

10 . 船舶への LCA の適用研究

担当機関 独立行政法人 海上技術安全研究所

重点強化事項 循環型 研究期間 平成13年度～平成15年度
研究予算総額 55,401 千円

研究の目的と背景

I S O(国際標準規格)14000 シリーズでは製品の生産から廃棄までの環境負荷を L C A(Life Cycle Assessment) 手法により評価することを規定している。近年、事務機器、鉄鋼及び自動車等の産業界では取り組みを深める状況にある。日本は資源やエネルギー等の輸入や製品の輸出の多くを船舶により行なうため、船舶輸送に関する CO₂ や NO_x 等のインベントリデータの整備が求められている。

一方、船舶は多様な船種と様々な排出形態を持つことから、ライフサイクル全般での各種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いない。建造、運航及び解体・リサイクルの各ステージ並びにライフサイクル全体での環境負荷を的確に低減するためには、船舶の環境的な特性を考慮し、優先度の高い環境負荷項目に基づいた本格的な評価手法を早急に開発することが必要である。

研究の成果

1. 解析手法の高度化とシステム境界の設定

インベントリ分析やインパクト評価等 I S O で定める実施フレームにある解釈を実施するために、摂動法による感度分析を船舶に適用する手法を作成し、船舶の運航モデルに対し解析を行った。CO₂ 等の排出量では主機関運転と船体推進の効率の変動率感度が 97～98% と最も高くなった。感度分析の適用により CO₂ 等の排出量の削減には主機関運転と船体推進の効率改善が最も効果的であり、データの精度を確保する必要性が最も高いことが示された。

2. 建造のインベントリ分析

撤積貨物船(76,000dwt、重量約 10,000t)の建造を対象に、電力や燃料等のエネルギーの消費量、部品、材料及び資材の使用量、工場への材料・部品の輸送量、切断や溶接等の素材加工や組み立て等の作業量及び廃棄物等の処理等、造船所のエネルギーや資材の入出力に関する調査を行った。調査結果を図1に示す。また、工場での電力消費量約 170 万 kWh の内訳を図2に示す。切断(14%)及び溶接(7%)等の作業部門で 32%、また、コンプレッサ(19%)、空調(14%)及び事務所・設計部門(16%)等の間接部門で 68%の電力を消費する。一方、資材搬入に伴う船舶輸送量は約 8.0×10^5 t-km、トラック輸送量は約 1.5×10^5 t-km であった。

建造工程における切断、溶接、曲げ及び塗装等に関するプロセスデータを作成し、調査結果に基づいて建造に関するインベントリ分析を行った。環境中への排出量は CO₂ 約 1.5×10^4 t、窒素酸化物(NO_x) 約 18t 及び硫黄酸化物(Sox) 約 13t となった。船舶建造における CO₂ 排出量のプロセス単位の内訳を図3に示す。CO₂ 排出量のうち 89%を鋼材の製造で排出し、電力の製造、船舶による輸送が各々5%と1%を占めた。また、造船所での CO₂ 排出量は全体の3%で、海上試運転での排出量が約半分の1.4%を排出した。なお、本解析の結果、船舶建造での造船所の電力消費量は、年間等での電力消費量をドック使用日数で案分することで概略値が得られることが明らかになった。

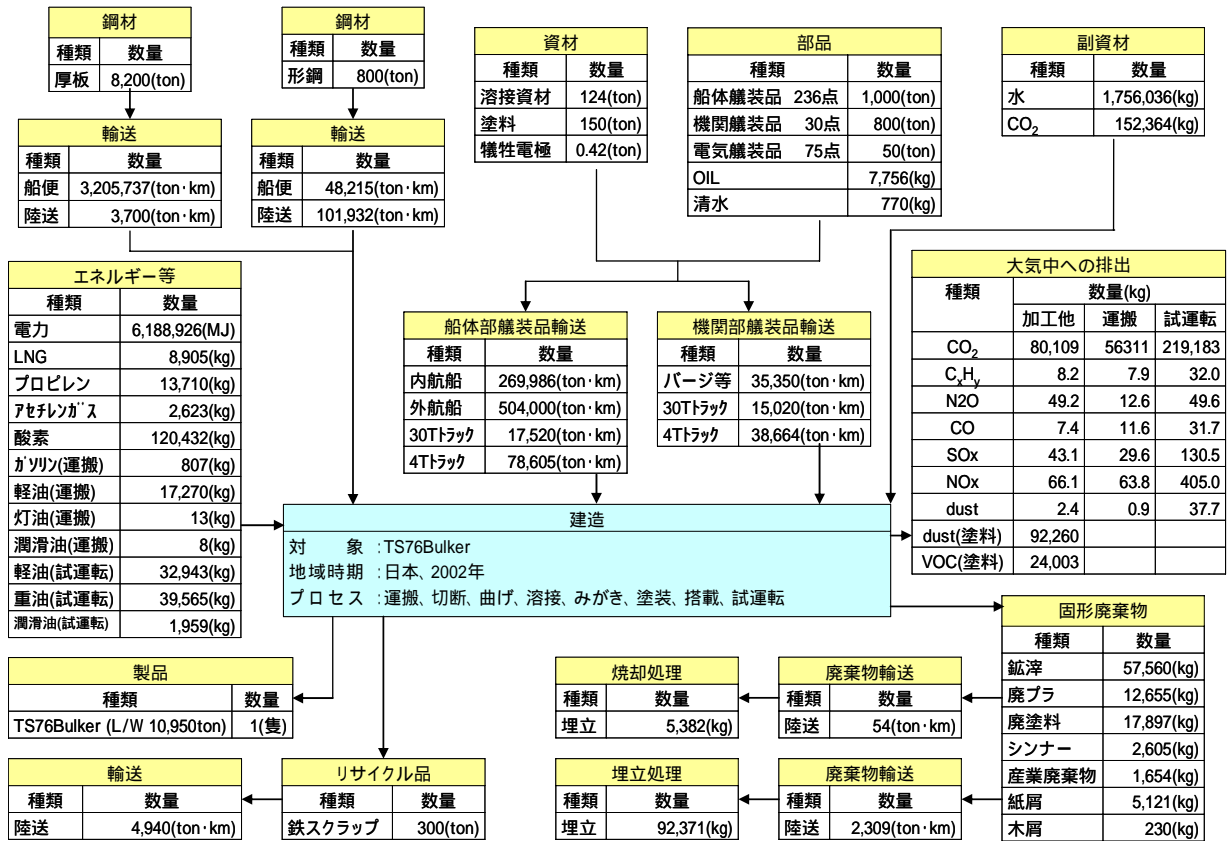


図1 船舶建造の入出力フロー（システムデータ）

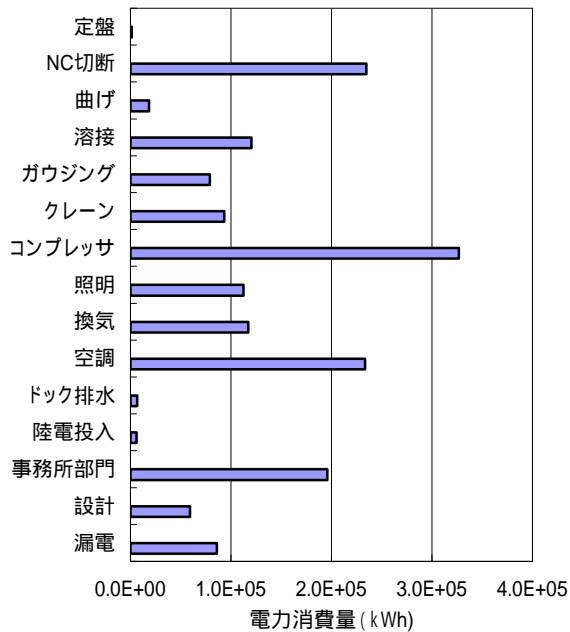


図2 造船所での電力消費量の内訳
 電力消費量 1.7×10^6 kWh

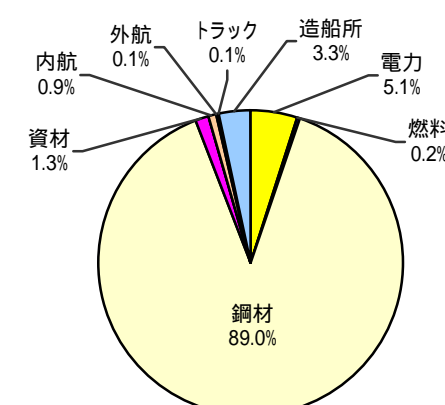


図3 建造でのCO₂排出量の内訳
 (CO₂排出量 15,360 t)

3. 運航

(1) 実績調査

撤積貨物船、コンテナ船、液化天然ガス（LNG）船及び自動車運搬船（PCC）の運航記録を調査し、既報のタンカー等と併せ、日本の海上貿易の代表的な船種 8 隻の航海距離、速力、貨物の積載率等の運航状況と主機関、ディーゼル発電機及びボイラーの航行及び停泊における機器の負荷率や燃料消費量等の調査を行った。

調査結果より得られた船種の単位輸送量当たりの燃料消費量（g/t-mile）を図 4 に示す。コンテナ船は北米航路を対象とした。単位輸送量当たりの燃料消費量は搭載貨物の積載率による影響が大きい。タンカーや撤積貨物船は復路では満載状態である。しかし、PCC 船やコンテナ船の貨物の積載率は台数ベースで 70%～80%程度となるが、重量ベースの積載率では積荷が比較的軽いために 30%～60%と低い。コンテナ船の平均のコンテナ重量（自重を含む。）は航路や往路・復路等で異なるが、平均で概ね 6.4～7.8 t /TEU であった。船舶運航のインベントリ分析では、船種や航路に応じて貨物の積載率を適切に設定することが、解析結果の精度を高めるためには重要であることが明らかになった。

船種の主機関、ディーゼル発電機及びボイラーの平均の負荷率を航海状態別に表 1 に示す。主機関の航行時の負荷率はコンテナ船等を除き、概ね 73～83%程度で、船舶燃料（C 重油）の消費割合は 92～95%を占めた。ディーゼル発電機（D/G）とボイラーは主機関が停止する荷役作業中に専ら使用される。D / G の負荷率はターボ発電機のない船種では、航海中の負荷率が 40～90%に及び、燃料消費量も全消費量の 5～7%となった。一方、ターボ発電機を持つコンテナ船等では D / G の負荷率は低く、燃料消費量も全体の 1%程度であったが、ボイラーの燃料消費量の割合が 3～5%と高くなった。なお、LNG 船では積荷の液化天然ガスのボイルオフガス（BOG）を燃料として消費する。燃料消費量に占める BOG の割合は平均で約 50%程度であり、その消費量は積荷の 1%程度であった。

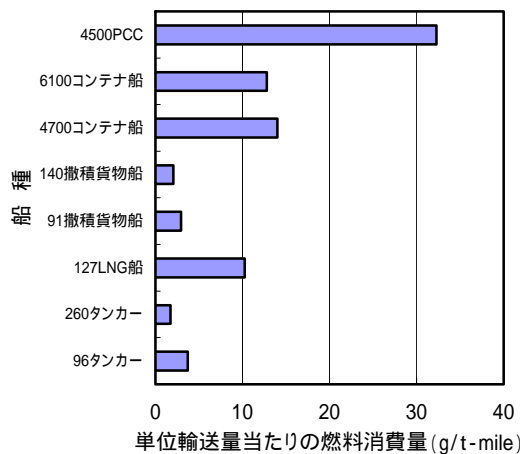


図 4 単位輸送量当たりの燃料消費量（実績）

表 1 機関の負荷率（実績）

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	往路	77	76	87	79	61	72	75	80
	集荷	-	63	-	-	21	-	-	56
	復路	77	73	87	80	75	57	74	79
	揚荷	-	48	-	-	36	-	-	68
	船積	0	1	0	1	19	3	0	11
	荷揚	0	0	2	1	25	5	0	14
ディーゼル発電機	往路	82	11	75	67	-	1	3	39
	集荷	-	38	-	-	-	-	-	28
	復路	90	8	70	64	-	19	34	41
	揚荷	-	38	-	-	-	-	-	35
	船積	81	71	78	65	-	37	53	94
	荷揚	106	102	60	52	-	51	51	121
補助ボイラー	往路	3	1	4	1	-	0	1	1
	集荷	-	1	-	-	-	-	-	0
	復路	13	0	3	1	-	0	1	1
	揚荷	-	2	-	-	-	-	-	0
	船積	7	5	37	76	-	72	64	87
	荷揚	34	25	38	78	-	71	65	95

備考：各機関の出力は定格出力に対する出力%とした。

(2) インベントリ分析

運航調査の結果に基づき、タンカー、LNG 船、撤積運搬船、コンテナ船及び自動車運搬船の運航に関するインベントリ分析を行ない、単位輸送量当たりのインベントリデータを作成した。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 CO₂ 排出量と

NOx 排出量を図 5 及び図 6 に示す。CO₂ や NOx の排出量は概ね燃料消費量（単位輸送量当たり）に比例した結果となった。ボイラーの蒸気を利用して貨物の原油に加熱等を行う 96 タンカーを除き、主機関からの CO₂ 排出量が全体の約 90% を占めた。また、燃料の製造による CO₂ 排出が LNG 船を除き 7% 程度を占めた。NOx 及び SOx 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た。なお、ディーゼル機関やボイラーの運転に関するプロセスデータは、IPCC ガイドライン等に基づいて作成した。

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が最も低いタンカーに比べ、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、NOx 排出量はタンカーや撤積貨物船に比べ少なくなった。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。

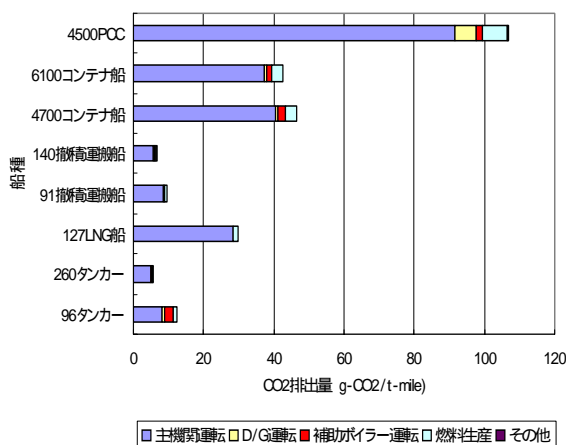


図 5 CO₂ 排出量（単位輸送量当たり）

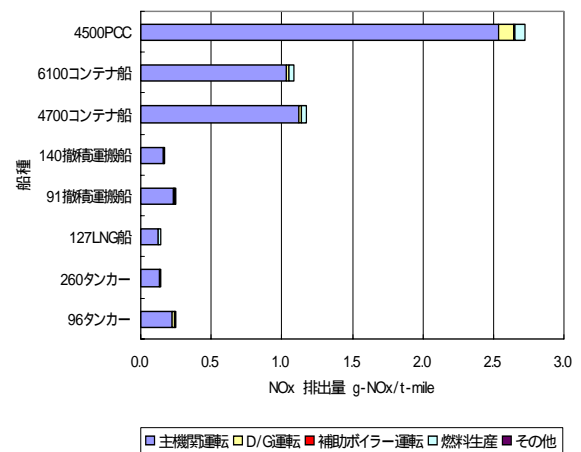


図 6 NOx 排出量（単位輸送量当たり）

3. 船舶用 LCA 解析ソフトウェア

多様なライフサイクルを持つ船舶への LCA の適用方法に関するガイドラインとして、船舶専用の LCA 解析ソフトを作成した。開発した解析ソフトのメイン画面を図 7 に示す。本解析ソフトは船舶の建造、運航及び解体・リサイクルの各段階並びにライフサイクル全体を通じた、インベントリ分析及びインパクト評価の解析機能に加え、本研究で作成した感度分析の機能を追加した。また、これらの LCA 解析機能に加え、ライフサイクル・コスト解析（LCC：Life Cycle Costing）及び船舶のリサイクル可能な材料や有害な化学物質等の重量や所在等を分析するマテリアル・サブスタンス分析の機能を装備した。

本解析ソフトは切断、溶接及び塗装等の素材加工やディーゼル機関、発電機及びボイラーの運転に関する標準的なプロセスデータを備えた本格的な船舶専用の LCA 解析機能に加え、船舶に搭載される多数の部品データの入力の簡略化や造船所の作業量の基本単位「人工」に基づく入力を可能とする等、実用化のための改良を行った。本解析ソフトを利用することで、造船所や船会社は容易に船舶の LCA 解析を実施することが可能になる。本解析ソフトを利用した解析結果での表示画面の一例を図 8 に示す。

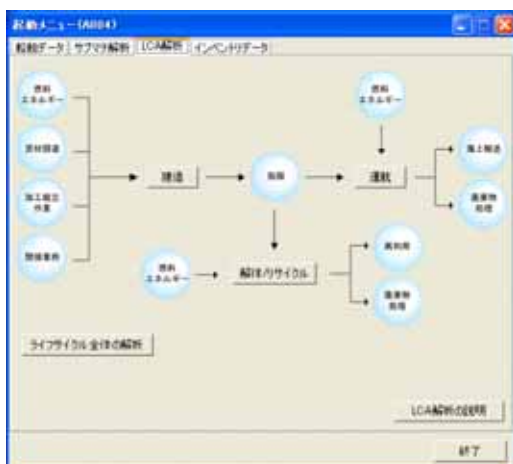


図7 船舶用 LCA 解析ソフト (メイン画面)



図8 解析結果の表示例 (建造工程の内訳)

5 産業連関表の分析

産業連関表 (1995 年版) と環境負荷原単位データブック (3EID) を基にして、日本の約 400 の産業部門について環境負荷物質 (CO₂、NO_x、SO_x、SPM) の排出に関するインベントリ分析と感度分析を行うシステムを開発した。本システムを活用することにより各種製品の概略的なインベントリデータを作成できると共に、積み上げ方式による LCI 分析を実施する際に必要な消費資材やサービス等のシステム境界を設定することが可能となった。

作成した分析システムを利用し、造船 4 部門 (鋼船、船舶、機関、修理) 及び海運 3 部門 (外航、内航、港湾) での環境負荷物質の排出量を分析し、全産業の CO₂ 年間排出量 1.1×10^9 t-CO₂ のうち、造船所、外航海運及び内航海運の排出割合が各々 0.01%、3.7% 及び 1% であることや排出量への影響が高い他の産業部門を明らかにした。また、造船 4 部門及び海運 3 部門の解析結果を表 2 に示す。鋼船では CO₂ の直接排出量 76kg/百万円に対し、間接的な影響を含めるインベントリデータは約 4.8t/百万円となり、直接排出量の約 63 倍になった。また、船舶建造部門に関する金額ベースの産業連関表の分析結果と物量ベースの積み上げ法による分析結果の比較では概ね妥当な結果が得られた。

表 2 産業連関表 (1995 年版) に基づく造船・海運の直接排出量 & インベントリデータ

	CO2 (t / 百万円)		NOx (t / 百万円)		SOx (t / 百万円)		SPM (t / 百万円)	
	直接排出	Inventory	直接排出	Inventory	直接排出	Inventory	直接排出	Inventory
鋼船	7.60E-02	4.78E+00	1.73E-04	5.91E-03	7.76E-05	3.47E-03	3.89E-05	6.03E-04
その他の船舶	1.11E-01	3.08E+00	4.67E-04	4.79E-03	5.67E-05	2.70E-03	4.98E-05	4.99E-04
船用内燃機関	2.43E-01	3.86E+00	4.48E-04	4.98E-03	2.53E-04	3.44E-03	5.82E-05	5.48E-04
船舶修理	5.60E-02	3.85E+00	1.25E-04	4.97E-03	5.53E-05	2.99E-03	2.19E-05	5.03E-04
外洋輸送	2.27E+01	3.94E+01	6.15E-01	1.04E+00	4.17E-01	7.05E-01	2.59E-02	4.40E-02
沿海・内水面輸送	8.45E+00	9.47E+00	1.74E-01	1.77E-01	1.02E-01	1.04E-01	9.35E-03	9.61E-03
港湾運送	7.36E-01	1.24E+00	1.43E-02	1.52E-02	6.52E-03	7.02E-03	7.06E-04	8.01E-04

研究のまとめ

日本製品の LCA 解析に必要な基礎的なデータとして、日本の海上貿易で使用される代表的な船種の船舶輸送に関するインベントリデータを運航記録に基づいて作成した。また、造船所での作業内容やエネルギーや資材の入出量を調査し、モデル船の建造に関するインベントリデータを作成した。

これらの調査や解析の実施を通じて船舶のLCAの解析手法を作成し、船舶のLCA解析に際し考慮すべき事項等のガイドラインとして船舶専用のLCA解析ソフトを開発した。本解析ソフトにより造船所や船会社は船舶のLCA解析を容易に実施することが可能となり、ライフサイクルを通じ環境に配慮した船舶設計や運航計画の立案を行なうことが容易になると考えられる。また、産業連関表と環境負荷原単位データブックを用いてCO₂、NO_x、SO_x及びSPMの排出に関するLCI分析支援ソフトを開発した。本支援ソフトの使用により製品の概略的なインベントリデータを把握できるだけでなく、積み上げ法でのLCI分析の実施における製品のシステム境界を容易に設定することができるようになった。

研究発表

発表題目	掲載法 / 学会等	発表年月	発表者
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	H13.6	亀山道弘、平岡克英、木原 洸、千田哲也、成瀬 健、福元正明、久津見都
船舶輸送のLCI分析のための運航データ調査	平成13年度(第1回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H13.6	平岡克英、亀山道弘、木原 洸、千田哲也、成瀬 健、福元正明
船舶へのLCAの適用研究 -グリーンシップ化へ向けて-	平成14年度(第2回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H14.6	平岡克英、亀山道弘、福元正明、桐谷伸夫、千田哲也、成瀬 健、櫻井昭男、木原 洸
船舶へのLCAの適用研究 -産業連関表に基づく造船の関連産業の影響分析-	平成14年度(第2回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H14.6	福元正明、亀山道弘、平岡克英
LCI of a Recycling System of Waste FRP Boats as Fuel for Coment Process	5th エコバランスシンポジウム [P209~P302]	H14.11	成瀬 健、林慎也、亀山道弘
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	H15.6	亀山道弘、平岡克英
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(第3回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H15.6	福元正明、亀山道弘、平岡克英
PCC船の運航記録による運航状況調査	平成15年度(第3回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H15.6	平岡克英、亀山道弘、福元正明
FRP製救命艇のCO2排出に関するLCI分析	平成15年度(第3回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H15.6	櫻井昭男、小野正夫、東 登(石原造船所)
中国における船舶解体の実態調査	平成15年度(第3回) 独立行政法人 海上技術安全研究所	H15.6	成瀬 健、平岡克英
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 B:アルミニウム合金漁船の解	海上技術研究所 研究報告書 平成15年度 第3巻第5号 [P17~P115]	H16.1	亀山道弘、櫻井昭男、木原 洸、林慎也、千田哲也、久津見都、深町得三、大熊正造、田子廣政、岡田一成、蒲谷勝治

工業所有権

特許等の名称	願書年月日	広告番号	登録年月日	登録番号
船舶用LCA解析ソフトウェア (Ver.2)	2004年6月予定		H14.9.9	P第 7662号-1
船舶用LCA解析ソフトウェア (Ver.3)			H15.6.10	P第 7975号-1
船舶用LCA解析ソフトウェア (Ver.4)				
産業連関表によるライフサイクルアセスメント分析プログラムバージョン1.0			H16.2.2	P第 8209号-1