2011 年産業連関表によるエネルギー消費量・CO₂ 排出量原単位の算出と
建築物の Embodied Impact 評価ENERGY / CO₂ INTENSITIES BASED ON 2011 INPUT-OUTPUT TABLE
AND EVALUATION OF EMBODIED IMPACTS OF BUILDINGS横山 計三^{*1}

Keizo YOKOYAMA

Energy consumption and CO₂ emissions are collectively known as the embodied impact. The current study calculated energy intensity and CO₂ emission intensity based on the 2011 Input-Output (I-O) Tables for Japan, and it compiled those values into an intensity database. This study analyzed the EG of the Japanese building and construction sectors, and the following findings were obtained:

1) Research on EE and EG (EEG) has been conducted by the IEA EBC Annex 57 project. 2) EG by the construction sector accounted for 14.2% of total CO₂ emissions in Japan. EG decreased every year from 20.3% in 1995.

Keywords : Embodied Energy, Embodied GHG Emissions, Input-Output analysis, Intensity of energy, Intensity of CO₂

エンボディドエネルギー, エンボディド GHG, 産業連関分析, エネルギー消費量原単位, CO₂ 排出

1. はじめに

省エネルギーや地球環境の保全は、日本だけでなく世界的な目標である。建築関連の CO₂ 排出量は、全排出量の多くの部分を占めることから、建物や住宅のゼロエネルギー化が進められている。日本においては、住宅では、2020 年までに ZEH(net Zero Energy House) を標準的な新築住宅とし、建築では、2030 年までに新築建築全体の平均で ZEB(net Zero Energy Building) を実現するという目標が設定されている。英国、米国をはじめとする各国でも ZEB/ZEH 化するという目標が掲げられている。

建物のゼロエネルギー化が進められると、建物運用時のエネルギー消費に伴う CO₂ 排出量は、現在より大きく低下し、建物建設時や維持管理時の材料・機器製造における CO₂ 排出量が相対的に大きくなり、その削減がこれからはより重要になると考えられる。この建物や建物に使用される材料、機器などの製造時にかかるエネルギー消費量、CO₂ 排出量は、総称して Embodied Impact といい、それぞれ Embodied Energy、Embodied Greenhouse gas (GHG) Emissions (以降、それぞれ EE、EG、双方をいう場合は EEG と略す) と呼ばれる。

Embodied Impact を評価するためには、原単位データベースが必要となるが、筆者らが、以前から取り組んできた産業連関分析による原単位を用いることができる。日本においては、5 年ごとに詳細な産業連関表が公表されており、これまで、1995 年から 2005 年までの産業連関表を分析し、エネルギー消費量と CO₂ 排出量の原単

位を示してきた^{1), 2), 3)}。本論では、2015 年に公表された 2011 年産業連関表を分析し、建築物の Embodied Impact を評価するためのエネルギー消費量、CO₂ 排出量の原単位を示し、経年変化について解析した。

2. Embodied Impact 評価の動向

国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) の「建築とコミュニティにおけるエネルギー (Energy in Building and Communities : EBC)」における研究プロジェクトの一つである Annex57 において、EEG について研究が行われてきた。近年、各種エネルギーシミュレーションにおいて建物の使用時におけるエネルギー消費や CO₂ 排出量は比較的正確に予測できるようになってきたが、建築物を構成する建材・資材の生産や、建設現場で消費されるエネルギー、運用中の修繕・改修、将来の解体時に発生する EEG の評価方法は、まだ国際的に確立されていないとの問題意識から始められた。研究成果は、報告書及びガイドラインとしてホームページ上で発表されている⁴⁾。

2.1 原単位データベース⁵⁾

EEG を算出するためのデータベースを作成するには以下の 3 つの手法がある。なお、本論では、産業連関分析による方法を用いている。

1) 積み上げ法 (Process-based analysis)

^{*1} 工学院大学建築学部まちづくり学科 教授・博士(工学)

Prof., School of Architecture, Kogakuin University, Ph.D.

製品の製造工程を調査し、原料、投入エネルギー、CO₂排出量、その他排出される物質などを特定して、原単位を求める方法である。製品ごとに原単位が求められるが、原料を購入している場合は、それ自体の製造時エネルギー消費量、CO₂排出量をさかのぼって調査する必要があり、調査には限界がある。

2) 産業連関分析法 (Input-Output (I-O) analysis)

各国で発行されている産業連関表を用いた分析で、その国の産業構造において究極的なエネルギー消費や CO₂ 排出量が求められる。しかし、詳細な産業連関表が発表されている日本でも 400 部門程度で、扱える製品種類はそれほど多くない。

3) ハイブリッド法 (Hybrid analysis)

積み上げ法と産業連関分析法の特徴を生かし、両者を組み合わせでデータベースを作成する方法である。

2.2 一次エネルギー消費と CO₂ 排出の定義⁵⁾

エネルギー消費原単位は、一次エネルギーに換算するが、Annex57 では、対象とするエネルギーの種類によって以下の様に分類している。

- 1)PEf：化石燃料のみを対象とする一次エネルギー。
- 2)PEnr：化石燃料と原子力を対象とする一次エネルギー。
- 3)PEt：化石燃料、原子力、再生可能エネルギーの合計一次エネルギー。

また、CO₂ 排出量は、温室効果ガス量 (GHG) を温暖化係数 (GWP100 年値) により CO₂ 換算した排出量とする。

2.3 システム境界⁵⁾

EEG の検討では、建物のライフサイクルにおける Fig.1 のような部分が該当する。LCA においては、図のすべてのステージが対象であるが、EEG の検討においては、運用時のエネルギー消費 (B6、B7) は、対象外となる。図の A1~C4 は、Cradle to Grave といわれ、ライフサイクルの EEG であり、A1~A3 は、Cradle to Gate で製造時の EEG、A1~A4 は、Cradle to Site で製品に運搬マージンを含んだもの、A1~A5 は、Cradle to Handover とい建物の EEG となる。

3. 産業連関分析による原単位データベースの作成

3.1 計算の概要

2011 年産業連関表⁶⁾は、2015 年に総務省より発表され、取引基本表、部門別品目別国内生産額表、物量表などから構成されている。この取引基本表は、産業部門が 518 行×397 列の表となっているが、主に列部門を基準に行列を 393 部門に統合して分析を行った。ここで、「屑鉄」は「銑鉄」に、「その他の金属屑」は「その他の金属地金」に、そして「古紙」は「パルプ」にそれぞれ統合した。

また、物量表には、125 列 (物量) × 518 行 (産業部門) が記載されており、518 行の産業部門は取引基本表と同様に 393 部門に統合した。この物量表には、コークスが含まれていないので、統計資料と連関表の金額データをもとに物量を追加した。

本論では、エネルギー消費は、化石燃料のみ (PEf) を対象とし、温室効果ガス (GHG) は、化石燃料の燃焼と石灰石のプロセスによる CO₂ 排出量のみを対象とする。石灰石プロセスを対象とするのは、

Fig.1 Proposed System Boundary⁵⁾

Table1 Caloric values and CO₂ emission factors⁷⁾

Fuel	unit	Caloric value MJ/unit	CO ₂ emission kg-CO ₂ /unit	CO ₂ emission kg-CO ₂ /MJ
Coal	kg	29.0	2.605	0.0898
Crude oil *1	L	38.2	2.619	0.0686
Natural gas	m3	43.5	2.153	0.0495
Gasoline	L	34.6	2.322	0.0671
Jet fuel	L	36.7	2.463	0.0671
Kerosene	L	36.7	2.489	0.0678
Light oil	L	37.7	2.585	0.0686
Heavy oil(A)	L	39.1	2.710	0.0693
Heavy oil(B,C)	L	41.9	2.996	0.0715
Naphtha *2	L	33.6	2.242	0.0667
LPG	kg	50.8	2.999	0.0590
Coke *3	kg	29.4	3.169	0.1078
Limestone *4	kg	—	0.440	—

*1: Crude oil is burned by "Electricity" sector, and is used as a raw material by "Petroleum Refinery product" sector.

*2: Naphtha is burned by "Electricity" and "Gas supply" sector.

*3: Only imported coke (2.8%) is burned.

*4: Content rate of carbon is 12%.

セメントやコンクリートとして建設業では多く用いられるためである。また、冷媒に使用するフロンガスの温室効果及び木材や石油化学製品など製品に含まれる炭素は考慮しないこととする。また、コークスの燃焼分は、国内産コークスは石炭部門で考慮しているので輸入量(2.8%)のみとした。

3.2 レオンチェフ逆行列

産業連関分析では、波及効果を含む国内生産額は、国内最終需要額、輸入係数を用いて、次式で表される⁸⁾。

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{M}\mathbf{A})^{-1}((\mathbf{I} - \mathbf{M})\mathbf{F}_D + \mathbf{F}_M) \quad (1)$$

但し、

$\mathbf{X}$: 国内生産額ベクトル (円/年)、 $(\mathbf{I} - \mathbf{M}\mathbf{A})^{-1}$: 競争輸入型レオンチェフ逆行列、 $\mathbf{I}$: 単位行列、 $\mathbf{A}$: 投入係数行列、 $\mathbf{F}_D$: 国内最終需要額ベクトル (円/年)、 $\mathbf{F}_M$: 輸出額ベクトル (円/年)、 $\mathbf{M}$: 輸入係数対角行列、 $m_i = M_i/C_i$: 輸入係数、 M_i : i 製品の輸入額 (円/年)、 C_i : i 製品の国内需要 (円/年)

産業連関表には、輸入品の扱いにおいて、競争輸入型と非競争輸入型がある。同じ産業部門の商品では、輸入品と国産品を区別せず一括で扱う方式を「競争輸入型」といい、輸入品と国産品を区別し

て扱う方式を「非競争輸入型」という。日本の産業連関表は、競争輸入型を採用している（但し、輸入額の掲載があるので非競争輸入型に組み替え可能）⁹⁾ので、本分析では過去の分析も含めて、(1)式のレオンチェフ逆行列に競争輸入型を用いている。競争輸入型では、産業部門ごとに一定比率の輸入を考慮した分析となるが、非競争輸入型では、輸入品と国産品を分けて分析することになり、計算が複雑となる。

3.3 産業部門別直接エネルギー消費量、CO₂排出量

産業部門別国内生産額百万円における直接エネルギー消費量、CO₂排出量を、物量表を用いて算出する。算出に用いた各種燃料や石灰石プロセスにおける発熱量及びCO₂排出係数をTable1に示す。

ここで、原油は、「事業用発電」に投入されるものは燃焼し、「石油化学基礎製品」などに投入されるものは、原料として消費され燃焼はしない。ナフサは、「事業用発電」「都市ガス」への投入分は燃焼する。

液化石油ガスは、「石油化学基礎製品」において副産物として産出される。石灰石は、道路やコンクリートの砕石・骨材への消費を除いて、工業プロセスで分解しCO₂が発生するので、炭素含有量12%としてCO₂量を算出した。また、都市ガス、電力、自家発電、地域熱供給におけるエネルギー消費量、CO₂排出量は、それぞれの原料である石炭、石油、天然ガスなどで考慮されている。

産業部門別国内生産額百万円における直接エネルギー消費量、CO₂排出量は、式(2)及び(3)に基づいて算出される。

$$E_i = \sum K E_j \cdot MAT_{ij} \quad (2)$$

$$CO_{2i} = \sum K CO_{2j} \cdot MAT_{ij} \quad (3)$$

但し

E_i : i産業の生産者価格百万円当たりの直接エネルギー消費量(MJ/百万円)、 CO_{2i} : i産業の生産者価格百万円当たりの直接CO₂排出量(kg-CO₂/百万円)、 MAT_{ij} : i産業に投入される生産者価格百万円当たりの物量j、 KE_j : 物質jの単位発熱量(Table1)、 KCO_{2j} : 物質jのCO₂排出係数(Table1)

3.4 波及効果を含む原単位の算出

式(4)、(5)に示すように、式(2)、(3)の百万円当たりの直接エネルギー消費量、直接CO₂排出量と式(1)のレオンチェフ逆行列からエネルギー消費量、CO₂排出量原単位が求められる。

$$IE = E(I - (I - M)A)^{-1} \quad (4)$$

$$ICO_2 = CO_2(I - (I - M)A)^{-1} \quad (5)$$

但し、

IE : 各産業の生産者価格百万円当たりの波及効果を含んだエネルギー消費量原単位(MJ/百万円)、 ICO_2 : 各産業の生産者価格百万円当たりの波及効果を含んだCO₂排出量原単位(kg-CO₂/百万円)、 E : 各産業の生産者価格百万円当たりの直接エネルギー消費量行ベクトル(MJ/百万円)、 CO_2 : 各産業の生産者価格百万円当たりの直接CO₂排出量行ベクトル(kg-CO₂/百万円)、 $(I - (I - M)A)^{-1}$: レオンチェフ逆行列

3.5 購入者価格百万円当たり原単位

生産者価格ベースの原単位から、商業マージン、倉庫・貨物運賃などの流通マージンを加えた購入者価格ベースの原単位を求めた。これらの商業・流通マージンは、例えば、ある製品Aが、B産業に投入される際に商業・流通マージンがかかるが、その製品Aのすべ

Table2 Comparison with calculation and statistic¹⁰⁾ in energy consumption

Item	Calculation (TJ)	Statistic (Calendar year) (TJ)	Error
Intermediate sectors	15,088,035	—	—
Final Demand Sectors	2,141,761	—	—
Total	17,229,796	16,876,000 *1	2.1%

*1: Statistic value = Total primary energy - Nuclear Power - renewable energy - non energy use

Table3 Comparison with calculation and statistic¹¹⁾ in CO₂ emissions

Item	Calculation (1000t-CO ₂)	Statistic (Calendar year) (1000t-CO ₂)	Error
Total of Energy origin	1,191,719	1,175,960	1.3%
Intermediate sectors	1,050,704	—	—
Final Demand Sectors	141,015	—	—
Process of Limestone	57,679	77,940	—
Total	1,249,398	1,253,897	-0.4%

Note: Statistic is the fiscal year value, so it was calculated to the calendar year value.

Table4 CO₂ emissions from Construction sector in 2011

No	Sector	CO ₂ t-CO ₂	ratio
269	Residential construction (wooden)	13,638,681	1.1%
270	Residential construction (non-wooden)	17,959,972	1.4%
271	Non residential construction (wooden)	1,100,480	0.1%
272	Non residential construction (non-wooden)	22,012,921	1.8%
Total of Building sector		54,712,055	4.4%
273	Repair of constructions	23,701,116	1.9%
Total of Civil engineering sector		100,254,179	8.0%
Total of Construction sector		178,667,350	14.2%
Practical use of facilities for domestic use *1		187,375,000	14.9%
Practical use of facilities for business use *1		231,625,000	18.5%
Total of Construction sector including practical use		597,667,350	48.0%
Total CO ₂ emissions in Japan *1		1,253,896,575	100.0%

*1: These values are being quoted from a reference 11). But, a document is the fiscal year value, so it was changed to the calendar year value.

での投入先についてマージンを合計したものである。

以上のような計算過程によって算出した生産者・購入者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位とCO₂排出量原単位をTable5～7に示す。なお、物量表で数量が明示されているものについては、購入者価格百万円当たりの物量を物量欄に表示している。

ここで、「石油化学基礎製品」は、原単位がマイナスとなっている。これは、副産物として液化石油ガスが産出されるためである。日本の産業連関表では、屑や副産物の発生は、その投入量（金額・物量）をマイナスで記入する方式（マイナス投入方式）をとっているため、これをエネルギー消費量やCO₂排出量に換算すると消費エネルギーより生み出すエネルギーが大きければマイナスとなることがある。

4. 考察

4.1 妥当性の確認

算出した生産者価格百万円当たり原単位に、部門ごとの国内生産額をかけて合計し、さらに最終需要部門（家計、家計外消費）を加えることで、国内のエネルギー消費量、CO₂排出量が求められる。エネルギー消費量における計算値と統計値を比較すると、誤差は+2.1%となった(Table2)。また、CO₂排出量では、エネルギー起源のCO₂排出量は、+1.3%の誤差、工業プロセス等を含む合計では、-0.4%の誤差となった(Table3)。なお、統計値は年度値なので、当該

Table5 Energy/ CO₂intensity in 2011 (1)

No.	Industrial Sector	Energy (MJ/Million Yen)			CO ₂ (kg-CO ₂ /Million Yen)			Quantity of Material for Consumer Price of Million Yen
		Production Process (Producer Price)	Per Consumer price	Total	Production Process (Producer Price)	Per Consumer price	Total	
1	Rice	24,277	2,565	24,508	1,735	177	1,745	4.28 t
2	Wheat, barley and the like	97,183	6,537	16,734	6,759	452	1,162	21.30 t
3	Potatoes and sweet potatoes	31,681	15,846	34,307	2,172	1,080	2,346	7.19 t
4	Pulses	52,723	3,733	15,034	3,704	259	1,053	16.26 t
5	Vegetables(outdoor)	31,348	17,744	34,594	2,265	1,204	2,422	
6	Fruits	32,035	18,994	31,226	2,289	1,291	2,165	3.03 t
7	Sugar crops	46,091	2,180	42,847	3,159	151	2,938	66.36 t
8	Crops for beverages	52,591	3,436	16,552	3,740	238	1,171	2.18 t
9	Miscellaneous edible crops	37,968	4,094	4,952	2,638	284	343	4.28 t
10	Crops for feed and forage	34,988	484	26,241	2,821	33	2,110	
11	Seeds and seedlings	18,337	11,401	20,099	1,693	774	1,577	
12	Flowers and plants	69,991	29,700	57,308	5,000	2,001	3,974	
13	Miscellaneous inedible crops	22,019	2,861	4,928	1,540	198	343	0.84 t
14	Dairy cattle farming	21,738	1,483	21,598	1,598	102	1,581	10.27 t
15	Beef cattle	23,059	1,153	22,650	1,725	80	1,688	1.88 head
16	Hogs	28,464	1,538	27,515	2,044	106	1,972	28.13 head
17	Hen eggs	22,429	5,621	23,027	1,625	382	1,644	
18	Chickens	26,657	1,154	26,390	1,928	80	1,905	1,966 birds
19	Miscellaneous livestock	26,354	4,905	17,211	2,009	337	1,275	1.84 t
20	Veterinary service	11,965	0	11,965	814	0	814	
21	Agricultural services (except veterinary service)	37,912	0	37,912	2,754	0	2,754	
22	Silviculture	4,158	72	4,216	292	5	296	
23	Logs	22,729	4,764	16,861	1,542	330	1,167	69.4 m ³
24	Special forest products (incl.hunting)	44,112	15,022	37,367	3,053	1,018	2,564	
25	Marine fishery	77,251	8,954	53,410	5,453	612	3,750	
26	Marine aquaculture	42,247	13,468	35,752	2,959	915	2,476	
27	Inland water fishery and inland water aquaculture	53,538	21,061	39,890	3,705	1,424	2,727	
28	Metallic ores	56,677	1,672	2,208	4,015	117	155	67.57 t
29	Coal mining, crude petroleum and natural gas	44,263	2,041	2,442	3,212	142	171	61.26 t
30	Gravel and quarrying	74,033	24,560	65,678	5,119	1,694	4,537	
31	Crushed stones	75,217	16,299	62,499	5,233	1,125	4,339	483 t
32	Miscellaneous ores	71,812	15,413	41,285	9,695	1,073	4,566	1,033 t
33	Meat	25,970	10,943	21,602	1,873	742	1,511	1.10 t
34	Processed meat products	20,514	12,348	22,441	1,455	831	1,547	
35	Bottled or canned meat products	29,068	16,451	31,622	2,005	1,114	2,161	0.99 t
36	Dairy farm products	27,190	10,387	27,352	1,961	702	1,926	4.90 kl
37	Frozen fish and shellfish	48,791	13,520	29,184	3,423	913	2,012	
38	Salted, dried or smoked seafood	34,618	16,793	34,354	2,429	1,136	2,368	0.65 t
39	Bottled or canned seafood	33,152	15,257	30,949	2,432	1,033	2,185	0.76 t
40	Fish paste	25,651	13,194	29,682	1,760	889	2,020	1.04 t
41	Miscellaneous processed seafood	29,929	14,890	28,752	2,113	1,002	1,980	
42	Grain milling	25,113	5,414	24,349	1,785	369	1,715	3.27 t
43	Flour and other grain milled products	15,241	4,969	17,128	1,051	342	1,181	8.40 t
44	Noodles	22,786	10,715	25,652	1,533	723	1,728	
45	Bread	24,353	17,582	32,306	1,641	1,178	2,171	
46	Confectionery	22,591	17,604	30,717	1,589	1,181	2,103	
47	Bottled or canned vegetables and fruits	30,156	11,540	23,604	2,280	787	1,699	
48	Preserved agricultural foodstuffs (except bottled or canned)	24,057	16,924	25,077	1,696	1,142	1,717	
49	Sugar	69,550	8,837	47,677	5,141	607	3,479	3.88 t
50	Starch	39,594	6,181	35,290	2,680	427	2,397	14.50 t
51	Dextrose, Syrup and isomerized sugar	68,320	3,093	57,009	4,876	214	4,062	9.96 t
52	Animal oil and fats, vegetable oil and meal	24,892	5,943	20,191	1,690	405	1,373	5.06 t
53	Condiments and seasonings	24,927	11,510	27,699	1,842	776	1,973	
54	Prepared Frozen foods	28,795	17,471	34,534	1,995	1,174	2,356	1.55 t
55	Retort foods	25,386	12,035	28,858	1,794	811	2,000	1.18 t
56	Dishes, Sushi, Lunch boxes	26,112	19,621	34,444	1,764	1,318	2,319	
57	School lunch(public)	23,502	43	23,516	1,546	3	1,547	
58	School lunch(private)	26,217	654	26,393	1,750	45	1,763	
59	Miscellaneous foods	35,328	22,013	39,545	2,448	1,477	2,692	
60	Refined sake	22,846	11,859	26,841	1,666	803	1,895	1.64 kl
61	Malt liquors	11,736	12,250	19,634	853	830	1,366	2.34 kl
62	Whiskey and brandy	13,595	13,219	16,846	987	894	1,157	0.81 kl
63	Miscellaneous liquors	14,860	11,200	19,411	1,114	758	1,373	
64	Tea and roasted coffee	25,118	7,179	24,598	1,826	489	1,755	
65	Soft drinks	27,440	12,978	30,047	1,884	879	2,114	5.19 kl
66	Manufactured ice	63,053	6,815	54,215	4,359	463	3,740	36.14 t
67	Feeds	19,427	12,465	24,041	1,402	850	1,685	19.22 t
68	Organic fertilizers, n.e.c.	38,729	16,619	40,555	2,643	1,140	2,774	
69	Tobacco	4,234	8,932	10,695	315	601	732	
70	Fiber yarns	50,061	5,095	27,330	3,508	352	1,910	
71	Cotton and staple fiber							
72	fabrics (including fabrics of synthetic spun fibers)	55,499	4,146	32,353	3,923	286	2,280	
73	Silk and artificial silk fabrics (including fabrics of synthetic filament fibers)	63,073	4,074	42,412	4,590	281	3,071	
74	Miscellaneous fabrics	46,218	5,740	33,824	3,256	395	2,373	
75	Knitting fabrics	35,054	5,097	28,277	2,527	352	2,023	1.25 t
76	Yarn and fabric dyeing and finishing (processing on commission only)	84,365	0	84,365	5,884	0	5,884	
77	Miscellaneous fabricated textile products	47,475	5,819	32,361	3,389	398	2,293	
78	Woven fabric apparel	33,856	29,549	35,450	2,358	1,985	2,396	
79	Knitted apparel	30,217	35,055	37,739	2,201	2,357	2,553	
80	Miscellaneous wearing apparel and clothing accessories	31,586	26,065	30,538	2,250	1,761	2,079	
81	Bedding	18,246	31,593	34,735	1,284	2,123	2,344	
82	Carpets and floor mats	41,405	12,672	29,949	2,981	860	2,103	
83	Miscellaneous ready-made textile products	24,304	17,140	25,733	1,754	1,159	1,779	
84	Timber	17,600	6,279	14,917	1,216	434	1,031	
85	Plywood	22,662	5,649	17,003	1,617	390	1,201	
86	Wooden chips	27,993	5,734	11,127	1,925	396	767	44.31 t

No.	Industrial Sector	Energy (MJ/Million Yen)			CO ₂ (kg-CO ₂ /Million Yen)			Quantity of Material for Consumer Price of Million Yen
		Process (Producer Price)	Per Consumer price		Process (Producer Price)	Per Consumer price		
			Transporta tion and Trade	Total		Transporta tion and Trade	Total	
86	Miscellaneous wooden products	23,749	6,672	20,739	1,706	458	1,469	
87	Wooden furniture	23,082	17,787	26,409	1,690	1,206	1,837	
88	Metallic furniture	41,078	14,470	32,220	3,385	987	2,450	
89	Wooden fixtures	22,367	11,046	22,142	1,685	765	1,601	
90	Miscellaneous furniture and fixtures	34,303	16,527	32,370	2,728	1,124	2,384	
91	Pulp	134,967	4,624	88,687	11,016	320	7,182	12.97 t
92	Paper	142,186	9,038	95,042	12,292	622	8,057	
93	Paperboard	143,837	7,882	103,338	11,541	546	8,205	10.15 t
94	Corrugated cardboard	86,177	5,576	72,050	6,811	385	5,639	
95	Coated paper and building (construction) paper	55,970	4,956	41,672	4,848	343	3,523	
96	Corrugated card board boxes	45,345	5,254	40,779	3,497	363	3,103	
97	Miscellaneous paper containers	42,316	6,619	36,934	3,393	456	2,887	
98	Paper textile for medical use	45,714	12,188	39,564	3,505	832	2,931	
99	Miscellaneous pulp, paper and processed paper products	44,660	8,670	38,862	3,548	592	2,991	
100	Printing, plate making and book binding	34,769	2,244	33,298	2,739	154	2,600	
101	Chemical fertilizer	151,545	6,185	98,584	9,835	422	6,418	
102	Industrial soda chemicals	212,034	3,508	172,314	18,139	244	14,685	25.41 t
103	Inorganic pigment	63,297	3,796	43,080	5,379	263	3,601	2.40 t
104	Compressed gas and liquefied gas	181,353	4,766	145,404	12,435	330	9,974	
105	Salt	221,529	11,000	85,489	19,378	752	7,268	
106	Miscellaneous industrial inorganic chemicals	76,034	4,415	47,715	6,431	306	3,969	
107	Petrochemical basic products	-68,894	1,710	-63,415	-3,725	118	-3,403	8.94 t
108	Petrochemical aromatic products(except synthetic resin)	25,384	3,992	25,918	1,802	277	1,833	12.52 t
109	Aliphatic intermediates	26,502	2,917	22,171	2,581	202	2,077	15.31 t
110	Cyclic intermediates	37,121	1,361	23,816	2,926	94	1,864	6.83 t
111	Synthetic dyes and organic pigments	63,099	1,601	36,106	4,722	111	2,693	
112	Synthetic rubber	81,509	2,676	64,562	6,593	185	5,191	2.17 t
113	Methane derivatives	59,289	3,661	31,572	4,564	254	2,403	
114	Plasticizers	37,226	3,590	30,053	2,891	248	2,304	
115	Miscellaneous industrial organic chemicals	72,632	3,483	50,235	5,766	241	3,953	
116	Thermo-Setting resins	26,524	3,402	22,503	2,111	236	1,755	1.54 t
117	Thermoplastics resins	-10,285	3,233	-4,674	-157	224	103	4.35 t
118	High functionality resins	27,978	2,831	19,864	2,195	196	1,533	
119	Miscellaneous synthetic resins	26,655	3,576	17,247	2,170	248	1,361	
120	Rayon, acetate	124,363	5,615	85,453	9,794	389	6,676	1.08 t
121	Synthetic fibers	78,424	5,075	53,727	6,309	351	4,265	
122	Medicaments	20,254	6,681	18,443	1,544	457	1,353	
123	Soap, Synthetic detergents and surface active agents	34,479	9,388	29,747	2,522	637	2,126	3.19 t
124	Cosmetics, toilet preparations and dentifrices	26,407	27,539	37,330	2,074	1,858	2,626	
125	Paints and varnishes	25,577	4,476	23,024	2,043	310	1,791	
126	Printing ink	23,427	2,968	22,207	1,830	205	1,708	
127	Photographic sensitive materials	44,650	5,128	37,268	3,441	351	2,828	
128	Agricultural chemicals	39,403	12,318	36,387	3,080	830	2,712	0.43 t
129	Gelatin and adhesives	28,713	4,129	24,655	2,170	285	1,837	
130	Miscellaneous final chemical products	33,412	5,478	25,012	2,528	374	1,851	
131	Petroleum Refinery product	15,927	6,808	17,276	1,126	461	1,201	6.23 kl
132	Coal products	1,540,789	1,148	1,427,649	138,229	80	128,055	
133	Paving materials	24,375	4,625	25,231	1,969	320	1,985	
134	Plastic products	23,040	5,033	21,332	1,682	346	1,536	
135	Tires and inner tubes	35,692	2,944	31,740	2,648	204	2,340	
136	Rubber and plastic footwear	23,877	21,775	23,756	1,844	1,461	1,614	
137	Miscellaneous rubber products	28,230	4,740	25,368	2,104	326	1,863	
138	Leather footwear	13,940	21,572	24,881	987	1,448	1,683	
139	Leather and fur skins	27,268	5,481	20,309	1,927	380	1,428	
140	Baggage, handbags, small leather cases and miscellaneous leather	16,408	15,706	17,777	1,177	1,059	1,208	
141	Sheet glass and safety glass	45,270	3,614	38,744	3,522	250	2,983	
142	Glass Fiber and glass Fiber products, n. e. e.	119,524	4,489	84,659	9,024	311	6,364	
143	Miscellaneous glass products	73,114	6,136	55,498	8,774	419	6,343	
144	Cement	385,208	11,790	280,959	77,429	821	54,926	98.78 t
145	Ready mixed concrete	116,387	7,191	85,273	18,409	497	12,848	54.65 m ³
146	Cement products	62,321	7,789	48,894	7,605	539	5,556	
147	Pottery, china and earthenware	82,782	5,457	63,551	6,042	373	4,613	
148	Clay refractories	73,501	5,952	52,506	7,183	412	4,962	
149	Miscellaneous structural clay products	92,513	8,830	65,246	7,862	584	5,412	
150	Carbon and graphite products	117,721	3,483	90,674	9,447	269	7,233	
151	Abrasive	46,648	7,225	39,832	4,946	501	3,958	
152	Miscellaneous ceramic, stone and clay products	75,492	4,961	54,145	34,118	341	22,569	
153	Pix iron	383,489	1,143	361,573	36,492	79	34,377	
154	Ferroalloys	228,028	1,997	103,092	19,056	138	8,587	
155	Crude steel(converters)	277,218	25	276,796	27,797	2	27,754	15.90 t
156	Crude steel(electric furnaces)	150,830	32	144,500	12,956	2	12,411	13.68 t
157	Hot rolled steel	227,144	3,082	189,432	21,362	214	17,739	10.17 t
158	Steel pipes and tubes	150,943	3,301	125,724	13,739	229	11,372	6.64 t
159	Cold finished steel	164,982	3,355	135,067	14,856	233	12,093	8.61 t
160	Coated steel	123,007	3,507	98,559	10,658	243	8,479	6.50 t
161	Cast and forged steel	119,198	1,660	111,870	10,091	115	9,445	1.75 t
162	Cast iron pipes and tubes	132,241	2,238	121,916	11,010	155	10,119	2.64 t
163	Cast and forged materials (iron)	171,905	1,876	157,481	14,865	130	13,585	9.20 t
164	Iron and steel shearing and slitting	114,631	1,877	107,030	10,290	130	9,569	
165	Miscellaneous iron or steel products	97,256	2,754	60,059	8,617	191	5,268	

Table6 Energy/ CO₂ intensity in 2011 (2)

No.	Industrial Sector	Energy (MJ/Million Yen)			CO ₂ (kg-CO ₂ /Million Yen)			Quantity of Material for Consumer Price of Million Yen
		Production Process (Producer Price)	Per Consumer price	Total	Production Process (Producer Price)	Per Consumer price	Total	
166	Copper	25,091	1,896	22,440	1,921	131	1,704	1.16 t
167	Lead and Zinc (inc. regenerated lead)	90,547	1,764	77,663	6,816	122	5,835	
168	Aluminum (inc. regenerated aluminum)	41,139	3,721	20,266	3,028	257	1,475	4.42 t
169	Miscellaneous non-ferrous metals	24,208	3,789	11,584	1,761	259	826	
170	Electric wires and cables	26,221	1,296	19,600	1,888	90	1,408	
171	Optical fiber cables	41,868	1,583	36,527	3,177	110	2,761	
172	Rolled and drawn copper and copper alloys	33,393	3,703	28,111	2,353	257	1,976	
173	Rolled and drawn aluminum	23,820	3,046	21,668	1,662	211	1,510	1.63 t
174	Non ferrous metal castings and forgings	29,653	2,497	27,822	2,354	173	2,184	
175	Nuclear fuels	12,905	5,870	16,676	954	404	1,203	
176	Miscellaneous non-ferrous metal products	20,925	3,799	16,845	1,460	263	1,173	
177	Metal products for construction	91,249	4,988	76,021	8,071	344	6,626	
178	Metal products for architecture	51,226	4,978	42,704	4,223	344	3,454	
179	Gas and oil appliances and heating and cooking apparatus	58,662	3,445	53,154	4,909	234	4,394	
180	Bolts, nuts, rivets and springs	75,742	5,324	55,733	6,533	369	4,717	
181	Metal containers, fabricated plate and sheet metal	56,225	2,825	50,128	4,765	195	4,204	
182	Plumber's supplies, powder metallurgy products and tools	43,293	5,577	32,574	3,525	383	2,581	
183	Miscellaneous metal products	49,656	4,121	41,486	4,046	283	3,272	
184	Boilers	30,843	2,160	27,755	2,557	150	2,272	
185	Turbines	46,706	1,691	39,537	3,933	117	3,304	
186	Engines	42,301	2,988	34,467	3,527	207	2,832	
187	Pumps and compressors	41,534	2,426	33,688	3,487	168	2,792	
188	Conveyors	34,857	1,761	31,265	2,881	122	2,560	
189	Refrigerators and air conditioning apparatus	29,528	1,725	26,206	2,340	119	2,059	
190	Bearings	68,160	1,589	59,450	5,911	110	5,127	
191	Miscellaneous general-purpose machinery	43,245	1,836	35,144	3,708	127	2,983	
192	Machinery for agricultural use	39,197	9,791	36,528	3,268	657	2,886	
193	Machinery and equipment for construction and mining	35,197	3,614	29,702	2,946	250	2,434	
194	Textile machinery	33,830	3,661	27,099	2,804	252	2,194	
195	Daily lives industry machinery	36,194	1,766	29,719	3,091	122	2,509	
196	Chemical machinery	28,911	1,768	23,166	2,381	122	1,885	
197	Casting equipment and plastic processing machinery	33,261	1,629	28,683	2,807	113	2,396	
198	Metal machine tools	34,720	1,641	31,539	2,902	114	2,613	
199	Metal processing machinery	33,820	1,592	30,864	2,818	110	2,549	
200	Machinists' precision tools	43,265	2,235	34,519	3,670	155	2,893	
201	Semiconductor making equipment	23,974	1,997	20,872	1,952	138	1,676	
202	Metal molds	44,505	1,706	39,348	3,784	118	3,319	
203	Vacuum equipment and vacuum component	51,206	1,946	44,636	4,401	135	3,804	
204	Robots	29,831	1,630	28,278	2,373	113	2,263	
205	Miscellaneous production machinery	38,292	1,902	30,958	3,209	132	2,567	
206	Copy machine	25,877	2,487	24,397	1,933	172	1,809	
207	Miscellaneous office machines	23,669	3,632	20,397	1,712	250	1,463	
208	Machinery for service industry	25,594	2,330	21,959	1,999	161	1,694	
209	Measuring instruments	20,757	6,698	20,033	1,588	452	1,472	
210	Medical instruments	22,393	4,284	14,651	1,666	297	1,068	
211	Optical instruments and lenses	29,460	9,629	26,300	2,580	647	2,107	
212	Ordnance	24,389	1,050	24,091	1,883	72	1,851	
213	Electron tubes	44,038	1,167	38,014	4,107	81	3,517	
214	Semiconductor device	31,095	1,181	23,589	2,191	82	1,661	
215	Integrated circuits	34,361	1,108	22,930	2,414	77	1,610	
216	Liquid crystal panel	33,378	1,253	27,965	2,400	87	2,007	
217	Magnetic tapes and discs	29,768	5,164	20,969	2,209	353	1,526	
218	Electric circuit	34,589	1,029	31,738	2,467	71	2,262	
219	Miscellaneous electronic components	32,944	1,083	27,885	2,395	75	2,023	
220	Rotating electrical equipment	41,472	1,738	32,034	3,328	120	2,551	
221	Transformers and reactors	32,077	1,375	27,058	2,711	95	2,266	
222	Relay switches and switchboards	29,168	1,356	25,407	2,339	94	2,022	
223	Wiring devices and supplies	21,153	2,075	16,371	1,633	142	1,246	
224	Electrical equipment for internal combustion engines	30,790	1,913	28,436	2,541	133	2,322	
225	Miscellaneous electrical devices and parts	25,589	1,586	19,077	1,992	110	1,471	
226	Household air-conditioners	27,726	11,102	27,201	2,120	748	1,979	
227	Household electric appliances (except air-conditioners)	26,259	16,785	28,341	2,099	1,128	2,051	
228	Applied electronic equipment	18,610	2,235	14,727	1,397	155	1,092	
229	Electric measuring instruments	17,892	1,553	13,403	1,373	107	1,017	
230	Electric bulbs	30,640	12,130	30,451	2,404	814	2,251	
231	Electric lighting fixtures and apparatus	25,390	4,642	22,306	1,951	316	1,673	
232	Batteries	34,814	6,337	29,212	2,658	430	2,177	
233	Miscellaneous electrical devices and parts	24,276	1,638	18,386	1,810	112	1,361	
234	Video equipment and digital camera	21,722	6,112	18,480	1,727	414	1,397	
235	Electric audio equipment	20,187	10,175	19,522	1,544	686	1,401	
236	Radio and television sets	23,014	11,241	20,184	1,747	757	1,436	
237	Wired communication equipment	21,655	7,888	15,821	1,633	533	1,132	
238	Cellular phones	19,370	4,636	12,872	1,413	314	915	
239	Radio communication equipment (except cellular phones)	20,669	2,642	18,789	1,519	180	1,367	
240	Miscellaneous communication equipment	19,140	1,696	17,884	1,431	117	1,327	
241	Personal Computers	18,061	6,729	14,109	1,339	454	1,001	
242	Electronic computing equipment (except personal computers)	17,248	2,280	6,837	1,254	158	489	
243	Electronic computing equipment (accessory equipment)	19,963	2,005	13,386	1,487	137	985	
244	Passenger motor cars	36,798	6,220	34,599	2,921	418	2,670	
245	Trucks, buses and miscellaneous cars	43,012	3,185	41,061	3,436	215	3,240	
246	Two-Wheelmotor vehicles	30,765	3,385	25,927	2,359	228	1,957	
247	Internal combustion engines for motor vehicles	42,511	1,008	39,805	3,286	70	3,069	
248	Motor vehicle parts and accessories	36,395	860	34,670	2,872	60	2,728	
249	Steel ships	67,119	1,180	61,640	5,847	82	5,349	
250	Miscellaneous Ships (except steel ships)	29,723	3,060	21,626	2,322	209	1,659	
251	Internal combustion engines for vessels	53,226	1,013	50,772	4,107	70	3,909	
252	Repair of ships	38,482	0	35,636	3,255	0	3,014	
253	Rolling stock	43,275	1,984	39,253	3,710	137	3,332	
254	Repair of rolling stock	45,249	0	45,249	3,793	0	3,793	
255	Aircrafts	22,385	1,760	13,864	1,563	122	967	
256	Repair of aircrafts	9,347	0	8,497	651	0	592	
257	Bicycles	41,895	8,282	30,654	2,763	554	2,030	
258	Miscellaneous transport equipment	45,973	2,536	40,755	3,718	176	3,267	
259	Toys and games	19,686	11,335	16,770	1,432	768	1,163	
260	Sporting and athletic goods	29,187	36,584	44,512	2,230	2,459	3,065	
261	Jewelry and adornments	20,702	49,586	52,246	1,572	3,317	3,519	
262	Watches and clocks	24,064	13,099	20,545	1,748	878	1,419	
263	Musical instruments	20,200	14,270	23,006	1,499	967	1,616	
264	Stationery	23,375	8,086	19,817	1,839	552	1,476	
265	Tatami (straw matting) and straw products	11,785	12,511	18,359	829	857	1,269	
266	Audio and video records, other information recording media	24,963	8,493	28,515	1,755	584	1,992	
267	Miscellaneous manufacturing products	23,527	23,429	33,471	1,812	1,582	2,355	
268	Reuse and recycling	39,309	0	39,309	2,699	0	2,699	
269	Residential construction (wooden)	19,211	0	19,211	1,628	0	1,628	
270	Residential construction (non-wooden)	32,711	0	32,711	2,920	0	2,920	
271	Non residential construction (wooden)	19,874	0	19,874	2,022	0	2,022	
272	Non residential construction (non-wooden)	27,488	0	27,488	2,562	0	2,562	
273	Repair of constructions	27,546	0	27,546	2,425	0	2,425	
274	Public construction for roads	31,665	0	31,665	3,068	0	3,068	
275	Public construction of rivers, drainages and miscellaneous public	28,685	0	28,685	2,705	0	2,705	
276	Agricultural public construction	36,945	0	36,945	3,624	0	3,624	
277	Railway construction	33,257	0	33,257	3,079	0	3,079	
278	Electric power facilities construction	21,449	0	21,449	1,932	0	1,932	
279	Telecommunication facilities construction	18,256	0	18,256	1,432	0	1,432	
280	Miscellaneous civil engineering and construction	32,754	0	32,754	3,144	0	3,144	
281	Electricity	469,252	0	469,226	31,956	0	31,954	66.4 MWh
282	Self power generation	699,701	0	699,701	55,505	0	55,505	102.7 MWh
283	Gas supply	461,750	0	461,730	23,468	0	23,467	9,492 m ³
284	Steam and hot water supply	197,891	0	197,891	12,755	0	12,755	147.64 GJ
285	Water supply	15,190	0	15,185	1,148	0	1,147	
286	Industrial water supply	21,915	0	21,915	1,526	0	1,526	
287	Sewage disposal	83,931	0	83,922	6,044	0	6,043	
288	Waste disposal services (public)	53,690	0	53,690	3,732	0	3,732	
289	Waste disposal service (industrial)	29,519	0	29,517	2,034	0	2,033	
290	Wholesale trade	11,827	0	11,620	820	0	806	
291	Retail trade	30,129	0	30,129	2,009	0	2,009	
292	Financial service	7,510	0	7,380	528	0	519	
293	Life insurance	8,332	0	8,330	577	0	577	
294	Non life insurance	9,448	0	7,477	658	0	521	
295	Real estate agencies and managers	12,088	0	12,088	832	0	832	
296	Real estate rental service	20,085	0	20,085	1,363	0	1,363	
297	House rent	7,416	0	7,415	530	0	530	
298	House rent (imputed house rent)	2,277	0	2,277	192	0	192	
299	Railway transport (passengers)	23,166	0	23,017	1,649	0	1,638	
300	Railway transport (freight)	41,628	0	41,628	2,967	0	2,967	
301	Bus transport service	41,977	0	41,315	2,882	0	2,837	
302	Hired car and taxi transport	57,234	0	55,741	3,440	0	3,350	
303	Road freight transport (except self-transport)	35,249	0	35,226	2,424	0	2,422	
304	Self-transport (passengers)	106,816	0	106,816	7,268	0	7,268	
305	Self-transport (freight)	139,549	0	139,549	9,592	0	9,592	
306	International shipping	104,886	0	72,598	7,481	0	5,178	
307	Coastal and inland water transport	109,377	0	95,291	7,706	0	6,714	
308	Harbor transport service	16,23						

Table7 Energy CO₂ intensity in 2011 (3)

No.	Industrial Sector	Energy (MJ/Million Yen)			CO ₂ (kg-CO ₂ /Million Yen)			Quantity of Material for Consumer Price of Million Yen
		Production Process (Producer Price)	Per Consumer price	Total	Production Process (Producer Price)	Per Consumer price	Total	
312	Packing service	19,261	0	19,261	1,483	0	1,483	
313	Facility service for road transport	12,911	0	12,910	907	0	907	
314	Port and water traffic control	9,413	0	8,192	690	0	600	
315	Services relating to water transport	6,871	0	4,921	480	0	344	
316	Airport and air traffic control (public)	14,819	0	14,819	1,046	0	1,046	
317	Airport and air traffic control (industrial)	31,552	0	25,064	2,143	0	1,703	
318	Services relating to air transport	12,882	0	11,904	889	0	822	
319	Travel agency and miscellaneous services relating to transport	8,999	0	7,869	623	0	545	
320	Postal services and mail delivery	11,539	0	11,377	787	0	776	
321	Fixed telecommunications	15,917	0	15,807	1,098	0	1,091	
322	Mobile communication	11,964	0	11,955	826	0	826	
323	Miscellaneous telecommunications	14,755	0	14,450	1,003	0	983	
324	Miscellaneous services relating to communication	12,043	0	12,043	844	0	844	
325	Public broadcasting	12,378	0	12,378	852	0	852	
326	Private broadcasting	12,770	0	12,770	886	0	886	
327	Cable broadcasting	12,533	0	12,533	903	0	903	
328	Information services	9,033	753	9,279	644	51	659	
329	Internet based services	14,506	0	14,480	1,004	0	1,002	
330	Video picture, sound information, character information production	14,254	4,388	16,000	1,007	295	1,115	
331	Newspaper	36,890	16,328	40,326	3,004	1,092	3,046	
332	Publication	27,815	11,341	30,563	2,220	762	2,296	
333	Public administration (Central)	20,245	0	20,245	1,401	0	1,401	
334	Public administration (local)	14,414	0	14,414	990	0	990	
335	School education (public)	14,026	0	14,026	970	0	970	
336	School education (private)	11,638	0	11,638	830	0	830	
337	Social education (public)	32,819	0	32,819	2,277	0	2,277	
338	Social education (private, non profit)	44,997	0	44,997	3,104	0	3,104	
339	Miscellaneous educational and training institutions (public) **	62,476	0	62,476	4,375	0	4,375	
340	Miscellaneous educational and training institutions (profit-making)	22,363	0	20,729	1,562	0	1,448	
341	Research institute for natural sciences (public)	33,745	0	33,745	2,142	0	2,142	
342	Research institutes for cultural and social science (public)	41,188	0	41,188	2,794	0	2,794	
343	Research institute for natural sciences (private, non profit)	26,268	0	26,268	1,801	0	1,801	
344	Research institute for cultural and social science (private, non-profit)	18,930	0	18,930	1,270	0	1,270	
345	Research institute for natural sciences (profit-making)	69,514	0	64,774	4,695	0	4,375	
346	Research institutes for cultural and social science (profit making)	18,064	0	16,956	1,155	0	1,084	
347	Research and development (intra-enterprise)	12,845	0	12,845	938	0	938	
348	Medical service (hospitalization)	12,835	0	12,834	887	0	886	
349	Medical service (except hospitalization)	12,446	0	12,445	862	0	862	
350	Medical service (dentistry)	11,331	0	11,330	774	0	774	
351	Medical service (pharmacy dispensing)	13,772	0	13,771	1,009	0	1,009	
352	Medical service (miscellaneous medical service)	14,624	0	14,622	1,008	0	1,008	
353	Health and hygiene (public)	19,847	0	19,847	1,392	0	1,392	
354	Health and hygiene (profit making)	10,686	0	10,686	759	0	759	
355	Social insurance	24,808	0	24,808	1,647	0	1,647	
356	Social welfare (public)	17,477	0	17,477	1,182	0	1,182	
357	Social welfare (private, non-profit)	17,400	0	17,400	1,179	0	1,179	
358	Social welfare (profit-making)	13,410	0	13,410	937	0	937	
359	Nursing care (facility services)	14,524	0	14,524	963	0	963	
360	Nursing care (except facility services)	15,424	0	15,424	1,029	0	1,029	
361	Private non-profit institutions serving enterprises	15,954	0	15,217	1,133	0	1,081	
362	Private non-profit institutions serving households, n.e.c. *	11,746	0	11,744	832	0	831	
363	Goods rental and leasing (except car renting)	8,771	0	8,730	624	0	621	
364	Car rental and leasing	12,930	0	12,929	892	0	892	
365	Advertising services	16,333	0	15,730	1,182	0	1,138	
366	Repair of motor vehicles	20,356	0	20,355	1,543	0	1,543	
367	Repair of machine	21,267	0	21,267	1,577	0	1,577	
368	Judicial, financial and accounting services	8,694	0	8,322	600	0	574	
369	Civil engineering and construction services	17,149	0	16,230	1,230	0	1,164	
370	Worker dispatching services	1,709	0	1,709	119	0	119	
371	Building maintenance services	9,358	0	9,358	656	0	656	
372	Guard services	7,303	0	7,303	503	0	503	
373	Miscellaneous business services	9,998	0	9,508	657	0	625	
374	Hotels	34,856	0	31,341	2,256	0	2,029	
375	Eating and drinking services	27,968	0	27,541	1,838	0	1,810	
376	Cleaning	30,450	0	30,419	2,076	0	2,074	
377	Barber shops	22,006	0	21,995	1,430	0	1,429	
378	Beauty shops	16,828	0	16,821	1,124	0	1,123	
379	Public baths	82,294	0	82,294	5,354	0	5,354	
380	Miscellaneous cleaning, barber shops, beauty shops and public baths	22,587	0	22,585	1,533	0	1,533	
381	Movie theaters	43,386	0	36,072	2,900	0	2,411	
382	Performances (except movie theaters), theatrical companies	12,838	0	12,124	886	0	836	
383	Stadiums and companies of bicycle, horse, motorcar and motorboat races	17,951	0	17,762	1,242	0	1,229	
384	Sport facility service, public gardens and amusement parks	21,464	0	21,303	1,488	0	1,477	
385	Amusement and recreation facilities	32,560	0	32,171	2,259	0	2,232	
386	Miscellaneous amusement and recreation services	25,032	0	24,789	1,701	0	1,684	
387	Photographic studios	14,211	71	14,095	990	5	982	
388	Ceremonial occasions	38,184	0	38,102	2,552	0	2,547	
389	Supplementary tutorial schools, instruction services for arts, culture and technical skills	14,873	0	14,863	1,018	0	1,017	
390	Miscellaneous repairs, n.e.c.	19,098	0	19,080	1,337	0	1,336	
391	Miscellaneous personal services	12,714	0	12,711	878	0	878	
392	Office supplies	39,988	0	39,988	3,323	0	3,323	
393	Activities not elsewhere classified	31,003	1,502	30,679	2,278	104	2,247	

年度値の 75%と前年度値の 25%を合計したものを暦年値とした。
また、計算前提となる産業連関表物量表の国内で消費されるエネルギー起源の物質から求めたエネルギー量、CO₂排出量と上記の計算値は、それぞれ 0.5%、0.6%の誤差で概ね一致している。

4.2 建築・土木関連産業部門における CO₂ 排出量

Table4 に 2011 年の建築関連部門等の CO₂ 排出量とその比率を示す。建築部門は、日本全体の 4.4%、土木部門は 8.0%、建設補修は 1.9%で、建設部門の合計 (EG) は、14.2%であった。運用時のエネルギーも含めた建設関連の割合は、48.0%となっている。

4.3 EG の内訳とその推移

1995 年からの産業連関分析の結果から、建設に伴う EG の推移を見ると、Fig.2 のようになる。建設における EG は、建築、土木、建設補修の合計である。建築や土木の EG は、年々低下しているが、

建設補修は、やや増加傾向にある。建築の EG は、1995 年では、7.5%で、2011 年には、4.4%であった。この要因については、4.5 節で述べる。また、これらの合計である建設全般の EG は、1995 年には 20.2%であったが、2011 年には 14.3%となり、建築と同様に年々低下している。

Fig.2 Change of EG

4.4 建築・土木関連産業部門における CO₂ 排出量推移

Fig.3 に国内および建設関連の CO₂ 排出量の推移を示す。建築部門や建設部門全体の CO₂ 排出量(EG)は、4.3 節で述べたとおり低下傾向にある。一方、運用も含めた建設関連の CO₂ 排出量は、2005 年までは増加しているが、2011 年に大きく低下した。同様に日本全体の CO₂ 排出量も 2011 年に低下した。これは、2011 年の東日本大震災後の電力のひっ迫による節電などによって低下したものと考えられる。つまり、それまでは建設関連の運用エネルギーは、増加傾向にあり、省エネルギーが求められていた社会情勢においても、実際の効果はほとんどなかったといえる。

Fig.3 Change of CO₂ Emission

4.5 建築の環境効率

環境効率指標として面積当たりの CO₂ 排出量を求めた。各年代の環境効率と施工面積を Fig.4,5 に示す。面積当たりの CO₂ 排出量は、木造住宅を除いて増加傾向にある。特に非木造住宅の増加は著しい。一方、施工面積は年々低下している。このことから、Fig.2 で示し

Fig.4 Environmental efficiency of building sectors

Fig.5 Annual supply floor area

Table8 CO₂ emission of materials and energy (2011)

Name	Year		
	2000	2011	unit
Hot rolled steel	785	1,744	kg-CO ₂ /t
Cement	684	556	kg-CO ₂ /t
Ready mixed concrete	248	235	kg-CO ₂ /m ³
Electricity	0.351	0.481	kg-CO ₂ /kWh
Self power generation	0.456	0.540	kg-CO ₂ /kWh
Gas supply	2.093	2.472	kg-CO ₂ /m ³
Steam and hot water supply	81	86	kg-CO ₂ /GJ

Table9 An industrial sector of the dominance put into construction sectors

Residential construction (wooden)			Non residential construction (non-wooden)		
No	Sector	Ratio	No	Sector	Ratio
281	Electricity	23%	132	Coal products	32%
132	Coal products	19%	281	Electricity	13%
144	Cement	13%	144	Cement	13%
282	Self power generation	7%	152	Miscellaneous ceramic, stone and clay products	7%
304	Self-transport (passengers)	5%	304	Self-transport (passengers)	5%
305	Self-transport (freight)	5%	282	Self power generation	5%
152	Miscellaneous ceramic, stone and clay products	4%	305	Self-transport (freight)	3%
303	Road freight transport (except self-transport)	3%	153	Pig iron	3%
283	Gas supply	3%	283	Gas supply	2%
153	Pig iron	2%	155	Crude steel(converters)	2%

た建築の EG が低下傾向にあるのは、材料・機器の製造時や建物建設時の環境効率が向上したのではなく、単に施工面積が低下したことが要因として大きいことがわかる。

4.6 主な資材、エネルギー源の環境負荷

そこで、主な資材、エネルギー源の 2000 年と 2011 年の CO₂ 排出原単位を算出した (Table8)。鉄筋・鉄骨に使用する熱間圧延鋼材は、単位重量当たりの CO₂ 排出量(波及効果を含む)が大きく増加し、逆にセメントは 20%程度低下している。コンクリートはセメントの影響でやはり低下している。一方、電力やガスなどエネルギー源は増加している。熱間圧延鋼材の CO₂ 排出量が増加した要因としては、転炉鋼の生産比率が電炉鋼と比べて大きくなったこと、転炉鋼の CO₂ 排出量が大きくなったことがあげられる。これらの要因により、建築の面積当たりの CO₂ 排出量が増加していたと考えられる。

建築関連の CO₂ 排出量を削減するには、この面積当たりの CO₂ 排出量を低下させるような対策をとることが今後必要になる。そこで、木造住宅と非住宅非木造の CO₂ 排出量に占める上位の産業部門を Table9 に示す。これを見るとどちらの種類の建物も、セメント、鉄鋼、輸送、電力・都市ガスなどが大きな割合を占めていることがわかる。このことから、建築部門の建設時 CO₂ 排出量(EG)の削減には、低環境負荷セメント、鉄鋼のリサイクル(電炉鋼の利用)、輸送の短距離化などが重要であることがわかる。

5. 結論

本論では、IEA EBC Annex57 で研究された Embodied Energy / Greenhouse gas Emissions (EEG) について述べ、そのデータベ

ースとして、2011 年の産業連関表の分析を行い、エネルギー消費量、CO₂ 排出量データベースを作成した。これをもとに、日本の建設における EG の評価を行い、以下の結論を得た。

- 1) 2011 年における日本の建設に伴う CO₂ 排出量 (EG) は、日本全体の 14.3% となり、1995 年の 20.3% から年々低下してきた。
- 2) 建築の EG は、2011 年では、4.4% で、1995 年の 7.5% から年々低下している。この要因としては、施工面積の低下が主な原因で、建築や資材の環境効率が向上したわけではないことが示された。
- 3) 環境効率指標の一つとして、施工面積当たりの CO₂ 排出量を求めたが、木造住宅を除いて、年々増大する傾向にあった。
- 4) セメントの CO₂ 排出量は、2000 年から低下したが、鉄鋼や電力、ガスなどのエネルギー源の CO₂ 排出量は増加した。
- 5) 運用時のエネルギーを含めた建設関連全体の CO₂ 排出量は、2011 年に日本全体の 48.3% であった。1995 年から 2005 年までは増加しており、2011 年で低下した。これは、2011 年の震災後の節電によるものが大きいと考えられる。2011 年以前から省エネルギーは求められていたが、実質の効果はなかったことがわかる。
- 6) 今後、運用時のエネルギー消費は、ZEB や ZEH の普及により低下していくので、建築のライフサイクルにおける CO₂ 排出量に占める EG の比率が相対的に大きくなる。EG の低下を図るためには、セメントや鉄鋼などの原料や製造方法の見直し、資材の輸送方法の検討などの対策をとることが必要である。

EG の低い建築物を建設していくためには、多くの建物について評価していくとともに、冷媒や断熱材に含まれるフルオロカーボンなどの温室効果ガスの評価も行っていくことが求められる。その上で、材料や工法の選択が効果的にいけるような設計マニュアルなどの整備を行っていききたい。

参考文献

- 1) Yokoyama, K. et al.: Energy / Carbon intensities based on 1995 input/output table, Application of input/output analysis to buildings (Part8), Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No. 531, pp. 75-80, 2000. 5 (in Japanese)
横山謙司, 他: 1995 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 8), 日本建築学会計画系論文集, 第 531 号, pp. 75-80, 2000. 5
- 2) Yokoyama, K. et al.: Energy/CO₂ intensities based on 2000 input/output table and evaluation of building, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No. 589, pp. 75-82, 2005. 3 (in Japanese)
横山計三, 他: 2000 年産業連関表によるエネルギー消費量・二酸化炭素排出量原 単位の産出と建物評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 589 号, pp. 75-82, 2005. 3
- 3) Ashimura, S. et al.: CO₂ intensities due to construction in various industrial sectors based on 2005 input/output table and evaluation of distribution margins, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 75, No. 653, pp. 653-659, 2010. 7 (in Japanese)
芦村昌士, 他: 2005 年産業連関表による建設に伴う CO₂ 排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 75 巻, 第 653 号, pp. 653-659, 2010. 7
- 4) IEA EBC Annex57, <http://www.annex57.org/> (accessed 2018. 7. 7)
- 5) Birgisdottir, H. et. al.: IEA EBC annex 57 'evaluation of embodied energy and CO₂eq for building construction', Energy and Buildings, No. 154, pp. 72-80, 2017
- 6) Ministry of internal affairs and communications, Statistics Bureau, <http://www.stat.go.jp/english/data/index.html> (accessed 2018. 7. 7)
総務省統計局: 平成 23 年産業連関表, http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/ (accessed 2018. 7. 7)
- 7) Ministry of Environment, reporting and publication system of greenhouse gas emissions, <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc> (in Japanese) (accessed 2018. 7. 7)
環境省, 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度ホームページ, <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc> (accessed 2018. 7. 7)
- 8) Miyazawa, K, "Sangyou renkannbunseki nyuumon (Input - output analysis guide) ", Nikkei Inc., 1975. 4 (in Japanese)
宮沢健一: 産業連関分析入門, 日本経済新聞社, 1975. 4
- 9) Ministry of internal affairs and communications, 2011 Input-Output Tables Explanatory Report, 2015. 6
総務省: 平成 23 年(2011 年)産業連関表 総合解説編, 2015. 6
- 10) Ministry of internal affairs and communications, Statistics Bureau, Japan statistical yearbook 2013, 2014, <http://www.stat.go.jp/data/guide/download/index.html> (accessed 2018.6. 24)
総務省: 日本統計年鑑 平成 25 年, 平成 26 年版, 総務省ホームページ, <http://www.stat.go.jp/data/guide/download/index.html> (accessed 2018.6. 24)
- 11) Ministry of Environment, Statistics of environment 2017, <http://www.env.go.jp/doc/toukei/tokeisyu.html> (in Japanese) (accessed 2018. 6. 24)
環境省: 環境統計集(平成 29 年版), <http://www.env.go.jp/doc/toukei/tokeisyu.html> (accessed 2018. 6. 24)

ENERGY / CO₂ INTENSITIES BASED ON 2011 INPUT - OUTPUT TABLE AND EVALUATION OF EMBODIED IMPACTS OF BUILDINGS

Keizo YOKOYAMA ^{*1}

^{*1} Prof., School of Architecture, Kogakuin University, Ph.D.

Over the past few years, reducing energy use and reducing the environmental impact of buildings have become major issues. As the push for zero-energy buildings (ZEBs) has progressed, energy consumption during building use has decreased. The environmental impact during building construction and maintenance accounts for a large portion of the environmental load during a building's entire lifecycle. Therefore, energy consumption and CO₂ emission during the manufacturing of building components and the construction of a building have become issues.

Energy consumption and CO₂ emissions are collectively known as the embodied impact. Energy consumption is referred to as embodied energy (EE) and CO₂ emissions are referred to as embodied greenhouse gas emissions (EG). The current study calculated energy intensity and CO₂ emission intensity based on the 2011 Input-Output (I-O) Tables for Japan, and it compiled those values into an intensity database. This database included 393 industrial sectors, and intensity was indicated per producer price and consumer price in units of one million yen (Tables 5-7).

This study analyzed the EG of the Japanese building and construction sectors, and the following findings were obtained:

- 1) Research on EE and EG (EEG) has been conducted by the IEA EBC Annex 57 project. Those results have been published as reports and guidelines.
- 2) EG by the construction sector accounted for 14.2% of total CO₂ emissions in Japan. EG decreased every year from 20.3% in 1995.
- 3) EG by the building sector accounted for 4.4% of total CO₂ emissions in Japan, EG decreased every year from 7.5% in 1995. The main cause of the decrease was a decrease in building area, and the environment efficiency of buildings and materials has not improved.
- 4) CO₂ emissions by buildings were determined by floor area (kg-CO₂/m²) as an index of environmental efficiency. This index increased starting in 1995, except for the wooden residential construction sector.
- 5) CO₂ emissions from cement production decreased after 2000. However, CO₂ emissions by energy sources in sectors such as steel manufacturing, power supply, and gas supply increased.
- 6) CO₂ emissions by the construction sectors (including EG and practical energy use) accounted for 48.3% of total CO₂ emissions in Japan. CO₂ emissions increased from 1995 to 2005 but decreased in 2011. This decrease was presumably caused energy conservation after the Great Eastern Japan Earthquake in March 2011. In other words, energy consumption during building use tended to increase. There were pushes for reduced energy consumption prior to 2011, but they had no substantive effect.
- 7) Energy consumption during use has decreased as more ZEBs and zero-energy homes (ZEHs) have been built, but EG by construction will proportionally increase in the future. Measures must be taken to reduce EG, such as reviewing the processes for the manufacturing of cement and steel and examining methods of transporting resources.

(2018年8月5日原稿受理, 2018年11月15日採用決定)