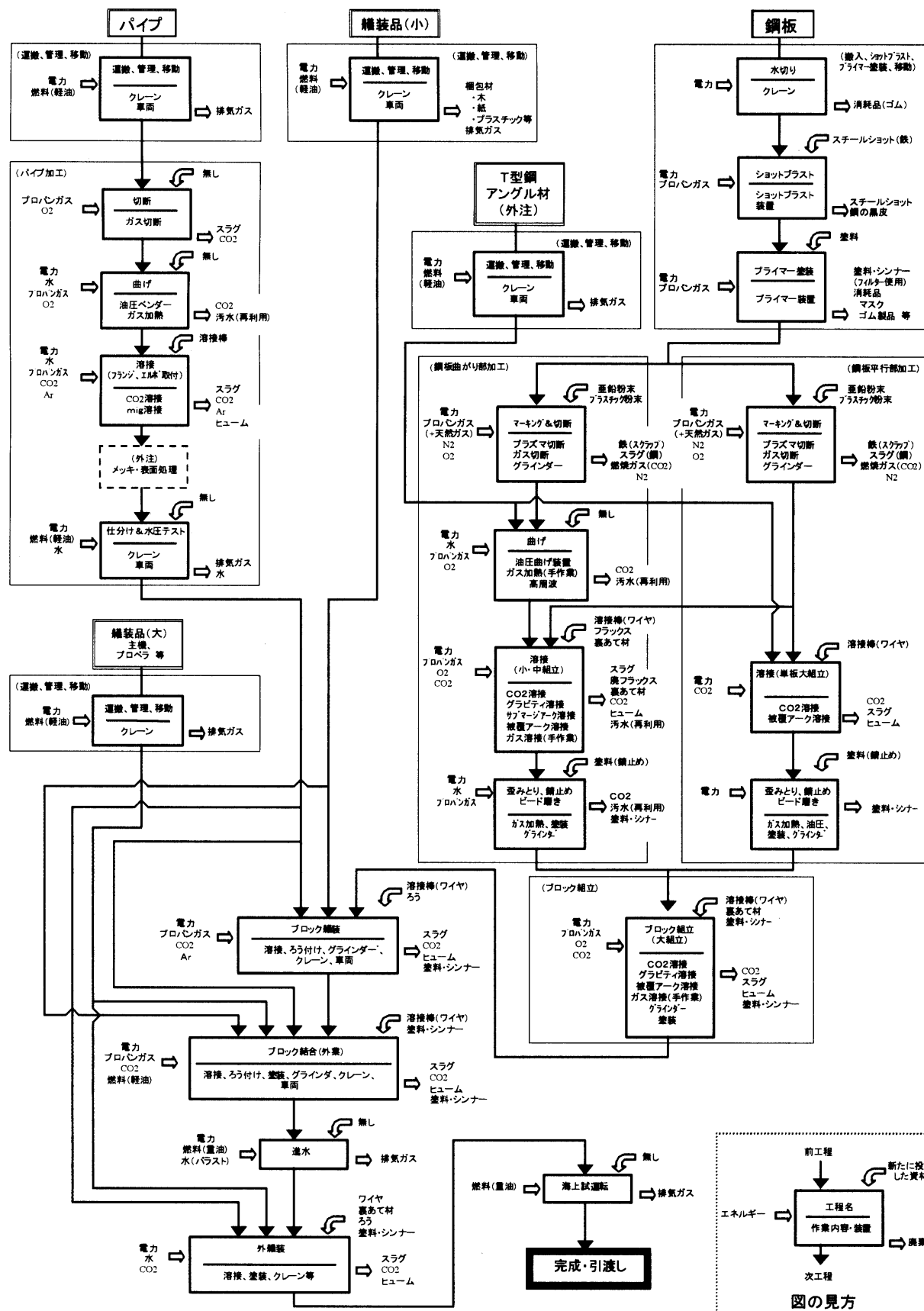


図-4.1 造船所の作業工程の流れと資材、エネルギーおよび排出物の入出例

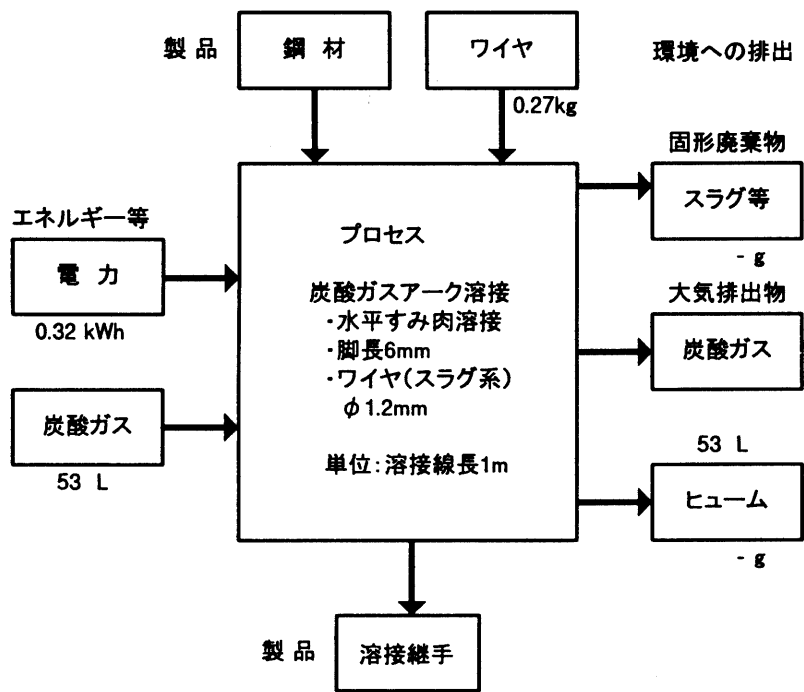


図-4.2 溶接作業のプロセスデータの例

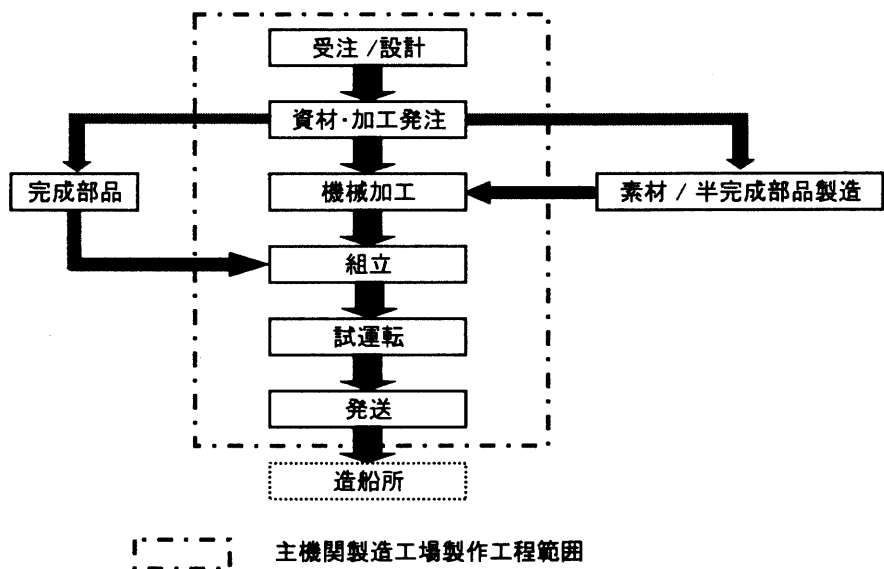


図-4.3 主機関製造工程

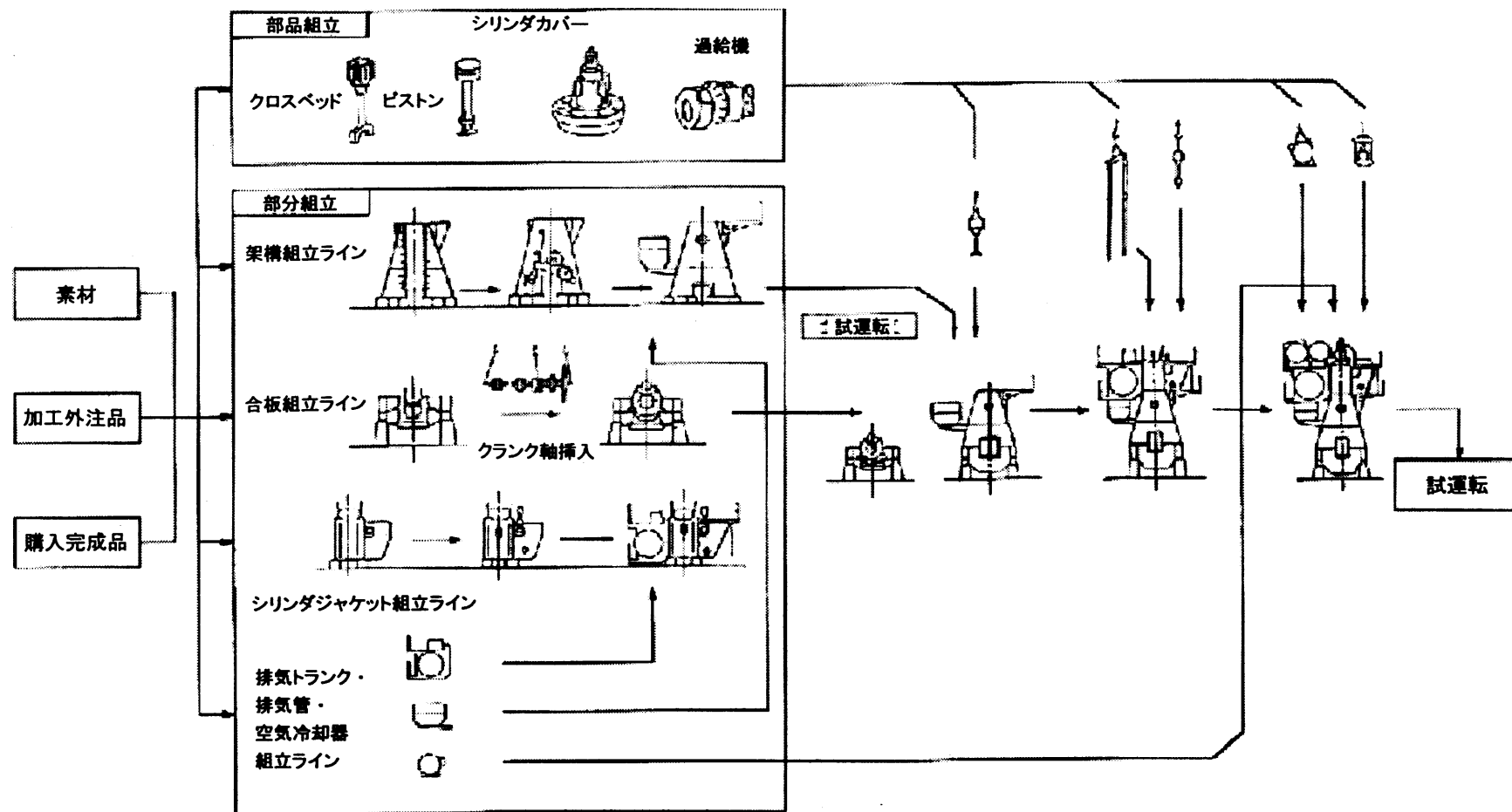


図-4.4 工場における組立工程の一般的な流れ

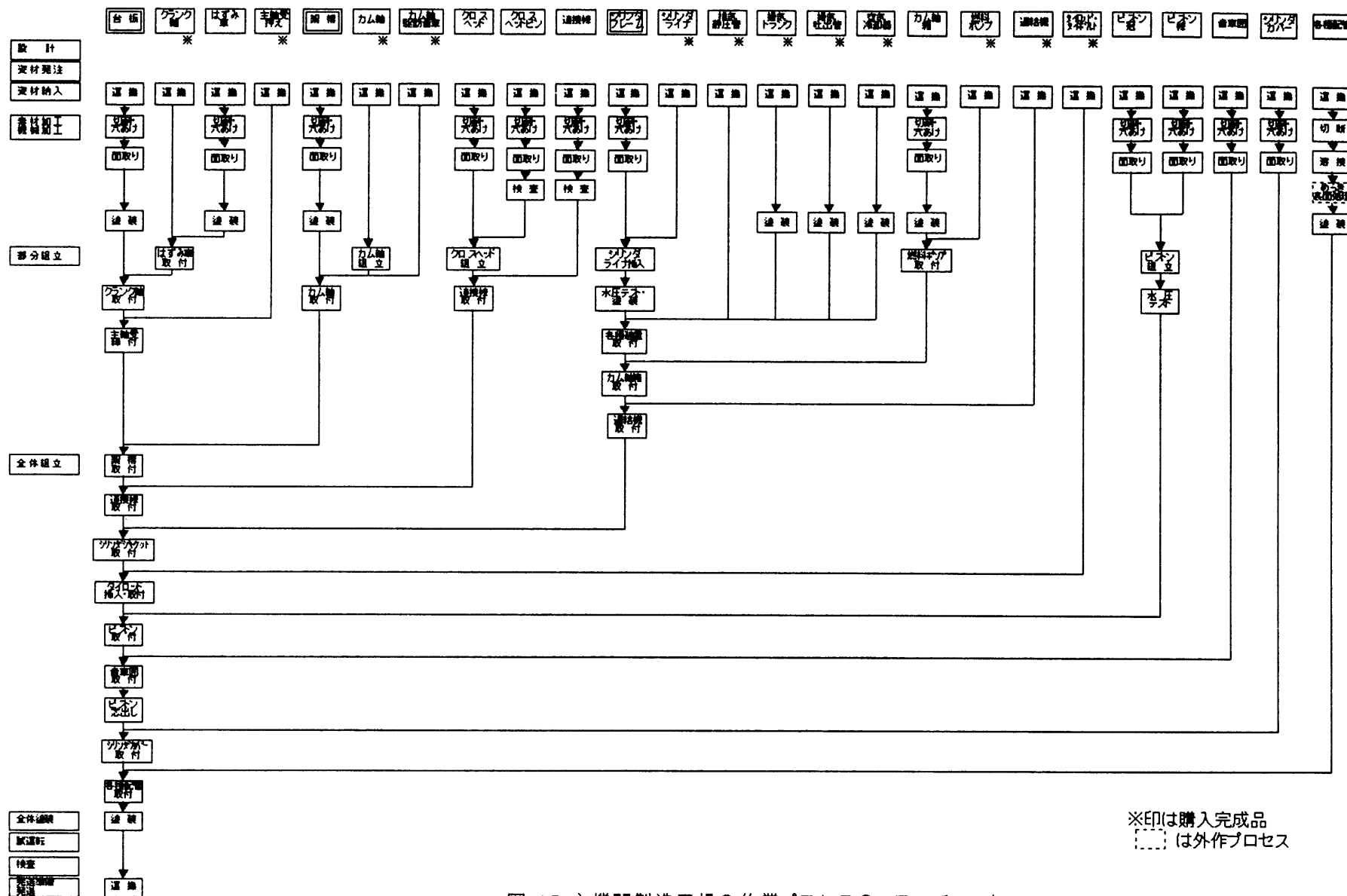


表-4.1 機関主要部品の重量

No.	部品名称	機関A(16,800PS)			機関B(19,320PS)		
		材料	重量[kg]	重量割合[%]	材料	重量[kg]	重量割合[%]
	(大型部品)						
1	台板	鋳鉄	66,296	14.4	炭素鋼	48,509	11.3
2	架構	鋳鉄	56,262	12.2	炭素鋼	43,886	10.2
3	シリンダジャケット	鋳鉄	43,581	9.5	鋳鉄	40,715	9.5
	(中小型部品)						
4	主軸受押え	鋳鉄	3,060	0.7	炭素鋼	1,152	0.3
5	シリンダライナ	特殊鋳鉄	17,710	3.9	特殊鋳鉄	20,468	4.8
6	排気弁箱	鋳鉄	3,248	0.7	鋳鉄	4,690	1.1
7	はずみ車	鋳鉄	3,289	0.7	鋳鉄	2,110	0.5
8	歯車囲	鋳鉄	3,634	0.8	炭素鋼	1,981	0.5
9	カム軸箱	鋳鉄	5,845	1.3	鋳鉄	5,650	1.3
	(機械加工品)						
10	タイボルト	炭素鋼	14,528	3.2	炭素鋼	13,600	3.2
11	シリンダカバー	炭素鋼	10,703	2.3	特殊鋳鉄	13,916	3.2
12	クランク軸	炭素鋼	74,453	16.2	炭素鋼	80,822	18.8
13	連接棒	炭素鋼	11,305	2.5	炭素鋼	10,850	2.5
14	クロスヘッドピン	炭素鋼	5,474	1.2	炭素鋼	8,911	2.1
15	ピストン冠	合金鋼	1,729	0.4	炭素鋼	3,150	0.7
16	ピストン棒	炭素鋼	5,880	1.3	炭素鋼	7,385	1.7
17	カム軸	炭素鋼	2,970	0.6	炭素鋼	2,242	0.5
18	カム軸駆動歯車	合金鋼	6,240	1.4	合金鋼	2,046	0.5
	(大物板金)						
19	上段床板	炭素鋼	9,976	2.2	炭素鋼	6,316	1.5
20	中段床板	炭素鋼	3,338	0.7	炭素鋼	3,866	0.9
21	掃気トランク	炭素鋼	11,191	2.4	炭素鋼	11,633	2.7
22	掃気吐出管	炭素鋼	7,956	1.7	炭素鋼	1,944	0.5
23	排気静圧管	炭素鋼	5,086	1.1	炭素鋼	5,490	1.3
	(装置物)						
24	空気冷却器		2,100	0.5		3,840	0.9
25	燃料ポンプ		1,526	0.3		2,320	0.5
26	過給機		5,200	1.1		7,200	1.7
	以上小計		382,580	83.2		354,692	82.5
	その他		77,420	16.8		75,308	17.5
	機関乾燥重量計		460,000	100.0		430,000	100.0
	鋳鉄等重量計		202,925	44.1		87,549	20.4
	炭素鋼等重量計		170,829	37.1		253,783	59.0
	機械加工部品重量		213,998	46.5		—	—
	機械加工切粉		15,010	3.3		—	—

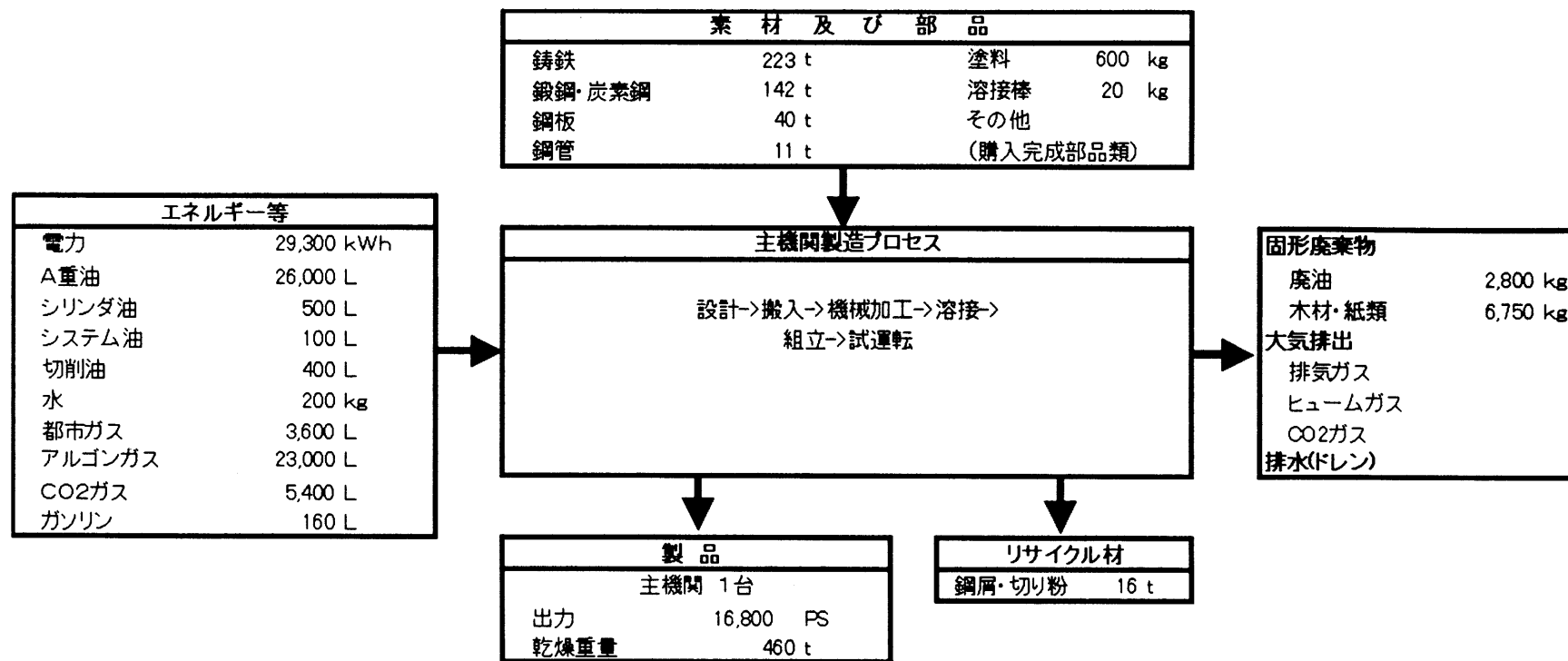


図-46 主機関製造プロセスの入出力

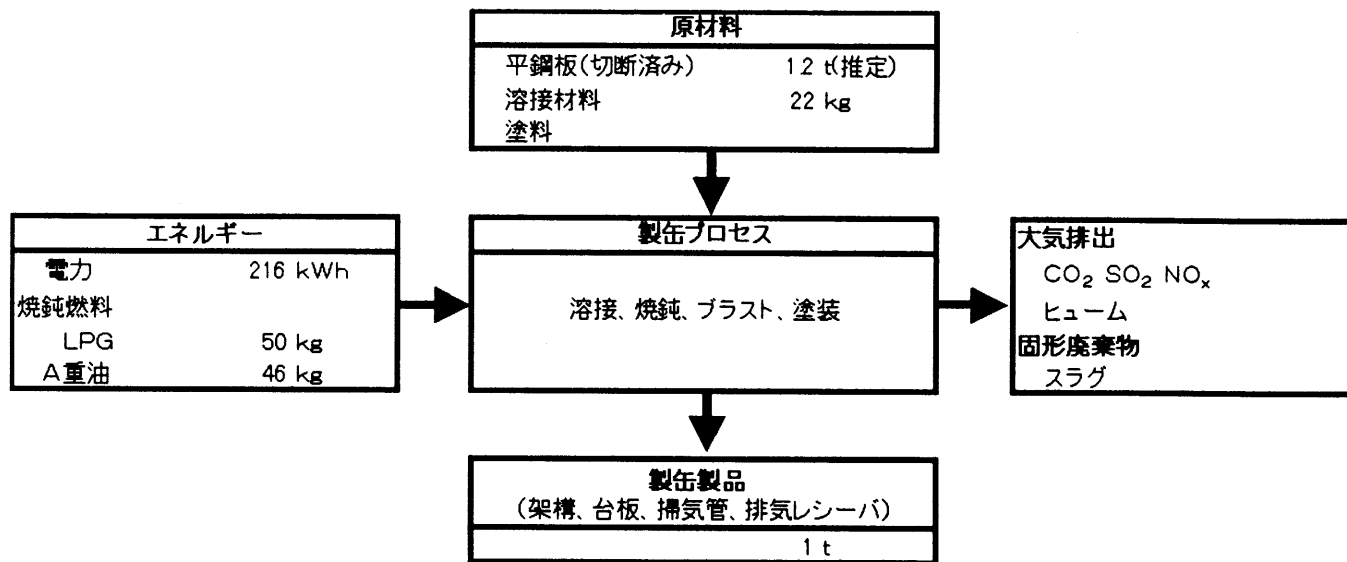


図-4.7 製缶プロセスの入出力

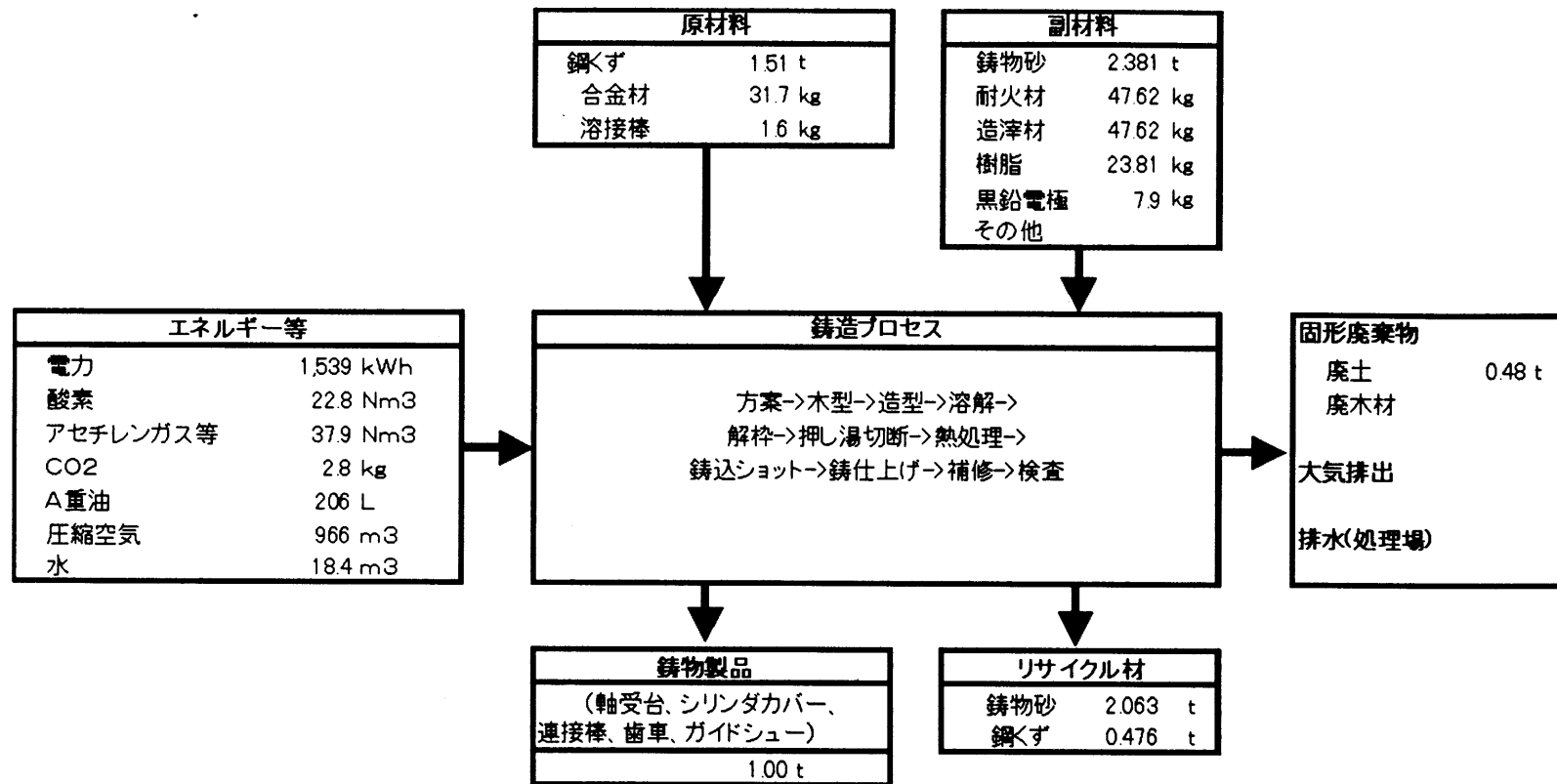


図-48 鑄造プロセスの入出力

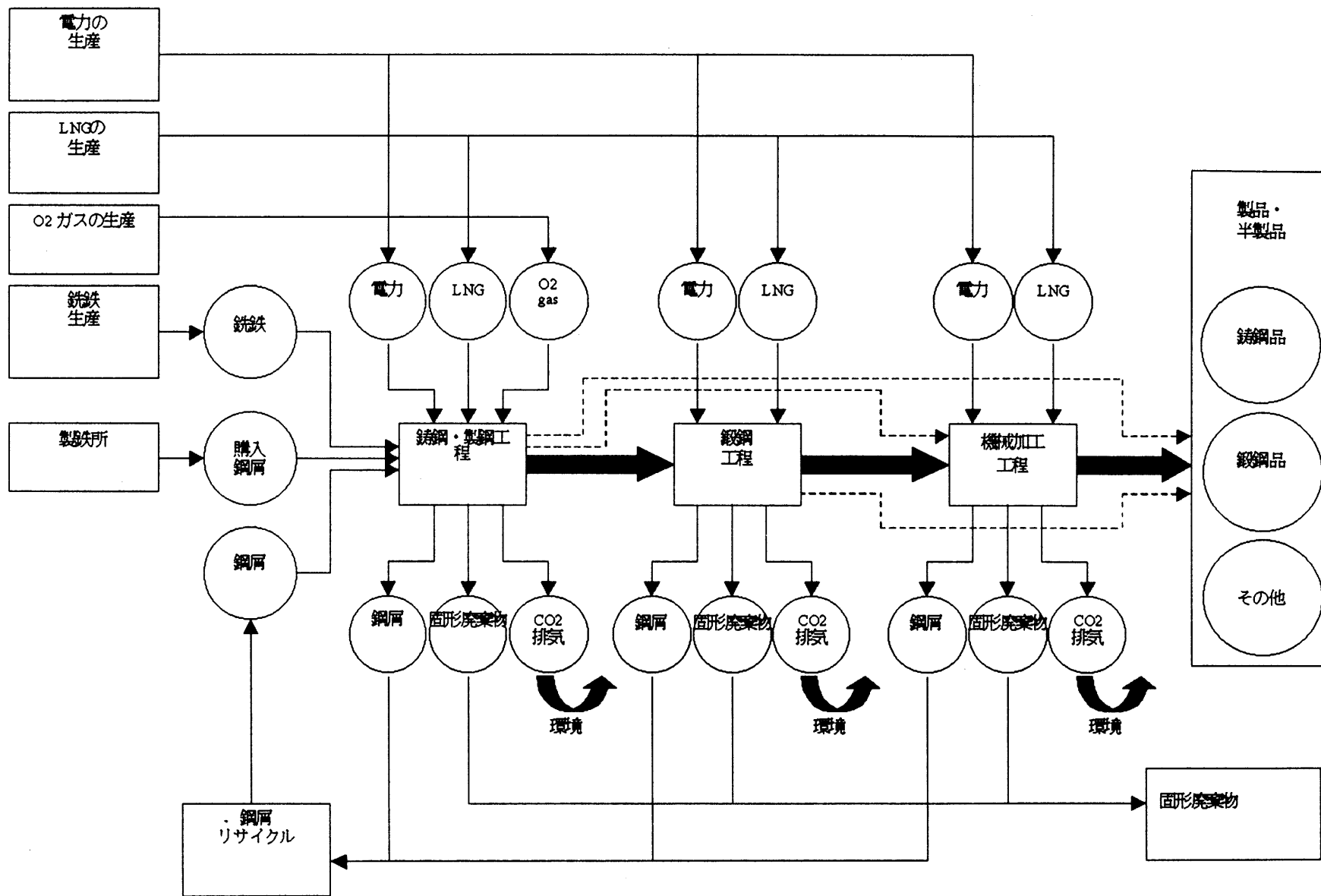


図-49 鋳鍛鋼部品の製造プロセスのフロー

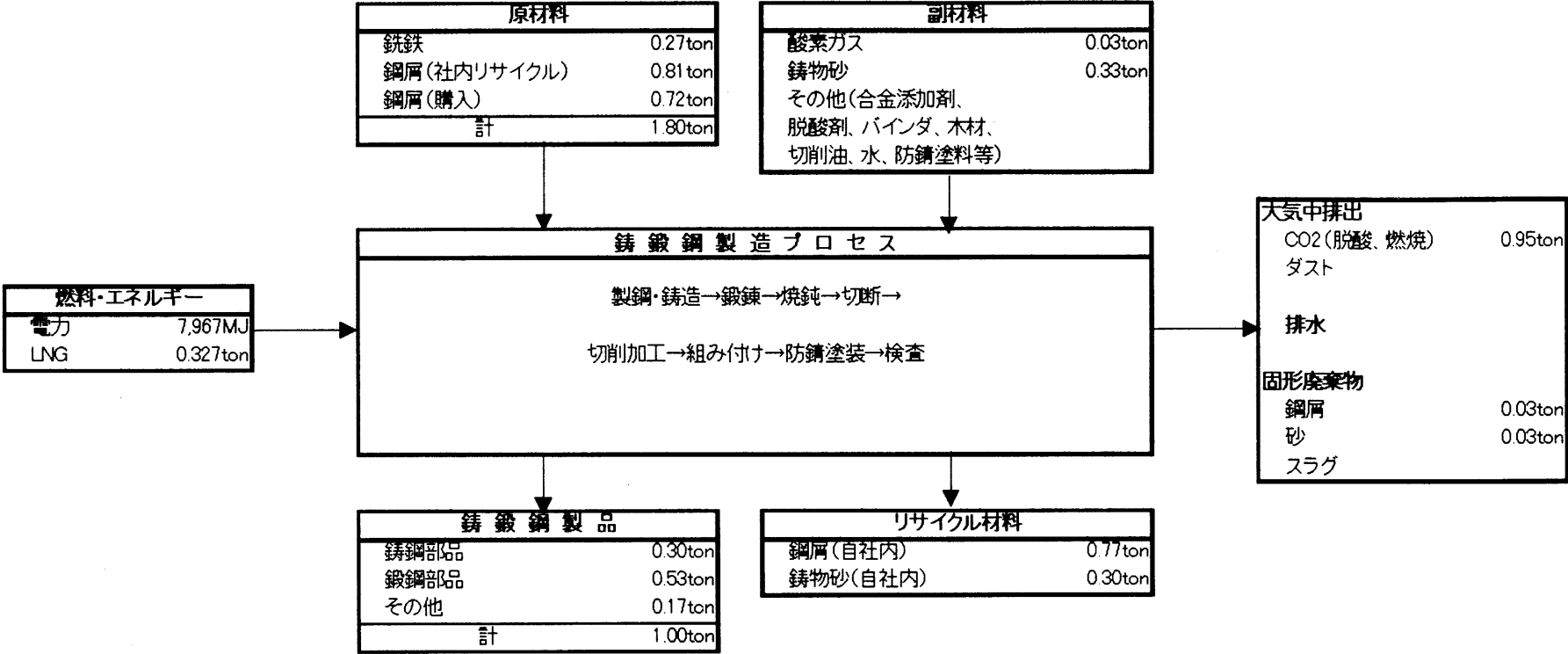


図-4.10 鑄鍛鋼製造プロセスの入出力

(58)

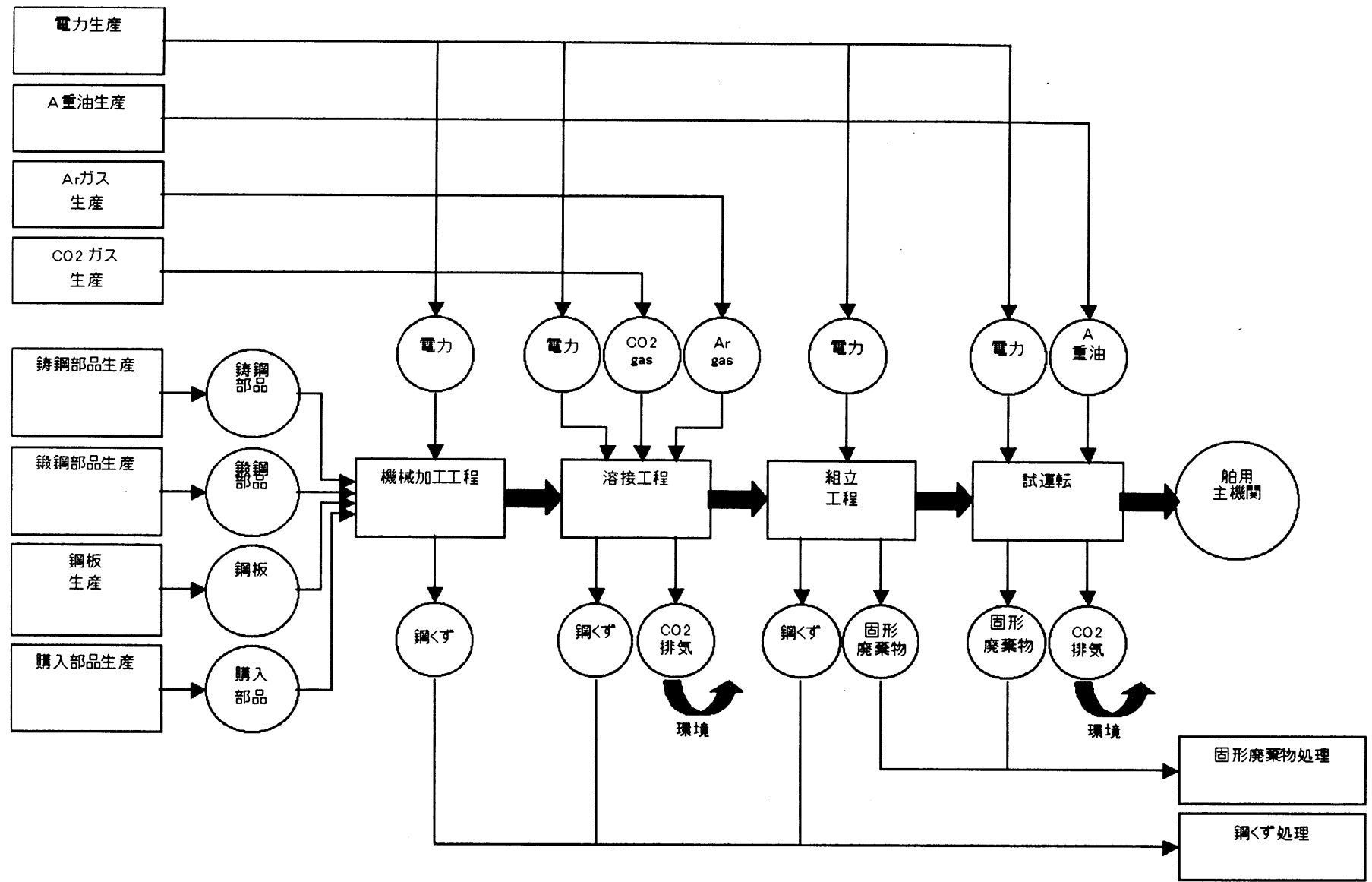


図-4.11 船用主機関の製造プロセスフロー

表-4.22 主機関製造のLC解析結果

①主機関製造 プロセス行列

		電力の生産	A重油の生産	Arの生産	CO2の生産	鋳鋼部品製造	鍛鋼部品製造	鋼板製造	購入完成部品	購入完成部品	切削加工プロセス	溶接プロセス	組立プロセス	試運転プロセス	船用主機製造
		NEC産理協	SimaPro	NIRE+NEC		SRIMOT	SRIMOT	NIRE (w2.1)	SRIMOT	SRIMOT	SRIMOT	SRIMOT	SRIMOT	SRIMOT	SRIMOT
		I	I	I	I	I	I	I	I	I	P	P	P	P	P
		日本全国平均	Diesel I	O2Iに同等仮定				鋼塊+圧延	鋳鋼相当仮定	鍛鋼相当仮定					460t
1	電力	MJ	1	0	-7.315E-01	0	0	-6.184E-01	0	0	-2.637E+00	-1.800E+00	-1.735E+01	-2.534E+03	-1.782E+03
2	A重油	kg	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.145E+03	0
3	Ar	kg	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-2.054E+00	0	0	0
4	CO2	kg	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-5.304E-01	0	0	0
5	鋳鋼部品	kg	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-2.230E+05
6	鍛鋼部品	kg	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1.420E+05
7	鋼板	kg	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-4.000E+04
8	購入完成部品(鋳鋼相当)	kg	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	購入完成部品(鍛鋼相当)	kg	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-5.500E+04
10	切削加工重量	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1.501E+04
11	溶接重量	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-2.000E+01
12	組立	hour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-4.150E+02
13	試運転	hour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-2.250E+01
14	船用主機	台	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	鉄鉱石	kg	0	-1.400E-04	0	0	-3.254E-01	-6.393E-01	-1.105E+00	-3.254E-01	-6.393E-01	0	0	0	0
16	石炭	kg	-1.156E-02	-5.100E-03	-2.185E-02	0	-5.368E-02	-1.490E-01	-5.322E-01	-5.368E-02	-1.490E-01	0	0	0	0
17	原油	kg	-1.792E-02	-1.031E+00	-3.366E-02	0	-8.687E-02	-2.382E-01	-4.272E-02	-8.687E-02	-2.382E-01	0	0	0	0
18	天然ガス	kg	-1.125E-02	-6.185E-02	-2.125E-02	-2.930E+01	-5.254E-02	-1.456E-01	-2.020E-02	-5.254E-02	-1.456E-01	0	0	0	0
19	鉄スクラップ	kg	0	0	0	0	-4.819E-01	-9.469E-01	-3.827E-01	-4.819E-01	-9.469E-01	1.000E+00	1.000E+00	1.205E+00	0
20	CO2	kg	1.172E-01	2.840E-01	2.215E-01	2.180E-01	9.249E-01	3.790E+00	1.171E+00	9.249E-01	3.790E+00	0	5.304E-01	0	3.561E+03
21	固形廃棄物	kg	8.660E-07	4.700E-03	1.640E-06	0	1.179E-01	5.578E-02	1.386E-06	1.179E-01	5.578E-02	0	0	2.651E+00	8.889E+01

表-4.2 主機関製造のLCI解析結果
② プロセス量行列

1	1.304E+05
2	2.576E+04
3	4.108E+01
4	1.061E+01
5	2.230E+05
6	1.420E+05
7	4.000E+04
8	0.000E+00
9	5.500E+04
10	1.501E+04
11	2.000E+01
12	4.150E+02
13	2.250E+01
14	1.000E+00

表-4.2 主機関製造のLCI解析結果
③ 主機関製造の環境負荷インベントリ

15	鉄鉱石	-2.427E+05	kg
16	石炭	-6.425E+04	kg
17	原油	-9.690E+04	kg
18	天然ガス	-4.458E+04	kg
19	鉄スクラップ	-2.933E+05	kg
20	CO2	1.102E+06	kg
21	固形廃棄物	4.695E+04	kg

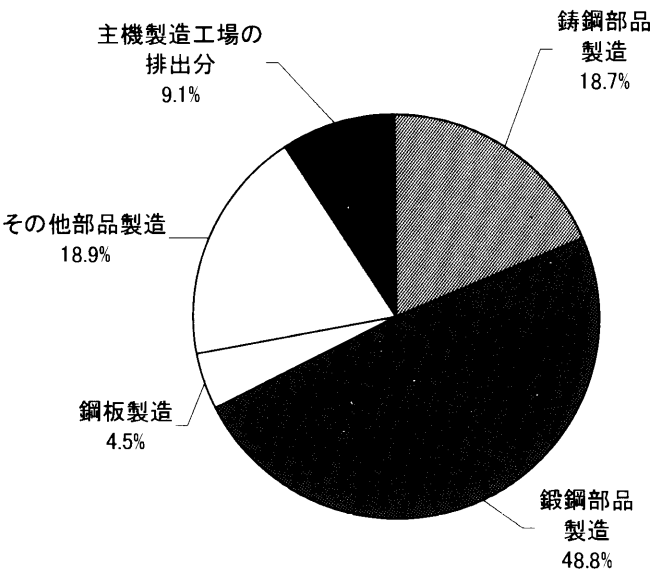


図-4.12 主機関製造のCO2 排出割合

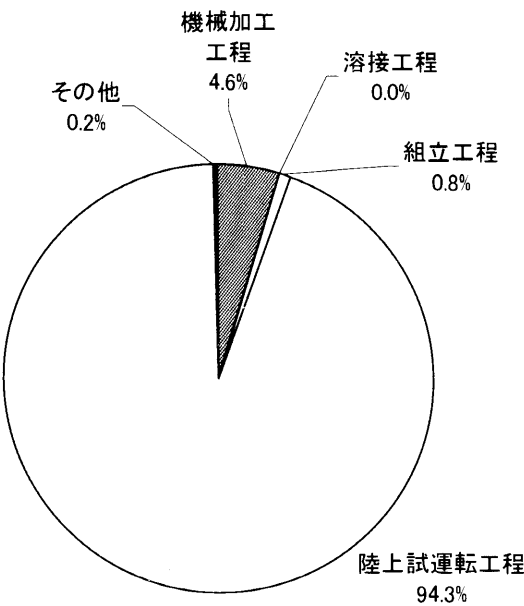


図-4.13 主機関製造工場のCO2排出割合

5. 運航に関する調査

まえがき

船舶の運航に関するインベントリ分析を実施するため、各種船舶の運航形態、貨物の積載量及び主機関等の機器の稼動状況等に関して運航記録等に基づいた実態調査を実施した。本章では、各種船舶の運航での実態調査の結果を紹介する。

5.1 概要

地球温暖化ガスの一種であるCO₂のライフサイクルでの排出量に関しては、船舶の場合、7章で例示するように、約98%が運航段階で排出されている。従って、運航段階のインベントリデータの信頼性が船舶のLCI(ライフサイクルインベントリ)分析の重要な要素となる。

従来、LCI分析では船舶輸送における排出ガスを算出する場合に、要目表や運航性能をもとにした燃料消費量から推定されることが多いようである。実際の運航条件は要目性能とは異なっていると思われるが、その差異がどの程度燃料消費量などのLCIデータに影響するかはこれまで明らかにされていない。さらに船舶の運航状況は、船種、サイズ、船齢などによって異なると考えられる。そこで本研究では船舶運航会社からデータとしてアブストラクトログの提供を受け、実際の運航距離、運航速度、停泊時間、燃料消費量、貨物輸送量などの運航状況および運航性能の経年変化について分析することにした。

今回対象とした船種には、我が国の主要輸入品である石油と石炭を輸送する大型タンカーと大型撤積貨物船および一般貨物を輸送する大型コンテナ船を選択した。調査した隻数は各船種1隻であるが、タンカーはサイズを変えて、AFRAMAX(80,000~90,000DWTのタンカー)およびVLCC(160,000~319,999DWT)各1隻とし、合計4隻を調査した。以下に調査結果を報告する。

5.2 調査した船の要目

表-5.1に今回調査した船の就航年月、要目を示す。撤積貨物船とタンカーの船齢は2000年7月現在で8~10年で、航海回数も約80~100次に達しているが、コンテナ船は2年半であり、航海回数および入手データ数は少ない。

燃料消費率は、主機関およびディーゼル発電機についてはA重油の燃料消費率で示されたものを発熱量(A重油:10200kcal/kg、C重油:9700kcal/kg)で換算してC重油相当の消費率で示した。PShまたはkWh当たりの燃料消費率は、図-5.1に主機関の燃料消費率を例示するように常用出力付近では大きく変化しない。そこで時間当たり燃料消費量からエンジンの平均負荷率を算出する場合には表-5.1に示す燃料消費率を用いて算出した。

補助ボイラの燃料消費率は給水温度60℃、ボイラ効率

80%、負荷100%として算出した。VLCCとコンテナ船はターボ発電機と軸発電機を装備している。それぞれの燃料消費量は、ターボ発電機は排ガスエコノマイザの蒸気で運転されること、軸発電機は航走時に主機関動力を利用して発電されることにより不明であり、本報告ではこれらの稼働に関わる燃料消費量は主機関のそれに含めて考察した。

図-5.2に主機関の連続最大出力(MCR)時の燃料消費量すなわち入熱量を基準として、ディーゼル発電機最大負荷容量時の燃料消費量、補助ボイラの最大燃料消費量、排ガスエコノマイザの入熱量を比較して示す。排ガスエコノマイザの入熱量は入熱割合が補助ボイラの燃料消費率と同じとして蒸発容量から算出した。タンカーの補助ボイラの燃料消費率は主機関のそれより大きいことが注目される。

表-5.1のコンテナ平均載貨重量は載貨重量(DW)をコンテナ搭載数(TEU)で除したものである。表-5.2に代表的コンテナの最大積載量と自重を示す。本報告では正味貨物輸送量を推定する際には1TEUは全て20フィートドライコンテナと見なし、輸送重量からその自重を差し引いて算出した。

5.3 撤積貨物船の運航概要

5.3.1 航海概要

本船は、日本の火力発電所と海外の石炭積出港とを単に往復する航海を行っている。積み出し地はオーストラリアが主であるが、南アフリカ、北米にも向かっている。

表-5.3に航路毎および全航海平均の航走距離、航走時間、航走速度、停泊時間、貨物積載量を示す。航走時間は港を出て次の港に到着するまでの時間、航進時間は全速力で前進航海(Propelling)を続ける時間である。

本船は航路のほとんどは航進状態で運航されている。停泊時間(港内滞在時間)は、積地で平均145時間(最小27.7時間、最大412時間)、揚地で平均135時間(最小81時間、最大458時間)である。貨物の積載状態は平均積載率96%で、ほぼ満載状態で運航されている。

航走速度は、空荷(Ballast)状態が平均14kt、積荷(Laden)状態が平均12.6ktで空荷状態が積荷航走時より約10%速い。

図-5.3に各航海回数の平均航走速度を空荷状態時および積荷状態時別に示す。図の範囲では入渠は3回行われているが、速度は各入渠間ごとに低下、改善を繰り返す。直線は線形回帰線を示すが、速度は100航海で5~6%程度の低減傾向を示す。

図-5.4に各航海回数の平均プロペラ回転数、図-5.5に各航海回数的主機関平均負荷率を示す。空荷状態と積荷状態とでプロペラ回転数および主機関の平均負荷率は変わらない状況で運航されている。また、航海回数に対する変化は航海速度のそれに比較して小さく、100航海で2~3%程度の低減傾向である。

5.3.2 燃料消費量とエンジン負荷率

表-5.4に燃料油と潤滑油の一航海あたりの平均消費量を示す。なお潤滑油消費量は容積データを比重 0.89t/m^3 として重量に換算している。図-5.6に燃料油・潤滑油の消費割合を示すが、C重油が約98%、シリンダー油が約1%である。

C重油の機関別消費割合を図-5.7に示す。主機関が91%、ディーゼル発電機が7%、補助ボイラが2%の割合である。航走中の燃料消費割合は96%で、ほとんど主機関、ディーゼル発電機によるもので、補助ボイラによる消費は停泊中のものが大部分である。

表-5.5に燃料消費率から算出した撒積貨物船のエンジンと補助ボイラの平均負荷率を示す。主機関の航走時負荷率は約80%で常用出力よりやや低い。ディーゼル発電機は航走時も停泊時も同程度に利用され、単機最大出力に対する平均負荷率は約65%である。補助ボイラは航走時にはほとんど使用されず、停泊時の負荷率が約80%である。3台の発電機の運転時間は11航海平均の値であるが、表-5.6に示すようにほぼ均等に運転されている。また、総運転時間は航海時間に対して108%であり、2台並列で運転される時間は少ない。

5.4 AFRAMAXの運航概要

5.4.1 航海概要

本船は、不定期船で、東南アジアを中心として、オセアニア、日本、中東の海域を航行する。図-5.8に各次航海の航海日数を示すが非常に不規則な運航が行われている。いわゆる往航、復航といった航海は行われておらず、必ずしも出発地に戻ることで各次航海が構成されていない。63航海のうち、3航海は空荷航行の回航だけ、3航海は貨油を積載したまま次期航海に移ったケースがある。表-5.7に寄港用向きと一航海平均寄港回数を示す。一航海で積荷1~3回、揚荷1~4回とそれぞれ複数回行われる場合がかなりある。また、補油のためにだけ寄港する場合もある。なお、航海回数を60航海として一航海平均回数を算出している。

以上のとおり、本船はバラエティーに富んだ航海を行うが、以下では取り扱いを簡単にするため、空荷航行と積荷航行の各々60航行の積算値から得られる平均値で一航海が構成されるものと見なした。表-5.8にAFRAMAXの平均航海状況を示す。積荷航行は、最初に積荷した港から最後に揚荷した港までの航行を積荷航行とした。排水量、積載量は、排水量または積載量トンマイルの積算量を航走距離積算量で除したもので、それぞれ満載排水量、載貨重量に対する割合を示した。最大積載量は、各航海中の最大積載量を平均したものである。平均積載量は約75%と少ない。

平均航走速度は、空荷状態が 13.5kt 、積荷状態が平均 12.7kt で空荷状態が積荷航走時より約6%速い。

図-5.9に航走距離2000mile以上の航海区間を有する各航海次の空荷状態および積荷状態の平均航走速度を示す。図の範囲では入渠は2回行われているが、速度は各入渠間ごとに低下、改善を繰り返す。直線は線形回帰線を示し、100航海で10%程度の平均速度の低減傾向を示す。

図-5.10に各航海次の平均プロペラ回転数、図-5.11に各航海次の主機関平均負荷率を示す。プロペラ回転数および主機関の平均負荷率は空荷状態および積荷状態とでほとんど差がない状態で運航されている。また、これらの航海次数に対する変化は航海速度のそれに比較して小さく、100航海で6%程度の低減傾向である。

5.4.2 燃料消費量とエンジン負荷率

使用された燃料油銘柄はIFO180とIFO380であり、IFO380が主たるものである。その平均比重は 0.979t/m^3 、平均硫黄含有量は3.3%である。

1航海あたりの平均燃料・潤滑油消費量を表-5.9に、燃料油・潤滑油の消費割合を図-5.12に示す。C重油が約98%、シリンダー油が約1%を占めるのは撒積貨物船と同じである。C重油の機関別消費割合を図-5.13に示す。補助ボイラの燃料消費量の増大が顕著である。これは、停泊中は揚荷動力源としてのカーゴポンプの駆動用蒸気を供給し、航走中は貨油加熱用の蒸気を供給するためである。

単位時間当たりの平均燃料消費量から算出した各動力源の平均負荷率を表-5.10に示す。主機関の航走中の負荷率は空荷航行、積荷航行時ともにMCRの75%程度である。発電機の負荷率は単機最大負荷の80%~106%で、揚荷作業を含む積荷航走停泊時が高めになる。補助ボイラは、積荷航行時の負荷が空荷航行時より高く、揚荷時停泊中の平均負荷率は33%程度である。

以上のボイラ燃料消費率は、航海時間に対する平均値を示してきた。表-5.11は主要用途別ボイラ稼働時間・燃料消費量のデータから算出した一航海平均燃料消費量およびボイラ負荷率を示す。このボイラ燃料消費量の積算値は、表-5.9に示した補助ボイラの燃料消費量の78%を占める。残りに関しては記録がないが、浚えポンプやバラストポンプの駆動、燃料油系統や廃油タンク系統の加熱などが考えられる。貨油加熱の頻度はおよそ2航海に1回の割合で、加熱用の燃料消費量はボイラ燃料消費量の50%以上を占める。貨油ポンプ稼働時のボイラ負荷率は約70%で、表-5.10のボイラ負荷率の約2倍になる。

5.5 VLCCの運航概要

5.5.1 航海概要

本船はペルシャ湾と日本を主として往復するVLCCであるが、まれにシンガポール、南アフリカ、韓国に荷揚げしている。表-5.12に日本とペルシャ湾を往復した航海データから作成した平均航海状況を示す。

航走距離は空荷状態時と積荷状態時のどちらも約

6500mileで、四日市とペルシャ湾中央部やや東よりのJebel Dhanna(UAE)を結ぶ航海距離にほぼ等しい。

貨油積載率は98%でほぼ満載状態であるが、積み込みのために寄港する回数は、1~4回、平均2.1回で、揚げ荷は、1~3回、平均1.8回である。集荷、揚げ荷のための航走距離は平均するとそれぞれ満載航海距離の約5%であり、その時の平均積載率は約55%である。

停泊時間は、積荷時、揚荷時ともに約100時間で、カーゴポンプ最大容量から算出される荷揚げ最小時間19.2時間の約5倍である。

平均航走速度は、バラスト時14.9kt、満載時13.1ktでバラスト時が満載時より約13%速い。

図-5.14に各航海次の空荷状態および積荷状態の平均航走速度を示す。さらに図-5.15に各航海次の平均プロペラ回転数、図-5.16に各航海次の主機関の平均負荷率を示す。初期の航海では平均航走速度、主機関平均負荷率は低く抑えられ、しかも変動が大きい状態で運航されているが、35次航以降では安定したプロペラ回転数で、しかもバラスト状態と積載状態とではほぼ同じプロペラ回転数で運航されている。35次航以降の変化のようすとみると、速度は100航海当たり5~10%の低減傾向、プロペラ回転数は2~4%の低減傾向、主機関負荷率はほとんど変化が無い状態で運航されている。

5.5.2 燃料消費量とエンジン負荷率

1航海あたりの平均燃料・潤滑油消費量を表-5.13に、燃料油・潤滑油の消費割合を図-5.17に、C重油の機関別消費割合を図-5.18に示す。C重油が約99%、シリンダー油が約1%を占めるのはこれまでと同様である。しかし、機関別消費割合をみると、本船は排エコを装備しているため、航走中のディーゼル発電機、補助ボイラの燃料消費量が少なくなっている。停泊中の燃料消費量は貨油ポンプを駆動するため補助ボイラのものが大部分を占める。

表-5.14にVLCCのエンジンと補助ボイラの平均負荷率を示す。主機関の空荷航走時および積荷航走時の平均負荷率は約75%で、常用出力より低い。ディーゼル発電機の平均負荷率は、本船が排エコを有しているために航走時には10%程度と低いが、主機負荷率が低くなる集荷および揚荷航走時はやや高く40%程度になり、さらに停泊時は70%~100%と高くなる。

補助ボイラの平均負荷率は、積荷停泊時に5%、揚荷停泊時25%である。ただし、揚荷停泊時の負荷率は揚荷荷役時間で算出すると約40%になる。

補助ボイラの航走時の平均負荷率は1%以下である。これは通常航走中は主機関負荷率が高く、排エコで所要の蒸気が供給できるので助燃の必要がなく、主機関負荷率が低い時にのみ助燃するためである。また航走時におけるボイラ用燃料消費量は、全航海の内の約半数で平均約11tと少ない。しかし、10航海に1回の割合でタンク洗浄が実施されていると考えられる航海では、平均約170tとかなり多

量のボイラ用燃料を消費しており、1航海平均のボイラ用燃料消費量は、40t程度になる。

5.6 コンテナ船の運航概要

5.6.1 航海概要

本船は、最初日本と欧州をループで結ぶ欧州航路に就航し、途中、東南アジアと北米を結ぶ北米航路に就航した後、再び欧州航路に就いている。これらの航海の中で、航走距離が4900マイル以上の航路区間における往航(Outward)および復航(Homeward)の平均航走速度を各航海回数に対して図-5.19に示す。また、図-5.20に平均プロペラ回転数、図-5.21に主機関の平均負荷率を示す。航海回数がまだ少く、往航および復航での差異や顕著な経年変化は見られない。

航海の概要を欧州航路4航海、北米航路9航海のデータに基づいてそれぞれを整理した。

(1) 北米航路

北米航路は、マレーシアのPort Kelangを起点に、シンガポール、中国の塩田と香港を経由して米国Long Beachに行き、帰路は台湾の高雄を経由してPort Kelangに戻るループを描く。

表-5.15に各港間の平均の航走距離、航走時間、航走速度、停泊時間を示す。航走距離が350マイル以下の短距離区間では航走時間に占める航進時間の割合が低く、見かけ上航走速度が遅くなっている。航走距離が1000マイル以上の区間では航進時間の割合も高く、航進速度も満載航海速力23ノットを上回る速力で運航されている。停泊時間はLong Beachの約5日を除くと1日以下と短い。

表-5.16に各港における平均の荷役状況を示す。単位停泊時間当たりのコンテナの揚げ降ろし数は平均97TEU S/hrであり、1TEUあたりのコンテナを含む重量は、7.8tである。なお、コンテナ1TEU当たりの重量が20t以上あるいは2t以下のデータを除いて平均を出しているため、1航海の荷の揚げ降ろし量の差し引きは降ろし量が多少多い結果になっている。

船上貨物積載量はアブストラクトログには記載されていないので、輸送量(t-mile)を算出するために表-5.17に示す船上貨物積載量を仮定した。すなわち、船上のコンテナ数がマイナスにならないように表-5.16の1航海当たりの荷降ろし過剰分を往航の起点港Port Kelangでの積み荷量に加えた後、各港での揚げ降ろし量から船上貨物量を算出した。コンテナ搭載数に対する平均積載率は約75%、載荷重量(DW)に対する平均積載率は約40%である。純貨物量は、1TEUあたりコンテナ自重1.86トン差し引いた貨物量である。輸送量は、香港-Long Beach間が86%、Long Beach-高雄間が83.6%と航走距離の割合の高い区間で大きい。

(2) 欧州航路

欧州航路は、神戸を起点に、名古屋、東京、清水で日

本国内での荷役を行い、Singaporeで荷役を行い、スエズ運河を経由して英国Southamptonで往航を終える。復航はオランダRotterdamで主として荷降ろしと燃料補給を行い、ドイツHamburgまで上って再びRotterdamに戻り積み荷作業を行い、さらにフランスLe Havreで欧州最後の荷役を行い、Singapore、神戸へ向かう。

表-5.18に各港間の平均の航走距離、航走時間、航走速度、停泊時間を示す。

表-5.19に各港における荷役状況を示す。停泊時間は神戸、東京が約2日、他が1日程度である。単位停泊時間当たりのコンテナの揚げ降ろし数は平均79TEUS/hrであり神戸、東京、Le Havreが平均を下回る。1TEUあたりのコンテナを含む重量は、10トンであり、北米航路より重い。

表-5.20に示す船上貨物量を仮定して輸送量(t-mile)を算出した。Le Havre出港時の排水量が最大であるので、SouthamptonからLe Havreまでの積み荷は全てSingaporeと日本向けに輸送されるものとして船上貨物量を算出した。コンテナ搭載数に対する平均積載率は約80%、載荷重量(DW)に対する平均積載率は約60%で、北米航路より積載率が高くなっている。

5.6.2 燃料消費量とエンジン負荷率

1航海あたりの平均燃料・潤滑油消費量を表-5.21に示す。また、欧州航路の燃料油・潤滑油の消費割合を図-5.22に、C重油の機関別消費割合を図-5.23に示す。C重油が約99%、シリンダー油が約1%を占めるのはこれまでと同様である。しかし、機関別消費割合をみると、本船は排エコを装備しているので、ディーゼル発電機、補助ボイラの燃料消費量が少なく、主機関の燃料消費量の割合が95%と他の船種に比して高い。停泊中は、ターボ発電機を有効に使用するために、補助ボイラの燃料消費量が大部分を占めている。

表-5.22に北米航路のエンジンと補助ボイラの平均負荷率を、表-5.23に欧州航路の平均負荷率を示す。航走時の主機関の平均負荷率は約75%であり、排エコがあるために補助ボイラの使用はほとんど無く、ディーゼル発電機は往航でほとんど使用されないが復航で約35%の負荷率で使われている。停泊時は、補助ボイラとディーゼル発電機はともに北米航路で50~65%、欧州航路で約70%の負荷率で運転されている。

表-5.24に平均入渠間隔、平均入渠時間および入渠時のディーゼル発電機および補助ボイラの平均負荷率を示す。コンテナ船の入渠間隔、入渠時間が他の船種より短い。

5.7 輸送量あたりの油類消費量

表-5.25に輸送量あたりの燃料・潤滑油消費量を示す。積載率がほぼ満載状態である撒積貨物船とVLCCのトンマイルあたりの油類消費量は少ない。AFRAMAXは、積載率が75%であることと、貨油加熱の熱負荷が高いため輸

送量あたりの油類消費量がVLCCの約2倍である。コンテナ船は、重量ベースの積載率が40~60%と低く、しかも運航速度が速いため輸送量あたりの油類消費量が最も多く、撒積貨物船とVLCCの4~5倍である。

5.8 要目性能と実績値の比較

表-5.26および図-5.24に要目性能をもとに算出した主機関燃料消費量推算値と実績平均値との比較を示す。推算値は、航海距離を実績値の平均往復距離とし、常用出力で満載航海速度が保たれるものとして計算した。補機の燃料消費量は含めない。C重油消費量の実績値は、主機関だけの消費量が推算値の91~97%、補機および停泊時の燃料消費量を含めた場合、AFRAMAXを除くと推算値の95%~106%程度になった。AFRAMAXは貨油加熱の影響が大きい。貨油加熱という特別な条件を除くと、要目性能をもとに算出した燃料消費量の実績値に対する誤差は±5%程度である。

5.9 まとめ

大型タンカーと大型撒積貨物船および大型コンテナ船の運航記録をもとに実際の運航パターン、燃料・潤滑油の消費状況を調査するとともに主機関、補機の平均負荷率、輸送量あたりの油類消費量を明らかにした。また、要目性能である主機関常用出力と満載航海速度をもとに算出した燃料消費量は、補機燃料消費量を含めた実績値と比較すると、その誤差は±5%程度である。

表-5.1 調査した船の要目

項 目	単 位	散積貨物船	AFRAMAX	VLCC	コンテナ船
就航年月		1990年7月	1991年12月	1990年5月	1998年1月
航海回数(入手データ数)		93(58)	102(63)	76(76)	18(16)
総トン数(GT)	T	84,565	54,935	146,376	76,847
満載排水量(Δ)	Mt	161,829	110,340	295,330	110,715
載荷重量(DW)	Mt	142,235	96,106	259,998	82,275
載貨容積	m3	181,689	112,580	317,199	—
コンテナ搭載数	TEU	—	—	—	6,148
コンテナ平均載荷重量	t/TEU	—	—	—	13.4
満載航海速力	kt	13.7	14.0	15.0	23.0
主機関					
連続最大出力(MCR)	PS × rpm	16,500 × 70	13,870 × 79	29,600 × 73	72,000 × 94
	kW	12,136	10,201	21,770	52,956
常用出力	%MCR × rpm	85 × 66.3	85 × 75	85 × 69.2	85 × 89
燃料消費率	g/PSH(C重油)	127.3	127.0	125.7	130.0
	t/h	1.79	1.50	3.16	7.96
	t/mile	0.130	0.107	0.211	0.346
発電機					
ディーゼル発電機(D/G)	kW × 台	680 × 3	610 × 3	740 × 4	2,100 × 4
燃料消費率	g/kWh(C重油)	218	222	222	212
ターボ発電機(T/G)	kW × 台	—	—	740 × 1	1,500 × 1
軸発電機(S/G)	kW × 台	—	—	400 × 1	1,500 × 1
補助ボイラ					
蒸発容量	t/h	1.5	30	85	13
燃料消費率*	t/h(C重油)	0.116	2.35	6.65	1.01
排ガスエコノマイザ					
蒸発容量(高圧)	t/h	—	—	3.6	4.85
蒸発容量(低圧)	t/h	—	—	1.51	4.16
カーゴポンプ	m3/h × 台	—	2,500 × 3	5,500 × 3	—

* ボイラ効率 80%を仮定

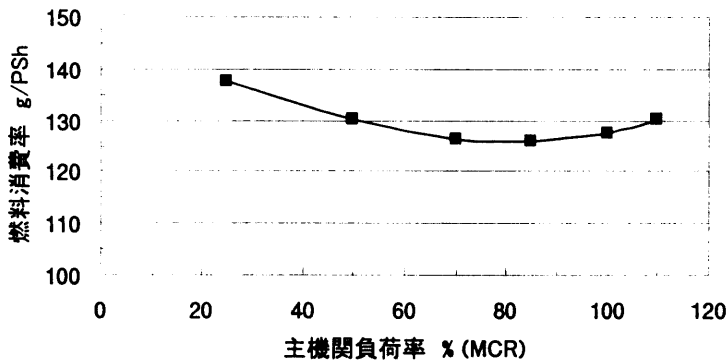


図-5.1 主機関燃料消費率の例

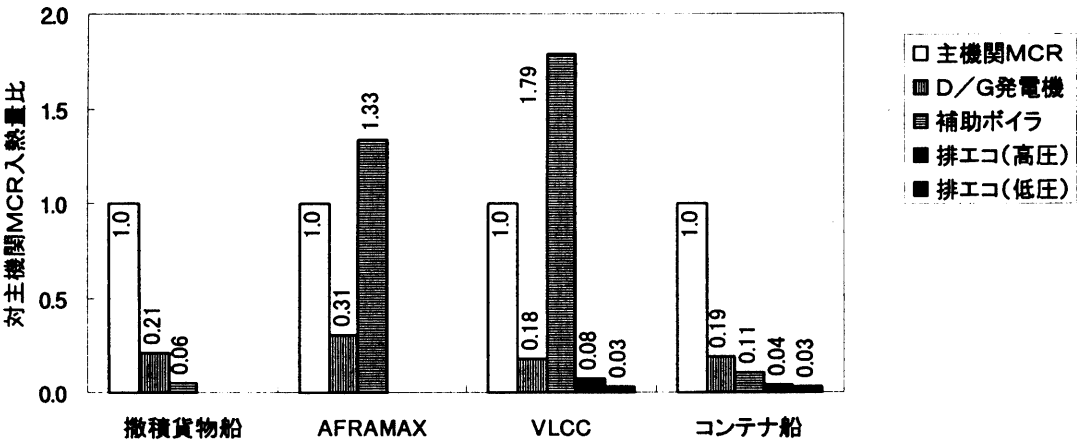


図-5.2 エンジン・ボイラの定格入熱量比較

表-5.2 コンテナの最大積載重量と自重

コンテナ種類	最大積載重量 t	自重 t	最大総重量 t
20フィートドライコンテナ	18.46	1.86	20.32
20フィート冷凍コンテナ	17.80	2.52	20.32
40フィートドライコンテナ	27.38	3.10	30.48
40フィート冷凍コンテナ	27.48	3.00	30.48

表-5.3 撒積貨物船の航海状況

Voyage	航海数	港名	航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 ／航走時 間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in port)	排水量		Cargo loaded	
			miles	hr	hr		kt	hr	ton	%	ton	%
豪州1	15	Matsuura	↓	↓	↓	—	↓	—	76,795	47.5%	—	—
		Hay Point	3,665	262.9	260.4	99.0%	13.9	91.5	161,668	99.9%	140,570	99%
		Matsuura	3,684	284.5	281.5	98.9%	12.9	132.6	—	—	—	—
		Total	7,349	547.4	541.9	99.0%	13.4	224.1	—	—	—	—
豪州2	4	Matsuura	↓	↓	↓	—	↓	—	74,071	45.8%	—	—
		Dalrymple Bay	3,702	266.3	259.5	97.5%	13.9	192.3	161,765	100.0%	—	—
		Matsuura	3,738	300.9	296.8	98.6%	12.4	124.8	—	—	—	—
		Total	7,439	567.2	556.3	98.1%	13.1	317.1	—	—	—	—
豪州3	29	Matsuura	↓	↓	↓	—	↓	—	76,795	47.5%	—	—
		New Castle	4,400	310.5	308.7	99.4%	14.2	184.8	154,681	95.6%	132,669	93%
		Matsuura	4,412	342.4	340.0	99.3%	12.9	132.8	—	—	—	—
		Total	8,812	652.9	648.7	99.4%	13.5	317.6	—	—	—	—
北米	3	Matsuura	↓	↓	↓	—	↓	—	74,964	46.3%	—	—
		Los Angeles	5,472	395.6	392.7	99.3%	13.8	72.0	161,680	99.9%	139,287	98%
		Matsuura	5,826	482.9	479.5	99.3%	12.1	106.8	—	—	—	—
		Total	11,297	878.5	872.1	99.3%	12.9	178.8	—	—	—	—
南ア	6	Matsuura	↓	↓	↓	—	↓	—	81,127	50.1%	—	—
		Singapore	2,464	182.7	180.2	98.6%	13.5	9.7	87,629	54.1%	—	—
		Richards Bay	4,815	351.2	349.1	99.4%	13.7	104.5	161,773	100.0%	139,702	98%
		Matsuura	7,210	598.2	595.1	99.5%	12.1	165.9	—	—	—	—
		Total	14,489	1,132.1	1,124.3	99.3%	12.8	280.1	—	—	—	—
全航海平均	57	空荷航走(Ballast)	4,517	322.9	320.2	99.2%	14.0	144.6	77,144	47.7%	—	—
		積荷航走(Laden)	4,588	362.7	359.9	99.2%	12.6	134.9	158,256	97.8%	136,932	96%
		一航海(合計)	9,105	685.6	680.1	99.2%	13.3	279.4	—	—	—	—

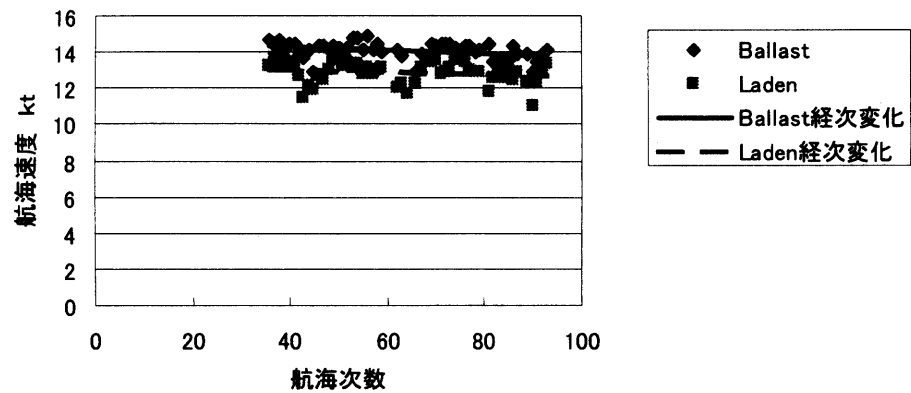


図-5.3 撒積貨物船の航海速度

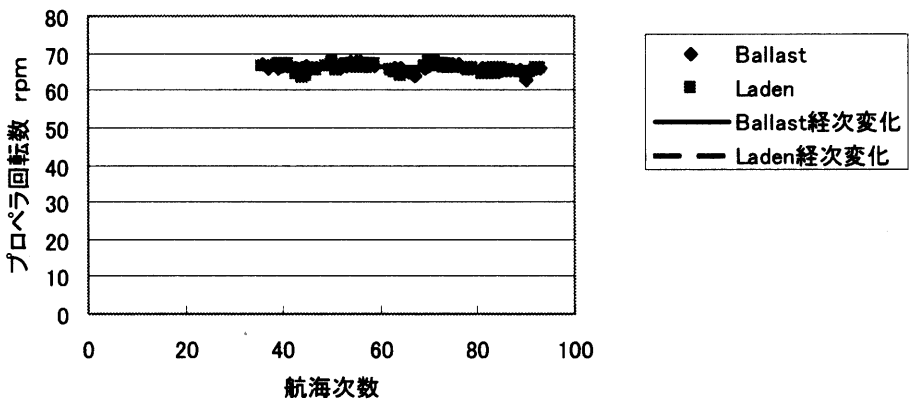


図-5.4 撒積貨物船のプロペラ回転数

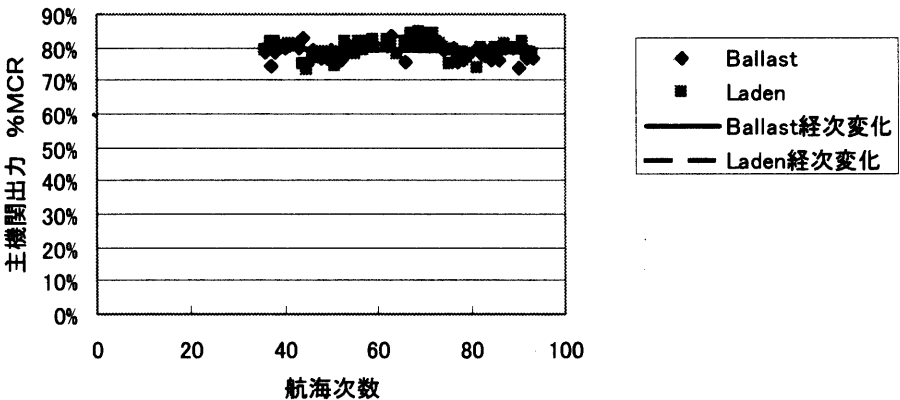


図-5.5 撒積貨物船の主機関負荷率

表-5.4 撒積貨物船の一航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	一航海		一航海	一航海		シリンダ油	システム油
		航走時	停泊時		航走時	停泊時		
Total	1261.5 100.0%	1212.3 96.1%	49.2 3.9%	4.0 100.0%	1.9 47.2%	2.1 52.8%	13.8	6.4
Main Engine	1150.4 91.2%	1147.0 90.9%	3.4 0.3%	0.4 8.8%	0.0 1.2%	0.3 7.6%	13.8	3.4
Diesel Generator	85.6 6.8%	64.9 5.1%	20.7 1.6%	3.7 91.2%	1.8 46.0%	1.8 45.2%	—	3.0
Aux. Boiler	25.5 2.0%	0.4 0.0%	25.1 2.0%	—	—	—	—	—

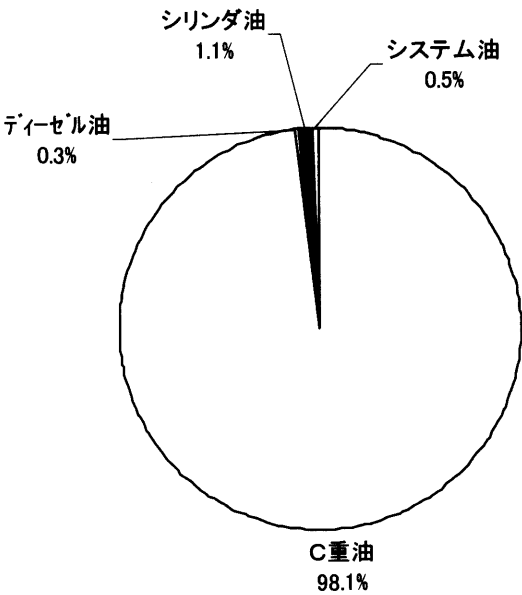


図-5.6 撒積貨物船の燃料油・潤滑油消費割合

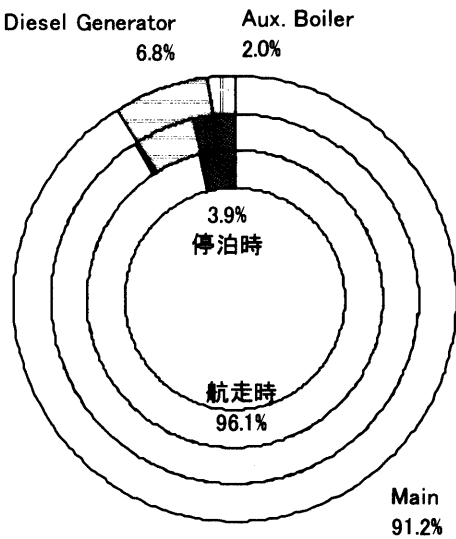


図-5.7 撒積貨物船の機器別C重油消費割合

表-5.5 撤積貨物船のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航行時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
空荷航走	79.1%	67.4%	0.5%	0.6%	64.5%	76.1%
積荷航走	79.5%	63.6%	0.5%	0.6%	51.7%	78.4%

表-5.6 撤積貨物船ディーゼル発電機平均稼働時間

DG平均稼働時間 h（11航海平均）	DG稼働時間/ 航海時間	各発電機稼働割合		
		#1DG	#2DG	#3DG
1,018	1.08	31%	35%	34%

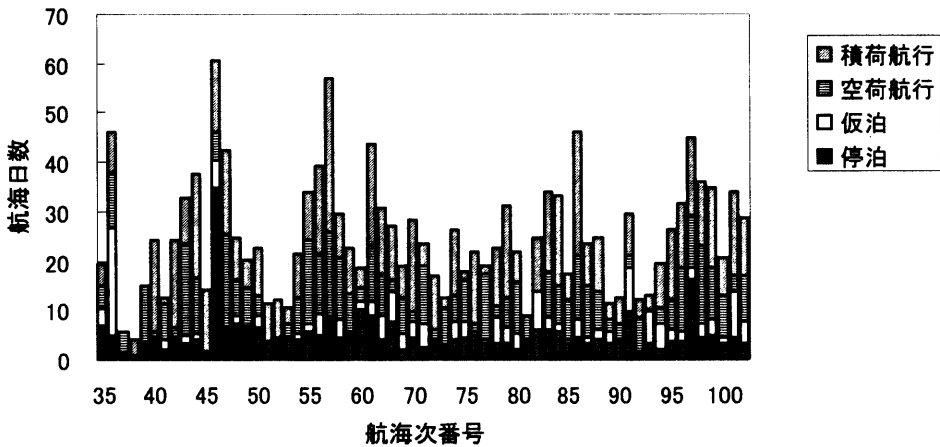


図-5.8 AFRAMAXの各次航海日数

表-5.7 寄港用向きと1航海当たり平均寄港数

寄港用向き	寄港数	回数/航海	平均回数/航海
積み荷	95	1～3	1.58
揚げ荷	80	1～4	1.33
補 油	24	-	0.40
その他	7	-	0.12
合 計	206	-	3.43
内補油回数	41	-	0.68

表-5.8 AFRAMAXの平均航海状況

航 海	航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under weigh)	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間/ 航走時間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in port)	排水量		積載貨物量		最大積載量		貨物輸送量
	miles	hr	hr		kt	hr	ton	%満載	ton	%満載	ton	%満載	
空荷航走	2,450	181.8	172.9	95.1%	13.5	87.3	52,031	47.2%	-	-	-	-	-
積荷航走	3,299	260.5	242.3	93.0%	12.7	104.2	92,156	83.5%	71,170	74%	76,967	80%	234.8
一航海	5,749	442.3	415.2	93.9%	13.0	191.5	-	-	-	-	-	-	-

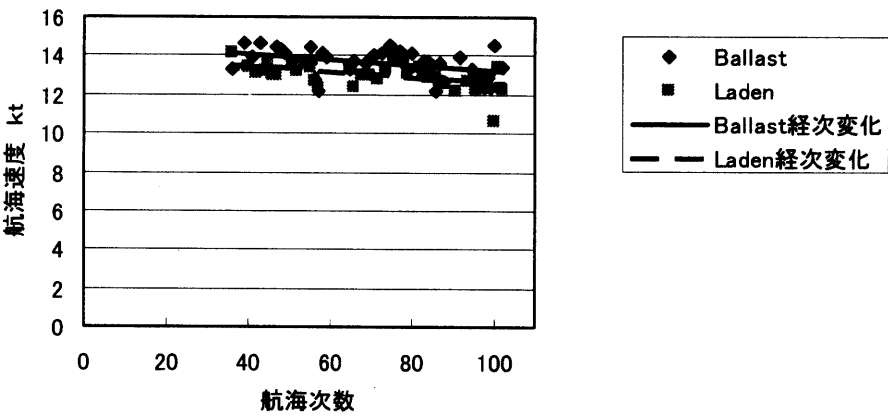


図-5.9 AFRAMAXの航海速度

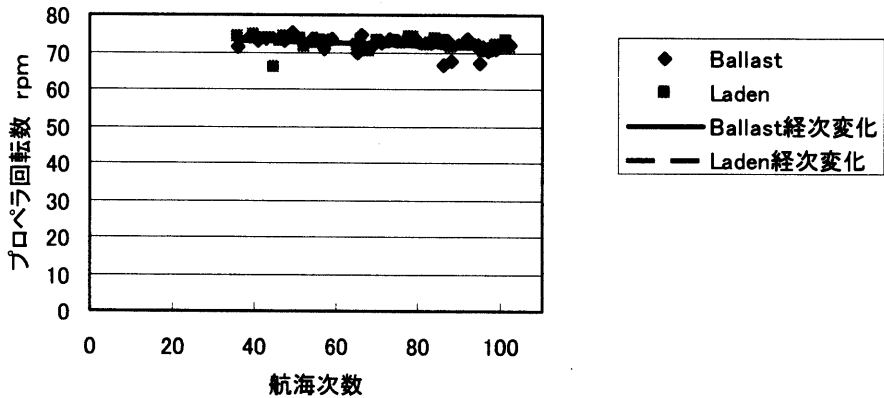


図-5.10 AFRAMAXのプロペラ回転数

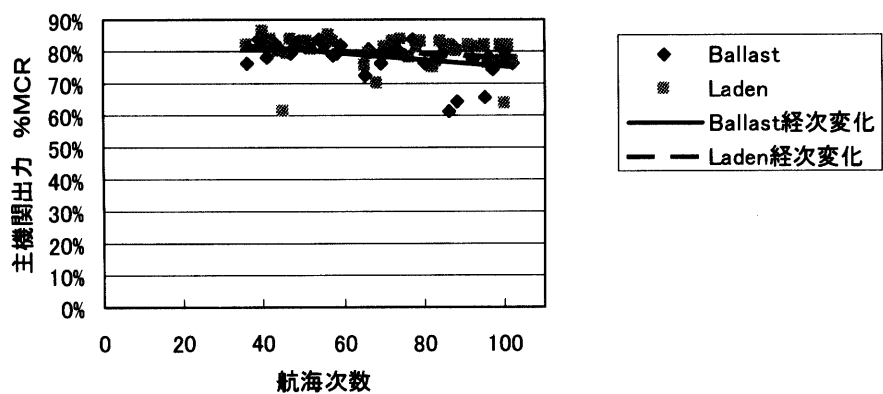


図-5.11 AFRAMAXの主機関負荷率

表-5.9 AFRAMAXの一航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	航走時	停泊時	一航海	航走時	停泊時	シリンダ油	システム油
Total	861.5 100.0%	742.5 86.2%	119.0 13.8%	3.2	1.7	1.5	6.7	1.8
Main Engine	598.6 69.5%	598.4 69.5%	0.2 0.0%	—	—	—	6.7	0.5
Diesel Generator	73.9 8.6%	50.4 5.9%	23.5 2.7%	2.4	1.4	1.0	—	1.3
Aux. Boiler	189.0 21.9%	93.7 10.9%	95.3 11.1%	0.8	0.3	0.5	—	—

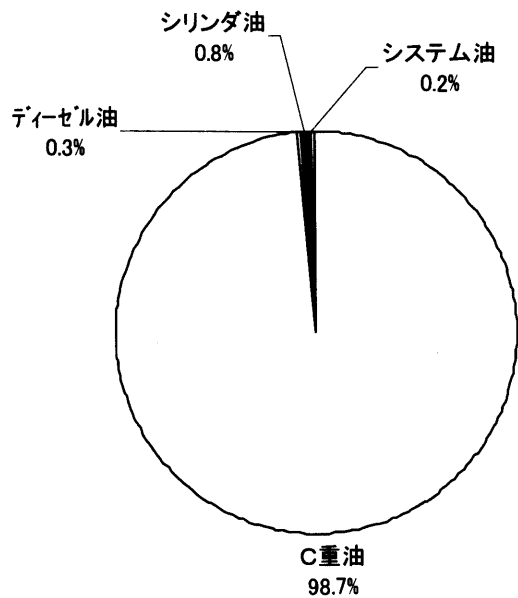


図-5.12 AFRAMAXの燃料油・潤滑油消費割合

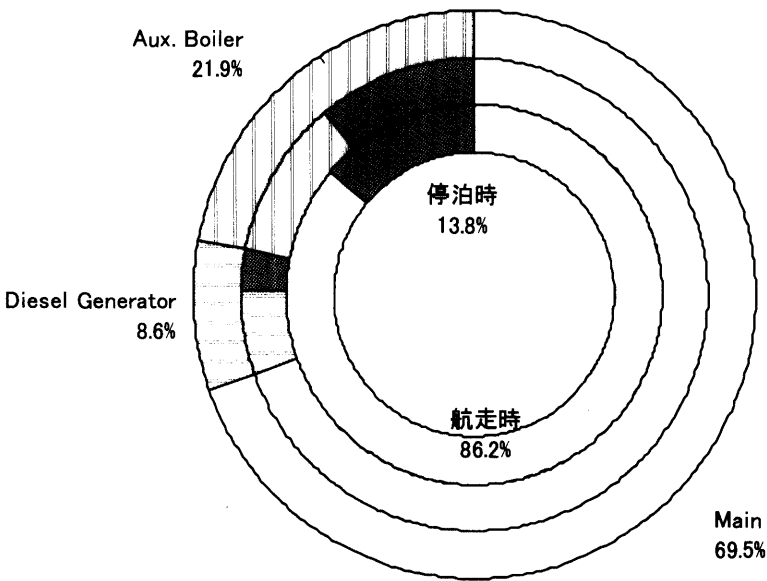


図-5.13 AFRAMAXの機器別C重油消費割合

表-5.10 AFRAMAXのエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航走時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
空荷航走	76.5%	82.4%	2.9%	—	81.4%	6.6%
積荷航走	77.0%	89.6%	13.3%	—	105.6%	33.6%

表-5.11 補助ボイラ燃料の主要用途別消費量

補助ボイラ燃料用途	揚げ荷 (Discharging Cargo)	タンク洗浄 (Butterworth)	タンク加熱 (Tank Heating)	合計
燃料消費量 t	3,534	298	4,995	8,828
構成比	40%	3%	57%	100%
実施航海数	58	5	33	—
平均消費量 t/航海	60.9	59.6	151.4	—
単位時間消費量 t/h	1.59	0.8	0.56	—
ボイラ負荷率	67.6%	32.2%	23.7%	—

表-5.12 VLCCの平均航海状況

航 海	航走距離 (Distance run OG)	航走時間 (Hours under	航進時間 (Hours Propelling)	航進時間 ／航走時 間	航走速度 (OG/HUW)	停泊時間 (Hours in port)	排水量		貨物積載量		貨物輸送量
	miles	hr	hr	-	kt	hr	ton	%満載	ton	%満載	Mt-mile
空荷航走	6,527	437.8	412.3	94.2%	14.9	98.4	129,956	44.0%	-	-	-
積荷航走(小計)	7,196	556.5	494.3	88.8%	12.9	97.2	-	-	-	-	1,759.4
集荷航走	325	25.2	19.6	77.7%	12.9	-	-	-	143,811	55.3%	46.7
満載航走	6,549	499.8	457.6	91.5%	13.1	-	292,402	99.0%	254,460	97.9%	1,666.4
揚荷航走	322	31.5	17.1	54.5%	10.2	-	-	-	143,653	55.3%	46.3
一航海(合計)	13,723	994.3	906.6	91.2%	13.8	195.6	-	-	-	-	-

UAE JEBEL DHANNA 四日市

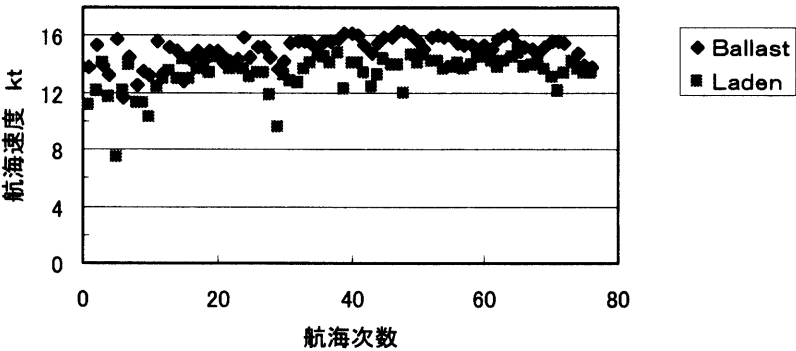


図-5.14 VLCCの航海速度

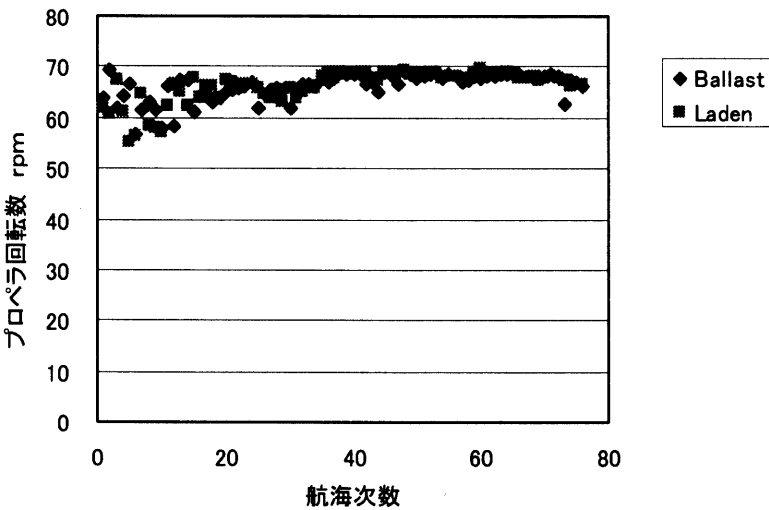


図-5.15 VLCCのプロペラ回転数

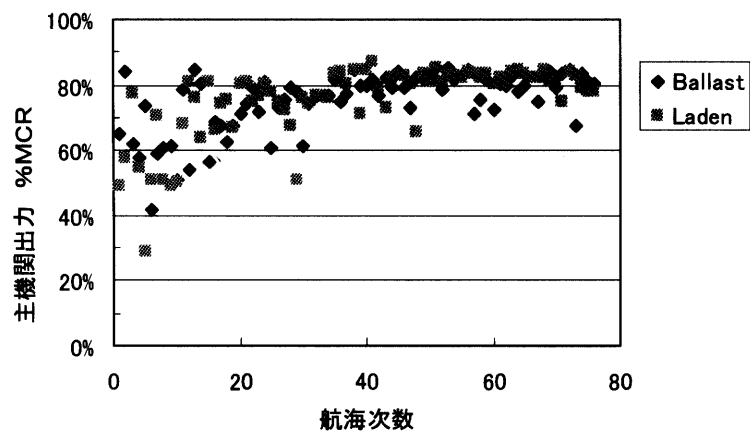


図-5.16 VLCCの主機関負荷率

表-5.13 VLCCの一航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
	一航海	航走時	停泊時	一航海	航走時	停泊時	シリンダ油	システム油
Total	2,978.8 100.0%	2,767.4 92.9%	211.5 7.1%	2.9	1.9	1.0	34.3	3.5
Main Engine	2,714.2 91.1%	2,712.1 91.0%	2.1 0.1%	—	—	—	34.3	2.5
Diesel Generator	41.2 1.4%	15.7 0.5%	25.5 0.9%	2.9	1.9	1.0	—	0.8
Aux. Boiler	223.4 7.5%	39.5 1.3%	183.8 6.2%	—	—	—	—	0.2

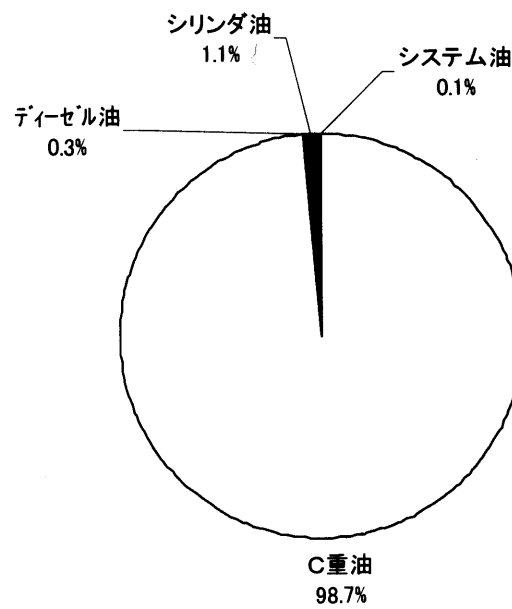


図-5.17 VLCCの燃料油・潤滑油消費割合

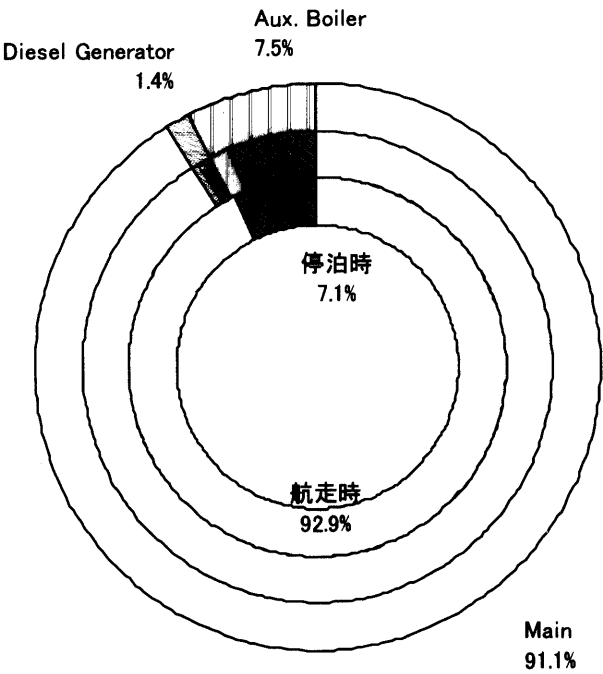


図-5.18 VLCCの機器別燃料消費割合

表-5.14 VLCCのエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	航走時			停泊時		
	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
空荷航走	75.9%	10.5%	0.7%	—	—	—
集荷航走	63.1%	38.2%	1.3%	0.5%	71.2%	5.3%
積荷航走(満載時)	73.1%	7.9%	0.4%	—	—	—
揚荷航走	47.8%	38.2%	1.7%	0.2%	102.4%	24.8%

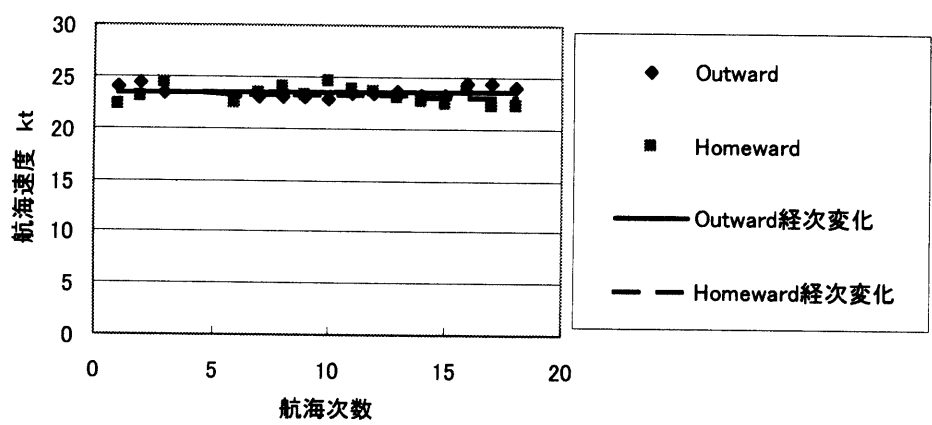


図-5.19 コンテナ船の航海速度

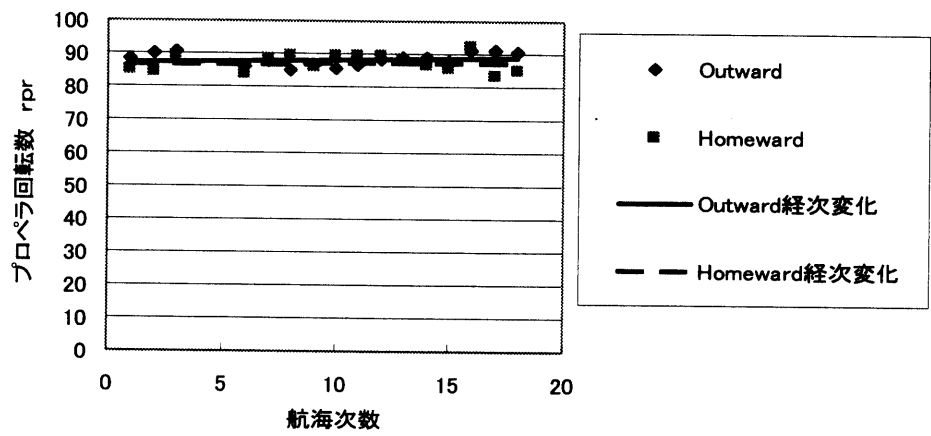


図-5.20 コンテナ船のプロペラ回転数

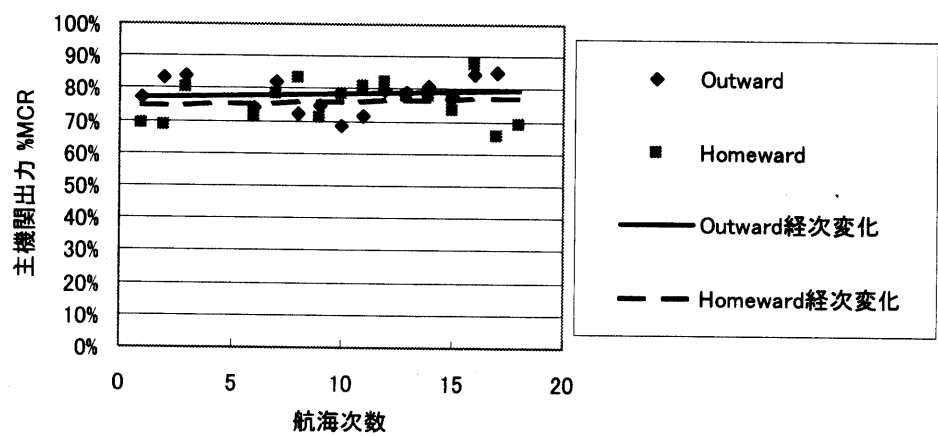


図-5.21 コンテナ船の主機関負荷率

表-5.15コンテナ船(北米航路)航海状況

Voyage	港名	航走距離 (Distance run OG) miles	航走時間 (Hours under Weigh) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航進時間 ／航走時間	航走速度 (OG/HUW) kt	航進速 度 (OG/HP) kt	停泊時間 (Hours in port) hr
Outward	Port Kelang	↓	↓	↓	—	—	—	24.2
	Singapore	197	11.8	9.4	0.796	16.8	21.0	13.5
	Yantian	1,475	63.9	62.1	0.972	23.2	23.8	22.5
	Hong Kong	36	4.8	1.9	0.409	7.7	18.7	19.9
	Long Beach	6,494	279.6	274.8	0.983	23.2	23.6	—
	Sub Total/Average	8,201	360.0	348.2	0.967	22.8	23.6	80.1
Homeward	Long Beach	↓	↓	↓	—	—	—	116.1
	Kaohsiung	6,454	275.6	272.3	0.988	16.9	23.7	19.4
	Hong Kong	333	21.2	15.5	0.732	13.0	23.2	18.0
	Yantian	35	4.5	1.9	0.420	12.5	22.4	17.2
	Singapore	1,458	63.3	61.0	0.964	17.5	22.4	21.3
	Port Kelang	188	10.7	8.4	0.781	23.8	24.2	6.5
	Sub Total/Average	8,468	375.4	359.1	0.957	22.6	23.6	144.9
Round trip total/Average		16,669	735.4	707.4	0.962	22.7	23.6	295.5

表-5.16 コンテナ船(北米航路)荷役状況

Voyage	港名	Loaded Cargo			Discharged Cargo			停泊時間 (Hours in port) hr	コンテナ時間 当たり積降数 TEUS/hr
		TEUS	tons	t/TEU	TEUS	tons	t/TEU		
Outward	Port Kelang	1,022	9,560	9.4	—	—	—	24.2	83
	Singapore	1,952	14,402	7.4	265	2,624	9.9	13.5	164
	Yantian	1,121	7,097	6.3	307	2,183	7.1	22.5	64
	Hong Kong	2,146	15,524	7.2	668	6,621	9.9	19.9	141
	Long Beach	—	—	—	4,979	36,140	7.3	—	—
	Sub Total/Average	6,241	46,583	7.5	6,219	47,568	7.6	80.1	—
Homeward	Long Beach	5,045	38,026	7.5	—	—	—	116.1	86
	Kaohsiung	552	6,123	11.1	1,322	12,533	9.5	19.4	97
	Hong Kong	451	4,540	10.1	1,297	13,298	10.3	18.0	97
	Yantian	524	4,083	7.8	1,235	3,590	2.9	17.2	102
	Singapore	254	2,476	9.8	2,154	20,191	9.4	21.3	113
	Port Kelang	—	—	—	994	6,604	6.6	—	—
	Sub Total/Average	6,826	55,247	8.1	7,002	56,216	8.0	192.0	—
Round trip	Total	13,067	101,831		13,221	103,784		272.0	
	Average			7.8			7.8	30.2	97

表-5.18 コンテナ船(欧州航路)航海状況

Voyage	港名	航走距離 (Distance run OG) miles	航走時間 (Hours under Weigh) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航進時間 ／航走時 間	航走速度 (OG/HUW) kt	航進速度 (OG/HP) kt	停泊時 間(Hours in port) hr
Outward	Kobe	↓	↓	↓	—	—	—	39.8
	Nagoya	186	14.5	8.7	0.602	12.8	21.4	19.6
	Tokyo	154	13.3	6.8	0.506	11.6	22.9	43.9
	Shimizu	98	7.9	4.5	0.562	12.4	22.1	15.5
	Singapore	2,852	118.6	116.1	0.979	24.1	24.6	22.1
	Suez	4,956	206.2	205.1	0.995	24.0	24.2	9.8
	Port Said	89	11.1	—	—	8.1	—	—
	Southampton	3,090	133.4	128.3	0.961	23.2	24.1	—
	Sub Total/Average	11,425	504.9	469.4	0.930	22.6	24.3	150.6
Homeward	Southampton	↓	↓	↓	—	—	—	28.3
	Rotterdam	232	13.7	9.8	0.715	16.9	23.7	21.3
	Hamburg	212	16.3	9.1	0.560	13.0	23.2	29.7
	Rotterdam	224	18.0	10.0	0.557	12.5	22.4	20.0
	Le Havre	229	13.1	10.3	0.781	17.5	22.4	18.8
	Port Said	3,123	131.0	129.0	0.984	23.8	24.2	6.5
	Suez	89	12.3	—	—	7.2	—	2.3
	Singapore	4,972	216.8	213.3	0.984	23.0	23.3	18.0
	Kobe	2,675	113.9	110.2	0.968	23.5	24.3	—
	Sub Total/Average	11,755	535.1	491.6	0.919	22.0	23.9	144.9
Round trip total/Average		23,179	1,040.1	961.0	0.924	22.3	24.1	295.5

表-5.19 コンテナ船(欧州航路)荷役状況

Voyage	港名	Loaded Cargo			Discharged Cargo			停泊時 間(Hours in port) hr	コンテナ時間 当たり積降数 TEUS/hr
		TEUS	tons	t/TEU	TEUS	tons	t/TEU		
Outward	Kobe	750	6,648	8.9	—	—	—	39.8	42
	Nagoya	806	6,728	8.4	481	6,421	13.4	19.6	66
	Tokyo	1,579	12,144	7.7	1,658	22,410	13.5	43.9	74
	Shimizu	893	6,404	7.2	596	3,899	6.5	15.5	96
	Singapore	1,873	20,529	11.0	630	4,854	7.7	22.1	113
	Southampton	—	—	—	1,627	15,135	9.3	—	—
	Sub Total/Average	5,899	52,452	8.9	4,992	52,719	10.6	140.9	—
Homeward	Southampton	788	6,032	7.7	—	—	—	28.3	85
	Rotterdam	262	3,703	14.1	1,858	16,184	8.7	21.3	100
	Hamburg	1,340	16,251	12.1	1,343	13,134	9.8	29.7	90
	Rotterdam	1,762	21,436	12.2	—	—	—	20.0	88
	Le Havre	664	7,234	10.9	267	2,534	9.5	18.8	50
	Singapore	416	5,323	12.8	1,305	12,275	9.4	18.0	95
	Kobe	—	—	—	923	12,160	13.2	—	—
	Sub Total/Average	5,231	59,979	11.5	5,697	56,287	9.9	136.2	—
Round trip	Total	11,131	112,431		10,689	109,006		277.0	
	Average			10.1			10.2	25.2	79

表-5.20 コンテナ船(欧州航路)輸送量の推定

Voyage	港名	排水量		Cargo Loaded on Ship(推定値)						航走距離		コンテナ輸送量		純貨物輸送量	
		tons	%	TEUS	積載率	tons	積載率	tons/TEU	純貨物 t	mile	%	Mt-mile	%	Mt-mile	%
Outward	Kobe	80,814	73.0%	3,752	61.0%	42,193	51.3%	11.2	42,193	↓	—	↓	—	↓	—
	Nagoya	82,595	74.6%	4,077	66.3%	42,500	51.7%	10.4	42,500	186	1.6%	7.8	1.5%	7.8	1.6%
	Tokyo	73,862	66.7%	3,998	65.0%	32,233	39.2%	8.1	32,233	154	1.4%	6.6	1.2%	6.6	1.3%
	Shimizu	78,815	71.2%	4,295	69.9%	34,738	42.2%	8.1	34,738	98	0.9%	3.2	0.6%	3.2	0.6%
	Singapore	90,781	82.0%	5,538	90.1%	50,413	61.3%	9.1	50,413	2,852	25.0%	99.1	18.8%	99.1	18.3%
	Southampton	—	—	—	—	—	—	—	—	8,135	71.2%	410.1	77.9%	410.1	78.3%
	Average/Sub Total	87,376	78.9%	5,165	84.0%	46,104	56.0%	8.9	36,496	11,425	100.0%	526.7	100.0%	526.7	100.0%
Homeward	Southampton	81,523	73.6%	4,256	69.2%	37,885	46.0%	8.9	37,885	↓	—	↓	—	↓	—
	Rotterdam	69,751	63.0%	2,660	43.3%	25,404	30.9%	9.6	25,404	232	2.0%	8.8	1.4%	8.8	1.4%
	Hamburg	72,370	65.4%	2,656	43.2%	28,520	34.7%	10.7	28,520	212	1.8%	5.4	0.9%	5.4	0.9%
	Rotterdam	91,376	82.5%	4,418	71.9%	49,956	60.7%	11.3	49,956	224	1.9%	6.4	1.1%	6.4	1.0%
	Le Havre	93,400	84.4%	4,815	78.3%	54,656	66.4%	11.4	54,656	229	2.0%	11.5	1.9%	11.5	1.9%
	Singapore	84,292	76.1%	3,926	63.9%	47,705	58.0%	12.2	47,705	8,184	69.6%	447.3	73.7%	447.3	73.6%
	Kobe	—	—	—	—	—	—	—	—	2,675	22.8%	127.6	21.0%	127.6	21.3%
	Average/Sub Total	90,228	81.5%	4,514	73.4%	51,628	62.8%	11.4	43,232	11,755	100.0%	606.9	100.0%	606.9	100.0%
Round trip total		—	—	—	—	—	—	—	—	23,180	—	1,133.6	—	1,133.6	—
満載数量		110,715	100%	6,148	100%	82,275	100%	—							

表-5.21 コンテナ船の一航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

航路	機関・機器	C重油			ディーゼル油			潤滑油	
		一航海	一航海		一航海	一航海		シリンダ油	システム油
			航走時	停泊時		航走時	停泊時		
北米航路	Total	5,463.0 100.0%	5,203.2 95.2%	259.8 4.8%	17.6 100.0%	4.5 25.4%	13.1 74.6%	57.6	10.0
	Main Engine	5,161.4 94.5%	5,134.4 94.0%	27.0 0.5%	6.9 39.1%	1.8 10.1%	5.1 29.0%	57.6	9.6
	Diesel Generator	113.2 2.1%	59.1 1.1%	54.1 1.0%	10.7 60.9%	2.7 15.4%	8.0 45.5%	—	0.4
	Aux. Boiler	188.4 3.4%	9.7 0.2%	178.7 3.3%	—	—	—	—	—
欧州航路	Total	7,629.4 100.0%	7,292.8 95.6%	336.6 4.4%	61.9 100.0%	23.4 37.9%	38.4 62.1%	82.9	11.0
	Main Engine	7,280.1 95.4%	7,208.5 94.5%	71.6 0.9%	1.4 2.2%	0.2 0.3%	1.2 1.9%	82.9	9.9
	Diesel Generator	122.4 1.6%	68.8 0.9%	53.6 0.7%	60.5 97.8%	23.2 37.6%	37.3 60.3%	—	1.1
	Aux. Boiler	226.9 3.0%	15.5 0.2%	211.4 2.8%	—	—	—	—	—

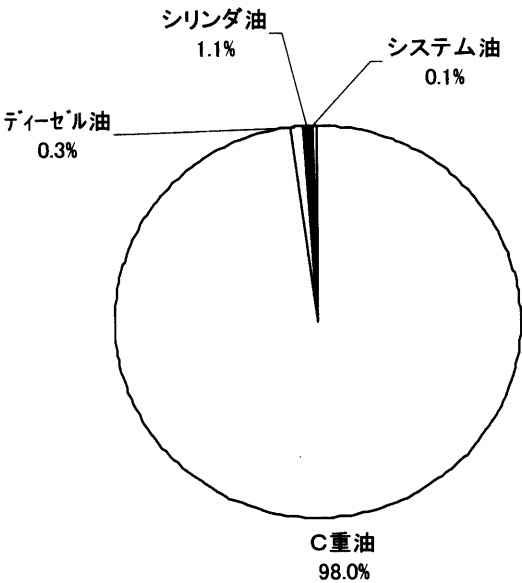


図-5.22 コンテナ船の燃料油・潤滑油消費割合

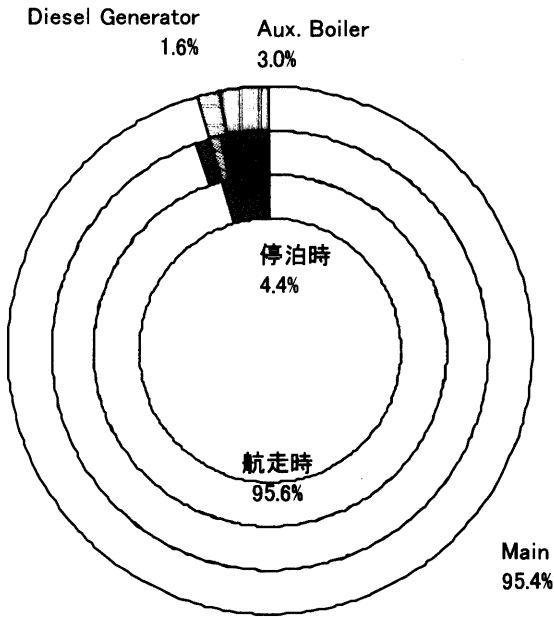


図-5.23 コンテナ船の機器別C重油消費割合

表-5.22 コンテナ船(北米航路)のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海		航走時			停泊時		
		Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
	港 名	% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
Outward	Port Kelang	↓	↓	↓	2.1%	44.1%	64.6%
	Singapore	45.6%	14.7%	3.0%	2.0%	56.3%	70.7%
	Yantian	78.8%	8.5%	1.4%	1.7%	51.6%	62.0%
	Hong Kong	16.3%	23.3%	5.3%	2.1%	62.7%	61.2%
	Long Beach	76.3%	0.8%	1.2%	—	—	—
	Sub Total	75.0%	2.9%	1.4%	2.0%	52.9%	64.1%
Homeward	Long Beach	↓	↓	↓	0.5%	41.3%	60.5%
	Kaohsiung	78.1%	38.1%	1.0%	1.7%	74.9%	79.1%
	Hong Kong	43.5%	35.0%	2.3%	2.5%	73.4%	83.2%
	Yantian	18.7%	53.2%	2.5%	1.4%	57.5%	69.3%
	Singapore	76.5%	19.1%	1.3%	1.4%	54.7%	61.7%
	Port Kelang	45.9%	14.2%	3.5%	—	—	—
Sub Total		74.2%	34.2%	1.2%	1.0%	50.7%	65.4%
Round trip Total		74.6%	18.9%	1.3%	1.3%	51.3%	65.0%

表-5.23 コンテナ船(欧州航路)のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航 海	港 名	航走時			停泊時		
		Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler	Main Engine	Diesel Generator	Aux. Boiler
		% MCR	% Max	% Max	% MCR	% Max	% Max
Outward	Kobe	↓	↓	↓	1.9%	62.5%	67.3%
	Nagoya	36.4%	16.7%	3.4%	5.9%	88.7%	79.5%
	Tokyo	37.4%	24.0%	2.8%	2.2%	57.5%	51.1%
	Shimizu	37.3%	7.8%	1.3%	0.9%	54.9%	72.5%
	Singapore	81.5%	1.1%	0.6%	0.7%	58.7%	70.5%
	Suez	85.2%	1.3%	0.6%	7.3%	116.9%	112.2%
	Southampton	80.8%	0.6%	1.1%	—	—	—
	Sub Total	77.9%	2.2%	0.9%	2.6%	66.6%	68.1%
Homeward	Southampton	↓	↓	↓	1.3%	50.9%	50.8%
	Rotterdam	56.7%	14.7%	5.8%	0.8%	45.4%	55.7%
	Hamburg	46.9%	11.4%	5.0%	6.1%	50.7%	70.2%
	Rotterdam	46.2%	16.8%	7.7%	0.9%	55.5%	73.7%
	Le Havre	63.7%	23.1%	7.7%	1.3%	71.6%	81.7%
	Port Said	81.6%	27.9%	1.5%	9.9%	126.1%	91.6%
	Singapore	71.6%	45.2%	1.7%	1.2%	102.4%	83.3%
	Kobe	72.5%	45.0%	1.1%	—	—	—
Sub Total		70.4%	36.6%	2.1%	2.7%	71.6%	73.7%
Round trip Total		74.0%	19.9%	1.5%	2.6%	69.0%	70.8%

表-5.24 入渠時間および発電機と補助ボイラの平均負荷率

船 種	平均入渠間隔	平均入渠時間	発電機負荷率	補助ボイラ負荷率
	年	hr	%MAX	%MAX
撒積貨物船	2.44	283.3	17.7%	14.8%
AFRAMAX	2.53	287.3	31.4%	1.9%
VLCC	1.96	412.0	25.5%	1.7%
コンテナ船	0.96	192.3	7.4%	10.7%

表-5.25 輸送量当たりの燃料・潤滑油消費量

油類種別消費量	単位	散積貨物船		AFRAMAX		VLCC		コンテナ船	
C重油	ton	1,261.5	98.1%	861.5	98.7%	2,978.8	98.7%	7,629.4	98.0%
ディーゼル油	ton	4.0	0.3%	3.2	0.4%	2.9	0.1%	61.9	0.8%
Cylinder Oil	ton	13.8	1.1%	6.7	0.8%	34.3	1.1%	82.9	1.1%
System Oil	ton	6.4	0.5%	1.8	0.2%	3.5	0.1%	11.0	0.1%
全油種合計消費量	ton	1,285.8	100.0%	873.2	100.0%	3,019.5	100.0%	7,785.1	100.0%
1航海輸送量	Mt-mile	641		235		1,759		925	
油類消費量／輸送量	g/t-mile	2.01		3.72		1.72		8.42	

表-5.26 要目性能による燃料消費量と実績平均値の比較

項 目	単 位	散積貨物船		AFRAMAX		VLCC		コンテナ船	
平均航海距離(round)	mile	9,105		5,749		13,723		23,179	
速力									
満載航海速力	kt	13.7	1.00	14.0	1.00	15.0	1.00	23.0	1.00
平均速力(round)	kt	13.3	0.97	13.0	0.93	13.8	0.92	22.3	0.97
主機関									
連続最大出力(MCR)	PS	16,500		13,870		29,600		72,000	
燃料消費率	g/PSH	127.3		127.0		125.7		130.0	
常用出力%	%MCR	85%	1.00	85%	1.00	85%	1.00	85%	1.00
単位時間燃料消費量	t/h	1.79		1.50		3.16		7.96	
主機関平均負荷(HUW)	%MCR	79.3%	0.93	77.0%	0.91	73.3%	0.86	74.6%	0.88
一航海C重油消費量									
常用出力燃料消費量(計算値)	t	1,187	1.00	615	1.00	2,893	1.00	8,018	1.00
主機関平均消費量(実績値)	t	1,150	0.97	599	0.97	2,714	0.94	7,280	0.91
平均一航海消費量(補機、停泊含む)	t	1,262	1.06	865	1.41	2,979	1.03	7,629	0.95

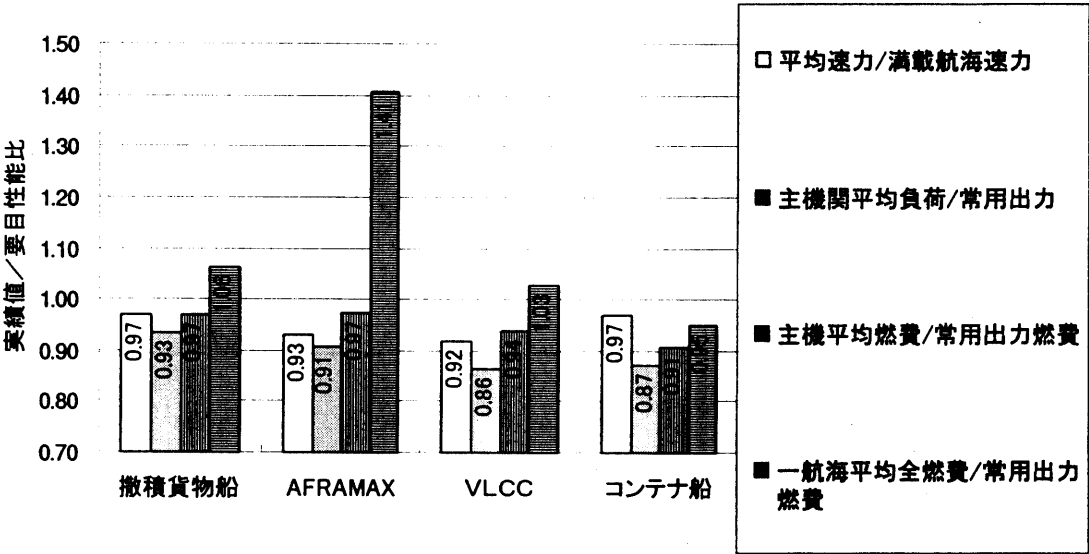


図-5.24 要目性能による燃料消費量と実績平均値の比較

6. 解体・リサイクルに関する調査

まえがき

大型鋼船の解体は海外で行われ、国内では主に漁船等の小型船を対象とした解体作業が実施されている。船舶のライフ・サイクル・インベントリ分析(LCI分析)の実施には、船舶の解体及びリサイクルに関する作業工程や作業の範囲を把握することが必要である。そのため、船舶の解体の現状について海外及び国内の解体工場について調査を行い、解体の作業範囲、解体方法又は解体後に回収された鋼材や部品のリサイクルや再利用の現状について把握した。また、調査結果に基づいて解体及び鋼材のリサイクルに関するシステムデータの作成を行った。

6.1 船舶の解体の状況

世界中の船舶解体量の推移を図-6.1に示す。ここ10年間の傾向としてタンカーの解体もバルクキャリアの解体も加速傾向にある。船齢25年に達する1975年竣工船を中心に解体が進んでいる。

最近OPECの増産によりタンカー需要が活発化し老齡タンカーも継続運航される傾向にあることから、解体が今後も進展するかどうかは不透明な面もあるが、国際海事機関(IMO)で今後議論が進むシングルハルタンカーの前倒し規制に伴いモダン船指向が更に拡大し体解が進展する可能性もある。

国別の船舶解体量の推移を図-6.2に示す。1980年代には台湾、韓国、及び中国の3か国で世界の約3/4の船舶を解体していた。最近ではこれらの国の多くが環境規制や労働力供給不足などから撤退し、代わってインド、バングラデシュ、パキスタン、中国の四か国で大部分が解体されている。

6.2 海外の解体工場

6.2.1 調査の目的

大型船舶の解体及び回収した鋼材のリサイクル等の作業工程、作業範囲及び作業の種類を把握し、解体や鋼材のリサイクルに関するシステムデータを作成する。

6.2.2 調査工場の概要

調査の対象とした解体工場及び回収した鋼材のリサイクル工場(以下、単に「工場」と言う。)はフィリピン共和国に位置する。工場では購入した中古船舶を解体し、回収した鋼材を材料とした建築用の伸鉄材の製造、中古部品及び海外の製鉄所向け鉄スクラップの販売を行う。

工場配置図を図-6.3に示す。工場は解体工程の管理を行う管理部28名、クレーンやトラック操作や運転等を行う解体部門52名及び3交代制(各48名)で作業を行う伸鉄部門144名で構成されている。主な工場設備は解体作業用の10t及び15tのデッキクレーン、また各々25tと30tの

クレーンを持つバージ2隻である。またトラックに積んだ鋼板の重量を計測するための重量計及び伸鉄の製造用の炉と圧延用ローラーを有する。

工場は現在までに鉱石運搬船、自動車運搬船及び撤積運搬船等16隻、約56万GTの船舶の解体を行っている。解体の対象となった船種は軽荷重量(LW)6,000 - 26,000t程度の貨物船であり、タンカーはガスフリー化処置等の安全性の問題やスラッジ処理に伴う環境問題の発生が危惧されるため行なわれていない。

6.2.3 解体作業

解体作業の作業対象の範囲は以下のとおりである。

(1)作業工程

調査対象とした工場では岸壁に接岸した状態での解体を実施していた。船舶解体の作業工程を図-6.4に示す。また、以下に作業内容を示す。

船主は工場が購入した中古の船舶を回航して解体工場まで運ぶ。回航された船舶から重油やスラッジ等を撤去し、比重差を利用した油水分離装置により伸鉄の製造のための燃料として回収される。

解体工場の浮岸壁に接岸された解体船舶は、まず、操舵室や居住区等の内装等がこれらの部品を購入予定の業者により解体される。ただし、解体作業に必要なクレーンの操作やバージの運転等は工場側が行う。

浮岸壁において、船舶を船体上部から全体の約60%程度まで、5-10t程度のブロックとしてLPGガス切断で切り出す。また、大形の部品や燃料等を回収し、クレーンやトラックで陸上の作業場へ運搬する。浮いた状態で残っている船体をウインチで海岸に乗り上げさせ、ビルジ等鋼板に付着した油の除去作業やブロックの切り出しを行い、バージ船のクレーン等により陸上の作業場へ運搬する。

陸上の作業場においてブロックを更にガス切断で小さくバラし、伸鉄製造に使用する鋼板、リサイクル用のくず鉄、中古部品及び処理を行う廃棄物に分別する。解体される船舶からは、屑鉄、小部材、大型鋼板、大型定尺鋼板、再利用部品及び非鉄金属等が回収される。このうち、大型鋼板が伸鉄の製造のための材料として利用される。

鉄以外で部品の解体等で回収される主な金属は、銅、真鍮、青銅、ステンレス、亜鉛板(電極)等である。解体作業に伴う廃棄物は、可燃物は焼却処理し、焼却灰や不燃物は埋立て処理される。

(2)解体作業データ

解体作業のために工場において使用した燃料・エネルギー等の量及び燃料油、鋼材又は部品の回収量並びに排出した固形廃棄物の種類と排出量等の調査を行った。1998年度分の実績に基づく解体工場のシステムデータを図-6.5に示す。船舶の解体重量は建造時の船舶の軽荷重量の約95%、最大の部品である主機関の重量は軽荷重量の約3%程度と考えられる。主機関を解体した場合、

主機関の約80%を占めるケーシングは屑鉄になり、残りは再利用部品及び非鉄金属材料として回収される。

固形廃棄物には可燃ゴミと不燃ゴミがあり可燃ゴミの約70%はスラジオイル、8%が電線の被覆材である。また、不燃ゴミでは、電線被覆材が約47%、シート類が28%及びラバー類が25%程度になる。なお、アスベストは工場敷地内に保管される。なお、大気中及び水中への排出物は把握されていない。

6.2.4 伸鉄材の製造

伸鉄材の製造の作業対象の範囲は以下のとおりである。

(1) 作業工程

伸鉄材は解体作業で回収した鋼材を加熱炉で加熱し、ローラーで圧延して生産される。伸鉄の製造に関する作業の作業工程を図-6.6に示す。また、以下に作業内容を示す。

船舶の解体により回収した大型鋼板(1.5m×2-3m、板厚10-35mm)は重量の計量が行われた後、大型トラックで伸鉄の製造工場へ輸送される。

大型鋼板を切断機で幅7cm程度の矩形の鋼材に切断する。鋼板の切り屑は鉄スクラップとして売却される。切断された鋼材を加熱炉で1100℃程度まで加熱する。加熱炉の燃料には船舶から回収した重油を使用する。また、鋼材に付着している塗料は加熱・焼却され、スケールとして排出される。排出されたスケールは固形廃棄物として埋立て処理される。

加熱された鋼材をローラーで圧延し、直径約8mm、長さ6mの伸鉄に切断する。製造した伸鉄はフィリピン国内の建築資材としてセブ港から船で輸送される。ただし、伸鉄材の輸送は製品の購入者が実施する。

(2) 伸鉄材の製造データ

伸鉄材の製造により工場において使用した燃料・エネルギー等の量及び排出した固形廃棄物の種類と排出量等の調査を行った。伸鉄材の製造工場のシステムデータを図-6.7に示す。

6.2.5 中古部品と鉄スクラップの販売

解体した船舶から回収された中古部品は様々な形で再利用される。回収される部品は、ボルト、パイプ、バルブ、チェーン等の鋼材、発電機、ポンプ、制御盤等の機器及びライト、梯子等の機装品等全ての資材や部品が対象となる。これらの中古品は工場内で販売及び引き渡しが行われる。中古品のうち発電機等の電気機器類はフィリピン現地での需要が多く有る。また、大型主機関は一部が取り出され部品として販売されるか、粉碎して鉄スクラップとして輸出される。

船体の解体、伸鉄の製造等で発生する鉄スクラップは、日本、台湾又は韓国等の製鉄所向けに工場から船で輸出される。輸出は鉄スクラップの購入者が行う。

6.2.6 エネルギー

(1) 電力と水

工場の電力は石炭火力発電所から配電された電力を使用し、工場内での自家発電は行われていない。また、水は島内の井戸水を工業団地から購入している。電力は主にクレーンや伸鉄工場での圧延、事務所等で使用される。また水は事務所等での生活用水としての使用の他、伸鉄工場でローラーの冷却等で使用される。

(2) LPGと酸素ガス

解体作業では、LPGと酸素ガスを切断作業に使用する。LPGと酸素ガスは各々ボンベ又はボトル単位で使用され、工場にはガスを供給する配管設備はない。

(3) 軽油と重油

軽油や重油はバージ船やトラックで使用される。伸鉄材の製造では、炉の燃料として重油が使用される。消費する重油は調査時では全て解体する船舶から回収したバンカーであり、新たに購入した重油は使用していない。

6.2.7 廃棄処理

(1) 廃棄物の種類

廃棄物は、可燃ゴミと不燃ゴミの2種類として定量的に管理・区別される。可燃ゴミは、ボロきれ、スラジオイル、木片、紙等である。焼却後の灰は敷地内に埋め立て／保管される。また、不燃ゴミは、プラスチック、ラバー、グラスウール、灰、薄いシート類、アスベスト等である。アスベスト等の有害廃棄物を除き工場敷地内に埋め立てられる。

1998年度の実績では、解体作業から排出された燃やすゴミ36tを焼却し、約20m³の焼却灰と燃やさないゴミ80tが固形廃棄物として埋立て処理された。

(2) 処理設備

工場内には、解体部品を改良した焼却炉が設置され、海図等解体船舶から出る図面等の可燃物の焼却が行われ、焼却灰は敷地内に埋め立てられている。船舶から回収した油は一ヶ所に集められ、油水を分離した後、伸鉄製造のための炉の燃料として利用される。アスベストは他の作業場から離れた場所で防護服の着用等定められた安全管理と作業手順のもと、回収作業が行われる。回収後のアスベストは、施錠されたコンテナ内に保管する等他の廃棄物等とは区別した管理を実施している。

6.2.8 解体・伸鉄材の製造のシステムデータ

調査の対象とした工場の解体及び伸鉄材の製造を統合したシステムデータを図-6.8に示す。

6.3 国内の解体工場

船舶の解体工程に関するインベントリ分析を行うにあたり、船舶解体を構成する作業とその流れの実態、及び作業毎の入出力について把握するために、国内の船舶解体会社において解体作業について現地調査を行った。

6.3.1 全体概況

調査した工場では主に内航船を解体している。国内のシェアは50%程度である。過去には35万トンクラスのVLCC

を解体した実績があるが、最近はない。近年、コスト的に国際競争力が弱いことためVLCCの解体は国内では行われていない。国内の船主のVLCCは東南アジアやインドなどの解体業者へ売却されている。

木船の掃海艇、FRP船の哨戒艇、レジャーボートなどは解体で得られる屑鉄が少ないため、また、鋼船の漁船は冷凍庫の解体コストが大きいことため、船主からの産業廃棄物処理費や国からの処理助成金を受けて解体している。

工場では伸鉄材は生産していない。東南アジアや中国などでは伸鉄の需要があるが、国内では土木建築の基準が厳しいことためマーケットがない。VLCCの解体からは建設現場で使う敷板などを回収することができるが、前述のとおりVLCCの解体は国内では行っていない。

6.3.2 船舶解体工程の作業の流れと入出力

調査した解体工場における作業の概要を以下に列記する。

(1) 解体船は揚陸し陸上主体で解体を行う。パワーショベル解体機(ラバンティ)、切断機(ギロチンシャー)などの大型機械を導入することによって作業全体の省力化・効率化を図っている。なお、大型船は海上でガス切断し600～700tのブロックにして揚陸する。小型船は揚陸してから解体を行う。大撤しに要する作業日数は、1000tの鋼船の場合で1週間～10日程度である。

(2) 解体船の種類(鋼鉄、木造、FRP)、大きさ、資源回収の可能性、及び同時並行的に解体可能な隻数などを勘案して、その時々に応じてヤード内の物の流れを円滑・迅速にする方法がとられる。その結果、作業の順序は大きく変動する。なお、現地調査当時、掃海艇とマグロはえ縄漁船の解体作業を並行して行っていた。

(3) 屑鉄は、電炉メーカーの求める品質・寸法のもを極力多く効率よく回収する。屑鉄の規格を表-6.1に示す。H3よりもH2の方が、H2よりもH1の方が単価が高い。ギロチンシャーなどで切断しH1、H2などの等級に分別・回収する。銅やアルミニウムなどは混入不可のため、冷凍庫や配管などで木部、発泡スチロール、ウレタンなどの保温材は人手でガス切断することによって剥離する。また、磁力や比重差による選別も行う。鋳物屑は小割機で分割する。

(4) 非鉄金属を含んだケーブルや電気機器などは、現時点では野積みで保管している。今後の回収技術の実用化の動向や、市況を見ながら対応することになっている。

(5) 解体船の燃料油は、大型船では海上にて残油スロップを抜き取り、小型船の場合は揚陸後に抜き取る。抜き取ったA重油は解体機などの燃料として利用する。C重油の一部も再利用することがある。

(6) エンジンルームのビルジやスラッジを高水圧で洗浄する作業は、大撤しの前に行う。

(7) 焼却炉で焼却する物は、ぼろぎれ、木片、紙類である。廃油、ビルジ、スロップ、電線被覆材、プラスチック、ラバー、グラスウール、覆いシート類、アスベストは産業廃棄

物として処理する。

船舶解体の作業の流れと入出力の概要を、図-6.9に示す。

6.3.3 解体工程における実績

最近1年間(1999年)に解体した船舶の種類、隻数

最大船の軽荷重量を表-6.2に示す。

再販売・リース可能な部品や機器はチェーン、錨、主機、発電機、ポンプ、清浄機、コンプレッサ、航海機器、ウィンチ、照明機器、制御機器等であり再販売等が可能である。

すべての物が売却できるというのではなく、傷み具合の程度、型式などの条件が合ったものに限られる。解体着手前に販売可否のチェックを行い、取外しは解体工程計画に織込む。シャフト類や家具類を売却した実績はない。

解体船舶から取り出した屑鉄は規格がH1以下のものである。上級屑であるHS1規格は造船所で発生したものである。建築用大型定寸鋼板は切り出していない。

金属では銅、 brass、ブロンズ、ステンレス、亜鉛、鉛、アルミ、砲金、バビットメタル等が回収され、再利用可能である。

なお、今回の現地調査では、屑鉄の生産量や燃料・エネルギーなどの数量については把握できなかった。

6.3.4 船舶の解体工程におけるLCI分析

以上のとおり内航船の解体現場の実態把握に努めるとともに、各種文献、調査資料、インターネットホームページ等からも広く情報収集に努めた。しかしながら、インベントリ分析を行うために必要な質と量のデータが収集できていないと言いがたい状況にある。近年大型の船舶はすべて海外で解体されていることもあって、データ入手が容易でない。このような状況から、これまでの調査結果をインベントリ分析の手法にそって整理して定性的なレベルでインベントリ分析を試行することにした。

(1) 解体工程の流れ

船種や工場の配置などの個別の状況によって、多様なバリエーションがあるが、大筋としては図-6.10のように考えられる。

船体の解体では、先ず係船して海上で大撤しを行う。海上クレーンの有無や、その作動範囲の水深や潮位・潮流、岸壁や突堤の有無、揚陸設備の能力、大撤しの進行に伴う解体船の喫水や変動などを考慮しながら作業が進められる。

その後、大撤し作業で船体から切り離し揚陸した立体ブロックや大型機器を、中撤し作業で地上で扱いやすい大きさの平面ブロックなどに分割する。さらに、小撤し作業で出荷に適した大きさに分類する。

販売またはリース可能な中古部品や機器は、解体作業の途中で適切な時点で回収される。敷板材、伸鉄材、非鉄金属などは、市場や顧客の要求する規格、品質のもの

をできるだけ多く回収できるように中小撤し作業で切断、分解、分類される。

(2) 解体工程のインプット、アウトプット

上述の五つの工程に分けて分析を進める方が望ましいが、現状に鑑みあえて解体工程全体を一つの工程とみなした。インプットとアウトプットを図-6.11のように4分類して整理する。解体工程について整理したものを図-6.12に示す。

6.4 まとめ

船舶の解体・リサイクル工程におけるインベントリ分析の解析方針の検討を目的に、解体及び伸鉄材の製造に関する作業内容、投入する資材、エネルギー及び排出物の

種類とその管理状況について国内外の解体工場等の現地調査を行った。

その結果、解体・リサイクルに関する作業工程の流れと種類について明らかにし、大型船舶の解体及びリサイクルに関するシステムデータを得た。しかし、インベントリ分析の実施に必要な個別の作業量や廃棄物は、解体船舶の種類や工場設備等により異なるため、今回の調査結果から定量的に把握することはできなかった。船舶の解体及びリサイクルに関してインベントリ分析を的確に実施するためには、作業量の適格な推定と併に、解体船舶に含まれる再利用可能な部品、リサイクル材料及び有害物質等に関する詳細な情報が必要となる。

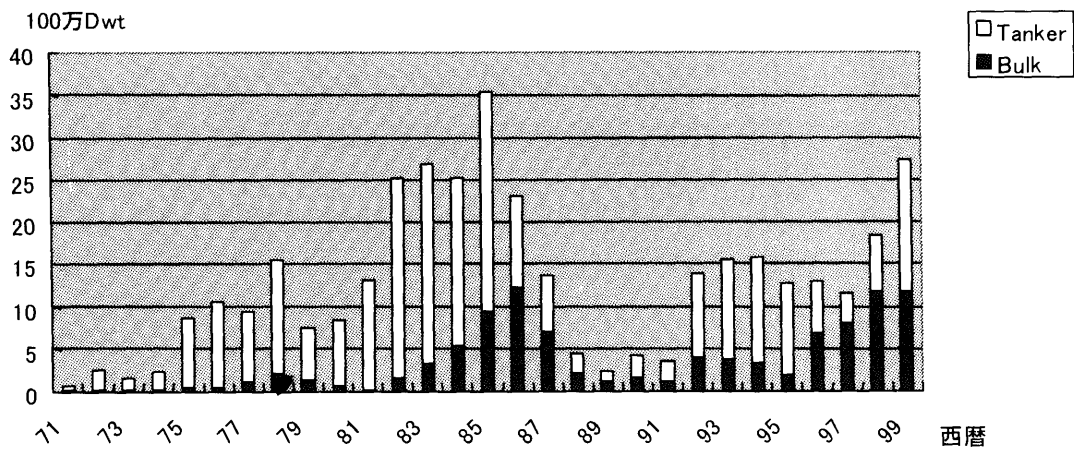
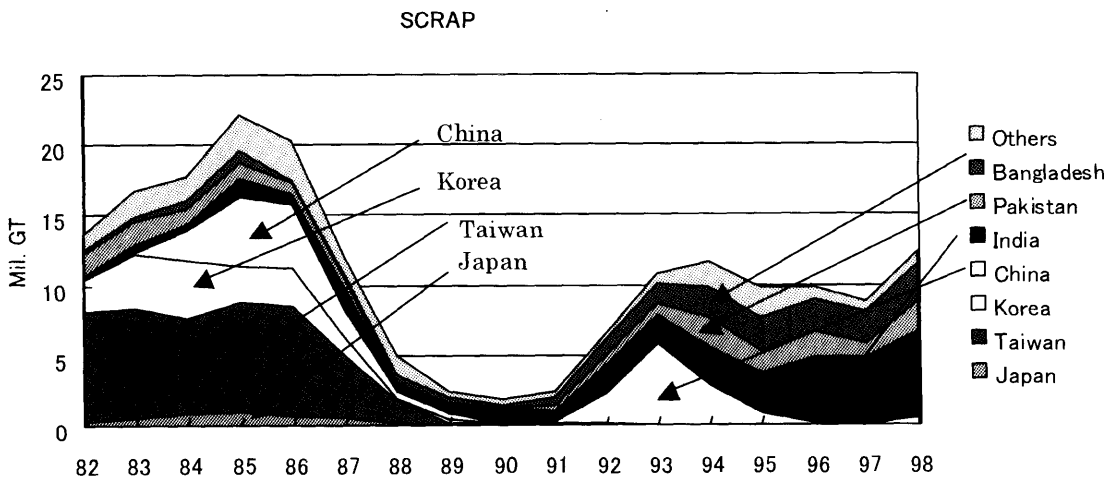


図-6.1 世界中の船舶解撤量の推移

データソース：Clarkson Research Studies Autumn 1999



データソース：Lloyd's Register

図-6.2 国別 解撤量の推移

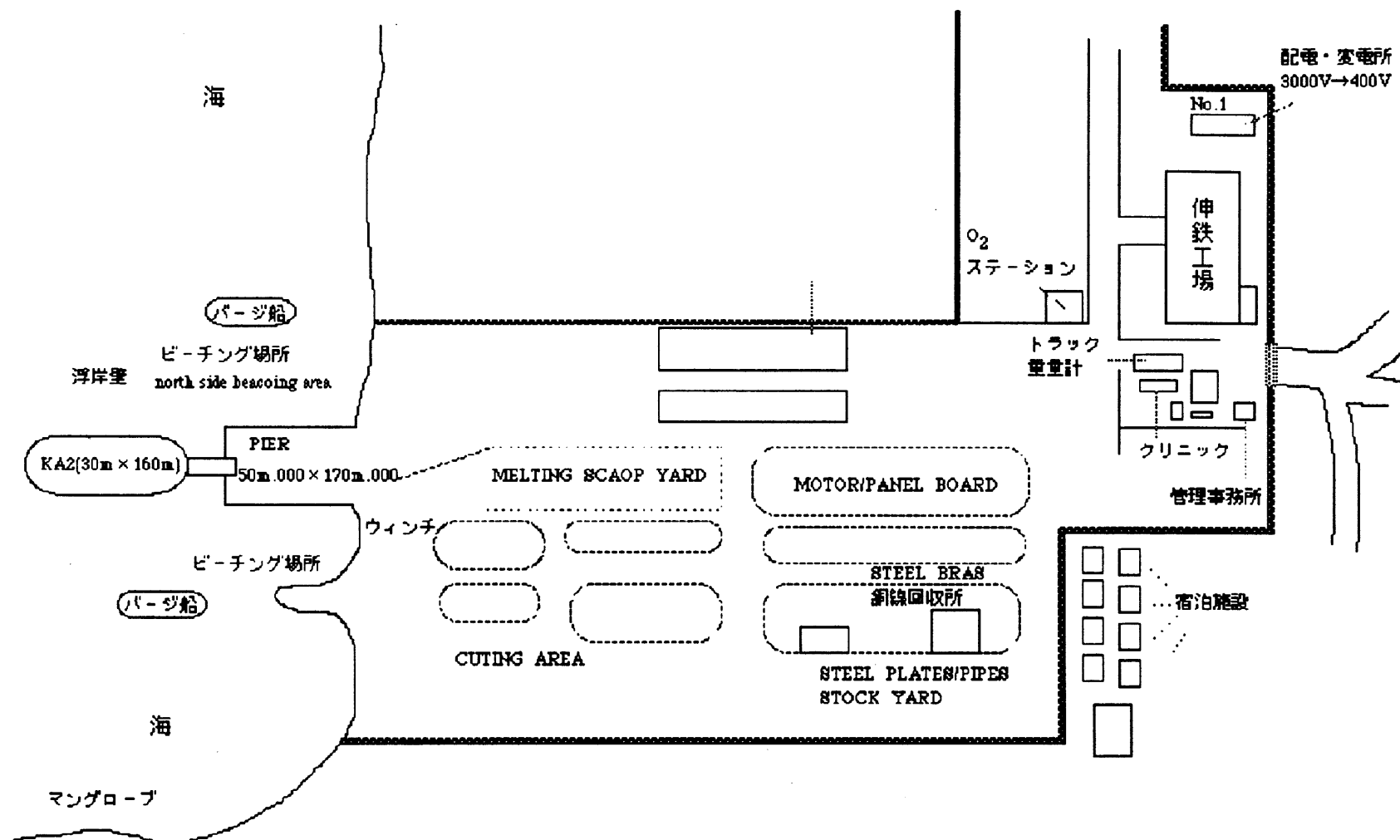


図-63 工場配置図

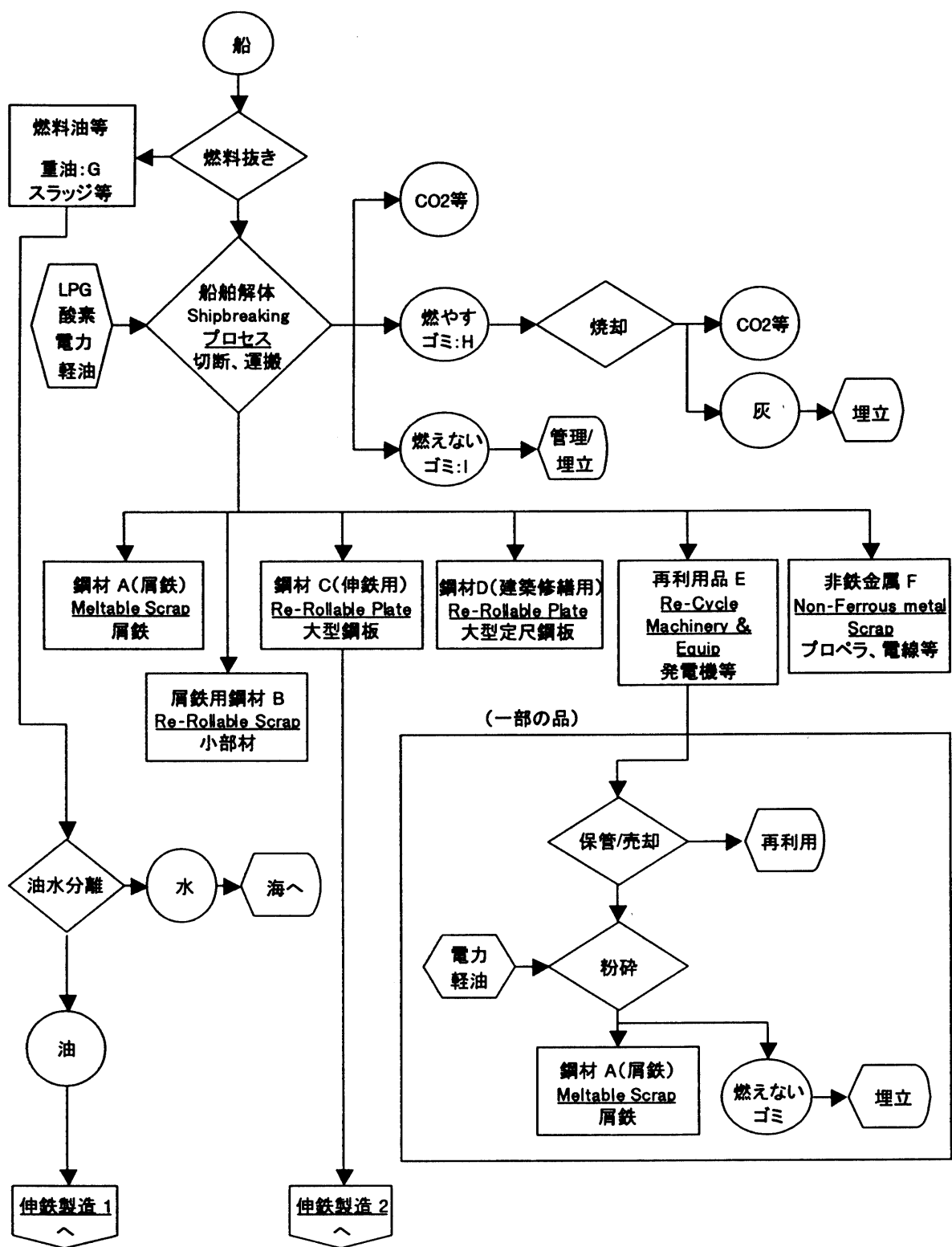


図-6.4 船舶解体に関するプロセスフロー

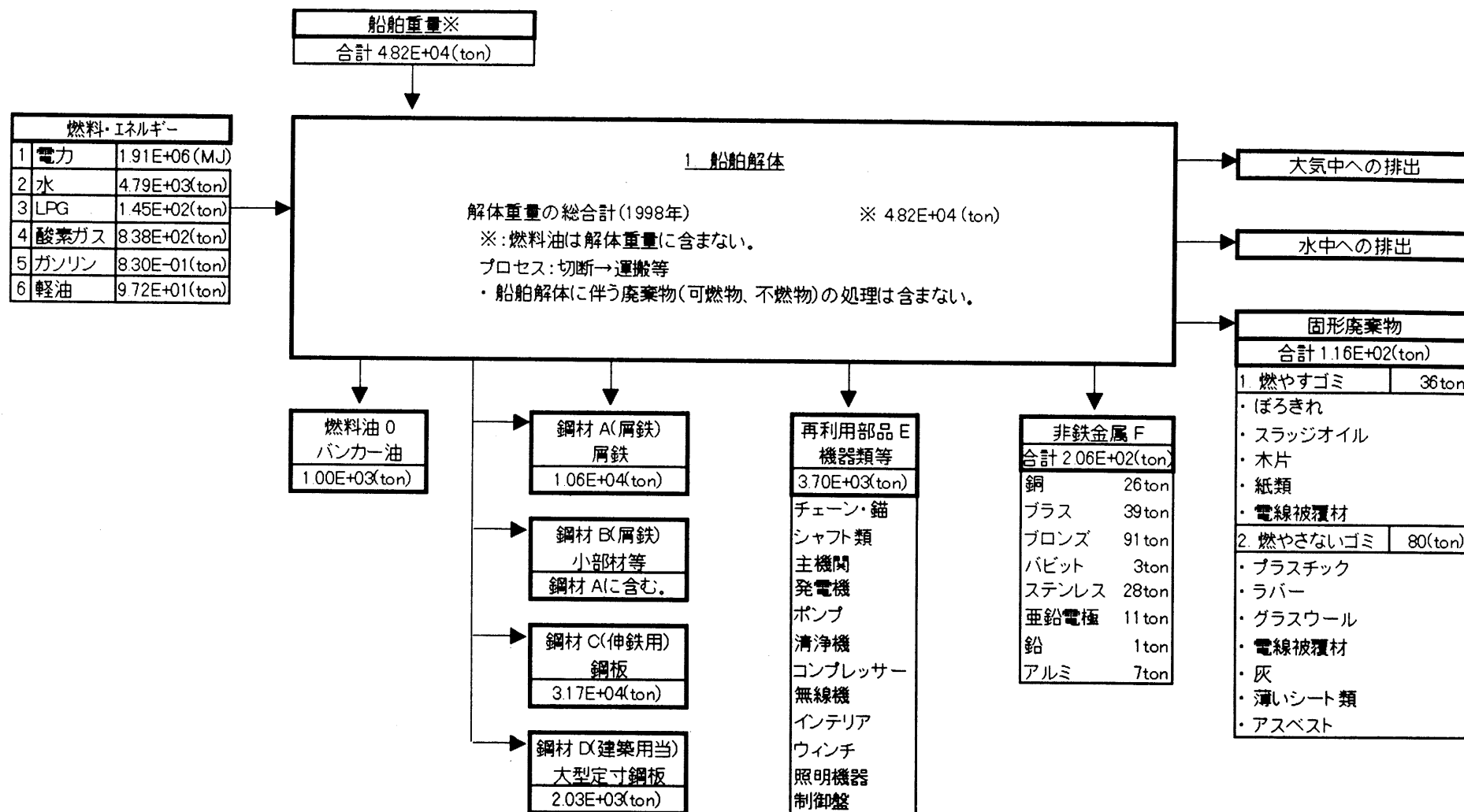


図-6.5 解体作業のシステムデータ

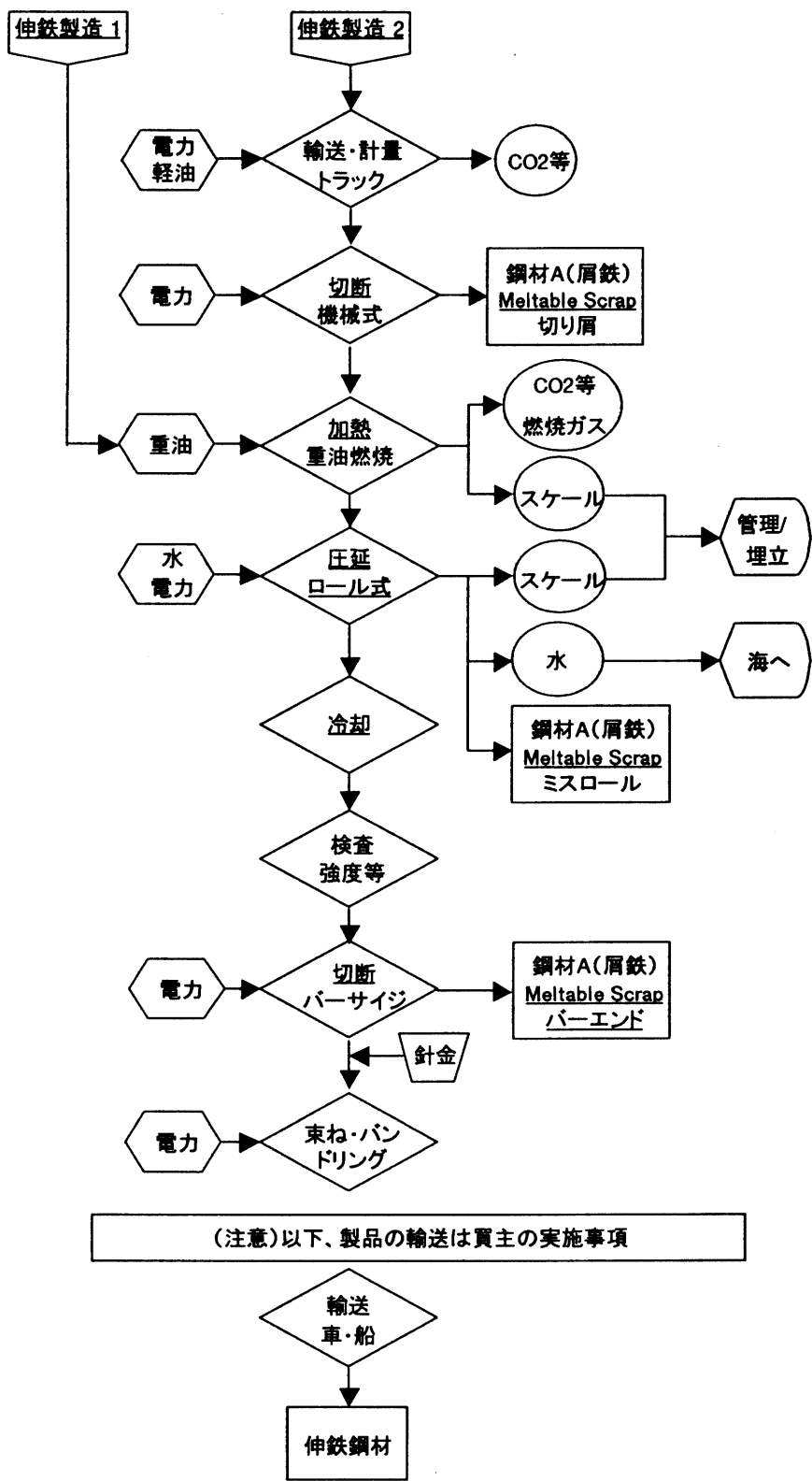


図-6.6 伸鉄製造に関するプロセスフロー

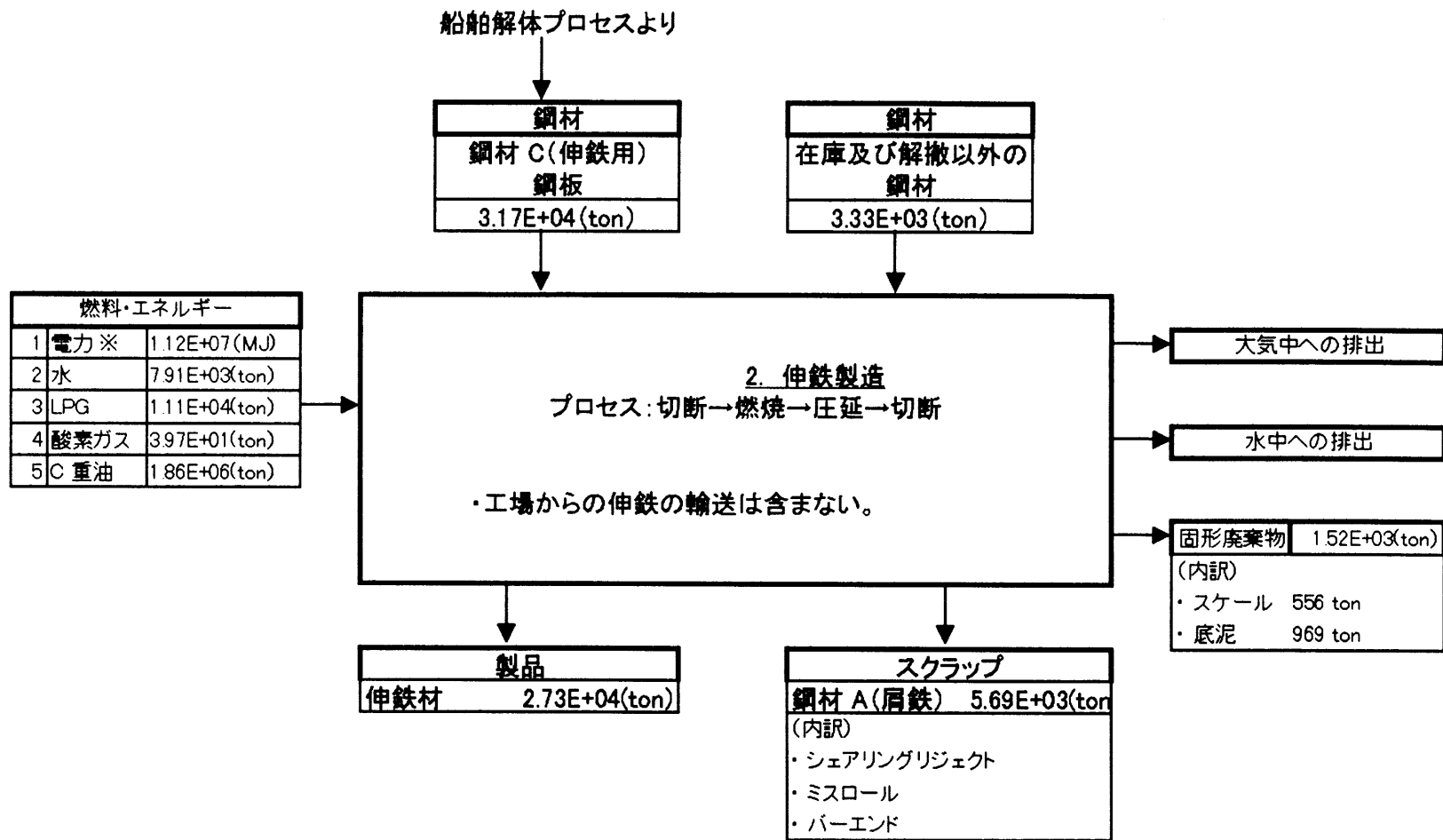


図-6.7 伸鉄材の製造のシステムデータ

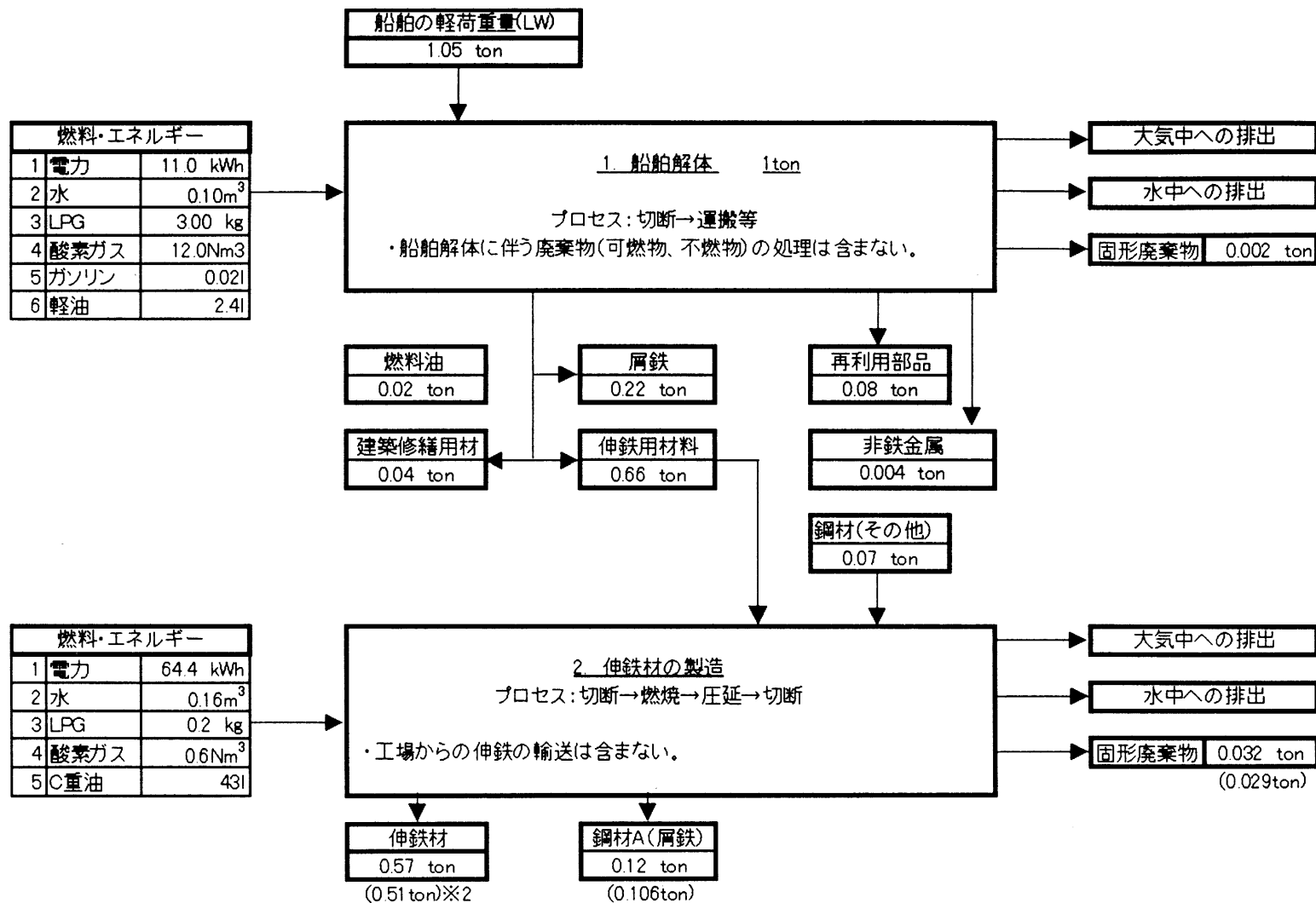


図-6.8 船舶の解体及び伸鉄材の製造のシステムデータ

※()内の数値は、解体重量1tonに対する値

表 -6.1 屑鉄の規格

等級	サイズ(mm)			単重(kg)
	幅	長さ	厚さ	
HS	≦500	≦700	≧3	≦600
H1	≦500	≦1200	≧6	
H2	≦500	≦1200	3≦ <6	
H3	≦500	≦1200	1≦ <3	
H4	≦500	≦1200	<1	

化学成分(%):すべての等級において
Cu≦0.30 Ni≦0.25 Cr≦0.25 Mo≦0.05であること

表 -6.2 解撤した船舶(1999年)

船舶の材料による分類	隻数	最大船の軽重量(トン)
鋼船	約 55	2370
木船	5	380
FRP船	10	-

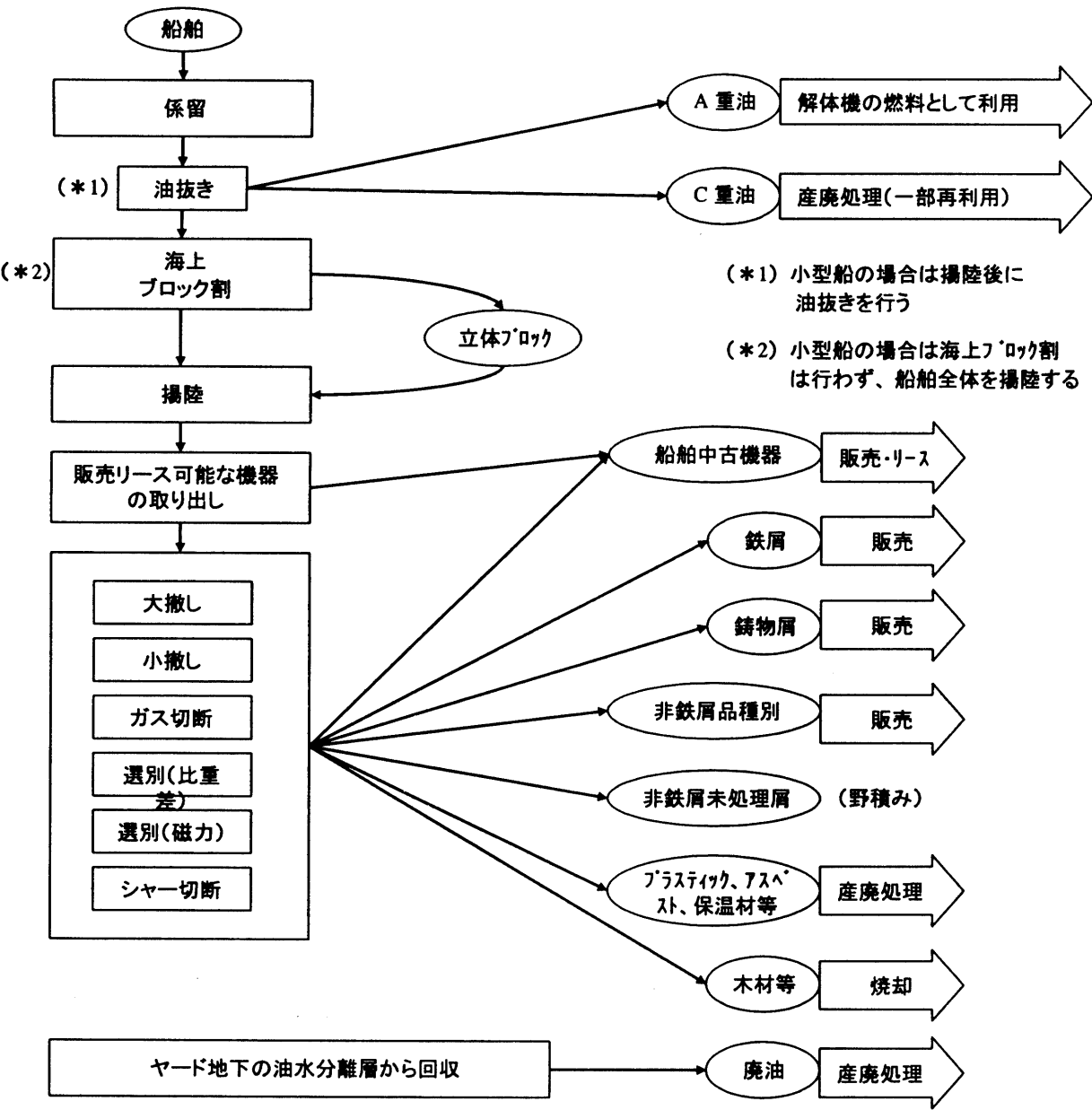


図-6.9 国内解体工場の作業の流れ

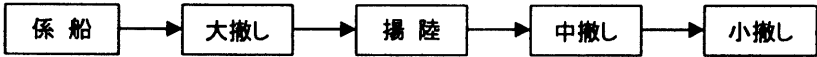


図-6.10 解体工程の作業とその流れ

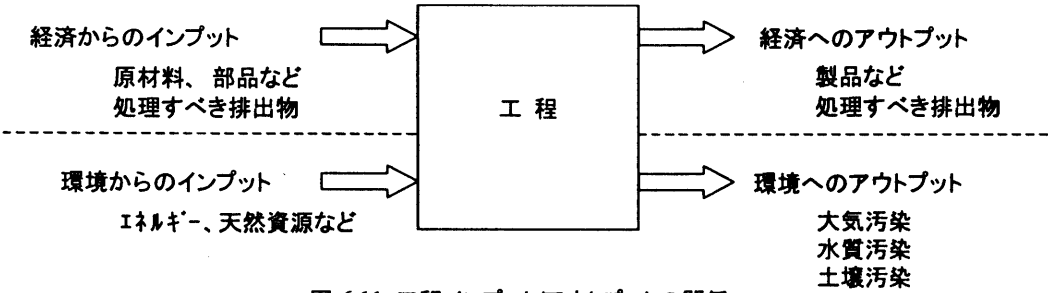


図-6.11 工程インプット/アウトプットの関係

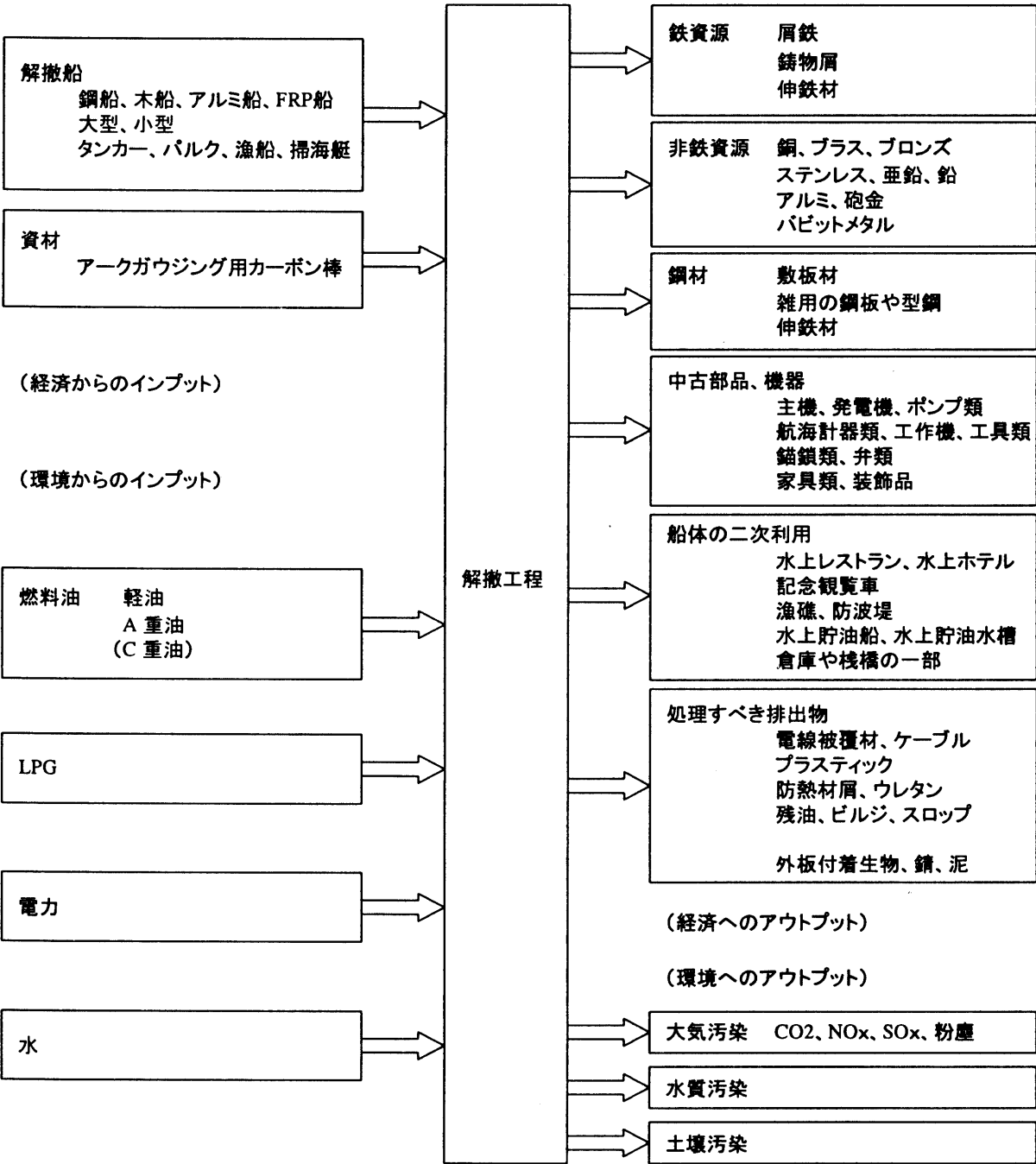


図-6.12 解体工程のインベントリ

7. 船舶への適用

まえがき

船舶のライフ・サイクル・インベントリ分析(LCI分析)を、建造、運航、解体及び回収鋼材のリサイクル等のライフサイクルの段階について実施した。各段階でのインベントリ分析はプロセスフローに基づいてプロセス行列を作成し、行列法により解析する手法を適用した。各段階のインベントリ分析で考慮するシステム境界、プロセスフロー及びプロセスの種類を以下にまとめる。

7.1 建造

船舶の建造にインベントリ分析を適用する場合のシステム境界と関連するプロセスを以下に示す。

7.1.1 システム境界

船舶建造のインベントリ分析で対象としたシステム境界と建造工程を図-7.1に示す。図中の各建造工程には関連するプロセスや資材の一例を示した。解析には素材やエネルギー等の製造に必要な資源の採掘から造船所における船の建造までを含め、完成後の引き渡しは含まなかった。素材やエネルギー等の製造は製造インベントリデータとして解析処理されたデータを使用し、それらの製造工程での個々のプロセスは解析の対象とはしない。

建造工程を作業内容に応じて、材料調達、加工・組み立て、間接業務、工場内での排出物処理及び外部への委託による廃棄物処理の5つの作業に分類した。また、建造に関する全体フローを図-7.2に示す。

7.1.2 材料調達

材料調達では建造に使用する全ての材料の造船所への搬入作業を材料調達の対象とする。建造工程の材料調達に関するプロセスフローを図-7.3に示す。材料調達は材料重量を考慮して鋼材、主機関及び他の資材の輸送に分類した。材料調達の機能単位を輸送量(ton-km)とした。

搬入する材料重量には素材の加工作業に伴う歩留まり分や梱包材の重量を考慮する必要がある。鋼材の歩留まりは素材の種類や工場の設備等により異なる。日本の大型船の造船所では概ね、鋼板で95(%)及びパイプ類で75(%)程度と考えられる。また、梱包材には資材の種類に応じて木材、ビニール、プラスチック、専用コンテナ等が使用される。梱包材はその種類に応じて使用方法や処理方法が異なる。そのため、梱包材の解析では製造、使用及び廃棄処理を含むライフ・サイクル・インベントリデータとして解析処理されたデータを使用する。

7.1.3 加工・組み立て

建造工程の設計から各種の素材加工、据え付け及び海上試運転までを対象とする。加工・組み立て作業を溶接、運搬及び塗装等の最小のプロセスに分解して作成したプロセスフローを図-7.4に示す。加工・組み立て作業におけ

るプロセスの種類、機能単位及び作業内容等を表-7.1に示す。また、各プロセスの対象範囲等を以下に示す。

(1)素材の前処理

ショットブラスト等搬入した鋼板の黒皮の除去作業を対象とする。作業量は処理面積に比例すると考え、機能単位は「 m^2 」とした。ただし、プライマー塗装は塗装作業に含める。素材の前処理の作業量は鋼板の使用量に比例し、概略値は鋼板使用量と板厚等から算出する。

(2)運搬

造船所内での運搬作業は一般に内業工場での運搬、内業工場から地上組立場所、ドック、艀装岸壁等の外業作業場への資材の運搬及びドックでの搭載作業の三つに分類できる。ここでは、大型トラックやクレーン等専門職種(運搬工等)による内業工場から外業作業場への資材の運搬を対象とする。運搬の機能単位は輸送量「ton-km」とした。運搬の輸送量は建造船舶の仕様、造船所の建屋の配置や設備に依存する。

(3)マーキング

NC制御装置やフォトマーキン等で部材の切断及び取り付け位置等の情報を鋼板に記載する作業を対象とする。機能単位を「km」とした。近年、切断作業はマーキングせずにNC制御で行われるため、CNC制御のガス・プラズマ切断機を使って粉末溶射等により部材の取付け位置等をマーキングすることが多い。

(4)切断

酸素プラズマ切断等素材の切断作業を対象とする。機能単位を切断断面「 m^2 」とした。切断作業量の推定は平均的な板厚と溶接線長等から算出する。

(5)曲げ・歪取り

ガス加熱や機械プレス等による鋼板の曲げ作業や歪み取り作業を対象とする。鋼材を変形させるため、機能単位をエネルギーの単位である「MJ」とした。

(6)溶接

被覆アーク溶接や CO_2 ガス溶接等の溶接作業を対象とする。溶接の機能単位を溶着金属の重量「ton」とした。溶接部の重量は船体の重量構成表等として与えられる場合が多い。なお、造船所では溶接の設計情報として溶接線長を使用する場合もある。しかし、複数パスを要する厚板鋼板の溶接を多く実施する船舶では、溶接線長から正確な溶接作業量を把握することは困難と考えられる。

(7)研摩・切削

溶接後のビート面の磨きや取り付け面の研摩及び部材や機器の取り付けに必要な切削・穴あけ等を対象とし、機能単位を切削重量「ton」とした。

(8)塗装

素材のプライマー塗装、船体の防食塗装及び防汚塗装を対象とする。機能単位は塗膜重量「ton」とした。塗膜重量は船体の重量構成表等として与えられる場合が多い。

(9)搭載

ドック内や艀装岸壁でのブロックや主機関等の部品の搭載作業を対象とする。搭載の作業量は部品等の重量に依存すると考え、機能単位は部品等の搭載重量「ton」とした。

(10)試運転

引き渡し前の公試前運転及び海上公試運転を対象とする。試運転の実施方法は船舶の種類や造船所等により異なる。機能単位は試運転での機関の運転での運転エネルギーを基準として「MJ」とした。

(11)検査

溶接部の欠陥を対象とし、機能単位を「箇所」とした。溶接部の検査数は以下の式により与えられる。¹⁾

$$\text{検査箇所} = 50 \times (L/100)^{2/3} + 20$$

7.1.4 間接業務

間接業務では、電力等のエネルギーの製造、工場設備の使用及び諸作業等を対象とする。間接業務に関するプロセスツリーを図-7.5に示す。また、間接業務におけるプロセスの種類と適切と考えられる機能単位を表-7.2に示す。各プロセスの対象範囲等を以下に示す。

(1)エネルギーの製造

造船所内の発電装置等による電力、蒸気・熱等のエネルギーの製造を対象とする。電力製造に関する機能単位は「MJ」、また、蒸気・熱の製造では蒸気量「ton」を機能単位とした。しかし、煩雑さを避けるため、本解析ではエネルギー製造をエネルギー量「MJ」で一括して取り扱った。

(2)機器・設備の使用

電力を主たるエネルギー源とする機器や設備の使用を対象とする。造船所では各機器・設備の使用量を機能単位で把握してないため、本解析では機器・設備の使用量を全て電力使用量「MJ」として処理した。

(3)諸作業

設計・試験、入級検査、諸儀式、通信又は各種事務作業等、主として人的労力を必要とする作業を対象とする。機能単位は作業者の労力「man-day」とした。

7.1.5 工場内排出物処理

排出物処理では、建造工程から排出された排気ガス、排水及び固形排出物を工場内で処理するプロセスを対象とする。工場内排出物処理に関するプロセスツリーを図-7.6に示す。また、排出物処理におけるプロセスの種類を表-7.3に示す。各プロセスの対象範囲等を以下に示す。

(a)排ガス処理

建造工程で排出される各種の排ガスの処理を対象とする。機能単位は処理の対象となる排ガス量「m³」とした。排ガス処理により発生する煤塵等は産業廃棄物として埋め立て等により処理する。

(b)排水処理

工場建物からの排水の処理を対象とし、船舶やドック内からの排水は対象としない。排水処理により発生する汚泥

等は産業廃棄物として埋め立て等により処理される。機能単位は処理の対象となる排水の重量「ton」とした。

(c)焼却処理

造船所内での梱包材等の木材、紙及び一部のプラスチック等の可燃物の焼却を対象とする。焼却物は工場内の焼却炉にて焼却され、焼却灰は産業廃棄物として埋め立て等により処理される。機能単位は工場内の焼却物の重量「ton」とした。

7.1.6 廃棄物処理

造船所で処理できない廃棄物は輸送され、埋め立て等により処理等される。処理方法は廃棄物の種類により異なる。本解析では廃棄物を産業廃棄物、特定処理物、リサイクル原料及び再利用部品に分類した。建造工程からの排出物の処理に関するプロセスツリーを図-7.7に示す。また、廃棄物処理に関わるプロセスの種類を表-7.4に示す。各プロセスの対象範囲等を以下に示す。

(1)廃棄物の輸送

産業廃棄物等造船所以外で処理する廃棄物を所定の場所まで輸送する。機能単位は輸送量「ton-km」とした。

(2)産業廃棄物

産業廃棄物は輸送以外の特別な処理をせず、海域や産業廃棄物処理場等にて埋め立て処理される。建造工程で対象となる廃棄物は、プラスト後の塗料の混ざったショットや砂、溶接後のスラグや各種の加工作業に伴う廃棄物、排水処理後の汚泥、廃塗料等である。

(3)特定廃棄物

主にダイオキシンを発生する可能性のあるビニール、プラスチック等の材質により定まった廃棄物処理を行う廃棄物を対象とする。

(4)リサイクル原料

鉄やアルミ等の金属スクラップ等、リサイクルを行う廃棄物を対象とする。建造工程では主な鉄スクラップは鋼材の端切れや溶接棒の残り、また銅スクラップは電線の銅線である。

(5)再利用部品

再利用する部品であり、外部業者により適宜処理される。

7.2 運航

船舶の運航にインベントリ分析を適用する場合のシステム境界及び関連するプロセスを以下に示す。

7.2.1 システム境界

船舶運航のインベントリ分析で対象としたシステム境界と運航に関連するプロセスを図-7.8に示す。船舶は主機関等の機関運転で得るエネルギーを使用し、プロペラ等を駆動して船舶は航海を行う。解析は航海に伴う船舶の使用及び燃料や部品等の消耗品を対象とし、船体の建造は対象としない。また、荷役における陸上での関連する業務や設備使用はシステムの対象外とした。燃料や消耗品等の

製造は解析処理等されたインベントリデータを使用し、製造工程での個々のプロセスは解析の対象とはしない。

運航工程を作業内容に応じて、機関運転、航海、保守・修繕、船上における排出物処理及び陸上での廃棄物処理の5つに分類した。運航に関する全体フローを図-7.9に示す。機関運転で得られるエネルギー等は船舶の航海にのみ使用される。

7.2.2 機関運転

主機関及び補機類は機関室にて船舶の航海を行うための機械軸出力等のエネルギーの製造を行う。機関で製造するエネルギー等と主な発生装置を表-7.5に示す。一般に、船舶の機関の構成は船舶毎に異なり、航海状態により各機関の運転条件は変化する。機関を構成する主な機器等を図-7.10に示す。

7.2.3 航海

船会社では航海記録(Abstract Log)等で船舶の航海を荷役等の停泊(Lying)、沖止まり等の仮泊(Temporal Anchoring)及び航走(Under Weigh)等に区別して航海時間を記録している。また、航走は更にスタンバイ(Stand By)、航進(Propelling)、ディテイン(Detain)等、詳細に区別される。本解析では船舶の航海でエネルギー消費量が多い航進と荷役を航海のプロセスの対象とした。

船舶は推進装置や荷役装置等、各種機装品を機関運転で得たエネルギー等により稼動し、航海や荷役を行う。航進と荷役は船速や貨物の搭載量等の航海状態により航海に要するエネルギー量が異なる。代表的な航進と荷役のプロセスの種類を表-7.6及び7.7に示す。航進と荷役の機能単位は各々航海距離と荷役の対象の貨物重量とした。

航海のプロセスフローを関連する主な機装品と共に図-7.11に示す。一般に船舶の機装品の構成は船舶毎に異なり、その使用状況も航海状態により変化する。エネルギーを使用する主な装置と使用区分の一例をエネルギー等の種類別に表-7.8～7.15に示す。²⁾³⁾⁴⁾

7.2.4 保守・修繕

保守・修繕では造船所に入渠して行う機関・機器の保守及び船体の修繕作業を対象とする。保守・修繕におけるプロセスの種類とプロセスフローを表-7.16及び図-7.12に示す。

(1)船体修繕

船殻の切り替え等の修繕作業を対象とする。修繕作業に伴う切断や溶接等の素材加工での作業量は概ね使用する素材重量に比例しそのエネルギー消費は素材の製造に伴う比べ小さいと考えられる。そのため、船体修繕の機能単位は使用する素材重量「ton」とした。

(2)部品交換

機関部品、船用品又は防食亜鉛板等の機装品の交換を対象とする。交換部品等の据付け、搭載及び調整等の作業は機器・設備の使用及び諸作業でエネルギー消費や

人的労力を考慮するため、部品交換の機能単位は交換部品重量「ton」とした。

(3)塗装

船体全体に実施する防食塗装及び防汚塗装を対象とする。機能単位は塗膜重量「ton」とした。

(4)諸作業

入渠作業、船体清掃及び検査等の人的作業を対象とし、機能単位は作業者の労力「man-day」とした。

(5)機材・設備の使用

船舶の入渠時の排水ポンプ、照明や空調機器、工作機械及びクレーン等の使用を対象とする。機能単位は電力等のエネルギー量「MJ」とした。

7.2.5 排出物処理

排出物処理では、船舶の機関運転に伴う排出物の処理を対象とする。船舶の排出物処理のプロセスの種類とプロセスフローを表-7.17及び図-7.13に示す。

(a)排ガス処理

主機関、ボイラー及びディーゼル発電機等の排ガス中のNO_x、SO_x又はPM等の排出物の除去等を対象とする。機能単位は処理の対象となる排ガス量「m³」とした。

(b)油水处理

ビルジ又はタンククリーニング水等の油水の油水分離装置等による油分の除去等を対象とする。機能単位は処理の対象となるビルジ等の油水重量「ton」とした。

(c)焼却処理

燃料清浄装置や主機関の運転に伴い排出されるスラッジ等の焼却を対象とする。スラッジは船上に設置された焼却炉にて焼却する。機能単位は処理の対象となるスラッジ重量「ton」とした。

7.2.6 廃棄物処理

船舶の航海に伴い排出される廃棄物は最終的には陸上で処理が行われる。運航に関わる廃棄物処理は建造工程と同じとした。

7.3 解体

船舶の解体にインベントリ分析を適用する場合のシステム境界及び関連するプロセスを以下に示す。

7.3.1 システム境界

船舶の解体でインベントリ分析の対象としたシステム境界と解体に関連するプロセスを図-7.14に示す。解体は解体場所への船舶の輸送から解体及び解体した船舶から回収した鉄スクラップや中古部品の保管及び販売までを対象とし、回収した鋼材、各種金属スクラップ及び部品等のリサイクルや再使用は対象としない。エネルギー等の製造は解析処理等されたインベントリデータを使用し、製造工程での個々のプロセスは解析の対象とはしない。

解体工程を作業内容に応じて材料調達、解体、間接業務、排出物処理及び廃棄物処理の5つに分類した。解体に関するプロセスフローと船舶からの回収物を図-7.15に

示す。また、解体におけるプロセスの種類と作業内容を表-7.18に示す。

7.3.2 材料調達

材料調達では解体に使用するプロパン等の材料と解体船舶の搬入を対象とした。解体船舶は自走して解体場所へ到着する。大型船舶の現在の主な解体場所は遠浅な海岸、解体工場の岸壁及び解体専用のドックである。また、主な搬入資材はプロパンガスボンベであり、解体場所にトラックで搬入される。

7.3.3 解体作業

解体作業では燃料抜き取り、切断、吊り出し、運搬を対象とする。スラッジの除去等のクリーニングは作業員の手作業で実施するため、間接業務に含めた。

7.3.4 間接業務

間接業務は建造工程と同じとした。

7.3.5 排出物処理

排出物処理として油水处理及び可燃物の焼却処理を主なプロセスとした。油水处理では船舶から回収した燃料、スラッジ及びビルジ等を油水分離させた後に油分を回収する。また、可燃物は船体の解体に伴って排出される木材、紙類及びスラッジ等である。

7.3.6 廃棄物処理

船舶の解体に伴い排出される焼却灰やグラスウール等の廃棄物は建造工程と同じ処理方法を想定した。しかし、現状では解体工場内に廃棄されている場合が多い。

7.4 伸鉄材製造

解体した船舶から回収した鋼材を原材料として伸鉄材を製造するシステムにインベントリ分析を適用する場合のシステム境界及び関連するプロセスを以下に示す。

7.4.1 システム境界

伸鉄材製造でインベントリ分析の対象としたシステム境界と伸鉄製造に関連するプロセスを図-7.16に示す。伸鉄製造では解体船舶等から得た鋼材を材料として建設用の伸鉄材を製造する工程を対象とした。伸鉄材の製造に伴い発生する鉄スクラップのリサイクルや工場からの出荷はシステムの対象としない。電力やプロパン等の製造は解析処理等されたインベントリデータを使用し、製造工程での個々のプロセスは解析の対象とはしない。

伸鉄材製造に関わるプロセスを材料調達、伸鉄材製造、間接業務、排出物処理及び外部への委託による廃棄物処理の5つに分類した。伸鉄材製造に関するプロセスフローを図-7.17に、また、関連するプロセスの種類を表-

7.19に示す。

7.4.2 材料調達

材料調達では解体船舶から回収した鋼材や使用する資材の搬入を対象とする。鋼材は解体工場から、また、その他の資材として加熱炉で使用する重油等が主にトラックで搬入される。

7.4.3 製造工程

伸鉄材の製造工程では解体船舶から回収した鋼材の切断、加熱、圧延及び運搬を対象とする。加熱及び圧延の機能単位は鋼材の加熱に要する熱量「MJ」及び圧延材の重量「ton」等とした。切断及び工場内運搬の機能単位は建造工程と同じとした。原料の鋼材や製品の伸鉄材の裁断時に発生する端材は鉄スクラップとしてリサイクルされる。

7.4.4 間接業務

間接業務は建造工程と同じとした。

7.4.5 排出物処理

排出物処理は建造工程と同じプロセスを想定し、排ガス処理、排水処理及び可燃物の焼却処理を対象とした。なお、加熱炉の排ガスやスケールは特別な処理が行われることなく環境中に排出されている場合が多い。

7.4.6 廃棄物処理

伸鉄材製造に伴い排出される廃棄物処理は建造工程と同じプロセスを想定した。しかし、現状では鉄スクラップを除き、解体工場内に廃棄されている場合が多い。

7.5 まとめ

船舶の建造、運航、解体及び伸鉄材の製造に関するインベントリ分析の実施においてエネルギー消費を基準に考慮する必要のあるシステム境界及びプロセスの種類をまとめた。解析の実施に際しては、解析の目的に応じて、プロセスの追加又は削除等の確なプロセスツリーの作成を行う必要がある。

参考文献

- 1) 日本造船学会編、改訂船舶工学便覧(第2分冊)、昭和54年7月発行、P775
- 2) 関西造船協会編、造船設計便覧(第4版)、昭和58年8月8日発行、p920,p752,p754,p746,p732,p742
- 3) 造船テキスト研究会、商船設計の基礎(下巻)、成山堂書店、昭和57年7月15日発行、p375,p378,p397
- 4) 航海便覧編集委員会、航海便覧(三訂版)、海文堂出版、平成3年10月16日発行、p754

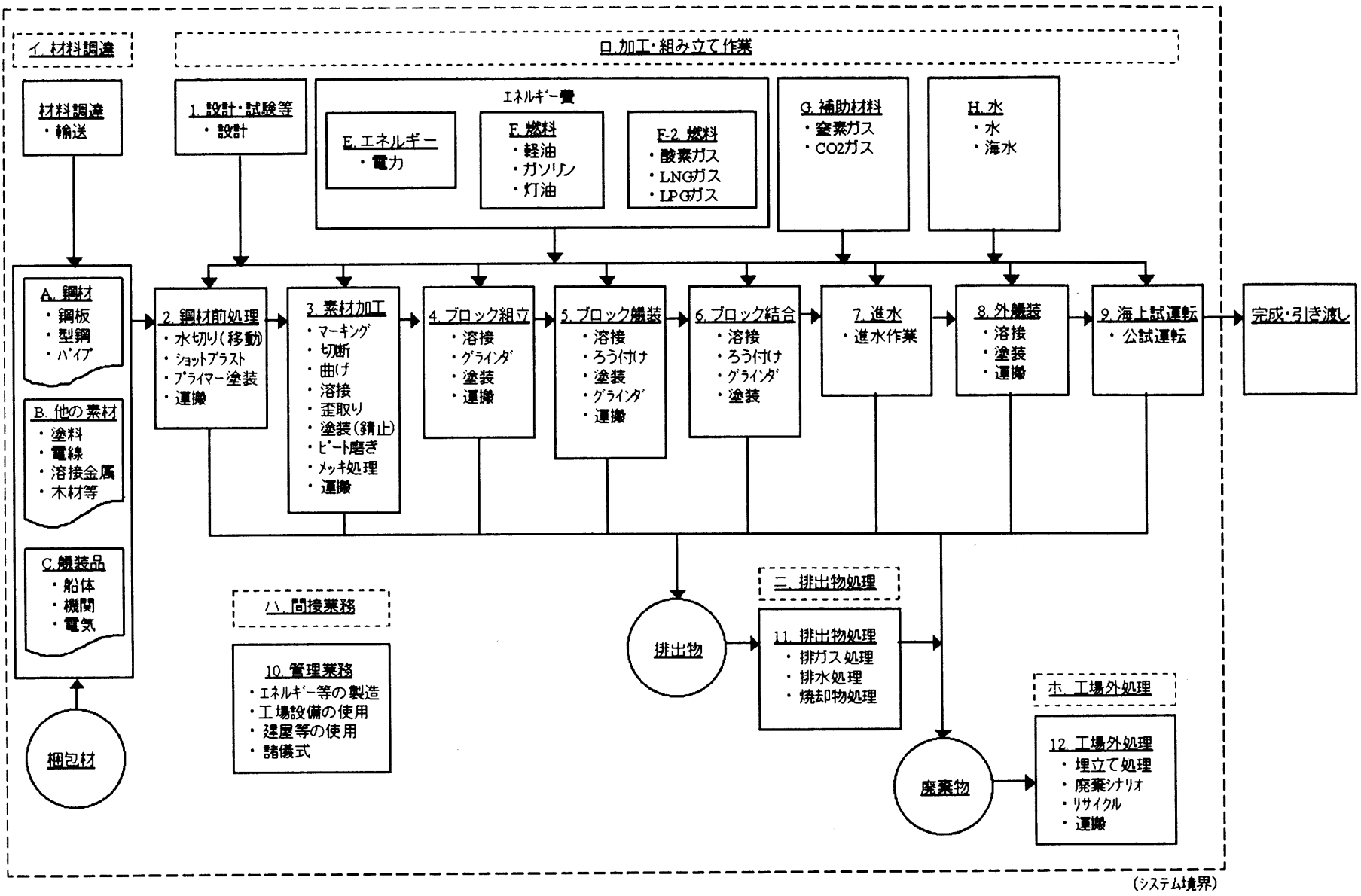


図-7.1 建造のシステム境界と造船所の作業工程

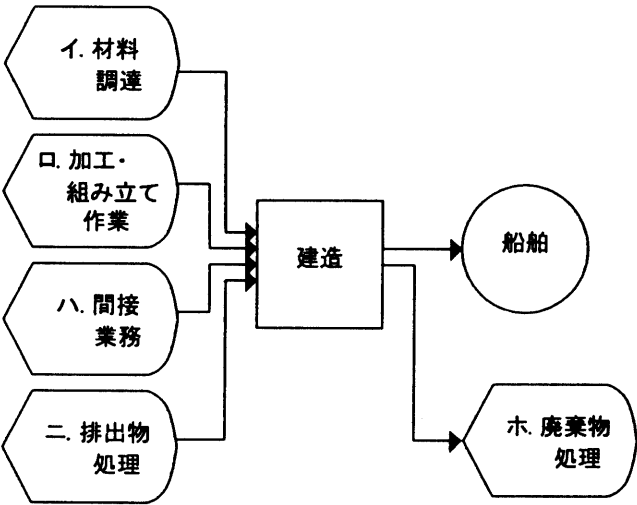


図-7.2 船舶の建造の全体フロー

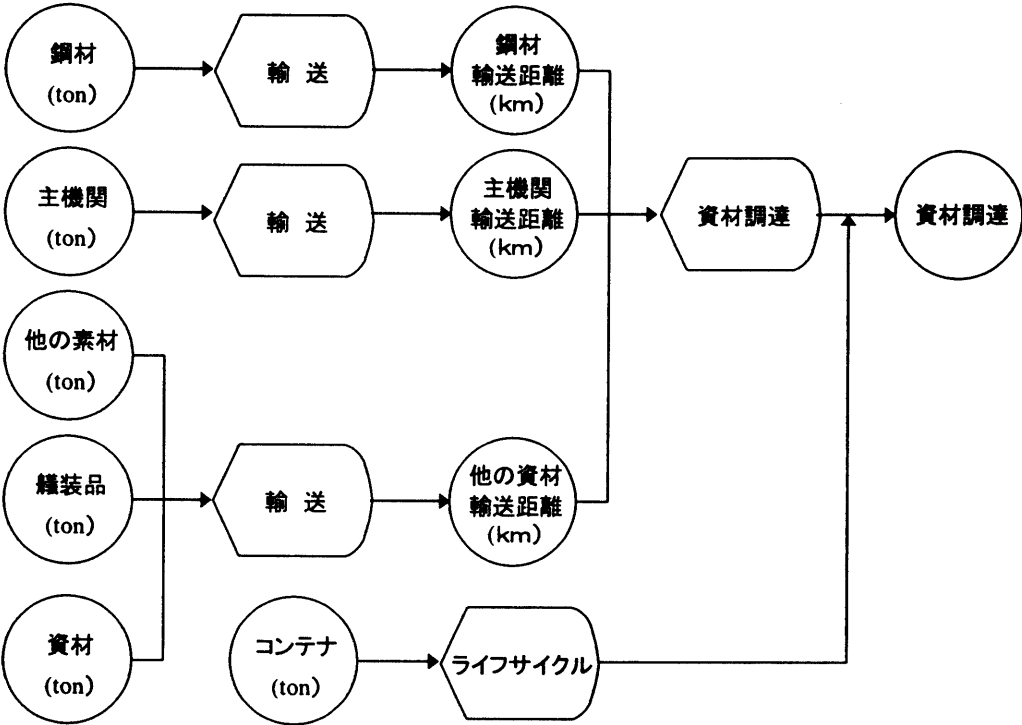


図-7.3 材料調達のプロセスフロー

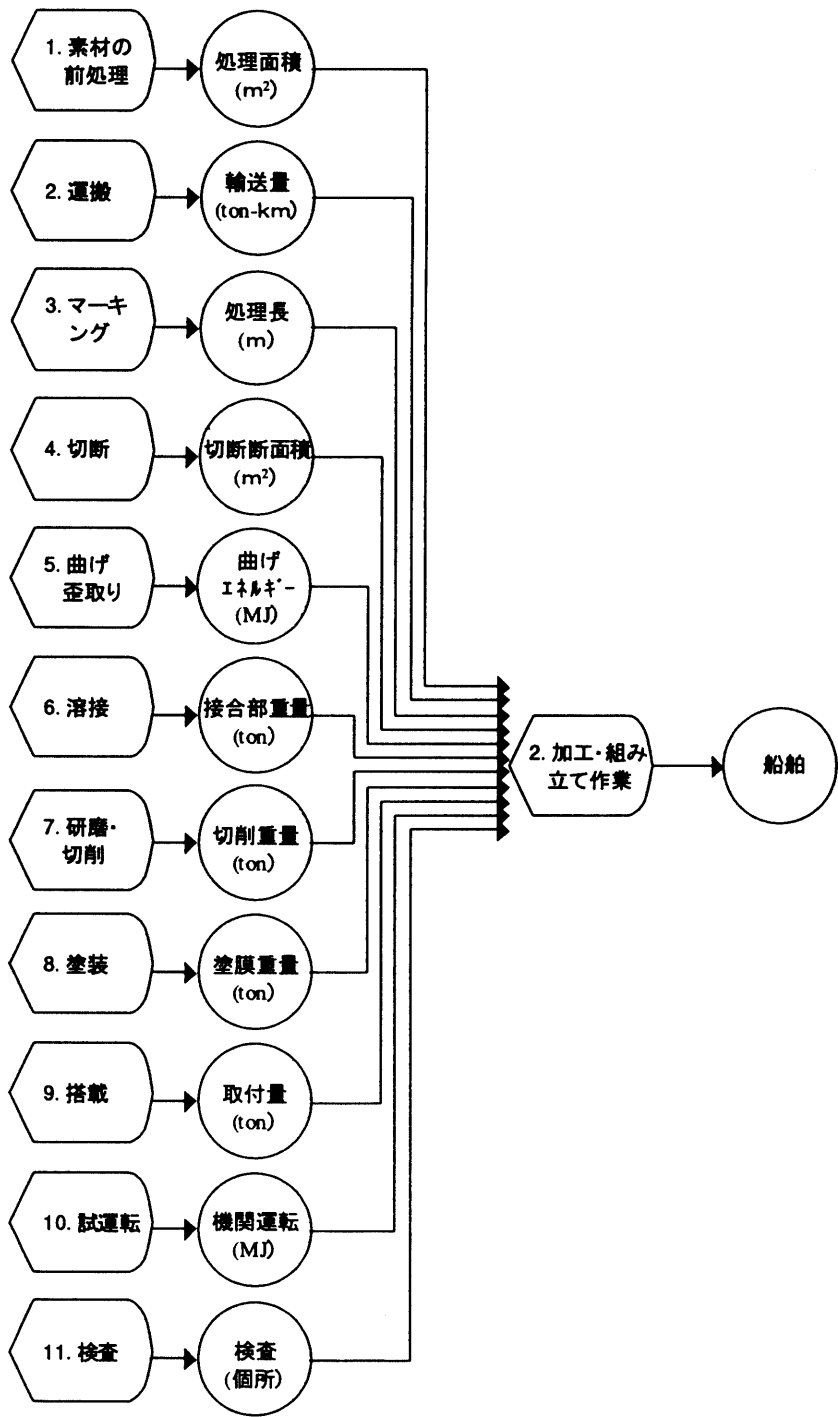


図-7.4 加工・組み立て作業のプロセスフロー

表-7.1 加工・組立てにおけるプロセスの種類と使用する機材

	プロセス名	単位	作業内容	使用する機材又は方法
1	素材の前処理	m2	黒皮・錆び落とし	ショットブラスト、サンドブラスト
2	運搬	ton-km	資材の運搬	トラック、フォークリフト
3	マーキング	km	マーキング、けがき	フォトマーキン、酸素プラズマ切断機と兼用
4	切断	m	素材の切断	酸素プラズマ切断、ガス切断、レーザー切断
5	曲げ・歪取り	MJ	曲げ作業、歪取り	ガス加熱、ローラー、油圧プレス、高周波
6	溶接	ton	溶接、ろう付け	CO2ガス溶接、サブマージアーク溶接、グラビティ溶接
7	研摩・切削	ton	ビート磨き、せん孔	グラインダ、ドリル、各種機械加工
8	塗装	ton	プライマー塗装、防食・防汚塗装	エアレススプレー、スプレー
9	搭載	ton	大型部品やブロックの搭載作業	クレーン
10	試運転	MJ	慣らし運転、海上公試運転	主機関運転、発電機運転、ボイラー運転
11	検査	箇所	溶接部	溶接部X線検査、超音波探傷

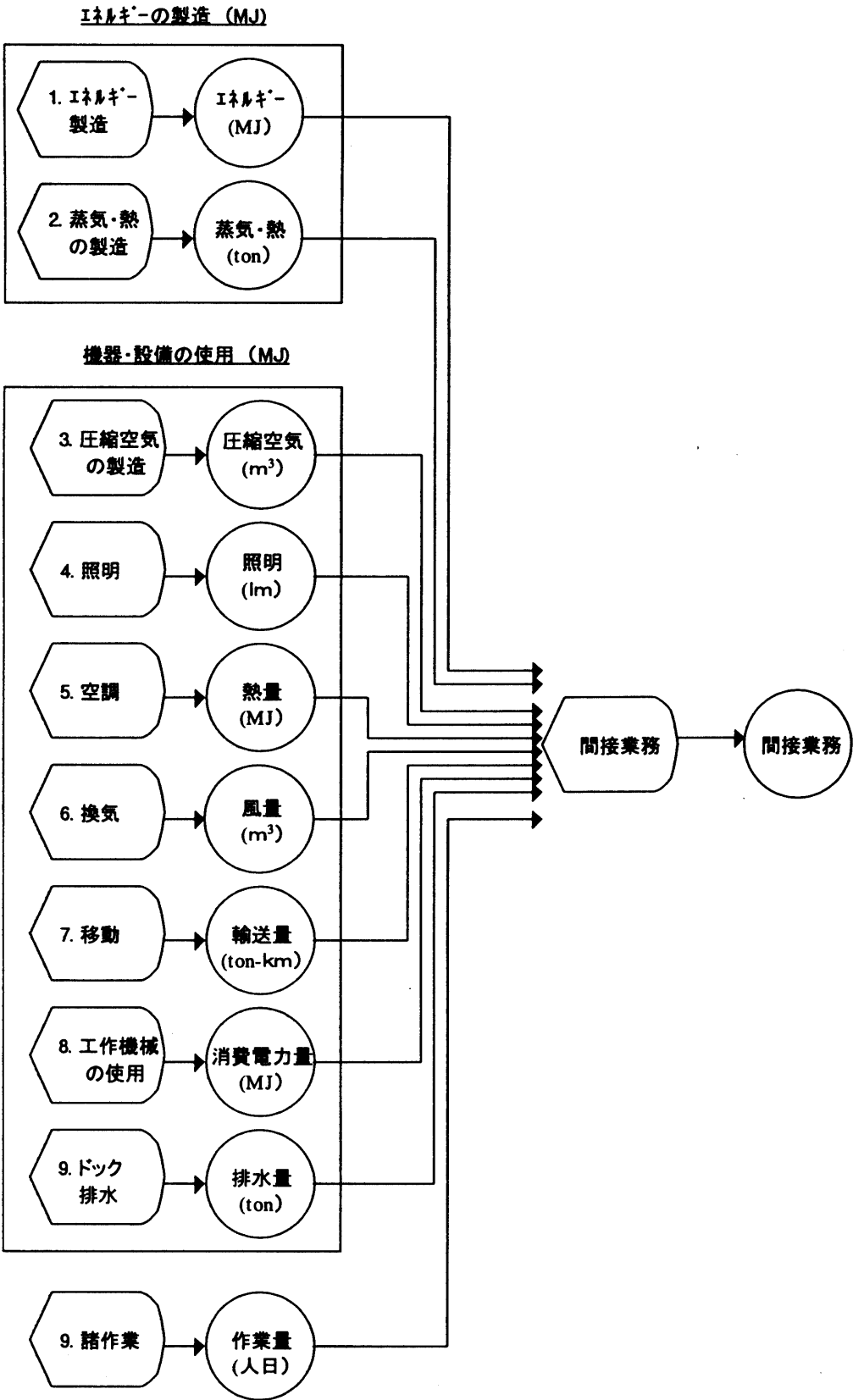


図-7.5 間接業務のプロセスフロー

表-7.2 間接業務にけるプロセスの種類

	プロセス名	単位	作業内容
1	エネルギーの製造	MJ	ディーゼル発電機
2	蒸気・熱の製造	ton	ボイラー
3	圧縮空気の製造	m3	圧縮空気の製造
4	照明	lm	照明
5	空調	MJ	空調、冷房、暖房
6	換気	m3	換気
7	移動	ton-km	工場建屋内クレーン等での運搬
8	工作機器の使用	MJ	電気工具、各種工作機器の使用
9	排水設備の使用	ton	ドックの注排水
10	諸作業	man-day	設計・試験、通信、事務作業、諸儀式等

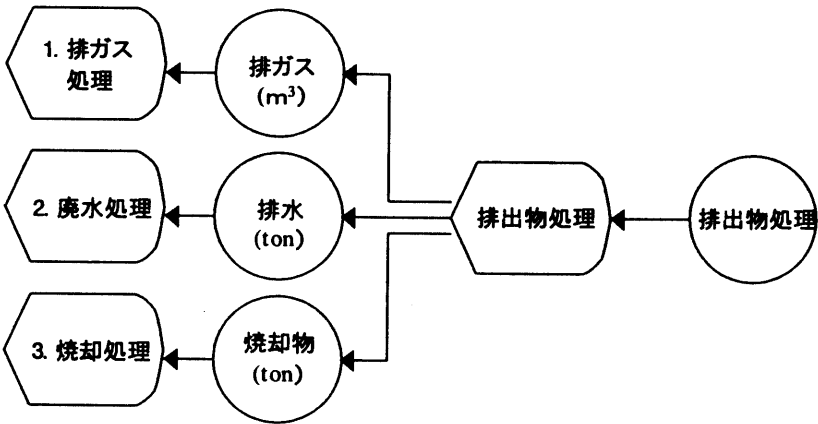


図-7.6 排出物処理のプロセスフロー

表-7.3 工場での排出物処理におけるプロセスの種類

	プロセス名	単位	対象となる排出物等
1	排ガス処理	m3	各種の燃焼ガス、溶接ヒューム等
2	排水処理	ton	一般工場排水
3	焼却処理	ton	木材・紙類の焼却

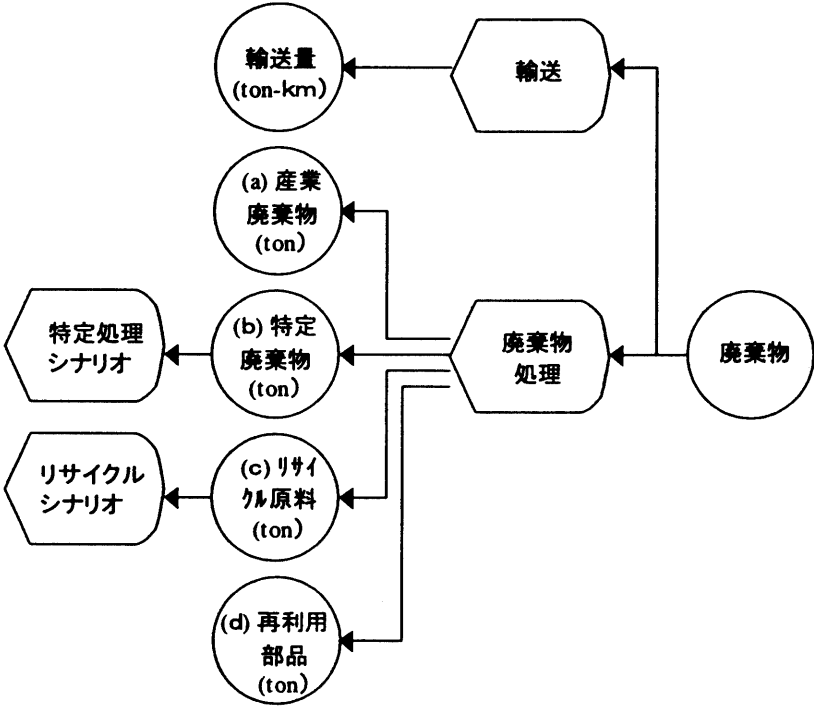


図-7.7 工場外処理のプロセスフロー

表-7.4 工場外処理におけるプロセスの種類

	プロセス名	単位	作業内容
1	廃棄物の輸送	ton-km	廃棄物のトラック輸送等
2	埋め立て処理	ton	産業廃棄物の埋め立て処理
3	特定廃棄物処理	ton	塩化ビニル等指定・分別物の焼却等
4	リサイクル	ton	鉄スクラップ等のリサイクル処理
5	部品等の再利用	ton	産業廃棄物の処理(システム境界外)

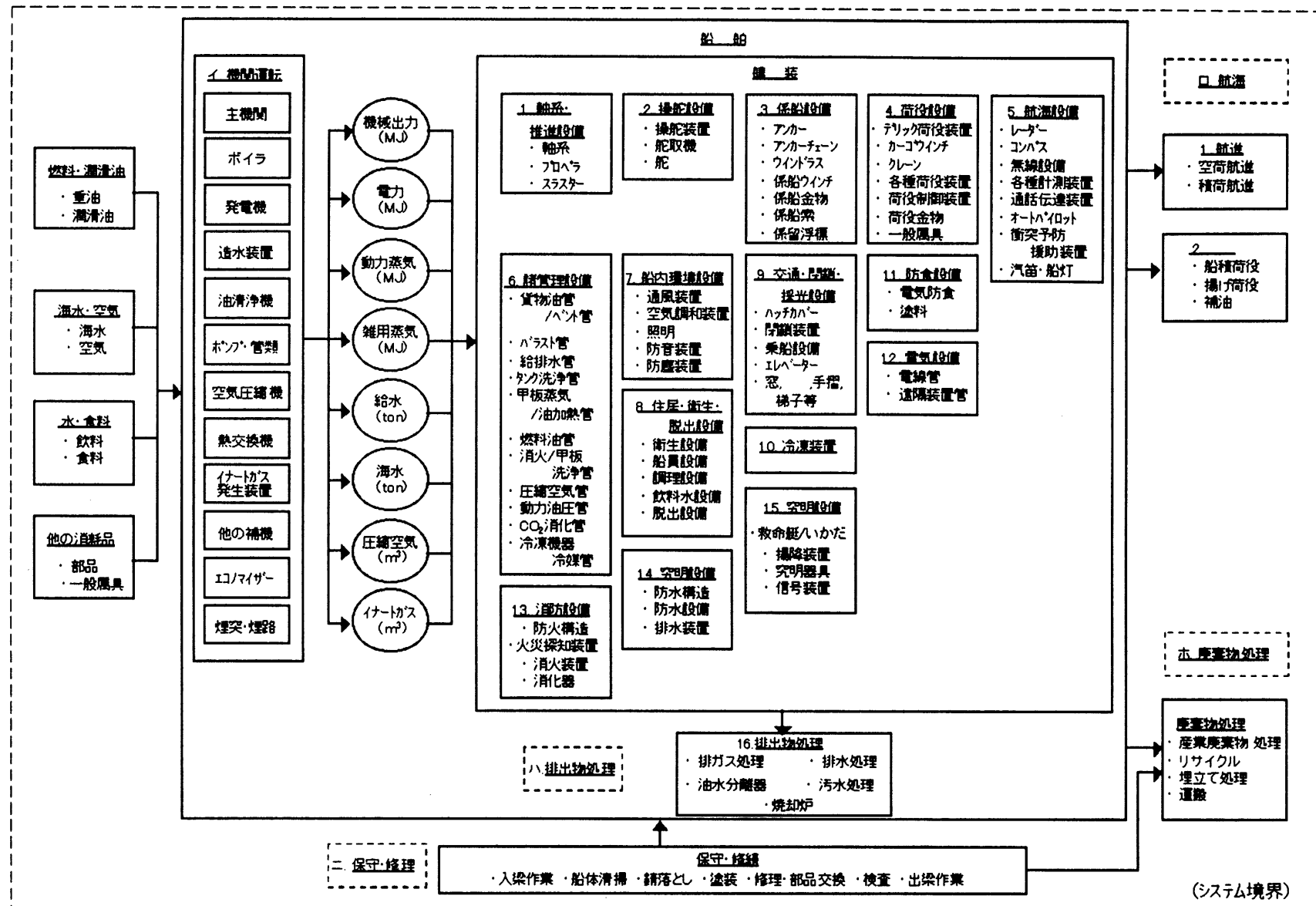


図-7.8 運航のシステム境界と運航の作業工程

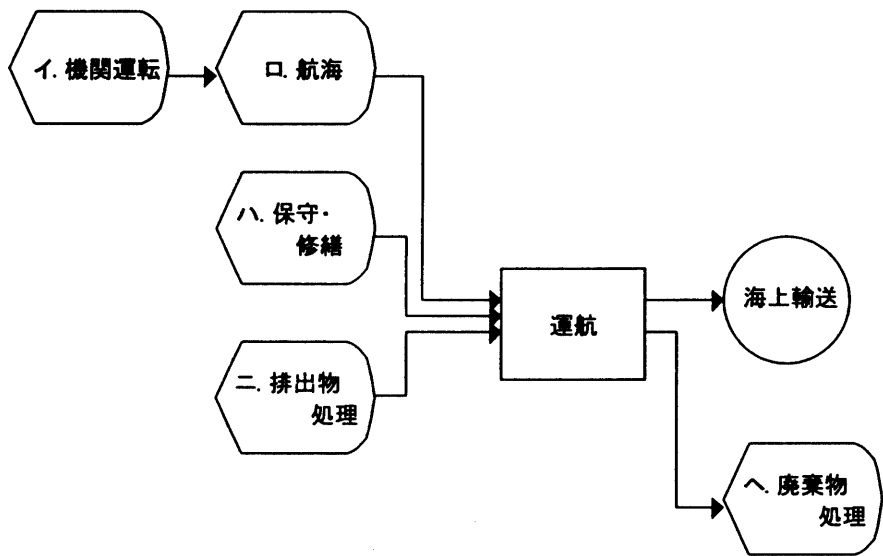


図-7.9 船舶の運航の全体フロー

表-7.5 船舶で使用する主なエネルギー等と関連装置

	エネルギー等	単位	主な発生装置
1	機関軸出力	MJ	主機関
2	船舶電力	MJ	ターボ発電機、軸発電機、ディーゼル発電機
3	動力蒸気(10kg/cm ² 以下)	ton	ボイラー
4	雑用蒸気(4kg/cm ² 以下)	ton	ボイラー、排気エコマイザー
5	雑用清水	ton	造水装置
6	圧縮空気	m3	空気圧縮装置
7	イナーートガス	m3	イナーートガス発生装置

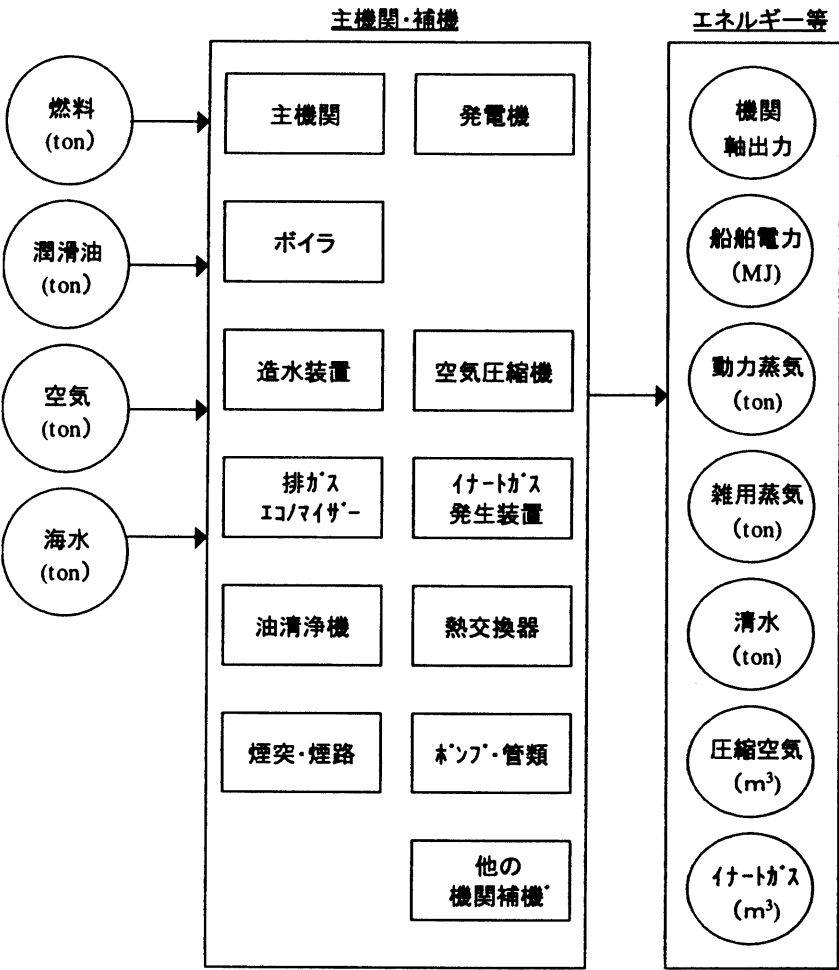


図-7.10 機関の主な構成とエネルギー等の種類

表-7.6 航進の主なプロセスの種類

	プロセス名	単位	主なパラメーター
1	空荷航進	km	速力、航路等
2	積荷航進	km	貨物の積載重量、速力、航路等

表-7.7 荷役の主なプロセスの種類

	作業プロセス名	単位	主なパラメーター
1	船積荷役	ton	貨物の種類、荷役設備
2	揚げ荷役	ton	貨物の種類、荷役設備
3	補油	ton	-

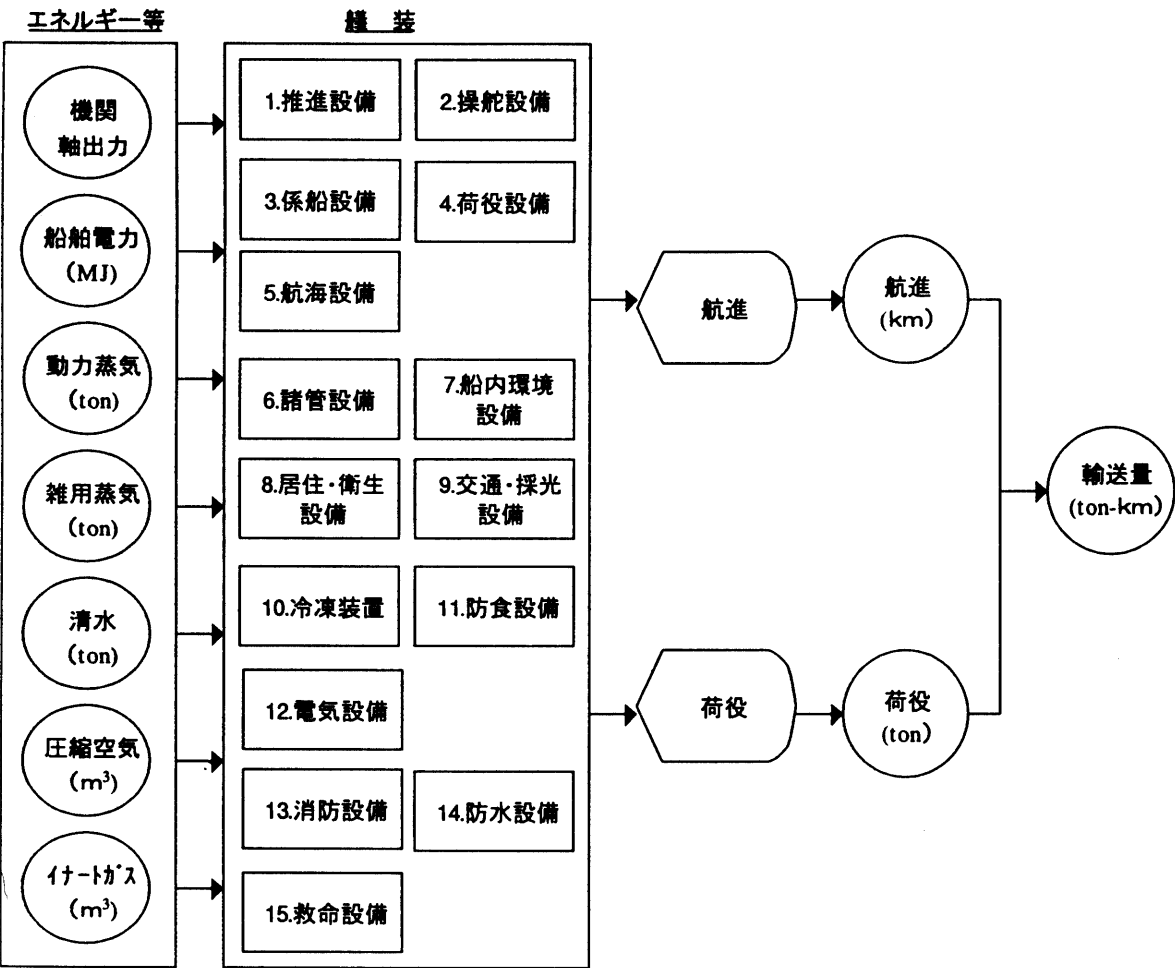


図-7.11 航海のプロセスフロー

表-7.8 機械出力を使用する主な装置と使用区分

単位: MJ

	装置の名称	使用 方法	使用の目的等	運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	推進器	連続	船舶の推進	○	○	×
2	軸発電機	連続	発電	△	△	×

使用区分 ○:使用する。△:使用する場合もある。×:使用しない。

表-7.9 電力を使用する主な装置と使用区分

単位: MJ

	装置の名称	使用 方法	使用の目的等	運航状態		
				航海	出入港	荷役
1.ディーゼル補器						
1	空気圧縮機	連続	主機関、ディーゼル発電機の起動	△	○	×
2	潤滑油・冷却用ポンプ	連続	潤滑油、冷却水・冷却油用	○	○	×
3	燃料ポンプ・燃料清浄機	連続	燃料油の清浄・供給	○	×	×
4	ブースタポンプ	連続		○	○	×
5	補助ボイラ用補機	連続	給水ポンプ、送風機、噴燃ポンプ	○	○	○
6	排気ボイラ用循環ポンプ	連続		○	×	×
7	発電機冷却水ポンプ	連続		×	×	○
8	清水・通風装置	連続	清水、サニタリポンプ、通風機	○	○	○
9	造水装置付きポンプ	連続		○	×	×
10	ターニングモータ	間欠		○	×	○
11	雑用ポンプ	間欠		○	○	×
12	ビルジポンプ	間欠		○	×	×
13	移動汲み上げポンプ	間欠	燃料・潤滑油用	○	×	○
14	潤滑油清浄機	間欠		○	×	○
15	バラストポンプ	間欠	トリム・ヒール調整	△	×	○
2.甲板補機						
1	ウインチ	連続	荷役作業用	×	×	○
2	貨物油ポンプ／荷役装置	連続	揚荷作業／積荷作業	×	×	○
3	操舵機	連続	船舶の操縦	○	○	×
4	居住区エアコン／ファン	連続	居住区の温度管理、換気、扇風機	○	○	○
5	ポンプ室用通風機	連続	ポンプ室の換気	×	×	○
6	REF CTNR/貨物倉用通風機	連続	冷凍コンテナ、ホールドの温度管理	○	○	×
7	冷凍機	連続	食糧用、貨物用	○	○	○
8	温水循環ポンプ	連続		○	○	○
9	イナートガス発生装置	連続	ガス発生装置及びファン	○	○	○
10	係船装置	間欠	ウインドラス、係船ウインチ等	×	○	×
11	バウスタスター	間欠	船舶の接岸	×	○	×
12	ポートウインチ	間欠		×	×	○
13	バタ・ワースポンプ	間欠		○	×	×
14	舷梯ウインチ	間欠		×	○	×
15	ストリップポンプ	間欠		○	×	○
3.その他						
1	カーゴランプ	連続		×	○	○
2	プロジェクタ	連続		×	×	○
3	煙突照明灯	連続		×	○	○
4	居住区・機関室電灯	連続		○	○	○
5	航海灯	連続		○	○	×
6	電動発電機	連続		○	○	○
7	ジャイロコンパス	連続		○	○	×
8	レーダー	連続		×	○	×
9	調理・配膳・洗濯室使用	間欠	電子レンジ、電気オーブン	○	○	○
10	蓄電池用電動発電機	間欠		○	○	○
11	無線装置	間欠		○	×	×
12	航海計器	間欠		○	○	×
13	モータサイレン	間欠		○	○	×

使用区分 ○:使用する。△:使用する場合もある。×:使用しない。

出典: 運航データ、造船設計便覧、p920 等

表-7.10 動力蒸気を使用する主な装置と使用区分

単位:ton						
	装置の名称	使用 方法	使用の目的	運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	係船装置(蒸気式)	連続	ウインドラス、係船ウインチ等	×	○	×
2	貨物油ポンプ/カーゴウインチ	連続	揚荷作業	×	×	○
3	残油ポンプ	間欠	揚荷作業	○	×	○
4	油タンク加熱装置	連続	搭載油の加熱/ヒーティング	○	×	×
5	燃料タンク加熱装置	連続	燃料油の加熱	○	×	×
6	ガスフリー装置	間欠	油タンクのガスフリーファンの駆動	×	○	×
7	油タンク洗浄装置	間欠	油タンククリーニング水の加熱	×	○	×

蒸気の種類: 10(kg/m²)以下の低飽和蒸気
使用区分 ○: 使用する。△: 使用する場合もある。×: 使用しない。
出典: (1)造船設計便覧、p752、(2) 商船設計の基礎(下巻)p375

表-7.11 雑用蒸気を使用する主な装置と使用区分

単位:ton						
	装置の名称	使用 単位	使用の目的	運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	空調暖房機	連続		○	○	○
2	放熱器	連続		○	○	○
3	清水加熱器	連続		○	○	○
4	サニタリ関係機具	間欠	浴槽、乾燥機、スチームテーブル等	○	○	○
5	厨房関係機具	間欠	ライスボイラ、ウォータボイラ等	○	○	○

蒸気の種類: 4.5(kg/m²)以下の低飽和蒸気
注意: これらの機器は電気式の場合もある。
使用区分 ○: 使用する。△: 使用する場合もある。×: 使用しない。
出典: (1)造船設計便覧、p754 (2) 商船設計の基礎(下巻)p378等

表-7.12 雑用水を使用する主な装置と使用区分

単位:ton						
	装置の名称	使用 方法	使用の目的	運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	主機冷却水	連続		○	○	×
2	補機冷却水	連続		○	○	○
3	ボイラー水	連続		○	○	○
4	生活用水	連続	洗濯、調理用、シャワー、便器等	○	○	○

使用区分 ○: 使用する。△: 使用する場合もある。×: 使用しない。
出典: (1) 航海便覧、p754、(2)造船設計便覧、p746

表-7.13 海水を使用する主な装置と使用区分

単位:ton						
	装置の名称	使用 方法	使用の目的	運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	油タンク洗浄装置	連続	タンク洗浄作業	×	○	×
2	バラスト水	連続		△	×	○
3	主機関・補機の冷却装置	連続		○	○	○
4	生活用水	連続	洗濯、調理用、シャワー、便器等	○	○	○
5	消火装置	-	火災事故発生時の消火用	×	×	×

使用区分 ○: 使用する。△: 使用する場合もある。×: 使用しない。
出典: (1) 商船設計の基礎(下巻)p397等

表-7.14 圧縮空気を使用する主な装置と使用区分

	装置の名称	使用 方法	使用の目的	単位:? 運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	エアモータ	間欠	錆落とし作業	△	△	×
2	エアホーン	間欠		△	△	×
3	スプレーガン	間欠		△	△	×
4	リモコン用エアシリンダ	間欠		△	△	×
5	空気伝送圧力計	間欠		△	△	×
6	遠隔液面計	間欠		△	△	×

圧縮空気の種類:10(kg/m²)以下の低飽和蒸気
使用区分 ○:使用する。△:使用する場合もある。×:使用しない。
出典:造船設計便覧、p732

表-7.15 イナートガスを使用する主な装置と使用区分

	装置の名称	使用 方法	使用の目的	単位:? 運航状態		
				航海	出入港	荷役
1	イナートガス装置	連続	タンカー荷揚時	×	×	○
2	消火装置	-	火災事故発生時の消火用	×	×	×

使用区分 ○:使用する。△:使用する場合もある。×:使用しない。
出典:造船設計便覧、p742

表-7.16 保守・修繕のプロセスの種類

	プロセス名	単位	作業内容
1	船体修繕	ton	船体の切り替え等
2	部品交換	ton	機関部品、防食亜鉛板、船用品等の交換
3	塗装	ton	船体の塗装作業
4	諸作業	man-day	船体清掃、各種部品の整備、調整等人的作業
5	機器・設備の使用	MJ	ドック排水、クレーン等工場設備の使用

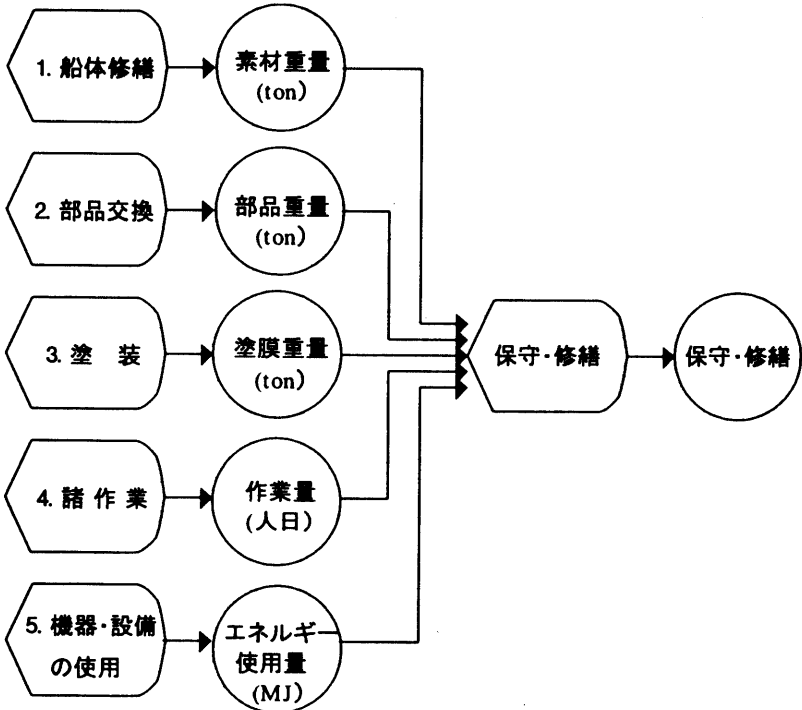


図-7.12 保守・修繕のプロセスフロー

表-7.17 運航での排出物処理の種類

	プロセス名	単位	対象
1	排ガス処理	・	機関排ガスの脱硫や脱硝等の後処理
2	油水处理	ton	ビルジ、タンク洗浄水等の処理
3	焼却物処理	ton	廃油、スラッジ等

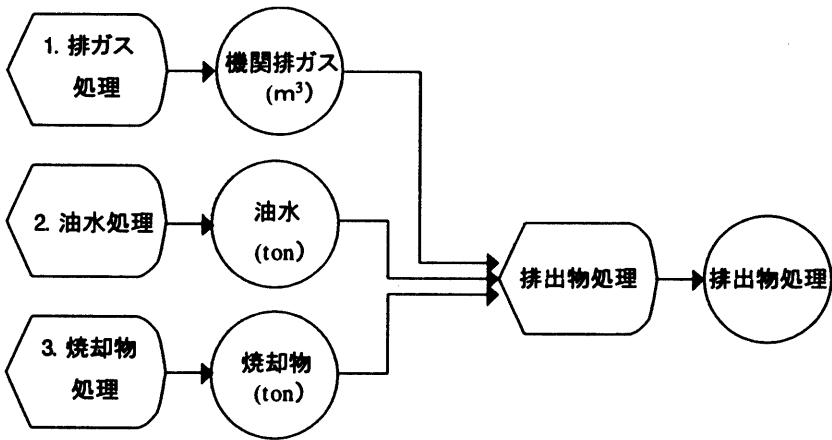
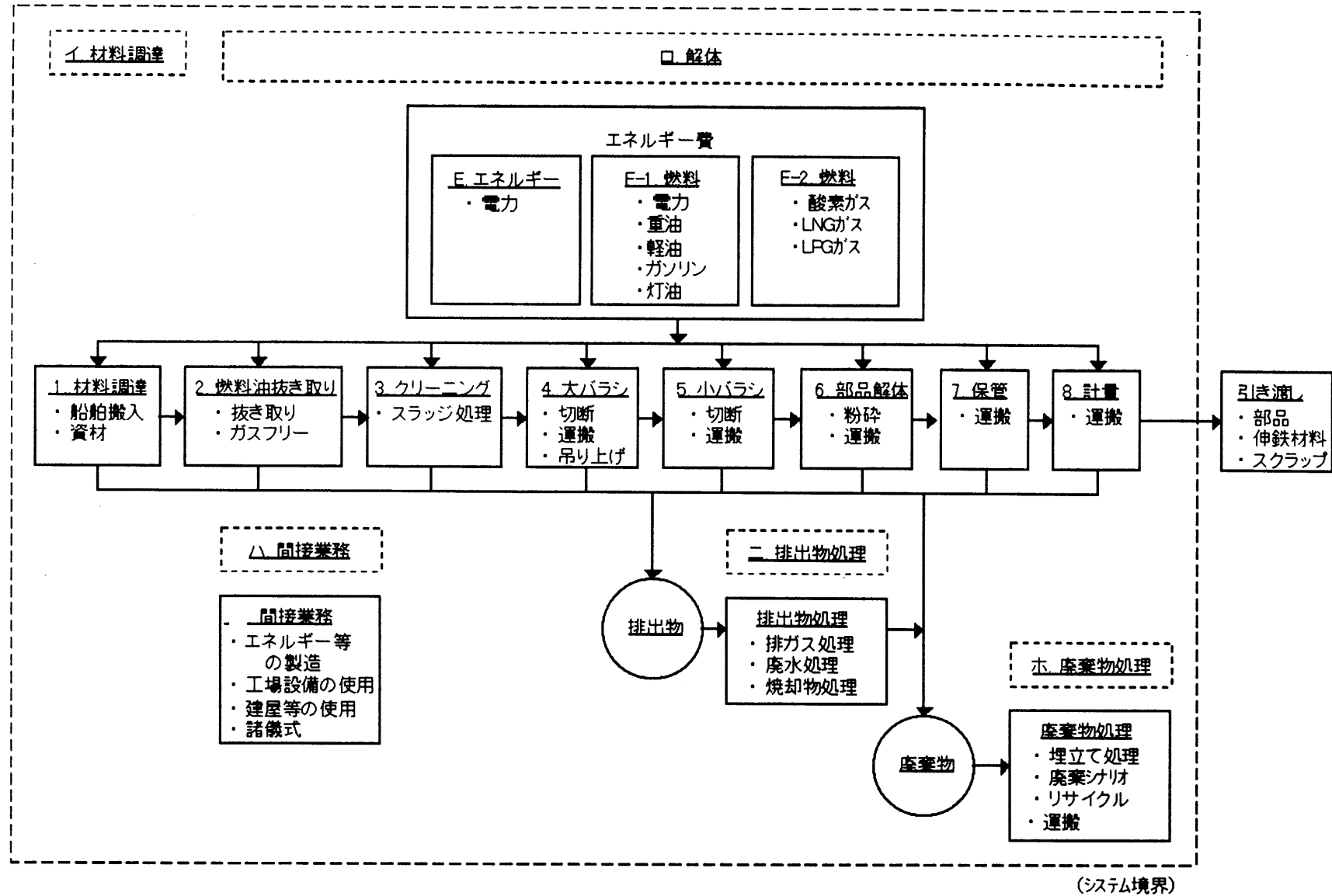


図 -7.13 排出物処理のプロセスフロー



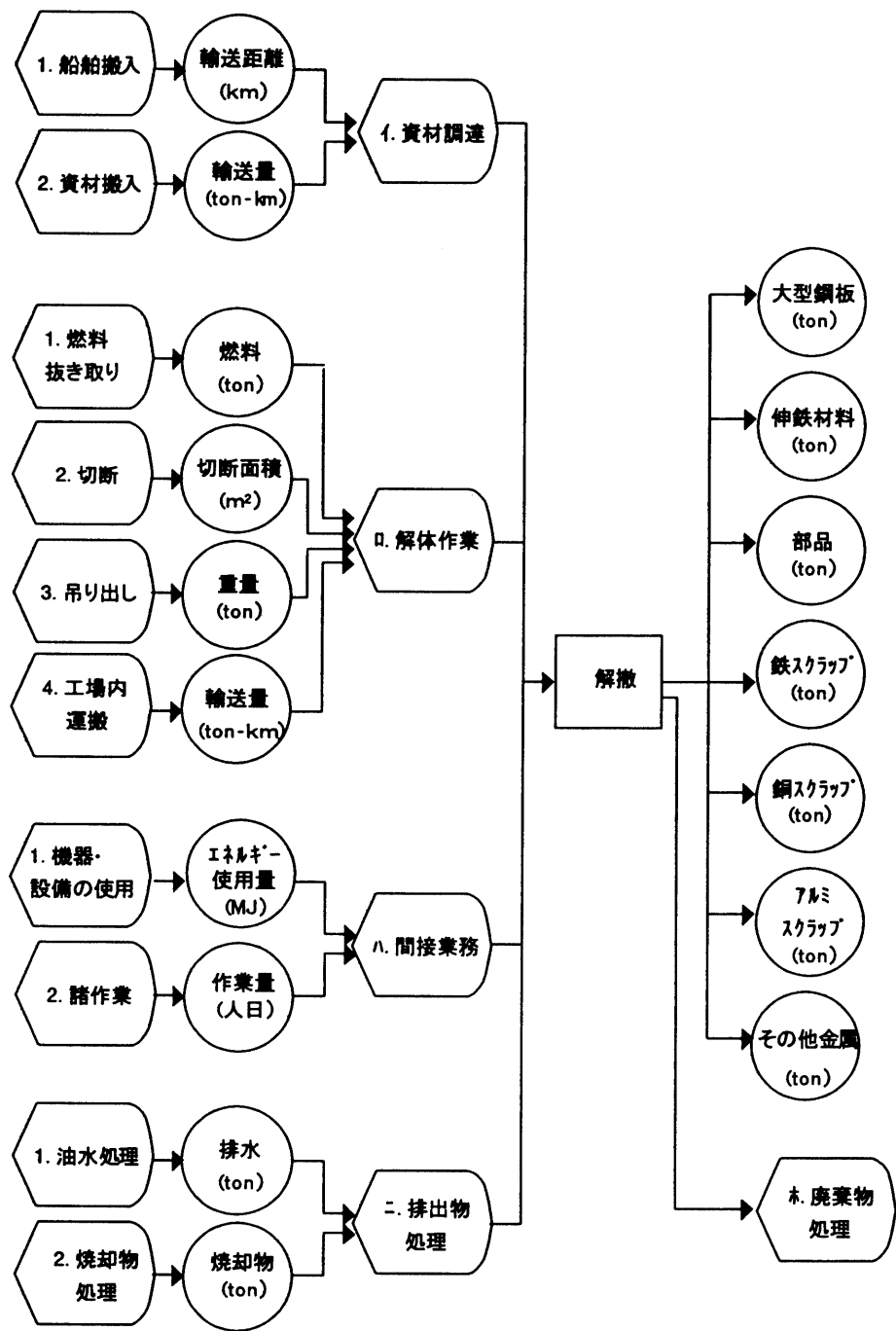


図 -7.15 解体のプロセスフロー

表-7.18 解体におけるプロセスの種類と機材

作業分類	作業プロセス名	単位	主な作業内容	主な機材等
1 材料調達	船舶搬入	km	解体対象船舶	船舶の自走
	資材搬入	ton-km	LPG、アセチレンガス等	トラック
2 解体作業	燃料抜き取り	ton	残存燃料の抜き取り	-
	切断	m	船体切断	プロパンガス切断
	吊り出し	ton	ブロック、部品の吊り上げ	クレーン
	運搬	ton-km	解体ブロックの輸送	トラック
間接業務	機器・設備の使用	MJ	照明・空調、ウィンチ、酸素製造	各種の電化装置・電気設備
	諸作業	Man-day	クリーニング、事務作業	-
排出物処理	油水处理	ton	スラッジ、ビルジ、燃料油の処理	油水分離タンク等
	焼却物処理	ton	可燃物の焼却	焼却炉

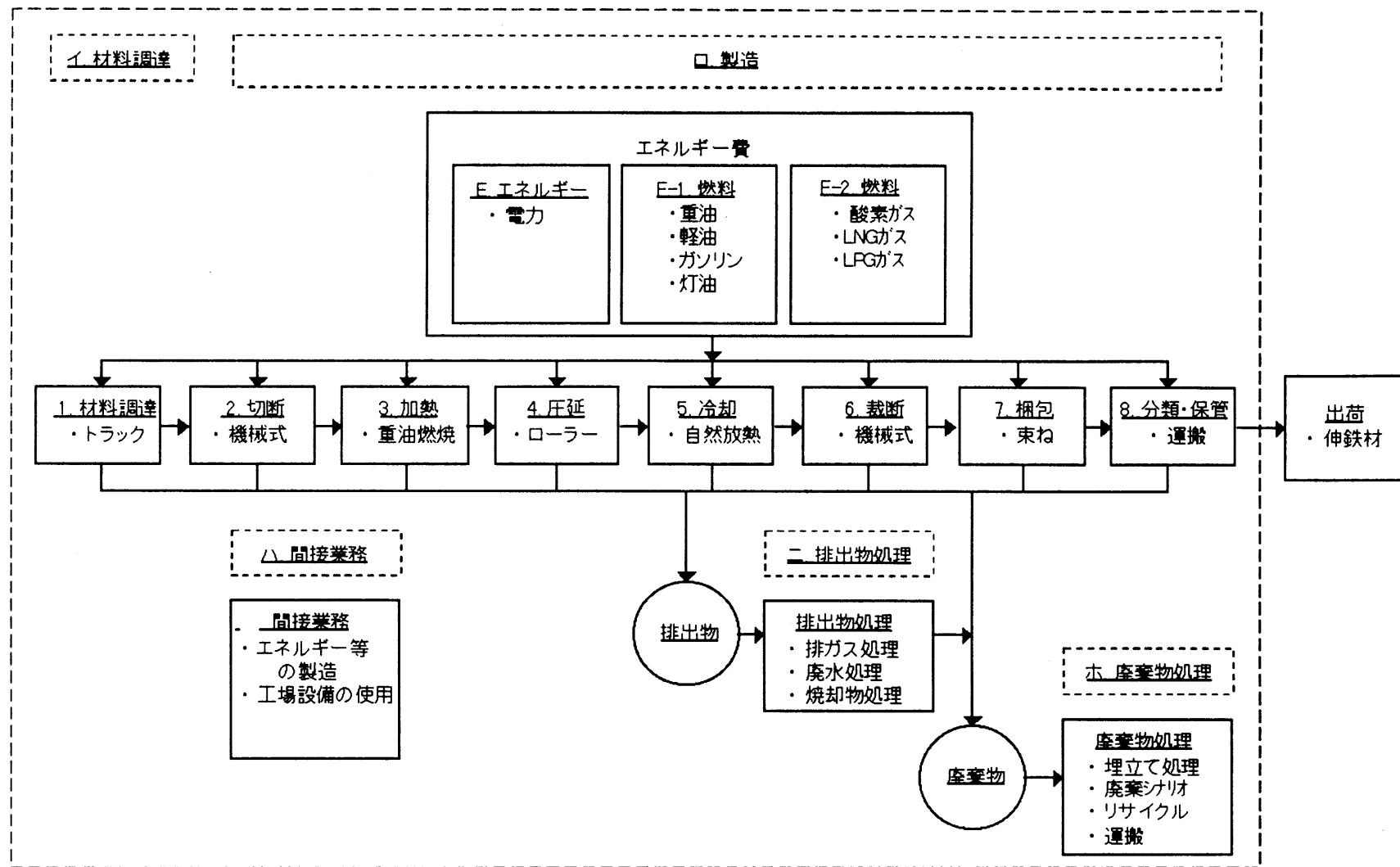


図-7.16 伸鉄材製造のシステム境界と作業工程

(システム境界)

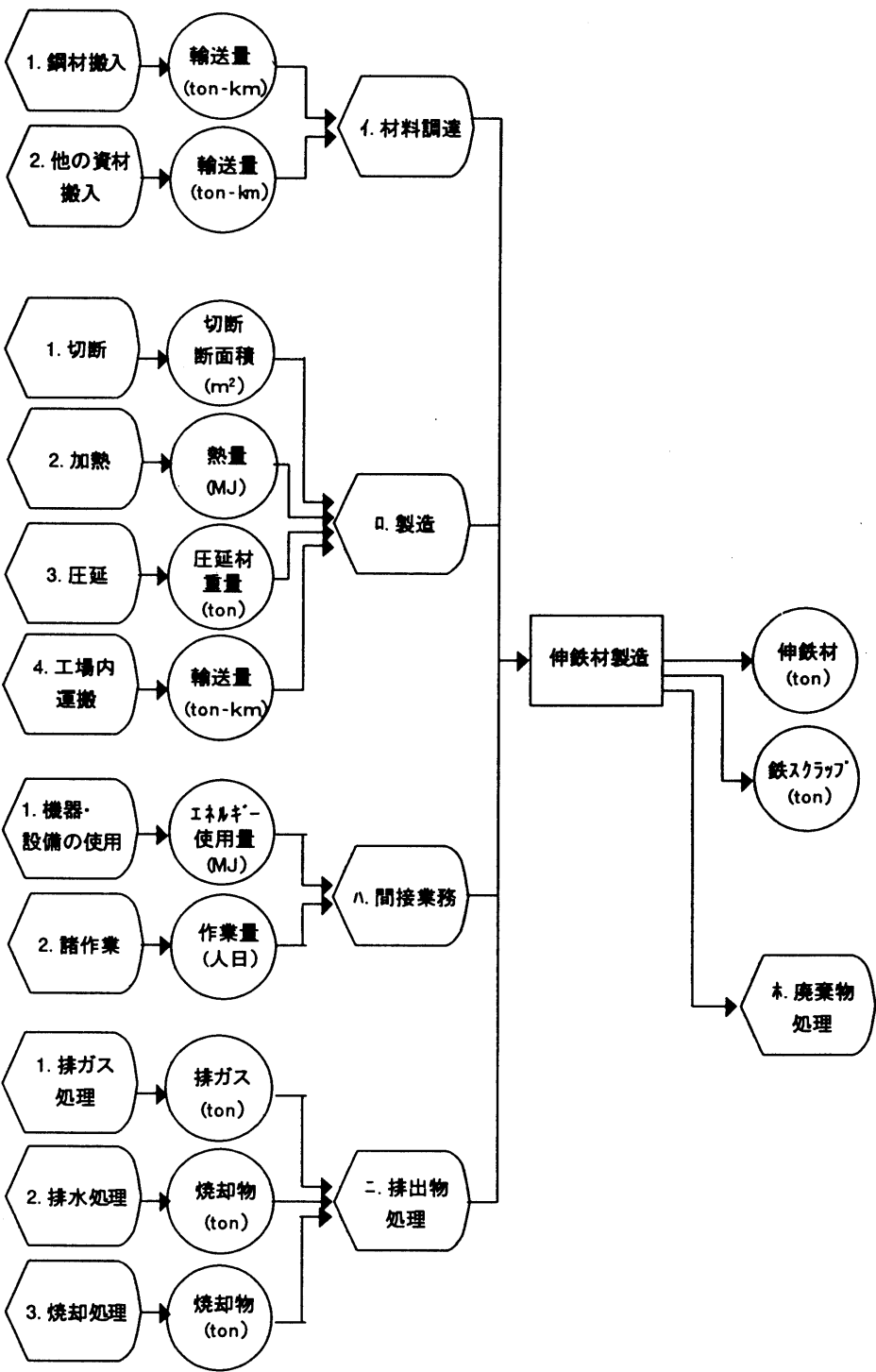


図 -7.17 伸鉄材製造のプロセスフロー

表-7.19 伸鉄材製造におけるプロセスの種類と機材

作業分類	作業プロセス名	単位	主な作業内容	主な機材等
1 材料調達	鋼材搬入	ton-km	船舶から回収した鋼材等	トラック
	他の資材搬入	ton-km	燃料の重油等	トラック
2 解体作業	切断	m	鋼材の切断、裁断	切断装置
	加熱	MJ	鋼材の加熱	加熱炉
	圧延	ton	鋼材の圧延	圧延ローラー
	工場内運搬	ton-km	材料や製品の運搬	フォークリフト、コンベア
3 間接業務	エネルギーの製造	MJ		-
	機器・設備の使用	MJ	照明・空調等の使用	各種の電化装置・電気設備
	諸作業	Man-day	試験、事務作業	-
4 排出物処理	排ガス処理	m3	-	-
	排水処理	ton	-	-
	焼却処理	ton	可燃物の焼却	焼却炉

8. 各種船舶の解析事例

まえがき

前章までに、船舶の建造、運航、解体及び伸鉄材の製造に関するプロセスフロー及びインベントリ分析の解析手法を作成し、各段階での現地調査を行った。本章では、運航実績や各工場の調査結果に基づき作成した解析手法を各種の船舶に適用し、主にCO₂に関してインベントリ分析を行った。

8.1 87油タンカーのLCI分析

8.1.1 要旨

船舶ではこれまで本格的なLCI分析は実施されていない。著者等は船舶による輸送のインベントリデータを提供する手法を確立するため、船舶のLCI分析のモデル化を試みた。解析対象として、システム境界を素材やエネルギーの生産から建造、運航、解体及び船体に使用された鋼板のリサイクルまでとし、環境への負荷項目を大気中へのCO₂排出量とした。また、主機関の製造、建造及び運航等の調査結果に基づいてプロセスツリーを作成し、油タンカーを対象にインベントリ分析を実施した。解析の実施においては、主機関を除く使用部品の製造の簡略化や建造プロセスの単純化等を行った。計算はプロセスの積み上げによる行列法で行い、モデル船のライフサイクル全体でのCO₂排出量を船舶に関係するプロセス単位で求めた。これらの解析の実施を通じて、船舶のLCI分析の実施方法が明らかにする。

8.1.2 インベントリ分析

(1) ゴールとシステム境界

対象とするシステム境界を図-8.1に示す。電力・鋼板等のエネルギー・素材の生産やディーゼル機関等の船舶用部品の製造から、建造、運航、解体及び解体した船舶から回収した鋼板を材料とする建設用資材(伸鉄材)の生産までをシステム境界とした。ただし、焼却や埋め立て等の固形廃棄物の処理、また、解体時に船舶から回収した部品等の再利用、鉄スクラップや銅合金等の非鉄金属のリサイクル及び製造した伸鉄材の使用は解析システムの範囲に含まないこととした。

本解析では、船舶のライフサイクル全体での貨物の輸送量単位(ton-km)当たりの大気中へのCO₂排出量を解析のゴールとした。

(2) 解析手法

船舶のライフサイクルの中でCO₂の排出に関わるプロセスを明確にするため、プロセスの積み上げにより環境負荷項目の定量化を行う。そのため、建造、運航、解体及び伸鉄材の生産の各段階において、作業内容に基づいたプロセスツリーを作成し、プロセスツリーに基づいて行列法によりインベントリ分析を行うこととした。また、各段階でプロセ

ス毎のCO₂排出量を解析し、各段階の排出量の合計から船舶のライフサイクル全体でのCO₂排出量を求めた。

(3) プロセスツリー

大形の鋼製船舶の建造、運航、解体及び伸鉄の生産でのCO₂排出に関するプロセスツリーを図-8.2-8.4に示す²⁾。建造では素材の使用、材料の造船所への搬入や工場内での運搬、切断、曲げ、溶接、塗装、海上試運転等直接的なプロセスと共に、照明や機器類の使用等をエネルギー使用として間接的に考慮した。また、運航では主機関、発電機及びボイラーの運転による主機出力等を使用しての航海や港湾での荷役作業に加え、塗装や部品交換等船舶の定期的な保守作業を含めた。

解体では、船舶はガス切断により解体され、回収された船体の鋼板はトラックで伸鉄工場に運搬される。解体した船舶からは発電機等各種部品、鉄スクラップ、銅やアルミ等の非鉄金属も回収される。また、伸鉄材の生産では、解体船から回収した鋼板を材料として伸鉄材が生産される。回収された鋼板は一定の大きさに切断され、圧延された後、伸鉄材として生産される。本プロセスツリーでは、切断後に重油の燃焼による加熱作業を含めた。

8.1.3 モデル船への適用

油タンカーを対象として作成したプロセスツリーに基づいてCO₂排出量に関するインベントリ分析を実施した。計算処理には表計算ソフトMicrosoft Excelを使用した。

(1) モデル船

解析の対象としたモデル船は載貨重量87,000DWTの油タンカー(以後、「87タンカー」と言う。)とした。また、モデル船の主要目と運航計画を表-8.1に示す。船体の船殻と他の機装品の重量は、船体の軽荷重量に対して各々77%と23%であった。モデル船は25年間、定期的に日本からバラスト状態で出航し、中東で油を満載し、満載状態で航行し、全ての貨物油を日本で荷揚げすることとした。船積み作業は陸上側の設備を使用して行い、荷揚げ作業はボイラー等の船舶設備を使用する。また、塗装等の保守作業のため定期的にドック入りするものとした。

(2) データ収集

船体の船殻は鋼材としてみなし、塗料や溶剤を含め機装品は製造工程を省略し、文献²⁾に示されたように同じ重量で同等と考えられる素材に簡略化した。ただし、主機関の製造については、ディーゼル機関の製造工場の調査⁴⁾等に基づいて作成したインベントリデータを使用した。

建造での溶接等の各作業量は、溶接部重量や溶接線長等の設計値や造船所の調査から得られた工場全体での電力や燃料の消費量の実績の平均値²⁾に基づいて定めた。切断作業に伴う鋼材の歩留まりや発生する鉄スクラップのリサイクルは考慮しなかった。また、溶接作業を全てCO₂溶接とする等各作業の種類は代表的と思われる種類に単純化した。ただし、建造時に使用する素材や部品の造船所へ搬入や工場内でのトラックによる運搬は省略し、

海上試運転では主機関の運転だけを考慮した。

運航での停泊日数や各機関の運転条件は、実際のタンカーの運航記録の調査⁹⁾に基づいて定めた。機関の運転条件を表-8.2に示す。ただし、航行中の貨物油のボイラーによる加熱は省略した。また、保守作業ではドック入りして行う定期的な塗装と亜鉛板の交換を含め、機関部品等の交換並びにドックの排水等保守作業に係わるエネルギーの使用は省略した。

解体・伸鉄材の製造において解体船舶から回収される鋼材や部品の重量及び切断等の各作業量は、海外の解体工場と伸鉄材の生産工場の調査結果に基づいたデータを使用した。また、使用する電力は火力発電によるものとした。

素材や燃料の製造に関するインベントリデータは、各種データベース^{7a)}を使用した。解析結果等から比較又は検討等を行った上、代表的と考えられるデータを選択して使用した。また、溶接、切断、塗装等の素材加工及び主機関、発電機、ボイラーの運転等の各種プロセスデータは、製品カタログや製造会社等への聞き取り調査等に基づいて作成した。

(5) 解析結果

モデル船による貨物の輸送量や生産された伸鉄材等ライフサイクル全体に関するデータを表-8.3に示す。本解析により得られた燃料消費量 $1.7\text{g}/\text{ton}\cdot\text{km}$ は、文献⁹⁾に示された実船の燃料消費量と概ね一致した。モデル船のライフサイクル全体での CO_2 排出量は約 $1.4\text{Mton}\cdot\text{CO}_2$ であり、輸送量単位 $\text{ton}\cdot\text{km}$ 当たりの大気中への CO 排出量は約 $5.9\text{g}\cdot\text{CO}$ であった。ライフサイクル全体での CO 排出量の内訳を図-8.5に示す。殆どの CO は運航において排出され、建造に関わる排出量はライフサイクル全体の約 1.5% であった。

建造、運航、解体及び伸鉄材の生産での CO_2 排出量のプロセス毎の内訳を図-8.6-8.9に示す。建造では鋼材の生産が全体の約 79% を占め、造船所の作業に関わる CO_2 排出量は溶接や各作業での電力使用を含め、建造の約 10% であった。また、運航では主機関の運転による CO_2 排出量が運航の約 82% を占め、ライフサイクル全体で最も CO_2 を排出するプロセスであった。

8.1.4 結論

船舶の建造、運航、解体及び伸鉄材の生産の各段階での CO_2 排出に関するプロセスツリーを作成し、船舶に関係するプロセス単位でライフサイクルでの CO_2 排出量をインベントリ分析を行う解析手法を作成した。また、油タンカーを対象に本手法によりインベントリ分析を実施し、原油の輸送量($\text{ton}\cdot\text{km}$)当たりの概括的な CO_2 排出量とその内訳を明らかにした。

8.2 各種大型船舶の運航に関するインベントリ分析

8.2.1 まえがき

前節で船舶に関するライフ・サイクル・インベントリ分析

(LCI分析)を載貨重量 $87,000\text{DWT}$ のタンカーについて実施し、 CO_2 排出量に関しては、運航段階が船舶のライフサイクル全体の約 98% を排出していることを示した。⁹⁾しかし、日本への原材料の輸入や製品の輸出に使用される船種や航路は多種多様であり、これらの運航条件が船舶輸送のLCIデータにどの程度影響するかは明らかになっていない。そのため、大型タンカー、撤積船及びコンテナ船等代表的と考えられる船種の運航段階での CO_2 排出量について、運航状況の実績¹⁰⁾¹¹⁾に基づいてインベントリ分析を行い、船種等の運航条件の違いによる CO_2 排出量への影響を明らかにする。

8.2.2 対象船舶

(1) 主要目と航路

解析の対象としたモデル船の主要目を表-8.4に示す。また、想定した航路を図-8.10に示す。ここでは、貨物の船積みをする港までの航海(往路)と荷揚げをする港への航海(復路)に荷役作業を含めて1航海とした。なお、タンカーと撤積船の航路は出発港と目的港だけに寄港する単純な往復航路としたが、コンテナ船ではマレーシアを出航し、シンガポール、中国、香港を経由してロングビーチ(米国)に向かう北米航路とし、復路は台湾にも寄港することとした。

モデル船の航海条件を表-8.5に示す。載貨重量 $260,000\text{DWT}$ タンカー(以後「260タンカー」と言う。)及び載貨重量 $140,000\text{DWT}$ の撤積船(以後「140撤積船」と言う。)の航海条件は運航実績¹¹⁾に基づいて設定した。87タンカーの就航条件が運航実績¹⁰⁾とは異なるため、主要目等から適切と考えられる航行条件を設定した。また、6100TEU積コンテナ船(以後「6100TEUコンテナ」と言う)に船積み及び荷揚げされるコンテナ数は北米航路の実績値¹¹⁾に基づき、平均の搭載数は約4670(TEUs)とした。停泊日数には仮泊は含めず、コンテナ船では荷役速度を約100(TEUs/hr)として算出した。

(2) 機関の運転条件

運航実績に基づいて設定した主機関、ディーゼル発電機及び補助ボイラーの運転条件を表-8.6に示す。機器の運転条件は定格出力の合計に対する負荷率(%)として表し、航海中又は荷役中は一定出力で稼働するものとした。なお、コンテナ船の機関の運転条件は欧州航路に基づく値とした。

8.2.3 解析手法

(1) システム境界

本解析の対象とする環境負荷項目を CO_2 排出量とし、システム境界は主機関、ディーゼル発電機、補助ボイラーの運転及び燃料の生産等船舶の航行に直接関わるプロセスとした。港湾設備の使用、コンテナの製造や使用、船会社の営業活動及び燃料等の資材の輸送並びに廃棄物の処理等は含めなかった。

(2) プロセスフロー

船舶の運航の特性及び環境負荷項目の対象としたCO₂を考慮してプロセスフローを作成した。船舶運航のプロセスフローを図-8.11に示す。運航では船舶の主機関、発電機及びボイラーの運転による船舶航行と港湾での荷役作業及び定期的な保守・整備を含めた。

(3) 解析手法

インベントリ分析は作成した運航のプロセスフローに基づいて運航システムのプロセス行列を作成し、行列法¹⁾により解析した。なお、計算処理には表計算ソフト(Microsoft Excel)を使用した。

8.2.4 解析条件

(1) 運航計画

モデル船の使用期間は25年とし、2.5年に1度、保守・整備のためにドックに入渠するものとした。また、荷役作業の時間はタンカーではポンプ容量、コンテナ船ではコンテナの荷役速度及び搬積船は満載した貨物を24hrで荷役できる能力を仮定し、算出した。

船舶の航行及び荷役作業では主機関、ディーゼル発電機及び補助ボイラーの運転のみを考慮した。また、船舶の保守・整備では塗装と防食亜鉛板の交換のみを考慮し、船用品や機関部品等の交換及びドック排水等の作業に係わるエネルギーや資材の使用等は省略した。なお、使用する燃料は機関の種類に関わらず、全てバンカー油とした。

(2) データの収集

運航段階において使用する燃料、塗料、電力等の素材やエネルギーの製造に関するインベントリデータは、各種データベース^{7a)}の解析結果や文献等のデータから比較・検討し、適切と考えられるデータを選択して使用した。また、防食亜鉛板等の部品製造に関するインベントリデータは製造工程の省略及び素材の簡略化を行った。

主機関、ディーゼル発電機及び補助ボイラーの運転に関するプロセスデータは出力等が相当する製品のカatalog等に基づき、燃料の発熱量を考慮して作成した。

(3) コンテナ重量

コンテナ1TEUの自重を1.85tonとし、一般的な輸送条件を考慮するため、1TEU当たりの貨物重量を、建造時の概略的な設計値の往路10tonと復路12tonとした。本解析の航海条件ではコンテナ船の載貨重量に対するコンテナ自重を含めた貨物搭載率の重量%は往路で67%及び復路で79%となった。

8.2.5 解析結果

(1) 船種の違い

インベントリ分析の実施により得られたモデル船の使用期間中の貨物輸送量、燃料消費量及びCO₂排出量を表-8.7に示す。また、モデル船の運航実績での燃料消費量の平均値及び解析結果との比較結果を表-8.8に示す。単位輸送量当たりの燃料消費量の解析結果は搬積船を除き実績値より少なくなった。特に、コンテナ船では解析値に比

べ実績での燃料消費量が約11%多くなった。しかし、欧州航路での貨物重量の実績値10.2ton/TEUを考慮すると燃料消費量の違いは約4%程度となる。また、タンカーではタンクヒーティングやタンク洗浄等の作業は解析では考慮されていない。船会社の経験では、実海域での航海の燃料消費量は主機関のカatalog上の燃料消費量に比べ、燃料の違いを考慮しても、約7%程度多くなるとも言われている。そのため、解析結果は実質的には一致する範囲にあると考えられる。

運航段階でのCO₂排出量は船種毎に違いが見られた。CO₂の排出量では使用期間及び単位輸送量当たりともコンテナ船が最大となり、単位輸送量当たりで最も排出量の少ない260タンカーの約4.6倍となった。また、260タンカーのCO₂排出量は87タンカーに比べ、輸送量当たりで約53%少ない排出量となった。

(2) CO₂を排出するプロセス

モデル船毎にCO₂を排出するプロセスの内訳を図-8.12-15に示す。CO₂を排出する主なプロセスは主機関、補助ボイラー及びディーゼル発電機の運転並びに燃料の生産であった。主機関の運転によるCO₂排出量は全排出量の80%以上を占め、最もCO₂を排出するプロセスであった。ディーゼル発電機がCO₂排出量全体に占める割合では、コンテナ船の割合が高く、搬積船の割合が低くなった。コンテナ船では冷凍コンテナの搭載に伴う電力消費量の増大、また、搬積船では主機の駆動に附随して稼動する軸発電機とターボ発電機を持つためと考えられる。なお、燃料の生産に伴うCO₂排出量が運航全体での排出量の約7%程度を占めた。

8.2.6 課題

船舶輸送の運航段階でのインベントリデータを的確に作成するために必要な事項は以下のとおりである。なお、解析結果の有意性の考慮や設定条件の精度等詳細な条件の設定には、更に感度解析や不確実性解析の実施が必要である。

(1) 設定条件

本解析で的確な入力データを必要とする項目を以下に示す。

- (a) 実海域の就航航路での貨物の積載率、航海速度及び主機関出力の関係
- (b) 荷役速度と停泊時間
- (c) ボイラー、ディーゼル発電機の負荷率

(2) CO₂排出に関わるプロセス

CO₂排出に関わるプロセスを以下に示す。

- (a) 貨物油や燃料のヒーティング、タンク洗浄及び冷凍コンテナ等貨物の維持・管理
- (b) スラッジ等の可燃物の焼却
- (c) 船体清掃等の船体の保守・修繕作業
- (d) 船用品や機関部品等の交換・整備作業
- (e) コンテナや港湾等の荷役設備の使用

(3) 関連データの整備

船舶運航のインベントリ分析を実施するためには、以下のデータの整備が必要である。

- (a) 船舶運航に関わる燃料、潤滑油、塗料等の素材及び船用品や機関部品の製造に関するインベントリデータ
- (b) 船舶の主機関、発電機、ボイラー機関の運転に関するプロセスデータ
- (c) 焼却炉等の排出物・廃棄物処理に関わるプロセスデータ

8.2.7 まとめ

船舶の運航段階でのCO₂排出に関するプロセスツリーと運航実績に基づいて、代表的と考えられる船種を対象にインベントリ分析を実施した。本解析の実施により各種船舶の貨物の輸送量(ton-km)当たりの概括的なCO₂排出量とその内訳を明らかにした。また、船舶輸送の運航段階でのインベントリ分析の実施における課題を明らかにした。

8.3 アルミニウム合金漁船

8.3.1 まえがき

近年、環境問題への関心が高まるにつれ、アルミニウム合金船の廃棄やリサイクル性に対する問題がクローズアップされている。今後、アルミニウム合金船が環境調和性の要求に応じていくためには、全ライフサイクルを通じた環境負荷を評価し、改善することが求められる。

本節ではその手がかりとして、アルミニウム合金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、アルミニウム合金性の小型漁船(以下、「アルミ合金漁船」と言う。)の建造及び運航の実績値に基づいたインベントリ分析を実施する。

8.3.2 対象船舶と調査範囲

(1) 対象船舶

(a) 船体の主要目

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。主要目を表-8.9に、また、一般配置図を図-8.16に示す。

(b) 船体重量構成

アルミ合金漁船の重量構成表を表-8.10に示す。漁労装置は一般艀装と併せて船体艀装とした。

(c) 運航計画

アルミ合金漁船の使用年数等の生涯計画を表-8.11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、全体塗装を2年に1度及び船底塗装を年1回とする。また、操業時の航行距離や主機馬力等の航海計画を表-8.12に示す。

操業は、漁場の清掃や整備を目的とした春操業が3～5月に、ホタテ貝の収穫をする本操業が6～12月に行われる。1～2月の休漁期間に加え、土日及び悪天候による休漁日がある。

(2) 解析範囲

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-8.17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、本解析では漁船の建造及び運航のみを解析の対象とし、解体及びリサイクルは解析範囲の対象外とする。

また、素材及びエネルギーの製造インベントリデータはデータベースや文献等から参照し、それらの製造プロセスに関する調査・解析は行わない。

(3) 環境負荷項目

対象とした環境負荷項目は石炭、原油、LNG、鉄鉱石及びボーキサイトの消費資源並びにアルミスクラップ、鉄スクラップ、CO₂及び固形廃棄物及びスラッジ(運航のみ)の排出物とする。

8.3.3 解析手法

(1) データの収集

建造及び運航における資材、エネルギー及び部品等の種類と使用量は、建造及び運航の実績調査等に基づいたデータを使用した。アルミ合金材等の各種素材、燃料及び電力に関する製造インベントリデータは、各種データベースの解析結果や参考文献等⁷⁾⁸⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾のデータ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。

主機関及び艀装品等の部品の製造に関するインベントリデータは製造工程の省略及び素材の簡略化を行った。また、主機関の運転等のプロセスデータは製品カタログ及びそれらの機能等に基づいてデータを作成した。

(2) 計算手法

建造及び運航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を作成し、行列法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。

8.3.4 建造

(1) プロセスフロー

アルミ合金漁船の建造ステージには、アルミ合金材の切断、溶接及び塗装等の直接作業に加え、素材・部品の工場への搬入、照明等の間接作業及び製造設備とその廃棄等が含まれる。

しかし、本解析では部品等の工場への搬入、海上試運転及び造船所から排出される木材等の固形廃棄物の焼却やアルミスクラップ等のリサイクル等の処理は含まないこととした。本解析で解析の対象とした建造のプロセスフローを図-8.18に示す。

(2) 建造データ

工場において使用したエネルギー、素材、部品及び作

業並びに廃棄物・排出物の項目及び量の実績調査の結果を表-8.13に示す。

(a)エネルギー

消費した電力量には工場の照明や換気及びクレーン及び工作機器の稼働等が含まれ、対象となった工場のアルミ合金漁船の平均的な建造時間や稼働率等に基づいて算出した。なお、電力以外のエネルギーは省略した。

(b)素材

(i)アルミ合金材

船殻の建造には主にアルミ合金材の板材、型材及び管材が使用された。ただし、船殻等の溶接作業に使用する溶接ワイヤーは含まれていない。

(ロ)鋼材

鋼材は本船1隻の建造時の架台の作成のために使用され、建造の終了後に鉄スクラップとして処理された。

(c)部品

船殻を除いた艤装品の総数は約230であった。船体艤装品には門型マスト、デリックブーム及び舵板等の一般艤装品及びトロールウィンチ・ワイヤ、カーゴウィンチ等の漁労装置が含まれる。機関艤装品には主機関、減速機及びプロペラ等が含まれる。また、電気艤装品には発電機、バッテリー及び電線等が含まれる。

(d)作業

(i)切断断面積

切断作業の作業量を切断断面積(m^2)として考えた。建造時に排出されたアルミスクラップの切断くずの量及び仮定した切断条件等から対象船舶の建造時の切断断面積を算出した。

(ロ)溶接重量

溶接作業の作業量を溶着金属重量(kg)として考え、船体の重量構成と同じとした。

(ハ)塗装重量

塗装作業の作業量を船体に付着した塗装重量(kg)とし、船体の重量構成と同じとした。

(e)排出物・廃棄物

(i)金属スクラップ

アルミ合金材の残材をアルミスクラップとした。また、架台作成に使用した鋼材と同量が鉄スクラップになるものとした。

(ロ)環境中への排出

建造時の工場から排出される CO_2 はなかった。また、アルミ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た。

(3) 作業プロセスデータ

解析に使用した切断等の作業プロセスデータを以下に示す。

(a)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切断速度等の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。切断屑はアルミスクラップとし、回転歯の消耗は省略した。

(b)溶接作業

全ての溶接をMIG溶接で行うと仮定し、アルミ合金板の板厚、溶接速度等の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。しかし、溶接ワイヤーはアルミ合金材として単純化し、シールドガスは省略した。

(c)塗装

全ての溶接をエアレススプレーで行うと仮定した。工場における塗装作業の聞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。ただし、圧縮空気の製造に必要な電力は工場の電力使用量に含め、塗料は全てエポキシ樹脂として単純化し、シンナーは省略した。

(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を以下に示す。

(a)エネルギー

電力の製造データとして、NEC LCA サポートデータベース¹²⁾の解析結果を使用した。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、構成はLNG(22%)、石炭火力(11%)、水力(11%)、原子力(28%)、石油火力(28%)である。

(b)素材

(i)アルミ合金材

アルミニウム新地金の製造データとして、オランダPre社SimaPro4.0¹³⁾のデータを使用した。データのアルミの原材料にはアルミスクラップは使用されていない。また、使用された電力は欧州の平均的なデータである。アルミ新地金から素材への加工に使用するエネルギーは比較的小さい¹⁴⁾と考えられるため省略した。また、船舶による輸送も省略した。

(ロ)鋼材

NIRE データベース(2)の鋼塊(Steel Ingot)に圧延工程(Hot Rolling)を加味して解析したデータを使用した。

(ハ)塩化ビニル(PVC)及びエポキシ樹脂

SimaPro4.0のデータを使用した。

(c)部品

艤装品等の部品の製造インベントリデータは製造工程を省略し、船体艤装品及び機関艤装品を全て鋼材として、また電気艤装品を鋼材と塩化ビニルを各々重量の50%として簡略化した。

(5) 計算結果(建造)

アルミ合金漁船の建造に関するインベントリ分析の結果を以下に示す。

(a)環境負荷項目

建造ステージにおける環境負荷項目の解析結果を表-8.14に示す。アルミ合金漁船の建造に関する CO_2 排出量は158tonであった。

(b) CO_2 排出量のプロセス毎の内訳

アルミ合金漁船の建造に関するCO₂排出量のプロセス毎の内訳を図-8.19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。

8.3.5 運航(操業)

(1) プロセスフロー

調査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-8.20に示す。漁船はホタテ漁を目的とした四輪採網の漁業システムの一環として使用される。そのため運航には春操業と本操業に加え、塗装や主機関の交換等の修繕・保守作業を含む。

(2) 運航データ

(a) 春操業

春操業は軽荷状態で出航し、漁場の海区をホタテ桁網を曳網しながら低速で走り、漁場からのゴミ等を満載して帰港する。ただし、収集したゴミ等は全て固形廃棄物とした。

(b) 本操業

航行状態は春操業と同じとし、水揚げとなるホタテ貝を経済的出力とした。本操業に伴って排出される廃棄物や排出物はないものとした。

(c) 船底塗装

毎年、船底塗装を行う。前の塗膜を除去し、建造時と同じ塗装重量を塗装するものとした。

(d) 全体塗装

2年に1度、全体塗装を実施する。船底塗装と同様に建造時と同じ塗装方法とした。

(e) 主機の換装

換装する主機は、部品と同様に主機の重量に相当する鋼材として単純化し、換装に必要な電力や諸作業は省略した。

(3) 航海

航海に必要な船舶主機力(MJ)は主機関の負荷率及び航海速力等により異なる。そのため、軽荷、曳網及び満載の各航行状態に基づいて航行距離1km当たり使用する船舶主機力MJを算出した。また、塗料の溶出等の環境的な排出物は省略した。

(4) 作業プロセスデータ

(a) 主機関運転

アルミ合金漁船は主機関の運転により船舶主機力を得る。燃料はA重油を使用し、燃料の消費量は航行状態にかかわらず一定とした。潤滑油の使用量には燃焼分の補充及び定期的な交換を考慮し、航行距離1km当たりの運転時間等に基づいて算出した。大気中へ排出するCO₂の排出量は燃料消費率及び推定される燃料中の炭素の含有量から算出した。主機関の運転に伴いスラッジ及び交換された使用済みの潤滑油が固形廃棄物として排出される。ただし、使用済みの潤滑油等の処理は省略した。

(b) 塗装

船底塗装及び全体塗装における塗装方法をエアレスス

プレーとした。ただし、圧縮空気の製造エネルギーや製造工程は省略した。

(5) 燃料等の製造インベントリデータ

電力、鋼材及び塗料は建造と同じとした。

(a) A 重油

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、データベース²⁾のディーゼル用のデータを使用した。

(b) 潤滑油

主機関が使用する潤滑油の製造インベントリデータはA重油の製造と同じとして、簡略化した。

(6) 計算結果(運航)

アルミ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。

(a) 環境負荷項目

漁船の運航に伴う環境負荷を表-8.15に示す。運航年数20年でのCO₂の排出量は 4.85×10^3 tonであった。固形廃棄物は年間で約 1.03×10^3 ton排出されるが、ほとんどは春操業に伴う漁場の海区のゴミ等であった。

(b) CO₂ 排出量のプロセス毎の内訳

プロセス毎のCO₂排出の内訳を図-8.21に示す。主機関の運転に係わるCO₂の排出量が全体の約9%を占めた。重油(ディーゼル油)の製造にかかわるCO₂排出量の8%を加えると、運航ステージでのほとんど全てのCO₂排出は主機関の運転に係わる排出であった。

8.3.6 ライフサイクルでの環境負荷

建造と運航のステージ毎の環境負荷項目毎の排出量の内訳を表-8.16に示す。ライフサイクル全体でのCO₂排出量約 5.01×10^3 tonの97%が運航ステージから排出されたことになる。また、プロセス毎の内訳を図-8.22に示す。ライフサイクル全体のCO₂排出量の主なプロセスの内訳は、主機関運転約89%、重油の製造約8%及びアルミニウム合金の新地金の製造約2%であった。

8.3.7 まとめ

本解析ではアルミ合金漁船の建造や運航の実績に基づいて主にCO₂排出量に関するインベントリ解析を実施し、アルミ合金漁船のインベントリ分析に関する解析手法が明らかになった。本解析の実施により明らかになった課題は以下のとおりである。

(1) システム範囲

建造や運航に伴う廃棄物の処理を考慮することが必要である。

(2) 素材等の製造インベントリデータ

本解析では、アルミ合金漁船に係わる素材、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。他の製品等のインベントリデータと整合性のあるデータの整備と使用が

必要である。

(3) 部品データ作業/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溶接や主機関の運転等に関するプロセスデータの整備を図ることが必要である。

(4) プロセス量

建造ステージでのCO₂排出量では切断、溶接及び塗装等の直接作業に加え、工場での照明やクレーン等の間接作業の排出量も無視できない大きさと考えられる。間接作業に関するエネルギーの使用量を的確に把握する必要がある。

(5) 運航のプロセス量

CO₂排出量の多くを占める運航ステージでは、解析により得られた燃料の使用量は実績に比べ約20(%)程度多くなった。主機の負荷率や燃料消費率を運航条件に合わせて的確に設定することが重要である。

8.4 FRP漁船

8.4.1 まえがき

近年、環境問題への関心が高まるにつれ、FRP船の廃棄やリサイクル性に対する問題がクローズアップされているが、今後、FRP船が環境調和性の要求に応えていくためには、全ライフサイクルを通じた環境負荷を評価し、改善することが求められる。

ここではその手がかりとして、FRP船の製造及び運航における環境負荷の概略を把握するために、過去に製造されたFRP漁船及びその運航の実績値に基づいてインベントリ分析を実施した。

8.4.2 対象船舶

解析の対象としたFRP漁船は総トン数14トンの外海ホタテ桁曳き漁船である。主要目を表-8.17に示す。また、重量構成表は表-8.18のとおりである。ただし、漁労装置は一般機装と併せて船体機装とした。

FRP漁船の使用年数等の生涯計画を表-8.19に示す。FRP漁船の使用年数は20年とし、期間中の主機の交換は1回、船底塗装は年1回とした。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。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。

8.4.3 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と本解析の対象とするシステム境界を図-8.23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、FRP漁船の製造、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、本解析では漁船の製造及び運航のみを解析の対象とし、解体及びリサイクルはシステムの対象外とした。

8.4.4 解析手法

(1) データの収集

製造、運航の各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を使用した。また、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及び使用する素材の簡略化を行った。さらに、塗装等の作業並びに主機関の運転に関しては、使用する機器のカタログ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。

対象とした環境負荷項目は、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、ガラス原料及びボーキサイトである。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(運航のみ)である。

FRP材料、燃料及び電力等の製造に関するインベントリデータは各種データベース⁷⁾⁸⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾、その解析結果または例示データから、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。

(2) 計算手法

製造及び運航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を作成し、行列法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。

8.4.5 製造

(1) プロセスフロー

FRP漁船の製造のプロセスフローを図-8.24に示す。製造ステージには、資材の搬入、切断等の直接作業、照明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が、本解析では図-8.24に示す作業プロセスのみを対象とした。

(2) 製造データ

造船所においてFRP漁船を製造するために使用したエネルギー、素材、部品、及び作業並びに排出物または廃棄物の項目及び量を表-8.20に示す。電力、重油、水は造船所の全使用量を当該船の製造工程数で按分して算出した。アセトン使用後はスラッジとともに廃棄処理されるものの(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製造一隻当たりの使用量とした。樹脂重量には硬化剤の重量も含まれる。簡易め型は5回の積層で償却するため、1隻製造当たりの使用量は実重量の1/5とした。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。CO₂は工場で使用した重油の燃焼による排出分である。スチレンモノマーは樹脂の硬化の過程で排出される量である。

(3) 計算結果

(a) 経済的入出力

製造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-8.21に示す。

(b) 環境的入出力

製造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-8.22に示す。FRP漁船の製造に関するCO₂排出量は57.3tonであった。

(c) プロセス毎のCO₂排出量

FRP漁船の製造に関するCO₂排出量のプロセス毎の内訳を図-8.25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%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は主として電力の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。

8.4.6 運航

(1) プロセスフロー

調査したFRP漁船の運航に関するプロセスフローを図-8.26に示す。漁船はホタテ漁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。そのため運航には漁場整備のための春操業、収穫のための本操業等の操業に加え、塗装や主機関の交換等の修繕・保守作業を含む。

(2) 運航データ

漁業での運航プロセスとして、春操業、本操業、船底塗装及び主機の換装を対象とし、解析に使用した各入出力の項目と量を表-8.23に示す。FRP漁船の生涯20年におけるホタテ貝の漁獲量62,640,000kgを基準に、ホタテ貝1kgの漁獲に必要な経済的入力データのデータを求めた。

(3) 計算結果

(a) 経済的入出力

解析結果のプロセス単位での経済的入出力に基づいて、1年及び20年の漁業に必要な経済的入力に関するプロセス量を求めた結果が表-8.24に示す。

(b) 環境的入出力

漁船の運航に伴う環境負荷を表-8.25に示す。運航年数20年でのCO₂の排出量は4,840tonであった。固形廃棄物が年間で約1,030ton排出されるが、ほとんどは春操業に伴う漁場の海区のゴミ等である。

(c) プロセス毎のCO₂排出量

プロセス毎のCO₂排出の内訳を図-8.27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CO₂排出量の8.4%を加えると、運航ステージでのほとんど全てのCO₂排出は主機関の運転に係わる排出であった。

8.4.7 ライフサイクルでの環境負荷

ライフサイクルでの環境負荷項目について製造と運航のステージ毎の内訳を表-8.26に示す。ライフサイクル全体でのCO₂排出量、約4,900tonの98.8%が運航ステージから排出されたことになる。また、プロセス毎の内訳を図-8.28に示す。ライフサイクル全体の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。

8.4.8 まとめ

漁船の製造と運航の環境負荷を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、船の製造1.2%、運航98.8

%であった。また、プロセスベースにおいても、主機関の運転が90.5%、重油(燃料油)の製造が8.3%で合計98.8%であった。

しかし、本分析の実施においては、エネルギーや素材等のプロセスデータの不明なものが多く、樹脂、ガラス繊維等の正確な製造データを整備することが必要である。また、運航データの精度を左右する船体や機関の経年劣化、及び実際の海域における船舶の運行状況を的確に把握することも必要である。その際、FRPに特有のスチレンモノマーやNO_x等の排出量の解析を行うために、それらを的確に表現するプロセスデータの使用が重要である。その他、春操業で漁場から回収した固形廃棄物の取り扱いについて検討の余地がある。

今後、上記の問題点の調査を続けて、製造、運航時の環境負荷の計算精度を高めるとともに、FRP漁船の解体、リサイクル時の解析に進みたい。

8.5 まとめ

各種船舶に作成したインベントリ分析の解析手法を適用した。87タンカーではライフサイクル全般について解析を行い、建造、運航、解体及びリサイクルでのCO₂排出量をプロセス単位で把握した。大型船舶ではライフサイクルでのCO₂排出量の殆どを占める運航段階について、260タンカー、140撤積貨物船及び6100コンテナ船の解析を行い、代表的な船種のCO₂排出量を把握した。また、小型船舶への適用としてアルミニウム合金製及びFRP製の小型漁船の建造と運航に関するインベントリ分析を行った。

参考文献

- 1) R. Heijungs, Environmental life cycle assessment of products Backgrounds LCA, 1992年、p52, Center of Environmental Science
- 2) 亀山道弘、他、第74回船舶技術研究所講演集、2000年、p347
- 3) LCA 日本フォーラム、International comparison of LCA methodologies, 1999年、p21-22
- 4) 城田英之、他、第73回船舶技術研究所講演集、1999年、p246
- 5) 成瀬 健、他、第73回船舶技術研究所講演集、1999年、p240
- 6) 平岡克英、他、第74回船舶技術研究所講演集、2000年、p335
- 7) Pre consultants B.V., Simapro LCA software (Ver.4.0)
- 8) 資源環境技術研究所、NIRE-LCA software (Ver.2)
- 9) 亀山道弘 他:船舶からのCO₂排出に関するライフ・サイクル・インベントリ分析、第4回エコバランス国際会議、p517-520
- 10) 平岡克英 他:船舶の運航に関するインベントリ分析、第74回船舶技術研究所研究発表会(2000年6月)講演

集、p335-340

11) (財)日本船舶標準協会、平成12年度ライフサイクルアセスメント(LCA)応用施策に関する検討調査報告書、平成13年3月、p8-20

12) R.Heijungs, etc.:Environmental Life Cycle Assessment of products Backgrounds -October 1992、p53755

13) Pre consultants B.V., Simapro LCA software (Ver.4.0)

14) 資源環境技術研究所, NIRE-LCA software (Ver.2)

15) NEC LCA サポートデータベースデータ提供 : (社)産業環境管理協会

16) 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)

17) Pre 社 SimaPro4.0 データベース (Pre4 database, The

BUWAL250 database, IDEMAT)

18) 実践LCA ISO 1 4000 対応、(株)サイエンスフォーラム、1999 年1 月、第1 版、ISBN4-9 1 6 1 64-1 9-9C3050

19) 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ベース

20) (社) 未踏科学技術協会・エコマテリアル研究会、「環境負担評価システム構築のための基礎研究調査報告書」別冊、平成7 年11 月

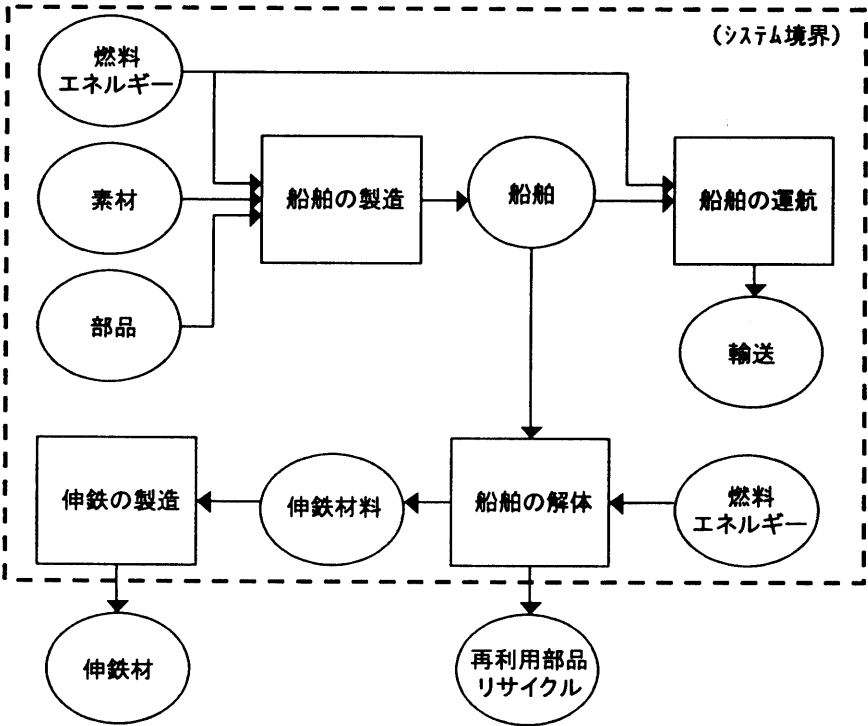


図-8.1 システム境界

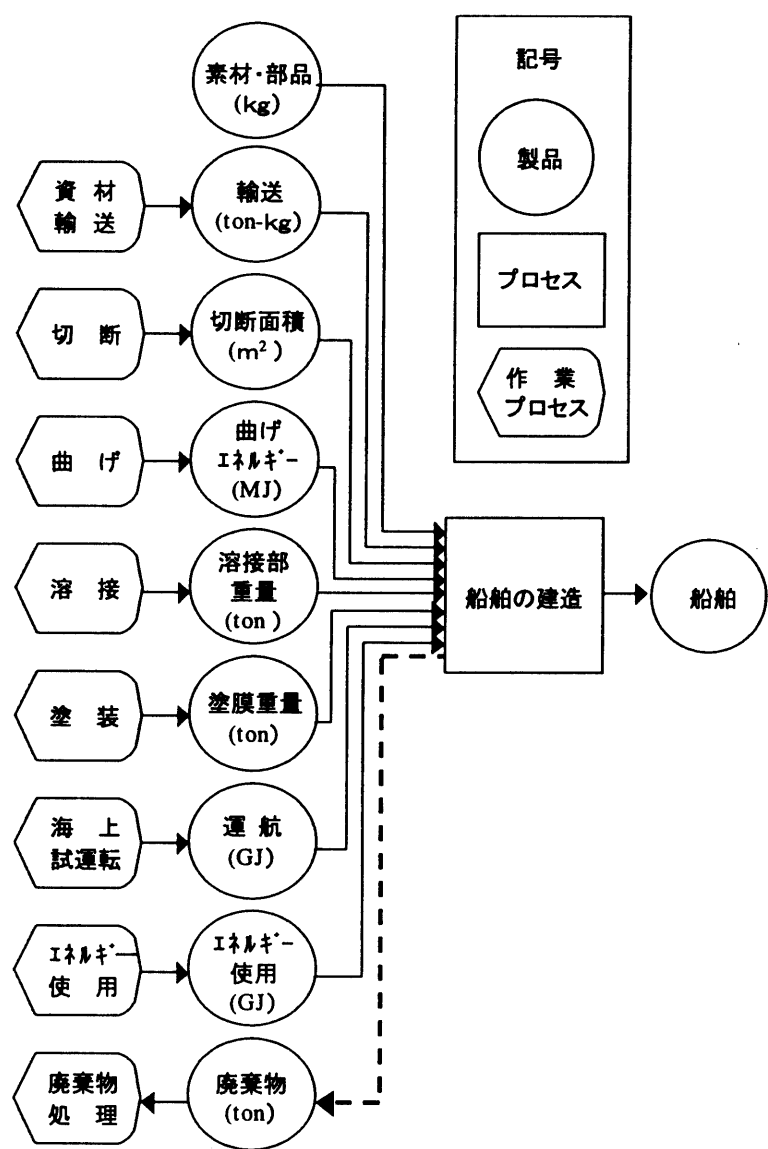


図-8.2 船舶建造のプロセスツリー

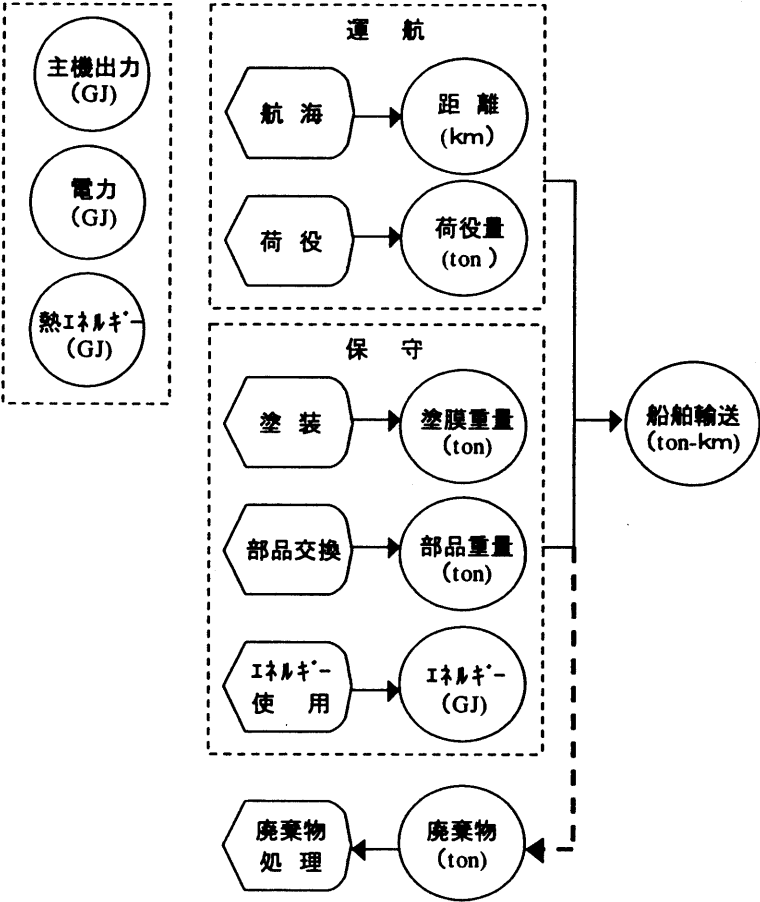


図-8.3 船舶運航のプロセスツリー

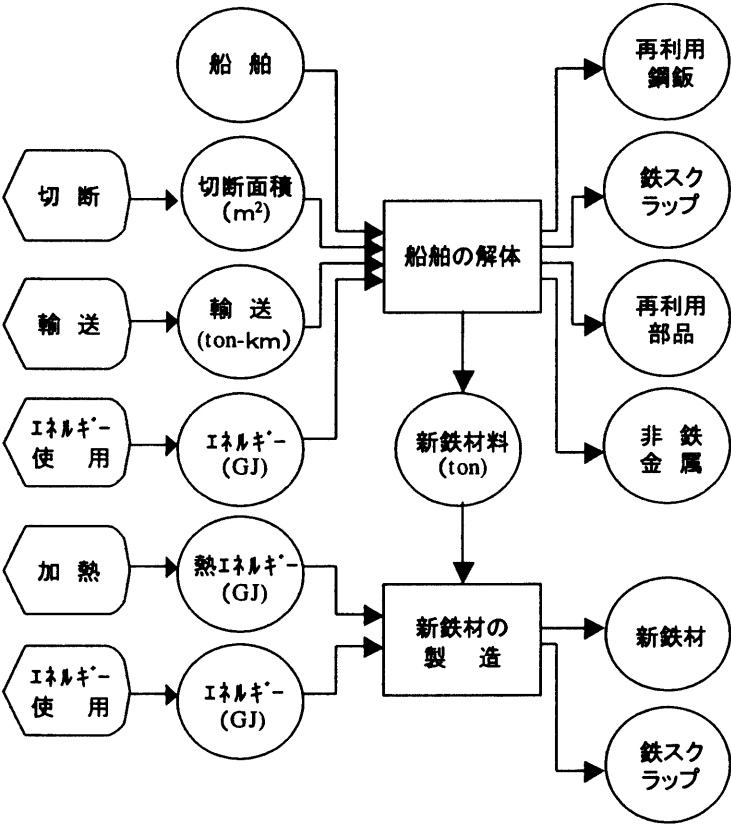


図-8.4 船体の解体・リサイクルのプロセスツリー

表-8.1 87タンカーの主要目と航海計画

船種	87,000dwt 油タンカー
船体構造	単殻構造
搭載重量	81,000 (ton)
軽荷重量	14,500 (ton)
速力(満載/バラスト)	15 (kt)/16(kt)
主機関	ディーゼル機関: 10,300(kW)
発電機	ディーゼル機関: 750(kW)×3
ボイラー	2,120(kW)
使用年数	25年
航海距離(港? 港)	12,000(km)
ドック入り間隔	2.5年

表-8.2 87タンカーの機関の運転条件

種類	運転時間	出力
主機関	航海時	100
発電機	常時	30
ボイラー	荷揚げ作業	100

表-8.3 87船タンカーのライフサイクルデータ

航海数(往復)	2.22E+02
輸送量(ton-km)	2.30E+11
伸鉄材の生産 (ton)	7.5E+03
鉄スクラップ(ton)	4.5E+03
CO2 排出量 (ton)	1.4E+06

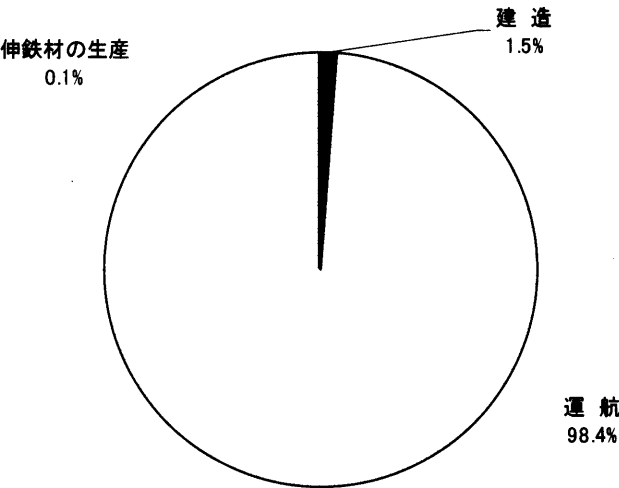


図-8.5 87タンカーのCO₂排出量
排出量合計 1.4 × 10⁶(ton-CO₂)

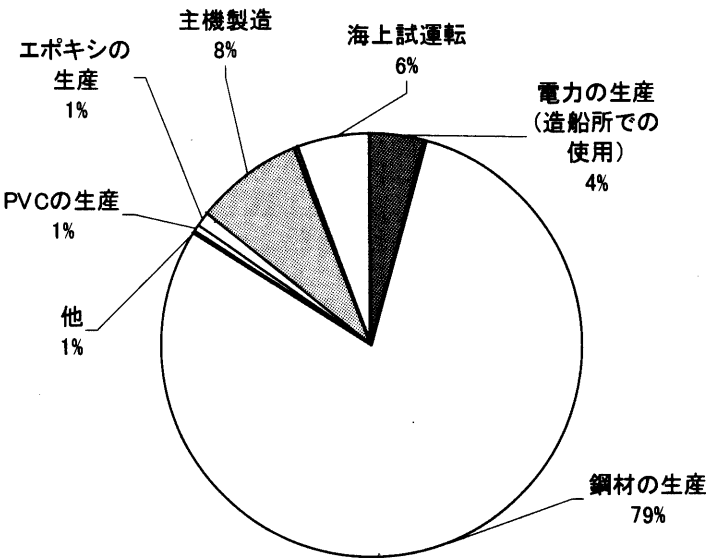


図-8.6 87タンカーの建造でのCO₂排出量の内訳
排出量合計 2.0 × 10⁴(ton-CO₂)

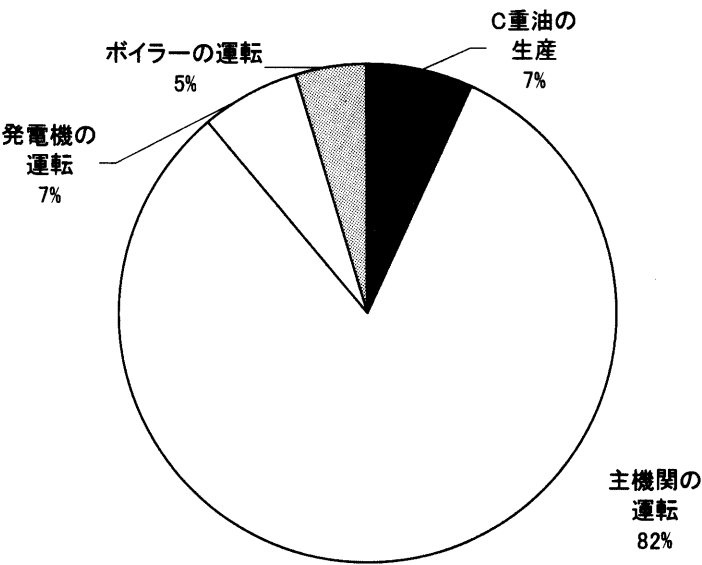


図-8.7 87タンカーのCO2運行での排出量の内訳
排出量合計 1.3×10^6 (ton-CO₂)

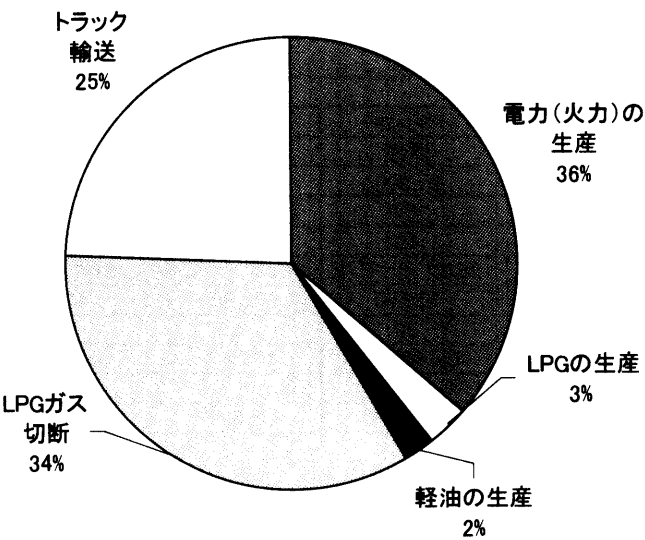


図-8.8 87タンカーの解体でのCO2排出量の内訳
排出量合計 3.6×10^2 (ton-CO₂)

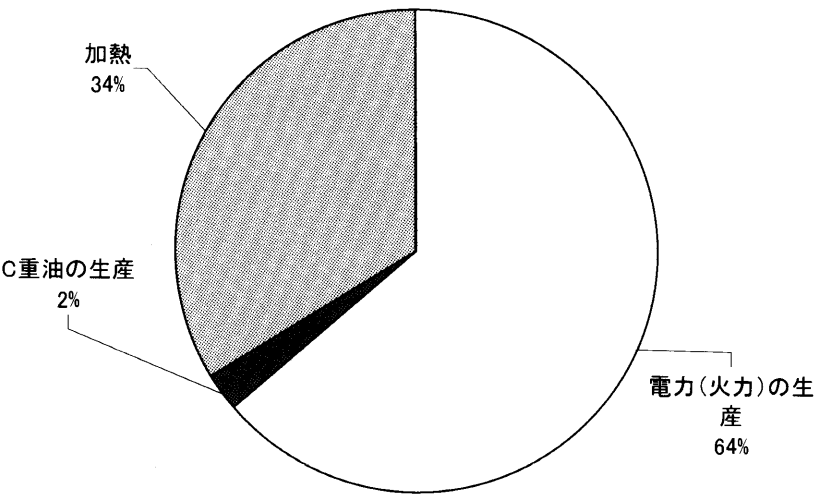


図-8.9 87タンカーの伸鉄材生産でのCO₂ 排出量 の内訳
排出量合計 1.1×10³ (ton-CO₂)

表-8.4 解析対象とした船舶の主要目

項 目	単位	船 種			
		87タンカー	260タンカー	140散積船	6100コンテナ船
貨物の種類		原油	原油	石炭	コンテナ
載貨重量等	ton	87,000	260,000	140,000	6,100(TEU)
満載航海速力	kt	15.0	15.0	13.7	23.0
乗員	人	49	46	25	30
主機関種類	—	2Stディーゼル	2Stディーゼル	2Stディーゼル	2Stディーゼル
主機関出力(MCR)	kW	11,500	21,800	12,100	53,000
補助ボイラー	t/h	30	85	15	13
ディーゼル発電機	kW	7500kW × 3	7400kW × 3	6800kW × 3	21000kW × 4
主貨油ポンプ	m³/h	2500 (m³/h) × 3	5500 (m³/h) × 3	/	/
建造年 (起工)	西暦	1985年	1989年	1989年	1997年

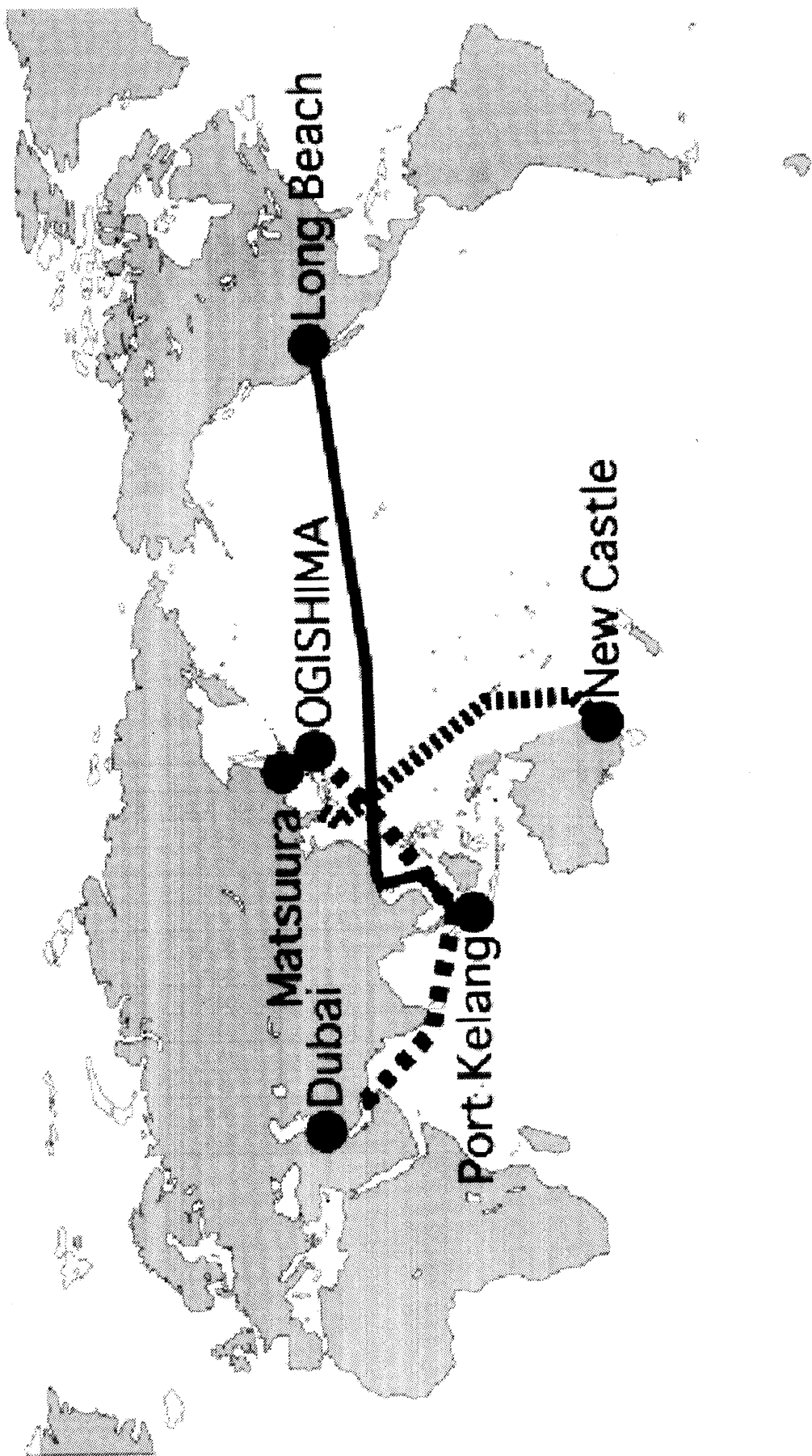


図-8.10 航路

表-8.5 航海条件

項 目		船 種			
		87タンカー	260タンカー	140撤積船	6100 コンテナ
想定した航路		日本-中東	日本-中東	日本-豪州	北米航路
1.往路	距離(海里)	6,583	6,583	4,358	8,202
	速力 (kt)	15	15	14	23
	貨物搭載率 (%)	0	0	0	76(%TEU)
	停泊日数(日)	2.4	3.4	6.0	7.4
2.復路	距離(海里)	6,583	6,583	4,358	8,559
	速力 (kt)	13	13	13	23
	貨物搭載率 (%)	98	98	96	77(%TEU)
	停泊日数(日)	2.8	3.8	5.6	5.8

(注)コンテナ船以外の貨物搭載率は載貨重量(DWT)に対する貨物の重量(%)

表-8.6 各機関の航海時の運転条件（定格出力に対する出力%）

機関の種類		航海状態	船 種			
			87タンカー	260タンカー	140バルカー	6100 コンテナ
主機関	航海	満載/復路	85 %	75 %	80 %	80 %
		バラスト/往路	85 %	75 %	80 %	80 %
	荷役	船積	0 %	0 %	0 %	0 %
		荷揚	0 %	0 %	0 %	0 %
ディーゼル 発電機	航海	満載/復路	30 %	7 %	30 %	20 %
		バラスト/往路	30 %	9 %	30 %	20 %
	荷役	船積	30 %	70 %	30 %	70 %
		荷揚	30 %	100 %	30 %	70 %
ボイラー	航海	満載/復路	0 %	0 %	75 %	1.5 %
		バラスト/往路	0 %	0 %	75 %	1.5 %
	荷役	船積	0 %	5 %	75 %	70 %
		荷揚	100 %	25 %	75 %	70 %

(注)主機関の定格出力は連続最大出力(MCR)とした。

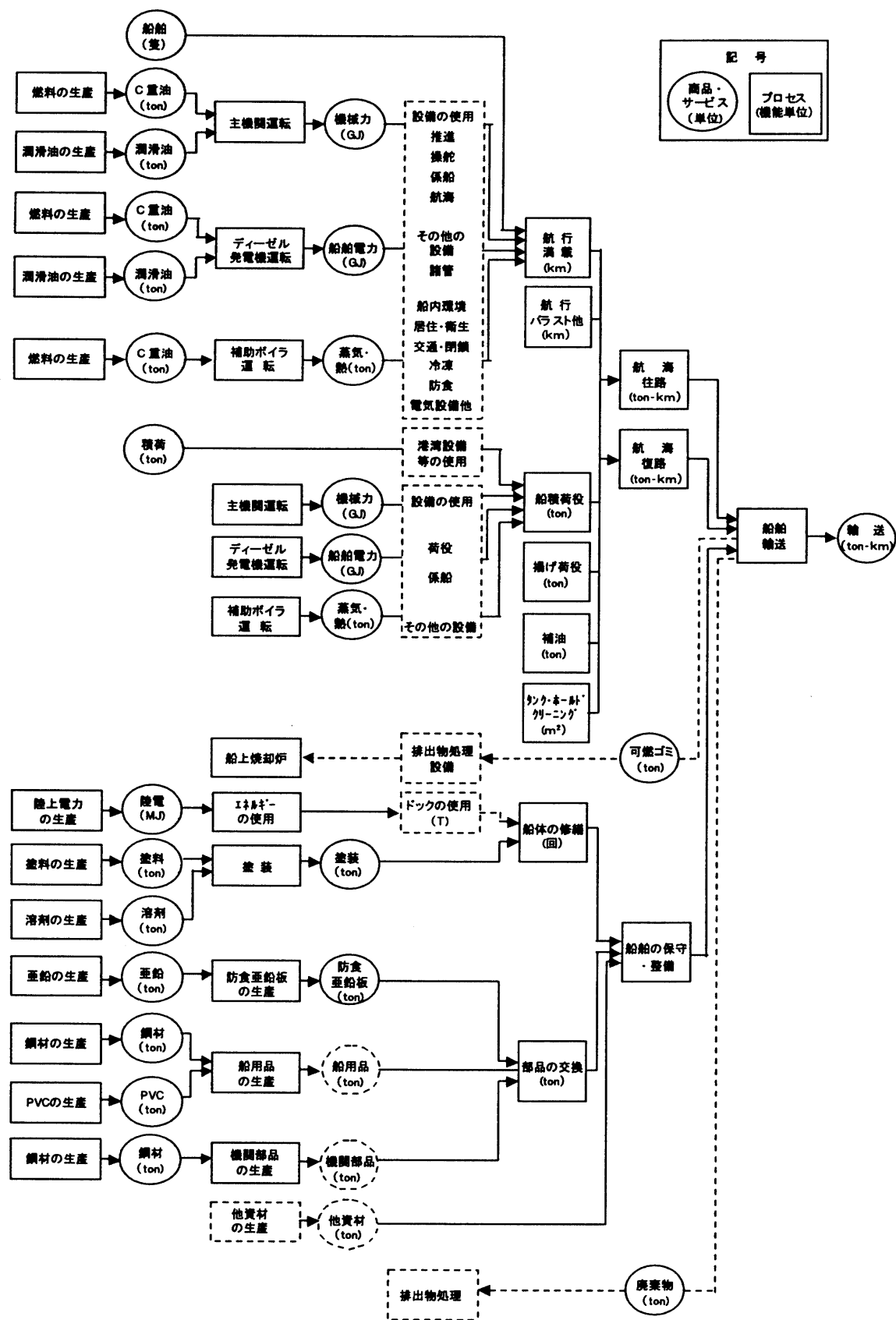


図-8.11 船舶運航のプロセスフロー

表-8.7 運航ステージでのCO₂-LCI分析の結果

項 目		船 種			
		87タンカー	260タンカー	140撤積船	6100 コンテナ船
貨物輸送量(25年)(ton-km)		2.1×10(+11)	6.6×10(+11)	2.6×10(+11)	3.3×10(+11)
1航海での燃料消費量(ton)		1.9×10(+3)	2.7×10(+3)	1.3×10(+3)	6.4×10(+3)
燃料消費量(g/ton-km)		1.85	0.866	1.15	3.98
CO2排出量 (ton-CO2)	使用期間(25年)	1.3×10(+6)	1.8×10(+6)	1.0×10(+6)	4.4×10(+6)
	単位輸送量	6.2×10(-6)	2.9×10(-6)	3.9×10(-6)	1.34×10(-5)

表-8.8 運航実績での燃料消費量と解析結果との比較

項 目	船 種			
	87タンカー	260タンカー	140撤積船	6100 コンテナ船
燃料消費量(g/ton-km)	1.98※1	0.914	1.14	4.452※2
解析値との比較	＋7%	＋6%	－1%	＋11%

※1貨物の積載率 75(%)相当の値

※2欧州航路での平均値

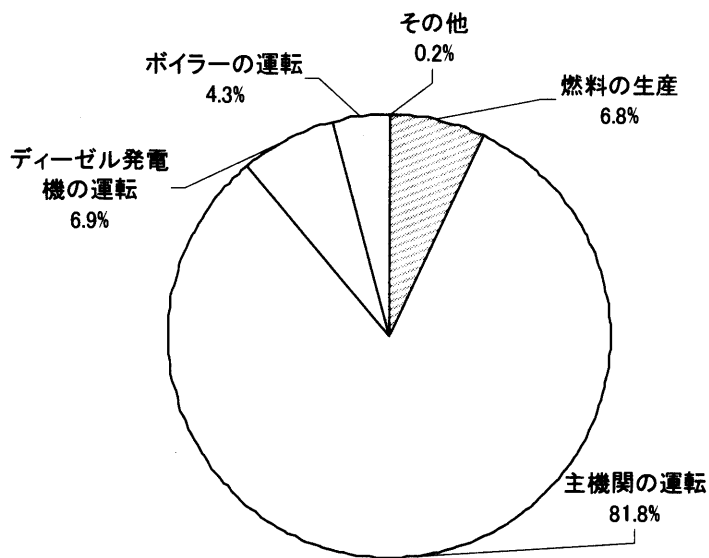


図-8.12 87トンカーのCO₂排出の内訳
25年間の総排出量 1.3(Mton-CO₂)

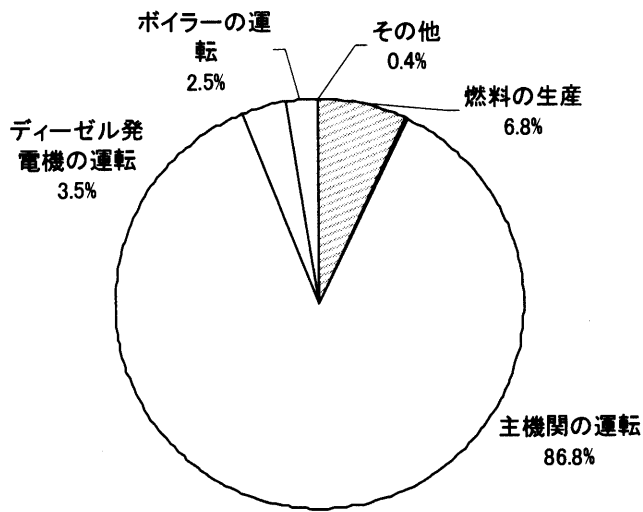


図-8.13 260トンカーのCO₂排出の内訳
25年間の総排出量 1.8(Mton-CO₂)

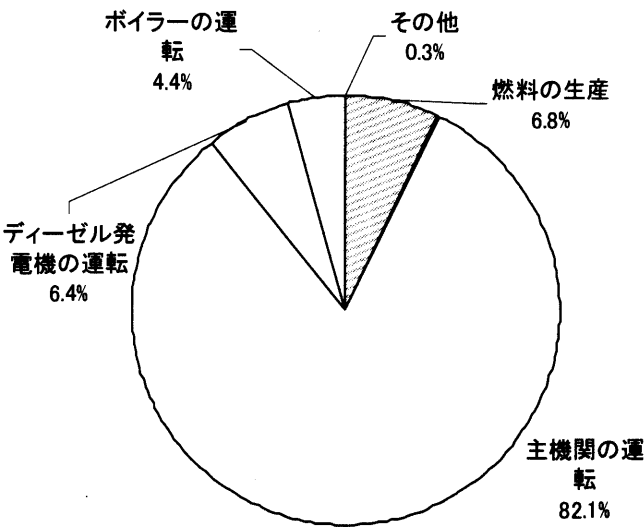


図-8.14 140 撤積船のCO₂排出量の内訳
25年間運航の総排出量 1.0(Mton-CO₂)

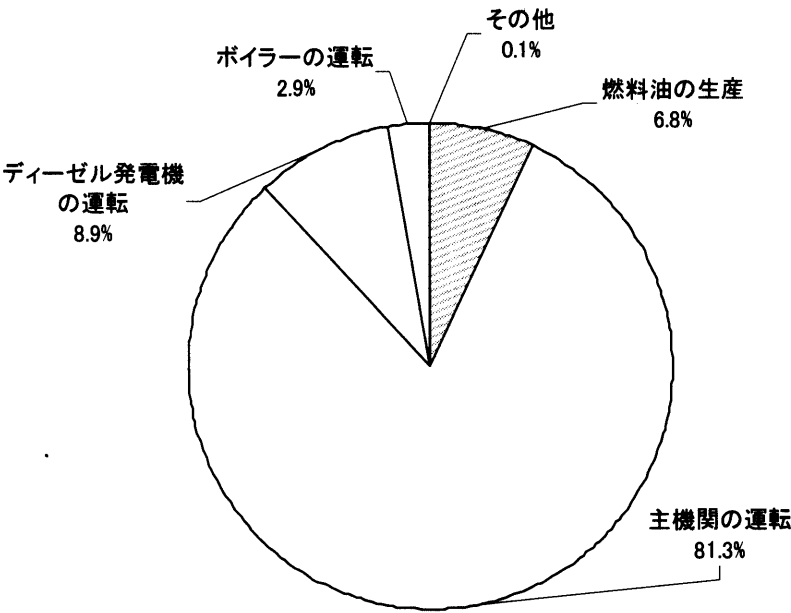


図-8.15 6100コンテナ船のCO₂排出の内訳
25年間運航での総排出量 4.4(Mton-CO₂)

表-8.9 アルミ合金漁船の主要目

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 25.90(ton)
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(ton)、最大速力17(knot)
主機関	定格出力650(PS):A重油162(g/PS・hr)

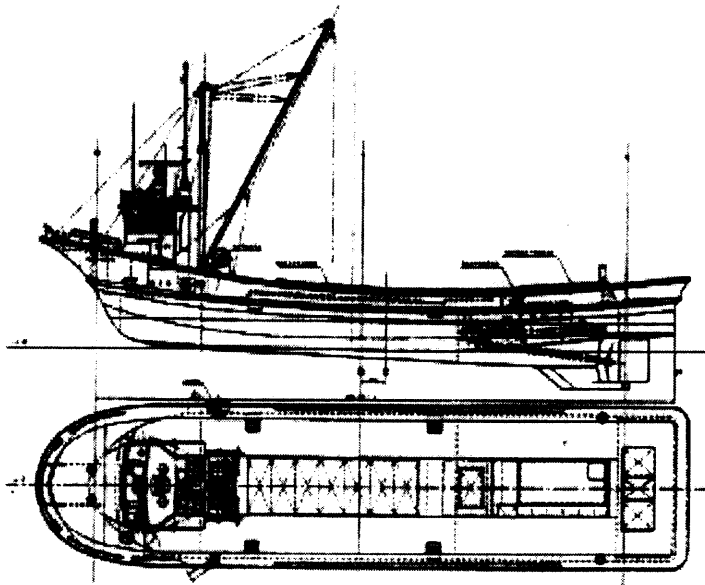


図-8.16 アルミ合金漁船の一般配置図

表-8.10 船体の重量構成表(アルミ合金漁船)

項 目	重量	(%)	主 な 部 品 等
船 殻	10.73	41	溶接部重量及び塗装重量を含む。
船体艗装	7.99	31	漁労装置及び一般艗装
機関艗装	5.56	21	主機関、減速機、プロペラ軸、プロペラ等
電気艗装	1.62	6	発電機、バッテリー、電線等
合 計	25.90	100	

表-8.11 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	(ton)	生涯漁獲量 62,640(ton)
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)	
6	漁 獲 量	62,640	(ton)	常に満載で帰港すると仮定した。

表-8.12 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	0.6	17	10.2	18.9	550
2	漁場:曳網状態(春操業)	6	2.5	15.0	27.8	300
3	漁場:曳網状態(本操業)	3	2.5	7.5	13.9	300
4	漁場→港(復路):満載状態	0.8	14	11.2	20.7	550

図-8.16 一般配置図(アルミ漁船)

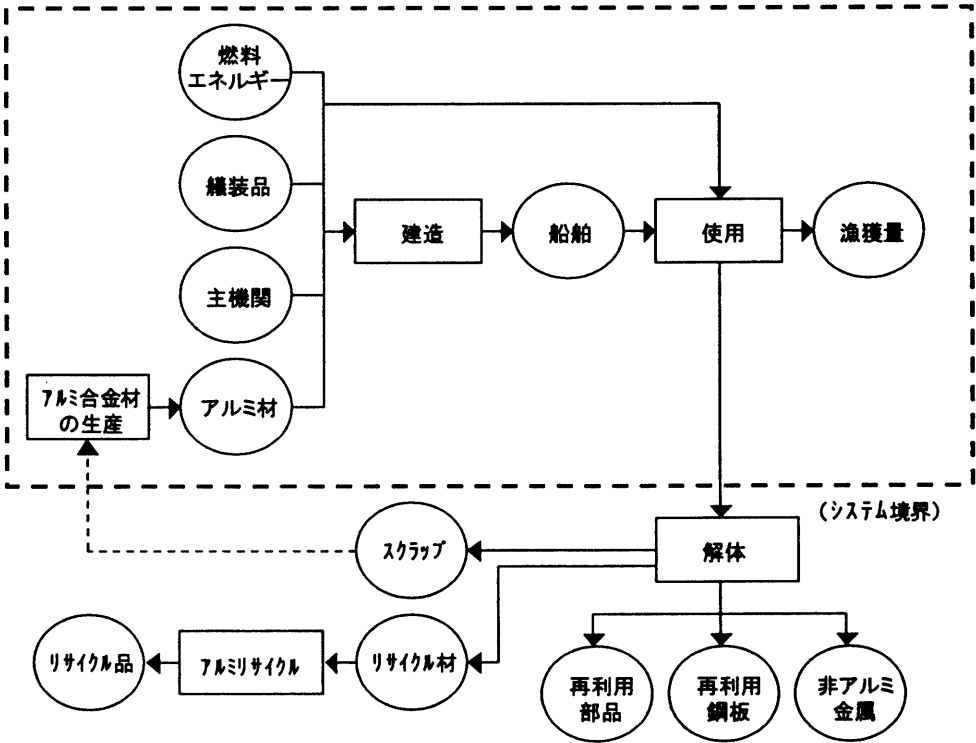


図-8.17 アルミ合金船のシステム境界

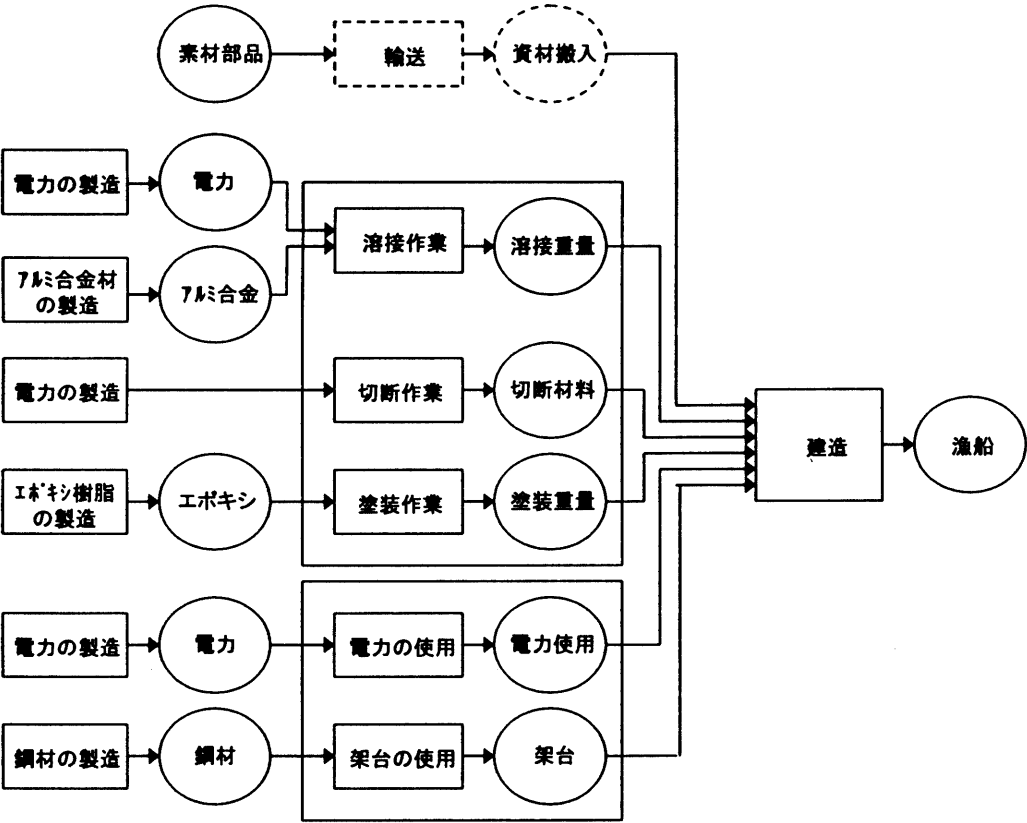


図-8.18 船舶建造のプロセスフロー(アルミ合金漁船)

表-8.13 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
	船体繕装品(kg)	7.99E+03
	機関繕装品(kg)	5.56E+03
	電気繕装品(kg)	1.62E+03
	切断断面積(m2)	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)	2.07E+03
	鉄スクラップ(kg)	1.16E+02
	CO2(kg)	0
	固形廃棄物(kg)	3.61E+02

表-8.14 環境負荷項目(建造:アルミ合金漁船)

	環境負荷項目名	消費／排出量 合 計
環境からの入力 (資源)	ボーキサイト (kg)	-5.96E+04
	鉄 鋼 石 (kg)	-1.59E+04
	石 炭 (kg)	-3.09E+04
	原 油 (kg)	-8.41E+03
	天然ガス (kg)	-2.62E+03
金属スクラップ	アルミスクラップ(kg)	2.13E+03
	鉄スクラップ (kg)	-5.43E+03
環境への排出	CO2 (kg)	1.58E+05
	固形廃棄物 (kg)	8.62E+03

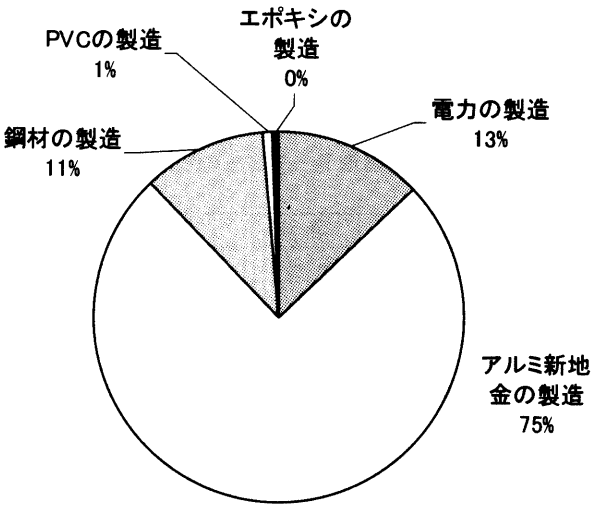


図-8.19 建造プロセス毎のCO₂の排出量
(アルミ合金漁船)

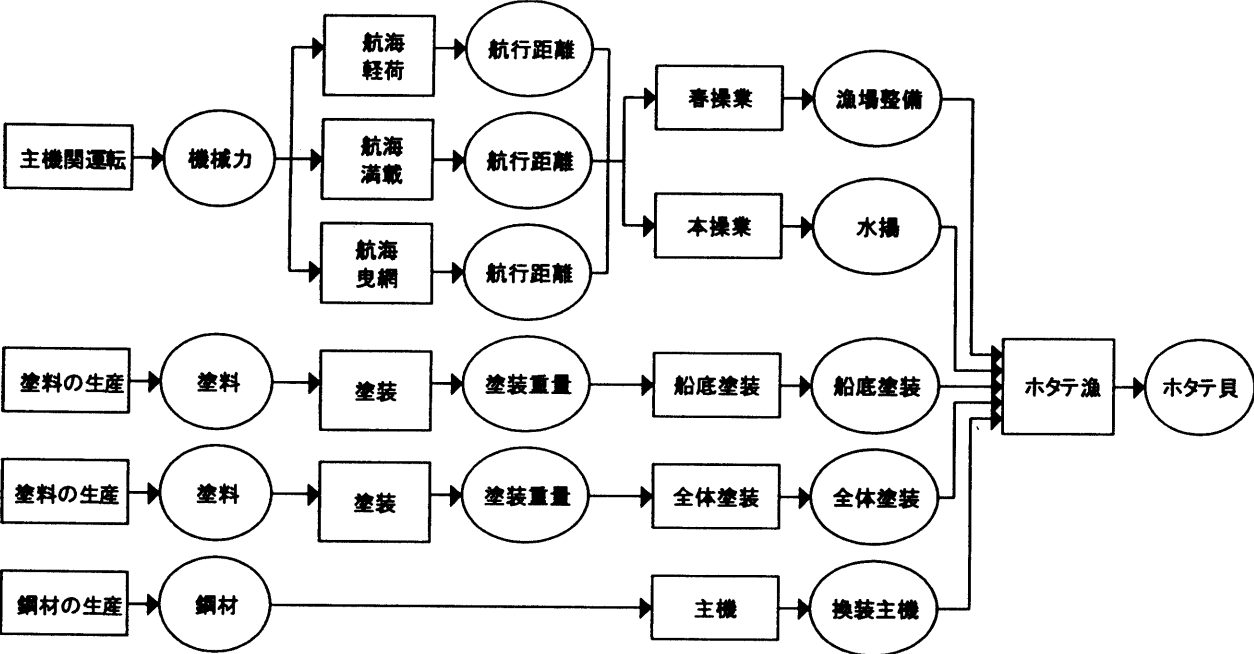


図-8.20 ホタテ漁船の使用に関するプロセスフロー

表-8.15 運航での環境負荷項目(アルミ合金漁船)

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
ホタテ貝の漁獲量	1 (kg)	3,132 (ton)	62,640 (ton)
ボーキサイト (kg)	-7.50E-06	-2.35E+01	-4.70E+02
鉄 鉱 石 (kg)	-4.10E-05	-1.29E+02	2.57E+03
石 炭 (kg)	-1.35E-04	4.22E+02	-8.44E+03
原 油 (kg)	-2.40E-02	-7.53E+04	-1.51E+06
天 然 ガ ス (kg)	-1.46E-03	-4.56E+03	-9.12E+04
アルミスクラップ (kg)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
鉄スクラップ	-1.32E-05	-4.13E+01	-8.25E+02
CO ₂ (kg)	7.74E-02	2.42E+05	4.85E+06
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

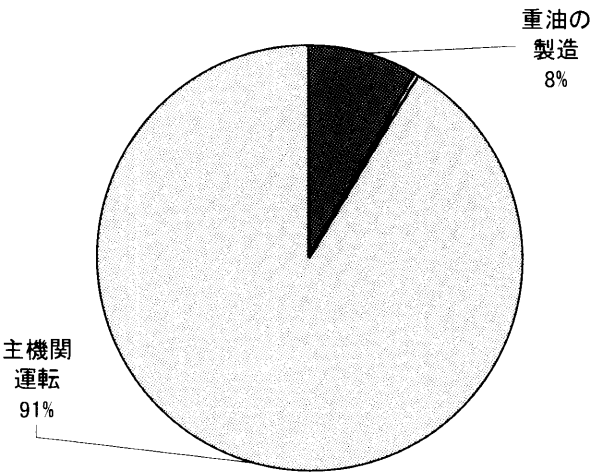


図-8.21 運航のプロセス毎のCO₂排出量の内訳
(アルミ合金漁船)

表-8.16 ライフサイクルでの環境負荷項目のステージ毎の内訳
(アルミ合金漁船)

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	
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%	-4.70E+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)	-1.52E+06	-8.41E+03	1%	-1.51E+06	99%
天 然 ガ ス (kg)	-9.38E+04	-2.62E+03	3%	-9.12E+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%
CO ₂ (kg)	5.01E+06	1.58E+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	8.62E+03	0%	2.05E+07	100%

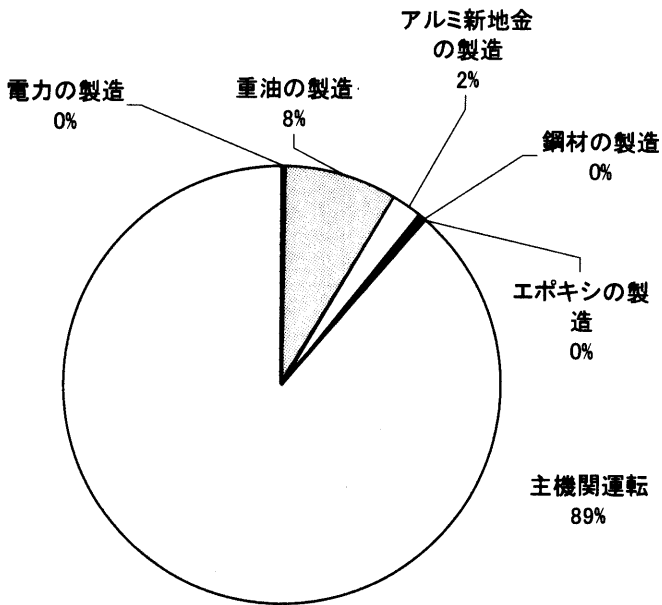


図-8.22 ライフサイクルでのCO₂排出量のプロセス毎の内訳
(アルミ合金漁船、20年使用)
CO₂の排出量 約5.01×10³(ton)

表-8.17 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(ton)、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(ton)、最大速力17(knot)
主機関	定格出力650(PS)
燃料	A重油 162(g/PS・hr)

表-8.18 FRP漁船の重量構成表

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

表-8.19 生涯計画(FRP漁船)

項目	数量	単位	備考
載荷重量	18	(ton)	
使用年数	20	(年)	
船底塗装回数	18	(回)	建造時と最終年を除く。
主機換装回数	1	(回)	
漁獲量	62,640	(ton)	常に満載で帰港すると仮定した。

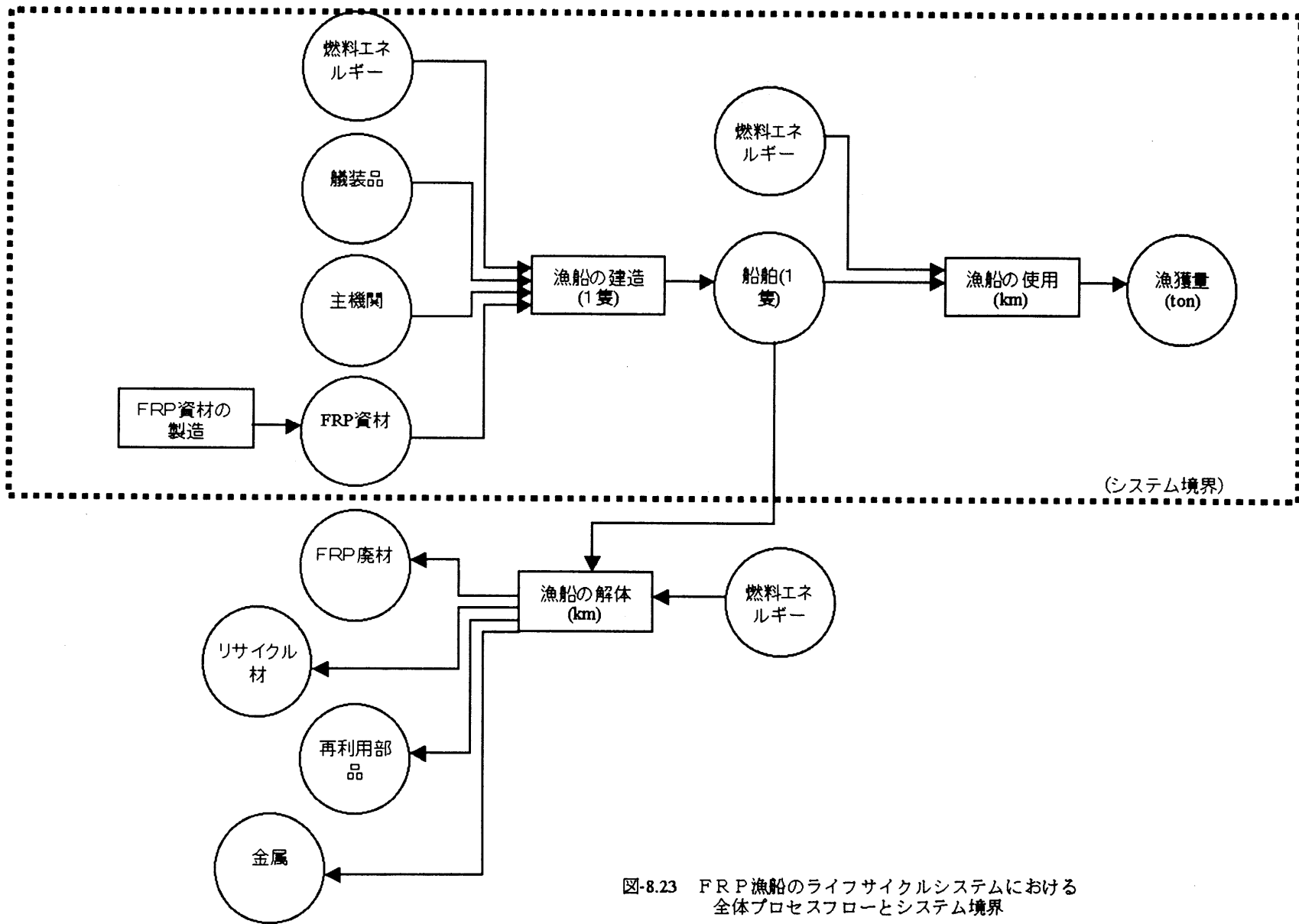


図-8.23 FRP漁船のライフサイクルシステムにおける全体プロセスフローとシステム境界

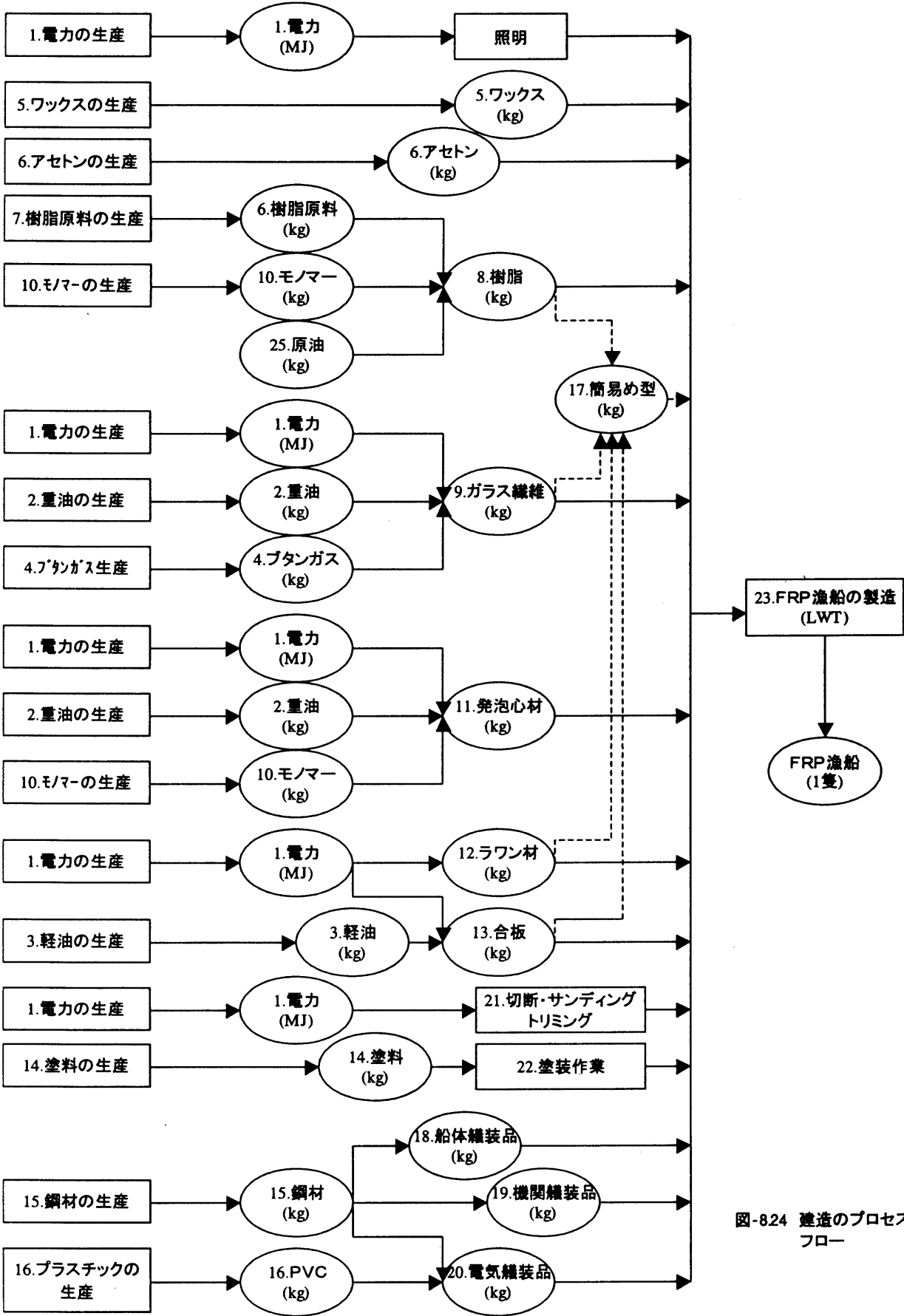


図-824 建造のプロセス
フロー

表-8.20 建造データ(FRP漁船)

	項目	量	備考
使用	電力(MJ)	84,960	照明、工場動力等
	重油(kg)	1,890	暖房、海上試運転
	ワックス(kg)	12	離型処理
	アセトン(kg)	77	廃棄分
	樹脂(kg)	6,482	
	ガラス繊維(kg)	3,077	
	発泡心材(kg)	70	
	ラワン材(kg)	490	
	合板(kg)	670	
	鋼材(kg)	400	固着釘
	簡易め型(kg)	2,529	
	船体繕装品(kg)	10,291	
	機関繕装品(kg)	3,732	
	電気繕装品(kg)	1,254	
	サンディング・トリミング(m ²)	26	
	塗装(kg)	53	
	水(kg)	144,300	
排出	CO ₂ (kg)	4,245	使用重油の燃焼
	スチレンモノマー(kg)	259	樹脂硬化過程での排出
	固形廃棄物(kg)	5,189	

表-8.21 製造ステージにおける経済的入出力(FRP漁船)

	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)	1.14E+05
2	重油(kg)	2.83E+03
3	軽油(kg)	4.04E+03
4	ブタンガス(kg)	4.62E+02
5	ワックス(kg)	1.20E+01
6	アセトン(kg)	7.74E+01
7	樹脂原料(kg)	3.93E+03
8	樹脂(kg)	6.55E+03
9	ガラス繊維(kg)	3.08E+03
10	モノマー(kg)	2.72E+03
11	発泡心材(kg)	6.97E+01
12	ラワン材(kg)	2.52E+03
13	合板(kg)	1.10E+03
14	塗料(kg)	5.62E+01
15	鋼材(kg)	1.51E+04
16	PVC(kg)	6.27E+02
17	簡易め型(kg)	2.53E+03
18	船体織装品(kg)	1.03E+04
19	機関織装品(kg)	3.73E+03
20	電気織装品(kg)	1.25E+03
21	サンディング・トリミング(m ²)	2.64E+01
22	塗装(kg)	5.34E+01
23	FRP漁船(1隻:26ton)	1

表-8.22 製造ステージにおける環境的入出力(FRP漁船)

		経済的入出力名 (製品・サービス)	消費／排出量 合計
環境からの 入力(資源)	24	石炭(kg)	-9.44E+03
	25	原油(kg)	-1.83E+04
	26	天然ガス(kg)	-1.98E+03
	27	天然ワックス(kg)	-3.00E+00
	28	水(kg)	-1.18E+06
	29	原木(kg)	-5.07E+03
	30	鉄鉱石	-1.66E+04
	31	ガラス原料	-3.71E+03
	32	ボーキサイト(kg)	-8.77E-02
金属スクラップ	33	鉄スクラップ(kg)	-5.76E+03
環境への排出	34	CO ₂ (kg)	5.73E+04
	35	スチレンモノマー(kg)	2.63E+02
	36	固形廃棄物(kg)	6.75E+03

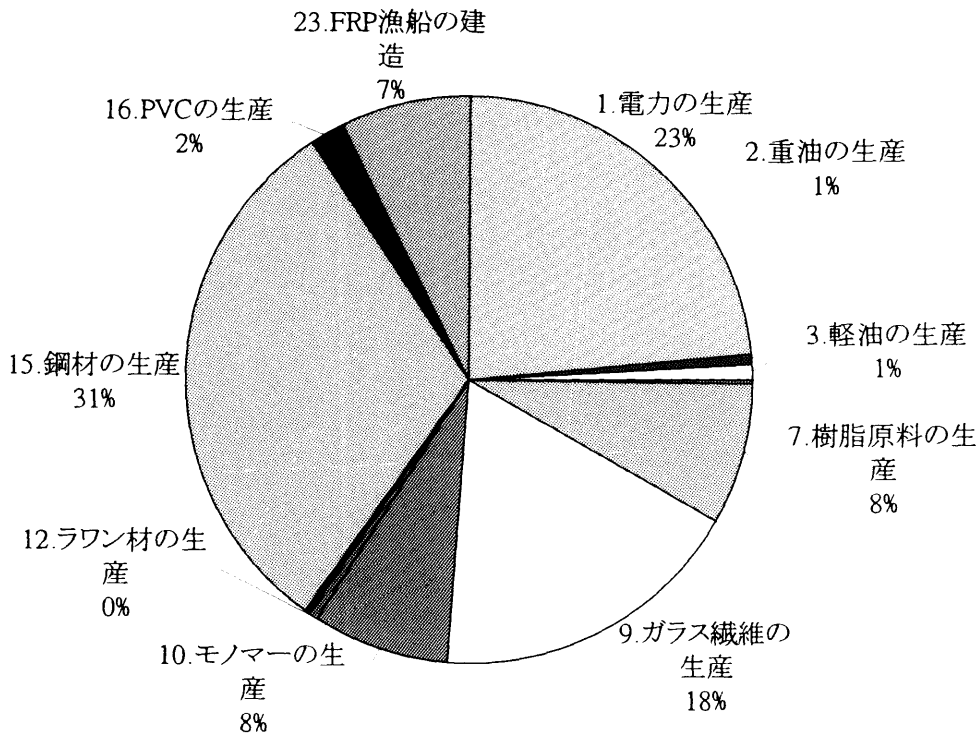


図-8.25 製造プロセス毎のCO₂の排出量

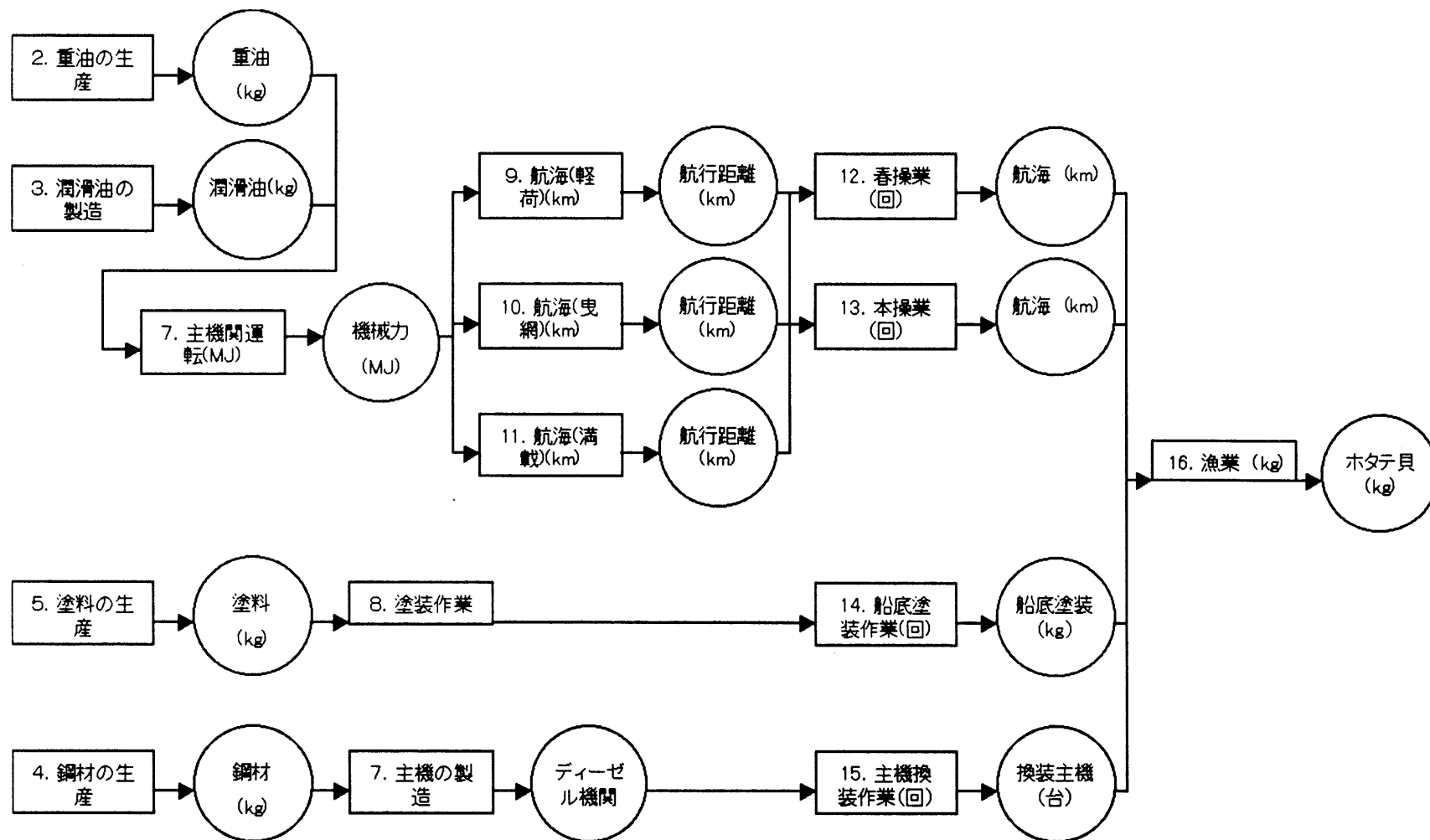


図-8.26 運航のプロセスフロー

表-8.23 運航データ(FRP漁船)

項目	20年間の回数	1kgの漁獲に対する回数
春操業	1,140	1.82E-05
本操業	3,480	5.56E-05
船底塗装	19	3.03E-07
主機換装	1	1.60E-08

表-8.24 運航ステージにおける経済的入出力(FRP漁船)

		プロセス単位	年間漁獲量 操業174(日)	ライフサイクル 使用20(年)
	漁獲量(ton)	1E-03	3,132	62,640
1	陸上電力(MJ)	1.98E-05	6.20E+01	1.24E+03
2	ディーゼル油(kg)	2.27E-02	7.12E+04	1.42E+06
3	潤滑油(kg)	1.07E-07	3.36E+02	6.71E+03
4	鋼材(kg)	3.20E-05	1.00E+02	2.00E+03
5	塗料(kg)	1.70E-05	5.33E+01	1.07E+03
6	FRP漁船(隻)	0	0	0
7	船舶主機力(MJ)	3.72E-01	1.17E+06	2.33E+07
8	塗装重量(kg)	1.62E-05	5.07E+01	1.01E+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	主機換装(台)	1.60E-08	5.01E-02	1.00E+00
16	漁獲量(kg)	1.00E+00	3.13E+06	6.26E+07

表 -8.25 運航ステージにおける環境的入出力(FRP漁船)

			プロセス単位	年間漁獲量 操業174(日)	ライフサイクル 使用20(年)
		漁獲量(ton)	1E-03	3,132	62,640
環境からの入力(資源)	17	石炭(kg)	-1.34E-04	-4.19E+02	-8.38E+03
	18	原油(kg)	-2.36E-02	-7.39E+04	-1.48E+06
	19	天然ガス(kg)	-1.42E-03	-4.45E+03	-8.90E+04
	20	天然ワックス(kg)	0	0	0
	21	水(kg)	-5.54E-03	-1.74E+04	-3.47E+05
	22	原木(kg)	0	0	0
	23	鉄鉱石(kg)	-3.85E-05	-1.21E+02	-2.41E+03
	24	ガラス原料(kg)	0	0	0
	25	ボーキサイト(kg)	-7.34E-06	-2.30E+01	-4.60E+02
金属スクラップ	26	鉄スクラップ(kg)	-1.22E-05	-3.84E+01	-7.67E+02
環境への排出	27	CO ₂ (kg)	7.73E-02	2.42E+05	4.84E+06
	28	スチレンモノマー(kg)	0	0	0
	29	スラッジ(kg)	3.24E-06	1.01E+01	2.03E+02
	30	固形廃棄物(kg)	3.28E-01	1.03E+06	2.05E+07

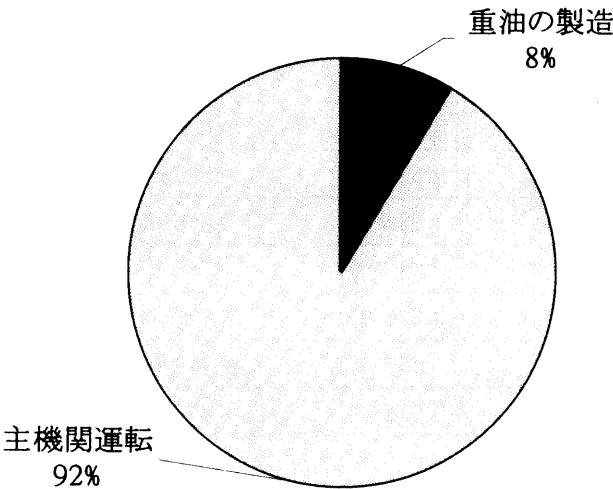


図-8.27 運航プロセス毎のCO₂排出量の内訳 (FRP漁船)

表-8.26 ライフサイクル全体での環境的入出力(FRP漁船)

ステージ	ライフサイクル全体	内訳			
		建造		運航	
環境負荷項目	合計数量(kg)	数量(kg)	割合(%)	数量(kg)	割合(%)
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	-7.64E+02	11.8
CO ₂	4.90E+06	5.73E+04	1.2	4.84E+06	98.8
スチレンモノマー	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

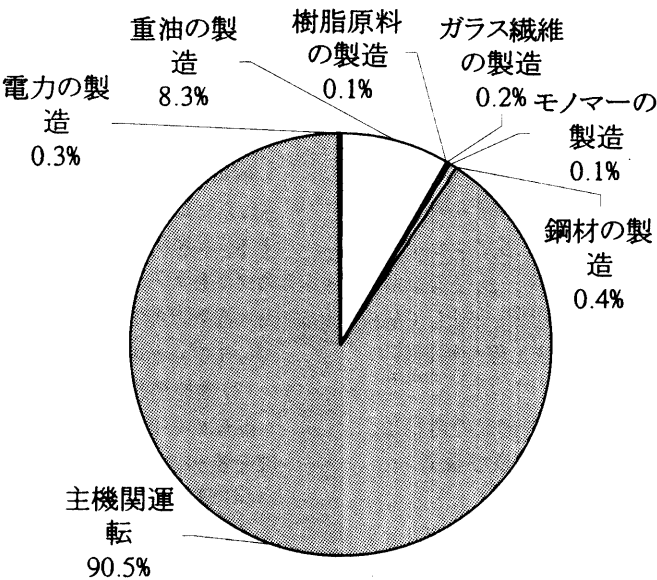


図-8.28 ライフサイクルでのCO₂排出量(FRP漁船)

9. 船舶用LCA解析ソフト

9.1 背景

船舶のLCA解析では船舶のライフサイクルとして建造、運航、解体及びリサイクルを対象範囲とする必要がある。しかし、ライフサイクルの各段階での多岐にわたる作業の実施に加え、使用する数万の素材や部品の製造及び多様な船舶の仕様や運航方法等を含めると、船舶のライフサイクルは複雑かつ多種多様である。

また、LCA解析の実施には、LCA解析の専門的知識に加え、解析対象の製品やサービスとは直接関係しない各種の素材やエネルギーの製造工程等も把握することが必要となる。そのため、船舶関係者が船舶のLCA解析を的確に実施するためには、LCA解析手法や関連データの整備を支援する解析ソフトが必要と考えられる。本研究で試作した船舶用のLCA解析ソフトを以下にまとめる。

9.2 解析ソフトの概要

9.2.1 目的と機能

本解析ソフトは船舶のライフ・サイクル・インベントリ(LCI)分析及びインパクトアセスメント(LCIA)を実施する解析ソフトである。各種船舶の建造、運航、解体及び素材のリサイクルの各段階を対象とし、段階毎又はライフサイクルを通じたインベントリ分析及びインパクト評価を実施し、解析結果を印刷又は登録する機能を持つ。

また、本解析ソフトはLCA解析の実施に必要なデータの入力作業を支援する機能と共に、船舶仕様、各種のプロセスデータ及び製造インベントリデータ等を登録、管理するデータベースの機能を有する。

9.2.2 範囲

LCA解析では資源の採取から製品の最終的な処理までの、言わば製品の「揺りかごから墓場まで」における資源の消費や環境中への排出物による環境影響を解析の対象とする。本解析ソフトで解析対象とするシステム境界を図-9.1に示す。解析はライフサイクルの各段階での最小技術単位(プロセス)に基づいて行われる。なお、各プロセスで消費する経済的入力項目の素材、エネルギー及び部品等の製造に関するデータは、製造インベントリデータとして解析処理されたデータを使用し、個々の製造工程や輸送等の詳細なプロセスは解析の対象としない。

また、船舶の解体により回収される中古部品の再利用、鋼材リサイクルで生産される伸鉄材の使用及び金属スクラップのリサイクルは解析の対象とはしない。

9.3 構造

9.3.1 全体構成

本解析ソフトはLCA解析を実行する解析処理部と解析に使用する各種データを管理するデータベースから構成さ

れる。本解析ソフトの構成を図-9.2に示す。解析処理部では船舶毎に建造、運航、解体及び鋼材のリサイクルの各段階並びにライフサイクル全体の解析を各々実施する。また、データベースでは船舶仕様、プロセスデータ及び解析条件等のデータセットの登録、修正及び削除等を行う。

9.3.2 解析処理部

解析処理部では、各段階での作業計画や解析対象の環境影響を指定する環境インジケータの入力、解析の実施、解析結果の印刷及びデータベースへの登録等を行う。また、船舶のライフサイクル全体の解析は各段階の解析結果に基づいて実施される。

9.3.3 データベース

データベースに含まれる解析対象の船舶の仕様、プロセスデータ及び解析条件等のデータセットの項目を表-9.1に示す。

9.4 解析方法

9.4.1 解析の種類

本解析ソフトで実施する解析の種類は、インベントリ分析、インパクト分析及びコスト解析である。解析ソフトで用いた解析手法を以下に示す。

9.4.2 インベントリ分析

(1) 解析手法

インベントリ分析では製品のライフサイクルにおいて全ての消費資源や排出物を定量的に把握する。本解析ソフトではプロセスデータの積み上げによりインベントリ分析を行う。また、船舶のライフサイクルの各段階のプロセスフロー等に基づいて作成されたプロセス行列を用いてインベントリ分析を実行する。各段階のプロセス行列を構成する標準的なプロセスの種類とプロセス量はプロセスフローとしてテンプレート化され、データベースに登録されている。また、廃棄物処理は排出物の種類に応じて各段階で設定した廃棄シナリオに基づいて解析される。

(2) プロセス行列の作成

解析で使用するプロセスデータはプロセスフローで指定されたプロセスの種類に基づいてデータベース中から選定する。本解析ソフトでは1つのプロセスの種類に対して複数のプロセスデータを割り付けて指定することができる。プロセス行列は指定されたテンプレートとプロセスの種類に基づいてプロセスデータの積み上げをくり返して作成される。

(3) 機能単位

船舶の各段階でのインベントリ分析の目的とした機能単位を表-9.2に示す。

(4) 環境負荷項目

インベントリ分析の対象となる環境中への排出物や天然資源の消費量等の環境負荷項目は、環境インジケータを選択することで指定される。

(5) コスト解析

船舶の各段階におけるコストは解析結果から得られるブ

ロセス量に基づいて算出される。

9.4.3 インパクト評価

有害化学物質等の環境中における拡散、吸収・蓄積による被害等に基づいて人体・生態系への影響をリスク等の定量的な指標により評価を行う。本解析ソフトでは、ISOに準拠し、以下の手順で実施する。¹⁾

- ①分類化(Classification)
- ②特性化(Characterization)
- ③正規化(Normalization)
- ④重み付け(Weighting)

(1) 分類化

インベントリ分析により算出した環境負荷項目(インベントリデータ)を環境影響項目に割り当てる。本データベースに登録した環境影響項目を表-9.3に示す。²⁾

(2) 特性化

各環境負荷項目のインベントリ分析の結果を設定された特性係数と掛け合わせて合計し、環境影響項目スコアを算出する。本解析ソフトの環境影響項目の特性化係数を表-9.4に示す。³⁾ただし、第1種指定化学物質と第2種指定化学物質に指定された物質は各々354種類と81種類と多いため、表-9.4には含めなかった。また、環境庁の指定する第1種指定化学物質等は全ての物質の特性化係数を1kgとした。

(3) 正規化

環境負荷項目スコアが、環境影響項目に対して相対的にどの程度関与しているかを求める。本解析ソフトでは正規化のための基準値を輸送量ton-km当たりの排出物等の許容量(ton-substance/ton-km)とした。

(4) 重み付け

各環境影響項目に相対的な重み付け係数を設定し、各環境影響項目の正規化の結果にその重み付け係数を掛け合わせ、統合化指標(環境インジケータ)を算出する。本解析システムでは、各環境影響項目の重み付けを任意に割り付けた環境インジケータを登録し、評価を行う。

9.5 データベースの詳細

9.5.1 船舶仕様データ

船舶仕様に関するデータとしてデータベースに収集する項目を以下に示す。

(1) 船舶主要目

船舶の寸法及び主な搭載機関の種類等を船舶主要目の対象とした。船舶主要目のデータ項目を表-9.5に示す。

(2) 重量構成表

解析に使用する船舶重量は船舶の軽荷重量(Light weight:LW)を基準とした。軽荷重量を構成する部品や装置をその機能に応じて船殻、船体艤装、機関部及び電気部に区分した。各重量区分に含まれる部品の分類の概要を表-9.6に示す。また、各重量分類に含まれる詳細な部品の種類を重量区分毎に表9.7-9.10に示す。

9.5.2 プロセスデータ

プロセスデータとしてデータベースに収集するデータ項目を以下に示す。

(1) 種類

プロセスデータのうち、素材・燃料、エネルギー及び部品・装置は資源の採掘から製品の製造工程までを対象とした製造インベントリデータである。素材加工、機器/設備の使用及び輸送は最小技術単位のプロセスデータである。排出物処理は排出物の種類に応じて処理のシナリオを定めたシステムデータである。

(2) データフォーマット

プロセスデータのデータフォーマットを表-9.11に示す。船舶のLCA解析用フォーマットはSPOLDフォーマット³⁾を基準に、市販されているLCA解析ソフト⁴⁾に基づいて簡略化し、新たに労力とコストの項目を加えて作成した。

9.5.3 他のデータセット

解析条件に関するデータセットとしてデータベースに収集するデータ項目を以下に示す。

(1) 環境影響

環境影響項目と環境インジケータを対象とする。環境影響項目のデータセットは環境負荷項目となる排出物等とその特性化係数から成る。また、環境インジケータのデータセットは重み付けされた複数の環境負荷項目である。

(2) テンプレート

ライフサイクルの各段階の解析で使用する作業量等の計画データをテンプレートとしてデータベースに登録し、解析時のデータ入力作業を簡易化する。テンプレートの種類と対象データを表-9.12に示す。データベースに登録する各種のテンプレートの内容を以下に示す。

(a) タイプシップ

対象船舶の重量構成データの入力を簡易化するため、タイプシップをテンプレートとして登録する。解析の対象船舶の重量構成は選定されたタイプシップの軽荷重量に比例した重量構成となる。

(b) システムモデル

建造、運航、解体、鋼材リサイクルの各段階での作業計画として、プロセスの種類とそのプロセス量をモデル化したデータセットを登録する。システムモデルを使用することで、対象船舶のプロセスの種類とプロセス量は、選定されたシステムモデルに準拠したデータセットを作成する。

(c) 資材調達

運航を除く建造、解体及び鋼材リサイクルでの資材調達を対象とし、代表的な資材の調達先からの輸送距離と輸送方法をデータセットとして登録する。

(3) 自然からの入力

プロセスデータの環境中からの入力項目に入力可能な天然資源とスクラップの種類を登録する。本データセットによりインベントリ分析で使うことができる天然資源とスクラップの種類を定める。

(4) その他

単位換算は2つの単位の間係を記述するデータセットである。

9.6 解析ソフトの使用と入力データ

本解析ソフトの使用法の概略と解析時の入力作業を以下に示す。

9.6.1 デモンストレーション機能

船舶のLCA解析を本解析ソフトで実施する場合の具体的な実施手順は本解析ソフトにあるデモンストレーション機能を利用して理解することができる。

9.6.2 データ入力

船舶のライフサイクルの各段階での解析作業では、素材加工等の主たる作業に加え、資材調達、一般管理及び廃棄物処理シナリオに関する計画データの入力作業を行う。なお、これらの入力作業はテンプレートの使用により作業を軽減することができる。

建造及び運航におけるデータの入力画面の一例を図-9.3-9.5に示す。入力作業では、テンプレートで指定されたプロセスの種類毎に総プロセス量及びその内訳としてプロセスの詳細な種類と作業量の割り付けを行う。解体及び鋼材のリサイクルの作業工程の入力データの形式は建造と同じである。また、船舶のライフサイクル全体の解析は、各段階の解析結果を指定し、解析を実施する。

9.7 解析ソフトの使用環境

本解析ソフトを使用する場合の使用環境を以下にまとめる。

9.7.1 作動環境

本解析ソフトはスタンドアロンでのパソコンの使用を前提として作成した。ネットワーク等を利用したソフトの共同利用は考慮されていない。

9.7.2 解析限界

解析が可能な総プロセス数は部品データを含め、約10,000プロセス(メモリ2GB相当)とした。パソコンの搭載しているメモリが少ない場合は、解析時間を著しく必要とする

場合がある。

9.7.3 インストールソフト

本解析ソフトを利用するためには、使用するパソコンのオペレーティングシステム(OS)としてWindowsNT4.0を使用し、Microsoft Access98及びMicrosoft Excel98がインストールされていることが必要である。

9.7.4 データベース

船舶の本格的なLCA解析を実施するためには、解析目標に応じた的確な各種のプロセスデータを収集し、データベースに登録する等の作業を必要とする。

9.8 まとめ

船舶用のLCA解析を実施する解析ソフトを試作した。多くの部品の入力方法や排出物の処理等の課題もあるが、本格的な船舶用の解析ソフトの構築に発展させるための基本的な機能を備えることができたと考えられる。船舶のLCA解析を的確に実施できる本格的な解析ソフトへの発展には、感度解析や不確実性解析等の解析手法の高度化、多量の入力データの効率的かつ的確な入力方法の確立、素材や部品等の製造インベントリデータ及び素材加工や機関の運転等のプロセスデータの整備等を行うことが重要である。

参考文献

- 1) LCA実務入門、LCA実務入門編集委員会、1998年8月17日初版、発行 (社)産業環境管理協会、ISBN:4-914953-47-1/LCA
- 2) 製品の環境ライフサイクルアセスメント
- 3) Mark Goedkoop of Pre Consultants, The Eco-indicator95, Final Report
- 4) 環境庁 HP <http://www.eic.or.jp/eanet/> 2000.11.29 現在
- 5) SPOLD(Society for the Promotion of LCA Development) file format for LCI data exchange(1997.10.08)

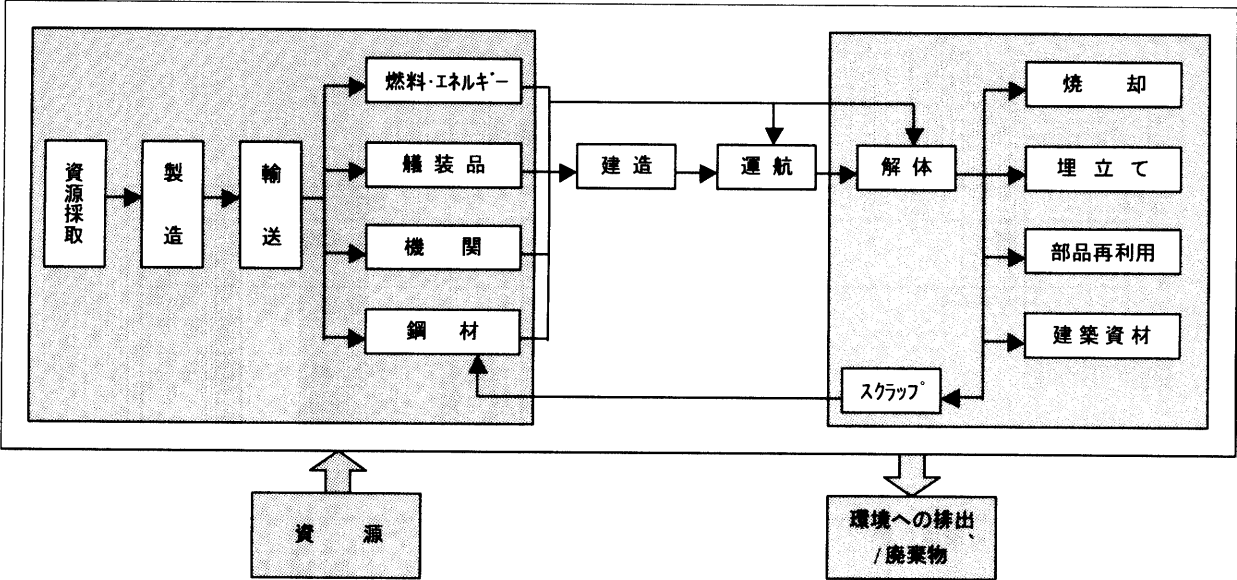


図-9.1 船舶のライフサイクルとシステム境界

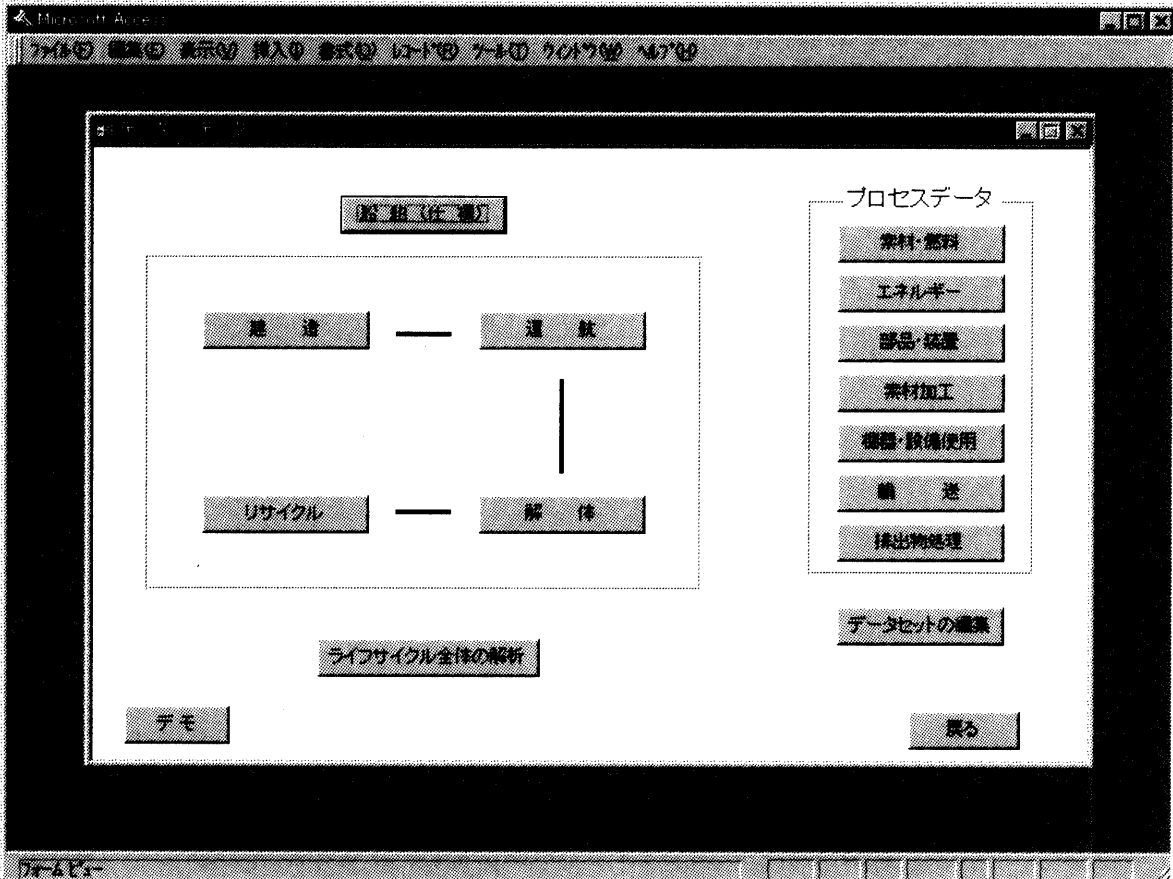


表-9.1 データベース項目

		区分	項目
1	船舶仕様	船舶主要目	船名、トン数、速力、寸法、機関出力
		船舶重量構成	船殻、鋼材、機関重量
2	プロセスデータ	素材/燃料	鋼材、鑄造品、鍛造品、重油、軽油
		エネルギー	電力、蒸気・熱、機械力
		部品/装置	ディーゼル機関、プロペラ、軸、各種艀装品
		素材加工	切断、溶接、塗装、曲げ、研摩、加熱
		機器/設備使用	照明、空調機
		輸送	トラック、クレーン、船舶、鉄道、航空機
		排出物処理	焼却、埋め立て、
3	(1)解析する環境影響	環境インジケータ	作成したインジケータ
		環境影響項目	地球温暖化、酸性雨、オゾン層破壊
	(2)使用するテンプレート	タイプシップ	タンカー、撤積貨物船、コンテナ船
		システムモデル	建造、運航、解体、鋼材リサイクル
		資材調達モデル	造船所
	(3)自然からの入力項目	天然資源	原油、鉄鉱石、石炭、天然ガス
		スクラップ	鉄、銅、アルミニウム
	(4)その他	単位換算	μ g、mg、g、kg、ton、J、MJ、

表-9.2 船舶の各段階における機能単位

段階名	機能単位
建造	隻
運航	ton-km
解体	隻
鋼材リサイクル	ton
ライフサイクル	ton

表-9.3 環境影響項目

	Class 環境影響項目	Unit 単位	出典
1	Greenhouse effect 地球温暖化	GWP	1
2	Ozone depletion オゾン層破壊	ODP	1
3	Acidification 酸性雨	AP	1
4	Eutrophication 湖沼等の富栄養化	NP	1
5	Heavy metals 重金属の排出	Pb equivalent	1
6	Winter smog ウィンタースモッグ	SO2 equivalent	1
7	Summer smog サマースモッグ	PCOP	1
8	Carcinogenesis 発がん性物質の排出	PAH equivalent	1
9	Pesticides 農薬汚染	Active substance	1
10	MOE First class chemical substances 環境庁 第1種指定化学物質	kg	2
11	MOE 2nd[class chemical substances 環境庁 第2種指定化学物質	kg	2

出典

- 1)LCA 製品の環境ライフサイクルアセスメント
- 2)環境庁 HP <http://www.eic.or.jp/eanet/> 2000.11.29現在

表-9.4 特性化係数

1.地球温暖化(greenhouse effect) Unit: GWP(100)

1	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	1,1,1-trichloroethane	100	kg
	Air	CFC (hard)	7,100	kg
	Air	CFC (soft)	1,600	kg
	Air	CFC-11	3,400	kg
	Air	CFC-113	4,500	kg
	Air	CFC-114	7,000	kg
	Air	CFC-115	7,000	kg
	Air	CFC-12	7,100	kg
	Air	CFC-13	13,000	kg
	Air	CO2	1	kg
	Air	dichloromethane	15	kg
	Air	HALON-1211	4,900	kg
	Air	HALON-1301	4,900	kg
	Air	HCFC-123	90	kg
	Air	HCFC-124	440	kg
	Air	HCFC-141b	580	kg
	Air	HCFC-142b	1,800	kg
	Air	HCFC-22	1,600	kg
	Air	HFC-125	3,400	kg
	Air	HFC-134a	1,200	kg
	Air	HFC-143a	3,800	kg
	Air	HFC-152a	150	kg
	Air	methane	11	kg
	Air	N2O	270	kg
	Air	tetrachloromethane	1,300	kg
	Air	trichloromethane	25	kg

備考

GWP: 地球温暖化ポテンシャル、 下線が基準とした物質

出典: Mark Goedkoop of Pre` Consultants, The Eco-indicator95, Final Report

2.オゾン層破壊(ozone depletion) Unit::ODP

2	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	1,1,1-trichloroethane	0.12	kg
	Air	CFC (hard)	1	kg
	Air	CFC (soft)	0.055	kg
	Air	CFC-11	1	kg
	Air	CFC-113	1.07	kg
	Air	CFC-114	0.8	kg
	Air	CFC-115	0.5	kg
	Air	CFC-12	1	kg
	Air	CFC-13	1	kg
	Air	HALON-1201	1.4	kg
	Air	HALON-1202	1.25	kg
	Air	HALON-1211	4	kg
	Air	HALON-1301	16	kg
	Air	HALON-2311	0.14	kg
	Air	HALON-2401	0.25	kg
	Air	HALON-2402	7	kg
	Air	HCFC-123	0.02	kg
	Air	HCFC-124	0.022	kg
	Air	HCFC-141b	0.11	kg
	Air	HCFC-142b	0.065	kg
	Air	HCFC-22	0.055	kg
	Air	HCFC-225ca	0.025	kg
	Air	HCFC-225cb	0.033	kg
	Air	methyl bromide	0.6	kg
	Air	tetrachloromethane	1.08	kg

備考

ODP:オゾン層破壊ポテンシャル、下線が基準とした物質

出典: Mark Goedkoop of Pre` Consultants, The Eco-indicator95, Final Report

3.酸性雨(Acidification) Unit: AP

3	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	ammonia	1.88	kg
	Air	HCl	0.88	kg
	Air	HF	1.6	kg
	Air	NO	1.07	kg
	Air	NO2	0.7	kg
	Air	NOx	0.7	kg
	Air	SO2	1	kg
	Air	SOx	1	kg

備考

AP:酸性化ポテンシャル、下線が基準とした物質

出典: Mark Goedkoop of Pre` Consultants, The Eco-indicator95, Final Report

4.富栄養化(Eutrification Unit:NP)

4	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	ammonia	0.33	kg
	Air	nitrates	0.42	kg
	Air	NO	0.2	kg
	Air	NO2	0.13	kg
	Air	NOx	0.13	kg
	Air	phosphate	1	kg
	Water	COD	0.022	kg
	Water	NH3	0.33	kg
	Water	NH4+	0.33	kg
	Water	Ntot	0.42	kg
	Water	phosphate	1	kg
	Water	Ptot	3.06	kg

備考

NP: 富栄養化ポテンシャル、 下線が基準とした物質

出典: Mark Goedkoop of Pre` Consaltants, The Eco-indicator95, Final Report

5.重金属の排出(heavy metals,)Unit: Pb equivalent

5	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	cadmium oxyde	50	kg
	Air	Cd	50	kg
	Air	heavy metals	1	kg
	Air	Hg	1	kg
	Air	Mn	1	kg
	Air	Pb	1	kg
	Water	As	1	kg
	Water	B	0.03	kg
	Water	Ba	0.14	kg
	Water	Cd	3	kg
	Water	Cr	0.2	kg
	Water	Cu	0.005	kg
	Water	Hg	10	kg
	Water	Mn	0.02	kg
	Water	Mo	0.14	kg
	Water	Ni	0.5	kg
	Water	Pb	1	kg
	Water	Sb	2	kg

備考

Pb equivalent : 鉛等価、 下線が基準とした物質

出典: Mark Goedkoop of Pre` Consaltants, The Eco-indicator95, Final Report

6.ウィンタースモッグ(winter smog) Unit: SO2 equivalent

6	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	dust (SPM)	1	kg
	Air	SO2	1	kg
	Air	Soot	1	kg

備考

SO2 equivalent : 二酸化硫黄等価、 下線が基準とした物質

出典: Mark Goedkoop of Pre` Consaltants, The Eco-indicator95, Final Report

7.サマースモッグ(summer smog)Unit: PCOP

7	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	1,1,1-trichloroethane	0.021	kg
	Air	1,2-dichloroethane	0.021	kg
	Air	acetone	0.178	kg
	Air	acetylene	0.168	kg
	Air	alcohols	0.196	kg
	Air	aldehydes	0.443	kg
	Air	benzene	0.189	kg
	Air	caprolactam	0.761	kg
	Air	chlorophenols	0.761	kg
	Air	crude oil	0.398	kg
	Air	CxHy	0.398	kg
	Air	CxHy aliphatic	0.398	kg
	Air	CxHy aromatic	0.761	kg
	Air	CxHy chloro	0.021	kg
	Air	dichloromethane	0.021	kg
	Air	diethyl ether	0.398	kg
	Air	diphenyl	0.761	kg
	Air	ethanol	0.268	kg
	Air	ethene	1	kg
	Air	ethylene glycol	0.196	kg
	Air	ethylene oxide	0.377	kg
	Air	formaldehyde	0.421	kg
	Air	hexachlorobiphenyl	0.761	kg
	Air	hydroxy compounds	0.377	kg
	Air	isopropanol	0.196	kg
	Air	ketones	0.326	kg
	Air	methane	0.007	kg
	Air	methyl ethyl ketone	0.473	kg
	Air	methyl mercaptane	0.377	kg
	Air	naphthalene	0.761	kg
	Air	non methane VOC	0.416	kg
	Air	PAH	0.761	kg
	Air	pentane	0.408	kg
	Air	petrol	0.398	kg
	Air	phenol	0.761	kg
	Air	phthalic acid anhydride	0.761	kg
	Air	propane	0.42	kg
	Air	propene	1.03	kg
	Air	propionaldehyde (propanal)	0.603	kg
	Air	styrene	0.761	kg
	Air	terpentine	0.377	kg
	Air	tetrachloromethane	0.021	kg
	Air	toluene	0.563	kg
	Air	trichloroethene	0.066	kg
	Air	vinylacetate	0.223	kg
	Air	vinylchloride	0.021	kg
	Air	VOC	0.398	kg
	Air	xylene	0.85	kg

備考

PCOP :光化学的オゾン発生ポテンシャル、下線が基準とした物質
出典:Mark Goedkoop of Pre` Consultants, The Eco-indicator95, Final Report

8.発ガン性物質(carcinogenesis,)Unit: PAH equivalent

8	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Air	As	0.044	kg
	Air	benzene	0.000011	kg
	Air	benzo[a]pyrene	1	kg
	Air	Cr (6+)	0.44	kg
	Air	CxHy aromatic	0.000011	kg
	Air	ethylbenzene	0.000011	kg
	Air	fluoranthene	1	kg
	Air	Ni	0.44	kg
	Air	PAH	1	kg
	Air	tar	0.000011	kg

備考

PAH equivalent: 多環式芳香族炭化水素等価、下線が基準とした物質
出典: Mark Goedkoop of Pre` Consaltants, The Eco-indicator95, Final Report

9.農薬汚染(pesticides) Unit: Active substance

9	Category	Substance	Weight factor	Unit
	Water	desinfectants	1	kg
	Water	fungicides	1	kg
	Water	herbicides	1	kg
	Water	insecticides	1	kg

備考

Active substance : 等価物質は不明
出典: Mark Goedkoop of Pre` Consaltants, The Eco-indicator95, Final Report

表-9.5 船舶の主要目表のデータフォーマット

区分	項目	入力データ	単位
1 船名	船名		
	船舶番号		
	船種		
	船主名		
2 航行区域	航行区域		
3 建造	建造工場		
	起工日	Year/Manth/Day	
	進水日	Year/Manth/Day	
	竣工日	Year/Manth/Day	
	船級		
4 トン数	総トン数		T
	満載排水量(Δ)		ton
	軽荷重量		ton
	国際純トン数(NT)		NT
5 載貨重量／容積	載貨重量(MT)		t
	載貨容積(VB/VG)		?
	コンテナ搭載数(TEU)		TEU
	自動車搭載数		台
	旅客		人
7 速力	満載航海(VS)		kt
	試運転最大速力(Vt)		kt
	航続距離		海里
8 寸法	全長(LOA)		m
	登録長(LR)		m
	垂線間長(Lpp)		m
	型幅(Bm)		m
	型深(Dm)		m
	満載吃水(d)		m
	軽荷(バラスト)吃水(dL)		m
9 船質	船質		
10 乗組員	乗員		人
11 主機	主機関種類		
	主機関型式×台数		
	連続最大出力		kW
	連続最大出力 回転数		rpm
	常用出力		kW
	常用出力 回転数		rpm
12 プロペラ	種類		個
13 ボイラー	蒸気量×圧力×台数	(t/h)× (Mpa)× (台)	
14 発電機	ディーゼル発電機 出力×台数	(kW)× (台)	kW
	軸発電機 出力×台数	(kW)× (台)	kW
	ターボ発電機 出力×台数	(kW)× (台)	kW
	非常用ディーゼル発電機	(kW)× (台)	kW
15 排ガス エコマイザー	高圧部 蒸気量×圧力×台数	(t/h)× (Mpa)× (台)	t/h
	低圧部 蒸気量×圧力×台数	(t/h)× (Mpa)× (台)	t/h

表-9.6 船体部品の分類

船 殻	船体縦装	機関部	電気部
1.船体構造	1.操舵設備	1.主機・付属品	1.電気設備
・船底構造	2.係船設備	2.機関補機	・電線
・船側構造	3.荷役設備	・造水装置	・2次・非常用電源装置
・各甲板	4.貨物倉装置	・油清浄機	・遠隔操作用管／主機リモコン
・船楼構造	5.諸管設備	・空気圧縮機	・制御盤
・甲板室	6.船内環境設備	・熱交換機	・主配電盤・非常用配電盤
・機関室囲壁	7.居住・衛生・脱出設備	・ポンプ・管類	・電気雑機器・電路機具
・隔壁	8.交通・採光設備	・イナートガス発生装置	2.航海設備
・軸路	9.冷凍装置	・排ガスエコノマザー	・通信ケーブル
・深水タンク	10.防食・防汚設備	・煙突・煙路	・航海装置
・ピラー	11.消防設備	・スターター・電動機	・無線・通信設備
・台座	12.防水設備	3.ボイラー	・各種計測装置
・舵	13.救命設備	4.発電機	・通話伝達装置
2.船首材	14.排出物処理設備	5.推進設備	・汽笛
3.船尾材	15.コンテナ	・軸系、逆転減速機	・船灯
4.溶着/接合金属	16.その他の船体縦装品	・プロペラ（FPP）	3.その他の電気部品
5.塗料		・スラスター	
6.その他の船殻部品		・船尾管・シール	
		6.その他の機関部品	

表-9.7 軽荷重量(船殻)の内訳

大分類	中分類	項目	重量(ton)
1.船殻	1.船体構造	船底構造	
		船側構造	
		各甲板	
		船楼構造	
		甲板室	
		機関室囲壁	
		隔壁	
		軸路	
		深水タンク	
		ピラー	
		台座	
	2.船首材	ホースパイプ	
	3.船尾材	スターンフレーム	
		ラダーストック	
	4.溶着/接合金属	溶接ワイヤー	
		リベット	
	5.塗料	防食塗料	
		防汚塗料	
	6.その他の船殻部品	ロープ	
		ピース	
		サービスボルト	
		補助・工事用材料等	

表-9.8 軽荷重量(船体艗装)の内訳(1/2)

大分類	中分類	項目	重量(ton)
2.船体艗装	1.操舵設備	操縦装置	
		かじ取り機	
		舵（特殊舵）	
	2.係船設備	アンカー	
		アンカー鎖	
		ウィンドラス	
		係船ウィンチ	
		係船金物	
		係船索	
		係留浮標	
	3.荷役設備	マスト	
		デリック荷役装置	
		カーゴウィンチ	
		プロビジョンクレーン	
		各種荷役装置	
		荷役制御装置	
		荷役金物	
		一般属具	
	4.貨物倉装置	ハッチカバー	
		セルガイド	
	5.諸管設備	貨物油管／ベント管	
		バラスト管	
		給配水管	
		タンク洗淨管	
		甲板蒸気管／油加熱管	
		消火／甲板洗淨管	
		圧縮空気管	
		動力油圧管	
		CO2管	
		冷凍機器冷媒管	
		他の諸管装置	
	6.船内環境設備	通風装置	
		空気調和装置	
		照明	
		防音装置	
		防熱装置	
	7.居住・衛生・脱出設備	衛生設備	
		居住区艗装(内装材、甲板敷物、階段)	
		調理設備	
		飲料水設備	
		脱出設備	
	8.交通・採光設備	閉鎖装置	
		乗船設備	
		エレベーター	
		窓、天幕	
		手摺、梯子、グレーチング	
		他の外艗装	
	9.冷凍装置	冷凍装置	
		糧食冷蔵装置	

表-9.8 軽荷重量(船体雑装)の内訳(2/2)

大分類	中分類	項目	重量(ton)
2.船体雑装	10.防食・防汚設備	防食亜鉛	
		電気防食装置	
	11.消防設備	防火構造	
		火災探知装置	
		消火装置（泡消火装置）	
		消火器	
	12.防水設備	防水設備	
		排水装置	
	13.救命設備	救命艇	
		救命いかだ	
		救命艇ダビット	
		救命機具	
		信号装置	
	14.排出物処理設備	排ガス処理装置	
		油水分離装置	
		生活排水処理	
		汚水処理装置	
		インシネレータ	
		その他の処理装置	
	15.コンテナ	20フィートコンテナ	
		40フィートコンテナ	
		冷凍コンテナ	
		その他の特殊コンテナ	
	16.その他の船体雑装品	補助・工事用材料等	

表-9.9 軽荷重量(機関部)の内訳

大分類	中分類	項目	重量(ton)
3.機関部	1.主機・付属品	主機関	
		燃料・潤滑油ポンプ	
		ろ過器	
		その他の付属品	
	2.機関補機	造水装置	
		油清浄機	
		空気圧縮機	
		熱交換機	
		ポンプ・管類	
		イナートガス発生装置	
		排ガスエコノマザー	
		煙突・煙路	
		スターター・電動機	
		その他の補機	
	3.ボイラー	ボイラー	
	4.発電機	発電機セット	
		発電機	
		発電原動機	
	5.推進設備	軸系、逆転減速機	
		プロペラ（FPP）	
		スラスタ	
		船尾管・シール	
		軸受（中間軸受）	
	6.その他の機関部品	管継（パイプ、弁、フランジ、タンク）	
		計装（温度計、圧力計、計器盤）	
		雑装置等	
		補助・工事用材料等	

表-9.10 軽荷重量(電気部)の内訳

大分類	中分類	項目	重量(ton)
4.電気部	1.電気設備	電線	
		電線管	
		遠隔操作用管／主機リモコン	
		2次・非常用電源装置	
		変圧器、蓄電器、整流器	
		制御盤	
		電灯・照明（船外）	
		電気雑機器及び電路機具	
		主配電盤・非常用配電盤	
	2.航海設備	通信ケーブル	
		レーダー＆衝突予防援助装置	
		ジャイロコンパス	
		無線・通信設備	
		電磁ログ、ドップラーログ	
		音響測深器	
		各種計測装置（GPS、電子海図表示装置）	
		通話伝達装置	
		オートパイロット	
		汽笛	
		船灯	
	3.その他の電気部品	補助・工事用材料等	

表-9.11 プロセスデータ フォーマット

データ番号

プロセスデータ			
A: 一般情報			
分類又は名前		選択枝	データ
1	大分類		
2	中分類		
3	データ番号		
4	データタイプ		
5	データの名前		
6	データベース		
7	対象年月		
8	対象地域		
9	技術水準		
10	データの代表性		
11	データの作成日		
12	レコード(データの所在)		
13	データ作成者		
14	参考文献		
15	データの種類		
16	データ収集方法		
17	データ処理方法		
18	検証		
1	質量バランス		
2	エネルギーバランス		
19	コメント		
20	配分のルール		
21	システムモデル/境界		
1	システム構成		
2	エネルギー		
3	輸送		
4	排出物処理		
B: 入出力データ			
分類又は名前		単位	データ
1	●使用した資源		(Unit) kg
2	●使用した材料/燃料		(Unit) kg、P
3	●電力、熱、輸送		(Unit) MJ、ton-km
4	●労力		(Unit)Man-day、Man-Month
5	●コスト (ただし、労力費、材料費を含まない)		(Unit) ￥ \$ £
6	●大気への排出		(Unit) kg
7	●水への排出		(Unit) kg
8	●土壌への排出		(Unit) kg
9	●固形廃棄物		(Unit) kg
10	●非物質の排出		(Unit) MJ
11	●製品・サービス		(Unit) kg、P、Man-day、ton-km、MJ
12	●対象としない製品等		(Unit) kg、P、MJ

表-9.12 テンプレートの種類と対象データ

テンプレート種類		設定データ項目
タイプシップ		船舶重量構成
システムモデル	建造	建造工程のプロセスの種類とプロセス量
	運航	運航工程のプロセスの種類とプロセス量
	解体	解体工程のプロセスの種類とプロセス量
	伸鉄材製造	鋼材リサイクル工程のプロセスの種類とプロセス量
資材調達モデル	建造	資材の種類と輸送距離、素材歩留り
	解体	資材の種類と輸送距離、船体損耗率、素材の回収率
	伸鉄材製造	資材の種類と輸送距離、スクラップの発生率

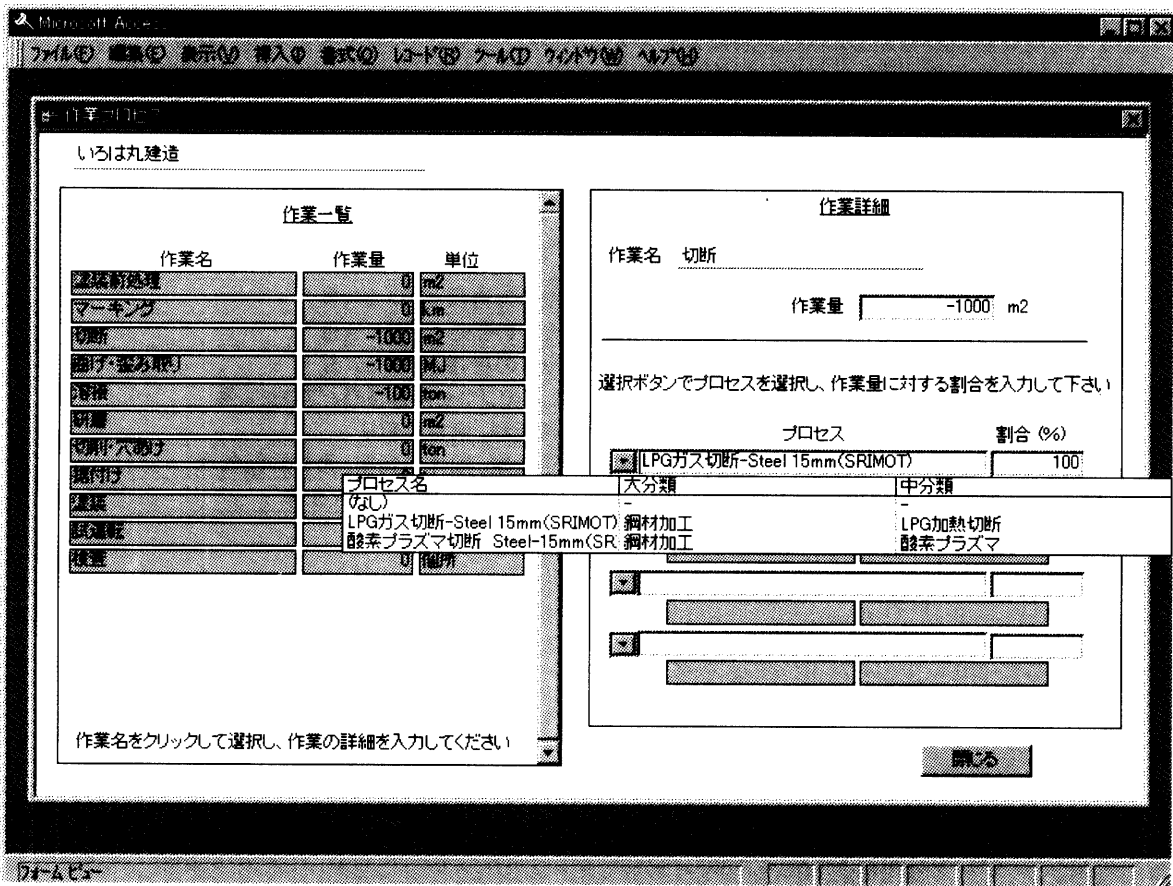
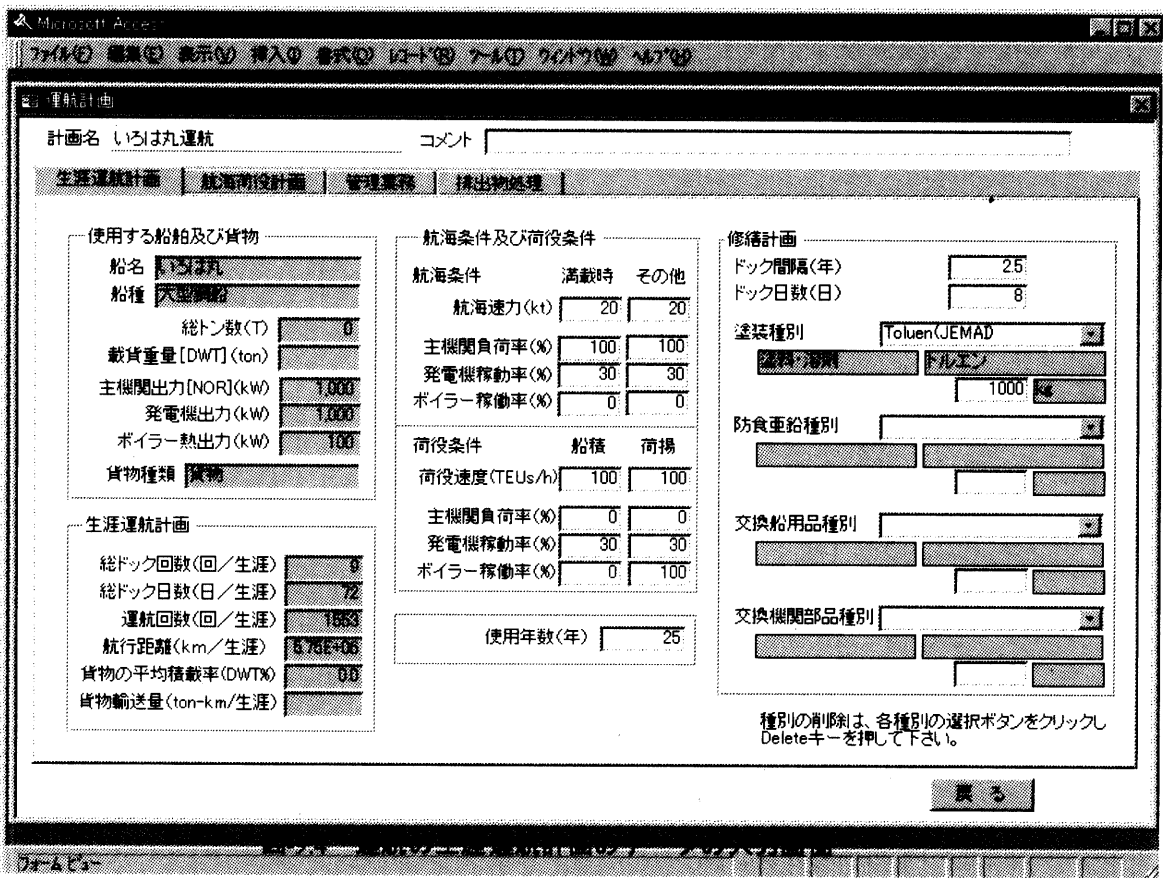


図-9.3 建造（加工作業）のプロセスデータの入力画面



Microsoft Access

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ヘルプ(H) 2-1 2-2 2-3 2-4 2-5 2-6 2-7 2-8

運航計画

計画名 いろは丸運航 コメント

生涯運航計画 航海荷役計画 管理業務 提出物処理

コンテナ総重量(k/TEU)

アウトワード 120

ホームワード 120

運航所要日数(日) 583E+00

航海日数(日) 417E+00

荷役日数(日) 167E+00

航海距離(海里) 200E+03

貨物平均積載率(DWT%) 00

番号	港名	船積量(TEU)	荷揚量(TEU)	荷役日数(日)	航海距離(海里)	航海距離(km)	航海条件
1	b	1000	0	0.4	0	0	-
2	b	0	1000	0.4	1000	1852	満載

削除 港名をクリックして選択してください

番号	港名	船積量(TEU)	荷揚量(TEU)	荷役日数(日)	航海距離(海里)	航海距離(km)	航海条件
1	b	1000	0	0.4	0	0	-
2	a	0	1000	0.4	1000	1852	満載

削除 港名をクリックして選択してください

戻る

図-9.5 運航の航海・荷役計画のデータの入力画面

10. まとめ

船舶の建造、運航、解体及び伸鉄材の生産の各段階でのプロセス調査や運航調査に基づきCO₂排出に関するプロセスフローを作成し、プロセスの積み上げによる船舶のLCI分析の解析手法を作成した。87,000DWTタンカーを対象としたLCI分析を実施し、船舶のライフサイクルでのCO₂排出量をプロセス単位で明らかにした。また、大型タンカー、撤積貨物船及びコンテナ船等各種船舶の単位輸送量当たりの運航時のCO₂排出量を運航実態に基づいた解析を行った。これらの試解析の実施を通じて、船舶へのインベントリ分析の実施方法を作成し、その適用方法を船舶用解析ソフトとして試作した。

船舶へのLCA手法の適用は緒に着いたばかりである。船舶へのLCA解析手法の的確な適用のためには、船舶でのLCAの使い方、収集すべきインベントリデータ項目の設定及び各種のプロセスデータの整備に関する研究等を鋭意に行う必要がある。

謝辞

本研究の実施に際し、「船舶LCA研究委員会」を本研究所に設置した。本委員会委員の方々からは有益な助言を頂いた。ここに、深く感謝致します。また、本調査研究の一部は、(財)日本船舶標準協会に設置された「LCA検討会」における調査として行ったものであり、御協力頂いた委員の方々に感謝します。

現地調査や運航記録の調査においては、石川島播磨重工業(株)、三菱重工業(株)、三井造船(株)、(株)ディーゼルユナイテッド、(株)神戸製鋼所、日本郵船(株)、(株)商船三井、古澤鋼材(株)、常石造船(株)等から現地調査における便宜やデータの提供に御協力を頂きました。関係者の方々に感謝の意を表します。

【付録】 研究発表等

1. 論文

1) 船舶におけるLCA(Life Cycle Assessment)

第71回研究発表会 船舶技術研究所

1998年6月

木原、亀山、福元、千田

2) (社)産業環境管理協会

LCA日本フォーラムニュース 第12号

1998年11月 亀山道弘

3) 船舶の建造工程におけるLCI解析

第7回交通・物流部門大会講演

(社)日本機械学会 論文集

1998年12月

亀山、木原、千田

4) 造船所におけるインベントリ分析 (船舶へのLCAの適用に関する調査研究 第1報)

第73回研究発表会 船舶技術研究所

1999年6月

成瀬、千田、亀山、福元、木原、平岡、城田

5) 船舶用主機の製造工程におけるインベントリ分析 (船舶へのLCAの適用に関する調査研究 第2報)

第73回研究発表会 船舶技術研究所

1999年6月

城田、平岡、亀山、木原、福本、千田、成瀬

6) ライフ・サイクル・アセスメント(LCA) - その概要と船舶への応用 -

日本船舶機関学会誌 第34巻 第9号

1999年9月

千田、亀山、成瀬、木原

7) 船舶主機の製造工程におけるLCIの解析

日本機械学会第8回交通・物流部門大会

1999年12月

城田、平岡、亀山、木原、福元、千田、成瀬

8) アルミ合金漁船の製造・運航時のインベントリ分析

第74回研究発表会 船舶技術研究所

1999年12月

亀山、櫻井、林、千田、木原、久津見、深町、大熊、田子、岡田、本多、蒲谷

9) FRP漁船の製造・運航時のインベントリ分析

第74回研究発表会 船舶技術研究所

1999年12月

櫻井、亀山、林、千田、木原、久津見、深町、大熊、田子、岡田、本多、蒲谷

10) 船舶の運航に関するインベントリ分析

第74回研究発表会 船舶技術研究所

1999年12月

平岡、亀山、城田、木原、千田、福元、久津見

11) 船舶の解体に関するインベントリ分析

第74回研究発表会 船舶技術研究所

1999年12月

福元、木原、亀山、城田、千田、平岡、久津見

12) タンカーのCO₂排出量の推定に関するライフサイクルインベントリ分析

第74回研究発表会 船舶技術研究所

1999年12月

亀山、平岡、林、千田、城田、木原、久津見

13) Application of Life Cycle Inventory Analysis to

Manufacturing Process of Marine Main Engine in Jaapan ISME TOKYO 2000

2000年10月

城田、平岡、亀山、木原

14) Life Cycle Inventory Analysis of Ship for Estimation of

- | | |
|---|--------------------------|
| CO ₂ Emission | 4th エコバランスシンポジウム |
| ISME TOKYO 2000 | 2000年10月 |
| 2000年10月 | 亀山、木原、平岡、浦 |
| 亀山、木原、平岡、城田、千田、林、福元 | 17) FRP漁船の製造時のインベントリ分析 |
| 15) FRP漁船のインベントリ分析について | 複合材料シンポジウム(日本複合材料学会主催) |
| 4th エコバランスシンポジウム | 2000年10月 |
| 2000年10月 | 櫻井、亀山、木原、久津見 |
| 櫻井、亀山、木原、久津見 | 18) FRP漁船の製造時のインベントリ分析 |
| 16) 船舶からの CO ₂ 排出に関するライフ・サイクル・インベ
ントリ分析 | FRP CON-EX(強化プラスチック協会主催) |
| | 2000年10月 |
| | 櫻井、亀山、木原、久津見 |