

LCAにおける多項目環境負荷量の定量化に関する研究

STUDY ON THE CALCULATION METHOD
OF MANY KIND OF THE ENVIRONMENTAL LOAD FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT

鶴巻 峰夫*・野池 達也**

Mineo TSURUMAKI, Tatsuya NOIKE

ABSTRACT; Recently, Life Cycle Assessment(LCA) has been applied to the environmental evaluation for industrial products. The research for application of LCA to planning of infrastructures has been started by many research organizations.

Although one of important characters of LCA is that LCA is a method for the multi-criteria evaluation, environmental categories which have been evaluated on Infrastructure-LCA practices are mainly limited to energy resource depletion and CO₂ emission. The main reason is the difficulty in getting necessary information about life-cycle environmental loads of products or materials which are used in infrastructure construction and maintenance in general.

The purposes of this study is to research the calculation method of the life cycle environmental loads of main products, materials and resources used in inventory analysis of Infrastructure-LCA and to introduce multi-criteria evaluation to Infrastructure-LCA.

KEY WORD; Life Cycle Assessment, Input-Output Analysis, Energy Resource Depletion, CO₂ Emission, Air Pollution, Water Pollution, Solid Wastes

1. はじめに

近年、工業製品の環境影響評価手法として開発されたLCA手法のインフラストラクチャの計画分野への適用のための研究が活発に行われている。ただし、評価の対象となっている環境負荷項目としては「エネルギー消費」及び「CO₂排出」に集中しており、他の環境要素を対象とした研究も行われている¹⁾が個別のインフラ施設への本格的適用には至っていないのが現状と言える。

この理由としてはインフラ施設の建設や維持管理に要する資材・エネルギー等の製造に関わる環境負荷量を定量化するための基礎的データの収集が計画立案者にとって難しい状況であることが最大の原因であると考えられる。本研究では誘発を含めた環境負荷量定量化を行う上で産業連関分析を適用したが、基礎情報としては公表されている統計資料等を複合的に使用し、また、分類分けを行う部門数を極力制限するなどの試行を行うことにより、精度的には一定のレベルを確保して、これまで主に扱われてきた2種の環境項目以外についても環境負荷量の定量化を試みたものである。

2. 研究の内容と方法

2. 1 対象とした環境負荷の種類

本研究で対象とした環境負荷の種類を環境カテゴリー毎に以下にまとめる。併せて()内に表示単位を示した。

- ・資源消費：エネルギー資源（発熱量Mcal），水資源（水量m³）
- ・地球温暖化：CO₂（炭素換算量t-C）
- ・酸性化：SO_x（二酸化硫黄換算量kg-SO₂），NO_x（二酸化窒素換算量kg-NO₂）

* 八千代エンジニアリング Environmental Planning Dep. Yachiyo engineering Co.,Ltd.

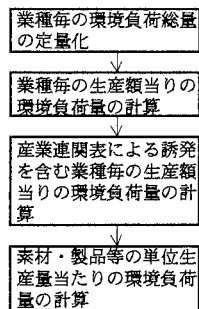
** 東北大学工学部 Civil Engineering Dep. Tohoku Univ.

・富栄養化：COD (COD-kg)，T-N (窒素N-kg)，T-P (りんP-kg)

・汚染物質の排出（大気圏）： SO_x ， NO_x

・汚染物質の排出（水域）：BOD (BOD-kg)，COD

・汚染物質の排出（土壌圏）：埋立廃棄物 (t)



2. 2 環境負荷量の定量化方法

1) 試行した定量化フロー

本研究ではLCAのインベントリ分析に必要な誘発を含む環境負荷量の定量化手法として産業連関表による分析を用い、図2-1のフローの様な算定方法を試行した。なお、用いた産業連関表は「91部門表」²⁾と「建設部門分析用産業連関表（特別分類（一般部門表））」³⁾の2種類を使用した。算定に使用した基礎データは産業連関表に合わせて平成2年を基準とした。

表2-1 エネルギー資源消費量の算定に用いた資料

文献番号	利用データ	利用内容
2)	物量表	エネルギー種類別部門別消費量
4)	エネルギー供給・消費量データ	国内でのエネルギー収支フローの考え方 文献2)物量表に記載のないエネルギー種の総量把握
5)	消費原料データ	電力部門の補足（特にLNG、副生ガス等）
6)	消費燃料データ	鉄鋼部門の補足（特に副生ガス等）
7)	消費燃料データ	文献2)で総量を把握したエネルギー種の各部門への按分根拠

2) 業種毎の環境負荷総量の算定

(1) エネルギー資源

エネルギー資源消費の算定のフローは図2-2のとおりである。また、算定に用いた資料は表2-1にまとめるとおりである。

(2) CO₂排出

CO₂排出量の算定範囲はエネルギー資源消費量として算定したエネルギーによる燃焼分と石灰石のセメント製造及び高炉（消費量は「産業連関表物量表」²⁾によった）における反応による排出とした。算定フローは図2-2のとおりであり、各資源消費量にCO₂排出係数⁸⁾を乗ずることにより求めた。また、エネルギー資源のうち原材料としての利用は参考事例⁹⁾の考え方にしたがって控除した。

(3) SO_x，NO_x排出

SO_x，NO_x排出はエネルギー資源消費量算定過程で整理した業種別エネルギー種別消費量を使用し、図2-3に示すフローで算定した。算定フロー中で採用したデータは表2-2のとおりである。

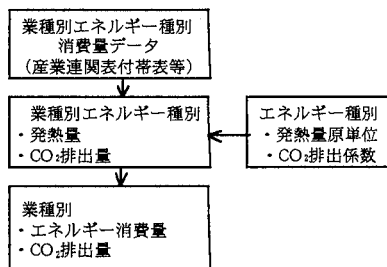


図2-2 エネルギー消費及びCO₂業種別排出総量の算定フロー

表2-2 SO_x，NO_x排出量の算定に用いた資料（エネルギーデータ以外）

文献番号	利用データ	利用内容
10)	排出係数（公害対策なしの係数）	脱硫・脱硝装置のない場合の排出係数
	公害対策なし、公害対策ありのわが国での排出量算定結果	公害対策による部門別削減率設定根拠として利用
11)	固定発生源発生総量及び主要発生源別構成比率	主要発生源での発生量の近似値として公害対策による削減率設定根拠の補助資料として利用

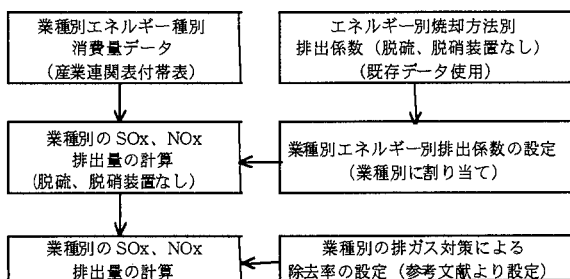


図2-3 SO_x，NO_x部門別排出総量の算定フロー

(4) 水資源消費

水資源消費量の算定は図2-4に示すフロー及び文献データを用いて算定を行った。なお、本検討で対象とした範囲は工業用水としては「工業統計（用地・用水編）」¹²⁾での「淡水補給量」及び「処理及び洗浄用水」とし、その他の用水量は「水道統計」¹³⁾の「家庭用」、「営業用」の総給水量とした。また、「家庭用」の消費は「民間消費支出」部門に割り当てた。

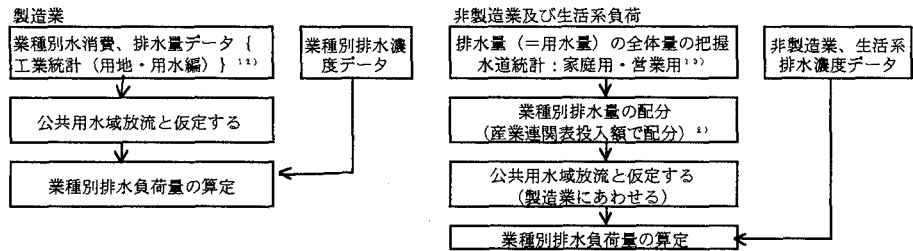


図2-4 水消費及び水質汚濁負荷項目の部門別総量の算定フロー

(5) BOD, COD, T-N, T-P

水質汚濁物質の排出量を算定する上で問題となるのは製造業の排水に対する下水道普及率が統計上ないことが上げられる。このため、本研究では算定を行う上からすべてが公共用水域に放流する場合を想定し、公共用水域への放流を既存文献¹⁴⁾にまとめられている業種別排出濃度をもとに実績調査データ¹⁵⁾で一部補正し、表2-3に示す業種別排出濃度を仮定し、業種別排出量は水資源消費量と同量として各部門の水質汚濁負荷量を算定した。

(6) 埋立廃棄物

本研究では廃棄物の中間処理及びリサイクルに関わる取引が産業連関表に取り込まれていることを考慮し、環境中への負荷排出としてはリサイクルおよび減量化されるものは除いた廃棄物量が産業連関表の表現している取引の系外に排出されると考え、「埋立廃棄物量」を固形廃棄物の指標として採用した。埋立廃棄物の算定範囲は産業廃棄物、一般廃棄物とし、厚生省でまとめられた廃棄物種類別業種別(中分類程度)のデータ¹⁶⁾及び発表されている統計資料等^{17), 18)}を使用して図2-5のフローのように算定した。データは入手できる資料の都合で平成4年度のデータとした。

図2-5中産業連関表各部門への配分は下記の方法によった。

- ① 建設業の廃棄物(構成比率: 約21.2%)
- 厚生省では建設部門は建設業として排出量をまとめている。この量を1都3県での調査データ¹⁹⁾により廃棄物種類毎に「土木部門」と「建築部門」に分類した。

表2-3 水質汚濁負荷量算定に用いた業種別排水水質
出典: 本文中参照

業種名	BOD mg/l	COD mg/l	T-N mg/l	T-P mg/l
食品	27.4	23.0	6.4	2.10
飲料・飼料・たばこ	27.4	23.0	6.4	2.10
繊維工業製品	31.2	62.0	40.8	1.10
衣服・その他の繊維製品	31.2	62.0	40.8	1.10
製材・木製品	16.5	18.4	15.7	3.89
家具・装飾品	10.6	8.7	6.1	29.20
パルプ・紙・紙加工品	37.4	46.9	1.6	0.24
出版・印刷	15.4	18.0	7.7	0.66
化学製品	26.3	40.5	35.7	1.48
石油・石炭製品	7.5	7.9	8.1	0.54
プラスチック製品	17.2	14.9	29.8	13.00
ゴム製品	15.8	33.2	2.9	0.29
なめし革・毛皮・同製品	16.5	18.4	15.7	3.89
窯業・土石製品	9.7	8.3	28.4	0.58
鉄鋼業	19.5	10.3	10.4	1.10
非鉄金属	11.5	11.5	19.4	1.00
金属製品	14.7	15.6	21.7	1.51
一般機械器具	12.1	12.1	4.2	3.29
電気機械器具	15.5	13.3	15.1	3.83
輸送用機械器具	12.7	13.3	8.0	2.49
精密機械器具	20.9	12.2	15.7	3.89
武器	16.5	18.4	15.7	3.89
その他	17.2	14.9	29.8	13.00
非製造業	28.8	30.9	40.0	5.85

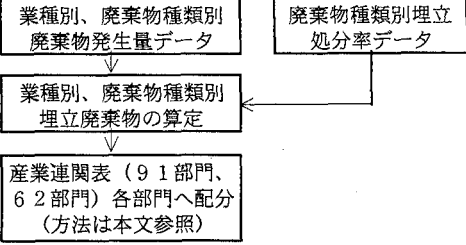


図2-5 埋立廃棄物の部門別総量の算定フロー

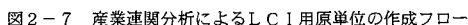
本研究では製造業で発生する「汚泥」を排水処理過程で発生するものと仮定することにより図2-6のフローにより公表されている中分類程度の部門分類を産業連関表の部門分類に配分した。配分に用いる業種別除去汚濁負荷量の根拠となる業種別発生水質は「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」²⁰⁾にまとめられたデータを用いた。その負荷総量は既報²¹⁾のとおりである。

- ・水道、下水道業の廃棄物（約 14.6％）
- ・畜産農業の廃棄物（約 19.0％）
- ・鉄鋼業の「鉦さい」（約 6.6％）
- ・鉦業の廃棄物（約 6.6％）
- ・その他で割当が可能な廃棄物（約 3.7％）



前述した廃棄物種までは各部門への配分が資料上の区分で可能なものであるが、その他については業種別のエネルギー消費量（発熱量）、排水量などの他の環境項目と関連があると考えられるものはその算定結果をもとに、他は生産額によって各部門に配分した。

誘発量を含む環境負荷原単位の作成は図2-7のフローで行った。産業連関表は下記の2種類を併用し、検討対象素材・製品等の原単位作成には部門分類が検討対象の資材等の検討に適した方の産業連関表の算定データを使用した。



・平成2年建設分析用産業連関表「特別分類（一般部門表）」³⁾（以下「62部門表」と呼ぶ）

産業連関分析に使用した逆行列表は競争輸入型と呼ばれる $(I - (I - M) \cdot A)^{-1}$ 型を使用した。ただし、近年試みられている最終需要部門の取り込み（「固定資本形成」の考慮や「家計消費支出」の内生化等）の操作は行わない解析とした。

また、産業連関分析により作成した生産額当たりの原単位より製品・素材等の生産量当たりの原単位の変換は製品等の該当業種の総負荷量を生産量で除して作成する下式を使用した。同一業種に複数の製品が存在する場合は該当製品に対する総負荷量は生産金額により業種内で配分した。ただし、この方法は今回の検討のような部門数を少なくした産業連関表で生じる同一部門内での再投入が大きくなる部門での算定には使用できない。

1_{PTC}: 製品の生産量当たりのLCI用原単位 (環境負荷量/製品重量または製品容量)

LCI: 製品の生産額当たりのLCI用原単位 (環境負荷量/生産額)

M_P : 対象製品または素材の生産額

V_P:対象製品または素材の生産重量または生産容積

3. 環境負荷量の算定結果

3. 1 業種毎の環境負荷総量

前述の方法によって算定した「91 部門表」での業種毎の環境負荷総量を表 3-1 に示す。図 3-1 は環境要素についての環境負荷量上位 10 位までを表示したものである。

エネルギー消費に伴う大気への排出物等の物質はエネルギー供給部門及び物流部門の業種が上位を占め生活系と考えられる「民間消費支出」も上位にある。一方、水消費及び水質汚濁に係わる物質は生活系負荷を割り当てた「民間消費支出」部門が圧倒的に大きく産業では「パルプ・紙」部門（製紙業）が比較的大きくなっている。

3. 2 誘発量を含む原単位（LCI 用原単位）の作成

産業連関分析によって作成した間接量を含む「91 部門表」での業種別の生産額（生産者価格）当たりの環境負荷量原単位を表 3-2 に示す。この資料及び各産業部門の生産量のデータを用いてインフラストラクチャ整備に関連の深い素材・製品・エネルギー等の LCI 用原単位を表 3-3 に示す。

表 3-3 作成した LCI 用原単位の例

主要建設資材

	生産量 単位	1 燃料 Mcal	水消費 l	CO2 kg-C	SOx g-SO ₂	NOx g-NO _x	埋立廃棄物 kg	COD g-COD	T-N g-N	T-P g-P	BOD g-BOD	備考
セメント	t	803	997	199	91	583	1.2	12.3	27.1	0.8	12.6	
砂利・碎石	t	22.03	24.70	1.60	7.18	17.34	3.39	0.74	0.67	0.08	0.64	
生コンクリート	m ³	149	214	29	27	110	4.0	3.5	5.7	0.3	3.3	
鋼材	t	4,708	12,467	426	879	1,464	63.0	143.0	141.2	14.5	246.0	鉄筋・鋼矢板等熟間 圧延鋼材の平均値

エネルギー

電力	MWh	2,442	206	120	268	300	2.7	6.0	5.1	0.7	5.2	「事業用」、「自家 発電」の平均値
揮発油	kl	9,843	2,348	747	222 ㍑	341 ㍑	8.6	23.3	22.4	1.7	21.3	「石油製品部門」の 原単位より作成
軽油	kl	10,021	1,336	780	127 ㍑	194 ㍑	4.9	13.3	12.8	1.0	12.1	

* 1：誘発のみの数値。最終需要段階での直接排出量を加算する必要がある。

3. 3 算定結果の妥当性の検証

1) 環境負荷総量及び各部門について

算定した環境負荷量の総量について既存文献と比較可能な項目について表 3-4 に示す。比較対象とした値は算定年次及び算定対象範囲の相違があり、直接的に比較できないものもある。同一年を対象としている検討事例^{4)・9)}との比較においてはほぼ近似した値が得られている。本研究での値がやや大きいのはエネルギー消費データに用いた「産業連関表物量表」²⁾が、「外航海運」、「国際航空運輸」も含まれているためで、この点が比較した 2 例^{4)・9)}と相違し、NO_x 排出で最大の差が出ている。それら除いて試算すると誤差はさらに縮小し、NO_x 排出量でも約 250 千 t 程度減少し、他の参考値^{9)・10)}に近似する値が得られた。

富栄養化、水質汚濁物質については総量としての検証データはないが平成元年度における COD 総量規制地域 3 地域の合計が 1,464t/日 (=534.4t/年) であり、算定結果がその約 1.6 倍の値となり、概ね妥当ではないかと推測されるが、これらのデータについては部門毎のデータも含め同じベースで比較になるデータがなく、検証の程度は低いといわざるを得ない。

また、各部門での算定については本研究で採用した算定方法がエネルギー資源、製造業の水資源については業種の細分類でのデータの積み上げであり、その他の項目について収集できる最も小さい分類でのデータ（産業中

表 3-4 環境負荷量算定結果の既存文献との比較

項目	比較検討対象での数値			本研究での数値
	研究者・機関	対象年次	出典番号	
エネルギー 10 ³ Tcal	資源庁・庁	1990	4)	4,662
CO ₂	日本国政府	1990	9)	319,909
百万 t-C	環境庁	1990	8)	293,100
	科学技術庁	1987	10)	271,786
	吉岡・外岡ら	1985	22)	276,126
SO _x	科学技術庁	1987	10)	1,143
千 t	吉岡・外岡ら	1985	22)	1,538
NO _x	日本国政府	1990	9)	1,898
千 t	科学技術庁	1987	10)	1,935
	吉岡・外岡ら	1985	22)	3,070

表3-1 部門別環境負荷量算定結果（「91部門表」での部門区分）

燃料・資源 10 ³ Mcal	CO ₂ 排出 10 ³ t-C	SO ₂ 排出 10 ³ t-SO ₂	NO _x 排出 t-NO _x	水資源消費 10 ³ m ³	BOD t-BOD	COD t-COD	T-N t-N	T-P t-P	埋立廃棄物 10 ³ t
耕種農業	14,934	1,139	9,320	3,068	5,655	163	175	226	165
畜産・養蚕	863	41	162	144	31,015	893	958	1,241	181
農業サービス	3,550	207	44	509	3,589	103	111	144	21
林業	4,579	342	1,648	980	2,865	83	89	115	17
漁業	52,328	4,126	61,499	61,978	1,946	56	60	78	11
金属鉱物	162	3	22	21	519	15	16	21	3
非金属鉱物	4,954	239	1,979	1,808	10,417	300	322	417	61
石炭・亜炭	782	11	122	96	433	12	13	17	3
原油・天然ガス	258	6	32	55	1,036	30	32	41	6
食料品	53,780	3,083	32,044	15,621	978,337	26,842	22,535	6,259	2,051
飲料	13,746	834	9,691	4,300	283,743	7,785	6,536	1,815	595
飼料・有機質肥料（除別掲）	1,191	57	586	296	8,928	245	206	57	19
たばこ	982	53	648	322	9,055	248	209	58	19
繊維工業製品	23,206	1,204	17,209	6,226	911,235	28,407	56,495	37,136	1,003
衣服・その他の繊維製品	6,843	320	2,350	1,896	24,397	761	1,513	994	27
製材・木製品	4,929	142	1,094	1,000	15,630	258	288	245	61
家具・装飾品	3,205	127	835	729	18,392	195	160	112	537
パルプ・紙	41,466	3,395	9,711	5,907	3,134,251	117,180	147,103	5,015	752
紙加工品	66,565	3,710	61,045	22,111	128,048	4,787	6,010	205	31
出版・印刷	7,068	181	401	767	35,740	550	643	275	24
化学肥料	13,902	940	2,175	4,113	80,846	2,130	3,274	2,883	119
無機化学基礎製品	44,961	2,225	23,289	13,259	609,751	16,066	24,692	21,747	899
有機化学基礎・中間製品	353,512	7,957	35,240	56,009	997,742	26,288	40,403	35,585	1,472
合成樹脂	12,625	866	9,449	5,174	553,855	14,593	22,428	19,753	817
化学繊維	14,219	840	8,848	5,578	658,683	17,355	26,673	23,492	972
化学最終製品（除別掲）	23,640	1,103	6,173	5,323	571,559	15,059	23,145	20,385	843
石油製品	164,730	11,957	22,871	33,754	269,899	2,024	2,132	2,186	146
石炭製品	160,852	9,074	11,485	36,197	30,229	227	239	245	16
プラスチック製品	17,574	554	5,354	2,827	330,519	5,685	4,925	9,849	4,297
ゴム製品	9,313	501	6,152	2,827	84,124	1,487	3,125	273	27
なまこ・革・毛皮・同製品	1,175	61	773	324	8,551	141	157	134	33
ガラス・ガラス製品	19,751	1,305	12,131	6,171	87,001	722	2,471	50	2,186
セメント・セメント製品	69,081	17,320	9,459	78,403	135,583	1,315	1,125	3,651	79
陶磁器	8,337	558	2,074	19,962	19,962	165	564	12	951
その他の窯業・土石製品	25,252	3,402	14,358	15,309	342,995	3,327	2,847	9,741	199
鉄鉱・精銅	298,601	32,978	65,674	110,606	1,175,329	22,974	12,070	12,251	1,294
鋼材	59,830	2,573	8,282	7,536	156,758	3,061	1,608	1,633	172
鋳造品・その他の鉄鋼製品	28,285	2,487	5,287	8,442	65,306	1,275	670	680	72
非鉄金属製・精製	16,088	1,412	9,507	11,219	254,370	2,925	2,925	4,935	254
非鉄金属加工製品	13,459	586	4,477	3,344	77,281	935	948	1,533	85
建設・建築用金属製品	7,719	291	1,351	1,815	84,657	1,244	1,321	1,837	128
その他の金属製品	18,439	713	2,499	3,779	112,197	1,549	1,750	2,435	169
一般産業機械	10,514	573	947	1,967	81,375	985	985	342	268
特殊産業機械	10,291	450	1,378	2,900	76,518	926	926	321	252
その他の一般機器	5,722	209	504	1,342	36,952	447	447	155	122
事務用・サービス用機器	1,914	67	182	370	25,426	308	308	107	84
民生用電気機械	6,007	186	547	1,021	75,406	1,169	1,003	1,139	289
電子・通信機器	20,661	514	1,438	2,957	364,804	5,654	4,852	5,509	1,397
重電機器	3,950	132	379	779	63,295	981	842	956	242
その他の電気機器	6,249	194	515	1,078	52,221	809	695	789	200
自動車	30,985	1,204	4,124	7,775	295,231	3,749	3,927	2,362	735
船舶・同修理	2,017	83	374	543	38,463	507	512	354	105
その他の輸送機械・同修理	4,050	241	1,497	1,450	19,237	244	256	154	48
精密機械	3,130	99	266	628	47,083	984	574	739	183
その他の製造工業製品	4,325	204	1,036	1,205	35,185	604	531	1,020	439
建築	23,549	1,193	4,212	15,381	123,743	3,564	3,824	4,950	724
建設補修	7,360	356	2,239	4,371	112,143	3,230	3,465	4,486	656
土木	39,129	2,332	20,282	38,525	82,483	2,376	3,299	3,299	483
電力	1,134,865	86,255	188,267	200,302	46,549	1,341	1,438	1,862	272
ガス・熱供給	21,899	2,184	1,587	2,883	7,504	216	232	300	44
水道	28,941	1,437	9,965	2,021	5,180	149	160	207	30
廃棄物処理	6,440	6,656	35,747	48,233	23,425	675	724	937	137
商業	89,711	4,103	18,237	8,659	92,993	2,678	2,873	3,720	544
金融・保険	6,633	208	109	392	84,582	2,436	2,614	3,383	495
不動産仲介及び賃貸	12,986	471	981	1,072	50,997	1,469	1,576	2,040	298
住宅賃貸	5,414	399	1,012	927	66,744	1,922	2,062	2,670	390
鉄道輸送	20,987	370	3,060	2,436	91,951	2,648	2,841	3,678	538
道路輸送（除自家用輸送）	182,881	13,607	89,888	227,062	75,966	2,188	2,347	3,039	444
自家用自動車輸送	249,433	19,270	84,298	286,377	12,912	372	399	516	76
水運	116,203	9,410	220,779	414,936	10,234	295	316	409	60
航空輸送	67,634	5,153	321	51,547	672	19	21	27	4
倉庫	3,172	27	75	81	1,823	52	56	73	11
運輸付帯サービス	5,886	141	569	420	73,191	2,108	2,262	2,928	428
通信	6,386	161	508	745	53,851	1,551	1,664	2,154	315
放送	1,805	92	687	169	13,976	403	432	559	82
公衆	30,546	1,453	7,493	3,649	31,311	902	968	1,252	183
教育	28,973	1,639	7,606	4,990	323,617	9,320	10,000	12,945	1,893
研究	29,843	1,207	6,664	3,954	30,291	872	936	1,212	177
医療・保健	53,458	2,458	10,564	5,121	262,352	7,556	8,107	10,494	1,535
社会保健	6,115	218	118	448	16,475	474	509	659	96
その他の公共サービス	4,569	307	831	681	87,286	2,514	2,697	3,491	511
広告・調査・情報サービス	8,260	355	1,572	782	43,131	1,242	1,333	1,725	252
物品賃貸サービス	3,156	145	474	476	31,848	917	984	1,274	186
自動車・機械修理	7,291	168	303	800	11,560	333	357	462	68
その他の対事業所サービス	18,345	1,131	1,278	2,636	60,316	1,737	1,864	2,413	353
娯楽サービス	31,879	1,314	3,779	2,768	346,647	9,983	10,711	13,866	2,028
飲食店	35,039	1,809	2,765	3,125	318,530	9,174	9,843	12,741	1,863
旅館・その他の宿泊所	12,867	529	1,169	1,162	52,166	1,502	1,612	2,087	305
その他の対個人サービス	21,875	1,249	2,334	3,036	481,771	13,875	14,887	19,271	2,818
事務用品	0	0	0	0	19,157	552	592	766	112
分類不明	34,969	2,691	28,389	11,341	15,015	432	464	601	88
家計外消費支出（列）	7,463	574	40	1,659	0	0	0	0	0
民間消費支出	589,739	34,035	5,964	251,101	9,553,381	275,137	295,199	382,135	55,887
合計	4,752,295	328,249	1,254,946	2,171,408	26,250,295	713,295	829,591	755,509	96,360

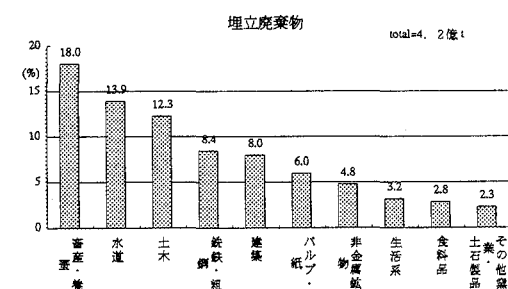
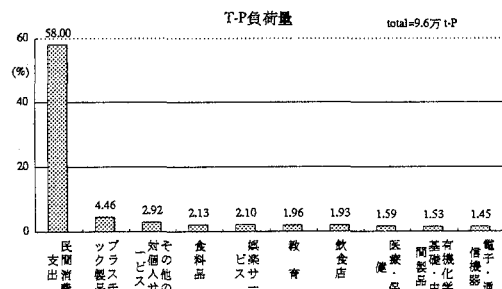
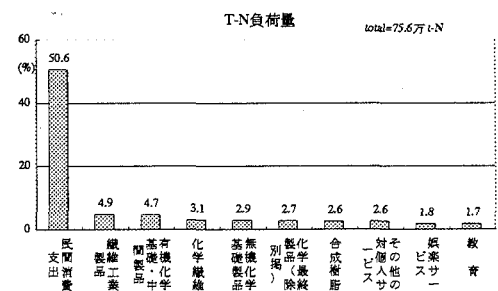
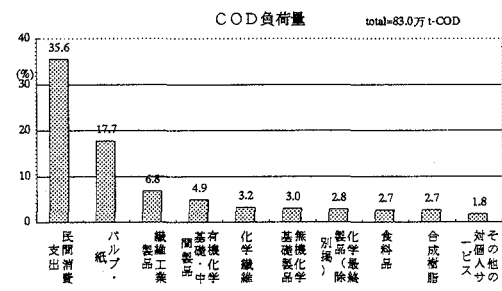
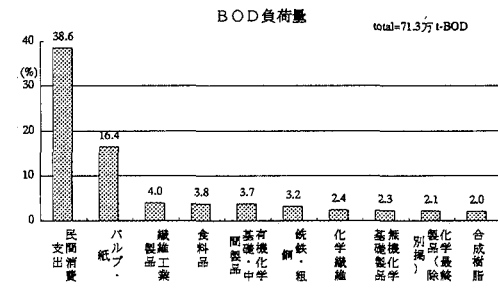
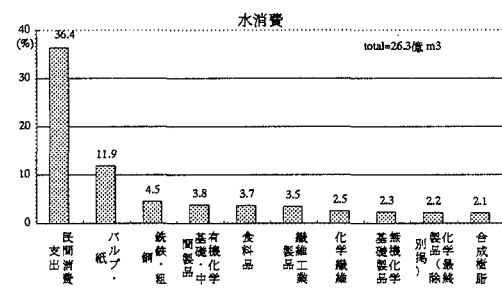
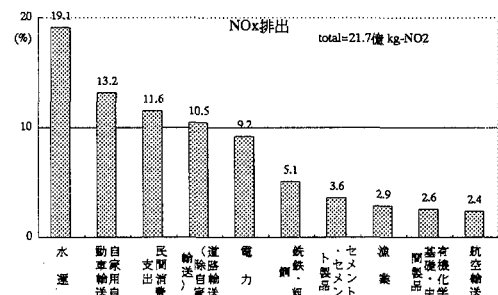
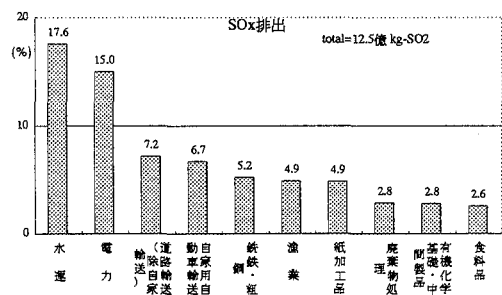
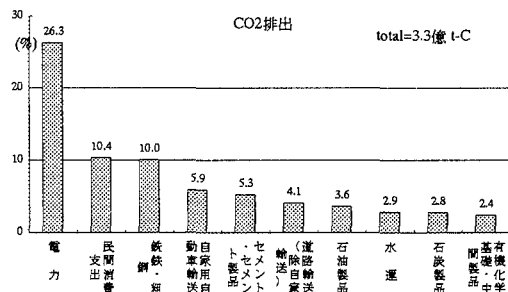
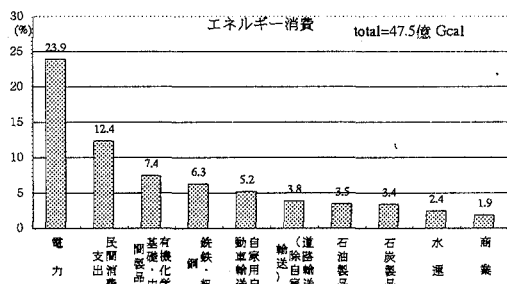


図3-1 環境負荷量の総量と部門別上位10位の構成割合

表 3-2 誘発を含む生産額当たりの環境負荷量（生産者価格百万円当たり）

資源	10 ³ Mcal	水資源消費 m ³	CO ₂ 排出 t-C	SO _x 排出 kg-SO ₂	NO _x 排出 kg-NO ₂	COD kg-COD	T-N kg-N	T-P kg-P	BOD kg-BOD	埋立廃棄物 kg
耕種農業	5.633	19.212	0.382	2.096	2.265	0.033	0.756	0.480	0.032	0.550
畜産・養蚕	6.307	28.955	0.418	2.415	3.604	0.285	0.955	0.695	0.089	0.830
農業サービス	13.377	35.114	0.849	2.415	3.880	0.069	1.395	0.683	0.068	1.084
林業	5.105	8.121	0.369	1.743	2.302	0.016	0.283	0.221	0.023	0.219
漁業	22.034	16.179	1.654	22.496	23.289	0.034	0.558	0.367	0.035	0.420
金属鉱物	0.548	0.800	0.033	0.114	0.211	0.488	0.026	0.026	0.003	0.022
非金属鉱物	14.173	15.864	0.998	4.459	10.649	2.033	0.478	0.403	0.050	0.408
石炭・亜炭	2.124	1.959	0.114	0.411	0.559	0.187	0.059	0.045	0.005	0.052
原油・天然ガス	0.138	0.262	0.008	0.025	0.038	0.069	0.008	0.009	0.001	0.007
食料品	8.946	58.392	0.585	4.549	4.471	0.176	1.673	0.634	0.117	1.656
飲料	8.061	63.860	0.516	3.334	2.825	0.239	1.814	0.667	0.118	1.789
飼料・有機質肥料（除別掲）	8.654	38.153	0.563	3.934	4.814	0.142	1.180	0.517	0.072	1.086
たばこ	2.401	20.526	0.147	0.955	0.924	0.048	0.799	0.417	0.028	0.608
繊維工業製品	14.377	234.390	0.792	5.609	4.244	0.139	12.486	8.755	0.294	6.923
衣服・その他の繊維製品	7.499	80.209	0.434	2.609	2.441	0.071	4.110	2.764	0.107	2.380
製材・木製品	6.144	17.684	0.392	1.946	3.066	0.175	0.631	0.291	0.034	0.497
家具・装備品	8.418	41.400	0.556	2.367	3.105	0.143	1.392	0.661	0.171	1.111
パルプ・紙	20.701	722.886	1.532	4.867	4.927	1.273	33.707	1.779	0.210	26.775
紙加工品	26.872	277.100	1.641	17.719	8.489	0.560	12.828	0.975	0.107	10.152
出版・印刷	7.193	126.036	0.462	1.648	2.180	0.228	5.661	0.608	0.068	4.480
化学肥料	48.352	248.148	3.210	9.200	14.371	0.198	9.949	8.593	0.373	6.539
無機化学基礎製品	44.157	326.005	2.577	15.746	12.202	0.192	12.982	11.389	0.488	8.530
有機化学基礎・中間製品	75.117	205.041	2.225	8.912	13.479	0.114	8.118	7.073	0.304	5.336
合成樹脂	43.946	266.430	1.627	8.204	9.637	0.528	10.677	9.253	0.396	7.011
化学繊維	42.078	790.888	2.020	13.775	12.053	0.255	32.094	27.282	1.146	21.078
化学最終製品（除別掲）	15.299	103.949	0.715	3.521	3.936	0.118	4.155	3.152	0.159	2.848
石油製品	15.714	25.592	1.137	2.457	3.708	0.048	0.241	0.229	0.017	0.221
石炭製品	102.054	26.725	5.845	9.333	25.771	0.184	0.372	0.317	0.026	0.325
プラスチック製品	20.587	129.024	0.888	4.232	4.709	0.195	4.121	4.117	0.659	3.051
ゴム製品	20.838	91.865	0.901	4.892	4.899	0.090	3.502	2.148	0.120	2.181
なめし革・毛皮・同製品	5.480	33.705	0.318	2.049	2.077	0.073	1.235	0.781	0.078	0.889
ガラス・ガラス製品	20.218	85.229	1.338	9.213	6.509	0.505	1.871	2.157	0.080	1.551
セメント・セメント製品	26.911	50.472	4.846	5.805	25.039	0.705	0.764	1.266	0.052	0.756
陶磁器	14.956	50.504	1.036	4.346	5.751	0.441	1.318	0.977	0.042	1.108
その他の窯業・土石製品	20.958	171.106	2.123	8.476	10.408	1.160	2.187	4.582	0.122	2.170
鉄鉄・粗鋼	87.180	262.526	8.468	17.813	30.519	1.401	2.986	3.000	0.296	5.134
鋼材	49.884	136.553	4.400	9.888	16.061	0.690	1.666	1.620	0.158	2.701
鉄鋼製品・その他の鉄鋼製品	33.752	81.359	2.893	6.941	11.557	0.388	1.047	0.997	0.097	1.632
非鉄金属製・精製	7.442	68.933	0.599	3.568	4.695	0.201	0.877	1.359	0.073	0.847
非鉄金属加工製品	9.724	55.598	0.632	3.286	3.943	0.185	0.989	1.159	0.072	0.860
建設・建築用金属製品	14.531	50.317	1.137	3.302	5.260	0.239	0.871	0.857	0.071	0.967
その他の金属製品	16.056	49.889	1.238	3.474	5.407	0.209	0.901	0.789	0.067	1.003
一般産業機械	10.751	37.632	0.827	2.369	3.735	0.128	0.697	0.497	0.073	0.726
特殊産業機械	8.871	30.274	0.652	1.986	3.114	0.096	0.622	0.426	0.062	0.613
その他の一般機器	12.232	39.673	0.926	2.611	4.180	0.141	0.745	0.498	0.074	0.791
事務用・サービス用機器	7.555	35.679	0.475	1.742	2.490	0.082	0.956	0.587	0.085	0.798
民生用電気機械	8.511	44.533	0.519	1.986	2.636	0.104	1.286	0.862	0.114	1.072
電子・通信機器	6.883	38.352	0.409	1.531	2.006	0.090	0.927	0.694	0.109	0.822
重電機器	8.762	42.596	0.623	2.074	2.998	0.116	1.017	0.682	0.092	0.943
その他の電気機器	9.170	42.720	0.590	2.195	2.931	0.112	1.038	0.821	0.101	0.911
自動車	10.192	43.185	0.661	2.334	3.342	0.118	1.031	0.753	0.097	0.877
船舶・同修理	12.015	53.037	0.896	2.678	4.054	0.139	1.026	0.770	0.106	1.010
その他の輸送機械・同修理	8.621	29.609	0.619	2.235	2.971	0.093	0.665	0.471	0.058	0.610
精密機械	5.848	30.949	0.360	1.450	1.926	0.071	0.788	0.595	0.085	0.741
その他の製造工業製品	7.711	43.027	0.474	2.441	3.351	0.114	1.497	0.993	0.140	1.141
建築	7.984	28.664	0.675	2.068	4.099	0.424	0.780	0.548	0.055	0.700
建設補修	10.113	48.443	0.810	2.664	4.875	0.143	1.367	1.290	0.156	1.214
土木	11.549	26.322	1.052	3.135	7.089	0.975	0.605	0.601	0.058	0.561
電力	87.770	11.425	6.640	14.894	16.665	0.150	0.335	0.280	0.037	0.290
ガス・熱供給	13.335	13.944	1.362	1.715	2.496	0.090	0.493	0.337	0.043	0.411
水道	19.627	20.794	1.232	5.133	3.459	3.553	0.685	0.572	0.067	0.537
廃棄物処理	5.881	16.366	2.750	14.389	19.837	0.035	0.554	0.530	0.066	0.462
商業	4.563	11.850	0.296	1.207	1.936	0.044	0.463	0.203	0.025	0.373
金融・保険	1.734	11.906	0.109	0.409	0.596	0.027	0.464	0.227	0.031	0.383
不動産仲介及び賃貸	3.052	7.986	0.180	0.507	0.683	0.026	0.267	0.247	0.035	0.234
住宅賃貸サービス	1.115	6.224	0.083	0.311	0.461	0.018	0.200	0.174	0.023	0.174
鉄道輸送	9.922	25.772	0.562	1.953	2.251	0.145	0.829	0.822	0.115	0.736
道路輸送（除自家輸送）	15.264	13.229	1.124	7.030	16.947	0.038	0.420	0.339	0.046	0.362
自家用自動車輸送	39.431	24.429	2.970	12.682	39.052	0.065	0.649	0.437	0.052	0.545
水運	23.600	9.930	1.886	41.120	77.070	0.023	0.310	0.219	0.026	0.256
航空輸送	21.435	12.492	1.610	0.797	15.028	0.031	0.423	0.216	0.028	0.351
倉庫	7.423	14.175	0.407	1.241	1.467	0.050	0.551	0.250	0.032	0.446
運輸付帯サービス	5.424	41.038	0.338	1.443	1.538	0.085	1.601	0.758	0.103	1.330
通信	2.926	12.260	0.175	0.574	0.967	0.024	0.434	0.339	0.048	0.373
放送	4.761	24.238	0.303	1.245	1.594	0.044	0.849	0.692	0.093	0.720
公務	5.086	11.803	0.356	1.426	2.010	0.052	0.407	0.236	0.030	0.336
教育	3.798	25.316	0.251	1.040	1.171	0.054	0.828	0.787	0.113	0.744
研究	8.861	24.724	0.524	2.016	2.159	0.073	0.979	0.415	0.050	0.784
医療・保健	8.982	41.052	0.511	2.112	2.369	0.073	1.510	1.269	0.118	1.156
社会保障	5.661	19.051	0.339	1.119	1.544	0.065	0.705	0.426	0.051	0.577
その他の公共サービス	4.036	40.515	0.268	1.033	1.397	0.052	1.471	1.102	0.151	1.242
広告・調査・情報サービス	4.210	32.312	0.266	0.977	1.374	0.064	1.333	0.437	0.057	1.078
物品賃貸サービス	2.488	11.088	0.158	0.570	0.946	0.027	0.365	0.291	0.039	0.309
自動車・機械修理	6.687	23.165	0.417	1.483	2.156	0.075	0.646	0.447	0.053	0.535
その他の対事業所サービス	3.147	15.314	0.208	0.622	1.032	0.037	0.602	0.279	0.037	0.492
飲食サービス	6.330	34.408	0.394	1.310	1.896	0.051	1.149	1.129	0.157	1.003
飲食店	6.608	36.608	0.434	2.049	2.301	0.101	1.136	0.933	0.138	1.052
旅館・その他の宿泊所	6.143	21.592	0.426	1.787	2.346	0.073	0.715	0.527	0.073	0.629
その他の対個人サービス	6.221	65.412	0.413	1.299	2.053	0.086	2.096	2.422	0.341	1.886
事務用品	17.073	215.171	1.063	8.680	6.027	0.397	9.629	1.642	0.180	7.580
分類不明	10.607	32.964	0.740	5.020	3.560	0.076	1.279	0.690	0.057	0.962

分類程度)を使用し、各部門に配分する方法をとっているため、ここでの検証は省略する。

表3-5 主要な土木資材の既存文献によるLCI用原単位の比較

2) 設定LCI用原単位の妥当性の検証

LCI用原単位について他の既存研究事例と比較できるのは「エネルギー資源消費」と「CO₂排出」のみであり、その比較を表3-5に示す。比較した3種のうち鋼材のエネルギー資源消費以外は既存事例の範囲内か近似した数値となっている。鋼材については他の事例が高炉製

エネルギー資源消費原単位		単位: kcal/kg					
	家庭生活の LCE	酒井、漆崎	土木研究所	建築研究所	電力中央研 究所	国立環境 研究所	本研究
セメント	1,340	908	994	908	797		803
生コンクリート ^{*1}	297		142	140	209	463 ^{*2}	149
鋼材	5,600	5,657			6,125	5,500 ^{*3}	4,708 ^{*4}
作成方法	産業連関表	産業連関表	産業連関表	積み上げ方式		注釈参照	
参考文献	23)	24)	25)	26)	27)	28)	

CO ₂ 排出原単位		単位: kg-C/kg				
	酒井、漆崎	建築研究所	国立環境 研究所	土木学会	空気調和・ 衛生工学会	本研究
セメント	0.225	0.214			0.213	0.199
生コンクリート ^{*1}		0.0299	0.096 ^{*2}	0.038	0.027	0.029
鋼材	0.515		0.415 ^{*3}	0.411	0.355 ^{*4}	0.426 ^{*4}
作成方法	産業連関表	積み上げ	注釈参照	併用	産業連関	
参考文献	24)	26)	28)	29)	30)	

*1: 出典m³当たりになってあるものについては2.25t/m³で換算した。

*2: 産業連関分析による作成、*3: 積み上げ法による作成

*4: 熱間圧延鋼材の平均値

品の値と考えられ、(社)日本鉄鋼連盟による全出荷鋼材平均値4,402Mcal/t⁶⁾という数値との比較やCO₂排出では中間的な値が得られていることなどから妥当性の高い数値であると考えられる。

また、生産額当たりの原単位について同じくインフラ整備に
関連の深い部門について比較したものが表3-6であり、90
年表での比較では近似した数値が得られている。

表3-6 誘発も含む生産額当たりの原単位の比較
(本研究では「62部門表」での検討結果)

(1-(1-M)・A)⁻¹型の検討事例での比較
単位: t-C/百万円

	国立環境研 究所	空気調和・ 衛生工学会	本研究
砂利・採石	1.067	1.151	1.112
セメント	21.248	20.843	22.036
生コンクリート	5.441	5.177	5.675
熱間圧延鋼材	5.985	4.512	6.038
電力 ¹⁾	6.184	5.285	6.640
年次	90年表	85年表	90年表
文献番号	31)	30)	本研究

*1: 参照数値は事業用電力、本研究では
自家発電も含めた平均数値

4. 作成した原単位を利用したインベントリー分析事例

以上の検討により得られた原単位に適用して下水道終末処理場に適用したインベントリー分析を行った事例
を表4-1に示す。算定方法は既報^{21)・32)}のとおりであり、対象施設の概要を次に示す。

① 下水道終末処理施設(水処理のみ): 計画処理量 86,400m³/日

処理フロー: 最初沈澱池～ばっ気槽～最終沈澱池～消毒槽

② 集約汚泥処理施設: 約44,000m³/日(1%汚泥)

処理フロー: 機械濃縮～嫌気性消化～脱水～乾燥～焼却

表4-1 作成したLCI用原単位を利用したインベントリー分析事例(下水道終末処理施設)

(注: CO₂, SO_x, NO_xの計算値には処理過程での反応による排出は含まれていない。)

下水道終末処理施設(水処理のみ): 供用50年					総処理量: 約1,181百万m ³					
	エネルギー 10 ³ Mcal	水消費 m ³	CO ₂ t	SO _x kg	NO _x kg	埋立廃棄 物 t	COD kg	T-N kg	T-P kg	BOD kg
建設時	109,376	259,049	11,270	22,069	50,108	3,200	4,884	4,661	443	5,462
供用時	1,656,097	410,057	84,691	182,137	213,418	3,196	7,867	6,936	723	8,482
廃棄時	8,237	14,152	1,772	11,123	13,119	65,342	707	499	80	433
計	1,773,710	683,258	97,733	215,329	276,645	71,739	13,458	12,096	1,247	14,377
処理量 単位	Mcal/m ³	l/m ³	kg/m ³	g/m ³	g/m ³	kg/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³
当り 数値	1.502	0.578	0.083	0.182	0.234	0.061	0.011	0.010	0.001	0.012
集約汚泥処理施設: 供用30年(嫌気性ガス回収効果を含まず)					総処理量: 1,525千t-DS、処理水量換算: 9,902百万m ³					
建設時	274,043	764,161	24,089	67,627	143,811	10,845	14,826	12,625	1,340	15,688
供用時	4,514,388	963,471	275,914	562,264	1,079,534	623,973	15,633	13,669	1,622	16,902
廃棄時	13,487	15,411	1,903	9,099	17,254	20,864	397	352	41	353
計	4,801,918	1,743,044	301,906	638,990	1,240,600	655,682	30,856	26,647	3,004	32,943
処理量 単位	Mcal/m ³	l/m ³	kg/m ³	g/m ³	g/m ³	kg/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³
当り 数値	0.485	0.176	0.030	0.065	0.125	0.06622	0.00312	0.00269	0.00030	0.00333
処理汚 泥当り	Mcal/DS-t	l/DS-t	kg/DS-t	g/DS-t	g/DS-t	kg/DS-t	g/DS-t	g/DS-t	g/DS-t	g/DS-t
数値	3.148	1.143	198	419	813	429.91	20.23	17.47	1.97	21.60
2施設の合計による都市下水処理量当たりの環境負荷量										
処理量 単位	Mcal/m ³	l/m ³	kg/m ³	g/m ³	g/m ³	kg/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/m ³
当り 数値	1.987	0.754	0.113	0.247	0.359	0.1269	0.0145	0.0129	0.0014	0.0155

表4-1の結果から傾向的に下記のことが言える。

(1) エネルギー資源消費・酸性化・大気汚染負荷

負荷の存在がほぼ供用時に集中しておりその割合が約75～90%に達している。

(2) 水消費・富栄養化・水質汚濁負荷

負荷の存在は建設時（主に資材・製品の使用に起因する）と供用時とでほぼ均衡する。誘発する水質汚濁負荷をBOD負荷量で見ると一般的な都市下水のBOD濃度180mg/l、放流濃度20mg/lとすると誘発量は除去量（ $=180-20=160\text{g/m}^3$ ）の約1/10,000であり、無視できる値と言える。

(3) 埋立廃棄物

供用中の焼却残灰による量が最も多いが廃棄時の廃材の発生も大きな値となっている。

5. まとめ

本研究ではインフラストラクチャ計画や設計段階において実施するLCAにおいて必要な環境負荷量定量化のための原単位情報についてある程度の精度を持ったデータをもとにして統一的な理論体系のもとで整備することができた。得られた数値は「エネルギー資源消費」と「CO₂排出量」の原単位の比較において概略のオーダーで満足できるものといえた。

ただし、検討の過程においては多くの仮定が存在するとともに産業連関分析の精度も部門分類の数から考慮すると低い可能性がある。今後はこの点の改善も検討しなければならないといえる。この研究で得られた原単位を使用する場合の要注意項目としては以下の項目が上げられる。

①産業連関分析による算定結果であり、部門数として「91部門」及び「62部門」という比較的部門数の少ない産業連関表を使用して得られた結果である。

②原単位作成のための基本的数値である業種別（部門別）環境負荷総量の積算に使用した数値は公表されている数値を利用して積算したが、これら数値で確実に同定できている数値はエネルギー消費・製造業の水消費を除くと産業中分類程度またはそれより大きな区分となり、今回LCI用原単位として提示した以外で原単位を作成しようとすればミクロ的な部分で補正が必要になる場合がある。

③水質汚濁負荷等負荷量の検証が不十分な項目もあり、提示した負荷量を基本として利用者の情報により訂正が可能な点については訂正した後に使用することが望ましい。

また、作成した原単位を利用したケーススタディ結果では建設時・供用時・廃棄時の3段階での負荷の構成割合を検討すると傾向的に3形式に分類ができ、行われる活動の種類の相違により汚濁負荷毎に構成割合及び環境影響の寄与度が相違することが明らかになった。

この結果により多項目の環境要素を対象としたインフラ施設を対象としたLCAが可能になり、今後は種々の施設に対してインベントリー分析を行う予定である。インフラ施設のLCAの目的としては個々の施設の環境調和性も重要であるがインフラ機能を満たすためのシステムの環境調和性の検討手法としても有効と考えられ、社会的インパクトとしては後者の方がより大きいといえる。そのためにも個々のインフラ施設（例えば、道路、橋梁、下水道施設など）の情報を整備し、システムとして評価できるような状況を作ることが今後のインフラ施設のLCAにおいて重要になると言える。

<参考文献>

- 1) 銭谷賢治・井村秀文 建設にともなう環境負荷の定量化に関する研究 環境システム研究 22 1994
- 2) 総務庁 平成2年（1990年）産業連関表 平成6年3月
- 3) (財)建設物価調査会 平成2年（1990年）建設部門分析用産業連関表 平成7年1月
- 4) 資源エネルギー庁 平成3年度総合エネルギー統計 1991

- 5) 資源エネルギー庁 平成三年度 電力受給の概要 1991
- 6) 鉄鋼統計委員会 鉄鋼統計概要 1996 (平成8年)
- 7) 通商産業省 平成2年度 石油等消費構造統計表 (商工業編)
- 8) 環境庁地球環境部編 地球温暖化防止対策ハンドブック5 1992
- 9) 日本国政府 「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書 1994年
- 10) 科学技術庁 アジアのエネルギー利用と地球環境 1992
- 11) 環境庁 硫黄酸化物、窒素酸化物主要発生源別排出構成 (大気汚染物質質量総合調査 平成元年度実績)
- 12) 通商産業省 平成2年 工業統計表 用地・用水編
- 13) (社)日本水道協会 平成2年度 水道統計 平成4年7月
- 14) 環境庁 環境影響評価における原単位の整備に関する調査 報告書 平成4年3月 p 2-83
- 15) 環境庁 水質汚濁物質排出量総合調査 平成6年3月
- 16) (社)全国都市清掃会議 日本の廃棄物 '96 平成8年11月
- 17) 厚生省 産業廃棄物業種別廃棄物種別発生量 (平成4年度) 実績
- 18) (社)全国都市清掃会議 廃棄物処理実態調査 一般廃棄物 平成4年度実績
- 19) 本田淳裕・山田優 建設副産物・廃棄物のリサイクル (財)省エネルギーセンター p30
- 20) (社)日本下水道協会 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成5年
- 21) 鶴巻峰夫・野池達也 ライフサイクルアセスメントを適用した排水処理の評価に関する研究 環境システム研究 24 1996
- 22) 吉岡完治・外岡豊ほか 環境分析のための産業連関表の作成 KEIO ECONOMIC OBSERVATORY OCASIONAL PAPER 1992
- 23) (社)資源協会編 家庭生活のライフサイクルエネルギー 1994
- 24) 片脇清・寺田剛 資源・エネルギー消費、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書 (その2) 土木研究所資料第3256号 1994
- 25) 岡本英靖・酒井寛二・漆崎昇 土木工事における炭素排出量の推定 第1回地球環境シンポジウム講演集 1993
- 26) 国土開発技術センター 省資源・省エネルギー型国土建設技術開発 (建築委員会) 報告書 1995.3
- 27) 内山洋司・山本博己 発電プラントのエネルギー収支分析 電力中央研究所報告 1991
- 28) 森保文・乙間末広ほか ごみ発電によるエネルギー回収およびCO₂排出量の削減効果の推定 エネルギー・資源 vol15 No.6 1994
- 29) 土木学会地球環境委員会環境負荷評価 (LCA) 検討小委員会 土木建設業における環境負荷評価 (LCA) 検討部会 平成7年度調査報告書 1996
- 30) (社)空気調和・衛生工学会 地球環境時代における建築設備の課題 1995
- 31) 環境庁国立環境研究所 産業連関表による二酸化炭素排出原単位 平成9年2月
- 32) 鶴巻峰夫・藤岡荘介・内藤弘 下水道終末処理施設のライフサイクルでの環境負荷の定量化について 第4回地球環境シンポジウム講演集 1996