

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420605

研究課題名(和文) 建築物への投入資源量と建設エネルギーの各国比較とその要因分析に関する研究

研究課題名(英文) International comparison about resource consumption to buildings and energy consumption associated with building construction

研究代表者

横尾 昇剛 (Yokoo, Noriyoshi)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・教授

研究者番号：40272223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：建築物への投入資源量について各国比較を行うとともに、建築物の建設に起因するエネルギー消費量、CO2排出量のデータに基づき分析を行い、建設エネルギー消費量、建設CO2排出量の評価値の傾向を明らかにした。

オフィスビル、戸建住宅を対象に建設エネルギー消費量、建設CO2排出量の詳細評価と簡易評価を行い、簡易評価を行う場合の誤差の程度を明らかにした。主要な建築部材に関するエネルギー消費原単位、CO2排出原単位について整備し、コスト、物量を用いて詳細または簡易に評価を行うことを支援するための基礎的情報を整備した。設計段階より、環境負荷の少なく経済効果の高い建築物のつくり方を検討することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：Conduction international comparison about resource consumption to buildings, and it also analyzes energy consumption and CO2 emissions associated with building construction. It is clarified that evaluated value of embodied energy and embodied CO2 of buildings.

Some office buildings and houses were assessed to obtained embodied energy and embodied CO2 associated with building construction, and detailed analysis and simple analysis were conducted considering building process boundary and building component boundary. It is also conducted that the evaluate buildings. It is clarified the degree of the error between detailed and simple analysis. Energy intensities and CO2 intensities data of main building materials and components were prepared and these data will support to consider how to create buildings with low environmental impact and high economic effect from design stage.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：Embodied energy Embodied CO2 ライフサイクル評価

1. 研究開始当初の背景

建築物の建設に起因する CO2 排出量は日本全体の CO2 排出量の約 8%であり、現時点での割合は小さいものの、将来的には、運用時の対策の結果、建設時の負荷は大きな割合を占めることになることが予想され、その対策への準備は重要である。しかしながら、建築物の建設に起因するエネルギー消費量、CO2 排出量に関するデータは、産業部門ベースでの原単位は整備されつつあるものの、リサイクル材、エコマテリアル等の建築材料、建築部材を詳細な種類ごとに比較し、建物への適用を判断するには、十分なデータが整備されているとは言えない。

世界各国においても建築物の Embodied energy, Embodied CO2 に関しては、非常に多くの研究が行われているが、それぞれ境界条件や分析方法が異なっているのが現状であり、こうした各国の動向も踏まえて、国内の Embodied energy, Embodied CO2 の計算方法や各種原単位データ整備も必要である。

2. 研究の目的

本研究では、建築物の環境負荷をエネルギーと CO2 排出量とし、Embodied energy, Embodied CO2 を部材料の採掘、製造、輸送に関わる建設に起因するエネルギー消費量、CO2 排出量として検討する。本研究の最終的な成果としては、設計時の材料、部材選定の際の意思決定に利用可能な Embodied energy, Embodied CO2 原単位の整備を目指すものである。

本研究では、建築物の建設時のエネルギー消費量原単位、CO2 排出量原単位について、評価事例及び評価方法をレビューし、各方法論の特性を明らかにし、国内における Embodied energy, Embodied CO2 評価のあり方について整理する。また必要な原単位について産業連関表による原単位をベースに、主要な建築部材について詳細な評価が簡易に可能な原単位を整備する。建設時の環境負荷低減対策を支援するための基礎的資料を提供することを目的とする。

建設行為は、資源消費、エネルギー消費、そして CO2 排出を伴うため、そうした負の側面に焦点が当てられているが、CO2 削減効果と経済効果を同時に評価する指標があれば、こうした指標に基づき環境負荷の少なく経済効果の高い建築物のつくり方を検討することが可能となり、建設分野のグリーン産業化への転換を支援することにつながると考えられる。

建築物の Embodied energy, Embodied CO2, 資源消費量に着目した研究事例は少ない。また本研究で得られる結果としての各種原単位は、価格あたりのエネルギー消費量、CO2 排出量とすることで環境と経済の両面を同時に評価可能となり、省 CO2 対策、省エネルギー化の施策別の環境負荷低減効果と経済効果を判断することを支援する。

3. 研究の方法

(1) 各国の評価事例調査

Embodied energy, Embodied CO2 に関する研究や評価事例は、近年増加傾向にあり、比較的先進的な取り組みが行なわれている欧米の研究事例、評価事例を調査し、本研究課題の動向を把握した。研究事例としては約 100 編の論文、評価事例としては 50 件の評価建物事例について整理した。

(2) 投入資源量の分析

各種建物用途、建物規模、構造種別ごとに、主要材料の投入量について各種統計データおよびヒアリング調査に基づく建物データを分析することで、延べ床面積あたりの投入材料の原単位データを整理する。

(3) 建設エネルギー消費量、CO2 排出量原単位整理

主要建設部材料のエネルギー消費量、CO2 排出原単位について、既存の積み上げ法原単位データベースと産業連関表により求めた原単位を比較分析するとともに、実際の建物情報を用いて評価を行うことを念頭に、主要な部材について金額あたり、重量あたり、容積あたりの原単位として整備し、様々な設計段階で比較的容易に評価が可能なものとした。

これらの原単位を用いた分析対象としては、建築物、住宅を主とするが住宅、建築に加え、都市建設を想定して道路、上下水道などのインフラも含めてエネルギー消費量、CO2 排出量を定量化した。都道府県ごと、都市規模ごとに分析することで、地域性や都市の特性を考慮した検討が可能となる。

(4) 住宅、建物評価実施

木造戸建住宅及びオフィスビルを対象に Embodied Energy, Embodied CO2 の評価を実施し、さらに詳細評価と簡易評価を行い、各評価間の誤差の範囲を明確にし、簡易評価を行う際の割増値を提示し、簡易評価を行うための基礎データを整備した。

(5) Embodied energy, Embodied CO2 簡易計算ツールの作成

本研究の結果得られた定量的データをウェブ上にデータベースとして構築し、様々な利用者が簡易に利用可能なツールとして整備する。データベースは、主要建築部材料の原単位、建築物の原単位を用意するとともに、評価事例をデフォルトとして提示することで、建築用途別、都市特性格別の省 CO2 施策別の環境性と経済効果を検討できるツールとして整備する。

4. 研究成果

(1) 各国の評価事例調査

アメリカ、イギリス、オーストリア、カナダ、スイス、デンマーク、スウェーデン、日本など 50 物件の Embodied energy, Embodied CO2 の評価事例を調査し、図 1～図 4 のようにまとめた。木造建物では、100～380kg-CO2/m²、非木造建物は 200～1000kg-CO2/m² 程度の評価値となっており、全体として木造建

築の Embodied energy, Embodied CO2 が小さい傾向にあることが把握できる。

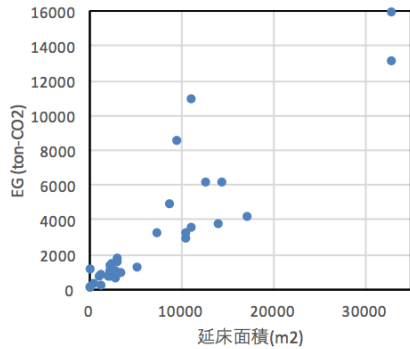


図1 Embodied CO2 の分布状況

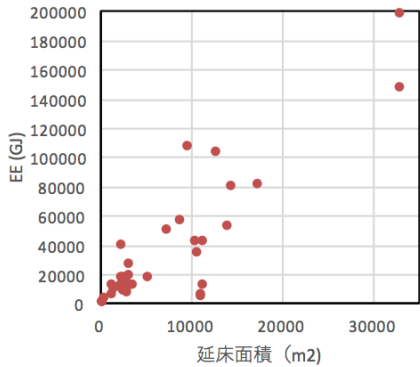


図2 Embodied energy の分布状況

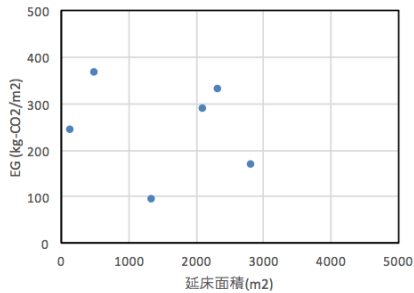


図3 木造建築の延床面積あたりの Embodied CO2

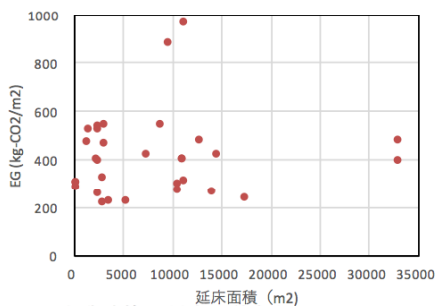


図4 木造建築の延床面積あたりの Embodied CO2

(2) 投入資源量の分析

建物に投入される資源量として、オーストラリア、カナダ、中国、デンマーク、日本、スウェーデン、アメリカのオフィスビルを対象に、使用されている建築部材として、コンクリート、鉄、ガラス、木材関係の使用量をまとめた(図5)。統計情報を得ることは難しく、個別の事例から得た部材量データとなっている。

材料使用量に関して引き続きデータを収集し、Embodied energy, CO2 との関係性について明らかにする必要がある。

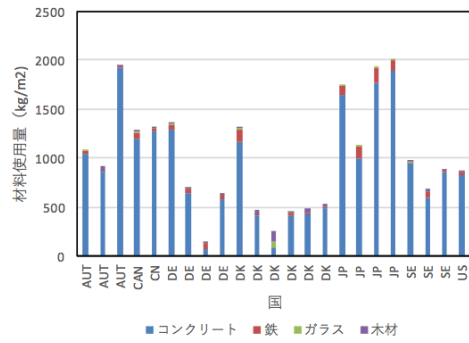


図5 各国建物の主要な材料使用量

(3) エネルギー原単位, CO2 原単位

Embodied energy, CO2 評価に必要な原単位データについて、産業連関表から求めた原単位と既存の積み上げ法の原単位データを用いて建物評価を行い、建物評価の際にどの程度の差が生じるかを確認し、差が小さな部材については、複数の原単位が活用可能であり、差が大きい部材については、今後の分析調査が必要な点を確認した。建物仕様別に評価が行いやすいように、部位別に、必要な原単位を整理してまとめた(表1)。また都市建設を想定して道路、上下水道などのインフラも含めて原単位データをまとめた(表2, 図7)。

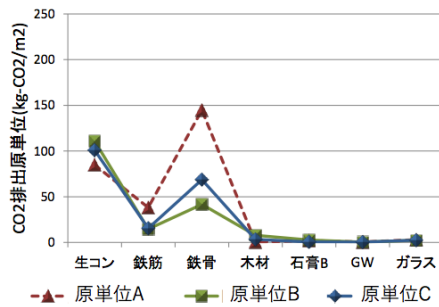


図6 各部材料ごとの原単位比較

表1 建物特性に応じた原単位 (S 適用抜粋)

資材・部材名	エネルギー MJ	CO2 kg-CO2	単位	備考
生コンクリート	965,007	199,266	m3	生コン(27/mm2)
鉄筋	11007,182	1060	t	SD295A-D19
鉄骨	14612,983	1406,867	t	H型鋼中幅・294*200*8*12
木材製品	1039,112	73,205	m3	型枠、12*910*1820
石膏ボード	27,293	2,104	m2	強化不燃、12.5mm厚
ガラスウール	58,500	3,952	m2	ALGC2号
ガラス	283,776	20,271	m2	熱線反射ガラス

表2 インフラ評価用原単位 (抜粋)

項目	幹線	建設エネルギー	
		(MJ/km)	(kg-CO2/km)
道路	26.5m	26m	1,018,711
		16m	999,490
	区画	8m	587,610
		6m	293,805
鉄道	共同溝	10,950,000	6,241,378
	直埋	15,586,013	1,499,747

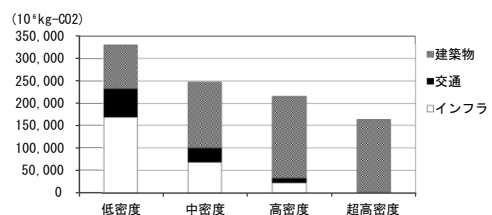


図7 都市の Embodied CO2 評価

(4) 住宅建物評価

①木造戸建住宅の評価

工事見積書より投入材料を一覧化し、産業連関表による原単位データを用いて、投入材料に関する Embodied energy/CO2 の分析を行った。また評価対象住宅において、詳細評価、部位別の評価、簡易評価をし、境界条件による評価結果の差異を比較した。

評価対象住宅の建設に伴うエネルギー消費量、CO2 排出量 (EEC) を示す。EC の結果は 257.6kg-CO2/m² となった。木工事、タイル・左官工事、外装工事などの EEC が大きい結果となっている。該当する部材の使用面積、使用量やエネルギー消費原単位、CO2 排出量原単位が大きいことに起因する。

見積書データより、工事項目ごとに投入材料の中で CO2 排出量の大きい上位 3 部材とコストが大きい上位 3 部材のみを選出し、簡易型の計算を行った。簡易計算の場合で 6 割ほどの CO2 排出量となった。

住宅の各部位の投入材料を評価した場合、外装や躯体が占める割合が大きい。CO2 排出量が大きい部材を 3 項目程度、もしくはコストが大きい部材を 3 項目程度評価した場合、詳細に評価した場合に比べ 6 割程度の CO2 排出量を評価となる。

表 3 評価対象住宅概要

部材	標準仕様	地域材活用仕様
規模	2階, 138m ²	2階, 138m ²
躯体	木造軸組	木造軸組
外装	屋根	化粧スレート
	壁	金属系サイディング
内装	床	複合フローリング
	天井	無垢フローリング
断熱材	天井・壁・床	フェノールフォーム
	サッシ	セルローズファイバー
開口部	ガラス	ベアガラス
		透明ガラス

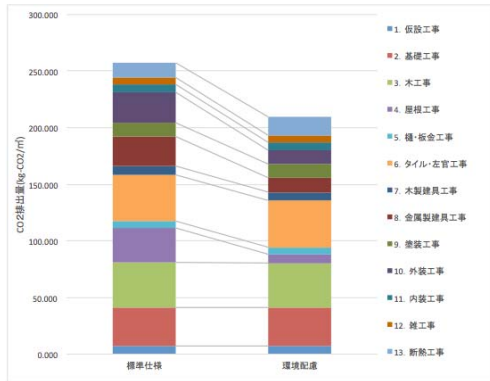


図 8 木造住宅の評価値の比較

表 4 詳細評価と簡易評価の比較

	詳細	簡易(CO2)	簡易(コスト)
1. 仮設工事	6.8	5.2	5.6
2. 基礎工事	34.4	26.3	27.9
3. 木工事	40.0	21.7	22.1
4. 屋根工事	30.1	30.1	30.1
5. 樑・板金工事	6.2	2.6	3.1
6. タイル・左官工事	41.0	29.5	30.9
7. 木製建具工事	7.7	4.0	4.0
8. 金属製建具工事	26.5	13.7	10.8
9. 塗装工事	11.9	10.9	10.9
10. 外装工事	26.7	17.3	18.3
11. 内装工事	6.8	6.5	6.5
12. 雑工事	6.4	2.8	3.6
13. 断熱工事	13.1	13.1	13.1
合計	257.6	183.5	186.7

②オフィスビルの評価

オフィスビルの評価として構造の異なる 3 つの日本のオフィスビルを選定し、評価を行った。対象建物名称を office A, office B, office C とする。建物を躯体、外皮、内装、設備の 4 つの部位に分け、建物の Embodied energy/CO2 評価を行う際にどの部位を評価範囲としているかにより、4 つの建物評価境界条件を設定した。部位の分類の詳細と 4 つの建物評価の境界条件の詳細を示す。詳細評価は、各 4 つの部位に含まれるすべての部材等を評価対象とするものとする。対して準詳細評価は、ある一部位の項目全てと他の部位の一部の項目を評価、もしくは各部位の一部の項目を評価するものとする。躯体評価は構造躯体に含まれる項目すべてを評価するものとする。簡易評価は一般的な簡易評価で用いられる数項目の評価とする。

office A では詳細評価、躯体評価を行った結果、準詳細評価では詳細評価で得られた値のおよそ 75% の評価、躯体評価ではおよそ 41% の評価であった。office B では準詳細評価では詳細評価の約 90%、躯体評価では 70% となった。office C では準詳細評価では詳細評価の 68%、躯体評価で 56% の評価であった。評価の簡易化の際はこの点に注意する必要があると考えられる。

表 5 評価対象建物概要

建物名	概要		
	office A	office B	office C
構造	S造	S・SRC造	RC造一部S造
階数	地上6階	地上15階 地下2階	地上3階
延べ床面積	8,000m ²	64,000m ²	1,100m ²

表 6 評価対象部位数

建物部位	詳細部位	評価部材数(個)								
		office A			office B			office C		
		詳細	準詳細	躯体	詳細	準詳細	躯体	詳細	準詳細	躯体
躯体	土	4	3	4	3	3	3	3	3	3
	鉄筋	2	2	2	1	1	1	2	2	2
	コンクリート	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	鉄骨	9	3	9	5	3	5	4	3	4
	床工事	0	0	0	4	3	4	2	2	2
	その他	1	1	1	5	3	5	3	3	3
	耐火被覆	0	0	0	6	3	6	0	0	0
外皮	屋根	13	3	0	20	3	0	14	3	0
	開口・建具	20	3	0	17	3	0	18	3	0
	外壁	16	3	0	23	3	0	16	3	0
	その他	4	3	0	0	0	0	4	3	0
内装	床仕上げ	24	3	0	18	3	0	20	3	0
	天井仕上げ	10	3	0	9	3	0	8	3	0
	壁仕上げ	32	3	0	31	3	0	30	3	0
	その他	3	3	0	9	3	0	1	1	0
設備	衛生	31	3	0	103	3	0	32	3	0
	給排水	37	3	0	18	3	0	31	3	0
	給湯設備	76	3	0	11	3	0	69	3	0
	空調設備	76	3	0	11	3	0	69	3	0
電気設備	76	3	0	11	3	0	69	3	0	
合計		282	42	16	284	47	25	258	34	15

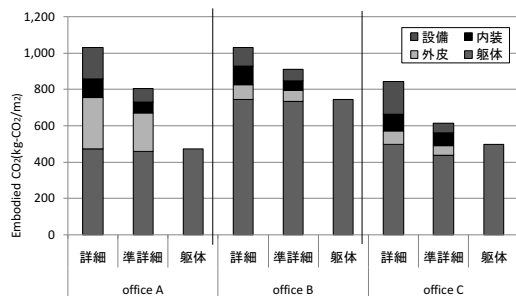


図 9 オフィスビルの評価値の比較

(5) Embodied energy, Embodied CO2 簡易評価ツールの作成

Embodied energy, Embodied CO2 を設計段階に簡易検討することが可能となるように原単位データおよび評価事例データを Web サイト上に試行版ツールとして整備した。



図 10 Embodied Energy, CO2 簡易評価ツール

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Makoto Yamamoto, Keizo Yokoyama, Noriyoshi Yokoo, Tatsuo Oka, Takao Sawachi: Intensity Calculation Using Input-Output Table and Case (査読付), Journal of Civil Engineering and Architecture, 9, pp.321-330, 2015.3
- ② Noriyoshi Yokoo, Tatsuo Oka, Keizo Yokoyama, Takao Sawachi, Makoto Yamamoto: Comparison of Embodied Energy/CO2 of Office Buildings in China and Japan (査読付), Journal of Civil Engineering and Architecture, 9 pp.300-307, 2015.3
- ③ Keizo Yokoyama, Makoto Yamamoto, Noriyoshi Yokoo, Tatsuo Oka, Takao Sawachi: Study on Impact of Embodied Energy and CO2 Emissions for Prolongation of Building Life Time: Case Study in Japan (査読付), Journal of Civil Engineering and Architecture, 9 pp.274-282, 2015.3
- ④ Noriyoshi Yokoo, Tatsuo Oka, Keizo Yokoyama, Takao Sawachi, Makoto Yamamoto: Embodied Energy and CO2 Associated with Buildings by Using Input and Output Table in Japan (査読付), Journal of Civil Engineering and Architecture, 9 pp.153-164, 2015.2
- ⑤ 浦野唯一, 海藤俊介, 横尾昇剛, 岡建雄: カナダ・日本の建築物における建設時のエネルギー消費量と CO2 排出量の比較 (査読付), 日本建築学会環境系論文集 79(701), pp.623-629, 2014.7
- ⑥ Noriyoshi Yokoo, Naomi Ito, Tatsuo Oka: Embodied energy and embodied CO2 associated with buildings based on detail analysis and simple analysis (国際会議論文・査読付), World Sustainable Building Conference, Barcelona,

Conference Proceedings, pp.187, 2014.10

- ⑦ Noriyoshi Yokoo, Toru Terashima, Tatsuo Oka: Embodied energy and CO2 emission associated with building construction by using I/O based data and process based data in Japan, Proceedings of the SUSTAINABLE BUILDINGS - CONSTRUCTION PRODUCTS & TECHNOLOGIES, Graz, pp.311-316, 2013

[学会発表] (計 9 件)

- ① 岡建雄, 澤地孝男, 横山計三, 横尾昇剛, 山本誠, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究 (Annex57)-7 データベースの拡張に関する試算, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1337-1338, 2016-08
- ② 横山計三, 岡建雄, 横尾昇剛, 澤地孝男, 山本誠, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究 (Annex57)-8 EPD 環境ラベルと産業連関分析の比較, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1339-1340, 2016-08
- ③ 横尾昇剛, 横山計三, 山本誠, 岡建雄, 澤地孝男, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究, 戸建住宅の環境評価とモデルを用いた環境ワークショップ, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1341-1342, 2016-08
- ④ 岡建雄, 澤地孝男, 横山計三, 横尾昇剛, 山本誠, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究 (Annex57)-5: 建設部門 IO の分析と問題点, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1071-1072, 2015-09
- ⑤ 横山計三, 山本誠, 横尾昇剛, 岡建雄, 澤地孝男, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究 (Annex57)-6: 産業連関分析による EEC の計算結果と簡易計算法の提案, pp.1073-1074, 日本建築学会学術講演梗概集, 2015-09
- ⑥ 伊藤尚美, 横尾昇剛, 横山計三, 山本誠, 岡建雄, 澤地孝男, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究: 建物部位の詳細評価と簡易評価の比較, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1091-1092, 2014-09
- ⑦ 横山計三, 山本誠, 横尾昇剛, 岡建雄, 澤地孝男, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究 (Annex57)-2: 建物の長寿命化による EEC の削減効果, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1093-1094, 2014-09
- ⑧ 山本誠, 横山計三, 横尾昇剛, 岡建雄, 澤地孝男, 建築物の Embodied Energy/CO2 に関する研究 (Annex57)-3: フロンによる Embodied CO2 に関する影響評価, pp.1095-1096, 日本建築学会学術講演梗概集, 2014-09

[その他]

ホームページ等

www.sblab-uu.org/egtool

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横尾昇剛 (YOKOO, Noriyoshi)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・教授

研究者番号: 40272223