1990年表によるエネルギー消費量と炭素排出量の原単位

産業連関表による建築物の評価 (その5)

ENERGY/CARBON INTENSITIES BASED ON 1990 INPUT/OUTPUT TABLE

Application of input/output analysis to buildings (Part 5)

林 英明*, 岡 建雄**, 小玉 祐一郎***

Hideaki HAYASHI, Tatsuo OKA and Yuichiro KODAMA

Energy and carbon emission intensities are derived from 1990 input-output table in Japan. In the calculation using i/o tables, the quantity of natural gas was added to the original material quantity table which excludes the imported natural gas, and energy/carbon intensities are derived based on the consumption of petroleum refinery products instead of crude oil, and carbon which is released in the cement dissolution process is added to carbon emission due to fuel consumption for cement production. Energy/carbon intensities due to both flow and fixed capital formation are shown. Calculated results of energy/carbon intensities agree fairly well with the values shown in various literatures, and comparison with the results in foreign countries are discussed.

Keywords : *i/o table, energy intensity, carbon intensity, building materials, fixed capital formation*
産業連関表、エネルギー消費量原単位、炭素排出量原単位、建材、資本形成

1. はじめに

我が国における炭素排出量を試算すると¹⁾、全体の12%は建築物の建設によるものであり、11%は土木工事によるものである。建築物の運用による炭素排出量は全体の23%である。建設に関わるエネルギー消費量は鉄鋼やコンクリート製造等、建材に関わる部分も大きい、仕上げや運搬等に必要エネルギー量も大きい。

海外においても建設に関わるエネルギー消費量を Embodied Energy と定義して、建設から運用、維持・保全、解体まで含めたライフサイクルエネルギーを計算する論文が数多く発表されている。Cole は Embodied Energy を使用した各国の建材の原単位を示すとともに、単位床面積あたりの建設エネルギーを比較している²⁾。Andersen 等も Embodied Energy を求め、各種建築の建設エネルギーと運用エネルギーを求めている³⁾。一方、我が国においても酒井等により建設エネルギーが精力的に求められ、リサイクル効果の定量化も行われている⁴⁾。

これらの建設エネルギー量は産業連関分析によって求めることが多いが、直接、工場の実態調査によって求めることもある。海外ではこの2つの手法が併用されているようである。工場の実態調査によってエネルギー消費量を求めようとすると、特定の建材の製造エネルギーを求めることができるが、一般にデータのばら

つきが大きくなる傾向にあり、多大な労力も必要である。産業連関分析によるエネルギー消費量は平均値としては正確に求められるものの、エネルギー消費量は価格に正比例するという前提条件に立脚し、産業部門ごとに計算されるので、この条件が適用できない建材もある。

本論文では1990年産業連関表を分析し、各産業業種に単位需要が発生した場合の波及効果を含めたわが国全体のエネルギー消費量及び炭素排出量のデータベースを作成した。一般の建築の建設エネルギーを算出するために必要な産業部門を選定し、一覧表として示した。

2. 産業連関表による分析

2.1 計算概要

1990年産業連関表の基本表は列411×行527であるが、逆マトリックスを作成し、波及効果を含めて計算できるようにするには405業種にまとめる必要があり、本論文では405×405の行列とした。逆行列表を使用し、ある業種の需要に対する全産業業種の国内生産額が計算できる。エネルギーや炭素排出量を計算するには、この国内生産額に対応した物量表を使用する必要がある。物量表は527の産業業種において消費される153の資源や材料を物

* ㈱大林組設備計画部 副部長

** 宇都宮大学工学部 教授・工博

*** 建設省建築研究所 部長・工博

Deputy General Manager, Building Services Dept., Obayashi Corporation
Prof., Dept. of Architecture, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.
Director, Building Research Institute, Ministry of Construction, Dr. Eng.

量と金額で示したものである。

本論文では各産業業種に 100 万円の需要が発生した場合を想定して、波及効果を含めたわが国全体のエネルギー消費量及び炭素排出量のデータベースを作成した。100 万円の投入は直接、工場に投入されると考えられる生産者価格ベースと卸・小売業者に投入されると考えられる購入者価格ベースの計算がある。購入者価格－生産者価格＝商業マージン（卸、小売りマージン）＋流通マージン（運輸、倉庫費用）となる。また波及効果を含めたわが国全体でのエネルギー消費量ではフロー部分、すなわち生産に伴う材料消費やエネルギー消費だけ考える場合と、ストック部分、すなわち工場等の資本形成分まで考える場合があり、本論文ではこの 2通りの計算結果について示した。

また流通分を卸＋小売＋倉庫分と運輸分に分類し、各々の生産過程に占めるエネルギー量、炭素排出量を示した。これは建材が最終工場から現場まで運ばれていく場合のエネルギー消費量、炭素排出量に相当する。

2. 2 レオンチェフ逆行列

極力詳細な産業部門の分類を行うために、産業連関表基本表の原表から直接レオンチェフ逆行列を算出した。国内の最終需要額 Y より、究極的な国内生産額 X を算出するモデル式は、輸入係数 m_i を対角化した行列を M と置くと、次式の競争輸入型の式で表現される⁵⁾。逆行列にはいくつかの計算手法が提案されているが、(1)式が最も一般的であると判断した。

$$X = (I - (I - M)A)^{-1} ((I - M)Y + E) \cdots (1)$$

ただし、 X ：究極的国内生産額（円／年）

I ：単位行列

A ：投入係数

Y_i , E_i ： i 製品の国内最終需要額及び輸出額（円／年）

m_i ： M_i / C_i

M_i ： i 製品の輸出額（円／年）

C_i ： i 製品の国内生産額に輸入額を加算し輸出額を引いた額（円／年）

レオンチェフ逆行列は生産者価格基準であるから、流通マージンは原票の記載データに準じて、相当する産業部門に振り分けて計算する。究極的な国内生産額を算出するためには建設に必要な支出を整理し、最終需要額 Y として(1)式に与える。

2. 3 計算条件

(1) 天然ガスの物量表組み込み

表 1 は本論文で取り上げたエネルギー資源の発熱量、炭素排出量である。物量表には天然ガス（LNG を含む）が記載されていないため、本論文では下記のようにして、物量表に組み込んだ。

文献（9）p.380-383 によると、天然ガスの輸入量は、

1989 年度 天然ガス＋LNG＝46,151 × 10¹⁰ kcal／年

1990 年度 天然ガス＋LNG＝49,276 × 10¹⁰ kcal／年

これを平均して、1990 年 1～12 月の消費量を求めると、48,492kcal × 10¹⁰／年となる。天然ガスの発熱量を 9800kcal／m³ とすると、49,482 × 10⁶ m³／年の輸入量になる。なお単価は生産者価格ベースで 21.92 円／m³、購入者価格ベースで 23.73 円／m³ となる。この量を産業連関基本表（需要表）の金額に比例させて、各産業業種に振り分けた。

(2) セメントの炭素排出量

一般にセメントの分解工程において、セメント 1 kg 当たり 0.0817kg-C の炭素が発生するとされているので、セメント製造にはこの分を加算した。

(3) 電力における原油の扱い

産業連関分析では原油は石油製品と電力（事業用火力）に投入されている。しかし石油製品の輸入量は平均で 16%あり、B、C 重油では 23%に達する。このため本論文では原油の消費量を計上せず、石油製品を計上している。従って電力分については、原油の燃焼分がないので、これを加算する必要があった。

事業用火力に投入される原油は 20,282,846kl である。年間の事業用電力は、667,435 × 10⁶ kWh であり、1 kWh 当たり 0.030389 l の原油が消費されることになる。従って 1 kWh 当たり 1196KJ, 0.02252kg-C として原単位に加える必要がある。なお発電に関しては化石燃料のみを計算し、核燃料によるエネルギー発生量は計算していない。

表 1. 本論文で取り上げたエネルギー資源の
発熱量原単位と炭素排出量原単位^{6) 7)}

エネルギー源	発熱量(kJ/)	炭素排出量(kg/)
原料炭	25958/kg	0.749/kg
一般炭・亜炭等	25958/kg	0.749/kg
原油	39356/l	0.741/l
天然ガス	41031/l	0.564/l
揮発油	36006/l	0.662/l
ジェット燃料油	36006/l	0.662/l
灯油	37263/l	0.706/l
軽油	38519/l	0.736/l
A 重油	41449/l	0.755/l
B, C 重油	41449/l	0.828/l
LPG	50242/kg	0.823/kg
コークス	30145/kg	0.823/kg
セメント	0	0.0817/kg

3. 計算結果

(1) 最終過程におけるエネルギー消費量と炭素排出量

産業連関表で産出されるエネルギー消費量は生産に必要なエネルギーであって、最終的な石油製品の最終過程の燃焼を含まない。本論文の原単位でナフサを除く石油製品は燃焼されると判断して、最終過程のエネルギー消費と炭素排出量を加算した。ただし電力消費によって最終的に熱エネルギーが放出されるが、これは化石燃料の消費で計算されているので、最終過程では 0 となる。都市ガスも天然ガスや石炭の消費として計上されているので、最終過程でのエネルギー消費量と炭素排出量を 0 としている。

(2) 資本形成分

生産過程で消費するフロー分は物量表と結びつけて計算することができる。一般に各産業業種ではフロー分の他に設備にも投資している。これが資本形成分で付加価値の項に記載されている。資本形成分の定義は 20 万円以上の物品や建造物の購入である。産業連関付帯表には 124 業種にまとめられた固定資本マトリックスが掲載されており、本論文では資本形成に伴うエネルギー消費量、

炭素排出量も計算した。資本形成を循環で考えると、資本形成に伴う資本形成成分もあるわけであるが、フロー分に比べて小さいので、資本形成自体の資本形成に対する波及分は急速に縮減すると想定し、その波及分は計算していない。また本論文で定義する資本形成成分は 100 万円が投入された産業業種の固定資本形成成分を計算したものであり、波及する全業種の資本形成成分を合計したものではない。

(3) 産業部門の選択

表 2 に示される建物の建設エネルギーを算出する場合に必要な産業業種を抽出した。使用された産業部門は計 120 部門であり、その部門を原単位表として示す。図 1 は表 2 に示される建物の累積エネルギー消費量である。

(4) 原単位表

表 3 にエネルギーおよび炭素排出量の原単位表を示す。一般に購入者価格は流通分と生産分に分かれ、生産者価格が購入者価格より小さくなるので、100 万円当たりのエネルギー量は大きくなる。しかし、当該業種のエネルギー消費量が極めて小さく、運輸よりも小さい場合は、購入者価格のエネルギー消費量の方が大きくなる。原油のようにほぼ全量が輸入の場合は生産工場でのエネルギー消費量がほぼ 0 になるから、流通エネルギーを含む購入者価格ベースのエネルギー消費量の方が大きくなる。

(5) 流通分

建設資材の場合、最終工場から現場に運搬するための運輸、卸、小売、倉庫に掛かるエネルギー量が比較的大きくなる。本論文では産業連関基本表に示される流通マージンの割合を使用して、購入価格として 100 万円が投入された場合の流通過程で消費されるエネルギー量と炭素排出量を求めた。卸や小売、倉庫の具体的なエネルギー消費量は建物の運用、資本形成に伴うエネルギー消費である。運輸分はほとんどがトラック等の燃料消費である。

(6) 材料単価

表 2 に購入者価格 100 万円当たりの物量を示す。物量表から生産者価格ベースの単価がわかるので、基本表から生産者価格と購

入者価格の割合を求めて、購入者価格当たりの物量に換算したものである。

(7) 転炉鋼と電炉鋼

1990 年表には粗鋼として電炉鋼と転炉鋼が分けられているが、熱間圧延鋼材は 1 業種にまとめられている。そこで粗鋼における転炉鋼、電炉鋼のエネルギー消費量を算出しておき、熱間圧延工程の製造エネルギーは同じとして、転炉鋼、電炉鋼による熱間圧延鋼のエネルギー消費量と炭素排出量を計算した。結果を表 4 に示す。

表 2. 対象建物

建物	構造	延床面積 (㎡)
事務所ビル A	S	11,015
事務所ビル B	R C	1,145
集合住宅	S R C	4,628
戸建住宅 A	木造	151
戸建住宅 B	軽鉄 S	151

表 4. 熱間圧延鋼材 1 t あたりの必要エネルギー量と炭素排出量

	エネルギー [MJ]	炭素排出量 [kg-C]
熱間圧延工程	2717	54.8
粗鋼 (転炉)	13157	377.1
粗鋼 (電炉)	6585	164.3
熱間圧延鋼材 (転炉鋼)	16234	431.8
熱間圧延鋼材 (電炉鋼)	9301	219.1

注 産業連関分析では熱間圧延鋼材は一律 1 t あたり 13848 MJ、炭素 361.0 kg-C として計算される。このとき、転炉鋼 0.6817 t、電炉鋼 0.3000 t、輸入割合 11.4% である。

図 1. 建物種類別建設エネルギーの累積図

表3 購入者価格100万円当たりの原単位(1/3)

業種 NO.	産業 業種 コード	産 業 部 門 名 称	購入者価格100万円当た りエネルギー消費量(MJ)		購入者価格100万円当た り炭素排出量(kg-C)		内流通に係わるエネル ギー消費量(MJ)		購入者価格 100万円当た りの物量(単 位/100万円)
			生産過程 排出分	資本形成 含排出分	生産過程 排出分	資本形成 含排出分	卸、小売 倉庫分	運輸分	
34	-9	その他の窯業原料鉱物	37087	40491	811	906	323	12970	-
35	0622-01	砂 利 ・ 採 石	54085	59700	1043	1175	302	9541	560.4t
36	-2	砕 石	64481	70631	1249	1394	331	8289	0.72千t
85	1512-01	綿・スフ織物(含合繊短織物)	31213	35822	602	708	2859	770	-
87	-3	毛 織 物	25083	29806	478	585	4509	632	-
92	-2	じゅうたん・床敷物	27980	32984	544	657	5807	686	-
94	-9	その他の繊維工業製品	26745	31167	520	621	1956	916	-
99	1611-01	製 材	16107	20557	320	426	1357	3868	-
100	-2	合 板	23894	28336	468	572	1511	2989	-
101	-3	木 材 チ ッ プ	15190	18296	380	462	1034	7360	-
102	1619-09	その他の木製品	20005	23798	398	486	1670	3345	-
103	1711-01	木 製 家 具 ・ 装 備 品	19167	22860	384	469	4112	711	-
104	-2	木製建具	21495	25359	432	521	2880	2160	-
105	-3	金属製家具・装備品	30949	35177	693	791	1959	1147	-
108	1813-01	板 紙	91565	96945	1870	1996	1260	3709	10.9t
109	-2	段ボール	66407	71657	1346	1468	1026	2001	-
110	-3	塗工紙・建設用加工紙	45716	50522	918	1029	1490	3433	-
111	1821-01	段 ボ ー ル 箱	38435	42806	771	872	1030	2901	-
124	-3	圧縮ガス・液化ガス	143377	152123	2799	2998	737	5643	-
127	-2	石油化学系芳香族製品	122162	127195	2625	2741	590	3370	15.3t
131	2039-01	コーラタール製品	270471	272871	6883	6947	582	3692	-
136	-9	その他の有機化学工業製品	52716	57774	1066	1183	708	2436	-
137	2041-01	熱硬化性樹脂	52059	57841	1108	1241	1110	958	-
138	-2	熱可塑性樹脂	35977	42333	868	1015	892	962	4.4t
140	-9	そ の 他 の 合 成 樹 脂	44828	50346	960	1088	983	988	-
144	2071-01	石けん・合成洗剤・界面活性剤	38313	44924	768	920	3332	695	2.86t
146	2072-01	塗 料	37941	44795	820	978	1830	1084	-
149	2074-01	農 薬	36509	42517	760	898	3345	816	977kg
151	-2	ゼラチン・接着剤	40244	47135	826	984	1042	1009	-
153	2111-01	揮発油	292975	295131	5414	5467	3580	2838	22.1kl
		ジェット燃料油	1341975	1344131	24704	24757			
		灯油	900975	903131	17084	17137			
		石油製品 軽油	539975	542131	10324	10377			
		A重油	1365975	1368131	24914	24967			
		B,C重油	1534975	1537131	30654	30707			
		液化石油ガス	1247975	1250131	20514	20567			
		内 製造分	18975	21131	374	427			
154	2121-01	石炭製品	1348049	1351168	38719	38792	766	1980	44.9t
155	-2	舗装材料	39113	42957	771	861	1352	4136	-
156	2211-01	プ ラ ス チ ッ ク 製 品	30748	36718	638	776	1599	1281	-
160	-9	そ の 他 の ゴ ム 製 品	29797	34495	611	719	1980	2516	-
164	2511-01	板ガラス・安全ガラス	59988	65523	1176	1304	1516	2210	-
165	2512-01	ガラス繊維・同製品	64309	70141	1234	1368	775	2394	-
167	2521-01	セメント	212380	217843	5572	5700	1478	16169	70.5t
168	2522-01	生コンクリート	77958	83133	3310	3431	2675	3483	62.0m3
169	2523-01	セメント製品	51606	56082	1598	1702	2127	2357	-
170	2531-01	陶磁器	40700	43710	768	838	2630	1519	-
171	2599-01	耐 火 物	45640	49266	952	1036	1934	2022	-
172	-2	その他の建設用土石製品	68689	72478	1322	1411	3437	1712	-
175	-9	その他の窯業・土石製品	55844	60579	1269	1378	2256	1838	-

注 -は物量に換算しにくいと判断したもの

表3 購入者価格100万円当たりの原単位(2/3)

業種 NO.	産業 業種 コード	産 業 部 門 名 称	購入者価格100万円当た りエネルギー消費量(MJ)		購入者価格100万円当た り炭素排出量(kg-C)		内流通に係わるエネル ギー消費量(MJ)		購入者価格 100万円当た りの物量(単 位/100万円)
			生産過程 排出分	資本形成 含排出分	生産過程 排出分	資本形成 含排出分	卸、小売 倉庫分	運輸分	
180	2621-01	熱間圧延鋼材	174012	180376	4594	4742	1068	2034	12.9t
181	2622-01	鋼 管	117967	126165	3032	3223	917	2055	7.96t
182	2623-01	冷間仕上鋼材	130281	138608	3331	3525	686	2110	8.65t
183	-2	め っ き 鋼 材	94375	103138	2351	2555	1269	1992	8.46t
184	2631-01	鋳 鍛 鋼	110033	114379	2752	2853	674	2101	2.29t
185	-2	鋳 鉄 管	95635	99859	2320	2419	938	2043	3.92t
186	-3	鋳鉄品及び鍛工品 (鉄)	141648	146291	3729	3837	733	2097	4.24t
188	-9	そ の 他 の 鉄 鋼 製 品	77833	83652	1912	2048	1256	1992	-
189	2711-01	銅	17028	19213	388	440	477	665	2.37t
190	-2	鉛 (含再生)	68998	72402	1794	1872	779	661	4.25t
191	-3	亜 鉛 (含再生)	70439	74232	1641	1728	1047	644	2.94t
192	-4	アルミニウム (含再生)	24945	27218	515	571	783	661	3.71t
193	-9	その他の非鉄金属地金	9705	11103	237	281	1197	770	-
194	2721-01	電 線 ・ ケ ー ブ ル	21231	25468	437	535	1097	1025	-
195	2722-01	伸 銅 品	25971	29634	524	609	687	799	-
196	-2	アルミ圧延製品	29040	32979	579	670	745	753	1.59t
197	-3	非鉄金属鋳鍛造品	31661	35718	672	765	620	669	-
199	-9	その他の非鉄金属製品	19661	22592	401	469	1285	728	-
200	2811-01	建設用金属製品	52678	57418	1295	1404	578	1251	-
201	2812-01	建築用金属製品	34332	38841	771	875	1947	1758	-
202	2891-01	ガス・石油機器及び暖厨房機器	40721	46005	961	1083	2566	745	-
203	2899-01	ボルト・ナット・リベット及びス	55630	61090	1324	1450	603	1603	-
204	-2	金属製容器及び製缶板金製品配	49073	54952	1150	1285	665	2357	-
205	-3	管工事付属品・粉末冶金製品・道	39590	43974	887	988	1001	1645	-
206	-9	そ の 他 の 金 属 製 品	40336	45008	914	1021	1788	1356	-
210	3012-01	運搬機械	29086	35173	672	810	1616	556	-
211	3013-01	冷凍機・温湿調整装置	27545	33553	612	749	1591	577	-
212	3019-01	ポンプ及び圧縮機	35902	41416	849	974	1047	590	-
215	-9	その他の一般産業機械及び装置	28872	34323	662	786	1834	565	-
216	3021-01	鉱山・土木建設機械	33503	38669	780	898	1663	535	-
227	-9	その他の一般機械器具及び部品	35588	41587	826	962	1064	669	-
234	-9	その他の民生用電気機器	22906	28638	484	615	4526	510	-
236	-9	その他の電気音響機器部分品・付	19762	25523	415	545	1671	506	-
237	3311-01	電子計算機本体	15282	20871	304	430	2479	581	-
238	-2	電子計算機付属装置	15692	20859	317	434	1666	548	-
239	3321-01	有 線 電 気 通 信 機 器	19791	26096	399	542	1474	636	-
240	-2	無 線 電 気 通 信 機 器	19167	25539	387	531	1344	665	-
241	-9	その他の電気通信機器	18983	24501	387	512	1336	799	-
242	3331-01	電子応用装置	17451	23559	350	488	1398	385	-
243	3332-01	電 気 計 測 器	14478	18887	298	398	1431	808	-
247	3411-01	回転電気機械	27244	33168	617	750	1557	452	-
248	-2	開閉制御装置及び配電盤	21918	27679	480	608	1729	443	-
249	-3	その他の送配電機器	27800	34014	619	757	904	477	-
250	-9	その他の産業用重電機器	21064	26762	455	583	1499	531	-
251	3421-01	電気照明器具	23760	29157	511	634	2223	598	-
252	-2	電 池	28047	33076	605	720	2750	607	-
253	-3	電 球 類	25292	30187	500	611	3353	565	-
254	-4	配線器具	20528	25284	440	548	1704	548	-
256	-9	そ の 他 の 軽 電 機 器	21742	25920	442	537	1461	456	-

注 - は物量に換算しにくいと判断したもの

表3 購入者価格100万円当たりの原単位(3/3)

業種 NO.	産業 業種 コード	産 業 部 門 名 称	購入者価格100万円当 りエネルギー消費量(MJ)		購入者価格100万円当 り炭素排出量(kg-C)		内流通に係わるエネ ルギー消費量(MJ)		購入者価格 100万円当 たりの物量(単 位/100万円)
			生産過程 排出分	資本形成 含排出分	生産過程 排出分	資本形成 含排出分	卸、小売 倉庫分	運輸分	
258	3521-01	トラック・バス・その他の自動車	28085	35747	607	784	2278	870	-
277	-2	分析器・試験機・計量器・測定器	16672	21579	345	456	3014	703	-
285	-5	畳・わら加工品	15449	21792	300	450	2068	1331	-
287	-9	その他の製造工業製品	26678	31548	539	650	3914	2382	-
288	4111-01	住宅建築(木造)	19565	22780	443	518	0	0	-
289	-2	住宅建築(非木造)	27059	30522	665	745	0	0	-
290	4112-01	非住宅建築(木造)	21026	24451	481	561	0	0	-
291	-2	非住宅建築(非木造)	27365	30882	667	748	0	0	-
300	5111-00	事業用電力	276061	286009	5401	5626	0	0	55.4MWh
302	5121-01	都市ガス	357067	364252	5020	5184	0	0	11.3千m ³
303	5122-01	熱供給業	143716	153157	2739	2956	0	0	38.2Gcal
304	5211-01	上水道・簡易水道	45695	92026	899	2068	0	0	-
307	5212-01	廃棄物処理(公営)★★	25205	33624	490	694	0	0	-
308	-2	廃棄物処理(産業)	15340	23375	297	492	0	0	-
313	-2	損害保険	6958	10011	136	205	0	0	-
321	7122-01	道路貨物輸送	58979	64916	1131	1272	0	0	-
322	-2	通 運	35219	39327	677	771	0	0	-
323	7131-01	自家用旅客自動車輸送	138864	149624	2606	2863	0	0	-
324	7132-01	自家用貨物自動車輸送	165345	176105	3147	3402	0	0	-
337	7311-01	郵便	11095	19339	211	393	0	0	-
338	7312-01	国内電気通信	8415	17028	162	351	0	0	-
356	-5	自然科学研究機関(産業)	22496	28554	435	575	0	0	-
371	8511-01	広 告	18347	23367	365	477	0	0	-
378	8519-01	建物サービス	7453	10199	146	208	0	0	-
382	-9	その他の対事業所サービス	11694	15131	225	302	0	0	-
391	8612-01	一般飲食店(除喫茶店)	23969	28684	459	570	0	0	-
404	8900-00	事務用品	38305	43400	793	911	0	0	-
405	9000-00	分類不明	31066	37719	647	804	385	636	-

注 - は物量に換算しにくいと判断したもの

4. 考察

表3の原単位を、工場調査等から求められた従来の文献のエネルギー消費量や炭素排出量と比較する。一般に従来の文献ではフロー分として示されているので、表3の生産過程排出分と比較する。

(1) 電力、石油製品、都市ガス

文献(16)では電力1kWh当たり0.0989kg-Cと試算されている。本論文の結果では0.0975kg-Cとなり、概ね同一の値となる。石油はほとんどが燃焼によるエネルギーであり、製造分は1.2%(B,C重油)～7.4%(揮発油)である。都市ガスは種類によって単位体積当たりの発熱量も価格も異なるために比較できなかった。

(2) 鋼材

文献(17)p.6によると、1990年の値として鉄鋼1t当たりの製造に伴う炭素排出量は405kg-Cであるとしている。文献(19)p.28では393kg-Cである。本論文では熱(冷)間圧延鋼材で356(387)kg-C/tの炭素排出量となる。鉄鋼の主力製品である熱間圧延鋼材の輸入割合は物量基準で6.6%である。なお文献(17)で使用している電力の炭素排出量原単位は0.119kg-C/kWhとなっており

(p.23)、本論文あるいは文献(16)に示される原単位より20%程度大きい。

(3) セメント

文献(18)によると、セメント1t当たりのエネルギー消費量原単位は3165MJである。エネルギー源の多くは石炭、重油、自家発電である。本論文では3012MJとなり、概ね一致している。しかし文献(19)p.27によると3804MJであり、26%の差異がある。なおセメントの輸入割合は3%である。

(4) コンクリート

コンクリートはセメントや砂利等の混合物であり、1産業業種だけの原単位では捉えにくい。文献(19)p.27によると、67kg-C/m³となっている。本論文では53kg-C/m³となり、21%の差異が生じている。

(5) 国際比較

Coleはカナダ、米国、オランダ、スイス、フィンランドにおけるエネルギー原単位を比較した。これらの国における鉄鋼の原単位は25.7～39.0MJ/kgであり、本論文では13.5MJ/kgとなる。セメントは4.9～7.43MJ/m³となっているが、本論文では3.01MJ/m³

である。コンクリートは $0.9 \sim 2.0\text{MJ/m}^3$ であるが、本論文では 1.26MJ/m^3 である。諸外国における建築物の建設エネルギーは、 1m^2 当たり $4.85 \sim 18.6\text{GJ}$ であるが、本原単位を使用して計算された我が国の事務所ビルの建設エネルギーは 11.2GJ/m^2 となり、諸外国と比較すると、平均的な値となっている²⁾。

5. 結論

本論文は 1990 年の産業連関表を使用して、産業業種別のエネルギー原単位と炭素排出量を計算したものである。

- (1) 計算に当たっては、①物量表に記載されていない天然ガス (LNG を含む) を追加した、②石油燃料に関しては石油製品輸入があるので原油基準ではなく、石油製品基準で計算した、③セメントの分解過程における炭素排出量を加算した。
- (2) 原単位ではフロー分と資本形成分を見込んだ値を併記し、最終工場から需要地に至る流通分も示した。また購入者価格 100 万円当たりの物量を算出して示した。
- (3) 得られた原単位を各種資料と比較したところ、電力、鉄鋼、セメントでは概ね一致したが、コンクリートでは 21% の差異が生じた。
- (4) 我が国の原単位を諸外国と比較したところ、鉄鋼、セメントの建設エネルギーは小さいものの、事務所ビル床面積当たりの建設エネルギーは平均的な値となった。

[脚注]

表 3 に示した数値は計算結果の数値をそのまま記載したもので、有効数字の丸めは行っていない。

参考文献

- 1) 岡建雄：建築における環境共生技術、クリーンエネルギー Vol.6, No.3、1997.3
- 2) Cole, R.J.: Using life-cycle assessment as a basis for decision making in building design, Building & the environment in central and eastern Europe, CIB TG-8, International research workshop, Poland, 1996.10
- 3) Andesen, S.O.: Livcyklus-baseret bygningsprojektering, Statens bygge-forskningsinstitute, 1993
- 4) 酒井寛二、漆崎 昇：建設業の資源消費解析と環境負荷の推定, 環境情報工学 Vol.21、No.2、pp.130 ~ 135、1992
- 5) 総務庁：平成 2 年産業連関表、計数編 (1), (2), 総合開発編, (財) 全国統計協会連合会, 1994. 3
- 6) 通商産業調査会：平成 2 年産業連関表、磁気テープ、1994
- 7) (財) 石油産業活性化センター：炭酸ガス温室効果とわが国石油産業の対応に関する調査報告書, 1989
- 8) 通商産業大臣官房調査統計部：平成 2 年石油等消費構造統計表、通産統計協会、1996
- 9) 資源エネルギー庁編：総合エネルギー統計、通商産業研究社、1990
- 10) 科学技術庁資源調査会：衣・食・住のライフサイクルエネルギー、大蔵省印刷局、1980
- 11) 同上：家庭生活におけるエネルギー有効利用、同上、1994
- 12) 岡 建雄：産業連関表による建築物の評価、その 1. 省エネルギービルと一般事務所ビルの比較、日本建築学会計画系論文報告書、第 359 号、1986. 6
- 13) 地球環境に関する委員会：シンポジウム地球環境時代における建築設備の課題、(社) 空気調和・衛生工学会、1995. 7
- 14) (社) 建築業協会：我が国における建築物の建設に係わる資源消費と関連する影響要因の実態、1991
- 15) 須田松次郎：1985 年建築活動による排出炭素量、建築が地球環境に与える影響、日本建築学会、1993.11
- 16) (財) ヒートポンプ技術開発センター：スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムの研究開発、トータルシステムの研究成果報告書、1990. 3
- 17) (社) 日本鉄鋼協会基礎研究会：炭酸ガス抑制と製鉄プロセスの未来、(社) 日本鉄鋼協会、1993
- 18) (社) セメント協会：セメントハンドブック、1992 年版、(社) セメント協会、1992
- 19) (財) 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の開発、1995. 3

(1998 年 1 月 9 日原稿受理、1998 年 4 月 10 日採用決定)