

船舶建造のインベントリ分析

大阪支所

環境・エネルギー研究領域

＊櫻井昭男

亀山道弘、平岡克英

1. はじめに

海上技術安全研究所では船舶の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トンばら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。

2. 対象船舶と調査範囲

2. 1 対象船舶

解析の対象とした船舶の主要目を表-1に、軽荷重量構成表を表-2に示す。

表-1 対象船舶の主要目

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-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

2. 2 調査範囲

ばら積み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。解析の対象とした環境負荷項目はCO₂、SO_x、NO_xである。また参考として、石炭、原油、天然ガス、水、鉄鉱石等の消費資源及び固形廃棄物、鉄スクラップ、C_xH_y、CO、dust、waste water等の排出物を考慮する。

3. 解析条件

3. 1 解析手順

解析は、

- ①造船所からの聞き取り調査を元にプロセスフローを作成
- ②それぞれのプロセスで使用した資源、エネルギー、排出物等を把握
- ③インベントリデータ・プロセスデータを収集
- ④プロセスフローに沿ってデータを集計という手順で行った。

3. 2 データの把握、収集

解析に必要な資材、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¹⁾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²⁾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。

3. 3 計算手法

計算は後述する建造のプロセスフローに基づいてプロセス行列を作成し、行列法^{3,4)}により解析を実施した。なお、計算処理にはExcelワークシートを使用した。

4. 建造データの収集

4. 1 プロセスフロー

船ができるまでの一般的な流れを基に作成した建造フロー図が図-1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工場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の導出根拠を示す。

4. 2 材料調達

材料調達は資材、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。

資材の重量は原則として造船所から提供された

搬入輸送品リストによったが、輸送品リストで明らかにならなかったものは軽貨重量推定表に記されている重量を採用した。

エネルギー及び補助材料については、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（ドック占有時数）で案分することにより算出した。

造船所への搬入輸送量は、鋼材（厚板及び形鋼）、船体部艤装品、機関部艤装品に分けて、仕入れ先、重量、輸送手段等詳細に検討した。

4. 3 加工・組立

加工組立について、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。しかしながら、溶接、艤装など複数のグループにまたがる作業が存在するため、造船所から提出された現場作業時数表を分析し、作業内容別の分類を行った。具体的には作業を、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、試運

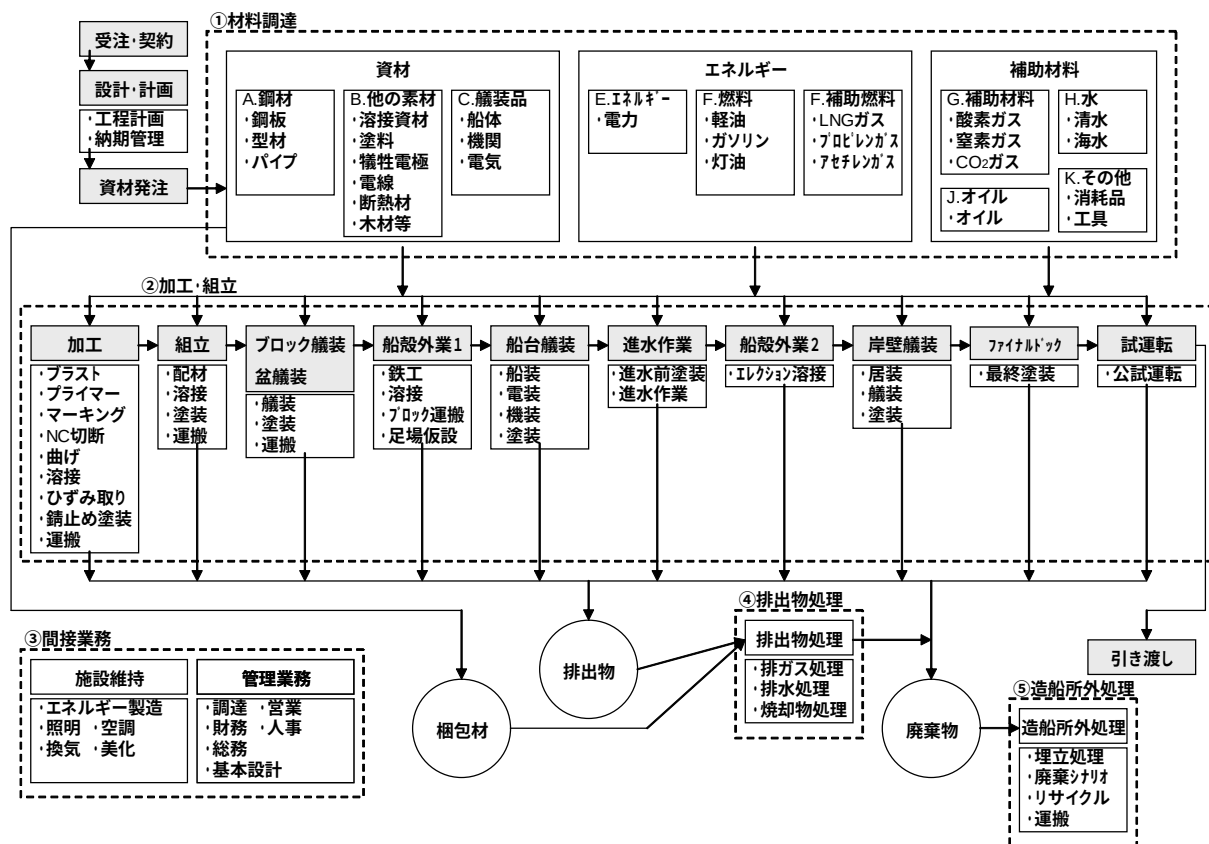


図-1 建造フロー図

転の 11 項目に分類し、作業時数を配分するとともに、それぞれの作業について単位プロセス量を定め、投入エネルギー、排出物等を調べ、作業プロセスを数値化した。ただし、具体的な数値が得られなかった計画、検査については使用電力量という形で一括計上した。

4. 4 間接業務

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、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。

4. 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、残材等固形排出物、副資材 CO₂ の排出、加工作業用燃料の燃焼に伴う排出物、造船所内運搬車両の稼働に

伴う排出物、試運転に伴う排出物、PRTR データに分類して整理した。

4. 6 造船所外処理

造船所から出た廃棄物は可燃物、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。

4. 7 造船所における入出力データ

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-2 のようになる。

また、調査した入出力データに大きな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。その結果、両者の誤差は 2% に満たず、調査した入出力データは妥当なものであるとの確信を得た。

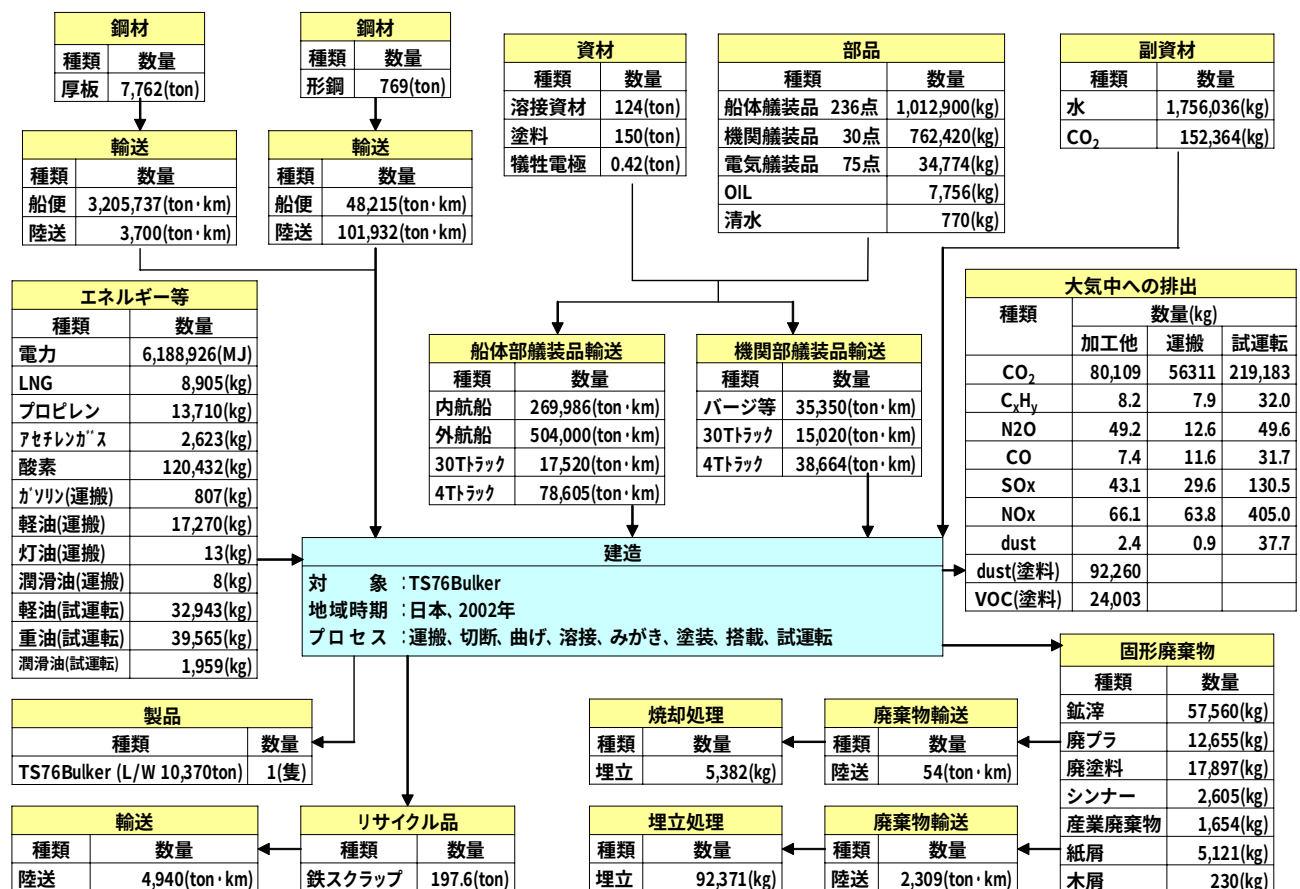


図-2 造船所における入出力

5. インベントリ・プロセスデータ

5. 1 素材、エネルギー、輸送、廃棄物処理

鉄（厚板、形鋼、溶接材）の製造に関するインベントリデータは日本鉄鋼連盟のデータを、それ以外の素材、エネルギー、輸送、埋立についてはJEMAI-LCAデータベース²⁾の解析結果を使用した。いずれも原材料の採掘から製造までのすべてのプロセスを含む製造インベントリデータとして処理した。なお、それぞれの解析においては、本報告で対象とする資源、排出物のデータのみを計算し、他は省略した。

5. 2 部品

船体、機関、電気の各艤装品について直接のインベントリデータはない。一般に部品の製造では、部品に使用される素材の製造段階でのエネルギー使用量が大きく、部品の組み立て段階でのエネルギー消費量は比較的少ないと考えられる。そのため、本解析においては船体艤装品等の部品の製造インベントリデータは製造工程を省略し、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。

5. 3 作業プロセス

加工・組立て調べた作業内容別の入出力データをもとにプロセスデータを作成した。

6. インベントリ分析結果

6. 1 環境負荷と排出内訳

プロセスフロー、プロセスデータ及び素材等の製造インベントリデータに基づいて作成した76,000トンばら積貨物船の建造に関するプロセス行列の経済的入出力部の逆行列から求めた環境負荷行列を表-3に示す。76,000トンばら積貨物船の建造に関するCO₂の排出量は15,360ton、NO_xは

表-3 環境負荷量

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)
	C _x H _y	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)

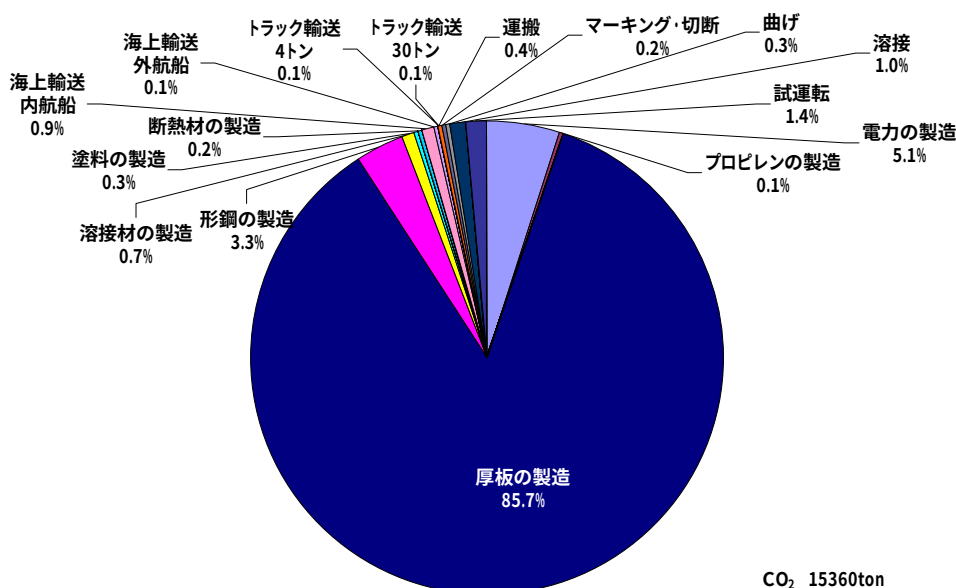


図-3 CO₂ 排出源の内訳

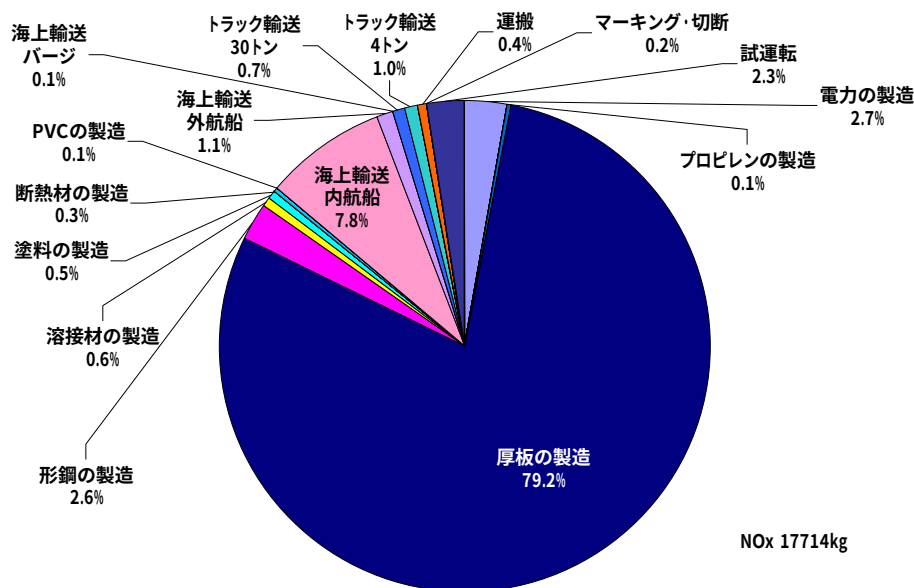


図-4 NOx 排出源の内訳

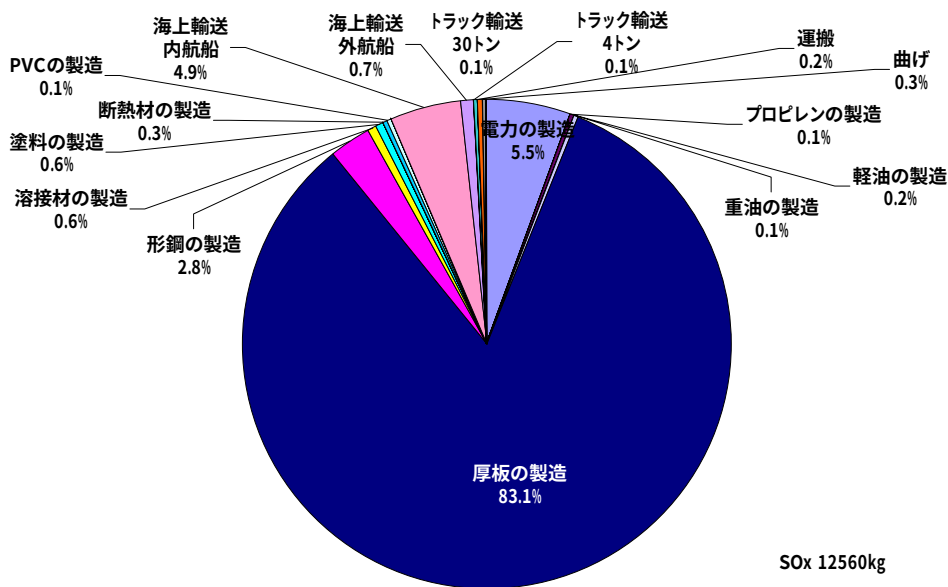


図-5 SOx 排出源の内訳

17,714kg、SOxは12,560kgであった。

CO₂排出量について、プロセスごとの内訳を図-3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。

NOx 排出量について、プロセスごとの内訳を図-4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、ここで特徴的なことは、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%を越えていたことである。

SOx 排出量について、プロセスごとの内訳を図-5に示す。排出量分布は CO₂の場合と近い傾向を示している。

6. 2 造船所の区分による排出内訳

前節で述べた環境的入出力は資材の製造から船

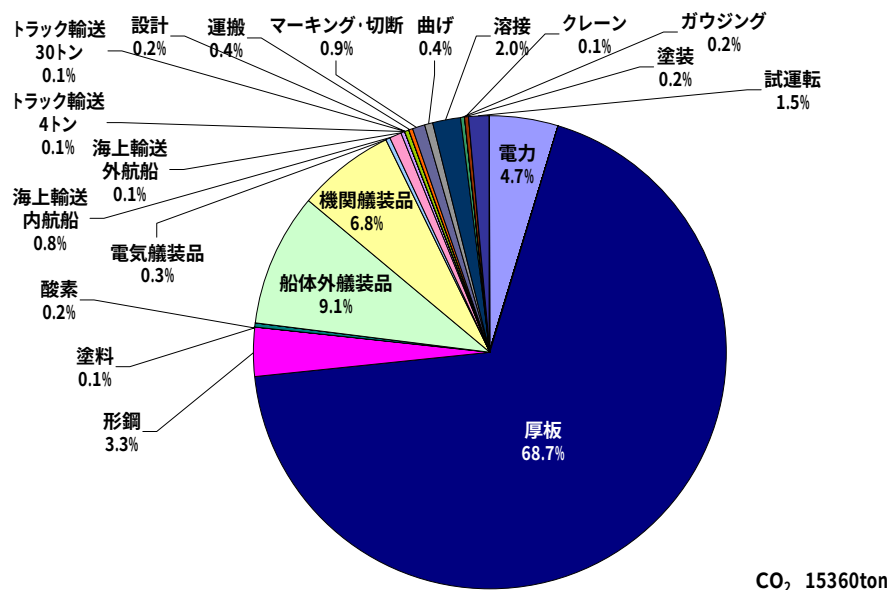


図-6 造船所の区分毎の CO₂ 排出内訳

船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ている。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、艤装品等にも使用されているので、艤装品に使用される鋼材の製造に伴う環境負荷は艤装品の環境負荷として組み入れる・・・といった方法である。一例として、CO₂ 排出量について、造船所の区分ごとの内訳を図-6に示す。厚板に係わる CO₂ 排出量が 68.7%、形鋼が 3.3%と、鋼材関係で全体の 87%を占めた。また、鉄を主な原料とする船体艤装品、機関艤装品に関わる CO₂ 排出量が目立っている。工場電力からは 4.7%であった。

7. まとめ

本報告では 76,000 トンばら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する。

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。

謝辞

本研究は常石造船株式会社との共同研究で得られた成果の一部です。建造データの調査に当たり快くご協力いただいた関係各位に深く感謝します。

参考文献

- 1) LCA試験公開データベース、(社)産業環境管理協会、2004年2月29日
- 2) JEMAI LCAデータベース(Ver.3)、(社)産業環境管理協会
- 3) 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
- 4) 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
- 5) R.Heijungs, etc., Environmental Life Cycle Assessment of Products-Guide & Buckgrounds-October 1992、ISBN90-5191-064-9