

船舶へのLCAの適用研究

平岡 克英*、亀山 道弘*、櫻井 昭男*、成瀬 健*、
福元 正明*、田内 宏明*、桐谷 伸夫*、千田 哲也*

Application of Life Cycle Assessment to Shipping

by

Katsuhide HIRAOKA, Michihiro KAMEYAMA, Akio SAKURAI, Ken NARUSE,
Masaaki FUKUMOTO, Hiroaki TAUCHI, Nobuo KIRIYA, and Tetsuya SENDA

Abstract

We developed a piece of LCA software for ships with functions of LCI (Life Cycle Inventory analysis), LCIA (Life Cycle Impact Assessment), and sensitivity analysis, as well as with functions of listing of materials to be recycled and their locations on board and of listing of hazardous chemicals on board.

Shipbuilding processes are investigated in detail and highly reliable data on input and output of each process are provided. According to actual operating data of ships, five kinds of ships (eight ships in total: two oil tankers, two bulk carriers, two container carriers, a pure car carrier and an LNG carrier), inventory data of ship transportation are prepared.

A piece of LCI software using the inter-industry relations table was developed to provide gaseous emissions from 399 sectors of industries. The amount of emissions of the shipbuilding sector is compared with the results by the processes-piling-up method, which are considered to be reasonable.

A concept of "Green Ship" is proposed as an application of Ship LCA: that the ship will hold the "Eco-label Type III" with LCI information, as well as a material list and a harmful substance list on board, for certified disclosure of environmental information to disseminate green acquisition of commodities and to establish environmentally sound and safe dismantling and recycling of ships.

* LCA 研究プロジェクトグループ

原稿受付 平成16年12月13日

審査済 平成17年 4月19日

目 次

1. はじめに.....	24	9.4 データベースの詳細.....	97
2. 船舶の環境情報とその使い方.....	25	9.5 解析ソフトの使用.....	103
2.1 環境マネジメントシステムの整備 ¹⁾ ²⁾	25	9.6 解析ソフトの使用環境.....	103
2.2 グリーン購入.....	25	9.7 まとめ.....	105
2.3 海洋環境保全.....	26	10. 産業連関表による LCI 分析.....	110
2.4 LCA による影響評価.....	26	10.1 産業連関表による LCI 分析の方法.....	110
2.5 グリーンシップ.....	26	10.2 LCI 分析支援ソフトの概要.....	112
3. 船舶からの排出物と環境負荷項目.....	27	10.3 船舶関連部門の LCI 分析.....	112
3.1 船舶からの排出物.....	27	10.4 鋼船建造 1 GT 当たり CO ₂ 排出量.....	126
3.2 規制と対象物質.....	27	10.5 まとめ.....	127
3.3 船舶の環境上の特性と環境負荷項目.....	29	11. まとめ.....	127
4. 積み上げ方式による解析.....	30	謝辞.....	129
4.1 感度の定義.....	30	参考文献.....	129
4.2 定式化.....	31	[付録] 研究発表等.....	130
4.3 試解析.....	32	略語表.....	132
4.4 感度係数行列.....	34		
4.5 解釈.....	35		
4.6 まとめ.....	35		
5. 建造の解析.....	35		
5.1 対象船舶と調査範囲.....	35		
5.2 解析条件.....	36		
5.3 建造データ.....	37		
5.4 インベントリ・プロセスデータ.....	52		
5.5 インベントリ分析.....	54		
5.6 まとめ.....	55		
6. 運行.....	59		
6.1 船舶の運航状況.....	59		
6.2 船舶運航のインベントリ分析.....	71		
7. 解体.....	77		
7.1 調査期間.....	77		
7.2 調査対象解撤ヤード.....	77		
7.3 各ヤードの概要.....	77		
7.4 解体方法について.....	77		
7.5 回収物.....	77		
7.6 有害物の処理.....	79		
7.7 船主との関係.....	79		
7.8 解撤ヤードの経営および中国政府の方針..	79		
7.9 まとめ.....	79		
8. プロセスデータ.....	81		
8.1 素材加工.....	81		
8.2 運航機器.....	86		
9. 船舶用 LCA 解析ソフト.....	88		
9.1 解析ソフトの概要.....	88		
9.2 構造.....	88		
9.3 解析方法.....	89		

1. はじめに

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考えられる。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、一つの環境負荷の低減が別の面での環境負荷を増すこともありうる。例えばある製品の効率向上を行った場合でも、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、ある製品の環境影響は、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) に亘って環境負荷を算出して評価 (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、LCA (ライフサイクルアセスメント) が提唱され、LCA の標準規格が国際規格 ISO14040 シリーズとして整備されつつある。

日本における LCA の適用に関しては、経済産業省・日本フォーラムのもとで日本版 LCA データベースが構築されるとともに、各種素材、家電、鉄鋼及び自動車等の産業界で具体的な製品を対象にして LCA を適用し、環境影響評価の実施が試みられた。この中で、電力や鉄鋼等のエネルギーや素材の製造に必要な多くの資源やエネルギー等の輸入や各種製品の輸出は船舶により行われることから、船舶輸送に関する多様な環境負荷項目をライフサイクルで定量化したデータ、ライフサイクルインベントリデータ (LCI: Life Cycle Inventory) の整備が求められている。

船舶そのものに注目してみると、船舶は数万に及ぶ素材や部品を使用し、多種多様な加工や組立て作業等を経て建造されることやその種類や大きさの違

いによって運航形態が様々で多様なライフサイクルを有することからライフサイクル全般での環境負荷を定量的に評価する本格的な手法は検討されてきていない。また、近年船舶の解体に伴う環境破壊が国際的に問題化し、解体・処理方法の適正化と共に素材や部品のリサイクルの推進等による環境負荷の低減も求められている。

本研究では、船舶輸送の環境影響を解析及び評価するにあたって、上にのべた船舶の環境的な特性を考慮した優先度の高い環境負荷項目に基づいた解析及び評価する手法を構築し、その適用方法を解析ソフトとして整備することを目標とする。

本研究の先行研究においてすでに、船舶の建造、運航、解体および伸鉄リサイクル材生産の各段階のプロセス調査や運航調査を実施し、船舶 LCI 分析の基本的枠組みを構築するとともに解析ソフトを試作した。さらにタンカーを対象とした LCI 分析を実施し、主として CO₂ 排出量をプロセス単位で算出した。

本研究では、CO₂ 以外の環境負荷物質を含めて評価できるようにするためにデータベースの整備および解析ソフトの改良を行うとともに、感度分析など解析機能を追加する。さらに、船舶の LCA 解析の具体的な用途の考察を行う。

船舶の建造に関しては、造船所で容易に実用可能で、精度の高い解析結果が得られるようにするために、建造工程の実態を間接部門・輸送部門も含めてさらに詳細に調査し、物質、エネルギー、作業量等の入出力データベースの整備を行う。また、文献調査により素材加工などのプロセスデータの整備を行う。運航に関しては、船種、サイズの異なる船の運航調査を実施し、運航データベースの充実をはかる。解体に関しては、中国の解撤ヤードの実態調査を行う。以上の研究成果に基づき建造と運航のインベントリ分析を行う。さらに産業連関表分析を行い、積み上げ方式によっている本解析方法の解析結果を評価する。

本報告書は、まず、2、3章で船舶のグリーン化に関連する環境情報と環境負荷項目について紹介する。4から9章では、船舶の建造、運航及び解体に関する実績調査に基づいた積み上げ方式によるインベントリ分析を報告する。また、開発した船舶用の LCA 解析ソフトウェアの紹介を行う。10章では、産業連関表に基づく造船・海運産業に関する分析結果を報告すると共に、作成した産業連関表の解析ソフトについて紹介する。

2. 船舶の環境情報とその使い方

船舶の環境負荷項目の設定や解析ソフトの開発に

は、船舶における LCA の具体的な使用方法の設定が重要である。現時点では船舶のグリーン化など地球環境保全のための具体的な対策への利用がゴールとして考えられる。ここでは昨今の環境マネジメントシステム進展の状況と海洋関連の環境問題の動向をレビューし、船舶の LCA の用途としてグリーンシップの考え方を提案する。

2.1 環境マネジメントシステムの整備^{1) 2)}

国連は1992年リオデジャネイロで開催された地球サミットで、「持続可能な発展」の概念を取り入れたリオ宣言を採択するとともにアジェンダ21「持続可能な開発のための人類の行動計画」を採択した。リオ宣言以降、環境関連法規制の整備や自主的な環境改善活動が促進されている。

日本国内においては、リオ宣言以降、1993年環境基本法制定、1995年包装容器リサイクル法制定、1996年大気汚染防止法改正、1997年廃棄物処理法改正、1998年家電リサイクル法公布、地球温暖化対策推進法制定、1999年PRTR法制定など、法規制による環境管理が促進されている。しかしながら、多くの法規制をもれなくクリアすることは遵守する方も、監視するほうも多く負担を要し、すべて法規制で多様な環境問題に対処することは社会全体から見れば合理的な対応ではない。このような考えに基づき、組織の自主的な改善活動を促すような仕組みとして環境マネジメントの規格群 ISO14000 シリーズが整備されている。

規格では、組織が自主的に設定する環境方針を実現するために、マネジメントシステムの要素として、PDCA サイクル、つまり計画 (Plan)、実施及び運用 (Do)、点検および是正処置 (Check)、経営層による見直し (Act) というサイクルを規定している。環境法規制の遵守、環境汚染の未然防止に加えて、システムの継続的改善が重要な点である。また、利害関係者 (Interested Party) は、組織の環境パフォーマンスに関心を持つか又は影響を受ける個人又は団体と定義されており、行政、地域住民、従業員、投資家、顧客、環境保護団体などと対象範囲が非常に広がっている。そのためコミュニケーションの手順や情報の透明性、信頼性の確保が重要になってくる。

2.2 グリーン購入

2000年にグリーン購入法が制定され、国等公的機関の環境に配慮した製品・役務等の調達推進が図られているが、民間においても様々なグリーン調達や調達基準の作成が行われている。図-2.1は商品のグリーン度を環境保全に対する企業体質と商品自体の環境調和性を定量的に総合評価し、環境負荷の低い業者あるいは商品を優先して調達するための基準の例

である³⁾。評価に際して、商品・素材等の材料構成調査結果であるマテリアルリストや、有害性化学物質（PRTR法対象物質、使用禁止物質、使用量削減物質、排出抑制物質）の有無の調査結果であるサブスタンスリストは、設計、使用、廃棄あるいはリサイクルする際の環境影響情報として重要である。

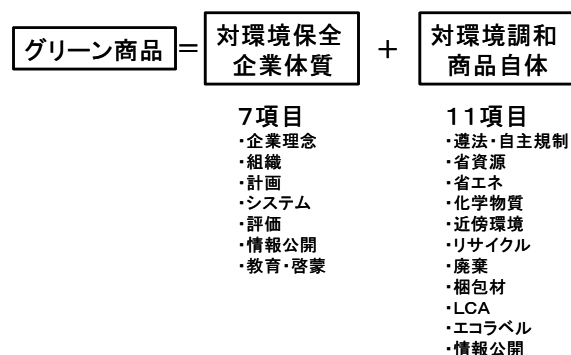


図-2.1 グリーン商品の評価基準の例

2.3 海洋環境保全

海洋汚染物質は、海洋における生物濃縮によって人を含む生態系に大きな影響を及ぼすために看過できないものである。海洋汚染防止のために、陸上発生の産業廃棄物の海洋投棄は1972年採択されたロンドン条約で原則禁止にされ、さらに1978年に改正されて、洋上焼却も禁止されている。しかし、下水汚泥、動植物性残さ、家畜糞尿は認められており、全面禁止というわけではない。

船舶から排出される油あるいは積み荷としての有害物質、廃棄物はMARPOL73/78条約によって規制されている。船外排出が可能なビルジ油分濃度はppmオーダーで規制されており、低濃度ではあるが油分の排出は続いている。なお、污水に関する附属書Ⅳと大気汚染に関する附属書Ⅵについては未だ発効していない。また、船舶の防汚塗料の使用による有害影響に関する国際条約が2001年採択されている。

IMO（国際海事機関）のMEPC（海洋環境保全委員会）で現在検討が進められている主要な課題は⁴⁾、①海洋環境への有害水生生物拡散を防止するためのバラスト水及び沈殿物の排出規制及び管理、②外航船運航に起因する温暖化ガス排出量の把握および削減対策、③船をリサイクルするために有害物質の管理と削減、に関することである。

②に関連する船用バンカー油の消費量は、全世界の消費量は不明であるが、IEAの統計⁵⁾によると、OECDの消費量は1998年に83.1百万トンである。これは全世界の油供給量3,415百万トンの約2%である。COP3（第3回気候変動枠組条約締約国会議）以降、UNFCCC（気

候変動枠組条約）によって、各国のCO₂排出量が毎年推計されているが、外航船からのCO₂排出量は現在のところ国別排出量には算入されていない。

③はUNEP（国連環境計画）において、船舶はバーゼル条約（有害廃棄物の国境を越える移動およびその処分の規制に関する条約）に関連する廃棄物であると考えているのに対して、IMOでは船舶は資源としてリサイクルされるものと考えている。

2.4 LCAによる影響評価

LCAにより環境影響（Environmental Impact）を評価する手順は、①地球温暖化、オゾン層破壊など環境カテゴリ（Impact Category）と称される評価項目を選択し、②インベントリ分析結果の各項目を環境カテゴリに対応づける作業、分類（Classification）をし、③インベントリ分析結果である資源・排出物等の影響度を定量的に表示する作業、特性化（Characterization）を行って、各環境カテゴリの影響度を算出する。環境カテゴリの数は複数存在するので、統合化のための正規化（Normalization）重み付け（Weighting）をして得た単一指標によって影響評価する試みが行われている。しかし、影響度の空間的・時間的差異をどのように評価にいかせるか、被害量算定型評価方法では、統合化する上で算定の途中過程で入る主観的判断を避けることが出来ない等の課題があり、統一的な方法は未確立であり、ISOではオプションな事項とされている。

LCAの実務への適用例としては、ISO14025で規定しているタイプⅢ定量的環境情報ラベル⁶⁾が産業環境管理協会（JEMAI）⁷⁾で試行されており、環境カテゴリ評価まで表示される。

2.5 グリーンシップ

持続可能な開発と環境保全を達成するためには、船舶・海洋分野においても、法規制の遵守に加えて、さらなる自主的な環境負荷低減活動を指向する必要がある。その一環として、グリーン調達、材料・化学物質の環境マネジメント、情報開示を促進する必要性があり、これを指向する船をグリーンシップと呼ぶことにする。著者らの開発する船舶のLCA解析手法は、定量的な環境情報作成のための有効なツールとなることを目指すものであり、グリーンシップへ向けた環境マネジメントの重要な要素である。本研究では、図-2.2に示すように、船舶のグリーンシップ化のため、タイプⅢ環境ラベル、船舶マテリアルリスト（材料構成情報）、サブスタンスリスト（有害化学物質情報）の枠組みを整備する。

マテリアルリストは暫定的に表-2.1に示す67種類の材料を考慮する³⁾。サブスタンスリストについては、ICS（国際海運会議所）が表-2.2に示す船舶搭載危険

材料名リスト⁸⁾を提案しているが、これらを参考に選定する予定である。

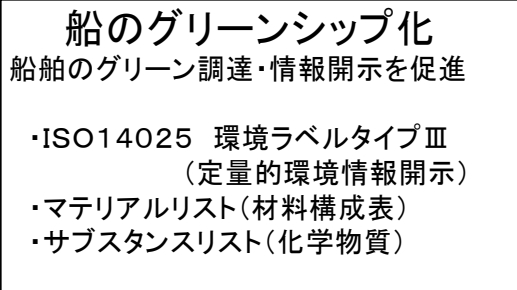


図-2.2 船舶のグリーンシップ化

表-2.1 マテリアルリスト暫定案

項目	種類数	備考
鉄	5	圧延鋼材、鍛鋼、鋳鋼、鋼管
ステンレス	1	
非鉄系金属	19	黄銅、青銅、亜鉛、錫、鉛
熱可塑性プラ	14	
熱硬化性プラ	2	
塗料	11	塩化ゴム系、無機ジシク、防汚塗料等
繊維	9	天然繊維、ロックウール、ガラス繊維等
ゴム	1	
木材	1	
ガラス	1	
セラミック	1	
紙	1	
その他	1	
合計	67	

(電機メーカー35種類+船舶用32種類)

3. 船舶からの排出物と環境負荷項目

船舶のLCA解析の対象とする環境負荷項目は、船舶の環境的な特性を考慮して設定することが求められている。船舶の建造、運航及び解体で生じる排出物のうち、本研究で解析の対象とする環境負荷項目を日本の法律やLCAの研究計画の動向等を考慮して定めた。以下にその詳細を示す。

3.1 船舶からの排出物

船舶のライフサイクルにおける環境中への排出物を文献等⁹⁾に基づいて作成した。建造、運航及び解体で主な排出物とその排出源を表-3.1～3.3に示す。消火設備の使用等、非常時の活動に伴う排出物や環境中に排出される熱や音等のエネルギーは省略した。なお、運航に伴う排出物に関しては、一般的と考えられる処理方法も表中に示した。

3.2 規制と対象物質

地球温暖化対策のための法律、オゾン層保護又は海洋汚染防止のための国際条約及びLCA研究計画で取り組みの対象となっている地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化及び人間毒性等に影響すると考えられている環境中への排出物質等を表-3.4に示す。海洋汚染に関する排出物は、富栄養化を除き排出物質の環境影響への寄与の定量化（特性化）は行われていない。

一方、日本では平成10年度から経済産業省を中心として日本版LCAデータベースの本格的な構築が

表-2.2 船舶搭載危険材料名リスト案

A.	運航にともなう物質、消耗材	A.	運航にともなう物質、消耗材
1	貨物残さ(スロップ含む)	19	ホテルサービス洗剤
2	ドライタンク残さ	20	鉛蓄電池
3	油類(FO, DO, LO, グリース等)	21	蓄電池電解液
4	油圧油	22	PCB / PCT / PBB 濃度 50mg / kg以上
5	廃油(スラッジタンク)	23	水銀
6	不凍液	24	放射性物質、水面表示計
7	ケロシン、白酒精	25	医薬品
8	ボイラ水給水処理剤	26	殺虫剤スプレー
9	ボイラ水給水試験試薬	27	化学物質(アルコール、変性アルコール、エポキシ樹脂など)
10	イオン処理器再生剤	28	プラスチック(MARPOL)
11	蒸発器溶剤、スケール洗い酸	29	汚水、処理済み汚水
12	水処理剤		
13	塗料、錆止め剤		
14	溶媒、薄め液	B.	有毒物質(船の構造材の部分)
15	冷媒(R12 or R22)	1	アスベスト
16	ハロン	2	鉛系塗料(船体構造上)
17	防火用CO2(シリンダ内)	3	錫系船底防汚塗料
18	アセチレン、ブタン、プロパン	4	その他

出典: www.marisec.org/recycling

表 -3.1 建造に伴う排出物

		プロセス/機器	排出物
1 加工・組み立て	1	ショットブラスト	ショット、錆、煤塵、塗膜
	2	プライマー塗装	揮発性有機化合物 (VOC)、 燃焼ガス、 粒子状物質
	3	プラズマ切断	スラグ類 (切断のろ)、 電極
	4	ガス切断	燃焼ガス、ガスのおろ
	5	曲げ	燃焼ガス
	6	溶接	ジニルドガス、ヒューム、スラグ、溶接副材料
	7	みがき	スラグ類 (削り粉)、 ディスク、 ブラシ
	8	塗装	粒子状物質、 揮発性有機溶剤 (VOC)、 マスク、 ブラシ
	9	パイプパージ	窒素ガス
	10	ブラッシング	揮発性有機溶剤、 廃液
	11	試運転	排気ガス
2 設備使用	1	トラック輸送	排気ガス
	2	コンベア輸送	消耗品 (ゴム類)
	3	自家発電設備	排気ガス
	4	污水处理	汚泥、 汚水
	5	焼却炉	焼却灰、 燃焼ガス
	6	ドック	スケール、 ベドロ、 プラストの砂

表 -3.2 運航に伴う排出物

対象物と規則	排出物 (物質名)	プロセス/機器	処理方法(※2)
1 油関係 (MARPOL※1 ANNEX I)	1 油性混合物	油水分離器 & 船尾管シール	海洋排出
	2 タンク洗浄水	貨油タンク洗浄	海洋排出
	3 スラッジ	(1)油タンク (2)油清浄機	陸揚 焼却
2 汚水関係 (MARPOL ANNEX IV)	1 汚水	生活行為	海洋排出
3 廃物関係 (MARPOL ANNEX V)	1 プラスチック	生活行為	陸揚
	2 梱包材	貨物の固縛	陸揚/海洋投入
	3 粉砕固形物	生活行為	海洋投入
	4 非粉砕固形物	生活行為	陸揚
	5 食物くず	生活行為	海洋投入
	6 焼却炉の灰	生活行為	入港時陸揚
4 排気ガス関係 (MARPOL ANNEX VI)	1 燃焼ガス ・ CO ₂ 、NO _x 、SO _x ・ SPM N ₂ O、CO他	(1)主機関 (2)ディーゼル発電機 (3)ボイラー (4)焼却炉	大気排出 大気排出 大気排出 大気排出
5 その他 (運航)	1 有害海洋生物	バラスト水	海洋排出
	2 船底防汚塗料	船体防汚	海洋排出
	3 塩素ガス	生物付着防止装置	海洋排出
	4 亜鉛 (イオン)	防食装置	海洋排出
	5 アルミニウム (イオン)	防食装置	海洋排出
	6 C _x H _y (炭化水素)	給油/油タンク	大気排出
	7 HFCs	(1)冷媒/空調 (2)冷媒/糧食冷蔵冷凍装置	大気排出 大気排出
	6 缶水用薬剤	ボイラー	海洋排出
	7 排気エコーマイザー洗浄水	排気エコー洗浄	海洋排出
	8 硫酸鉄	冷却器	海洋排出
6 その他 (貨物)	1 揮発性有機化合物 (VOC)	油タンク	大気排出
	2 粉塵	搬積貨物	大気排出
	3 CH ₄ (メタン)	化学変化	大気排出
	4 HFCs	漏洩/冷凍コンテナ	大気排出
	5 CH ₃ Br (臭化メチル)	防腐剤	大気排出
7 その他 (陸上施設)	1 塗料 & 砂	船殻錆び落とし	産業廃棄物処理
	2 揮発性有機化合物 (VOC)	塗装	大気排出
	3 廃棄物	(1)交換/機器 & 船用品 (2)作業/器具消耗品 (3)作業/ゴミ他 (4)廃棄油類	産業廃棄物 産業廃棄物 産業廃棄物 産業廃棄物

備考※1：海洋汚染防止条約 (The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)

※2：海洋汚染防止条約で定める特別海域外における廃物の処理方法を対象とした。

表 -3.3 解体・リサイクルに伴う排出物

		プロセス/機器	排出物
1 解体作業	1	燃料 (抜き取り)	揮発性有機化合物 (VOC)、 油
	2	ガス切断	燃焼ガス、ガスのおろ
	3	粉砕	粉じん
	4	部品	産業廃棄物
2 リサイクル	1	鋼材切断	切断屑
	2	鋼材加熱	燃焼ガス、 塗膜スケール
	3	圧延	塗膜スケール
3 設備使用	1	油水分離	油
	2	焼却炉	燃焼ガス、 焼却灰
	3	トラック輸送	排気ガス

行われ、平成16年度からデータベースの本格的な運用が開始されている。本データベースは、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令による地球温暖化に関わるCO₂等の6物質、酸性化に関わるNO_x及びSO_x、人間毒性に関わるPM、富栄養化に関わるN及びP、並びに3つの水中への排出項目を対象としている。

3.3 船舶の環境上の特性と環境負荷項目

表-3.4に示されたLCA解析に關与する環境負荷物質のうち、船舶の建造、運航及び解体・リサイクルに関わる排出物と主な排出源を表-3.5に示す。大型船舶の活動は地球規模であり、その運航時間の70～85%は大洋上の航海が占めている。そのため、船舶を対象としたLCA解析では、地球温暖化、オゾン層破壊及び酸性化等の地球規模の環境影響を対象とする必要がある。

一方、LCA解析で使用するデータは産業の相互関係

に基づいて作成される。船舶においても他の製品等のLCAデータとの整合性の観点から、日本版LCAデータベースの環境負荷項目を対象とすることが望ましい。そのため、本研究で船舶のLCA解析の対象とする環境負荷項目を、日本版LCAデータベースの環境負荷項目に船舶の環境上の特性を考慮して、以下のように設定した。ただし、油性混合物は、特定の船舶と航路において考慮すべき項目とした。

- 大気中への排出（9物質）：
CO₂、NO_x、SO_x、CO、HC、PM、CH₄、NMVOC、N₂O
- 海洋への排出（2物質）：
防汚塗料の溶出（ポリマー）、油性混合物

以下に、船舶の運航に関わる環境上の特性として考慮した事項を示す。

表 -3.4 地球環境保全のための条約、法律又は研究計画とその対象項目

排出圏等	環境影響		負荷物質	規則・計画等※1						備考	
				1	2	3	4	5	6		
大気への排出	地球温暖化	1	CO2	二酸化炭素	1	2	3	4	5	6	
		2	CH4	メタン	1	2		4	5	6	
		3	N2O	二酸化二窒素	1	2		4	5	6	
		4	HFCs	ハイドロフルオロカーボン	1	2		4	5	6	
		5	PFCs	パーフルオロカーボン	1	2		4	5	6	
		6	SF6	六ふっが硫黄	1	2		4	5	6	
		7	NMVOc	非メタン炭化水素	1	2		4	5	6	
		8	CO	二酸化炭素		2			5		
	オゾン層破壊	1	CFCs	クロロフルオカーボン			3		5		※2
		2	HCFCs	ハイドロクロロフルオロカーボン			3		5		※2
		3	Halons	ハロン			3				※2
		4	HBFC	ハイドロブロムフルオロカーボン			3				※2
		5	CCl4	四塩化炭素			3				※2
		6	CH3CCl3	1,1,1-トリクロロエタン			3				※2
		7	CH3Br	臭化メチル			3				※2
		8	CH2BrCl	ブromoクロロメタン			3				※2
	酸性化	1	SO2/SOx	二酸化硫黄/硫酸化合物		2		4	5	6	
		2	NOx	二酸化窒素							
		3	NOx	窒素化合物		2		4		6	
		4	NH3	アンモニア							
	人間毒性	1	PM (10)	ダスト				4	5		
		2	VOCs	揮発性有機化合物					5		
		3	HCs	炭化水素					5		
		4	C6H6	ベンゼン					5		
		5	PAHs	多環式芳香族炭化水素					5		
		6	Heavy Metals	重金属					5		
水中への排出	富栄養化	1	N	窒素				4	5		
		2	P	リン				4	5		
	他の海洋汚染	1	BOD	生物化学的酸素要求量				4			
		2	COD	化学的酸素要求量				4			
		3	げん溺物質					4			
		4	糞尿	糞尿						6	
		5	Oil	油						6	
		6	Paints ポリマー	塗料溶出物						6	
7	化学物質	貨物及びタンク洗浄水						6			
8	有害海洋生物							6			
廃棄物	固形廃棄物	1	固形廃棄物						6		
その他	土地の使用							5			
	水の消費							5			
	森の使用							5			
	漁獲量							5			
	毒物の使用							5			
対象項目数				6	10	8	14	21	12		

備考
※1規則・計画等
1.地球温暖化対策の推進に関する法律施行令(1999.4.1)
2.温室効果ガスの排出、吸収目録（インベントリ）
3.特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律／モントリオール議定書
4.経済産業省 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発
5.オランダ環境省LCAプロジェクト
6.国際海事機関(IMO)、コレスポンデンスグループ案も含む。
※2条約や規制等により削減及び全廃が実施又は予定されている項目

表 -3. 5 船舶に関わる排出物の主な排出源

環境影響	物質	主な使用法又は排出源
地球温暖化	1 CO2	燃焼、ガス切断、CO2溶接
	2 CH4	燃焼、貨物ガス
	3 N2O	燃焼
	4 HFCs	冷凍コンテナ、糧食冷凍冷蔵庫
	7 NMVOC	燃焼、貨物油
	8 CO	燃焼
オゾン層破壊	7 CH3 Br	貨物燻蒸
酸性化	1 SO2/SOx	燃焼
	3 NOx	燃焼
人間毒性	1 PM (10)	燃焼
	2 VOCs	貨物油、燃焼、塗料
	3 HCs	貨物油、燃焼
	4 C6H6	貨物油、燃焼
	5 PAHs	貨物油、燃焼
	6 Heavy Metals	燃焼
他の海洋汚染	4 糞尿	人的活動
	5 Oil	貨物油、ビルジ
	6 Paints ポリマー	塗料
	7 化学物質	ボイラー水、冷却機&排エコ洗浄水
	8 汚染バラスト	海水バラスト水
固形廃棄物	1 固形廃棄物	解体

4. 積み上げ方式による解析

(1)PFCs、SF₆、N、P

PFCs、SF₆、N、Pは、船舶の建造、運航、解体・リサイクルにおける活動では直接、排出しない。

(2) BOD（生物化学的酸素要求量）、COD（化学的酸素要求量）、けん濁物質

航行中の船舶からは防汚塗料や油性混合物が海洋中へ排出される。BOD（生物化学的酸素要求量）及びCOD（化学的酸素要求量）は排水の汚れ具合を示す濃度である。塗料等の溶出物は空間的に広がりのある海洋中に排出されるため、これらの指標では適切に評価することはできない。

(3) HFCs

HFCsは主に冷凍コンテナの冷媒に使用されている。大気中への排出は装置からの漏洩によるものである。しかし、近年、地球温暖化を引き起こさない物質への転換が図られている。

(4) ディーゼル排気ガス

船舶のライフサイクル全体でのLCI分析や感度分析の結果では、CO₂排出量の98%が運航において排出される等、ディーゼル機関等の燃焼機関による影響が大きいことが示されている。^{10) 11)} ディーゼル機関の運転に伴う大気中への排出物はCO₂、NO_x、SO_x、CO、HC、CH₄、NMVOC、N₂Oである。

(5) 油性混合物

油性混合物の排出の有無又はその排出量は航路や処理装置に大きく依存する。そのため、特定の船舶と航路におけるLCA解析において考慮することが必要となる。

LCA解析を行列式を用いた積み上げ法により行なう手法については既に紹介されている。¹⁰⁾ここでは、ISO14043 ライフサイクル解釈で使用される感度分析の手法について紹介する。

インベントリ分析の結果として得られた環境負荷の改善を行うためには、プロセス自体に加え、プロセスに含まれる各項目が環境負荷にどの程度影響しているかを把握することが必要である。プロセスの影響の度合いを図る簡易的な方法としては、インベントリ分析等の解析を実施した後に、着目する項目を数%変化させて再度計算を行うことである。しかし、船舶のライフサイクルのように数万の部品や多種多様なプロセスを伴う場合、プロセスの全ての項目について、このような計算を行うことは多大な手間と時間を要する。そのため、酒井は感度分析に摂動法を適用することで、多数のプロセスからなるシステムの感度分析を行列法により簡潔に実施できることを示した。¹²⁾

本章では、船舶への感度分析の適用手法を紹介すると共に、運航モデルに関する感度分析の実施を通じて、CO₂及びNO_xの排出量を低減する最も効果的なプロセスの項目を明らかにする。

4. 1 感度の定義

プロセスの項目が環境負荷等の応答値へ与える影響の大きさを図る感度として、以下の2つの定義を考慮した。

物理的感度：
$$\frac{\Delta B}{\Delta \alpha}$$
(1)

変動率感度：
$$\frac{\frac{\Delta B}{B}}{\frac{\Delta \alpha}{\alpha}}$$
(2)

ここで、 α ：入力量、 β ：応答量、 Δ ：各量の変動量である。

物理的感度 (physical sensitivity) は項目の変化量が応答値にもたらす影響の量を絶対値で示し、次元を持つ。また、変動率感度 (rate sensitivity) は変動率の比であり、項目の比較を行うことができる無次元量である。なお、(2) 式の変動率感度は、酒井により仮に命名された用語である。

船舶の建造、運航、解体及びリサイクルのライフサイクルに関わるプロセスとその項目数は膨大である。プロセスを改良し、システム全体での環境負荷を効果的に改善するためには、改善すべき優先度の高いプロセスの項目を定量的に見い出すことが重要である。感度として変動率感度を用いることで、項目間での相対的な比較を直接行うことができ、最も影響の大きい項目を客観的に選定することが可能となる。そのため、本研究では感度分析の感度には、変動率感度を用いることとした。

4.2 定式化

変動率感度による感度分析の定式化が酒井により行われた¹²⁾。以下では本研究で用いた変動率感度による感度分析の解析手法をインベントリ分析と併せて紹介する。

4.2.1 システムの行列表現

インベントリ分析における行列法ではプロセスは列ベクトルで表現し、行は製品やサービス又は物質の流れを示す。r 個のプロセスから成るシステムは (3) 式のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1r} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{ir} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mj} & \cdots & a_{mr} \\ b_{11} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1r} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{k1} & \cdots & b_{kj} & \cdots & b_{kr} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nj} & \cdots & b_{nr} \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで、 $A(m, r)$ は経済上の入出力項目数 m、また、 $B(n, r)$ は環境からの入力又は環境への出力に関わる項目数 n の行列である。ただし、入力を (-)、出力を (+) とし、 a_{ij} は j 番目のプロセスの i 番目の経済上の入

出力項目、また、 b_{kj} は k 番目の環境負荷項目の入出力量を示す。

4.2.2 平衡式

複数のプロセスからなるシステム全体は 1 つのプロセス (システム) とみなすことができるので、(4) 式のように 1 つの列ベクトルとして表現する。

$$\begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、 $P(m) = (p_1, \dots, p_m)$ の列ベクトルで、システム全体の経済上の入出力項目を示し、また、 $Q(n) = (q_1, \dots, q_n)$ の列ベクトルで、環境負荷項目を示す。

製品やサービス等を示す各行において、システム全体で物質で平衡式が成り立つと考えられるので、以下の (5) 式が成り立つ。ただし、 $X(m)$ は未知のプロセス量の列ベクトルである。

$$AX = P \quad (5)$$

また、環境負荷項目においても同様に平衡式が成り立つと考えられ、以下の (6) 式が成り立つ。

$$BX = Q \quad (6)$$

インベントリ分析では、(5) 式の連立方程式を逆行列 A^{-1} により、未知のプロセス量行列 X を求める。更に、求めたプロセス量行列 X を用いて (6) 式より環境負荷項目の列ベクトル Q を求める。

4.2.3 変動率感度

変動率感度に着目し、(2) 式で定義された変動率感度を定義すると (7) 式となる。

$$s_{ij} = \frac{\Delta Q_k / Q_k}{\Delta a_{ij} / a_{ij}} \quad (7)$$

ここで、 s_{ij} の値は、 a_{ij} の変動率に対する環境負荷の総量の変動率を示している。また、 Q_k は環境負荷項目に関する列ベクトル Q における k 番目の環境負荷の総量を示す。

酒井は摂動法を適用して変動率感度を誘導し、以下の (8) ～ (11) 式を導いている。

$$s_{ij} = \frac{\Delta Q_k / Q_k}{\Delta a_{ij} / a_{ij}} = - \frac{a_{ij}}{Q_k} BA^{-1} A'_{ij} X^0 \quad (8)$$

ここで、 δ_{ij} は第 ij 要素のみ 1 で他の要素が 0 である行列、 X^0 は (5) 式の連立方程式の解である。また、(8) 式を更に変形し、 s_{ij} を要素とする感度行列 $S(m, r)$ が (9) 式として誘導される。

$$S = E^T X^{0T} \otimes A \quad (9)$$

ここで、 $E = - \frac{I}{QK}BA^{-1}$ (10)

なお、 $\otimes$ は(11)式で定義される行列の演算子であり、 $\mathbf{x}$ 行列及び $\mathbf{y}$ 行列の*ij*要素同士の積を意味する。

$[z_{ij}] = [x_{ij}] \otimes [y_{ij}] \quad z_{ij} = x_{ij} \otimes y_{ij}$ (11)

従って、全要素の環境負荷項目に対する感度が行列演算の結果として求めることができる。

4.3 試解析

船舶の運航を簡略化したモデルを対象に感度分析を行った。以下にその実施方法を示す。

4.3.1 解析モデル

解析対象とした船舶の航行に関するプロセスフローを6つのプロセスに簡略化した。解析モデルとした航海のプロセスフローを図-4.1に示す。

モデル船は主機軸力(S.O)と電力(E)を消費して航行(Ope.)する。主機軸力は主機関(M/E)、また、電力はディーゼル発電機(D/G)と軸発電機(S/G)の運転により得る。なお、ボイラー及び排気エコノマイザーにより発生する蒸気は省略した。

ディーゼル発電機と軸発電機が発電した電力は仮想の電力調整装置(Ele.Mix.)により電力として統合され、航行、補機(Aux.M)及び主機関やディーゼル発電機の機器で消費される。また、船積みした船舶燃料(M.F.O.)は油清浄機等の補機類により処理され、ディーゼル発電機と主機関に供給される。なお、船舶燃料は解析モデルの範囲外から与えられるものとし、製造に伴う環境負荷は省略した。

4.3.2 解析条件

解析の目的は二酸化炭素(CO₂)及び窒素酸化物

(NO_x)の排出量とした。想定したモデル船の船種は散積貨物船(バルカー)とし、その主要目を表-4.1に示す。なお、モデル船は軸発電機を装備していない。実船への適用とモデル解析の理解を深めるために仮に設定した。

表-4.1 モデル船の主要目

船種	バルカー
航海速度(knot)	14.5
最大搭載重量(dwt)	76,000
主機関出力(MCR)(kW)	8,550
ディーゼル発電機(kW)	600×3台
補助ボイラー(t/hr)	1.3

解析モデルに使用したプロセスの種類と設定した条件を表-4.2に、また、各プロセスの機能単位とプロセスデータを表-4.3に示す。主機関及びディーゼル発電機の運転に伴うCO₂排出量は燃料消費量(t)に比例し、NO_x排出量は機関出力(MJ)に比例させた。¹³⁾

航海に必要な主機軸力と電力は実船の設計段階での負荷率に基づいて設定した。各プロセスに含まれる機器の種類はプロセスの機能を考慮して振り分けた。設定した電力消費量の負荷率を表-4.4に示す。また、作成した解析モデルのプロセス行列を表-4.5に示す。

4.3.3 解析結果

インベントリ分析の結果を表-4.6に示す。船舶が1海里(1,852 m)航行するために、船舶燃料(M.F.O.)を99.4kg消費し、CO₂を306kg、また、NO_xを約9kg排出する。各プロセスの作業量を表-4.7に示す。航行距離1海里当たり、機関軸出力(S.O.)1.91GJと電力(E)0.069GJを必要とする。

図-4.1の航行モデルにおいて、総発電量を一定とし、ディーゼル発電機と軸発電機の発電量の比率を各々100%とした場合のNO_xの排出量への

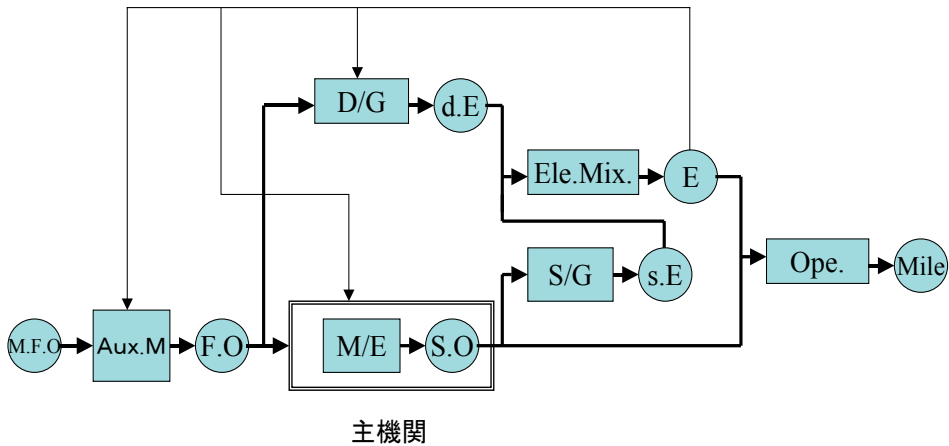


図-4.1 船舶運航のプロセスフロー（モデル船用）

表-4.2 解析条件

プロセス名	解析条件
航行	機関軸出力を主機関の連続最大出力（MCR）の90%とした。
電力調整	発電量の構成をディーゼル発電機95%、軸発電機5%とした。
軸発電機の運転	発電効率は機関軸出力からの入力90%とした。
主機関の運転	機関出力 8,550kW（MCR）、燃費171g/kwhとした。
ディーゼル発電機の運転	原動機出力660kW、燃費194g/kWhとした。
補機の運転	廃油発生量を燃料処理量の1%とした。

表-4.3 プロセスデータ

プロセス名	単位	電力消費量 kW	燃料消費量 g/MJ	CO2排出量 g-CO2/MJ	NOx排出量 g-NOx/MJ
航行	nm	200	0	0	0
電力調整	MJ	0	0	0	0
軸発電機の運転	MJ	0	0	0	0
主機関の運転	MJ	67	49.5	154	4.7
ディーゼル発電機の運転	MJ	7	56.1	175	3.6
補機の運転	t	14	0	0	0

注）燃料消費量はバンカー油(9,800kcal/kg)相当。

表-4.4 機器類の分類と電力負荷率（航行時 76バルカー）

機器の名称	負荷率	備考	機器の名称	負荷率	備考
A 航行 (Ope.)			A 航行 (Ope.)		
1 一般供給用空気圧縮機	85	※	22 操舵機 No.1	25	
2 主冷却清水ポンプ	85		23 居住区 ライト	60	
3 主冷却海水ポンプ	85		24 機械室 ライト	90	
4 清水ポンプ	70	※	25 航海灯	100	
5 飲料水ポンプ	80	※	26 通信装置	70	
6 温水循環ポンプ	80		B 主機関(M/E)		
7 生物付着防止装置	80		1 主潤滑油ポンプ	80	
8 給水ポンプ	70		2 艀シャフト潤滑油加圧ポンプ	60	
9 造水装置エジェクターポンプ	75		C ディーゼル発電機(D/G)		
10 造水機ポンプ	75		1 燃料供給ポンプ	70	
11 エンジン制御室ユニットクーラー	80		2 燃料循環ポンプ	70	
12 機関室ファン(供給) No.1	85		3 No.1 L.O.ライミグポンプ	60	
13 機関室ファン(供給) No.2	85		4 No.2 L.O.ライミグポンプ	60	
14 機関室ファン(排出)	85		D 補機 (Aux.M)		
15 油清浄機 排気ファン	85		1 H.F.O移送ポンプ	70	※
16 エアコン ファン	80		2 ビルジポンプ	60	※
17 居住区 ファン	85		3 燃料清浄機	80	
18 空気調和装置	80		4 潤滑油清浄機 No.1	70	
19 ギャレニ その他	60	※	5 潤滑油清浄機 No.2	70	
20 電子レンジ	80	※	6 清浄機潤滑油供給ポンプ No.1	70	
21 食料冷蔵庫	80	※	7 清浄機潤滑油供給ポンプ No.2	70	

備考※ 断続使用の機器

機器の負荷率は定格値に対する%

表-4.5 プロセス行列

	補機	主機関	軸発電機	ディーゼル発電機	電力調整	航行
処理済み燃料 F.O	t	1	-4.95E-02	0	-5.61E-02	0
機関軸出力 S.O	GJ	0	1	-1.11E+00	0	-1.91E+00
軸発電機電力 s/E	GJ	0	0	1	-5.00E-02	0
ディーゼル発電電力 d/E	GJ	0	0	0	1	-9.50E-01
電力 E	GJ	-1.89E-02	-8.71E-03	0	-1.17E-02	-4.97E-02
航海距離	nm	0	0	0	0	1

注1: nm: nautical mile = 1.852km

注2: 数量の (aE-b) は (a × 10^{-b}) を示す

影響等を表-4.8に示す。ただし、主機関の負荷率は変動させた。発電量の比率を変化させても燃料消費量やCO₂に大きな変化はない。軸発電機のみで発電した場合、主機関出力の負荷が増大し、その影響でNO_xの排出量は若干増加する。また、ディーゼル発電機のみを使用した場合、発電機の負荷率は定格出力の46%の負荷率となった。CO₂及びNO_xの排出量に関して、(9)式より求めた運航モデルの変動率感度の感度係数行列を表-4.9及び表-4.10に示す。

表-4.6 環境負荷量

環境負荷項目	数量	単位
船舶燃料 (M.F.O.)	-9.94E-02	t
CO2	3.06E-01	t
NOx	9.23E-03	t

注：(-)は消費、(+)は排出を示す。

表-4.7 プロセス量

プロセス項目	数量	単位
処理済み燃料 (F.Q)	9.84E-02	t
機関軸出力 (S.O)	1.91E+00	GJ
軸発電機電力 (s/E)	3.45E-03	GJ
ディーゼル発電電力 (d/E)	6.55E-02	GJ
電力 (E)	6.90E-02	GJ
航海距離	1.00E+00	nm

表-4.8 ディーゼル発電機と軸発電機の発電比率の変化による影響

発電量 D/G S/G	0% 100%	95% 5%	100% 0%
燃料消費量(MFO) (kg/nm)	99.3	99.4	99.4
CO2排出量(kg-CO2/nm)	306	306	306
NOx排出量(kg-NOx/nm)	9.34	9.23	9.23
主機関負荷率(%MCR) S/GによるM/Eの負担率 (MCR%)	93.7%	89.9%	89.9%
D/G負荷率(%600kW)	0%	44%	46%

4.4 感度係数行列

解析モデルに関する変動率感度に基づく感度係数行列の特徴を以下にまとめる。

(1) 感度係数

感度係数行列の各項目の絶対値は、環境負荷の最大変化率を表し、絶対値の最大値は1である。表-4.9及び表-4.10では、対角行列の航行の値が「-1」である。このプロセスの効率を改善すれば、CO₂排出量を100%削減できることを意味する。また、機関軸出力の投入量を限りなく「0」に近付ければ、97.1%のCO₂を削減できることを意味している。

(2) 対角行列成分

プロセス行列(表-4.5)の対角行列(i行i列)はプロセスの生産効率を意味する。つまり、プロセスの生産効率が増大すれば、環境負荷は減少する。従って、解析モデルの感度係数行列の対角行列の値は、負の値となる。

表-4.9 感度係数行列 (CO2)

	補機	主機関	軸発電機	ディーゼル発電機	電力調整装置	航行
処理済み燃料 tF.Q	-1.08E-03	1.04E-03	0	4.02E-05	0	0
機関軸出力 S.O	0	-9.73E-01	1.95E-03	0	0	9.71E-01
軸発電機電力 s/E	0	0	-1.95E-03	0	1.95E-03	0
ディーゼル発電電力 d/E	0	0	0	-3.79E-02	3.79E-02	0
電力 E	1.08E-03	9.64E-03	0	4.43E-04	-3.99E-02	2.87E-02
航海距離	0	0	0	0	0	-1.00E+00

表-4.10 感度係数行列 (NOx)

	補機	主機関	軸発電機	ディーゼル発電機	電力調整装置	航行
処理済み燃料 F.Q	-7.51E-04	7.23E-04	0	2.81E-05	0	0
機関軸出力 S.O	0	-9.82E-01	1.96E-03	0	0	9.80E-01
軸発電機電力 s/E	0	0	-1.96E-03	0	1.96E-03	0
ディーゼル発電電力 d/E	0	0	0	-2.59E-02	2.59E-02	0
電力 E	7.51E-04	6.73E-03	0	3.10E-04	-2.79E-02	2.01E-02
航海距離	0	0	0	0	0	-1.00E+00

(3) 非対角行列成分

プロセス行列の対角行列以外の項目（ i 行 j 列、 $i \neq j$ ）のうち、製品やサービスが投入されたプロセスの感度係数行列の項目は正の値となる。つまり、消費量が增大すれば、環境負荷は増大する。また、製品等の投入がない項目の感度係数は「0」となる。

(4) プロセス（列成分）

感度分析の対象となる環境負荷項目を排出しないプロセスでは、その感度係数の列成分の総和は「0」となる。また、主機関やディーゼル発電機のように感度分析の対象となる環境負荷項目がある場合では、その総和は「0」とはならない。

(5) 製品・サービス（行成分）

機関軸出力や電力等、対象となるプロセスの製品やサービスの感度係数の総和は「0」となる。ただし、本解析の航行距離のように対象となるシステム全体の機能の項目については、「0」とはならない。

4.5 解釈

モデル船の航行に関する感度分析の結果、表-4.9及び表-4.10から CO_2 及び NO_x の排出量への影響に関して以下のことが明らかになった。

(1) 船舶航行及び主機関運転の効率改善が環境負荷を低減する最も有効な方法である。

(2) 電力調整装置の感度係数からディーゼル発電機と軸発電機等の発電量の構成により CO_2 で約4%、また、 NO_x で約3%程度の範囲で排出量が変化する。

(3) ディーゼル発電機の感度係数からディーゼル発電機の運転に伴う CO_2 及び NO_x の排出に関わる影響は2～4%程度であった。

(4) 航行プロセスに分類した機器の電力消費量に伴う CO_2 及び NO_x の排出への影響は、2%程度となった。

(5) 表-4.9及び表-4.10に示される CO_2 と NO_x に関する感度係数行列はよく似ている。これは、 CO_2 と NO_x が主機関とディーゼル発電機の運転だけで排出されているためである。

4.6 まとめ

摂動法による感度分析を船舶に適用する手法を示し、簡略化した船舶の運航モデルに対して感度分析を行った。感度分析の適用により環境負荷へ影響を与えるプロセスの影響を入出力の項目単位で定量的に求めることができた。

また、感度分析の実施により、収集すべきプロセスデータの精度を考慮することができ、データ収集を効率的に実施することが可能となる。

5. 建造の解析

本研究では船舶のLCA解析を実施するソフトウェアの開発に取り組んでいる。このソフトウェアの基本的な枠組みはすでにできているが、実際に造船所で使用できる形にするためには、現場の作業分類に対応した入出力フォーマットを用意するなど、機能の追加が必要である。

このため、76,000トン撒積貨物船を対象として、その建造工程の実態を詳細に調査し、物質、エネルギー、作業等の入出力量を明らかにした。また、得られたデータを基にインベントリ分析を実施し、実船の建造段階での環境負荷を明らかにした。

5.1 対象船舶と調査範囲

5.1.1 対象船舶

解析の対象とした船舶は載荷重量76,300DWTの撒積貨物船（76,000トン型）である。主要目を表-5.1に示す。また、軽荷重量構成表は表-5.2のとおりである。

表-5.1 主要目

Ship-No	S1196 4
Title	D/W 76,300MT
Class	DNV
Lpp	217
B	32.26
D	19.3
Dd	12.2
Ds	14
Main Engine	MAN-B&W 6S60MC
No. of Main Engine	1

表-5.2 軽荷重量構成表

単位:ton

Hull Construction	8457
Paint	92
Hull Outfittings	1013
Machinery	773
Electric	35
L/W (net)	10370

5.1.2 システム境界

対象とする船舶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-5.1に示す。撒積貨物船のライフサイクルには船舶の建造、運航、解撤のステージがあるが、本解析では船舶の建造のみを解析の対象とした。建造ステージには、電力、燃料等のエネルギーの生産、船殻や機関等の材料調達、加工組立作業等が含まれる。

5.1.3 環境負荷項目

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

- ・環境からの入力（資源）：石炭、原油、天然ガス、水、鉄鉱石、ボーキサイト
- ・環境への排出：CO₂、固形廃棄物、鉄スクラップ、CH₄、C_xH_y、N₂O、HFCs、SF₆、NMVOC、CO、Halons、CH₃Br、SO_x、NO_x、dust、waste water

5.2 解析条件

5.2.1 データの収集

解析に使用したプロセスデータの収集方法は以下のとおりである。

建造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。鉄鋼等に関するプロセスデータには日本鉄鋼連盟が作成したLCAデータベース¹⁴⁾の解析結果を使用し、その他の各種資材、エネルギーに関するプロセスデータには（社）産業環境管理協会のJEMAI-LCAデータベース¹⁵⁾の解析結果を使用した。また、主機関及び艀装品等の部品に関するプロセスデータは部品の製造工程の省略及び使用する素材の簡略化を行った。

5.2.2 インベントリ分析

(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¹⁶⁾とプロセスの積み上げにより行う積み上げ法がある。産業連関表による解析方法は取り扱い金額に基づいて産業全体から分析を行うため、いわゆる、業界全体の平均値を大局的に算出することができるが、船舶個別の建造の解析はできない。そのため本解析では、多くのプロセスデータを収集する必要があるが、最小単位のプロセスをプロセスフローに基づいて積み上げ、船舶個別のプロセスに基づいた解析を行うことができる積み上げ法を採用した。

(2) 逐次法と行列法

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

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

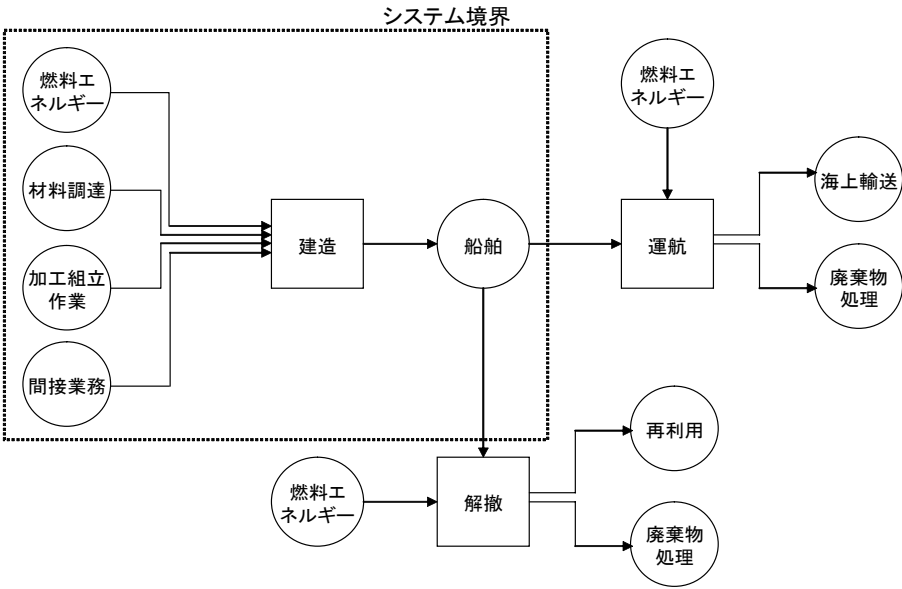


図 -5.1 全体プロセスフローとシステム境界

(3) 行列法の解析手法

行列法の解析手法¹⁷⁾¹⁸⁾は大略以下の通りである。なお、計算処理には表計算ソフト(Microsoft Excel(R))を使用した。

① プロセス行列(AB)の作成

- ・建造等の各ステージのプロセスフローに基づいて、プロセス行列(AB)を作成する。経済的入出力の部分の行列を(A)、また環境からの入力及び環境への出力の部分の行列を(B)とする。

- ・プロセス量行列(P)はプロセス行列(AB)の経済的入出力の部分(A)にのみ対応し、行列の作成時点では未知数の行列である。

- ・核プロセス行列(Q)はプロセス行列(AB)の全ての行に対応し、経済的入出力の部分については漁船の製造等インベントリデータを作成したい項目が「1」である以外、他の項目は全て「0」であり、また環境からの入出力等の部分については行列の作成時点では未知数の行列である。

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

② プロセス量行列(P)の解法

- ・未知数の行列であるプロセス量(P)をプロセス行列(AB)の経済的入出力の逆行列(A^{-1})からステージに関する連立一次方程式 $AP=Q$ を解き、プロセス量行列(P)を求める。

- ・ステージにおけるプロセス毎のプロセス量の内訳を得られたプロセス量行列(P)とプロセス行列(AB)の経済的入出力(A)の部分の積から求める。

- ・核プロセス行列(Q)の未知数の行列である環境からの入出力等の部分をプロセス行列(AB)の環境からの入出力等の部分(B)と得られたプロセス量(P)の積から求める。

- ・ステージにおけるプロセス毎のプロセス量の内訳とプロセス行列(AB)の環境からの入出力の部分(B)の積から、ステージのプロセス毎の環境からの入出力を得る。

5.3 建造データ

5.3.1 建造工程の概要

図-5.2に船ができるまでの一般的な流れを示す。図の上段はおおまかな作業工程、下段は具体的な作業を示す。これをもとに作成した建造フロー図が図-5.3である。建造作業には大きく分けて、①材料調達、②加工・組立、③間接業務、④排出物処理、⑤造船所外処理に分けられる。以下、それぞれの項目毎に、対象船舶1隻の建造に費やされた資材、エネルギー等の項目とその量について、導出根拠とともに示す。

5.3.2 材料調達

(1) 材料調達のプロセスフロー

材料調達のプロセスフローを図-5.4に示す。調達材料は資材、エネルギー、補助材料に分け、資材についてはその搬入輸送量を調べた。

(2) 資材

調達資材の重量は原則として造船所から提供された調達品の輸送品リストによった。ただし、輸送品リストで明らかにならなかったものは解析対象船舶の軽貨重量推定表に記されている重量を採用した。以下に、その詳細を示す。

① 鋼材

調達品の輸送距離に関するデータをもとに、厚板 7,762t（トラック輸送分 37t、船舶輸送分 7,725t）、形鋼 769t（トラック輸送分 606t、トラック+船舶輸送分 163t）を1隻建造分の鋼材とした。

ただし、軽荷重量推定表から得られる Hull Construction Weight (8,457.4t)のうち、Weld & Tolerance (124.0t)を除いた重量(8,333.4t)が実際に使用される重量であり、残り 197.6tは排出物(鉄スクラップ)とした。

② 溶接資材

軽荷重量推定表から得られる Weld & Tolerance (124.0t)を溶接資材として割り当てた。

③ 塗料

調達品の輸送距離に関するデータより、使用塗料を 150tとした。軽荷重量推定表から得られる Paint (91.0t)並びに Mark & Name (0.150t)の重量を差し引いた 58.85tが大気中飛散あるいは固形廃棄物として、排出される。

④ 犠牲電極

軽荷重量推定表から得られる Cathodic Protect (0.42t)を犠牲電極として割り当てた。

⑤ 船体艤装品

軽荷重量推定表から得られる Hull Outfittings 236点(1012.9t)である。

⑥ 機関艤装品

軽荷重量推定表から得られる Machineryのうち機関室機器内の水と油をのぞく 30点(762.42t)を割り当てた。

⑦ 電気艤装品

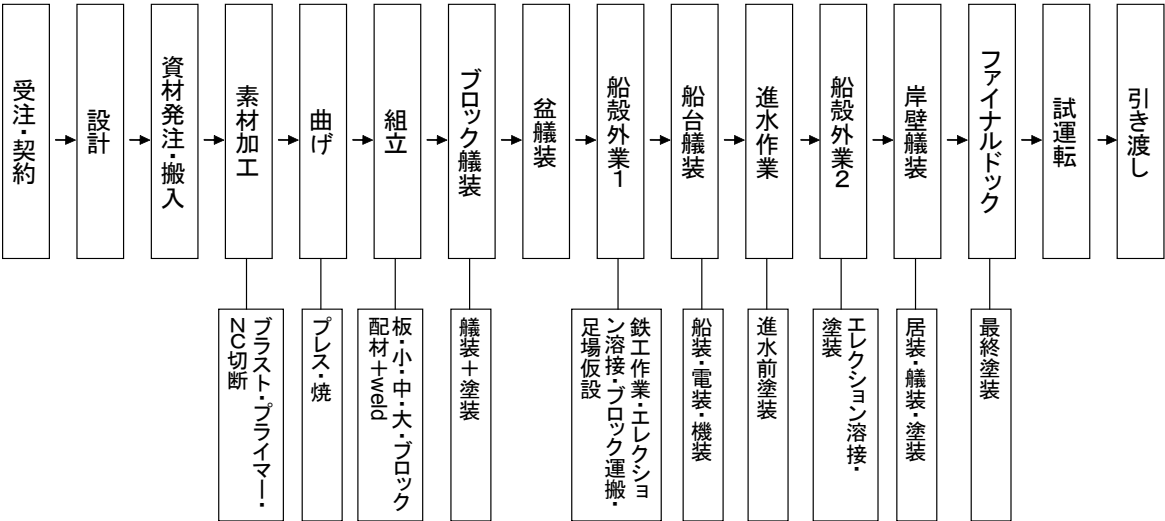


図 -5.2 船ができるまでの流れ

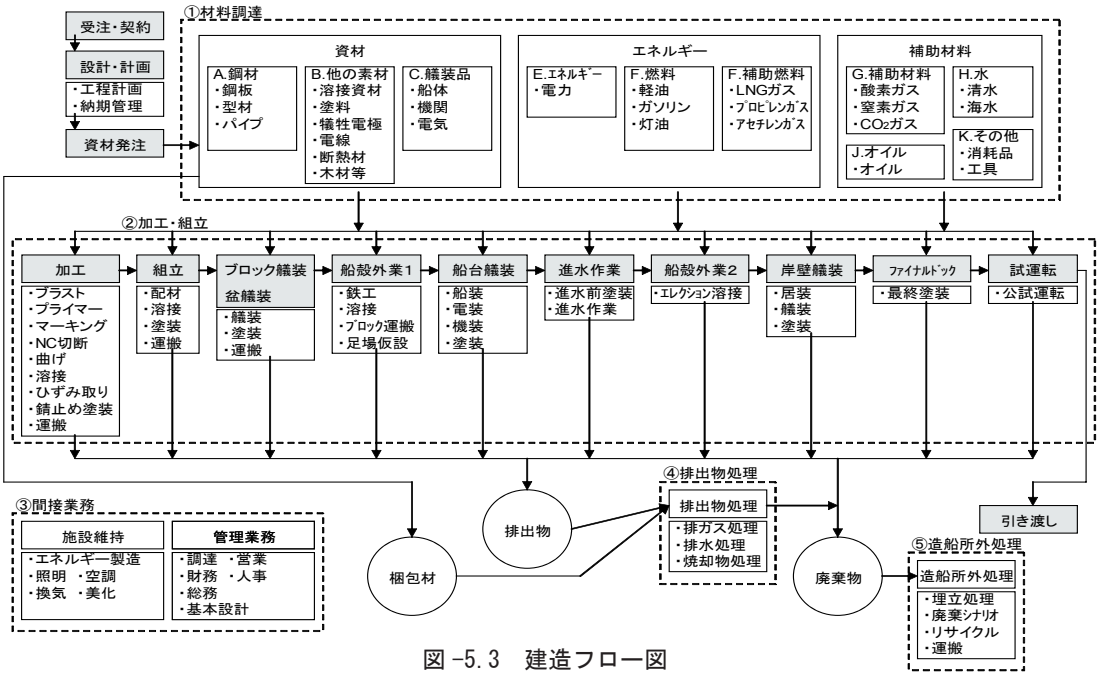


図 -5.3 建造フロー図

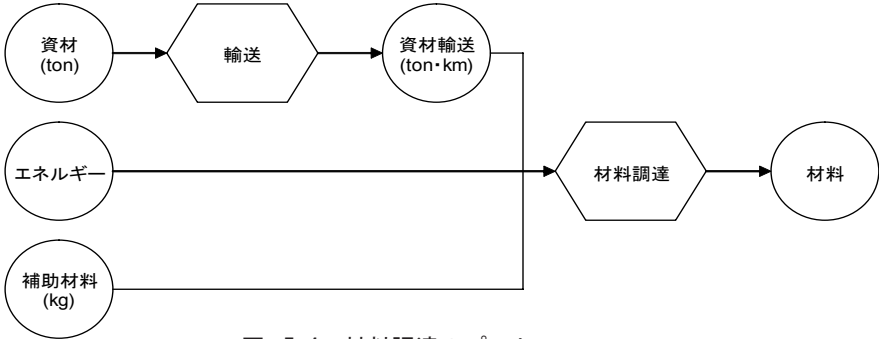


図 -5.4 材料調達のプロセスフロー

軽荷重量推定表から得られる Electric 75 点 (34.774t) である。

(3) エネルギー

エネルギーについては、1 隻建造のための使用量を直接調べることはシステム上困難なため、年間の使用量を建造時数で案分することにより算出した。解析の対象とした船舶が建造された平成 13 年のドックの年間稼働日は 247 日。ドックは 2 基あるため、年間稼働延べ日数は $247 \text{ 日} \times 2 = 494 \text{ 日}$ である。一方、対象船舶の平均ドック日は 43 日である。したがって、エネルギーは年間使用量 $\times (43/494)$ で算出した。

① 電力

平成 13 年の電力使用量データをもとに、1 隻当たりの使用量を算出した。表 -5.3 に結果を示す。事務部門の電力量は事務所部門と設計部門に、それぞれの在籍者数で案分して配分した。

表 -5.3 造船所の電力使用量

項目	年間使用量 (kWh)	年間使用量 (MJ)	1隻あたり使用量 (MJ)
A 工場1	15,701,100	56,523,960	4,920,102
B 工場2	1,117,800	4,024,080	350,274
C 事務所部門	2,249,446	8,098,007	704,887
D 設計部門	681,844	2,454,637	213,663
E 新造使用量(A+B)	16,818,900	60,548,040	5,270,376
F 合計(A+B+C+D)	19,068,346	68,646,047	5,975,263

② LNG

平成 13 年の LNG 使用量実績は 102,300kg であった。したがって、1 隻建造あたりの LNG 使用量は $102,300\text{kg} \times (43/494) = 8,905\text{kg}$ とした。

③ プロピレン

平成 13 年のプロピレン使用量実績は 157,500kg であった。したがって、1 隻建造あたりのプロピレン使用量は $157,500\text{kg} \times (43/494) = 13,710\text{kg}$ とした。

④ アセチレンガス

アセチレンガスについては、平成 13 年の使用実績データが得られなかった。そのため、平成 14 年 11 月から 15 年 10 月までのアセチレンガス使用量実績 30,133.6kg を基に算出した。すなわち、1 隻建造あたりのプロピレン使用量は $30,133.6\text{kg} \times (43/494) = 2,623\text{kg}$ とした。

⑤ 酸素

平成 13 年の酸素使用量実績は 1,383,570kg であった。したがって、一隻建造あたりの酸素使用量は $1,383,570\text{kg} \times (43/494) = 120,432\text{kg}$ とした。

(4) 補助材料

補助材料については、軽荷重量推定表から取得したもの及び年間使用量を案分したのものがあるが、いずれも実績値をできるだけ反映できるよう考慮した。

① OIL

軽荷重量推定表から得られる機関室機器内の水と油のうち Fresh Water と Sea Water をのぞく重量 (7.756t) とした。

② 清水

軽荷重量推定表から得られる機関室機器内の水と油のうち Fresh Water の重量 (0.77t) とした。

③ 水

年間使用量を建造時数で案分して算出した。すなわち平成 13 年の水道使用量実績は 20,174t であった。したがって、1 隻建造あたりの水使用量は $20,174,000\text{kg} \times (43/494) = 1,756,036\text{kg}$ とした。

④ CO₂ (副資材)

年間使用量を建造時数で案分して算出した。すなわち平成 13 年の CO₂ 使用量実績は 1,750,420kg であった。したがって、1 隻建造あたりの CO₂ 使用量は $1,750,420\text{kg} \times (43/494) = 152,364\text{kg}$ とした。

(5) 輸送

造船所への搬入輸送は、鋼材（厚板及び形鋼）、船体部艤装品、機関部艤装品に分けて詳細に検討した。

① 鋼材

表 -5.4 に鋼材（厚板）の輸送実績（平成 15 年 4 ～ 7 月の平均値）を、表 -5.5 に鋼材（形鋼）の実績を示す。これらの表において、合計欄の船便距離、陸送距離はそれぞれ輸送量と数量から計算した値であり、すなわち加重平均輸送距離に相当する。また、鋼材（形鋼）においては船からトラックに積み替える輸送形態がある。

この実績を基に、5.3.2(2) ①で示した当該船の鋼材使用量を適用して計算すると、1 隻建造あたりの鋼材搬入輸送量は表 -5.6 のとおりとなる。

表 -5.4 鋼材（厚板）の輸送実績

発地	船便輸送			陸送輸送		
	数量 (ton/月)	船便距離 (km)	船便輸送量 (ton・km)	数量 (ton/月)	陸送距離 (km)	陸送輸送量 (ton・km)
A	0	0	0	40	100	4000
B	4480	10	44800	0	0	0
C	670	180	120600	0	0	0
D	360	450	162000	0	0	0
E	2860	1100	3146000	0	0	0
合計	8370	414.9821	3473400	40	100	4000

表 -5.5 鋼材（形鋼）の輸送実績

発地	船便輸送			陸送輸送		
	数量 (ton/月)	船便距離 (km)	船便輸送量 (ton・km)	数量 (ton/月)	陸送距離 (km)	陸送輸送量 (ton・km)
F	0	0	0	340	25	8500
G	0	0	0	5	85	425
H	0	0	0	40	105	4200
I	0	0	0	160	260	41600
J	0	0	0	50	320	16000
K	0	0	0	50	450	22500
L	0	0	0	10	600	6000
M	1	160	160	1	25	25
N	160	260	41600	160	50	8000
O	5	260	1300	5	340	1700
P	10	900	9000	10	120	1200
合計	176	295.7955	52060	831	132.5511	110150

表 -5.6 鋼材搬入輸送量

種類	輸送形態	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)	備考
厚板	船便輸送	7725	414.9821	3205737	199内航船
	陸送輸送	37	100	3700	30トントレーラー
形鋼	船便輸送	163	295.7955	48215	199内航船
	陸送輸送	769	132.5511	101932	30トントレーラー

② 船体部艤装品

1 隻建造あたりの船体部艤装品の輸送実績を表 -5. 7 に示す。

③ 機関部輸送品

1 隻建造あたりの機関部艤装品の輸送実績を表 -5. 8 に示す。

④ 搬入輸送データ

上述した輸送実績を整理すると、輸送形態は次の 5 種にまとめられ、1 隻建造あたりの搬入輸送量は表 -5. 9 のようになる。

- ・内航船輸送：鋼材の全て (3, 213, 640t・km) と船体部艤装品の国内生産分
- ・外航船輸送：船体部艤装品の国外生産分
- ・バージ輸送：機関部艤装品の該当分
- ・30 トントラック輸送：鋼材の全てと船体部艤装品の甲板機械、操舵機、アンカー、アンカーチェーン、パイプ、並びに機関部艤装品の発電機、ボイラー
- ・4 トントラック輸送：その他のトラック輸送品

5.3.3 加工・組立

(1) 作業グループの分類

加工・組立の工程について、造船所では作業グループを組織して、そのグループごとに作業時数の管理を行っている。造船所のグループごとの作業内容と使用設備を表 -5. 10 に示す。溶接、艤装など複数グループにまたがる作業が存在する。

(2) 加工・組立のプロセスフロー

加工・組立における実際の作業内容の分類に従ったプロセスフローを図 -5. 5 に示す。前項で示したグルー

プごとの作業内容の分類との対応を明らかにするために、造船所から提出された現場作業時数表を分析し、作業グループ内で内容別の分類を行った。その結果を表 -5. 11 に示す。

以下、図 -5. 5 に示したプロセスフローにしたがって、調査、解析を進める。

(3) 計画と準備

計画作業では工程管理、納期管理等を行う。なお、この作業は、造船所の計画グループが単独で担当している。

また準備作業では、船台木工、足場整備等を行う。

(4) 運搬

運搬作業では、鋼材管理、配管、集配等を行う。

運搬作業に使用される道具は造船所内運搬車輛と造船所内に設置されているブロック移動装置（スキッド定盤）である。以下、それぞれについて、1 隻建造当たりの使用量を調査した。

① 造船所内運搬車両

造船所内で使用されるトラック、レッカー車、高所作業車等の車両の一覧と一部の稼働実績は把握できたが、それらの資料では走行距離や運搬量を特定できなかった。そこで造船所内運搬車輛に使用される燃料を求め、1 隻建造当たりのエネルギー量等を算出することとした。

造船所内運搬車輛に使用される燃料使用量は直接把握できないため、造船所内運搬車輛に使用した燃料に支払った金額から導出した。根拠と結果を表 -5. 12 に示す。燃料単価には積算資料から、造船所のある地区の値を使用した。

② スキッド定盤

造船所に設置されている移動装置（スキッド定盤）の種類と定格容量、日平均稼働時間から算出した電力量等を表 -5. 13 に示す。1 隻建造当たりの使用電力量は 1, 116. 5kWh = 4, 019. 4MJ であった。

(5) マーキング・切断

ここでは、NC マーキング、NC 切断、ガス内構等を行う。

① マーキング及び切断

NC (Numerical Control: 数値制御) マーキング及び切断に関するデータは次のとおりである。NC 切断長合計は 105, 589 m、NC 切断時間は 3, 177. 1 時間であった。このうち低速 NC 切断は 1739. 7 時間、高速 NC 切断は 1437. 4 時間。NC 切断速度は平均 4min./m である。造船所に設置されている NC 切断機の種類と定格容量、

表-5.7 船体部艙装品の輸送実績

艙装品名	内航船輸送			外航船輸送			30トントラック輸送			4トントラック輸送		
	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)
甲板機械	0	0	0	0	0	0	38	100	3800	0	0	0
ハッチカバー	363	550	199650	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ハッチカバー金物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	15	450
操舵機	0	0	0	0	0	0	7	250	1750	0	0	0
アンカー	0	0	0	14	1500	21000	14	50	700	0	0	0
アンカーチェーン	0	0	0	91	1500	136500	91	50	4550	0	0	0
舷梯/補助舷梯	0	0	0	17	1500	25500	0	0	0	17	50	850
チェーンコントローラー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25	100
居住区	0	0	0	369	600	221400	0	0	0	0	0	0
ライフボート	0	0	0	13	1500	19500	0	0	0	0	0	0
家具	0	0	0	12	3000	36000	0	0	0	12	30	360
エアコン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	300	600
冷蔵庫	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	300	810
居住区ドア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	25	175
居住区内張り	0	0	0	36	600	21600	0	0	0	36	100	3600
バルブ類	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	300	1500
泡消火用タンク	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	35	70
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	400	400
塗料	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	450	67500
中国外注品	0	0	0	15	1500	22500	0	0	0	15	50	750
日本国内外注品	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	20	1440
パイプ	16.8	720	12096	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16.8	550	9240	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39.2	950	37240	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39.2	300	11760	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	112	60	6720	0	0	0
合計	475	568	269986	567	889	504000	262	66.9	17520	356	221	78605

表-5.8 機関部艙装品の輸送実績

艙装品名	船便(バージ、タグ)				30トントラック輸送			4トントラック輸送		
	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)	備考	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)	数量 (ton)	距離 (km)	輸送量 (ton・km)
主機本体及び付属品	238	100	23800	1800PS 燃費180L/h	0	0	0	0	0	0
主機大物予備品	0	0	0		0	0	0	8.1	100	810
発電機(3セット)	0	0	0		30.9	300	9270	0	0	0
ボイラー	0	0	0		23	250	5750	0	0	0
プロペラ	21	550	11550	1000PS	0	0	0	0	0	0
プロペラ軸・中間軸	0	0	0		0	0	0	21.8	0	0
軸受&シール装置	0	0	0		0	0	0	2.5	200	500
焼却炉	0	0	0		0	0	0	3	250	750
非常用発電機	0	0	0		0	0	0	1.1	750	825
主空気圧縮機	0	0	0		0	0	0	2	250	500
ポンプ	0	0	0		0	0	0	12.7	180	2286
清浄機	0	0	0		0	0	0	1.7	730	1241
特殊こし器	0	0	0		0	0	0	0.6	720	432
通風機	0	0	0		0	0	0	1.1	400	440
天井クレーン	0	0	0		0	0	0	1.7	400	680
MACHINE TOOL(4種)	0	0	0		0	0	0	1.4	800	1120
熱交換機	0	0	0		0	0	0	5.6	600	3360
主空気槽	0	0	0		0	0	0	4.6	100	460
その他機器	0	0	0		0	0	0	14.6	1200	17520
鉄艙装外注品(タンク)	0	0	0		0	0	0	45	0	0
鉄艙装外注品(ダクト)	0	0	0		0	0	0	8	30	240
電気機器(電気パネル)	0	0	0		0	0	0	10	750	7500
電気機器(無線関係)	0	0	0		0	0	0	1	750	750
電気機器(電源)	0	0	0		0	0	0	15	250	3750
合計	259	136	35350		53.9	279	15020	161.5	239	38664

表 -5. 9 一隻建造当たりの搬入輸送量

単位: ton・km

	鋼材		船体部 艀装品	機関部 艀装品	計
	厚板	形鋼			
内航船輸送	3205737	48215	269986	0	3523938
外航船輸送	0	0	504000	0	504000
船便(バージ、タグ)	0	0	0	35350	35350
30トントラック輸送	3700	101932	17520	15020	138172
4トントラック輸送	0	0	78605	38664	117269

表 -5. 10 造船所の作業グループごとの作業内容及び使用設備

G	作業内容	使用電気設備
加工	・水切 ・識別 ・ブラスト ・プライマー ・NC切断 ・プレーナー切断 ・プレス曲げ ・撓鉄 ・板継	・CO ₂ 溶接機 ・交流溶接機
機装	・鉄艀装(製缶) ・溶接 ・組立 ・管艀装 ・仕上げ ・機器・軸系の取付運転調整	・CO ₂ 溶接機 ・手溶接機 ・スポットクーラー
居装	・居住区艀装	・CO ₂ 溶接機 ・手溶接機 ・スポットクーラー
計画	・工程計画 ・納期管理	
甲装	・船体艀装 ・鉄艀装 ・管	・CO ₂ 溶接機 ・手溶接機 ・スポットクーラー
支援	・動力確保 ・産廃バツ缶の集配 ・場内美化	
集管	・集配作業と管理 ・建家外の運搬作業	
船殻	・鉄工 ・溶接 ・足場架設	・スポットクーラー ・換気ファン ・CO ₂ 溶接機 ・交流溶接機 ・ガウジング用電源 ・溶接機電源
組立	・配材 ・溶接 ・エツジバリ取り ・溶接線のプライマー塗装	・CO ₂ 溶接機 ・交流溶接機
電装	・配線 ・電気機器取付	・CO ₂ 溶接機 ・手溶接機 ・スポットクーラー
塗装	・みがき ・塗装	・スポットクーラー ・エアーバキューム掃除機
保安		

表 -5. 11 作業グループと作業分類の対応表

作業	加工G	機装G	居装G	計画G	甲装G	支援G	集管G	船殻G	組立G	電装G	塗装G	保安G
計画				●								
準備								●	●		●	
運搬	●						●	●	●		●	
マーキング・切断	●											
曲げ	●							●				
溶接	●	●	●		●	●	●	●	●	●		
ガウジング								●				
みがき											●	
塗装											●	
クレーン									●			
検査								●	●			●

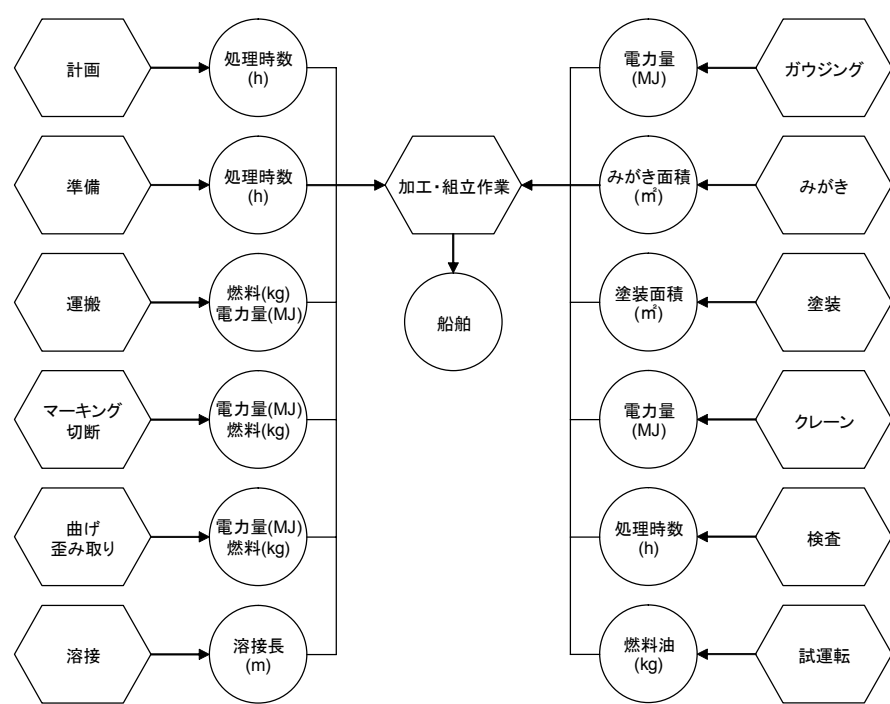


図-5.5 加工・組立のプロセスフロー

表-5.12 工場内運搬車輛に使用した燃料

項目	勘定科目	年間				1隻当たり	
		金額 (円)	単価 (円/L)	数量 (L)	比重	数量 (kg)	
ガソリン	ガソリン代	1088428	88	12368.5	0.75	9276	807
軽油	軽油代及び作業車燃料費	14938264	64	233410.4	0.85	198399	17270
灯油	灯油代	6564	35	187.5429	0.79	148	13
潤滑油	その他燃料費	104984	1000	104.984	0.89	93	8
計		16138240					

表-5.13 スキッド定盤の消費電力量

	定格電力 (kW)	台数 (台)	容量 (kW)	日稼働 時間(h)	日電力量 (kWh/D)	年間稼働 日数(D)	ドック 案分比	1隻当たり 電力量(kWh)
小組スキッド定盤	11	2	22	1.33	29.26	247	43/494	629.1
小組スキッド定盤	11	1	11	0.67	7.37	247	43/494	158.5
組立スキッド定盤	30	3	90	0.17	15.3	247	43/494	329.0
計		6	123		51.93			1116.5

日平均稼働時間から算出した電力量等を表-5.14に示す。1隻建造当たりの使用電力量は234,667kWh＝844,802MJであった。

② ガス切断

ガス切断長は26,379(m)である。使用するガスはLNGとアセチレンガスである。5.3.2(3)②④で述べた調達材料のLNGとアセチレンガスは全量がガス切断に使用されるため、LNG使用量は8,905kg、アセチレンガス使用量は2,623kgであった。

(6) 曲げ

ここでは、板曲、歪み取り等を行う。

造船所に設置されている曲げ装置の種類と定格容量、日平均稼働時間から算出した電力量等を表-5.15に示す。1隻建造当たりの使用電力量は18,450kWh＝66,421MJであった。

また、板曲、歪み取りの加熱にはプロピレンが使用される。5.3.2(3)③で述べた調達材料のプロピレンは曲げの他にショットブラストにも使用されるがその割合が不明のため、ここで全量13,710kgが一括使用されるものとした。

(7) 溶接

ここでは、溶接作業を行う。作業時数の累計は108,206時間である。溶接作業に関するデータは次のとおりである。溶接長合計は273,680m。造船所で使用されている溶接機の容量(定格)と使用容量は表-5.16のとおりである

また、ワイヤ、溶接棒の年間使用実績と1隻建造当たりの使用量(外業を除く)は表-5.17のとおりである。溶接1m当たりの使用量は116,550kg／273,680m＝0.426kg/mとなった。

(8) ガウジング

造船所に設置されているガウジング装置の定格容量、日平均稼働時間から算出した電力量等を表-5.18に示す。1隻建造当たりの使用電力量は79,120kWh＝284,832MJであった。また、作業時数を用いて1時間当たりに換算すると、284,832MJ／391h＝728.5MJとなった。

表-5.14 NC切断機の消費電力量

	定格電力 (kW)	日稼働 時間(h)	日電力量 (kWh/D)	年間稼働 日数(D)	ドック 案分比	1隻当たり 電力量(kWh)
NC1号機	135	6.3	850.5	247	43/494	18286
NC2号機	165	6.3	1039.5	247	43/494	22349
NC3号機	165	8.55	1410.75	247	43/494	30331
NC5号機	135	9.9	1336.5	247	43/494	28735
NC6号機	165	9.9	1633.5	247	43/494	35120
NC-Y	310	5.4	1674	247	43/494	35991
形鋼ロボット	100	4.5	450	247	43/494	9675
ショットブラスト	700	3.6	2520	247	43/494	54180
計			10914.8			234667

表-5.15 曲げ装置の消費電力量

	定格電力 (kW)	日稼働 時間(h)	日電力量 (kWh/D)	年間稼働 日数(D)	ドック 案分比	1隻当たり 電力量(kWh)
シップベンダー	228.5	2.7	616.95	247	43/494	13264
ローラーベンダー	15	2.25	33.75	247	43/494	726
プレス・500t	25	1.8	45	247	43/494	968
プレス・300t	37	0.45	16.65	247	43/494	358
プレス・1000t	50	2.25	112.5	247	43/494	2419
アングルベンダー	18.5	1.8	33.3	247	43/494	716
計			858.15			18450

表-5.16 溶接機の容量

種類	所属	定格電力 (kW)	台数 (台)	容量計 (kW)	使用率	使用容量 (kW)
CO ₂ 溶接機	外業G	20.1	311	6251.1	0.6	3750.66
CO ₂ 溶接機	船装G	29.1	31	902.1	0.6	541.26
CO ₂ 溶接機	機電G	29.1	19	552.9	0.6	331.74
CO ₂ 溶接機	組立設備	28	284	7952	0.6	4771.2
交流溶接機	外業G	23	329	7567	0.6	4540.2
溶接機	外業G	36.6	8	292.8	0.6	175.68
手溶接機	船装G	23.5	38	893	0.6	535.8
手溶接機	機電G(先行艀装)	23.5	97	2279.5	0.6	1367.7
手溶接機	機電G(艀装)	23.5	25	587.5	0.6	352.5
1500A溶接機	生産部	40	12	480	0.6	288
1000A溶接機	生産部	40	11	440	0.6	264
600A溶接機	生産部	36.6	23	841.8	0.6	505.08
500A溶接機	生産部	20.1	894	17969.4	0.6	10781.64
400A溶接機	生産部	20.1	2	40.2	0.6	24.12
SPR4溶接機	生産部	20.1	2	40.2	0.6	24.12
溶接機	生産部	20.1	5	100.5	0.6	60.3
FCB	加工・組立	80	6	480	0.2	96
ユニオン	加工・組立	80	5	400	0.2	80
計			2102	48070		28490

表-5.17 ワイヤ・溶接棒の使用実績

単位: ton

H13年	ワイヤ／溶接棒					計
	被覆 アーク棒	CO ₂ ワイヤ		サブマージアーク		
		ソリッド	複合ワイヤ	ワイヤ	フラックス	
1月	5.94	0.50	89.18	5.00	7.00	107.62
2月	13.36	0.50	91.50	4.50	6.80	116.66
3月	10.00	0.60	97.60	5.00	8.00	121.20
4月	9.86	0.70	97.89	6.50	9.30	124.25
5月	8.82	0.80	94.97	6.50	7.60	118.69
6月	8.56	0.60	89.80	4.80	7.20	110.96
7月	6.84	0.60	92.57	3.80	7.30	111.11
8月	4.66	0.40	82.11	3.30	5.90	96.37
9月	6.90	0.40	90.90	3.90	6.60	108.70
10月	8.36		92.49	4.30	6.80	111.95
11月	7.88	0.60	87.66	5.00	5.82	106.96
12月	6.36	0.50	86.64	4.80	6.22	104.52
計	97.54	6.20	1093.31	57.40	84.54	1338.99
1隻当たり	8.49	0.54	95.17	5.00	7.36	116.55

表-5.18 ガウジング装置の消費電力量

種類	所属	定格電力 (kW)	台数 (台)	容量計 (kW)	稼働率	日電力量 (kWh/D)	年間稼働 日数(D)	ドック 案分比	1隻当たり 電力量(kWh)
ガウジング用電源	外業G	40	23	920	0.5	3680	247	43/494	79120
計			23	920		3680			79120

(9) みがき

みがき作業の内訳は次のとおりであった。

- ・みがき面積合計 106,369 m²
- ・内訳
 - 外板（平坦）
 - 外板（立上）
 - バラストタンク
 - 各種タンク
 - 貨物艀
 - ボイドスペース
 - 機関室
 - その他

(10) 塗装

塗装作業の内訳は次のとおりであった。

- ・塗装面積合計 149,194 m²
- ・内訳
 - 外板（平坦）
 - 外板（立上）
 - バラストタンク
 - 各種タンク
 - 貨物艀
 - ボイドスペース
 - 機関室
 - その他

(11) クレーン

以下にクレーン作業の一覧を示す。

① 外回りクレーン

外回りクレーンの種類、定格容量を表 -5.19 に示す。
外回りクレーンの稼働率は、聞き取り調査結果より、40%である。

表 -5.19 外回りクレーンの容量							
種類及び型式	台数	原動機定格出力(kW)					計
		主巻	補巻	横行	旋回	走行	
天井クレーン	2	50	0	6.3	0	25	81.3
橋型クレーン	3	400	255	162	0	350	1167
塔型クレーン	13	1207	425	588	186.4	773.4	3180
引込ジブクレーン	1	150	0	50	50	100	350
合計	19	1807	680	806.3	236.4	1248	4778
平均		95.1	35.8	42.4	12.4	65.7	251.5

② 組立クレーン

組立クレーンの種類、定格容量を表 -5.20 に示す。
組立クレーンの稼働率は、聞き取り調査結果より、50%である。

表 -5.20 組立クレーンの容量							
種類及び型式	台数	原動機定格出力(kW)					計
		主巻	補巻	横行	旋回	走行	
天井クレーン	8	350	102	72.6	0	251	775.6
塔型クレーン	1	50	30	30	10	30	150
合計	9	400	132	102.6	10	281	925.6
平均		44.4	14.7	11.4	1.1	31.2	102.8

③ 加工クレーン

加工クレーンの種類、定格容量を表 -5.21 に示す。
加工クレーンの稼働率は、聞き取り調査結果より、69%である。

表 -5.21 加工クレーンの容量							
種類及び型式	台数	原動機定格出力(kW)					計
		主巻	補巻	横行	旋回	走行	
天井クレーン	9	231	0	73.5	1.5	151.4	457.4
片脚橋型クレーン	5	62	0	9.2	0	29.8	101
旋回式橋型クレーン	1	0	0	0	0	0	0
普通型天井クレーン	4	170	0	16.5	0	125	311.5
ポスト式片脚橋型クレーン	1	11	0	2	0	4.4	17.4
天井クレーン床上ホイスト	2	11	0	4	0	10	25
ホイスト天井クレーン	1	17	0	4	0	6.3	27.3
橋型クレーン	1	0	0	0	0	0	0
無線用天井クレーン	1	30	0	5	0	20	55
ポスト式橋型クレーン	1	22	0	3.7	0	11	36.7
合計	26	554	0	117.9	1.5	357.9	1031
平均		21.3	0	4.5	0.1	13.8	39.7

④ 水切りクレーン

水切りクレーンの種類、定格容量、日平均稼働時間から算出した電力量等を表 -5.22 に示す。1 隻建造当たりの使用電力量は 3,483kWh = 12,539MJ であった。

(12) 検査

外板溶接部の継手の X 線検査等を行う。

(13) 試運転

試運転は運転前のボイラー (BLR)、発電機関の調整に続き、海上試運転が行われる。この間に使用される油量は残油協定データによると表 -5.23 のとおりである。

表 -5.22 水切りクレーンの消費電力量

種類及び型式	定格電力 (kW)	台数	容量計 (kW)	日稼働時間(h)	日電力量(kWh)	年間稼働日数(D)	ドック案分比	1隻当たり電力量(kWh)
リフマグクレーン	15	3	45	2.7	121.5	247	43/494	2612
リフマグクレーン(夜勤)	15	1	15	2.7	40.5	247	43/494	871
合計		4	60		162			3483

表 -5.23 試運転に使用する油量

油種	消費量 (L)	比重	消費量 (kg)
DIESEL OIL	37800	0.8715	32942.7
HEAVY FUEL OIL	41000	0.965	39565
その他	2225.8	0.88	1958.704

5.3.4 間接業務

(1) 間接業務のプロセスフロー

間接業務のプロセスフローを図-5.6に示す。間接業務には製造に直接関係する作業以外の全てが含まれるが、ここでは図-5.6の左側に示す圧縮空気の製造、照明、換気、空調、ドック排水、陸電使用について調査した。これで造船所の間接業務の主要部分は網羅できていると考える。図-5.6の右側のプロセスについては、今回の対象艇の建造では該当しない、もしくはデータを把握できないため割愛した。

(2) 圧縮空気の製造

造船所に設置されているコンプレッサの容量合計（定格）、稼働実績を表-5.24に示す。なお、稼働中のコンプレッサ電動機は、実測の結果、ほぼ定格出力で運転されている。1隻建造当たりの使用電力量は326,774kWh = 1,176,386MJであった。

(3) 照明

造船所に設置されている照明装置の容量（定格）を表-5.25に示す。この表には外業に使用される100W白熱灯468灯、500W水銀灯743灯も含まれる。

照明装置の負荷率1、稼働率0.5、日当たり稼働時間8h、年間稼働日数247D、ドック案分比43/494とすると、1隻建造当たりの照明電力量は、 $1,306.4\text{kW} \times 1 \times 0.5 \times 8\text{h} \times 247\text{D} \times 43/494 = 112,350\text{kWh} = 404,461\text{MJ}$ となる。

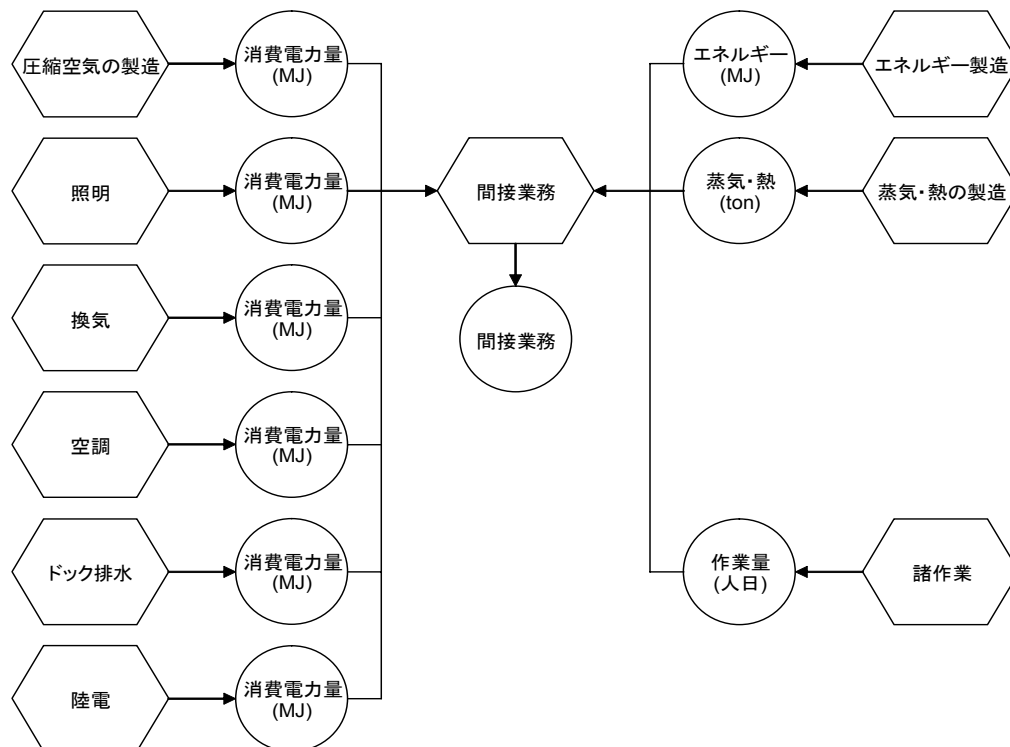


図 -5.6 間接業務のプロセスフロー

表 -5. 24 コンプレッサの稼働実績

			No.1	No.3	No.4	No.5-1	No.5-2	No.6	No.7	計
容量(吸入状態)(m ³ /min)			40	40	40	24	40	40		224
電動機出力(kW)			220	220	220	125	220	220	130	1355
稼働時間 (H)	平成13年	日数								
	1月	20	179	105	374	42	180	227	229	1336
	2月	20	181	144	434	14	182	299	157	1411
	3月	22	208	259	443	22	208	388	89	1617
	4月	20	196	232	432	27	197	349	162	1595
	5月	21	181	197	463	25	198	379	133	1576
	6月	21	191	172	414	54	233	271	154	1489
	7月	19	178	262	430	20	179	205	235	1509
	8月	18	162	323	450	106	175	8	447	1671
	9月	21	183	232	502	70	174	254	186	1601
	10月	23	159	322	489	11	190	334	62	1567
	11月	22	12	227	530	12	186	321	83	1371
	12月	20	0	274	449	2	180	306	131	1342
	計	247	1830	2749	5410	405	2282	3341	2068	18085
日平均			7.41	11.13	21.90	1.64	9.24	13.53	8.37	73.22
日電力量(kWh)			1630	2448.5	4818.62	204.96	2032.6	2975.8	1088.4	15198.8
年間稼働日数(D)			247							
ドック案分比			43/494							
1隻当たり電力量(kWh)			35044	52643	103600	4407	43700	63979	23401	326774

表 -5. 25 照明装置の容量

場所	容量(kW)					
	水銀灯	ナトリウム灯	アイランプ	蛍光灯	白熱灯	計
造船工場屋外	175.2	21.0	4.0	0.6	0.0	200.8
工場内作場	0.0	197.0	0.0	0.0	0.0	197.0
工場(除内作場)	455.9	0.0	0.0	0.2	34.2	490.3
小計	631.1	218.0	4.0	0.8	34.2	888.1
外業	371.5	0.0	0.0	0.0	46.8	418.3
計	1002.6	218.0	4.0	0.8	81.0	1306.4

(4) 換気

造船所に設置されている換気装置の容量（定格）を
表 -5. 26 に示す。

すると、1 隻建造当たりの照明電力量は、 $5,406.7\text{kW} \times 1 \times 0.5 \times 8\text{h} \times 124\text{D} \times 43/494 = 233,429\text{kWh} = 840,346\text{MJ}$ となる。

表 -5. 26 換気装置の容量

場所	台数(台)	容量(kW)
工場内作場	53	1166.0
工場(除内作場)	21	196.9
計		1362.9

換気装置の負荷率 1、稼働率 0.5、日当たり稼働時間 8h、年間稼働日数 247D、ドック案分比 43/494 とすると、1 隻建造当たりの照明電力量は、 $1,362.9\text{kW} \times 1 \times 0.5 \times 8\text{h} \times 247\text{D} \times 43/494 = 117,209\text{kWh} = 421,954\text{MJ}$ となる。

(5) 空調

造船所に設置されている空調装置の容量（定格）を
表 -5. 27 に示す。

空調装置の負荷率 1、稼働率 0.5、日当たり稼働時間 8h、年間稼働日数 124D、ドック案分比 43/494 と

表 -5. 27 空調装置の容量

品名・場所	台数(台)	消費電力(kW)	容量(kW)
スポットクーラー	129	22.7	2928.3
加工	5	22.7	113.5
加工	5	5.5	27.5
組立	26	22.7	590.2
塗装	21	22.7	476.7
機電	11	22.7	249.7
機電	4	5.5	22.0
船装	5	22.7	113.5
外業	39	22.7	885.3
計	245		5406.7

(6) ドック排水

造船所に設置されているドック排水装置の容量（定格）と稼働実績を表 -5. 28 に示す。建造中は日平均 118kWh の電力を使用するが、排水時は 4,232kWh の電力を消費する。したがって、年間稼働日数 247D、ドック

表-5.28 ドック排水ポンプの容量

		容量 (kW)	電圧 (V)	台数 (台)	建造中		排水時	
					日平均稼働時間(H)	日平均電力量(kWh/D)	稼働時間(H)	電力量(kWh)
建造ドック	自動発停用／排水用	37	440	1	2	74	12	444
	排水用	37	220	8	0	0	12	3552
	小計			9		74		3996
船台	自動発停用／排水用	22	220	1	2	44	4	88
	排水用	37	220	1	0	0	4	148
	小計			2		44		236
合計				11		118		4232

ク案分比 43/494 とすると、1 隻建造当たりの照明電力量は、 $118\text{kWh} \times 247\text{D} \times 43/494 + 4,232\text{kWh} = 6,769\text{kWh} = 24,368\text{MJ}$ となる。

(7) 陸電使用量

50kW 照明を 15 日間使用する。負荷率 1、稼働率 1、日当たり稼働時間 8h とすると、1 隻建造当たりの陸電使用量は、 $50\text{kW} \times 1 \times 1 \times 8\text{h} \times 15\text{D} = 6,000\text{kWh} = 21,600\text{MJ}$ となる。

5.3.5 排出物

建造作業に伴う排出物として固形廃棄物と大気圏排出物、水圏排出物がある。ここでは、発生源別に分類して整理した。

(1) 残材等固形排出物

年間の固形排出物の種類と量、並びに建造時数で案分して算出した 1 隻建造あたりの排出量を表-5.29 に示す。このほかに、鉄スクラップが 197.6ton ある。全て、工場外にて処理する。

表-5.29 固形排出物の量

単位:kg		
	年間	1隻あたり
鋳滓	661270	57560
廃プラスチック	145380	12655
廃塗料	205610	17897
シンナー	29930	2605
産業廃棄物	19002	1654
紙屑	59190	5152
木屑	2640	230
計	1123022	97753

(2) 副資材 CO₂ の排出

副資材として使用される CO₂ は、使用量 152,364kg がそのまま大気中に排出されるものとした。

(3) 加工作業用燃料の燃焼に伴う排出物

造船所にエネルギーとして納入された LNG 等の燃

料ガスは燃焼により CO₂ 等の燃焼ガスを発生する。表-5.30 はその排出量であり、以下にその算出根拠を示す。

表-5.30 加工作業用燃料の燃焼に伴う排出物

単位: kg					
		LNG	プロピレン	アセチレン	計
出典		JEMAI-LCA furnace LNG	JEMAI-LCA furnace LPG	分子量比	
使用量		8905	13710	2623	25238
排 出 物	CO ₂	2.55E+04	4.58E+04	8.88E+03	8.01E+04
	CxHy	5.00E+00	3.22E+00		8.23E+00
	N ₂ O	3.11E+01	1.81E+01		4.92E+01
	CO	4.48E+00	2.92E+00		7.40E+00
	SOx	2.54E+00	4.06E+01		4.31E+01
	NOx	3.98E+01	2.62E+01		6.61E+01
	dust	2.20E-01	2.20E+00		2.42E+00

① LNG の燃焼

JEMAI-LCA¹⁵⁾ の furnace LNG の排出物の値を使用して算出した。これによると CO₂ の排出量は 25,500kg である。

ちなみに LNG が $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ の反応により燃焼するものとする、分子量比より $8,905\text{kg} \times (44/16) = 24,489\text{kg}$ の CO₂ が排出されることになる。

② プロピレンの燃焼

JEMAI-LCA の furnace LPG の排出物の値を使用して算出した。これによると CO₂ の排出量は 45,800kg である。

ちなみに、プロピレンが $2\text{C}_3\text{H}_6 + 9\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ の反応により燃焼するものとする、分子量比より $13,710\text{kg} \times (264/84) = 43,089\text{kg}$ の CO₂ が排出されることになる。

③ アセチレンの燃焼

アセチレンの燃焼は $2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ の反応によるものとし、分子量比より $2,623\text{kg} \times (176/52) = 8,878\text{kg}$ の CO₂ が排出されるものとした。

(4) 造船所内運搬車両の稼働に伴う排出物

造船所内運搬車両に使用する燃料に基づき、CO₂ 等排ガスの量を検討した。表 -5. 31 にその排出量を示す。また算出根拠は以下のとおりである。

表 -5. 31 造船所内運搬車両の稼働に伴う排出物

		単位: kg			
		ガソリン	軽油	灯油	計
使用量(L)		1076.0	20317.6	16.5	21410.1
使用量(kg)		807.0	17270.0	13.0	18090.0
排出物	CO ₂	2.56E+03	5.37E+04	4.10E+01	5.63E+04
	CxHy	3.52E-01	7.54E+00	5.68E-03	7.90E+00
	N ₂ O	5.62E-01	1.20E+01	9.05E-03	1.26E+01
	CO	5.19E-01	1.11E+01	8.36E-03	1.16E+01
	SOx	1.32E+00	2.82E+01	2.12E-02	2.96E+01
	NOx	2.85E+00	6.09E+01	4.59E-02	6.38E+01
dust		3.87E-02	8.28E-01	6.23E-04	8.67E-01

① ガソリンの燃焼

CO₂ の排出量については、環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」¹⁹⁾ を使用した。これによると、ガソリンの発熱量は 34. 6MJ/L、排出係数は 0. 0688kg-CO₂/MJ である。すなわち、単位当たり排出量は $0. 0688\text{kg-CO}_2/\text{MJ} \times 34. 6\text{MJ/L} = 2. 38048\text{kg-CO}_2/\text{L}$ となる。したがって、 $2. 38048\text{kg-CO}_2/\text{L} \times 12, 368. 5\text{L} \times (43/494) = 2, 563\text{kg}$ の CO₂ が排出されるものとした。

他の排出物については JEMAI-LCA の furnace diesel の値を使用した。

② 軽油の燃焼

CO₂ の排出量については、環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」を使用した。これによると、軽油の発熱量は 38. 2MJ/L、排出係数は 0. 0692kg-CO₂/MJ である。すなわち、単位当たり排出量は $0. 0692\text{kg-CO}_2/\text{MJ} \times 38. 2\text{MJ/L} = 2. 64344\text{kg-CO}_2/\text{L}$ となる。したがって、 $2. 64344\text{kg-CO}_2/\text{L} \times 233, 410. 4\text{L} \times (43/494) = 53, 707\text{kg}$ の CO₂ が排出されるものとした。

他の排出物については JEMAI-LCA の furnace diesel の値を使用した。なお、JEMAI-LCA の furnace diesel では CO₂ の排出は、57, 026kg と計算される。

③ 灯油の燃焼

CO₂ の排出量については、環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」を使用した。これによると、灯油の発熱量は 36. 7MJ/L、排出係数は 0. 0685kg-CO₂/MJ である。すなわち、単位当たり排出量は $0. 0685(\text{kg-CO}_2/\text{MJ}) \times 36. 7(\text{MJ/L}) = 2. 51395(\text{kg-CO}_2/\text{L})$ となる。したがって、 $2. 51395(\text{kg-CO}_2/\text{L}) \times 187. 5429(\text{L}) \times (43/494) = 41(\text{kg})$ の CO₂ が排出されるものとした。

他の排出物については JEMAI-LCA の furnace diesel の値を使用した。

(5) 試運転に伴う排出物

試運転に使用する燃料に基づき、CO₂ 等排ガスの量を検討した。表 -5. 32 にその排出量を示す。また算出根拠は以下のとおりである。

表 -5. 32 試運転に伴う排出物

		単位: kg			
		軽油	重油	その他	計
出典		JEMAI-LCA furnace Diesel	JEMAI-LCA furnace Heavy		
使用量(L)		37800.0	41000.0	2225.8	78800.0
使用量(kg)		32942.7	39565.0	1958.7	74466.4
排出物	CO ₂	9.99E+04	1.19E+05		2.19E+05
	CxHy	1.44E+01	1.72E+01		3.16E+01
	N ₂ O	2.29E+01	2.67E+01		4.96E+01
	CO	2.12E+01	1.05E+01		3.17E+01
	SOx	5.38E+01	7.67E+01		1.31E+02
	NOx	1.16E+02	2.89E+02		4.05E+02
	dust	1.58E+00	3.61E+01		3.77E+01
固形廃棄物				1.96E+03	1.96E+03

① 軽油の燃焼

CO₂ の排出量については、環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」を使用した。これによると、軽油の発熱量は 38. 2MJ/L、排出係数は 0. 0692kg-CO₂/MJ である。すなわち、単位当たり排出量は $0. 0692\text{kg-CO}_2/\text{MJ} \times 38. 2\text{MJ/L} = 2. 64344\text{kg-CO}_2/\text{L}$ となる。したがって、 $2. 64344\text{kg-CO}_2/\text{L} \times 37, 800\text{L} = 99, 922\text{kg}$ の CO₂ が排出されるものとした。

他の排出物については JEMAI-LCA の furnace diesel の値を使用した。ちなみに、JEMAI-LCA の furnace diesel では CO₂ の排出は、108, 778kg と計算される。

② 重油の燃焼

CO₂ の排出量については、環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」を使用した。これによると、重油の発熱量は 40. 4MJ/L、排出係数は 0. 072kg-CO₂/MJ である。すなわち、単位当たり排出量は $0. 072\text{kg-CO}_2/\text{MJ} \times 40. 4\text{MJ/L} = 2. 9088\text{kg-CO}_2/\text{L}$ となる。したがって、 $2. 9088\text{kg-CO}_2/\text{L} \times 41, 000\text{L} = 119, 261\text{kg}$ の CO₂ が排出されるものとした。

他の排出物については JEMAI-LCA の furnace heavy の値を使用した。ちなみに、JEMAI-LCA の furnace heavy では CO₂ の排出は、131, 959kg と計算される。

(6) PRTR データ

第 1 種指定化学物質の排出量及び移動量の届出書 (PRTR 報告書) に基づく、塗料と第 1 種指定化学物質の使用量、排出量等を表 -5. 33 に示す。

表 -5. 33 PRTR 報告

第1種指定化学物質		平成13年度納入塗料					年間			1隻あたり			
物質名	政令番号	A社	B社	C社	D社	計	塗布量	大気排出	廃塗料	使用量	塗布量	大気排出	廃塗料
キシレン	63	177,743	450,269	18,328	37,754	684,094	478,866	171,024	34,205	59,547	41,683	14,887	2,977
エチルベンゼン	40	119,532	62,591	10,165	6,377	198,665	139,066	49,666	9,933	17,293	12,105	4,323	865
トルエン	227	52,065	51,884	1,852	42,944	148,745	104,122	37,186	7,437	12,947	9,063	3,237	647
6価クロム化合物	69	87				87	61	22	4	8	5	2	0
鉛及びその化合物	230	477	4,200		274	4,951	3,465	1,238	248	431	302	108	22
ビスフェノールA型 液状エポキシ樹脂	30	13,983	9,881	4,104	34,689	62,657	43,860	15,664	3,133	5,454	3,818	1,363	273
フタル酸n-ブチル =ベンジル	273			67		67	47	17	3	6	4	1	0
1,3,5-トリメチル ベンゼン	224			146		146	102	37	7	13	9	3	1
ノニルフェノール	242				3,622	3,622	2,535	906	181	315	221	79	16
...													
塗料総使用量		1,396,860	2,312,716	141,309	388,779	4,239,664	2,967,765	1,059,916	211,983	369,040	258,328	92,260	18,452

5. 3. 6 造船所外処理

ここでは造船所から出た廃棄物の処理について検討した。

(1) 造船所外処理のプロセスフロー

造船所外処理のプロセスフローを図-5.7に示す。廃棄物は可燃物、産業廃棄物、リサイクル原料に分け、それぞれの処理量を調べた。

(2) 焼却処理

5. 3. 5(1) 項で示した残材等固形廃棄物のうち、紙屑、木屑、合わせて 5,382kg は 10km 離れた焼却処分場に 2 トントラックにて輸送し、焼却処理する。

(3) 埋立処理

上記以外の固形廃棄物、計 92,371kg は 25km 離れた焼却処分場に 2 トントラックにて輸送し、埋立処理する。

(4) リサイクル

鉄スクラップ 197.6ton は 25km 離れた製鉄所に 4 トントラックにて輸送し、リサイクルするものとした。

(5) 廃棄物輸送

5. 3. 6(2) ～ 5. 3. 6(4) で示した固形廃棄物の輸送量

を表-5.34にまとめた。

表 -5. 34 造船所外処理廃棄物の輸送量

処理	量 (kg)	輸送手段	輸送距離 (km)	輸送量 (ton・km)
焼却	5382	2トントラック	10	53820
埋立	92371	2トントラック	25	2309275
リサイクル	197600	4トントラック	25	4940000

5. 3. 7 造船所における入出力データ

(1) 入出力データのまとめ

ここまで調べた資材、エネルギー、廃棄物、製品等の入出力データをまとめると、図-5.8のようになる。

(2) 電力の入出力バランス

調査した入出力データに大きな抜けや誤りがないかを検証するために、造船所全体の使用電力量と、個々の作業で使用する電力量を積算した値とを比較した。ここでは、計算の便宜を図るため、電力量の単位を kWh としている。

造船所全体の使用電力量は表-5.3に示すとおり、5,975,263MJ = 1,659,795kWh である。一方、個々の作業の電力量を表-5.35に示す。

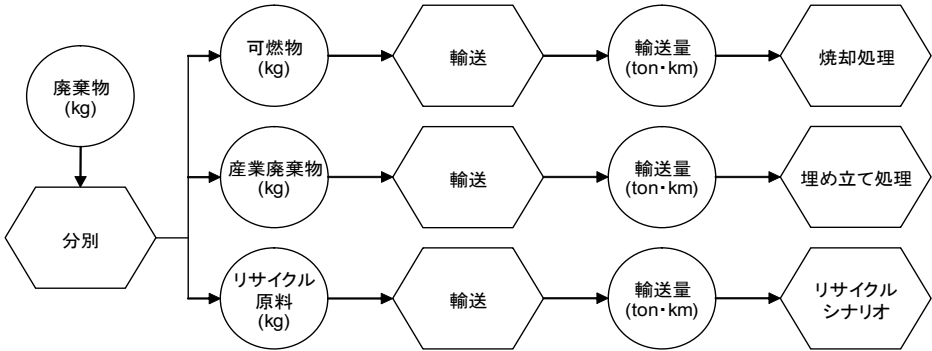


図-5.7 造船所外処理のプロセスフロー

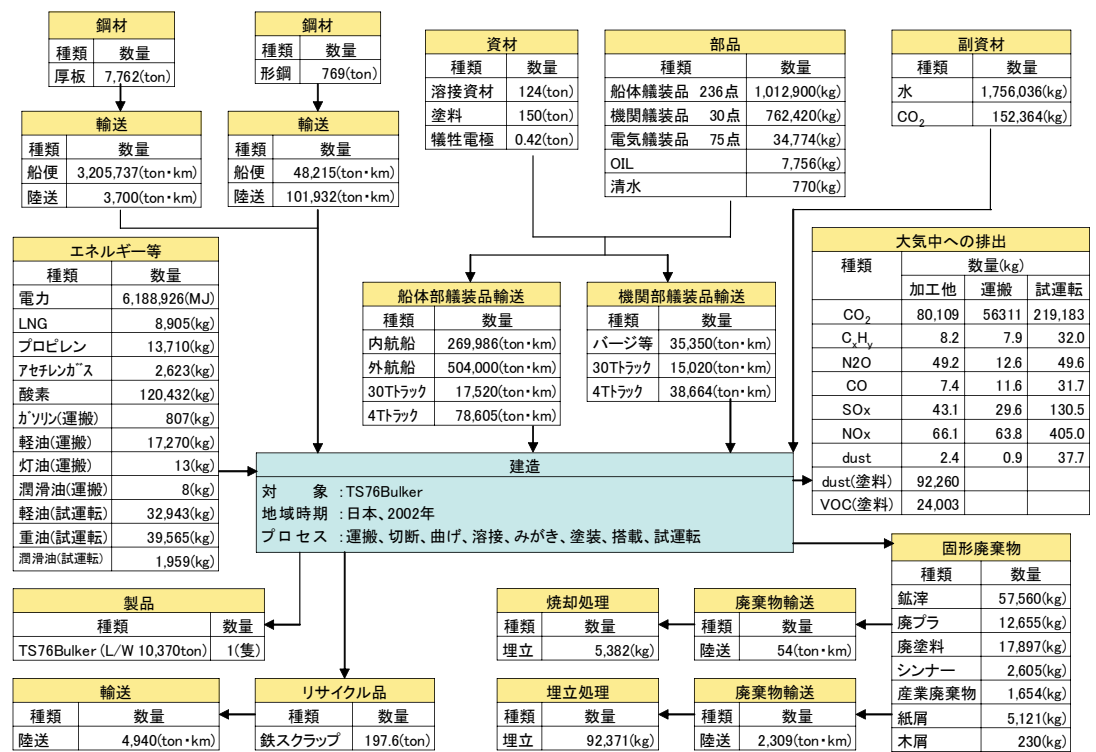


図 -5. 8 造船所における入出力データ

表 -5. 35 使用電力内訳

作業	項目	電力量(kWh)
直接	スキッド定盤	1117
	NC切断	234667
	曲げ	18450
	溶接	120419
	ガウジング	79120
	クレーン	89775
	水切りクレーン	3483
間接	コンプレッサ	326774
	照明	112350
	換気	117209
	空調	233429
	ドック排水	6769
	陸電投入	6000
事務所部門		195802
設計部門		59351
その他	漏電	85957
計		1690672

溶接の使用電力量は、平均板厚 12.8mm、炭酸ガスアーク溶接、脚長 7mm、ワイヤ径 1.2mm の条件で溶接プロセスデータ表²⁰⁾より電力消費量 0.44kWh/m を求め、これに溶接長 273,680m を乗じて、電力量 120,419kWh を算出した。

クレーン使用の電力量については、外回りクレーン 19 台の平均容量 (251.5kW) と稼働率 (40%)、組立ク

レーン 9 台の平均容量 (102.8kW) と稼働率 (50%)、加工クレーン 26 台の平均容量 (39.7kW) と稼働率 (69%) から全 54 台の平均稼働容量 57.2kW を求め、これに負荷率 0.5、作業時数 3139H を乗じて、電力量 89,775kWh を算出した。

漏電は全電力量の 5% とした。その他の項目の算出根拠はすでに記載しているのでここでは割愛する。

その結果、個々の作業の積算電力量は 1,690,672kWh であり、全体の電力量との誤差は 2% に満たない。従って、調査した入出力データは妥当なものであると判断した。

5.4 インベントリ・プロセスデータ

インベントリ分析に使用したプロセスデータの出典を以下に示す。それぞれのデータにおいては、本解析で対象となる資源、CO₂ 及び固形廃棄物のデータのみを計算し、他の消費資源や排出物等は省略した。

- (1) 電力の製造
JEMAI-LCA¹⁵⁾ の電力 -JAPAN の値を使用した。
- (2) プロピレンの製造
JEMAI-LCA の Propylene の値を使用した。

(3) アセチレンガスの製造

JEMAI-LCA の CaO の値を使用した。

(4) ガソリンの製造

JEMAI-LCA の Gasoline の値を使用した。

(5) 軽油の製造

JEMAI-LCA の Diesel の値を使用した。

(6) 灯油の製造

JEMAI-LCA の Kerosene の値を使用した。

(7) 重油の製造

JEMAI-LCA の Heavy oil の値を使用した。

(8) OIL の製造

JEMAI-LCA の Diesel の値を使用した。

(9) 厚板の製造

日本鉄鋼連盟の厚板の値を使用した。なお、これはインベントリデータである。

(10) 形鋼の製造

日本鉄鋼連盟の形鋼の値を使用した。なお、これはインベントリデータである。

(11) 溶接材の製造

日本鉄鋼連盟の特殊鋼の値を使用した。なお、これはインベントリデータである。

(12) 塗料の製造

JEMAI-LCA の Bisphenol-A の値を使用した。

(13) 犠牲電極の製造

JEMAI-LCA の Al ingod の値を使用した。

(14) 酸素の製造

JEMAI-LCA の酸素（深冷分離）の値を使用した。

(15) 断熱材の製造

JEMAI-LCA の PUR 硬質ウレタンボードの値を使用した。

(16) PVC の製造

JEMAI-LCA の PVC の値を使用した。

(17) 船体艀装品の製造

船体艀装品等の部品の製造プロセスデータは製造工程を省略し、及び構成する素材の種類を簡略化して、プロセスデータとした。すなわち船体艀装品は、部品

表を検討の結果、鋼材と断熱材とみなし、その重量比は鋼材：断熱材＝996,300kg：16,600kg＝0.983611：0.016389とした。

(18) 機関艀装品の製造

機関艀装品は、部品表を検討の結果、鋼材、清水、OILとみなし、その重量比は鋼材：清水：OIL＝762,420kg：770kg：7,756kg＝0.988941：0.000999：0.01006とした。

(19) 電気艀装品の製造

電気艀装品は、鋼材：PVC＝0.5：0.5とした。

(20) 海上輸送（内航船）

海上輸送（内航船）は JEMAI-LCA の Ferry の値を使用した。

(21) 海上輸送（外航船）

JEMAI-LCA の Ferry の値を使用した。

(22) 海上輸送（バージ）

JEMAI-LCA の Ferry の値を使用した。

(23) トラック輸送（30 トン）

JEMAI-LCA の Truck diesel 20ton の値を使用した。

(24) トラック輸送（4 トン）

トラック輸送（4 トン）並びにリサイクル品輸送は JEMAI-LCA の Truck diesel 4t の値を使用した。

(25) 構内運搬

造船所内で使用される運搬機器の燃料代をもとに算出した燃料、及びそれら燃料を使用して運搬作業を行ったときの排出物発生量の値を使用した。

(26) マーキング・切断

NC 切断装置の使用電力量、ガス切断のガス使用量及びそれら燃料を使用して切断作業を行ったときの排出物発生量の値を使用した。

(27) 曲げ

曲げ装置の使用電力量及び加熱用ガスの使用量、燃料を使用したときの排出物発生量の値を使用した。

(28) 溶接

調査を行った造船所の溶接電力量、溶接ワイヤ量、CO₂ 使用量の使用実績に基づいて、プロセスデータを作成した。

(29) ガウジング

ガウジングに関する造船所の電力使用量に基づいて、プロセスデータを作成した。

(30) 準備、みがき、塗装、搭載、検査作業

準備、みがき、塗装、搭載、検査作業については建造データとして与えられている数値をそのまま使い、特段の考慮はしなかった。

(31) 試運転

試運転方案、残油協定等に基づき、1 式の試運転に使用した重油、ディーゼル油が燃焼し、その他の油は固形廃棄物として排出されるものとしてプロセスデータを作成した。重油、ディーゼル油の燃焼は JEMAI-LCA のそれぞれの値を使用した。

(32) リサイクル品輸送

JEMAI-LCA の Truck diesel 4t の値を使用した。

(33) 廃棄物輸送

JEMAI-LCA の Truck diesel 2t の値を使用した。

(34) 埋立

JEMAI-LCA の Landfil の値を使用した。

5.5 インベントリ分析

76,000 トン型撒積貨物船の建造におけるインベントリ分析の解析結果を以下に示す。

5.5.1 解析結果

5.2.2(3) 項で示した手順により、プロセスフロー、プロセスデータ及び素材等の製造インベントリデータに基づいて 76,000 トン型撒積貨物船の建造に関するプロセス行列 (AB) を作成し、解析した。以下にその結果を示す。

5.5.2 経済的入出力 (プロセス量)

プロセス行列 (AB) の経済的入出力部 (A) の逆行列から求めたプロセス量行列 (P) を表 -5.36 に示す。対象船の建造に必要な総電力量は $6,649\text{GJ} = 1,850\text{MWh}$ となっているが、これには鉄の製造プロセスのための電力は含まれない。計算に使用したデータがインベントリデータであるためである。造船所で消費される電力は 図 -5.8 の入出力データのエネルギー等 に示される電力から $6,189\text{GJ} = 1,719\text{MWh}$ であった。

表 -5.36 プロセス量行列

電力	6648802 (MJ)
プロピレン	13710 (kg)
アセチレンガス	2623 (kg)
ガソリン	807 (kg)
軽油	50213 (kg)
灯油	13 (kg)
重油	39565 (kg)
OIL	9723 (kg)
厚板	9538124 (kg)
形鋼	769000 (kg)
溶接材	116588 (kg)
塗料	519040 (kg)
犠牲電極	420 (kg)
清水	770 (kg)
酸素	120432 (kg)
炭酸ガス	152364 (kg)
断熱材	16600 (kg)
PVC	17387 (kg)
船体外艀装品	1012900 (kg)
機関艀装品	770964 (kg)
電気艀装品	34774 (kg)
内航船輸送	3523938 (ton・km)
外航船輸送	504000 (ton・km)
バージ輸送	35350 (ton・km)
30トントラック輸送	138172 (ton・km)
5トントラック輸送	112329 (ton・km)
設計作業	1 (式)
計画作業	227 (h)
準備作業	5966 (h)
運搬作業	1 (式)
マーキング・切断作業	1 (式)
曲げ作業	1 (式)
溶接作業	273680 (m)
ガウジング作業	391 (kWh)
みがき作業	106369 (m ²)
塗装作業	1 (式)
クレーン作業	1 (式)
検査作業	0 (箇所)
試運転作業	1 (式)
リサイクル品輸送	4940 (ton・km)
廃棄物輸送	2363 (ton・km)
埋立処理	92371 (kg)
TS76Bulkер	1 (隻)

5.5.3 環境的入出力

プロセス行列 (AB) の経済的入出力部 (A) の逆行列から求めた環境負荷行列 (Q) を表 -5.37 に示す。76,000 トン型撒積貨物船の建造に関する CO₂ の排出量は 15,360ton、NO_x 排出量は 17,714kg、SO_x 排出量は 12,560kg であった。

表 -5.37 環境負荷量行列

環境からの 入力 (資源)	石炭	-5299659	(kg)
	原油	-997497	(kg)
	天然ガス	-432093	(kg)
	水	-85316354	(kg)
	鉄鉱石	-14505273	(kg)
	ボーキサイト	-1761	(kg)
スクラップ	鉄スクラップ	-681580	(kg)
環境への 排出	CO ₂	15359768	(kg)
	CH ₄	18	(kg)
	CxHy	298	(kg)
	N ₂ O	156	(kg)
	HFCs	0	(kg)
	SF ₆	0	(kg)
	NM VOC	35	(kg)
	CO	218881	(kg)
	Halons	0	(kg)
	CH ₃ Br	0	(kg)
	SO _x	12560	(kg)
	NO _x	17714	(kg)
	dust	3771	(kg)
	waste water	24466298	(kg)
	固形廃棄物	821264	(kg)

(1) CO₂ 排出源の内訳

CO₂ 排出量について、プロセスごとの内訳を図-5.9に示す。厚板の製造に係わるCO₂ 排出量が85.7%、形鋼の製造が3.3%、溶接材0.7%と、鋼材関係で全体の89.7%を占めた。電力の製造は5.1%であった。部品の製造プロセスを素材の重量のみ考慮したため、CO₂ 排出は主として鋼材及び電力の製造に関するプロセスから排出される結果となった。

(2) NO_x 排出源の内訳

NO_x 排出量について、プロセスごとの内訳を図-5.10に示す。厚板の製造79.2%に形鋼、溶接材の製造を加えて、鋼材関係で全体の82.4%を占めるが、ここで特に目立つのは海上輸送内航船の7.8%をはじめとする、輸送・運搬関係からの排出が10%を越えている。

(3) SO_x 排出源の内訳

SO_x 排出量について、プロセスごとの内訳を図-5.11に示す。排出量分布はCO₂ の場合と近い傾向を示している。

5.5.4 造船所の区分による環境的入出力

5.5.3で述べた環境的入出力は資材の製造から船舶の完成までをひとつのプロセスとしてみた結果であり、たとえば資材の製造に使う電力も造船所で使用する電力も区分せずに、電力の製造による環境負荷を計算した。ところが、造船所の立場からすると、造船所で船を製造する際の環境負荷を明らかにしたい。これ

により、環境負荷低減の方策を立てやすくなる。そこで、造船所の区分による環境的入出力を計算した。たとえば、鋼材は船殻材として直接使用される他、艀装品等にも使用されているので、艀装品に使用される鋼材の製造に伴う環境負荷は艀装品の環境負荷として組み入れるといった方法である。以下、計算結果を示す。もちろん、それぞれの環境負荷の合計値は5.6.3の結果と同じである。

(1) CO₂ 排出源の内訳

CO₂ 排出量について、造船所の区分ごとの内訳を図-5.12に示す。鋼材に係わるCO₂ 排出量が72%、素材加工や海上試運転などの造船所の作業に係わる排出が約5.9%、また造船所への部品の搬入・輸送に係わる排出が1.1%を占めた。更に、鉄を主な原料とする船体艀装品、機関艀装品に関わるCO₂ 排出量は約16%を占めた。工場電力からは4.7%であった。

(2) NO_x 排出源の内訳

NO_x 排出量について、造船所の区分ごとの内訳を図-5.13に示す。厚板、形鋼を加えて、鋼材関係で全体の66.3%を占めるが、ここで特に目立つのは船体外艀装品、機関艀装品、海上輸送内航船がそれぞれ6.3～8.5%を占めていることである。

(3) SO_x 排出源の内訳

SO_x 排出量について、造船所の区分ごとの内訳を図-5.14に示す。排出量分布はCO₂ の場合と近い傾向を示している。

5.6 まとめ

本章では76,000トン型撒積貨物船を対象として、その建造工程の実態を詳細に調査し、物質、エネルギー、作業等の入出力量を明らかにした。また、得られたデータを基にインベントリ分析を実施し、実船の建造段階での環境負荷を明らかにした。非常に綿密な調査がなされ、精度の高い解析結果が得られたものと考ええる。

しかしながら、解析では、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汎用のデータベース等から使用し、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。また、部品の製造プロセスを素材の重量のみの考慮にとどまった。これらは、次のステップでの課題と考える。

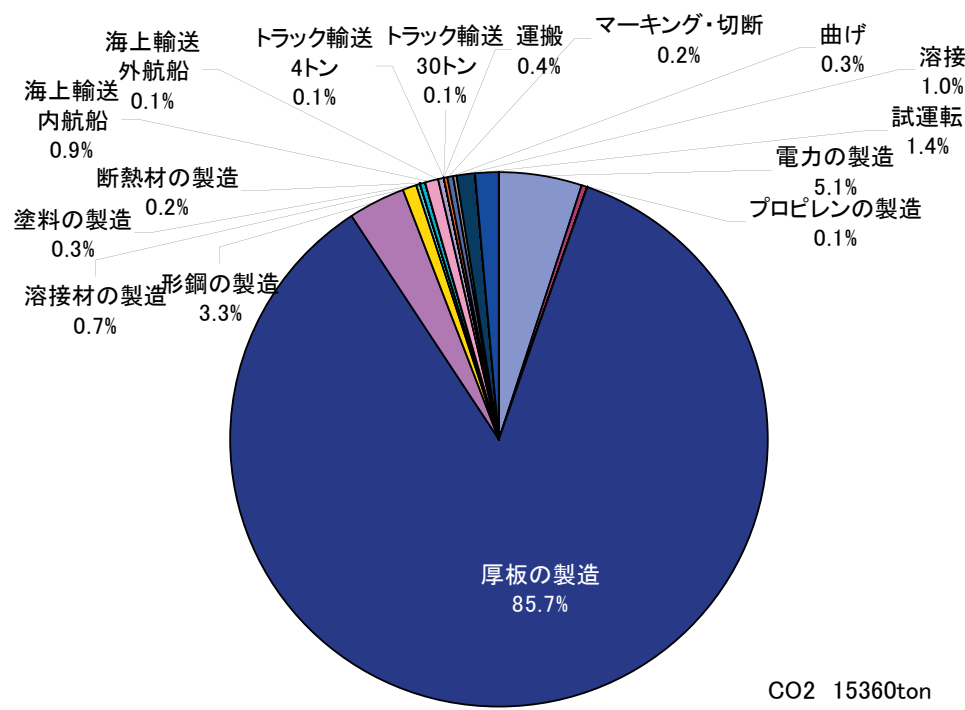


図-5.9 CO₂ 排出源の内訳

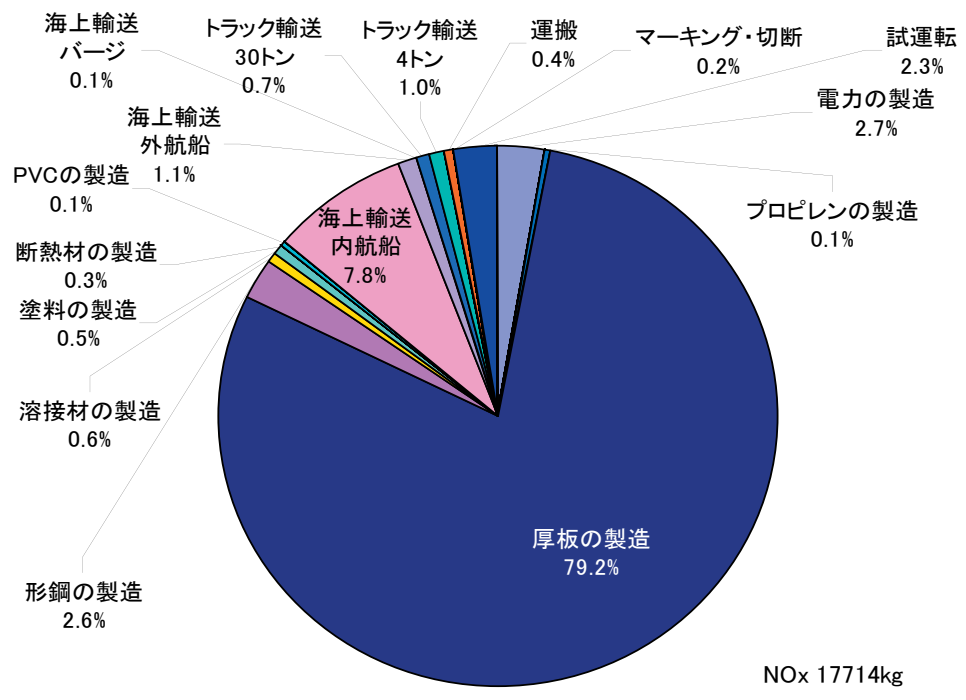


図-5.10 NO_x 排出源の内訳

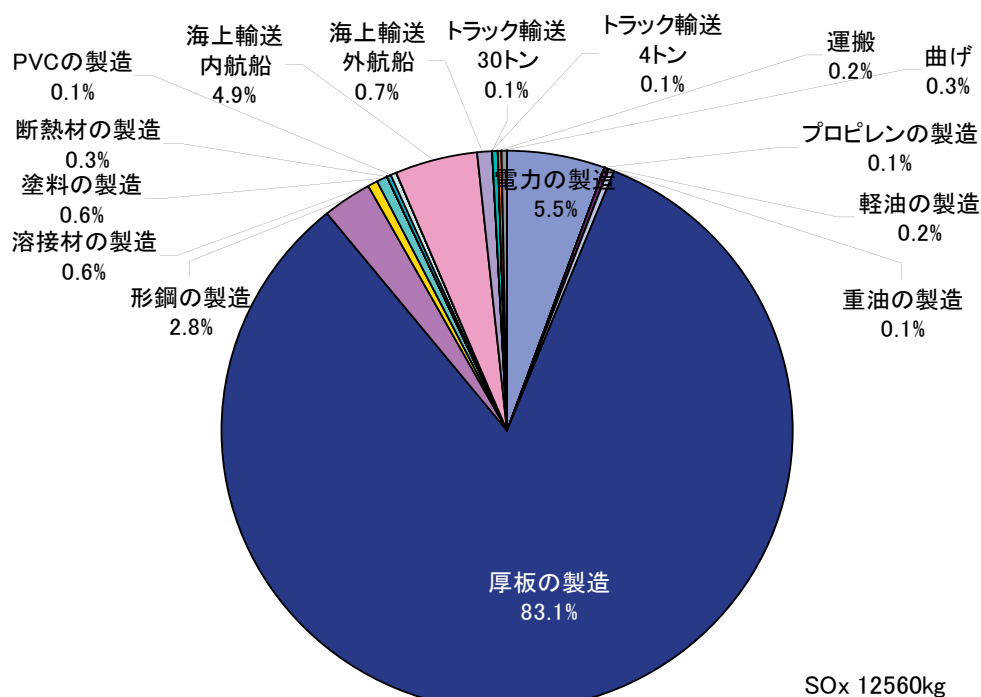


図-5.11 SO_x 排出源の内訳

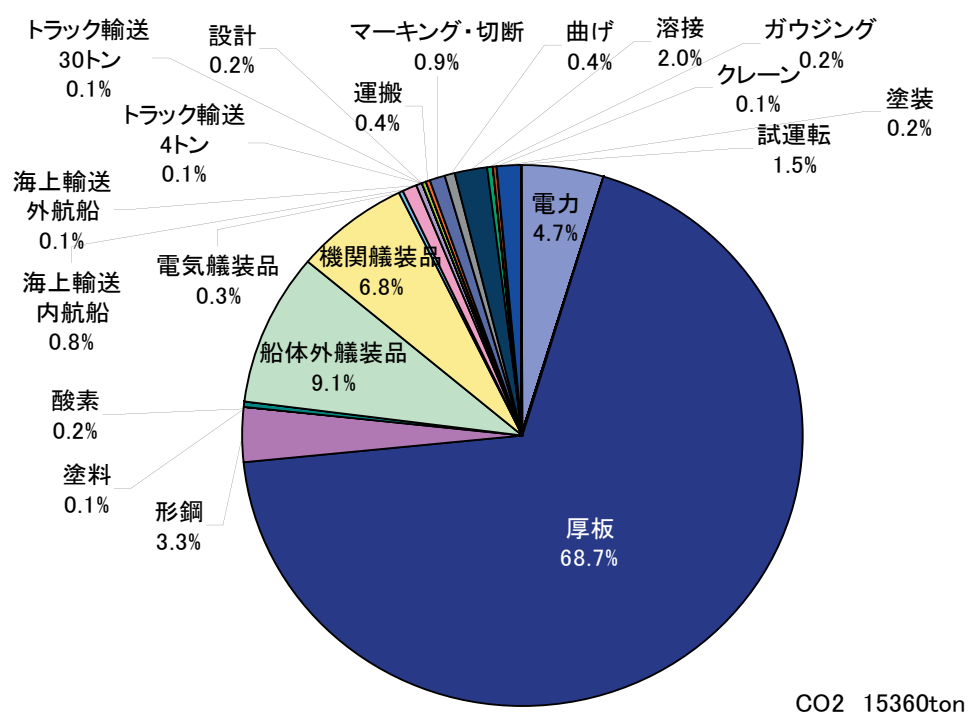


図-5.12 造船所の区分ごとのCO₂ 排出内訳

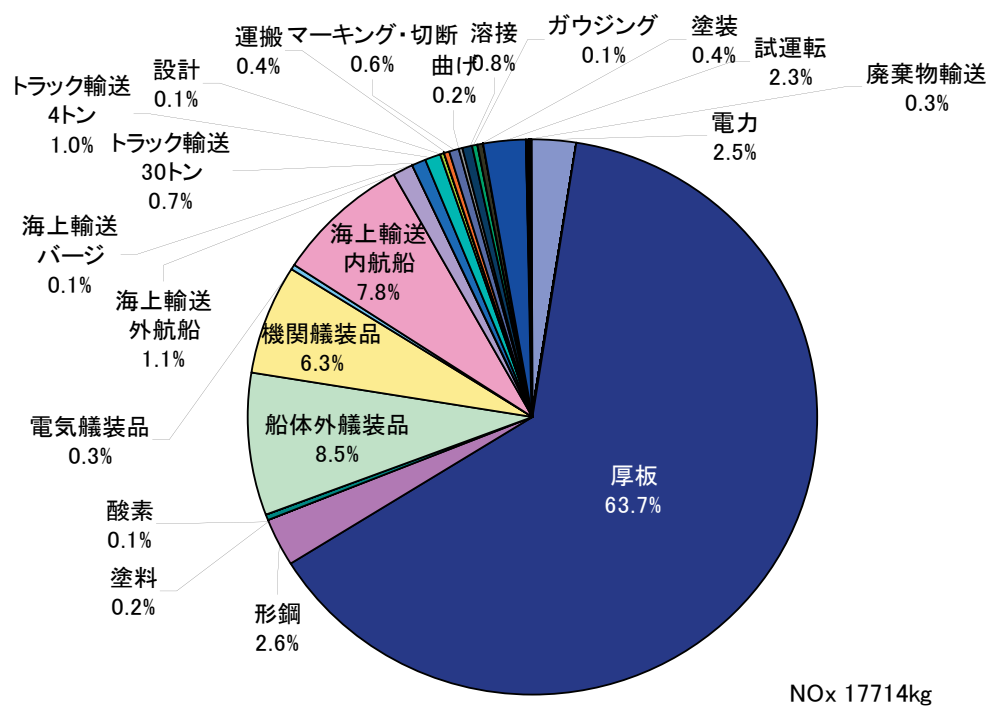


図-5.13 造船所の区分ごとのNO_x排出内訳

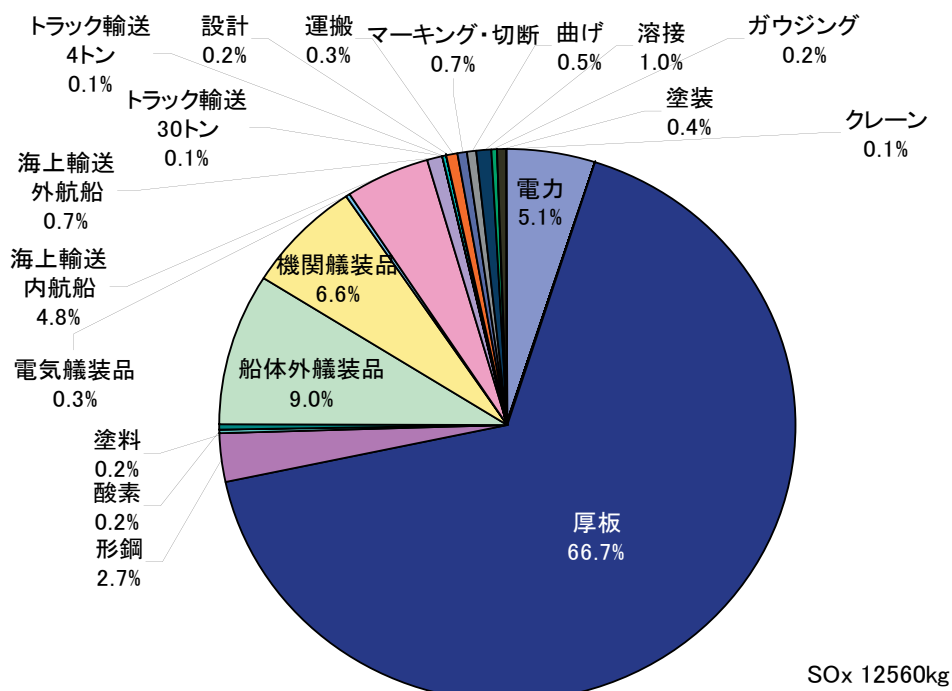


図-5.14 造船所の区分ごとのSO_x排出内訳

6. 運行

船舶のLCI分析では、特にCO₂の排出量に関しては、約98%が運航段階で排出されており、運航段階のインベントリーデータの信頼性が船舶のLCIの重要な要素となる。そこで実際の運行状況を運航記録に基づき調査し分析を進めてきた。日本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撒積船および一般貨物を輸送する大型コンテナ船に関してはすでに報告している¹⁰⁾。6.1 船舶の運航状況では新たな船種として自動車を専用運搬する自動車運搬船（PCC船）と液化天然ガス（LNG）を運搬するLNG船の運航記録に基づき運行状況を調査した。さらに船のサイズの影響を調査する目的で撒積船とコンテナ船の運行状況を調査し、既報の結果と比較する。

また、これまで船舶の運航に関するライフ・サイクル・インベントリー（LCI）分析は、CO₂排出量に関してタンカーや撒積運搬船を対象に2港間での航走と荷役に関して実施してきた。²¹⁾しかし、日本の海上貿易で使用する船種やその運航形態は多種多様であり、また、解析対象とする環境負荷物質も広範囲に及ぶため、船種の特性を考慮した解析方法を整備することが求められている。

そのため、6.2 船舶運航のインベントリー分析では、日本の海上貿易で使用される代表的な船種と考えられるタンカー、LNG船、撒積貨物船、コンテナ船及び自動車運搬船（PCC）を対象に、運航記録の調査結果に基づいて船舶運航のLCI分析を行い、船舶運航に関するインベントリーデータとして、単位輸送量でのCO₂、NO_x及びSO_x等の環境負荷物質の排出量を明らかにする。

6.1 船舶の運航状況

6.1.1 自動車運搬船の運航分析

（1）調査した船の要目概要

表-6.1に今回調査した船の要目を示す。就航は1994年1月で、1999年12月現在59航海次を済ませている。この間1996年8月と1999年1月の2回、約2.5年間隔で入渠している。

主機関およびディーゼル発電機の燃料消費率は、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。補助ボイラーの燃料消費率は給水温度60℃、ボイラー効率80%、負荷100%として算出した。

図-6.1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入熱量と補助ボイラーの入熱量を

表-6.1 自動車運搬船の概要

総トン数	41,931	T
満載排水量(Δ)	28,620	ton
軽荷重量(LW)	11,437	ton
載貨重量(DW)	17,183	ton
自動車搭載数	4,515	unit
満載航海速力	18.8	kn
主機関連続最大出力	10,810	kW x 110 rpm
常用出力	9,730	kW x 106 rpm
燃料消費率	173.1	g/kWh(C重油)
ディーゼル発電機出力	800	kW x 3 sets
燃料消費率	218	g/kWh(C重油)
補助ボイラ蒸発量	1.5	t/h x 0.6 MPa
燃料消費率	0.116	t/h

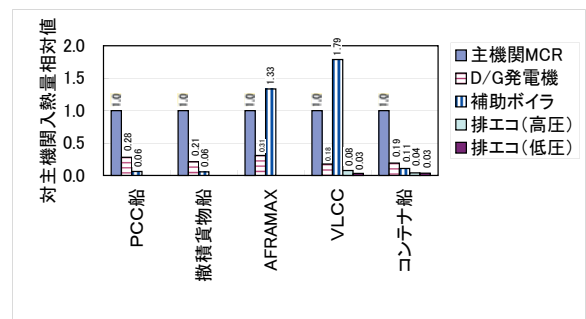


図-6.1 エンジン・ボイラーの定格入熱量比較

比較して示す。同図には既報¹⁰⁾の船種の入熱量比較を併せて示した。本船は、発電機、補助ボイラーの定格熱容量が撒積貨物船と同程度の容量割合を持っている。

（2）航海概要

本船は、表-6.2に示すように世界各地の自動車の製造地域から需要地域へ自動車を輸送しており、その運航形態は多様である。

一航海は積荷・輸送・揚げ荷の各航海、さらに積荷を次に行うところまでの空荷航海をもって一航海次とされる。表-6.2では日本から豪州、紅海・ペルシャ湾、南米方面などへの航海はこのような運航が行われている。一方、日本から欧州、北米向けの航海では揚げ荷地の北米や欧州でそのまま積荷をして日本を含む揚げ荷地へ向けて新たな航海次につく場合があり、全てがバラスト航海を含むわけではない。また、欧州と北米東海岸では双方においてそれぞれ揚げ荷と積荷を行う航海を行う場合があり、表-6.2の9航海がそれである。

表-6.2の積荷地日本には韓国を含んでおり、さらに日本から欧州向け航路では、タイ、インドでも積荷を行う場合がある。また、揚げ荷地日本には台湾、韓国を含んでいる。

表-6.3に59航海次全航海の積算値から算出した一航海平均の航海状況を日豪航路の平均航海状況と比較して示す。航走時間（Hours Under Weigh）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。停泊時間は港内滞在時間（Hours in Port）である。表-6.3の航海の中で最大に荷物を積んだ最大積載時の航走速度は、満載航海速度の90～95%程度である。集荷、揚げ荷のための寄港数が多く、またそのための航走距離も多く、バラスト航海の割合が少ない。

表-6.4に積荷地別に最大積載航海時の平均積載状況を示す。平均積載率はユニット数ベースで73%、重

量ベースで載荷重量の27%とかなり低い値である。ユニットあたりの重量は、全航海平均に対して欧州、北米東岸発の貨物の方が大きい。排水量、載荷重量、軽荷重量から算出したバラスト量は積載航海時と空荷航海時とでほとんど差がない。

表-6.5に一航海平均の輸送量を示す。最大積載航海時の輸送量が80%を占める。

図-6.2に各航海次数の2000マイル以上の航路区間

表-6.2 自動車運搬専用船の航路別航海次数

積荷地		揚荷地	航海次数	復路バラスト航海数	航海次数小計
日本 ¹⁾		欧州	8	2	34
		北米西岸	7	5	
		北米東岸	4	2	
		豪州	7	7	
		紅海・ペルシヤ湾岸	5	5	
		南米	2	2	
		カリブ海	1	1	
欧州		北米東岸	9	—	15
		北米東岸・西岸(日本)	3	—	
		ペルシヤ湾岸・東南アジア	1	—	
		日本	2	—	
北米	東岸	欧州	9	—	10
		ペルシヤ湾岸	1	—	
	西岸	日本(復路) ²⁾³⁾	(3)	—	
合計			59	24	—

- 1)積荷地日本に韓国・タイ・インドを含む。
2)揚荷地日本に台湾・韓国を含む。
3)この3航海は日本から北米向けへの航海次数に含まれ、復路が積荷航海のもの。

表-6.3 平均航海状況

平均航海状況		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 /HUV)	停泊時間 (Hburs in Port)	荷役寄港数	平均寄港時間
		miles		hr	hr	%	kn	hr		hr
全航海平均	集荷航海	837	7%	69	47	68%	12.2	105	3.5	29.8
	最大積載航海	5,693	50%	334	319	95%	17.0	7	—	—
	揚荷航海	1,631	14%	109	90	82%	15.0	53	3.6	15.0
	バラスト航海	3,247	28%	185	177	95%	17.5	2	—	—
	一航海合計	11,408	100%	697	632	91%	16.4	167	—	—
日豪航路	集荷航海	1,036	9%	91	56	61%	11.3	140	4.7	29.7
	最大積載航海	3,597	30%	204	195	96%	17.7	—	—	—
	揚荷航海	3,108	26%	193	174	90%	16.1	58	4.3	13.6
	バラスト航海	4,293	36%	240	234	97%	17.9	—	—	—
	一航海合計	12,034	100%	729	660	91%	16.5	198	—	—

表-6.4 積荷地別に示した最大積載時の平均積載状況

積荷地	排水量	搭載Units	載荷重量	t/unit	バラスト
	% Δ	%Max	%DW		% Δ
日本	80%	85%	29%	1.3	23%
欧州	82%	54%	29%	2.1	24%
北米東岸	75%	32%	19%	2.4	23%
北米西岸	68%	23%	8%	1.3	23%
全航海平均	79%	73%	27%	1.4	23%
バラスト航海平均排水量	64%	—	—	—	24%
軽荷重量(LW)	40%	—	—	—	—

における航海速度（航進速度）を空荷航海時（Ballast）および最大積載航海時（Laden）とで比較して示す。Ballast 時の速度がわずかに大きい。直線は線形回帰線を示すが、速度は100 航海で9～12% 程度の低減傾向を示す。

各航海次の最大積載航路区間の平均プロペラ回転数を図-6.3に、主機関平均負荷率を図-6.4に示す。バラスト時と最大積載時とで大差なく運航されている。航海次数に対する変化はプロペラ回転数が100 航海で5～6% 程度、平均負荷率が100 航海で9～10%

表-6.5 一航海当たりの平均輸送量

	輸送量		
	MUnit-mile	MTon-mile	%
集荷航海	1.8	2.5	8%
最大積載航海	18.4	26.1	81%
揚荷航海	2.5	3.6	11%
一航海合計	22.7	32.3	100%

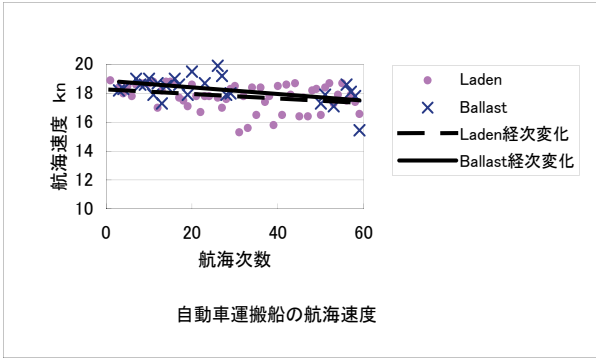


図-6.2 自動車運搬船の航海速度

程度の低減傾向である。

(3) 燃料消費量とエンジン負荷率

表-6.6に燃料油と潤滑油の一航海あたりの機関別平均消費量を示す。C重油の消費割合は主機関が92.7%、ディーゼル発電機が5.6%で、補助ボイラーはほとんど港内だけの消費で1.6%である。ディーゼル油は停泊時のディーゼル発電機によるものが88%と大部分を占める。

表-6.7に燃料消費量と航走時間から算出したエン

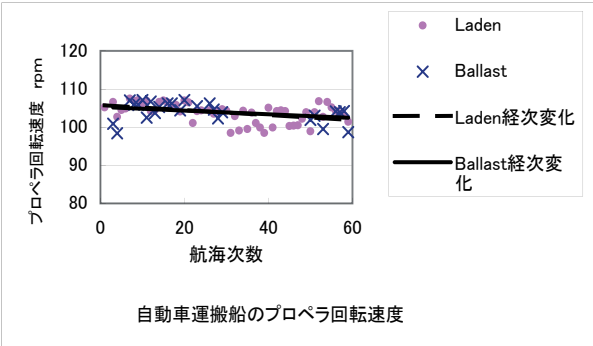


図-6.3 自動車運搬船のプロペラ回転速度

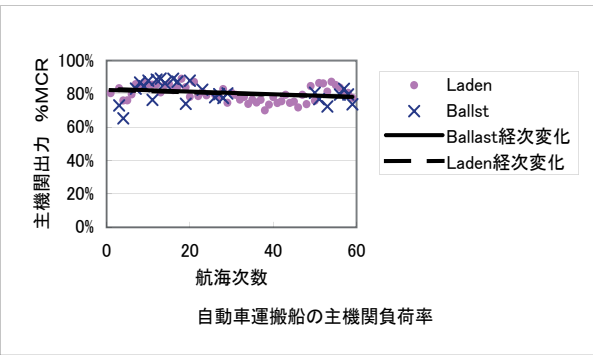


図-6.4 自動車運搬船の主機関負荷率

表-6.6 一航海当たりの燃料油・潤滑油消費量

平均消費量／一航海	C重油			ディーゼル油		システム油	シフト油
	1,099 (ton)			15.0 (ton)		5,173 (liter)	12,872 (liter)
内 訳	航走時	港内	一航海	航走時	港内	一航海	一航海
Main Engine	89.4%	3.3%	92.7%	0.3%	2.9%	3.1%	88.3%
Diesel Generator	4.2%	1.5%	5.6%	9.0%	87.9%	96.9%	11.7%
Aux. Boiler	0.0%	1.6%	1.6%	—	—	—	—
合 計	93.6%	6.4%	100%	9.3%	90.7%	100%	100%

表-6.7 エンジン・補助ボイラーの平均負荷率

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
集荷航海	56%	28%	0%	11%	94%	87%
最大積載航海	79%	41%	0%	10%	115%	104%
揚荷航海	68%	35%	0%	14%	121%	95%
バラスト航海	80%	39%	1%	—	—	—
一航海平均	75%	41%	0%	12%	103%	90%

表 -6.8 輸送量当たりの燃料・潤滑油消費量

油類種別消費量	単位	PCC船		撒積貨物船		AFRAMAX		VLCC		コンテナ船	
C重油	ton	1,099	97.3%	1,262	98.1%	862	98.7%	2,979	98.7%	7,629	98.0%
ディーゼル油	ton	15	1.3%	4	0.3%	3	0.4%	3	0.1%	62	0.8%
Cylinder Oil	ton	11	1.0%	14	1.1%	7	0.8%	34	1.1%	83	1.1%
System Oil	ton	5	0.4%	6	0.5%	2	0.2%	4	0.1%	11	0.1%
全油種合計消費量	ton	1,130	100%	1,286	100%	873	100%	3,020	100%	7,785	100%
1航海輸送量	Mt・mile	35		641		235		1,759		925	
油類消費量／輸送量	g/t・mile	32.3		2.0		3.7		1.7		8.42	

ジンと補助ボイラーの平均負荷率を示す。主機関の平均負荷率は最大積載航海時およびバラスト航海時ともに約 80% で常用出力の負荷率 90% より低い。ディーゼル発電機は航走時に単機定格出力の約 40%、停泊時に約 100% で運転されている。補助ボイラーは航走時にはほとんど使用されず、停泊時は約 90% とほぼ定格で運転されている。

表 -6.8 に、一航海あたりの燃料・潤滑油の消費量と単位輸送量当たりの油類消費量を、既報の船種の結果¹⁰⁾と併せて示す。潤滑油の消費量は、比重を 0.89 として重量に換算して示した。C 重油の消費割合はいずれの船種においても 98% 以上を占める。シリンダ油は約 1% である。システム油は少量であるが、PCC 船と撒積貨物船の消費割合が他の船種と比較すると多い。自動車の海上輸送は重量基準の輸送量あたりで比較すると他の貨物に比較して大量の油類を消費している。しかし、これは単純に比較するものではなく、貨物の経済的な価値をも考慮した比較が必要である。

6.1.2 LNG 船の運航分析

(1) 調査した船の要目概要

表 -6.9 に今回調査した船の要目を示す。また、表 -6.10 にタンク容積 125,000 m³クラスの LNG 船数隻の主要目を比較して示す。今回調査した船は、インドネシアのパダック（ボンタン港）から日本へLNGを輸送する船で、就航は1993年3月で、1998年12月現在122航海次を済ませている。この間1995年5月と1997年7月の2回、約2.2年間隔で入渠している。1980年代の船と比較すると、やや大きいタンク容積と同じ満載航海速度を有しているのに対して、所要主機関出力がその80%と小さくなっており、輸送の効率化がなされている。

表 -6.9 LNG 船の概要

LNG船主要目	
総トン数 (GT)	106,151 T
満載排水量 (Δ)	97,462 Mt
載荷重量 (DW)	67,554 Mt
軽荷重量 (LT)	29,908 Mt (推定)
載荷容積	127,550 m3
液荷比重量	0.530 t／m3
満載航海速力	19.3 kt
主機関	
連続最大出力 (MCR)	32,000 PS x85rpm (23536 kW)
常用出力	100 %MCR xrpm
燃料消費率	276 g/kW・h (C重油) 156 t／day
発電機	
ディーゼル発電機 (D／G)	1,380 kW x1台
燃料消費率	200 g/kWh (C重油)
ターボ発電機 (T／G)	2,500 kW x2台
ボイラ	
蒸発容量MAX	55 t/h x2台
常用	50 t/h

(2) 航海概要

表 -6.11 に LNG 仕向地と平均航海距離を示す。多くの航海はほとんど同じ航路を使用してほぼ同じ航海距離を示すが、10% 程度の航海次で航海距離が長くなっている航海（表では Detour と示している）がある。全航海の平均航海距離は約 2,500mile である。

表 -6.11 LNG 仕向地と平均航海距離

仕向地	航海数	平均航海距離		Detour時距離	
		(mile)	(航海数)	(mile)	
大阪	72	2,449	(63)	2,539	2,653
姫路	13	2,499	(12)	2,839	—
知多	5	2,517	(5)	—	—
袖ヶ浦	30	2,575	(27)	2,642	2,722
扇島	2	2,591	(2)	—	—
全航海	122	2,502	—	—	—

図 -6.5 と図 -6.6 に各航海次の航海時間を示す。往航は 6 日から 8 日の航進時間で航海し、入港時間調整のためのドリフティング（漂流）がしばしば行われ、

表 -6.10 LNG 船の概要比較

船名	航路	竣工年	総トン数	載貨重量	タンク容積	速力 (満載)	燃料消費量	主機最大出力	回転速度	ボイラ最大蒸発量	基数
			T	t	m3	kt	(t／d)	(PS)	rpm	t／h	—
播州丸	パダック	1983	104,121	67,055	125,542	19.3	186	40,000	100	72	2
琴若丸	アールン	1984	100,668	70,833	125,199	19.3	186	40,000	105	—	—
Northwest Snipe	豪日	1990	105,010	66,695	127,584	18.5	120	23,300	76	40.4	2
調査した船	パダック	1993	106,151	67,554	127,550	19.3	156	32,000	85	55	2

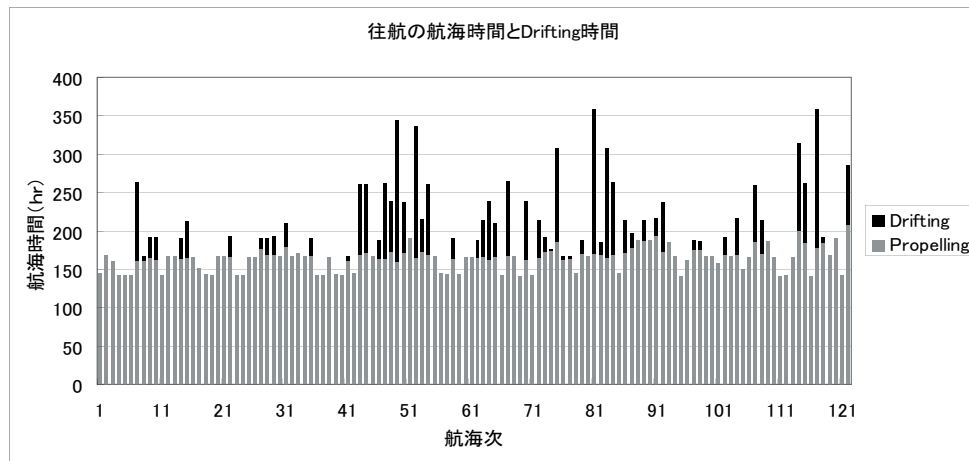


図-6.5 各航海次の航海時間（往航）

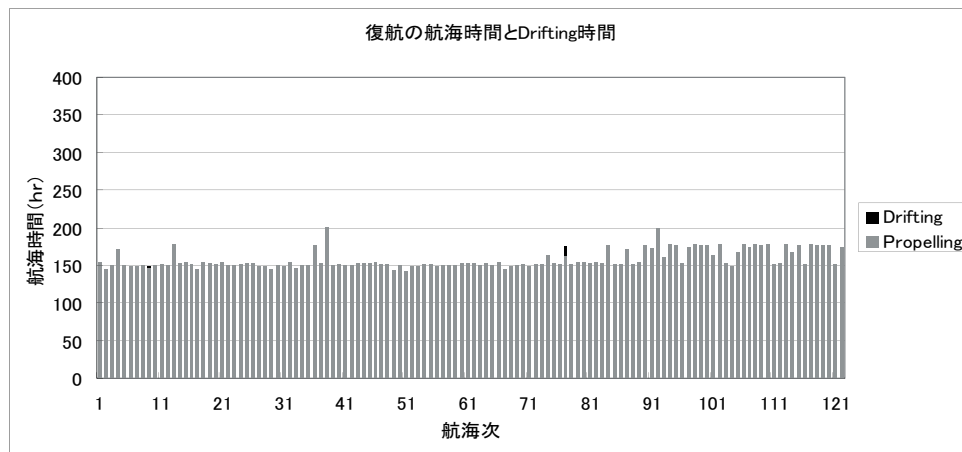


図-6.6 各航海次の航海時間（復航）

時には1週間程度のドリフティングが行われる。復航は6日ないし7日の航進時間で航海し、ドリフティングはほとんど行われない。表-6.12に全航海平均の航海時間を示す。また、表-6.13に平均航進時間を示す。往航のドリフティング頻度はほぼ2航海に1回の割合で平均ドリフティング時間は2日強である。平均航進時間は、往航、復航ともに、時間差（平均）がほぼ24時間（1日程度）の3つのグループに分けられる。この特徴は、出入港時刻、停泊時間にも見られる。図-6.7と図-6.8に各航海次の出入港時刻と港内停泊時間、表-6.14に平均出入港時刻と港内停泊時間を示す。ボンタン港では、平均的に午前8時に入港し、午前3時に出港し、平均停泊時間は20時間である。停泊時間は、第1次航と Dock 後の第51次航、第93次航はタンクの冷却作業が入るため通常より長くなっている。日本各地では、平均的に午前11時半に入港し、出港は午前9時半、平均停泊時間は24時間である。

表-6.12 LNG船の平均航海時間

		航進	漂流	港内	合計	備考	
						漂流頻度	漂流時間
往航	h r	164.2	26.2	20.3	210.7	47%	56.1
	day	6.8	1.1	0.8	8.8	—	—
復航	h r	157.5	0.1	24.7	182.4	1.6%	7.3
	day	6.6	0.0	1.0	7.6	—	—

表-6.13 LNG船の平均航進時間

	航海数	平均	MAX	MIN
往航(全平均)	122	164.2	208.9	140.2
往航1グループ	27	142.7	144.9	140.2
往航2グループ	81	166.8	179.9	150.3
往航3グループ	14	189.9	208.9	183.7
復航(全平均)	122	157.5	201.3	141.4
復航1グループ	89	150.8	160.2	141.4
復航2グループ	31	174.0	178.2	161.8
復航3グループ	2	200.3	201.3	199.3

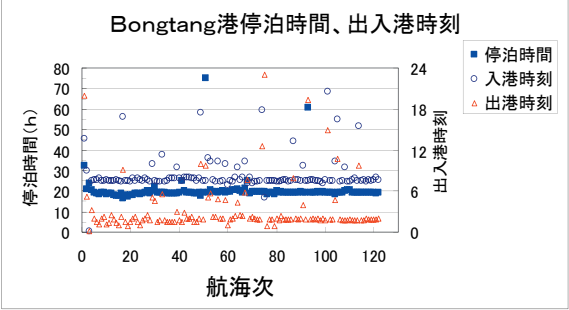


図-6.7 各航海次の停泊時間

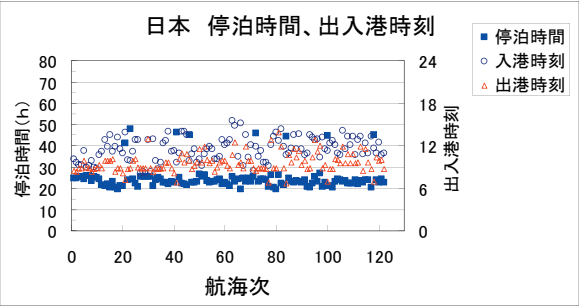


図-6.8 各航海次の停泊時間と出入港時刻（復航）

表-6.14 LNG船の平均出入港時刻と港内停泊時間

		平均 (全122航海)	航海の平均			
		平均	MIN	MAX	サンプル数	
BONTANG	入港時刻	8:20	7:49	5:00	11:20	113
	出港時刻	3:12	2:08	0:10	5:50	110
	港内時間	20.3	19.4	16.3	25.1	119
日本	入港時刻	11:29	11:21	8:10	14:00	117
	出港時刻	9:33	9:24	6:40	12:00	117
	港内時間	24.7	23.3	19.5	26.9	114

図-6.9に各航海次の航海距離と航進時間から算出した平均航海速度を示す。往航の平均速度はおおまかに言って高いグループ（通常航海と呼ぶ）と低いグループ（減速航海と呼ぶ）の2つに分かれている。復航の平均速度は2度目のドックまでは往航速度の中間に位置するが、ドック後の93航次以降は減速航海している。図-6.10に各航海次の平均プロペラ回転速度を示す。往航の通常航海と復航の通常航海（92航次まで）はほぼ同じ回転速度の範囲で運航されている。図-6.11に平均プロペラ回転速度と平均航海速度の関係を示す。プロペラ回転速度と航海速度はほぼ比例しており、復航の航海速度は往航の約95%程度である。表-6.15にこれら通常航海と減速航海の平均プロペラ回転速度

と平均航海速度を示す。通常航海のプロペラ回転速度は約75rpmで最大定格85rpmの約90%、復航の通常航海の平均航海速度16.2ktは満載航海速度19.3ktの約85%になる。

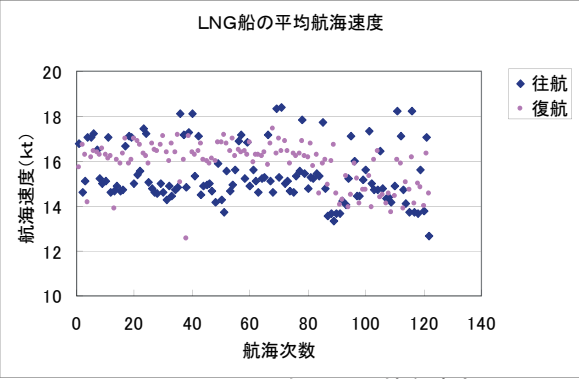


図-6.9 LNG船の平均航海速度

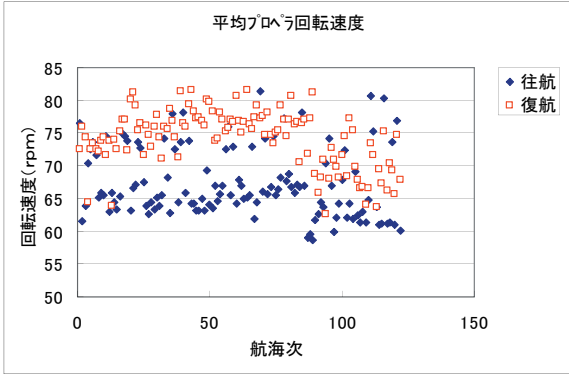


図-6.10 各航海次の平均プロペラ回転速度

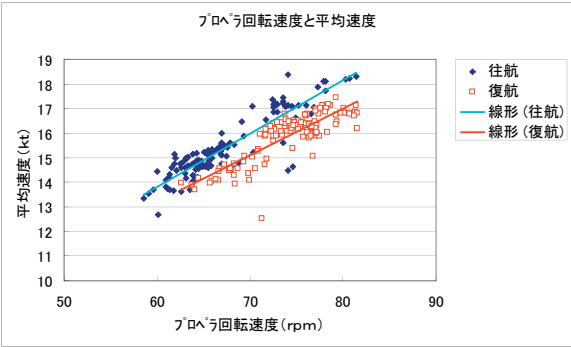


図-6.11 平均プロペラ回転速度と平均航海速度

表-6.15 平均プロペラ回転速度と平均航海速度

		全航海平均	通常航海		減速航海	
			平均	(航海数)	平均	(航海数)
平均回転速度 (rpm)	往航	67.3	74.8	(32)	64.4	(90)
	復航	74.1	75.6	(92)	69.6	(30)
平均速度 (kt)	往航	15.4	17.3	(32)	14.7	(90)
	復航	15.9	16.2	(92)	14.9	(30)

(3) 燃料消費量と主ボイラー負荷率

表-6.16に一航海平均燃料消費量を示す。FOはC重油、DOはA重油、BOGはボイルオフガスである。BOGは燃料の発熱量で換算してFO等価量で示している。一航海1500tの燃料油消費量は、積載貨物LNGの約2%に相当する。図-6.12に一航海平均で消費される燃料の内訳を、航海状態別、航海状態別の燃料種類の内訳及び燃料の種類別の3つのグラフで示した。航海状態別（図上段）では航進状態で約93%、港内で4.3%及び漂流状態で2.5%を占めた。また、一航海で消費した燃料種類別（図下段）では燃料油とBOGの消費割合は約51%と約49%で、ほぼ等しかった。

表-6.16 一航海平均燃料消費量

		単位: ton			
往航	FO	航進	港内	Drifting	小計
	BOG	340.8	11.2	8.5	360.6
	DO	302.5	14.2	27.7	344.4
復航	FO	375.1	33.2	0.1	408.4
	BOG	383.0	6.1	0.2	389.4
	総計	1,401.4	64.8	36.9	1,503.1
合計	FO+DO	715.9	44.4	9.0	769.3
	BOG	685.5	20.4	27.9	733.8

注) BOGは発熱量(1.17倍)で換算したFO等価量

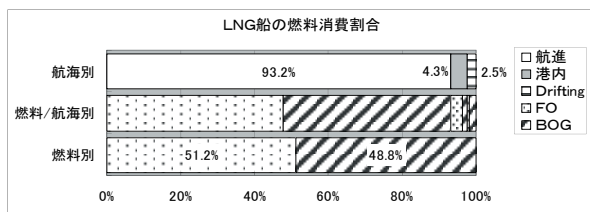


図-6.12 一航海平均燃料消費割合

図-6.13と図-6.14に各航海次の主ボイラーの平均負荷率を示す。平均負荷率は時間あたり燃料消費量の主機関常用出力における燃料消費率に対する割合である。航海中のボイラーの平均負荷率は約50%～90%と幅広く変動している。停泊中およびドリフティング中は約20%程度である。表-6.17に全航海で平均した主ボイラー平均負荷率を示す。航海時の平均負荷率は、往航が約60%、復航が約75%と高い。

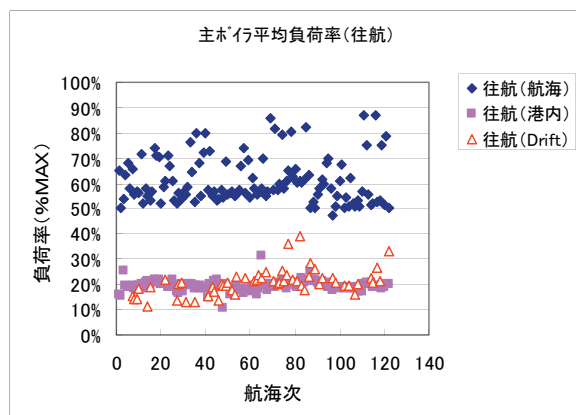


図-6.13 主ボイラーの平均負荷率（往航）

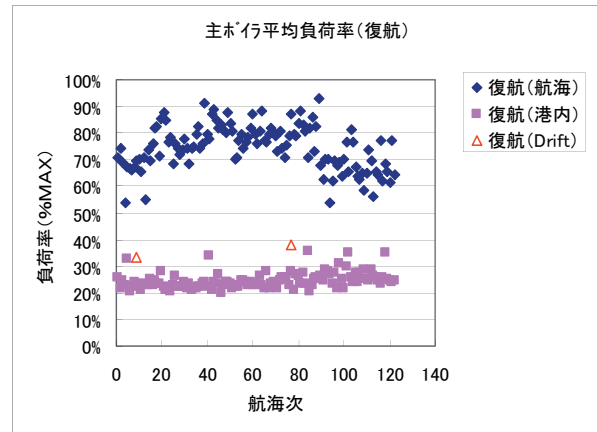


図-6.14 主ボイラーの平均負荷率（復航）

表-6.17 主ボイラー平均負荷率

	航海時	港内	Drift
往航	61.0%	19.4%	20.8%
復航	74.5%	24.5%	35.6%

全航海平均の燃料油とBOGの消費割合はほぼ等しいが、かく航海次では変動している。図-6.15と図-6.16にBOGの消費割合を示す。航海次のBOGの消費割合は約30%～80%の範囲で変動している。往航のドリフティング時のBOG消費割合が高く、復航の港内でのBOGの消費割合が低い。平均のBOGの消費割合を表-6.18に示す。

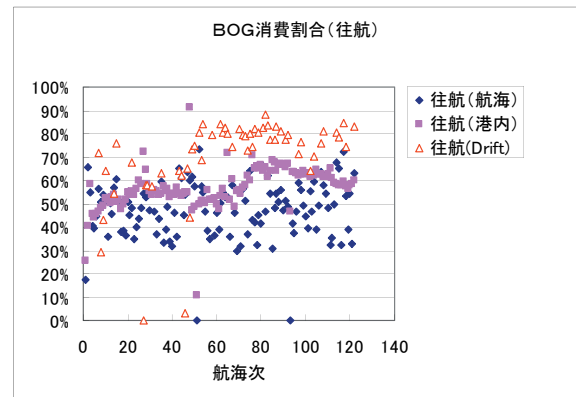


図-6.15 BOGの消費割合（往航）

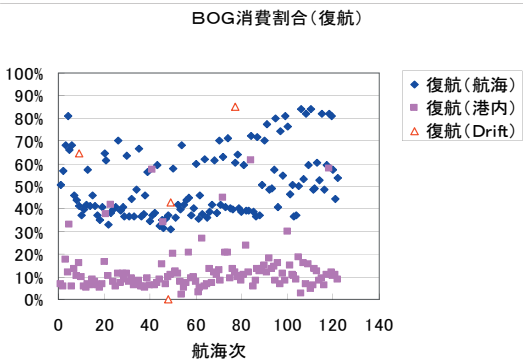


図-6.16 BOGの消費割合(復航)

表-6.18 消費燃料中BOG平均消費割合(熱量基準)

	航海時	港内	Drift	片航海全体
往航	47.6%	57.0%	70.5%	48.6%
復航	50.6%	12.7%	48.0%	48.9%

表-6.19 に一航海平均の清水製造量とボイラー水消費量を示す。ボイラーでの使用量は清水製造量の56%、航海中のボイラー水消費量は25t/日である。

表-6.19 一航海平均清水製造量とボイラー水消費量

	清水製造量	デッキ供給	ボイラー供給		
			小計	航海中消費	停泊時消費
製造・消費量	t	674	297	336	41
対製造量割合	%	100%	44%	56%	6%
平均1日消費量	t/d	-	-	25.0	13.9

表-6.20 にLNG輸送量あたり燃料消費量を示す。全航海においてタンク容積の98%積載されるものとしてLNG輸送量を算出した。単位輸送量あたりのFO消費量は10g/t・mileで、ほぼコンテナ船程度の消費率である。

表-6.20 LNG輸送量あたり燃料消費量

載荷容積	127,550	m3
積載率	98%	
LNG比重量	468.5	kg/m3
LNG輸送重量	58,557	t
平均輸送距離	2,502	mile
輸送量	146.5	百万t・mile
BOG消費量	627.2	t
対LNG輸送量比	1.1%	
等価FO総消費量	1,503	t
等価FO消費量/輸送量	10.3	g/t・mile

表-6.21 にLNG船がオフ・ハイアになって次の航海に出るまでの経過を示す。2回のドックの算術平均で示している。ドック工程の全体は約50日であるが、実際のドック作業としての日数は表中のLyingに示す約2週間と考えられる。

表-6.21 ドックの平均工程

工 程	時間		移動距離 mile(LOG)	燃料消費量(ton/油)		
	hr	(day)		FO	BOG	DO
回航	48	2.0	647.5	113.5	96.9	0.2
Drifting(ガスフリー)	42	1.7	—	38.8	35.0	0.0
Drifting	93	3.9	—	95.4	0.0	0.0
Lying	321	13.4	—	205.7	0.0	9.2
Lying(無稼働)	516	21.5	—	0.0	0.0	1.0
停船/試運転	130	5.4	28.0	117.2	0.0	0.9
合計	1,150	47.9	675.5	570.5	131.9	11.3

6.1.3 撒積貨物船の運航分析

(1) 調査した船の要目概要

表-6.22 に既報で調査した船(B140と呼ぶ)と今回調査した船(B90と呼ぶ)の要目を示す。両船ともに石炭を専用に日本に輸送しており、主要な積荷地は豪州、北米である(表-6.23参照)。B140の就航は1990年7月、2000年6月までに93航海次を経ているがデータを得たのは57航海分である。入渠は3回である。B90の就航は1995年5月、2000年12月までに57航海次を経ており、入渠はほぼ2年に1回行っている。

B140はB90に対して、載貨重量が1.56倍であるが、満載航海速度はほぼ同じで、連続最大出力が1.12倍である。

表-6.22 撒積貨物船の概要

船名記号		B90	B140	相対比*
総トン数(GT)	T	58,098	84,565	1.46
満載排水量(Δ)	Mt	106,337	161,829	1.52
載貨重量(DW)	Mt	91,443	142,235	1.56
貨物倉容積	m3	118,600	181,689	1.53
満載航海速度	kt	14.0	13.7	0.98
主機関				
連続最大出力(MCR)	PS × rpm kW	14,700 × 95 10,812	16,500 × 70 12,136	1.12
常用出力	%MCR × rpm g/PSH(C重油)	90 × 91.7 127.3	85 × 66.3 127.3	1.00
燃料消費率	t/h t/mile			
発電機				
ディーゼル発電機(D/G)	kW × 台	530 × 3	680 × 3	1.28
燃料消費率	g/kWh(C重油)	218	218	
ターボ発電機(T/G)	kW × 台	—	—	
軸発電機(S/G)	kW × 台	—	—	
補助ボイラー				
蒸発容量	t/h	1.7	1.5	0.88
燃料消費率	t/h(C重油)	0.131	0.116	

*)相対比=(B140/B90)

表-6.23 撒積貨物船の航海方面

船名記号	航海方面	航海数	寄港地
B90	豪州	42	New Castle Gladstone Abbot Point
	北米	13	Los Angels Vancouver
	中国	2	Qianwangang Rizhao
	合計	57	
B140	豪州	48	New Castle Hay Point Dalrymple Bay
	北米	3	Los Angels
	南ア	6	Richards Bay
	合計	57	

(2) 航海概要

表-6.24に全航海平均の運航状況を示す。B140の積荷地に南アフリカが入っており、多少航走距離、航海時間が長くなっているが、航走時間と停泊時間の割合、航走速度などはほぼ同じである。平均積載率もほぼ満載状態で等しい。

(3) 燃料消費量とエンジン負荷率

表-6.25に燃料油と潤滑油の一航海あたりの機関別平均消費量を示す。両船ともほぼ同様の消費傾向を有しており、C重油の消費割合では主機関が92%程度、ディーゼル発電機が6%程度で、補助ボイラーはほとんど港内だけの消費で1～2%である。シリンダ油はC重油の約1%程度の消費量である。

表-6.26に単位時間あたり燃料消費量から算出したエンジンと補助ボイラーの平均負荷率を示す。主機関の平均負荷率は積荷航海、空荷航海ともほぼ同じで、80%～85%程度で、常用出力の負荷率より5%程度低い。ディーゼル発電機は航走時も停泊時もほぼ同程度で単機定格出力の約60～70%程度である。補助ボイラーは航走時にはほとんど使用されず、停泊時にB90では負荷率約40%、B140では約80%で運転されている。

表-6.27に一航海あたりの燃料・潤滑油の消費量と単位輸送量当たりの油類消費量を示す。C重油の消費

割合が98%、シリンダ油が約1%を占めるのは他の船種と同様である。B90の単位輸送量当たりの油類消費量はB140の1.43倍であるが、載貨重量が1.56倍、積載率がほぼ満載、満載航海速度がほぼ同じ、連続最大出力が1.12倍であることから首肯できる値である。

6.1.4 コンテナ船の運航分析

(1) 調査した船の要目概要

表-6.28に既報で調査した船（C6000と呼ぶ）と今回調査した船（C4700と呼ぶ）の要目を示す。C6000は搭載コンテナ数6100個の大型コンテナ船で、その就航は1998年1月、2000年6月現在で18航海次をすませており、入渠は2回行っている。C4700は4700個積みで、就航は1995年2月、2000年12月現在44航海次、入渠2回をすませている。

C6000はC4700に対して、コンテナ搭載数と載貨重量が1.3倍であるが、満載航海速度はほぼ同じで、連続最大出力が1.21倍である。

(2) 航海概要

両船は、北米航路と欧州航路に就航しており、その主な寄港パターンを表-6.29に示す。同表中、同航海モード数は、全航海数の内、表に示した寄港パターン

表-6.24 撒積貨物船の運航状況

船名記号	航海方向	航走距離 (Distance run OG) miles	航海時間 (合計) hr	航走時間 (Hours under Weigh) hr	停泊時間 (Hours in port) hr	航進時間 (Hours Propelling) hr	航走時間/ 航進時間	航走速度 (OG/HUW) kt	平均排水量率 (Δ) %	平均積載率 (DW) %	貨物輸送量 (Mt-mile)
B90	空荷航走 (Ballast)	4,227	416	291.9	124.4	289.0	0.989	14.5	54.4%	—	—
	積荷航走 (Laden)	4,225	433	320.7	112.7	316.0	0.985	13.2	98.9%	97.0%	374.6
	一航海 (合計)	8,452	850	612.6	237.1	605.0	0.988	13.8	—	—	—
B140		—	100%	72%	28%	—	—	—	—	—	—
	空荷航走 (Ballast)	4,517	467	322.9	144.6	320.2	0.992	14.0	47.7%	—	—
	積荷航走 (Laden)	4,588	498	362.7	134.9	359.9	0.992	12.6	97.8%	96.3%	628.2
	一航海 (合計)	9,105	965	685.6	279.4	680.1	0.992	13.3	—	—	—
		—	100%	71%	29%	—	—	—	—	—	—

表-6.25 撒積貨物船の一航海あたりの燃料油・潤滑油消費量（単位：ton）

船名記号	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
B90	Total	1075.9 100.0%	1046.2 97.2%	29.8 2.8%	8.8 100.0%	3.0 33.7%	5.9 66.3%	10.7	2.3
	Main Engine	997.8 92.7%	994.5 92.4%	3.3 0.3%	4.3 48.7%	1.0 11.1%	3.3 37.6%	10.7	1.9
	Diesel Generator	63.6 5.9%	48.9 4.5%	14.7 1.4%	4.5 51.3%	2.0 22.5%	2.5 28.7%	—	0.4
	Aux. Boiler	14.5 1.3%	2.7 0.3%	11.8 1.1%	—	—	—	—	—
B140	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%	—	—	—	—	—

表 -6. 26 撒積貨物船のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

船名記号	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
B90	空荷航走	86.8%	74.7%	3.8%	2.0%	77.8%	37.1%
	積荷航走	86.9%	70.1%	2.9%	1.7%	59.7%	37.9%
B140	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 -6. 27 撒積貨物船の輸送量当たりの燃料・潤滑油消費量

油類種別消費量	単位	B90		B140	
C重油	ton	1,076	98.0%	1,261.5	98.1%
ディーゼル油	ton	9	0.8%	4.0	0.3%
Cylinder Oil	ton	11	1.0%	13.8	1.1%
System Oil	ton	2	0.2%	6.4	0.5%
全油種合計消費量	ton	1,098	100.0%	1,285.8	100.0%
1航海輸送量	Mt-mile	375		628	
油類消費量／輸送量	g/t-mile	2.93		2.05	
相対比(B90/B140)	—	1.43		1.00	

表 -6. 28 コンテナ船の概要

船名記号		C4700	C6000	相対比
総トン数(GT)	T	60,117	76,847	1.28
満載排水量(Δ)	Mt	87,050	110,715	1.27
軽荷重量(LT)	Mt	24,036	28,440	1.18
載貨重量(DW)	Mt	63,014	82,275	1.31
コンテナ搭載数	TEU	4,743	6,148	1.30
コンテナ平均載貨重量	t/TEU	13.3	13.4	1.01
満載航海速力	kt	23.5	23.0	0.98
主機関				
連続最大出力(MCR)	PS x96.8rpm	59,307	72,000	1.21
	kW	43,620	52,956	
常用出力	%MCR	85	85	
燃料消費率	g/PSH(C重油)推定	130	130	1.00
発電機				1.00
ディーゼル発電機(D/G)	kW x4台	1,600	2,100	1.31
燃料消費率	g/kWh(C重油)	212	212	
ターボ発電機(T/G)	kW x1台	1,500	1,500	1.00
軸発電機(S/G)	kW x1台	800	1,500	1.88
補助ボイラ				
蒸発容量	t/h x0.9MPa	13	13	1.00
燃料消費率	t/h (ボイラ効率 80%)	1.01	1.01	
排ガスエコノマイザ				
蒸発容量(高圧)	t/h	8.5	4.85	0.57
蒸発容量(低圧)	t/h	1.8	4.16	2.31

*) 相対比=(C6000/C4700)

を示した航海数である。これらの航海データをもとに平均的な運航状況を算出し、その結果を表-6.30に示す。北米航路の航走距離でC6000とC4700とで異なるのは、前者が東南アジア、後者が香港を起点としているためである。航海時間に占める停泊時間の割合は、1港あたりの停泊時間は少なくとも寄港数が多いため撤積貨物船と同程度の約25%程度である。航進速度は満載航海速度とほぼ同じである。TEUの平均積載率は70%～85%であるが、載貨重量DWの平均積載率は北米航路で40%、欧州航路で60%と小さくなる。

(3) 燃料消費量とエンジン負荷率

表-6.31に燃料油と潤滑油の一航海あたりの機関別平均消費量を示す。C重油の消費割合では主機関が94～95%程度、補助ボイラーが3～5%程度である。ディーゼル発電機による消費が少なく、補助ボイラーの消費が多いが、これはコンテナ船がターボ発電機を有しており、ディーゼル発電機よりもターボ発電機を主として利用し、航海中は排ガスエコノマイザで得た蒸気に

よってターボ発電機を運転し、停泊中は補助ボイラーを使用するためである。表-6.32に航走時間と停泊時間で算出した時間あたり燃料消費率から算出したエンジンと補助ボイラーの平均負荷率を示す。ディーゼル発電機は単機定格出力に対する負荷率である。航走時では、主機関はC4700が約65%、C6000が約75%で常用出力の85%より低い。ディーゼル発電機と補助ボイラーは停泊中では、70%程度の負荷率になるが、航海中の負荷率は非常に低い。

表-6.33に1航海あたりの燃料・潤滑油の消費量と単位輸送量当たりの油類消費量を示す。C重油の消費割合が98%、シリンダ油が約1%を占めるのは他の船種と同様である。輸送量あたり油類消費割合は北米航路の積載率が低いので約1.5倍大きい。C4700とC6000の比較では、航海速度、積載率がほぼ等しいので、C6000の載貨重量が1.3倍、連続最大出力が1.2倍であることを勘案するとC4700の輸送量あたり油類消費割合が1.1倍であるのは妥当である。

表-6.29 コンテナ船の主な寄港地名

Voyage	寄港地名			
	北米航路		欧州航路	
	C4700	C6000	C4700	C6000
Outward	Hong Kong	Port Kelang	Kobe	Kobe
	Kaohsiung	Singapore	Nagoya	Nagoya
	Los Angeles	Yantian	Tokyo	Tokyo
	↓	Hong Kong	Shimizu	Shimizu
	↓	Long Beach	Singapore	Singapore
Homeward	↓	↓	Southampton	Southampton
	Los Angeles	Long Beach	Southampton	Southampton
	Oakland	Kaohsiung	Rotterdam	Rotterdam
	Tokyo	Hong Kong	Hamburg	Hamburg
	Nagoya	Yantian	Rotterdam	Rotterdam
	Kobe	Singapore	Southampton	Le Havre
	Hong Kong	Port Kelang	Jeddah	Singapore
	↓	↓	Colombo	Kobe
	↓	↓	Port Kelang	↓
	↓	↓	Singapore	↓
	↓	↓	Kaohsiung	↓
	↓	↓	Kobe	↓
同航海モード数	17(9)*	9	7(6)	4
全航海数	24	10	20	6

*) () 内の数字は平均輸送量算出に使用したデータ数。

表-6.30 コンテナ船の運航状況

航路	船名記号	航海方向	航走距離 (Distance run OG) miles	航海時間 (合計) hr	航走時間 (Hours under Way) hr	停泊時間 (Hours in port) 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	平均積載 率 (TEU) %	平均積載 率 (DW) %	コンテナ輸 送量 (Mt-mile)	正味貨物 輸送量 * (Mt-mile)
北米航路	C4700	Outward	6,452	348	283.4	64.3	273.5	0.965	22.8	23.6	84.9%	49.7%	202.1	153.8
		Homeward	6,582	494	349.4	145.0	297.1	0.851	18.8	22.2	55.5%	31.0%	128.4	91.1
		Round trip	13,034	842	632.7	209.3	570.6	0.902	20.6	22.8	70.0%	40.2%	330.5	244.9
	C6000	Outward	8,201	440	360.0	80.1	348.2	0.967	22.8	23.6	75.5%	41.3%	278.6	207.8
		Homeward	8,468	520	375.4	192.0	359.1	0.957	22.6	23.6	76.3%	43.1%	300.1	226.2
		Round trip	16,669	1,031	735.4	272.0	707.4	0.962	22.7	23.6	75.9%	42.2%	578.7	434.0
欧州航路	C4700	Outward	11,235	670	520.3	149.9	491.3	0.944	21.6	22.9	89.9%	51.5%	364.9	275.8
		Homeward	11,613	835	580.0	255.5	517.4	0.892	20.0	22.4	79.2%	66.2%	484.5	403.4
		Round trip	22,848	1,506	1,100.3	405.4	1,008.7	0.917	20.8	22.7	84.4%	59.0%	849.4	679.2
	C6000	Outward	11,425	656	504.9	150.6	469.4	0.930	22.6	24.3	84.0%	56.0%	526.7	417.0
		Homeward	11,755	680	535.1	144.9	491.6	0.919	22.0	23.9	73.4%	62.8%	606.9	508.2
		Round trip	23,179	1,336	1,040.1	295.5	961.0	0.924	22.3	24.1	78.6%	59.4%	1,133.6	925.1

*) 1 TEU ドライコンテナ自重1.86 tとして算出

表 -6.31 コンテナ船の一航海当たりの燃料油・潤滑油消費量（単位：ton）

航路	船名記号	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
北米航路	C 4 7 0 0	Total	3,365	3,119	245	14.0	0.8	13.2	46.7	4.3
			100.0%	92.7%	7.3%	100.0%	5.6%	94.4%		
		Main Engine	3,172	3,097	75	0.2	0.0	0.2	46.7	4.0
			94.3%	92.0%	2.2%	1.2%	0.0%	1.2%		
	C 6 0 0 0	Diesel Generator	41.7	22.7	19.1	13.9	0.8	13.1	—	0.33
			1.2%	0.7%	0.6%	98.8%	5.6%	93.2%		
		Aux. Boiler	151.4	0.1	151.3	—	—	—	—	—
			4.5%	0.0%	4.5%					
欧州航路	C 4 7 0 0	Total	5,463.0	5,203.2	259.8	17.6	4.5	13.1	57.6	10.0
			100.0%	95.2%	4.8%	100.0%	25.4%	74.6%		
		Main Engine	5,161.4	5,134.4	27.0	6.9	1.8	5.1	57.6	9.6
			94.5%	94.0%	0.5%	39.1%	10.1%	29.0%		
	C 6 0 0 0	Diesel Generator	113.2	59.1	54.1	10.7	2.7	8.0	—	0.4
			2.1%	1.1%	1.0%	60.9%	15.4%	45.5%		
		Aux. Boiler	188.4	9.7	178.7	—	—	—	—	—
			3.4%	0.2%	3.3%					
北米航路	C 4 7 0 0	Total	6,043	5,572	471	21.5	2.8	18.7	71.9	6.8
			100.0%	92.2%	7.8%	100.0%	12.9%	87.1%		
		Main Engine	5,674	5,551	123	2.6	0.0	2.6	71.9	6.7
			93.9%	91.9%	2.0%	12.3%	0.0%	12.3%		
	C 6 0 0 0	Diesel Generator	77.2	17.3	59.9	18.8	2.8	16.1	—	0.04
			1.3%	0.3%	1.0%	87.7%	12.9%	74.7%		
		Aux. Boiler	291.5	3.3	288.2	—	—	—	—	—
			4.8%	0.1%	4.8%					
欧州航路	C 4 7 0 0	Total	7,629.4	7,292.8	336.6	61.9	23.4	38.4	82.9	11.0
			100.0%	95.6%	4.4%	100.0%	37.9%	62.1%		
		Main Engine	7,280.1	7,208.5	71.6	1.4	0.2	1.2	82.9	9.9
			95.4%	94.5%	0.9%	2.2%	0.3%	1.9%		
	C 6 0 0 0	Diesel Generator	122.4	68.8	53.6	60.5	23.2	37.3	—	1.1
			1.6%	0.9%	0.7%	97.8%	37.6%	60.3%		
		Aux. Boiler	226.9	15.5	211.4	—	—	—	—	—
			3.0%	0.2%	2.8%					

表 -6.32 コンテナ船のエンジン・補助ボイラの平均負荷率

航路	船名記号	航海方向	航走時			停泊時		
			主機関	D発電機	ボイラ	主機関	D発電機	ボイラ
			% MCR	% UMax	% Max	% MCR	% UMax	% Max
北米航路	C 4 7 0 0	Outward	72.0%	1.4%	0.0%	2.9%	36.5%	72.3%
		Homeward	56.6%	18.6%	0.0%	5.4%	50.5%	71.2%
		Round trip	63.5%	10.9%	0.0%	4.7%	46.2%	71.6%
	C 6 0 0 0	Outward	75.0%	2.9%	1.4%	2.0%	52.9%	64.1%
		Homeward	74.2%	34.2%	1.2%	1.0%	50.7%	65.4%
		Round trip	74.6%	18.9%	1.3%	1.3%	51.3%	65.0%
欧州航路	C 4 7 0 0	Outward	66.9%	1.7%	0.3%	4.3%	48.3%	64.2%
		Homeward	64.2%	8.8%	0.3%	3.9%	60.2%	74.0%
		Round trip	65.4%	5.4%	0.3%	4.0%	55.8%	70.4%
	C 6 0 0 0	Outward	77.9%	2.2%	0.9%	2.6%	66.6%	68.1%
		Homeward	70.4%	36.6%	2.1%	2.7%	71.6%	73.7%
		Round trip	74.0%	19.9%	1.5%	2.6%	69.0%	70.8%

表 -6.33 コンテナ船の輸送量あたり油類消費割合

油類種別消費量	単位	C4700(北米)		C6000(北米)		C4700(欧州)		C6000(欧州)	
C重油	ton	3,365	98.1%	5,463.0	98.0%	6,043	98.4%	7,629.4	98.0%
ディーゼル油	ton	14	0.4%	17.6	0.8%	21	0.3%	61.9	0.8%
Cylinder Oil	ton	47	1.4%	57.6	1.1%	72	1.2%	82.9	1.1%
System Oil	ton	4	0.1%	10.0	0.1%	7	0.1%	11.0	0.1%
全油種合計消費量	ton	3,430	100.0%	5,548.2	100.0%	6,143	100.0%	7,785	100.0%
1航海輸送量	Mt-mile	245		434		679		925	
油類消費量／輸送量	g/t-mile	14.01		12.78		9.04		8.42	
相対比(C47／C60)	—	1.10		1.00		1.07		1.00	

6.1.5 運航状況のまとめ

1) 単位輸送量あたりの油類消費量を算出するときに、載貨重量基準の積載率の影響は大きい。その積載率は、撒積貨物船とLNG船ではほぼ満載状態であるが、自動車運搬船はユニット数基準で積載率が70%であるのに対して載貨重量基準で30%、コンテナ船はユニット数基準で70～85%に対して載貨重量基準で40～60%と少ない状態で輸送されている。また、積載率は航路によっても異なるので単位輸送量あたりの油類消費量を算出する際には注意が必要である。

2) 油類の消費割合は、ほぼ全船においてC重油の消費割合が98%、シリンダ油が1%程度を占める。

3) C重油の消費割合に占める主機関の割合は、92%～95%である。ディーゼル発電機の割合は、ターボ発電機を持たないPCC船や撒積貨物船では、5%～7%程度を占めるが、ターボ発電機を有するコンテナ船では1%程度で、そのかわり補助ボイラーの割合が3%～5%と多くなる。

4) LNG船の燃料消費割合に占めるボイルオフガス(BOG)の占める割合は、航海ごとでは30%～80%程度であるが、全航海の平均では50%となる。

5) LNG船の運航時間に関しては往航が最短の6日で航海する場合と、減速航海およびドリフティングを含めると15日で航海する場合まで幅広く運航されるのに対して、復航はほとんど6日～7日で運航される。

6) 船の大きさに関しては、撒積貨物船とコンテナ船を比較した。航海状況の比較において、航海速度と積載率がほぼ同じであったので、単位輸送量あたりの油類消費量の大きさによる増減は、載貨重量と連続最大出力の比率によって算出されるものとはほぼ同様となった。

6.2 船舶運航のインベントリ分析

6.2.1 対象船舶と運航条件

解析の対象とした8隻の船種の主要目を表-6.34に示す。また、運航記録の調査結果¹⁰⁾²²⁾²³⁾に基づいて作成した各船の航海条件と機関の負荷率を表-6.35及び表-6.36に示す。

船舶の使用期間は25年、また、定期的検査に伴う入渠は2.5年に1回とした。検査による不稼働日数はLNG船を除き8日とした。以下に解析に際して船種別に考慮した運航条件をまとめる。

(1) タンカー

96タンカーは東南アジアを中心とした不定期航路、また、260タンカーは日本と中東間の定期航路での運航を対象とした。260タンカーは複数の港において原油の船積み(集荷航行)と荷揚げ(揚荷航行)を行う。

(2) 撒積貨物船

撒積貨物船は石炭を貨物とし、日本と豪州の定期的な往復航海を対象とした。

(3) LNG船

LNG船は日本とインドネシアBontang間での定期航路に就航している。航行には積荷の液化天然ガス(LNG)の気化ガス(BOG)と船舶用燃料(M.F.O)を使用する。LNG船は航海において入港時間の調整等のため1日程度の漂流を行う。そのため、航行速力は漂流時間を除いて航行時間に基づいて算出した。また、定期的検査に伴う不稼働日数は調査結果に基づき48日とした。

往路(バラスト)と復路(満載)の漂流状態での機関の負荷率は便宜的に表-6.36の集荷航走と揚荷航走に記した。また、LNG比重量は $0.467\text{t}/\text{m}^3$ とし、載貨容積に対する搭載率を98%とした。

表-6.34 船舶の主要目

項 目	単位	船 種							
		96タンカー	260タンカー	91撒積船	140撒積船	127LNG	4700コンテナ船	6100コンテナ船	4500PCC
貨物の種類		原油	原油	石炭	石炭	LNG	コンテナ	コンテナ	自動車
載貨重量	ton	96,106	259,998	91,000	142,235	67,554	63,014	82,275	17,183
載貨容積	m ³	112,580m ³	317,199m ³	118,600m ³	181,689	127,550m ³	4,743TEU	6,148 (TEU)	4515Cars
満載航海速力	kt	14.0	15.0	14.0	13.7	19.3	23.5	23.0	18.8
乗員	人	—	46	28	25	30	30	30	29
主機関種類	—	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル	蒸気タービン	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル
主機関出力(MCR)	kW	10,201	21,770	10,800	12,136	23,536	43,620	52,956	10,810
ディーゼル発電機	kW	610×3台	740×4台	530×3台	680×3台	1380×1台	1600×4台	2100×4台	800×3台
ターボ発電機	kW	/	740kW×1	/	/	2500kW×2	1500kW×1	1500kW×1	/
補助ボイラー	t/h	30	85	1.7	1.5	55×2	13	13	1.5
主貨油ポンプ	m ³ /h	2500×3	5500×3	/	/	1400×8	/	/	/
建造年(起工)	西暦	1991年	1989年	1994年	1989年	1991年	1994年	1997年	1992年

表 -6. 35 船舶の運行計画

項 目		船 種							
		96タンカー	260タンカー	91撤積船	140撤積船	127LNG	4700コンテナ船	6100コンテナ船	4500PCC
想定した航路		不定期航路	日本-中東	日本-豪州	日本-豪州	日本-Bongtang	北米航路	北米航路	59航海平均
1.往路	距離 (海里)	2,450	6,874	4,226	4,400	2,502	6,452	8,201	7,324
	速力 (kt)	13.5	14.7	14.5	14.2	15.2	23.6	22.8	16.6
	貨物積載率 (%DWT)	0	2.6	0	0	0	36	41	27
	貨物積載率(%)	-	-	-	-	-	63(%TEU)	73(%TEU)	73 (%Car)
	航行日数(day)	7.6	19.5	12.1	12.9	6.9	11.4	15.0	18.4
	停泊日数 (day)	3.6	4.1	5.18	6.0	1.94	2.68	3.33	2.50
2.復路	距離 (海里)	3,299	6,871	4,226	4,412	2,502	6,582	8,468	4,084
	速力 (kt)	12.7	13.0	13.2	12.9	15.8	22.2	22.6	16.4
	貨物積載率 (%DWT)	74	93.5	97	96	98	24	43	0
	貨物積載率(%)	-	-	-	-	-	43(%TEU)	74(%TEU)	0
	航行日数(day)	10.8	22.0	13.3	14.3	6.6	12.4	15.6	10.4
	停泊日数 (day)	4.3	4.1	4.7	5.6	1.03	6.04	8.27	4.46
航海日数 (day)		26.3	49.7	35.4	38.8	16.4	32.5	42.2	35.8

注1：260タンカーの航海距離には集荷航行と揚荷航行を含み、速力と貨物積載率はその平均値とした。
2：4700コンテナは香港、6100コンテナ船はPort Kelangをベースとして運航。また、貨物積載率（DWT）はコンテナ重量を含む。
3：127LNG船の漂流時間（往路26.2h、復路0.1h）は停泊日数に含めた。
4：4500PCCの航海距離には集荷航行と揚荷航行を含み、速力は平均速力とした。また、貨物積載重量（率）は全航海での平均値で、往路に示した

表 -6. 36 機関の負荷率

機関種類	航海状態	船 種							
		96タンカー	260タンカー	91撤積船	140撤積船	127LNG船	4700コンテナ船	6100コンテナ船	4500PCC
主機関	航走	往路/空荷	76.5 %	75.9 %	86.8 %	79.1 %	61.0 %	72.0 %	79.5 %
		集荷航走	-	63.1 %	-	-	20.8 %	-	56.2 %
		復路/積載	77.0 %	73.1 %	86.9 %	79.5 %	74.5 %	56.6 %	79.3 %
		揚荷航走	-	47.8 %	-	-	35.6 %	-	68.2 %
	停泊	船積	0 %	0.5 %	2.0 %	0.6 %	19.4 %	2.9 %	10.7 %
		荷揚	0 %	0.2 %	1.7 %	0.6 %	24.5 %	5.4 %	14.0 %
		最大積載航行	-	-	-	-	-	-	10.2 %
		最大積載航行	-	-	-	-	-	-	10.2 %
ディーゼル 発電機	航走	往路/空荷	82.4 %	10.5 %	74.7 %	67.4 %	-	1.4 %	39.1 %
		集荷航走	-	38.2 %	-	-	-	-	27.7 %
		復路/積載	89.6 %	7.9 %	70.1 %	63.6 %	-	18.6 %	41.0 %
		揚荷航走	-	38.2 %	-	-	-	-	35.3 %
	停泊	船積	81.4 %	71.2 %	77.8 %	64.5 %	-	36.5 %	52.9 %
		荷揚	105.6 %	102.4 %	59.7 %	51.7 %	-	50.5 %	120.8 %
		最大積載航行	-	-	-	-	-	-	114.5 %
		最大積載航行	-	-	-	-	-	-	114.5 %
補助 ボイラー	航走	往路/空荷	2.9 %	0.7 %	3.8 %	0.5 %	-	0 %	0.5 %
		集荷航走	-	1.3 %	-	-	-	-	0.2 %
		復路/積載	13.3 %	0.4 %	2.9 %	0.5 %	-	0 %	0.5 %
		揚荷航走	-	1.7 %	-	-	-	-	0.4 %
	停泊	船積	6.6 %	5.3 %	37.1 %	76.1 %	-	72.3 %	64.1 %
		荷揚	33.6 %	24.8 %	37.9 %	78.4 %	-	71.2 %	65.4 %
		最大積載航行	-	-	-	-	-	-	103.9 %
		最大積載航行	-	-	-	-	-	-	103.9 %

備考1.各機関の出力は定格出力に対する出力%とした。
2.主機関の定格出力は連続最大出力（MCR）とし、ディーゼル発電は1台分の出力を100%とした。
3.127LNG船の主機関の集荷航走と揚荷航走の負荷率は各々往路と復路での漂流状態での負荷率とした。

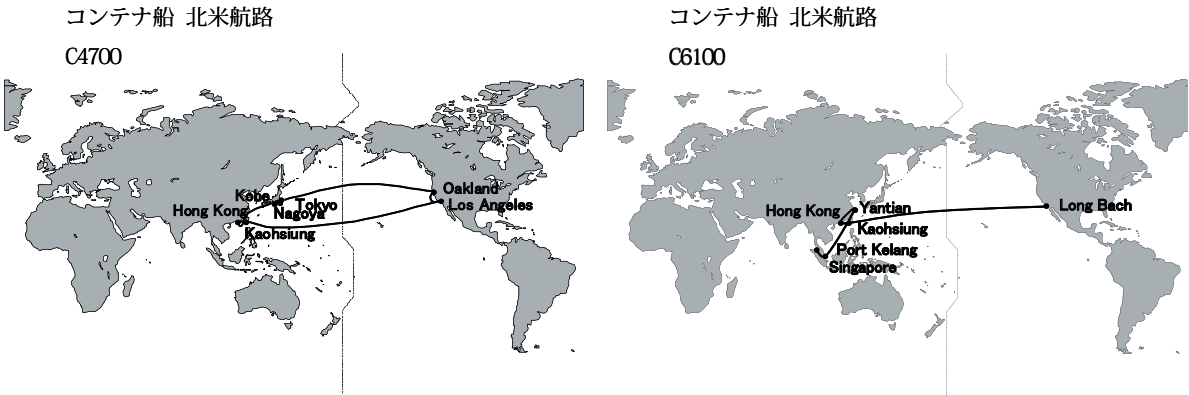


図 -6. 17 コンテナ船の北米航路（左：4700 コンテナ船、右：6100 コンテナ船）

(4) コンテナ船

コンテナ船は北米航路を想定した。4700 コンテナ船と 6100 コンテナ船で想定した航路と寄港地を図-6.17に示す。コンテナ重量(貨物重量+コンテナ自重)は運航記録の分析結果に基づき、4700 コンテナ船では往路 7.8t/TEU 及び復路 6.4t/TEU、また、6100 コンテナ船では往路 7.3t/TEU 及び復路 7.5t/TEU とした。

(5) 自動車運搬船 (PCC)

自動車運搬船は日本、北米、欧州を積地とし、世界各国に寄港している。そのため、本解析では全航海の平均として航路等の運航条件を設定した。また、自動車の平均重量を 1.54t/Car とした。

6.2.3 解析条件

(1) 環境負荷物質

解析の対象とした環境負荷物質は、石油や LNG ガス等の天然資源に加え、運航に関する概略的な感度分析の実施結果²⁴⁾等から主機関運転による影響が大きいと考えられ、大気中への排出物は以下の物質を対象とした。

CO₂, NO_x, SO_x, CO, HC, PM, CH₄, NMVOC, N₂O

また、油性混合物の排出量は、航路や船舶の設備による影響が大きいとため、海洋への排出は防汚塗料のみを対象とした。

(2) システム境界

運航での解析対象は船舶の航走、荷役及び定期的検査のための入渠とした。ただし、原油の荷役に伴う VOC や自動車の荷役に伴う排気ガス等、貨物に起因する排出は対象としなかった。

関連するプロセスは、主機関、ディーゼル発電機及びボイラーの運転、防汚塗料の溶出等の船舶の運航の直接関わるプロセスと燃料及び各種素材の製造とした。しかし、ビルジ水、船体防食用の陽極金属板、ボイラー洗浄水及びタンク洗浄水等による海水への排出には、対象となる防汚塗料は排出されないため、考慮しなかった。また、港湾設備の利用やスラッジや可燃物の焼却等の排出物処理はシステムの対象とはしなかった。

(3) プロセスデータ

主機関、ディーゼル発電機及びボイラーの運転に関するプロセスデータは、IPCC のガイドライン等¹³⁾²⁵⁾に基づいて作成した。本解析で使用した船舶機関の運転に関する排出データを表-6.37に示す。また、防汚塗料の溶出速度はメーカーから聞き取り調査に基づき、航走時 5.5 μ m/Month と停泊時 2.0 μ m/Month とし、防汚塗料の溶出量は船舶の浸水表面積等に基づ

いて算出した。

燃料や塗料等の製造に関するインベントリデータには各種のデータベースを利用した。²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾

6.2.4 解析結果

(1) 燃料消費量

設定した運航条件に基づき各船の運航に関してインベントリ分析を実施した。燃料消費量の解析結果を表-6.38に示す。実績調査¹⁰⁾²²⁾²³⁾に対応させた航行条件等を設定したため、各船の燃料消費量は、実績値と一致している。なお、LNG 船で消費する積荷の BOG の熱量換算等価 M.F.O 量は 1.17 とした。

燃料の製造での環境負荷物質の排出等も含めた各船の運航に関する単位輸送量 (t-mile) 当たりのインベントリデータを表-6.39に示す。なお、LNG 船での BOG の消費量は積荷の 1%程度と小さいため、輸送量の算出では BOG の消費量を無視した。

表-6.37 機関運転のプロセスデータ

排出物	ディーゼル機関 2ストローク	ディーゼル機関 4ストローク	ボイラー
	g/kg-fuel	g/kg-fuel	g/kg-fuel
CO ₂	37×%C		
NO _x	87	57	6.8
SO _x	20×%S		
CO	7.4	7.4	0.6
HC	2.4	2.4	-
PM	7.6	7.6	-
CH ₄	0.29	0.29	0.12
NMVOC	2.1	2.1	-
N ₂ O	0.08	0.08	0.01

注1: %Cと%Sとは燃料中の炭素分と硫黄分(重量%)

2: 燃料の発熱量は9600kcal/kg相当

3: IPCCガイドライン等に基づく

表-6.38 燃料消費量(解析結果)

船 種	燃料消費量	
	単位輸送量	単位航進距離
	g/t-mile	t/mile
96タンカー	3.7	0.15
260タンカー	1.7	0.22
127LNG船	10.3	0.30
91撤積運搬船	2.9	0.13
140撤積運搬船	2.0	0.14
4700コンテナ船	14.0	0.26
6100コンテナ船	12.7	0.33
4500PCC	32.0	0.10

注: 燃料消費量はMFO+MDO+シリンダ油の合計値

LNG船のBOG消費量は熱量等価MFO量で換算した。

(2) 排出プロセス

各船のCO₂の排出量のプロセスの内訳を図-6.18に示す。ボイラーにより貨物の原油の加熱を行う96タンカーを除き、主機関の排出量が90%程度を占めた。また、燃料の製造によるCO₂排出が6%程度を占めた。

NO_x及びSO_x等、他の大気中への環境負荷物質の排出もCO₂と同様に主機関の運転に伴う排出が大部分を占め、主機関、ディーゼル発電機、ボイラーの運転及び燃料の製造において大気中への環境負荷物質の排出が殆ど行われる。CO₂、NO_x及びSO_x等の排出量の内訳の詳細を6100コンテナ船を例に図-6.19～21に示す。また、海洋中への塗膜溶出物質は航海及び停泊中に排出される。

(3) 船種の比較

CO₂、NO_x及びSO_xの排出量の船種による比較を図-6.22～24に示す。コンテナ船や自動車運搬船は満載

載貨重量（DWT）に対する貨物の積載率（%DWT）が小さいため、単位輸送量当たりの環境負荷物質の排出量はタンカー等に比べコンテナ船で約5倍、また、自動車運搬船では約10倍となった。一方、LNG船は主機関がボイラー炊きの蒸気タービンであるため、NO_x排出量はタンカーや散積貨物船に比べ少なくなった。

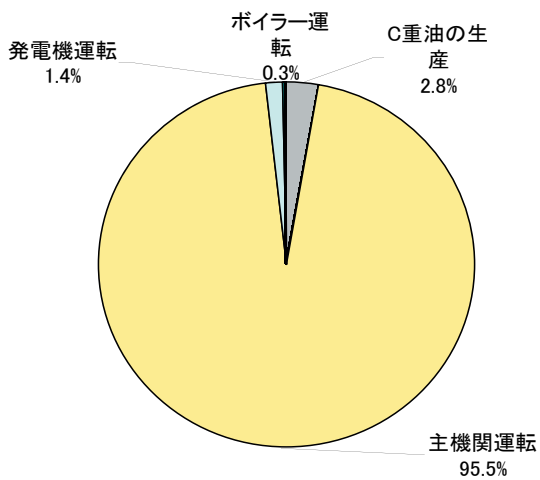
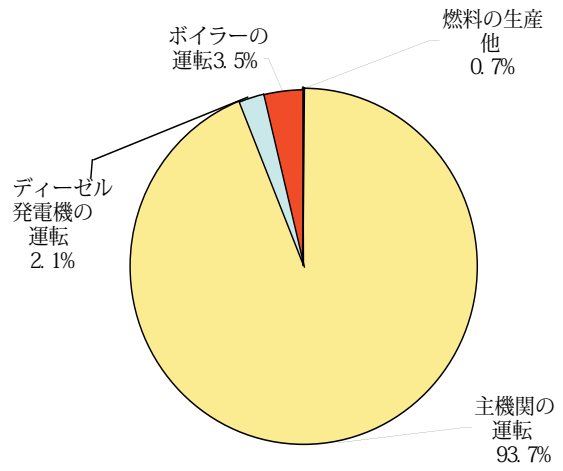
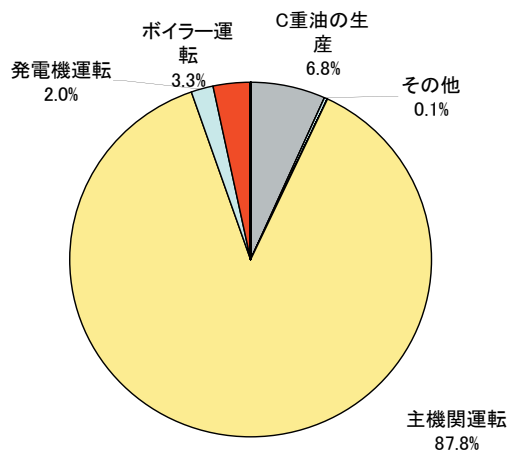
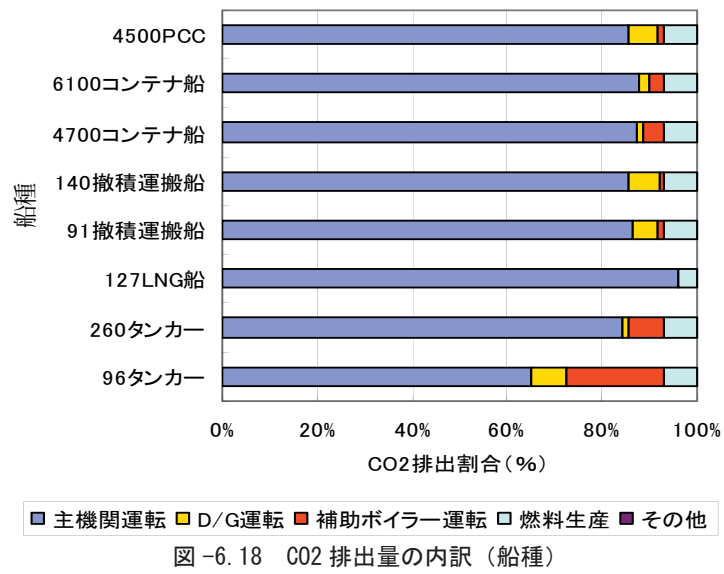
タンカー等の同じ船種では、より大型船の方が環境負荷物質の単位輸送量当たりの排出量は少なく、貨物の搭載量の増加に反比例的に小さくなる傾向が見られた。

6.2.5 まとめ

船種の特性を考慮してインベントリ分析の手法を作成し、運航記録に基づいた日本の各種船舶の輸送に関する単位輸送量当たりのインベントリデータを作成した。

表-6.39 船舶運航のインベントリデータ（輸送量（t-mile）当たり）環境負荷量）

環境負荷項目		単位	96タンカー	260タンカー	91散積船	140散積船	127LNG船	4700コンテナ船	6100コンテナ船	4500PCC
資源	ボーキサイト	g	-1.5E-03	-7.0E-04	-1.2E-03	-8.2E-04	-2.1E-03	-5.7E-03	-5.2E-03	-1.3E-02
	鉄鉱石	g	-4.0E-06	-2.7E-06	-4.0E-06	-3.1E-06	0.0E+00	-2.7E-05	-1.9E-05	-4.8E-05
	石炭	g	-2.4E-02	-1.1E-02	-1.9E-02	-1.3E-02	-3.4E-02	-9.0E-02	-8.3E-02	-2.1E-01
	原油	g	-3.8E+00	-1.8E+00	-3.0E+00	-2.1E+00	-5.5E+00	-1.4E+01	-1.3E+01	-3.3E+01
	天然ガス	g	-2.7E-01	-1.3E-01	-2.1E-01	-1.5E-01	-4.7E+00	-1.0E+00	-9.3E-01	-2.3E+00
大気中への排出	CO ₂	g	1.2E+01	5.7E+00	9.7E+00	6.7E+00	3.0E+01	4.6E+01	4.2E+01	1.1E+02
	NO _x	g	2.5E-01	1.4E-01	2.5E-01	1.7E-01	4.8E-02	1.2E+00	1.1E+00	2.7E+00
	SO _x	g	2.2E-01	1.0E-01	1.7E-01	1.2E-01	3.2E-01	8.3E-01	7.6E-01	1.9E+00
	CO	g	2.2E-02	1.2E-02	2.1E-02	1.5E-02	3.7E-03	9.9E-02	9.2E-02	2.3E-01
	CxHy	g	1.4E-02	7.1E-03	1.3E-02	8.7E-03	1.0E-02	5.9E-02	5.4E-02	1.4E-01
	PM	g	2.2E-02	1.2E-02	2.2E-02	1.6E-02	1.3E-03	1.0E-01	9.5E-02	2.4E-01
	CH ₄	g	9.2E-04	4.7E-04	8.3E-04	5.7E-04	6.3E-04	3.9E-03	3.6E-03	9.1E-03
	NM VOC	g	6.0E-03	3.3E-03	6.0E-03	4.2E-03	6.5E-10	2.8E-02	2.6E-02	6.5E-02
	N ₂ O	g	2.7E-04	1.4E-04	2.5E-04	1.7E-04	1.1E-04	1.2E-03	1.1E-03	2.8E-03
	塗膜分解生成物	g	5.3E-04	1.2E-04	4.5E-04	3.9E-04	6.8E-04	7.8E-04	5.7E-04	2.9E-03
水中への排出	塗膜分解生成物	g	5.3E-04	1.2E-04	4.5E-04	3.9E-04	6.8E-04	7.8E-04	5.7E-04	2.9E-03



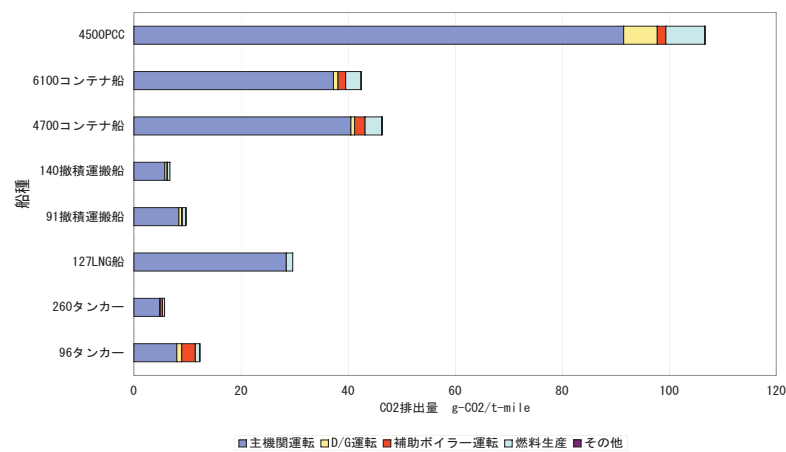


図 -6. 22 単位輸送量当たりの CO2 排出量の船種比較

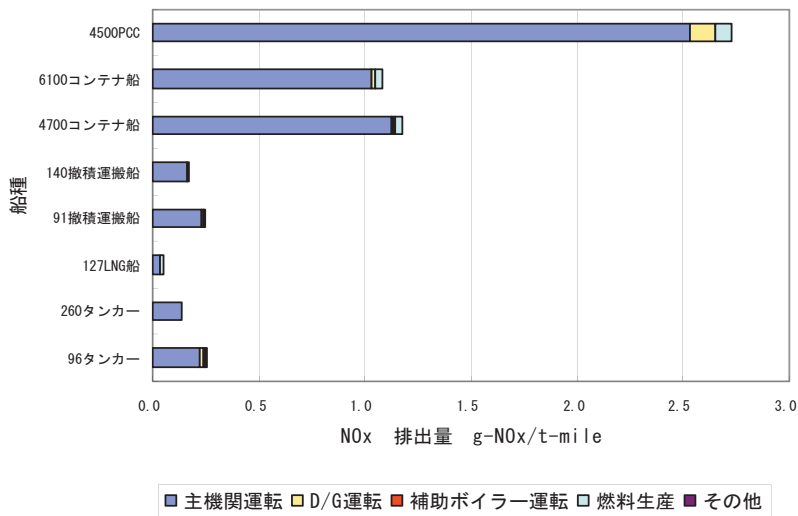


図 -6. 23 単位輸送量当たりの NOx 排出量の船種比較

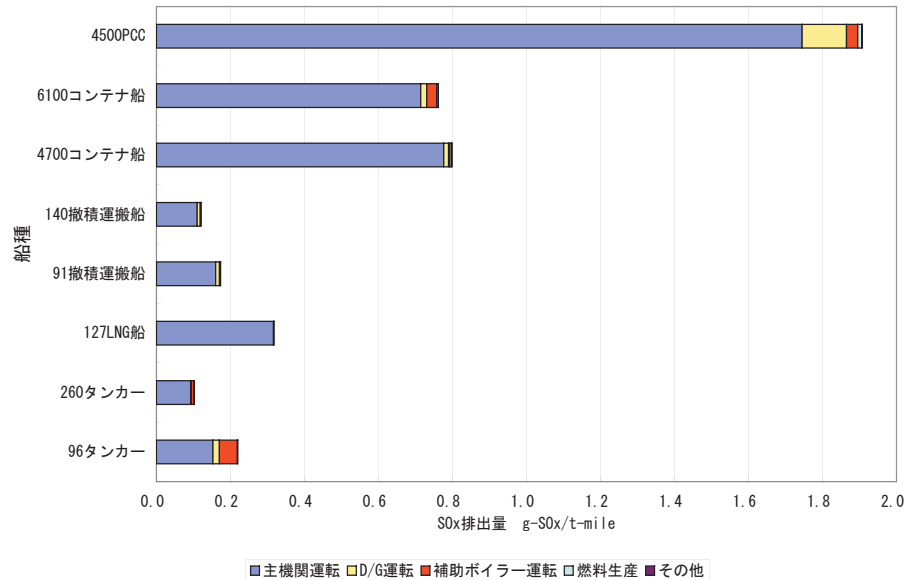


図 -6. 24 単位輸送量当たりの SOx 排出量の船種比較

7. 解体

船舶解体（解撤）は、先進国では人件費が高いこと、リサイクル物資のリセールバリューが低いこと等から産業として成立しにくく、現在、そのほとんどがインド、バングラデシュ、中国およびパキスタンで行われている。これらの国の中で中国は、世界の約20%の解撤量を有する解撤大国であるとともに、近年、環境問題に積極的に取り組み始めている。そこで、船舶へのLCA適用研究の一環として、船舶ライフサイクルの最終段階である解撤の実態を中国において調査した。

本章では、中国における船舶の解体工場の規模、解体方法及び回収物の処理の現状について以下にまとめる。

7.1 調査期間

2002年11月18日～2002年11月23日

7.2 調査対象解撤ヤード

中国内で最も大規模な以下の4ヤードを調査した。

- (1) 江陰市長江折船廠
- (2) 広東新会市双水折船鋼鉄公司
- (3) 新会市中新折船鋼鉄総廠
- (4) 広州市番禺区折船軋鋼公司

7.3 各ヤードの概要

- (1) 江陰市長江折船廠

上海から高速道路で約160km（2.5時間）の江陰市にある。解体能力60万LDT/年を有し、P&Oネドロイド社と5年で50隻以上の長期解体契約を結んで2000万元（3億円）以上の環境設備投資を行っている。アスベスト、油、ガラス繊維はP&Oネドロイド社との契約の下に適正に処理している。

- (2) 新会市双水折船鋼鉄公司

広州から高速道路で90km（1.5時間）の江門市から、さらに郊外20km（1時間）の新会市にあり、解体能力50万LDT/年を有す。中国環境省の指導により、安全教育およびアスベスト、油、ガラス繊維等の廃棄物処理を行っている。安全・環境への対応について、VTRを作成するなど広報に積極的である。

- (3) 新会中新折船鋼鉄総廠

双水折船鋼鉄公司の対岸を20km下ったところがあり、解体能力40万LDT/年、最近実績25万LDT/年である。最近3年で1000万元の環境投資を行っている。

- (4) 広州市番禺区折船軋鋼公司

広州中心から珠江約40km下流にあり、解撤のほか、小型船造船、コンテナ製造、鋳物部品製造工場を営んでいる。見学した番禺区の解体工場と下流の小虎地区の解体工場とをあわせて解体能力30万LDT/年、最

近実績8万LDT/年を有す。環境廃棄物への対処は、中国環境省の監督の下に処理している。

表-7.1に各ヤードの比較表を示す。表中の数値は、口頭での調査をもとに作成したものであり、厳密なものではない。

7.4 解体方法について

解体方法は、ヤードにより異なるものの、概ね以下の手順により行われている。ここでは新会双水の場合を述べる。

<解体前準備等>

解体前に、生産部門が船内の構造および腐食状態を調査して解撤プランを策定する。ガス切断等を実施する際には消防部門が確認する。解体作業の各段階で報告書を作成し、安全・環境部門の承認を得る。

<解体>

解体作業は以下の手順により船体上部から順に行う。

- ①船体上部（デッキ、パイプ、ブリッジ、居住区）

デッキ上の備品、パイプを除去。その後、ブリッジおよび居住区の内装および危険物質を除去する。アスベストを除去する際は専用のマスクと作業着を着用し、空中への飛散防止のため、水を吹きかけてから作業を行う。取り外したアスベストは袋に詰めて回収する。

- ②船体の切断

消防部門が、タンクの残油、スラッジ、ガス濃度（1%以下で作業可）等を検査し、作業可能レベルであれば表面を水で覆ってからガス切断を行う。作業員は、ヘルメット、手袋および安全ベルトを着用する。切断・撤去は、カーゴデッキ、内壁、外壁の順に行う。船体が水面から2～3mのところになるまで切断を行う。

- ③船底の解体

船底部はヤードまで曳航し、船底の液状廃棄物を保管地にポンプで汲み出す。汲み出した液状廃棄物は浄化装置を経て認可レベルに達すれば川に放水し、残スラッジは政府指定業者が回収する。他の廃棄物（ウエス等）は焼却炉で焼却する。船底を完全に清掃した後に切断・解体を行う。全ての汚水は浄化槽を通して排水する。カルシウムカーバイド残渣を含む水は専用池で浄化し、堆積物は政府指定場所に埋め立てる。

7.5 回収物

回収物は、概ね以下のように扱われている。

- ①鋼板

すべて販売する。短冊状に切断したもの（伸鉄用）が全体の約60%を占め、くず鉄（電炉用）が残りの約40%を占める。

②シーツ等綿製品

再利用できるものは販売する。売れないものは専門業者に依頼して焼却する。

③木製品

ほとんど販売する。再利用できないものは、一般家庭の燃料（薪）として利用する。それもできないものは埋め立てる。

④電線

専門業者にそのまま販売する。銅は再利用される。

⑤油

使用可能なものはそのまま販売する。汚れているものは、海事局および環境保護局の監督下にある業者が処理して販売する。

⑥塗料

販売または工場で使用する。

⑦電気製品（テレビ、GPS、配電盤等）

業者に販売する。壊れているものは、安く販売または無償引取り、PCBを含むものは、政府の許可を得た業者に販売する。

7.6 有害物の処理

アスベストは、マスクおよび専用の作業服を着用した作業者が回収を行い、ビニール袋に入れて外に運び出し、定められた保管場所に保管してから最終的にコンクリート詰めして埋め立てるのが一般的になっている。廃油は、いずれのヤードも専用の貯層池を作って管理しており、政府の監督下にある業者に処理を依頼している。フロン、ハロン等（CFC等）についても、政府の監督下にある専門業者が回収している。PCBを含む製品は、中古品として売却される場合もあるらしく、また、焼却処理も行われており、厳密に保管して適正な処理を待っている日本の状況とは大きく異なる。

7.7 船主との関係

長江折船廠とP&Oネドロイド社のような解撤専門契約は現在のところ他に例はない。ただ、欧米の船主が調査に来ることは多く関心は高い。これらの解撤ヤードは、通常、船主に有害物質の所在と量を示すインベントリーリストの提出を要求しているが、現状では、提出される場合とされない場合があり、徹底されていない。

7.8 解撤ヤードの経営および中国政府の方針

中国の解撤船価格相場は150\$/LDTとのことであり、インド・バングラデシュの160\$/LDTに比べると安いものの、現状では、十分に解撤船を確保できているようである。再生品である短冊状鋼板の売値の現状は180～190\$/tとのことである。伸鉄（丸棒）は、中国においても建築基準の厳格化から補助材としてしか利

用できなくなったために価格が下がり、所有していた伸鉄工場を閉鎖したところもある。その点では、日本が過去に辿ってきたように、今後解撤ヤードの経営が難しくなる可能性がある。現在、中国政府は、解撤ヤードに対して17%の付加価値税（VAT）の還付を行っており事業をサポートしている。この措置は2003年までの予定だが、延長される見込みが高いと考えられている。

7.9 まとめ

世界の約20%の解撤量を有し、環境問題に積極的に取り組み始めている中国において船舶解撤の実態を調査した。

調査を行った解撤ヤード4ヶ所の年間解撤能力を合わせると200万LDT以上であり、今後、見込まれる需要（年間700万LDT程度）を考慮しても、これらのヤードは将来的に世界の中で重要な位置を占める可能性が高い。中国は、近年、環境問題への関心が非常に高まっており、むしろ“環境”という付加価値によってインド、バングラデシュ等、他の解撤国から差別化を図り、さらなる発展へ自信を持っているような印象を受けた。



写真 7.1 解体中の船舶
広州市番禺区折船軋鋼公司



写真 7.4 アスベスト保管場所
新会市中新折船鋼鉄総廠



写真 7.2 船底清掃作業
新会市中新折船鋼鉄総廠

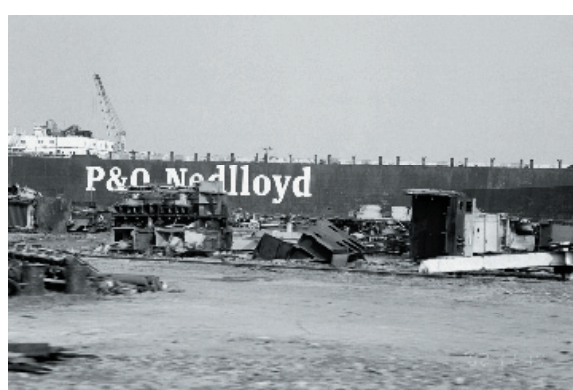


写真 7.5 解体中のP&Oネドロイド社の船舶
江陰市長江折船廠



写真 7.3 回収物集積場
広東新会市双水折船鋼鉄公司

8. プロセスデータ

船舶建造のLCAを実施するためには、各工程における入出力(投入される資材、エネルギーおよび排出物)を正確に把握する必要がある。しかし、一般的に造船所では、投入される資材については、工程単位でその数量を管理しているものの、使用されるエネルギー(電力、ガス等)および排出物(廃棄物)については、工場全体で管理しており、工程単位でその数量を把握していない。したがって、造船所でLCAを実施するためには、各工程のプロセスデータ(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標準的な数量関係を表すデータ)を整備して、それをもとに解析を行うことが必要になる。

5章における造船所の実態調査やプロセスデータの作成に示されるように、本来、切断、溶接、曲げ及び塗装等のプロセスデータは、各造船所の実態に合わせて整備すべきものである。しかし、必要なすべてのデータを個々の造船所で整備することは労力を要し、LCA導入を難しくすることから、海上技術安全研究所では、少しでもそれを容易にするため、文献等から求められる範囲で標準的なプロセスデータを作成し、開発中の船舶LCA解析ソフトウェアにバックグラウンドデータとして整備しているところである。LCAに使用するデータには客観性が要求されることから、8.1 素材加工でその計算方法の概略を述べる。

また、船舶の運航に関するインベントリ分析を実施するためには、機器の運転に伴うエネルギー等の消費量や排ガス等の排出量をプロセスデータとして作成する必要がある。船舶に搭載される機器は非常に多く、全ての機器の運転に関するプロセスデータを作成するためには多大な労力を必要とする。しかし、本報告書のモデル船を対象とした解析の結果(6.2.4 解析結果を参照)から、船体の推進性能を除き、大気中への環境負荷物質の排出には主機関やディーゼル発電機等の燃料を消費する機器の影響が大きいことが明らかになった。

そのため、本研究では、船舶の運航に伴い常時、排出物を環境中へ排出していると考えられる主機関や発電機のディーゼル機関の運転、ボイラーの運転及び船体防食用の防汚塗料の溶出等を対象にプロセスデータを作成することとした。機器の運転に関するプロセスデータを文献や資料等に基づいて作成した。船舶の運航に関わるその他の機器を含め、プロセスデータの作成に関する詳細を8.2 運航機器に示す。

8.1 素材加工

8.1.1 整備したプロセスデータの種類

(1) 溶接

造船では、炭酸ガスアーク溶接が最も多く、それに加えてサブマージアーク溶接、被覆アーク溶接が行われている²⁹⁾。したがって、これらを対象とした。データ項目は、入力を溶接金属、電力およびシールドガス(CO₂およびAr)とし、出力を固形排出物(溶接金属残材およびスラグ)、ヒュームに含まれる物質(PRTRの対象となっているCr、Ni、MnおよびMoとそれらの化合物)およびシールドガス(CO₂およびAr)とした。

(2) 切断

造船では、鋼板の切断は、プラズマ切断およびガス切断により行われている。プラズマ切断については、一般的なエアプラズマおよび酸素プラズマを対象とし、ガス切断については、燃料に、それぞれプロパン、アセチレンおよびLNGを用いる場合を対象とした。

データ項目は、プラズマ切断では、入力を電力、水および酸素とし、出力をスラグ(ドロス)、水および酸素とした(酸素は酸素プラズマ切断の場合のみ)。ガス切断では、入力を燃料(プロパン、アセチレンおよびLNG)および酸素とし、出力をCO₂、水、酸素およびスラグとした。

(3) 熱曲げ

熱曲げは、曲面の多様性、職人による作業手順の差等の問題があり、標準的なプロセスデータ作成は難しい。ここでは、精度的に不十分であるものの、造船所のエネルギー年間使用量をもとに鋼材使用量1tonあたりの入力(燃料および酸素消費量)および出力(CO₂排出量)を計算してプロセスデータとした。

(4) 塗装

造船の塗装には、ショッププライマー、スプレーによる吹付塗装、はけ塗装等がある。ここでは、造船で最も多用されているエアレススプレーによる吹付塗装を対象とした。データ項目は、入力として、塗料、シンナーおよび電力の消費量とし、出力として、大気への排出である未着塗料、シンナーおよび塗料中の揮発成分とした。

8.1.2 計算方法

(1) 溶接

溶接プロセスデータの計算方法は、溶接金属、電力およびシールドガスについてはコスト算出方法に関する文献³⁰⁾を参考に計算した。また溶接金属残材量およびヒュームに含まれる大気への排出物質については溶接におけるPRTR計算方法に関する文献³¹⁾を参考に計算した。更に計算に使用した溶接条件は、文献³²⁾³³⁾を参照し、数値に幅のある場合は中央値を使用す

ることとした。

①入力

(a) 溶接金属消費量

溶接金属消費量は、すみ肉又は開先の体積から必要な溶着金属量を求め、溶接材料の溶着効率から次式により計算した。溶着効率、残材率等の値は文献³⁰⁾³¹⁾³⁴⁾を参照した。

溶接金属消費量 (kg)
＝溶着金属量 (kg) / 溶着効率 / (1 - 残材率) (1)

(b) 電力消費量

電力消費量は、溶接条件³²⁾³³⁾の電流値および電圧値を使用し、電流値と溶着速度の関係に関する文献³⁰⁾³²⁾³³⁾から設定電流値における溶着速度を推定し、アークタイムを求めて以下のように計算した。

アークタイム (min)
＝溶着金属量 (g) / 溶着速度 (g/min) (2)

電力消費量 (kWh)
＝電流 (A) × 電圧 (V) × アークタイム (min)
/ 1000 / 60 (3)

(c) シールドガス消費量

また、シールドガス (CO₂ および Ar) 消費量は次式により計算した。ここで、係数 1.1 は、アフターフローを考慮したものである。

シールドガス使用量 (L)
＝アークタイム (min) × ガス流量 (L/min) × 1.1 (4)

②出力

(a) 溶接金属残材量およびスラグ発生量

溶接金属残材量およびスラグ発生量は、それぞれ次式により計算した。式 (6) 中の係数 1.365 は、酸化による重量増加を考慮したものであり、後述の式 (17) から求めている。

溶接金属残材量 (kg)
＝溶接金属消費量 (kg) × 残材率 (5)

スラグ発生量 (kg)
＝ (溶接金属消費量 (kg) - 溶着金属量 (kg))
× 1.365 (6)

(b) ヒューム

ヒュームに含まれる物質量は次式により計算した。

ここで、Cr、Ni、Mn および Mo のヒュームへの移行率を表 -8.1 に示す。(文献³¹⁾を参照した)

ヒュームに含まれる物質
＝溶接金属消費量 × ヒュームへの移行率 (7)

表 -8.1 ヒュームへの移行率

溶接法	ワイヤ/溶接棒種類	ヒュームへの移行率 %			
		Cr	Ni	Mn	Mo
炭酸ガスアーク溶接	スラグ(チタニア)系フラックス入りワイヤ	0.4	0.2	4.5	0.2
	メタル系フラックス入りワイヤ	0.4	0.2	4.5	0.2
	ソリッドワイヤ	0.4	0.2	3.5	0.2
被覆アーク溶接	イルミナイト系	0	0	2	0
	低水素系	0.4	0.2	3.5	0.2
サブマージアーク溶接		0	0	0	0
エレクトロガスアーク溶接		0.4	0.2	3.5	0.2
TIG溶接		0.1	0.1	0.1	0.1

(c) シールドガス
シールドガスの排出量は消費量と同じとした。

(2) 切断

①プラズマ切断

プラズマ切断のプロセスデータ計算には、ランニングコストの算定方法に関する文献³⁵⁾を参考にした。

中厚鋼板 (厚さ 10 ～ 20mm) の高速切断は、150 ～ 300A のプラズマが主流であることから、切断機の定格電流を 250A に設定し、切断速度と板厚の関係に関する文献³⁶⁾から切断速度を求めた。また、切断条件は文献³⁵⁾を参照した。

(a) 入力

(イ) 電力消費量
電力消費量は次式により求めた。

電力消費量 (kwh)
＝ 定格電流 (A) × 定格電力 (V) × 切断時間 (min)
/ 1000 / 60 (8)

ここで、切断時間は、切断面積 1m² あたりの切断時間として次式により求めた。

切断時間 (min)
＝1(m²) / 板厚 (mm) × 切断速度 (mm / min) / 10⁶ (9)

(ロ) 水および酸素の消費量
水および酸素の消費量は次式により求めた。

水消費量 (L)
＝ 冷却水流量 (L/min) × 切断時間 (min) (10)

酸素消費量 (L)

$$= \text{ガス流量 (L/min)} \times \text{切断時間 (min)} \quad (11)$$

(b) 出力

(イ) スラグ

スラグの発生量は次式により求めた。ここで、係数 1.365 は、酸化による重量増加を考慮したものであり、後述の式 (17) から求めている。

スラグ (kg)

$$\begin{aligned} &= \text{切断体積} \times \text{鋼の比重} \times 1.365 \\ &= 1(\text{m}^2) \times \text{カーフ幅 (mm)} \times \text{比重 (g/cm}^3) \times 1.365 \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、カーフ幅は、一般的にノズル径の 2.0 ～ 2.5 倍であることから 6mm に設定した³⁵⁾。

(ロ) 水および酸素の排出量

水および酸素の排出量は、消費量と同じとした。

②ガス切断

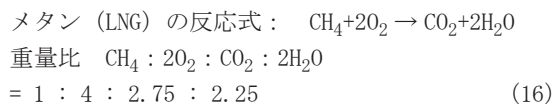
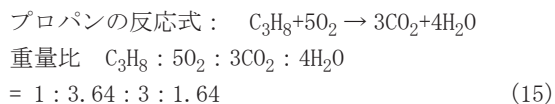
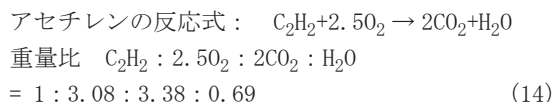
ガス切断のプロセスデータは、切断時の化学反応式から各物質の重量比を求めることにより計算した。切断条件は、メーカーの火口標準能力表³⁷⁾を参照した。LNG は、主成分であるメタンとして計算した。

(a) 予備計算

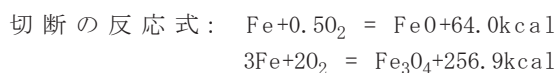
入出力の計算に使用する単位切断面積あたりの切断時間を火口の切断速度から次式により求めた。

$$\begin{aligned} &\text{切断時間 (min)} \\ &= 1(\text{m}^2) / (\text{板厚 (mm)} \times \text{切断速度 (mm/min)} \\ &\quad / 10^6) \end{aligned} \quad (13)$$

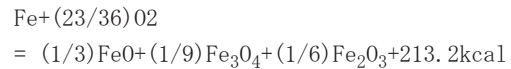
ガス切断時の予熱における燃焼は以下の反応式により、各物質の重量比は以下になる。



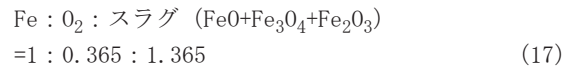
一方、切断における鉄の燃焼は以下の反応式による。



上記 3 種類の反応が均等に起こると仮定すると次式を得る。



ここで 3 種類の酸化鉄 (FeO、Fe₃O₄ および Fe₂O₃) をスラグとしてまとめると重量比は以下になる。



(b) 入力

(イ) 酸素消費量

酸素の消費量は次式により求めた。

$$\begin{aligned} &\text{酸素消費量 (供給酸素量) (kg)} \\ &= \text{予熱用酸素量 (kg)} + \text{切断用酸素量 (kg)} \end{aligned} \quad (18)$$

ここで、予熱用酸素量および切断用酸素量は以下により求める。

$$\begin{aligned} &\text{予熱用酸素量 (kg)} \\ &= \text{予熱酸素の流量 (L/h)} / 60 \times \text{酸素の密度 (g/L)} \\ &\quad / 1000 \times \text{切断時間 (min)} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} &\text{切断用酸素量 (kg)} \\ &= \text{切断酸素の流量 (L/h)} / 60 \times \text{酸素の密度 (g/L)} \\ &\quad / 1000 \times \text{切断時間 (min)} \end{aligned} \quad (20)$$

(ロ) 燃料消費量

燃料 (プロパン、アセチレンおよび LNG) の消費量は次式により求めた。

$$\begin{aligned} &\text{燃料消費量 (kg)} \\ &= \text{燃料の流量 (L/h)} / 60 \times \text{燃料の密度 (g/L)} / 1000 \\ &\quad \times \text{切断時間 (min)} \end{aligned} \quad (21)$$

(c) 出力

(イ) CO₂ 排出量

CO₂ 排出量は、式 (14)、式 (15) および式 (16) から、消費するアセチレン重量の 3.38 倍、プロパン重量の 3 倍およびメタン重量の 2.75 倍として求めた。

(ロ) 水の排出量

水の排出量は、式 (14)、式 (15) および式 (16) から、消費するアセチレン重量の 0.69 倍、プロパン重量の 1.64 倍、およびメタン重量の 2.25 倍として求めた。

(ハ) 酸素排出量

酸素排出量は、ノズルから供給される酸素量と予熱および切断で使用される理論酸素量との差が大気中へ未反応酸素として放出されるものとして次式により求めた。

$$\begin{aligned} & \text{酸素排出量 (kg)} \\ &= \text{供給酸素量 (kg)} \\ & - \text{予熱用理論酸素量 (kg)} - \text{切断用理論酸素量 (kg)} \end{aligned} \quad (22)$$

ここで、予熱用理論酸素量は、式 (14)、式 (15) および式 (16) から、消費するアセチレン重量の 3.08 倍、プロパン重量の 3.64 倍およびメタン (LNG) 重量の 4 倍として求めた。

一方、切断用理論酸素量は、式 (17) から鉄の重量の 0.365 倍として求めた。

(ニ) スラグ発生量

スラグ発生量は、式 (17) から鉄の重量の 1.365 倍として、切断部分の体積を求めて計算した。

$$\begin{aligned} & \text{スラグ発生量 (kg)} \\ &= \text{切断面積 (m}^2\text{)} \times \text{切幅 (mm)} \times \text{鉄の比重 (g/cm}^3\text{)} \\ & \quad \times 1.365 \end{aligned} \quad (23)$$

(3) 熱曲げ

モデルとした造船所では、熱曲げとひずみ取りの両方にプロピレンを燃料として用いており、それらは区別されていない。ここでは、プロピレンのすべてが熱曲げに使用されたものとして、造船所の年間における鋼材消費量、プロピレン消費量および酸素消費量から鋼材 1ton あたりの入出力を計算した。

(a) 入力

(イ) プロピレン消費量

プロピレン消費量は次式により求めた。

$$\begin{aligned} & \text{プロピレン消費量 (kg)} \\ &= \text{年間プロピレン消費量 (kg)} / \text{年間鋼材消費量 (ton)} \end{aligned} \quad (24)$$

(ロ) 酸素消費量

酸素消費量計算のため、次式により、鋼材 1ton あたりのプロピレン消費量を体積に換算した。

$$\begin{aligned} & \text{プロピレン消費量 (体積) (m}^3\text{)} \\ &= \text{プロピレン消費量 (重量) (kg)} / \text{ガス密度 (kg/m}^3\text{)} \end{aligned} \quad (25)$$

酸素消費量は次式により求めた。

$$\text{酸素消費量 (kg)}$$

$$= \text{プロピレン消費量 (体積) (m}^3\text{)}$$

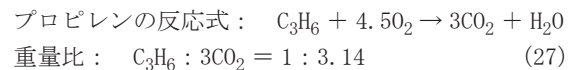
$$\times \text{プロピレンの燃焼理論酸素量 (m}^3 / \text{m}^3\text{)}$$

$$\times \text{酸素のガス密度 (kg/m}^3\text{)} \quad (26)$$

(b) 出力

(イ) CO₂ 排出量

CO₂ 排出量は、以下のプロピレンの反応式から重量比を求めて計算した。



上記重量比から CO₂ 排出量を次式により求めた。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = \text{プロピレン消費量} \times 3.14 \quad (28)$$

(4) 塗装

塗装プロセスデータの計算は、塗料メーカーのカatalog³⁸⁾ に掲載されている塗料の固形成分体積率、密度等により行った。

(a) 入力

(イ) 塗料消費量

乾燥塗膜 1m³ 作るのに必要な塗料の重量 (塗料消費量) を次式により求めた。ここで、塗着効率 (スプレーから噴霧した塗料が塗装物に塗着する割合) は、エアレススプレーの場合 60 ~ 70% であることから³⁹⁾ ここでは 65% とした。

塗料消費量 (kg)

$$\begin{aligned} &= 1 (\text{m}^3) / \text{固形成分体積率} / \text{塗着効率} \\ & \quad \times \text{密度 (g/cm}^3\text{)} \times 10^3 \end{aligned} \quad (29)$$

(ロ) シンナー消費量

シンナー消費量は、塗料の種類、気温等の条件により異なる。ここでは単純化のため、モデルとした造船所における塗料およびシンナーの年間使用量からシンナーの平均使用率を次式により求め、その値をすべての塗料に適用した。

シンナー平均使用率

$$\begin{aligned} &= \text{シンナー年間使用量 (kg)} / \text{塗料年間使用量 (kg)} \\ &= 0.087 \end{aligned} \quad (30)$$

シンナー消費量は、上記のシンナー平均使用率を用いて次式により求めた。ただし、溶剤に水を使用する塗料についてはシンナー消費量を 0 とした。

$$\begin{aligned} & \text{シンナー消費量 (kg)} = \text{塗料消費量 (kg)} \times 0.087 \\ & \quad (31) \end{aligned}$$

(ハ) 電力消費量

電力消費量の計算では、造船所で一般的に使われている塗装機のカatalog値を参考にし、常用排出量を6.0(L/min)に、コンプレッサー出力を5.0(ps)に設定した。

乾燥塗膜 1m³ 作るのに必要な塗装機の稼働時間を次式により求めた。

塗装機稼働時間 (hr)

$$= (\text{塗料体積 (L)} + \text{シンナー体積 (L)}) / \text{常用排出量 (L/min)} / 60 \quad (32)$$

ここで、塗料体積とシンナー体積は次式により求めた。シンナー密度にはトルエンおよび m-キシレンの密度 0.87(g/cm³) を使用した。

塗料体積 (L)

$$= \text{塗料消費量 (kg)} / \text{塗料密度 (g/cm}^3) \quad (33)$$

シンナー体積 (L)

$$= \text{シンナー消費量 (kg)} / \text{シンナー密度 (g/cm}^3) \quad (34)$$

電力消費量は、1ps = 0.735kw として次式により求めた。

電力消費量 (kwh)

$$= \text{塗装機コンプレッサー出力 (ps)} \times \text{塗装機稼働時間 (hr)} \times 0.735 \quad (35)$$

(c) 出力

(イ) 未着塗料

大気中への未着塗料放出量は塗着効率 65% から次

式により求めた。

$$\text{未着塗料 (kg)} = \text{塗料消費量 (kg)} \times (1 - 0.65) \quad (36)$$

(ロ) シンナー排出量

シンナーの排出量は、消費したシンナーがすべて大気に排出されるものとしてシンナー消費量と同じとした。

(ハ) 塗料中の揮発成分量

塗料中の大気への揮発成分量は、V/Sol 値を用いて揮発成分の体積を求めて計算した。揮発成分は塗料により異なるものの、ここでは、それらの密度をトルエンおよび m-キシレンの密度 0.87(g/cm³) で代表した。

塗料中の揮発成分量 (kg)

$$\begin{aligned} &= \text{塗料中の揮発成分量 (体積)} (\text{m}^3) \\ &\quad \times \text{密度 (g/cm}^3) \times 10^3 \\ &= \text{未乾燥塗料体積 (m}^3) \\ &\quad \times (1 - \text{固形成分体積率}) \times \text{密度 (g/cm}^3) \times 10^3 \\ &= 1 (\text{m}^3) / \text{固形成分体積率} \\ &\quad \times (1 - \text{固形成分体積率}) \times 0.87 (\text{g/cm}^3) \times 10^3 \end{aligned} \quad (37)$$

8.1.3 結果

結果の一例として、表-8.2に炭酸ガスアーク溶接のプロセスデータ計算結果を示す。ワイヤ種類、板厚等の条件ごとに各入出力項目の値を整理している。このような計算結果が、LCA 解析ソフトウェアにデフォルト値として登録されている。

船舶建造インベントリ分析に関する入出力データを検証するために、造船所全体の使用電力量を按分して

表-8.2 炭酸ガスアーク溶接のプロセスデータ計算結果

溶接方法	条件					プロセスデータ計算結果(溶接線長1mあたりの入出力)										
	ワイヤ種類	姿勢	板厚 (mm)	脚長 (mm)	ワイヤ径 (mm)	入力			出力							
						溶接金属消費量 (kg)	電力消費量 (kwh)	CO2消費量 (ℓ)	固形排出物		大気への排出(ヒュームに含まれる物質)				大気への排出(ガス)	
									溶接金属残材 ×10 ⁴ (kg)	スラグ ×10 ² (kg)	Crおよびその化合物 ×10 ⁴ (kg)	Niおよびその化合物 ×10 ⁴ (kg)	Mnおよびその化合物 ×10 ³ (kg)	Moおよびその化合物 ×10 ⁴ (kg)	CO2排出量 (ℓ)	
炭酸ガスアーク溶接	フラッグ(ヘタリワイヤ)系	水平隅肉	4	1.2	0.12	0.14	27	2.2	3.3	3.9	1.9	4.3	1.9	27		
				1.6	0.12	0.17	21	2.2	3.3	3.9	1.9	4.3	1.9	21		
			5	1.2	0.19	0.22	37	3.4	5.2	6.0	3.0	6.8	3.0	37		
				1.6	0.19	0.28	30	3.4	5.2	6.0	3.0	6.8	3.0	30		
			6	1.2	0.27	0.32	53	4.9	7.5	8.7	4.3	9.8	4.3	53		
				1.6	0.27	0.41	42	4.9	7.5	8.7	4.3	9.8	4.3	42		
				2	0.27	0.41	38	4.9	7.5	8.7	4.3	9.8	4.3	38		
				1.2	0.37	0.44	69	6.7	10.2	11.8	5.9	13.3	5.9	69		
			7	1.6	0.37	0.55	57	6.7	10.2	11.8	5.9	13.3	5.9	57		
				2	0.37	0.56	52	6.7	10.2	11.8	5.9	13.3	5.9	52		
				1.2	0.48	0.57	81	8.7	13.3	15.5	7.7	17.4	7.7	81		
			8	1.6	0.48	0.72	74	8.7	13.3	15.5	7.7	17.4	7.7	74		
				2	0.48	0.74	68	8.7	13.3	15.5	7.7	17.4	7.7	68		
				1.6	0.61	0.92	94	11.0	16.8	19.6	9.8	22.0	9.8	94		
			9	2	0.61	0.93	86	11.0	16.8	19.6	9.8	22.0	9.8	86		
		下向		16		1.2	0.52	0.57	96	9.3	14.2	16.5	8.2	18.6	8.2	96
						1.6	0.52	0.72	70	9.3	14.2	16.5	8.2	18.6	8.2	70
						1.2	0.78	0.83	139	14.1	21.5	25.0	12.5	28.1	12.5	139
			19	1.6	0.69	0.93	93	12.4	18.9	22.0	11.0	24.7	11.0	93		
				2	1.22	1.84	143	22.0	33.6	39.0	19.5	43.9	19.5	143		

求めた船舶一隻分の電力量と、個々の作業で使用する電力量を積算して求めた船舶一隻分の電力量を比較した例がある。ここでは、溶接部分の消費電力量積算に、本研究で整備した溶接プロセスデータ（炭酸ガスアーク溶接、脚長 7mm、ワイヤ径 1.2mm の場合）を使用し、両者の電力使用量は2%以内で一致している。しかし、この一例のみでデータの妥当性は判断できない。今後、このような解析例を増やし、データをさらに検証・改善していく必要がある。

8.1.4 まとめ

文献等から求められる範囲で、船舶建造工程の主要作業である溶接、熱曲げ、切断および塗装に関するプロセスデータを作成し、LCA 解析ソフトウェアのデフォルト値として整備した。

今後は、さらなるデータの検証・改善が必要である。

8.2 運航機器

8.2.1 ディーゼル機関

ディーゼル機関は出力や使用する燃料の種類等の運転条件により燃焼状態が変化するため、燃料消費量や排気ガス中の成分等の排出物は変化する。船舶の運航中におけるインベントリ分析を実施するため、本研究では、ディーゼル機関の運転に伴う排出物の算出方法を以下のように設定した。

(1) 対象範囲

ディーゼル機関の運転に関するプロセスの対象はディーゼル機関本体での運転とし、油清浄機等の補機類や排ガスエコノマイザー等、機関システム全体は対象としなかった。

プロセスデータの入力項目には、ディーゼル機関の運転で消費量の多い燃料とシリンダー油を対象とし、システム油、空気、電力、圧縮空気、海水等は省略した。なお、圧縮空気は主に機関の始動用、電力は機器の制御用及び海水は冷却用等に使用する。また、環境中への排出物としては、CO₂、SO_x、NO_x、CH₄、N₂O、CO、NMVOC、PM 等の大気中への排出物を対象とし、冷却水の海洋への排出は省略した。

(2) 算出方法

船舶の航行中、主機関（ディーゼル機関）は連続最大出力（MCR）の 70 ～ 90% の範囲に設定される常用出力（NOR）で運転される時間が長いと考えられる。また、常用出力の範囲で燃料消費量（g/kWh）は実用的には殆ど差がないと考えられる。そのため、ディーゼル機関の運転に関するプロセスデータは常用出力で作成することとした。なお、エンジンの製造工場での試運転では燃料にディーゼルオイル（M. D. O: Marine

Diesel Oil、A 重油相当、発熱量 10,200kcal/kg）が使用される場合が多い。しかし、海上で船舶が使用する燃料の多くはバンカー油と言われる M. F. O（Marine Fuel Oil、C 重油相当、発熱量 9,600kcal/kg：40.19MJ/kg）であり、ディーゼルオイルと燃料の発熱量が異なる。そのため、船舶運航に関するプロセスデータは、使用燃料の種類を考慮する必要がある。

(3) 排出係数

ディーゼル機関の運転に関する大気中への環境負荷物質の排出係数をロイズの実船排気ガス調査結果¹³⁾及び IPCC ガイドライン²⁵⁾に基づいて作成した。作成したディーゼル機関の運転に関する排出係数をロイズと IPCC の排出係数と合わせて表 -8.3 に示す。表中の Slow と Medium は主として 2 ストロークと 4 ストロークディーゼル機関に相当する。また、IPCC ガイドラインでの船舶用ディーゼル機関の運転データはデフォルト値と米国 Ocean-Going 船のデータが示されている。IPCC ガイドラインの排出係数はロイズの実船排気ガス調査結果を参考に定められている。以下に、本研究でのディーゼル機関の運転に関するプロセスデータの排出係数の設定方法を示す。

表 -8.3 ディーゼル機関の排出係数
(単位燃料消費量当たり)

	ロイズ実船調査		IPCC		本研究	
	Slow	Medium	Default	US-Ship	Slow	Medium
CO ₂	3,170		-	3,212	37×%C	
SO ₂	20×%S		-	-	20×%S	
NO _x	87	57	72	87	87	57
CO ₂	7.4		7.2	1.9	7.4	
HC	2.4		-	-	2.4	
PM	7.6		-	-	7.6	
CH ₄	-	-	0.28	-	0.29	
NMVOC	-	-	2.1	-	2.1	
N ₂ O	-	-	0.08	0.08	0.08	

単位 kg/t・fuel
%Cと%Sは燃料中の炭素と硫黄の含有量（重量%）
燃料の発熱量は9600kcal/kg：40.19MJ/kg相当

(a) 二酸化炭素（CO₂）、二酸化硫黄（SO₂）

CO₂ と SO₂ の排出量は、消費燃料中に含まれる炭素 C 分及び硫黄 S 分に比例すると考えられる。燃料中に含まれる炭素分を C%（wt%）、また、硫黄分を S%（wt%）とすると、CO₂ 及び SO₂ の排出量は以下により求めることができる。

$$\text{CO}_2(\text{g/kg fuel}) = \% \text{C} / 100 \times 44 (\text{CO}_2 \text{ 分子 量}) / 12 (\text{C 原子 量}) \times 1000 (\text{g/kg})$$
$$= 36.7 \times \% \text{C}$$

$$\text{SO}_2(\text{g/kg fuel}) = \% \text{S} / 100 \times 64 (\text{SO}_2 \text{ 分子 量}) / 32 (\text{S 原子 量}) \times 1000 (\text{g/kg})$$
$$= 20 \times \% \text{S}$$

(b) 窒素酸化物 (NO_x)、一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC)、大気中粒子状物質 (PM)

NO_x、CO、HC、PM の排出係数は、ロイズの排気ガス調査結果²⁵⁾を使用した。なお、IPCC ガイドラインの NO_x の排出係数のデフォルト値は、ロイズの排気ガス調査結果の低速と中速の平均値である。

(c) 一酸化二窒素 (N₂O)

N₂O の排出係数は、IPCC ガイドラインのデフォルト値を使用した。なお、IPCC の船舶用ディーゼル機関の N₂O の排出係数は米国の大型ディーゼルトラックの排出係数を採用している。

(d) メタン (CH₄)、非メタン系揮発性有機化合物 (NMVOC)

CH₄ と NMVOC の排出係数は IPCC ガイドラインでは、HC の排出係数に基づいて以下により算出している。本研究では、IPCC ガイドラインの算出方法を使用した。なお、IPCC ガイドラインのデフォルト値と本研究の CH₄ の排出係数が若干異なるが、本質的な違いではないと考え、本研究で算出した値を採用した。

$$\text{CH}_4 = 0.12 \times \text{HC}$$

$$\text{NMVOC} = \text{HC} - \text{CH}_4$$

8.2.2 ボイラー

ボイラーの運転に伴う排気ガス中の排出物の排出量を IPCC マニュアルに基づき作成した。作成したボイラーの運転に関する排出係数を表-8.4 に示す。

表-8.4 ボイラーの排出係数（単位燃料消費量当たり）

排出物	ボイラー kg/t-fuel
CO ₂	37×%C
NO _x	6.8
SO _x	20×%S
CO	0.60
HC	-
PM	-
CH ₄	0.12
NMVOC	-
N ₂ O	0.012

注1：%Cと%Sとは燃料中の炭素分と硫黄分（重量%）

2：燃料の発熱量は9600kcal/kg相当

3：IPCCガイドライン(1995US-EPA)に基づく

なお、二酸化炭素 (CO₂) 及び硫黄酸化物 (SO_x) の排出係数は、SO_x の分子量を SO₂ で代表している以外はディーゼル機関と同じなので、説明は省略する。

8.2.3 防汚塗料

船舶には錆の発生や海洋生物の付着の防止又は外観の美化等を目的として塗装が行われる。このうち、海洋生物の付着を防止する目的で塗装される防汚塗料

は、防汚剤が継続的に塗膜から海水中に溶出する。防汚塗料の海水中への溶出量は一般的に以下のように考えられる。

$$\text{塗膜の流出量} = \text{航行中の溶出量} + \text{停泊中の溶出量} + \text{高圧洗浄による消耗量}$$

塗料メーカーからの聞き取り結果では、塗料の溶出量は以下のとおりである。なお、高圧洗浄は定期的検査等でドックに入渠した時に行われる場合もあるが、洗浄方法は船主の考え方により異なるため本研究では省略した。

(1) 航行中の溶出量

航行中の防汚塗料の溶出量を以下の式により算出した。

航行中の溶出量 (t)

$$= \text{膜厚消耗率} (\mu \text{ m/月}) \times 10^{-6} \times \text{期間} (\text{月}) \times \text{浸水表面積} (\text{m}^2) \times \text{塗膜密度} (\text{t/m}^3)$$

ここで、膜厚消耗率は複数のパラメータに基づいて以下の式により求められるが、本研究では、塗料メーカー及び造船所の聞き取り調査の結果、基本消耗率 5.5 (μ m/月) のみを考慮した。

$$\text{膜厚消耗率} = \text{基本消耗率 } 5.5 (\mu \text{ m/月})$$

$$\times \text{海水温度係数} \quad (0.8 \sim 1.5) : 20 \sim 30^\circ\text{C}$$

$$\times \text{船速} \quad (0.95 \sim 1.4) : 13 \sim 25 \text{ knot}$$

$$\times \text{稼働率} \quad (0.9 \sim 1.1) : 60 \sim 90\%$$

$$\times \text{消耗度のバラつき} \quad (10\%)$$

$$\times \text{部位別消耗度} \quad (0.65 \sim 1) : \text{立ち上がり}$$

部、平坦部

なお、撒積貨物船（載貨重量 76,000dwt、浸水表面積 7,666m²）を対象とし、基本消耗率を 5.5 (μ m/月) とした場合、以下の条件においてモデル船は航海中（片道）に約 60kg の防汚塗料を溶出する計算となる。

塗料の溶出量の試算の条件

航路 日本-豪州（片道）4358mile

航力 13knot

航海日数 約 14 日、約 0.5 ヶ月

塗膜密度 2.7t/m³（防汚塗料）

一方、(社)日本海難防止協会が行った実海域試験での試験片による実験⁴⁰⁾では、トリブチルスズ (TBT) での膜溶出速度は、実船の中央部で 0.14 (mg/cm² day)（塗膜比重で 2.7）であった。上記のモデル船と同じ条件とした場合の溶出速度は 1.4(g/m²day)、溶出量は約 150kg となる。

本研究で設定した溶出速度は実験結果に比べ少ない設定となった。しかし、実船の膜厚は 100 ~ 200 μ m であり、基本消耗率 5.5 (μ m/月) での航海時間は、概ね 2 年 ~ 4 年に相当する。船舶の定期的な入渠間隔

2.5 年を考慮すると、基本消耗率 $5.5 (\mu \text{ m}/\text{月})$ は、妥当な値と考えられ、本研究では航行中の防汚塗料の膜厚消耗率を $5.5 (\mu \text{ m}/\text{月})$ とした。

(2) 停泊中の溶出量

停泊中の溶出量 (t)

$$= \text{膜厚消耗率} (\mu \text{ m}/\text{月}) \times 10^{-6} \times \text{期間} (\text{月}) \\ \times \text{浸水表面積} (\text{m}^2) \times \text{塗膜密度} (\text{t}/\text{m}^3)$$

ここで、本研究では、塗料メーカー及び造船所の聞き取り調査の結果、膜厚消耗率を $2 (\mu \text{ m}/\text{月})$ とした。

8.2.4 その他の機器

(1) 油性混合物

船舶は航行中に油性混合物（ビルジ）を排出する。ビルジの排出量は MARPOL 条約でのビルジの排出基準濃度 15ppm に基づいて以下により算出することができる。しかし、船舶が備えるビルジ処理装置や航路によりビルジの排出量は異なる。そのため、本研究では、ビルジの排出量は環境負荷項目の対象とはしなかった。

ビルジ排出量 (t)

= 油性混合物の排出基準 15ppm

$$\times \text{ビルジの排出量} (\text{t}/\text{m}^3) \times \text{油性混合物の比重}$$

(2) イナートガス

イナートガス（メタンを含む）は、タンカーによる原油の輸送に伴い、船積、積荷航海、荷揚、バラスト航海中に原油タンクから排出される。イナートガスの排出量は文献や実船計測等により、調査が行われている。⁴¹⁾ しかし、イナートガスの排出量は原油の種類、航路又は港湾設備等、船舶の設備以外の要因に大きく影響されと考えられるため、本研究での環境負荷項目の対象とはしなかった。

(3) ハイドロフルオロカーボン (HFCs)

冷凍コンテナの冷媒（代替フロン）として使用されている。20ft コンテナの初期の冷媒注入量（約 30kg）の 3 ～ 4 倍の冷媒がコンテナの廃棄までに補給される考えられている。⁴¹⁾

コンテナの寿命を 20 年と仮定した場合、その間に大気中へ漏洩する HFCs は 90 ～ 120kg であり、概ね $0.015\text{kg-HFCs}/\text{day}$ と考えられる。しかし、HFCs の排出は不明な部分も多く、本研究での環境負荷項目の対象とはしなかった。

9. 船舶用 LCA 解析ソフト

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 解析ソフトの概要を以下にまとめる。

9.1 解析ソフトの概要

9.1.1 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。

9.1.2 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。

9.2 構造

9.2.1 全体構成

本解析ソフトはLCA解析を実施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。本解析ソフトの解析処理部を図-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。

9.2.2 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。

9.2.3 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。データベースの詳細については、9.5節で後述する。

9.3 解析方法

9.3.1 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（コスト解析含む）、インパクト評価、感度分析、マテリアル分析・サブスタンス分析である。各解析手法を以下に示す。

9.3.2 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の中から選択する。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繰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プロセス量に基づいて算出される。

9.3.3 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

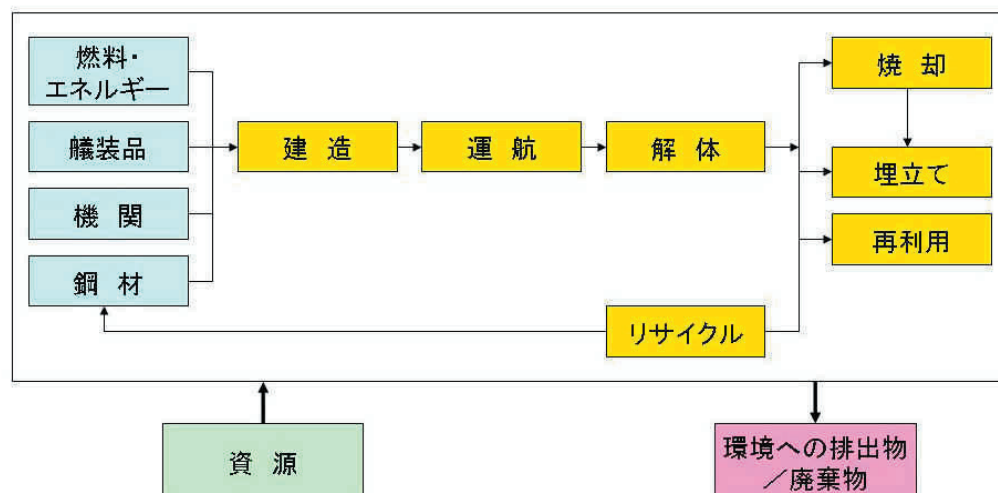


図-9.1 船舶のライフサイクルとシステム境界

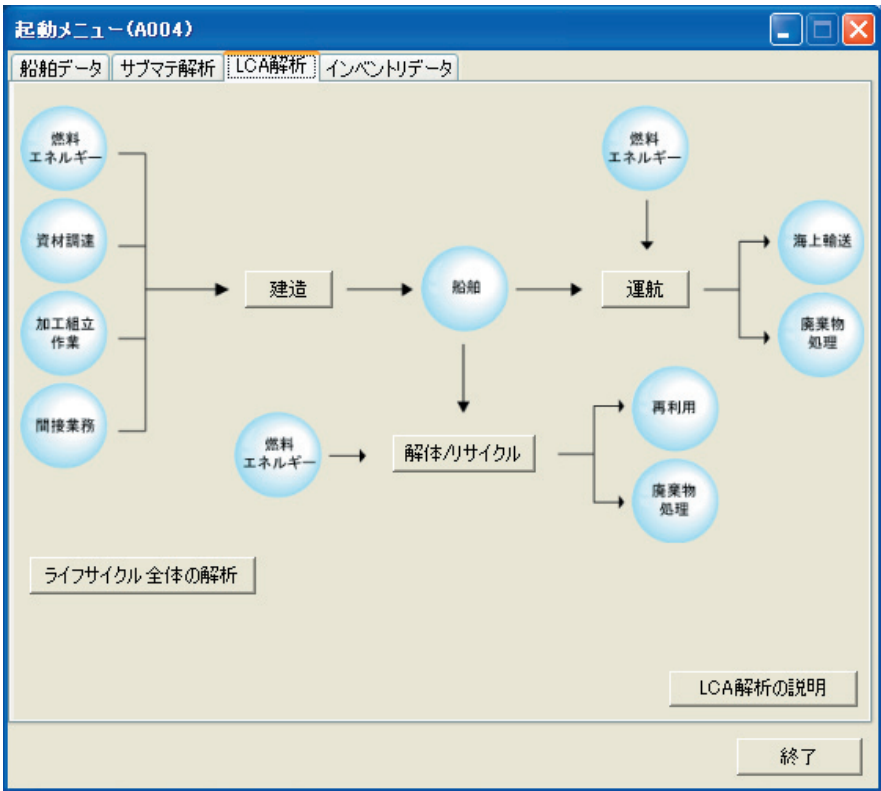


図 -9.2 船舶用 LCA 解析ソフトの構成

表 -9.1 データベース項目

		区分	項目
1	船舶データベース(船舶仕様)	船舶主要目	船名、トン数、寸法、速力、機関出力
		船舶重量構成	船殻、鋼材、機関重量
		航行&荷役性能	航海条件、荷役条件
2	プロセスデータ	製造(エネルギー・燃料)	電力、ガス、バンカー油、潤滑油
		製造(素材)	鉄、非鉄金属、プラスチック
		製造(船舶部品)	船殻、艤装品
		製造(その他の装置)	
		使用(船舶部品)	ディーゼル機関、ボイラー
		使用(その他の装置)	工場設備、湾岸設備
		作業(素材加工)	切断、溶接、塗装、曲げ
		作業(輸送)	トラック、船舶
		作業(排出物処理)	焼却、埋立、リサイクル
		作業(労力)	造船所、船会社
3	LCAデータベース	環境インジケータ	作成したインジケータ
(1)解析する環境影響		環境影響項目	地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性化
(2)使用するテンプレート		タイプシップ	タンカー、散積貨物船、コンテナ船
		システムモデル	地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性化
		資料調達モデル	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	μg、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

では、ISOに準拠し、以下の手順で実施する。⁴²⁾

- 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。^{43) 44)}

(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。本解析システムで備える環境影響項目の特性化係数を表-9.4に示す。⁴⁴⁾

(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 t-km 当たりの排出物等の許容量 (t-substance / t-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。統合化指標は、日本や欧州で開発が進められているが、本解析システムでは、解析目的に応じて各環境影響項目の重み付けを任意に割り付けて環境インジケータを登録し、評価できるようにした。

表-9.3 環境影響項目

	Class 環境影響項目	Unit 単位	出典
1	Depletion of abiotic resource 非生物資源の枯渇	ADP (kg antimony eq./kg)	①167頁 ※②ADP (Guinee et al. 2001)
2	Climate change 地球温暖化	GWP100 (kg CO2 eq./kg)	①185頁 ※③388頁
3	Stratospheric ozone depletion オゾン層の破壊	ODP (kg CFC-11 eq./kg)	①188頁 ※④
4	Human toxicity 人に対する毒性	HTP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)	①190頁 ※②HTP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)
5	Freshwater aquatic ecotoxicity 淡水生態毒性	FAETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)	①228頁 ※②FAETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)
6	Marine aquatic ecotoxicity 海洋生態毒性	MAETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)	①228頁 ※②MAETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)
7	Freshwater sedimental ecotoxicity 淡水堆積生態毒性	FSETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)	①228頁 ※②FSETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)
8	Marine sedimental ecotoxicity 海洋堆積生態毒性	MSETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)	①228頁 ※②MSETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)
9	Terrestrial ecotoxicity 陸上生態毒性	TETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)	①228頁 ※②TETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)
10	Photo-oxidant formation 光化学オキシダントの生成	POCP (kg ethylene eq./kg)	①332頁 ※②POCP(Jenkin & Hayman, 1999, Derwent et al. 1998; high Nox)
11	Acidification 酸性化	AP (kg SO2 eq./kg)	①344頁 ※②AP(Hauschild & Wenzel (1998)
12	Eutrophication 富栄養化	EP (kg PO4--- eq./kg)	①348頁 ※②EP(Heijungs et al. 1992)
13	Odour 臭気	1/OTV (m3/kg)	①351頁 ※②1/OTV
14	MOE First class chemical substances 環境省 第1種指定化学物質	kg	⑤
15	MOE 2nd class chemical substances 環境省 第2種指定化学物質	kg	⑤

出典（※は、データ更新日を考慮し、システムに登録したデータ。）

①	Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards, Jeroen B.Guinee(ED.), Kluwer Academic Publishers, [ISBN1-4020-0228-9(HB), ISBN1-4040-0557-1(PB)]
②	ライデン大学HP http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/projects/lca2/charac.html
③	IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001: The Scientific Basis http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm
④	モントリオール議定書(国連環境計画(UNEP)HPより) http://www.unep.ch/ozone/Handbook2003.shtml Handbook for International Ozone Treaties - 6th edition (2003) [ISBN 92-807-2316-2]
⑤	環境省HP http://www.env.go.jp/chemi/prtr/db/index.html

表 -9.4 特性化係数

1. 非生物資源の枯渇(Depletion of abiotic resource) Unit: ADP(kg antimony eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	ADP
aluminium (Al)	resources	7429-90-5	0.00000001
antimony (Sb)	resources	7440-36-0	1
coal hard	resources		0.0134
coal soft, lignite	resources		0.00671
copper (Cu)	resources	7440-50-8	0.00194
iron (Fe)	resources	7439-89-6	8.43E-08
iron (ore)	resources	7439-89-6	0.000000048
natural gas	resources		0.0187
oil crude	resources	8012-95-1	0.0201
uranium (U)	resources	7440-61-1	0.00287

備考

物質: 98項目、下線が基準とした物質。区分: resources

ADP: Abiotic Depletion Potential

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,167頁

②ライデン大学HP、ADP (Guinee et al. 2001)

2. 地球温暖化(Climate change) Unit: GWP100(kg CO2 eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	GWP100
Carbon dioxide(CO2)	air	124-38-9	1
Methane(CH4)	air	74-82-8	23
Nitrous oxide(N2O)	air	10024-97-2	296
CFC-11	air	75-69-4	4600
CFC-12	air	75-71-8	10600
CFC-13	air	75-72-9	14000
CFC-113	air	26523-64-8	6000
CFC-114	air	1320-37-2	9800
CFC-115	air	76-15-3	7200
HCFC-21	air		210

備考

物質: 93項目、下線が基準とした物質。区分: air

GWP100: Global Warming Potential(100-year time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,185頁

③IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001: The Scientific Basic,388頁

3. オゾン層の破壊(Stratospheric ozone depletion) Unit: ODP(kg CFC-11 eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	ODP
CFC13(CFC-11)			1
CF2Cl2(CFC-12)			1
C2F3Cl3(CFC-113)			0.8
C2F4Cl2(CFC-114)			1
C2F5Cl(CFC-115)			0.6
CF2BrCl(halon-1211)			3
CF3Br(halon-1301)			10
C2F4Br2(halon-2402)			6
CF3Cl(CFC-13)			1
C2FCl5(CFC-111)			1

備考

物質: 96項目、下線が基準とした物質。区分: air

ODP: Ozone Depletion Potential

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,188頁

④モントリオール議定書(国連環境計画(UNEP)HPより)

4. 人に対する毒性(Human toxicity) Unit: HTP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	HTP(inf)
1,1,1-trichloroethane	air	71-55-6	1.6E+01
1,2,3,4-tetrachlorobenzene	air	634-66-2	5.0E+01
1,2,3,5-tetrachlorobenzene	air	634-90-2	4.6E+01
1,2,3-trichlorobenzene	air	87-61-6	1.3E+02
1,2,4,5-tetrachlorobenzene	air	95-94-3	3.5E+01
1,2,4-trichlorobenzene	air	120-82-1	1.2E+02
1,2-dichlorobenzene	air	95-50-1	9.1E+00
1,2-dichloroethane	air	107-06-2	6.8E+00
1,3,5-trichlorobenzene	air	108-70-3	1.2E+02
1,4-dichlorobenzene	air	106-46-7	1.0E+00

備考

物質: 859項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil
 HTP(inf): Human Toxicity Potential(infinite time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,190頁

②ライデン大学HP、HTP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)

5. 淡水生態毒性(Freshwater aquatic ecotoxicity) Unit: FAETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	FAETP(inf)
1,1,1-trichloroethane	fresh water	71-55-6	1.1E-01
1,2,3,4-tetrachlorobenzene	fresh water	634-66-2	1.6E+01
1,2,3,5-tetrachlorobenzene	fresh water	634-90-2	1.4E+01
1,2,3-trichlorobenzene	fresh water	87-61-6	4.0E+00
1,2,4,5-tetrachlorobenzene	fresh water	95-94-3	1.3E+01
1,2,4-trichlorobenzene	fresh water	120-82-1	3.5E+00
1,2-dichlorobenzene	fresh water	95-50-1	1.0E+00
1,2-dichloroethane	fresh water	107-06-2	2.3E-02
1,3,5-trichlorobenzene	fresh water	108-70-3	5.0E+00
1,4-dichlorobenzene	fresh water	106-46-7	1.0E+00

備考

物質: 892項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil
 FAETP(inf): Freshwater Aquatic Ecotoxicity Toxicity Potential(infinite time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,228頁

②ライデン大学HP、FAETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)

6. 海洋生態毒性(Marine aquatic ecotoxicity) Unit: MAETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	MAETP(inf)
1,1,1-trichloroethane	marine water	71-55-6	2.7E-01
1,2,3,4-tetrachlorobenzene	marine water	634-66-2	1.5E+01
1,2,3,5-tetrachlorobenzene	marine water	634-90-2	1.6E+01
1,2,3-trichlorobenzene	marine water	87-61-6	3.6E+00
1,2,4,5-tetrachlorobenzene	marine water	95-94-3	1.3E+01
1,2,4-trichlorobenzene	marine water	120-82-1	3.1E+00
1,2-dichlorobenzene	marine water	95-50-1	9.5E-01
1,2-dichloroethane	marine water	107-06-2	9.1E-02
1,3,5-trichlorobenzene	marine water	108-70-3	4.5E+00
1,4-dichlorobenzene	marine water	106-46-7	1.0E+00

備考

物質: 892項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil
 MAETP(inf): Marine Aquatic Ecotoxicity Toxicity Potential(infinite time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,228頁

②ライデン大学HP、MAETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)

7. 淡水堆積生態毒性(Freshwater sedimental ecotoxicity) Unit: FSETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	FSETP(inf)
1,1,1-trichloroethane	fresh water	71-55-6	9.0E-02
1,2,3,4-tetrachlorobenzene	fresh water	634-66-2	1.9E+01
1,2,3,5-tetrachlorobenzene	fresh water	634-90-2	1.6E+01
1,2,3-trichlorobenzene	fresh water	87-61-6	4.4E+00
1,2,4,5-tetrachlorobenzene	fresh water	95-94-3	1.5E+01
1,2,4-trichlorobenzene	fresh water	120-82-1	3.8E+00
1,2-dichlorobenzene	fresh water	95-50-1	9.5E-01
1,2-dichloroethane	fresh water	107-06-2	1.9E-02
1,3,5-trichlorobenzene	fresh water	108-70-3	5.2E+00
1,4-dichlorobenzene	fresh water	106-46-7	1.0E+00

備考

物質: 892項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil

FSETP(inf): Freshwater Sedimental Ecotoxicity Toxicity Potential(infinite time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,228頁

②ライデン大学HP、FSETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)

8. 海洋堆積生態毒性(Marine sedimental ecotoxicity) Unit: MSETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	MSETP(inf)
1,1,1-trichloroethane	marine water	71-55-6	1.9E-01
1,2,3,4-tetrachlorobenzene	marine water	634-66-2	1.2E+01
1,2,3,5-tetrachlorobenzene	marine water	634-90-2	1.3E+01
1,2,3-trichlorobenzene	marine water	87-61-6	3.5E+00
1,2,4,5-tetrachlorobenzene	marine water	95-94-3	1.0E+01
1,2,4-trichlorobenzene	marine water	120-82-1	2.9E+00
1,2-dichlorobenzene	marine water	95-50-1	1.0E+00
1,2-dichloroethane	marine water	107-06-2	6.1E-02
1,3,5-trichlorobenzene	marine water	108-70-3	4.5E+00
1,4-dichlorobenzene	marine water	106-46-7	1.0E+00

備考

物質: 892項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil

MSETP(inf): Marine Sedimental Ecotoxicity Toxicity Potential(infinite time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,228頁

②ライデン大学HP、MSETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)

9. 陸上生態毒性(Terrestrial ecotoxicity) Unit: TETP(inf) (kg 1,4-DCB eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	TETP(inf)
1,1,1-trichloroethane	agric. soil	71-55-6	1.5E-03
1,2,3,4-tetrachlorobenzene	agric. soil	634-66-2	8.3E-01
1,2,3,5-tetrachlorobenzene	agric. soil	634-90-2	1.5E+01
1,2,3-trichlorobenzene	agric. soil	87-61-6	9.3E+00
1,2,4,5-tetrachlorobenzene	agric. soil	95-94-3	1.9E+01
1,2,4-trichlorobenzene	agric. soil	120-82-1	1.2E+00
1,2-dichlorobenzene	agric. soil	95-50-1	5.4E-02
1,2-dichloroethane	agric. soil	107-06-2	1.7E-03
1,3,5-trichlorobenzene	agric. soil	108-70-3	2.5E-01
1,4-dichlorobenzene	agric. soil	106-46-7	1.0E+00

備考

物質: 892項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil

TETP(inf): Terrestrial Ecotoxicity Toxicity Potential(infinite time)

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,228頁

②ライデン大学HP、TETP inf.(Huijbregts, 1999 & 2000)

10. 光化学オキシダントの生成(Photo-oxidant formation) Unit: POCP (kg ethylene eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	POCP
1,1,1-trichloroethane	air	71-55-6	0.009
1,2,3-Trimethyl Benzene	air	526-73-8	1.267
1,2,4-trimethylbenzene	air	95-63-6	1.278
1,3,5-trimethylbenzene	air	108-67-8	1.381
1,3-Butadiene	air	106-99-0	0.851
1-Butanol	air	71-36-3	0.62
1-Butene	air	106-98-9	1.079
1-Butoxypropanol	air	57018-52-7	0.463
1-Butyl Acetate	air	123-86-4	0.269
Ethylene	air	74-85-1	1

備考

物質: 126項目、下線が基準とした物質。区分: air

POCP: Photochemical Ozone Creation Potential

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,332頁

②ライデン大学HP、POCP(Jenkin & Hayman, 1999, Derwent et al. 1998; high Nox)

11. 酸性化(Acidification) Unit: AP (kg SO2 eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	AP
ammonia	air	7664-41-7	1.88
hydrogen chloride	air	7647-01-0	0.88
hydrogen fluoride	air	7664-39-3	1.6
hydrogen sulfide	air	7783-06-4	1.88
nitric acid	air	7697-37-2	0.51
nitrogen dioxide	air	10102-44-0	0.7
nitrogen mono oxide	air	10102-43-9	1.07
nitrogen oxides (as NO2)	air	10102-44-0	0.7
phosphoric acid	air	7664-38-2	0.98
sulphur dioxide	air	7446-09-5	1

備考

物質: 36項目、下線が基準とした物質。区分: air

AP: Acidification Potential

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,344頁

②ライデン大学HP、AP(Hauschild & Wenzel (1998)

12. 富栄養化(Eutrophication) Unit: EP (kg PO4--- eq./kg)

Substance	Compartment	CAS number	EP
ammonia	marine water	7664-41-7	0.35
ammonium	marine water	14798-03-9	0.33
Chemical oxygen demand (COD)	marine water		0.022
Nitrate	marine water	14797-55-8	0.1
nitric acid	marine water	7697-37-2	0.1
Nitrite	marine water	14797-65-0	0.1
Nitrogen	marine water	7727-37-9	0.42
phosphate	marine water	14265-44-2	1
phosphoric acid	marine water	7664-38-2	0.97
Phosphorus	marine water	7723-14-0	3.06

備考

物質: 52項目、下線が基準とした物質。区分: air/fresh water/marine water/agric. soil/indus. soil

EP: Eutrophication Potential

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,348頁

②ライデン大学HP、EP(Heijungs et al. 1992)

13. 臭気(Odour) Unit: 1/OTV (m3/kg)

Substance	Compartment	CAS number	1/OTV
1,1,1-trichloroethane	air	71-55-6	1.89E+05
1,2,4-trimethylbenzene	air	95-63-6	7.14E+06
1,3,5-trimethylbenzene	air	108-67-8	5.56E+06
1-Butanol	air	71-36-3	1.30E+07
1-Butyl Acetate	air	123-86-4	3.23E+07
1-butypropionate	air	590-01-2	1.16E+07
2-butanone	air	78-93-3	1.47E+06
2-ethyl-5,5-dimethyl-1,3-dioxane	air		1.79E+11
2-methylpropanoic acid	air	79-31-2	2.00E+08
3-methylbutanoic acid	air	503-74-2	4.55E+09

備考

物質: 64項目、下線が基準とした物質。区分: air

1/OTV: inverse OTV factors

出典: ①Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards,351頁

②ライデン大学HP、1/OTV

9.3.4 感度分析

インベントリ分析の解析結果に基づいて、ISO14040で規定される解釈を行うための手法として、感度分析を行うことができる。感度分析の感度として、変動率感度を用い、項目間での相対的な比較を直接行うことができる。

9.3.5 マテリアル分析・サブスタンス分析

商品・素材等の材料構成調査結果であるマテリアルリストや、有害性化学物質（PRTR法対象物質、使用禁止物質、使用量削減物質、排出抑制物質）の有無の調査結果であるサブスタンスリストは、設計、使用、廃棄あるいはリサイクルする際の環境影響情報として重要である。本解析システムでは、材料や部品のマテリアルリストとサブスタンスリストに基づいて、船舶仕様（重量構成表）において部品や材料の船舶での位置を入力することによりマテリアルリストとサブスタンスリストを作成し、船舶を構成する材料の種類や船舶に含まれる有害化学物質の種類、重量そしてその位置を特定する。

9.4 データベースの詳細

9.4.1 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、機関艙装、船体艙装（非居住区）、船体艙装（居住区）及び電気艙装に区分した。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-9.7～9.11に示す。

(3) 航行&荷役性能

異なる運航状態を考慮し、船舶自身の航海条件での航海速度と主機関等の機関の負荷率、また荷役条件での荷役速度と主機関等の機関の負荷率を設定の対象とした。

9.4.2 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-9.12に示す。

9.4.3 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せ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素化する。テンプレートの種類と対象データを表-9.13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、解体及び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決める。

(4) その他

単位換算は2つの単位の間を記述するデータセットである。

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		
	船種		
	船舶番号		
	船主名		
2.航行区域	航行区域		
3.建造	建造工場		
	起工日	年月日	
	進水日	年月日	
	竣工日	年月日	
	船級		
4.船質	船質		
	乗員		人
5.トン数	総トン数		T
	排水量		ton
	軽荷重量		ton
6.寸法	全長(LOA)		m
	登録長(LR)		m
	垂線間長(Lpp)		m
	型幅(Bm)		m
	吃水(d)		m
	型深(Dm)		m
7.速力	航海速力		kt
	航続距離		海里
	試運転最大速力		kt
8.載貨重量/容積	載貨重量		ton
	載貨容積		m3
	コンテナ搭載数		TEU
	自動車搭載数		台
	旅客		人
9.主機	主機関種類		
	主機関型式		
	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
	主機台数		台
10.発電機	ディーゼル発電機 型式		
	ディーゼル発電機 出力×台数	(kW)×(台)	kW
	ターボ発電機 出力×台数	(kW)×(台)	kW
	軸発電機 出力×台数	(kW)×(台)	kW
	非常用発電機 出力×台数	(kW)×(台)	kW
11.補助ボイラー	型式		
	出力×台数	(ton/h)×(台)	ton/h
12.排ガスエコマイザー	型式		
	出力×台数	(ton/h)×(台)	ton/h
13.荷役装置	型式		
	能力×台数	(主単位/h)×(台)	ton/h
14.プロペラ	種類		

表 -9. 6 船舶部品の分類

船殻	機関艙装	船体艙装(非居住区)	船体艙装(居住区)	電機艙装
1.船殻材料	1.主機関	1.係船装置	1.居住区配管	1.配線
2.船体ブロック	2.軸系	2.ハッチカバー&積付装置	2.換気装置(居住区)	2.電力供給系統
3.船殻付属装置	3.発電機&非常用発電機	3.荷役装置	3.内張り間仕切り、敷物&防熱材	3.機器自動化系統
4.溶接&接合	4.ボイラー&排ガスエコマイザー	4.マスト&ポスト	4.居室装備	4.無線、通信、航海計器
5.塗装	5.機関補機	5.換気装置(船体)	5.倉庫装備&糧食冷凍庫	5.照明&一般電源装置
6.電気防食・防汚装置	6.台	6.操舵装置	6.窓、採光装置	6.その他の電気艙装
7.名前&マーク	7.機関管材	7.防火装置	7.救命装置	
8.その他の船殻	8.機関雑装置	8.船体部配管	8.船体部雑装置	
	9.その他の機関艙装	9.その他の船体艙装(非居住区)	9.その他の船体艙装(居住区)	

表-9.7 軽荷重量(船殻)の内訳

大分類種別	大分類	中分類	単位	大分類種別	大分類	中分類	単位
1.船殻	1.船殻材料	鋼材		1.船殻	2.船体ブロック	舵	
		軟鋼(SM400)				ラダーストック	
		高張力鋼(SM490、KA32)				コンパスデッキ	
		高張力鋼(SM490、KA36)				航海船橋甲板	
		型鋼1				上部船橋甲板	
		型鋼2				下部船橋甲板	
		アルミニウム合金				ボートデッキ	
		銅合金				エンジンケーシング	
		チタン合金				煙突構造	
		FRP				デッキストア	
		木材・合板				その他の船体ブロック	
		セメント他			3.船殻付属装置	補機台	
	2.船体ブロック	船首構造				電線コーミング	
		コンパニオン				垂直梯子	
		バウチョック				スピゴット	
		船首楼構造				スタンション	
		貨物艙内二重底(フラット)				グリッパ	
		貨物艙内二重底(ヒルシ)				アイプレート	
		貨物艙構造(上甲板船側)SH				ステップ	
		貨物艙構造(上甲板船側)UD				マンホール	
		貨物艙構造(上甲板中央)				ガスフリーホール	
		貨物艙構造(横隔壁)HT				ビルジハット	
		貨物艙構造(横隔壁)T			4.溶接&接合	溶接部	
		ハッチコーミング				リベット	
		機械室船二重底構造				ボルト&ナット	
		機関室船底構造(軸路)		5.塗装	フライマー塗装		
		機関室横隔壁構造(上部)				防食塗装	
		機関室横隔壁構造(下部)				防汚塗装	
		機械室構造(第2甲板)		6.電気防食・防汚装置	流電陽極		
		機械室構造(第3甲板)				防食装置	
		機関室構造(上甲板)EUD				防汚装置	
		機関室構造(上甲板)EUC		7.名前&マーク	船名		
		船尾構造				マーク	
		船尾楼構造		8.その他の船殻	特殊構造		
		船尾骨材				特殊装置	
		ラダーホーン				共通材料	

表-9.8 軽荷重量(機関艙装)の内訳

大分類種別	大分類	中分類	単位	大分類種別	大分類	中分類	単位
2.機関艙装	1.主機関	主機本体		2.機関艙装	5.機関補機	天井クレーン	
		主機関付属品				工作機械	
		主機関特殊部品&特殊工具				油水分離器	
	2.軸系	軸				制御空気除湿装置	
		軸受				機関制御室空調装置	
		シール				飲料水殺菌装置	
		プロペラ				汚水処理装置	
		特殊部品&特殊工具				海洋生成物付着防止装置	
	3.発電機&非常用発電機	発電機本体				イネートガス発生装置	
		非常用発電機				焼却炉	
		発電機付属品				補機特殊部品&特殊工具	
		発電機特殊部品&特殊工具		6.台	主機据付装置		
	4.ボイラー&排ガスエコノマイザー	ボイラー本体				補機台	
		排ガスエコノマイザー本体		7.機関管材	管		
		ボイラー付属品				弁類	
		ボイラー特殊部品&特殊工具				バンド、ボルト&ナット	
	5.機関補機	造水装置		8.機関雑装置	独立タンク		
		清浄機				通風路装置	
		特殊こし器				主機排ガス管装置	
		渦巻きポンプ				敷板、梯子、手すり	
		回転子ポンプ				工作室	
		往復動ポンプ				機関、電気倉庫	
		冷却器				機関制御室	
		復水器				オーバーホール用工具	
		加熱器		9.その他の機関艙装	特殊装置		
		空気圧縮機				特殊部品	
		主空気槽				共通材料	
		通風機					

表 -9. 9 軽荷重量（船体艙装（非居住区））の内訳

大分類種別	大分類	中分類	単位	大分類種別	大分類	中分類	単位
3.船体艙装 (非居住区)	1.係船装置	ウインドラス		3.船体艙装 (非居住区)	6.操舵装置	操舵機	
		パワーユニット				ラダーギヤリア	
		ムアリングウィンチ				チラーSTOPパー	
		コントロールスタンド台			7.防火装置	非常用消火ポンプ	
		大錨				持ち運び式消火器	
		大錨鎖				A60防熱材(機関室前端壁用)	
		ホース、チェーンパイプ&ベルマウス				高膨張泡消火剤	
		係船索			8.船体部配管	ビルジ管	
		錨&係船金物				バラスト管	
		チェーンコントロール				燃料管	
	2.ハッチカバー & 積付装置	ハッチカバー				潤滑油管	
		ハッチカバー金物				清水管	
		油圧装置				空気管	
		ランブウェイ				測深管	
		甲板貨物積付装置				接温管	
		艙内貨物積付装置				油圧配管(ハッチカバー)	
		ホールドラダー				油圧配管(甲板機械)	
		ソケット				甲板排水管	
		アイプレート				蒸気管	
						電線管	
	3.荷役装置	デッキクレーン				保護管	
		デッキクレーンポスト				弁&金物、他	
		ダビット(雑用)				手動バルブ	
		ホースダビット				電線箱	
		スエズライトダビット				30リットル潤滑油タンク	
		シート				潤滑油貯蔵タンク(操舵機用)	
		プロビジョンクレーン				海水吸入格子	
		プロビジョンクレーンポスト				船底栓	
		スラッジリフター				STOPパー	
						スピルタンク	
	4.マスト&ポスト	ライト灯				独立タンク	
		旗竿				弁リモコン用油圧管	
		フォアマスト				その他	
		レーダーマスト		9.その他の船体艙装 (非居住区)	特殊装置 特殊部品 共通材料		
	5.換気装置(船体)	アンテナポール					
		ベンチレーター					
		軸流ファン					
		その他の換気装置					

表 -9. 10 軽荷重量（船体艙装（居住区））の内訳

大分類種別	大分類	中分類	単位	大分類種別	大分類	中分類	単位
4.船体艙装 (居住区)	1.居住区配管	ラック		4.船体艙装 (居住区)	8.船体部雑装置	作業ステージ	
		パイプ及びサポート				パイロットラダー	
		配管金物				パイロットラダー金物	
		弁				パナマ運河用プラットフォーム	
		デッキビース				パイロット補助舷梯	
		酸素&アセチレンシリンダー格納台				ワーフラダー	
	2.換気装置(居住区)	空調装置				ワーフラダー格納台	
		ダクト&サポート				舷梯&舷梯ウィンチ	
		軸流ファン				補機台	
	3.内張り間仕切り、 敷物 & 防熱材	天井内張り				ポンプユニット(甲板装置)	
		壁内張り				非常用消火ポンプ	
		甲板敷物				舵角指示 & 追従発信機	
		防熱材				泡消火タンク	
	4.居室装備	家具類				空調装置	
		ドア				冷凍機	
		階段				投光機台 & 航海灯台	
		調理装置				手すり & 梯子(居住区域)	
	5.倉庫装備 & 糧食冷凍庫	倉庫装備				船橋前面ステージ	
		糧食冷凍庫				天幕	
	6.窓、採光装置	窓				銅製扉	
		その他の採光装置				その他の船体部雑装置	
	7.救命装置	救命艇 & ボートダビット				属具 & 法定備品	
		救命いかだ		9.その他の船体艙装 (居住区)	特殊装置 特殊部品 共通材料		
		その他の救命装置					
	8.船体部雑装置	小倉口					
		手すり & ライフライン(上甲板)					

表 -9.11 軽荷重量（電機機装）の内訳

大分類種別	大分類	中分類	単位	大分類種別	大分類	中分類	単位
5.電機機装	1.配線	電線		5.電機機装	4.無線、通信、航海計器	VHFラジオ(No.1 & No.2)	
		電路				ラジオ装置	
		変換機				NAVTEX受信機	
	2.電力供給系統	主配電盤				気象用ファクシミリ	
		分電盤				FM/AM/TV アンテナ装置	
		グループスターターパネル(No.1)				アンテナ出口箱	
		グループスターターパネル(No.2)				テレビ & オーディオセット	
		低電圧パネル				指令装置	
		非常用スイッチボード				トランシーバー(400MHz)	
		バッテリー充電/放電パネル				2ウェイトランシーバー	
		STARTER				自動交換電話	
		バッテリー				共通バッテリー電話	
	3.機器自動化系統	ブリッジコントロールスタンド				電気時計	
		主制御コンソール				風速計 & 風向計	
		警報 & 信号装置				主機回転数指示器	
		火災探知装置				舵角指示器	
	4.無線、通信、航海計器	操舵室グループパネル				クリアビュースクリーン	
		ジャンクションボックス				ワイパー	
		磁気コンパス				EPIRB	
		ジャイロコンパス & オートパイロット			5.照明 & 一般電源装置	照明器具	
		レーダー(No.1 & No.2)				電気器具(レセプタクル使用)	
		DGPS				製図	
		音響測深機			6.その他の電気機装	特殊装置	
		スピードログ				特殊部品	
		インマルサット-B				共通材料	
		インマルサット-C					

表 -9.12 プロセスデータ フォーマット

一般情報

No	分類又は名前	データ(例)	No	分類又は名前	データ(例)
1	大分類種別	5	24	代表性	
2	データベース	SRIMOT	25	作成日	00/06/08
3	データ番号	SRIMOT002101020006	26	所在	SRIMOT002101020006
4	大分類コード	521	27	作成者	海上技術安全研究所 亀山道弘
5	中分類コード	10	28	参考文献	MAN B&W1998-1999カタログ
6	大分類	主機関	29	元データ種類	
7	中分類	ディーゼル機関	30	収集方法	
8	プロセス名	MAN B&W L60MC	31	処理方法	
9	レコード種別	プロセス	32	検証	
10	データ種別		33	質量バランス	
11	製品名	船舶機械力	34	エネルギーバランス	
12	単位	MJ	35	コメント	
13	量	1	36	配分ルール	
14	価格		37	システムモデル	
15	他製品名1		38	システム構成	潤滑油の廃棄及びスラッジの処理は含まれていない。
16	他単位1		39	エネルギー	
17	他量1		40	輸送	燃料の輸送は含まれない。
18	他製品名2		41	排出物処理	
19	他単位2				
20	他量2				
21	対象年月	2000			
22	対象地域				
23	技術水準	機種:2サイクルディーゼル機関、型式:MAN B&W L60MC、定格出力:11,520(kW)、燃料:〇重油、燃料消費量:126(g/BHPH)／171(g/kW)、主機関重量:353(ton)、システム油消費量 6(kg/cyl.24h)、シリンダー油消費量 0.9?1.4(g/kWh):0.65?1.0			

入力データ

No	分類又は名前	データ(例)	選択肢
1	番号		
2	大分類コード	101	
3	中分類コード	10	
4	大分類	鉄・鋼	
5	中分類	船体用圧延鋼材	
6	プロセス名	Steel I(SimaPro)	
7	レコード種別	プロセス	プロセス、インベントリ
8	環境入力名	barrage water	
9	入力量	-1020	
10	単位	g	mg、g、t、kJ、MJ、kWh

出力データ

No	分類又は名前	データ(例)	選択肢
1	番号		
2	大分類コード	32	
3	中分類コード	40	
4	大分類	その他の燃料	
5	中分類	プロパンガス(LPG)	
6	プロセス名	LPG(JEMAI)	
7	レコード種別	プロセス	プロセス、インベントリ
8	環境排出名	CO2	CO2、NOX、SOX等
9	排出区分	大気中への排出	大気中への排出、水中への排出、固形廃棄物、非物質の排出
10	環境排出量	1.26E-01	
11	単位	kg	pg、ng、μg、mg、g、kg、Bq、kBq

表 -9.13 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	素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

9.5 解析ソフトの使用

本解析ソフトの使用方法の概略と解析時の入力作業を以下に示す。

9.5.1 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できる。

9.5.2 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。

9.5.3 解析結果出力

船舶毎に建造、運航、解体及び鋼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た解析結果を出力する。建造における解析結果画面の一例を図-9.6～9.11に示す。

9.6 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。

9.6.1 作業環境

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。

9.6.2 解析限界

解析が可能な総プロセス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。

加工作業(2006)

船名

いろは丸

計画名

いろは丸建造

加工作業

労務費

作業名	作業量	単位
その他の素材加工	14000	MJ
マーキング	14000	km
メッキ等表面処理	14000	m2
加工検査	14000	MJ
曲げ・歪み取り	14000	MJ
錆落とし・ブラスト	14000	m2
切削・研磨	14000	m3
切断	14000	m2

プロセス名	割合(%)
鉄・鋼	Cutting steel shears (Sima Pro)
鉄・鋼	LPGガス切断-Steel 15mm(SRIMOT)
鉄・鋼	酸素プラズマ切断 Steel-15mm(SRI
アルミニウム	電気丸鋸切断 アルミ-6 mm(SRIMOT

追加

削除

クリア

作業工数表のインポート

取消

登録

図 -9.3 建造（加工作業）のプロセスデータの入力画面

生涯運航計画(D005)

使用する船舶及び貨物

船名

いろは丸

船種

大型鋼船

総トン数(T)

0

載貨重量[DWT](ton)

10000

主機関出力[NOR](kW)

1000

発電機出力(kW)

1000

ボイラー熱出力(kW)

100

貨物種類

生涯運航計画

総ドック回数(回/生涯)

9

総ドック日数(日/生涯)

72

航海回数(回/生涯)

3106

航行距離(km/生涯)

5752312

貨物の平均積載率(DWT%)

0

貨物輸送量(ton-km/生涯)

稼働計画

使用年数(年)

25

生涯貨物費(?)

785960

運賃率(ドル/ton)

0.95

円ドルレート(円/ドル)

0.95

ドック以外の不稼働日(日/年)

256

ドック間隔(年)

2.5

ドック日数(日)

8

ドックを含む平均不稼働日(日/年)

0

ドックを含む生涯不稼働日(日)

0

取消

登録

図 -9. 4 運航の生涯運航計画のデータの入力画面

航海荷役計画(D006)

コンテナ総重量(k/TEU)

パンカリング料
(千円/1航海あたり)

クリーニング料
(千円/1航海あたり)

運航所要日数(日)

航海日数(日)

荷役日数(日)

航海距離(海里)

貨物平均積載率(DWT%)

番号	港名	港費 (千円)	船積量 (TEU)	船舶状態	船積速度 (TEU/h)	荷揚量 (TEU)	船舶状態	荷揚速度 (TEU/h)	停泊日数 (日)	荷役日数 (日)	航海距離 (海里)	航海条件
0		0	0		0	0		0	0	0	0	
1		0	0		0	0		0	0	0	0	

削除

挿入

取消

登録

図 -9. 5 運航の航海・荷役計画のデータの入力計画

9.6.3 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Windows2000またはWindowsXPを使用し、Microsoft .NET Framework Version 1.1 再頒布可能パッケージ、Microsoft Access2000（及びその上位互換）及びMicrosoft Excel2000（及びその上位互換）がインストールされていることが必要である。

9.6.4 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。プロセスデータの入力画面を図-9.12～9.14に示す。

9.7 まとめ

船舶用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。

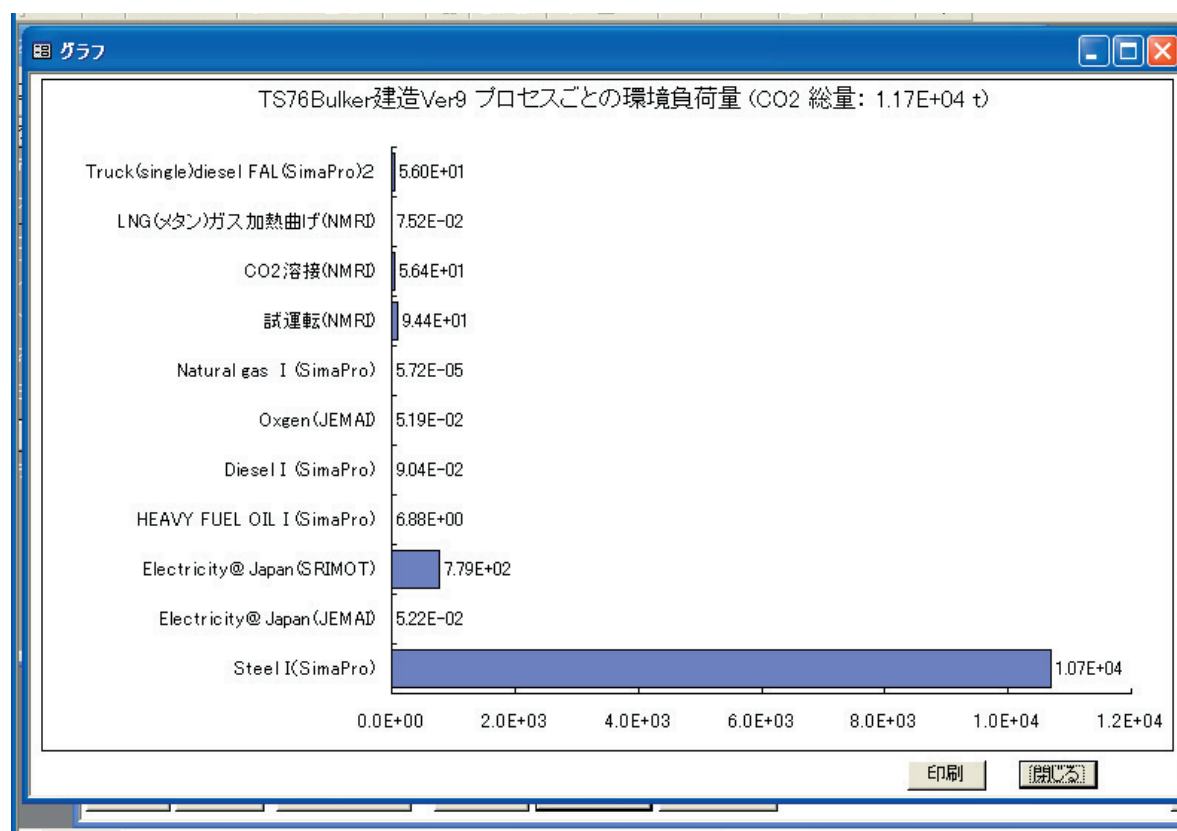


図-9.6 建造の解析結果出力例 (1)



図 -9. 7 建造の解析結果出力例 (2)

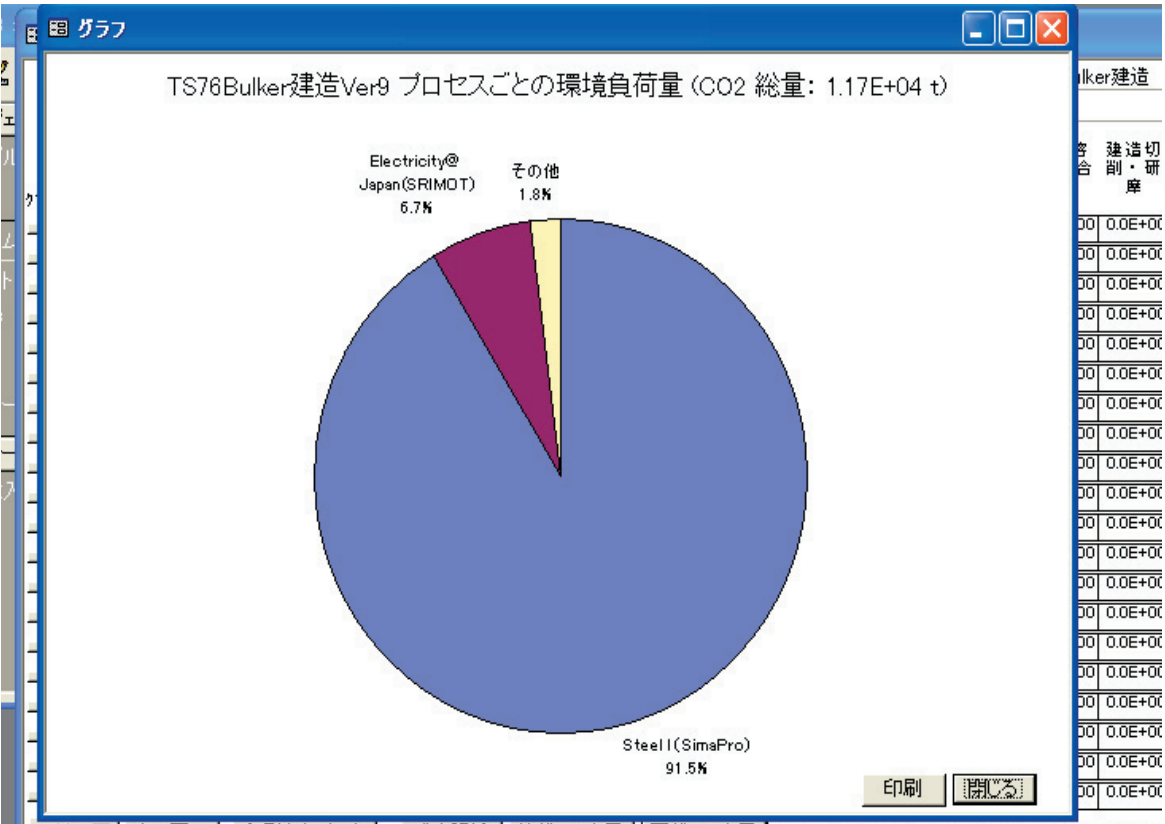


図 -9. 8 建造の解析結果出力例 (3)

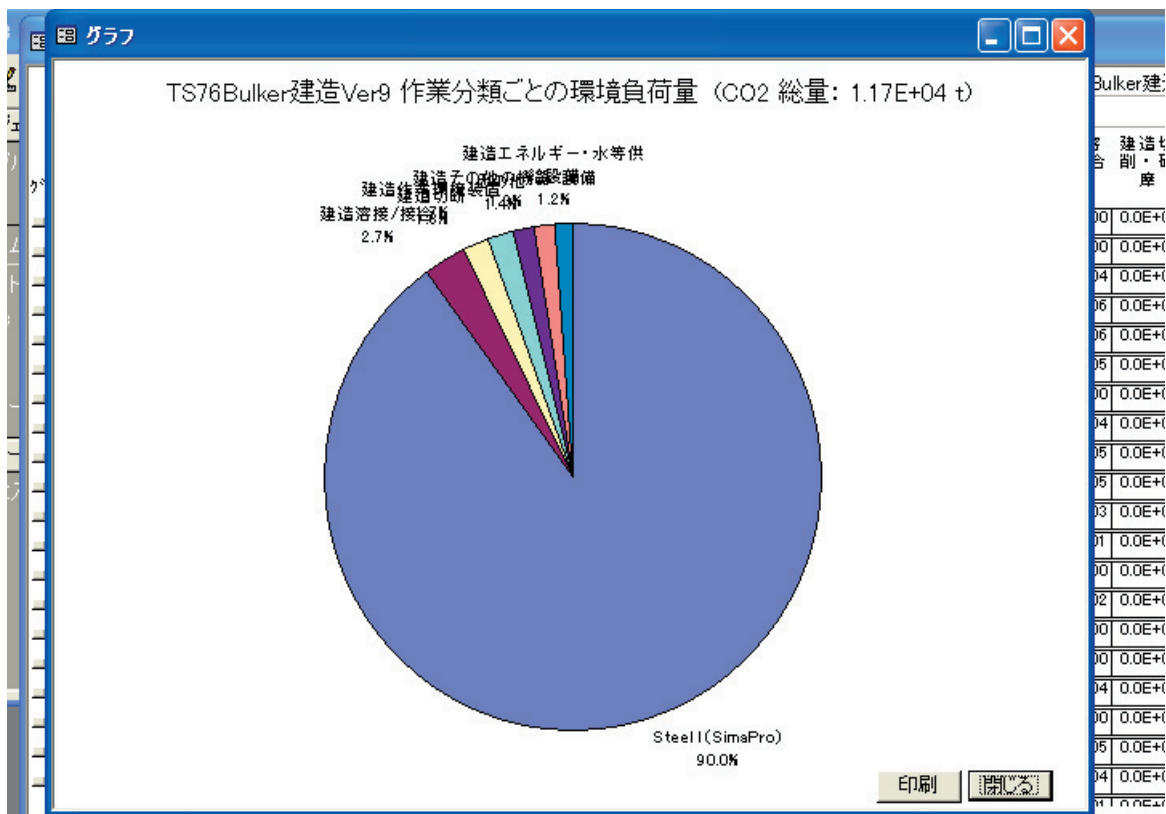


図-9.9 建造の解析結果出力例 (4)

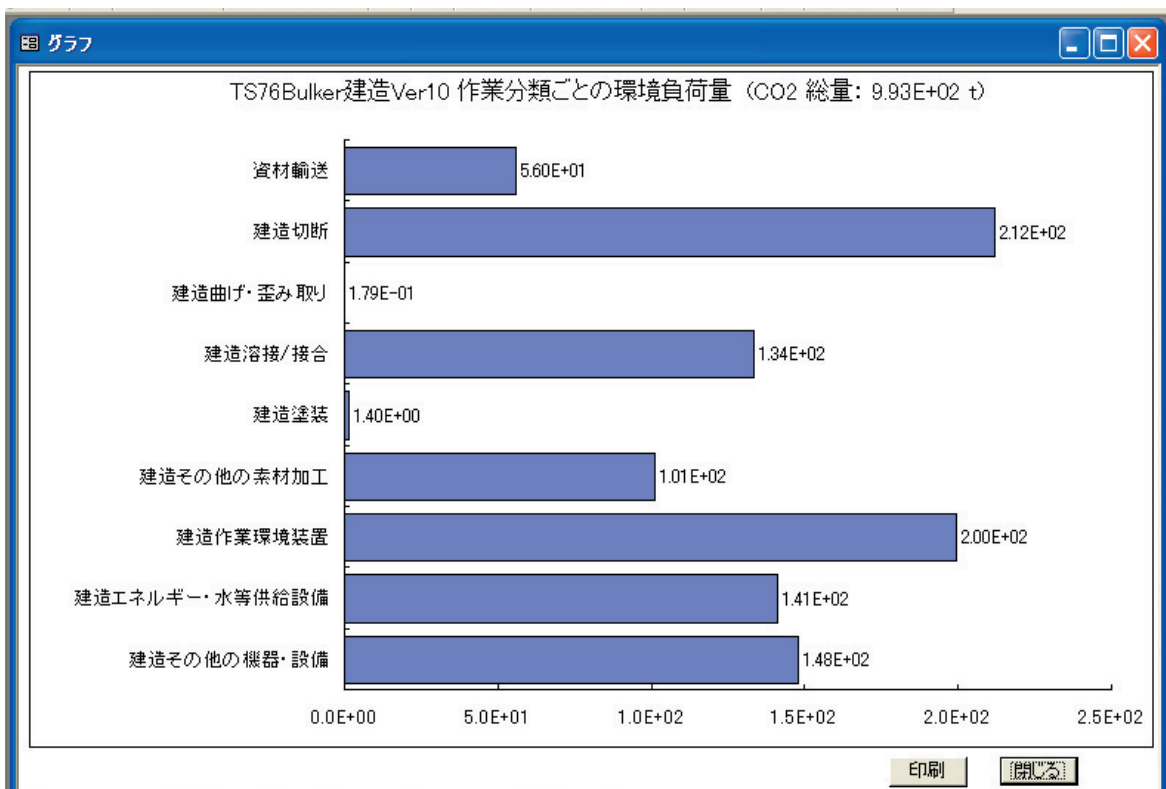


図-9.10 建造の解析結果出力例 (5)

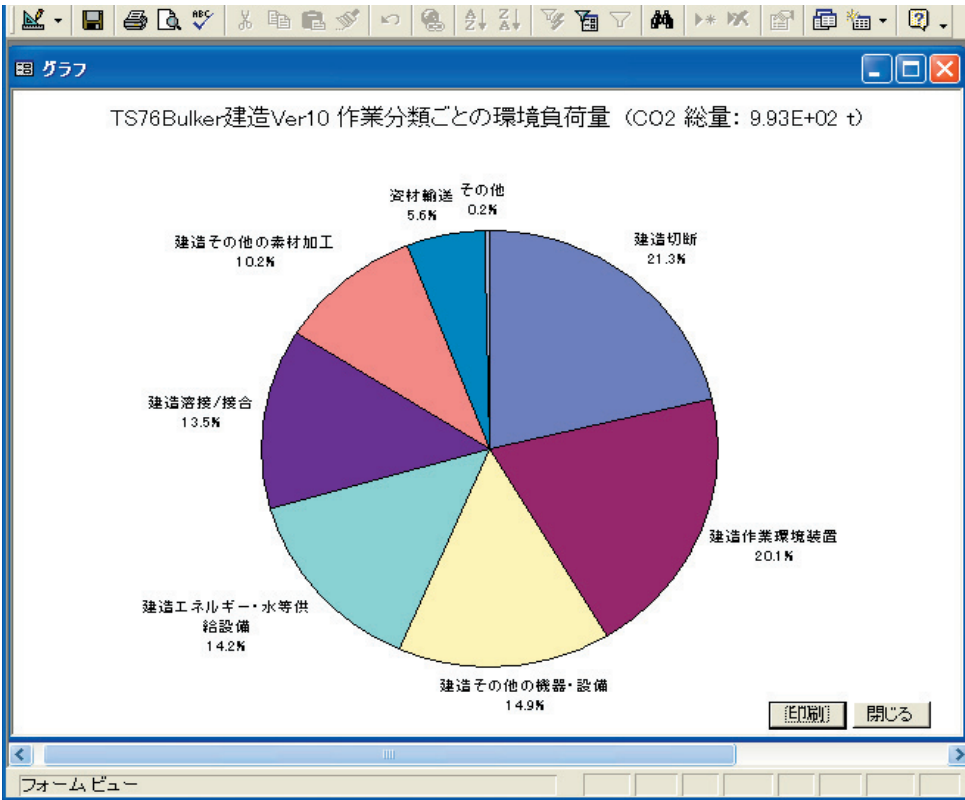


図 -9.11 建造の解析結果出力例 (6)

プロセスデータの入力(G002)

大分類: 鉄・鋼
中分類: 船体用圧延鋼材
プロセス名: Steel ingot (JEMAD)

製品名: Steel ingot (JEMAD)
単位: kg
単価(千円):

インプット/アウトプットの入力 | マテリアル/サブスタンス | コメント、出典等

インプットーサービス・製品

名称	大分類	中分類	使用量	単位
Electricity@ Japan (JE	鉄・鋼	船体用圧延鋼材	-0.3637	kWh

追加

インプットー資源

名称	入力量	単位
----	-----	----

追加

インプットースクラップ(リサイクル品)

名称	入力量	単位
----	-----	----

追加

アウトプットースクラップ(リサイクル品)

名称	出力量	単位
----	-----	----

追加

アウトプットー 排出物

名称	排出区分	排出量	単位
CO	大気中への排出	0.000245	kg
CO2	大気中への排出	1.5936	kg
CxHy	大気中への排出	3.94E-05	kg
dust	大気中への排出	0.000228	kg
N2O	大気中への排出	3.18E-05	kg
NOx	大気中への排出	0.000691	kg
SO2	大気中への排出	0.0012	kg
waste water	水中への排出	2.76E-05	kg
スラグ	固形廃棄物	0.2171	kg

追加

※行を削除する場合は、各行左端にある行セクターを選択してDELキーを押してください。

登録 取消

図 -9.12 プロセスデータ（インプット / アウトプット）の入力画面

プロセスデータの入力(G002)

大分類: 鉄・鋼 製品名: Steel ingod (JEMAD)
 中分類: 船体用圧延鋼材 単位: kg
 プロセス名: Steel ingod (JEMAD) 単価(千円):

インプット/アウトプットの入力 | **マテリアル/サブスタンス** | コメント、出典等

マテリアル

名称	量	単位
▶ 鋼鉄	0.001	ton

追加

サブスタンス

名称	量	単位
----	---	----

追加

※行を削除する場合は、各行左端にある行セクターを選択してDELキーを押してください。

登録 取消

図-9.13 プロセスデータ（マテリアル / サブスタンス）の入力画面

プロセスデータの入力(G002)

大分類: 鉄・鋼 製品名: Steel ingod (JEMAD)
 中分類: 船体用圧延鋼材 単位: kg
 プロセス名: Steel ingod (JEMAD) 単価(千円):

インプット/アウトプットの入力 | マテリアル/サブスタンス | **コメント、出典等**

データベース: JEMAI
 データ作成日: 2000年 4月15日 検証:
 対象年月: 1995 質量バランス:
 対象地域: JAPAN エネルギーバランス:
 技術水準: Unknown 配分ルール:
 データの代表性: Unknown システムモデル/境界:
 データの所在: JEMAI-LCA software システム構成:
 データ作成者: NIRE(資源環境技術総合研究所) エネルギーモデル:
 参考文献: 産業連関表 コード:2611031 粗鋼(転炉) 輸送モデル:
 データの種類: 文献 廃棄物モデル:
 データの収集方法:
 データの処理方法:
 コメント: 輸入比率0%

登録 取消

図-9.14 プロセスデータ（コメント、出典等の一般情報）の入力画面

10. 産業連関表による LCI（ライフサイクルインベントリ）分析

平成 7 年（1995 年）産業連関表⁴⁵⁾と独立行政法人国立環境研究所提供の環境負荷原単位データブック（略称 3EID）⁴⁶⁾を用いて CO₂、NO_x、SO_x、SPM（浮遊粒子状物質）の排出に関する LCI 分析支援ソフトを開発した。そのソフトを用いて船舶関連部門の LCI 分析を行った。

本章では、10.1 節で産業連関表による LCI 分析の方法とその簡単な計算例について報告する。10.2 節で LCI 分析支援ソフトの概要を報告する。10.3 節で、船舶関連部門における LCI 分析結果を報告する。また、国際的取引がからむ「外洋輸送」の LCI 分析の問題点について報告する。

10.1 産業連関表による LCI 分析の方法

10.1.1 産業連関表

産業連関表は、一国の経済活動の様相を表にまとめたものである。各部門の国内生産額の内訳として横方向に、部門 1、2、……に原材料などの中間生産物として売られた中間需要の部分と、消費、輸出などの最終生産物として売られた最終需要の部分を表す。また、縦方向に、各部門が部門 1、2、……から購入した原材料などの中間投入の部分と、雇用者所得や営業利益などの付加価値の部分を表す。表 -10.1 は産業連関表のひな形である。

表 -10.1 産業連関表（ひな形）

	部門1	部門2	...	部門n	最終需要	国内生産額
部門1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}	F_1	X_1
部門2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}	F_2	X_2
...	...	...	...	...	...	...
部門n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nn}	F_n	X_n
付加価値	V_1	V_2	...	V_n		
国内生産額	X_1	X_2	...	X_n		

10.1.2 投入係数表

部門 j が部門 i から投入した額を部門 j の国内生産額で除した値を a_{ij} とすれば、 a_{ij} は部門 j の産品を 1 単位生産するのに必要な部門 i からの投入額を表す。

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad V_j = \frac{V_j}{X_j}$$

この手続きをすべての i, j について同様に行って表にしたものが投入係数表である。投入係数表の例を表 -10.2 に示す。

表 -10.2 投入係数表

	部門1	部門2	...	部門n
部門1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
部門2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...
部門n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}
付加価値	V_1	V_2	...	V_n
国内生産額	1.0	1.0	...	1.0

投入係数表の縦列は、各部門の原単位表とも言えるべきもので、この値が生産波及のすべての段階で変わらないという前提などを設けることによって生産波及の分析を行うことができる。

$$\text{投入係数行列 } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\text{国内生産額 } X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix} \quad \text{最終需要 } F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{bmatrix}$$

とすると次式が成立する。

$$AX + F = X \quad (1)$$

式 (1) は、輸入品の生産に関わる生産額や環境負荷が同一産品を国内で生産した場合のそれと同等であるとみなすモデルである。

10.1.3 生産波及の推計

最終需要 F が与えられたときの国内生産額 X は

$$(I - A)X = F$$

$$X = (I - A)^{-1}F \quad (2)$$

となる。この式を展開すると

$$\begin{aligned} X &= (I + A + A^2 + \dots)F \\ &= F + AF + A^2F + \dots \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} A^m F \end{aligned} \quad (3)$$

となるが、右辺の項は次のように解釈することがで

きる。

最終需要 F を直接的に満たすために

$$X(1) = F$$

この $X(1)$ の生産に必要な原材料の生産のために

$$X(2) = AX(1) = AF$$

同様にして次に必要な生産のために

$$X(3) = AX(2) = A^2F$$

以下同様に繰り返すことによって最終的な生産波及効果として

$$\begin{aligned} X(1) + X(2) + \dots \\ = F + AF + A^2F + \dots \\ = (I - A)^{-1}F \\ = X \end{aligned}$$

が得られると解釈できる。すなわち、 $X = (I - A)^{-1}F$ は、最終需要 F が与えられたときの生産波及の大きさを表す。逆行列 $(I - A)^{-1}$ を次のように表すと

$$(I - A)^{-1} = B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

X は次の式で表される。

$$X = BF \quad (4)$$

式 (4) で、 F を第 j 部門が 1 で他は 0 であるとして与えれば、 X は式 (5) のとおり逆行列の j 列に等しくなる。

$$X = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1j} & b_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & \dots & b_{ij} & b_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nj} & b_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{1j} \\ \dots \\ b_{ij} \\ \dots \\ b_{nj} \end{bmatrix} \quad (5)$$

したがって、第 j 部門に 1 単位の最終需要が生じた場

合の生産波及効果は、逆行列の j 列によって示される。

10.1.4 インベントリ分析

部門 i で 1 単位（100 万円）生産するときに自部門 i から直接排出される排出量を e_i とする。

$$\text{直接排出量} \quad e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

この e は、全ての部門について分かっているものとする。部門 j の 1 単位の生産に対する部門 i への波及効果は、式 (5) のところで説明したとおり b_{ij} であるが、そのとき部門 i から排出される量は $e_i b_{ij}$ である。部門 j の 1 単位の生産から直接間接に排出される量 T_j （以下において、排出原単位という）は

$$T_j = \sum_i e_i b_{ij} \quad (7)$$

と表される。ここで

$$\text{排出原単位} \quad T = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_n \end{bmatrix}$$

とすると排出原単位は

$$\begin{aligned} T &= e^t B \\ T &= e^t (I - A)^{-1} \end{aligned} \quad (8)$$

と表される。ここで、 e^t は e の転置行列である。

$$e^t = [e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n]$$

10.1.5 感度分析

ある部門の排出原単位に大きく影響する部門はどこか、また、十分なデータが入手できないときの排出原単位の誤差は幾らになるか、について目安を得るため以下により感度分析を行う。⁴⁷⁾

式 (8) より、部門 j の排出原単位は、直接排出量 e

と投入係数 A の関数であるので、次の変動率感度

、 S_{ik}^j を導入する。

e_i が だけ微小変化したときの T_j の微小変化

について、直接排出量に対する変動率感度

$$S_i^j = \frac{\partial T_j / T_j}{\partial e_i / e_i} \quad (9)$$

a_{ik} が ∂a_{ik} だけ微小変化したときの T_j の微小変化

について、投入係数に対する変動率感度

$$S_{ik}^j = \frac{\partial T_j / T_j}{\partial a_{ik} / a_{ik}} \quad (10)$$

を定義する。

式 (9) と式 (10) は、文献 48) の中で、摂動法によって次のように誘導できることが証明されている。

$$S_i^j = \frac{b_{ij} e_i}{T_j} \quad (11)$$

$$S_{ik}^j = \frac{a_{ik} T_i b_{kj}}{T_j} \quad (12)$$

なお、LCI 分析支援ソフトでは式 (11) と式 (12) を用いて感度計算を行う。

10.1.6 2 部門の場合の簡単な計算例

以上で述べたことを、2 部門の産業連関表について試算する。

図 -10.1 は、産業連関表が与えられたときの、投入係数行列、逆行列の計算結果と、2 部門間で連鎖する生産波及の過程を表したものである。

図 -10.2 は、図 -10.1 の生産波及が生じたときの排出の状況を表したものである。

同様の状況において、図 -10.3 は、部門 1 の排出量を微増させたときの排出原単位の増加を計算し、直接排出量に対する変動率感度 を式 (9) によって求めたものである。

同様に、図 -10.4 は、投入係数 a_{12} の値を微増させたときの排出原単位の増加を計算し、投入係数対

する変動率感度 S_{ik}^j を式 (10) によって求めたものである。

10.2 LCI 分析支援ソフトの概要

概要図を図 -10.5 に示す。

1) 平成 7 年産業連関表から取引基本表、部門分類コード表、物量表の 3 テーブルを、また、3EID から部門別直接の CO₂ 排出量、NOx 排出量、SOx 排出量、SPM 排出量の 4 ワークシートを入力した。

2) 平成 7 年産業連関表の取引基本表は行 519 部門 × 列 403 部門で構成されているが、3EID に準拠して一部の行と列を統合し、行 399 部門 × 列 399 部門に正方形行列化した。

3) この正方形行列の投入係数行列を生成し、別途作成したプログラムで逆行列表を生成した。

4) 以上の表をリレーショナルデータベースとして編成のうえ、次の統計分析諸表を出力する。

- ① 特定部門の自部門・他部門への生産波及
- ② 特定部門の自部門・他部門への環境影響
- ③ 感度分析
- ④ 特定部門の投入表、算出表、直接排出量
- ⑤ 物量表、特定部門の使用量、単価など

図 -10.6 は画面の例である。

使用言語は Microsoft Access2000 及び Microsoft Visual C# である。

ここで、独立行政法人国立環境研究所提供の 3EID⁴⁶⁾ の概要を述べておく。石炭系 6 種、石油系 12 種、天然ガス系 3 種、その他燃料 5 種の各部門ごとの消費量を、産業連関表「物量表」、「エネルギー生産需給統計」、及び各産業部門の各種統計を勘案しつつ、負荷寄与率、発熱係数や排出係数などを用いて、各部門毎のエネルギー消費量及び、CO₂、NOx、SOx、SPM の排出量を推計したものである。その作成過程にそって一連のデータ表が表計算ワークシートで提供されている。

10.3 船舶関連部門の LCI 分析

船舶関連部門として、表 -10.3 にあげる 7 つの部門について分析を行った。以降において「沿海・内水面輸送」は「内航輸送」と略す。

10.3.1 生産額と生産波及

表 -10.4 に産業全体を 32 部門に統合したときの部門毎の国内生産額を大きい順に 10 位まで示す。表 -10.3 に船舶関連部門の国内生産額を示す。表 -10.5 に「鋼船」の投入表の一部を、表 -10.6 に「内航」の投入表の一部を示す。生産波及の分析結果として、表 -10.7 に「鋼船」の波及効果 2.594 とその内訳について、表 -10.8 に「内航」の波及効果 1.785 とその内訳について示す。

取引基本表

	産業1	産業2	最終需要	国内生産額
産業1	40	10	50	100
産業2	20	10	10	40
付加価値	40	20		
国内生産額	100	40		

投入係数行列(A)

0.4	0.25
0.2	0.25

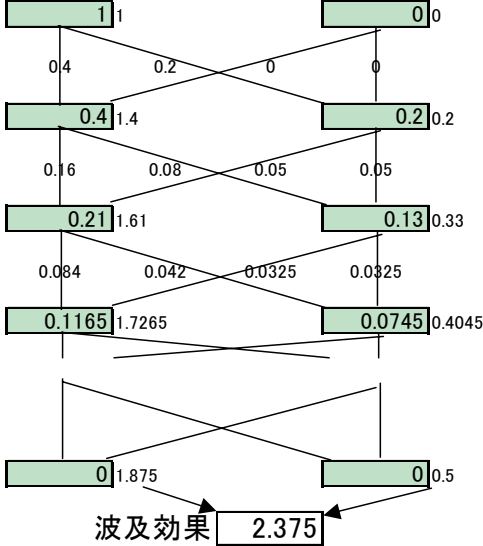
(1-A)

0.6	-0.25
-0.2	0.75

(1-A)の逆行列

1.875	0.625
0.5	1.5

産業1(n次影響と累積) 産業2(n次影響と累積)



産業1(n次影響と累積) 産業2(n次影響と累積)

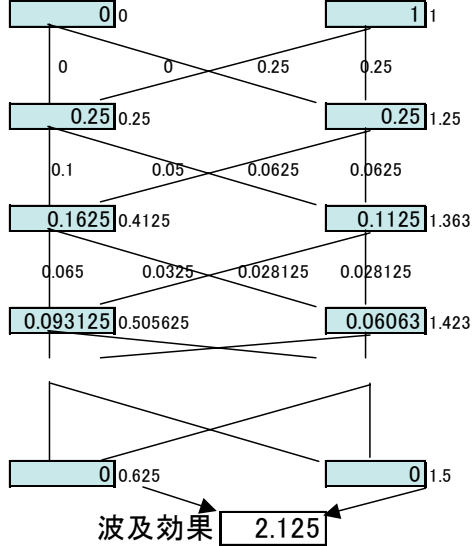


図-10.1 生産波及の計算例

取引基本表

	産業1	産業2	最終需要	国内生産額
産業1	40	10	50	100
産業2	20	10	10	40
付加価値	40	20		
国内生産額	100	40		
年間排出量	10	100		
単位排出量	0.1	2.5		

投入係数行列(A)

0.4	0.25
0.2	0.25

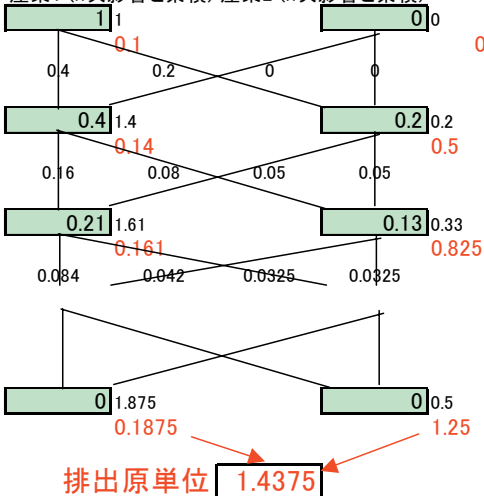
(1-A)

0.6	-0
-0.2	0.8

(1-A)の逆行列

1.875	0.625
0.5	1.5

産業1(n次影響と累積) 産業2(n次影響と累積)



産業1(n次影響と累積) 産業2(n次影響と累積)

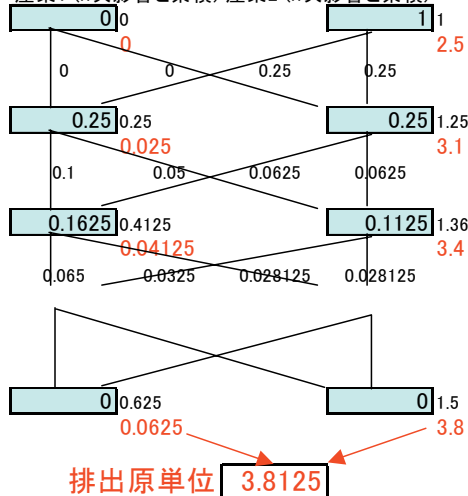
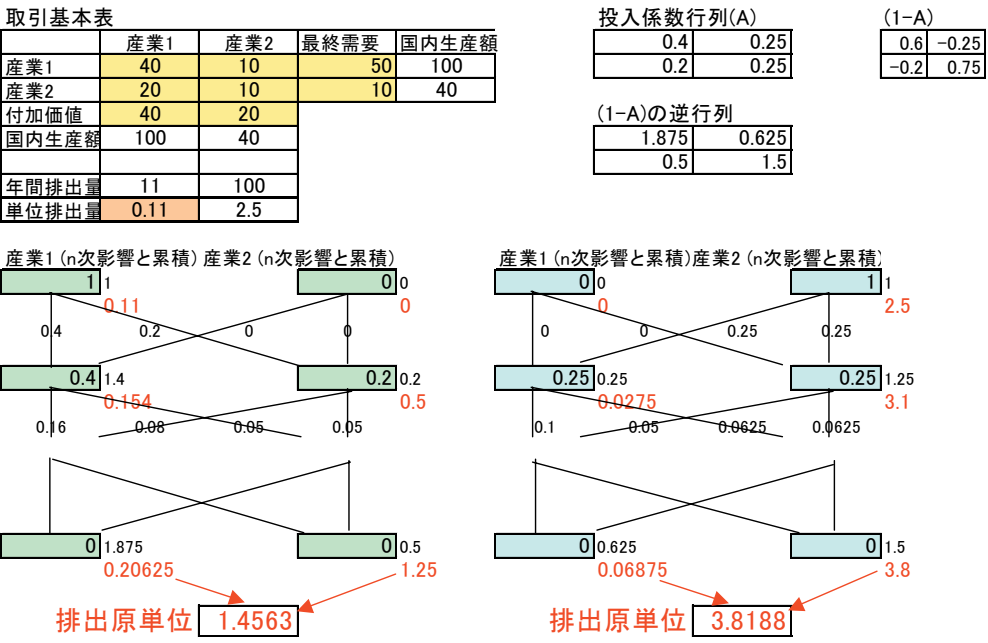


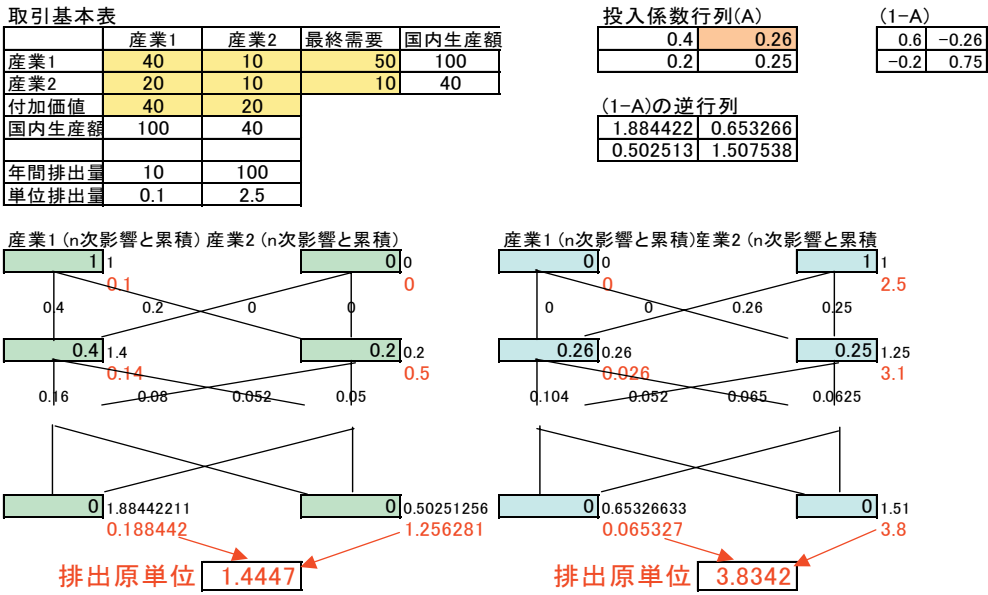
図-10.2 環境影響の計算例



変動率感度 (Tの変動率/e1の変動率)の試算

	産業1の排出原単位 (T1)	産業2の排出原単位 (T2)
① e ₁ = 0.1	1.4375	3.8125
② e ₁ = 0.11	1.4563	3.8188
変動率感度	0.1304	0.0164

図-10.3 感度分析の計算例 (直接排出量)



変動率感度 (Tの変動率/a12の変動率)の試算

	産業1の排出原単位 (T1)	産業2の排出原単位 (T2)
① a ₁₂ = 0.25	1.4375	3.8125
② a ₁₂ = 0.26	1.4447	3.8342
変動率感度	0.1256	0.1421

図-10.4 感度分析の計算例 (投入係数)

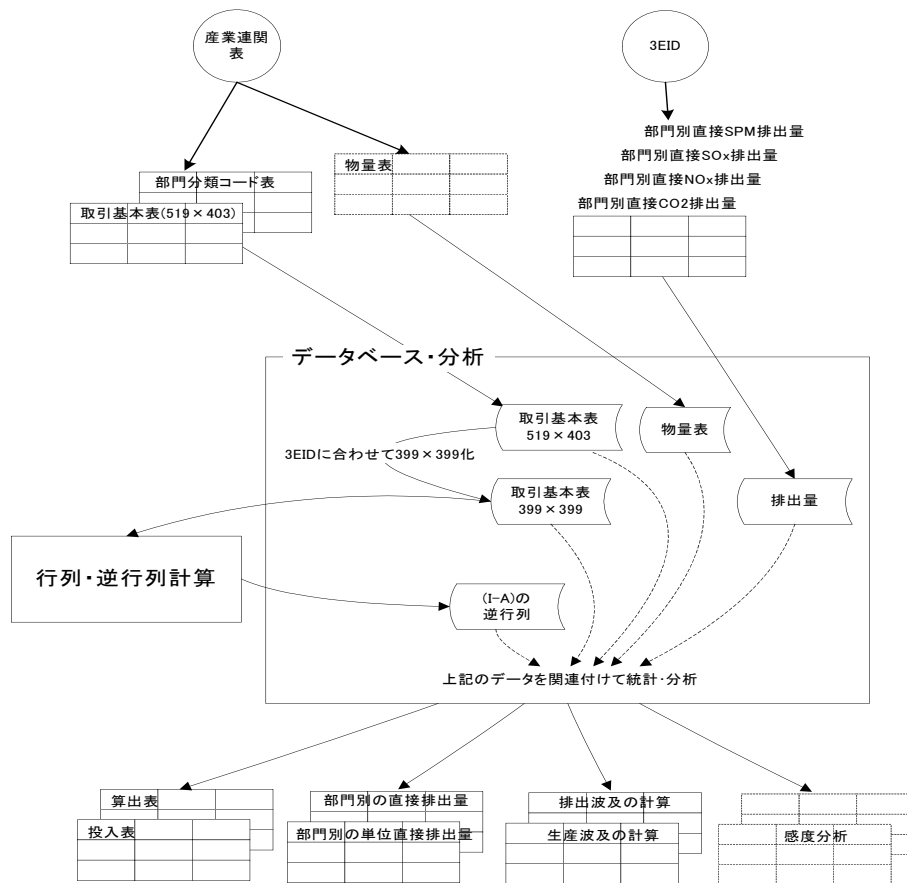


図-10.5 産業関連表による LCA 分析支援ソフトの概要

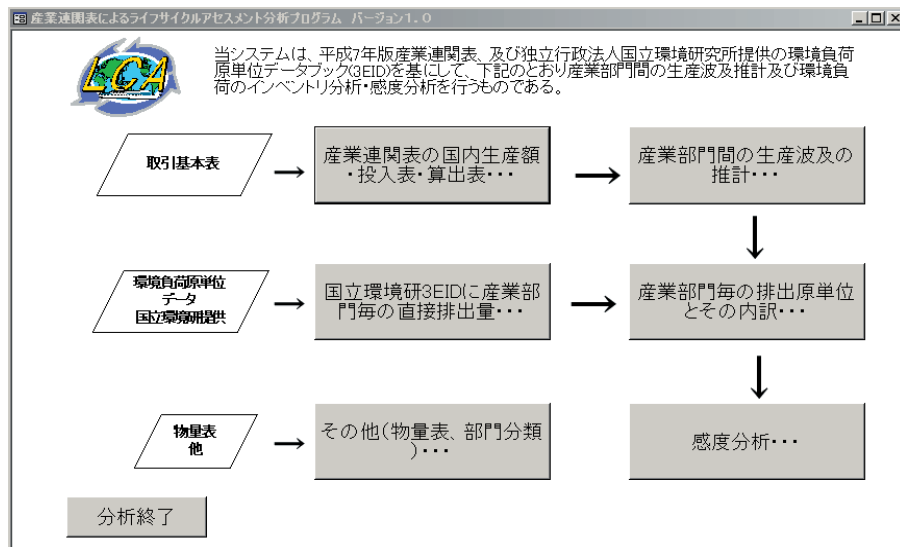


図-10.6 LCI 分析支援ソフトのメイン画面

10.3.2 CO₂

表-10.9に直接排出量の多い部門の上位10と、船舶関連部門の直接排出量を示す。外洋輸送が全体で6位に入っている。

表-10.10にCO₂の単位直接排出量（国内生産額100万円あたりの排出量）と排出原単位（国内生産額100万円あたりの直接間接の排出量の合計）を示す。輸送機械部門に属する4部門は、運輸部門に属する3部門と比べると、単位直接排出量も排出原単位も少ないが、単位直接排出量に対する排出原単位の倍率は大いことが分かる。

表-10.11に「鋼船」の直接排出量に対する変動率感度の上位10を示す。この変動率感度から関係部門の単位直接排出量を1（100%）減少できれば「鋼船」

の排出原単位を幾ら減らせるかが分かる。表-10.12に「鋼船」の投入係数に対する変動率感度の上位10を示す。この変動率感度から関係部門の投入係数を1（100%）減少できれば「鋼船」の排出原単位を幾ら減らせるかが分かる。表-10.11と表-10.12から、「鋼船」では自部門よりも関連部門の方がはるかに多くのCO₂を排出することが分かる。LCA的にみると「鋼船」におけるCO₂排出原単位向上のためには他部門での直接排出量の削減が欠かせない。

同様の見方をすれば表-10.13と表-10.14から、「内航」自体から大部分のCO₂を排出しており関連部門からの排出の割合は低いことが分かる。LCA的にみると「内航」におけるCO₂排出原単位向上は他力本願では達成できず、あくまで自力によってのみ可能である。

表-10.3 船舶関連部門の国内生産額

大分類	部門	国内生産額 (100万円)	国内生産額グラフ
輸送機械	鋼船	1,292,067	*****
	船用内燃機関	503,098	****
	船舶修理	305,995	***
	その他の船舶	79,942	*
運輸	外洋輸送	1,802,170	*****
	港湾運送	1,452,187	*****
	沿海・内水面輸送	1,308,052	*****

表-10.4 国内生産額の上位10

順位	部門(大分類)	国内生産額 (100万円)	国内生産額グラフ
1	商業	102,321,555	*****
2	建設	88,149,287	*****
3	不動産	64,185,198	*****
4	対事業所サービス	62,691,269	*****
5	対個人サービス	54,173,255	*****
6	電気機械	50,385,454	*****
7	運輸	50,113,776	*****
8	輸送機械	41,855,798	*****
9	食料品	38,856,530	*****
10	金融・保険	36,334,562	*****
10~32	～		
	合計	937,100,631	

表-10.5 「鋼船」部門の投入係数

順位	部門	生産者価格額 (100万円)	投入係数	グラフ
1	船用内燃機関	198,669	0.154	*****
2	熱間圧延鋼材	97,243	0.075	*****
3	卸売	87,900	0.068	*****
4	金融	42,931	0.033	*****
5	鉄鋼シャースリット業	42,512	0.033	*****
6	ポンプ及び圧縮機	25,296	0.020	****
7	物品賃貸業(除貸自動車)	23,397	0.018	****
8	運搬機械	20,497	0.016	***
9	その他の金属製品	19,638	0.015	***
10	回転電気機械	18,592	0.014	***
	内生部門計	899,705	0.696	
	付加価値計	392,362	0.304	
	国内生産額	1,292,067	1.000	

表-10.6「内航」部門の投入係数

順位	部門	生産者価格額 (100万円)	投入係数	グラフ
1	金融	100,058	0.076	*****
2	船舶修理	84,983	0.065	*****
3	石油製品	77,293	0.059	*****
4	水運施設管理	48,221	0.037	*****
5	旅行・その他の運輸付帯サービス	40,515	0.031	*****
6	卸売	25,641	0.020	****
7	その他の水運付帯サービス	22,698	0.017	***
8	損害保険	15,699	0.012	**
9	広告	15,493	0.012	**
10	分類不明	14,231	0.011	**
	内生部門計	568,907	0.435	
	付加価値計	739,145	0.565	
	国内生産額	1,308,052	1.000	

表-10.7「鋼船」の生産波及効果

順位	部門	投入係数	生産波及効果	生産波及効果グラフ
1	鋼船	0.000	1.000	*****
2	船用内燃機関	0.154	0.192	*****
3	卸売	0.068	0.123	*****
4	熱間圧延鋼材	0.075	0.115	*****
5	金融	0.033	0.086	*****
6	粗鋼(転炉)	0.000	0.050	****
7	鉄鋼シャースリット業	0.033	0.043	****
8	事業用電力	0.013	0.041	****
9	物品賃貸業(除貸自動車)	0.018	0.038	****
10	冷間仕上鋼材	0.011	0.032	***
	(合計)		2.594	

表-10.8「内航」の生産波及効果

順位	部門	投入係数	生産波及効果	生産波及効果グラフ
1	沿海・内水面輸送	0.007	1.009	*****
2	金融	0.076	0.111	*****
3	船舶修理	0.065	0.066	*****
4	石油製品	0.059	0.066	*****
5	卸売	0.020	0.039	****
6	水運施設管理	0.037	0.037	****
7	旅行・その他の運輸付帯サービス	0.031	0.032	***
8	原油・天然ガス	0.000	0.023	**
9	広告	0.012	0.020	**
10	その他の水運付帯サービス	0.017	0.018	**
	(合計)		1.785	

表 -10.9 直接 CO₂ 排出量

順位	部門	直接CO2排出量 (t-c)	国内比率	グラフ
1	事業用電力	83,957,453	0.278	*****
2	鉄鉄	29,964,592	0.099	*****
3	セメント	19,821,390	0.066	*****
4	自家用旅客自動車輸送	12,713,679	0.042	*****
5	道路貨物輸送	11,978,282	0.040	*****
6	外洋輸送	11,157,149	0.037	*****
7	自家発電	10,737,650	0.036	*****
8	自家用貨物自動車輸送	9,198,829	0.030	*****
9	石油製品	7,683,059	0.025	*****
10	航空輸送	6,486,295	0.021	****
	(合計)	301,954,776	1.000	
	鋼船	26,781.36	0.000	
	その他の船舶	2,423.45	0.000	
	船用内燃機関	33,373.72	0.000	
	船舶修理	4,675.79	0.000	
6	外洋輸送	11,157,148.70	0.037	*****
	沿海・内水面輸送	3,014,947.76	0.010	**
	港湾運送	291,589.51	0.001	

表 -10.10 単位直接 CO₂ 排出量と CO₂ 排出原単位 (t-C/ 百万円)

順位	399部門	単位直接	排出原単位	CO2排出原単位グラフ
1	セメント	28.28	30.17	*****
2	鉄鉄	25.03	27.68	*****
3	自家発電	16.59	17.99	*****
4	粗鋼(転炉)	-0.63	12.98	*****
5	外洋輸送	6.19	10.75	*****
6	アンモニア	8.45	10.28	*****
7	フェロアロイ	7.10	9.60	*****
8	塩	5.78	7.08	*****
9	熱間圧延鋼材	0.28	7.04	*****
10	石炭製品	5.08	6.79	*****
	鋼船	0.02	1.30	**
	その他の船舶	0.03	0.84	*
	船用内燃機関	0.07	1.05	**
	船舶修理	0.02	1.05	**
5	外洋輸送	6.19	10.75	*****
	沿海・内水面輸送	2.30	2.58	****
	港湾運送	0.20	0.34	*

表 -10.11 「鋼船」における直接排出量に対する変動率感度 (CO₂)

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	鉄鉄	0.48	*****
2	事業用電力	0.16	*****
3	自家発電	0.06	*****
4	石炭製品	0.04	****
5	フェロアロイ	0.04	****
6	鋳鉄品及び鍛工品(鉄)	0.03	***
7	熱間圧延鋼材	0.03	***
8	道路貨物輸送	0.02	**
9	鋼船	0.02	**
10	自家用旅客自動車輸送	0.01	*

10.3.3 NO_x

CO₂と同様のことを表-10.15～表-10.20に示す。NO_xの直接排出量、単位直接排出量及び排出原単位のすべてにおいて「外洋」と「内航」が1～4位を占める。LCA的にみると「鋼船」におけるNO_x排出原単位向上のためには他部門での直接排出量の削減が欠かせない。「内航」におけるNO_x排出原単位向上はあくまで自力によってのみ可能である。

10.3.4 SO_x

CO₂と同様のことを表-10.21～表-10.26に示す。SO_xの直接排出量、単位直接排出量及び排出原単位の

すべてにおいて「外洋」と「内航」が1～3位を占める。LCA的にみると「鋼船」におけるSO_x排出原単位向上のためには他部門での直接排出量の削減が欠かせない。「内航」におけるSO_x排出原単位向上はあくまで自力によってのみ可能である。

10.3.5 SPM

CO₂と同様のことを表-10.27～表-10.32に示す。SPMの直接排出量、単位直接排出量及び排出原単位のすべてにおいて「外洋」と「内航」が1～8位を占める。LCA的にみると「鋼船」におけるSPM排出原単位向上のためには他部門での直接排出量の削減が欠かせ

表-10.12 「鋼船」における投入係数に対する変動率感度 (CO₂)

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>i</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.501	***** *****
2	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.495	***** *****
3	鋼船	熱間圧延鋼材	0.407	*****
4	鋼船	船用内燃機関	0.124	*****
5	冷間仕上鋼材	熱間圧延鋼材	0.088	*****
6	鋼船	鉄鋼シャースリット業	0.082	*****
7	熱間圧延鋼材	粗鋼(電気炉)	0.078	*****
8	鉄鋼シャースリット業	熱間圧延鋼材	0.060	*****
9	鋼船	事業用電力	0.059	*****
10	鋼船	冷間仕上鋼材	0.038	*****

表-10.13 「内航」における直接排出量に対する変動率感度 (CO₂)

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	0.90	***** ***** *****
2	石油製品	0.02	**
3	事業用電力	0.02	**
4	銑鉄	0.01	*
5	自家発電	0.01	*
6	自家用旅客自動車輸送	0.00	
7	水運施設管理	0.00	
8	道路貨物輸送	0.00	
9	自家用貨物自動車輸送	0.00	
10	廃棄物処理(産業)	0.00	

表-10.14 「内航」における投入係数に対する変動率感度 (CO₂)

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>i</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	石油製品	0.028	***
2	沿海・内水面輸送	船舶修理	0.027	***
3	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.015	*
4	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.014	*
5	船舶修理	熱間圧延鋼材	0.011	*
6	沿海・内水面輸送	沿海・内水面輸送	0.007	*
7	沿海・内水面輸送	水運施設管理	0.006	*
8	石油製品	原油・天然ガス	0.005	
9	沿海・内水面輸送	事業用電力	0.004	
10	沿海・内水面輸送	金融	0.004	

表 -10. 15 直接 NOx 排出量

順位	部門	直接NOx排出量 (Kg)	国内比率	グラフ
1	外洋輸送	1,109,187,500	0.324	***** *****
2	道路貨物輸送	326,363,472	0.095	*****
3	自家用貨物自動車輸送	251,062,484	0.073	*****
4	沿海・内水面輸送	227,918,897	0.067	*****
5	事業用電力	206,999,512	0.061	*****
6	海面漁業	166,878,539	0.049	*****
7	セメント	119,958,405	0.035	*****
8	航空輸送	94,903,303	0.028	****
9	自家発電	49,428,298	0.014	**
10	銑鉄	48,218,885	0.014	**
	(合計)	3,419,871,343	1.000	
	鋼船	223,625	0.000	
	その他の船舶	37,360	0.000	
	船用内燃機関	225,545	0.000	
	船舶修理	38,271	0.000	
1	外洋輸送	1,109,187,500	0.324	***** *****
4	沿海・内水面輸送	227,918,897	0.067	*****
	港湾運送	20,745,260	0.006	*

表 -10. 16 単位直接 NOx 排出量と NOx 排出原単位 (kg/ 百万円)

順位	399部門	単位直接	排出原単位	NOx排出原単位グラフ
1	外洋輸送	615.47	1,042.74	***** *****
2	セメント	171.15	185.01	*****
3	沿海・内水面輸送	174.24	177.33	*****
4	海面漁業	110.38	114.38	*****
5	自家発電	76.36	87.28	****
6	自家用貨物自動車輸送	69.12	75.35	****
7	海面養殖業	40.94	65.23	***
8	フェロアロイ	47.56	62.05	***
9	冷凍魚介類	0.12	60.94	***
10	銑鉄	40.28	58.70	***
	鋼船	0.17	5.91	
	その他の船舶	0.47	4.79	
	船用内燃機関	0.45	4.98	
	船舶修理	0.13	4.97	
1	外洋輸送	615.47	1,042.74	***** *****
3	沿海・内水面輸送	174.24	177.33	*****
	港湾運送	14.29	15.17	*

表 -10. 17 「鋼船」における直接排出量に対する変動率感度 (NOx)

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	銑鉄	0.17	*****
2	道路貨物輸送	0.11	*****
3	沿海・内水面輸送	0.10	*****
4	事業用電力	0.09	*****
5	自家発電	0.06	*****
6	石炭製品	0.05	*****
7	自家用貨物自動車輸送	0.05	*****
8	フェロアロイ	0.05	*****
9	熱間圧延鋼材	0.04	****
10	鋼船	0.03	***

表-10.18 「鋼船」における投入係数に対する変動率感度 (NOx)

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>j</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	鋼船	熱間圧延鋼材	0.300	*****
2	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.281	*****
3	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.234	*****
4	鋼船	船用内燃機関	0.129	*****
5	熱間圧延鋼材	粗鋼(電気炉)	0.106	*****
6	鋼船	鉄鋼シャースリット業	0.073	*****
7	冷間仕上鋼材	熱間圧延鋼材	0.065	*****
8	鋼船	道路貨物輸送	0.053	*****
9	鉄鋼シャースリット業	熱間圧延鋼材	0.045	****
10	銑鉄	石炭製品	0.043	****

表-10.19 「内航」における直接排出量に対する変動率感度 (NOx)

順位	部門 <i>j</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	0.99	*****
2	石油製品	0.00	*****
3	水運施設管理	0.00	*****
4	道路貨物輸送	0.00	
5	自家用貨物自動車輸送	0.00	
6	事業用電力	0.00	
7	港湾運送	0.00	
8	自家発電	0.00	
9	航空輸送	0.00	
10	銑鉄	0.00	

表-10.20 「内航」における投入係数に対する変動率感度 (NOx)

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>j</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	沿海・内水面輸送	0.007	*
2	沿海・内水面輸送	石油製品	0.002	
3	沿海・内水面輸送	船舶修理	0.002	
4	沿海・内水面輸送	水運施設管理	0.001	
5	石油製品	沿海・内水面輸送	0.001	
6	沿海・内水面輸送	港湾運送	0.001	
7	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.001	
8	船舶修理	熱間圧延鋼材	0.001	
9	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.000	
10	石油製品	原油・天然ガス	0.000	

ない。「内航」における SPM 排出原単位向上はあくまで自力によってのみ可能である。

10.3.6「外洋」分析の問題点

表-10.33に「外洋」の生産波及効果を示す。この表と、表-10.7と表-10.8を見比べると、「外洋」だけは自部門への生産波及効果が大きく出ている。「鋼船」の1.000、「内航」の1.009に対し「外洋」は1.681にもなっている。その原因を表-10.34に見つけるこ

とができる。表-10.34は産業連関表投入係数表の水運3部門に関する部分だけを表したものであるが、自部門の交点の投入係数（対角線上の値）のうち「外洋」の投入係数の大きさだけが際だっている。

表-10.21 直接 SOx 排出量

順位	部門	直接SOx排出量 (Kg)	国内比率	グラフ
1	外洋輸送	751,380,003	0.407	*****
2	事業用電力	176,341,872	0.096	*****
3	沿海・内水面輸送	133,719,717	0.072	*****
4	海面漁業	92,988,133	0.050	*****
5	自家発電	43,127,691	0.023	***
6	道路貨物輸送	33,538,534	0.018	**
7	銑鉄	31,111,466	0.017	**
8	石油製品	27,409,528	0.015	**
9	洋紙・和紙	21,332,502	0.012	*
10	下水道	20,298,055	0.011	*
	(合計)	1,846,250,909	1.000	
	鋼船	100,294	0.000	
	その他の船舶	4,532	0.000	
	船用内燃機関	127,370	0.000	
	船舶修理	16,908	0.000	
1	外洋輸送	751,380,003	0.407	*****
3	沿海・内水面輸送	133,719,717	0.072	*****
	港湾運送	9,462,240	0.005	*

表-10.22 単位直接 SOx 排出量と SOx 排出原単位 (kg/百万円)

順位	399部門	単位直接	排出原単位	SOx排出原単位グラフ
1	外洋輸送	416.93	705.03	*****
2	沿海・内水面輸送	102.23	104.10	*****
3	自家発電	66.63	73.41	*****
4	海面漁業	61.51	63.67	*****
5	塩	40.40	47.74	***
6	海面養殖業	26.06	39.61	***
7	銑鉄	25.99	37.17	***
8	フェロアロイ	25.40	34.89	**
9	冷凍魚介類	0.18	33.82	**
10	魚油・魚かす	5.79	33.51	**
	鋼船	0.08	3.47	
	その他の船舶	0.06	2.70	
	船用内燃機関	0.25	3.44	
	船舶修理	0.06	2.99	
1	外洋輸送	416.93	705.03	*****
2	沿海・内水面輸送	102.23	104.10	*****
	港湾運送	6.52	7.02	

表-10.23 「鋼船」における直接排出量に対する変動率感度 (S0x)

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	銑鉄	0.19	*****
2	事業用電力	0.13	*****
3	沿海・内水面輸送	0.10	*****
4	自家発電	0.09	*****
5	石炭製品	0.06	*****
6	フェロアロイ	0.05	*****
7	鑄鉄品及び鍛工品(鉄)	0.04	****
8	熱間圧延鋼材	0.02	**
9	鋼船	0.02	**
10	鑄鍛鋼	0.02	**

表-10.24 「鋼船」における投入係数に対する変動率感度 (S0x)

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>i</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.292	*****
2	鋼船	熱間圧延鋼材	0.287	*****
3	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.252	*****
4	鋼船	船用内燃機関	0.152	*****
5	熱間圧延鋼材	粗鋼(電気炉)	0.092	*****
6	鋼船	鉄鋼シャースリット業	0.069	*****
7	冷間仕上鋼材	熱間圧延鋼材	0.062	*****
8	鋼船	事業用電力	0.049	*****
9	銑鉄	石炭製品	0.049	*****
10	鉄鋼シャースリット業	熱間圧延鋼材	0.043	****

表-10.25 「内航」における直接排出量に対する変動率感度 (S0x)

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	0.99	*****
2	石油製品	0.00	*****
3	水運施設管理	0.00	*****
4	事業用電力	0.00	*****
5	自家発電	0.00	*****
6	港湾運送	0.00	*****
7	銑鉄	0.00	*****
8	洋紙・和紙	0.00	*****
9	パルプ	0.00	*****
10	石炭製品	0.00	*****

表-10.26 「内航」における投入係数に対する変動率感度 (S0x)

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>i</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	沿海・内水面輸送	0.007	*
2	沿海・内水面輸送	石油製品	0.003	
3	沿海・内水面輸送	船舶修理	0.002	
4	沿海・内水面輸送	水運施設管理	0.002	
5	石油製品	沿海・内水面輸送	0.001	
6	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.001	
7	船舶修理	熱間圧延鋼材	0.001	
8	沿海・内水面輸送	港湾運送	0.001	
9	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.000	
10	石油製品	原油・天然ガス	0.000	

表-10.27 直接の SPM 排出量

順位	部門	直接SPM排出量 (Kg)	国内比率	グラフ
1	外洋輸送	46,593,798	0.152	***** *****
2	道路貨物輸送	38,618,007	0.126	*****
3	自家用貨物自動車輸送	26,175,559	0.085	*****
4	事業用電力	19,701,752	0.064	*****
5	廃棄物処理(公営)	14,607,890	0.048	*****
6	米	13,341,275	0.044	*****
7	海面漁業	12,475,402	0.041	*****
8	沿海・内水面輸送	12,229,017	0.040	*****
9	銑鉄	5,995,850	0.020	*****
10	航空輸送	5,823,449	0.019	*****
	(合計)	306,574,770	1.000	
	鋼船	50,311	0.000	
	その他の船舶	3,985	0.000	
	船用内燃機関	29,289	0.000	
	船舶修理	6,709	0.000	
1	外洋輸送	46,593,798	0.152	***** *****
8	沿海・内水面輸送	12,229,017	0.040	*****
	港湾運送	1,025,851	0.003	*

表-10.28 単位直接 SPM 排出量と SPM 排出原単位 (kg/ 百万円)

順位	399部門	単位直接	排出原単位	SPM排出原単位グラフ
1	外洋輸送	25.85	43.97	*****
2	廃棄物処理(公営)	11.95	12.35	*****
3	農業サービス(除獣医業)	10.62	11.25	*****
4	沿海・内水面輸送	9.35	9.61	*****
5	海面漁業	8.25	8.60	*****
6	自家発電	7.60	8.29	*****
7	自家用貨物自動車輸送	7.21	7.70	*****
8	塩	6.47	7.65	*****
9	セメント	5.85	7.04	*****
10	銑鉄	5.01	6.29	*****
	鋼船	0.04	0.60	*
	その他の船舶	0.05	0.50	*
	船用内燃機関	0.06	0.55	*
	船舶修理	0.02	0.50	*
1	外洋輸送	25.85	43.97	*****
4	沿海・内水面輸送	9.35	9.61	*****
	港湾運送	0.71	0.80	*

表-10.29 「鋼船」における直接排出量に対する変動率感度 (SPM)

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	銑鉄	0.21	*****
2	道路貨物輸送	0.12	*****
3	事業用電力	0.08	*****
4	鋼船	0.06	*****
5	自家発電	0.06	*****
6	自家用貨物自動車輸送	0.06	*****
7	沿海・内水面輸送	0.05	*****
8	熱間圧延鋼材	0.04	****
9	鑄鉄品及び鍛工品(鉄)	0.02	**
10	石炭製品	0.02	**

表-10.30 「鋼船」における投入係数に対する変動率感度（SPM）

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>i</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.275	*****
2	鋼船	熱間圧延鋼材	0.261	*****
3	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.246	*****
4	鋼船	船用内燃機関	0.140	*****
5	鋼船	鉄鋼シャースリット業	0.066	*****
6	熱間圧延鋼材	粗鋼(電気炉)	0.062	*****
7	鋼船	道路貨物輸送	0.060	*****
8	冷間仕上鋼材	熱間圧延鋼材	0.056	*****
9	鉄鋼シャースリット業	熱間圧延鋼材	0.039	****
10	船用内燃機関	船用内燃機関	0.034	***

表-10.31 「内航」における直接排出量に対する変動率感度（SPM）

順位	部門 <i>i</i>	感度 <i>e</i>	感度 <i>e</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	0.98	*****
2	水運施設管理	0.00	*****
3	石油製品	0.00	*****
4	道路貨物輸送	0.00	*****
5	自家用貨物自動車輸送	0.00	*****
6	事業用電力	0.00	*****
7	自家発電	0.00	*****
8	銑鉄	0.00	*****
9	廃棄物処理(産業)	0.00	*****
10	港湾運送	0.00	*****

表-10.32 「内航」における投入係数に対する変動率感度（SPM）

順位	部門 <i>k</i>	部門 <i>i</i>	感度 <i>a</i>	感度 <i>a</i> グラフ
1	沿海・内水面輸送	沿海・内水面輸送	0.007	*
2	沿海・内水面輸送	石油製品	0.004	*
3	沿海・内水面輸送	船舶修理	0.003	*
4	沿海・内水面輸送	水運施設管理	0.003	*
5	熱間圧延鋼材	粗鋼(転炉)	0.001	*
6	粗鋼(転炉)	銑鉄	0.001	*
7	船舶修理	熱間圧延鋼材	0.001	*
8	沿海・内水面輸送	金融	0.001	*
9	石油製品	原油・天然ガス	0.001	*
10	沿海・内水面輸送	道路貨物輸送	0.001	*

表-10.34 水運3部門の投入係数表

・・・	外洋	内航	港湾	・・・
外洋	0.40523	0.00001	0.00000	
内航	0.00287	0.00725	0.00036	
港湾	0.21954	0.00738	0.00002	
・・・				

表-10.35 水運3部門の投入表

・・・	外洋	内航	港湾	・・・
外洋	730,300(730,300)	12(0)	0	
内航	5,164(1)	9,477(0)	528(0)	
港湾	395,647(218,428)	9,649(0)	31(0)	
・・・				

数字の単位は100万円。() 内数字は輸入額(内数)を表す

表-10.35は表-10.34の基となっている投入表の一部である。「外洋」の自部門の交点には7,303億円が計上されている。この金額が「外洋」の国内生産額1兆8,020億円の40.523%（投入係数）を占めるため、自部門同士（「外洋」→「外洋」）の波及効果を増大させている。ところが、この7,303億円のすべてが輸入額となっているので、その内容を参考文献46)で調べると、すべて外国への用船料の支払い分ということである。このような外国産業との取引も国内産業間の取引と同様に生産波及させることになるので分析結果は実態に合わない。

また、表-10.35によると「港湾」から「外洋」への投入額3,956億4,700万円のうち2,184億2,800万円が輸入額であるが、その内容を参考文献46)で調べると、外国港における日本船籍の船内荷役料に相当するものということである。このような外国港での取引も国内取引と同じに扱ってしまうので分析結果は実態に合わない。

10.4 鋼船建造1GT当たりCO₂排出量

造船造機月報による1997年の鋼船建造実績を図-10.7に示す。建造実績は、起工、進水、竣工のタイミングで少し異なっているが、竣工ベースで868万GT、竣工隻数は875隻で、1隻あたり平均9,923GTである。竣工ベース建造実績の内訳は輸出貨物船が559万GT（64%）、輸出油送船が228万GT（26%）と大部分を占める。その他の八つの船種は合計しても81万GT（10%）にすぎない。

竣工船船価の合計は1.15兆円である。先に示した産業連関表による鋼船の国内生産額は1.29兆円であった。この差異については、産業連関表の生産額には改造の生産額が含まれることと、起工・進水・竣工の時間差による統計の誤差などが考えられる。

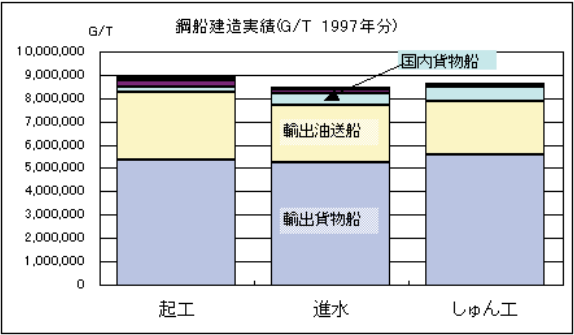


図-10.7 鋼船建造実績 (1997 年分)

GTあたりの船価は、平均で13.2万円になるが、国内客船の319万円から輸出油送船の9.9万円まで船種による差が大きい。しかし輸出貨物船、輸出油送船の建造実績が大半であるので平均船価を用いて船舶の建造により排出されるCO₂量を考察する。産業連関表の

表-10.33 「外洋」の生産波及効果

順位	部門	投入係数	生産波及効果	生産波及効果グラフ
1	外洋輸送	0.405	1.681	*****
2	港湾運送	0.220	0.370	*****
3	金融	0.041	0.126	*****
4	石油製品	0.047	0.090	*****
5	不動産賃貸業	0.001	0.083	*****
6	その他の水運付帯サービス	0.037	0.063	*****
7	水運施設管理	0.021	0.037	****
8	船舶修理	0.016	0.034	***
9	卸売	0.010	0.033	***
10	原油・天然ガス	0.000	0.031	***
	(合計)		2.867	

鋼船建造による究極的CO₂排出量167万t-Cと鋼船建造実績から1GTあたりCO₂排出量を求め、さらに竣工船舶価合計と国内生産額で按分すると、1GTあたりCO₂排出量は0.171t-Cとなる。

鋼船建造によるCO₂排出量を産業連関表分析の結果と積み上げ方式の結果を比較する。76,000DWTバルカー(総トン数40,100GT)の建造によりCO₂排出量は積み上げ方式で15,360t-CO₂であった。これに対して、産業連関表分析の結果を利用すると25,140t-CO₂と約1.6倍となる。GTが船体容積を基準にした課税基準などに利用される経済的な意味を有する単位であるのに対して、積み上げ方式のCO₂排出量は物量収支から得られた値であることを考慮すると、首肯できる範囲の精度と考えられる。

10.5 まとめ

(1) 産業連関表と3EIDを用いて、産業連関表の投入・算出のバランスに基づいてCO₂、NO_x、SO_x、SPM(浮遊粒子状物質)の排出についてLCI分析を行うためのLCI分析支援ソフトを開発した。

(2) このLCI分析支援ソフトで分析すると、「鋼船」自体からの直接排出量は少ないが、関連部門から間接的にはるかに多くの排出が行われていることが分かる。LCA的にみると「鋼船」における排出原単位向上のためには他部門での直接排出量の削減が欠かせない。

(3) また、「内航」自体からの排出量が多く相対的に関連部門からの排出量は少ないことが分かる。LCA的にみると「内航」における排出原単位向上は他力本願では達成できず、自助努力によってのみ可能である。

(4) 「外洋輸送」は、外国への用船料などの国際的取引が大きな割合を占めるために、国内だけを対象とする産業連関表からは実態に即した分析はできない。

11. まとめ

多様なライフサイクルや多岐にわたる排出形態を持つ船舶へのLCAの適用方法を解析ソフトで提供するため、建造プロセス、船舶運航プロセスの詳細な調査により、プロセスデータおよびインベントリデータの整備を進めてライフサイクルインベントリ(LCI)分析の機能を整備するとともに、現場の作業分類に対応した入出力フォーマット、感度解析の機能を整備した。

環境負荷物質は、大気中へはCO₂、NO_x、SO_xなど6種類、海水中へは防汚塗料の溶出、資源は原油、石炭、天然ガス、鉄鉱石、ボーキサイトが考慮されている。

建造工程の詳細な調査により、精度の高い入出力

プロセスデータが整備された。建造工程のインベントリ分析では、汎用データベースなどから使用した素材、燃料、エネルギーの製造インベントリデータのシステム境界や割付等の詳細な検討は課題として残った。

運航に関して、タンカー、LNG船、撒積貨物船、コンテナ船、自動車運搬船、5船種、合計8隻の運航実態調査により、代表的と考えられるインベントリデータが整備された。

産業連関表と環境負荷原単位データブック(略称3EID)を用いてCO₂、NO_x、SO_x、SPMの排出に関するLCI分析支援ソフトを開発した。また、金額ベースの船舶建造部門に関する産業連関表分析結果と物量ベースの積み上げ法分析結果の比較ではおおむね妥当な結果が得られた。

さらに、船舶のLCAの具体的用途として「グリーンシップ」の考え方を提案し、地球環境保全のための具体的目標を設定した。

研究成果に関するサイト

本研究の成果を含め、本研究所が実施している船舶のLCA解析や環境影響評価に関する研究成果、並びに関連情報を紹介するサイトを作成し、以下のアドレスにおいて公開している。

http://www.nmri.go.jp/lca/lca_hp/index.html

本サイトには、LCA解析の概要、船舶へのLCA解析の適用事例、開発を行っている解析ソフトやデータベース及び発表論文等の紹介を行っている。本サイトのトップページを図-10.8に示す。現在、一部のページについては未完成となっているが、今後、整備を図って行く予定である。

図-10.8 LCA サイトトップページ

LCA

トピックス

適用事例

産業連関表

ソフトウェア

データベース

発表論文

プロジェクト

LCAインベントリ分析インパクト評価ISO14000

LCA site for ship

Life Cycle Assessment for ship since 1997

English

船舶がライフサイクルを通じて環境へ与える影響を解析・評価します。

LCA 解析ソフト

海上技術安全研究所

LCA 解析ソフトウェア

データベース

データベース

産業連関表

産業連関表

産業関連表

船舶・部品

船舶・部品への適用

<< 船舶の部品の紹介 >>

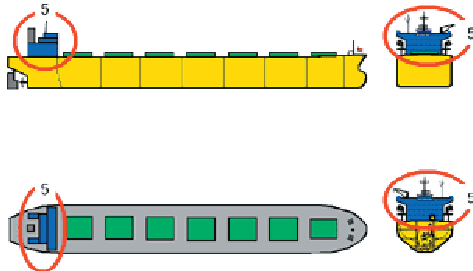


写真 No. 1A 006

部 品 名 レーダーインディケーター

Name RADER INDICATOR

周辺部品



部品位置

大分類 デッキハウス

中分類 操舵室

詳 細 WHEELHOUSE

部品アルバム

運航記録の分析

最新の発表論文

謝辞

本研究の実施においては、海上技術安全研究所に設置した「船舶LCA研究委員会」の委員の方々に懇切なご指導とご助言を頂いた。また、常石造船(株)殿、日本郵船(株)殿および(株)商船三井殿には貴重な資料を頂きました。ここに厚くお礼を申し上げます。

船舶LCA研究委員会委員名簿

(敬称略、順不同、所属は委員会当時)

浦 環 東京大学
 荻原誠功 (株) IHI マリンユナイテッド
 奥村吉男 郵船エンジニアリング (株)
 高松信彦 新日本製鐵 (株)
 近藤美則 独立行政法人 国立環境研究所
 加藤陽一 (株) IHI マリンユナイテッド
 木原 洸 (社) 日本船舶品質管理協会

最後になりますが、本研究を実施するに当たり、船舶LCA委員会の開催事務作業、建造や運航記録の資料整理及び本論文の校正等の編集作業を久津見都さん、高木(高岡)聖子さん、吉井尚敏さん、谷崎明子さん、山本由香さん、そして高橋智子さんに手伝って頂きました。また、当研究所のLCA研究グループ以外の多くの方々に手伝って頂きました。特に、新富恭子さんには本研究の船舶LCAに関するホームページを作成して頂きました。ここに深く感謝致します。

なお、本研究は地球環境保全試験研究費(公害防止等試験研究費)により平成13年度から平成15年度に実施した。

参考文献

- 茅陽一監修、ISO14000 環境マネジメント便覧、日本規格協会、1999年
- 日本規格協会HP <http://www.jsa.or.jp/>
- (社) 未踏科学技術協会エコマテリアル研究会、シンポジウム「グリーン購入とマテリアルセクション」資料、平成13年12月
- IMOホームページ <http://www.imo.org/>
- IEA, Oil Information 2000
- LCA日本フォーラム、セミナー資料「LCAに関する最新動向と情報」、平成13年3月
- 産業環境管理協会HP <http://www.jemai.or.jp/>
- <http://www.marisec.org/recycling>
- 日本造船学会 造船設計委員会 p84 小委員会、船舶設計と環境問題、平成6年10月
- 木原 洸 他、船舶へのLCAの適用に関する調査研究、海上技術安全研究所報告 第2巻 第2号(平成14年)総合報告、平成14年12月
- 亀山道弘 他、船舶の運航のインベントリ分析と感度分析の適用、平成15年度(第3回)海上技術安全研究所 研究発表講演集、2003年6月、p235-240
- 酒井信介、機械製品への環境負荷評価への感度解析技術の応用(1)(2)、MLCA 部会 第2回ワークショップ資料「LCAを支える手法論(II)」p10-21、2001年5月18日、(社) 未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会
- Lloyd's Resister of Shipping, Marine Exhaust Emissions Research Programme, 1995
- 日本鉄鋼協会内部資料
- JEMAI LCA データベース(Ver.3)、(社) 産業環境管理協会
- 南齋規介他、産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) - LCAのインベントリデータとして、2002年3月
- 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
- R.Heijungs, et al., Environmental Life Cycle Assessment of Products-Guide & Buckgrounds-October 1992、ISBN90-5191-064-9
- 環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」、平成14年8月
- 本報告第6章
- 亀山道弘 他、船舶運航のCO₂インベントリデータに関する研究、平成13年度(第1回)独立行政法人 海上技術安全研究所 研究発表会講演集、p157-162、
- 平岡克英 他、船舶のLCAのための運航データ解析、平成15年度(第3回)独立行政法人 海上技術安全研究所 研究発表会講演集、p365-368、
- 平岡克英 他、PCC 船の運航記録による運行状況調査、平成16年度(第4回)独立行政法人 海上技術安全研究所 研究発表会講演集、p365-368
- 亀山道弘 他、船舶の運航のインベントリ分析と感度分析の適用、平成15年度(第3回)独立行政法人 海上技術安全研究所 研究発表会講演集、p235-236
- Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual
- PreConsultants, SimaPro5.1
- (社) 産業環境管理協会, JEMAI-LCAVer1.1.5、
- 日本LCAフォーラム, LCAデータベース, 2004年2月
- 菅: 溶接材料、溶接学会誌、Vol.67 No.8(1998)、

- p38-55
- 30) 炭酸ガス／マグ溶接必須かんどころ、溶接技術、Vol.42 No.2 (1994)、p73-74 図2
 - 31) PRTR 制度およびアーク溶接材料を対象とした PRTR 排出量等の算出方法について (その2)、溶接だより技術ガイド Vol.42 No.392(2002)、p1-9 表2,6
 - 32) 新版接合技術総覧、(株)産業技術サービスセンター (1994)、p98 表1.20、p122 図2.15、p128-130 表2.15-2.17、p168 表4.12、p178 図5.5、p187 表5.7-5.8、p202 図6.2.3、p204、p207 表6.2.6-6.2.7
 - 33) 鈴木:最新溶接ハンドブック改訂版、山海堂(1977)、p433 表10.2、p438 表10.10
 - 34) 藍田:フラックス入りワイヤの実践的選び方、溶接技術、Vol.36 No.2 (1988)、p89 表3、p90 図2
 - 35) カタログ集 <新版>プラズマ切断装置、(社)日本溶接協会 ガス溶断部会 技術委員会、平成7年5月、p30、p54 表2.2、p64
 - 36) プラズマ切断機利用の要点と切断機器の管理・取扱い講習会テキスト、(社)日本溶接協会 ガス溶断部会 技術委員会、p92 図7.1
 - 37) 小池酸素ガス工業 (株): 切断火口標準能力表
 - 38) 中国塗料株式会社: 船舶製品一覧表
 - 39) (社)日本化学工業会等: PRTR セミナー補足説明資料 塗装工程排出量等算出マニュアル
 - 40) (社)日本海難防止協会、海上流入物質の海洋生態系に及ぼす影響の研究、平成元年3月、p141
 - 41) (財)シップ&オーシャン財団、船舶からの温室効果ガス(CO₂等)の排出削減に関する調査研究報告書、平成13年6月、p46-p57
 - 42) 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:4-914953-47-1LCA
 - 43) 製品の環境ライフサイクルアセスメント
 - 44) Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards
 - 45) 平成7年(1995年)産業連関表 総合解説編 p306、p307
 - 46) 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)、国立環境研究所、2002/3/29
 - 47) 本藤祐樹:「産業連関表を用いたインベントリ分析手法への感度分析の導入」、エコマテリアル研究会 WS No46、2001/5/18
- 平成13年度 研究発表会講演集
2001年6月
平岡 克英 他5名
- 2) 船舶運航のCO₂インベントリデータに関する研究
平成13年度 研究発表会講演集
2001年6月
平岡 克英 他5名
 - 3) 船舶へのLCA適用に関する研究
平成13年度 海技研講演会講演集
2001年11月
木原 洸
 - 4) 船舶へのLCAの適用に関する調査研究
環境省 環境保全研究成果集
2002年2月
成瀬 健 他1名
 - 5) FRP漁船の廃船処理時のインベントリ分析
平成14年度 研究発表会講演集
2002年6月
櫻井 昭男 他2名
 - 6) 船舶へのLCA適用研究ー産業連関表に基づく造船の関連産業の影響分析ー
平成14年度 研究発表会講演集
2002年6月
福元 正明 他1名
 - 7) 船舶へのLCA適用研究ーグリーンシップ化へむいてー
平成14年度 研究発表会講演集
2002年6月
平岡 克英 他6名
 - 8) FRP漁船の製造時のインベントリ分析
複合材料シンポジウム 講演集
2002年10月
櫻井 昭男 他2名
 - 9) LCI of a recycling system of waste FRP boats as fuel for cement process
第5回エコバランス国際会議 講演集
2002年10月
成瀬 健 他1名
 - 10) 船舶へのLCAの適用に関する調査研究
海技研報告 第2巻 第2号
2002年12月
木原 洸 他6名
 - 11) PCC 船の運航記録による運行状況調査
平成15年度 研究発表会講演集
2003年6月
平岡 克英 他1名
 - 12) 産業連関表による船舶のインベントリ分析と感度分析
平成15年度 研究発表会講演集
2003年6月

〔付録〕研究発表等

1. 論文

- 1) 船舶輸送のLCI分析のための運航データ調査

- | | |
|---|---|
| 福元 正明 | 平成16年度 研究発表会講演集 |
| 13) 船舶運航のインベントリ分析と感度分析の適用 | 2004年7月 |
| 平成15年度 研究発表会講演集 | 田内 宏明 他1名 |
| 2003年6月 | 19) 船舶LCA解析のための素材加工データ |
| 平岡 克英 | 平成16年度 研究発表会講演集 |
| 14) 小型漁船のインベントリ分析に関する研究－A：モデル船の建造・運航状況調査－ | 2004年7月 |
| 海技研報告 第3巻 第5号 | 成瀬 健 |
| 2004年1月 | 20) 船舶建造のインベントリ分析 |
| 櫻井 昭男 他9名 | 平成16年度 研究発表会講演集 |
| 15) 小型漁船のインベントリ分析に関する研究－B：アルミニウム合金漁船の解析－ | 2004年7月 |
| 海技研報告 第3巻 第5号 | 櫻井 昭男 他1名 |
| 2004年1月 | 21) 船舶のLCAのための運航データ解析 |
| 櫻井 昭男 他9名 | 平成16年度 研究発表会講演集 |
| 16) 小型漁船のインベントリ分析に関する研究－C：FRP漁船の解析－ | 2004年7月 |
| 海技研報告 第3巻 第5号 | 平岡 克英 |
| 2004年1月 | 22) 船舶運航のインベントリ分析 |
| 櫻井 昭男 他9名 | 平成16年度 研究発表会講演集 |
| 17) 産業連関表によるLCA分析システムの開発 | 2004年7月 |
| 平成16年度 研究発表会講演集 | 平岡 克英 |
| 2004年7月 | 23) Development of LCA software for ships and LCI analysis based on actual shipbuilding & operation |
| 福元 正明 他1名 | 第6回エコバランス国際会議 講演集 |
| 18) 船舶用LCA解析ソフトウェアの開発 | 2005年10月 |
| | 平岡 克英 他3名 |

略語表

略語	初出頁	英語	日本語
AFRIMAX	37	稼当なし	7カ〜12カDWT型タンカー
B	14	Breadth	幅
BLR	25	Boiler	ボイラー
BOD	8	Biochemical Oxygen Demand	生物化学的酸素要求量
BOG	49	Boil Off Gas	気化ガス
CFC	57	稼当なし	フロンガス 脂肪族ハロゲン化炭化水素(CFC類)
COD	8	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
COP3	4	The 3rd Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change	気候変動枠組み条約第3回締約国会議
D	14	Depth	深さ
D/G	10	Diesel Generator	ディーゼル発電機
D4	14	Draft (Design)	計画喫水
DNV	13	Det Norske Veritas	ルウエー 船級協会
DO	5	Diesel Oil	ディーゼル油
Ds	14	Draft (Scant)	構造喫水
DW	37	Dead Weight	載貨重量
DWT	14	Deadweight Tonnage	載貨重量トン
Ele.Mix.	10	Electricity Mixture	電力調整装置
FO	5	Fuel Oil	燃料油
GPS	57	Global Positioning System	全球球位置測定システム
GT(G/T)	40	Gross Tonnage	総トン数
H.F.O	11	Heavy Fuel Oil	重油
ICS	4	International Chamber of Shipping	国際海運会議所
IEA	4	International Energy Agency	国際エネルギー機関
IMO	4	International Maritime Organization	国際海事機関
IPCC	50	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
ISO	2	International Standard Organization	国際標準化機構
JEMAI	4	Japan Environmental Management Association for Industry	産業環境管理協会
LCA	1	Life Cycle Assessment	ライフサイクルアセスメント
LCL	1	Life Cycle Inventory	ライフサイクルインベントリ
LCIA	1	Life Cycle Impact Assessment	ライフサイクルインパクト評価
LDT	55	Light Displacement Tonnage	軽排水トン
LNG	1	Liquefied Natural Gas	液化天然ガス
LO	5	Lubricating Oil	潤滑油
LPG	27	Liquefied Petroleum Gas	液化石油ガス
Lpp	14	length between perpendiculars	長さ(垂線間)
LWL(W)	37	Light Weight	軽荷重量
M.D.O	64	Marine Diesel Oil	ディーゼル油
M.F.O	10	Marine Fuel Oil	船舶用燃料
M/E	10	Main Engine	主機関
MARPOL	4	International convention for the prevention of pollution from Ships	海洋汚染防止条約
MCR	11	Maximum Continuous Rating	連続最大出力
MEPC	4	Marine Environment Protection Committee	海洋環境保全委員会
MLCA	13	Materials environmental Life Cycle Analysis	材料LCA
NC	21	Numerical Control	数値制御
NM/OC	64	Non-Methane Volatile Organic Compounds	非メタン炭化水素
NDR	64	Normal Rating	常用出力
OECD	4	Organization for Economic Cooperation and Development	経済協力開発機構
OS	86	Operating System	OS
PCEB	57	Polychlorinated biphenyls	ポリ塩化ビフェニール
PCC	37	Pure Car Carrier	自動車運搬船
PDCA	3	Plan(計画) Do(実施及び運用) Check(点検及び是正処置) Act(経営層による見直し)	
PM	64	Particulate Matter	大気中粒子状物質
PRTR	3	Pollutant Release & Transfer Register	環境汚染物質排出移動登録
PVC	31	polyvinyl chloride	ポリ塩化ビニル
RMB	56	CHINESE CURRENCY - 人民幣 Renminbi(RMB)	中国人民幣
S/G	10	Shaft Generator	軸発電機
SPM	88	Suspended Particulate Matter	浮遊粒子状物質
T/G	40	Turbo Generator	ターボ発電機
TBT	65	Tributyltin	トリブチルスズ化合物
TEU	47	Twenty-foot Equivalent Units	20フィート換算のコンテナ個数単位
UNEP	4	UN Environment Program	国際環境計画
UNFCCC	4	UN Framework Convention on Climate Change	気候変動枠組み条約
US-EPA	65	US Environmental Protection Agency	米環境保護庁
VAT	57	Value Added Tax	付加価値税
VLC	57	Very Large Crudeoil Carrier	20カDWT以上型タンカー
VOC	6	Volatile Organic Compound	揮発性有機化合物
3EID	88	Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables	産業連関表による環境負荷原単位データグラフ