昼光利用照明計画に伴うエネルギー消費量, 二酸化炭素排出量 に関する研究

ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSION DUE TO DAYLIGHTING IN BUILDINGS

登石 久美子*, 横尾 昇 剛**, 鈴木 道 哉***, 岡 建 雄****

*Kumiko TOISHI, Noriyoshi YOKOO, Michiya SUZUKI
and Tatsuo OKA*

Daylighting in buildings can save energy consumption for artificial lightings. On the other side, it makes energy consumption of construction higher to raise floor-to-floor height or enlarge windows for daylighting. It is concerned that amount of saved energy for artificial lighting can't call in amount of increased. This paper works out ,compares energy consumption and CO₂ emission due to construction and operation in buildings of 3 types planning daylighting;1) setting only lighting controllers 2)setting lightshelves 3)put atrium side by side.

Keywords: *daylighting in architecture, energy consumption, CO₂ emission,
input/output table, lifecycle assessment*

昼光利用照明、エネルギー消費量、CO₂ 排出量、産業連関表、ライフサイクル評価

1. はじめに

日本におけるエネルギー消費量のうち、建設行為に起因するエネルギー消費量は、建設行為そのものでは約 10%、さらに建物運用など建設関連を全て含むと約 1/3 を占めるため、今後の地球環境を考える上で、建設関連のエネルギー消費量の削減は必須である。また、事務所建築において、建設・運用・維持保全に関して生じるエネルギー消費量を比較すると、運用段階での消費量が全体に占める割合は大きく、運用段階でのエネルギー消費低減方策導入によるライフサイクルエネルギー低減効果等の研究が望まれている¹⁾。

このなかで、事務所建築の運用時における 1 次エネルギー消費量の 1/3 は、照明・コンセント用である^{2) 3)} ことから、光源の高効率化やさまざまなセンサに対応した照明制御装置の開発、などが行われ、建築の分野からは、昼光利用照明についての種々の検討がなされてきた。昼光利用照明の省エネルギー効果の研究としては、照明用電力量の削減効果の試算や、それに伴う空調負荷の増減の試算⁴⁾ がなされている。昼光利用により照明用電力消費量が削減されるだけでなく、照明から室内へ出される熱負荷の減少に伴い冷房、暖房に増減が生じ、適切な計画により年間空調負荷も低減できることがわかる。

しかし、昼光利用照明を図るために、階高を高くとり窓を大きくあけるなど建設部材量が増加すると、建設時に消費されるエネルギー量が増加してしまい、運用時に照明用エネルギーを削減してもその建築寿命年数内で回収できないことも考えられる。

本報では、昼光利用を計画した 3 種類の建物における、建設時および運用時の環境に対する負荷（エネルギー消費量、二酸化炭素排出量）を算出し、昼光利用を図るために増加した建設分を、運用分と比較した。分析には、産業間で引き起こされる波及効果分も含めて定量化するために、産業連関表を用いた連関分析手法を用いた⁵⁾。

2. 分析対象建物

分析は、1993 年竣工、延べ床面積 1,145 m² の事務所ビルを基本建物とし（1993 年の R C 造事務所ビルの平均延べ床面積が約 1,000 m²⁶⁾ であることから選出）、昼光利用照明を図る 3 タイプに設計し直した形を含めて計 4 タイプの建物について行った（表 1、図 1、図 2 参照）。建物 A（基本昼光照明制御型）は、建物 S（基本型）と建物形状は同じであり、光センサを設置し照明器具を段調光制御器具に変えただけのものである。

* 宇都宮大学大学院博士(後期)課程 大学院生
清水建設株式会社 研究所

** 宇都宮大学工学部建設学科 助手・工修

*** 清水建設株式会社 主任研究員・工博

**** 宇都宮大学工学部建設学科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Utsunomiya Univ.
Institute of Technology, Shimizu Corp.

Res. Assoc., Dept. of Architecture and Civil Eng., Utsunomiya Univ., M. Eng.

Institute of Technology, Shimizu Corp., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture and Civil Eng., Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

3. 分析手法¹⁾⁵⁾

建設段階の分析では、実際の建設見積書記載金額から人件費等の付加価値を除外し、購入した資材、サービス等を算出し、さらに商業マージン、貨物運賃、倉庫等の費用を産業連関表の相当する産業部門に振り分けて連関分析を行った。

分析に際しては、極力詳細な産業部門の分類を行うために、産業連関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 mi を対角化した行列を M と置くと、次式で表現される⁷⁾⁸⁾。

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

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および輸出額（円/年）

$mi : Mi / Ci$

Mi ： i 製品の輸出額（円/年）

Ci ： 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(1)式の $(I - (I - M)A)^{-1}$ である。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。算出された究極的な国内生産額より物流表を使い各種資材等の量を求め、これらのうちエネルギー消費量に直接結びつく資源（原油、LNG等）に各々の発熱量原単位を乗じて、エネルギー消費量および二酸化炭素排出量を求めている。^{注1)}

本報では、分析対象建物（基本型）の着工年が1992年であるため、1990年（平成2年）の産業連関表⁹⁾を使用した。

4. 建設エネルギー消費量および二酸化炭素排出量の算出

基本建物に対する差異は、建物Aは照明装置のみであるが、建物B、建物Cについては以下のように設計変更を行い分析した。建物Bは、各階1mの階高上昇により、柱・大梁の地震時応力を20%増加させた。建物Cは、アトリウムを設置しても偏心が生じないため、建物S、Aと同じく整形のラーメン構造で計算した。建物全体（柱・大梁・スラブ・小梁・壁・基礎・地中梁）で使用する鉄筋量、コンクリート量、型枠面積、およびガラス面積を表2に示す。

対象建物別に、建設工事見積書から工事費を項目別に分類し、表3に示す。建物Sと工事費の合計を比較すると、建物Aは照明制御装置を導入したことにより695[千円]（0.24%）、建物Bは1フロアにつき1mの階高上昇・ライトシェルフの設置・照明制御装置導入のため37,332[千円]（13%）、建物Cはアトリウム設置・照明制御装置導入により90,855[千円]（32%）増加した。

各建物の建設段階でのエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を、3章で述べた産業連関分析により算出した結果を表4、表5に示す。建物Sとエネルギー消費量を比較すると、建物Aは約12,273[MJ]（0.14%）、建物Bは、約1,257,000[MJ]（14%）、また建物Cは4,043,350[MJ]（47%）増加した。また、二酸化炭素排出量も同様にAは0.85[t]、Bは107.7[t]、Cは367.4[t]増加した。建物Cでは特に、壁面積、ガラス面積の増加に伴う全体量の増加が見られる。

表1 分析対象建物

建物 記号	特徴	階高 [m/F]	延べ床 面積 [㎡]	昼光 照明 制御	構造	
S	基本型	地上 3階	3.7	1,145	無	RC純ラーメン構造
A	基本昼光照明制御 型	地上 3階	3.7	1,145	有	RC純ラーメン構造
B	ライトシェルフ設置型	地上 3階	4.7	1,145	有	RC純ラーメン構造
C	アトリウム併設型	地上 3階	3.7	1,577	有	RC純ラーメン構造

図1 分析対象建物平面図

図2 分析対象建物断面図

表2 主な部材量の変化

	(建物Sに対する増加量)			
	建物S	建物A	建物B	建物C
鉄筋量(t)	36.5	36.5(0)	41.5(5.0)	46.2(9.7)
コンクリート量(m ³)	584.6	584.6(0)	603.8(19.2)	751.8(167.2)
型枠面積(m ²)	1954	1954(0)	2063(109)	2416(462)
ガラス面積(m ²)	94.4	94.4(0)	154.4(60.0)	424.4(330.0)

5. 運用エネルギー消費量および二酸化炭素排出量の算出

5.1 計算条件

各建物の主な計算条件を示す。

照明計算には、事務室の設計照度 750lx、使用照明器具は埋込み下面開放 40W2灯型、作業面高さ 0.8m、内装反射率（拡散反射率）は天井 0.88、壁 0.50、床 0.17、ライトシェルフ 0.86、ガラスの鏡面反射率は 0.08、透過率は 0.91 を用いた。照明制御基準点、それにより制御される照明エリアを図3に示す。

空調計算は、空調方式はビルマルチ、外気導入量 $4\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 、コンセント $10\text{W}/\text{m}^2$ 、電気式給茶器使用、空調時間 8:00~20:00、土日祝日休み、ブラインド不使用として行った。また、外壁の断熱材にはウレタン 25mm、窓ガラスは 10mm フロート（一重）を使用した。事務室の室温設定は冬期（12~3月）22度、夏期（6~9月）26度、中間期（4,5,10,11月）24度とし、建物Cのアトリウム部は外気温として設定した。また、東京の標準気象データを使用した。

5.2 照明用消費電力量の算出方法

通常、昼光利用を行った場合の年間照明用消費電力量は、制御範囲（台数）、制御基準点と制御基準昼光照度を決定し、年間全天空照度の累積出現率と制御基準点の昼光率（天空光）から、制御基準点における制御基準照度の累積出現頻度を計算し、点灯率から年間照明用消費電力量を算出していた⁴⁾。しかし、従来の方法では天空光のみによる昼光率を元に計算していたため、ライトシェルフ等のような直射光の影響の大きい昼光利用照明に対してこのまま用いることは不相当と考えられる。

本報では図4のように、制御基準点別に、天空光による照度と直射光による照度を分けて1日1時間毎、1年間分の昼光率を計算し、それに年間天空光水平面照度データ、年間直射光法線面照度データをそれぞれ乗じて制御基準点の年間照度を算出した。

ここで、天空光による昼光率は、

$$DF_{SHz} = E_{Sz} / E_{SH}$$

DF_{SHz} : 室内Z点における天空昼光率

E_{Sz} : 室内Z点における天空光のみ起因する水平面照度

E_{SH} : 天空光水平面照度

直射光による昼光率は、

$$DF_{DNz} = E_{Dz} / E_{DN}$$

DF_{DNz} : 室内Z点における直射昼光率

E_{Dz} : 室内Z点における直射光のみ起因する水平面照度

E_{DN} : 直射光法線面照度

と定義し算定した。

各制御基準点における天空光、直射光それぞれによる昼光率の算出には、建物モデルを3次元データとして入力して光の相互反射計算を行うことのできるコンピュータ・シミュレーション（TBT^{11), 12), 13)}を用いた。照明計算は双方向モンテカルロ法を用い、計算精度は各々5%とした。直射光は、直射光法線面照度の光量を持ち、太陽高度、方位と正反対のベクトルをもつ並行光として設定し、天空光は、CIEのIDMPのガイドに準拠した145点¹⁴⁾に点光源を設定し、天空輝度は均一とした。

また、各時刻毎の年間天空光水平面照度データ、年間直射光法線面照度データは、動的負荷計算に用いる標準気象データ（東京）¹⁵⁾

表3 工事金額

単位:千円				
	S	A	B	C
仮設	23,845	23,845	23,845	23,845
構造	62,328	62,328	66,669	84,870
仕上	106,207	106,174	134,041	165,251
設備	82,564	83,292	87,721	91,833
諸経費	9,976	9,976	9,976	9,976
合計	284,920	285,615	322,252	375,775

表4 建設時エネルギー消費量

単位:GJ				
	S	A	B	C
仮設	704	704	704	704
構造	2,920	2,920	3,122	4,353
仕上	2,711	2,711	3,620	5,124
設備	1,990	2,002	2,137	2,187
諸経費	306	306	306	306
合計	8,631	8,643	9,888	12,675

表5 建設時二酸化炭素排出量

単位:t				
	S	A	B	C
仮設	58	58	58	58
構造	325	325	347	481
仕上	221	221	295	417
設備	171	172	182	187
諸経費	26	26	26	26
合計	801	802	908	1,169

図3 照明制御基準点および制御範囲

の直達日射量、天空日射量および発光効率¹⁰⁾から求めたものを用いた。

各制御基準点における昼光率の計算結果を図5に示す。均一輝度の天空光による昼光率は太陽位置に無関係であり、月および時間によらず1種類となる。また、各時間毎の太陽位置は12月、6月を境として1~5月、7~11月はそれぞれほぼ等しくなるため、月および時間毎の直射光昼光率は7種類となる。

天空光による昼光率では、窓開口の面積の影響が大きく、建物Bの昼光率が増加している。太陽高度の低い冬期は、夏期と比較し日差しが室内まで差し込むため、全体に直射光による昼光率が上昇している。ライトシェルフは、太陽高度により直射光の導入を補助したり、庇として妨げたりしている。事務室の北側に設けたアトリウムは、日の入の方角が北側になる夏期に、夕方の昼光率を上昇させている。しかし、いずれも昼光率であり、天空光と直射光による影響を分けて算出する過程である。外光（直射光）照度が高い時間であれば昼光率がある程度低くても十分作業照度が確保でき、逆に昼光率が高くても外光照度が低ければ大きな

図4 制御基準点年間照度計算手法

図5 昼光率（天空光、直射光）

差には結びつかない。また、天空光照度と直射光照度は大きさや性質の異なるものであり、図5の昼光率によって実際の室内光環境の評価、比較を行うことはできない。

室内各点の照度は図4の様に、図5で求められた各点の昼光率に、年間天空光水平面照度データおよび直射光法線面照度データを乗じてそれぞれ求めた。

昼光照度による制御は、制御基準点において設計照度の50%の375lx以上が外光により（直射光、天空光により得られる照度の合計）確保される時、制御対象エリアの照明を50%調光するとした（蛍光灯器具40W2灯用の省電力率より、出力は57%となる⁴⁾）。直射光を含めた昼光利用を行う際、実際には雲により短時間内の急激な照度変化が生じることがあり、照明がそれと連動した点滅を繰り返すと不快であるため照明制御時間に遅れをもたせるなどの工夫がなされているものがある。しかし本報の計算で用いている標準年間気象データの精度が1時間間隔であるため、このことは考慮せずに計算している。

昼光照度による制御以外には、時間制御を行う。時間制御スケジュールを図6に示す。

これらより、各建物の年間照明用消費電力量を計算すると、表6のようになる。建物Sと比較し、建物Aは約6,570[kWh/年]減少（-20%）、建物Bは約6,903[kWh/年]減少（-22%）、建物Cは約6,711[kWh/年]減少（-21%）した。

図6 照明スケジュール

表6 照明用消費電力量

単位:kWh/月				
月	建物S	建物A	建物B	建物C
1	2388	1941	1899	1932
2	2514	2007	1956	1986
3	2766	1971	2190	2214
4	2514	1992	1947	1950
5	2514	1986	1947	1956
6	2766	2169	2121	2118
7	2640	2055	2022	2028
8	2892	2250	2211	2196
9	2514	2001	1947	1968
10	2640	2190	2070	2106
11	2514	2034	1995	2016
12	2640	2136	2094	2121
合計[kWh/年]	31302	24732	24399	24591

表8 年間二酸化炭素排出量

単位:t						
	熱源	給湯	空調ファン	照明	コンセント	衛生ポンプ エレベーター
建物S	2.12	0.10	1.45	3.05	1.69	0.01 1.05
建物A	2.05	0.10	1.35	2.41	1.69	0.01 1.05
建物B	2.33	0.10	1.48	2.38	1.69	0.01 1.05
建物C	2.87	0.10	1.76	2.40	1.69	0.01 1.05

表7 運用時エネルギー消費量

建物S 単位:kWh/年							
月	熱源	給湯	空調ファン	照明	コンセント	衛生ポンプ	エレベーター
1	1,347	96	1,203	2,388	1,326	9	822
2	1,431	102	1,266	2,514	1,395	9	864
3	921	105	1,044	2,766	1,536	9	951
4	465	87	1,056	2,514	1,395	9	864
5	1,314	78	1,266	2,514	1,395	9	864
6	1,956	78	1,395	2,766	1,536	9	951
7	3,486	69	1,329	2,640	1,467	9	906
8	5,199	75	1,458	2,892	1,605	9	993
9	2,571	69	1,266	2,514	1,395	9	864
10	1,476	84	1,329	2,640	1,467	9	906
11	300	87	951	2,514	1,395	9	864
12	1,236	102	1,329	2,640	1,467	9	906
計	21,702	1,032	14,892	31,302	17,379	108	10,755

建物A 単位:kWh/年							
月	熱源	給湯	空調ファン	照明	コンセント	衛生ポンプ	エレベーター
1	1,560	96	1,140	1,941	1,326	9	822
2	1,620	102	1,194	2,007	1,395	9	864
3	1,137	105	1,308	1,971	1,536	9	951
4	294	87	894	1,992	1,395	9	864
5	1,107	78	1,194	1,986	1,395	9	864
6	1,695	78	1,311	2,169	1,536	9	951
7	3,183	69	1,251	2,055	1,467	9	906
8	4,830	75	1,368	2,250	1,605	9	993
9	2,349	69	1,194	2,001	1,395	9	864
10	1,308	84	1,170	2,190	1,467	9	906
11	468	87	597	2,034	1,395	9	864
12	1,449	102	1,254	2,136	1,467	9	906
計	21,000	1,032	13,875	24,732	17,379	108	10,755

建物B 単位:kWh/年							
月	熱源	給湯	空調ファン	照明	コンセント	衛生ポンプ	エレベーター
1	1,884	96	1,326	1,899	1,326	9	822
2	1,950	102	1,392	1,956	1,395	9	864
3	1,374	105	1,536	2,190	1,536	9	951
4	399	87	348	1,947	1,395	9	864
5	1,167	78	1,275	1,947	1,395	9	864
6	1,746	78	1,527	2,121	1,536	9	951
7	3,393	69	1,458	2,022	1,467	9	906
8	5,340	75	1,596	2,211	1,605	9	993
9	2,658	69	1,389	1,947	1,395	9	864
10	1,536	84	1,341	2,070	1,467	9	906
11	633	87	582	1,995	1,395	9	864
12	1,830	102	1,461	2,094	1,467	9	906
計	23,910	1,032	15,231	24,399	17,379	108	10,755

建物C 単位:kWh/年							
月	熱源	給湯	空調ファン	照明	コンセント	衛生ポンプ	エレベーター
1	3,147	96	1,473	1,932	1,326	9	822
2	3,225	102	1,545	1,986	1,395	9	864
3	2,232	105	1,704	2,214	1,536	9	951
4	627	87	771	1,950	1,395	9	864
5	1,221	78	1,416	1,956	1,395	9	864
6	1,905	78	1,695	2,118	1,536	9	951
7	3,687	69	1,617	2,028	1,467	9	906
8	5,562	75	1,770	2,196	1,605	9	993
9	2,565	69	1,542	1,968	1,395	9	864
10	1,158	84	1,488	2,106	1,467	9	906
11	1,242	87	1,419	2,016	1,395	9	864
12	2,871	102	1,623	2,121	1,467	9	906
計	29,442	1,032	18,063	24,591	17,379	108	10,755

5.3 運用時の年間消費エネルギー量および二酸化炭素排出量の算出

昼光利用により照明を段階調光制御した場合の照明負荷減少分も反映させた動的熱負荷計算を行い、建物全体の年間消費エネルギー量を算出した。照明負荷変動分は、前項で算出された昼光照度による1日1時間毎の変動から各月別の同時帯平均値を導出し用い、熱負荷計算は各月毎に行った。

算出された、各建物における運用時の消費エネルギー量を月別、項目別に表7に示す。また、年間二酸化炭素排出量を表8に示す。建物Sとエネルギー消費量を比較すると、建物Aは約8,289[kWh/年]減少(-8.5%)、建物Bは約4,356[kWh/年]減少(-4.5%)、建物Cは約4,200[kWh/年]増加(4.3%)した。同様に、二酸化炭素排出量は、建物Aは0.81[t]減少、建物Bは0.42[t]減少、建物Cは0.41[t]減少した。

建物Sと比較し、建物A、B、Cともに照明負荷は減少するが、建物BおよびCは熱源、空調ファンに要するエネルギー量が増加し、合計すると建物Cは年間エネルギー消費量が増加していることがわかる。

6. 環境負荷回収年数分析

第4章の建設時分析、第5章の運用時分析から得られたエネルギー消費量算出結果をまとめ、昼光利用を計画した建物の建設時増分の、運用時での回収可否を評価した。表9に示すように、比較は、1[Wh]=2,450[cal]、1[cal]=4.19[J]を用いて行った。

建物Aは、建設時に照明制御装置分のエネルギー消費量増加を生じるが、運用時の年間エネルギー消費量の減少分より計算すると、約0.14年で回収可能となる。建物Bでは、1フロアにつき1mの階高上昇・ライトシェルフの設置・照明制御装置導入のための建設時増加分を運用時の減少分で回収するには、約28年要する。建物Cは、アトリウム設置・照明制御装置導入による建設時増加分だけでなく、運用時でもエネルギー消費量が増加しているため、回収は不可能となった。

以上の結果より、昼光利用による環境負荷低減計画における負荷低減量の予測の際、設計変更により建設部材量に増加が見込まれる場合は、建設時における増加分も考慮して計算を行う必要があるといえる。

表9 エネルギー消費増加分回収年数

建物	建設時エネルギー消費量			運用時エネルギー消費量			回収必要年数
	合計 [1,000MJ]	建物Sに対 する増減		合計 [1,000MJ/年]	建物Sに対 する増減		
S	8631	0	-	997	0	-	-
A	8643	12	増	912	-85	減	0.14
B	9888	1257	増	953	-45	減	28
C	12675	4043	増	1041	43	増	回収不可

7. まとめ

本研究では、昼光利用を計画することによる建物規模の増大が環境負荷に与える影響の算出を行った。4タイプの建物(S：基本型、A：基本昼光照明制御型、B：ライトシェルフ設置型、C：アトリウム併設型)について、

- (1)建設時のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を算出した。その結果、建物S(基本型)と比較して、エネルギー消費量は、建物A(基本昼光照明制御型)は約12,273[MJ](0.14%)、建物B(ライトシェルフ設置型)は約1,257,000[MJ](14%)、また建物C(アトリウム併置型)は4,043,350[MJ](47%)増加した。二酸化炭素排出量も同様に、Aは0.85[t](0.14%)、Bは107[t](14%)、Cは368[t](47%)増加した。
- (2)昼光利用による年間照明用消費電力量の算出には、従来の天空光のみの影響による計算ではなく直射光による照度も加えた計算方法を考案し、用いた。
- (3)運用時のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を算出した。その結果、建物S(基本型)と比較して、エネルギー消費量は建物A(基本昼光照明制御型)は約8,289[kWh/年]減少(-8.5%)、建物B(ライトシェルフ設置型)は約4,356[kWh/年]減少(-4.5%)、建物C(アトリウム併置型)は約4,200[kWh/年]増加(4.3%)した。同様に、二酸化炭素排出量は、建物Aは0.81[t]減少(-8.5%)、建物Bは0.42[t]減少(-4.5%)、建物Cは0.41[t]増加(4.3%)した。
- (4)建設時および運用時の環境負荷増減分より建設時増加分の回収年数を算出した。その結果、A：0.14年、B：28年、C：回収不可能となった。

なお、今回の試算では、窓面積が増加することにより空調負荷が増加し、建物C(アトリウム併置型)では回収不能となったが、二重ガラスの使用、断熱性能の向上により、結果は改善されと考えられる。しかしその場合はさらに、建設時増加分としての計算を必要とする。

また、今回は延べ床面積約1,000㎡の建物を対象に評価したが、建物規模が違う場合は、窓面積率等が変化し運用時の減少分に影響することを考慮する必要がある。

今回の試算により、昼光利用による環境負荷低減計画における負荷低減量の予測の際、設計変更により建設部材量に増加が見込まれる場合は、建設時における増加分も考慮して計算を行う必要があるといえる。また今後、このように様々なケースの比較を行い、建物規模、形態別に、真に環境負荷低減となる昼光利用法を検討していく必要があると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、設計変更に関して清水建設の福地一彦氏、野部達夫氏、立石寧俊氏、また、データ整理に関して宇都宮大学大学院松本直子氏に多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

脚注

- 1) 本論文でのエネルギー消費量、二酸化炭素排出量の算出方法は、原単位に部材量等を乗じて求める方式を採用していない。基本的には $(I - (I - M)A)^{-1}$ 型行列にて国内需要額から各産業の国内生産額を直接求める方式によっている^{21), 22), 23), 5)}。原単位を使用しなかった理由は、ブラインドなどの金属製品や制御機器等は、材料の原単位を用いると正確に製造に伴う二酸化炭素排出量を計算できないと判断したためである。

参考文献

- 1) 中川久美子、鈴木道哉、岡建雄：産業連関表による事務所建築、住宅建築のライフサイクルエネルギー分析、エネルギー・資源学会第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、pp.547-552、1996年2月
- 2) 井上宇市 編：空気調和ハンドブック 改訂4版、丸善、平成8年
- 3) (社)照明学会：エネルギーの有効利用から見た照明[ソフト&ハード]特別研究報告書、平成5年3月
- 4) (社)日本建築学会：昼光照明の計算法、丸善、平成5年
- 5) 鈴木道哉、岡建雄ほか：産業連関表による建築物の評価 その4 事務所ビルの建設・運用に関わるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量、日本建築学会計画系論文集、第476号、pp.37-43、1995年10月
- 6) 建設省建設経済局：建設統計年報、平成6年度版
- 7) 宮沢健一：産業連関分析入門、日本経済新聞社、昭和55年
- 8) 金子敬生：産業連関分析、有斐閣叢書、昭和51年
- 9) 通商産業調査会：平成2年産業連関表、平成6年
- 10) 宿谷昌則：数値計算で学ぶ光と熱の建築環境学、丸善、平成5年
- 11) A. Khodulev, E. Kopylov, Physically accurate lighting simulation in computer graphics software, the 6th International conference and Exhibition on Computer Graphics and Visualization in Russia, St.Petersburg, July 1-5, 1996. Vol.2, pp.111-119
- 12) 渡辺真知子ほか：室内の光・視環境のバーチャルリアリティ型プレゼンテーション技法の開発(その2)、日本建築学会大会学術梗概集(近畿)、pp.337-338、1996年9月
- 13) 小林茂雄ほか：昼光を導入したオフィス室内の視環境予測、日本建築学会大会学術梗概集(近畿)、pp.381-382、1996年9月
- 14) CIE Technical Report, Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement, CIE 108-1994
- 15) 松尾陽ほか：空調設備の動的熱負荷計算入門、(社)建築設備技術者協会、平成4年4月
- 16) (財)建設物価調査会：建設工事標準歩掛 改定32版、1995年
- 17) 大蔵省印刷局：有価証券報告書総覧、清水建設、平成6年3月
- 18) (財)経済調査会：積算資料、平成7年2月
- 19) (財)建設物価調査会：建設物価、平成7年2月
- 20) (財)建設物価調査会：建設統計要覧 平成9年、平成9年1月
- 21) 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集、第359号、pp.17-23、昭和61年1月
- 22) 竹林芳久、岡建雄、紺矢哲夫：産業連関表による建築物の評価 その2 事務所建築の建設による環境への影響、日本建築学会計画系論文報告集、第431号、pp.31-38、1992年1月
- 23) 鈴木道哉、岡建雄、岡田圭史：産業連関表による建築物の評価 その3 住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量、日本建築学会計画系論文集、第463号、pp.75-82、1994年9月

(1998年2月10日原稿受理、1998年5月8日採用決定)