

特集

ライフサイクルアセスメント (LCA) - 環境調和型社会の手法

建築物のLCA

—竹中工務店におけるLCA及びLCCへの取り組み—

Life Cycle Assessment for Building - TAKENAKA's Approach to LCA & LCC -

奥田清明*

Kiyooki Okuda

1. はじめに

環境問題への社会的取組みを背景に、建設業においても各企業が、設計・施工活動を通じ、いかに環境負荷削減・環境保全に貢献するかが厳しく問われる時代となってきた。また、厳しい経済環境の中、建築主のコスト意識もより一層厳しさを増しており、建物の新築や改修において、ライフサイクル (LC) を通じた環境負荷評価やコスト評価、そしてそれらのバランスがとれた建築計画・設計が重要となりつつある。

そして、建築主からもライフサイクル (LC) を見通した建築の計画の提案や実施を求められるケースが散見されるようになってきた。

ライフサイクル (LC) 評価に関しては、従来より当社にも建物維持保全計画システムなどのいくつかのツールはあったが、計画段階で戦略的に使用するには不十分であり、1つの建物について環境負荷とコストを総合的に評価するLCA・LCCシステムの整備・統合化が求められるようになってきた。

このような背景を踏まえ、当社においては、パソコン上で稼働し、LCにわたる環境負荷とコストを定量的かつ簡易に算出し評価できるシステムを構築し全社的に展開している。

2. 建物LCAのための構造化分析による考察

建築物は多品種一品生産で、かつ現地で生産される。建築LCA評価に当たっては、建築建設に携わる多数の担当者間での複雑で膨大なプロセスを系統的に理解する必要があり、大規模ソフト開発に多用される構造化分析手法を用いて、建築のLC分析を行った。

建築LCを1つのシステムとして見た場合、図-1¹⁾に示すように、8種の外部からの関係者によりアクセ

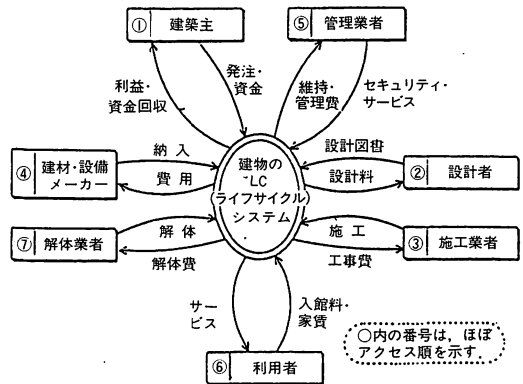
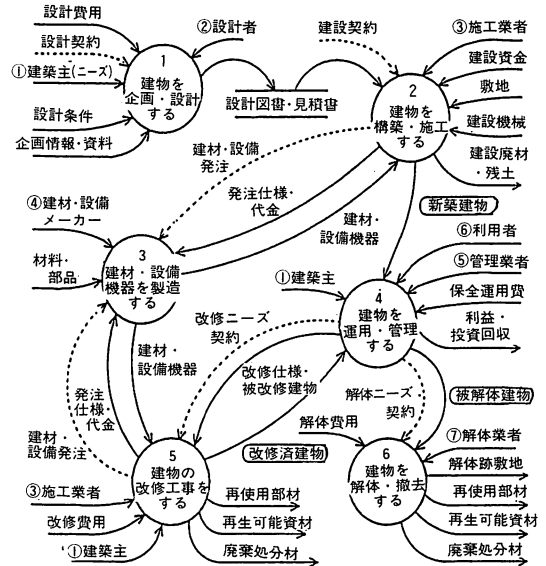


図-1 建物のLCシステム (システム外観図) 1)



[DD] 建築主(ニース) = 建物の [場所+種別+規模+予算+期待収益+(イメージ)+(コンセプト)] = [建設敷地+建物種類+建物規模+投資金額+期待収益]
設計条件=A) 建設種別+B) 許容規模+C) 敷地条件+D) 設備仕様
A) 建物種類 = [事務所|店舗|住宅|宿泊|工場|医療|福祉|教育・研究|倶楽部]
集合|輸送・流通|倉庫|エネルギー|(その他) 施設+外壁+(庭園)
B) 許容規模 = 法的に可能な [高さ+建ぺい率+容積率]
C) 敷地条件 = 敷地の [形+広さ+高低差] + 建築基準法用途規制
D) 設備仕様 = 建物の使用時に必要な設備機器 [受電+配電設備+空調機器+照明+衛生+ガス+エレベーター|(エスカレーター)|(その他)] の容量などの仕様

図-2 建物のLCプロセス (DFD-0) 1)

* ㈱竹中工務店 地球環境整備推進室課長

〒104 東京都中央区銀座 8-21-1

スされる。円内の番号はほぼアクセスする順を表す。

また、建築LCをプロセスとして表現したものを、図-2¹⁾に示す。全体で6個の円(バブル)で示されるサブプロセスより構成される。ここで、破線のアローはバブル間の制御行為やある行為を起こす契機を表し、上下の平行線で囲んだものは、ファイル(図書や書類)を示す。各バブル間のアロー(入出力)のうち重要なものを図下に「DD:要求辞書」としてその属性を定義している。

さらに、各サブシステムの内部を同様の手法で下位レベルで展開し、全体としての階層構造を形成する。この膨大な作業により上位から下位の層にまでの各プロセスでの入出力が明らかになり、LCAシステムとして扱う範囲・内容が明確になる。

3. 当社におけるLCA評価システムの概要

3.1 LCA評価システムの概念フロー

当社のLCA評価システムは、前述の構造化分析に基づき、建築の設計段階において次の①～④のような評価を実施することを主目的とし、構築されている。

- ①ストック型建物(長寿命化・更新性のよい建築・設備計画)の評価
- ②建築・設備の省エネルギー評価
- ③エコマテリアル(構造材料、構造形式)・リサイクル(鉄骨鉄筋・セメント等)の評価
- ④既存建築の省エネルギー改修の効果評価

構造化分析で解析したプロセスフローに基づき、図-3のLCA評価システム概念フロー²⁾を作成した。

「1: 建物を企画・設計する」は、設計者が建物全体計画・構造・仕上・設備計画を行うプロセスであり、そこで計画された方式・仕様・容量等を条件として入力するためのサブシステムが必要となる。特にLCAに大きく影響する運用エネルギー量に関しては、その算定のための熱負荷計算、設備システム評価エネルギー消費量算出のサブシステムが重要である。

「2: 建物を構築・施工する」、「3: 建材・設備機器を製造する」のプロセスでは、素材・建材・設備に関する環境負荷原単位やコストデータの整備を行い、建設時の環境負荷やコストを算出する。

「4: 建物を運用管理する」のプロセスでは、建物が竣工後にエネルギーを消費することによって生ずる環境負荷や、光熱費、保守管理費などを算出する。

「5: 建物の改修工事をする」のプロセスでは、改修工事時の建材・設備機器等の製造による環境負荷や

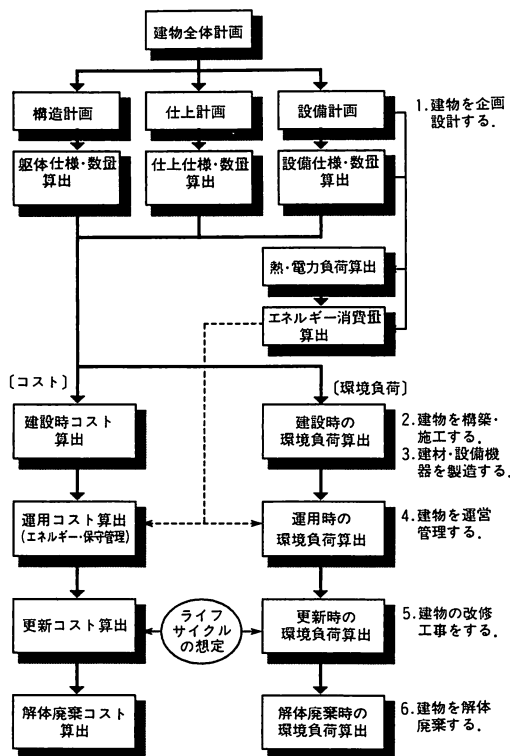


図-3 LCA評価システムの概念フロー

コストを算出する。

最後の「6: 建物を解体・廃棄する」のプロセスでは解体・廃棄運搬の環境負荷、コストを算出する。

このように各LCプロセスの順を追い環境負荷とコストの両面から算定する評価システムの構築にあたっては、以下の点に留意した。

- ①各プロセスを追って定量的に算出できること。
- ②計画初期段階の限られた情報で簡易に算出できる。
- ③できるだけ自社の実績データに基づき算出する。

3.2 LCA評価システムの構成

LCA評価システムの構成概念を図-4²⁾に示す。入力部分としては、構造・仕上・設備の計画内容を入力するサブシステムと、保守管理条件を入力するサブシステムが主なものである。従来からの概算コスト算出のための標準シートと同じ形式として、実務面での混乱を避け、簡便化を図っている。

- ・く体構造材の種類と数量
- ・仕上部材の種類と数量
- ・設備機器やシステムの仕様・容量と数量
- ・保守管理条件等

また、環境負荷を算出するために、以下に示すような

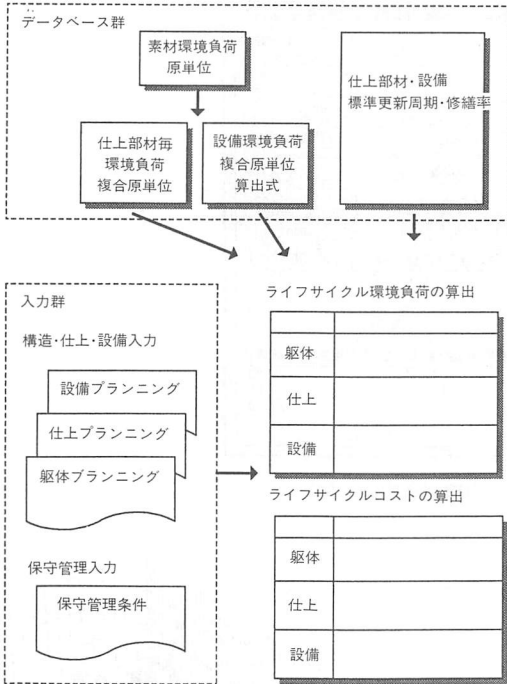


図-4 LCA・LCC評価システムの構成

自社の実績値に基づく約600項目に及ぶ種々のデータベースが、サブシステムとして用意されている。

- ・各素材毎のCO₂排出量原単位
- ・複数素材より構成される仕上部材の複合原単位
- ・設備機器等の仕様・容量別の複合原単位算出式
- ・廃棄物発生量算定式（種別，構造，規模など）
- ・仮設資材に伴うエネルギー消費量（電力，油）
- ・仕上部品別の標準更新周期や修繕内容・修繕率

そして、このような入力データ及び基礎データベースをリンクさせて、環境負荷であるLC-CO₂およびLC-Costを算出するサブシステム，それらの算出結果を種々の図表として出力するシステムとを合わせて全体が構成されている。

データベースの内，素材のCO₂排出量原単位については，産業連関分析法の(I-(I-M)A)⁻¹型による吉岡らの算出値（産業連関表1985年）^{3) 4)}，燃料の現単位については内山，NEDO／化学工業会の数値の平均値³⁾を採用している。

3.3 建物運用時のエネルギー消費量算定サブシステム

前述のように，建物のLC CO₂において建築運用時のCO₂排出量が全体の8割を占め，LC環境負荷を低減するためには大きな寄与があることが分っているので，この運用エネルギーを種々の建築計画のバリエーションに合わせてより精度よくシミュレーションするため，以下のサブシステムも同時に開発整備している。これらのサブシステムは，本体のLCA・LCC評価システムから独立しており単独の使用も可能である。

①熱負荷計算システム（図-5）

当社の大型電算機による非定常の年間空調熱負荷計算ソフト（THERMACS）をWindows環境に移植し，さらに入出力部の操作性を大幅に改善し，LCAとリンクさせたシステム。

②空調方式評価システム（図-6）

簡易の熱負荷計算および種々の空調システムにおけるエネルギー消費量とランニングコストをシミュレーションするシステム。併せて，空調以外の給湯や電力負荷なども実績値より推定する。

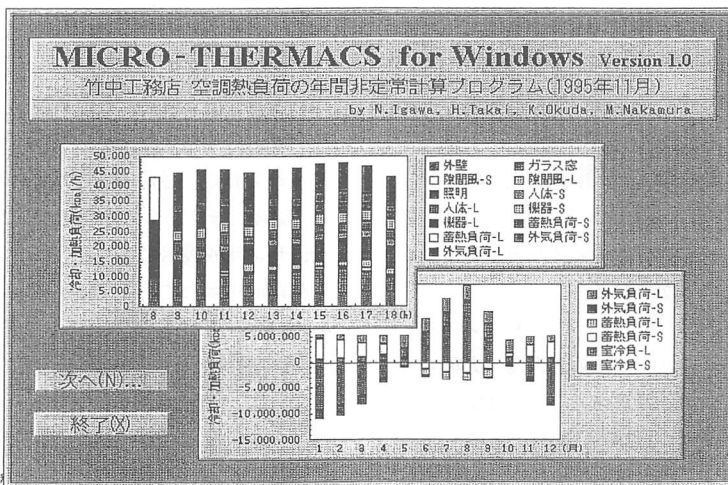


図-5 熱負荷計算システム (THERMACS)

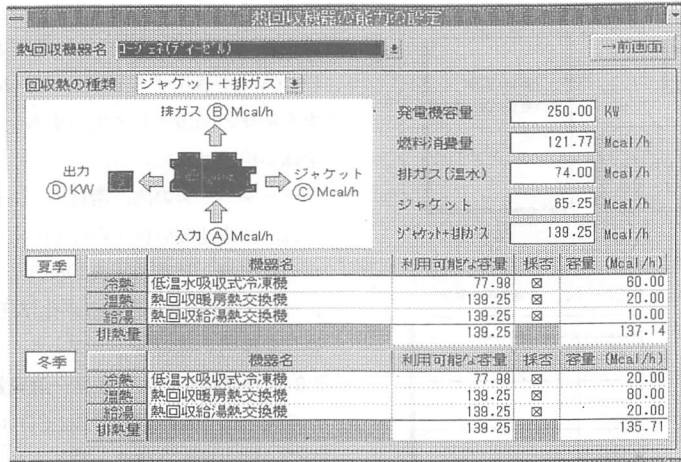


図-6 空調方式評価システム（設備機器選定画面例）

4. LCA・LCC評価システムの適用性

4.1 LCA・LCC評価システムの試算例

本評価システムを用い、下記の建物に対して試算した例についてその概要を述べる。

試算した建物	<ul style="list-style-type: none"> ・事務所ビル ・地上10階 地下2階 ・延べ床面積 約17,000m² ・地上部はコンクリート充填鋼管構造 ・地下部はRC造 ・ライフサイクルは60年を想定
--------	--

図-7²⁾には、対象建物におけるライフサイクルCO₂排出量の経年変化を示す。建設時においては投入建設資材の製造により大量のCO₂排出が行われ、竣工後は運用時のエネルギー消費と建築・設備の更新工事に伴うCO₂排出が毎年行われる。これらを構造体、仕上、設備の各項目別に経年の状況を視覚的に把握することができる。

図-8、図-9²⁾は、環境負荷（CO₂排出量）およびコストについて、建物のLCにわたって累積したグラフである。環境負荷でみれば、運用エネルギーの占める割合が圧倒的に多いことがわかる。

一方、LCコストでは、建設時のインisialコストに、運用時エネルギーコスト、建築・設備の更新コスト、保守管理コスト、解体廃棄コスト等が加算され、この試算では、60年間でLCコストはインisialコストの3倍程度になっている。運用エネルギーの影響もさることながら、保守管理費用や更新のための費用の

ライフサイクル炭素排出量

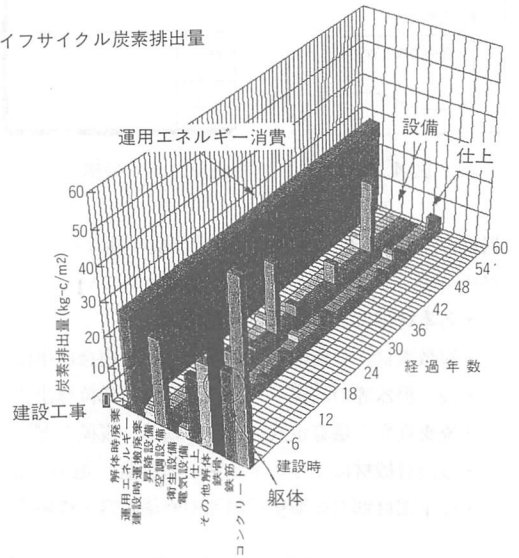


図-7 項目別ライフサイクルCO₂排出量（試算）²⁾

占める割合が大きいことがわかる。

これらの算出されたデータは、Excelのシートに格納されており、必要に応じて種々の加工・表示が容易にできる。また、いくつかのケーススタディーの結果を同時に比較表示することも簡単にできるように、出力部は配慮されている。

4.2 LCA・LCC評価システムの有効性

3.1で述べた設計段階における4つの適用目的に対して、LCA評価システムにより、それらの計画のメリットを定量的に評価でき、十分な確証を持って建築主に説明することが可能となった。

①長寿命・ストック型建物の評価

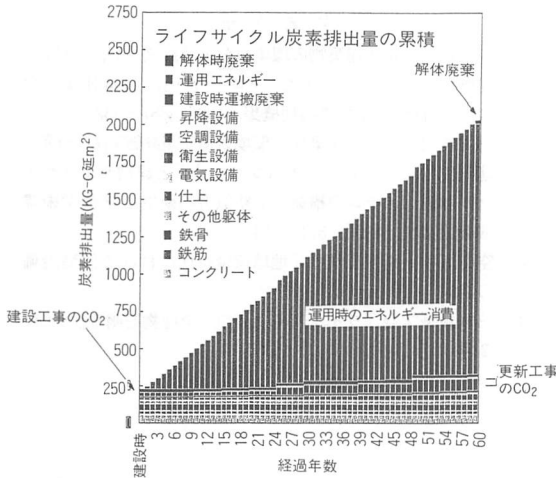


図-8 ライフサイクルCO₂累積排出量 (試算)²⁾

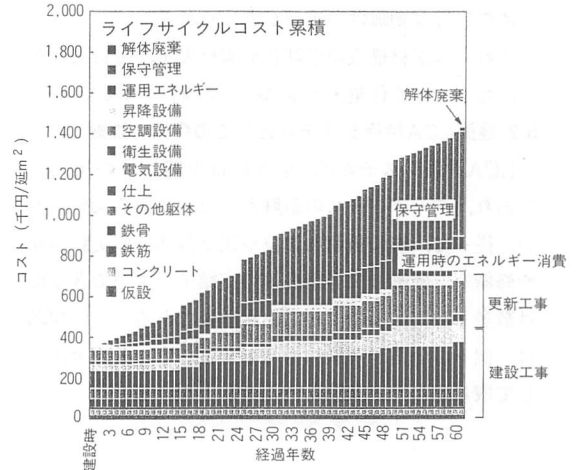


図-9 ライフサイクルコスト累積 (試算)²⁾

LCが50年以上、またはそれ以上の建物になると、省エネルギー性、更新性、保守性のよい建物を新築当初より計画することが重要である。長寿命化により単位年数あたりの消費資源量が削減され、結果として省資源に繋がる。

長寿命化のためには建設コストは従来よりアップするが、それにより、建替えコストや運用コストを低減し、LCで見れば環境負荷の低減と同時に大きなコストメリットも生み出すことがわかった。

②建築・設備の省エネルギー評価

自然採光や自然換気などの自然エネルギーを利用し、また、建物の断熱や日射を遮る工夫をしたり、省エネルギー設備を導入したりすることにより、環境と共生しながら消費エネルギーを低減する建物を計画することにより、LCコストや環境負荷を大幅に削減できる。

建築の省エネルギー推進方策は種々の文献に数多くあげられているが、それらの方策を効果的に組み合わせコストバランスを見ながら総合的に構築することが重要である。また、単一ビルのみでの検討でなく、周辺地域を含めた地域計画の視点より導入が可能なシステムも多くその意味の検討も必要である。

③エコマテリアルやリサイクル材採用の評価

建物の構造材としては、鋼材についてみれば、リサイクル材である電炉鋼は転炉鋼に比し製造エネルギーは約1/3で済む。また高炉スラグを混入した高炉セメントは普通のポルトランドセメントに比し約1/2のエネルギーで製造できる。従って、コンクリートに高炉スラグ混入セメント、鉄骨に電炉鋼、あるいは内装材に木材やリサイクル材を用いることにより、建物

の建設時、更新時の資材製造による環境負荷を大幅に軽減できる。

④既存建築の省エネルギー改修などの効果評価

建物の構造体を残し、内外装のデザインや設備的機能をリニューアル工事によって刷新することにより、当該建物のその後のLCで見てメリットを生み出すケースが多くある。例えば、省エネルギー改修や更新に配慮した改修、省人化を図り保守管理費を低減させる改修などは、そのメリットを明瞭に示すことができる。

5. LCAを踏まえた環境共生建築における課題

5.1 LCAを踏まえた建築物の今後の方向性

建築におけるLCAについての検討を踏まえれば、建築における省エネルギー・省資源・リサイクルの方向性について以下のように言える。

- ①LCA的試算では60年程度の寿命で約80%が運用エネルギーに起因する炭素排出量で占められる。従ってLCA的環境負荷を削減するには、設計段階における省エネルギーの検討・導入が特に重要である。
- ②省資源・リサイクルの観点から、鉄材・コンクリート等の構造材の使用削減が重要である。通常のRC造やS造の建築では、投入建材製造のために排出される炭素量の内、鋼材やコンクリートなどの構造材が50~60%を占める。従って、単に長寿命化だけでなく、構造材の投入量を抑制したり、製造エネルギーが少ないリサイクル資材の活用も必要である。
- ③建物部材の更新性やリサイクル性を向上させるには、第1に建築部材寸法を統一するモジュール化の徹底であり、第2には部材をきれいな状態で回収するた

めの良好な剥離性の確保があげられる。

これには部材構成の単純化や素材表示，接着法の検討だけでなく作業・予備スペースの確保も重要である。

5.2 建築LCA評価システムとしての今後の課題

LCA評価システムは，個々には単純計算の集大成であり，データベースの新鮮さに負っている部分が多い。従って，環境負荷原単位や建築各部位の更新周期や修繕率，建築の保守管理等の実績データをできるだけ数多く収集し整備することが重要である。この課題は，個々の企業が個別に行うのではなく，業界全体として取り組むべき課題と言えるかもしれない。

参考文献

- 1) 広松猛 et al. 「建築物の環境負荷定量評価手法の研究－建築LCAのためのプロセスフロー分析」，日本建築学会大会（近畿），学術講演梗概集，1996，881～882
- 2) 高井啓明 et al. 「建築物の環境負荷定量評価手法の研究－建築LCAのためのプロセスフロー分析と建物ライフサイクル評価システムの構築－」空気調和衛生工学会学術講演会論文集，1996，821～824
- 3) 空気調和・衛生工学会 「地球環境時代における建築設備の課題」，1995，3月
- 4) 日本建築学会 「ライフサイクルCO₂で建物を測る」，1996，2月

共催行事ごあんない

「第34回日本伝熱シンポジウム」研究発表募集

〔主催〕日本伝熱学会

〔共催〕エネルギー・資源学会 他

〔開催日〕平成9年5月21日(水)～23日(金)

〔会場〕宮城第一ホテル(仙台駅東口より徒歩3分)

〔発表申込締切〕平成9年1月24日(金)必着

〔原稿締切〕平成9年3月14日(金)必着

〔研究発表申込先〕

〒980-77 仙台市青葉区荒巻

東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻

第34回日本伝熱シンポジウム準備委員会事務局

橋爪 秀利

TEL 022-217-7902, FAX 022-217-7900

E-mail : sympo@hll.nucle.tohoku.ac.jp

ホームページ :

http://fates.nucle.tohoku.ac.jp/~sympo