

建築版ライフサイクルアセスメントツールの開発 と全社的環境負荷削減活動への展開

鈴木道哉¹ 矢川明弘² 東嶋武³

1 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

E-mail: michiya@shimz.co.jp

2 清水建設株式会社 設計本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3)

3 清水建設株式会社 安全環境本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3)

建築版ライフサイクルアセスメントツールGEM-21はパソコンを使ったシミュレーションシステムで、建物の計画の自由度が比較的大きく、改善・改良方策の導入が可能な企画・基本設計段階での使用を主とした目的として、建築物の構成部材製造から建設、運用、解体に至る建築物のライフサイクル全般におけるインベントリ分析ができる機能を有している。本報告では、これらの機能を紹介すると共に清水建設の全社的な環境負荷削減活動である『トータル・エコ建設』への活用事例を紹介する。

Key Words : ,life cycle assessment, Total Eco-Construction, building

1. はじめに

1997年12月の気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)を契機として、二酸化炭素排出量の削減ニーズがさらに高まってきた。さらに、ライフサイクルでの環境負荷の影響評価手法として、1997年に発行されたISO14040 : LCA (ライフサイクルアセスメント) が普及しつつある。経済産業省では、このような流れの中で1998年にLCAプロジェクトを発足させ、パブリックデータベース構築を行い、またLIMEというインパクト評価手法も開発し、2003年に第1期を終了して各種成果を公開している。各種の製造業の分野ではこれに対応してLCAの導入が進んでおり汎用的なLCAツールも既に販売されてきている。

また、最近では、企業が環境会計を導入しその事業活動を評価したり、建物の建設計画においても、今まで以上に環境面に配慮するようになるなど、環境配慮に関するさまざまな動きが出て来ている。建築分野では建築学会より1999年に地球環境委員会がLCA指針案を公表している。また建設会社においても1990年代より各社においてLCA手法(ソフトウ

エア)が開発されてきている。このなかで清水建設のLCAツールである「GEM-21 : Global Environmental Model/Management - 21」は建築分野のLCAシステムの先駆けとして1993年にプロトタイプが開発され、逐次、機能追加などの研究開発が継続されてきている。

建設分野では、部材製造を含む建設、建物の運用・補修などで日本の二酸化炭素の約1/3が排出されている。また一つの建物のライフサイクルを考えると、建設段階における二酸化炭素排出より、運用段階でのエネルギー消費による二酸化炭素排出が大きい。従って建設のみならず、運用段階までも含めた建物のライフサイクルでの評価が重要となってきた。

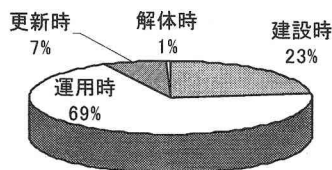


図-1 ライフサイクル二酸化炭素排出量試算例
事務所ビル ; 102kgCO2/m2年

いる。

図-1 は一般的な中規模事務所ビルでのライフサイクルでの二酸化炭素排出量試算例であり、部材製造も含めた建設段階で全体の23%であるのに対し、運用段階では約7割が排出されている。従って運用段階での排出量削減が有効といえるが、運用段階での排出量を決定付ける建物仕様、設備仕様は企画・基本設計段階でおおよそ固められる。従って企画・基本設計段階を含めライフサイクルにわたった削減努力が求められる。

清水建設では、従来の「品質」、「デザイン」、「機能」、「コスト」に加え「環境：地球温暖化、有害物質、資源循環、生態系、地域環境」に配慮した建造物を『トータル・エコ建設』と呼び、企画・設計段階から調達・施工、建物の運営、リニューアル、解体までのライフサイクルにわたって地域環境を保全しながら環境負荷を低減し循環型社会に対応した施設を提供していく活動を平成15年度より始めた。このなかで建築物の生涯に亘る二酸化炭素排出量をはじめ、NOx、SOx、廃棄物などの環境負荷排出量削減のための検討に寄与するシミュレーションシステムGEM-21が活用されてきている。

2. GEM-21 の概要

開発したGEM-21は、Windows対応のパソコンを使ったシミュレーションシステムで、特に、建物の各種の仕様を検討する基本設計段階において建築物のLCCO2をはじめとするインベントリをよりきめこまかく算出・評価できる。本システムでは、建築物の基本設計段階での活用を前提としているため、工事に伴う重機や運搬車両台数、建設廃棄物の低減や環境配慮技術まで含めて、きめこまかく算出・評価できる。

なお算出・評価した結果は、設計者はもとより一般の人でも理解がしやすいように、約40種類のグラフや表などの形で表現が可能となっている。また、従来、手計算レベルで算出・評価までに約1週間を要していたものが、本システムでは2～3時間で計算が可能である。

本システムの最大の特徴は、主要な環境配慮技術約160種類をデータベース化し、これらを採用した場合のLCIが、簡単に算出・評価できることである。

本システムの開発にあたっては、各種シミュレーションプログラムや実績データなども活用しながら、新たに、さまざまな用途の建築物について、構造形式・設備方式・部材・環境配慮技術などが異なる建

築物の単位面積あたりのインベントリに関するデータベースを構築し、組み込んだ。以下が主要な機能である。

- 1) 環境負荷量の算出 (CO2, NOx, SOx, 一次エネルギー, 固体廃棄物量)
- 2) 環境負荷低減技術のライフサイクルコスト分析
- 3) インパクト評価
- 4) 環境配慮技術のコストパフォーマンス評価 (回収年数評価)

ここでは、入力と部材数量の積算方法に関して概要を説明する。建築分野では仕上げ、機械設備、電気設備などで部材数が莫大になり、積算してソフトウェアにすべて入力することは実作業量と時間を勘案すると不可能といえる。従ってGEM-21では主要数量と主要仕様を入力すると内部で雑材料や仕上げ下地などの部材を自動的に積算する構造を採用している。図-2 は、建築意匠系の設計者が入力する主要数量・仕様の画面である。おおよそ2画面程度の入力で済ませられる。入力はこの建築のほか、構造設

図-2 簡易入力画面例 (建築意匠系)

項目	仕様	数量	単位	面積
屋根平部	アスファルト防水外断熱、普通コンクリート押入	656.00	㎡	1
屋根立上り部	アスファルト防水、PC断熱スライダ	78.47	㎡	1
屋根縁	ルーフレイン	2.00	箇所	1
屋根隅	パイプカット	122.94	m	1
外壁	断熱二重掛けタイル打ち込みPC板	2888.96	㎡	1
外壁隅	切欠	60.33	m	1
外壁縁	スチールデ	9.00	箇所	1
サッシ	アルミ樹脂系断熱複層、横連窓	1027.78	㎡	1
ガラス	透明フロートガラス 1+5	1027.78	㎡	1
開口部縁	窓枠	1370.37	m	1
事務室	事務室：中	3780.00	㎡	1

環境負荷算出 (CO2, NOx, SOx, 一次エネルギー, 固体廃棄物量) 部材数量 (部材名, 数量, 単位) コスト (材料費, 労務費, 機械費, 運搬費, 廃棄物処理費, 合計)

図-3 簡易入力により計算された部材数量の表示・修正用画面例 (建築意匠系)

計、機械設備設計、電気設備設計および施工担当者が概要を入力する画面がそれぞれ用意されている。概要入力に従い、平均的な雑材料や仕上げ下地などの数量が積算され図-3 で示されるような部材積算結果の表示・修正画面が示される。詳細数量が把握されている場合はこの画面で修正を行う。

以上のような流れで建設時の建物に使用される各種部材・機器の仕様・数量が求められ、建築学会で公表している環境負荷原単位を元に二酸化炭素排出量などの環境負荷が計算される。

さらに標準的な建物より環境負荷を削減するためには、各種の負荷低減手法や省エネ手法の採用を検討する必要があるが、GEM-21 ではこれらの技術160種類を洗い出して、標準的な導入効果を予めシミュレーションを行いデータベース化して内蔵することで、これらの技術を導入すると仮定した場合の負荷削減効果が容易に計算できることが特徴となっている（図-4 参照）。なお、代表的な負荷低減手法として太陽熱利用、ポンプ・ファンのインバータによる動力削減、蓄熱空調システム、コージェネレーション、高効率照明、星光利用、屋上緑化、外断熱、庇の設置、樹木による日射遮蔽、ペアガラスなどがメニュー化されている。

また樹木の二酸化炭素固定量も計算が可能となっている。二酸化炭素固定量は乾燥重量とほぼ比例するが、本システムでは想定した樹木の生長をもとに、二酸化炭素固定量を算出することとした。以下に計算式を示す。

$$\log(Y) = 2.131 \log(X) - 0.434$$

Y: 累積二酸化炭素固定量 (kgCO₂)
X: 樹木の胸高直径 (cm)

このような各種の検討を行い結果を複数の案と比較表示することが可能であり、画面例としては図-5 に示すような表示以外にも各種のグラフが用意されている。

3. トータル・エコ建設活動と GEM-21

清水建設では、「トータル・エコ建設」という全社環境方針を具現化していく、環境負荷削減への取り組みを2003年度より実施して効果を挙げている。

このなかでの一つの取り組みとして、二酸化炭素排出量削減の活動が行われているが、これにGEM-21を積極的に活用している。これにより社内の部門ごとで把握していたデータを共有し、共通の目的を定量的に把握でき、同じ評価軸、同じ手法での活動が可

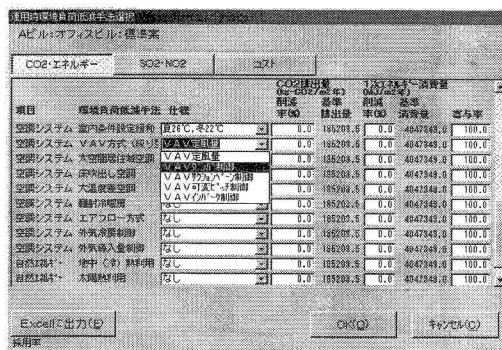


図-4 環境負荷低減技術メニュー
の表示・選択画面例

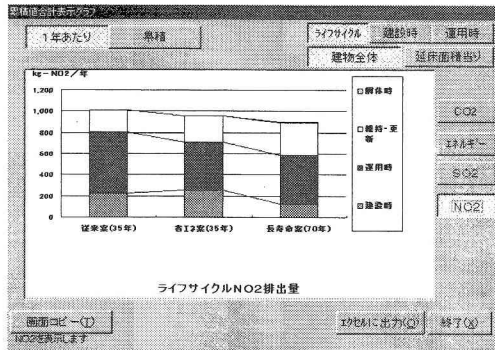


図-5 結果表示画面例
(ライフサイクルでの窒素酸化物量表示)

表-1 トータル・エコ活動でのCO2削減計画量試算の具体例

	建設時 (kgCO ₂ /m ² 年)	運用時 (kgCO ₂ /m ² 年)	維持・更新 (kgCO ₂ /m ² 年)	解体時 (kgCO ₂ /m ² 年)	合計 (kgCO ₂ /m ² 年)
1990年ベースライン (耐用年数40年)	18.5	111.8	13.9	0.15	144
計 画 案 (耐用年数60年)	12.0	81.9	16.4	0.10	110
削減値 (ベースラインから)	6.6	29.9	▲2.4	0.05	34
削減率(%)	36	27	▲17	33	24

プロジェクト名	工期	用途	構造	階数	延床面積
○東京本ビル新築工事	2003 Q～2004 Q	事務所	S	地上1層地下1層	5,620m ²

CO₂削減

能となった。

また、建築物は案件ごとの一品生産のため、削減策の効果の把握は実施前後の計算に1週間ずつ作業がかかり、現実には把握が難しかったが、このプログラムを使用することで、短時間で行えるようになった。結果として、エネルギー、マテリアル、エコロジーの観点から、建物や施設のライフサイクルにわたる環境負荷低減を通じて、環境調和型の製品(建物)を提供により、持続可能な社会の実現を目指すことが可能となった。

本報告では具体例として東京に建設される5,600m²程度の延床面積を有する事務所ビルでのCO₂削減計画量の検討結果を示す。表-1はこれの削減試算結果であり、1990年ベースラインとあるのは当該建築物を1990年の標準的と思われる仕様で建設した場合のCO₂排出量を示している。これに対して、表-2に記載されているような負荷低減のための技術や手法を採用していくことにより計画案の値まで削減したことを示している。なお、表-2はフォロー表と呼んでいるものであり、計画時点でのCO₂削減量と施工時に行った方策や工法での削減さらには竣工後の運用エネルギー量なども記載するようになっており計画から竣工後の運用まで一貫してフォローしていくための帳票である。

1990年のベースライン建物は、本検討で対象としている事務所建築に関しては、当時の東京における標準的な耐用年数である40年を標準としており、また、建物の外皮の省エネルギー性能を規定するPAL (Perimeter Annual Load) 値はそれぞれ、当時のいわゆる「省エネ法」での規制値である 335MJ/m²年としている。これに対して「トータルエコ建設」でのPAL目標値は250MJ/m²年としている。

さらに当該建築では、窓開口などの面積率の削減、屋上外断熱などの配慮でPAL値を211MJ/m²年までに削減している。また、排気と取り入れ外気を熱交換することにより省エネルギーを図る全熱交換器の採用、高効率照明器具の採用、自然通風、採光などを採用し省エネルギー化を実現してる。

この結果、表-1に示される運用時の二酸化炭素排出量が111.8 kgCO₂ /m²年から81.9 kgCO₂ /m²年に削減されている。

このほかにも、表-2では資材、構工法、作業所活動などの削減努力のフォローも記載するようになっており、最終的には一元管理される。

資材では電炉鉄骨67tの使用、高炉セメントコンクリート875m³の利用による二酸化炭素削減が計上されている。また、構工法では、根切りによる掘削土量555m³の削減、杭種類変更での土量削減840m³

も計上され、それぞれ原単位により二酸化炭素排出量に換算されている。さらに総量としては微々たる物であるがアイドリングストップ、昼休み一斉消灯、車両の適正整備などの効果が計上されている。

このような統一された帳票で計画時から施工、さらには竣工後のフォローまでを行うことにより、二酸化炭素削減を行っていくとする活動を実施しており、主として計画時点での建物のライフサイクルでの二酸化炭素排出量の計算と様々な低減手法の効果予測にGEM-21が用いられている。

4. おわりに

建物のライフサイクルアセスメントを行うためのコンピュータソフトウェアであるGEM-21 の概要とその利用用途の一つである全社的環境負荷削減活動「トータルエコ建設」への適用を具体例をもとに説明した。建築物は運用時点での環境負荷排出が大きく、計画時点から竣工・運用までをフォローしていく必要があると思われる。本活動は2003年度より始められている。今後多くの建物での結果が纏まった時点で再度、報告していきたい。

参考文献

1. JIS Q 14040 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、財団法人日本規格協会、1997
2. JIS Q 14041 環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-目的及び調査範囲の設定並びにインベントリ分析、財団法人日本規格協会、1999
3. ISO 14042 Environmental management-Life cycle assessment -Life cycle impact assessment、2000
4. 松野泰也ら：日本におけるインパクトアセスメント統合指標の開発、日本エネルギー学会誌、第77巻第12号、1998
5. 稲葉敦ら：ライフサイクルアセスメント (LCA) の最近の動向、日本エネルギー学会誌、第77巻第10号、1998
6. 永田勝也ら：LCAにおけるインパクトアセスメント手法の開発(その1~6)、日本機会学会第5~7回環境工学総合シンポジウム'95~'97講演論文集、1995~1997
7. 地球環境委員会:持続可能な社会を支える建築設備のために、空気調和衛生工学会、1998
8. 建物のLCA指針(案)、日本建築学会、1999
9. 建物のLCA指針、日本建築学会、2003
10. Udo de Haes, H. A., TOWARDS A METHODOLOGY FOR LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT, Society of Environmental Toxicology and Chemistry- Europe, Brussels, 1996
11. 森崎耕一:緑化樹木によるCO₂固定量の推定について、

URBAN GREEN TECH N030, 1998

12. 緑化樹木の適地適木調査-緑化樹木の生長-, 日本緑化センター, 昭和61年
13. 鈴木, 秋元: 重み付けを用いた建物のライフサイクルアセスメント影響評価に関する検討, 日本建築学会計画系論文集, 第549号, 2001
14. 鈴木, 秋元: 建物のライフサイクルアセスメント手法に関する検討 その3 事務所建築のライフサイクルア

セスメントの試行, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001.09

15. 秋元孝之, 鈴木道哉: 建物のライフサイクルアセスメント手法に関する検討(その1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000.09
16. 秋元孝之, 鈴木道哉: 建物のライフサイクルインパクトアセスメント手法に関する検討, 第4回エコバランス国際会議梗概集, 2000.10

DEVELOPMENT OF A LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOL FOR BUILDINGS AND ITS APPLICATION FOR CORPORATE ACTIVITIES OF THE REDUCTION OF ENVIRONMENTAL LOADINGS OF CONSTRUCTION WORKS AND LIFE CYCLE OF CONSTRUCTED BUILDINGS

Michiya SUZUKI, Akihiro YAGAWA and Takeshi HIGASHIJIMA

This report shows the outline and basic function of newly developed life cycle assessment computer software named GEM-21 (Global Environmental Model / Management for 21st century) for buildings.

GEM-21 has designed for the use of basic design stage of various types of buildings. It has the function of estimating approximate quantities based on outlined information of each project. CO₂ emission in operating stage of buildings is larger than that of construction stage. GEM-21 can estimate the effect of the various types of energy saving technique and systems with very quick operation. GEM-21 includes the database calculated by Architectural Institute of Japan based on Input Output table of Japan.

GEM-21 is applied to the activity of corporate environmental load reduction programme for the life cycle of planned buildings. This activity is named "Total Eco Constructin" in Shimizu corporation. This activity includes the reduction of environmental load in construction stage which include the load from manufacturing building product, in operating stage and in demolition stage.

This paper also explains how to manage this activity using the management table for life cycle load reduction. One of the buildings managed by this activity reduced CO₂ emission by 27 points in operating stage.