

建築物の構造強度と冷暖房負荷が環境負荷に及ぼす影響

林 啓紀

名古屋大学 卒業論文

2003年1月

The influence which the structure strength and the air-conditioning load of the building exert on the environment load

Akinori HAYASHI

目次

第 1 章 序論	3
1.1 研究の目的	3
1.2 「ライフサイクルアセスメント」とは	5
1.3 「建物の LCA 計算ソフト Ver.1.3.2」とは	7
1.3.1 ソフトの概要	7
1.3.2 算定手順	7
1.4 「MICRO PEAK/2000 WINDOWS 版」とは	9
第 2 章 LCA 計算ソフトへの入力条件	10
2.1 検討対象	10
2.2 初期建設の投入資材の決定	11
2.2.1 躯体・外壁	11
2.2.2 土工事	16
2.2.3 窓	16
2.2.4 床・内壁・天井・補助物量	16
2.3 エネルギー消費量の入力条件	17
2.3.1 空気調和設備	17
2.3.2 照明設備・機器	19
2.3.3 換気、昇降機、衛生、受変電設備、事務機器	19
2.4 入力条件のまとめ	20
第 3 章 LCA 計算ソフトの解析結果	22
3.1 解析結果	22
3.2 モデルビルの面積規模による変化	25
3.3 使用年数による変化	28
第 4 章 総括	31

謝辞

参考文献

第1章 序論

1.1 研究の目的

近年世界的な規模で環境負荷低減、省エネルギーが叫ばれ様々な研究が行われている。二酸化炭素排出量をみると、日本は、アメリカ、中国、ロシアに次ぐ世界第4位の排出国であり、国民1人あたりの排出量は世界平均の2倍である。また、建築関連の二酸化炭素排出量は、建設資材生産と運用段階を中心として日本全体の35%以上を占めると推定されている。1997年に行われた国連地球温暖化防止京都会議で話し合われ、採択された京都議定書では、2012年までに温暖化ガスを1990年を基準として、6%削減することを目標としている。しかし、このまま無体策な状態では2010年度の建築関連二酸化炭素排出量は、1990年度に比べて16%増大すると予測される。このことから、建築分野での二酸化炭素排出量削減は早急な問題として取り上げられている。

日本建築学会では、1997年12月に「新築LCCO₂30%削減、耐用年数3倍増対策日本建築学会声明1997.12」を公表した。この対策（二酸化炭素排出量が、新築で30%、改修で15%削減され、耐用年数が3倍に伸びる対策）を導入した場合、2010年度の建築関連二酸化炭素排出量が、1990年比2%増に抑えられる。また、建物の長寿命化によって新築工事件数は減少、これに日本の人口減少が伴って、2100年ごろの建築関連二酸化炭素排出量は1990年度の1/3程度にまで減少すると予測されている。目標達成のため設備では、建物のLCE（ライフサイクルエネルギー）の半分以上を占める運用エネルギーの削減を主目的に、研究が盛んに行われている。また、国内では阪神大震災以降、地震に対する意識が強まり建築物の強度についても見直されている。1998年には建築基準法が一部改正され性能規定も採用された。構造では、設備のように環境負荷削減を目指すだけでなく、強度も目的としている。百年建築に代表されるように高い強度を保ちながらコスト、環境負荷を削減する研究もされている。

本来、環境負荷の面から考えると相互に強く影響しあっているはずの設備と構造であるが、これまではばらばらに研究されてきた。本研究はこれらを、環境負荷の視点から、総合的に捉えようとしたものである。

環境負荷削減策として、構造側から考えてみる。建築構造は主として木造、RC造、鋼構造の構造種別に分けられる。木造に関しては、伐採と植林という適切な林業が行われていれば、環境循環性の高い素材から成り立っており、建築物のライフサイクルにおける環境負荷削減に対応しやすいといわれている。鋼構造の中で鉄骨構造を見た場合、鋼材そのものは経年変化の無い素材であるので、錆さえ発生しなければ、鉄骨構造は永久に使用できる。しか

し長年の間には、鋼構造は本質的に錆びるものであるから錆びさせないために、塗装をしなければならない。いいかえれば、適切な塗装を定期的に行えば、鋼材の再利用も可能となり、鉄骨構造はきわめて持続性の高い建築構造になりうるといえる。これは RC 造にもいえる。常時のメンテナンスを適切に行い、コンクリートの中酸化を防ぎ、鉄筋の発錆を防止すれば、長寿命化が可能であると考えられる。また最近では、RC 造解体後のコンクリート廃材のリサイクルの実用化もなされている。

設備側から考えてみると、空調では、全熱交換器、大温度差、低圧損、ファンコイルユニットなどの導入、照明では、Hf 型蛍光灯、昼光利用、衛生では、節水等の省エネ手法がとられている。

構造強度についてみてみると、日本の場合、地震力に対する検討を最重要課題としている。純ラーメン構造では、柱の断面積は地震荷重に比例して大きくなるが、耐震壁がある場合はこれも考慮される。また、長柱化や鉄筋を増やすなどして柱自身のじん性を上げたり、ブレースを挿入することでも、強度を上げることができる。地下では建物は地面と一体となって揺れるので、地上に比べ地震力に対して有利であるといえる。その他、免震や制震などの技法もある。

これらのさまざまな技法を踏まえ、構造強度と運用エネルギーの両方に強く作用すると考えられるのは、耐震壁の壁厚を大きくすることと、地下に埋めることである。前者は、建物自身の強度を上げながら、壁厚によって外部からの熱負荷を減少させる。後者では、作用する外力を減少させることで相対的に強度を上げ、外部からの熱負荷は地中に埋めることで減少させる。このとき、地下に埋める前と同等の耐力を持たせるとすると、地下に埋めた場合は埋める前よりも構造部材の強度を下げるができる。本研究では、将来における地下空間の有効活用も視野に入れて、後者の手法を選択した場合の検討を行う。

具体的な手法としては、LCA（ライフサイクルアセスメント）を日本建築学会地球環境委員会がホームページ上で公開している「建物の LCA 計算ソフト Ver.1.3.2」（日本建築学会地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会版）と「MICRO PEAK / 2000 WINDOWS 版」（日本設備技術者協会）を用いて 8F モデル事務所を 1 層ずつ地下に埋めていった場合を仮定し、このときの運用エネルギー変化と構造変化を考慮し、LCA を試算、検討し環境負荷低減策の資料とする事を目的としている。

1.2 「ライフサイクルアセスメント」とは

ライフサイクルアセスメント（LCA）とは、製品やサービスに関する環境マネジメント支援技法であり、1997年6月に、ISO14040（環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント - 原則及び枠組み）が国際規格となり、それが和訳されて、同年11月に日本工業規格JISQ14040となった。LCAは、製品及びサービスに付随する環境側面と潜在影響を次の事項に従って評価する技法である。

製品システム及びサービスシステムに関連する入力及び出力のインベントリ（inventory - 明細目録）をまとめること。

これらの入力及び出力に付随する潜在的環境影響を評価すること。

インベントリ分析段階及び影響評価段階に結果を調査の目的に応じて解釈すること。

LCAは、製品の原材料から製造、使用及び処分に至る生涯を通しての、環境側面及び潜在的影響を調査するものである。考慮すべき環境影響の領域としては、資源利用、健康及び生態系への影響が含まれる。規格では、LCAには次の4項目を含まなければならない。

1. 目的及び調査範囲の設定
2. インベントリ分析
3. 影響評価
4. 結果の解釈

目的に応じて、微視的に見るか巨視的に見るかを決定する。細部の検討であれば、基礎素材レベルの環境負荷原単位を使って積み上げ式で分析し、全体像として検討するのであれば、製品レベルまたはサービスレベルでの環境負荷原単位を利用するのが便利である。また、日本としての二酸化炭素排出量削減対策を検討するのであれば、検討範囲を日本国内に限定した環境負荷原単位が適している。一方、もっと長い目で日本の世界に対する貢献策を検討するのであれば、輸入品の製造やその他の海外での活動まで考慮に入れた環境負荷原単位を適用する必要がある。

インベントリ分析とは「対象とする製品システムに対する、ライフサイクル全体を通しての入力及び出力のまとめ、並びに定量化を行うライフサイクルアセスメントの構成段階」と定義されている。すなわち、ライフサイクル各段階で、インプット・アウトプットされる全ての原材料とエネルギー及び廃棄物の量を一覧表に整理し、定量化する作業であ

る。しかし、全ての環境負荷を漏れなく、しかも境界条件を揃えて定量化することは不可能であり、適用目標と適用範囲を明確にした上で、分析を行わなければならない。

影響評価とは、設計～建設～運用～改修～廃棄などの建物の各段階でインベントリ分析された各々の環境負荷量を総合的に評価するプロセスである。地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化影響、水質汚濁、人体への影響など、それぞれの環境への影響の重みは社会背景などに左右され、時代とともに変わってゆくものである。現在、二酸化炭素排出量削減が重要視されるのは、地球温暖化を最重要課題としているからである。

結果の解釈は、影響評価の結果を基に、検討対象としている建築の機能を損なうことなく、一定の環境負荷または、環境影響評価の結果を解釈し、改善策に結びつけるためのプロセスである。建築の評価は、環境 LCA だけで下されるのではなく、経済性、快適性、利便性、安全性、信頼性などの諸性能も同時に評価する必要がある。エネルギー費や環境対策費用など、将来の世代に大きなツケを回す現状の価格体系の下では、環境負荷評価と経済評価では、相反する選択をせざるを得ないことも多い。

1.3 「建物の LCA 計算ソフト Ver.1.3.2」とは

1.3.1 ソフトの概要

1997年に日本建築学会が公表した「建築物の生涯二酸化炭素放出量(LCCO₂)の30%削減、耐用年数100年以上を目指すべき」を受けて、地球環境委員会はLCCO₂の実用的算出法の指針を提案、また1990年産業連関表を利用したCO₂、一次エネルギー、SO_x、NO_xの各原単位からなる建物評価用LCAデータベースとしてまとめた。また1998年11月に東京と京都でシンポジウムを行い、広く意見を求めた。これらを踏まえて2年の歳月を費やして鋭意検討を重ね、LCCO₂に加えてLCNO_x、LCSo_x、LCE、LCC等を設計段階において簡易計算できるようにしたものである。このソフトは1998年11月に出版された「建物のLCA指針(案)」付録のCD-ROMで公表されたものが2002年7月に改定され、地球環境委員会のホームページ上で公開されている。

1.3.2 算定手順

建物のライフサイクルは、設計に始まり、新営工事、運用、改修、廃棄処分に至る各段階に分けられる。

設計～ 新築工事～ 建替工事～

運用エネルギー～ 維持管理～

修繕～ 改修工事～ 廃棄処分～

運用エネルギーに係わる環境負荷は、建物の半分以上を占めるため、検討精度を高めるべき部分である。

維持管理に係わる環境負荷は、主として人手による部分であるため、LCEの中では数%に過ぎない。しかしLCCの中では、エネルギー費用以上に大きな割合を占めることが多い。このため、維持管理費の算定に重点を置き、これに金額あたりの環境負荷原単位を乗じて算定する。

新築工事、建替工事、修繕、改修工事、廃棄に係わる環境負荷は、新築工事の環境負荷を算定しておくことによって、これに修繕率、更新周期、建替周期、廃棄物搬送距離等の計算条件を組み合わせることによって算定する。

評価対象期間中には、新築、建替、改修、解体などの各種工事によって建物が使えなくなる期間を含めず、実際に使える期間を持って評価対象期間とする。

更新周期は、建物を構成する各部位の取替え期間であり、各部材ごとに異なる。

修繕率は、各部位ごとに1年間あたりの%値として設定する。

新築工事の環境負荷算定はコンクリート工事の二酸化炭素排出量の算定を例に以下の式で算定される。

$$\begin{aligned} & \text{コンクリート工事二酸化炭素排出量} \\ & = \text{延べ床面積あたり物量} \times \text{補助物量} \times \text{二酸化炭素原単位} \div 1000 \end{aligned} \quad (1.1)$$

他の項目についても同様に計算することによって、新築工事と資材製造と流通に係わる二酸化炭素排出量を算定する。現場での燃料消費、共通仮設、現場経費、一般管理費に係わる二酸化炭素排出量については、設計初期段階で詳細に積み上げることが困難である。このため、建設部門分析産業連関表を利用して工事全体の環境負荷を算出する。

修繕に係わる環境負荷は、新築工事に係わる工事細目別の二酸化炭素排出量に工事細目別の修繕率を乗じ、これに新築工事の直接工事分の二酸化炭素排出量に対する共通費分を含む二酸化炭素排出量の比率を乗ずることによって算出する。

$$\begin{aligned} & \text{修繕に係わる二酸化炭素排出} \\ & = \{ \text{工事細目別新鋭工事二酸化炭素排出量} \times \text{工事細目別修繕率} \div 100 \} \times \{ \text{新築工事の} \\ & \text{共通費分を含む二酸化炭素排出量} \div \text{新築工事直接工事分二酸化炭素排出量} \} \end{aligned} \quad (1.2)$$

改修工事に係わる環境負荷を求めるには、改修工事と建替工事の重複を避けるため、まず、更新周期の異なる工事細目毎に改修工事回数を下式により求める。

$$\begin{aligned} & \text{工事細目別改修工事回数} \\ & = \{ \text{評価対象期間} \div \text{建替周期} \} \times \{ \text{建替周期} \div \text{更新周期} - 1 \} \end{aligned} \quad (1.3)$$

改修工事の環境負荷は下式で算定される。

$$\begin{aligned} & \text{改修工事の二酸化炭素排出量} \\ & = \{ \text{工事細目別新築工事の二酸化炭素排出量} \times \text{工事細目別改修工事回数} \} \div \text{評価対象期} \\ & \text{間} \times \{ \text{新築工事の共通費分を含む二酸化炭素排出量} \div \text{新築工事の直接工事分二酸化炭素排} \\ & \text{出量} \} \end{aligned} \quad (1.4)$$

廃棄処分の環境負荷として、修繕、改修、解体時に発生する建設副産物の運搬に係わる部分までをまとめて計上する。再資源化、焼却、埋め立ての最終処分に係わる部分は、データ整備が十分でないことから、このソフトには含まれていない。

廃棄処分に係わる二酸化炭素排出量

$$= \{ \text{搬出重量} \div \text{積載率} \times \text{運搬距離} \} \times \text{道路貨物輸送二酸化炭素原単位} \quad (1.5)$$

設備工事に係わる二酸化炭素排出量削減対策は、省エネルギー対策が中心であり、設備の資機材製造や工事に係わる二酸化炭素排出量は少なく、削減余地が少ない。また、設備工事に係わる二酸化炭素排出量の算定には多大な労力を要する。このため、ここでは設備工事実績等の統計データを利用して作成したデータベースから、該当するものを選択する。

設計監理に係わる環境負荷は、新築工事、建替工事、改修工事の設計監理委託する場合に計上するもので、主として人手による。そのため LCCO₂ の中では 1% に満たない。このため、設計監理委託金に金額あたりの環境負荷原単位を乗ずることによって算定する。

このソフトは、建物の構造と規模、初期建設の単位面積当たり資材物量、エネルギー消費量等を入力することで、データベースを利用し LCA を概算できる。ただし、構工法や設備システムなどの部分は大胆に簡略化されており、事前に資材物量やエネルギー消費量を詳細に算出し入力する必要がある。また、産業連関表利用のデータベースに起因する限界がある。従って、随時更新する必要がある。建物の規模は延べ床面積による入力のみで、階数などは考慮されない。つまり、同じ床面積でも横に広い場合と上に高い場合があり、そのとき工事方法の違いなどにより建築コストが異なってくる可能性があるが、それは考慮されない。このため、各項目に補正值が設けられ修正できるよう配慮されている。

1.4「MICRO PEAK / 2000 WINDOWS 版」とは

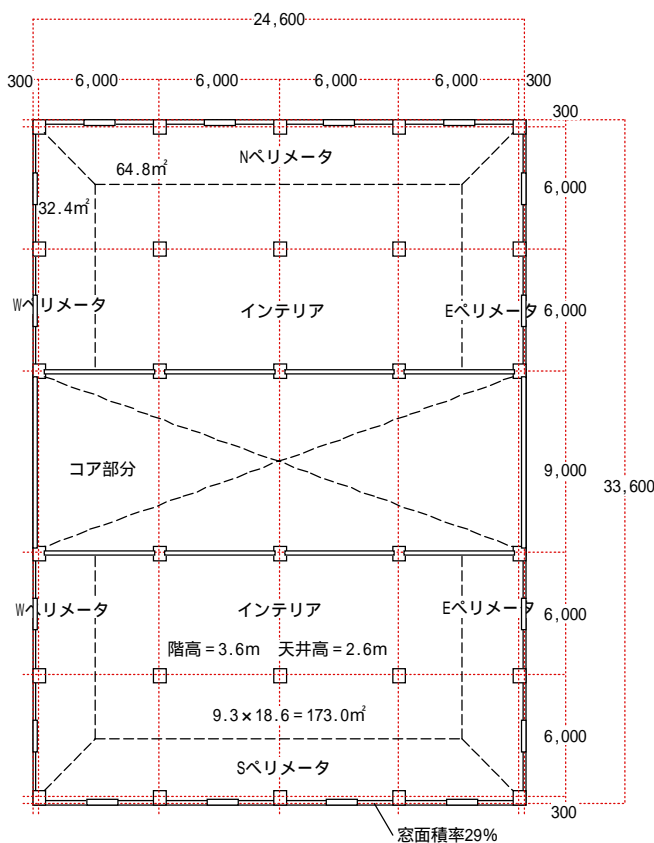
建築設備技術者協会から発売されている動的熱負荷計算を行うためのソフトである。ゾーンごとに外壁、内壁、天井、床、窓、方位、運用スケジュール照明、人体、機器、外気量などを入力する事で冷暖房設計用の設計計算と、月ごとに平均的な 1 日の負荷を 1 時間単位で出力した年間計算が出力されるソフトである。気象データ(25 地区)、材料データ、重み係数、人体発熱データがソフト内にある。従来の「MICRO PEAK / 1987」からの変更点は、WINDOWS で使用できる、単位を SI 系に変更、気象データをバイナリーファイルからテキストファイルに変更することで気象条件の確認が可能、材料の特性値をプログラム上で変更できる、表計算できるファイル出力の付加、SI 単位系への移行などがある。

第2章 LCA 計算ソフトへの入力条件

2.1 構造の入力条件

2.1.1 検討対象

「建物のLCA指針(案)」の「第五章 事務所の検討例」を参考にし下図に示すモデルビルを基準とし、1層ずつ地下に埋めていった場合を仮定した。このとき、地上階数、地下階数によって、法律上の規制を受ける場合があるがこれについては無視した。



建物用途：事務所/延床面積：7583.4m /構造：RC造/階数：8階
空調方式：各階8ゾーンの分散型空調機/熱源：ガス吸収式冷温水機
給水方式：圧力給水方式/給湯設備：個別の貯湯式電気温水器
耐用年数：35年/所在地：名古屋

図2.1 モデルビルの概要

2.1.2 初期建設の投入資材の決定

実務設計者へのヒアリングを参照すると、現在の試算は中低層の建物では階数に拘わらず、 C, F, R の値を次のように決めている。

地上階	$C = 0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$F = 6.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$R = 160 \text{ kg}/\text{m}^3$
地下ナシの基礎	$C = 0.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$F = 3.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$R = 120 \text{ kg}/\text{m}^3$
地下ナシの土工事	$E = 2.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$M = 0.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$	
地下1階	$C = 0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$F = 6.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$R = 140 \text{ kg}/\text{m}^3$
地下アリの基礎	$C = 1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$F = 3.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$R = 120 \text{ kg}/\text{m}^3$
地下1階の土工事	$E = 7.0 \text{ m}^3/\text{m}^2$	$M = 9.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$	$B = 1.0 \text{ m}^2/\text{m}^2$

C : 延床面積あたりコンクリート量

F : 型枠量

R : 鉄筋量

E : 掘削量

M : 山留面積

B : 切梁面積

今回、RC8階の建物を標準構造として上記の値を取るようにし、その他の階数の建物に対しては、必要強度に応じて C の値を決め、 F, R については一定とした。 E, M, B は地下階数に比例するとして、値を決めた。

2.1.2 - 1 躯体・外壁

コンクリート量について

RC8階建ての試設計

6m×6mグリッドとする。このとき1階柱の断面積 a_1 は

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{N}{0.2F_C} \\
 &= \frac{1.2 \times 36 \times 8 \times 10^3}{0.2 \times 210} \\
 &= 8,229 \text{ cm}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

N : 1階柱の概算軸方向力 = $1.2 \times$ 負担面積 \times 階層数

F_C : 設計基準強度 = 210 kg/m^2

2階から8階の柱については次式で求める。

$$i\text{階柱断面積} = \frac{i\text{階の設計地震層せん断力}}{1\text{階の設計地震層せん断力}} \times 1\text{階柱断面積}
 \tag{2.2}$$

各階の設計地震層せん断力を求めるために次の仮定をする。

- 地震荷重計算用各層重量 : W_i は等しい
- 階高 = 3.6 m
- 建物高さ : $h = 3.6 \times 8$
= 28.8 m
- 1次固有周期 : $T = 0.02h$
= 0.58 s
- $Z, R_i = 1.0$
 - Z : 地震地域係数
 - R_i : 振動特性係数
- 階数 : $n = 8$

以上より

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1 + 3T}
 \tag{2.3}$$

$$Q_i = C_o(n-i+1)W_i \cdot A_i \cdot Z \cdot R_i \quad (2.4)$$

$$q_i = \frac{Q_i}{C_o \cdot W_i \cdot n} \quad (2.5)$$

A_i : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布を表す係数

Q_i : i 層の層せん断力係数

$$q_i = \frac{i\text{階の設計地震層せん断力}}{1\text{階の設計地震層せん断力}}$$

q_i の平均値は 0.699 となるので、平均断面積： \bar{a}_i は

$$\begin{aligned} \bar{a}_i &= a_1 \cdot q_i \\ &= 8,229 \times 0.699 \\ &= 5,752 \text{ cm}^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

柱高さ： $h = 3.6\text{m}$ 、床面積： $L = 36 \text{ m}^2$ より

柱のみのコンクリート量： C_p は

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{\bar{a}_i \cdot h(10^{-2})^2}{L} \\ &= \frac{5,752 \times (10^{-2})^2 \times 3.6}{36} \\ &= 0.058 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

大梁の断面は応力を求めてからでない決められないが、全てを計算して求めるのは大変な手間なので、次のような概算方法が用いられている。すなわち、2階大梁についてのみまず応力を計算し、3階以上の大梁については最初に求めた2階大梁の断面を基準にして、梁せいを1~2階増すごとに5cmずつ低減しながら、各階の断面を求めていくというや方で概算される。また、梁幅の一般的寸法は25,30,35,40,45であり、屋根大梁の寸法は一般に35×60である。以上から下表のように各階の大梁の寸法を仮定する。

表 2.1 大梁の寸法

	梁幅 (cm)	梁せい (cm)	断面積 (cm ²)
R G	35	60	2,100
8 G	35	65	2,275
7 G	40	65	2,600
6 G	40	70	2,800
5 G	40	70	2,800
4 G	40	75	3,000
3 G	40	80	3,200
2 G	40	85	3,400

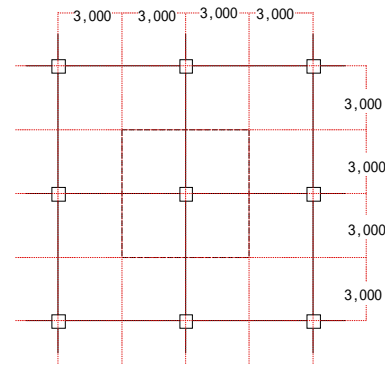


図 2.2 6 m × 6 m グリッド

大梁の平均断面積は 2,772 m² で、6 m × 6 m グリッドの場合、大梁は柱 1 本あたり 12 m である。よって、大梁のコンクリート量：C_B は

$$\begin{aligned}
 C_B &= 2,772 \times (10^{-2})^2 \times \frac{12}{36} \\
 &= 0.092 \text{ m}^3 / \text{m}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

床スラブの厚さを 15 cm とすると、床スラブのコンクリート量：C_S は

$$C_S = 0.15 \text{ m}^3 / \text{m}^2
 \tag{2.9}$$

床スラブと大梁は一体であるため、その分を差し引かなければならないが、小梁を考慮に入れ相殺として扱う物とする。すなわち、C_S は小梁のコンクリート量：C_A を含んでいるとする。

以上より

$$\begin{aligned}
 C_p + C_B + C_S &= 0.068 + 0.092 + 0.15 \\
 &= 0.15 \text{ m}^3 / \text{m}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

建物全体のコンクリート量は 0.6 m³/m² としているので、残り 0.3 m²/m³ の説明が要る。R C 造の場合、耐震壁や雑壁、階段など多くの要素があるが、ここでは大胆に 0.3 m²/m³ の内 0.15 m²/m³ を耐震壁のコンクリート量：C_W、残り 0.15 m²/m³ をその他の非構造材のコンクリート量：C_Z とする。

建物の強度に強く関係するのは柱、大梁、耐震壁であり、これらのコンクリート量 C_R は RC8 階建ての建物で $0.3 \text{ m}^2/\text{m}^3$ である。階数が異なる建物は C_R が柱の平均断面積に比例して変化すると仮定して考える。

$$C_R = C_P + C_B + C_W \quad (2.11)$$

残りの床スラブや雑壁、その他は耐震性能や建物階数に依存しないとし、このコンクリート量 C_N は $0.3 \text{ m}^2/\text{m}^3$ とする。

$$C_N = C_S + C_Z \quad (2.12)$$

よって地上階のコンクリート量： C_i は

$$C_i = C_R + C_N \quad (2.13)$$

地下部については主として鉛直荷重を考えればよいので、水平力に対しては考えないこととする。標準値を RC 造地上 7 階地下 1 階の建物で $C = 0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ とする。地下階では壁厚が地上階標準 15 cm に対し、地下 1 階標準 25 cm、地下 2 階標準 30 cm と地上階の 2 倍にもなるが、今回は地上階 15 cm、地下階 25 cm で一定とし、このことも考慮に入れ、地下階のコンクリート量： C_j は

$$C_j = 0.3 + 0.5\gamma \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\text{当該柱断面積}}{\text{RC8階建て建物の1階柱断面積}} \\ &= 1 - \frac{\sum j}{8j} \end{aligned}$$

とする。

C_i 、 C_j はそれぞれ地上階のみ、地下階のみの単位面積あたりの平均コンクリート量である。したがって、建物全体の平均コンクリート量： C は

$$C = \frac{i \cdot C_i + j \cdot C_j}{8} \quad (2.15)$$

上記の計算結果を下表にまとめる。

表 2.2 延べ床面積あたりのコンクリート量

地上階/地下階	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC5/6	RC1/7	RC0/8
地上階 平均コンクリート 量(m ³ /m ²)	0.6	0.56	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39	0.35	0
地下階 平均コンクリート 量(m ³ /m ²)	0	0.8	0.77	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58
全建物 平均コンクリート 量(m ³ /m ²)	0.6	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58

F, R については実務設計に使われている値を引用した。

$$\begin{aligned} \text{地上階} & \quad F = 6.0 \text{ m}^2 / \text{m}^3 \quad R = 160 \text{ kg} / \text{m}^3 \\ \text{地下階} & \quad F = 6.0 \text{ m}^2 / \text{m}^3 \quad R = 140 \text{ kg} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

2.1.2 - 2 土工事

掘削量 E は次式により求めた。

$$E_j = j \cdot (E_1 - E_0) + E_0 \quad (2.16)$$

E_j : 地下階数 j 階の掘削量

M, B についても同様に地下階数に比例すると考え次式で値を求めた。

$$M_j = j \cdot (E_1 - E_0) + E_0 \quad (2.17)$$

$$B_j = j \cdot B_1 \quad (2.18)$$

M_j : 地下階数 j 階の山留面積

E_j : 地下階数 j 階の切梁面積

2.1.2 - 3 窓

窓については「建物のLCC指針(案)」の「第五章 事務所の検討例」のデフォルト値を地上8階の値とし、地上階数に比例させ求めた。

$$W_k = \frac{k \cdot W_1}{8}$$

(2.19)

2.1.2 - 4 床・内壁・天井・補助物量

地上階と地下階でこれらの値は、変わらないとし「建物のLCC指針(案)」の「第五章 事務所の検討例」のデフォルト値をもちいた。

2.2 エネルギー消費量の入力条件

2.2.1 空気調和設備

空気調和設備分のエネルギー消費量を算出するには、各々の場合の空調負荷に応じて最適な空調機を選定しなければならないが、今回は各々に対し事務所標準 CEC = 1.5 となるような選定をすると仮定した。MICRO PEAK/2000 WINDOWS 版を用いて空調負荷を計算し、各々の値に CEC を乗じ、そのうち電力消費量とガス消費量の比を「建物の LCA 指針(案)」の「第五章 事務所の検討例」を参考にして、電力消費分を 55 %、ガス消費分を 45 % とした。以下 MICRO PEAK/2000 WINDOWS 版での試算を示す。

空調負荷は地上基準階、地下基準階、屋根部分について試算し、これらを足しあわせることで建物全体の空調負荷を算出した。基準階は図 2.1 のように 8 つのゾーンに分け、外壁、内壁、床、天井、屋根の仕様は図のように設定した。室内条件、運用スケジュールは下表のようにした。

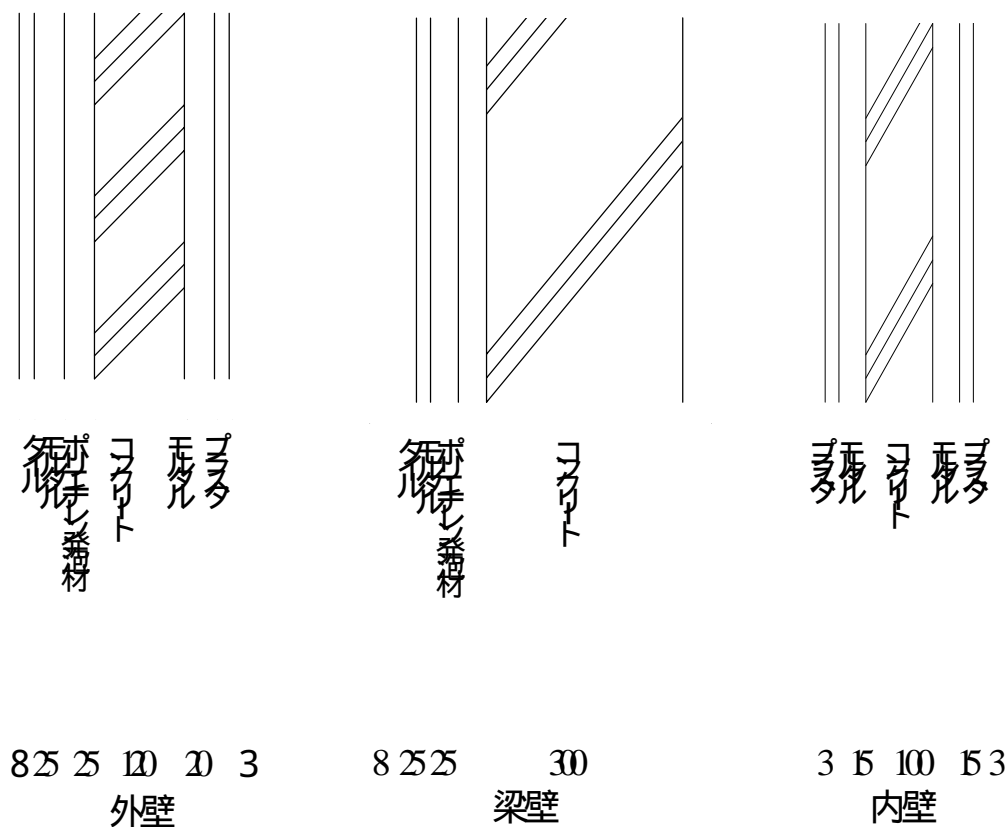


図 2.2-1 壁等の仕様

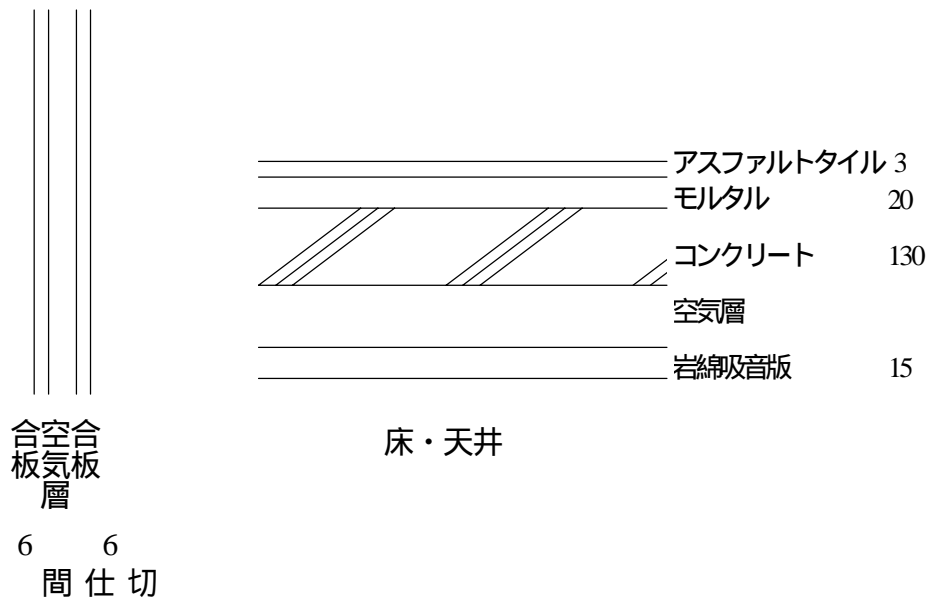


図 2.2-2 壁等の仕様

表 2.3 照明設備、人体運転スケジュール

時間	9~12	12~13	13~18	18~20
照明(地上階)	100%	50%	100%	20%
照明(地下階)	100%	100%	100%	20%
人体	100%	50%	100%	10%

表 2.4 冷暖房運転スケジュール

冷房運転開始時間	8時	予冷終了時間	9時	冷房時室内条件	26℃	50%
暖房運転開始時間	8時	予熱終了時間	10時	暖房時室内条件	22℃	40%
中間期運転開始時間	8時			中間期室内条件	24℃	45%

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
暖房	暖房	暖房	中間期	中間期	冷房	冷房	冷房	冷房	中間期	暖房	暖房

以上の入力条件で各ゾーンの空調負荷を求め、それぞれを足し合わせ屋根、地上基準階、地下基準階の空調負荷を算出した。

表 2.5 年間空調負荷計算結果

	年間負荷(kWh/年)
屋根	606,884
地上基準階	612,321
地下基準階	419,347

2.2.2 照明設備・機器

照明エネルギーをオフィスエリアでは 20 W/m²、共用エリアでは 10 W/m²とし、運用スケジュールを地上階と地下階では上表のように分けた。

$$\begin{aligned} E_{Li} &= (20 \times 605.2 + 10 \times 342.7) \times 8.9 \times 250 \\ &= 34,556 \text{ kWh/m}^2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} E_{Lj} &= (20 \times 605.2 + 10 \times 342.7) \times 9.4 \times 250 \\ &= 36,498 \text{ kWh/m}^2 \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$E_L = i \cdot E_{Li} + j \cdot E_{Lj} \quad (2.22)$$

E_L : 全建物照明設備消費エネルギー
 E_{Li} : 地上階照明設備消費エネルギー
 E_{Lj} : 地下階照明設備消費エネルギー

2.2.3 換気、昇降機、衛生、受変電設備、事務機器

地上階と地下階でこれらの値は、変わらないとし「建物の LCA 指針(案)」の「第五章 事務所」の検討例」のデフォルト値をもちいた。

$$\begin{aligned} E_V &= 75,735 \text{ kWh/年} \quad (10.0 \text{ kWh/年m}^2) \\ E_{EV} &= 17,761 \text{ kWh/年} \\ E_{HW} &= 60,660 \text{ kWh/年} \\ E_{PE} &= 48,180 \text{ kWh/年} \\ E_I &= 145,480 \text{ kWh/年} \quad (20.0 \text{ kWh/年m}^2) \end{aligned}$$

E_V : 換気設備消費エネルギー
 E_{EV} : 昇降機設備消費エネルギー
 E_{HW} : 衛生設備消費エネルギー
 E_{PE} : 受変電設備消費エネルギー
 E_I : 事務機器消費エネルギー

2.3 入力条件のまとめ

表 2.4-1 LCA 計算ソフトへの入力値

構造RC造	延床面積	7,583.4m ²					単位
		使用年数					
		RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	35年
1. 直接仮設		5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	k/m ²
2. 土工・地業	道路貨物輸送	0.71	2.6	4.4	6.2	8.1	m ³ /m ²
2.1 土工事							
2.2 地業	生コン	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	m ³ /m ²
3. 躯体							
3.1 コンクリート	生コン	0.6	0.59	0.59	0.58	0.58	m ³ /m ²
3.2 型枠	合板	6	6	6	6	6	m ³ /m ²
3.3 鉄骨	普通鋼形鋼	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	kg/m ³
3.4 鉄筋	普通鋼小棒	160	158	155	153	150	kg/m ²
4. 外部仕上							
4.1 屋根	プラスチックシート	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
	生コン	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
	ポリエチレン発泡材	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
4.2 外壁	タイル	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	m ² /m ²
	セメント	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	m ² /m ²
	砂	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	m ² /m ²
4.3 外部開口部	板ガラス	0.11	0.1	0.08	0.07	0.06	m ² /m ²
	金属製建具	0.11	0.1	0.08	0.07	0.06	m ² /m ²
5. 内部仕上							
5.1 内部床	ビニルタイル	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	m ² /m ²
	タイル	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	m ² /m ²
	セメント	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	m ² /m ²
	砂	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	m ² /m ²
5.2 内壁	石膏ボード	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	m ² /m ²
	下地鉄骨	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	m ² /m ²
	タイル	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	m ² /m ²
	塗料	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	m ² /m ²
	セメント	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	m ² /m ²
	砂	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	m ² /m ²
5.3 内部開口部	金属製建具	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	m ² /m ²
5.4 天井	岩綿吸音板	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	m ² /m ²
	下地鉄骨	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	m ² /m ²
	塗装	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	m ² /m ²
5.5 断熱	ポリエチレン発泡材	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	m ² /m ²
	ガラス繊維保温	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	m ² /m ²
	ポリエチレン発泡材	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
5.6 内部雑	冷間仕上鋼材	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	m ² /m ²
	セメント	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	m ² /m ²
空調消費電力量		454,200	438,280	422,360	406,440	390,519	kWh/年
空調消費ガス量		1,342	1,295	1,248	1,201	1,154	GJ/年
照明設備エネルギー消費量		276,456	278,398	280,332	282,274	284,216	kWh/年
機械換気設備エネルギー消費量		75,735	75,735	75,735	75,735	75,735	kWh/年
昇降機設備エネルギー消費量		17,791	17,791	17,791	17,791	17,791	kWh/年
衛生設備エネルギー消費量		7,110	7,110	7,110	7,110	7,110	kWh/年
受変電設備エネルギー消費量		48,180	48,180	48,180	48,180	48,180	kWh/年
事務機器エネルギー消費量		145,480	145,480	145,480	145,480	145,480	kWh/年

表 2.4-2 LCA 計算ソフトへの入力値

		RC3/5	RC2/5	RC1/7	RC0/8	単位
1. 直接仮設		5.3	5.3	5.3	5.3	k/m ²
2. 土工・地業	道路貨物輸送	9.9	11.8	13.6	15.6	m ³ /m ²
2.1 土工事						
2.2 地業	生コン	0.16	0.16	0.16	0.16	m ³ /m ²
3. 躯体						
3.1 コンクリート	生コン	0.6	0.59	0.59	0.58	m ³ /m ²
3.2 型枠	合板	6	6	6	6	m ³ /m ²
3.3 鉄骨	普通鋼形鋼	2.6	2.6	2.6	2.6	kg/m ³
3.4 鉄筋	普通鋼小棒	148	145	143	140	kg/m ²
4. 外部仕上						
4.1 屋根	プラスチックシート	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
	生コン	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
	ポリエチレン発泡材	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
4.2 外壁	タイル	0.25	0.2	0.15	0.05	m ² /m ²
	セメント	0.25	0.2	0.15	0.05	m ² /m ²
	砂	0.25	0.2	0.15	0.05	m ² /m ²
4.3 外部開口部	板ガラス	0.04	0.03	0.01	0	m ² /m ²
	金属製建具	0.04	0.03	0.01	0	m ² /m ²
5. 内部仕上						
5.1 内部床	ビニルタイル	0.78	0.78	0.78	0.78	m ² /m ²
	タイル	0.012	0.012	0.012	0.012	m ² /m ²
	セメント	0.16	0.16	0.16	0.16	m ² /m ²
	砂	0.16	0.16	0.16	0.16	m ² /m ²
5.2 内壁	石膏ボード	1.09	1.09	1.09	1.09	m ² /m ²
	下地鉄骨	0.15	0.15	0.15	0.15	m ² /m ²
	タイル	0.014	0.014	0.014	0.014	m ² /m ²
	塗料	1.09	1.09	1.09	1.09	m ² /m ²
	セメント	0.014	0.014	0.014	0.014	m ² /m ²
	砂	0.014	0.014	0.014	0.014	m ² /m ²
5.3 内部開口部	金属製建具	0.04	0.04	0.04	0.04	m ² /m ²
5.4 天井	岩綿吸音板	0.75	0.75	0.75	0.75	m ² /m ²
	下地鉄骨	0.75	0.75	0.75	0.75	m ² /m ²
	塗装	0.04	0.04	0.04	0.04	m ² /m ²
5.5 断熱	ポリエチレン発泡材	0.37	0.37	0.37	0.37	m ² /m ²
	ガラス繊維保温	0.16	0.16	0.16	0.16	m ² /m ²
	ポリエチレン発泡材	0.11	0.11	0.11	0.11	m ² /m ²
5.6 内部雑	冷間仕上鋼材	0.62	0.62	0.62	0.62	m ² /m ²
	セメント	0.62	0.62	0.62	0.62	m ² /m ²
空調消費電力量		374,599	358,679	342,759	326,838	kWh/年
空調消費ガス量		1,107	1,060	1,013	966	GJ/年
照明設備エネルギー消費量		286,158	288,100	290,042	291,984	kWh/年
機械換気設備エネルギー消費量		75,735	75,735	75,735	75,735	kWh/年
昇降機設備エネルギー消費量		17,791	17,791	17,791	17,791	kWh/年
衛生設備エネルギー消費量		7,110	7,110	7,110	7,110	kWh/年
受変電設備エネルギー消費量		48,180	48,180	48,180	48,180	kWh/年
事務機器エネルギー消費量		145,480	145,480	145,480	145,480	kWh/年

第3章 LCA 計算ソフトの解析結果

3.1 解析結果

構造強度を、実務で使われている標準的なものを考え、それを一定に地上にある場合と地下に下げた場合で比較した。すなわち、地下では、地震に対して地上よりも有利な分、柱などは細くした。また、外部開口を無くし、外壁仕上げも変化させた。

その結果、LCE は多少の増減はあったが、全体としてはほとんど変化しなかった。LCCO₂ は地下に下げるにつれて、微量ながら増加した。LCC は、大きく増加し全て地下に埋めた場合では、地上 8 階に比べ 13% も増加した。

新築工事や廃棄、維持管理などは人手によるもので、二酸化炭素排出量の割合は少ないものの、費用では大きな割合を占める。それに対して運用エネルギーは電力やガスの消費が主で、二酸化炭素排出量は大きいコストでは全体に占める割合は、小さくなる。その結果、新築工事等の影響が強く現れてコストの大幅な増加につながったと考えられる。地下に階数を増やすことで増加した新築工事等のエネルギーと、地下に埋めることで減少した運用エネルギーがちょうど相殺し合い LCE と LCCO₂ はほとんど変化しなかった。

表 3.1 使用年数 35 年の場合の LCA

35年使用

インベントリ種別	エネルギー									
LCI種別	LCE									
LCI種別・単位	LCE(MJ/年m ²)									
削減率	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC2/6	RC1/7	RC0/8	
設計監理	7.03	7.23	7.40	7.60	7.80	7.99	8.21	8.41	8.61	
新築工事	385.76	394.93	403.28	412.22	421.57	430.97	440.31	449.71	459.11	
建替工事	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
修繕	133.23	132.82	132.42	132.00	131.60	131.19	130.78	130.37	129.96	
改修工事	109.76	109.76	109.76	109.76	109.76	109.76	109.76	109.76	109.76	
維持管理	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	
エネルギー	1768.50	1747.80	1726.90	1704.70	1683.70	1661.40	1640.40	1619.50	1597.30	
廃棄処分	13.19	25.66	37.58	49.80	62.03	74.31	86.53	98.81	111.09	
フロン漏洩										
合計	2541.99	2542.72	2541.86	2540.60	2540.97	2540.14	2540.51	2541.08	2540.35	

インベントリ種別	CO2									
LCI種別	LCCO2									
LCI種別・単位	LCCO2(kg-CO2/年m ²)									
削減率	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	
	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC2/6	RC1/7	RC0/8	
設計監理	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.58	
新築工事	28.95	29.47	29.96	30.49	31.07	31.66	32.24	32.84	33.42	
建替工事	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
修繕	8.21	8.18	8.16	8.13	8.10	8.07	8.04	8.02	7.99	
改修工事	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85	
維持管理	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	
エネルギー	86.60	85.70	84.80	83.80	82.80	81.80	80.80	79.90	78.90	
廃棄処分	0.83	1.62	2.37	3.15	3.92	4.69	5.47	6.24	7.02	
フロン漏洩										
合計	140.01	140.41	140.73	141.02	141.36	141.71	142.05	142.51	142.85	

インベントリ種別	コスト									
LCI種別	LCC									
LCI種別・単位	LCC(千円/年m ²)									
削減率	2%	3%	5%	6%	8%	10%	11%	13%		
	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC2/6	RC1/7	RC0/8	
設計監理	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	
新築工事	6.96	7.22	7.47	7.74	8.01	8.28	8.55	8.83	9.10	
建替工事	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
修繕	2.37	2.36	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	
改修工事	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	
維持管理	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	
エネルギー	5.05	5.03	5.00	4.97	4.94	4.90	4.87	4.83	4.81	
廃棄処分	0.16	0.32	0.47	0.62	0.77	0.92	1.07	1.22	1.37	
フロン漏洩	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
合計	24.09	24.49	24.85	25.24	25.63	26.02	26.41	26.80	27.19	

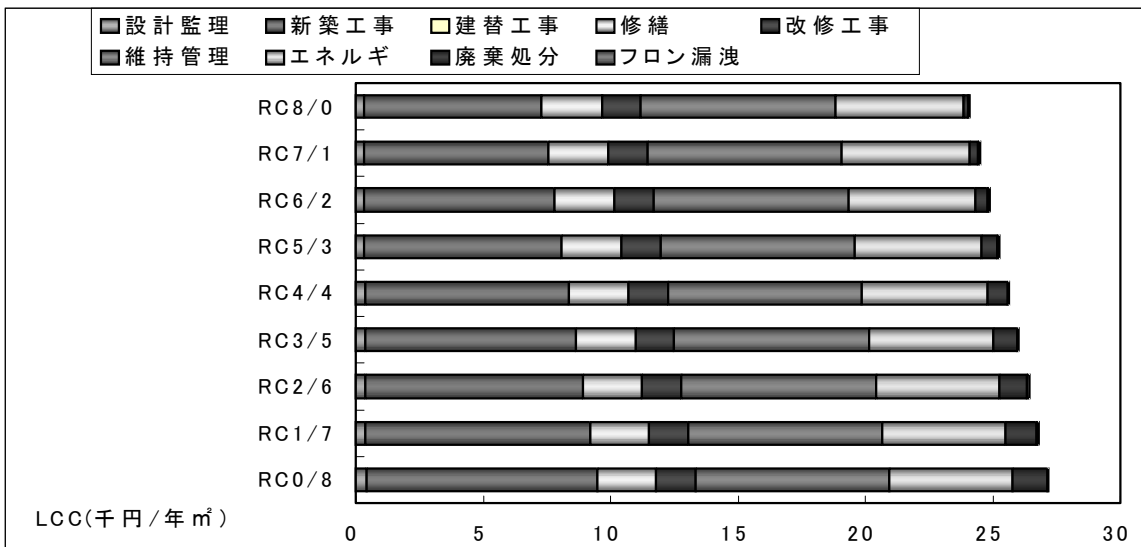
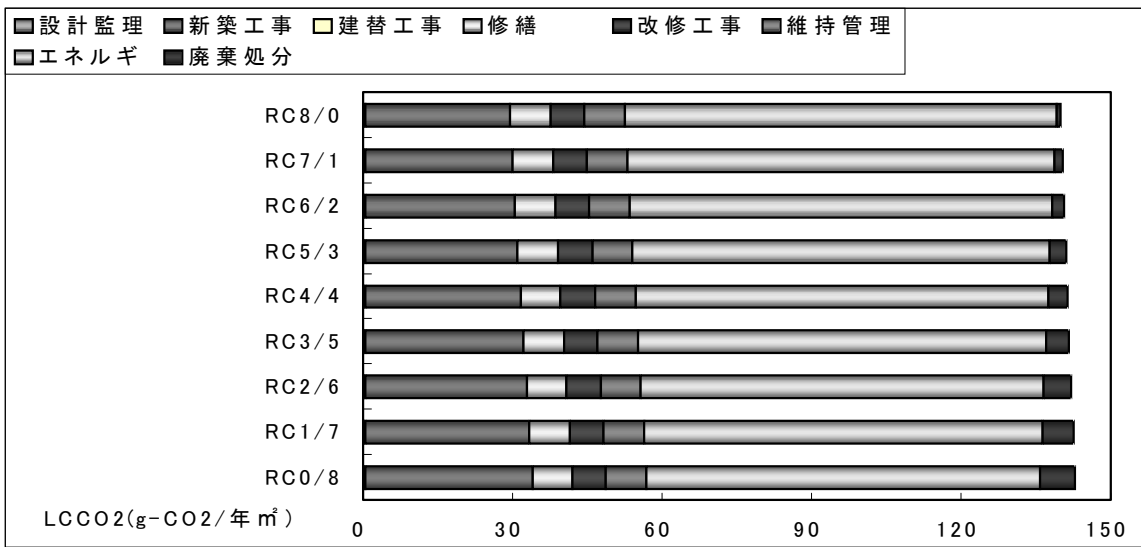
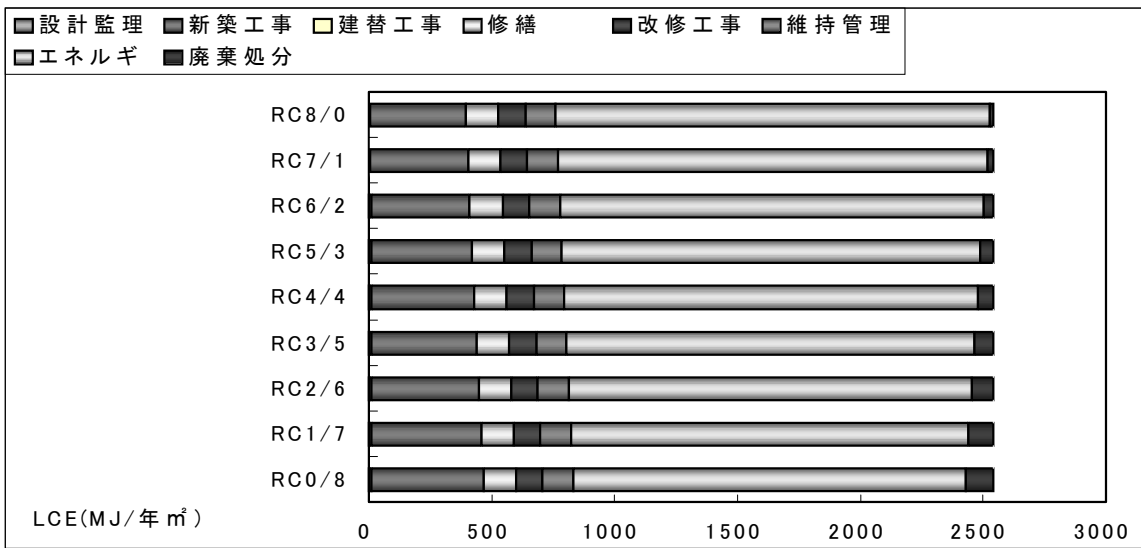


図 3.1 使用年数 35 年の場合の LCA

3.2 モデルビルの面積規模による変化

ここで、仮に床面積を2倍にした場合を考えてみる。床面積に比例して体積は2倍になるが、壁面積は $\sqrt{2}$ 倍の増加に抑えられる。つまり、地下に1層下げるとき、掘削量は元の2倍になるが、外壁からの熱負荷は $\sqrt{2}$ 倍になるのである。従って地下に1層下げたときの新築及び廃棄でのエネルギー増加分よりも、空調負荷減少分の運用エネルギーの減少分が下回ると考えられる。このことから、今回の結果は偶然の一致によるもので、きわめて特異な点であるといえる。しかし、ここで前述の床面積の考え方を逆に利用すると、基準階の床面積をこのモデルよりも大きくとればエネルギーが増加するが、小さくとればエネルギーは減少すると推測できる。

そこで、最も変化が現れるであろう地上8階と地下8階のモデルで面積を2倍にして35年使用した場合と、半分にして35年使用した場合を検討してみた。その結果、面積を2倍にした場合は、地上8階と地下8階を比較してLCEは5%、LCCO₂は6%、LCCは13%それぞれ増加した。面積を半分にした場合は、LCEは12%、LCCO₂は8%も減少し、LCCは11%の増化であった。コストの増加率の変動は少ないが、LCE、LCCO₂は、著しい変化を見せた。このとき、面積を2倍にした場合と半分の場合、基の面積の場合の3つを比較すると、下表のようになった。地上8階の場合、面積が大きくなるにつれ、エネルギー、二酸化炭素排出量が減少した。これは、総床面積が2倍になってもペリ-メータゾーンは $\sqrt{2}$ 倍であるので、床面積あたりの空調負荷は減少したと考えられる。地下に埋めた場合、地上8階の場合と比べると、エネルギーや二酸化炭素排出量は、面積2倍の場合では増加、面積半分の場合では減少するが、面積の差による影響分を受けて、総合的には下表のようになったと考えられる。このことから、大規模な建物の場合は地下に埋めず、小規模な建物の場合には、地下に埋める方が環境負荷削減に対して有効であるといえる。

表 3.2 面積変化による LCA の比較

LCE(MJ/年 m ²)	RC0/8	RC8/0
面積 2倍	2431.17	2314.28
面積 基準	2540.35	2541.99
面積 半分	2448.39	2771.43

LCCO ₂ (kg-CO ₂ /年 m ²)	RC0/8	RC8/0
面積 2倍	138.63	130.52
面積 基準	142.85	140.01
面積 半分	137.76	149.66

LCC(千円/年 m ²)	RC0/8	RC8/0
面積 2倍	27.80	24.53
面積 基準	27.19	24.09
面積 半分	26.41	23.70

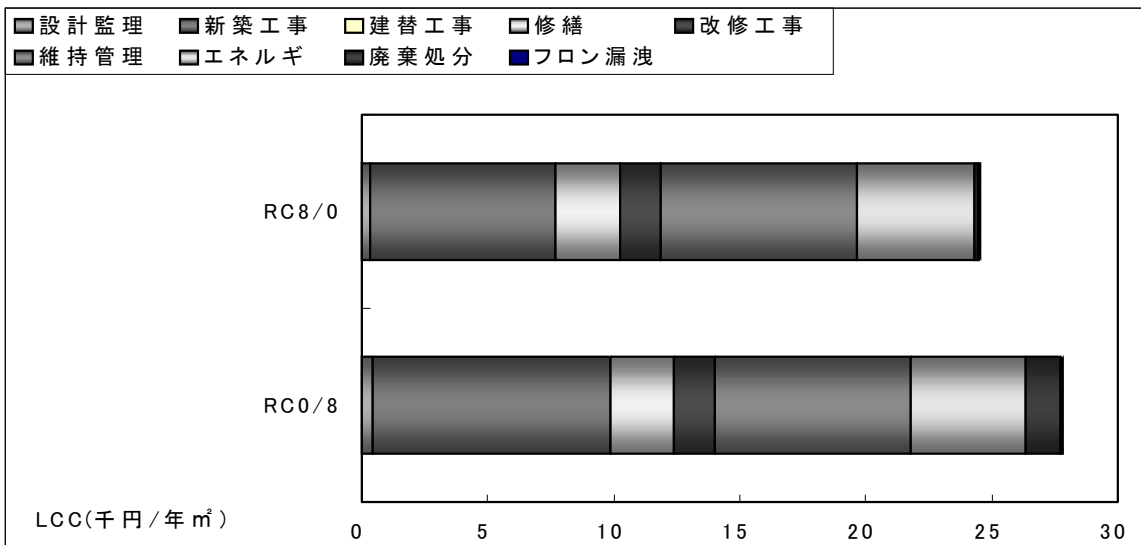
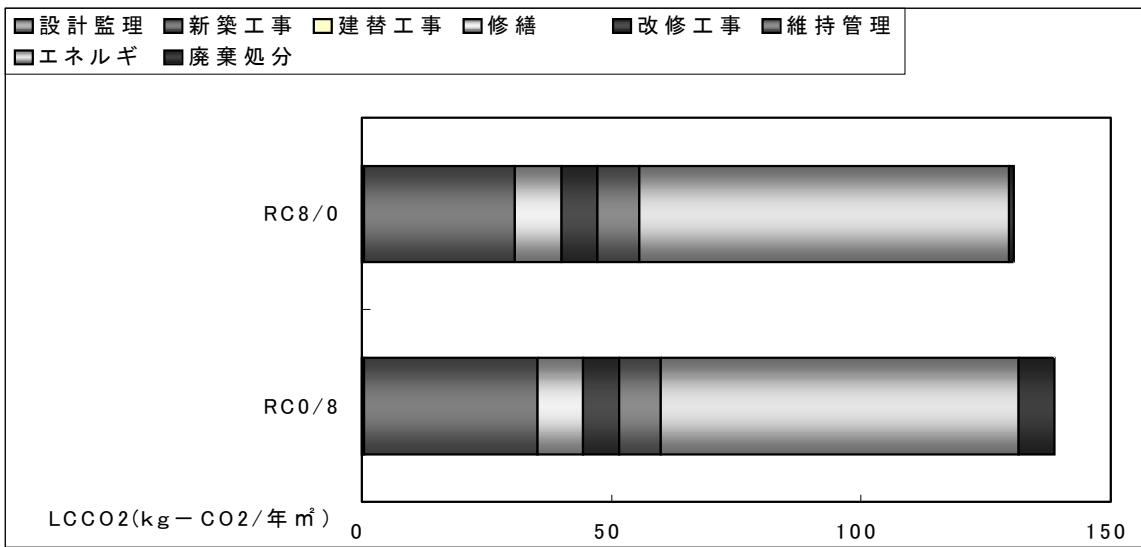
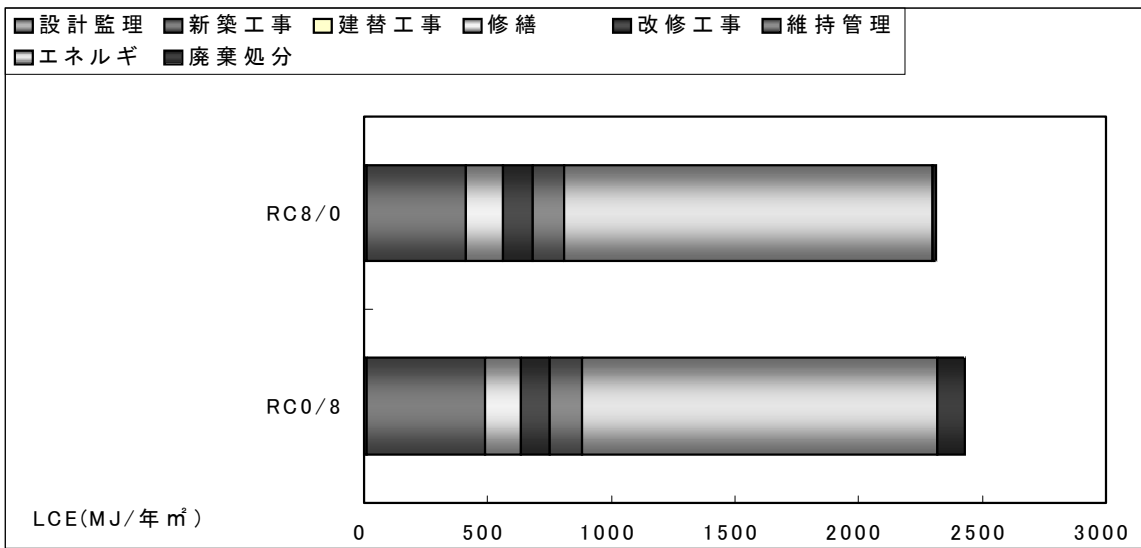


図 3.3 面積を 2 倍にして 35 年使用した場合の LCA

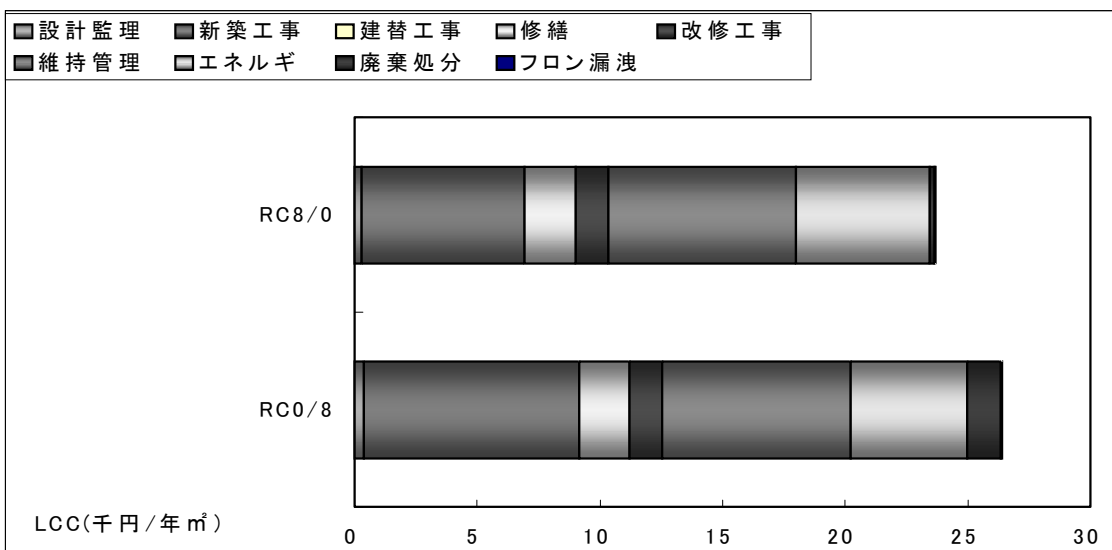
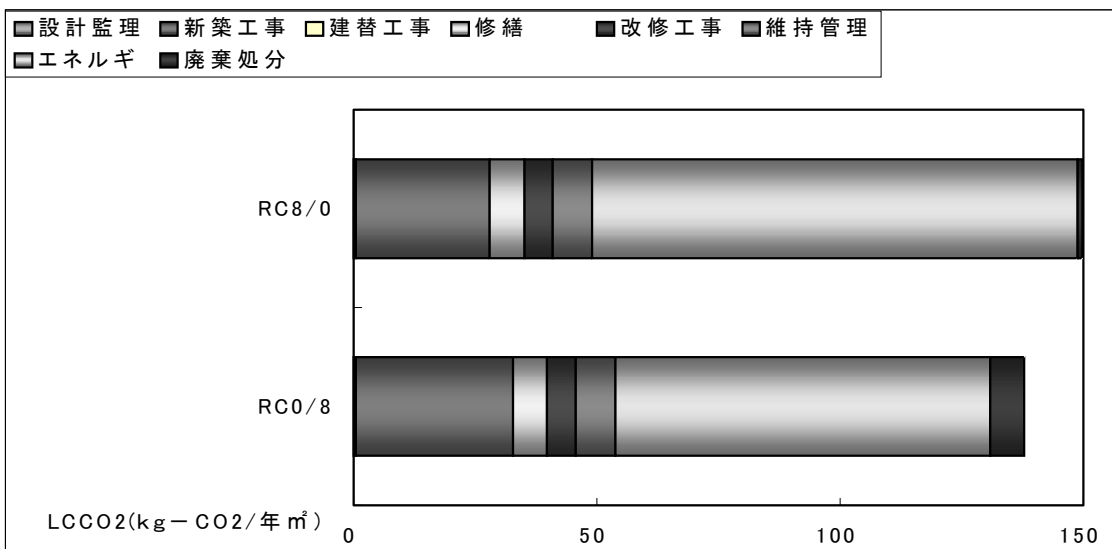
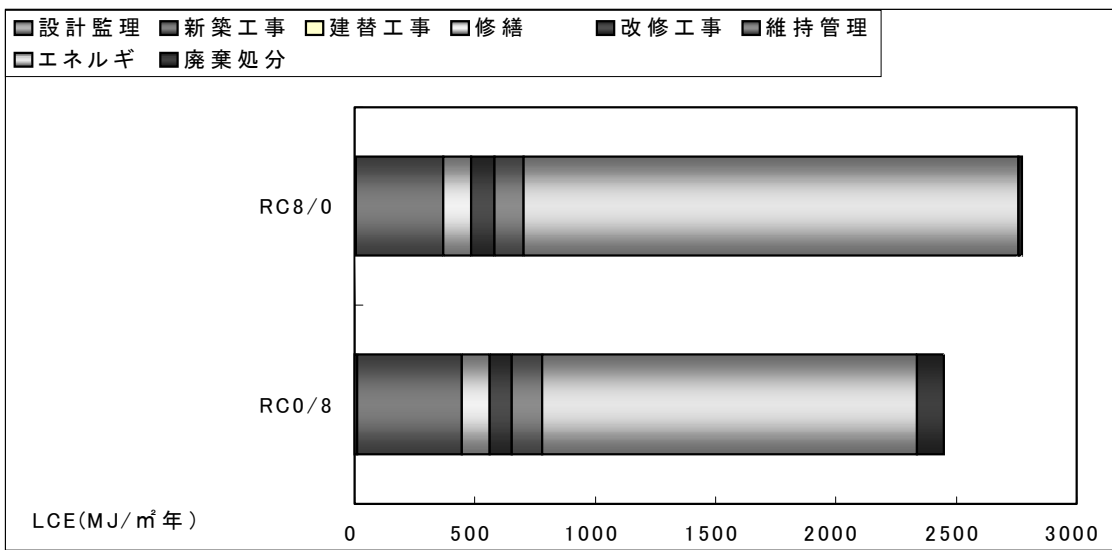


図 3.4 面積を半分にして 35 年使用した場合の LCA

3.3 使用年数による変化

また、基準モデルと同じ建物を 100 年使用した場合、LCC は最高で 3 % 増加したものの、LCE、LCCO₂ はともに地下に行くにつれて減少し、地下 8 階では 4 ~ 5 % 減少した。

この場合、必然として運用エネルギーの占める割合が高く、新築工事の割合は低くなる。その結果、LCE、LCCO₂ は全体として減少したと考えられる。コスト面では、35 年使用した場合に比べると大幅に減少したものの、地上 8 階と地下 8 階のモデルでは数パーセントの増加がみられた。また、地上 8 階モデルで 35 年使用した場合と比較してエネルギーでは年平均で 4 % の削減効果があり、地下 8 階モデルでは、9 % もの削減効果があった。

今回、35 年使用する場合のモデルと 100 年使用する場合のモデルでは構造強度の変化を考えなかった。35 年使用する場合でも、100 年使用する場合でも、地震に対する強度は同じようにあるべきであると考え。長い期間を見れば、その間に何回建替えようが大地震に遭遇する確立は同じである。このことから、長い期間使用するからといって、強度を上げる必要は無いと考える。しかし、一方で長寿命化に伴って構造強度を上げるべきである、という意見が一般的であるので、強度を上げた場合も考えなければならない。構造強度この構造強度変化を考えると、結果は変化すると予測されるが、今後の課題とする。

表 3.3 使用年数 100 年の場合の LCA

100年耐用

イベント/種別	エネルギー									
LCI種別	LCE									
LCI種別・単位	LCE(MJ/年m ²)									
削減率		-1%	-1%	-2%	-2%	-3%	-4%	-4%	-5%	
	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC2/6	RC1/7	RC0/8	
設計監理	6.62	6.66	6.69	6.74	6.79	6.84	6.89	6.94	6.98	
新築工事	135.01	138.23	141.15	144.28	147.55	150.84	154.11	157.40	160.69	
建替工事	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
修繕	133.23	132.82	132.42	132.00	131.60	131.19	130.78	130.37	129.96	
改修工事	249.00	248.18	247.38	246.55	245.74	244.92	244.10	243.28	242.47	
維持管理	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	124.52	
エネルギー	1768.50	1747.80	1726.90	1704.70	1683.70	1661.40	1640.40	1619.50	1597.30	
廃棄処分	5.83	10.19	14.36	18.62	22.89	27.18	31.45	35.74	40.04	
フロン漏洩										
合計	2422.71	2408.39	2393.41	2377.41	2362.79	2346.89	2332.25	2317.75	2301.96	

イベント/種別	CO2									
LCI種別	LCCO2									
LCI種別・単位	LCCO2(kg-CO2/年m ²)									
削減率		0%	-1%	-1%	-2%	-2%	-3%	-3%	-4%	
	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC2/6	RC1/7	RC0/8	
設計監理	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.47	
新築工事	10.13	10.32	10.48	10.67	10.87	11.08	11.29	11.49	11.70	
建替工事	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
修繕	8.21	8.18	8.16	8.13	8.10	8.07	8.04	8.02	7.99	
改修工事	15.44	15.39	15.33	15.28	15.22	15.17	15.11	15.06	15.00	
維持管理	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	
エネルギー	86.60	85.70	84.80	83.80	82.80	81.80	80.80	79.90	78.90	
廃棄処分	0.37	0.64	0.91	1.18	1.45	1.72	1.99	2.26	2.53	
フロン漏洩										
合計	129.29	128.78	128.23	127.60	126.99	126.39	125.79	125.29	124.68	

イベント/種別	コスト									
LCI種別	LCC									
LCI種別・単位	LCC(千円/年m ²)									
削減率		0%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	
	RC8/0	RC7/1	RC6/2	RC5/3	RC4/4	RC3/5	RC2/6	RC1/7	RC0/8	
設計監理	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	
新築工事	2.44	2.53	2.62	2.71	2.80	2.90	3.00	3.09	3.19	
建替工事	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
修繕	2.37	2.36	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	
改修工事	3.92	3.90	3.88	3.87	3.84	3.83	3.80	3.79	3.77	
維持管理	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	
エネルギー	5.05	5.03	5.00	4.97	4.94	4.90	4.87	4.84	4.81	
廃棄処分	0.07	0.13	0.18	0.23	0.28	0.34	0.39	0.44	0.50	
フロン漏洩	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	
合計	21.86	21.96	22.03	22.13	22.21	22.31	22.39	22.48	22.57	

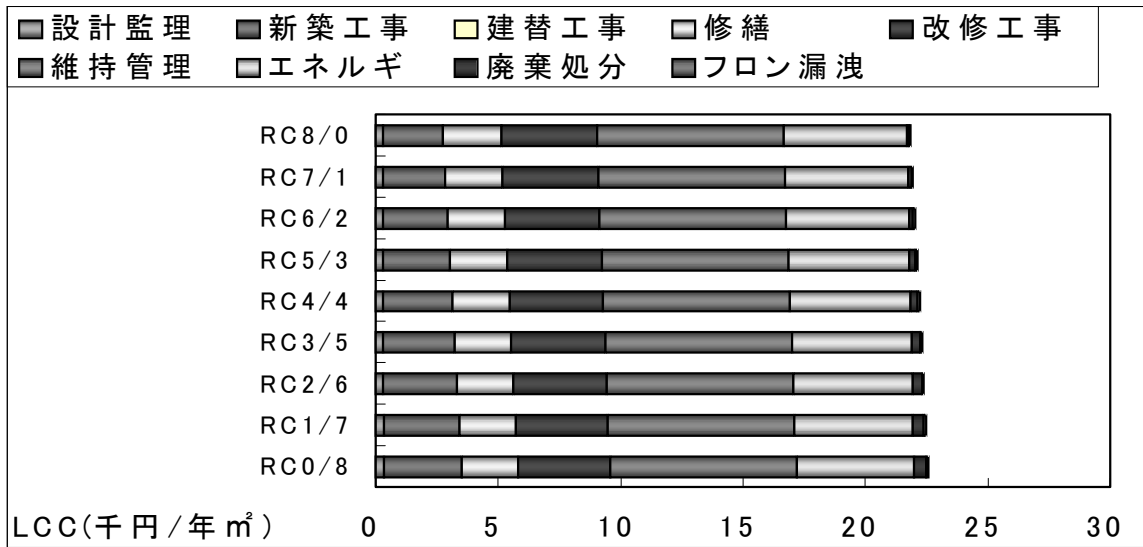
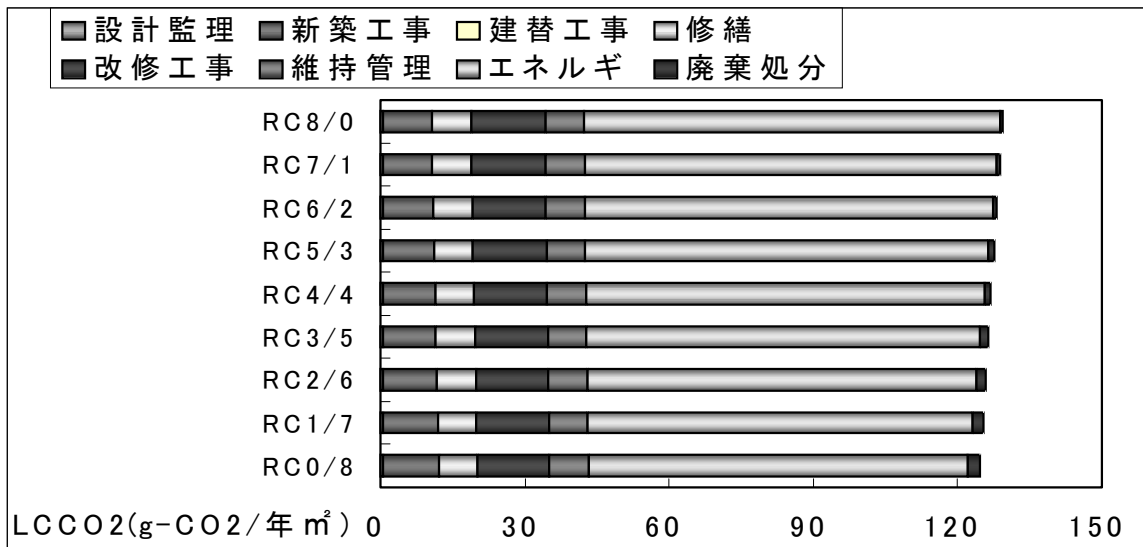
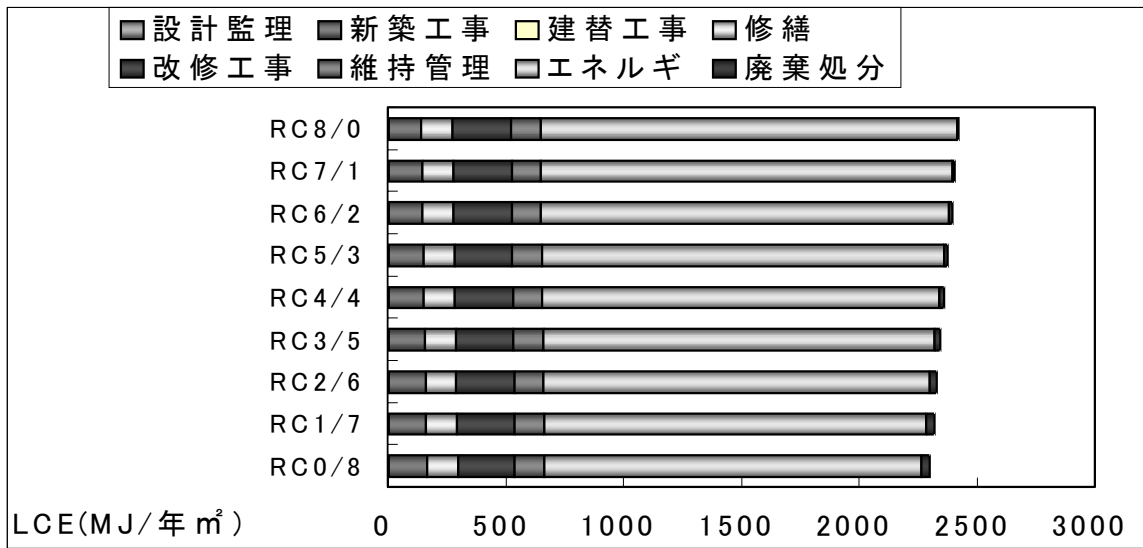


図 3.2 使用年数 100 年の場合の LCA

第4章 総括

本研究では、地下に埋めるという構造形態の変化による環境負荷削減のシナリオを提案し、これについて検討した。その結果、現在の標準的なオフィスビルではこの方法を適用しても環境負荷削減につながらないことを示した。また、1層あたりの床面積は、小さいほどこの対策案では有利であることを明らかにした。建物の長寿命化により、環境負荷を削減できることを確認した。

序章では、本研究の目的である環境負荷削減の必要性とライフサイクルアセスメントの重要性を示した。また、検討手法の概容を示し、本研究に使用したプログラムソフトについて紹介を行った。

第2章では、検討対象とするモデルビルを紹介した。構造形態変化による投入資材料の変化を保有水平耐力評価によって算定し、また、「MICRO PEAK/2000 WINDOWS 版」を用いてエネルギー消費量の変化を算定、その手順を示した。その他、LCA 計算ソフトへの各種入力条件を算定しこれを明らかにした。

第3章では、解析結果をもとに考察し、対応策を提案、検討した。基準階床面積を変化させた場合の検討から、地下に埋める場合には小規模な建物にのみ、環境負荷削減に効果があり。大規模な建物の場合は、地下に埋めるとかえって環境負荷を増加させることがわかった。また、建物の長寿命化による環境負荷削減の効果について、確認することができた。

建築分野での環境負荷削減について、さまざまな手法が提案、検討されているがそのどれもが単体では、目標である二酸化炭素排出量 30%削減に達することができない。しかし、これらの手法を、的確に組み合わせることができれば、達成される値である。その1つの手法として、地下に埋めることの効果を提案できたと考える。

謝辞

この研究を進めるにあたって、さまざまの方たちに多大な御協力をいただきました。皆様の御協力が無ければ、私一人の力で研究を進めることなど到底ない得なかったことと思います。

いろいろな面で至らない私を研究室の先輩方は、優しく丁寧に指導して下さいました。出口先輩、内山先輩、余先輩、徳永先輩というすばらしい先輩方に出会えたことを喜びに感じるとともに、まことに感謝いたします。

河野守先生（独立行政法人建築研究所・上席研究員）におかれましては、本研究の主軸となりました構造について、私の些細な質問にも親身になってお答えいただき、未熟な私のためにご尽力いただきましたことを深く感謝いたします。

奥宮正哉先生（名古屋大学工学総合研究センター・助教授）には、設備の環境負荷について御指導いただきました。本研究で最も重要かつ複雑な問題を、先生のご教授により克服することができました。また、奥宮研究室の小倉さんには、コンピュータに不慣れな私にプログラムソフトの使い方を、懇切丁寧に教えて下さいました。心より感謝いたします。

辻本誠先生（名古屋大学環境学研究科・教授）には、指導教官として公私にわたり御指導いただきました。知見の狭い私にいろいろな知識と教養を教えていただき、本研究におきましても、さまざまなアドバイスをいただきました。心から深く感謝いたします。

この研究を通して、さまざまな方たちに支えられ御指導いただけたことで、私自身成長することができたと思います。この場を借りまして、お世話になりました先生方、先輩方、に深く感謝いたします。

2003年1月 林 啓紀

参考文献

- 1) 日本建築学会 地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会：建物の LCA 指針（案）、1998.1
- 2) 上野嘉久：実務から見た RC 構造設計、学芸出版、1991.4
- 3) <建築のテキスト> 編集委員会：初めての建築構造設計（構造設計の進め方）、学芸出版、1997.4
- 4) 松尾陽 横山浩一 石野久彌 川元昭吾：空調設備の動的熱負荷計算入門、日本建築設備士協会、1980.3
- 5) 岩田衛 堂野前等 久松雄治：建築鉄骨構造のライフサイクルにおける環境負荷削減のシナリオとその評価、日本建築学会構造系論文集 第 533 号、2000.7
- 6) 酒井寛二 漆崎昇 相賀洋 下山真人：建築物のライフサイクル二酸化炭素とその抑制方策に関する研究、日本建築学会計画系論文集 第 484 号、1996.6
- 7) 伊香賀俊治 外岡豊：事務所ビルの設備のライフサイクル環境負荷原単位、日本建築学会計画系論文集 第 529 号、2000.3
- 8) 伊香賀俊治 外岡豊：建築設備の建物用途別ライフサイクル環境負荷原単位、日本建築学会計画系論文集 第 533 号、2000.7
- 9) 滝沢：標準問題の提案（オフィス用標準問題）、日本建築学会環境工学委員会 熱分科会第 15 回熱シンポジウム、1985.9
- 10) 小林誠：リスクベースの LCC 研究の課題、建築雑誌 NO.1494、2002.10
- 11) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、1975.3