

第11章 LCA 評価手法開発（C2）

11.1 はじめに

11.1.1 委員会設立の背景

地球環境負荷にはさまざまな種類があるが、それを炭酸ガス(地球温暖化ガス)発生量という指標に一元化し、評価しようとする試みは多くの成果をあげてきた。建物のライフサイクル分析においても、環境負荷評価の指標として定着し、現状の30%の省エネルギーの達成、建物寿命の3倍延伸といった我が国の具体的な目標も、この指標をもとに提案・設定されてきた経緯がある。これまでも建築学会、空調衛生工学会、企業などで LCCO₂ 予測プログラムが開発されている。建築研究所でも、1997年以来、プログラムを公表し、改善をはかってきたが、その主要な目的は次のようであった。

建築材料や部材の製造エネルギーデータを社会の共通データとして共有する。

設計の初期の段階において活用できる設計ツールを開発する。

これらはなお、改善の余地が多く残されており、随時、改良が加えられてきた。自立循環型住宅開発委員会においても、運用時の省エネルギー評価のみならず、ライフサイクルを通じての評価が必要と判断された。すなわち、省資源・省エネルギーに有効と考えられる設計手法、構法、材料・部材は極めて多岐にわたって存在し、それらを導入した時の効果をそれぞれの与条件のもとで予測するニーズは極めて大きく、意義があると考えられたからである。特定の条件のもとで特定のシステムの評価をするのであれば、予測計算に伴う入力・出力の煩雑さはあまり問題にならないが、多様な与条件や導入手法・技術の組み合わせに対応するのであれば、予測計算プロセスはインタラクティブで、ユーザーフレンドリーでなければならない。また、完成したシステムのラベリングをするのではなく、設計段階でさまざまな代替案を比較検討する場合も同様である。ラベリングツールなのか設計ツールなのかによって、ツールの開発コンセプトが異なるからである。

一方、設計ツールのような個別導入技術の評価を意図するものとは別に、総合的な評価を意図するツールの開発も進んでいる。表11.1.1は、建物の総合的環境影響評価法として先行しているいくつかの例における評価項目である。多元的な視点から総合的な評価をしようとする傾向が見て取れるであろう。

相互に独立と考えられるような評価項目どうしを明確に関連づけることができれば、理論上、指標の一元化が可能だが、現実にはきわめて困難である。総合的な環境評価方法の開発は時代の要請でもあるが、当分は、目的に応じて総合的な評価と個別的な評価を使い分ける賢明さも求められる。個々の評価項目ごとに評価を求め、建物の特徴を浮きださせたほうが適切な判断の助けになると考えられる場合も多いからである。繰り返すが、材料や構法・工法、設備システムのオルナティブ

表 11.1.1

名称	BREEAM	BEPAC	LEED	GBTool
評価項目	1 マネジメント 2 健康と快適性 3 エネルギー 4 交通 5 水 6 材料 7 土地利用 8 敷地の生態系 9 汚染	1 オゾン層の破壊 2 エネルギー消費による環境負荷 3 室内環境 3.1 室内空気湿 3.2 室内光環境 3.3 室内音環境 4 資源保護 5 立地と交通	1 敷地計画 2 水消費の効率化 3 エネルギーと大気 4 材料と資源の保護 5 室内環境の質 6 革新性及び設計・建設プロセス	1 資源消費 2 環境負荷 3 室内環境 4 サービス・品質 5 経済性 6 運用以前での管理 7 近隣環境

案を比較し、選択するという設計初期の判断を助ける設計ツールは後者の例のひとつである。

11.1.2 研究開発方針

本委員会の目標は、第1に、社会ニーズに応えられる設計ツールを開発して一般ユーザーに提供することであり、第2にこのツールを駆使してパラメトリックスタディを行い、その結果を基に、ツールを使用しない人の為の「設計マニュアル／指針」を作成することにある。

2年間で行われた本委員会の作業プロセスを次に示す。各段階で検討対象とされた項目を合わせて示す。

- 1) 基本方針の策定
 - ・ラベリングツールか設計ツールか
 - ・総合評価か個別評価か
- 2) 社会的なニーズの調査と分析
 - ・評価したい項目の抽出・設定
 - ・予測精度
- 3) プログラムの改善
- 4) プログラムの感度分析
 - ・プログラムの特性
 - ・設計ツール使用マニュアルの作成
- 5) パラメトリックスタディ
 - ・体系的なパラメトリックスタディ
 - ・一般向け設計マニュアルの作成

(小玉 祐一郎)

11.2 LCA 評価の現状調査

11.2.1 調査の目的と方法

LCA 計算のフローでは、建物のライフサイクルにおける環境負荷発生量の合計は、「建築材料及び部材の生産」「現場施工」「建物の使用」「改修」「廃棄」の各段階で発生する環境負荷の合計によって求められる。現在、建設業界では、環境負荷発生を抑制するために非常に多岐にわたる取り組みが行われており、様々な角度から環境負荷低減の努力が続けられている。本委員会で開発するLCA評価ツールでは、社会的なニーズに応えられる設計ツールの開発を目標に、様々な立場から取り組まれている環境負荷低減努力を可能な限り評価に組み込むことを意図している。

図11.2.1は、LCA 計算のフローと本委員会で検討を要する評価項目として挙げられた項目をまとめたものである。挙げられた評価項目の中から何を組み込むか、また、どのような方法で評価に組み込むことが可能なのかについて検討を重ねた。評価項目の検討は、既存の LCA ツールの特徴や課題、評価が望まれる環境負荷低減努力など、LCA 評価の現状調査を行い、ニーズや課題を把握し整理することで進められた。

LCA 評価の現状調査は、下記の項目に関して行われた。

「事例調査」

既存の LCA 評価ツールに関して、国内外の環境評価手法についてのオーバービューを行い、各国のLCA評価手法の普及状況や現在までの歩み、今後の展望と課題について調査した。また、現在の代表的な評価ツールに関して、評価項目や評価尺度、評価方法などについて一覧し、ツールの特徴や課題について整理した。

これら事例調査の概要に関しては11.2.2に概要を示す。

「課題の調査」

様々な環境負荷低減努力を評価ツールに組み込むにあたって、具体的にどのような課題があるのか、予想される課題に対してどのような解決法があり得るのか、各方面での実践や研究報告を通して調査を行った。

これら課題の整理に関しては11.2.3に概要を示す。

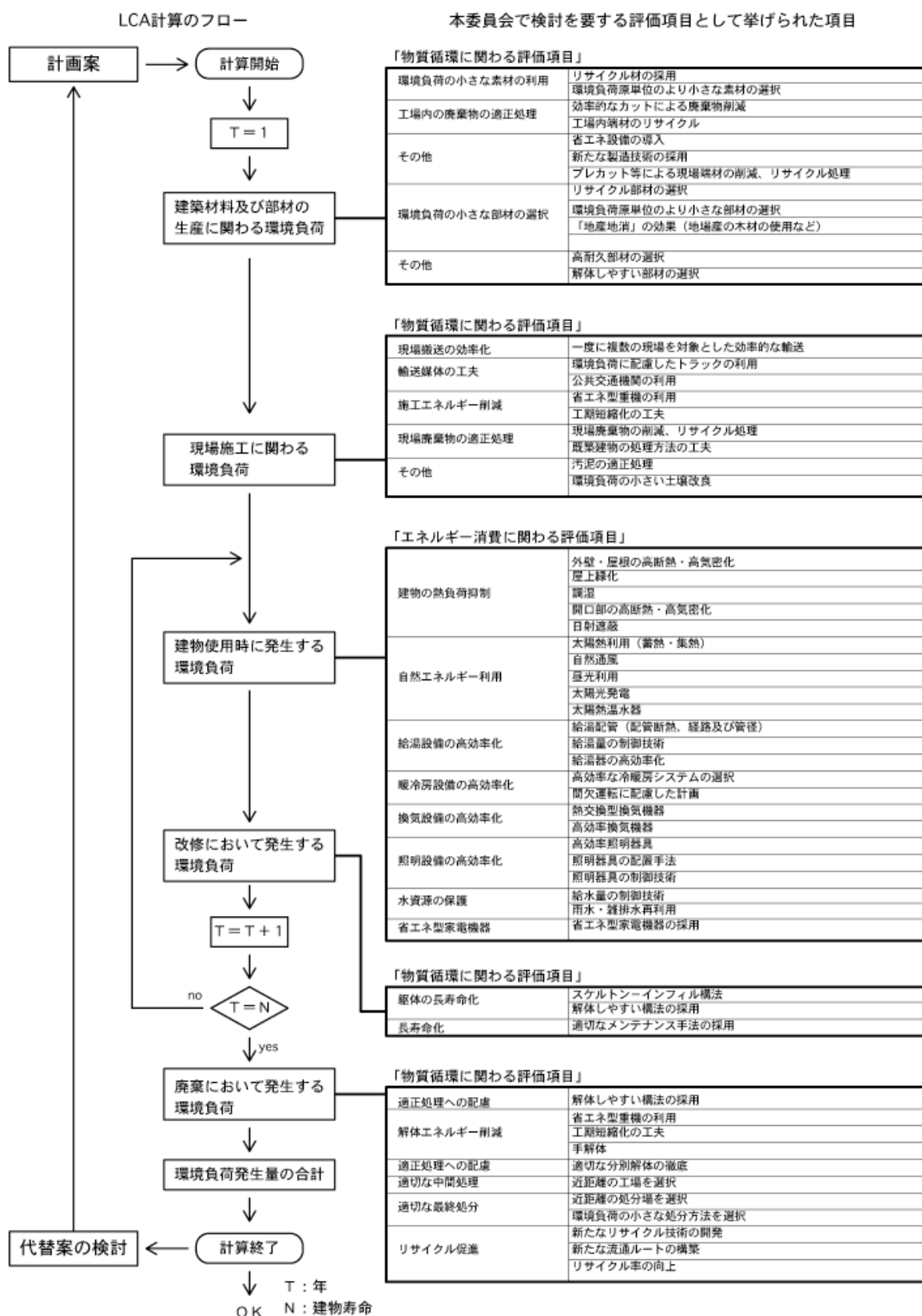
「ニーズ調査」

本委員会での LCA 評価ツールの開発に関して、委員会に参加されている建設業界の委員へのヒアリングを行った、調査内容は、開発するツールがどのような性格のものであるのが望ましいのか、ツールへの組み込みが望まれる環境負荷低減努力にはどのようなものが挙げられるのかなどに関する項目である。

これらニーズ調査の内容に関しては11.2.4に概要を示す。

課題の整理と開発方針

「LCA計算のフローと検討を要する評価項目」



11.2.2 国内外の LCA 評価ツール

1) LCA 評価手法のオーバービュー

欧州における環境評価手法は、最も古くから開発されているイギリスの BREEAM が有名である。BREEAM は年々改良されており、戸建住宅の最新版は 1995 年のものである。また、カナダの BEPAC の歴史も同様に長い。しかし、項目数が多く使用勝手が悪いことから、十分な普及には至らなかった。BEPAC の流れを受けて GBC98 評価プログラムが開発され、GBTTool(GB2000)に継承された。

これらを第一世代のツールと考えると、第二世代では主としてコンピューターを使用した使い勝手の良い各種評価ツールが開発され、設計時に使用可能なデザインツールとしても、ラベリングを目的とした評価法としても活用されるようになってきた。最近では、評価シートを埋めていく手法を採用したアメリカの LEED が、その使い勝手の良さから急速に普及してきている。一部の自治体では官公庁の建物に限り、LEED による評価を義務づけている。

一方、14 カ国以上で構成される IFC (International Framework Committee) の運営を通して、GBTTool は世界標準を目指した。しかし、各国で開発された PC ツールと競合する形になり、IFC は実質的に情報交換の色合いが強くなっている。しかし近年、独自の開発ツールを持たない国々の参加に伴い、再度このような国々の標準ツールになっているという状況である。また、各国の参加の下に作成された経緯があるため、各国のツール開発にあたって必ず参照されるツールとなっている。

これらの例のように、日本ではエネルギー消費量と CO₂ 排出量が環境評価の基準とされることが多いが、欧米では室内環境やライ

フサイクルコスト、周辺環境の保全も含めて環境評価とすることが多い。

日本国内においては、これまで建築学会による建物の LCA 指針、建築研究所による建築 LCA 計算法、建設大臣官房長官官営繕部によるグリーン庁舎計画指針及び同解説、環境共生住宅推進協議会による環境共生住宅 A-Z などが開発され、公表されてきている。また、2002 年 6 月から施行の「建築物に係わる環境配慮の措置」制度の中で一定規模以上の大規模建築物の建築主は省エネルギーや省資源設計、自然エネルギー利用などに関する環境計画書の作成が義務づけられることになった。この制度により、東京都では「東京都建築物等環境計画書」が作成され、実質的な環境評価方法となっている。

また、(財)建築環境・省エネルギー機構においても 2001 年度から「建築物の総合的環境評価研究委員会」が設置され、国土交通省住宅局及び参加企業の協力の下、産官学の共同プロジェクトで構築した建築物の総合環境評価システム CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) が開発された。CASBEE ではデザインプロセスに合わせて、環境配慮設計 (DfE) ツール、環境ラベリングツール、環境性能診断・改修ツールがあり、基本設計段階、実施設計段階、竣工後の各段階で建物进行评估する構成となっている。CASBEE では、エネルギー消費、資源循環、地域環境、室内環境の主要 4 分野を評価対象として選択している。建築物の環境評価におけるコンセプトは、建物の敷地を囲む仮想境界の概念に基づいて構築され、評価項目 Q (Quality、建築物の環境品質・性能) と L (Load、建築物の環境負荷) を定義している。これらから建築物の環境性能効率 (BEE) を「 $BEE=Q/L$ 」で定義

し、建築物のサステナビリティを表示することとしており、この点が斬新である。

これらの総合評価手法の評価軸は、地球環境、地域環境、廃棄物、室内環境となっていることが多いが、一方、このような次元の異なる評価軸をまとめてひとつの数値にしようという研究も行われている。代表的なものには、Eco Indicator や ELU (Environmental Loading Units) がある。これらの研究による総合指標はすべてをどれほどの人間が消費したか、あるいは人的資源に置き換えた尺度を使用している。このような背景には、多くの人に対する説得力が必要であるということと、次元の異なる指標を感覚的な重み係数を乗じて合計する手法が必ずしも建物の性能を評価することにはならないと言う危惧がある。

このように国内外共に、環境に配慮した建築物を普及促進するために様々な施策がなされており、建築分野における環境への問題はますます注目されつつある状況である。海外の動向からもわかるように、総合的な環境性能評価は、環境に配慮した建築物の普及促進を支援するひとつの施策として有効に機能している。また、先進国の多くは自国のツールを既に開発運用しており、日本国内においても同様な評価手法の開発・導入が必要とされている。各国の今後の動向や国際的な研究開発プロジェクトであると考えられる GBC の動向を踏まえつつ、日本の状況を考慮した評価手法の開発を行うことが必要であると考えられる。

現在の環境評価ツールの動向には概ね下記のような傾向が見られる。

(1) インターフェースの欠如

デザインツールがなく、ラベリングツールである。建物の CO₂ 排出量やエネルギー消費量、物量を求めるプログラムやマニュアルがなく、データの作成に多大な労力が必要となる。そのため、デザインツールとしての機能がないのが実状である。

(2) 評価結果の意味が不明

CASBEE を実際に使用した設計者は、評価点数が得られても実際にどのような意味があるのか、理解できない状況がある。また、東京都環境計画書の記述例では、数値を記入しているだけで、設計や運用に必ずしも貢献しているとは言えない状況である。設計者や建築主が、採用した各種の環境負荷低減手法の効果を定量化して判断したいと考えた場合、これに対応したツールがないのではないかと考えられる。

(3) 物理データの表示

CASBEE ではポイント法を採用し簡略な評価を行っているが、チェックリストの中でチェックした項目数が評価点数となってしまう、実際のエネルギー消費量や CO₂ 排出量が計算されない。また、建物の仕様や性能の評価であって、実際に建物が使用された状態の物理データが得られない。これは世界の評価手法の中で類のない手法である。

2) 主な LCA 評価ツールの特徴整理

世界各国で建物の設計・建設・運用・解体段階における環境負荷を評価する手法が開発されている。総合的な評価法としてイギリスの BREEAM、アメリカの LEED、GBTool 等が提案されている。日本ではエネルギー消費量と CO₂ 排出量が環境評価の基準とされることが多いが、欧米ではライフサイクルコスト、周辺環境の保全等も含めて環境評価とすることが多い。

評価結果はレーダーチャートによる表現が多く、また最近では簡便に評価できるソフトウェアが各国から発表されている。

以下に代表的な評価ツールの特徴と課題を述べる。

(1) 「BREEAM」

開発年は 1990 年、開発国はイギリス(BR

E)である。対象建物は事務所、工場、住宅等である。

以下は事務所ビルにおける評価項目の例である。

- 1 マネジメント
- 2 健康・快適性
- 3 エネルギー
- 4 交通
- 5 水
- 6 材料
- 7 土地利用
- 8 敷地の生態系
- 9 汚染

評価項目は地球環境、地域環境、室内環境を軸としている。

評価指標は CO₂、NO_x。オゾン層破壊係数など、各評価項目に応じて設定された指標による総合評価である。

評価方法は項目毎に採点、合計点数で建物が4段階にランク付けされる。また、対象建物ごとに全く独立した評価シートが用意され、事務所、工場、更新、住宅用シート等が公表されており、すべて計算シートになっている。

BREEAM は一般マーケットにおいて広く受け入れられており、イギリス国内では新規オフィスの25%がBREEAMによって評価されていると言われている。評価はトレーニングを受けた有資格者が行う。

特徴と課題として考えられるのが、定量的な環境負荷だけでなく、健康や快適性、周辺環境の保全なども含めた総合評価であることである。それ故、多彩な指標の中で個々の項目の影響が全体では見えにくくなっている。また、ランク付けによる評価は、実際の環境負荷がどのくらいなのかイメージしづらい懸念もある。日本国内への適用性に関しては、BREEAM が開発されたイギリスと日本とでは電力のCO₂原単位が異なるなど、日本の事情に合わない評価項目がある。

(2) 「LEED」

開発年は1997年、開発国はアメリカである。対象建物は事務所、商業施設、集合住宅等である。

評価項目は下記のようになっている。

- 1 敷地計画
- 2 水利用の効率化
- 3 エネルギーと大気
- 4 材料と資源の保護
- 5 室内環境の質
- 6 革新性及び設計・建設プロセス

このように評価項目は敷地、エネルギー、材料、室内環境、設計プロセスを基準に設けられている。

評価指標はCO₂、NO_x。オゾン層破壊係数など、各評価項目に応じて設定された指標による総合評価である。

評価方法は、重み係数は使用せず、総合点数を69点とし評価項目ごとに決められた方式で加点される。最終評価は合計点数に応じてプラチナ、ゴールド、シルバー、認定の4段階にランク付けされる。

特徴と課題としては、BREEAM同様項目が多岐にわたるため、個々の項目の影響が全体では見えにくくなっている点が挙げられる。得点によるランク付けは、実際の環境負荷がどのくらいなのかイメージしづらいという同様の懸念もある。また、定性的案評価の曖昧さ、得点制による評価感度の粗さ、個々の環境負荷低減努力をきめ細かく評価できない点なども挙げられる。

(3) 「GBTool」

総合的な建築物の環境性能評価手法及び評価プログラムとして、20ヶ国以上の共同作業により開発されてきたツールであり、1996年から開発されたGBC'98ツール、GBTool2000、GBTool2002として進化してきた。特徴としては、グリーン性能評価として、各建物タイプや各地域の典型的で実際の建物と比較する相対的な評価や、立地条件を考慮した評価として、評価対象建物の立地する周

辺地域の建物との比較による相対評価がある。また、サステナブル性能評価としては、建物の環境性能の絶対値としての評価があり、再生不可能な天然資源の消費や環境負荷、健康性、運用時のエネルギー消費量、水消費量により評価を行う。

GBTTool2002 での評価項目は、

- 1 資源消費
- 2 外界への負荷
- 3 室内環境
- 4 サービス品質
- 5 経済性
- 6 マネジメント
- 7 通勤交通

となっている。

評価方法は、上記の評価項目に対して、標準建物と比較して点数が付けられ、各項目ごとの重み係数を乗じて最終的な評価結果が得られる仕組みとなっている。標準建物と対象建物との比較評価では、標準建物と同じであれば 0、良い方の最高は+5、悪い方の最低は-2 としている。項目毎に重み係数がつけられており、得点と重み係数を乗じた値で評価する。ただし、標準建物の設定や配点、重み係数は評価者が任意に決定してよいことになっているため、評価結果の点数だけで建物を評価できないのが原則となっている。

世界の主要なサステナブル建築を集め、共通の評価手法で評価し、その性能と技術をショーケースのかたちで示そうとしたものであるところに大きな特徴がある。また、レファレンスする建物、重み係数の設定は各国／設計者にまかされていることから、フレキシビリティの高いツールとなっている。

一方、課題として挙げられるのは、ツールを使用するために相当のデータ量が必要であり、デザインツールとしての使い勝手に難があるということ、重み係数の設定は感覚的に決定されているものが多く曖昧さを多分に含むと言うこと、戸建て住宅の評価は国によって事情が大きく異なるため対象外となっているこ

となどが挙げられる。

(4) 「CASBEE」

(財)建築環境・省エネルギー機構において 2001 年度から「建築物の総合的環境評価研究委員会」が設置され、国土交通省住宅局及び参加企業の協力の下、産官学の共同プロジェクトで構築した建築物の総合環境評価システムである。

評価項目は、以下のようになっている。

- Q1 室内環境
- Q2 サービス性能
- Q3 室内環境(敷地内)
- L1 エネルギー
- L2 資源・マテリアル
- L3 敷地外環境

このように評価項目はエネルギー消費、資源循環、地域環境、室内環境の主要 4 分野を評価対象として選択している。

建築物の環境評価におけるコンセプトは、建物の敷地を囲む仮想境界の概念に基づいて構築され、評価項目 Q (Quality、建築物の環境品質・性能) と L (Load、建築物の環境負荷) を定義している。これらから建築物の環境性能効率 (BEE) を「 $BEE=Q/L$ 」で定義し、建築物のサステナビリティを表示することとしており、この点が斬新である。また、各項目の得点結果はレーダーチャートとして表示される。

CASBEE ではデザインプロセスに合わせて、環境配慮設計 (DfE) ツール、環境ラベリングツール、環境性能診断・改修ツールがあり、基本設計段階、実施設計段階、竣工後の各段階で建物进行评估する構成となっている。

特徴は、建築物の環境性能効率 BEE を定義することで、評価結果を簡潔明快に示している点にある。また、設計プロセスに応じた段階的な評価ができるように、0. 予備設計、1. 環境配慮設計、2. 環境ラベリング、3. 環境性能診断・改修設計の 4 つの評価ツールから構成される点も特徴的と言える。

一方、課題として挙げられるのが、評価結

果を建築物の環境性能効率 $BEE=Q/L$ で示すことにより、QとLのそれぞれの得点自体は無視されてしまう点である。この方法では、Q-L グラフにおける同じ直線上にあるものは基本的に同じ評価結果になると捉えられてしまう。(ランク S を除く) また、ポイント法を採用しているため、実際の環境負荷がどの程度なのかについて物理的なデータが得られない点も挙げられる。

(5) 「建築学会ツール」

建築学会で開発した LCA 評価ツールは、PC ソフトウェア (EXCEL) を使用するツール形態となり、評価対象は戸建住宅以外の建築物となっている。入力項目は延床面積や対象機関、建替え周期などの基本情報の他、建築主要資材の使用量、居住段階のエネルギー消費量、影響評価のための重み係数などである。評価結果は LCE、 $LCCO_2$ 、 $LCSO_x$ 、 $LCNO_x$ 、LCC についてのインベントリ分析と、オゾン層破壊係数、地球温暖化、酸性化、健

康障害 (大気汚染)、化石燃料枯渇、ライフサイクルコストについての影響評価について、それぞれ「基準案」と「対策案」の2つの結果が比較表示される。

建築学会ツールで戸建住宅は対象外となっているのは、戸建住宅用のデータベースに必要な情報は整備されていないことによる。データベースは産業連関表原単位を使用しているため、産業連関表の部門分類以外の比較はできないという問題がある。原単位の追加はできないが、部材の追加は可能である。ただし、部門分類は限定される。また、エネルギー消費量については、ツール上では基本的には計算結果のみを入力するようになっており、ツールの使用にあたって別途計算する必要があり、デザインツールとしての使い勝手に難があると言える。解体処分については今後の課題となっており、現段階では処分場までの輸送エネルギーのみが評価対象となっている。リサイクルは高炉セメント以外は計算外となっている。

11.2.3 課題の調査

様々な環境負荷低減努力を評価ツールに組み込むにあたって、具体的にどのような課題があるのか、また予想される課題に対してどのような解決法があり得るのか、各方面での実践や研究報告を通して調査を行った。

1) 廃棄物評価の現状

資源循環評価における廃棄物評価の方法と課題を探るため、独立行政法人建築研究所中島史郎氏に、建築研究所の「木造資源循環プロジェクト」に関する講演を行って頂いた。

木造資源循環プロジェクトにおける技術開発の目的は以下の通りである。

- ・木造建築物の建設から廃棄に至る過程で消費される資源と排出される廃棄物の量を定

量的に算定できる手法を開発すること。

- ・木造建築物の建設時に投入される主要な建材 (再生建材を含む) の製造過程における環境負荷量 (資源消費量、エネルギー消費量、廃棄物排出量、 CO_2 排出量) に関するデータベースを作成すること。
- ・木造建築物の解体と解体材の中間処理・廃棄課程における環境負荷量 (エネルギー消費量、 CO_2 排出量) に関するデータベースを作成すること。
- ・1棟の木造建築物が建設されてから廃棄処分されるまで過程において消費する資源・エネルギー量と排出する廃棄物・ CO_2 量を定

量的に算定できるツール(サブルーチン)を開発すること。

- ・使用する建材の種類、設計・施工方法、解体方法による環境負荷量の違いを算定できる計算手法を開発し、開発するツール(サブルーチン)に反映すること。

以上の目的から察せられるように、資源循環評価における主な課題は、必要とされるデータベースが存在しないことである。これによ

り、定量的な計算に基づいた評価手法が確立されていないのが現状と言える。

図 11.2.2に示すように、木造資源循環プロジェクトでは、木造建築物のフローにおいて、建物の建設過程と除却過程、廃材等の処理過程(図の囲い部分)における環境負荷量を個々の木造建築物について定量的に算定できる手法を提案している。算定の対象とする環境負荷項目は当面、「資源消費量」「エネ

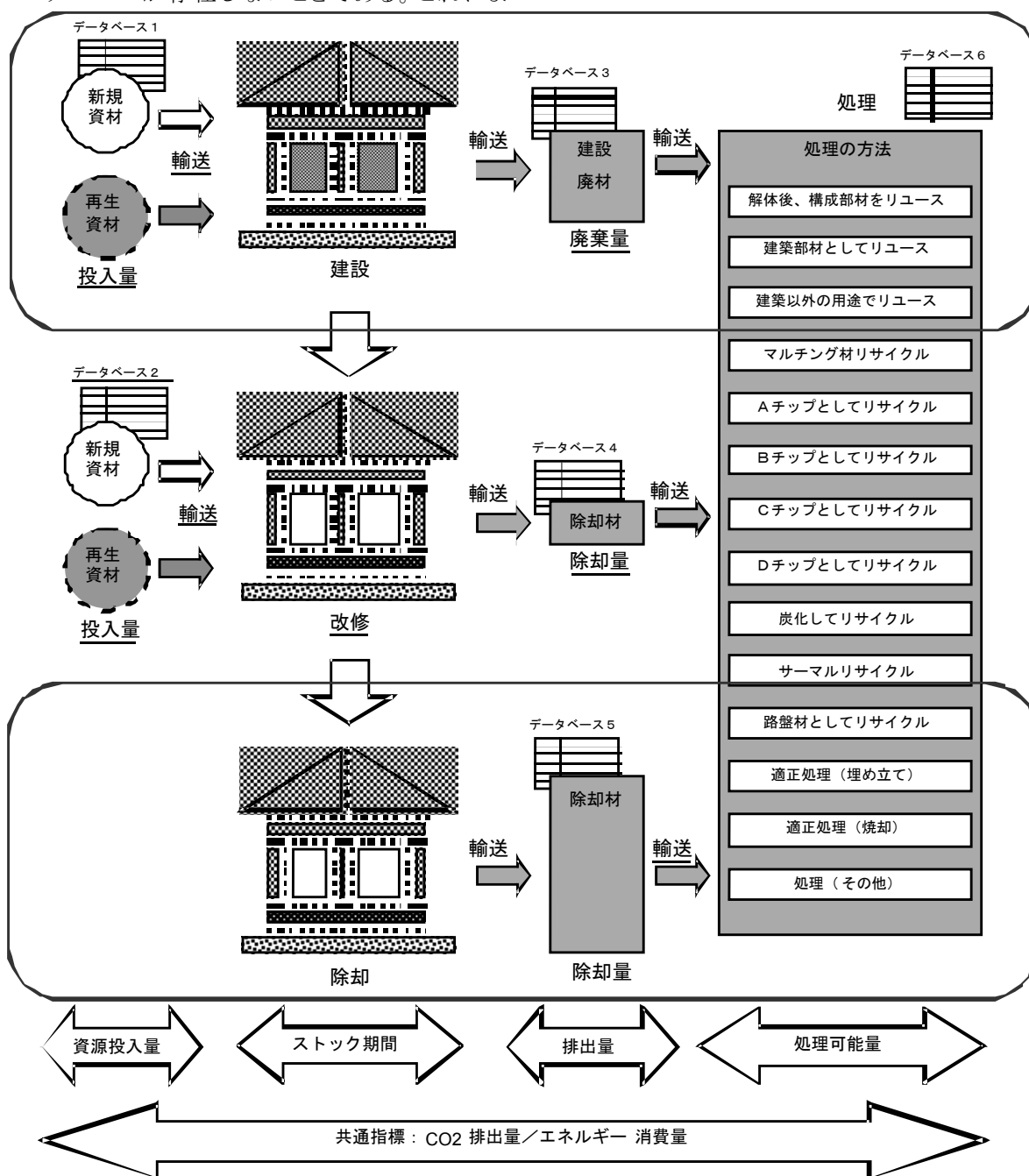


図 11.2.2 算定項目とデータベース

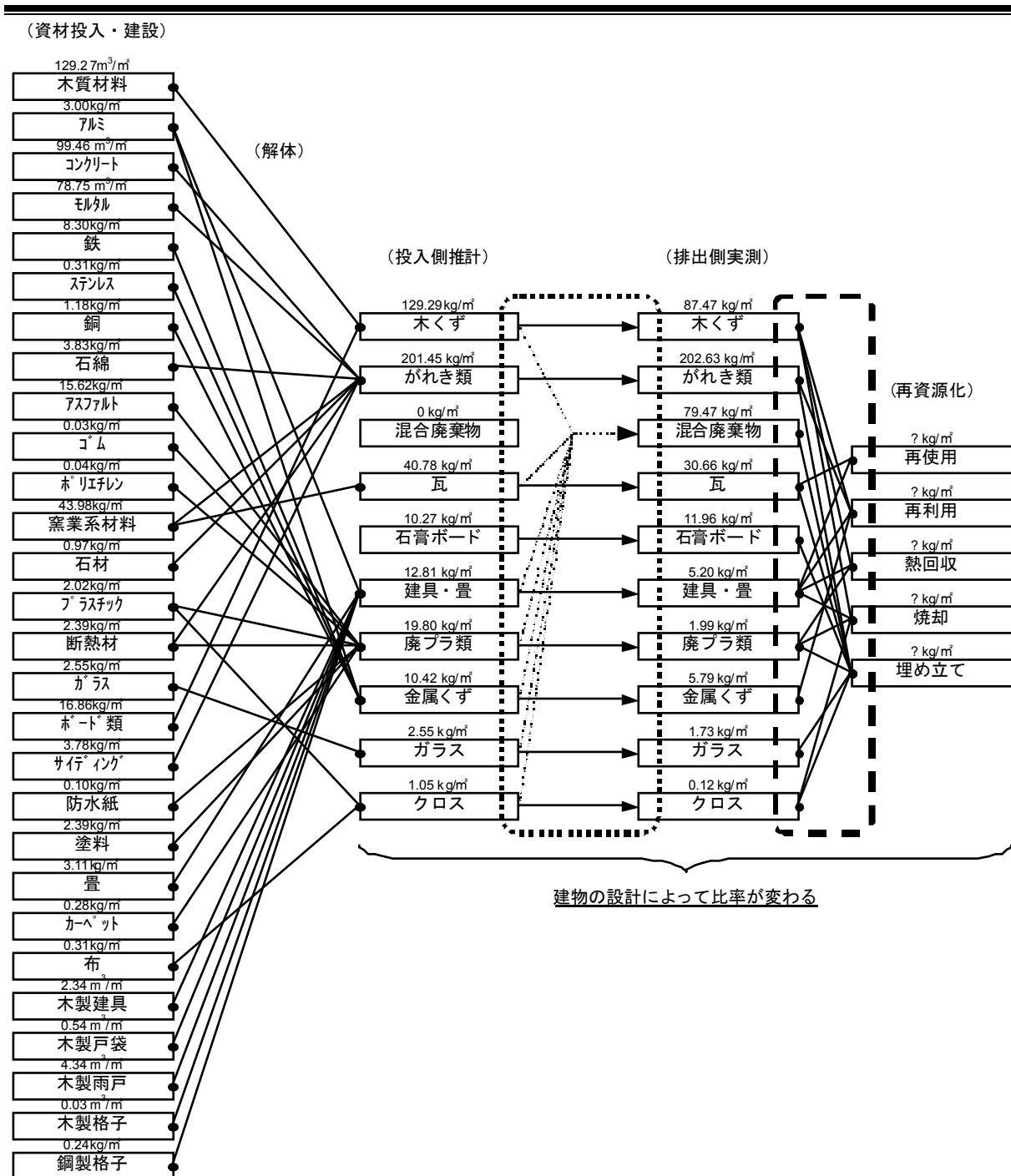


図 11.2.3 資源投入量と解体材排出量のフロー

ギー消費量」「廃棄物排出量」「CO₂ 排出量」
としている。

図 11.2.3は木造資源循環プロジェクトにおける評価のための基礎データの収集として、軸組構法の木造住宅への資材投入量・廃棄物排出量データについて、資材投入量と解体材排出量のフローを示したものである。

2) 他分野におけるエネルギー原単位データベースの現状

他分野における LCA 評価の現状と課題を
探るため、「ISO-LCA 手法の発展 ―循環型
社会構築への適用」と題して、(社)産業環境
管理協会の成田暢彦氏に講演を行って頂い

た。

ISO-LCA での LCA データベースは LCA の基盤整備を目的に、誰でも使えるパブリックなデータベースの構築を目指しているが、物量ベースで散在しているがまとまっていないのが現状とのことである。また、産業界全体での推進と工業界の参加各社における共通の理解を醸成することを目的としている。物量ベースのデータベースと産業連関表との対応に関しては、物量が重要であるとの考えから、産業連関表はあまり見ていない。データベースには各製品で色々なレベルのデータが出ているのではないかという指摘があったが、各工業界に代表値を決めてもらう方法をとっているとのことである。データベースからどの材料を使ったらよいか判断できるのかとの質疑には、データベースでは現状の環境負荷が分かるので、利用者が評価し判断するとのことであった。ISO-LCA で単位プロセスから複数製品が生産される場合の配分に関する問題点には、物量ベースと価格ベースとの差が大きい場合に問題となる。建築物の場合には建設時と運用時の評価が必要であると考えられるが、戸建て住宅では今後考慮していきたいとのことである。

3) ツールの簡易化の現状

LCA 評価ツールには、入力項目の多さや必要とされるデータをそろえる作業の多さから、ツールの使用に複雑さを伴うものが少なくない。そこで、「住宅用簡略 LCA の試み」と題して、日建設計 環境計画室長 慶應義塾大学 訪問教授の伊香賀俊治氏に、岩手県の住宅施策に組み込まれている簡略化された LCA 評価手法について講演を行って頂いた。

岩手県住宅マスタープランでは、7つの重点施策のひとつに環境共生住宅の普及を掲げ、住宅における LCCO₂ 算出プログラムの開発と活用に取り組んでいる。建築主は所定の LCCO₂ 評価マニュアルに基づいて LCCO

₂ を試算し、所定の内容を満たせば補助金が受けられる仕組みとなっている。LCCO₂ の算出はパソコンがあれば表紙を入力すれば結果が出るようになっており、ユーザー=計算者として工務店の手計算でも可能な、制度の普及を意図した、簡易な入力方法が採用されている。また、CO₂ 削減のための初期投資費用が分かりやすく表現されており、ツールのインターフェースのあり方として大いに参考になると考えられる。また、評価が県の政策としてフィードバックされることはなく、これにはライフスタイルなどの違いなどがあることにより検証方法がないことによるという。地場産木材の使用など、資源循環評価とは連動しておらず、この分野での評価方法の確立がエネルギー消費量評価に比べて困難であることの現状が伺える。

個々の住宅における開口部の変化については、回帰モデルを作成して反映させていること、方位についてはリビングを南に面していると想定していること、複数のパラメーターを同時に変化させた場合の評価は考えられる組み合わせで加減し、暖房については熱損失係数に換算していること、暖房運転は生活パターンを想定し間欠運転で固定していることなど、寒冷地ならではのところもあるが、ツールの簡易化の現状について大いに参照されるべき内容を含んでいると言える。

4) 地場産木材と輸入木材の原単位評価

エコマテリアルとしての木材は、鉄やアルミニウムなどの他の建材に比べて製造時のエネルギーが圧倒的に少ない。しかし、我が国の木材の産地別供給先のシェアは圧倒的に輸入材が国産材を上回っているのが現状である。ここでは、評価手法の確立が期待される木材、特に国産木材の評価方法について、「ウッドマイルズと地場産木材の評価」について、独立行政法人 森林総合研究所 藤原敬氏に講

演を行って頂いた。

ウッドマイルズでは、「ある場所で消費した各種の木材について、それぞれの産地ごとの木材量に、産地から消費地までの輸送距離を乗じたものの総和」と定義したウッドマイレージ(木材総輸送距離)を指標に、各国の木材消費のあり方を明らかにするマクロな指標である「国別ウッドマイレージ」と、環境負荷の少ない家づくりのミクロな指標としての「住宅ウッドマイレージ」に取り組んでいる。図 11.2.4のように、国別ウッドマイレージからは日本の木材貿易の特異性が見える。

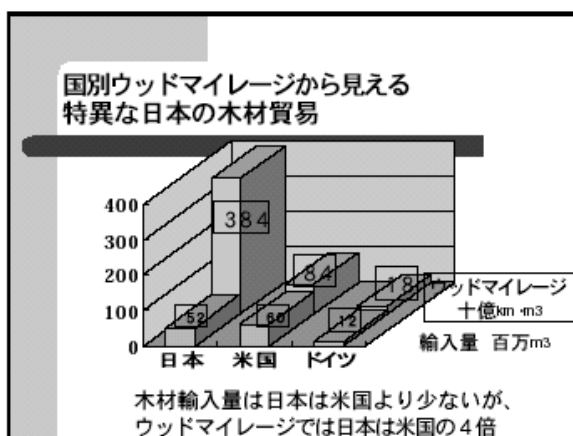


図 11.2.4

また、住宅ウッドマイレージからは、住宅の建築部材エネルギーと木材の輸送過程のエネルギーとが示され、国産材使用の優位性を示す方法の具体例が示された。(図 11.2.5)

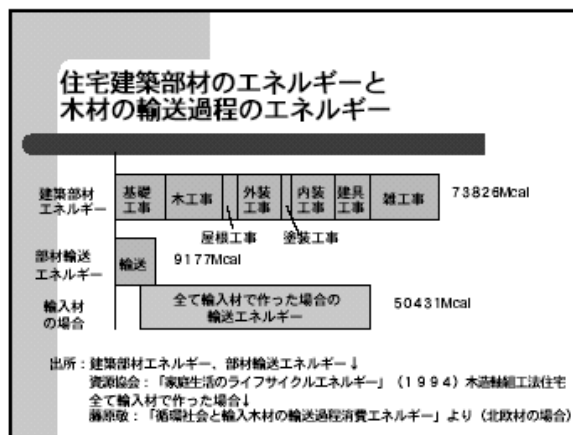


図 11.2.5

ウッドマイルズの特徴のひとつに、木材の輸送エネルギーの短縮、地域材需要の活性

化を目指している点がある。これに対して、国内の木材需要に対して国産材のみでは供給不可能であり、不足分は輸入材で補うことになる点について質疑がなされたが、全体のおよそ6割程度なら国内の森林資源の減少にはならないこと、輸入する場合でも持続可能な管理された森林から輸入するようにするという見解が示された。

また、省エネ投資としてのコスト(伐採、輸送)の評価方法や、森林そのものの資源性の評価、評価対象の広がりや評価結果の関係などに課題があると思われる。

5) 実践例に見る資源循環評価の現状

資源循環評価の実践例として、早稲田大学理工学総合研究センター 高口洋人氏に「完全リサイクルハウスのLCA評価」について講演を行って頂いた。

伝統工法・リユース、自然生態系の利用などを意図した山村型「W-PRH」と、現代技術・リサイクル、広域循環系の形成を意図した「S-PRH」の2つの実験住宅の概要が示され、構法や立地など条件が異なる実験住宅における、実際の設計、建設、解体再築、生活実験などによる検証実験を通した、LCA 評価の実践例が示された。

リサイクル・リユース率の算定にあたっての、部材ごとの寿命の違い、劣化進行具合の違いなど、実践における予測の難しさや評価感度などに課題があると思われた。

6) 住宅のライフサイクルにわたる CO₂ 排出構造

住宅におけるライフサイクルにわたる CO₂ 排出構造の把握のため、東京理科大 井上隆氏に、同氏らによる学術論文「住宅に係る地球温暖化影響の全体像」について講演を行って頂いた。

本論文では、戸建て住宅のライフサイクル

における CO₂ 排出量の中で、製造時、施工・解体、処理段階のハードに係わる段階については実態調査に基づく推計を行い、居住段階のソフトに係わる段階については、住宅内で営まれる生活行為全般を含めた推計を行うことで、住宅のライフサイクル CO₂ 排出構造の把握を試みている。その結果、生活行為全般を含む居住段階の排出量、すなわち、ソフト・住まい方の影響が極めて大きいとの結果が示された。住宅供給サイドとしては、ここで提示されたような方法で、ハードによる CO₂ 排出を設計の初期段階から検討し、ハードが運用時に及ぼす影響を含めてその抑制に努めることが重要であるとしている。さらに、エネルギー消費以外の活動を含めた行為毎の CO₂ 排出構造を住まい手に提示することにより、各自が個々の生活行為の環境への影響を自覚することができ、その結果が生活の効果的

な見直しに繋がるとの考えを示している。

建物使用時のエネルギー消費量、CO₂ 排出量は、例えば暖房の運転方式のように住まい方の影響が大きいことから、LCA 評価における住まい方の設定が重要であることが伺える。また、生活行為別の CO₂ 排出量からは、炊事・飲食、入浴の割合が大きく、生活者の住まい方の影響の大きさと共に、省エネ・省資源型の設備機器の開発と導入の重要性も指摘される。

一方で、炊事・飲食、被服などは建築に直接関係ないのではないかと指摘があり、これに対して本論文では全体像を提示することによる生活者の意識の変化や設計者への情報提供を意図しているが、LCA 評価を行うユーザーや評価対象に応じた評価対象範囲の設定に様々な方法があり得ると思われる。

11.2.4 ニーズ調査

本委員会での LCA 評価ツールの開発に関して、委員会に参加されている建設業界の委員へのヒアリングを行った、調査内容は、開発するツールがどのような性格のものであるのが望ましいのか、ツールへの組み込みが望まれる環境負荷低減努力にはどのようなものが挙げられるのかなどに関する項目である。

結果から得られたニーズ、指摘された課題などの概要を以下に示す。

1) Q1 住宅部品の評価のレベル Q2 部品レベルの改善効果の全体での評価」

(1) [ニーズ]

IVレベル(住宅設備であれば、設備方式の違いを評価するレベル)での評価がまず求められている。

同時に、IVレベルでの差異がIIレベルでどの程度影響するかを評価したいという意見もある。つまり、部品の改善効果が全体にどのくらいの影響を与えるのかを評価したいというニ

ーズもある。

その場合、要素技術間でのトレードオフが発生するケースがあるが、それらの評価においては、ある部分の改善がトレードオフとなる他の部分にも自動的に反映されるような評価ツールであることが望まれている。

(2) [課題と問題点]

評価に必要なデータを収集するためには、統一された集計ルールが必要となる。

同等品の技術(例えば、給湯方式であればCO₂ 冷媒方式など)におけるメーカー間の違いを評価することは、データの収集が非常に困難になる。本研究の期間を考慮すると現実

的ではない。

部分の全体での評価においても同様で、トレードオフの評価の仕方も含め、標準化された評価方法での評価の実施が求められている。

下記は回答例。

「部材どうしの比較評価はⅣ、それぞれ部材が建築性能に及ぼす影響はⅡ(Q1)」
「部品を比較評価するならば、Ⅳレベルの違いを反映する必要があると考えます(Q1)」
「メーカー間の違いを反映する必要があると考えますが、現実には評価に必要なデータを収集することが非常に困難であり、このレベルを評価するツール作りは少なくとも期限の短い本プロジェクトでは現実的ではないと思います。(Q2)」
「関連部材の積上データ類の充実(BG&FGデータ・原単位充実)、シナリオデータ類の充実(流通・施工、使用・補修、解体・廃棄・再生等)(Q2)」
「標準化(世間で認知度の高い)された評価法での評価の実施(Q2)」

2) Q3 住宅全体の評価のレベル

(1) [ニーズ]

Ⅳレベルでの差異が評価に反映されるツールが求められている。評価方法と設計ツールのリンクを望む声もある。

(2) [課題と問題点]

部分の評価と同様、統一された集計ルールが必要となる。

設計段階でのツールの使用が想定される。そのため、入力項目を少なくする、シナリオパターンの充実、デフォルト値の精度などが求められる。

下記は回答例。

「住宅全体の LCA 評価はまだ行っていないが、今後、部材の環境影響改善効果が住宅全体でどの程度になるかを確かむ目的で全体の評価が必要になる。」「評価の目的次

第だが、設計段階における住宅全体の評価は大まかで十分だと思う。これならば、予め感度解析を多くおこない、何がどれほど影響するのか、あるいはしないのかを整理しておき、この結果を参照する方法でも十分かもしれない。」

3) Q4 LCA 評価の感度

(1) [ニーズ]

設備システムの選択によって、全体にどの位影響があるのかを知りたいというニーズがある。材料の場合は、製品による違いまで知りたいというニーズが強い。

下記は回答例。

「実際の設計段階では、建材については、規模・仕様により、おおまかな全体量を把握できれば十分。あとは、どの設備を選択すれば負荷が小さくなるのか？(これについてはコストも欲しい)を評価できると役立つと思う。この場合、トレードオフが自動的に評価されることが望まれる。」

4) Q5～7 ツールの分類

(1) [ニーズ] [課題と問題点]

ラベリングツールでも、またデザインツールでも、材料・構造や設備などの選択や改善を比較評価するために用いるのは共通している。

5) Q8 データベースの整備と調査方法

(1) [ニーズ] [課題と問題点]

下記は回答例。

「各メーカーへ個々の商品の情報提供を求めることは非常に困難である。」「ある一般的な製品を想定(設計)し、それを製造するために必要な部品の種類・量、エネルギーを見積もってもらうのはどうか。」「まずは評価項目

（環境負荷低減努力）の中から「何を」評価するのか、したいのかの選定が必要。」

現状の原単位の問題点、メンテナンスの必要を求める声もあった。

6) Q9 流通に伴うエネルギー消費の評価

(1) 〔ニーズ〕 〔課題と問題点〕

製品毎に流通のされ方が異なるので、シナリオを想定する必要がある。木材であれば、国産材か否かによって分ける方法もある（例：ウッドマイルズ）。工業部材は流通経路が複雑なため、素材の段階まで遡ることは非常に困難。そのため製品が工場から出荷されてからの評価でよいと思われる。まずは、輸送コストを考慮する意味が有るもの、無いものの選別が必要である。

7) Q10 リユース、リサイクル材の評価

(1) 〔ニーズ〕 〔課題と問題点〕

ヒアリングからは、データがない、リサイクル技術そのものが確立されていないなど、評価を行っていないメーカーが多いようである。まず、リサイクル材には「何があるのか」、それらを「どのように評価しているのか」を調査する

必要がある。

8) Q11 評価したい環境負荷低減努力

(1) 〔ニーズ〕

「トレードオフまで考慮した最適な設備の組合せ」「施工段階、居住段階における断熱フロン環境負荷」「地域の家づくりを行っている工務店別の原単位を構成することができる、基礎的な原単位の提供。例えば、国産材を山で伐採するエネルギー、乾燥方式別の乾燥エネルギー、製材エネルギー、ミンチ解体のエネルギー、再利用可能な手壊しエネルギー、木材チップ化のエネルギーなど”小さな自立循環”を少しでも考慮できるLCA評価手法」

(2) 〔課題と問題点〕

例に挙げた評価項目に評価したいニーズのある項目を加え、その中から「何を」評価するのかを選別する事がまず必要とされている。「何を」評価するのかに続けて、「どのように」評価するのか、評価方法の構築が必要とされる。

次ページよりヒアリングシートを示す。

（村田 涼）

「アンケート：LCA 評価手法（ツール）の開発について」

1：LCA の評価対象と評価範囲について

LCA の評価対象は、住宅部品（設備システムを含む）から住宅全体まで、様々なスケールでの LCA が考えられます。また、LCA 評価を行うにあたっての評価範囲は、図 1 に示すように各レベルに区分され、各々のレベルで様々な評価項目が想定されます。

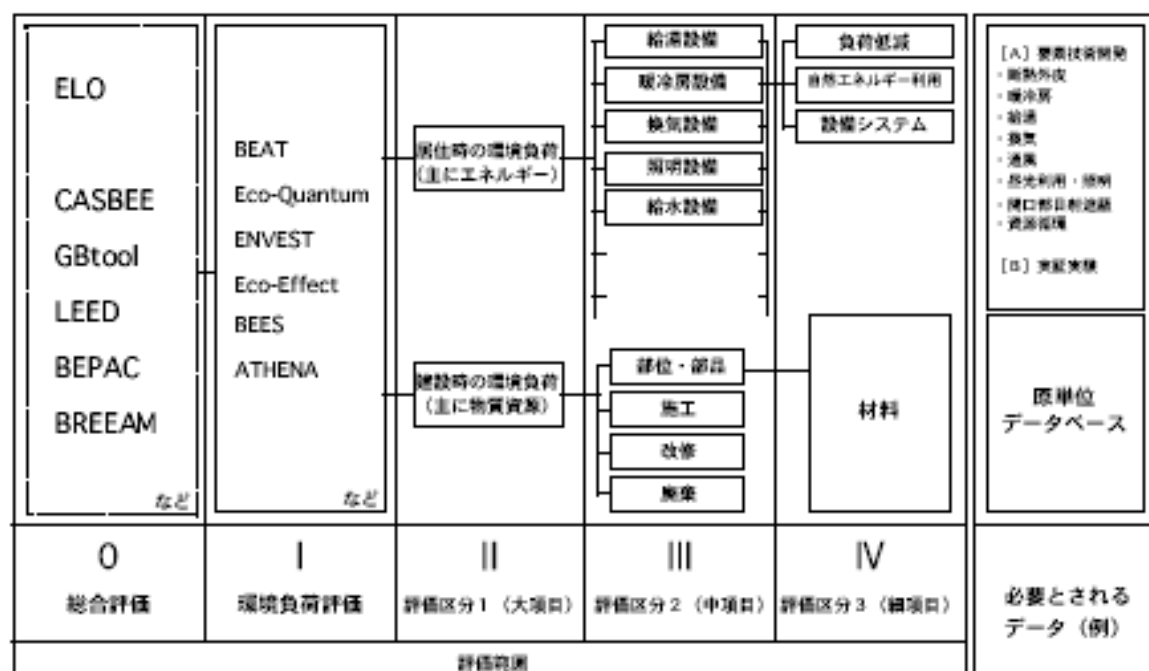


図 1 評価範囲と評価区分

●住宅部品を対象とした LCA 評価に関心のある方にお尋ねします。

Q1 住宅部品の LCA 評価は、最終的に I～IV のどのレベルで評価されていますか、または評価されるべきとお考えですか。具体的な例をあげると、

II で評価：居住段階の方が建設段階より大きい・・・

IV で評価：部材 A より部材 B の方が大きい、設備 C より設備 D の方が大きい・・・

Q1-2 今後どのように評価方法を改善すべきとお考えですか。

Q2 住宅部品レベルにおける改善効果は、住宅全体を対象とした評価にどのように反映されていますか。例えば、一つの改善効果他方に与える影響、トレードオフとなる要素をどのように評価されていますか。

Q2-2 今後どのように評価方法を改善すべきとお考えですか。

●住宅全体を対象とした LCA 評価に関心のある方にお尋ねします。

Q3 住宅全体の LCA 評価は、I～IV のどのレベルまで計算した評価を行っていますか、または行われるべきとお考えですか。

Q3-2 今後どのように評価方法を改善すべきとお考えですか。

- 各段階において、評価には様々な程度・感度が想定されます。

Q4 上記でお答えいただいた LCA 評価は、どの位の感度で評価したいとお考えですか？

- a) 大まかな評価ができればよい。(比較というより、ある基準に対して大きい小さいか程度)
- b) 設備などの選択の違いがわかればよい。(太陽電池の設置の効果など)
- c) 製品の違いまで知りたい。

2：LCA 評価手法（ツール）の分類について

- LCA には設計援用を目的とするもの（デザインツール）とラベリングを目的とするもの（ラベリングツール）が考えられます。

一般に、『設計段階あるいは開発段階で使い、評価結果を設計・開発にフィードバックするならばデザインツール』、『それ以外の段階で努力レベルを評価し、結果を公表するために使うならばラベリングツール』と区別されます。

それぞれのツールはどのレベルで必要とされるのか、今後の開発の方向についてご意見をお聞かせ下さい。

Q5 『ラベリングツール』であれば、どのレベルで、何を評価するために必要とお考えですか？

誰が、いつ、何を評価するために使うことが想定されますか？

Q6 『デザインツール』であれば、どのレベルで、何を評価するために必要とお考えですか？

誰が、いつ、何を評価するために使うことが想定されますか？

Q7 普段お使いのツールがあれば教えてください。

Q7-2 そのツールはどのレベルで、何を評価するためにお使いですか。

また、ツールへの不満点などがあれば教えてください。

3：データベース（原単位）の整備について

- 環境負荷原単位データベースは、エネルギー消費及び二酸化炭素発生量を使用します。
- データベースはできるだけ「積み上げ方式」によって整備していきたいと考えています。

Q8 住宅部材、住宅部品のメーカーから、情報を提供してもらうためには、どのような調査方法が適切でしょうか。

Q9 工場までの材料の輸送、工場からの製品の輸送など、流通に伴うエネルギー消費はどのように考慮すべきでしょうか。

Q10 リユース、リサイクル材は現状どのように評価されていますか。

Q10-1 今後どのように評価方法を改善していくべきとお考えですか。

4. 住宅関連でさまざまな環境負荷低減の努力がされています。

Q11 評価すべき項目、評価したい項目があれば挙げてください。

- 参考までに、表1に現在検討中の評価項目を挙げさせていただきます。

表1 環境負荷低減効果を評価したい事項

対象段階	分類	環境負荷低減効果を評価したい事項
設計段階	建物の熱負荷抑制	外壁・屋根の高断熱・高気密化
		屋上緑化
		調湿
		開口部の高断熱・高気密化
		日射遮蔽
	自然エネルギー利用	太陽熱利用（蓄熱・集熱）
		自然通風
		曇光利用
		太陽光発電
	給湯設備の高効率化	給湯配管（配管断熱、経路及び管径）
		給湯量の制御技術
	暖冷房設備の高効率化	給湯器の高効率化
		高効率な冷暖房システムの選択
	換気設備の高効率化	間欠運転に配慮した計画
		熱交換型換気機器
	照明設備の高効率化	高効率換気機器
		高効率照明器具
部材製造段階	環境負荷の小さな素材の利用	照明器具の配置手法
		照明器具の制御技術
	工場内の廃棄物の適正処理	躯体の長寿命化
		スケルトン・インフィル構法
	その他	適正処理への配慮
		解体しやすい構法の採用
	環境負荷の小さな部材の選択	水資源の保護
		給水量の制御技術
	その他	雨水・雑排水再利用
		リサイクル材の採用
部材調達段階	環境負荷の小さな部材の選択	環境負荷原単位のより小さな部材の選択
		効率的なカットによる廃棄物削減
	その他	工場内部材のリサイクル
		省エネ設備の導入
	環境負荷の小さな部材の選択	新たな製造技術の採用
		プレカット等による現場部材の削減、リサイクル処理
運搬段階	現場搬送の効率化	リサイクル部材の選択
		エコマーク付き部材の選択
	輸送媒体の工夫	環境原単位のより小さな部材の選択
		「地産地消」の効果（地場産の木材の使用など）
施工段階	省エネ型重機の利用	高耐久部材の選択
		解体しやすい部材の選択
	現場廃棄物の適正処理	一度に複数の現場を対象とした効率的な輸送
		環境負荷に配慮したトラックの利用
居住段階	省エネ型家電機器	公共交通機関の利用
		省エネ型重機の利用
	長寿命化	工期短縮化の工夫
		現場廃棄物の削減、リサイクル処理
解体段階	解体エネルギー削減	既築建築物の処理方法の工夫
		汚泥の適正処理
	適正処理への配慮	環境負荷の小さい土壌改良
		手解体
処理段階	適切な中間処理	適切な分別解体の徹底
		近距離の工場を選択
	適切な最終処分	近距離の処分場を選択
		環境負荷の小さな処分方法を選択
リサイクル促進	リサイクル促進	新たなリサイクル技術の開発
		新たな流通ルートの構築
リサイクル率の向上	リサイクル率の向上	リサイクル率の向上

11.3 新しい BEAT の開発

11.3.1 材料・部材の環境負荷

BEAT において建築物を構成する材料・部材の環境負荷の算定方法のうち旧 ver. から改訂された部分について概説する。図 11.3.1 に BEAT に納められている部材原単位設定画面を示す。大きな改定点は、部材の原単位に国内シナリオと世界シナリオに 2 つの原単位を設けた点と設備の原単位を設けた点にある。

1) 部材の原単位

部材の原単位については、国内シナリオと世界シナリオの 2 つの原単位を新しく設けた。国内シナリオでは、製造に係る国内での負荷量を、産業連関表を用いて算定し原単位としている。一方、世界シナリオでは、国内と国外での負荷量を、産業連関表を用いて算定し原単位としている。

2) 仕上げの原単位

仕上げの原単位は従前の BEAT と同じものがプログラムに納められている。部材の原単位同様、各原単位の値は産業連関表分析に基づいて算定している。

3) 設備の原単位

設備の原単位として、以下のものが BEAT に納められている。また、各設備には耐用年数が設定されており、原単位データとともに BEAT に納められている。

- ・温水ボイラー
- ・FF 暖房機
- ・こたつ
- ・電気カーペット
- ・ヒートポンプエアコン

- ・冷房専用エアコン
- ・レンジフード
- ・換気扇
- ・給湯給水栓
- ・便器
- ・手洗器
- ・厨房流し台
- ・浴槽 FRP 製
- ・浄水槽
- ・太陽熱コレクタ
- ・太陽電池

4) 原単位の項目

原単位の項目は従前の BEAT 同様、エネルギー消費量、CO₂ 排出量、NO_x 排出量、SO_x 排出量、煤塵排出量などの 16 項目としている。

部材区分	詳細名称	新規材 E(kcal)	CO2(kg-co2)
仮設	鋼製足場	2266.90169102995	0.190636
仮設	鋼管支柱	2859.38664373746	0.240426
仮設	支保梁	4696.95232635903	0.394934
仮設	組立	3606.43450845515	0.30324
仮設	足場九次	142987.078436992	11.22121
仮設	足場板	369253.367727142	29.232
仮設	PC板	507.923712650617	0.065342
地盤	PHC杭	576.562052163944	0.074172
地盤	RC杭	480.468376803287	0.06181
地盤	木杭	187524.506588994	14.71638
土工事	盛土	1692.8008961498	0.160474
土工事	鋼矢橋	3395.72179225961	0.320948
土工事	軽量鋼矢橋	3963.77195439954	0.375744
土工事	枕丸太	126386.930352537	9.84
土工事	矢板	133746.059042706	10.496
型枠	締め付け金具	2825.07881914589	0.24864
型枠	7A-型枠	251591.669055126	21.1546

図 11.3.1 部材原単位

(中島 史郎)

11.3.2 施工時の環境負荷

1) はじめに

戸建住宅には様々な工・構法があり、それぞれの建設プロセスについても多様化が進んでいる。例えば、従来の在来工法では、建設現場で部材を加工し、組み立てる手法が一般的であったが、現在では施工現場に搬入する前段階で部材を採寸、カット、切り欠き等の加工を施したり(プレカット工法)、面材まで貼り付けた平面パネルの状態としたり(パネル工法)、更に平面パネルを組み合わせて空間を形成するユニットまで組み立てたりする(ユニット工法)など、様々な方法が存在する。加えて、部材の搬入方法や、加工設備・施工用重機の種類など、同じ建物を建てるにも、これら条件の違いによって環境負荷が異なることになる。このため、施工段階における取り組みの評価には、これらの条件の違いが結果に反映されることが求められる。

これまでの BEAT では、これら多様な条件の違いに必ずしも十分に対応できなかった。そこで、今回、この課題を改善するために、施工プロセスの評価方法を見直すこととした。

2) これまでの評価方法

まず、これまでの BEAT の施工時の環境負荷計算方法を再確認した。計算方法は以下の式で示される。

$$\begin{aligned} & \text{施工時の環境負荷} = \\ & (\text{施工} + \text{労働者の移動}) \times \text{工業化指数} \\ & \dots \text{式 11.3.1} \end{aligned}$$

「施工」と「労働者の移動」は以下の式により計算される。

まず、式 11.3.1 中の「施工」とは、

$$\begin{aligned} & \text{仮設機材の 1 棟当りの償却分} + \text{建設} \\ & \dots \text{式 11.3.2} \end{aligned}$$

で示される。式 11.3.2 中の「仮設機材の 1 棟当りの償却分」とは、仮設材や型枠など、数回使用した後に破棄する機材の製造エネルギーを、使用回数で除した結果である。具体的に対象としている機材は、木材関係では仮設下小屋、足場用丸太、足場板及びコンクリート型枠、鋼材関係では仮設下小屋用の生子板、足場用の番線及び型枠用の釘、金物であり、使用回数は 3 回と設定している。

一方、式 11.3.2 中の「建設」は、

$$\begin{aligned} & \text{使用工具消費電力量} + \text{機材消費軽油量} \\ & \dots \text{式 11.3.3} \end{aligned}$$

で示される。この消費電力量、消費軽油量は、あるモデル住宅の建設時の実測値から算出している。式 11.3.1 における「労働者の移動」とは、

$$\begin{aligned} & (\text{総人工数} \times \text{往復移動距離} \times \text{原単位}) \\ & \div (\text{1 台当りの平均乗客人数} \times \text{車の燃費}) \\ & \dots \text{式 11.3.4} \end{aligned}$$

で示されている。ここで、往復移動距離は 30km、1 台当りの平均乗客人数は 2 人と設定されている。

なお、式 11.3.2～式 11.3.4 は、別途入力・選択する「建物の種類」「構・工法」や建物の規模に関する情報から自動的に計算される仕組みとなっている。

最後に、式 11.3.1 の「工業化指数」とは、部材の加工や組立てを施工現場とは別の場所で事前に行うこと(ここでは、これらを「工業化」と称する)で効率化が図られ、消費エネルギー量が削減されるとの考えから設定された係数である。工業化がなされない場合の係数

が1.0(デフォルト値)であり、工業化率が高まるほど値を小さく設定する。いわゆる(施工+労働者の移動)全体に対しての低減係数である。

以上のしくみにより、ユーザーが施工プロセスにおける取り組みを評価したい時は、自動的に計算される「施工」と「労働者の移動」を独自に計算するか、「工業化指数」で調整することになる。この内、前者については計算に必要な情報の収集が一般的に困難であると考えられる。このため、ユーザーの作業負担を軽減する目的で用意されたのが「工業化指数」である。ただし、これは全体に対する低減係数であることから、値の設定が困難である点が課題であった。今回の改訂は、この「工業化指数」を設定し易くすることが目的である。

3) 新しい評価方法

新しい評価方法では、これまで「施工」と「労働者の移動」に区分されていた施工プロセスを、「プレ加工(組立て等も含む)」「(部材の)輸送」「(建築現場における)施工」の3区分とし、それぞれに対して別々に設定する「工業化指数」を乗じる仕組みとした。これにより、プロセス毎に低減効果を設定することができるようになり、以前の全体に対する低減係数に比べ、設定が容易になると考えられる。図 11.3.2に、評価のバウンダリの変更点を示す。

図に示すとおり、新たに「プレ加工」を追加した。なお、対象は「プレ加工に係る負荷」と「プレ加工を行う作業員の移動負荷」とした。

「輸送」(図中の「移動」)に関しては「部材メーカーからプレ加工が行われなくて建設現場に輸送される移動負荷」と「プレ加工された後に建設現場に輸送される移動負荷」の双方を対象とした。

「施工」(図中の「建設」)に関しては、現場で使用される「工具の使用負荷」「機材の使

用負荷」、現場まで移動してくる「作業員の移動負荷」「機材の移動負荷」を対象とした。図 11.3.3に評価対象を示す。

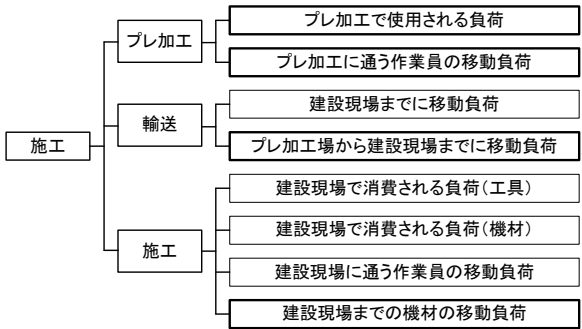
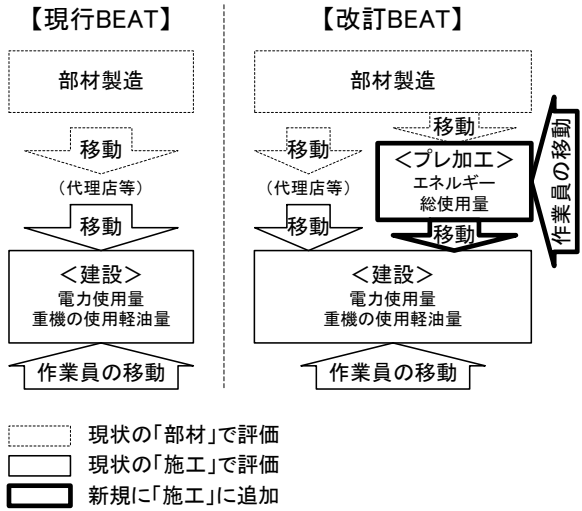


図 11.3.3 評価区分と対象

4) デフォルト値の計算方法

プログラムでは、「工・構法」を選択することで、予め用意してあるデフォルト値が自動的に設定される仕組みとなっている。

表 11.3.1 デフォルト値

	総量	工業化指数		
		プレ加工	輸送	施工
木質系軸組	115	0.20	0.05	0.75
木質系枠組	115	0.20	0.20	0.60
木質系パネル	115	0.40	0.20	0.40
鉄骨系軸組	115	0.30	0.20	0.50
鉄骨系ラーメン	115	0.20	0.20	0.60

この数値はユーザーが変更できるようになっているが、その計算は別途行う必要がある。計算方法は評価の対象や目的により異なると

考えられるが、参考までにデフォルト値の計算式を以下に示す。

(1) プレ加工

a プレ加工で使用される負荷

Σ (プレ加工段階のエネルギー消費量 × 原単位)

・・・式 11.3.5

プレ加工段階のエネルギー消費量: エネルギー消費量を加工総㎡数で除した値

※デフォルトでは、工場や事務所などで間接的に使用されるエネルギーを含めて計算した。

b プレ加工を行う作業員の移動負荷

$\frac{\text{人数(人/㎡)} \times \text{往復移動距離(km)}}{1 \text{台当りの平均乗客人数} \times \text{車の燃費(km/l)}}$

・・・式 11.3.6

人数: 全従業員数を加工総㎡数で除した値

往復移動距離: 30kmと仮定

平均乗客人数: 1人と仮定

車の燃費: 10km/l(普通自動車を想定)と仮定

(2) 輸送

a 建設現場までの輸送負荷

$\frac{\text{使用台数(台/㎡)} \times \text{往復移動距離(km)}}{\text{車の燃費(km/l)}}$

・・・式 11.3.7

使用台数: 使用台数を加工総㎡数で除した数値(使用台数は「輸送量÷トラック積載量」で算出)

往復移動距離: 100kmと仮定

車の燃費: 6km/l(4tトラックを想定)と仮定

b プレ加工場から建設現場までの移動負荷

$\frac{\text{使用台数(台/㎡)} \times \text{往復移動距離(km)}}{\text{車の燃費(km/l)}}$

・・・式 11.3.8

使用台数: 使用台数を加工総㎡数で除した数値(使用台数は「輸送量÷トラック積載量」で算出)

往復移動距離: 100kmと仮定

車の燃費: 6km/l(4tトラックを想定)と仮定

(3) 施工

a 建設現場で消費される負荷 (工具)

$\frac{\text{人工数(人工/㎡)} \times \text{単位電気量(kWh/人工)}}{\times \text{原単位}}$

・・・式 11.3.9

人工数: 総人工数を加工総㎡数で除した数値

単位電気量: 1.05kWh/人工と仮定

※単位電力量の導出方法は下記による。

家庭生活のライフサイクルエネルギー((社)資源協会編)より2×4工法(101.02㎡)における工具の使用実績は227.5kWh、作業人工が215人工。これより、 $227.5\text{kWh} \div 215\text{人工} = 1.05\text{kWh/人工}$

b 建設現場で消費される負荷 (機材)

$\text{使用時間(h/㎡)} \times \text{機材の燃費(l/h)} \times \text{原単位}$

・・・式 11.3.10

使用時間: 0.36h/㎡と仮定

機材の燃費: 7.0l/hと仮定

※使用時間の導出方法は下記による。

前出の文献より2×4工法(101.02㎡)の機材の使用実績が36h。

$36\text{h} \div 101.02\text{㎡} = 0.36\text{h/㎡}$ とした。

c 建設現場に通う作業員の移動負荷

$\frac{\text{出面総数(人/㎡)} \times \text{往復移動距離(km)}}{1 \text{台当りの平均乗客人数} \times \text{車の燃費(km/l)}}$

・・・式 11.3.11

出面数: 全出面を建設総㎡数で除した数値

往復移動距離: 30kmと仮定

平均乗客人数: 1人と仮定

車の燃費: 10km/l(普通自動車を想定)と仮定

※出面数とは建設現場に出た、大工・左官など職種別労働者の一日当たりの人数を示しており、該当建物の建設に係る建設現場に出てきた総人数を用いる。例えば、木造軸組み工法(140㎡)の場合、3人×5ヶ月(工期)と仮定し、下記の式で算出。

$3(\text{人/日}) \times 5(\text{ヶ月}) \times 4(\text{週間/月}) \times 5(\text{日/週}) = 300 \text{人}$

d 建設現場までの機材の移動負荷

$\frac{\text{使用回数(回/㎡)} \times \text{往復移動距離(km)}}{\text{車の燃費(km/l)}}$

・・・式 11.3.12

使用台数: 10台と仮定(101㎡程度の住宅時)

往復移動距離: 20kmと仮定

車の燃費: 6km/l(4tトラックを想定)と仮定

なお、運搬が必要な機材を下記の様に仮定した。

なお、機材が一体になっている車両(例えばユニック車)もここに含まれる。

ユンボ : 2回 ポンプ車: 1回

ランマー : 1回 ユニック: 6回

以上により、デフォルトで用意されている6種類の工・構法について計算した結果、「プレ加工」「輸送」「施工」、それぞれについてエネルギー消費量が得られた。これら全ての積算値が、表 11.3.1に示す“総量”欄に示される値である(プログラムでは、「設定」>「構・工法原単位」の“戸建て住宅”欄)。表に示すとおり、今回の計算ではいずれの工・構法においても総量が概ね同じ値となった。当然ながら実際の計算結果では僅かな差が見られ

たが、条件設定の誤差範囲内と考えられたため、デフォルト値としては全て同じ値とした。

5) 工業化指数の考え方

表 11.3.1に示される工業化指数は、総量に対する「プレ加工」「輸送」「施工」の構成比率であり、デフォルトでは全てを足すと1となる。すなわち、施工プロセス各段階のエネルギー消費量は、木質系軸組を例にとると、

プレ加工	: $115 \times 0.2 = 23 (\text{Mcal}/\text{m}^2)$
輸送	: $115 \times 0.05 = 5.75 (\text{Mcal}/\text{m}^2)$
施工	: $115 \times 0.75 = 86.25 (\text{Mcal}/\text{m}^2)$

であり、その合計は $115 (\text{Mcal}/\text{m}^2)$ となる。前述のとおり、いずれの工・構法でも総量は同じ値であったが、表中の工業化指数が示すとおり、プロセス毎の消費量は異なった。

工業化指数を使って施工段階の取り組みを評価するときは、工業化指数をプロセス毎の低減率として考える。例えば、前出の木質系軸組において、プレ加工の生産効率を2倍に高めた場合、「プレ加工」の指数 0.2 を 2 で

除した 0.1 が「プレ加工」の工業化指数となり、エネルギー消費量は、 $115 \times 0.1 = 11.5 (\text{Mcal}/\text{m}^2)$ となる。このとき、工業化指数の合計は 0.9 となり、この値が以前の BEAT における工業化指数に相当する。

6) まとめ

新しい評価方法では、施工プロセスを「プレ加工」「輸送」「施工」に分け、それぞれについてエネルギー消費量と工業化指数を設定できるようにした。

施工プロセスは、住宅のライフサイクル全体のエネルギー消費比率こそ小さいが、住宅供給サイドとしては直接的に携わるプロセスである。このため、この段階の環境負荷を把握しておくことは適切な取り組みを行う上では欠かすことのできない作業である。今回用意したデフォルト値はあくまでも一例であり、ユーザーはできるだけ自社のエネルギー消費量を一度計算し、デフォルト値を変更されることをお薦めする。

(近田 智也、松元 建三)

11.3.3 建物使用時の環境負荷

1) 暖冷房負荷の計算

従来の BEAT では、建物の熱損失係数と地域の暖房度日から年間の暖房負荷を求めている。この方法では、断熱化、気密化による暖房負荷軽減の概略の効果を予測できるが、実際に適用される数多くの省エネ工夫を評価し、結果に反映することは困難であった。個別の省エネ工夫の効果を検討するシミュレーションプログラムやデザインツールは、これまでいくつか開発されている。

今回の改訂においては、(1) できるだけ多くの建築設計上の工夫を評価しつつ、かつ

(2) できるだけ簡便な方法によって計算を行うというデザインツールとしての条件を満たすために、すでに開発されているプログラム(PASSWORK—注1—)を部分的に改定して、暖冷房に伴うエネルギー消費量を求めることとした。

PASSWORK はパッシブデザインの設計ツールとして開発された非定常計算プログラムである。今回の対象は住宅であるので、まず、一般的な住宅を想定して、入力項目の多くをデフォルト値としてあらかじめ設定し、省エネに関連する入力項目を限定して、入力することとした。これによって、導入した設計上の工夫がすみやかに結果に示されることとなっ

た。

また、出力項目も、年間暖房負荷、年間冷房負荷のふたつだけに限定し、暖冷房に消費する2次エネルギー量を BEAT 全体のライフサイクル分析プログラムに手渡すものとした。

(1) PASSWORKアルゴリズム概要

PASSWORK では熱の系を複数の節点(Node:ノード)で構成される等価な熱回路(Thermal Network)で表し、この熱回路網を構成する各々の節点における熱収支式を連立させて解くいわゆる熱回路数値解析法を用いている。

任意の接点における熱平衡式を以下に示す。ここで

M_i : 節点*i*の熱容量(kcal/℃)

θ_i : 節点*i*の温度(℃)

$C_{i,j}$: 節点*i*、*j*間の熱コンダクタンス
(kcal/m²h℃)

$A_{i,j}$: 節点*i*、*j*間の伝熱面積(m²)

θ_a : 外気温など温度が既知である節点*a*の
温度(℃)

$C_{i,a}$: 節点*i*、*a*間の熱コンダクタンス
(kcal/m²h℃)

$A_{i,a}$: 節点*i*、*a*間の伝熱面積(m²)

HGi : 節点*i*に供給される熱量(kcal/h)

上記の式を後退差分し、数値解を得ている。

PASSWORK は設計の初期段階に使用される事を前提としており、計算に必要とするデータの入力及び出力結果の選択あるいは表示は全て GUI を用いて行われる。

データ数は建物データ、冷暖房のモード、換気モード、気象データに関わるものでかなりの数となる。詳細については注記した参考文献を参照されたい。

(2) 入力項目の限定

先述したように、BEAT では暖冷房負荷計算に要する多くのパラメータはデフォルト値として設定されており、図 11.3.4にあげた26項目について入力がされれば、計算が実行される仕組みである。

26 項目の入力後、自動的に PASSWORK が必要とするデータが編集され、計算が開始される。

PASSWORK では、月別の時刻別室温変動、月別暖冷房負荷などが出力されるが、BEAT ではそれを編集して年間の暖冷房負荷のみを出力する。以下にその概要を示す。

a : 気候パターンへの入力

PASSWORK では、838 地点分の気候パターンがデータベースとして用意されている。BEAT の利用者は、建設地を選ぶだけで、計算に必要とする年間の気候データが読み込まれる。

b : 建物形状への入力

BEAT では、標準的な住宅として 1) 平屋または 2) 総 2 階の住宅を想定した形状が設定されている。すなわち、平面のプロポーションや階高、窓の位置などはデフォルト値として固定しており、そこに、図 11.3.4に示すパラメータの変化が年間暖冷房負荷に及ぼす影響(1+2)示された入力項目のそれぞれが追加入力されて、計算に必要な入力が終了する。

① 平屋の場合

与えられた延べ床面積は床面積と等しいのでこの値を用い、建物の幅と奥行き比率を 4:3 として求める。

建物高さは、平屋の場合、3.0m としている。

② 2 階建ての場合

総 2 階を前提としているため、与えられた延べ床面積の 1/2 が1階及び2階の床面積となる。そのイメージを図 11.3.5に示す。これは総 2 階で総床面積が 150m²のケースである。2 階の床は表示されていない。

c : 開口部の形状と位置への入力

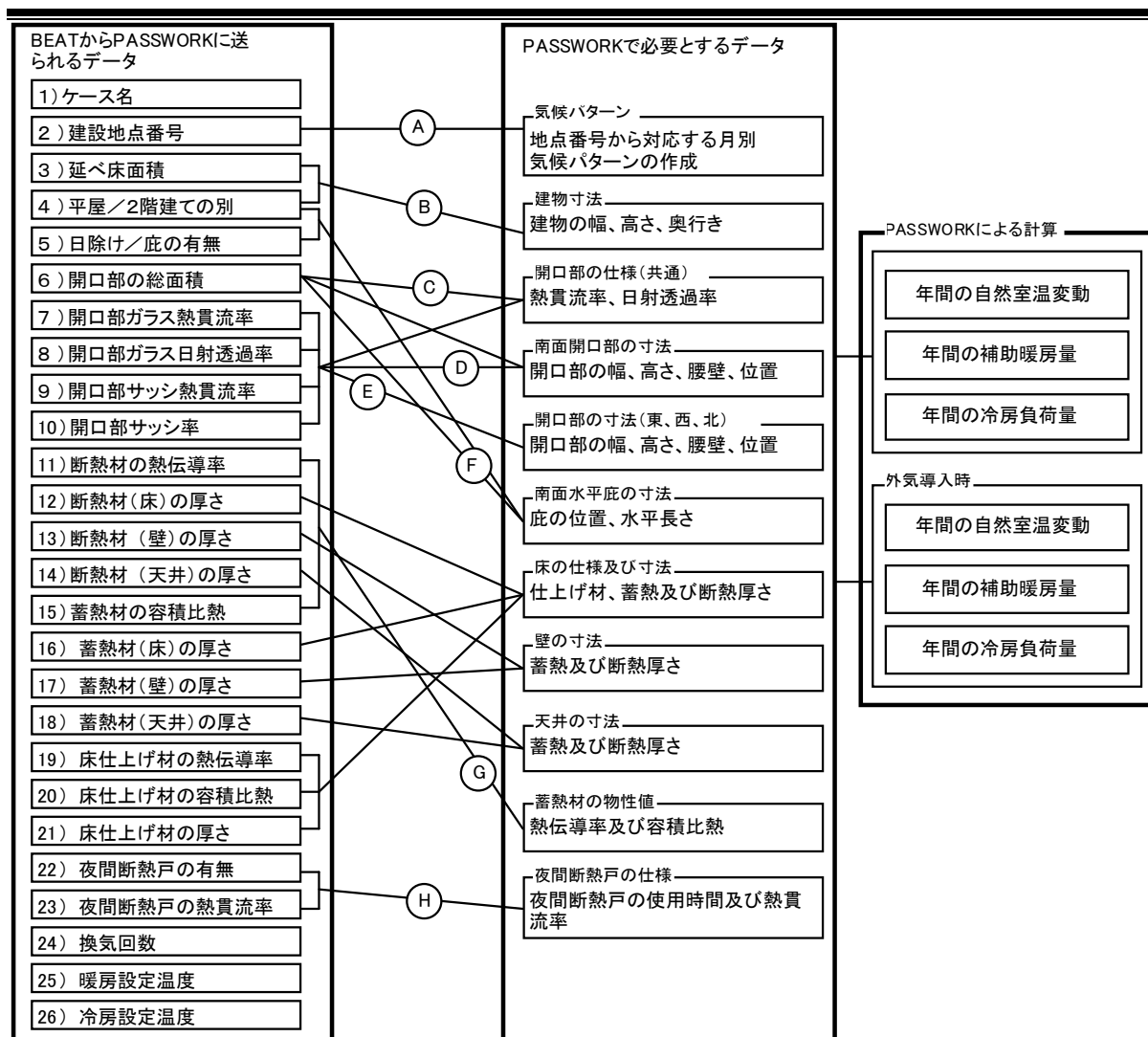


図 11.3.4

より、各面の開口面積が入力される。

d 南面開口面積の位置、形状

① 平屋の場合、開口部の高さは 2.2m、腰壁なし、2階建ての場合は開口部の高さ 4.4m で、腰壁なしとし、先に入力された面積より開口部の幅を求める。位置は南壁面の中央に位置するものとしている。これから時刻別取得日射の入射位置と熱量が計算される。

② 東西面開口部の寸法

平屋の場合、開口部の高さは 2.2m、腰壁の高さ 0.5m、2階建ての場合は高さ 4.4m で平屋と同様、腰壁は 0.5m として開口部の幅を求める。位置は東西壁面の中央に位置す

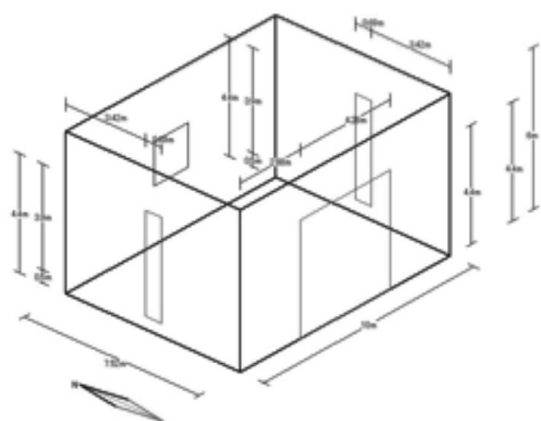


図 11.3.5

入力項目 6) で開口部の総面積を入力する。総面積の 70% を南開口面積とし、東西及び北側の開口部の面積をそれぞれ 10% とすることがあらかじめ設定されているので、これに

るものとしている。これから時刻別取得日射の入射位置と熱量が計算される。

③ 北面開口部

北面の開口部は非集熱開口部として扱われるので、位置・形状は考慮されない。

e : 開口部の仕様の入力

入力項目 6)－10)から、開口部の熱損失特性、日射熱取得特性が設定される。ガラスとサッシの特性が別々に入力される。ガラスの熱貫流率、日射透過率はあらかじめガラスの種類別にマニュアルの中に表示されているので、それを参照して入力する。サッシ率は総開口面積に占めるサッシの見つけ面積の割合である。サッシの材料により異なるので、これもマニュアルの表を参照して入力する。サッシの熱貫流率も同様である。ガラス部分の損失熱量を Q_g 、サッシ部分からの損失熱量を Q_s とすると

$$Q_g = K_g \cdot (1 - sl) \cdot A_o \cdot \Delta\theta$$

$$Q_s = K_s \cdot sl \cdot A_o \cdot \Delta\theta$$

ここで

K_g : ガラスの熱貫流率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)

K_s : サッシの熱貫流率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)

sl : 開口面積に対するサッシ率

A_o : 開口面積 (m^2)

$\Delta\theta$: 温度差 ($^\circ\text{C}$)

これらの Q_g 、 Q_s の和が開口部からの損失夏量となるので開口部の K_o は以下の様になる。

$$K_o = K_g \cdot (1 - sl) + K_s \cdot sl$$

ガラス面積は $A_o \times (1 - sl)$ となるので、これとガラスの日射透過率から開口部の日射透過率が設定される。

f : 日除け／庇の入力

日除けがある場合、平屋建てでは開口部上端から 50cm 上部に水平張り出し長さ 50cm の水平庇があるものとしている。2 階建ての場合も同様である。

g : 壁・床・天井（屋根）の入力

使用する断熱材を決め、入力項目 11) で断熱材の熱伝導率を入力する。12)－14) で各部位の断熱厚さを入力する。断熱材の内側に蓄熱部位がある場合には、蓄熱材の容積比熱を 15) で入力し、各部位の蓄熱材の厚さを 16)－18) で入力する。主な材料の熱伝導率、熱容量はマニュアルに表示されているのでそれを参照して値を入力する。

また、床の蓄熱部位の上に床仕上材を設定することが可能である。その材料の熱特性を 19)－21) で入力する。

h : 夜間断熱戸の入力

入力項目 22) で夜間断熱戸の使用の有無を入力する。夜間断熱戸の熱貫流率は項目 23) で入力する。使用時間帯は各月の日の入りから日の出まで時刻までである。

i : 通風・換気モードの入力

換気回数は入力項目 24) で入力する。暖房時、冷房時にはここで設定された換気の状態 で負荷の非定常計算が行われる。

一般に冷房負荷は、常時窓を閉めた設定で計算されるが、これは実際の一般的な使用条件とは異なると考えられる。外気の条件が良好な場合には通風を行い、ある限度を越えた場合に冷房を使用するのが一般的であると考えられる。このような一般的な状況を想定して、このプログラムでは次のようなふたつの暖冷房使用条件を設定している。

① 部屋を締め切った状態で、室温が設定温度を超えたら冷房を使用する。

② 外気温が 20°C 以上 27°C 以下の場合には、外界が良好な条件と考えて通風（毎時 30 回の換気回数相当）を行い、外気が 27°C を超え、かつ室温が冷房設定温度を超えている場合に冷房を行うものとする。

ただし、暖冷房の設定温度に従って運転を

行う場合には、24)で設定した換気回数の条件として計算する。

図 11.3.6 に東京 8 月の外気及び日射量の変動を示す。グラフ中のハッチング部分が外気を導入する時間帯で、外気導入量は 30 回／時、外気を導入しない場合は 0.5 回／時である。

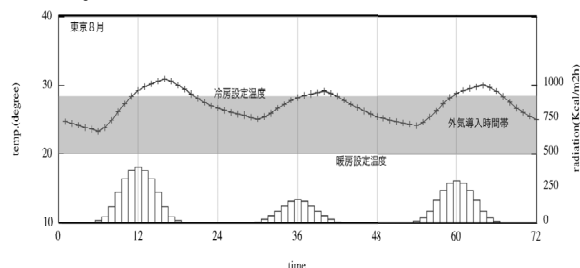


図 11.3.6

上記の例では密閉するのは 1 日目では午前 11 時から午後 8 時までで残りは外気を導入していることになる。

ｊ：暖冷房設定温度の入力

25)、26)の項目に入力する。なお、暖冷房使用時間はデフォルト値で入力され、一定である。使用時間は、07:00-10:00、12:00-14:00、16:00-23:00 である。

(小玉 祐一郎)

注1) 1)小玉祐一郎、武政孝治：設計支援を目的とするパッシブソーラーシステム性能予測技法の研究(1) パソコンを用いたプログラムの開発と検証, 日本建築学会論文報告集, 1987, pp.44-53

11.3.4 解体・改修時の環境負荷

BEAT における建築物の解体・改修時の環境負荷の算定方法に概説する。

1) 廃棄原単位

部材設定において入力した建築部材に起因する建設時および解体時における廃材の発生量を自動的に算定するためのデータが予め用意されており、プログラム内にデータベースとして納めている。データベースには、建物の建設時についてのものと、解体時についてのものが用意されており、解体時についてのものにはさらに解体方法(手解体、機械手併用解体)によって異なる 2 種類のものが用意されている。データベースでは、建設時に発生する解体材の方が解体時に排出される廃棄物よりも混合廃棄物の量が少ない、手解体によって発生する解体材の方が機械手併用解体によって発生する解体材よりも、混合廃棄物の量が少ないなど現状の特性が反映されている。なお、このデータは木造住宅(軸組構法住宅)の解体材の分析に基づいて作成したものであるため、他構造、他工法による建物については今後データを充実させてゆく

必要がある。表 11.3.2 に一例として部材廃棄原単位(手解体時)を示す。

2) 廃棄処理のシナリオ

BEAT ではいくつかの「廃棄処理パターン」を予め設定し選択できるようにしている。選択した廃棄処理のパターンに応じて廃棄処理過程において消費されるエネルギー量と CO₂ 排出量が計算される。BEAT に組み込まれている廃棄処理パターンはマニフェスト伝票の分析に基づいて作成している。

個々の建築物において廃棄物の処理パターンは異なるが、その傾向について見ると地方性、地域性などが読みとれる。

BEAT では、3 つの地域について処理パターンのデフォルトを定め、地域を選択することによって、中間処理、最終処分に係る負荷量が計算できるようになっている。

表 11.3.2 部材廃棄原単位（手解体時）

区分	部材名	元単位	廃棄物排出量（機械手併用解体）単位：kg												
			木くず	がれき類	瓦	石膏ボード	炭ブラ類	鉄くず	アルミくず	ステンレスくず	銅くず	ガラス	クロス	建具・畳	設備機器
仮設	鋼製足場	m2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
仮設	鋼管支柱	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
仮設	支保梁	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
仮設	脚立	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
仮設	足場丸太	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
仮設	足場板	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
地業	PC杭	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
地業	PHC杭	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
地業	RC杭	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
地業	木杭	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
土工事	型鋼	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
土工事	鋼矢板	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
土工事	軽鋼矢板	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
土工事	杭丸太	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
土工事	矢板	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
型枠	締め付け金具	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
型枠	アルミ型枠	unit	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
型枠	鋼製型枠	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
型枠	木製型枠	1.66m2	11.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
型枠	スラ型枠	m3	570.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00
コンクリート	セメント	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コンクリート	砂	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コンクリート	砂利	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コンクリート	砕石	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
コンクリート	生コンクリート	m3	0.00	2450.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄筋	普通鉄筋	kg	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄筋	異形鉄筋	kg	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄骨	ボルト	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄骨	型鋼	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄骨	軽重量鋼	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄骨	鋼骨	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄骨	鋼骨	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
鉄骨	プレキャスト	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
既製コンクリート	ALC	m3	0.00	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
既製コンクリート	コンクリート（A種）	m3	0.00	1800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00
既製コンクリート	コンクリート（B種）	m3	0.00	1800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00
既製コンクリート	コンクリート（C種）	m3	0.00	1800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.00
既製コンクリート	PC板	kg	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
既製コンクリート	レンガ	unit	0.00	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
木工事	普通合板	m3	570.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00
木工事	構造用合板	m3	570.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00
木工事	製材	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
木工事	集成材	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
木工事	化粧集成材	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
木工事	構造用天断面集成材	m3	475.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00

今回、BEAT で廃棄処理パターンのデフォルトを定めた地域は 3 地域である。BEAT に組み込まれている処理パターンは、マネュエツト伝票分析に基づくものではあるが、あくまでもデフォルトであり、同じ地域でも地区の特性、処理者の考え方によって処理方法は異なる。したがって、今後の課題として直接数値を入力できる仕組みを組み込み、解体処理における環境配慮を評価できる枠組みを設ける必要がある。

3) 建設時発生廃棄物の処理法選択

図 11.3.7に BEAT における建設時の設定画面を示す。

BEAT では廃棄処理パターン、が選択できる。廃棄処理のパターンを選択することによって解体材が種類別にどのような処理が行われるかが示される。BEAT に組み込まれている処理パターンは図 11.3.8～図 11.3.10に示すとおりである。

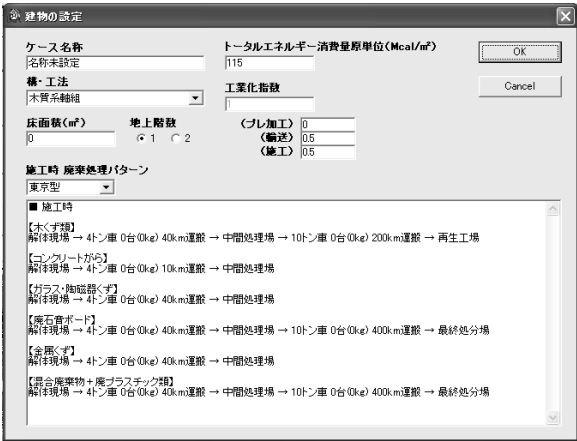


図 11.3.7 建設時発生廃棄物の処理法入力

4) 解体時発生廃棄物の処理法選択

図 11.3.11に BEAT における解体・廃棄の設定画面を示す。BEAT では廃棄処理パターン、建物の解体方法が選択できる。廃棄処理のパターンを選択することによって解体材が種類別にどのような処理が行われるかが示される。

IV 自立循環型住宅の設計建設支援システム開発[C]

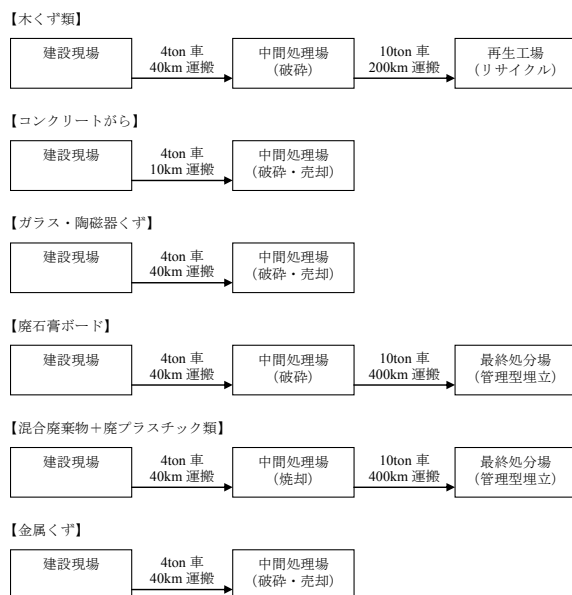


図 11.3.8 建設時の廃棄シナリオ（都市A型）

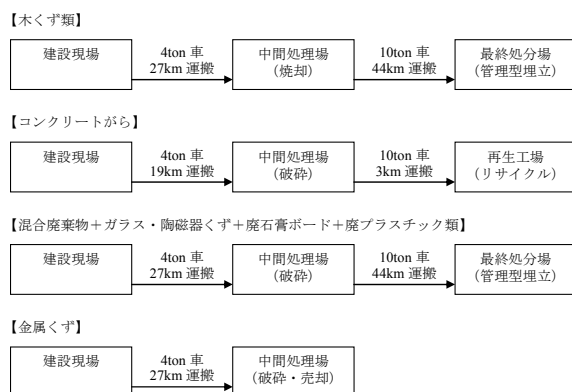


図 11.3.9 建設時の廃棄シナリオ（都市B型）

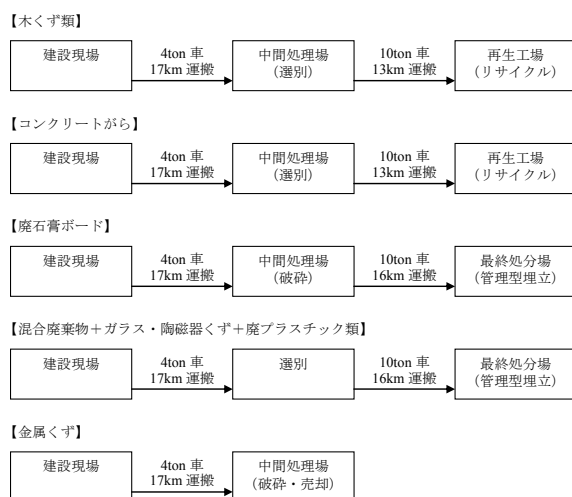


図 11.3.10 建設時の廃棄シナリオ（都市C型）



図 11.3.11 解体・廃棄の設定

BEAT に組み込まれている解体時における処理パターンは図 11.3.12から図 11.3.14に示すとおりである。現時点では 3 パターンのみ組み込まれているが、今後、各都道府県、或いは市町村ごとに標準的な処理パターンを定め、組み込んでゆくことも重要であろう。

5) 解体に係る負荷

解体工事にかかるエネルギー消費量と CO₂ 排出量は既往の文献 1)、独自の調査 2)等に基づいて算定することが可能である。

機械手併用解体時における単位床面積あたりのエネルギー消費量と CO₂ 排出量としては、

エネルギー消費量: 43500kJ/m²
CO₂排出量: 0.84kg-C/m²

という値を参考値として求めている。この値を建物の延べ床面積に乗じて、解体に要するエネルギー消費量と CO₂ 排出量を算出することが可能である。

一方、手解体時における単位床面積あたりのエネルギー消費量と CO₂ 排出量としては、エネルギー消費量: 7250kJ/m²
CO₂排出量: 0.14kg-C/m²
という値を参考値として求めている。この値に建物の延べ床面積に乗じて、解体に要するエネルギー消費量と CO₂ 排出量を算出することが可能である。なお、手解体の場合は基礎コンクリートの解体時にのみ重機を使用するので、この分のエネルギー消費量と CO₂ 排出量を計算して原単位としている。

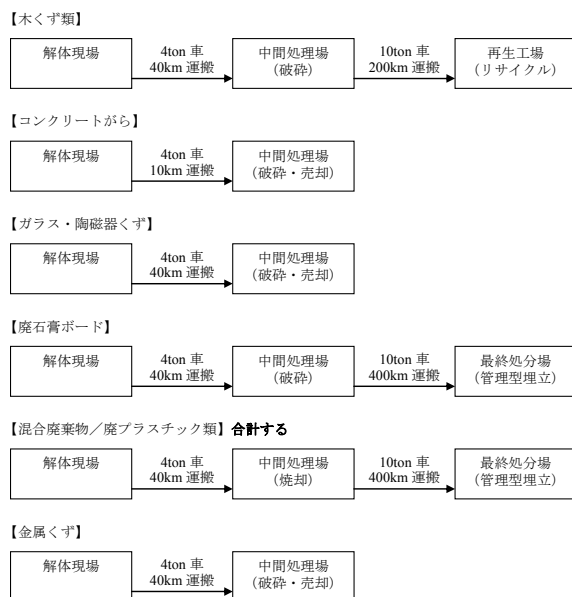


図 11.3.12 解体時の廃棄シナリオ（都市A型）

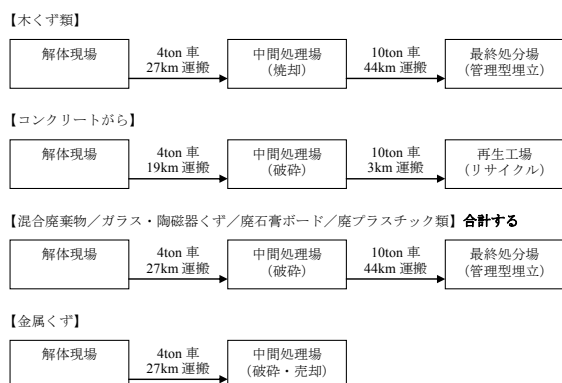


図 11.3.13 解体時の廃棄シナリオ（都市B型）

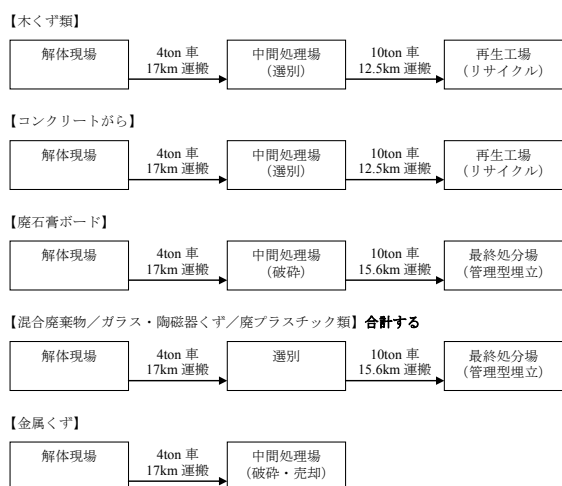


図 11.3.14 解体時の廃棄シナリオ（都市C型）

6) 輸送に係る負荷

輸送に係る負荷量を計算する場合には、

解体時に発生する廃棄物量(kg ベース)を各廃棄物の項目別に算定する必要がある。各項目について算定した廃棄物量を以下のルールにしたがって振り分け、代表的な廃棄物の排出量を求めることができる。

a <ルール>

- ①「木くず」と「建具・畳」を合計した量を「木くず類」とする。
- ②「がれき類」はそのままの量を「コンクリートがら」とする。
- ③「瓦」と「ガラス」を合計した量を「ガラス・陶磁器くず」とする。
- ④「石膏ボード」はそのままの量を「廃石膏ボード」とする。
- ⑤「廃プラ類」と「クロス」を合計した量を「廃プラスチック類」とする。
- ⑥「鉄くず」「アルミくず」「ステンレスくず」「銅くず」を合計した量を「金属くず」とする。
- ⑦「混合廃棄物」はそのままの量を「混合廃棄物」とする。
- ⑧「設備機器」については廃棄についての負荷量計算の対象外とする。

つぎに解体材を輸送するトラックの必要台数を算定する必要がある。必要トラック台数はすべての種類の廃棄物が4トントラックを用いて解体現場から中間処理場などに運ばれる等の仮定を設けて算定することができる。この場合、トラックの最大積載重量は廃棄物の種類によって異なる。例えば、4トントラックの最大積載重量は表 11.3.3 のようになる。

各廃棄物の量を表 11.3.3 の最大積載重量で除せば、必要なトラック台数が計算できる。例えば、「木くず類」の排出量が 15000kg の場合には、

$$15000 \div 3150 = 4.76$$

となるので、必要なトラック台数を5台となる。

廃棄物を輸送するためにトラックが消費するエネルギー量と排出するCO₂量については以下の方法によって算定することができる。

表 11.3.3 4トントラックの最大積載重量

廃棄物種類	最大積載重量 (4トントラック)
木くず類	3150kg
コンクリートがら	4000kg
ガラス・陶磁器くず	4000kg
廃石膏ボード	4000kg
廃プラスチック類	1120kg
金属くず	4000kg
混合廃棄物	4000kg
混合廃棄物＋廃プラスチック類	4000kg
混合廃棄物＋ガラス・陶磁器くず＋廃プラスチック類	4000kg
混合廃棄物＋廃石膏ボード＋ガラス・陶磁器くず＋廃プラスチック類	4000kg

(輸送距離×2)×輸送原単位
×トラック台数

なお、輸送原単位には例えば、
エネルギー消費量:7630kJ/km、CO₂排出量:0.15kg-C/km
などが用いられる。

7) 中間処理・最終処分に係る負荷

中間処理、中間処理場から最終処分場までの輸送、最終処分、に係る負荷原単位を調査等によって求め、処理或いは輸送する廃棄物の量を乗じて、全体的な負荷量を算定することが可能である。ただし、処理等に係る負荷量を精緻に求めるのには膨大な調査を必要とする。

a) 中間処理に係る負荷

中間処理に係る負荷量を計算するにあたっては、各廃棄物が以下に示す処理施設で処理されることとしている。

【都市 A 型の場合】

- 木くず類 : 木くず処理プラント
- コンクリートがら : 建設廃材処理プラント
- ガラス・陶磁器くず : 建設廃材処理プラント
- 廃石膏ボード : 建設廃材処理プラント
- 金属くず : 建設廃材処理プラント
- 混合廃棄物＋廃プラスチック類 : 焼却プラント

【都市 B 型の場合】

- 木くず類 : 木くず処理プラント
- コンクリートがら : 建設廃材処理プラント
- 廃石膏ボード : 建設廃材処理プラント
- 金属くず : 建設廃材処理プラント
- 混合廃棄物＋ガラス・陶磁器くず＋廃プラスチック類 : 混合廃棄物処理プラント

【都市 C 型の場合】

- 木くず類 : 焼却プラント
- コンクリートがら : 建設廃材処理プラント
- 金属くず : 建設廃材処理プラント
- 混合廃棄物＋廃石膏ボード＋ガラス・陶磁器くず＋廃プラスチック類 : 混合廃棄物処理プラント

各廃棄物の量に中間処理に係るエネルギー消費量とCO₂排出量を乗じて、エネルギー消費量原単位とCO₂排出量原単位を算定している。表 11.3.4に算定に用いた原単位を示す。

表 11.3.4 中間処理に係る原単位

プラント名	エネルギー消費量原単位 (kJ/kg)	CO ₂ 排出量原単位 (kg-C/kg)
木くず処理プラント	563	7.7×10^{-2}
建設廃材処理プラント	97	1.8×10^{-2}
混合廃棄物処理プラント	402	5.8×10^{-2}
焼却プラント	6535	109.3×10^{-2}

b) 最終処分に係る負荷

最終処分場で処理される廃棄物の量を計算するにあたっては、最終処分場で処理される廃棄物の種類を以下のように想定した。

【都市 A 型の場合】

- 廃石膏ボード
- 混合廃棄物＋廃プラスチック類

【都市 B 型の場合】

- 廃石膏ボード
- 混合廃棄物＋ガラス・陶磁器くず＋廃プラスチック類

【都市 C 型の場合】

- 木くず類
- 混合廃棄物＋廃石膏ボード＋ガラス・陶磁器くず＋廃プラスチック類

表 11.3.5 最終処分に係る原単位

エネルギー消費量原単位(kJ/kg)	CO ₂ 排出量原単位(kg-C/kg)
750	0.015

最終処分される各廃棄物の量に対して表 1 1.3.5に示す最終処分に係るエネルギー消費量原単位と CO₂ 排出量原単位を乗じて、最終処分に係るエネルギー消費量と CO₂ 排出量を算定している。

8) 改修に係る負荷

BEAT では図 11.3.15に示す部材設定において仕上げ材の種類と施工面積を入力することによって自動的に改修に係る負荷量が算定できるようになっている。これは従前の BEAT と同じ方法を採用したものであり、各仕上げの仕様について更新までの期間が設定されている。例えば、ある仕様 A の更新期間が 10 年で、建物の寿命が 55 年だとすると仕様 A を施工した部位は、建物の供用期間中に 5 回改修又は交換されることになり、改修又は交換に必要な材料の製造に係る負荷量、施工に係る負荷量が自動的に計算されて改

修時の負荷量として加算される。



図 11.3.15 部材設定画面

参考文献

- 注2) 1) 金村千絵, “住宅解体工事および建設副産物の処理・処分・再利用に伴う CO₂ 排出量”, 2001 年日本建築学会大会材料施工部門パネルディスカッション資料, p.23-28(2001).
- 注3) 2) 小玉祐一郎他, “木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発 その1 木造建築物の物質循環算定手法の開発”, 建築研究報告, No.140, p.43-46(2004).

(中島 史郎)

11.4 改訂版 BEAT のプログラムマニュアル

以下には、今回開発した BEAT(Building Environment Assessment Tool)の改訂版のプログラムの内容を報告する。

11.4.1 プログラムの構成と特徴

改定版 BEAT の全体構成は、以下のようになっている。

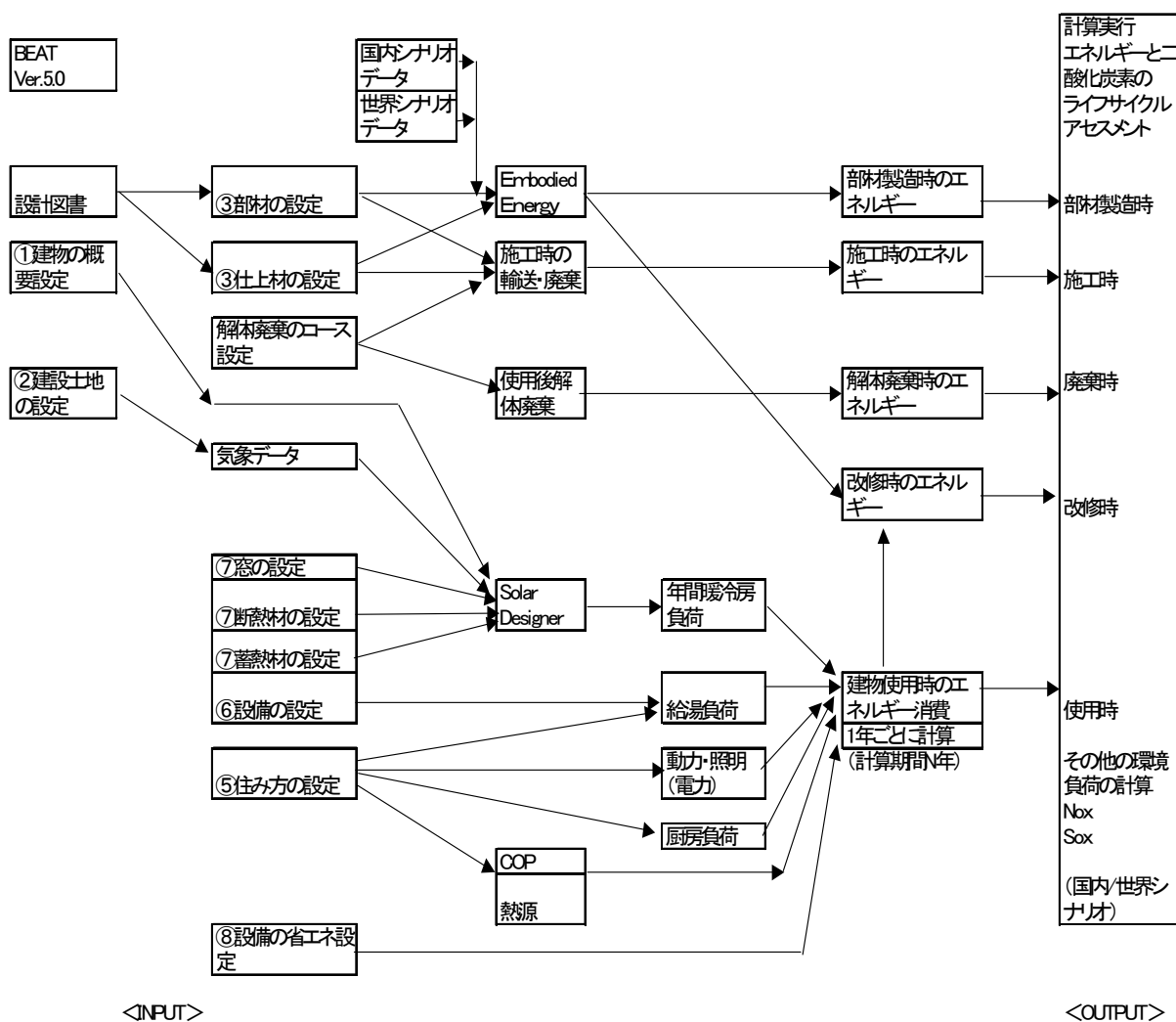


図 11.4.1

このプログラムは、左端の入力を行なうと、建物の条件に応じてライフサイクルの各段階で生じるエネルギー消費とCO₂排出量を計算し、右端の形式で出力するようになっている。画面構成は以下のようになっている。

1) メインメニュー

ここでは、「1. 建物の設定」、[2. 建設地の設定]、「3. 部材の設定」、「4. 解体廃棄の設定」、「5. 住み方の設定」、「6. 設備の設定」、「7. 断熱などの設定」、「8. 省エネの設定」の各ルーチンへ飛べるようになっている。

いずれのルーチンへも順序に無関係にゆくことができる。もちろん最終的に、「計算実行」へゆくことにより計算結果を得ることができる。またエネルギーの単位として、MJ と Cal を切り替えて使用できるようにした。

以下には、各ルーチンの概要を示している。

2) 建物の設定

ここでは、建物の概要（床面積、方位、工法など）と施工時に出る廃棄物の処理処分方法（東京型、名古屋型、札幌型）を設定する。方位は、建物が真南向きの場合は 0 度とし、東向きになる場合には、その南からの方位角度をマイナスで、西向きになる場合には南からの角度をプラスで入力する。

3) 建設地の設定

ここでは、全国 840 地点から建設地点を選択する。その地点の気象条件が表示される。



図 11.4.2 メインメニュー

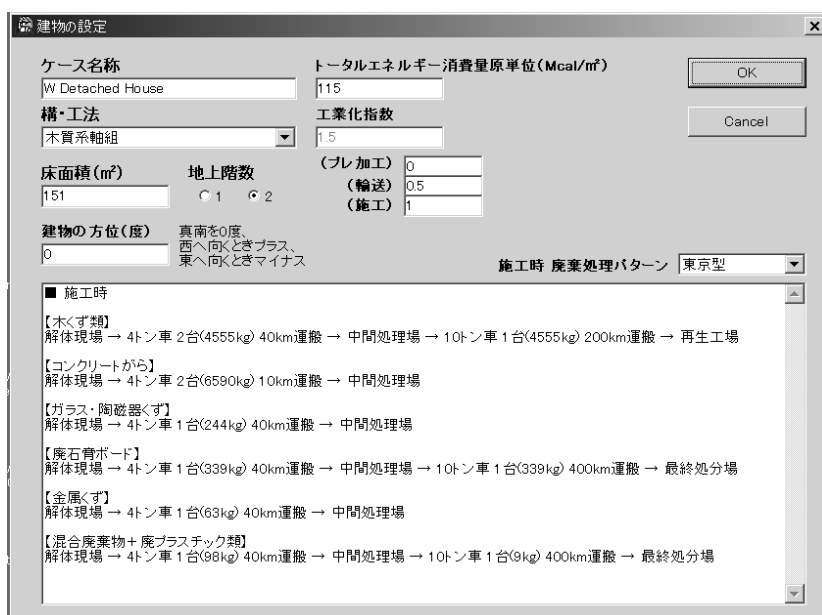


図 11.4.3 建物の設定

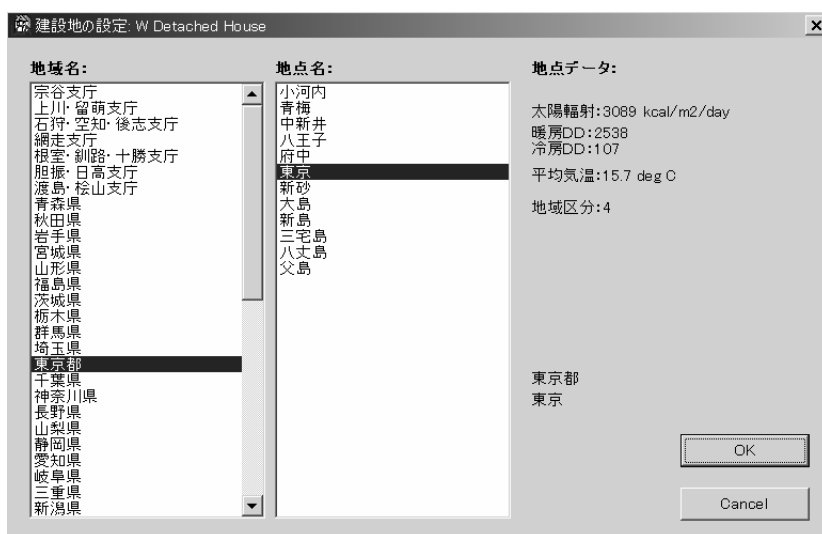


図 11.4.4 建設地の設定

4) 部材の設定

ここでは、建設に使用する部材と仕上材を設定する。いずれもあらかじめ登録してある名称の部材の量を重量、体積、台数などの単位で数値を入力している。

5) 解体・廃棄の設定

ここでは建築物の使用後に解体・廃棄する方法を設定する。廃棄処理パターンには、東京型、名古屋型、札幌型があり、それぞれ「手解体」と「機械手併用解体」のいずれかの方法を選択するようになっている。

6) 住み方の設定

住み方を設定する画面であり、まず入浴回数、シャワー回数、朝食のとり方、主婦の仕事の有無、省エネ意識を設定する。さらに家電製品の保有台数をそれぞれの家電製品について設定する。

また、給湯と暖房の熱源を設定するが、熱源が電気の場合にはCOPを入力する。

冷房については電気を想定しており、COPを設定する。また、家族人数の毎年の変化を想定出来る

部位区分	詳細名称	単位	新規材	再生材
仮設	鋼製足場	m2	0	0
仮設	鋼管支柱	kg	468	0
仮設	支保梁	kg	0	0
仮設	脚立	kg	33	0
仮設	足場丸太	m3	0	0
仮設	足場板	m3	0	0
地業	PC杭	kg	0	0
地業	PHC杭	kg	0	0
地業	RC杭	kg	0	0
地業	木杭	m3	0	0
土工	型鋼	kg	0	0
土工	鋼矢板	kg	0	0
土工	軽量鋼矢板	kg	0	0
土工	杭丸太	m3	0	0
土工	矢板	m3	0	0
型枠	締め付け金具	kg	246	0
型枠	アルミ型枠	台	0	0
型枠	鋼製型枠	kg	0	0
型枠	木製型枠	枚	1560	0

図 11.4.5 部材の設定

廃棄処理パターン: 東京型
解体方法: 手解体

■ 廃棄時

- 【木くず類】
解体現場 → 4トン車 14台(43445kg) 40km運搬 → 中間処理場 → 10トン車 7台(43445kg) 200km運搬 → 再生工場
- 【コンクリートから】
解体現場 → 4トン車 17台(66050kg) 10km運搬 → 中間処理場
- 【ガラス・陶磁器くず】
解体現場 → 4トン車 1台(2316kg) 40km運搬 → 中間処理場
- 【廃石膏ボード】
解体現場 → 4トン車 0台(0kg) 40km運搬 → 中間処理場 → 10トン車 0台(0kg) 400km運搬 → 最終処分場
- 【金属くず】
解体現場 → 4トン車 4台(4200kg) 40km運搬 → 中間処理場
- 【混合廃棄物+廃プラスチック類】
解体現場 → 4トン車 1台(3640kg) 40km運搬 → 中間処理場 → 10トン車 1台(364kg) 400km運搬 → 最終処分場

図 11.4.6 解体・廃棄の設定

入浴回数/週・人: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

シャワー回数/週・人: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

朝食: 食べる, 食べない

主婦の仕事: あり, なし

省エネ意識: ふんたんに使う, 後約的, どちらでもない

家電機器リスト: テレビ, ビデオ, 冷蔵庫, 洗濯機, 掃除機, エアコン・クーラー, パソコン(ワープロ含めず), 電子レンジ(オープンレンジ含めず), 電気炊飯器, 電気ポット, 食器洗い乾燥機(乾燥のみは除く), 衣類乾燥機, 布団乾燥機, 除湿機(エアコン・クーラーは除く), 加湿器, 温水洗浄便座

家電機器合計台数: 9

暖房とCOP: 給湯: ガス, COP: 3; 暖房: 灯油, COP: 3; 冷房COP: 3

家族人数: 年 大人人数, 子供人数, 年級ランク (1-31)

設定サンプル: 単独型, 核家族型, 三世同居型

年級ランク: 1: 250万円未満, 2: ~500万円未満, 3: ~750万円未満, 4: ~1000万円未満, 5: ~1250万円未満, 6: ~1500万円未満, 7: 1500万円以上

図 11.4.7 住み方の設定

ようになっており、単純型、核家族型、三世帯居住型のいずれかを選ぶことができる。各年における大人と子供の人数、年収レベルを設定する。

7) 設備の設定

ここでは住宅に付属する設備の有無を設定する。左側では、暖房の種類、セントラル暖房室数、排気セントラルの排気室数、暖房給湯以外のガス栓の個数を選択する。右側の欄では、登録してある設備の台数または数量を設定する。太陽熱コレクタと太陽電池の規模をここで設定するようになっている。

8) 断熱等の設定

この画面には、断熱などを設定するものであるが、内容は窓の特性、断熱材の特性、蓄熱材その他の設定に分かれている。

まず、窓ガラスの種類を選択し、必要な特性値を入力する。

次に断熱材を選択する。断熱材に含まれる温室効果ガスを選択し、その地球温暖化係数(二酸化炭素換算の比)を設定する。

また床、壁、天井の断熱材の厚さを設定する。

そして断熱材中のガスの初期含有率を重量%

図 11.4.8 設備の設定

図 11.4.9 断熱等の設定

で、続いてこの初期量を 100 とした場合の漏洩率を、製造時、施工時、使用時（1年あたり）、改修時にわけて設定する。住宅の寿命期間中に温室効果ガスは放出しつづけるとして、廃棄時に残っていれば、これを回収するか、しないかを設定する。

さらにソーラーデザイナーでシミュレーションを行なうために必要となる、蓄熱性能などの諸数値を設定する。

9) 省エネの設定

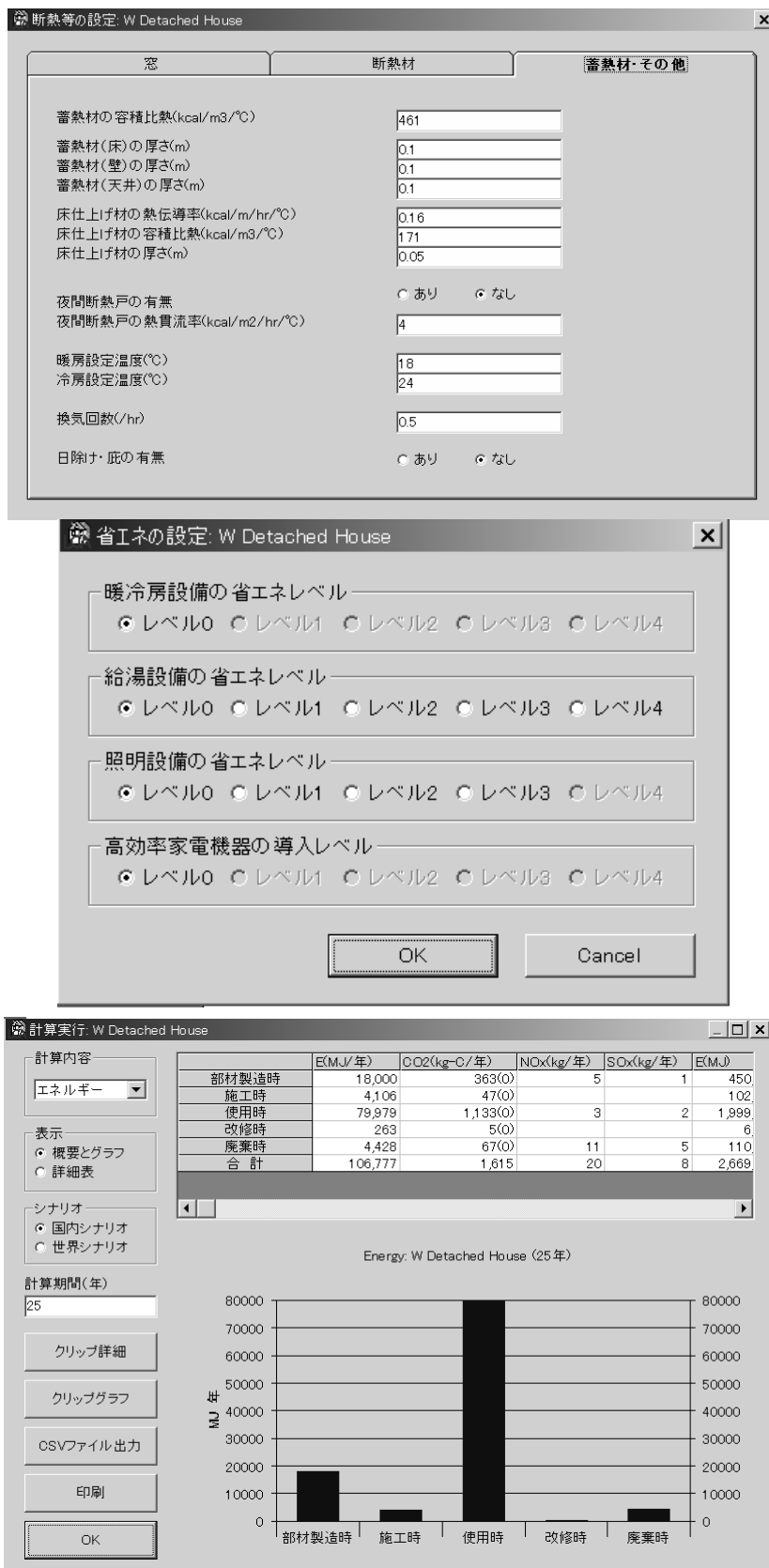
ここでは設備の省エネレベルを設定する。暖冷房設備、給湯設備、照明設備、高効率家電機器の導入レベルを設定する。

10) 計算実行

ここでは Solar Designer へ設定値を送り込み、実際の計算を行ってその結果を以下のように表示する。

計算方法については、国内シナリオと世界シナリオを切り替えて選択できるようになっている。計算内容を詳細に知りたい場合には、表示の部分で「詳細表」をクリックすると細部

にわたる内容を見ることができる。この画面で得られた内容を CSV ファイルに出力して、エクセルなどのプログラムへ手渡すことができ



11.4.2 機能概要と改訂版の特徴

改訂版 BEAT において主要な改訂内容は、施工時と解体・廃棄時の廃棄物の処理方法、建物の使用時のエネルギー消費、断熱材に含まれる温室効果ガスの扱い、設備の省エネレベルの設定、暖冷房需要の計算、アルミニウムと木材に関する計算の再検討である。以下にはこれらの内容について説明する。

1) 施工時と解体・廃棄時の廃棄物の処理方法

建設施工時の廃棄物と解体廃棄時の廃棄物の処理方法について設定できるように改訂を行なった。

a 廃棄処理パターンの選択

東京型、名古屋型、札幌型の 3 つのうちのひとつを選択するようにした。

いずれかを選択することにより、6 種類の廃棄物のとりまとめかたが決まる。

b 廃棄時の解体方法の選択

廃棄時の解体方法として、a) 手解体、b) 機械手併用解体 のいずれかを選択できるようにした。

分類された廃棄物ごとに、輸送距離を設定した。

- a) 建設地点から中間処理場までの距離 (km)
- b) 中間処理場からリサイクル工場または最終処分場までの距離 (km)

実際の計算は以下の手続きによるものとした。

c 14種類の廃棄物の生じる量を計算する

部材と仕上材の数量から、14 種類の廃棄物(木くず、がれき類、石膏ボード、……混合廃棄物)の発生量を計算する。発生量は分配マトリックスの分配割合と部材や仕上材の必要量をかけて求める。分配マトリックスは、原単位 1kg あるいは 1m^3 あたりの廃棄物量を示

すものである。

建築に使用する材料は、部材と仕上材に分かれているので、以下の組合せを計算する。建設施工時には区別がないが、廃棄時には、手解体か機械手併用解体かのどちらかを選択するようになっている。

廃棄物の計算	建設施工時	廃棄時	
		手解体	機械手併用解体
部材			
仕上材			

それぞれの組合せによって廃棄物の発生量が異なる。

d 処理パターン(東京型、名古屋型、札幌型のいずれか)により処理量を求める

それぞれの処理パターンにより処分量が異なってくる。

中間処理場から最終処分場までの量は 10 分の 1 になるものがある(焼却のため)。

e 廃棄解体時と中間処理のプラントのエネルギーとCO₂の計算

廃棄解体時には、手解体と機械手併用解体でエネルギー、CO₂ が異なっている。

建設施工時には、この解体は存在しない。

f 輸送トラック台数の計算

輸送に必要なトラックは、建設地点から中間処理場までは 4 トン・トラック、中間処理場から最終処分場(またはリサイクル場)までは 10 トン・トラックである。それぞれの廃棄物の種類ごとに、最大積載可能量が決まっているので、これを使用する。

g 輸送用のエネルギー、CO₂の計算

廃棄物処理のエネルギー、CO₂を計算する。

h 最終処分場におけるエネルギーとCO₂量を計算する。

計算にあたっての原単位は、建設施工時と廃棄時で全く同じ数値を用いている。

2) 使用時のエネルギー消費

建物の使用時のエネルギー消費を評価する方法を以下のようにした。暖冷房需要については Solar Designer からのダイナミック・シミュレーション結果を利用し、照明および動力（電力）については井上研究室のアンケート結果を利用した。温水、厨房のエネルギー消費は、BEAT の既存版と同様にして特に改訂を行わなかった。

a 照明および動力（電力）

井上研究室のライフスタイルとエネルギー消費のアンケートにもとづいて計算する。アンケートの分析結果はモデル化されており、以下のようにになっている。

計算式は以下のように各要因のもつ数値を合計するものである。

電力消費 = 14.9 (平均) + 地域 + 戸建てまたは集合住宅 + 延べ床面積 + 築年数 + 世帯人数 + 保有する家電機器台数 + 世帯年収 (GJ/年)

したがって、画面で、延床面積、世帯人数、家電機器台数(実際に家電機器の名称を示して保有しているものに印をつけてもらう)ユーザーが選択する画面を用意した。

電力消費を説明する変数は以下の各項であり、これを画面に入力する。

①地域——すでに建設地点で入力済み。建設地点と地域の関係は既知。

②戸建てまたは集合住宅(ここでは戸建てのみを扱うので入力不要)

③延べ床面積——すでに建物概要で入力済み。入力不要。

④築年数(ここでは選択せず、平均に設定する)計算上の値は 11-16 年の場合の 1.0 GJ

⑤世帯人数。既存の計算でも使用しているので入力不要。

⑥保有する家電機器台数。家電機器のリスト(16 種類)に対して何台を所有かをリストから選択してもらって、その合計台数について 6 段階(0~10 台未満、10~15 台未満、……、30 台以上)の中から選択する。現在、この家電機器リストは以下のとおりである。

テレビ、ビデオ、電気ポット、電気炊飯器、パソコン(ワープロ含めず)、温水洗浄便座、電子レンジ(オーブンレンジ含めず)、食器洗い乾燥機(乾燥機能のみは含めず)、掃除機、洗濯機、衣類乾燥機、布団乾燥機、除湿機(エアコン・クーラーは除く)、加湿器、エアコン・クーラー、冷蔵庫

以上計16項目

⑦世帯年収

7 段階から選択する。これは既存の計算でも使用しており、同じ 7 段階である。

b 給湯エネルギー消費

給湯用エネルギー消費の既存の計算方法は以下のとおりである。EDMC エネルギー経済統計要覧(日本エネルギー経済研究所)によると、14.1GJ(1990)、12.2GJ(2002)となっており、1990-2002 の期間に連続して減少しており、この間における生活レベルの変化が影響していると考えられる。

$$y = n(40 - t)(4.84 X1 + 3.10 X2 + 7.45 X3 - 0.84) \quad (y \text{ Mcal/年})$$

n: 修正家族人数

t: 建設地点の年間平均外気温

X1: 年平均週間入浴回数(回/週・人)

X2: 年平均週間シャワー回数(回/週・人)

X3: 家族収入ランク

既存の方法では、地域差、家族人数、入浴回数、シャワー回数、収入ランクが使用されている。この場合、利用するエネルギーについて、以下のいずれの熱源を利用するかを選択してもらい、エネルギー消費から生じるCO₂の違いを計算する。

- ①ガス
- ②石油
- ③電力（ヒートポンプ給湯器の効率 COP を 2～6 の間で入力してもらう）
実際に必要な電力＝計算した熱需要／COP、CO₂は電力のCO₂排出値により計算する。

c 暖冷房用エネルギー消費

暖冷房用エネルギー消費の大きさはSolar Designer からの計算結果を利用するようになっている。上記の給湯エネルギーと同様に、熱源を設問して、CO₂の違いを計算できるようにする。

- ①ガス
- ②石油
- ③電力（暖冷房ヒートポンプ効率 COP を 2～6 の間で入力してもらう）
実際に必要な電力＝計算した暖冷房熱需要／COP、CO₂は電力のCO₂排出値から計算する。

d 厨房用エネルギー消費

既存の計算方法は以下のとおりである。EDMC エネルギー経済統計要覧によると、4.04 GJ(1990)、2.94GJ(2002)となっており、1990-2002 の期間に連続して減少しており、この間における高齢化の進展、外食の増加などが影響していると考えられる。

$$y = 98 \cdot n + 112 \cdot d1 + 250 \cdot d2 + 570 \cdot d3 + 293$$

(ガス、y Mcal/年)

n: 修正家族人数

(10 歳未満は 0.5 人で勘定)

d1: 朝食を必ずとるとき＝1、それ以外＝0

d2: 主婦がパートを含めて職を有す＝1、それ以外＝0

d3: ガスコンロ使用の省エネ意識。

ふんだんに使う＝1、
儉約的またはどちらともいえない＝0

n=3-6 人の場合に計算すると、2.4GJ から 7.5GJ になり、EDMC エネルギー統計の値の付近にある。

最近の世帯人数の減少、朝食の有無と主婦のパートの条件は外食の増加傾向を表わしているため、厨房用エネルギー消費は小さく出る結果になる。ここでは既存の方法を使用することにした。

3) 断熱材に含まれる温室効果ガスの扱い

各種断熱材のなかで、温室効果ガスを使用しているものについて以下のような調査結果が発表されている。

(1) 使用される断熱材の種類、温室効果ガス、GWP

表 11.4.1・表 11.4.2(次頁)参照。

(2) その他の関連する因子

気温により放散係数が異なるので、建設地点に応じた放出計算が必要になる。

(温度が高いほど放散が進む)

製造・施工、輸送、使用、廃棄・処分の各段階で温室効果ガスが放散する。

とくに使用段階では使用年数に応じて放散量が変わってくる。

改訂版 BEAT における計算方法は、以下のような手続きで計算を行うものとした。

- ①断熱材を選択する
- ②断熱材の厚さ、面積を指定する
- ③断熱材に使用されているガスを選択する
ガス非使用の断熱材(グラスウールなど)の場合にはここで脱出する。
- ④各段階におけるガスの含有量のパーセントを設定する。
ガスの含有量は断熱材の体積あたり重量との比(%)で与えられる。

初期含有量＝断熱材密度
(kg/m³)・断熱材厚さ(m)・
断熱材面積(m²)・初期 wt%
⑤各段階での CO₂ 排出量
にこの計算を付加する。

初期 wt%は、CFC と HCFC
のとき 硬質ウレタンフォームで
10%、発泡ポリスチレンフォー
ムで 7.5-8.0%。

断熱材密度は、押出し法ポ
リスチレンフォームで 20k

各段階でのガスの含有割合
wt%は以下のように計算する。

各段階のガス含有量割合 (w
t%)＝初期 wt%・(100－下
表の数値(パーセンテージ)
の累積)／100

数値の累積は時間に沿って
進行する。使用時の途中でマ
イナスになったら、そこでゼロ
にセットして以降の計算は行わ
ない。使用段階の年数が長く
なると、廃棄段階のガスはゼロ
になる可能性がある。廃棄段
階では回収も考えられる(その
場合には廃棄の欄に0を設定)

この表の%のデフォルト値を
あらかじめ用意しておくが、ユ
ーザーは自由に設定して、計
算を行えるようにする。

気候区分Ⅰは北海道であり、
気候区分Ⅱ-Ⅵは東北地方より
南の地域である。

コンピュータ画面に上記の
表が現れて、必要な数値を設
定するようにした。

4) 設備の省エネレベル

表 11.4.4は、澤地研究室で

表 11.4.1 断熱材など建築資材製造時のCO₂排出原単位
(国内波及効果分)

断熱材の種類	密度(kg/m ³) 熱伝導率 (W/mK)	温室効果ガス (発泡ガス)	GWP
非発泡断熱材 (グラスウール を想定)	10 kg/m ³ 0.050	なし	ゼロ
押出法ポリスチ レンフォーム保 温板3種(XPS)	20 kg/m ³ 0.028	CFC12 HCFC142b HFC134b 炭化水素系 CO ₂	10,600 2,400 1,300 23(メタンなみ) 1
硬質ウレタンフ ォーム(PU-P) あるいは 吹き付け硬質ウ レタンフォーム (PU-S)	30 kg/m ³ 0.024 0.026 (吹き付け)	CFC11 HCFC141b HFC245fa 炭化水素系 CO ₂	4,600 700 950 23(メタンなみ) 1

(GWPはIPCC2001年報告による温暖化指数の100年積算値で、CO₂排出
1kgに対する温暖化への寄与の比を示す)

表 11.4.2 建築資材としての断熱材やガラスなど
1kgを製造するのに排出されるCO₂量

	非発泡 断熱材	発泡 断熱材	単板 ガラス	複層 ガラス	アルミ
CO ₂ 排出 [kgCO ₂ /kg]	2.151	2.669	0.882	0.880	1.448
単位重量 [kg/m ²]			7.5	15.0	単板4.39 複層5.03

表 11.4.3 断熱材の温室効果ガスの設定(単位: %)

段階	初 期 wt%	部 材 製造	施 工	使用時 (年あたり)	改 修	廃 棄
ガス非使用 (グラスウール など)	0	0	0	0	0	0
硬質ウレタン フ ォ ー ム (PU-P)	10	15	0	気候Ⅰ 0.8/年 気候Ⅱ-Ⅵ 1.7 /年	0	使用終了 時の残存 量%
吹き付け硬質 ウレタンフォー ム(PU-S)	8	0	2 5	気候Ⅰ 0.8/年 気候Ⅱ-Ⅵ 1.7 /年	0	使用終了 時の残存 量%
押出し法ポリ スチレンフォー ム(XPS)	8	25	0	2種 2.6/年 3種 2.8/年	0	使用終了 時の残存 量%

(守屋好文、建築用断熱材のフロン残存量に関する研究、日本建築学会大
会学術講演梗概集、2003年9月)

作成した設備の省エネルギーの程度を示す数値である。

これより改訂版 BEAT5 では以下のように設問するものと
した。

各省エネルギー設備計画のレベル 0～4 を選択してもらう。(レベルごとの数値は明示せず 0, 1, 2, 3, 4 のどれかを選択する)、レベルごとの数値により省エネルギーを計算する。用途ごとのエネルギー消費はすでにわかっているので、これに上記のレベルごとの数値をかけてもとめる。

5) 暖冷房需要の計算

暖冷房需要はSD (Solar Designer) により計算する。SD に BEAT 側から引き渡すパラメータを、表 11.4.5 のように確定した。シミュレーションに必要なパラメータをBEAT側で、ユーザーから受取り、これをSD側へ引き渡す。SDはダイナミックな熱シミュレーションを行なって、1年間の暖冷房需要を計算してこれをBEAT本体へ戻す。

SD へ受け渡すファイルは表 11.4.5 のようになっている。

6) 加工時の計算

工業化指数の表現を次のように変更した。

加工→プレ加工

物流→輸送

工事→施工

工業化指数はそれぞれの割合を示し、トータルエネルギー消費量をその割合で配分する。「構・工法原単位管理」の表は上のようになるが、これはユーザーには明示的に示されない。(トータルエネルギー消費量は Mcal/m^2)
尚、住宅の呼び方を以下のように変更した。

表 11.4.4 設備の省エネルギーの程度

要素技術	削減対象用途	レベル毎のエネルギー消費量低減率lij (各レベルに達するための具体的方法、判断基準は「自立循環型住宅への設計ガイドライン」として間実務者向けにまとめられている)					省エネ対策の結果のエネルギー消費量 $c_i \times l_{ij}$ (%)
		レベル0	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	
省エネ設備計画	暖冷房設備計画	暖冷房	1.0				
	給湯設備計画	給湯	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5
	照明設備計画	照明	1.0	0.7	0.6	0.5	—
	高効率家電機器の導入	家電電力消費	1.0				

g/m³、硬質ウレタンフォームで30kg/m³。

表 11.4.5 暖冷房需要のパラメータ

sample	ケース名
363	建設地点番号 (1: 宗谷岬 ~ 842: 波照間)
151	延べ床面積 [m ²] (Double)
2	平屋/二階建の別 (1: 平屋, 2: 二階建)
1	日除け・庇の有無 (0: 無, 1: 有)
26.9	開口部総面積 [m ²] (Double)
3.5	開口部ガラス熱貫流率 [kcal/m ² /h/deg] (Double)
0.9	開口部ガラス日射透過率 (0~1) (Double)
3.5	開口部サッシ熱貫流率 [kcal/m ² /h/deg] (Double)
0.15	開口部サッシ率 (0~1) (Double)
0.037	断熱材の熱伝導率 [kcal/m/h/deg] (Double)
0.08	断熱材(床)厚さ[m] (Double)
0.13	断熱材(壁)厚さ[m] (Double)
0.1	断熱材(天井)厚さ[m] (Double)
157	蓄熱材の容積比熱 [kcal/m ³ /deg] (Double)
0.1	蓄熱材(床)厚さ[m] (Double)
0.1	蓄熱材(壁)厚さ[m] (Double)
0.1	蓄熱材(天井)厚さ[m] (Double)
3.5	床仕上材の熱伝導率 [kcal/m/h/deg] (Double)
480	床仕上材の容積比熱 [kcal/m ³ /deg] (Double)
0.1	床仕上材の厚さ[m] (Double)
1	夜間断熱戸の有無 (0: 無, 1: 有)
1.97	夜間断熱戸の熱貫流率 [kcal/m ² /h/deg] (Double)
0.5	換気回数 [回/h] (Double)
20	暖房設定温度[deg] (Double)
28	冷房設定温度[deg] (Double)
15	建物の方位角度[真南から西へプラス、東へマイナスの角度 deg] (DoubleI)

	トータルエネルギー消費量原単位	工業化指数					
		プレ加工	輸送	施工	階高基本指	地上階高	地下階高
木質系軸組み構法	115	0.20	0.05	0.75	1	0	0.15
木質系枠組み構法	115	0.20	0.20	0.60	1	0	0.15
木質系パネル構法	115	0.40	0.20	0.40	1	0	0.15
鉄骨系軸組み構法	115	0.30	0.20	0.50	1	0	0.15
鉄骨系ラーメン構法	115	0.20	0.20	0.60	1	0	0.15

(Doubleは倍精度の変数に設定したことを意味する)

在来軸組み → 木質系軸組工法

ツーバイフォー在来 → 枠組壁工法

ツーバイフォーユニット → 枠組壁工法

木造パネル → 木質系パネル工法

木造ラーメン → (特殊なので削除)

在来軽量S造 → 鉄骨系軸組工法

ボルト S 造(戸建て)→鉄骨系ラーメン
工法(新設)

7) アルミと木材に関する再検討

アルミニウムと木材は、日本国内のみで考える場合と世界全体で考える場合で、エネルギー投入量や CO₂ 発生量が異なってくる。アルミニウムについては、国内での電解精錬はごく少量しか行なわれておらず、海外でのエ

ネルギー投入量が非常に大きい。木材はその多くが輸入されており「ウッドマイレージ」に示されるように、海外からの輸送用エネルギーが無視できない。このような視点から、日本国内でのエネルギー投入量と CO₂ 排出のみを計算した既存の「国内シナリオ」に対して、世界全体で見た場合の「世界シナリオ」のデータを計算した。

アルミニウムについてのデータは以下のとおり。

表 11.4.6 アルミニウムの排出原単位（世界シナリオ）

計算	エネルギー消費	CO ₂ 排出量
現状のBEATのデータベース(国内シナリオ) 例)アルミ型枠 ユニットあたり ユニットあたりアルミ投入量8.75kg	1053 MJ/ユニット 120.3ML/AL1kg	21.15kgCO ₂ /ユニット 2.41kgCO ₂ /AL1kg
日本アルミニウム協会 ボーキサイトからアルミ電解で製造する場合の 数値を試算している。アルミ板材1kgあたり(アルミニウム圧延品のLCIデータ,H15年)	114MJ (電力を一次換算していないようである。一次換算するとほぼ210MJになる)	7.11kgCO ₂
日本国内のアルミ産業が消費するエネルギーと 排出するCO ₂ (2000年、日本アルミ協会) アルミ1kgあたり	21.8MJ	0.753kgCO ₂
日本国内アルミ圧延業のエネルギー消費 アルミ1kgあたり(2000年)	19.2MJ	1.00kgCO ₂
家庭生活のライフサイクルエネルギー 80年代に日本でアルミ電解をしていたころのデータを示している。アルミ1kgあたり	50.44Mcal=211MJ	8.96kgCO ₂ ～18.8kgCO ₂
システム研試算 アルミ輸入先の国の使用している電力は、水力 61%、火力39%であった。アルミ1kgあたり	電力17.5kWh C重油 1.122L 合計で 211MJ	8.96kgCO ₂ (平均電力) ～18.8kgCO ₂ (石炭火力)

表 11.4.7 アルミ仕上材の排出原単位

	エネルギー		CO ₂	
	MJ /kgAL	比	CO ₂ kg /kgAL	比
国内シナリオ	21.8	1	0.753	1
世界シナリオ	211	9.6	8.96	11.9

表 11.4.8 日本の木材供給量

日本の製材・合板用木材供給					2003年
単位1000m ³	丸太	製材	合板	合計	シェア
国産材	15,980			15,980	30.13%
輸入材	14,865	13,694	8,502	37,061	69.87%
合計				53,041	

以上の計算より、部材と仕上材のデータベース中のアルミを用いる部材、仕上材についてアルミ1kgあたり表 11.4.7のように設定する。

次に、木材について検討をおこなった。

表 11.4.9 日本の木材輸入量

H15(2003)	1000m ³
素材(丸太)需要量	30,516
製材用	21,854
合板用	4,913
木材チップ用	3,746
素材供給量	30,516
国産材	15,171
外材	15,345
南洋材	1,817
米材	6,139
北洋材	5,354
ニュージーランド	1,577
その他	458

日本では、木材は製材・合板用とチップ(紙の原料)として年間に 8718 万 m³ 供給されている(2003 年)。このうち製材・合板用は表 11.4.8のように 5304 万 m³ であり、その 70%が輸入に依存している。(林野庁、木材需

給表 H17 年)

素材として輸入する丸太をみると、表 11.4.9 のような国から輸入している。このほとんどが製材・合板用である。製材、合板レベルでの輸入も多くを輸入している。(資料、同上)

この素材の輸送に要しているエネルギーと CO₂ を計算する。原単位としては、日本のデータであるが以下を採用した。(EDMC エネルギー経済統計要覧 2004、数字でみる物流 2001)

素材レベルの輸送について、輸入国からの輸送距離と輸送機関については、住

宅ウッドマイルズ研究会、「住宅ウッドマイルズ関係指標算出マニュアル(日本版暫定案)、2003 年」に試算例があり、これを参考にして表 11.4.10 のように計算した。

実際には、丸太(素材)だけでなく、製材加工材、合板の 3 種について計算する必要があるが、木材 1m³あたり、または 1 トンあたりのエネルギー消費と CO₂ が求められればよいので、この計算を利用することにした。

表にみるとおり、1m³あたりのエネルギーは 1,809MJ、CO₂ は 130kg となった。

この数値に輸入材のシェア 70%をかけて、輸入した木材を含む日本で使用される木材についてエネルギー消費と CO₂ 排出をもとめると、木材 1m³あたり 1,266MJ、91.2kgCO₂ となった。

表 11.4.10

輸送用エネルギーCO2原単位

	船舶	自動車	鉄道	
エネ(kcal/トンkm)	120	831	62	
エネ(MJ/トンkm)	0.502	3.479	0.260	
CO2原単位(Ckg/10000Kcal)	0.781	0.761	1.162791	
CO2(CO2kg/トンkm)	0.034	0.231	0.026	(これを採用)
CO2(CO2kg/トンkm)	0.040	0.350	0.020	(参考値)

(参考値は住宅ウッドマイルズ研究会より)

表 11.4.11

輸入材の輸送エネ+CO2

	2003年	輸送距離(km)			MJ	CO2ton
		船舶	自動車	鉄道		
	1000m3					
外材	15,345					
南洋材	1,817	4920	100		2,708,392	183
米材	6,139	7710	100		13,699,125	926
北洋材	5,354	1921		5000	6,413,219	553
NZ材	1,577	9116	100		4,107,873	278
合計1000CM	14,887				26,928,609	1,940
				1CMあたり	1,809	0.130338
合計1000トン	7,875			トンあたり	3,419	0.246385
比重=0.529				/CM(70%)	1266.2072	0.091236
				/トン(70%)	2393.5864	0.172469

製材レベル、合板レベルで輸入している木材についても同様の数字を適用できるので、この原単位を、世界シナリオの場合に加えることにした。

以上のアルミと木材に関する計算を総合して、部材、仕上材の製造時の「世界シナリオ」のエネルギーと CO₂ 排出量を求めることができる。部材データについて、「世界シナリオ」の場合の計算例の一部を表 11.4.12 に示した。

表 11.4.12 アルミと木材の部材・仕上材の製造時のエネルギーとCO₂排出量の世界シナリオでの計算例（一部）

No.	材料名	単位	国内エネルギー (MJ)	国内CO ₂ (kg)	木材(トン)	アルミ(kg)	追加エネ (MJ/AL)	追加CO ₂ (kg CO ₂ /Al)	追加エネ (MJ/木材)	追加CO ₂ (kg CO ₂ /木材)	世界シナリオ エネ (MJ)	世界シナリオ CO ₂ (kg)
仮設	鋼製足場	m ²	9.491	0.1906	0.000009	0.07880	16.63	0.71	0.02	0.00	26.14	0.90
仮設	鋼管支柱	kg	11.972	0.2404	0.000011	0.09940	20.97	0.89	0.03	0.00	32.97	1.13
仮設	支保梁	kg	19.665	0.3949	0.000018	0.16328	34.45	1.46	0.04	0.00	54.16	1.86
仮設	脚立	kg	15.099	0.3032	0.000014	0.12537	26.45	1.12	0.03	0.00	41.59	1.43
地業	PC杭	kg	2.127	0.0653	0.000001	0.00013	0.03	0.00	0.00	0.00	2.16	0.07
地業	PHC杭	kg	2.414	0.0742	0.000001	0.00015	0.03	0.00	0.00	0.00	2.45	0.08
土工	型鋼	kg	7.088	0.1605	0.000001	0.00056	0.12	0.01	0.00	0.00	7.21	0.17
土工	鋼矢板	kg	14.175	0.3209	0.000001	0.00112	0.24	0.01	0.00	0.00	14.41	0.33
土工	軽量鋼矢板	kg	16.596	0.3757	0.000001	0.00131	0.28	0.01	0.00	0.00	16.87	0.39
型枠	締め付け金具	kg	11.828	0.2486	0.000003	0.00159	0.34	0.01	0.01	0.00	12.17	0.26
型枠	アルミ型枠	台	1,053.364	21.1546	0.000959	8.74596	1845.40	78.36	2.30	0.17	2901.06	99.68
型枠	鋼製型枠	kg	5.860	0.1177	0.000005	0.04866	10.27	0.44	0.01	0.00	16.14	0.55
コンクリート	セメント	kg	3.124	0.1439	0.000000	0.00002	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	0.14
コンクリート	砂	kg	0.154	0.0029	0.000000	0.00001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
鉄筋	普通鉄筋	kg	9.681	0.2192	0.000001	0.00077	0.16	0.01	0.00	0.00	9.84	0.23
鉄骨	型鋼	kg	7.088	0.1605	0.000001	0.00056	0.12	0.01	0.00	0.00	7.21	0.17
鉄骨	軽量型鋼	kg	10.891	0.2466	0.000001	0.00086	0.18	0.01	0.00	0.00	11.07	0.25
既製コン	ALC	m ³	5,395.006	165.7691	0.001753	0.32835	69.28	2.94	4.20	0.30	5468.48	169.01
既製コン	コンクリートブロック	m ³	892.012	27.4083	0.000290	0.05429	11.45	0.49	0.69	0.05	904.16	27.94
既製コン	PC板	kg	7.069	0.2172	0.000002	0.00043	0.09	0.00	0.00	0.00	7.16	0.22
既製コン	レンガ	個	5.120	0.0977	0.000004	0.00018	0.04	0.00	0.01	0.00	5.17	0.10
木工	普通合板	m ³	3,695.849	69.8821	0.624388	0.17803	37.56	1.60	1494.28	107.64	5227.70	179.12
木工	構造用合板	m ³	2,734.883	51.7119	0.462039	0.13174	27.80	1.18	1105.75	79.66	3868.43	132.55
木工	製材	m ³	979.944	18.3680	0.654332	0.05236	11.05	0.47	1565.94	112.81	2556.94	131.64
木工	集成材	m ³	979.944	18.3680	0.654332	0.05236	11.05	0.47	1565.94	112.81	2556.94	131.64
木工	化粧集成材	m ³	7,990.411	149.7717	5.335388	0.42694	90.08	3.83	12768.62	919.82	20849.12	1073.42
木工	構造用大断	m ³	2,624.850	49.2000	1.752675	0.14025	29.59	1.26	4194.49	302.16	6848.94	352.62

8) 原単位

エネルギーとCO₂排出量の計算の原単位を以下のようにした。

	単位	エネルギー(MJ)	CO ₂ (kg-C)
電力	1kWh当たり	9.83	0.103091
ガス	1m ³ 当たり	46.046	0.644225
灯油	1リットル当たり	36.699	0.868065

(榎屋 治紀)

11.5 プログラムの感度分析

11.5.1 暖冷房負荷

ここでは、改訂版 BEAT における暖冷房負荷計算プログラムの部分について行った感度分析の結果を示す。主要な入力項目を選び、入力値を変化させた場合に、どの程度の影響が計算結果の暖冷房負荷に生じているか検討した。一般世帯をモデルとした基準建物を設定し、建物に関する入力パラメータ及び地域を変化させ、暖冷房負荷予測を行った。結果は良好であり、プログラムの感度を確認することができた。

1) 検討の方法

(1) 対象建物

対象とした基準建物と仕様を図11.5.1、表11.5.2に示す。断熱性能は、次世代省エネルギー基準仕様とする。

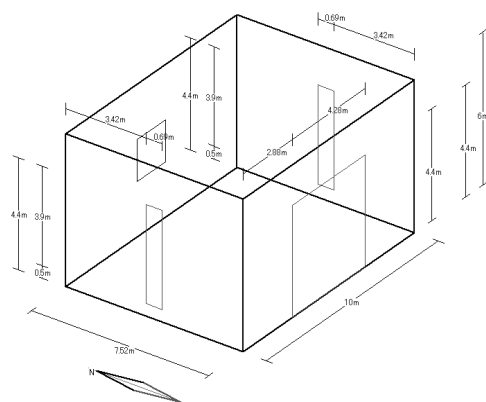


図11.5.1 基準建物の外形

表 11.5.2 基準建物仕様

建設地地点 (1: 宗谷岬~842: 波照間)	362
延べ床面積 [m2]	151
平屋/二階建の別 (1: 平屋、2: 二階建)	2
日除け・庇の有無 (0: 無、1: 有)	0
開口部総面積 [m2]	26.9
開口部ガラス熱貫流率 [kcal/m2/h/deg]	4
開口部ガラス日射透過率 (0~1)	0.9
開口部サッシ熱貫流率 [kcal/m2/h/deg]	4
開口部サッシ率 (0~1)	0.25
断熱材の熱伝導率 [kcal/m/h/deg]	0.045
断熱材 (床) 厚さ [m]	0.114
断熱材 (壁) 厚さ [m]	0.122
断熱材 (天井) 厚さ [m]	0.196
蓄熱材の容積比熱 [kcal/m3/deg]	461
蓄熱材 (床) 厚さ [m]	0.01
蓄熱材 (壁) 厚さ [m]	0.01
蓄熱材 (天井) 厚さ [m]	0.01
床仕上材の熱伝導率 [kcal/m/h/deg]	0.16
床仕上材の容積比熱 [kcal/m3/deg]	171
床仕上材の厚さ [m]	0.05
夜間断熱戸の有無 (0: 無、1: 有)	0
夜間断熱戸の熱貫流率 [kcal/m2/h/deg]	4
換気回数 [回/h]	0.5
暖房設定温度 [deg]	18
冷房設定温度 [deg]	27

(2) 対象地域

地域区分Ⅳから6都市を選んだ(表11.5.1)。

表 11.5.1 対象地域

PSP区分	い	ろ	は	は	に	ほ
都市名	新潟	萩	福岡	前橋	東京	浜松

(3) 外気導入モードの設定

換気は終日 0.5 回/時とした。ただし、暖冷房負荷計算は、表11.5.3 に示す外気導入設定のもとに行われる。暖房設定温度は 18℃、冷房設定温度は 27℃。暖冷房時間は 7:00-10:00, 12:00-14:00, 16:00-23:00。(デフォルト値)

表 11.5.3 外気導入設定

外気温	窓の開閉モード	換気回数
27℃＜外気温	窓を閉める	0.5回/時
18℃≤外気温≤27℃	窓を開け、換気	30回/時
外気温＜18℃	窓を閉める	0.5回/時

(4) 検討項目

表11.5.4 に示すように、3つの部位に関する6つの入力項目について数値を変化させ、変更値を設定した。開口部の仕様向上を1、開口部面積の増大を2、蓄熱性能の付加を3とし、これらの組み合わせによる①～⑥の6つの建物パターンを作成し、これらの暖冷房負荷を基準建物の暖冷房負荷と比較検討した。

表 11.5.4 パラメータの変化とパターン

1	開口部仕様	ガラス熱貫流率 (kcal/m ² h℃)	4	→	3.0014
		ガラス日射透過率	0.9		0.79
2	開口部面積	サッシ熱貫流率 (kcal/m ² h℃)	4	→	3.0014
		開口部総面積 (m ²)	26.9		53.8
3	蓄熱性能	蓄熱材厚さ (mm)	10	→	100

- ① : 1 ④ : 1 + 2
 ② : 2 ⑤ : 1 + 3
 ③ : 3 ⑥ : 1 + 2 + 3

2) 検討の結果

(1) パラメータ変化による都市別暖冷房負荷

基準建物からのパラメータ変化が暖房負荷、冷房負荷にどのような影響を与えるのか、設定した都市別に検討した。

① 手法1(開口部の断熱強化)

開口部の断熱強化を行った場合の影響。開口部は熱的に弱い部位であるので、断熱強化による効果が一律に見られる。

- ・暖房負荷:すべての都市で7～8%の削減。
- ・冷房負荷:すべての都市で、12%の削減。
- ・負荷の合計:すべての都市で7～8%の削減。

② 手法2(開口部面積増大)

開口部の面積を増やした場合の影響。日射の地域特性が影響するが、開口部断熱補

強や蓄熱の工夫がなければ大きな省エネ効果は期待できない。

・暖房負荷

浜松は0%と変わらないが、新潟では+9%を示す。日射量の少ない都市ほど増加する。

・冷房負荷

ひさしがない建物なので、冷房負荷増加の割合が、全都市ともに2倍近くになる。

・負荷の合計

全都市とも20%前後増加する。最高が福岡+28%、最低が前橋+17%。

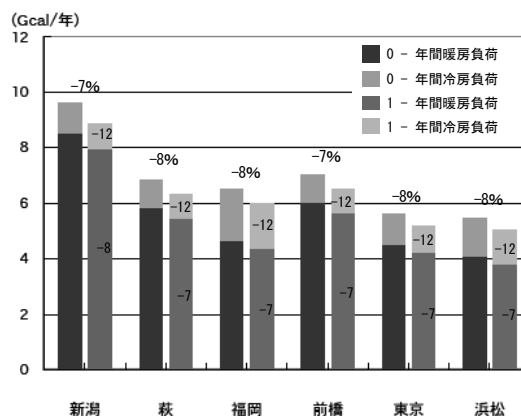


図11.5.2手法1の導入が年間暖冷房負荷に及ぼす影響 (パターン①)

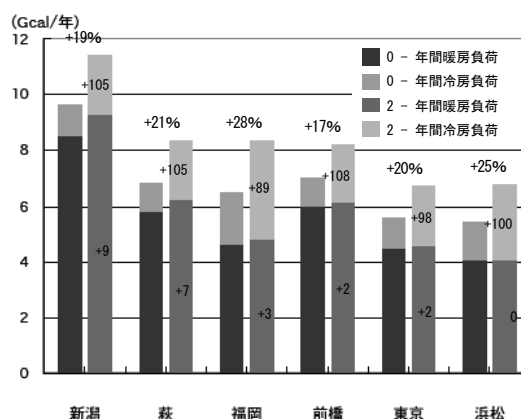


図11.5.3手法2の導入が年間暖冷房負荷に及ぼす影響 (パターン②)

③ 手法3(蓄熱部位の付加)

蓄熱部位のみを付加した場合である。日射の地域特性の影響が見られる。夜間換気の冷房削減効果が全都市にみられる。

・暖房負荷

日射量が少ない都市ほど低減効果が小さい。

・冷房負荷

66～92%の削減効果がある。全都市で夜間換気による蓄冷効果がみられる。

・負荷の合計

浜松では 33%、新潟では 9%の削減効果。夜間換気による蓄冷効果が大きく影響している。

④ 手法 4:1+2

開口部の断熱補強と開口部面積の増大のふたつを同時に行った場合の検討結果である。日射の地域特性の違いが顕著に見られる。

・暖房負荷

最高が冬季の日照が多い浜松で 15%の削減効果があるが、日照の少ない新潟では 4%の削減にとどまる。日射量が少ない都市ほど低減効果が小さい。

・冷房負荷

全都市で 68～82%増加する。ひさしがない建物であり、日射遮蔽の工夫が必要である。

・負荷の合計

冷房負荷の増加が、暖房負荷の減少効果を上回り、合計で増加する傾向がある。最高が福岡 12%、最低が前橋 1%の増加。

⑤ 手法 5:1+3

開口部の断熱補強と蓄熱部位の付加を同時に行った場合である。日射の多い地域では暖房の省エネ効果が顕著になる。夏季は夜間換気による蓄冷効果が大きい。

・暖房負荷

日射量が多い都市ほど蓄熱による低減効果が大きい。最高が浜松で 22%、最低が新潟で 9%の削減効果が見られる。

・冷房負荷

全都市で 74～97%の削減効果を示し、夜

間換気による蓄冷効果が顕著にみられる。

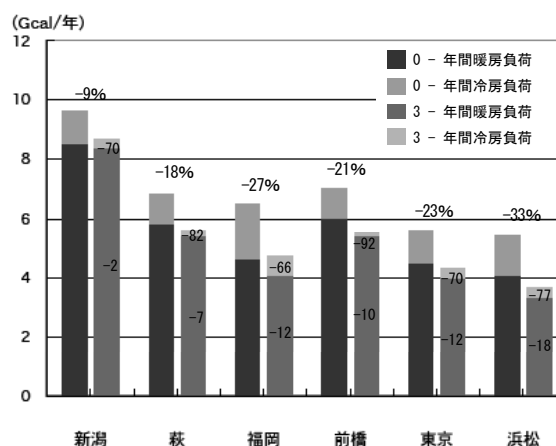


図11.5.4手法3の導入が年間暖冷房負荷に及ぼす影響（パターン③）

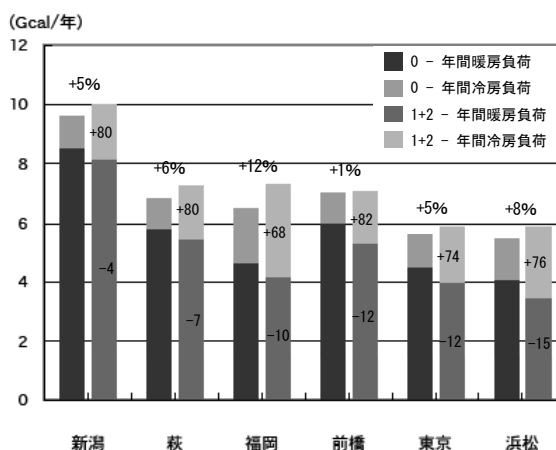


図11.5.5手法4の導入が年間暖冷房負荷に及ぼす影響（パターン④）

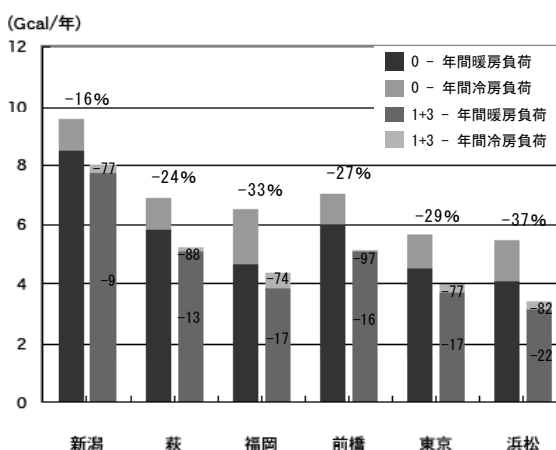


図11.5.6 手法5の導入が年間暖冷房負荷に及ぼす影響（パターン⑤）

・冷房負荷

全都市で 74～97%の削減効果を示し、夜間換気による蓄冷効果が顕著にみられる。

気温の日較差の大きい前橋では、冷房負荷がほとんど生じない。

・負荷の合計

蓄熱、蓄冷効果③による暖房、冷房負荷の低減が開口部仕様の断熱性向上①によってさらに促進される。最高が浜松で 37%、最低が新潟で 16%の削減効果となる。

⑥ 手法 6:1+2+3

開口部の断熱補強、開口部面積の増大、蓄熱部位付加の 3 つの工夫がされた場合である。パッシブデザインとしてもっとも完成度の高い建物のパターンである。暖房負荷、冷房負荷とも、基準建物に比べて大幅に削減されることが示されている。総量で見ると、日射の大きい地域における暖房負荷削減がとりわけ大きな省エネ効果があることがわかる。

・暖房負荷

日射量の多い浜松では 55%低減されるのに対して、日射量少ない新潟では 10%の低減にとどまる。

・冷房負荷

開口部総面積 2 倍②による増加が蓄冷効果③によって大きく低減されている。最高が前橋で 53%、最低が福岡で 19%の低減効果がみられる。

・負荷の合計

日射量が多い都市と少ない都市における暖房負荷削減効果の差が大きいため、この影響が負荷の合計にもみられる。最高が浜松 48%、最低が新潟で 11%の省エネ効果が得られることがわかる。

(2) 都市別感度分析のまとめ

a 暖冷房負荷の都市別感度分析

表11.5.5～表11.5.7 はそれぞれの地域における基準建物の負荷を 100 とし、導入した設計技法の相対的な効果を指数で示したものである。

・暖房負荷(表11.5.5)

開口部面積の増大②だけでは暖房負荷が増

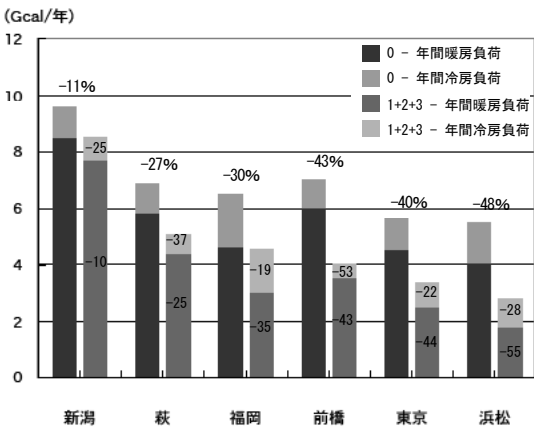


図11.5.7 手法6の導入が年間暖冷房負荷に及ぼす影響(パターン⑥)

表 11.5.5 都市別感度分析—暖房負荷

		0	1	2	3	1+2	1+3	1+2+3
い地域	新潟	100	93	109	98	96	91	90
ろ地域	萩	100	93	107	93	93	87	75
は地域	福岡	100	93	103	88	90	83	65
は地域	前橋	100	93	102	90	88	84	59
に地域	東京	100	93	102	88	88	83	56
ほ地域	浜松	100	93	100	82	85	78	45

表 11.5.6 都市別感度分析—冷房負荷

		0	1	2	3	1+2	1+3	1+2+3
い地域	新潟	100	88	205	30	180	23	75
ろ地域	萩	100	88	205	18	180	12	63
は地域	福岡	100	88	189	34	168	26	81
は地域	前橋	100	88	208	8	182	3	47
に地域	東京	100	88	198	30	174	23	78
ほ地域	浜松	100	88	200	23	176	18	72

表 11.5.7 都市別感度分析—暖冷房負荷

		0	1	2	3	1+2	1+3	1+2+3
い地域	新潟	100	93	119	91	105	84	89
ろ地域	萩	100	92	121	82	106	76	73
は地域	福岡	100	92	128	73	112	67	70
は地域	前橋	100	93	117	79	101	73	57
に地域	東京	100	92	120	77	105	71	60
ほ地域	浜松	100	92	125	67	108	63	52

加する。しかし、そこに開口部仕様の断熱補強①や蓄熱部位の付加③を組み合わせると開口部面積の増大②はプラス要因になり、相乗的な負荷軽減効果がみられる。日射による暖房の省エネ効果は冬季の地域日照特性によって大きな違いがある。

・冷房負荷(表11.5.6)

蓄熱部位の付加③による省エネ効果が大
きい。これは夜間換気による蓄冷によるも
ので、すべての地域で効果がある。開口部
仕様の断熱強化①と組み合わせるとさらに
低減効果がある。開口部面積の増大②は
マイナス要因であるが、蓄冷による効果に
よって補うことが可能な量である。

・暖冷房負荷(表0.7)

開口部仕様の断熱強化①は、全都市では
ほぼ同じ割合で低減効果がある。日射取得と
熱損失の双方に関わりの大きい開口部面
積の増大②は冷房負荷の原因ばかりでは
なくなる。地域によっては暖房負荷の増加
も招くが、蓄熱性能の付加③を組み合わせ
るとプラスの効果を得られる。冬季の日射
量の違いによる都市の差が大きい。

b 地域別感度分析

上記の結果をまとめ、省エネ基準に示され
る地域区分 IV におけるパッシブ地域区分別
に、設計の工夫による暖房負荷省エネ達成の
目安を示したものが表0.8 である。

・い地域、ろ地域

「①＋②＋③」にパラメータを変化させると
10%以上の低減効果がある。

・は地域

「③」、「①＋②」又は「①＋③」にパラメー
タを変化させると 10%以上の低減効果が

あり、「①＋②＋③」では 30%以上低減で
きる。

・に地域、ほ地域

「③」、「①＋②」又は「①＋③」による低減
効果は、は地域と同じ 20%の低減効果を
示すが、「①＋②＋③」の低減効果は 40%
以上の効果がある。

表 11.5.8 地域別感度分析- 暖房負荷

地域	省エネ目標	
い地域 ろ地域	≥10%	1+2+3
	20%	-
	30%	-
	40%	-
は地域	≥10%	3, 1+2, 1+3
	20%	-
	30%	1+2+3
	40%	-
に地域 ほ地域	≥10%	3, 1+2, 1+3
	20%	-
	30%	-
	40%	1+2+3

表 11.5.9 パラメータの変化

1	開口部仕様	ガラス熱貫流率 (kcal/m ² h ² C)	4	→	3.0014
		ガラス日射透過率	0.9		0.79
		サッシ熱貫流率 (kcal/m ² h ² C)	4		3.0014
2	開口部面積	開口部総面積 (m ²)	26.9	→	53.8
3	蓄熱性能	蓄熱材厚さ (mm)	10	→	100

1: 開口部の断熱強化 2: 開口部面積の増大

3: 蓄熱部位の付加

(小玉 祐一郎)

11.5.2 暖冷房負荷以外

基本ケースと比較ケースの条件を表 11.5.10
のように設定して、暖冷房需要以外についてBE
AT の感度分析を行なった。

建物は木質系軸組、2 階建て、方位は真南、
計算期間は 25 年とした。

表 11.5.10

	基本ケース	比較するケース
建設地点	東京	東京
廃棄物処理型	東京	名古屋、札幌
電既製品の数	12	22、8
給湯燃料	灯油	ガス、電力
暖房燃料	灯油	ガス、電力
断熱材	グラスウール 10k	押出発泡ポリスチ レンフォーム3種
省エネ度合	レベルゼロ (すべてしない)	最も省エネルギー 的
解体処理方式	東京型・手解体	東京型・機械手併 用、名古屋型、札 幌型
シナリオ	国内シナリオ	世界シナリオ

1) 基本ケース

表 11.5.11 基本ケース

ケース名	W Detached House	
建物の種類	戸建て住宅	
構工法	木質系軸組	
床面積(m ²)	151m ²	
建設地点	東京	
寿命(年)	25	
計算期間(年)	25	

	エネルギー	CO ₂	NO _x	SO _x
	MJ	kg-c	kg	kg
部材製造時(国内シナリオ)	18000.36	362.6155	4.981449	1.265159
部材製造時(世界シナリオ)	22995.13	670.4627	4.981449	1.265159
施工時	4105.69	46.97533	0.251367	0.141674
使用時	85479.45	1406.872	3.625585	1.849897
改修時	263.2665	4.942296	0.068528	0.022832
廃棄時	4428.007	67.09551	11.40668	4.65864
合 計	112276.8	1888.501	20.33361	7.938202
部材製造時合計	18000.36	362.6155	4.981449	1.265159
新規材	6714.23	145.9248	1.585609	0.616532
再利用材	272.6644	6.173474	0.022006	0.012313
仕上げ新規材	8267.75	158.0583	1.43985	0.61913
仕上げ再利用材	0	0	0	0
設備用部材	1193.658	23.28237	0	0
(太陽熱コレクタ)	0	0	0	0
(太陽電池)	0	0	0	0
住宅用窓・断熱材	97.98473	1.967817	0.014282	0.00755
部材輸送	1454.076	27.20876	1.919702	9.63E-03
施工時合計	4105.69	46.97533	0.251367	0.141674
廃棄物輸送	1197.539	21.3956	0	0
使用時合計	85479.45	1406.872	3.625585	1.849897
(外部供給)	85479.45	1406.872	3.625585	1.849897
(太陽熱・太陽電池 有効利用量)	0	0	0	0
(太陽熱 総発熱量)	0	0	0	0
(太陽電池 総発電量[kWh])	0	0	0	0
(電力需要[kWh])	22291.72	255.2958	0.893985	0.802358
住宅用暖房	12624.42	298.6134	0.57895	4.37E-02
(外部供給)	12624.42	298.6134	0.57895	4.37E-02
(需要)	12624.42	298.6134	0.57895	4.37E-02
住宅用冷房	6177.205	70.7444	0.24773	0.222339
(外部供給)	6177.205	70.7444	0.24773	0.222339
(需要)	7412.646	84.89328	0.297276	0.266807
住宅用調理	3131.726	43.81567	0.125008	5.71E-03
住宅用給湯	21796.11	515.5573	0.99956	7.54E-02
(外部供給)	21796.11	515.5573	0.99956	7.54E-02
(需要)	21796.11	515.5573	0.99956	7.54E-02
(太陽熱 有効利用量)	0	0	0	0
住宅用照明動力(1次換算)	41750	478.1416	1.674338	1.50273
(外部供給)(1次換算)	41750	478.1416	1.674338	1.50273
(需要)(1次換算)	41750	478.1416	1.674338	1.50273
改修時合計	263.2665	4.942296	0.068528	0.022832
改修仕上げ新規材	263.2665	4.942296	0.068528	0.022832
改修仕上げ再利用材	0	0	0	0
廃棄時合計	4428.007	67.09551	11.40668	4.65864
全合計	112276.8	1888.501	20.33361	7.938202
(外部供給)	112276.8	1888.501	20.33361	7.938202
(太陽熱・太陽電池 有効利用量)	0	0	0	0

2) 施工時の廃棄物処理

名古屋型のときの輸送パターンは以下のようになる。

計算結果

	施工時のエネルギー (MJ/年)	施工時のCO ₂ (kgC/年)
東京型 (基本ケース)	4,106	47(0)
名古屋型	3,187	29(0)
札幌型	4,339	50(0)

(CO₂の欄のカッコ内は、断熱材に含まれる温室効果ガス分を示す)

3) 家電製品の数

家電製品の数	使用時のエネルギー (MJ/年)	使用時のCO ₂ (kgC/年)	使用時の暖房エネルギー (MJ/年)	使用時の暖房のCO ₂ (kgC/年)
12	85,479	1407(0)	41,750	478(0)
22	101,229	1587(0)	57,500	659(0)
8	79,979	1344(0)	36,250	415(0)

4) 給湯燃料

熱源	使用時のエネルギー (MJ/年)	使用時のCO ₂ (kgC/年)	使用時の給湯エネルギー (MJ/年)	使用時の給湯のCO ₂ (kgC/年)
灯油 (基本ケース)	85,479	1407(0)	21,796	516(0)
ガス	85,479	1196(0)	21,796	305(0)
電力 (COP=3)	81,847	1099(0)	18,163	208(0)

5) 暖房燃料

熱源	使用時のエネルギー (MJ/年)	使用時のCO ₂ (kgC/年)	使用時の暖房エネルギー (MJ/年)	使用時の暖房のCO ₂ (kgC/年)
灯油 (基本ケース)	85,479	1407(0)	12,624	299(0)
ガス	85,479	1285(0)	12,624	177(0)
電力 (COP=4)	80,745	1199(0)	7,890	90(0)

6) 断熱材

断熱材中の温室効果ガスは、初期 Wt% が 8%、漏洩率は製造時 20%、施工時 10%、使用時が毎年 2%、廃棄時には回収するものとした。

断熱材の種類	部材製造時	断熱材の製造時	施工時	使用時	使用時の暖房のエネルギーとCO ₂
グラスウール (基本ケース)	376(0) 18,000	2 98	47(0) 4,106	1,407(0) 85,479	299 12,624
押出法発泡ポリスチレンフォーム3種 (HFC134a)	1300(817) 24,379	940 6,477	456(409) 4,106	3354(2043) 81,491	202 8,533

数値は上段:CO₂ (kgC/年)、下段:エネルギー (MJ/年) (カッコ内の数値は、断熱材に含まれる温室効果ガスの寄与を示している)

7) 省エネ度合

	使用時のエネルギー (MJ/年)	使用時の CO ₂ (kgC/年)
レベルゼロ(基本ケース)	85,479	1,407(0)
最も省エネルギー的(給湯レベル4、照明レベル3)	70,824	1,106(0)

8) 解体処理方式

	廃棄時のエネルギー (MJ/年)	廃棄時のCO ₂ (kgC/年)
東京型・手解体(基本ケース)	4,428	67(0)
東京型・機械手併用	7,501	122(0)
名古屋型・手解体	2,126	25(0)
札幌型・手解体	12,701	216(0)

9) シナリオの違い

国内シナリオと世界シナリオの違いが出るのは、部材製造時のみである。

	部材製造時エネルギー(MJ/年)	部材製造時CO ₂ (kgC/年)
国内シナリオ	18,000	362
世界シナリオ	22,995	670

以上のように、いずれも当初に想定した違いが結果に現れていることを確認できた。

(槌屋 治紀)

11.6 総括

「自立循環型住宅」に求められるのは、エネルギー資源においても、物質資源においても外部からの供給への依存をできるだけ小さくすることである。言い換えれば、省エネルギー・省資源を徹底して、地球環境に与える負荷を少なくすることである。

実際の住宅においては、さまざまな省エネルギー、省資源の工夫がそれぞれの状況にあわせて導入される。したがって、「自立循環型住宅」の普及のためには、省エネルギー、省資源技術の開発の一方で、導入された省エネルギー、省資源の工夫がもたらす効果を評価する技術が必要である。

ここでは、住宅のライフサイクルを通じて、導入された省エネルギー、省資源の工夫がもたらす効果を評価するデザインツールの開発を行った。このツールの基本的構造は、1997年に建設省建築研究所で開発された LCA 分析ツールがベースになっているが、これを大幅に改善して、新たなツール:BEAT(Building Environmental Assessment Tool)として開発、提示した。

研究開発の前半では、近年のライフサイクル分析の研究開発状況を調査分析し、残された課題について検討を加え、BEAT の開発方針を立てた。後半では、最近のデータに基づくデータベースの更新、具体的なプログラムのサブシステムの開発、サブシステムの統合を行って、BEAT を完成させ、その感度分析を行った。

プログラムの主要な改善点は次のようである。

1) 物質循環に関わる点

- ・住宅の解体方法によって異なる環境負荷の発生を評価できるようにした。
- ・廃棄物処理方法によって異なる環境負荷の発生を評価できるようにした。

2) 住宅の使用時に消費するエネルギーに関わる点

- ・暖冷房負荷を非定常計算で求めることとした。
- ・太陽熱利用や夜間換気などの多くのパッシブ手法を評価できるようにした。
- ・地域別に年間の暖冷房負荷を出力するようにした。

3) 複数の環境負荷指標によって、トータルの評価ができるようにした。

4) ユーザーフレンドリーなインターフェイスとした。

新しい BEAT は、実際に導入されると想定される省資源、省エネルギーの工夫が、ライフサイクル全体を通してどのような効果があるのか、ユーザー自らが判断できることを重視して作成されている。計算結果を見て、設計変更をする場合には、変更による改善効果が容易に比較検討することも可能である。

今後に残された課題も少なくないが、現時点ではもっとも先端的なデザインツールが完成したと自負している。多くの方に使っていただきたいと思う。

(小玉 祐一郎)

