建築物のライフサイクル二酸化炭素排出量と その抑制方策に関する研究

LIFE CYCLE CO₂ EMISSION FROM THE BUILDINGS AND THE RESTRAIN MEANS

酒井 寛二*, 漆崎 昇**, 相賀 洋***, 下山 真人**

Kanji SAKAI, Noboru URUSHIZAKI, Hiroshi OHGA and Masato SHIMOYAMA

Life cycle CO₂ emission from the buildings are analyzed. At the first part, CO₂ emission from the manufacturing process of building materials are analyzed. And the unit value of CO₂ emission per weight which include recycle materials are presented. At the second part, the effect of using recycle materials for buildings are analyzed. At the third part, from view point of building total life cycle (from material manufacturing, transportation, construction, operation, maintenance, reform, to demolishing), CO₂ emission prediction method is presented. Finally, using this method, concrete restrain means of CO₂ emission from building life cycle are discussed.

keywords : *building, life cycle, global environmental problems, carbon dioxide,*

建物、ライフサイクル、地球環境問題、二酸化炭素

1. はじめに

地球温暖化は種々ある地球環境問題の中で、一番対応が困難とされているが、過半の原因である大気中への二酸化炭素排出を見ると、建設活動の日本全体の排出量に対する比率は、建設資材生産と竣工した建物の運用を中心として35%以上と推定されており¹⁾、この分野での積極的な排出抑制活動に大きな期待が寄せられている。

本研究は、建築物の資材生産から施工・運用・廃棄に至るまでのライフサイクル全般にわたって、大気中に排出される二酸化炭素量を推定する手法を検討したものである。近年、波及効果を含めた分析による推定法が研究されているが^{2) 3)}、ここでは波及効果を除外した解析を行い、リサイクル材の使用効果や、建設分野の排出量抑制努力がより直接的に把握できる解析となっている。

またさらに、開発した推定手法を用いて、モデル的建物についてライフサイクルの二酸化炭素排出量を試算し、それを抑制する方策について考察を加えた。

2. 建設資材生産過程での二酸化炭素排出量

建築等の建設物は、多くの建設資材から構成されているが、これら資材を製造する過程で多量の二酸化炭素が排出されており、これだけで日本全体の排出量の13%程度にも達している¹⁾。

建設資材単位重量の生産過程で排出される二酸化炭素量は、二酸化炭素排出量原単位（以下原単位と略称）と呼ばれるが、この原単位を求めるには産業連関表を基礎データとして利用するものと^{2) 3)}、当該産業内のエネルギー収支分析から求める積上法がある。前者は、全産業をもれなく同等の精度で分析でき、さらに産業間の波及効果を求めるのに便利であるが、産業区分が大きいことや古いデータしか入手できぬこと、精度に疑問点があること等の利害得失がある。後者は、精度は良いものの、全産業を対象とするには労力が大変で、部分的な詳細分析に適している。

本研究では、建築資材全般については、筆者らが考案

本報の一部は日本建築学会大会学術講演会1993-9(関東), 1994-9(東海), 1995-8(北海道)で発表済である。

* 大林組技術研究所 室長・工博

** 大林組エンジニアリング本部

*** 大林組設計本部

General Manager, Technical Research Institute, Obayashi Corporation, Dr. Eng.
Engineering Div., Obayashi Corporation
Architectural Div., Obayashi Corporation

した「限定間接需要算入法」によって算出した原単位を用いた¹⁾。この算法は、産業連関表をデータベースとして使用するものの、建築物に組み込まれない資材使用やサービス産業への波及効果を極力除外し、積上法の値と同等のものとなるように配慮されたものである。表1に、主要建設資材13分類について、1985年産業連関表の国内消費支出分のデータを利用し、輸送分を除外した計算結果を示した。

表1 建設資材製造における二酸化炭素排出量

建設資材		C O ₂ 排出量 [kg-C/kg]	建設資材	C O ₂ 排出量 [kg-C/kg]
砂利 石材	砂利	0.000280	ガラス	板ガラス 0.389 +0.0252
	採石	0.000323		繊維 0.554 +0.0252
繊維 製品	綿	0.0541		その他 0.743 +0.0252
	絹	0.0907	セメント 0.0809+0.144	
	毛織物	0.169	陶磁器	建設用 0.114
	その他	0.0929		耐火物 0.168
木材	製材	0.00778 -0.500 (炭素固定量)		その他 0.0280
	合版	0.0487 -0.496 (炭素固定量)	鉄(粗鋼) 0.515	
			銅 0.280	
紙	板紙	0.184	アルミニウム 0.616	
	洋和紙	0.217	その他 金属	鉛 0.525
塗料		0.179		亜鉛 0.502
合成樹脂製品		0.176		その他 1.67

波及効果分と輸送分は除外

文献1) より一部引用

一方産業連関表だけをデータとして使うと、リサイクル資材等の最近の産業界の技術動向を反映しにくい、資材の種類を細分して検討することや、海外生産分の排出量を評価することも困難である。そこでこの点については、個々の産業界について調査し、積上法でデータを補完することが望ましい。ここでは、鉄鋼、セメント、アルミニウムの3資材について、リサイクルや海外生産を含めて積上法にて解析した⁴⁾。またこれらの解析時には、電力の需要端における原単位として、波及効果や固定資産形成を含めない場合の文献値⁵⁾を四捨五入して、0.12[kg-C/kWh]の二酸化炭素排出があったとした。

(1) セメント製造時の二酸化炭素排出量原単位

建築で一般的に使用されているセメントは、原料のほとんどを石灰岩等の新鮮素材によっているポルトランドセメントである。一方土木工事の一部や、一部地域の建築用セメントとして、高炉スラグを配合した高炉セメントが使用されている。後者に含まれる高炉スラグは、製鉄所の高炉からの副産物として発生するもので、リサイクル資材の一種と考えられ、高炉スラグ製造のためには二酸化炭素は発生していないとみなされる。

実際のセメント工場における使用原料とエネルギー量

を、ポルトランドセメントと建築分野で標準的に使用するスラグ45%配合高炉セメントを取り上げて表2に示す。ここに石灰岩の化学変化による炭素排出量は、120[kg-C/t]であり、燃料は石炭に換算した値で示しており、石炭の炭素排出量を604[kg-C/t]とした。また工場の使用電力構成の実態は、購入電力58.6%、石炭炊き自家発電12.1%、ディーゼル自家発電7.9%、廃熱利用自家発電21.4%である。ここでは全量購入電力と近似し、電力の炭素排出量原単位として前述の0.12[kg-C/kWh]を用いた。

表2 セメント製造時の二酸化炭素排出量原単位

種 類 項 目	普通ポルトランドセメント		高炉セメント(配合比率45%)	
	消費原単位 [kg/t]	C O ₂ 原単位 [kg-C/t]	消費原単位 [kg/t]	C O ₂ 原単位 [kg-C/t]
原料	石灰石	1,140	137	632
	粘土	239	12	131
	珪石	58	31	7
燃料	石炭	122	74	73
	重油			44
	その他			
電力	103kWh/t	12.4	88kWh/t	10.6
合 計	—	235.4	—	137.6

(1990年度)

このような数値を基に、2種類のセメントに対する原単位を求めた結果を表2に示したが、セメント全体としては、1990年ではポルトランドセメントが83%、高炉セメントが17%であり、加重平均を取ると218[kg-C/t]となった。

(2) アルミニウム製造時の二酸化炭素排出量原単位

アルミニウムの製造過程は、ボーキサイトから化学的操作を中心にアルミナを作り、そこから電気精練でアルミ新地金を作る。ここでリサイクルされた再生地金と混合して、圧延や押出成型、あるいは鋳造によって製品ができる。各プロセスにおける平均的エネルギー使用量を業界団体にヒヤリングし、炭素排出量に換算して表3に示した。

表3 アルミニウム製造時の二酸化炭素排出量原単位

製造工程		ボーキサイト 7t/t	7t/t 新地金	地 金		新地金 圧延品
エネルギー	電力 [MWh]	0.930	14.7	15.7	0.126	1.02
	石油 [GJ]	24.7	26.2	50.9	4.60	7.91
	合計 [GJ]	34.3	177.0	211.3	6.07	18.4
二酸化炭素 排出量 [kg-C]	電力	購入	122	1,766	1,878	15
		水力	0	0	0	0
	石油		437	464	901	81
	合計	電力が購入の場合	549	2,230	2,779	96
		電力が水力の場合	437	464	901	81

地金1t当たりで表示

アルミニウム製造過程で最もエネルギーを要するのは、アルミナを電気精練で新地金とする部分である。この工程は日本国内の電力単価が高いことから、国内における製造量は、新地金全需要の1%と極めてわずかである。よって国内を対象とした産業連関表では、アルミニウム製造による環境負荷の現状把握が不可能である。

アルミニウム製造の電力であるが、水力発電の場合と火力が混入した購入電力の場合がある。日本国内における新地金製造は、すべて水力発電によっている。一方海外の事情を業界団体にヒヤリングし、水力の比率は60%と推定した。残りの40%は、日本と同じ電源構成の購入電力と仮定し、99%の新地金とすべての再生地金について算出した。一方地金から以降の加工過程は、全量国内の購入電力によるものとした。またアルミニウム製品は用途や製造法で再生地金混入率が大幅に異なるが、建築で使用する代表的アルミ製品としてアルミサッシュを取り上げ、この場合の再生地金混入率が平均9%であることから、最終的に建築で使用するアルミニウム製造の原単位として1765[kg-C/t]を得た。

(3) 鋼材製造時の二酸化炭素排出量原単位

日本国内の鉄鋼生産は、鉄鉱石から高炉・転炉によって製造されるものが約70%、スクラップから電炉で製造されるリサイクル製品が30%程度を占めている。電炉製品は棒鋼や小形型鋼のほとんどに及んでおり、一方大型のH鋼や厚板、薄板のほとんどは高炉製品であるが、近年の技術開発によって次第に電炉製品の範囲が拡大しつつある。

電炉による製造工程は、高炉に比して使用エネルギー量が少なく、二酸化炭素排出量がかなり減少する。しかし1985年の産業連関表では、鉄鋼産業が高炉製品と電炉製品に区別されておらず、両者の差異をはっきりと認識することが困難であった。そこで業界団体等の積上法によるデータ⁶⁾をもとに、二酸化炭素排出量を推定した。

この結果を表4に示すが、ここで電力の一次エネルギー換算係数は元データの都合で全て9.42[MJ/kWh](2250[kcal/kWh])、電気炉および圧延などの炭素排出係数を57.1[t-C/MJ](0.239[t-C/Gcal])、転炉の炭素排出係数を82.7[t-C/MJ](0.346[t-C/Gcal])としている。またコークス部門の工程は、高炉部分に含めている。さらに使用される石灰岩からの排出量は、精度が不十分で5%以下の比重のため無視している。

表4 鋼材製造時の二酸化炭素排出量原単位

	エネルギー [Gcal/t]	炭素 [kg-C/t]
粗鋼平均(圧延含)	4.32	355
電気炉+圧延	2.66	173
高炉+転炉+圧延	5.08	436

(1990年)

(4) 現時点で推奨する建設資材製造時の二酸化炭素排出量原単位

今まで述べたような、産業連関表をデータベースとする解析結果と、リサイクル材の影響が大きい資材についての積上法の結果を組み合わせ、現時点で推奨する原単位をまとめて表5に示した。以降の計算は、この表の値を用いて実施している。

表5 主要建設資材の二酸化炭素排出量原単位
(現時点の推奨値)

建設資材			炭素排出量 [kg-C/kg]
砂利・石材			0.000302
木 材	炭素固定 ナシ	製材	0.00778
		合板	0.0487
	(炭素固定) アリ	製材	(-0.492)
		合板	(-0.447)
合成樹脂製品			0.176
ガラス	板		0.414
	繊維		0.579
セメント	ポルトランド		0.235
	45%スラグ 高炉		0.138
	陶磁器(建設用)		
鉄鋼	棒 鋼		0.173
	鋼 板		0.436
銅			0.280
アルミ(サッシュ用)			1.77

波及効果分と輸送分は除外

(5) 資材加工過程からの二酸化炭素排出量

建物の躯体や外装材、内装材は、基礎資材をそれほど加工せずに建物に組み込まれている。よってこれらの部材については、基礎資材生産過程の原単位を使用して支障ない。一方加工度の高い設備機器類については、加工過程において多量のエネルギーを使っており、加工による二酸化炭素排出も考慮に入れる必要がある。このような見地から、設備工事全般の加工過程の効果を加味した検討結果があるが、基礎素材生産の2倍程度の値となっている⁷⁾。今回の解析では、設備部分についてのみこの加工効果を算入することとした。

3. 建物に組み込まれた建設資材からの二酸化炭素排出量

建物を構成する個々の資材については、前述の方法で二酸化炭素排出量原単位が求められる。そこで具体的な建物をモデルとし、建物全体としての資材製造に基づく二酸化炭素排出量を求めてみた。また排出量を削減する方策として、リサイクルを積極的に利用した場合、二酸化炭素排出量削減にどの程度の効果があるのかについて検討を加えてみた⁸⁾。

(1) モデルビルの設定

以降の試算を実施するために、モデルとなる事務所ビルを下記のように設定した。

1) 構造：基準階面積 1935m²、階数12階

タイプ1-RC造（外壁；PC版、床；RC）

タイプ2-S造（外壁；アルミパネル、床；RC）

2) 内装は標準的な仕様

3) 設備：熱源を空気熱源ヒートポンプとした標準的な仕様

4) 資材選定：

① 標準ケース；鉄鋼（鉄筋は電炉材、鉄骨は高炉材）、セメント（全量ポルトランド）

② リサイクル材使用 ケース1（現状の使用限界）；鉄鋼（鉄筋の全てと構造用鋼材の15%は電炉材、その他は高炉材）、セメント（全量を45%スラグ入り高炉セメント）

③ リサイクル材使用ケース2（近い将来の目標）；鉄鋼（鉄筋の全てと構造用鋼材の50%は電炉材、その他は高炉材）、セメント（全量を45%スラグ入り高炉セメント）

(2) 使用資材量

図面および仕様書に基づき見積書を作成し、建築工事については、セメント、鉄筋、鉄骨等全重量の約95%を、設備工事については、配管、ダクト材料等全重量の約65%は見積書より直接重量を拾った。直接重量把握が困難な内装工事等は、見積金額から資材量を推定する方法⁹⁾によって数量推定をした。

このようにして求められた投入建築資材量を、延床面積あたりの用途・資材別重量に換算して図1に示す。この図から分かるように、コンクリート用砂利・砕石が重量的に大きな比重を占め、設備工事関係は重量的には全体の7~3%とわずかである。

図1 建設資材の延べ床面積当り重量

(3) 建物の建設資材からの二酸化炭素排出量

図2にRC造の場合、図3にS造の場合の、単位延床面積あたりの二酸化炭素排出量を示した。RC造とS造を比較すると、重量的にはRC造がS造の倍程度重いのに対し、排出量ではS造がRC造よりやや多くなっている。この理由としては、コンクリート用砂利・砕石は重い割に二酸化炭素排出がなく、また同じ鉄鋼でもRC造で用いる鉄筋はリサイクル材で、S造における高炉材より二酸化炭素排出量が小さいためである。

いずれの構造形式においても、標準ケースに対してリサイクル材使用ケースの方が排出量が減少しているが、その減少効果は20%程度が一つの目安になるようである。

図2 RC造の建築資材からの二酸化炭素排出量

図3 S造の建設資材からの二酸化炭素排出量

4. 建物のライフサイクルにわたる二酸化炭素排出量推定法

(1) ライフサイクルの解析範囲

地球環境問題は長期的視点での対応が求められており、建築物も長期的な環境負荷を求めることが要求されている。建築物の寿命は、一般に数十年から百年以上にもなるが、この寿命期間を下記の7段階に区分し、それぞれの過程における二酸化炭素排出量を推定して、その合計をライフサイクル排出量とした。

- ①建設資材生産過程：鉄鋼やセメント等が各工場内で生産される過程。
- ②資材運搬過程：建設資材が各種工場間を加工のために運搬され、最終的に建設現場に至るまでの運搬過程。
- ③建設現場施工過程：施工現場で消費されるエネルギーに伴う排出過程。
- ④建築物運用過程：竣工した建物の冷暖房や照明用エネルギー消費に伴う排出過程。
- ⑤建築物保守過程：日常的な消耗品補充や保守管理、修繕に伴う排出過程。
- ⑥大規模更新過程：劣化した設備や内外装材の、20～30年毎の全面交換過程。
- ⑦解体除却過程：建築物を解体して更地とし、解体廃棄物を処分する過程。

各過程での排出量計算に当たっては、直接的に建築物に組み込まれない資材生産やサービス産業活動による波及効果は除外した。また人間活動による排出量、たとえば呼吸、飲食、通勤、事務所作業、家庭生活関連等は除外している。また海外での発生負荷については、影響が大きいと考えられるアルミニウムの製造過程については加味したが、他については無視可能として除外している。

また建物の運用過程については、通常の業務・居住に伴って消費する標準的エネルギーのみを計算対象としており、建物内の什器備品や事務用品の調達、そしてこれらの廃棄は対象外とした。

(2) 排出量推定法の全容

前述した建築物のライフサイクルの7過程について、各々二酸化炭素排出量を推定したが、その算出過程の全体概要を図4に示した¹⁰⁾。以下に各過程の計算内容や、使用原単等を説明する。

(3) 建築資材生産過程排出量

建物の構造躯体（土に面する地下壁・床を除く）については、S、RC、SRCの3種類について、あらかじめ床面積当たりの標準的基礎資材使用量を与えてある。土に接する地下の壁や床については、単位面積当たりの基礎資材使用量を与えている。また内装および外装部分については、あらかじめ標準的ないくつかの壁や天井、床、ガラス仕様について、単位面積当たりの基礎資材使用量を与えている。

建物の平面形状、階数、方位、構造形式、外装や内装の仕様が与えられると、床面積や部材面積が算出され、上記の手順で建築資材重量が求められる。この値に表5に示した二酸化炭素排出量原単位を乗じて排出総量が求められる。

設備については、現在詳細分析が空気調和・衛生工学会等で行われつつあるが、過去の解析事例からみて全体に占める比重はあまり大きくなく、また床面積に比例すると近似できる。ここでは文献⁷⁾の特定の建物に対する解析結果を参考とし、計算事例が少ないところを考慮して大胆な近似を行い、電気設備は8.24を10.0[kg-C/m²]に、空調設備は14.76を15.0[kg-C/m²]に、そして衛生設備に昇降機設備を加えて4.24を5.00[kg-C/m²]とまとめた数値を使うこととした。

(4) 建築資材輸送過程排出量

建設資材の生産過程での産業間運搬や、建築現場までの運搬、さらには新築時の現場からの残材や廃棄物搬出を合わせて、輸送による排出量を前述の「限定間接需要算入法」にて解析した結果、資材使用重量が分かっている場合には、0.0177[kg-C/kg]を用いて推定すればよいこととなった。

本報告では、建物の地上部分は延べ床面積当たりの重量を求め、地下部分については地下壁や地下床の部材面積当たりの資材重量を算出して、上記原単位を乗じた。

(5) 建設現場施工過程排出量

建設業が、現場で消費しているエネルギー種別毎の数量は、毎年発行されるエネルギー関連統計に表示されている。これより施工現場での年間排出二酸化炭素量が算出可能である。この内土木工事と木造建築分は、別途公表されている工事金額比率に比例するとして除外することが可能であり、結局非木造建築の現場施工からは1990年度で2.03[Mt-C]の排出量となる。

また年間の非木造建物の着工床面積も、毎年統計値が公表されており、1990年度のそれは198[Mm²]であった。この両者の数値から、現場施工による二酸化炭素排出量原単位として、10.2[kg-C/m²]が求められる。

検討対象建物について、上記の施工過程の排出量を、躯体、内外装、設備等の各々に標準的使用資材重量比で按分し、床面積を乗じて各々求めた。

(6) 建物運用過程排出量

建物の竣工後、建物を使用するためには冷暖房や照明用にエネルギーを使用することとなるが、一般にこの運用過程からの排出量は、ライフサイクル排出量の過半を占る。それだけにこの過程については、精度の高い推定法が求められる。

建物運用のエネルギー構成をみると、通常は空調用にほぼ50%、照明・コンセント用に30%、給排水衛生・昇降機・厨房・駐車場換気等に20%が使われている。この

注 1) ここでいう地下壁・床とは、土に面するものを意味し、地下階内部の間仕切壁や地下階と地下階の間の床等は含まない。

2) 地下階を構成する部材のうち、土に面する外周部地下壁・床以外の構造躯体については、RC、SRC構造躯体用の原単位を用い、内部間仕切については、標準壁用の原単位を用いて計算する。

図4 ライフサイクル二酸化炭素排出量算出過程

うち空調用は年間を通じて変動が大きく、精度の高い予測のためにはかなりの計算が必要である。これに対してその他の用途については、もっぱら建物の使用時間に比例するものが多く、年間の総量予測は比較的容易である。

以上のような状況をふまえ、空調用については年間を通じて時刻単位で動的熱負荷計算とシステムシミュレーションを実施し、その他用途については時刻別負荷率を与えて年間集計している。

このような手法で、建物運用のための各種エネルギー使用量が求められる。それぞれのエネルギー源については、単位消費量当たりの二酸化炭素排出量原単位が与えられており、この原単位を乗じることで運用過程全体の排出量が求められる。

なお上水と下水に関しては、両処理場のエネルギー消費量を求め、建物の消費量に按分してみると、空調設備等の運転用エネルギー量に比較して1桁以上小さく、全体を検討するときには無視可能と考えた。

(7) 建物保守過程排出量

建物の機能を竣工時点と同等に維持するために、日常的に消耗品の補充や、故障部品の交換・修繕、劣化部材の交換、塗装の上塗り等が必要である。このような保守活動のために、資材が消費され、また小規模な工事が実施されることとなり、それに伴って二酸化炭素の排出がなされることとなる。

保守活動の詳細な構成は、建物の種類や保守管理者の作業標準によって大幅な差異が予測されるが、系統だった解析事例はない。しかし通常の場合の年間保守費予算は、建物建設費用の1～2%程度である。この過程の費用は人件費比率が高いことから、ここでは近似的に毎年新築時の1.0%の基礎資材が消費され、1.0%の運送が発生し、1.0%の現場施工が生じると仮定して計算した。

また一部冷凍機の冷媒には、温暖化効果のあるフロンが使用されており、長期間の使用では漏出による温暖化寄与を評価する場合もあるが、今回は非温暖化冷媒を使用するものとしてこの項目は無視した。

(8) 大規模更新過程排出量

建築物の躯体は、一般に寿命期間を通じて大規模に更新されることは少ないが、外装材は防水の劣化や外壁表面の腐食・ひび割れ、あるいはデザインの流行遅れ等から時々全面的に取り替える必要が発生する。内装材については、表面の汚染や磨耗、あるいは度重なる間仕切り変更による変形等が原因で、設備機器は可動部分の材料磨耗による性能低下や配管腐食による漏水等から、これも時々大規模に更新することが必要となる。

大規模更新時期は、現実の実施状況を反映させて、内装と設備は20年毎に、外装は30年毎に実施されると仮定した。また大規模更新に伴って、実際の建物では機能向上が計られることが多いが、今回は新築時点の機能に復元するだけとして計算した。

大規模更新に当たっては、当該部位の全資材や機器は交換されるとみなし、新築時と同量の基礎資材消費、このための運輸、現場施工、そして廃棄物の輸送による排出を各々計算した。ここで現場施工分は、解体工事と新設工事の二重となるために新築時の1.4倍を見込んだ。また廃棄物運輸については、後述の解体除却過程での原単位を適用して求めている。

(9) 解体除却過程排出量

解体業者を調査したところ、解体現場での燃料使用量から解体工事分としては $3.70 [\text{kg-C/m}^2]$ が得られた。また廃棄物運搬は、一般に4トン車に平均2.11[t]積載して往復で100[km]輸送していることから、トラックの燃費をリッター当たり6.0[km]、軽油の二酸化炭素排出量はリッター当たり0.74[kg-C]とすると、結局運搬分として $0.0058 [\text{kg-C/kg}]$ が得られた。

解体に当たっては、使用された資材の全量が廃棄されると考え、建築資材生産過程で推定した全数量を対象に、上記の解体施工分と廃棄物運送分を計算した。なお中間処分場や最終処分場でのエネルギー消費量は比較的少なく、無視して支障が無いと判断した。また最終処分場である埋立地からは、嫌気性分解によるメタンガスの発生も予測されるが、廃木材や廃棄紙類は、現在でもリサイクル比率が高まっており、将来最終処分場に混入することが非常に少なくなると見込まれ、発生メタンガスによる温暖化作用は無視して計算することとした。

5. モデル建物のライフサイクル二酸化炭素排出量の試算例と低減方策

今まで述べた推定手法を用いて、具体的な建物を対象に計算を行った。まず最初のモデルとしては、各階面積 2000m^2 で地下なし地上8階建て、SRC造の標準的事務所ビルを考えて試算した¹¹⁾。

図5には建物の使用期間を変えた場合の影響を示したが、長期間使用すれば年間平均の炭素排出量は減少するものの、保守や更新にもかなりの資材消費が見込まれ、結局全体としてそれほどの炭素排出量削減効果が見られないこととなった。一方図6では、建物の仕様にリサイクル資材使用型と省エネ型の2者を加え、標準仕様との比較を行った。この結果、前者の効果はそれほど大きくなく、後者の効果が非常に大であることが判明した。この理由は、ライフサイクル炭素排出量にしめる運用段階での比率が圧倒的に大きく、この部分での削減策が最も効果的なことを示している。

一方反対に、建物運用エネルギーの比率が低い代表として学校の校舎を取り上げ、さらにRC造と木造の比較も行った。また木造の場合に、木部への炭素固定効果をどう評価するかは意見の別れるところであり、二通りの考えの結果を図7に併記して示した。

6. おわりに

今まで建築物の環境への配慮事項としては、運用段階での消費エネルギー量が注目され、それなりに省エネルギー建築が計画されてきた実績がある。しかし現時点では、環境負荷としてより多様な評価が求められるようになり、その代表的評価尺度として二酸化炭素排出量が注

図5 モデル事務所の使用期間変動に伴う
ライフサイクル二酸化炭素排出量比較

図7 モデル学舎の構造変更に伴う
ライフサイクル二酸化炭素排出量比較

図6 モデル事務所の仕様変更に伴う
ライフサイクル二酸化炭素排出量比較

目されている。本研究の成果は、建築物のライフサイクルの各過程から排出される量を、総合的に定量化し、排出量抑制の方策として何が重点項目かが読み取れるところまで解析できたと考えている。今後はこの解析手法を改善し、より広い範囲の建築物を対象に適用し、地球環

境問題抑制の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 酒井寛二、漆崎昇：建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定、環境情報科学、Vol. 21, No.2, p.130、1992.5
- 2) 鈴木道哉、岡 建雄、岡田圭史、矢野謙植：産業連関表による建築物の評価 その4、日本建築学会計画系論文集、Vol.476、p.37、1995.10
- 3) 日本建築学会地球環境特別研究委員会：建築・地域環境・地球環境のあり方、日本建築学会、p.89、1995.3
- 4) 漆崎昇、酒井寛二、岡本英靖：建設資材製造時の炭素排出原単位調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、No.4315、1993.9
- 5) 日本建築学会：建築が地球環境に与える影響、日本建築学会、p.166、1992.6
- 6) 環境庁：地球温暖化対策技術評価検討会 産業分科会報告書、環境庁、p.13、1992.5
- 7) 酒井寛二、漆崎昇、金田久隆、下山真人：リサイクル資材利用と設備機器加工効果を考慮した建物炭素排出量解析、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、p.1345、1994.10
- 8) 酒井寛二、漆崎昇、下山真人：リサイクル資材利用による建設資材からの炭素排出量低減、日本建築学会大会学術講演梗概集 No.4645、1994.9
- 9) 建築業協会：建設業に係わる地球環境問題の研究—その2—、建築業協会、1992.6
- 10) 相賀洋、酒井寛二、漆崎昇、下山真人：建物のライフサイクル二酸化炭素排出量推定法に関する研究（その1）、日本建築学会大会学術講演梗概集、No.40445、1995.8
- 11) 酒井寛二、相賀洋、漆崎昇、下山真人：同上（その2）、同上 No.40446、1995.8

(1995年10月2日原稿受理、1996年1月22日採用決定)