

BEST 開発の目標

村上 周三 (独)建築研究所 特別会員

キーワード：BEST(Building Energy Simulation Tool)、開発目標(Development Goal)、オブジェクト指向(Object Oriented)、連成解析(Coupled Analysis)、行政支援ツール(Supporting Tool for Public Administration)

加速度的に緊迫度合いが高まっている地球温暖化問題を緩和するため、先の“サミット”において国際的な合意が取り付けられた。この合意の実現に向けて、各国は努力を惜しんではいない。とりわけ我が国においては、民生部門におけるエネルギー消費起源のCO₂排出量が増加の一途を辿っており、これを削減に向けないといけない。このためには、建物の計画・設計から施工、運用段階のライフサイクルを通して建物の総合的なエネルギー消費を可視化するシステムを構築する必要があるが、残念ながら現時点では有効なツールがない状況にある。そこで、BEST 開発に3年前から着手し、本年度成果を公表し始めた。今後、この成果をもとに発展させ、幅広い普及を目指している。一方、省エネルギー法改正に伴い届け出の義務が小規模建物にも及ぶようになるが、これにより届け出書類作成側の仕事が増加するだけでなく、それを処理する行政側の業務量も膨大となる。このため、現行制度での対応は困難となる可能性があることから、省エネルギー性能を簡便に、しかも精度よく算定することのできる BEST の行政支援ツール版の開発に着手した。

はじめに

本年7月に開催されたG8洞爺湖サミットでは、参加各国の首脳による地球温暖化防止対策についての真剣な議論がなされ、国際社会の一致団結した削減目標を定めることに成功した。この削減目標を達成するためには、供給側に加えて需要側におけるエネルギー起源のCO₂排出削減が不可欠であることはいままでもない。ところで、我々建築分野に携わる者としては、需要側におけるCO₂排出削減、すなわち省エネルギーが極めて重要であるが、残念ながら我が国における民生部門のエネルギー消費量は1990年以降、増加の一途を辿り続けている(図-1)。

この民生部門のエネルギーの過半は空調、照明、給湯などに消費されるが、これらの消費量を精度よく予測し、削減策を検討するための適切なツールがないのが実状である。過去には、1970年代のオイルショックを契機に、空調の年間エネルギー消費をシミュレーションするソフト(HASP/ACLD/ACSS)が1985年にでき、このソフトをも

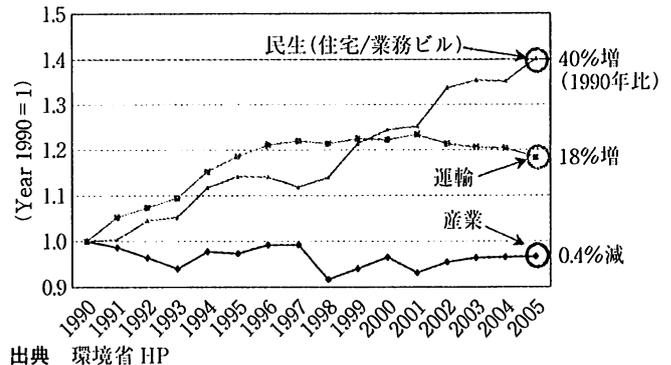


図-1 分野別 CO₂ 排出量の推移

とにさまざまな研究開発が行われて我が国の空調分野における省エネルギーに多大な貢献をしてきた。しかしながら、その後の継続的なメンテナンスがされなかったため、現在の最新の建築や設備システムをシミュレーションできるような状況になく、このため幅広く使用されているとはいえない。

このような状況を受けて、国土交通省の主導により産官学の協力で、新たなエネルギーシミュレーションツールとしての BEST(Building Energy Simulation Tool) 開発を推進するため、平成17年度に(財)建築環境・省エネルギー機構に開発委員会が発足し、現在に至っている。

1. 世界の動向

IBPSA(国際建物性能シミュレーション協会)では建築物のシミュレーションに関する国際的な学術会議を2年に1回開催している。また、IEA(国際エネルギー機関)では、太陽熱利用、空調システムシミュレーションのプログラム開発をしているほか、プログラムの検証システム BESTEST を公開している。残念なことに、現在、BESTEST をクリアした日本のプログラムはないが、BESTはこの国際基準を満足することを目指している。ところで、建築分野においては BIM(Building Information Modeling)が一部のソフト開発メーカー主導で進められているが、BESTは BIMにおけるエネルギー消費計算や快適環境計算部分などの役割を担えるソフトになり得るものと期待している。

2. BEST のマクロデザイン

BEST 開発においては、ソフト開発着手に先立ってマクロデザインを定めた。以下に、マクロデザインの項目を示す。

- 1) オブジェクト指向プログラム
- 2) 空調・電気・衛生設備の総合的エネルギー解析
- 3) ユーザーフレンドリー
- 4) 外皮・躯体と設備・機器の連成解析
- 5) 計算時間間隔の可変性
- 6) インターネットの利用
- 7) 豊富な気象データ
- 8) 部分負荷性能を表現する機器特性データ

以下に、上記のマクロデザインのなかから重点的な開発目標である、1)、4)の2点について解説する。

2.1 オブジェクト指向プログラム

オブジェクト指向とは、ソフトウェアの設計や開発において、操作手順よりも操作対象に重点を置く考え方で、関連するデータの集合と、それに対する手続き(メソッド)を“オブジェクト”と呼ばれる一つのまとまりとして管理し、その組合せによってソフトウェアを構築するプログラミング手法である。オブジェクトは、その内部構造や動作原理の詳細を知る必要はなく、外部からメッセージを送れば機能するため、ソフトウェアをサブシステムやコンポーネント単位に分割できるので、大規模なソフトウェアを多人数で分担して開発する場合に適している。

オブジェクト指向プログラムのメリットは、①モデルの再利用が行いやすい、②機能拡張が容易、③問題をモデリングしやすいことにある。BEST 開発では、OOP(Object Oriented Programming)とするために、

- 1) UML(Unified Modeling Language)で表現する
- 2) 言語はオブジェクト指向言語と言われる Java を用いる
- 3) XP(eXtreme Programming)開発手法を踏襲することにした。無論、オブジェクト指向を目指した根底には、継続的な維持管理という目標がある。

2.2 外皮・躯体と設備・機器の連成解析

空調システムにおけるエネルギー消費量を求めるためには、建築と空調システムを連成して解く必要がある。建築と空調システムを連成して解く手法はいろいろあるが、BEST では図-2に示すように、各オブジェクトにとって本来は未知数となる情報を Δt 時間前のデータを引き渡すという方法で求めることとした。この場合、プログラムの互換性は増すが計算精度が問題になるのが一般的である。そこで、この問題に対しては Δt の細分化により精度を保証することとした。さらに、この解法を採用することで計算エンジンのフレームワークが簡素化されるなどのメリッ

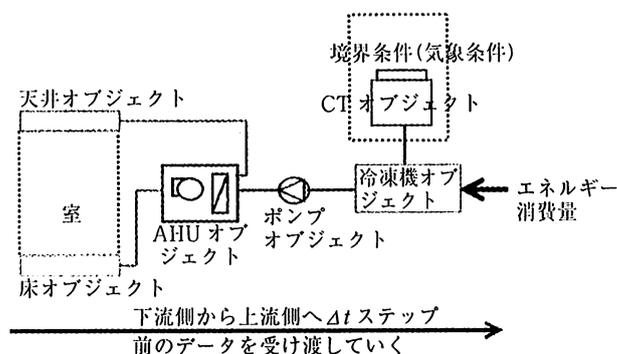


図-2 建築と空調設備の連成解法のイメージ

表-1 BEST の名称と概要

BEST のバリエーション	利用形態		備考
BEST 簡易版	企画計画段階	行政支援ツール	ポイント法に替わるもの
BEST 基本版	基本設計段階	行政支援ツール	限界耐力設計法のような概念
BEST 専門版	実施設計等詳細設計段階		0803 に初版をリリース、HASP/ACSS の建物全体版
BEST 拡張版	研究/高度設計対応		研究者が開発

トもある。

3. 今後の開発目標

これまで建築や設備の設計プロセスにおける外皮・躯体の設計や設備・機器の選定では、部分負荷を考慮した年間エネルギー計算は省略されることがほとんどであった。その理由として、年間のエネルギー消費量を簡単に求めるツールがなかったことを挙げるができる。そこで、このような従来型の設計プロセスを改革するためにも、簡単入力でありながら精度の高い計算結果を求められることを次の開発目標に定めた(表-1)。すなわち、計算エンジンは開発済みの BEST 0803 版をベースにしなが、入力の簡易化を目指した BEST-簡易版あるいは BEST-基本版の開発である。これらは行政支援ツールとしての活用も標榜しており、これにより BEST は飛躍的に普及し、省エネルギー計画・設計、施行、運用支援に繋がるものと期待している。

参考文献

- 1) シンポジウム(主催：日本学術会議・土木学会・建築学会)資料：温暖化防止と民生用エネルギー消費の現状と将来(2007-3)
- 2) 村上ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その1)BEST 開発の

背景と趣旨, 平成 19 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9), pp.1969~1972

(2008/8/27 原稿受理)

Development Goal of the BEST Program

Shuzo Murakami*

Synopsis An international agreement was reached in the G 8 2008 to ease the global warming issue which had become true planetary emergency. For the realization of this agreement, each country must make a full effort. In Japan, as CO₂ emission due to fossil energy consumption in the household sector continues increasing since 1990, we must stop this and turn this tendency to decreasing direction. For this purpose, it is necessary to build a system which can visualize the energy consumption of the building through out the building life cycle, from the design/plan phase to the operative phase. However, unfortunately there is no effective tool in the present situation. Therefore, the BEST development was launched in 2005,

* Building Research Institute

and the first version "0803" was announced this year. From now on, we will further develop this tool and aim the wide spread in future. On the other hand, according to the revision of the energy saving law this year, even though the building is small, its owner is obliged to submit the energy performance report to the authority to attain the building permission. It is easily expected that the work of the designers for making such report will increase dramatically and the work of the authorities for examining them will be enormous. On this account, the existing system might become outdated, it is necessary to develop the BEST as an administrative supporting tool which can estimate energy consumption of the building precisely, easily and quickly.

(Received August 27, 2008)



村上周三 むらかみしゅうぞう
昭和 17 年生まれ/出身地 愛媛県/最終学歴 東京大学/学位 工学博士/主な業績 (財)建築環境・省エネルギー機構理事長, 日本学術会議会員, (ASHRAE)ベストペーパー賞(CROSBY FIELD AWARD) (1998 年), ASHRAE Fellow Award (2001 年), (SCANVAC) the John Rydberg Gold Medal (2002 年) など



BEST プログラムに期待するもの

山田陽介 国土交通省

1. 地球温暖化対策の推進

地球温暖化対策を推進することは、今や世界共通の課題と認識されている。

地球温暖化問題に従来から積極的に取り組んできた我が国としては、本年6月9日には、福田前総理大臣自らが、“『低炭素社会・日本』をめざして”を發表し、“2050年までに、世界全体で二酸化炭素排出量の半減を目指す”ことを国際的に共有することを提案したところである。さらに、7月7日から9日に開催された北海道洞爺湖サミットにおいても、地球温暖化問題が主要なテーマの一つとして議論されたことも記憶に新しいところである。

このように、中長期的な地球温暖化対策に関する目標を巡り、国際的議論が活発化しているなか、我が国における地球温暖化対策を一層強化し、温室効果ガスの大幅な排出量削減に取り組むことが強く求められている。

なお、福田前総理大臣が提案したように二酸化炭素排出量半減を達成させるためには、我が国は2050年までの長期目標として、現状の水準から60～80%の二酸化炭素排出量の削減を行う必要があるとされている。これだけの二酸化炭素排出量の削減を行うためには、あらゆる分野において省エネルギーの取組みを抜本的に充実・強化していかなければならない状況にあるといえる。

こうしたなか、当面の対策として、京都議定書の目標達成計画の約束期間が、本年からスタートしている。目標達成計画において、我が国は温室効果ガスの排出量を1990年比で6%削減することが定められている。しかしながら、我が国の温室効果ガスの排出量は、未だその増加傾向に歯止めがかからない状況である。特に、住宅・建築行政に深く関連し、二酸化炭素排出量全体の約1/3を占める業務・家庭部門において、その増加傾向が著しい状況にある。

したがって、住宅・建築物の省エネルギー性能の向上を図ることは、大変重要かつ喫緊の課題と考えられている。加えて、住宅・建築物は一度建築されると長期にわたって使用されるものであり、省エネルギー措置の影響も長期間に及ぶものであることから、京都議定書の削減約束の達成のみならず、中長期的観点からも、住宅・建築物における省エネルギー対策の強化は重要な課題といえる。

このため、先の通常国会において、“エネルギーの使用の合理化に関する法律”を大幅に改正するとともに、本年度から、補助・税制も含め、住宅・建築物に対する総合的な省エネルギー対策の強化を図ったところである。

2. “エネルギーの使用の合理化に関する法律”の改正

1. で記述したような状況を踏まえ、業務・家庭部門におけるエネルギーの使用の合理化を一層進める必要があることなどから、“エネルギーの使用の合理化に関する法律(以下、“省エネルギー法”という。)”が平成20年5月30日に改正された。

従来の省エネルギー法では、床面積2000㎡以上の住宅・建築物を“特定建築物”とし、その所有者らは新築・増改築等の際、所管行政庁に対し省エネルギー措置の届出を行うことが義務づけられていた。また、その後も、定期的(3年ごと)に、所管行政庁に対し維持保全の状況を報告することが義務づけられていた。また、こうした措置の実効性を担保する手段として、省エネルギー措置が著しく不十分である場合は、所管行政庁により是正の指示やこれに従わなかった場合に公表できる仕組みとなっていた。

今回の改正では、従来、省エネルギー措置の届出が義務づけられていた特定建築物を第一種特定建築物として、これについてより実効性を確保する観点から、省エネルギー措置が著しく不十分である場合に、指示・公表にとどまらず、命令を行えることとし、これに従わない場合の罰則規定が導入された。

また、特定建築物と比較して規模の小さい一定規模以上の住宅・建築物を第二種特定建築物とし、これについても省エネルギー措置の届出を義務づけることとするなど、省エネルギー施策の充実を図ることとしたものである。

以下に具体的な改正内容を示す。

2.1 省エネルギー法改正の具体的内容

(1) 大規模な建築物(第一種特定建築物)に係る担保措置の強化

大規模な建築物の建築時等における届出に係る省エネルギー措置が著しく不十分である場合に、所管行政庁は変更指示に従わない者に対し、公表に加え、指示に係る措置をとることを命令することができることとする。

(2) 一定の規模の建築物(第二種特定建築物)を届出義務等の対象に追加

第一種特定建築物以外の一定の規模以上の建築物について新築・増改築時における省エネルギー措置の届出及び維持保全状況の報告を義務づけ、当該届出等に係る省エネルギー措置が著しく不十分である場合に、所管行政庁は当該届出等をした者に対し勧告することができることとする。

エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律の概要 (住宅・建築物分野)

<改正概要>

①大規模な建築物の省エネ措置^{※1}が著しく不十分である場合の命令の導入

^{※1} 省エネ措置：建築物の外壁、窓等の断熱化、空気調和設備等の効率的な利用のための措置

②一定の中小規模の建築物について、省エネ措置の届出等を義務付け

・新築・増改築時の省エネ措置の届出・維持保全状況の報告を義務付け、著しく不十分な場合は勧告

③登録建築物調査機関による省エネ措置の維持保全状況に係る調査の制度化

・当該機関が省エネ措置の維持保全状況が判断基準に適合すると認めた特定建築物の維持保全状況の報告を免除等

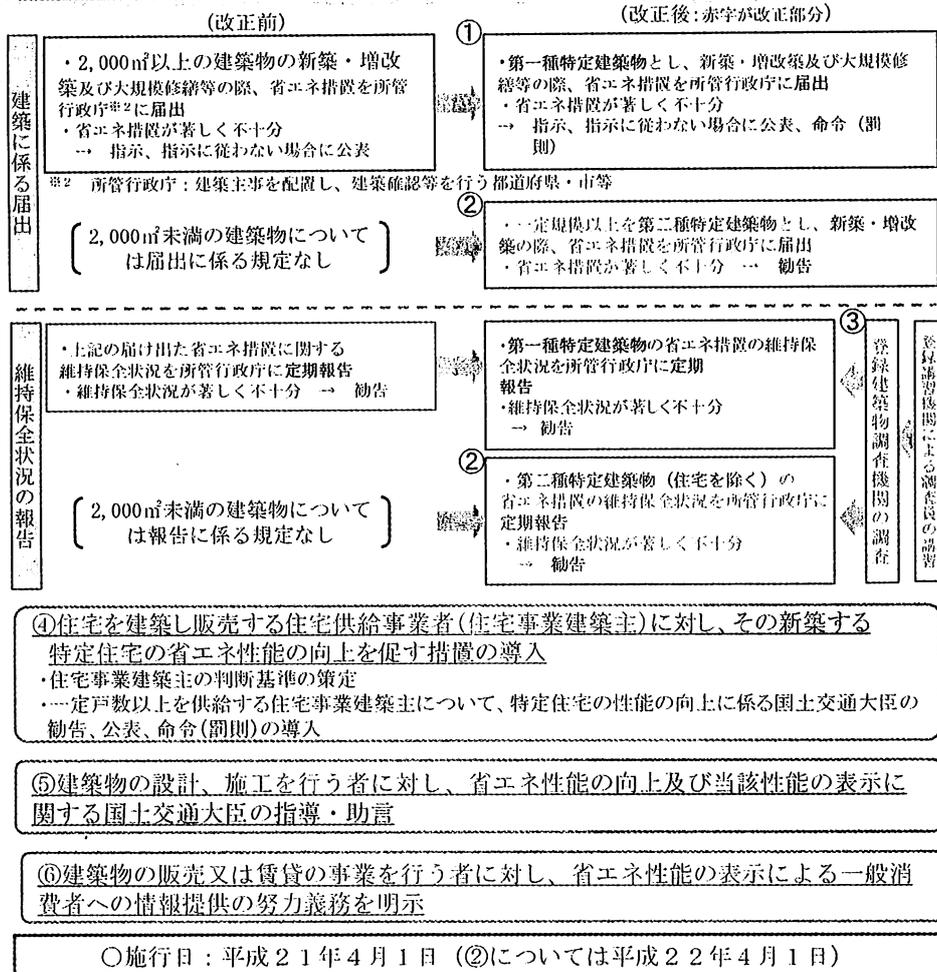


図-1

(3) 登録建築物調査機関による省エネルギー措置の維持保全状況に係る調査の制度化

登録建築物調査機関による建築物の省エネルギー措置の維持保全状況に係る調査を制度化し、当該機関が維持保全状況が判断の基準に適合すると認めた特定建築物に係る維持保全状況の報告義務を免除することとする。また、当該調査を行う調査員に対し、登録講習機関が講習を行うこととする。

(4) 住宅を建築し販売する事業者(住宅事業建築主)に対し、住宅の省エネルギー性能の向上を促す措置の導入

住宅事業建築主は、その新築する住宅であって政令で定めるもの(特定住宅)の省エネルギー性能の向上に努めることとし、一定戸数以上を新築する者に対し、住宅事業建築主に係る判断の基準に照らして省エネルギー性能の向上を相当程度行う必要がある場合について、国土交通大臣は勸

告、公表、命令することができることとする。

(5) 住宅・建築物の省エネルギー性能の表示等の推進

国土交通大臣は、建築物の設計者・施工者に対して、建築物の省エネルギー性能の向上及び当該性能の表示に関して指導及び助言をすることができることとする。

また、建築物の販売又は賃貸の事業を行う者は、建築物の購入又は賃借をする一般消費者に対して、当該建築物の省エネルギー性能の表示等により情報提供に努めなければならないこととする。

2.2 改正省エネルギー法の施行日等

平成 21 年 4 月 1 日。ただし、(2)については平成 22 年 4 月 1 日から施行。

3. BEST に対する期待

今回の省エネルギー法改正により新たに省エネルギー措置の届出義務が課される予定の比較的規模の小さい第二種特定建築物(床面積 2000 m² 以下で一定規模以上の建築物)の所有者・設計者などは、現時点において、必ずしも住宅・建築物の省エネルギー措置について十分な知識および能力を有しているとは限らないと思われる。

また、届出対象となる建築物の数が従来と比較して著しく膨れ上がる見込みであり、これらの届出を処理する所管行政庁の事務負担の増大が懸念されるところである。

一方で、構造計算書偽装問題への対応として昨年 6 月 20 日に施行された改正建築基準法の施行に際し、建築確認の現場が混乱し、建築着工にも影響を及ぼしたことを教訓として、改正省エネルギー法の施行に際し、現場を混乱させ

ることはあってはならないものと考えている。

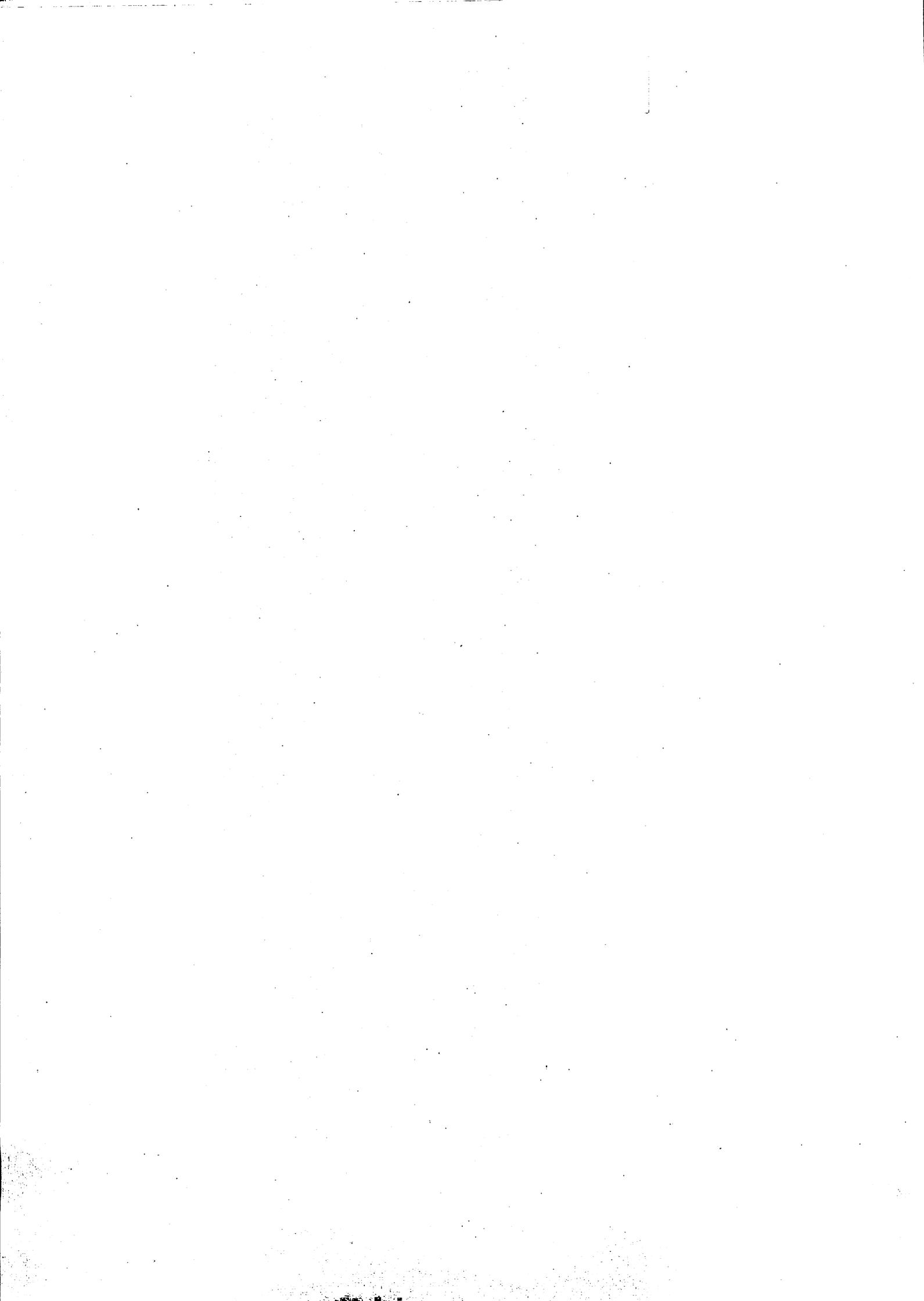
このため、小規模建築物などであっても、簡易な手法で省エネルギーの観点からの建築設計の評価を行うことが可能であり、また、こうした設計・評価の作業を通じて、省エネルギー措置の届出に関する書類が簡易に作成できるシミュレーションツールが開発されることが、政策的にも実務的にも、望まれているところである。

こうしたなか、現在、開発が進められている BEST (Building Energy Simulation Tool) は、建築設備設計者による省エネルギー設計・評価を容易にするとともに、現行の省エネルギー措置の届出をさらに効率的に行うことができる可能性を有しているなど、省エネルギー施策の推進に際し、大変有意義なツールとして期待されるところである。

さらに、技術的にも、建物外皮と各種建築設備を一体的に評価していくことを目標として掲げており、省エネルギー施策を進めていくうえで極めて有意義であると考えられる。また、現行の PAL/CEC の基準とは別の合理的な指標が策定されることにも大いに寄与しており、さまざまな意味で行政における省エネルギー施策の立案・遂行を支援するものである。

このような意味からも BEST の開発は現在のところ順調に進んでいるが、今後も順調に進められ一連の省エネルギー施策に多大な効果が現れることを国土交通省としても大きな期待を寄せているところである。

(2008/10/3 原稿受理)



BESTのバリエーションと実務における活用

坂本雄三 東京大学 正会員
佐藤正章 鹿島建設(株) 正会員
野原文男 (株)日建設計 正会員

キーワード：BEST, シミュレーション(Simulation), 省エネルギー法(Law Concerning the Rational Use of Energy), PAL(Perimeter Annual Load), CEC(Coefficient of Energy Consumption)

次世代のエネルギーシミュレーションツールとして期待されているBESTに関して、簡易版、基本版、専門版の位置づけを示す。また、これらのツールの企画・基本設計・実施設計の各段階での省エネルギーに対する活用のイメージを紹介する。

はじめに

2008年4月より、我が国は京都議定書の約束期間に突入し、あらゆる分野において、地球温暖化防止に資する省エネルギー対策が不可欠となってきており、建築分野においても、国・自治体・企業の各レベルで、省エネルギー・省CO₂への取組みの強化が具体化しつつある。特に、国レベルでは、省エネルギー法の適用における罰則規定の導入や、小規模建物に対する省エネルギー計画書の提出義務の拡大、事業者単位での温暖化対策などが推進されようとしている。また、東京都では建物単位でのCO₂排出量削減の義務化と“いわゆるCAP&TRADE”の導入などが予定されている。

これらの状況を受けて、建築分野の実務においても、定性的な“環境にやさしい”建物を提案することだけでなく、定量的に“省エネルギー・省CO₂”な建物をつくり、かつ、運用段階で、実際にその省エネルギー・省CO₂性能を担保することが求められてきている。BESTは、まさにこのニーズを満足させるためのツールとして活用が期待されている。

1. BESTのバリエーション

BESTの開発は、平成17~19年度において、(財)建築環境・省エネルギー機構(IBEK)内で組織された“BEST開発普及事業研究会：委員長：村上周三慶應義塾大学教授(当時)”において実施され、その中核をなすコアモジュール(いわゆる計算エンジン)とそれを動かすために、最小限のユーザー・インターフェイスが開発された。

BESTの最大の特徴は、建築の熱性能や空調の省エネルギー性能を検討できるだけでなく、電気や衛生の省エネルギー・省資源性能を総合的に検討できることである。

このことから、標記の委員会においては、従来の建物の外皮性能を評価するPALや設備ごとのエネルギー効率を評価するCEC/AC, CEC/V, CEC/L, CEC/HW, CEC/EVによる評価に基づいた建物の省エネルギーの推進を、より総合的にすすめることができるツールとしての可能性を、専門版の開発と並行して議論してきた。

将来的な開発を含めたBEST全体のバリエーションを図-1に示す。この図において、平成17~19年度において開発されたBESTは、③BEST専門版(BEST-Professional)と位置づけられる。このツールは、既述のように建物全体の建築・設備の統合的な省エネルギー性能を詳細に評価することが可能である。

①BEST簡易版(BEST-simple)および②BEST基本版(BEST-basic)は、省エネルギー計画書の作成に必要な、PALやCECに相当する評価を簡易に実行するツール(ここでは、行政支援ツールと呼ぶ)であるとともに、企画設計・基本設計段階におけるBESTによる検討の簡易データ作成ツールとして役割を担う。この①と②の開発が、平成20年度の大きな課題である。

④BEST専門版の拡張GUI(Extended GUI)は、当面、BESTの開発主体であるIBEKでの開発は視野に入っていないが、例えば、CADとの連携や優れたGUI(グラフィカル・ユーザー・インターフェース)などによるBESTのデータ入力支援を行うツールを想定している。これは、いわゆるサードパーティーによって開発されるかもしれない。

⑤BEST拡張版(BEST-Extended)は、研究者や高度な専門家がカスタマイズできるバージョンを想定している。このようなバージョンがあれば、例えば、新しい高性能な熱源や空調システムのハードの開発を進める際に、BEST上でその性能をシミュレーションできるようなソフトの開発を並行して行い、その計算モジュールをWEBで公開することにより、①~③の各ツールのユーザー(設計者など)による新製品の性能評価が可能かもしれない。

この④と⑤については、単なるプログラムの開発ではなく、BEST全体の運営にかかわるものであるため、平成20

	BESTのバリエーション		利用形態	汎用性	操作性	有償/無償	備考
	↑ 省エネルギー法に活用 本開発 ↓ 機能の拡張	①BEST 簡易版	企画設計ツール	行政支援ツール (省エネルギー計画書届出・ラベリングの簡易版)	△ 標準 運転条件	◎ 簡易なGUI を開発	廉価のソフト 提供サービス
②BEST 基本版		基本設計ツール	行政支援ツール (省エネルギー計画書届出・ラベリングの簡易版)	△ 標準 運転条件	○ 対応した GUIを開発	構造の“限界 耐力設計法” のような概念	
③BEST 専門版		詳細設計ツール		○ 自由な 運転条件	△ 基本的な GUI	有償契約	HASP+ ACSSの建物 全体版
④BEST 専門版用の 拡張 GUI		③の入力 支援		○ 自由な 運転条件	◎ 高度な GUI	開発者 による	自動設計機能 が必要か？
⑤BEST 拡張版		研究者、高度 専門家向		◎ カスタマイズ 可能	△	有償 (高額)	研究・開発部 門で活用

図-1 BEST のバリエーション

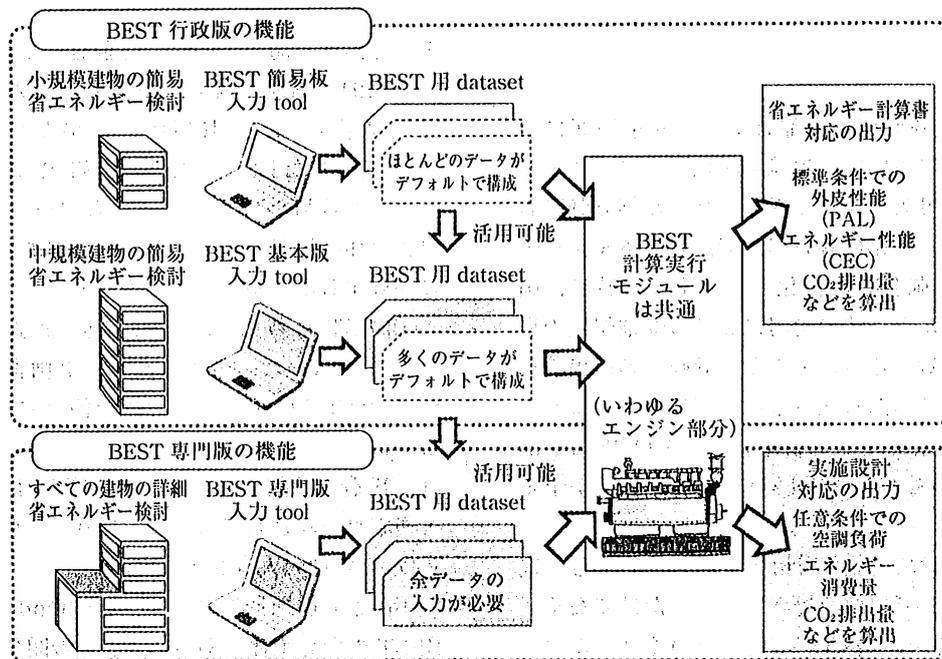


図-2 BEST 行政ツール(簡易版・基本版)と BEST 専門版の位置づけ

年度に設立され、今後の継続的な運営主体となった“BEST コンソーシアム”で、今後、議論していく必要があると考えられる。

2. BEST の行政支援ツールとしての活用

2.1 データ入力の簡易化

BEST 行政支援ツール(簡易版・基本版)は、省エネルギー計画書の作成に必要な、PAL や CEC に相当する評価を簡易に実行するツールとしての役割を持つ。また、企画設計や基本設計段階での簡易な省エネルギー検討にも活用できることが期待されている。これに対して、BEST 専門版は実施設計レベルの詳細な省エネルギー検討に対応できるような高性能なシミュレーションツールとして開発され

ている。

他方、前述のように、BEST の計算実行モジュール(いわゆる計算エンジン部分)は、一つであり、どの“版”においても共通である。したがって、簡易版・基本版では入力データの多くをデフォルトデータで補完することになる。つまり、少ない入力データだけで、これまでの PAL や CEC に相当する計算や建物全体でのエネルギー消費量・CO₂ 排出量の推定を行うことになる(図-2 参照)。図-3、4 に、このためのデータ入力の簡易化に関するイメージ図を示す²⁾。

簡易化に際しては、可能な限り複雑な入力を避け、計算目的である熱性能や設備システムの省エネルギー性能比較の精度を大きく損なわない範囲でデフォルトデータを多用

THE BEST Program	
ファイル	計算実行
入力	*主方位 <input type="text" value="南"/> *アスペクト比 幅 <input type="text" value="2"/> : 奥行き <input type="text" value="1"/> *階高 <input type="text" value="3.5"/> m 天井高 <input type="text" value="2.6"/> m *コアタイプ <input type="text" value="センターコア"/> 断熱材の厚さ *屋根 <input type="text" value="50"/> mm *外壁 <input type="text" value="20"/> mm 窓 *種類 <input type="text" value="フロントガラス8mm"/> *窓面積比 <input type="text" value="30"/> % *ブラインド <input type="text" value="明色ブラインド"/> 庇 *種類 <input type="text" value="オーバーハング"/> *出寸法 <input type="text" value="1"/>
基本情報	
建築	
空調	
電気	
衛生	
計算	
出力	

図-3 BEST 簡易版の建築データ入力イメージ

THE BEST Program	
ファイル	計算実行
入力	熱源方式 <input type="text" value="セントラル方式"/> *熱源種別 <input type="text" value="暖房冷房温水発生器"/> 台数 <input type="text" value="2"/> 台 *室外機設置場所 <input type="text" value="屋上"/> *全熱交換器 <input type="text" value="あり"/> *外気カット <input type="text" value="あり"/>
基本情報	
建築	
空調	
電気	
衛生	
計算	
出力	

図-4 BEST 簡易版の空調システム入力イメージ

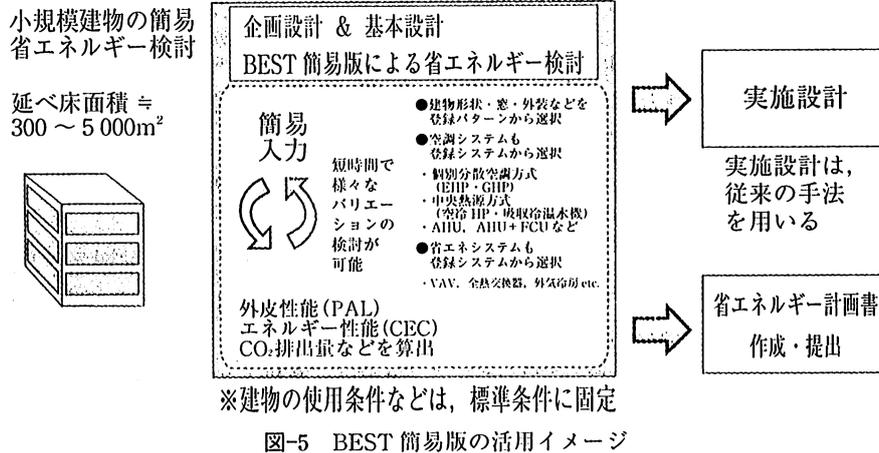


図-5 BEST 簡易版の活用イメージ

することを検討している。このようなデータ入力の簡易化は、FACES^{*)}というソフトですでに採用されており、BESTでもこれに倣って簡易化を検討している。

2.2 BEST 簡易版の目的と活用

BEST 簡易版の活用イメージを図-5に示す。BEST 簡易版は、平成22年度より省エネルギー計画書の届出対象となる小規模建物の簡易な省エネルギー検討に使用することを主要な目的として開発を進めている。つまり、おおむね延べ床面積300~5000m²のオフィス・ホテル・学校・病院・店舗などの一般的な業務建物を扱えるツールを目指している。延べ床面積2000~5000m²の建物は、これまでも、ポイント法(仕様基準)による簡易な省エネルギー評価が可能であったが、このポイント法に比べて、精度が高く、かつユーザーの手間も少なく、さらに、実効ある省エネルギーを検討できるツールが目標である。

現行のポイント法は、採用する省エネルギー手法による省エネルギー効果の大小程度は評価できるが、例えば、空

調を例にとると、実効ある省エネルギー検討に不可欠な年間空調負荷やエネルギー消費の量的な把握はできない。また、どの程度のCO₂排出を削減できるかの換算も難しい。このため、ポイント法の数値をもとにして、運用段階における省エネルギー・省CO₂の性能を予測したり、省エネルギー管理の数値目標を設定したりすることはできない。

これに対して、BEST 行政支援ツール(簡易版)では、建物の形状などはパターン化して単純化するが、年間空調負荷やエネルギー消費量、CO₂排出量が算定できるので、外壁・窓の性能向上や省エネルギー手法の採用などによる効果を(多少の誤差があるかも知れないが……)定量的に把握することができるのである。

2.3 BEST 基本版の目的と活用

BEST 基本版の活用イメージを図-6に示す。BEST 基本版は、おおむね5000m²以上のオフィス・ホテル・学校・病院・店舗などの一般的な業務建物を扱うことができるツールとして開発が進められている。この規模の建物では、すでにPALとCECによる評価が不可欠となっており、CEC/AC(空調のエネルギー消費係数)の計算に関し

^{*)} HASP/ACLD/ACSSをベースに東京電力、中部電力、関西電力、日建設計で開発された年間エネルギーシミュレーションソフトで一般には公開はされていない。

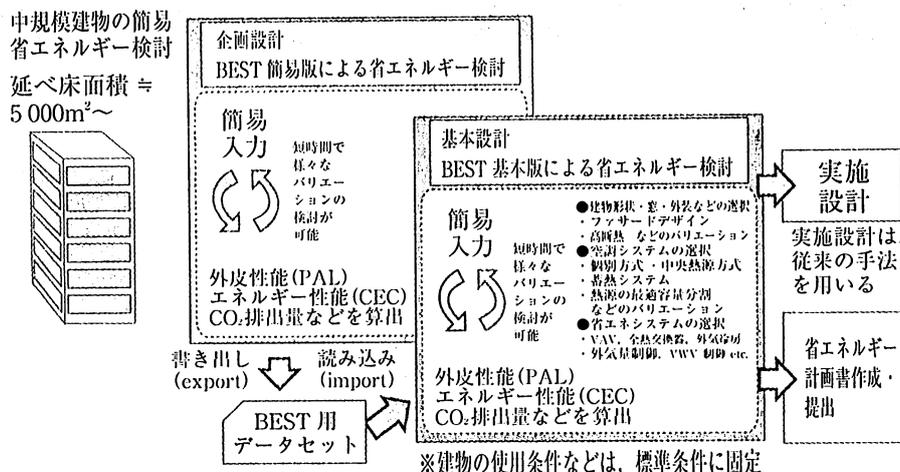


図-6 BEST 基本版の活用イメージ

ては精度の高いシミュレーション手法 (Building Energy Consumption Simulator : BECS) が整備されている。しかしながら、BECS は幅広く利用されているとはいえない、PAL は拡張デグリーデー法、CEC/AC は全負荷相当運転時間法という、手計算による評価法が多用されているのが現状である。

これらの評価法においては、一般的に設計で行われている空調負荷計算とは別の作業・計算が必要になるため、現状では、設計がある程度進み確認申請を出す段階に達して初めて省エネルギー計画書の提出のために PAL や CEC を計算することになる。そして、それらの計算値が判断基準値を満たしていれば、評価はそれで終了であり、省エネルギー性能の検討に積極的に活用されたりすることはない。また、PAL と CEC の計算を建築図や設備システムにできるだけ忠実に行うためには、数日～数週間の作業時間を必要とするので、場合によっては、専門の外注事務所に計算を依頼することもあるのが実態である。

省エネルギー建築を設計するためには、本来、企画設計や基本設計の段階において、簡易ではあってもその時々でキーになる省エネルギー化の検討を積み重ねて行くことが肝要である。具体的には、建物の大まかな形状を決める企画設計段階や、基本的な仕様を決める基本設計段階の判断材料の一つとして PAL 値や CEC 値、エネルギー消費量、CO₂ 排出量が示されるのが理想である。BEST 基本版では、ある程度の精度を確保しながら、できる限り簡易化が図られ、設計の要所要所で活用できるツールを開発する。

そのためには、企画設計段階では BEST 簡易版で検討するが、さらにそのデータを BEST 基本版でも受け継いで利用できるようにすることが開発上のポイントとなる。ただし、BEST の行政版ツールは、あくまでも省エネルギー基準における標準使用条件における省エネルギー効果

の検討・評価ツールであって、決して設計用のツールではない。したがって、実施設計段階においては、各設計者が従来から使用している設計手法や設計ツール (もしくは BEST 専門版) を用いて設計することになる。

3. BEST 専門版の設計での活用

3.1 省エネルギーの簡易検討から詳細検討まで

BEST 専門版の活用イメージを図-7に示す。BEST 専門版は、規模や用途を特に想定していないが、詳細な省エネルギー検討が必要な際に用いることになる。

先に述べたように、企画設計段階や基本設計段階では、BEST 簡易版・基本版を活用して、タイムリーに省エネルギー検討を進めることが重要であり、実施設計では、そのデータを再利用して、BEST 専門版の入力データのベースとする。専門版では、基本的には、あらゆるパラメータの設定が可能であるため、必要に応じて実施設計で定めた建築仕様と設備仕様をもとに、入力データを細かく再設定することが可能になる。

3.2 実条件における検討・評価

省エネルギー計画書のための計算においては、建物の運用時間や運用形態 (在室密度や在室パターン、内部発熱密度や発熱パターンなど) は、よく知られているように標準使用条件が用いられる。したがって、そのときの建築の外皮性能や設備のエネルギー効率も、標準使用条件のもとでの評価である。これに対して、BEST 専門版では、よりその建物の実態に近い条件においても、検討・評価を行うことができる。

特に、エネルギーが多消費される傾向にある、長時間の建物利用が想定される外資系の企業や、海外まで手を広げた証券や為替取引を営む企業、通信・情報産業、高い内部発熱が想定されるデータセンター・ディーリングルームなど、従来の想定を遥かに超えたエネルギー消費が想定さ

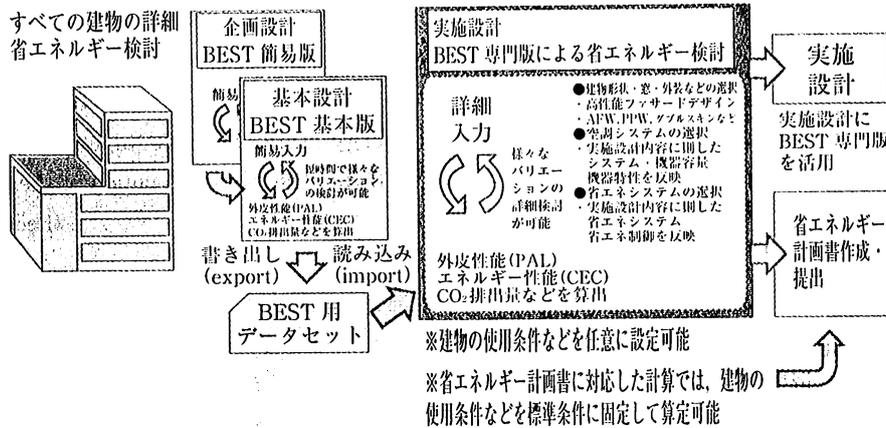


図-7 BEST 専門版の活用イメージ

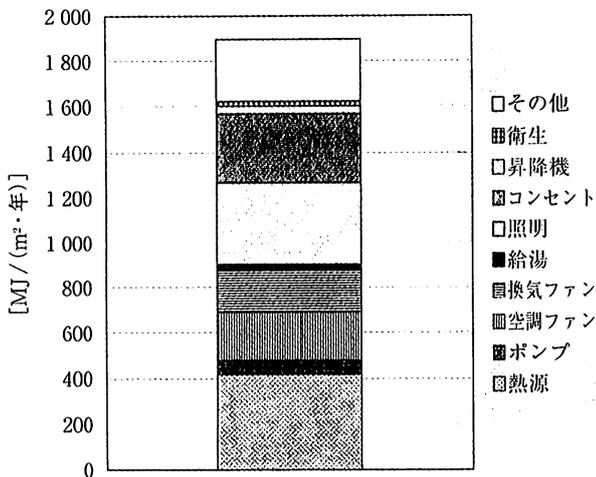


図-8 BEST による標準的なオフィスの一次エネルギー消費量試算例

れる企業は、最新の大規模ビルに必ずといっていいほど入居するようになっており、昨今ではこれらを特殊ケースとして扱うことはできなくなっている。これらの、エネルギー多消費企業の特長条件を加味した省エネルギー化の検討も重要となる場合が多く出てきており、専門版の活用が期待される。

3.3 より高度の省エネルギー手法の検討

最近の建築では、ダブルスキンによる自然換気やエアフローウィンドウなどの設備と建築が一体化した高性能な窓システムなどの検討のニーズも増加してきている。

また、インバータ制御の高効率遠心冷凍機を含む熱源群の最適組合せ、冷却水変流量制御、大温度差システム、昼光利用の照明制御による照明エネルギーの削減と空調負荷の削減など……可能な限り高度な省エネルギーシステムを組み合わせない限り、国や自治体が目標として掲げる、高度の省エネルギー・省CO₂削減を達成していくことは難しくなっており、BESTに掛かる期待は大きい。

3.4 建物全体のエネルギー消費とCO₂排出量の予測

周知のように、地球温暖化対策の推進に関する法律(温対法)に基づく定期報告や計画的なCO₂削減計画の義務化が推進されてきており、設計段階での省エネルギー性能の予測値だけでなく、運用開始後の実運用段階でのエネルギー消費とCO₂排出の実際の値が評価されるようになってきている。

先にも述べたが、省エネルギー計画書の標準条件と実態とは大きな乖離がある建物も少なくなく、設計段階での“この建物のCO₂排出量はどのくらいですか？”との問いに、“(実態と大きく異なるかもしれない)標準条件では、〇〇kg-CO₂/(年・m²)程度におさまります。”とはいえなくなってきている。これに対して、BESTの専門版では、空調だけでなく、建物全体のエネルギー消費量を推定することが可能である。BESTによる標準的なオフィスの年間エネルギー消費量の試算例⁹⁾を図-8に示す。

このように、より実態に近い条件での、竣工後のエネルギー消費量やCO₂排出量の推定が顧客から直接求められるようになるのも、そう遠いことではないと考えている。

おわりに

BESTの開発は平成19年度末でいったん区切りをつけしたが、行政版ツールとしての役割を担うべく、第2次の開発を継続している。

本報告では、さまざま考えられるBESTの活用方法をイメージして示したが、このイメージを実現することを目標として開発を進めて行きたい。

また、BESTのようなプログラムは、常に新たな設備システムに対して対応するようなバージョンアップが求められ、これに対応できなくなった途端に陳腐化してしまうという宿命を持つ。しかし、CO₂削減の取組みは、短期間で終わるはずもないので、BESTで開発した貴重な萌芽を、

ユーザーや関係者とともに確実に育ててゆくことが重要であると考えている。

参 考 文 献

- 1) 村上ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その1)，BEST開発の背景と趣旨，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9)，pp.1969～1972
- 2) 野原ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その2)，行政支援ツールへの適用，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9)，pp.1973～1976
- 3) 野原ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その20)，BESTのバリエーション，開発体制と適用例，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008-8)，pp.1081～1084

(2008/8/26 原稿受理)

Variation of the BEST Tool and Use Image in Business

Yuzo Sakamoto*¹

Masaaki Sato*²

Fumio Nohara*³

Synopsis The location of a simple version, a basic

*¹ Tokyo University, Member

*² KAJIMA Corporation, Member

*³ Nikken Sekkei Ltd. Member

version, and a special version is shown for the BEST, which is expected as next generation's energy simulation tool. Moreover, the image of use to the conservation of energy design at each stage of a project, a basic design, and the design for execution of these tools is introduced.

(Received August 26, 2008)



坂本雄三 さかもとゆうぞう

昭和23年生まれ/出身地 北海道/最終学歴 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了/専門 建築環境工学/学位 博士(工学)/その他 現在本学会副会長



佐藤正章 さとうまさあき

昭和29年生まれ/出身地 東京都/最終学歴 東京大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程修了/専門 建築設備計画/学位 博士(工学)



野原文男 のはらふみお

昭和31年生まれ/出身地 東京都/早稲田大学大学院理工学研究科修了/学位 工学修士

BEST の計算体系

石野久彌 首都大学東京名誉教授 正会員

キーワード：オブジェクト指向プログラミング(Object-Oriented Programming), Java 言語(Java), アジャイルソフトウェア開発(Agile Software Development)

BEST プログラムの開発に関して全体的なアーキテクチャーを概説したものである。開発当初に考えていたこと、諸外国のソフトウェア事情、プログラム開発の基本事項、建築の計算法、空調の計算法、その他の計算法、アジャイルソフトウェア開発についてなどについて述べる。

まず全体アーキテクチャを概説する。

1. 開発当初の目標

BEST の開発は 2005 年夏に始まるが、当初は HASP の陳腐化に対して何とか次世代に引き継げるプログラム開発が必要であるという要請からスタートしたものである。

1971 年に空気調和・衛生工学会から HASP/ACLD が公開された。標準気象データは 1974 年にまず東京データが発表され、その後地点数が増加していった。空調のシステムシミュレーションとしては 1985 年に HASP/ACSS が公開され、建物から空調のシミュレーションまで連続して計算可能となった。気象データの開発は、その後赤坂などにより拡張アメダス気象データとして日本 840 地点まで拡大され、現在も継続的に新しい気象データの開発が行われている。熱負荷シミュレーション、システムシミュレーションのほうはメンテナンス組織がなかったこともあり、新しい時代への対応が困難となっていた。このプログラムから派生して生まれたプログラムは多く存在している。また、各企業では同様のソフトウェアの開発の競合も見受けられた。

BEST は HASP の延長線上というものではなく、今の時代に最もふさわしいもの、次世代に引き継げるものを念頭に開発することにした。同時に国内だけでなく、国際貢献も視野に入れる必要性もあった。各企業では、その企業の特性に合った改良がなされると想像されるが、その共通財産に成りうる基盤としてのソフトウェアの開発が望まれた。

開発当初目標に掲げたものが、ユーザーフレンドリー、プログラムの拡張性、メンテナンスの充実、国際性、Web 利用であった。

ユーザーフレンドリーという用語は、かなり以前からソフトウェアの分野で重宝されているが、「いうはやさし行うは難し」である。プログラムは使いやすさが最重要なの

である。具体的には GUI(Graphical User Interface)といわれるマウスによって操作できるユーザーインターフェースであり、ユーザービリティと直感性に優れている。そして、その規則には人間工学的な一貫性が欲しいというものである。しかし、GUI は大量のファイルの処理に問題があったり、複雑な操作にリソースが大量になるという問題があったりし、プログラム作成側からすると、CUI(Character-based User Interface)で作成するほうが相当楽である。CUI とはユーザーからの情報を文字によって受け取り、すべての操作をキーボードから行うユーザーインターフェースのことである。CUI はユーザーの習熟度が問われることになり、はじめての人にとっては GUI のほうが便利と感じるはずである。最終的には、適材適所に GUI と CUI を使い分けることになると思われるが、まずは CUI で開発しているのが現状である。プログラムに新しさを入れようとする、ついつい操作が複雑にならざるを得ないものであり、ユーザーフレンドリーから離れていくことに留意しなければならない。当初アンケート調査をしたが、多少入力も複雑でも計算精度が高いほうがいい、計算精度を犠牲にしても入力がやさしいほうがいい、の両者では後者のほうがはるかに多かったのである。プログラム開発者側としては、本当にそうなのかと複雑な思いであったが、真摯に受け止めなければならぬ。

プログラムの拡張性に関しては、次世代に引き継げるプログラムとするためにも、また新しい建築、設備システムの出現に対応するためにも拡張性を考慮したプログラムづくりは大切である。このことは、十分考慮して開発されている。

メンテナンスの充実については、プログラムは開発を終えたと同時に、メンテナンスが必要なのである。いいかえれば、BEST 開発は終わるということではなく、常に開発しているといえいいのだろうか。樹木にたとえれば、常に幹が成長しているというものであり、必要に応じて途中で枝分かれが幾度か生じながら、1本の幹は少しずつ伸びているということである。そうしながら、樹木は全体構成されると考えられる。諸外国の主要なプログラムもメンテナンス体制がしっかりしている。私の留学していた UIUC (University of Illinois at Urbana-Champaign) では、BLAST プログラムの維持管理と改良を担当している研究

室 BSO (Blast Support Office)があり、常時7~10人の研究者が働いていた。全米各地からの質問に答えたり、計算代行を行ったり、プログラム変更の手伝いをしたり、出張講義をしたりするのである。このような BLAST のメンテナンスをしつつも、DOE 2 と BLAST を合体させて EnergyPlus をつくり出す構想を練ったりもしていたのである。BEST においても当初よりそういう体制づくりが望まれるのである。

国際性については、過去の我が国のプログラムが海外で使われていないことの反省でもある。現在、米国のエネルギー省に登録されている建築環境系プログラムは世界 23 箇国から 340 本に及んでいる。無料配布のものが多くである。しかし、日本からの登録は未だにゼロというのが実情である^{*1}。またこれからの時代、アジアの近隣諸国にプログラムの共同利用を働きかけることも大切である。現在、世界の気象データがどこからでも使えるという状況になりつつあること、気象データのフォーマットが EPW フォーマット^{*2}に統一されつつあることなども国際化を後押ししてくれる状況になっている。

最後に Web 利用であるが、今やインターネットの時代であり、ASP^{*3}や SaaS^{*4}によるソフトウェアの利用は必要不可欠になりつつある。BEST 開発において Web 利用に関して現在は遅れているが、使用言語などは Web 利用を前提に選定されているので、近い将来普通に利用されていることであろう。

2. 海外のソフトウェアの事情

我が国で HASP プログラムが作成されるようになった動機は、ASHRAE にて Task Group による熱負荷シミュレーション研究が開始されたことである。Task Group には我が国から木村建一先生も参加され、幅広く活躍された。Task Group の成果は、当時有名な文献となっていて、ASHRAE Task Group on Energy Requirements: Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculation, ASHRAE, NY, 1975 というものである。Task Group に大きな影響を与えたの

は 1967 年の Mitalas, G.P. と Stephenson, D.G. によるレスポンスファクタ法の発表と 1974 年の Kusuda, T. によるヒートバランス法の NBSLD プログラム (the National Bureau of Standards Load Determination program) であった。我が国では木村先生から Task Group のドラフトを得て、かつ常時最新の ASHRAE 情報を得ながら HASP の研究が開始されたが、米国では Task Group の流れを受けて 1971 年に Lokmanhekim, M. らによる FORTRN による実際のプログラムが発表され、1980 年にはローレンス・バークレー国立研究所から DOE-2.1 が発表された。また、Kusuda, T. の NBSLD の流れを受けて 1977 年に Hittle, D.C. は BLAST プログラム (the Building Loads Analysis and System Thermodynamics program) を発表した。BLAST は、その後 UIUC (University of Illinois at Urbana Champaign) の BSO (BLAST Support Office) で維持管理され、iBLAST に展開された。それ以前は DOE 2 も BLAST も熱負荷、空調システム、熱源システムに分離されており、シーケンシャルに解かれるというものであったが、iBLAST は建築とシステムを同時に解く、つまりシステムのなかに建築を含有させるというものとなった。

その後、2001 年にエネルギー省から iBLAST と DOE 2 の長所を抽出して EnergyPlus というプログラムを 2001 年に発表し、現在のところバージョン 2.2.0 が最新であり、エネルギー省の Web Site から無償でダウンロードできるようになっている。EnergyPlus の特徴は、1 時間より短い計算時間間隔、ヒートバランス法の建物と熱源の同時解法、多数室換気、温熱快適性、地中熱伝導、不均一天空輝度分布、大気汚染放出計算、光電池燃料電池の電力シミュレーションなどが挙げられる。また、EnergyPlus はユーザーフレンドリーなインターフェースは持っていないが、サードパーティによる開発を基本方針としており、現在は DesignBuilder が著名プログラムであり、3D による建物条件の構築が考えられている。

EnergyPlus のほかにも TRNSYS, eQUEST, DeST, ESP-r, TRACE ほか多くのプログラムが存在するが、EnergyPlus が最も代表的といえる^{*5}。

諸外国のプログラムで現在問題視されている点は、本来の機能をそのツールが発揮しているかどうかの信頼性の問題、ユーザーに入力の方法とか出力の見方でどの程度の労力と知識を要求しているのか、ソースコードを公開するときは誰でもモデルを改造できるが、非公開のときには IEA の BESTEST のような手順に従うことが信頼性に込えら

^{*1} エネルギー省に登録されているプログラム紹介のメールアドレス：http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/

^{*2} EnergyPlus プログラムが利用している気象データフォーマットを意味している。

^{*3} Application Service Provider の略称であり、ビジネス用のアプリケーションソフトをインターネットを通じて顧客にレンタルする事業者のこと。

^{*4} Software as a Service の略称であり、ソフトウェアの機能のうちユーザーが必要とするものだけをサービスとして配布し利用できるようにしたソフトウェアの配布形態であり、ASP の欠点を補う新しい手法として注目されている。

^{*5} 次の文献に代表的 20 種のプログラム比較が掲載されている。D. B. Crawley, J.W. Hand, M. Kummert and B.T. Griffith: Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs (2005), US Department of Energy

れる、設計者自らがソフトを使用することは難解でもあるし、オーナーへの保証責任などからも直接使用は避ける方向がみられる、などである。なお、BESTESTとはIEA(国際エネルギー機関)が開発したもので、Building Energy Simulation TESTのことであり、さまざまな種類のテストケースを計算させて、その結果をチェックしながらプログラムを検定する方法であり、現在のBESTプログラムもBESTESTで検定している。

3. プログラム開発の基礎

種々の重要な用語について説明する。

オブジェクト指向プログラミングが今や主流になろうとしている。オブジェクト指向は情報産業技術のオープン化に伴うリスクに対応しやすいこと、コンポーネント単位でシステムを組み上げるため開発期間が短い、システムを反復構築するため要求条件の変更に強い、独立したソフトウェア部品をつくるため、役割ごとにセキュリティを設定しやすいなどの特徴がある。最大の長所は、オブジェクトと呼ばれる再利用可能な部品を集めて構築しているということであろう。再利用のレベルもさまざまあり、手続きやクラスのようなプログラムコードの再利用、コンポーネントのようなソフトウェア部品としての再利用、フレームワークのようなアプリケーションレベルの再利用、ほかがある。

言語としてJava言語を採用した。Java言語は、C言語に似た文法を持つ最先端のオブジェクト指向言語である。Javaの長所は、まず“Write Once, Run Anywhere”といわれるように一度Javaプラットフォームにアプリケーションを書いてしまえば、それをどこでも実行できることである。広く普及しているWebブラウザにも対応可能でインターネットに接続している世界中のほぼすべてのPCや携帯電話でJavaプラットフォームがサポートされている。他にも長所として強固なセキュリティ機能、ネットワークベースのアプリケーション開発が簡単に行える、プログラムが動的で拡張可能であること、国際化対応のプログラミングが容易、パフォーマンスの改良が著しい、シンプルかつエレガントな言語である、ほかである。

3.1 UML

Unified Modeling Languageのことであり、直訳すれば統一モデリング言語ということになるが、言語というよりも表記法のことであり、オブジェクト指向プログラム開発における、プログラム設計図の統一表記法である。特徴としては、高い表現力、コミュニケーションの向上、モデルの再利用が可能、全開発工程で一貫して利用可能、などを持っている。UML 2.0ではソフトウェアシステムに対してさまざまな角度からモデリングできるように13種のダ

ィアグラムが提供されているが、BEST開発においてはユースケース図、クラス図、アクティビティ図、シーケンス図がよく使われている。ユースケース図とはユーザーの視点からみたシステムの機能を表現するもの、クラス図とはクラス間の関係によってシステムの静的な構造を表現するもの、アクティビティ図とは業務の流れや処理の実行手順などの流れを表現するもの、シーケンス図とはオブジェクト間のメッセージのやり取りを時系列に沿って表現するものである。

3.2 XP

eXtreme Programmingのことであり、直訳的には極端なプラクティスを伴うプログラミング手法とでもいうことになる。開発の初期段階の設計よりもコーディングとテストを重視しており、また各工程を順序だてて順番に積み上げていくことよりも、常にフィードバックを行って修正・再設計していくことを重視した方法で1999年に考案された巧妙なソリューションである。原則はシンプルであり、四つの価値と12のプラクティスで表現される。四つの価値とは、コミュニケーション、簡潔さ、フィードバック、勇気である。最後の勇気というのは、聞きなれない言葉かもしれないが、作業の途中で発生する改善・設計変更をおそれない勇気という意味である。12のプラクティスとは、The Planning Game(計画ゲーム、Kent Beckによる造語であり開発段階で要求変化を受け入れる方法論)、Pair Programming(ペアプログラミング)、Testing(テストイング)、Refactoring(リファクタリング、機能を変更することなくコードをより簡潔にする技法)、Simple Design(シンプルデザイン)、Collective Code Ownership(コードの共同所有権)、Continuous Integration(継続的インテグレーション)、On-site Customer(オンサイト顧客)、Small Releases(小規模リリース)、40-hour Week(週40時間労働)、Coding Standards(コーディング標準)、System Metaphor(システムメタファ)である。

プログラムの開発環境としてEclipseがある。エディタ、コンパイラ、デバッガなどプログラミングに必要なツールが一つのインターフェースで統合していけるような環境のことをIDE(統合開発環境)というが、オープンソースのIDEの一つであり、Java開発者を中心に急速に普及しておりソフトウェア開発の共通プラットフォームになるといわれている。Eclipseは多くのOSで使用可能であり、プラグインによりJava以外にもほとんどの言語の使用が可能であり、料金的にも無料である。他のIDEとしては、JBuilderとかNetBeansが使われている。

3.3 XML(eXtensible Markup Language)

文書やデータの意味や構造を記述するためのマークアップ言語(タグと呼ばれる特定の文字列で地の文に構造を埋

め込んでいく言語)の一つのことで、XMLはユーザーが独自にタグの指定をできることから、マークアップ言語を作成するためのメタ言語ともいわれる。なお、表計算などの標準的なデータ形式としてCSV形式があるが、CSVとはComma Separated Valueの略で、"で区切られたデータ形式であり、データサイズが小さくなるというメリットはあるが、データの意味はわからないし階層的なデータも表すことができない。さらに、データの順序が大切なので、データの互換性を保つためにはデータの順番は変えられないのである。XMLの特徴としては、意味と内容を持ったデータ形式、タグを論理的に記述でき構造化されたわかりやすい文書を作成可能、階層的な構造定義が可能、DTD(文書型定義)・XSLスタイルシート(XMLデータの表現方法を定義する言語)・DOM(XML文書の内容や構造に動的にアクセスする規格)などにより管理可能、拡張性があり業界標準となりつつあるデータ形式、インターネットに対応している、などである。BESTプログラムにおいては、XMLファイルの利用にとどまっておらずXMLDB化については現在検討中である。

4. 建築の計算法

非定常伝熱計算法については、計算時間間隔を自由に變化させることができること、基本的に一次元伝熱で処理することとした。負荷変動が激しい時間帯、変動の少ない安定している時間帯に応じて計算時間間隔が可変であると都合がいい。HASPで採用されたレスポンスファクタ法は、通常1時間間隔であり時間間隔を計算途中で変えることはできなかった。まずは差分法についてであるが、インプリシットな後進差分法はよく利用される計算法であるが、未知数が多く、かなり取扱いが面倒なこと、またエクスピリシットな前進差分法は計算時間間隔と壁体分割にかなりの制約があること、などより、松尾の項別公比法をもとに発展させることにした。時間間隔を可変にする、根の数を減らす、熱取得応答ではなく熱負荷応答とするなどの工夫を与えた。

多数ゾーンの熱的相互影響を計算できるようにしたことにより、ペリメータとインテリアの相互影響や住宅多数室影響計算も可能にしている。室内環境の快適性評価については、PMVや作用温度の計算を可能とした。

今後取り掛かろうとしている課題は、設計用最大負荷計算への対応、室内の上下温度分布の計算と環境評価、基本設計用入力への対応などである。

5. 空調の計算法

建築と空調の連成計算法として、インプリシット解法、反復解法、エクスピリシット解法が考えられる。建築の熱

平衡式は、線形表現が可能であるのに対して空調システム側は非線形不連続な現象が多い。非空調時など建築のみの計算ではインプリシット解法が適用でき、未知数は現時間ステップの状態値であり、計算時間間隔は従来のように1時間で十分な場合が多い。空調システムの計算では、反復解法やエクスピリシット解法が現実的である。反復解法は解が収斂しない危険性が多く、エクスピリシット解法が最適と判断した。未知数は次時間ステップの状態値として連立方程式にはしない。PID制御などの制御理論を利用してシステムの操作量を決め、平衡状態を求める。この計算法では、計算を安定させるために計算時間間隔を短くする、応答の遅れのある構成要素を含ませることが重要であり、水系は水熱媒の熱容量で十分であろうが、空気系は空気の熱容量では不十分のおそれがあり、室熱容量として室空気だけではなく家具類の熱容量も一部考慮することが必要である。

システムの計算法としては、冷凍機、コイルなどの機器要素の計算モジュールを連結することで空調システムのモデルが構築され、計算可能となる。室も一つのモジュールとなる。空調機、熱源、熱源群などは、あらかじめモジュールを連結しておき、これをテンプレートして利用し、ユーザー入力の簡易化を考えている。空調計算は常にエクスピリシット解法である。常微分方程式で表されるモジュールは、四次のルンゲクッタ法を利用して数値積分を行うことにより解を求める。システム側の平衡状態は、PID制御のモジュールを組み込むことで求める。

図-1, 2に住宅とオフィスビル計算の一例を示す。

6. その他の計算法

建築、空調以外に電気、給排水衛生、蓄熱、コージェネレーション、テスト、GUIのワーキンググループが設置されている。各ワーキンググループの成果に基づき、表-1に特徴をまとめて記す。

7. ま と め

本BESTプログラムの開発は、多人数での委員会組織のプログラム開発である。そこにおいて最も重視していることは、自由度の高い俊敏さである。情報用語でのアジャイルモデル開発であり、アジリティを重視していることである。プログラム開発において、必ず存在するのが要求条件や仕様の変化"なのである。変化に対応するには、アジャイルソフトウェア開発である。アジャイル開発プロセスでは、反復型のアプローチで機能を少しずつ作成することを重視し、以前のソフトウェアすべてを一度に納品するというビッグバン型あるいはウォーターフォール型のアプローチとは好対照を成すものである。ソフトウェア

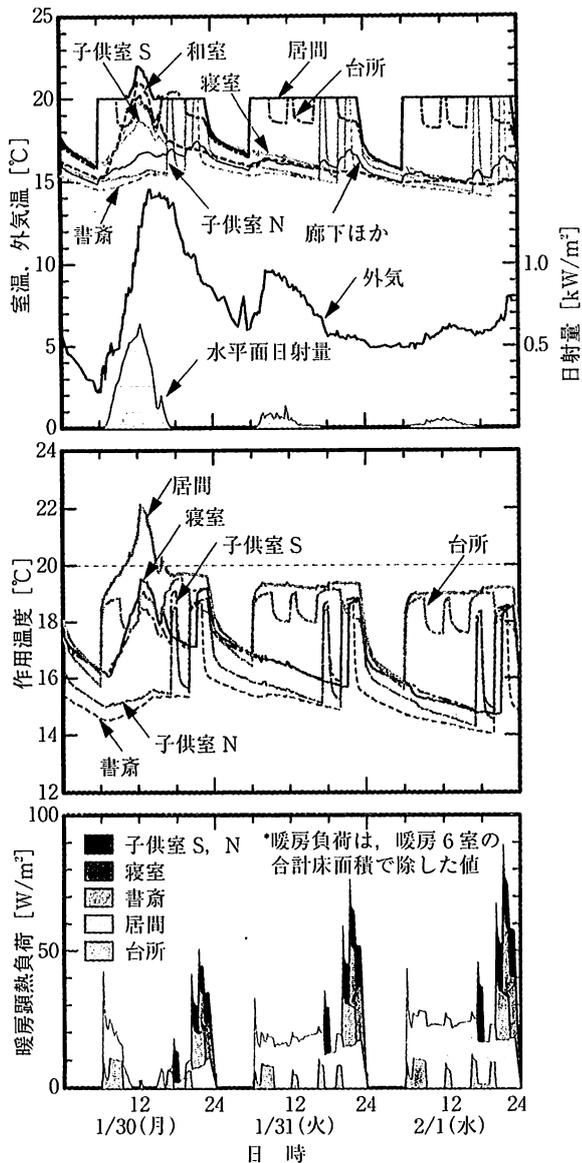


図-1 鉄筋コンクリート造戸建て住宅の冬期計算例 (2006年東京, 建築単独計算)

科学の分野では、四つの定義を宣言している。

- 1) プロセスやツールよりも個人個人のコミュニケーション
- 2) ドキュメントづくりよりも動くソフトウェア
- 3) 当初契約内容よりもユーザーとの協調
- 4) 開発計画遵守よりも変化への対応

以上は、片方を軽視するという意味ではないのはもちろんである。アジャイル開発の代表例に前述のXPがある。以上のようなことであるので、読者の皆さんから是非とも種々の意見をいただきたいと思う所存である。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的

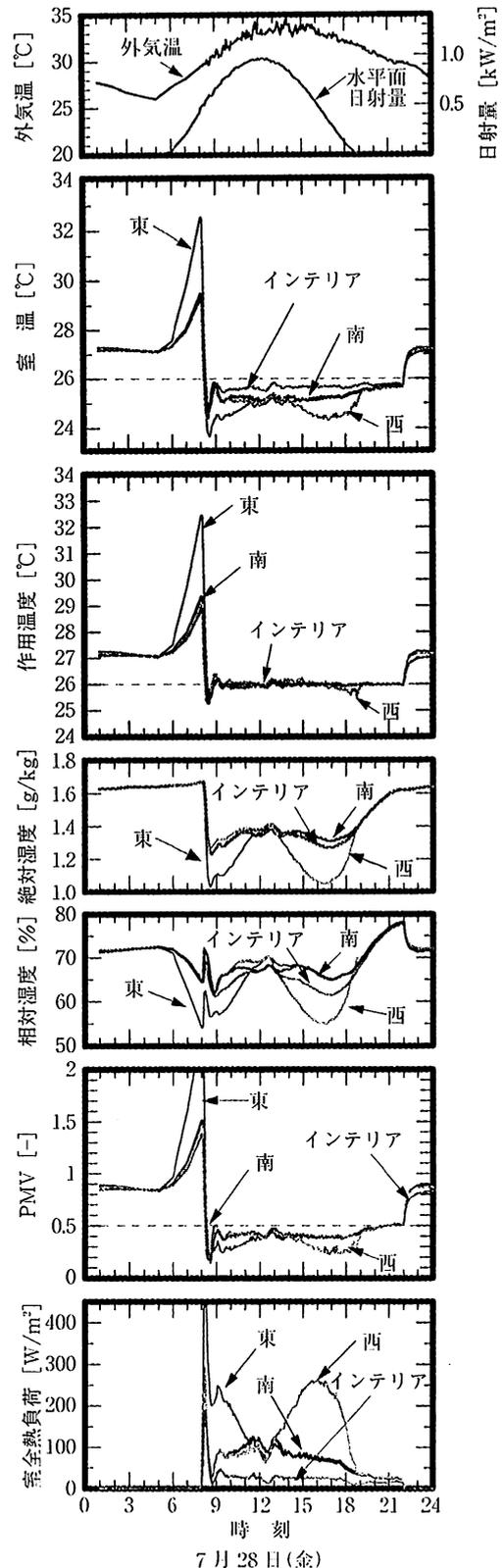


図-2 オフィスビル夏期の計算例 (2006年大阪, 連成計算, 作用温度制御)

なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびにアーキテクチュア検討部会(坂本雄三部会長), 建築・空調設備作業部

表-1 BEST 計算法の特徴

分類	特徴	概要
全体	建築と設備の連成	建築・空調・電気・衛生との連成計算が可能であり、建物全体のエネルギー消費量を計算できる。同時に、建築、空調・電気・衛生の部分システムについて単独計算も可能である。
	最適解法	建築熱計算は、線形として取り扱い可能であり、連立方程式を解くインプリシット法を採用可能である。これに対して設備システムは非線形・不連続な現象が多く、インプリシット法は不向きである。エクスプリシット法を採用することで、どのようなシステムも計算可能となる。そこで、システム計算はエクスプリシット法、建築計算はシステムとの連成モードのときはエクスプリシット法、非空調時や単独計算のときはインプリシット法に切り換え可能とする。
気象	1分値気象	国内56地点の1分値データを提供可能とし、60分の約数の任意の時間間隔データに変換する。
	国内842地点対応	国内842地点の拡張アメダス標準年、20年(1981~2000年)および設計用気象の1時間値データを補間して任意の時間間隔データを作成する。
	海外対応	世界3700余の都市について、月別平均日および最大負荷日の気象データを発生させるソフト WEADAC の考え方をもとに新たに作成した気象データを提供する。
	外部気象対応	EnergyPlus に対応する EPW フォーマットデータを BEST 用データに変換して利用可能にする。また、ユーザ作成の CSV 形式データの利用も可能である。
	降水量・屋外照度	給排水衛生システムで利用する降水量、昼光計算で利用する屋外照度データを提供する。
建築	豊富な壁体物性値データベース	①空気調和・衛生工学会便覧データ、②ISO データ、③湿気データを含むデータの三つのライブラリのなかから、自由に物性値(約230種)を選択可能。ユーザーが物性値を登録することも可能。
	豊富な窓性能値データベース	豊富なガラス種類とガラス厚、数種のブラインド、中空層厚、封入ガスの場合の断熱性能値、日射遮へい性能値、可視光透過率データを選択可能(約650種)。エアフローウィンドウの補正用データも用意されている。
	XML形式データとJPA利用	データベースおよびユーザー入力データに対して、内容を理解しやすく再利用効率の高いXML形式を採用した。同時にJPA(Java Persistence API)を使用することにより、データを取得後自動マッピングしてオブジェクトとして取り扱い可能にしている。
	計算時間間隔可変	エクスプリシット法で計算する時間帯は短い間隔、インプリシット法で計算する時間帯は長い間隔とするなど、スケジュールで可変設定可能。
	多ゾーン相互影響	隣接空間あるいは同一室の隣接ゾーンの相互影響を考慮する。ゾーン間の影響は間仕切りの貫流熱とゾーン間換気量によって生じるものを想定する。
設備共通	温熱環境指標	熱的快適性の評価指標である作用温度、PMVを計算して出力する。平均放射温度はASTで代用する。
	日光・調光計算	日光と人工照明による照度計算を行い、スラット角制御と調光制御の効果をシミュレーションすることも可能。
	機器のモジュール化	各機器モデルを、統一的フォーマットに従ったモジュールにより表現する。これにより自由なモジュール接続によるシステム構築が可能となし、ユーザーがモジュールを追加することもできる。
	拡張性の高いフレームワーク	各機器モジュールのクラスは、機器共通の処理を記述した抽象クラスのサブクラスとして実装され、外部からはインターフェースを介して、情報伝達やメソッドの実行がされる。多様なモジュールを簡単に追加可能な汎用性・拡張性が高く、比較的シンプルな構造のフレームワークを実現した。
	自由度の高いシステム構成	添付された典型的な例題システムをもとに、モジュールの追加・リンク接続を行うことにより、多彩な機器構成に対応できる。
空調	テンプレート機能	モジュールの配置・リンク接続の手間を軽減するために、“空調機”、“熱源”、“熱源群”の3種類のテンプレートを用意している。これにより“空調機”の場合であれば、“冷温水コイル”、“加湿器”、“ファン”といった要素モジュールを意識することなく、一つのまとまりとして“空調機”を扱うことができる。
	部分システム	室から熱源・冷却塔に至る全体システム以外にも、機器単体、あるいは熱源周りのみといった部分システムの検討が可能である。
	制御検討対応	制御コントローラもモジュールで表現されるため、ユーザーが各種ロジックを新規モジュールとして追加することにより、例えば外気冷房ロジック、熱源台数制御ロジックの検討などが可能となる。
衛生	水負荷算定	文献や設計データにおいて汎用的に使用されている原単位データを細分化し、器具使用量(節水効果)や男女比などのパラメータと器具使用頻度(パターン)を組み合わせた簡便な負荷算定手法により、設計の自由度を高めた。
	システム計算	水槽やポンプといった衛生機器をモジュールとして扱い、モジュール間のノードのやりとりで水量と水温を計算し、負荷に応じた水槽の水位変動やポンプの運転状態を計算することが可能である。
	資源量・エネルギー消費量	ユーザーが入力した負荷算定のパラメータや衛生機器の仕様・容量に基づきシステム計算を行い、計算結果として水使用量、エネルギー消費量、雨水利用量、配管熱損失(給湯計算の場合)などを出力することが可能である。
電気	日光連動照明制御	照明制御において、明るさセンサ部に入射する日光強度を受け、人工照明の削減量を計算することが可能である。
	太陽光発電量	時刻変動する太陽光などの気象条件に合わせ、太陽光発電の電力量を計算することが可能である。
	変圧器損失電力量	時刻変動する各負荷機器の消費電力に合わせ、変圧器の損失電力量を計算することが可能である。
コージェネシステム	排熱温度可変モデル	一般的に用いられているような排熱温度を固定するモデルではなく、排熱量や気象条件、需要量のバランスによって変動するモデルを採用した。
	入口状態値依存モデルの採用	構成する機器には入口状態によって特性が変化する計算モデルを採用した。排熱温度も可変としたため、よりリアリティのあるシミュレーションが可能である。
	連成計算が可能	従来のコージェネレーションシステムのシミュレーションプログラムでは、システム性能に最も影響する需要量と条件とするものが多い。BESTでは、建物性能や内部で使用する機器を変更した場合などのような、需要量がシステム構成・運用によって変動する場合も、空調や衛生、電気と連成させることで対処可能とする。
蓄熱システム	配管の非定常伝熱モデルの採用	配管の管内水熱容量を考慮するモデルを採用したため、システム停止時や開始時の温度低下、上昇を再現させた。開始時の計算精度が向上した。
	モジュール分割	蓄熱槽本体(水蓄熱槽:連結完全混合槽型・温度成層型、水蓄熱槽:現場築造型)、蓄熱用制御弁、蓄熱槽内水槽プロフィール確認用グラフ、熱量計などを独立モジュールとして作成し、これらの組合せによりいろいろなタイプの蓄熱システムに対応できるようにした。
	蓄熱槽に物理モデルの採用	水蓄熱槽および現場築造型の水蓄熱槽には、TESSEP-W(ヒートポンプ蓄熱センター)や中原らの研究成果を採用して、物理モデルにてモジュールを作成している。水蓄熱ユニットについても物理モデルを基本に今後作成の予定である。水槽内部の変化を精度を上げて解くために、水槽モジュールについてはモジュール内部で計算時間分割を行っている。
	水槽内状態値モニタ	計算中に水槽内の水温変化などをリアルタイムでグラフ表示するモジュールを用意した。水温プロフィールの確認が可能である。
	蓄熱制御	蓄熱制御モジュールは簡易な翌日熱源運転時間制御を用意した。制御モジュールも独立しているため、既存の現実の蓄熱制御方法や新制御方式の開発についても制御部分だけを作成すれば、蓄熱システムとしての評価が即座に可能としている。

表-1 BEST 計算法の特徴(つづき)

分類	特 徴	概 要
GUI	UMLの利用	BESTで想定される使い方について、UMLの一つであるユースケース図を用い整理を行い開発を進めた。
	外部ファイル化	GUI画面のほとんどはCSVファイルにて定義されており、画面修正のためにソースコードを修正する必要はほとんどない。また、ツリーメニューも外部ファイルにて定義されており、新しい部品の追加などのカスタマイズが可能である。また、XMLファイルも開発中であり、両者の共存を視野に入れている。
	状態値をオブジェクトで扱う	モジュール間の空気や水などの熱媒をクラスとして取り扱い、状態値をオブジェクトで取り扱う。例えば、空気クラスは、乾球温度、絶対湿度、質量流量、圧力などの状態値を持つ。これにより物質、エネルギーなどの流れを統一的に整理・把握することができる。
	計算順序の自動決定	システム部品の計算順序の設定は、熱媒の流れに沿って自動的にGUIから計算順序を決定する。また、ユーザーが変更することもできるようになっている。
	リアルタイムグラフ表示	各ステップの計算結果を逐次グラフに表示し、計算しながら結果を確認できる。これにより、最終結果を待たずに計算条件の修正が可能となる。

会(石野久彌部会長)、クラス構想WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。クラス構想WG名簿(順不同)主査:石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員:一ノ瀬雅之(東京理科大学)、内海康雄(宮城高専)、郡公子(宇都宮大学)、長井達夫(東京理科大)、羽山広文(北海道大学)、上田博嗣(大林組)、木下泰斗(日本板硝子)、後藤裕(三機工業)、菰田英晴(鹿島建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、平林啓介(新日本空調)、松村一誠(清水建設)、渡邊剛(NTTファシリティーズ)、協力委員:瀧澤博(元鹿島建設)、菅長正光(自営)、二宮博史、國吉敬司、篠原奈緒子(以上、日建設計)、オブザーバー:野原文男(日建設計)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

- 1) 赤坂・荒井・井川ほか: 拡張アメダス気象データ 1981-2000(2005), 日本建築学会
- 2) A.M. Malkawi and G. Augenbroe: Advanced Building Simulation(2003), Spon Press
- 3) D. Flanagan: JAVA クイックリファレンス 第4版(2003), O'REILLY
- 4) G. Booch: Booch法: オブジェクト指向分析と設計(1995), 第2版, 星雲社, ほかも数
- 5) Simulink Simulation and Model-Based Design, Using Simulink Version 6 日本語版, The MathWorks(HPよりダウンロード)

6) 筆者のアドレス: ishino.h@gmail.com

BESTのHP: <http://www.ibec.or.jp/best/index.html>

(2008/8/22 原稿受理)

The Architecture of BEST

Hisaya Ishino*

Synopsis This paper describes the background of the development of BEST such as the past progress in developing various energy simulation programs in Japan as well as in foreign countries and requirements for BEST. The development of new software needs object-oriented programming, UML, XP and XML. Java is used as the language in coding for BEST. The outline of simulation methodology is also presented.

(Received August 22, 2008)

* Tokyo Metropolitan University, Member



石野久彌 いしのひさや

昭和19年生まれ/出身地 兵庫県/最終学歴 早稲田大学大学院理工学研究科建設工学専攻博士課程/専門 建築環境, 建築設備/学位 工学博士/資格 本学会フェロー/その他 日本建築学会学会賞(論文), 本学会学会賞(論文)



BESTの気象データ

二宮秀興 鹿児島大学 正会員

赤坂 裕 鹿児島工業高等専門学校 正会員

キーワード：気象条件(Weather Condition)，標準年気象データ(Typical Weather Year)，拡張アメダス気象データ(Expanded AMeDAS Weather Data)，設計気象データ(Design Weather Data)

BESTは、行政支援ツールから高度な設計ツールまで幅広いニーズが想定されている。BESTの利用目的に応じて、要求される気象データは異なり、標準年、実在年、設計気象データ、実測データおよび海外の気象データに対応する必要がある。また、BESTは目的に応じた演算時間間隔の設定が可能であり、気象データも1時間より短い時間間隔のデータが要求される。既存の気象データの資産を幅広く活用しつつ、新規データの開発とユーザーデータへの柔軟な対応が求められている。本稿では、BESTで使用できる気象データについて概説する。

はじめに

BESTは建築物の空調、電気、衛生の各設備システムを連成する総合的エネルギー消費量評価ツールである。従来、建物の熱負荷計算やシステムシミュレーションでは気温、湿度、日射、大気放射、風向風速を収録した標準気象データが広く用いられてきたが、BESTではさらに照度と降水量が必要となる。また、BESTは目的に応じた演算時間間隔の設定が可能であり、気象データも1時間より短い時間間隔のデータが要求される。さらに、BESTは国際的な展開が期待されており、海外の気象データへの対応も必要となる。一方、ユーザーが観測した気象データや最新の気象データをシミュレーションで利用したいという要求もある。また、BESTは行政支援版から高度な設計ツールまで幅広い利用形態が想定されている。このため、シミュレーションの目的によって必要な気象データは異なってくる。

このように、BESTにおける気象データにはさまざまな要求が考えられる。既存の気象データの資産を幅広く活用するとともに、新規に1分値データの開発を進め、BESTで利用できる気象データの拡充を図っている。また、ユーザーが作成した気象データへの対応も考慮している。具体的には、BESTの気象データクラスでデータ入力クオリティチェック、日射の直散分離、照度データ計算などを一元化し、これにより気象データの統一的な扱いを可能にしている。

1. BESTで要求される気象要素

BESTは外界気象データとして、以下の7要素を必要とする。①気温、②絶対湿度、③日射量(直達、天空)、④大気放射量、⑤風(風向、風速)、⑥照度、⑦降水量。

空調熱負荷計算で広く利用されている標準気象データでは、①～⑤までの気象要素が整理されているが、さらに照度、降水量が新たに追加されている。またこのほかに祝祭日の情報が必要となる。

標準気象データでは、法線面直達日射量と天空日射量が整理されているが、BESTでは全天日射量での入力も可能である。この場合、BEST実行時にPerezモデル¹⁾により直散分離される。また、照度は気象庁における観測データはなくモデルによる推定値である。照度についても入力データがない場合、BEST実行時に自動計算される。

気象データの時間間隔は1分を基本とするが、1分データがない場合には1時間間隔データから補間する。

2. BESTで使用できる気象データ

図-1に、BESTで使用できる気象データを示す。データ形式として、標準年気象データ、特定の実在年気象データ、設計用気象データに対応する計画であり、現在公開されている主要な気象データはほぼ網羅している。

2.1 標準年気象データ

熱負荷計算やシステムシミュレーションの気象データとして幅広く利用される標準気象データは、海外ではReference YearやTypical Yearと総称される。その作成方法には若干の相違がみられるが、いずれも多年の気象データのなかから各月別に平均的な月を選択し、仮想の年間データとしてつなぎ合わせたものである。我が国では、1973年に動的熱負荷計算プログラムHASP/ACL Dの入力気象データとして東京の標準年気象データが公開されて以来、各種シミュレーションの外界気象条件として実務や研究で広く利用されてきた。2000年にはアメダス気象データをもとにした拡張アメダス気象データ²⁾が公開され、現在、842地点の標準年気象データが利用できる。

海外の標準年気象データとしては、EnergyPlus気象データ(以下EPWデータ)が、米国エネルギー省から公開³⁾されている。これは、空調用エネルギー消費計算プロ

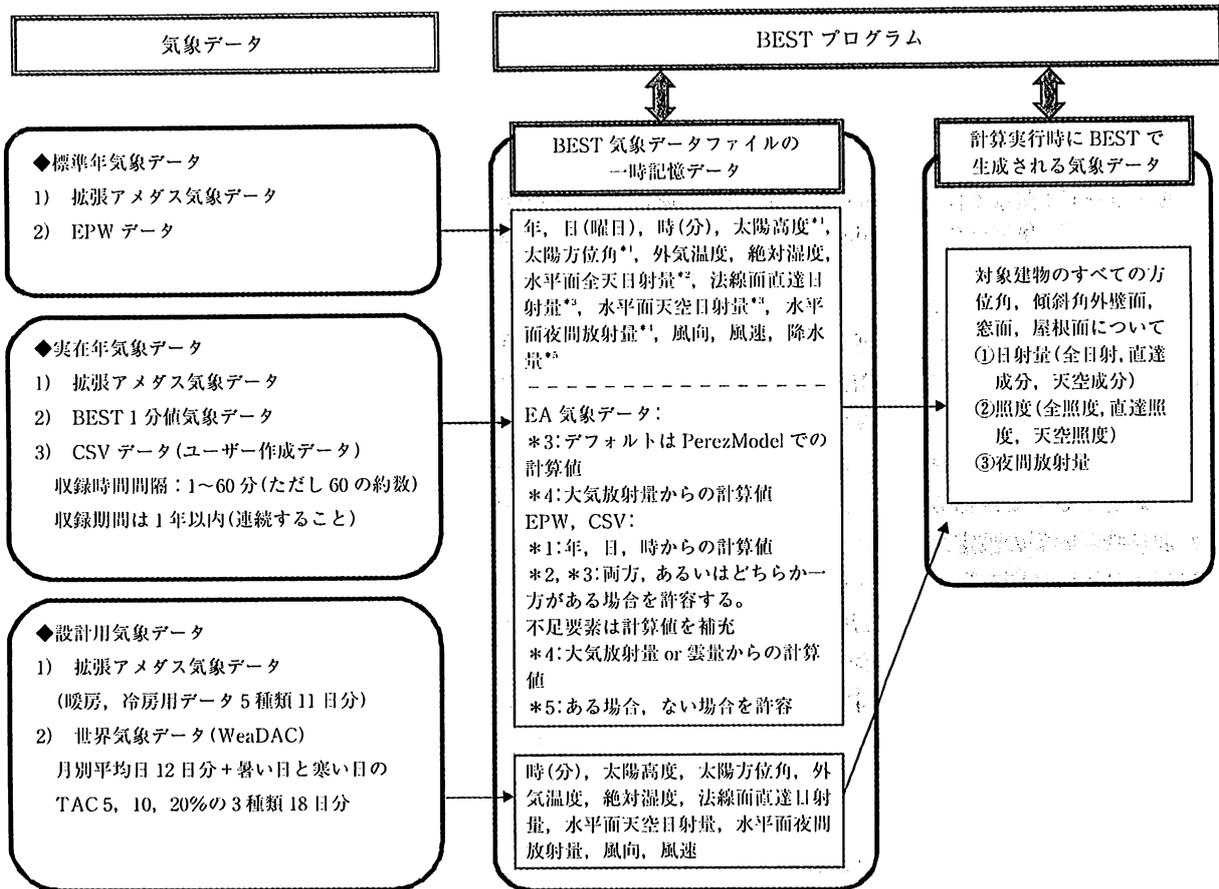


図-1 BESTで使用できる気象データと気象要素

グラム EnergyPlus で用いる気象データで、TMY 3(Typical Meteorological Year)³⁾や IWEC (International Weather for Energy Calculations)⁴⁾のような既存の標準年気象データのフォーマットを統一して整理したものである。現在、2100地点以上のデータが公開されているが、元になる気象データは国や開発機関によって異なり、気象要素によっては欠測扱いになっている場合もある。

表-1に、主要な標準年気象データと含まれる気象要素を示す。米国のTMY 3は2008年4月に公開された気象データで、太陽エネルギー利用システムのシミュレーションや建物のシステムシミュレーションでの使用を目的に開発された標準年気象データである。TMY(1978年)、TMY

2(1995年)を更新したもので、地点数がTMY 2の239地点から1020地点に飛躍的に増加している。また、収録す

注2 標準年の選択方法：TMY 3では気温、露点温度、風速、全天日射量、直達日射量を平均月の選択に用いている。各要素の時別値から得られた10種の日統計値について月間の累積度数分布を計算し、平均分布からのずれを表すFS値を求め、それぞれのFS値に重み係数を乗じ、その合計値を指標として平均月を選択する。TMY 3のユーザーズマニュアルにはTMY 3が太陽エネルギー利用のシステムや建物システムのシミュレーションに用いる目的で開発されたことと記されている。平均月の選択において、日射量の重み係数が大きい(全天と直達の和で0.5)ことから太陽エネルギー利用システムの評価を重視していることがうかがえる。

拡張アメダス気象データは、基本的には空気調和・衛生工学会方式を踏襲しているが、平均月の具体的な選択方法はかなり異なっている。すなわち、標準年気象データでは、気温、水平面全天日射量、絶対湿度の月別値だけから平均月を選択しているが、標準年拡張アメダス気象データでは、これらに降水量と風速を加え、月別値、日別値も考慮している。

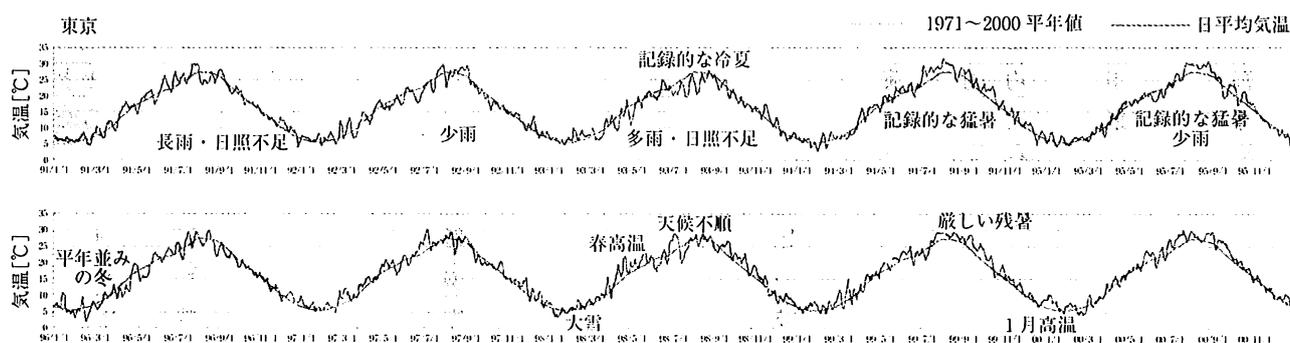
CSWDの選択方法は日本の空気調和・衛生工学会方式とTMY方式の折衷案ともいえる。候補年の選定には、気温(最高、最低、平均)と水蒸気圧、全天日射、地表面温度、日平均風速を用いる。複数の候補年のなかから平均月を選択する際に、標準化した各要素の偏差に重み係数を乗じ、その合計値を指標としている。CSWDも日射の重みが0.5となっており、TMYと同様に日射量の標準性を重視していることがうかがえる。

注1 拡張アメダス気象データは、気象庁の地域気象観測所(アメダス)で観測された気象データの欠測を補充し、異常値と判断されるデータを修正し、アメダスで観測されていない日射量、湿度、大気放射量のデータを補充して作成された全国842地点の時別気象データ。1981~2000年の時別値と標準年2種(1981~1995、1991~2000)および設計気象データ5種が整理されている。気象要素は気温、湿度、全天日射量、大気放射量、風向・風速、降水量、日照時間であるが、添付するプログラムにより、直達日射、天空日射、傾斜面日射、全天空照度、直達照度、グローバル照度、天空輝度、放射輝度、地中温度を算出することできる。

表-1 標準気象データの例

要素	世界	米 国	世界	中 国	日 本
	EPW	TMY 3 (EPWでも公開)	IWEC (EPWでも公開)	CSWD	EA 気象データ
	2 100 地点以上	1976~2005 年 1 020 地点	1982~1993 年 227 地点	1971~2003 年 270 地点	1981~2000 年 842 地点
乾球温度	○	○	○	○	○
露点温度など*	○	○	○	○	○
現地気圧	○	○	○	—	—
風 速	○	○	○	○	○
風 向	○	○	○	○	○
大気放射量/天空放射温度	○	○	—	○	○
日射量(全天, 直達, 天空)	○	○	○	○	○
照度(全天, 直達, 天空)	○	○	○	—	○
雲 量	○	○	○	○	—
不透明な雲量	○	○	○	—	—
視 程	○	○	○	—	—
雲 底	○	○	○	—	—
地中温度	○月別	—	—	—	○
地表面温度	—	—	—	○	○
現在天気	○	—	○	—	—
可降水量	○	○	○	—	—
エアロゾルの光学深さ	○	○	○	—	—
積 雪 深	○	—	○	—	—
降雪後の日数	○	—	○	—	—
地表面アルベド	—	○	—	—	—
降 水 量	—	○	—	—	○

* 湿球温度, 水蒸気圧, 相対湿度, 絶対湿度のいずれかを含む。



標準気象データ(1991~2000)の選択月 ※気温は5日間の移動平均をとった値。図中のコメントは気象年鑑:日本気象協会編から引用したもの。

図-2 標準年の選択月(東京)

る気象要素が一部変更され, 現在天気, 降雪が削除されるとともに, アルベドと降水量が追加されている。

IWECはASHRAEで開発された建物エネルギーシミュレーション用の標準年気象データで世界(米国外)の227地点が整理されている。日射はモデルによる推定値である。

CSWD(Chinese Standard Weather Data)⁵⁾は中国の標準年気象データで2005年にCD付き書籍として公開されている。地表面温度の観測値が収録されている点の特徴として挙げられる。これまで中国の気象データは入手が困難だったため, 270地点の標準年気象データが公開されたことは画期的である。

BESTではEPWデータを利用することができるが, 降水量のデータがないため, 雨水利用など一部の機能は制限される。また地点によっては, 特定の気象要素が欠測扱いになっている場合もあり, すべてのEPWデータが利用できるわけではない。

標準年気象データは, 多年の気象データのなかから各月別に平均的な月を選択し, 仮想の1年間データとしてつなぎ合わせたものである¹²⁾。図-2は1991~2000年の東京の日平均気温の変化を表したもので, 網掛け部分は標準年気象データの平均月を表している。図のように10年の間には猛暑, 冷夏, 暖冬もあるが, 標準年気象データにはこの

表-2 気象データの観測方法⁷⁾

要素	観測方法
気温	測器：電気式温度計(白金抵抗型)。 時定数は約40秒。感部付近の通風速度は約5m/sに設定してある。 高さ：地上1.5m(多雪地は雪面上1.5m) 正1分値は前1分間の正10秒値(6個)の平均
湿度	測器：電気式湿度計(静電容量型)。 感部付近の通風速度は約4m/sに設定してある。 高さ：地上1.5m(多雪地は雪面上1.5m) 正1分値は前1分間の正10秒値(6個)の平均
降水量	測器：転倒ます型雨量計 降水量0.5mmごとに1パルス出力 正1分値は前1分値との積算カウンタの差から算出
風向・風速	測器：風車型風向風速計 高さ：地上10m 0.25秒ごとにサンプリングし、正10秒ごとに前10秒間の40個のデータを処理し、正10秒値を算出。 風速1分値は正10秒値の前10分平均。 風向1分値は正10秒値の前10分平均(ベクトル平均)。
全天日射量	測器：全天電気式日射計 日射計の出力信号を正10秒ごとに受信し、日射量積算カウンタを積算。 正1分ごとに前1分間の日射量積算カウンタの差を求め、得られた値を全天日射量の1分値とする。 全天日射量は[MJ/m ²]単位の1/100のくらいまで求める。

ような年は含まれないことがわかる。このことから類推できるように、熱負荷計算に標準年気象データを用いた場合、計算結果は10年間の平均的な熱負荷に相当する。

2.2 実在年気象データ

前述のように、標準年気象データには猛暑や寒冬などの極端なデータは含まれないため、シミュレーションの目的によっては、実在年による検討が必要となる。また、BESTは1時間より短い時間間隔の気象データやユーザーが観測した気象データによるシミュレーションが可能である。

長期にわたる実在年気象データとしては、拡張アメダス気象データが利用できる。現在、全国842地点の1981～2000年までの20年間の気象データが公開されている。

BEST 1分値気象データは、気象庁から公開されている地上気象観測1分値データ⁸⁾をもとに、要素補充と欠測処理を行い、BESTの気象データとして整理したものである。地上気象観測は全国の155気象官署で行われており、1分値データはJMA-95型地上気象観測装置が導入された地点から順次整備されている。最も早い東京で1996年2月19日から、最も遅い久米島が2004年10月1日からのデータ公開となっている。

BEST 1分値気象データは、県庁所在地を中心とする56地点について提供する計画であり、欠測データの処理と要素補充の作業を現在を進めている。

表-3 BESTで適用する計算モデル

項目	方法
全天日射の直散分離	Perezモデル ⁹⁾
斜面日射量の合成	Perezモデル ⁹⁾
昼光照度の計算	Igawa_Bモデル ¹⁰⁾
太陽位置の基準時刻(日射量の積算時間との対応)	EA気象データは正時 EPWデータは前正30分 ユーザーデータはユーザーが指定
1時間値の分補間	気温、湿度、日射量、大気放射量、風速は直線補間。風向は円周上の短円弧側を直線補間。降水量は0.5mm単位で均等割。

気象データの時間間隔が短時間になると、計器の時定数や観測方法の影響が顕在化してくる。このため、気象データの持つ特徴をまず把握しておく必要がある。表-2は、JMA-95型地上気象観測装置⁷⁾による1分値気象データの概要である。気温、湿度の1分値は前1分間の平均値、風向・風速は前10分の平均値、降水量と日射量は前1分間の積算値として処理されている。風向・風速の1分値が前10分の平均値であることは特に注意が必要である。

BESTでは、ユーザーが独自に作成した気象データを使用できる。ユーザー入力用にCSV形式のフォーマットを定義しており、要素並びを揃えることでBESTへの入力を可能にする。ただし、ユーザー作成気象データの場合も、太陽位置や日射量の直散分離および合成計算はBEST側で行う。これは、ユーザの負担を減らすことと、気象データの種別にかかわらず統一的な扱いをするためである。

表-3に、BESTで採用している気象データの計算モデルを示す。日射の直散分離と合成にはPerezモデル⁹⁾、昼光照度の計算にはIgawa_Bモデル¹⁰⁾を用いている。太陽位置の基準時刻の項は、日射の積算時間と対応する太陽位置の取り方を表している。拡張アメダス気象データの日射量は、毎正時±30分間を積算した値であり、対応する太陽位置は毎正時となる。これに対して、EPWの日射量は毎正時の前1時間の積算値であり、太陽位置の基準時刻は前正30分となる。ユーザーデータは日射の積算時間が任意であり、対応する基準時刻はユーザーが指定する。

このように、BESTでは気象データに適用する計算モデルを規定しているが、日射に関しては直達日射と天空日射による入力も可能である。これにより、日射の直散分離に対してユーザー独自のモデルを適用することができる。

2.3 設計用気象データ

BESTでは空調設計用気象データとして、次の二つの気象データに対応する計画である。

(1) 拡張アメダス気象データ

拡張アメダス気象データでは空調設計用気象データとして、以下に示す暖房設計用2種、冷房設計用3種が公開されている。従来のTAC法による設計気象データとは作成方法が異なり、時刻間および要素間の気象的な特徴を保持しているため、より現実的な気象データとなっている。

- 1) 暖房設計用 $t-x$ (気温-絶対湿度) 基準データ：危険率0.5, 1, 2%, 特徴：気温, 絶対湿度, エンタルピーが厳しい。気温の日較差が大きく日射もある程度ある。
- 2) 暖房設計用 $t-Jh$ (気温-水平面日射量) 基準データ：危険率0.5, 1, 2%, 特徴：気温が厳しく日射量が少ない。気温の日較差が小さく日最高気温も低い。
- 3) 冷房設計用 $h-t$ (エンタルピー-気温) 基準データ：危険率0.5, 1, 2%, 特徴：エンタルピーと気温が厳しい。日射はそれほど強くないが、蒸し暑い。
- 4) 冷房設計用 J_c-t (円柱面日射量-気温) 基準データ：危険率1種, 特徴：水平面, 西面, 東面の日射量が強く, 気温も厳しい。
- 5) 冷房設計用 J_s-t (円柱面南日射量-気温) 基準データ：危険率1種, 特徴：南面日射量が強い。南面日射量が大きくなる秋に近い時期。

(2) 世界の気象データ (WeaDAC)

WeaDACは、世界各地3700余の都市について整理された月統計値などのソースデータに基づき、月別平均日および暖房と冷房の最大負荷日の特別気象データを発生するソフトウェア¹³⁾である。ユーザーは対象地点の緯度・経度を入力することで、近くの候補地リストを取得でき、そのなかから適当な地点を選択する。WeaDACは指定された都市の設計気象データを生成し、BESTの気象データとして利用することができる。

おわりに

本報では、BESTで使用できる気象データについて概説した。BESTは幅広い利用が考えられており、気象データについても、すでに公開されている気象データを有効に活用する方向で開発を進めている。1分値気象データの開発や設計気象データへの対応など、現在まだ未公開の項目についても概要を紹介したが、これらについても現在開発を進めており、整理できたものから順次公開してゆく計画である。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST開発

普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびにアーキテクチュア検討部会(坂本雄三部会長)、気象データ作業部会(赤坂裕部会長)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。気象データ作業部会名簿(順不同)部会長：赤坂裕(鹿児島高専)、幹事：二宮秀與(鹿児島大学)、委員：井川憲男(大阪市立大学)、石野久彌(首都大学東京名誉教授)、永村悦子(園田学園女子大学)、永村一雄(大阪市立大学)、郡公子(宇都宮大学)、曾我和弘(鹿児島大学)、武田和大(鹿児島大学)、松本真一(秋田県立大学)、荒井良延(鹿島建設)、事務局：野原文男、篠原奈緒子(以上、日建設計)、諏佐庄平、生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

- 1) 赤坂裕ほか：拡張アメダス気象データ1981-2000, 日本建築学会(2005), 販売：気象データシステム(<http://www.metds.co.jp/>)
- 2) EnergyPlus, URL：<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>
- 3) S. Wilcox and W. Marion: User's Manual for TMY 3 Data Sets, NREL/TP-581-43156. April 2008. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory. (2008)
- 4) ASHRAE: International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files) Users Manual and CD-ROM, Atlanta: ASHRAE (2001)
- 5) China Meteorological Bureau, Climate Information Center, Climate Data Office and Tsinghua University, Department of Building Science and Technology. 2005. China Standard Weather Data for Analyzing Building Thermal Conditions, April 2005. Beijing: China Building Industry Publishing House
- 6) (財)気象業務支援センター：地上気象観測1分値データ
- 7) 気象庁：地上気象観測指針(2002)
- 8) R.R. Perez, P. Ineichen, E.L. Maxwell, R.D. Seals and A. Zelenka: Dynamic Global to Direct Conversion Models, ASHRAE Transactions Research Series (1992), pp.154~168
- 9) R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky and R. Stewart: Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance, Solar Energy, 44-5(1990), pp.271~289
- 10) 井川憲男・松本真一：建築環境予測のための気象データのモデル化と拡張アメダスへの展開, IBPSA-Japan 講演論文集(2005), pp.233~241
- 11) 赤坂 裕・荒井良延ほか：世界の任意地点における設計および平均熱負荷のための気象データに関する研究(第1報-第3報), 空気調和衛生工学会論文集, No.45(1991), pp.25~34, No.54(1994), pp.11~21, No.58(1995), pp.35~46

(2008/8/26 原稿受理)

Weather Data for BEST

Hideyo Nimiya^{*1}
Hiroshi Akasaka^{*2}

Synopsis In this report, the weather datasets available in the BEST calculations are summarized. According to the purpose of using BEST, typical meteorological year, a specific year, daily design weather data, and weather data created by users can be used. The datasets contain hourly weather data for 842 locations in Japan and over 3700 locations in the world. The datasets consist of daily design weather data as well as annual weather data selected from many years. In the future we are planning to develop one-minute interval data of 56 locations in Japan.

(Received August 26, 2008)

^{*1} Faculty of Engineering, Kagoshima University, Member

^{*2} Kagoshima National College of Technology, Member



三宮秀典 にみやひでよ
昭和36年生まれ/出身地 鹿児島県/最終学歴 東京大学大学院工学系研究科・建築学専攻/学位 博士(工学)



赤坂 裕 あかさかひろし
昭和21年生まれ/出身地 大分県/最終学歴 東京大学大学院工学系研究科・建築学専攻/学位 工学博士/資格一級建築士

建物側のシミュレーション法

郡 公子 宇都宮大学 正会員

キーワード：室熱平衡式の解法 (Solution Methods of Space Heat Balance), 日射熱取得 (Solar Heat Gain), BESTEST

建物側の2種の解法とその使い分け, 計算時間間隔可変に対応する壁体伝熱計算法, 窓日射熱取得の新しい計算法, 壁体・窓性能値のデータベースの特徴, BESTESTによるプログラムの検証などについて報告した。

はじめに

建物側の計算法の主な特徴として, 次のような点が挙げられる。

- 1) 計算時間間隔が可変である。
- 2) 空調システムとの連成計算を行う時間帯とそうでない時間帯とで解法を切り換えられる。
- 3) ゾーン間の相互影響を考慮できる。
- 4) 豊富な窓・壁性能値データベースを持ち, 窓についてはエアフローウィンドウの計算も可能である。
- 5) 簡単な入力データで昼光調光計算が可能である。
- 6) 温熱環境指標の値が得られる。

本稿では, 室熱平衡式と解法, 壁, 窓などの主要部計算法とデータベースについて述べる。また, プログラムの妥当性確認のために, BESTESTによる検証を行っている最中であり, 現在までの結果を報告する。

1. 室熱平衡式と解法

多数室相互の影響を考慮した計算を行うものとし, 各室の室温, 絶対湿度を未知数とする室熱平衡式をたてた。室 i の顕熱平衡式は, 係数を整理すると次式になる。

$$C_i(d\theta_i/dt)_n = K_{i,i,n} \cdot \theta_{i,n} + \sum_j K_{i,j,n} \cdot \theta_{j,n} + F_{i,n} \quad \dots\dots (1)$$

ここで,

C_i : 室 i の熱容量 [J/K]

$\theta_i, d\theta_i/dt$: 室 i の室温 [°C], 室温微分値 [K/s]

n : 現在の時間ステップ

$K_{i,j}, F_i$: 室 i の熱平衡式の室 j に関する係数 [W/K], 定数項 [W]

建物側では, 式(1)に対して二つの解法を持ち, 使い分けて計算することが可能である。建物側の現象は, 高次遅れを示すが線形化して扱えるものが多いのに対して, 空調システム側は, 非線形で不連続な現象が多い。建物側と空調システム側では, 自ずと適する解法が異なる。空調シス

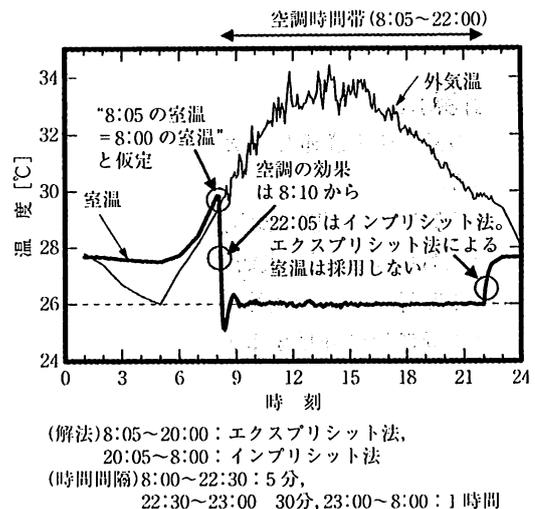


図-1 建物側解法の切換え例

テム側は多様な方式があり, それらに対して確実に解を得る方法が必要である。そこで, 空調システム側との連成計算を行う時間帯は, 空調システム側に適する解法に合わせ, それ以外は, 建物に適する解法をとるというように切り換えができるようにした。前者はエクスプリシット法, 後者はインプリシット法である。

エクスプリシット法では, 室温などの現在の状態値を既知とし, 次時間ステップの状態値を未知数として扱う。空調システムからの供給熱量は, PID制御などの制御理論を利用して計算する。常微分方程式は, 四次ルンゲクッタ法により解くこととした。この解法では, 精度上の制約から計算時間間隔は短くする必要がある。しかし, その結果, 外乱や空調供給熱量に対する室温応答を細かく詳細に把握できるようになる。

インプリシット法では, 式(1)の左辺を後退差分で表し, 現在の自室温 $\theta_{i,n}$ および隣室温 $\theta_{j,n}$ を未知数として扱い, 多数室熱平衡式を連立させて解く。この解法は, 非空調時間帯のほか, 具体的な空調システム仕様を想定しない従来型の熱負荷計算(連成計算に対して建築単独計算と呼ぶ)にも利用できる。計算時間間隔は短くする必要はなく, 建築の本来の特性を生かした計算が可能である。

図-1に, 解法切換え例を示す。計算時間間隔は, 空調システムとの連成計算を行う空調時間帯は5分, 非空調時間帯は1時間を基本とした。解法の切換え時刻には, 計算

上のルールを導入する必要がある。インプリシット法からエクспリシット法に切り換えたときは、現在の状態値は前時間ステップの状態値と等しいと仮定し、エクспリシット法からインプリシット法に切り換えたときは、インプリシット法による解を採用することとした。BESTでは、各時間の外乱や空調熱量は不等辺三角波励振として扱う。図-1の例では、空調停止を現実的に計算するため、22:00~22:30を5分間隔で計算している。

2. 各部計算法

壁体、窓の計算法を詳述し、次にその他の特徴的な計算部分を述べる。

壁体伝熱計算法は、項別公比法を拡張した方法とし、時間間隔可変に対応する^{11,12)}。表面温度は未知数としないこととし、室熱取得に対する室熱負荷応答 W を利用して、対流・放射を近似的に分離する方法とした¹³⁾。将来想定している壁面流計算の組み込みのために、室温が得られた後に各表面の温度を計算できるようにした。すなわち、透過日射や内部発熱放射成分は、指定された面に吸収されるものとして、面ごとに遅れて生じる対流放射熱量を計算する。表-1に、壁面からの熱負荷の計算式をまとめた。式(4-2)に示すように、隣室側の面に吸収される放射熱の影響も考慮する。式を整理すると、壁面(窓面を除く)からの熱負荷は、式(5)のように表され、 W を用いて変換した熱負荷応答に関する壁体伝達関数を使用すればよいことがわかる。熱負荷応答に関する壁体伝達関数を求める際に、変動2根による近似法¹⁴⁾を応用した。家具類に関しては、オフィス家具類の吸熱応答を利用し¹⁵⁾、表面積を適当に仮定し、壁体と同様に取り扱う。

窓からの日射熱取得は、表-2に示すように、日射熱取得率と透過率、長波放射成分係数を用いて、短波放射、長波放射、対流の3成分を計算する¹⁶⁾。現在、計算可能な窓は、ブラインド室内側およびブラインド内蔵一般窓とエアフローウィンドウ(AFW)である。計算に使用する窓熱性能値のうち、一般窓の熱貫流率、長波放射成分係数、基準日射入射条件での日射熱取得率と透過率がデータベース化されている。表-2には、データベース化された性能値を用いて、任意の日射入射条件での一般窓の日射遮へい性能値を求めるための計算式も示した。ブラインド使用時の日射遮へい性能値は、入射角のほかプロファイル角によっても変動する。従来は、ガラスの入射角特性を流用して入射角とプロファイル角が等しい場合の値を推定し使用していたが、BESTでは、入射角とプロファイル角の違いも考慮する計算法を採用した¹⁷⁾。エアフローウィンドウの熱貫流率と日射熱取得率は、ブラインド内蔵二重ガラスの性能値を窓通気量によって補正する方法である^{18,19)}。

表-1 壁面からの熱負荷の計算法

〔壁面からの熱負荷〕	
伝達関数を用いて、壁面からの熱負荷 $Q(s)$ の式を示す。 $Q(s)$ は、熱取得 $HG(s)$ および熱取得に対する熱負荷応答に関する室伝達関数 $W(s)$ を用いて、次式で表される。	
$Q(s) = HG(s) \cdot W(s)$	……(1)
$HG(s)$ は、室内側相当温度 $\Theta_{ri}(s)$ 、室外側相当温度 $\Theta_{ro}(s)$ 、室内側表面の吸収放射熱 $RI(s)$ を使って、次式で表される。	
$HG(s) = \Phi_{T0}(s) \Theta_{ro}(s) - \Phi_{A0}(s) \Theta_{ri}(s) + RI(s)$	……(2)
ただし、 $\Theta_{ri}(s) = \Theta_r(s) + RI(s)/h_i$	……(3)
外壁の場合、	
$\Theta_{ro}(s) = \Theta_o(s) + (I(s) - RN(s))/h_o$	……(4-1)
室温未知の隣室の場合、	
$\Theta_{ro}(s) = \Theta_{no}(s) + RO(s)/h_o$	……(4-2)
式(1)~(3)より、	
$Q(s) = \Phi_T(s) \Theta_{ro}(s) - \Phi_A(s) \Theta_{ri}(s) + W(s) RI(s)$	……(5)
ただし、 $\Phi_T(s) = \Phi_{T0}(s) W(s)$	……(6-1)
$\Phi_A(s) = \Phi_{A0}(s) W(s)$	……(6-2)

〔記号〕 h_i, h_o : 室内側、室外側総合熱伝達率、 $\Theta_o, \Theta_r, \Theta_{no}$: 外気温、室温、隣室温、 I : 室外側表面の吸収日射量、 RN : 室外側表面の吸収夜間放射量、 RO : 隣室側表面の吸収放射量(日射熱、内部発熱のほか、隣室周壁温と隣室温の差に起因する放射熱も含む。周壁温度差は、便宜的に前時間ステップの値を使用)、 $\Phi_{T0}(s), \Phi_{A0}(s)$: 貫流、吸熱熱取得応答に関する壁体伝達関数、 $\Phi_T(s), \Phi_A(s)$: 貫流、吸熱の熱負荷応答に関する壁体伝達関数

〔壁面からの熱取得から熱負荷への変換〕

熱取得に対する熱負荷応答に関する室伝達関数 $W(s)$ は、室内各面の放射吸収係数が表面積比に等しく、対流・放射熱伝達率が壁面によらず同一値と仮定すると、室を構成する壁面の吸熱熱取得 $\Phi_{A0i}(s)$ から、次式により得られる(文献6))。

$$W(s) = h_c \cdot A_{wi} / (h_c \cdot A_{wi} + h_r \sum_j A_{wj} (\Phi_{A0j}(s)/h_j)) \quad \dots\dots(7)$$

$$\text{ただし、} A_{wi} = \sum_j A_{wi} \quad \dots\dots(8)$$

貫流熱負荷に関する壁体伝達関数 $\Phi_T(s)$ を例にとると、

$$\Phi_T(s) = W(s) \Phi_{T0}(s) = A_o/s + \sum_{k=1}^{k_0} A_k \cdot s / (s + \alpha_k) \quad \dots\dots(9)$$

とおき近似する。

〔記号〕 h_c, h_r, h_i : 室内側対流、放射、総合熱伝達率、 A_{wi} : 合計室内表面積、 A_{wi} : 壁体 i の室内側表面積、 Φ_{A0i} : 壁体 i の吸熱熱取得に関する伝達関数、 k_0 : 根の数、 α_k : 根、 A_o, A_k : ステップ応答の係数

BESTでは、昼光調光計算も可能である。基本的には、HASP-Lで採用している計算法と同じで、ユーザー入力データを複雑化せず、切断面での照度分布を計算するものである¹¹⁾。

すきま風は、換気回数法と外壁漏気係数法である。外壁漏気係数法は、外壁面積法²⁰⁾で定義される3段階の漏気係数を利用している。ゾーン間換気量は、ゾーン間境界長さ²¹⁾と境界長さあたり風量を入力する方法である。

人体発熱負荷は、Two-Nodeモデルの簡易モデルを利用して対流、放射、潜熱放熱比率を決める方法とした²²⁾。入力値の代謝量、着衣量、気流速度、前時間ステップの作用温度と湿度から、放熱量各成分を計算する。在室率、照

表-2 一般窓の日射熱取得の計算

〔日射熱取得〕	
日射熱取得 HG_{SR} [W/m ²] およびその短波放射, 長波放射, 対流成分 $HG_{SR,SR}, HG_{SR,LR}, HG_{SR,C}$ [W/m ²] を, 次式で表す。	
$HG_{SR} = I_D \cdot \eta_D + I_S \cdot \eta_{SKY} + I_G \cdot \eta_{GR}$ (1)
$HG_{SR,SR} = I_D \cdot \tau_D + I_S \cdot \tau_{SKY} + I_G \cdot \tau_{GR}$ (2)
$HG_{SR,LR} = k_{LR} (HG_{SR} - HG_{SR,SR})$ (3)
$HG_C = HG_{SR} - HG_{SR,SR} - HG_{SR,LR}$ (4)

〔記号〕 I_D, I_S, I_G : 窓面の直達, 天空, 地表面反射日射量 [W/m²], $\tau_D, \tau_{SKY}, \tau_{GR}$: 直達, 天空, 地表面反射日射に対する透過率 [-], k_{LR} : 長波放射成分係数 [-], $\eta_D, \eta_{SKY}, \eta_{GR}$: 直達, 天空, 地表面反射日射に対する日射熱取得率 [-]

〔ブラインド非使用時の一般窓の日射遮へい性能値〕
 ブラインド非使用時の日射熱取得率, 透過率を, 直達, 天空, 地表面反射日射に対する場合を共通して, η_G, τ_G [-] と置く。 η_G, τ_G は, データベース化された基準入射条件 (入射角 30°) での値 η_{G0}, τ_{G0} [-] に, 基準化日射熱取得率 f_G [-], 基準化透過率 g_G [-] を乗じて求める。

$\eta_G = \eta_{G0} \cdot f_G$ (5) $\tau_G = \tau_{G0} \cdot g_G$ (6)

直達日射に対する f_G, g_G は, 次式で得られる。

$f_G = \sum_{n=1}^5 A_n \cdot \cos^n i$ (7) $g_G = \sum_{n=1}^5 B_n \cdot \cos^n i$ (8)

天空, 地表面反射日射に対する f_G, g_G は, それぞれ別途用意された値を試用する。

〔記号〕 i : 日射入射角, A_n, B_n : 近似式係数

〔ブラインド使用時の一般窓の日射遮へい性能値〕
 ブラインド使用時の日射熱取得率, 透過率を, 直達, 天空, 地表面反射日射に対する場合を共通して, η_{GB}, τ_{GB} [-] と置く。 τ_{GB} を, スラットすきまを通り抜ける成分とスラットに当たる成分に分けて求める。 η_{GB} は, 長波放射・対流成分 η_{GBA} [-] と τ_{GB} の和として求めるが, η_{GBA} は, 透過率と同様, 二つの項に分けた式で推定する。

$\tau_{GB} = x_{GAR} \cdot \tau_G + (1 - x_{GAR}) \cdot \tau_{GV}$ (9)

$\eta_{GB} = \eta_{GBA} + \tau_{GB}$ (10)

$\eta_{GBA} = x_{GAR} \cdot k_B \cdot \eta_{GA} + (1 - x_{GAR}) \cdot \eta_{GBA'}$ (11)

ただし, $\tau_{GV} = \tau_{GB0} \cdot g_B \cdot g_{GOUT}$ (12)

$\eta_{GA} = \eta_G - \tau_G$ (13)

$\eta_{GBA'} = \eta_{GB0} \cdot f_{GOUT} - \tau_{GB0} \cdot g_{GOUT}$ (14)

〔記号〕 x_{GAR} : ガラス透過日射のうちスラットすきまを通り抜ける比率 [-], $\eta_{GBA'}, \tau_{GV}$: ガラス透過日射がスラットに当たる窓面日射に限定したときの日射熱取得率長波放射・対流成分, 透過率 [-], η_{GA} : ブラインド非使用時の日射熱取得率長波放射・対流成分 [-], k_B : ブラインド断熱係数 [-], η_{GB0}, τ_{GB0} : ブラインド使用時の基準入射条件での日射熱取得率, 透過率 [-], g_B : ブラインド補正係数 [-], f_{GOUT}, g_{GOUT} : ブラインドより外側のガラスの基準化日射熱取得率, 基準化透過率 [-]

1) スラット角 45° として諸係数の値を決定した。2) x_{GAR} は, 直達日射に対してはプロファイル角に応じてその都度計算, 天空, 地表面反射日射に対しては固定値を与える。3) g_B は, 直達日射に対してはプロファイル角を変数とする近似式, 天空, 地表面反射日射に対しては固定値を与える。4) k_B は, ブラインド内側窓ではブラインド非使用時熱貫流率に対するブラインド使用時熱貫流率の比, ブラインド内側窓は 1.0。

明点灯率, 機器使用率などは, 任意の時刻とそのときのスケジュール値を入力し, 入力値をもとに, 各時間ステップの値を直線補間して求める。

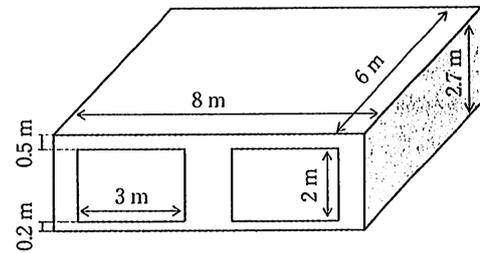


図-2 標準建物アクソメ図 (BESTEST CASE_600)

室やシステムの熱平衡状態が得られた後, 温熱環境指標の計算を行う。作用温度と PMV を求めることとし, MRT の代わりに各ゾーンの AST を用いて計算する。

3. 窓・壁データベース

BEST には, 豊富な壁体物性値, 窓性能値データベースが用意されている。壁体物性値は, 空気調和・衛生工学便覧データ 63 種, DIN/EN 12524 データ 140 種, 湿気物性値も含むデータ 25 種が整備されている。窓については, 種々の窓タイプ, ガラス種類, ガラス厚, 中空層厚, 封入ガスに対応し, 約 750 種類のデータが整備されている。これらは, XML 形式のデータファイルに納められていて, 内容がわかりやすく, 他の用途にも利用しやすく, JPA を利用することにより容易に読み込み可能であるという特長がある。表-3 には, 代表的な窓について, データベースの一部の熱・光性能値を示した。

4. BESTEST による検証

IEA で開発された BESTEST の手法を用いて, BEST の検証を行った。現在世界で広く利用されている Energy-Plus も, この BESTEST による検証を行っており, 今後, BEST が国際的なエネルギーシミュレーションプログラムとして認知されるためにも, この手法を用いての検証は必要である。BESTEST の報告書¹³⁾によると, プログラムの検証方法として, 経験的な検証, 解析的な検証, 比較による検証があり, BESTEST では比較による試験と診断の方法について示されている。具体的には, あらかじめ決められた幾つかのケースについて, 欧米で広く利用されている各種プログラム (BLAST, DOE 2, ESP, SERIES, S3 PAS, TASE, TRNSYS) で行った計算結果が示されており, それらの結果と比較・診断していくことで検証を行う。用意されている入力ケースは全部で 36 あるが, 基本的にはそのうち 14 のケースについての検証が必要である。

図-2 のような非常に単純なモデルが標準ケースとして用意されていて, この標準条件に対して, 建物方位, 外部日よけの有無, 換気の有無, 窓面積の与え方, 建物の熱容量, 空調制御方法といった入力条件を変えたことでの出力

表-3 代表的な一般窓の熱・光性能値

d: ガラス厚[mm], U: 熱貫流率[W/(m²·K)], h_{ik}: 長波放射成分係数[-], η: 日射熱取得率[-], τ: 透過率[-], τ_{vis}: 可視光透過率[-]

ガラス種類(外からの順番)	d	断熱・熱伝達性能値						日射遮へい性能値									
		ブラインドなし		ブラインドあり		ブラインドなし			明色ブラインド			中間色ブラインド			暗色ブラインド		
		U	h _{ik}	U	h _{ik}	η	τ	τ _{vis}	η	τ	τ _{vis}	η	τ	τ _{vis}	η	τ	τ _{vis}
■単板ガラス(ブラインド室内側)																	
透明フロートガラス	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.81	0.76	0.87	0.42	0.11	0.12	0.48	0.06	0.07	0.54	0.03	0.03
熱吸ブロンズ(淡色)	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.65	0.51	0.48	0.37	0.08	0.06	0.40	0.04	0.04	0.44	0.02	0.02
熱吸ブロンズ(濃色)	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.59	0.42	0.40	0.35	0.06	0.05	0.37	0.04	0.03	0.40	0.02	0.01
熱吸グレー(淡色)	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.65	0.51	0.50	0.37	0.08	0.07	0.41	0.04	0.04	0.44	0.02	0.02
熱吸グレー(濃色)	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.54	0.34	0.32	0.33	0.05	0.04	0.35	0.03	0.02	0.37	0.01	0.01
熱吸グリーン	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.55	0.36	0.67	0.33	0.05	0.09	0.36	0.03	0.05	0.38	0.01	0.02
熱反クリア	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.69	0.63	0.65	0.38	0.11	0.10	0.43	0.06	0.05	0.47	0.03	0.02
高性能熱反ブルー系(TS 40)	8	6.0	0.44	4.4	0.23	0.50	0.32	0.41	0.32	0.06	0.06	0.34	0.03	0.03	0.36	0.02	0.01
高性能熱反ブルー系(TS 30)	8	5.8	0.41	4.3	0.23	0.40	0.22	0.29	0.27	0.04	0.04	0.28	0.02	0.02	0.29	0.01	0.01
高性能熱反ブルー系(TBL 35/TCB 35)	8	6.0	0.43	4.4	0.23	0.45	0.27	0.34	0.29	0.05	0.05	0.30	0.03	0.03	0.32	0.01	0.01
高性能熱反シルバーグレー(SGY 32)	8	5.9	0.42	4.3	0.23	0.46	0.27	0.32	0.30	0.05	0.05	0.31	0.03	0.03	0.33	0.01	0.01
高性能熱反ライトブルー(TSL 30)	8	5.5	0.36	4.1	0.23	0.38	0.22	0.29	0.25	0.04	0.04	0.26	0.02	0.02	0.27	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 20)	8	5.5	0.36	4.1	0.23	0.33	0.15	0.20	0.23	0.03	0.03	0.24	0.02	0.02	0.24	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 14)	8	5.5	0.36	4.1	0.23	0.29	0.11	0.15	0.21	0.02	0.02	0.21	0.01	0.01	0.22	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 8)	8	5.1	0.30	3.8	0.22	0.23	0.07	0.09	0.17	0.02	0.01	0.17	0.01	0.01	0.17	0.00	0.00
セラミックプリント(白 50%)	8	6.2	0.47	4.5	0.23	0.61	0.48	0.53	0.36	0.08	0.08	0.39	0.05	0.04	0.42	0.02	0.02
■複層ガラス(中空層 6mm, ブラインド室内側)																	
透明フロート二重	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.72	0.63	0.78	0.44	0.10	0.11	0.50	0.06	0.06	0.54	0.03	0.03
熱吸ブロンズ(淡色)+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.57	0.46	0.49	0.37	0.08	0.07	0.40	0.04	0.04	0.44	0.02	0.02
熱吸ブロンズ(濃色)+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.51	0.40	0.43	0.33	0.06	0.06	0.36	0.04	0.03	0.39	0.02	0.01
熱吸グレー(淡色)+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.58	0.47	0.53	0.37	0.08	0.07	0.41	0.04	0.04	0.44	0.02	0.02
熱吸グレー(濃色)+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.47	0.34	0.36	0.31	0.06	0.05	0.33	0.03	0.03	0.36	0.02	0.01
熱吸グリーン+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.47	0.35	0.63	0.31	0.06	0.09	0.34	0.03	0.05	0.36	0.02	0.02
熱反クリア+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.61	0.53	0.59	0.39	0.10	0.09	0.43	0.05	0.05	0.47	0.03	0.02
高性能熱反ブルー系(TS 40)+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.39	0.27	0.37	0.27	0.05	0.06	0.29	0.03	0.03	0.31	0.01	0.01
高性能熱反ブルー系(TS 30)+透明	6	3.4	0.47	2.8	0.23	0.30	0.19	0.26	0.22	0.04	0.04	0.23	0.02	0.02	0.24	0.01	0.01
高性能熱反ブルー系(TBL 35/TCB 35)+透明	6	3.4	0.47	2.9	0.23	0.34	0.22	0.31	0.24	0.04	0.05	0.25	0.02	0.02	0.27	0.01	0.01
高性能熱反シルバーグレー(SGY 32)+透明	6	3.4	0.47	2.8	0.23	0.35	0.23	0.29	0.25	0.04	0.04	0.26	0.02	0.02	0.28	0.01	0.01
高性能熱反ライトブルー(TSL 30)+透明	6	3.3	0.47	2.7	0.23	0.29	0.18	0.26	0.20	0.03	0.04	0.22	0.02	0.02	0.23	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 20)+透明	6	3.3	0.47	2.7	0.23	0.23	0.13	0.18	0.18	0.02	0.03	0.18	0.01	0.01	0.19	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 14)+透明	6	3.3	0.47	2.7	0.23	0.20	0.09	0.14	0.15	0.02	0.02	0.16	0.01	0.01	0.16	0.01	0.00
高性能熱反シルバー系(SS 8)+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.15	0.06	0.08	0.12	0.01	0.01	0.12	0.01	0.01	0.12	0.00	0.00
セラミックプリント(白 50%)+透明	6	3.5	0.47	2.9	0.23	0.51	0.40	0.48	0.34	0.07	0.07	0.37	0.04	0.04	0.39	0.02	0.02
low-ε クリアブルー(銀1層)+透明	6	2.7	0.47	2.3	0.23	0.57	0.48	0.73	0.38	0.09	0.10	0.42	0.05	0.05	0.45	0.02	0.02
low-ε ブルー(銀1層)+透明	6	2.7	0.47	2.3	0.23	0.52	0.44	0.70	0.36	0.08	0.10	0.39	0.05	0.05	0.42	0.02	0.02
low-ε グリーン(銀2層)+透明	6	2.6	0.47	2.3	0.23	0.39	0.31	0.63	0.28	0.06	0.09	0.30	0.04	0.05	0.32	0.02	0.02
透明+low-ε クリアブルー(銀1層)	6	2.7	0.47	2.3	0.23	0.61	0.48	0.73	0.43	0.08	0.10	0.46	0.05	0.06	0.49	0.02	0.02
透明+low-ε ブルー(銀1層)	6	2.7	0.47	2.3	0.23	0.55	0.44	0.70	0.39	0.08	0.10	0.42	0.05	0.05	0.45	0.02	0.02
■複層ガラス(中空層 12mm, ブラインド室内側)																	
透明フロート二重	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.72	0.63	0.78	0.45	0.10	0.11	0.51	0.06	0.06	0.56	0.03	0.03
熱吸ブロンズ(淡色)+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.57	0.46	0.49	0.37	0.08	0.07	0.41	0.04	0.04	0.44	0.02	0.02
熱吸ブロンズ(濃色)+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.51	0.40	0.43	0.33	0.06	0.06	0.36	0.04	0.03	0.39	0.02	0.01
熱吸グレー(淡色)+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.57	0.47	0.53	0.37	0.08	0.07	0.41	0.04	0.04	0.44	0.02	0.02
熱吸グレー(濃色)+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.46	0.34	0.36	0.30	0.06	0.05	0.33	0.03	0.03	0.36	0.02	0.01
熱吸グリーン+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.46	0.35	0.63	0.31	0.06	0.09	0.33	0.03	0.05	0.36	0.02	0.02
熱反クリア+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.61	0.53	0.59	0.40	0.10	0.09	0.44	0.05	0.05	0.48	0.03	0.02
高性能熱反ブルー系(TS 40)+透明	6	3.0	0.47	2.5	0.23	0.38	0.27	0.37	0.27	0.05	0.06	0.29	0.03	0.03	0.30	0.01	0.01
高性能熱反ブルー系(TS 30)+透明	6	2.9	0.47	2.5	0.23	0.29	0.19	0.26	0.21	0.04	0.04	0.22	0.02	0.02	0.23	0.01	0.01
高性能熱反ブルー系(TBL 35/TCB 35)+透明	6	3.0	0.47	2.5	0.23	0.33	0.22	0.31	0.23	0.04	0.05	0.25	0.02	0.02	0.26	0.01	0.01
高性能熱反シルバーグレー(SGY 32)+透明	6	2.9	0.47	2.5	0.23	0.34	0.23	0.29	0.24	0.04	0.04	0.26	0.02	0.02	0.27	0.01	0.01
高性能熱反ライトブルー(TSL 30)+透明	6	2.7	0.47	2.3	0.23	0.27	0.18	0.26	0.20	0.03	0.04	0.21	0.02	0.02	0.22	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 20)+透明	6	2.7	0.47	2.4	0.23	0.22	0.13	0.18	0.17	0.02	0.03	0.17	0.01	0.01	0.18	0.01	0.01
高性能熱反シルバー系(SS 14)+透明	6	2.7	0.47	2.3	0.23	0.18	0.09	0.14	0.14	0.02	0.02	0.15	0.01	0.01	0.15	0.01	0.00
高性能熱反シルバー系(SS 8)+透明	6	2.5	0.47	2.2	0.23	0.13	0.06	0.08	0.11	0.01	0.01	0.11	0.01	0.01	0.11	0.00	0.00
セラミックプリント(白 50%)+透明	6	3.1	0.47	2.6	0.23	0.50	0.40	0.48	0.34	0.07	0.07	0.37	0.04	0.04	0.40	0.02	0.02
low-ε クリアブルー(銀1層)+透明	6	1.9	0.47	1.7	0.23	0.56	0.48	0.73	0.40	0.09	0.10	0.43	0.05	0.05	0.47	0.02	0.02
low-ε ブルー(銀1層)+透明	6	1.9	0.47	1.7	0.23	0.52	0.44	0.70	0.37	0.08	0.10	0.41	0.05	0.05	0.43	0.02	0.02
low-ε グリーン(銀2層)+透明	6	1.8	0.47	1.6	0.23	0.38	0.31	0.63	0.29	0.06	0.09	0.31	0.04	0.05	0.32	0.02	0.02
透明+low-ε クリアブルー(銀1層)	6	1.9	0.47	1.7	0.23	0.62	0.48	0.73	0.45	0.08	0.10	0.49	0.05	0.06	0.52	0.02	0.02
透明+low-ε ブルー(銀1層)	6	1.9	0.47	1.7	0.23	0.55	0.44	0.70	0.41	0.08	0.10	0.44	0.05	0.05	0.47	0.02	0.02
low-ε クリアブルー(銀1層)+透明(アルゴン)	6	1.5	0.47	1.4	0.23	0.56	0.48	0.73	0.40	0.09	0.10	0.44	0.05	0.05	0.47	0.02	0.02
low-ε ブルー(銀1層)+透明(アルゴン)	6	1.5	0.47	1.4	0.23	0.52	0.44	0.70	0.38	0.08	0.10	0.41	0.05	0.05	0.44	0.02	0.02
low-ε グリーン(銀2層)+透明(アルゴン)	6	1.4	0.47	1.3	0.23	0.38	0.31	0.63	0.29	0.06	0.09	0.31	0.04	0.05	0.33	0.02	0.02
透明+low-ε クリアブルー(銀1層)(アルゴン)	6	1.5	0.47	1.4	0.23	0.62	0.48	0.73	0.47	0.08	0.10	0.50	0.05	0.06	0.53	0.02	0.02
透明+low-ε ブルー(銀1層)(アルゴン)	6	1.5	0.47	1.4													

表-4 BESTEST の各ケースの入力項目と診断

CASE	熱容量	空調制御		換気	窓面積 [m ²]	方位	日よけ	診断項目
		暖房	冷房					
600	小	20℃	27℃	—	12	S	—	熱容量が小さい建物の標準ケース
610		20℃	27℃	—	12	S	V : 1 m	南側水平ルーバの影響の検証
620		20℃	27℃	—	6,6	E, W	—	東/西面の窓からの日射透過率の検証
630		20℃	27℃	—	6,6	E, W	VH : 1 m	東/西側水平垂直ルーバの影響の検証
640		セットバック ¹⁾	—	—	12	S	—	セットバック制御の検証
650		off	27℃	○	12	S	—	外気導入の検証
900	大	20℃	27℃	—	12	S	—	熱容量が大きい建物の標準ケース
910		20℃	27℃	—	12	S	V : 1 m	南側水平ルーバの影響の検証
920		20℃	27℃	—	6,6	E, W	—	東/西面の窓からの日射透過率の検証
930		20℃	27℃	—	6,6	E, W	VH : 1 m	東/西側水平垂直ルーバの影響の検証
940		セットバック ¹⁾	—	—	12	S	—	セットバック制御の検証
950		off	27℃	○	12	S	—	外気導入の検証
960	小	20℃	27℃	—	0	—	—	ゾーン間の熱移動の検証
off	大	off	off	—	12	S	—	—

¹⁾ 23:00~7:00 は 10℃ 以下で暖房, 7:00~23:00 は 20℃ 以下で暖房, 冷房は常に 27℃ 以上

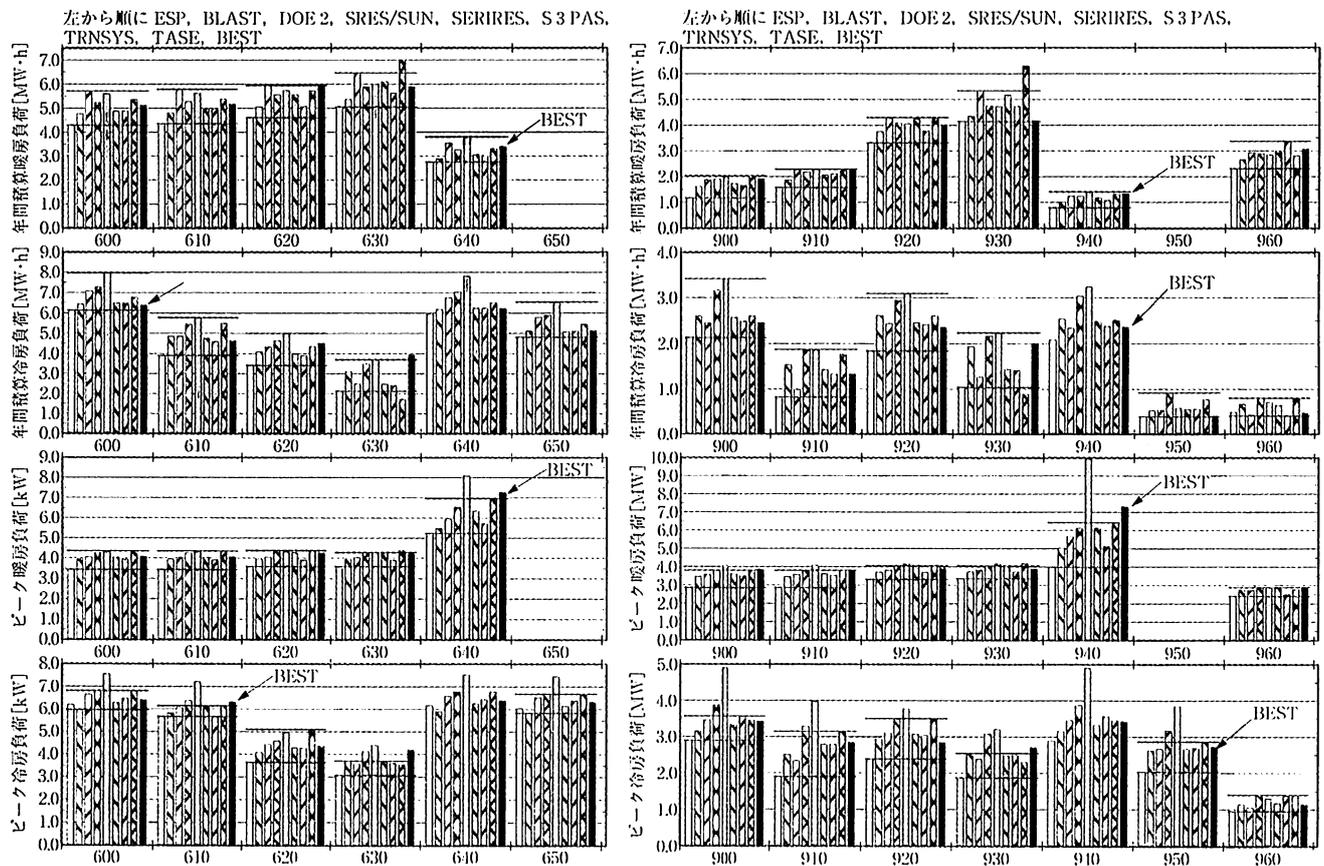


図-3 BESTEST による年積算負荷とピーク負荷の比較(左:熱容量小のケース, 右:熱容量大のケース)

結果の診断が可能である。これら 14 ケースのうち地盤連成のケースを除いた CASE_600~650, 900~960 の 13 ケースの詳細を表-4 に示す。ほとんどのケースが基本的に単室モデルであるが, CASE_960 のみサナルームのある熱容量の大きい室と窓のない熱容量の小さい室を組み合わせたモデルとなっている。また, これらのケースに加え

て, 空調のない自然室温を想定したケース, 空調制御をなくしたケースなども用意されている。気象データは米国のデンバーの標準気象データである。

13 ケースの年積算負荷とピーク負荷(暖房, 冷房)の計算結果の比較を図-3 に示す。グラフ中の横棒線は, BESTEST に記載されているレンジの最大と最小を示したもの

である。計算結果をみると、ほとんどのケースでは範囲内におさまっていて BEST が妥当であることが確認できたが、一部で最大を超えているケースもみられる。比較が可能な項目には、積算負荷、ピーク負荷のほかに、代表日の室温、負荷、日射量の時刻変動をはじめ幾つかの項目があり、今後さらに検討を進める予定である。

おわりに

建物側シミュレーション法を概説した。今後は、最大熱負荷計算のための予熱計算法の導入、ダブルスキンへの対応、ブロックモデルの組み込みなどを目標に、さらに開発を続ける予定である。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびにアーキテクチュア検討部会(坂本雄三部会長)、建築・空調設備作業部会(石野久彌部会長)、クラス構想 WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。クラス構想 WG 名簿(順不同)主査：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員：一ノ瀬雅之(東京理科大学)、内海康雄(宮城高専)、郡公子(宇都宮大学)、長井達夫(東京理科大)、羽山広文(北海道大学)、上田博嗣(大林組)、木下泰斗(日本板硝子)、後藤裕(三機工業)、菰田英晴(鹿島建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、平林啓介(新日本空調)、協力委員：瀧澤博(元鹿島建設)、菅長正光(自営)、二宮博史、國吉敬司、篠原奈緒子(以上、日建設計)、オブザーバー：野原文男(日建設計)、事務局：生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

- 1) 村上・石野ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その12~15)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9)、pp.2013~2028
- 2) 村上・石野ほか：建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第3報~第6報、日本建築学会大会学術講演梗概集(2007-9)、pp.1013~1038
- 3) 村上・石野ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その22~26)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008-8)、pp.1089~1108
- 4) 村上・石野ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”に関する総合的研究、

空気調和・衛生工学, 82-1(2008-1), pp.67~73

- 5) 松尾：大量・迅速処理を目的とした畳込演算の近似解法、日本建築学会関東支部第41回学術研究発表会(1970)
- 6) 松尾：空調負荷計算におけるふく射熱の取扱い、空気調和・衛生工学, 59-4(1085-4), pp.5~11
- 7) 松尾：伝達関数数値逆変換の一解法、日本建築学会大会学術講演梗概集(1983-9)、pp.513~514
- 8) 石野・郡：事務所建築における家具類の熱的影響に関する実測研究、日本建築学会計画系論文報告集, No.372(1987-2)、pp.59~66
- 9) 郡・石野：熱負荷計算のための窓熱性能値に関する研究、日本建築学会環境系論文集, No.600(2006-2)、pp.39~44
- 10) 郡・石野ほか：直達日射に対する一般窓日射遮蔽性能値の実用的推定法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9)、pp.369~372
- 11) HASP-L 利用マニュアル(1980)、板硝子協会省エネルギー委員会、日本建築設備士協会
- 12) 早川・戸川里：煙突効果と風力による容器量の予測 高層事務所建物の煙突効果の研究(その3)、日本建築学会計画系論文報告集, No.407(1990-1)、pp.47~55
- 13) 石野・郡・佐藤：人体 Two-Node Model の簡易化と応用に関する研究、日本建築学会計画系論文報告文集, No.451(1993-9)、pp.67~74
- 14) R.Judkoff and J.Neymark: International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method (February 1995)

(2008/8/25 原稿受理)

The Building Simulation Method

Kimiko Kohri*

Synopsis This paper presents two solution methods of space heat balance, a wall heat transfer calculation method available for variable time intervals, a new solar heat gain calculation method and the features of the database of wall and window thermal properties. The results of examination applying BESTEST are shown and the validity of the simulation program are confirmed.

(Received August 25, 2008)

* Utsunomiya University, Member



郡 公子 こおりきみこ
出身地 東京都/最終学歴 早稲田大学大学院理工学研究科/学位 工学博士/資格 本学会フェロー/その他 日本建築学会賞(論文賞)、本学会賞(論文賞、技術賞)など。

空調システムのシミュレーション法

長井 達夫 東京理科大学 正会員
 二宮 博史 (株)日建設計 正会員
 菅長 正光 正会員
 柳井 崇 (株)日本設計 正会員

キーワード：BEST(BEST), 空調システム(HVAC System), シミュレーション(Simulation), エネルギー評価(Estimation of Energy Consumption)

BEST における空調システムのシミュレーション法について概説する。BEST では、空調システムの多様な機器構成に対応するため、モジュールと呼ばれる統一化された計算部品 の結合によってシステムを構築する方法をとっている。標準で添付されている空調関連のモジュールとしては、熱源、ファン、コイルなどの要素機器のほか、システム計算用の室要素や、境界条件、モニタ出力などのユーティリティ要素も含まれる。要素機器を接続する手間を省くために、あらかじめ“空調機”などのテンプレートを用意しており、テンプレート内の要素機器の詳細を意識することなく全体システムを構築できるようになっている。

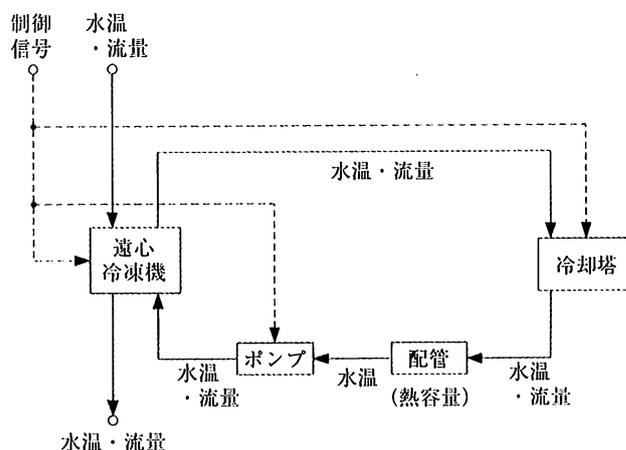


図-1 部分システム“熱源周り”(遠心冷凍機)の例

はじめに

空調システムのシミュレーションは、設計時における容量算定、システム比較や省エネルギー性の評価、あるいは竣工後の不全のチェックなど、さまざまな目的に用いられている。BEST の開発においても、計画段階におけるエネルギー評価から、制御性の検討といった専門的解析に至るまで、一つの計算フレームワークで対応することが要請された。

本報では、拡張性とメンテナンス性を考慮して BEST の計算フレームワークに採用されたモジュール構成について解説し、標準で添付された空調モジュールの種類と全体システムの構築法について概説する。また、BEST を用いた試算例について紹介する。

1. 計算法の概要

先行する海外のシミュレーションツール(HVACSIM'や TRNSYS など)と同じく、各機器のモデルを統一的なフォーマットに従った“モジュール”によって表現し、モジュール相互の接続により全体システムを構築する方法をとっている。これにより、従来の多くの国産プログラムで実現することが困難だった以下のような特徴を有することとなった。

表-1 要素モジュールが実装するメソッド

メソッド	内 容
setProfile	機器の定格など、固定値をセットする
initialize	結果を保持する変数の作成など、必要な初期化を行う
outputs	各時刻ステップにおいて、入力と内部の状態から出力を計算する
update	各時刻ステップの最後に内部の状態を更新する

1.1 多様なシステム構成への対応

従来は、システム構成をあらかじめある程度仮定したうえで、機器の仕様をユーザーに入力させる方式をとることが多かった。BEST(専門版)では、要素部品(モジュール)の接続をユーザーが自由に変更・追加できるため、原理的にはどのようなシステムにも対応できる柔軟性を持っている。

1.2 機器モデルの追加・更新の容易さ(保守性の向上)

プログラム開発上、空調にかかわるソースコードはモジュール(Java 言語におけるクラス)内に限定されるため、計算エンジンの知識がなくても新規のモジュールを組み込んだり、機器モデルの更新を図ることができる。

```

public class AbsRefModule extends ...{
  内部変数の宣言(定格能力等の仕様, 入口・出口冷水オブジェクト等)
  public void setProfile(BestSpecs spec) {
    メインルーチンから渡される機器仕様を内部変数にコピーする
    ・ 名称, 定格能力(冷却・加熱), 定格水量(冷温水・冷却水)
    ・ 出口水温設定値(冷水・温水)
    ・ 定格ガス消費量(冷却・加熱), 定格消費電力(冷却・加熱)
    ・ 電力の相数, 電圧, 周波数, 力率
  }
  public void initialize(IBestStateMessage stateNodes,...) {
    メインルーチンから提供されるノードオブジェクトとの接続を確立する
    ・ 入力ノード … 入口冷温水, 入口冷却水, 燃焼用給気, on/off, モード
    ・ 出力ノード … 出口冷温水, 出口冷却水, 電力・ガス, 排気ガス
  }
  public void outputs() {
    if (停止)
      冷温水出口状態=冷温水入口状態
      冷却水出口状態=冷却水入口状態
      ガス・電力消費量=0, COP=0
    else if (冷房モード)
      冷温水冷却熱量・冷温水出口水温の計算
      ガス消費量=f (冷温水状態, 冷却水状態, 負荷率) (機器特性)
      冷却水出口水温, 消費電力, COP の計算
    else (暖房モード)
      冷温水加熱量・冷温水出口水温の計算
      ガス消費量=定格ガス消費量×負荷率 (リニア特性を仮定)
      消費電力, COP の計算
    end if
    出力ノードの設定(出口冷温水・冷却水, 燃料ガス, 電力, 排気ガス)
    記録ノードの設定(メッセージ, 入力, 出力, エネルギー, 内部状態)
  }
  public void update() {
  }
}

```

図-2 要素モジュールのソースイメージ(ガスだき冷温水発生機の例)

1.3 部分システムの計算

空調システムの成立には、最低限、室と熱源が必要であるが、シミュレーションによる検討では、例えば熱源周りのみを対象としたい場合もある(図-1 参照)。BESTでは、完結した空調システム全体だけでなく、その一部のみを対象とした部分システムの計算が可能である。部分システムの場合に“断絶”された入力情報(図-1 の例では熱源冷水入口温度・流量, 制御信号)については、固定値のほか、ケーススタディのための種々の値, BEMS で得られた時系列データなどを用いることができる。

1.4 制御性の検討

制御コントローラもモジュールで表現されるため、将来的にはユーザーが各種ロジックを新規モジュールとして追加することにより、例えば外気冷房ロジック, VAV 制御ロジックの検討などが可能となる。

2. 要素モジュールの基本形

モジュールは Java 言語で記述されたクラスであり、機器仕様などのプロパティと、メソッドの組合せからなる。また、“ノード”を介して他のモジュールと情報の受け渡しができるようになっている。

計算は、メインルーチン(計算エンジン)が各モジュールのメソッドを順次呼び出すことで行われる。各モジュール

に対して、統一的に用意されたメソッドの一覧を表-1 に示す。setProfile メソッドと initialize メソッドは最初に 1 回だけ呼び出され、各モジュールに対するユーザー入力情報などを取得し内部変数の初期化を行う。outputs メソッドはシミュレーションの本計算部分で、入力(当該モジュールの入力ノードに設定された値)および当該モジュールの内部状態を与条件として出力値を計算し、その結果を出力ノードにセットする。“内部状態”は、動的モデルにおける状態変数に相当するものであるが、状態変数のために固有の変数を用意するのではなく、各オブジェクトの private 変数として情報を保持する。

update メソッドは、入力値と現在の“内部状態”から、次ステップの“内部状態”を計算するもので、動的なモジュールの場合にのみメソッドの内容を記述する必要がある。outputs メソッドが各モジュールについて 1 ステップ複数回呼び出される可能性があるのに対して、update メソッドは時刻ステップの最後に 1 回ずつ呼び出される。

要素モジュールの例として、熱源機器(冷温水発生機)クラスのソースコードイメージを図-2 に示す。このモジュールの場合のように、入出力ノードは、通常水あるいは空気といった物理的な媒体と、on-off 信号などの制御信号とからなる。また、媒体の物理的な入出力関係と、計算上の入出力関係は原則として一致させることとしている。

表-2 空調標準モジュール(2008年3月現在)

分類	主要モジュール
熱源機器	中央熱源 冷温水発生機, ボイラ, HP チャラー, 遠心冷凍機, ブライン HP チャラー 分散熱源 ビル用マルチ(室内機・室外機)
熱源補機	冷却塔, 熱交換器, 蓄熱槽
搬送機器 空調機	ポンプ, ファン, 空調機(冷温水コイル, 加湿器, 全熱交換器, OA チャンバ, ファン) *空調機はこれらのモジュールの組合せ
制御機器	PID 制御, 2位置制御, VAV 制御, センサ, 熱源 制御(発停, モード切替えなど), 熱源台数制御 (ヘッドバイパス), AHU 制御(発停, モード切替 え, 外気カット, 外気冷房など)
搬送系部品	配管およびダクト(分岐・集合ヘッド), 二方弁, 三 方弁, 止水弁, VAV ユニット, 流量拡大, 流量縮 小, 排水槽
負荷計算接続 部品	ゾーン(システム接続用), ゾーン(Air, Env, EPLoad, Heat...各媒体接続用)
集計部品	一次エネルギー消費量集計, 資源消費量集計メータ (電力, 給水, 排水など)
条件指定部品	固定条件の水・ブライン・空気・電力, 気象データ と連動した外気・雨水, 外部データ読み込み部品, 出 力指定部品
確認表示部品	計算中のグラフ表示(空気・水・電力などの状態値 や積算値), 計算の一時停止再開部品

例えば、図の冷温水発生機モジュール場合、入口冷却水ノード、入口冷温水ノードのデータが計算上の与条件であり、出口冷却水、出口冷温水ノードのデータが、冷温水発生機モジュールの計算結果となる。

3. 空調関連の標準要素モジュール

標準で BEST に付属する主要空調モジュールを表-2 に示す。空調システムを構築する熱源、搬送および制御機器などのほか、熱搬送媒体の水や空気を導く配管やダクトなどの分岐・集合、各種弁などの搬送系部品、部分システムを検討する場合に必要な境界条件を設定するための部品など、各種モジュールを用意している。

熱源機器のモデルは、静的な機器特性に基づくもので、BECS などと同じく、冷凍プロセスを再現したものではないが、計算のフレームワークとしては、このような詳細モデルを組み込むことも可能である(機器特性については本特集の“機器特性のデータベース”を参照されたい)。

また、個々の機器に対応するモジュールのほか、負荷計算エンジンとシステムを接続するための負荷計算接続部品、さらに、エネルギーや資源の消費量を積算する集計ツールも部品モジュールとして用意されている。以下で

は、これら空調機器以外の特徴的なモジュールについて説明する。

3.1 負荷計算接続部品群

建築の負荷計算エンジン部分と設備システムとを接続するための要素モジュールが負荷計算接続部品である。負荷計算の細分単位であるゾーンに対応するゾーンモジュールと設備側モジュールを接続することで、建築と設備の連成計算が行える。図-3 はゾーンシステム接続用モジュール(ZoneforSystemModule)のノード図である。

入口側の媒体ノードには空調機などからの給気、照明・コンセント電力や機器発熱などが接続され、出口側の媒体ノードには空調機や FCU などへの還気やゾーンの環境情報(室温、湿度、PMV ほか)が出力できるようになっている。照明用電力とコンセント電力は、負荷計算で考慮する使用率パターンに応じた消費電力がシステム側へ渡される。昼光利用を計算する場合はその効果を加味したものが伝達され、連成した省エネルギー効果が計算できる。

3.2 集計部品群・確認表示部品群

建物全体のエネルギー消費量や資源消費量を調べるには、取引メーターである電力メーター、ガスメーターや量水器の数値を読めばよい。これらのメーターに相当する集計部品をモジュールとして各種用意している。実際のメーターの位置だけでなく、用途別や空間別などの要所に接続しておけば、計算の終了と同時に集計や内訳作成作業が完了し効率的な検討が可能となる。集計部品のなかには、燃料別・用途別・昼夜別に一次エネルギー消費量に換算しながらリアルタイムで積算値をグラフ表示するモジュールが用意されている。

3.3 条件指定部品群

条件指定部品群は、主に機器モジュールに接続する境界条件を設定するとき使用するモジュールであり、機器単体のテスト、部分シミュレーションを行う際に特に用いられる。条件指定部品群は、さらに以下のように分類される。

- 1) 固定条件の媒体モジュール
- 2) 気象データと連動した外気モジュール
- 3) 外部のテキストファイルを読み込むモジュール

1)の固定条件の媒体モジュールは、水・空気などの媒体について、ユーザーが指定した特性値、すなわち温湿度や流量を固定的に出力するモジュールである。ただし、年間計算を意識した冷房時や暖房時の検討にも使えるよう、固定条件を2種類、3種類設定できるモジュールを用意している。

2)の外気モジュールは、気象データから外気温度、湿度を内部的に読み込み、空気クラス(後述)の形で出力するモジュールである。外気モジュールは複数作成して、外気取

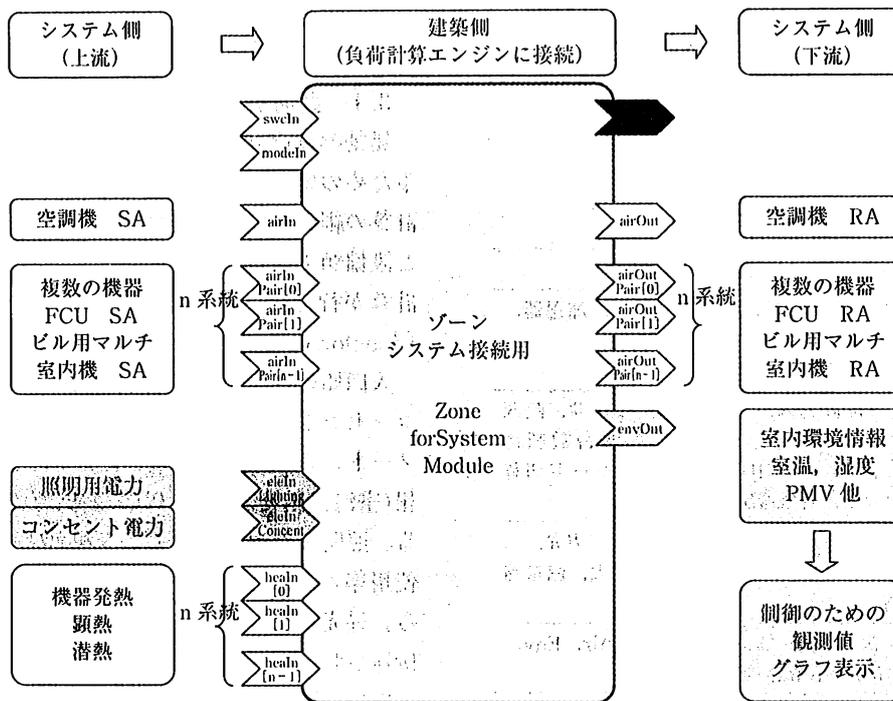


図-3 ゾーンシステム接続用モジュールのノード図 (ZoneforSystemModule)

入れ部の温度のみ一定温度だけ上昇させるといった設定も可能である。

3)のファイル読み込みモジュールは、外部のテキストファイルからデータを読み込み、それらを出力ノードに書き出すモジュールである。例えば、空調機コイルモジュールの特性を調べたいときは、外部ファイルに種々の入口空気・入口冷水の特性値の組合せを記述し、ファイル読み込みモジュールを介してコイルモジュールに接続すれば、コイルの単体テストが実行できる。

4. 媒体クラス

モジュール間を接続する媒体としては、空気(給排気, 外気), 水(冷温水, 冷却水, 給排水), 制御信号(on/off, 冷暖モード, 制御量, 操作量)などがある。BESTでは、これらの媒体のクラスを作成して、媒体の各種状態値を一つのセットで取り扱い、確実に伝達ができる仕組みとした。表-3に媒体クラスの例を示す。例えば空気(BestAir)クラスでは、フィールド変数として乾球温度[℃], 絶対湿度[g/g(DA)], 質量流量[g/s]の三つの状態値を規定したオブジェクト単位で情報の受渡しを行う。さらに、getTempWB(), getEnthalpy(), getHumiR(), getTempDP()などの空気線関数に相当するメソッドを用意し、湿球温度, 比エンタルピー, 相対湿度, 露点温度を簡単に取得できるようにした。

表-3 媒体クラスの例

媒体クラス	フィールド変数	メソッドの例	接続ノード名
空気 BestAir	乾球温度[℃] 絶対湿度[g/g (DA)] 質量流量[g/s]	getTempWB() getEnthalpy() getHumiR() getTempDP()	airIn airOut
水 BestWater	温度[℃] 質量流量[g/s]	getTemp() getFlowRate()	watIn watOut
ブライン BestBrine	温度[℃] 質量流量[g/s] 濃度[-] 種類[-]	getTemp() getFlowRate() getConcentration() getType()	briIn briOut
電力 BestElectricity	有効電力[W] 無効電力[Var] 電圧[V] 相数[-] 周波数[Hz]	getActivePower() getReactivePower() getVoltage() getPhase() getFrequency()	eleIn eleOut
ガス BestGas	消費量[W]		gasIn gasOut

(制御信号)swcIn, swcOut, modeIn, modeOut, valIn, valOut
*媒体のフィールド変数は機能追加に応じて変更がある。

5. 全体システムの構築とテンプレート

BESTでは要素モジュールの接続によりシステムを構築するが、空調システムの場合、その構成要素の数が膨大となる。これらモジュールの配置・接続の手間を軽減するために、“AHU/FCU”, “中央熱源”および“熱源群”について、あらかじめテンプレートを用意しておき、テンプレー

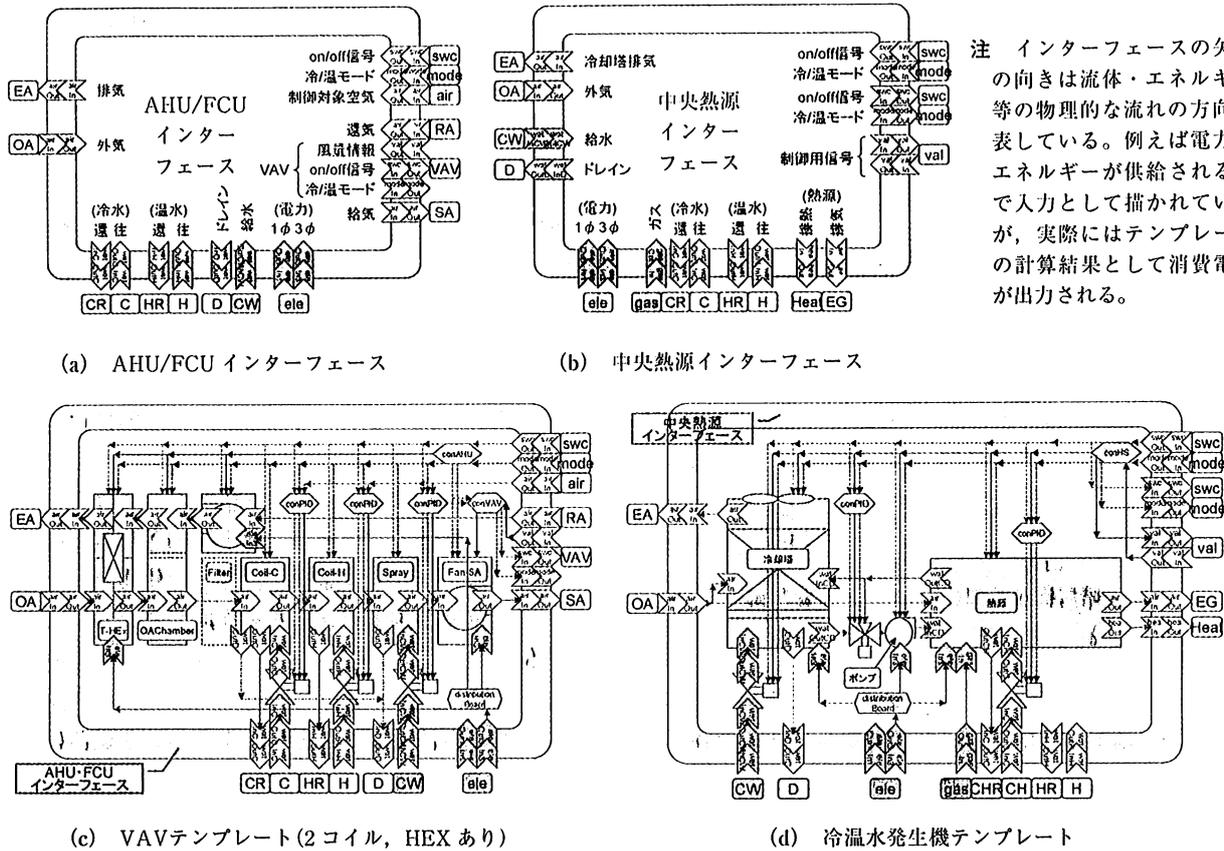


図-4 AHU/FCUテンプレートと中央熱源テンプレートの例

ト内部の個々のモジュールを意識せずに全体システムを構築できるようになっている。図-4には、“AHU/FCU”、“中央熱源”について、テンプレートの共通インターフェース(外部との接続ノード)とテンプレートの例を示している。図-4(c)に示す“VAV(2コイル, HEXあり)”テンプレートの場合、あらかじめ“コイル”、“加湿器”、“ファン”といった要素モジュールの配置・接続が完了しているため、ユーザーはテンプレート内部のモジュール仕様(送风量やコイル仕様など)とテンプレート外部との接続を設定するだけでよい。“AHU/FCU”テンプレートとしては、図-4(c)に示す“VAV(2コイル, HEXあり)”テンプレート以外に、“VAV(1コイル, HEXなし)”, “CAV(1コイル, HEXなし)”, “FCU”などの種々のテンプレートが用意されるが、いずれも外部との間に図-4(a)に示す共通の接続ノード(インターフェース)を有している。ユーザーは、これら同一のインターフェースを有するテンプレートを外部の接続を保ったまま相互に入れ替えることが可能になる。すなわち、“コイル”、“ファン”といった要素モジュールを意識することなく、一つのまとまりとして接続済みの“空調機”を“FCU”へ入れ替えるといったことが可能となる。

“中央熱源”[図-4(b)および(d)]についても同様である。冷却水系統も“中央熱源”テンプレートに内包されるた

め、空冷・水冷を問わず、接続済みの熱源を他の熱源に入れ替えることが可能である。また、“熱源群”テンプレートは、複数の熱源、一次ポンプ、ヘッダ、台数制御モジュールなどからなるテンプレートで、インターフェースは“中央熱源”テンプレートの場合と同様である。

以上の3種類のテンプレートが整備されれば、システム全体の構築(モジュールの配置と接続)は比較的簡便になると考えられる。さらに、代表的なシステム(パッケージ主体, セントラル主体など)について、システム全体のモジュールを接続済みの例題を複数用意しておき、この例題システムをもとに必要なモジュールの追加・リンク接続を行うことによって、ユーザーのモジュール接続の手間を軽減する方針である。

6. 全体システムの解法と計算順序

モジュールを基本としたシミュレーションの場合、Newton法などを用いてシステム全体の非線形方程式を解く方法と、単純にモジュールを順次計算する方法があるが、BESTでは後者を採用している。また、収束計算を行って方程式の解に到達することを期待するのではなく、計算時間間隔を短くとることにより原則的には収束計算を行わず、動的な変化を経時的に計算する方法(BESTでは“陽解法”と呼んでいる)を採用している。

・熱源廻りの Module 構成

- | | |
|---------------|------------|
| ①二次側戻りヘッダ | ⑦流量縮小 |
| ②流量拡大 | ⑧二次側送りヘッダ |
| ③熱源送りヘッダ | ⑨熱源制御(2台) |
| ④冷温水ポンプ(2台) | ⑩台数制御(2台用) |
| ⑤ボイラ(真空温水ヒータ) | ⑪中央監視盤 |
| ⑥熱源送りヘッダ | |

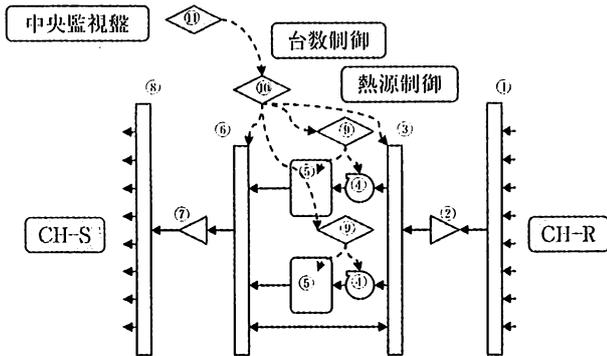


図-5 制御の階層構成の例(熱源周りの台数制御)

この場合、モジュール(outputs メソッド)の計算順序が問題となるが、基本的にはモジュール間を接続する媒体の流れに沿った順序となる。入口側の媒体がすべて更新された後に当該モジュールの計算を実行し、出口側媒体の情報を更新して下流側へ引渡す手順となる。

現在のバージョンでは、空調機側、熱源側などのグループに分類したうえでデフォルトの計算順序を部品に設定しておき、GUIがその数値に従って自動的にモジュールを並べる方法をとっている。ただし、計算順序はGUIから並べ替え可能である。

7. 制御の位置づけと階層構造

7.1 フィードバック制御

前述のとおり、BESTでは各機器モジュールの入出力について、物理的な入出力と整合するように設定することを原則としている。例えば、空調機コイルについて、物理的な入力(入口空気状態・風量, 入口水状態・水量)をそのままモジュールの入力とし、物理的な出力(出口空気状態・風量, 出口水状態・水量)をモジュールの出力としている。BEST(専門版)における室モジュールについても同様で、設定温湿度を保つのに必要な負荷を出力するのではなく、給気温湿度・風量を入力として、なりゆきの室温・湿度が計算・出力されるようになっている。

そこで、例えば定風量空調システムのコイル流量を制御しようとする場合、実システムと同様に、室温を設定値に近づけるようにコイル二方弁をフィードバック制御する必要が生じる。BESTは動作シミュレータというよりは、主としてエネルギーシミュレーションツールとして用いられることを想定しているが、モジュールの入出力を物理的入

出力と整合させるという方針のため、不可避免的にフィードバック制御を導入する必要がある。

現バージョンのBESTでは、そのための制御モジュールとしてPIDモジュールを用意している。PIDパラメータの設定については、ユーザーが問題ごとに調整しなくても済むようにデフォルトパラメータを提供する方針である。

7.2 制御の階層構造

運転スケジュールや運転モードについても、制御モジュールを作成することで対応している。制御モジュールは、空調システムで一つではなく、階層的に使える複数の制御モジュールを作成している。制御機能や制御対象別に下位レベルの制御モジュールを構築し、これらの複数の下位レベルの制御モジュールを連携制御させるための中間レベルの制御モジュールを考え、さらに建物全体の制御を調整する上位の制御モジュールを作成している。

下位の制御モジュールによって、個別の機器の運転スケジュールを設定することも可能であるし、中央監視盤的モジュールから渡される運転信号をそのまま機器に伝えるよう、設定を変えることも可能である。熱源系の制御を例に、中央監視盤的モジュール、熱源台数制御モジュール、熱源制御モジュール、冷却水三方弁のPID制御を階層的に接続して使用する例を図-5に示す。

8. 試算例

BESTによる空調システムの試算例として、瀧澤のオフィス標準問題⁹⁾を参考とした、東京に建つ12階建ての事務所建物を対象とした期間シミュレーションの結果を示す。

8.1 計算条件

システムは、中央熱源方式であり、熱源には空冷ヒートポンプチラー2台を一次ポンプと対で配置し、二次側には基準階の各ゾーンに空調機を1台ずつ計8台の空調機を設置した。その概略図を図-6に示す。

ケーススタディとして、空調機と熱源双方の容量を過大に見込んだ場合についての消費電力量と室内湿度の変化について検討した。標準的な容量設定(case A)については、空調機では各ゾーンの顕熱負荷より空調機の風量を算定して標準的と思われる仕様を決定した。また、熱源については、建物全体の冷房負荷デューレーションカーブより標準容量を決定した。過大容量のケース(case B)では、空調機、熱源のそれぞれについて、case Aの1.2倍前後の容量設定とした。

8.2 計算結果

図-7に、case A, BにおけるS系統Sゾーンの夏期1週間の室内温度と相対湿度の比較グラフを示す。室内温度

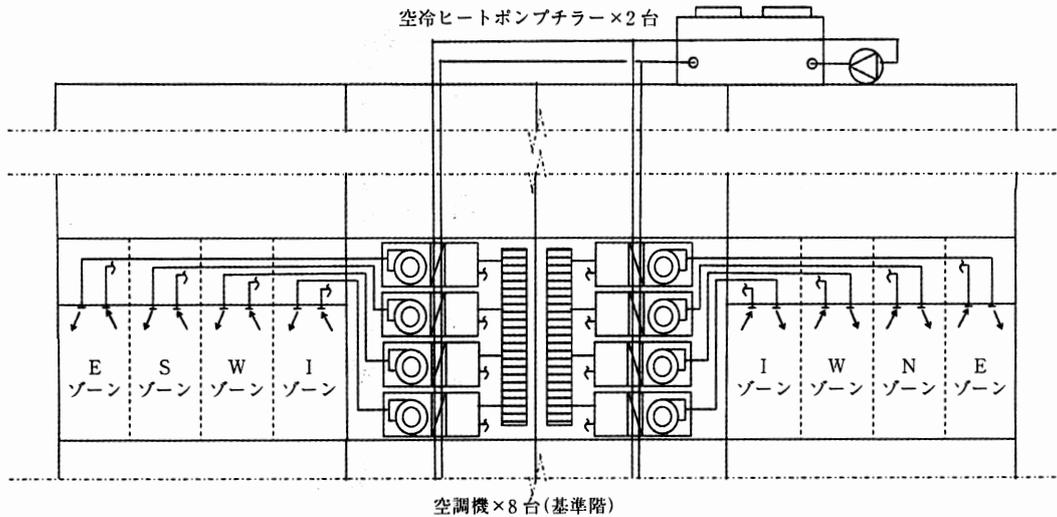
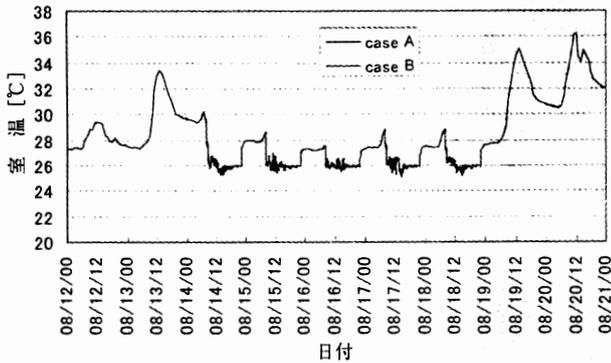
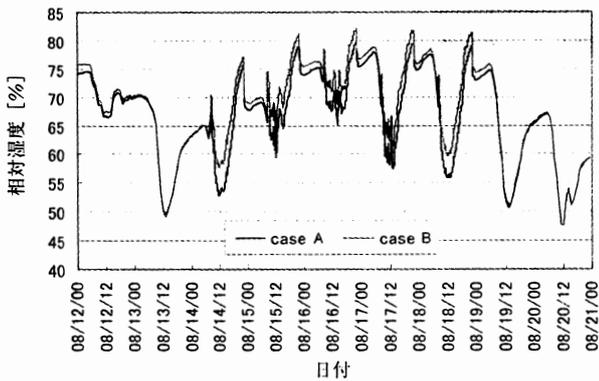


図-6 システム概略図



(a) 室内温度



(b) 室内相対湿度

図-7 室内温湿度と比較(SSゾーン)

に関しては、両者とも同様の変動を示しているのに対して、相対湿度の比較では、空調機の風量を過大に見積もった case B では、空調時間帯で case A より相対湿度が高く、最大5%程度異なる時間帯も存在する。これは、風量の増大により、空調機からの吹出し温度が上昇し、除湿量に差が出たためと考えられる。

図-8には、熱源の月別消費電力量の比較を示す。容量を約20%過大に設定した case B のほうが、年間を通して

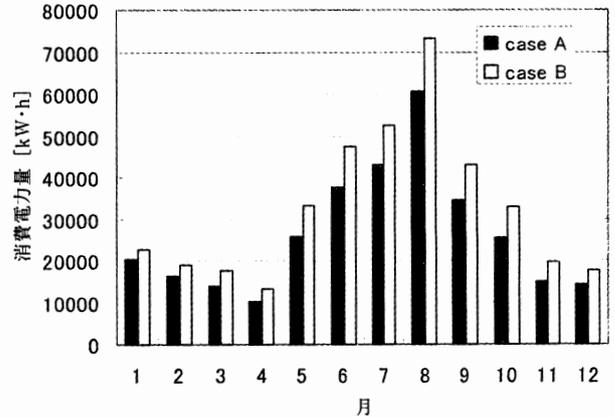


図-8 空冷ヒートポンプチラーの月別消費電力量

case A より大きな結果となっている。

おわりに

BESTの計算体系のうち、空調システムの計算法について概説した。本報で示した計算フレームワークは汎用性に留意して構築されており、空調に限らず、衛生・電気などの他のシステムとの連成も容易に可能となるよう設計されている。空調システムの場合、構成機器の数が多く、機器接続にかかわる入力の手間が大きくなりがちである。テンプレートや例題システムの添付といった方策をとっているが、入力の手間を支援する方策について引き続き検討しているところである。

参考文献

1) 滝沢 博：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(1984)、pp.35~42

(2008/9/9 原稿受理)

Simulation Method for HVAC Systems

Tatsuo Nagai*¹
 Hiroshi Ninomiya*²
 Masamitsu Suganaga*³
 Takashi Yanai*⁴

Synopsis Modular system is introduced in the BEST program for coping with topological variety commonly seen in HVAC component connections. The BEST tool includes zone module or utility module as well as physical components such as chiller or fan. To ease the task for connecting modules, the Best provides template or macro groups in which elemental modules are encapsulated.

(Received September 9, 2008)

-
- *¹ Tokyo Univ. of Science, Member
 - *² NIKKEN SEKKEI, Ltd., Member
 - *³ Member
 - *⁴ NIHON SEKKEI, INC., Member



長井達夫 ながいたつお
 昭和39年生まれ/出身地 神奈川県/最終学歴 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程修了/専門 建築熱環境工学, 空調設備/学位 博士(工学)



二宮博史 へのみやひろし
 昭和34年生まれ/出身地 愛媛県/最終学歴 神戸大学工学部環境計画学科卒業/専門 建築設備/資格 エネルギー管理士, CASBEE 建築評価員, 建築設備士, 一級建築士



菅長正光 すがながまさみつ
 昭和28年生まれ/出身地 東京都/明治大学大学院建築学専攻修士課程修了/資格 一級建築士, 建築設備士/学位 工学修士



柳井 崇 やないたかし
 昭和36年生まれ/出身地 北海道/最終学歴 東京都立大学大学院建築工学科卒業/専門 空気調和設備, 設計技術/資格 SHASE 技術フェロー, 技術士

機器特性のデータベース

助飛羅力 三機工業(株) 正会員

藤居達郎 (株)日立製作所 正会員

キーワード：機器特性(Characteristics of Appliances), 静特性(Static Behavior), 物理モデル(Physical Model), 回帰式モデル(Fitting Curve Model)

BEST 機器特性 WG では、空調システムで用いられる各種機器のデータベース化とモデリングを進めてきた。機器固有の特性の反映とメンテナンス性の両立を図るため、機種ごとの個別の仕様を機器データベースに記載し、機器モデルでは類似の特性を持つ機器を同一の特性式で記述した。これらのモデルは、機器の種類によって入出力を定義し、入出力間の関係を物理モデルまたは回帰式モデルによって記述したものである。本稿では、機器データの構成、各種機器モデルの概要と特性式による計算結果について解説する。

はじめに

BEST における機器特性のモデル化は、動特性を加味した機器固有の特性と、その特性データのメンテナンス性の両立がテーマであった。特に、プログラム完成後のメンテナンスは、新機種の高効率機器の組み込み、類似特性機種の追加をいかにミスなく効率よく作業できるかが重要である。そのため、機器特性は基本的に静特性としモデル化を容易にした。動特性については、静的モデルに起動時・停止時のむだ時間・熱容量を与えるなどの手法を検討中である。

機器特性モデルは、物理的に表現できる機器については物理モデルで、機器の固有特性が複雑な機器については回帰式モデルとした。回帰式モデルは、機器特性を代表的な数種類に分類して多項式近似とした。機器固有の定格時の入出力量、補機動力などは機器仕様の別途データテーブルで記述し、特性モデルと機器仕様テーブルを分離することによりメンテナンス性を高めた。

本報では、機器データの構成、代表的機器のモデル作成方法と計算結果について解説する。

1. 機器データの構成

汎用機器については対応する機種を選定画面で選択し、各メーカーカタログから各機器の定格値を入力する。設計時など具体的な機種が決まっていない段階では、国交省の設計基準¹⁾に記載されている機器の定格値を入力して使用することとした。

機器仕様テーブルの一例として、遠心冷凍機を表-1に示す。これらの値は、要素モジュールの初期化の際に固定

表-1 機器仕様テーブル
(遠心冷凍機の例、数値などは一部実際と異なる。)

〔遠心冷凍機〕	
1. 分類①	遠心冷凍機
2. 分類②	冷専
3. 分類③	—
4. メーカー名	A 社
5. シリーズ名	高効率型(インバータ)
6. 型番	***-800**
7. 冷媒	HFC 134 a
8. 冷房時特性	
定格出力[kW]	2813
〔定格時電力消費量〕	
1) 主機[kW]	505
2) 補機[kW]	2
〔定格温度・流量〕	
〔冷水〕	
1) 入口温度[°C]	12
2) 出口温度[°C]	7
3) 流量[m ³ /h]	121
4) 圧力損失[Pa]	60
〔冷却水〕	
1) 入口温度[°C]	32
2) 出口温度[°C]	37
3) 流量[m ³ /h]	148
4) 圧力損失[Pa]	49
10. 特性式パターン index	C
11. 動特性	
再起動防止時間[min]	15
始動前補機類運転時間[min]	2
停止後補機類運転時間[min]	4.5
12. 備考	—

値としてセットされる。その他の機器では、室外機型番、定格時燃料消費量(燃料種別、消費量)、暖房時特性(定格出力、定格入力、定格温度・流量)などが機器の種類に応じて追加される。

機器仕様テーブルでは、メーカー・容量によって特徴のある冷凍機、ボイラ、ビルマルチエアコン(EHP, GHP)について作成したが、現時点ではプログラムに組み込まれ

表-2 冷凍機モデルに採用した特性式

機器の種類	名称	Index	作成方法*
遠心冷凍機	固定速(標準)	A	2
	固定速(高効率)	B	1
	可変速(高効率)	C	1
吸収冷温水機	(全機種共通)	A	1
水冷チラー	固定速	A	1
	可変速	B	2
空冷ヒートポンプチラー	固定速	A	1
	可変速	B	2

* 1: メーカー提供による。
2: 刊行物などの公表済み資料から本WGにて作成。

るには至っていない。さらに、その他の機器と併せて汎用機器データテーブルによる機器選定機能の追加などについては、今後の検討事項とする。また今後、汎用機器データテーブルによる機種選定機能の追加、新機種追加が必要になった場合は、機器特性WGが作成した特性式・データの妥当性を上位審査組織でチェックし追加する。

2. 機器特性モデル

2.1 冷凍機

(1) 対象とした冷凍機の種類

今回の開発対象とした冷凍機は表-2に示す4種類である。各機器に対して、表-2に示す数種類の特性式を実装した。これらの特性式はいずれも回帰式モデルであり、メーカーから提供されたものと、公表済みの資料から機器特性WGで作成したものがある。なお、後者については2007年度に終了した本学会コミッション(Cx)委員会Cxツール小委員会による定式化方法³⁾によって特性式を作成した。

本節ではこれらのモデルについて、遠心冷凍機を例として説明する。

(2) 遠心冷凍機の回帰式モデル

遠心冷凍機モデルの入出力を図-1に示す。特性モデルとしては、(株)日本冷凍空調工業会⁴⁾のデータおよびメーカーから提供されたデータを用いて、表-2に示す3種類の特性式を実装した。機器仕様テーブルに登録された各機種は、すべてA~Cのいずれかによって性能が計算される。

このうち、特性式Aは工業会による性能特性線図⁵⁾から作成方法2によって定式化したものである。この線図では、冷却水温度が低い場合、および冷水温度が高い場合に冷凍能力が最大4%増大することが示されている。計算ではこの点を重視し、最初に式(1)によって最大冷凍能力 $R_{QMax}[\%]$ を算出する。

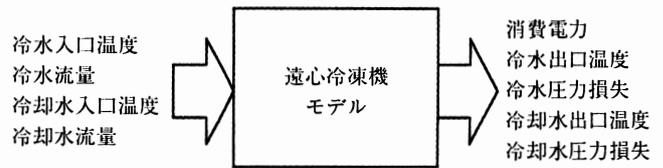


図-1 遠心冷凍機モデルの入出力

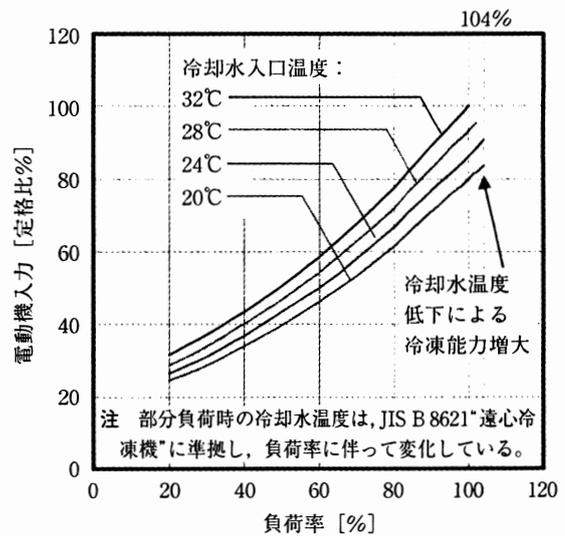


図-2 遠心冷凍機特性 A (固定速-標準)
(冷却水温度ごとの部分負荷特性)

$$R_{QMax} = 100 + 2(TW_{in} - TW_{in,S}) - 0.5(TW_{Cin} - TW_{Cin,S})$$

(ただし、 $R_{QMax} > 104$ のとき、 $R_{QMax} = 104$) ……(1)

ここで、

TW_{in} : 冷水入口温度[℃]

$TW_{in,S}$: 定格冷水入口温度[℃]

TW_{Cin} : 冷却水入口温度[℃]

$TW_{Cin,S}$: 定格冷却水入口温度[℃]

次に、消費電力 $W_{CR}[W]$ が式(2)によって算出される。

$$W_{CR} = W_{CR,S} * C_{Q-WC} * C_{WE} + W_{CR,A}$$

$$C_{Q-WC} = A_2 * R_{QE}^2 + A_1 * R_{QE} + A_0$$

$$\begin{pmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{00} & A_{01} & A_{02} \\ A_{10} & A_{11} & A_{12} \\ A_{20} & A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ TW_{Cin} \\ TW_{Cin}^2 \end{pmatrix} \quad \dots\dots(2)$$

ここで

$W_{CR,S}$: 定格電動機入力[W]

C_{Q-WC} : 負荷率・冷却水温度補正係数

C_{WE} : 冷水温度補正係数

$W_{CR,A}$: 補機電力[W]

R_{QE} : 冷凍機負荷率

$A_{00} \sim A_{22}$: 定数

なお R_{WE} は、入力項目の冷水入口温度と冷水流量からモデル内部で算出する。

冷凍能力の上限を式(1)によって求め、電動機入力を式

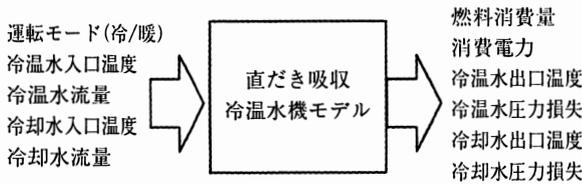


図-3 直だき吸収冷温水機モデルの入出力



図-5 冷却塔モデルの入出力

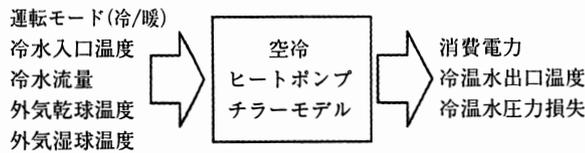


図-4 空冷ヒートポンプチラーモデルの入出力

表-3 冷却塔モデルに採用した特性式

機器の種類	名称	Index	作成方法
開放式冷却塔	37.5~32.0℃仕様	A	日本冷却塔工業会 技術委員会御提供による
	37.0~32.0℃仕様	B	
密閉式冷却塔	37.5~32.0℃仕様	C	
	37.0~32.0℃仕様	D	

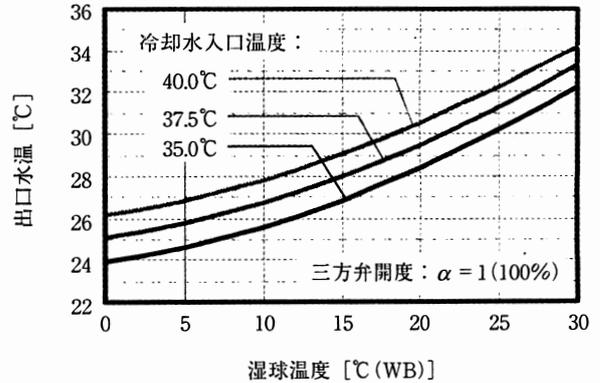


図-6 開放式冷却塔(37.5~32.0℃仕様)の特性 (冷却水入口温度変動時)

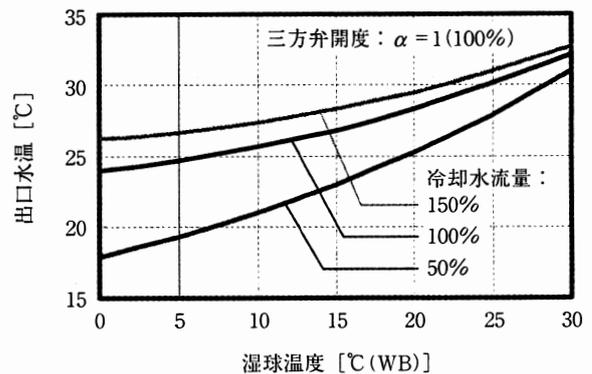


図-7 開放式冷却塔(37.5~32.0℃仕様)の特性 (冷却水流量変動時)

(2)によって求めた結果を図-2に示す。

(3) その他の冷凍機

その他の機器についても、メーカーから提供されたデータ、特性線図から作成した回帰式を用いてモデルを作成した。入出力は、水冷チラーは図-1に示した遠心冷凍機と同様であり、吸収冷温水機の場合は図-3、空冷ヒートポンプチラーの場合は図-4となる。なお、現状のモデルではいずれの機種も表-1に示した動特性パラメータを反映しておらず、今後はこれらを起動・停止時の遅れ特性に反映したモデル²⁾に改良していく予定である。

2.2 冷却塔

冷却塔モデルは開放式と密閉式の両方を対象とし、表-3に示すように計4種類の特性を採用した。モデルの入出力は図-5の通りであり、冷却水流量の変動および三方弁による冷却水温度制御に対応可能である。

各特性の計算方法は基本的に同一であり、冷却水出口温度 TW_{out} [℃] は次の式で算出される。

冷却塔本体出口温度(三方弁制御なしの場合の出口温度)：

$$TW_{out,CT} = (a_1 \cdot TWB_{in}^2 + b_1 \cdot TWB_{in} + c_1) \cdot c_1 \quad \dots\dots (3)$$

三方弁制御を有する場合の出口温度：

$$TW_{out} = TW_{out,CT} \cdot \alpha + TW_{in,CT} \cdot (1 - \alpha) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、

- a_1, b_1, c_1 : 冷却水入口温度の関数
- c_1 : 冷却水入口温度, 冷却水流量, 外気湿球温度の関数
- TWB_{in} : 外気湿球温度

α : 三方弁流量割合

a_1, b_1, c_1 は仕様によって異なる。

計算結果の例を図-6, 7に示す。図-6は、冷却水入口温度が変動した場合、図-7は冷却水流量が変動した場合の湿球温度と出口水温の関係を表している。出口水温はいずれの場合も湿球温度の低下に伴って低下し、図-6では冷却水入口温度、図-7では冷却水流量とともに低下する。これらの結果はいずれも実機と同様であり、妥当な結果が得られている。

今後は変风量への対応、大温度差仕様などの機種の追加を進めていく予定である。

2.3 ボイラ

ボイラについては、空調分野で一般に使用される小型貫流蒸気ボイラと真空温水ヒータを対象としてモデル化を行った。モデルの入出力を図-8に示す。

機器熱効率は加熱負荷率と給水温度により変動する。蒸

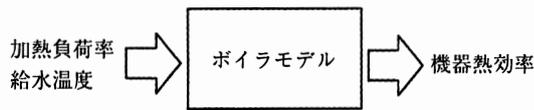


図-8 ボイラモデルの入出力

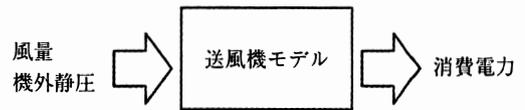


図-10 送風機モデルの入出力

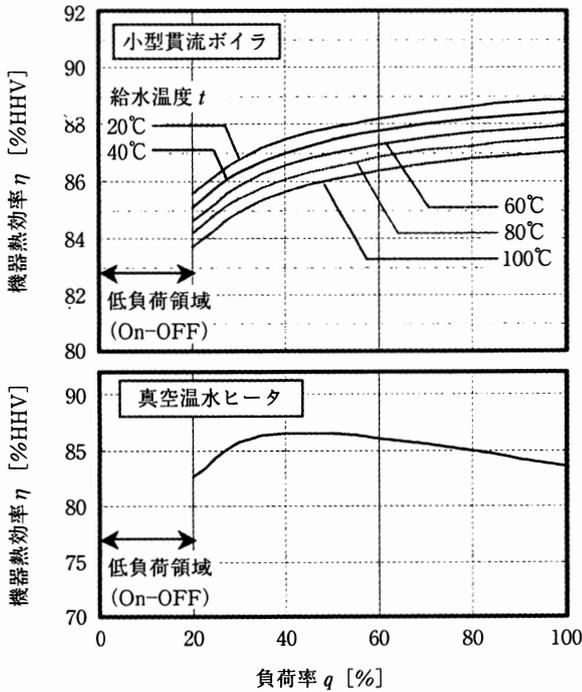


図-9 ボイラの負荷特性(例)

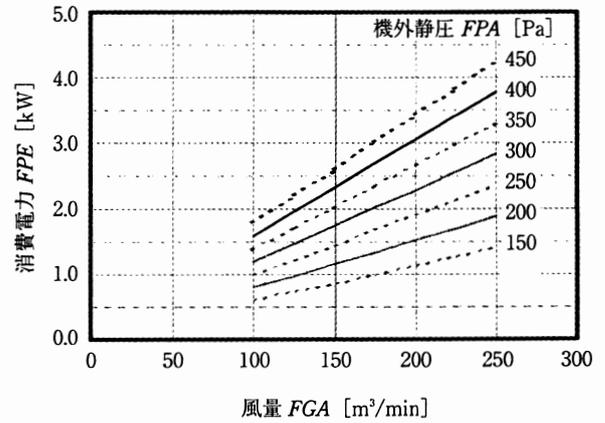


図-11 送風機モデルの特性(例)

気ボイラ、真空温水ヒータともにはほぼ同様の傾向であり、次式によってモデル化した。

$$\eta = -A/(q+B) + C(t-T) \quad \dots\dots(5)$$

ここで、

- η : 機器熱効率[%HHV]
- t : 給水温度[°C]
- A, B, C : 補正係数
- T : 定格条件の給水温度[°C](ボイラの種類により異なる)

式(3)による小型貫流蒸気ボイラ、真空温水ヒータの熱効率の計算結果を図-9に示す。機器熱効率は定格値に対しおおむね2%~4%の範囲で変動する。

低負荷領域では On-Off 運転となるが、起動、停止の動特性の再現は現時点では困難である。複数台数が連結され、運用される場合は各ユニットは稼働時は定格運転に近い運転になることから、再現の精度については、今後検討を要する。

2.4 送風機

今回開発対象とした送風機は、片吸込み型シロッコファンである。モデルの入出力を図-10に示す。今回の近似式では、プログラム使用時の入力を簡易にするため、送風機の呼び番号(#, No)による区別を行わない簡易モデルと

した。制御方式は、固定速および可変速に対応している。近似式は、メーカーヒアリングにより得られた送風機の特性データをもとに、以下の関係を求めて作成した。

$$FPA_t = f_1(FGA, FPA) \quad \dots\dots(6)$$

$$FEF = f_2(FGA) \quad \dots\dots(7)$$

$$FPPEEF = f_3(FGA) \quad \dots\dots(8)$$

ここで、

- FGA : 運転時風量[m³/min]
- FPA : 運転時機外静圧[Pa]
- FPA_t : 運転時機外全圧[Pa]
- FEF : ファン効率[%]
- $FPPEEF$: 電動機効率[%]

f_1, f_2, f_3 : 特性データから近似した関数

これらの式をもとに、 FPA_t, FGA, FEF よりファン軸動力を、さらにファン軸動力と $FPPEEF$ より消費電力を求めるよう定式化した。

上記モデルによる、送風機特性の計算結果を図-11に示す。なお今回の全圧効率の近似式は、呼び番号を区別しない簡易モデルとしたため JIS B 8331 における全圧効率特性などは考慮されておらず、今後検討を要する。

2.5 ポンプ

今回の開発対象としたポンプは、4極および2極の小型渦巻きポンプである。モデルの入出力を図-12に示す。制御方式は、固定速および可変速に対応している。

特性モデルについて、(社)日本産業機械工業会にポンプ特性のデータの提供とその算定式(以下の2項目)の確認をいただいた。

- 1) JIS B 8313-91(小型渦巻きポンプ)による定格時流量 GW_s と定格時ポンプ効率 EF_s の関係の定式化

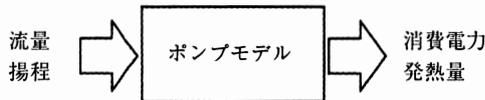


図-12 ポンプモデルの入出力

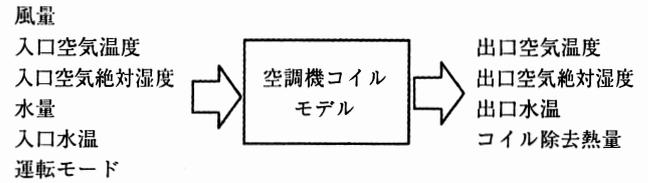


図-14 空調機コイルモデルの入出力

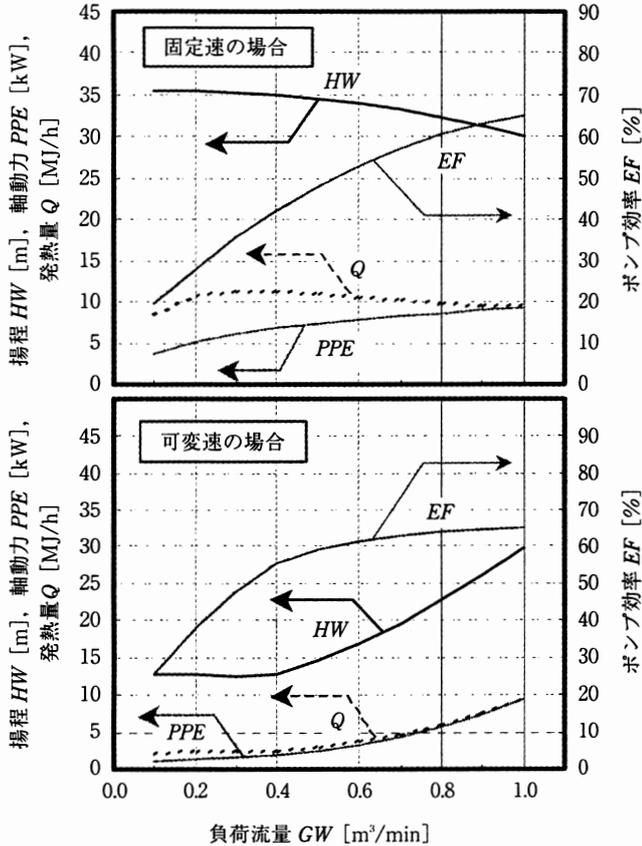


図-13 ポンプモデルの特性(定格流量: 1 m³/min の例)

2) ヒアリングデータによる流量 GW -揚程 HW の特性, 流量 GW -ポンプ効率 EF 特性の, 定格値に対する変化率とした定式化

固定速の場合には上記特性式から, 可変速の場合には上記特性式に加えて, 必要周波数を内部にて計算し, 消費電力および発熱量を算出する。

上記モデルによる可変速制御時のポンプ特性の計算結果を図-13に示す。

2.6 空調機コイル

空調機コイルでは, プレートフィンコイルを対象とした。計算モデルでは, 空調機メーカーのコイル選定計算で利用されることの多い, 伝熱係数と湿り面係数を用いた一般的な方法を採用した。伝熱係数および湿り面係数の決定パラメータはメーカー発行のカタログから求めた。モデルの入出力を図-14に示す。

本モデルではまず, コイル除去熱量(顕熱)を仮定値として与え, 顕熱処理に必要なコイル列数を算出する。算出コイル列数が設定コイル列数と一致するまで収束計算を行

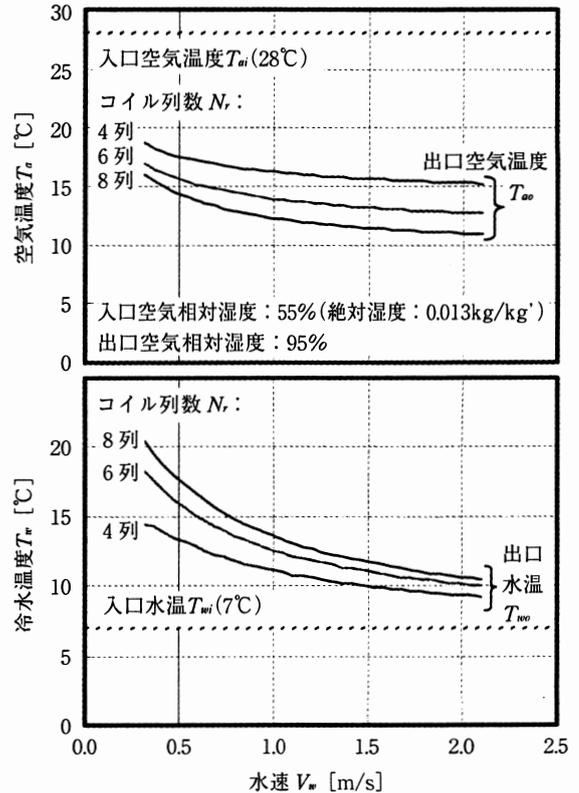


図-15 空調機コイルモデルの特性(冷却コイルの例)
(管内水速とコイル列数による出口温度変化)

い, 決定したコイル除去熱量(顕熱)から水・空気の出条件を求める。コイル列数は下式より算出される。

$$N_r = \frac{Q_t}{F_a \times K_f \times WSF \times MED} \quad \dots\dots (9)$$

$$\frac{1}{K_f} = \frac{1}{K_{fa} \times V_w^{K_a}} + \frac{1}{K_{fc} \times V_a^{K_c}} + r_0 \quad \dots\dots (10)$$

$$WSF = WS_a \times SHF^2 + WS_b \times SHF + WS_c \quad \dots\dots (11)$$

$$MED = \frac{(T_{ai} - T_{wo}) - (T_{ao} - T_{wi})}{\ln((T_{ai} - T_{wo}) / (T_{ao} - T_{wi}))} \quad \dots\dots (12)$$

ここで,

- N_r : コイル列数
- Q_t : コイル除去熱量(顕熱)
- F_a : 正面面積
- K_f : 伝熱係数
- $K_{fa} \sim K_{fc}$: 伝熱係数決定パラメータ
- r_0 : 管壁の熱抵抗
- V_w : 水速

V_a	: 風速
WSF	: 湿り面係数
SHF	: 顕熱比
$WS_a \sim WS_c$: 湿り面係数決定パラメータ
MED	: 対数平均温度差
T_{ai}	: 入口空気温度
T_{ao}	: 出口空気温度
T_{wi}	: 入口水温
T_{wo}	: 出口水温

空調機コイルモデルによる加熱時および冷却時の計算結果を図-15に示す。横軸の水速は水量に比例していることから、いずれも流速の増加に伴って冷温水の温度差が小さくなっており、妥当な結果である。

おわりに

本稿で示した各機器の特性式については、WG内において相互チェックを完了した。現時点では、BESTのプログラムへの機器特性の組込みが一部未了であるなどの問題が残っているものの、機器特性を標準化することによりメンテナンスなどは容易になったと考えられる。今後は特性式を追加して、汎用性を高める方針である。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびに建築・空調設備作業部会(石野久彌部会長)、機器特性WG(助飛羅力主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。機器特性WG名簿(順不同)主査:助飛羅力(三機工業)、幹事:柳井 崇(日本設計)、委員:阿部裕司(竹中工務店)、伊藤祥一、丹羽勝巳(以上、日建設計)、工月良太(東京ガス)、熊谷雅彦(東京電力)、後藤 裕(三機工業)、品川浩一(日本設計)、濱田和康(山武)、藤居達郎(日立製作所/日本冷凍空調学会)、オブザーバー:野原文男、國吉敬司(以上、日建設計)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)また、機器特性調査にご協力いただいた日本冷凍空調工業会、日本冷却塔工業会、日本産業機械工業会、データの提供などご協力いただいたメーカー各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省・公共建築協会:建築設備設計基準 平成18年度版(2006-9)、全国建設研修センター
- 2) 村上周三・石野久彌・郡 公子・長井達夫・牧村 功・野原文男:外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュ

レーションツール“BEST”に関する統合的研究、空気調和・衛生工学、82-1(2008-1)、pp.67~73

- 3) (社)空気調和・衛生工学会 コミッショニング委員会コミッショニングツール小委員会 委員会成果報告書:コミッショニングツールの開発とその活用に関する調査研究(2008-3)、pp.84~93
- 4) (社)日本冷凍空調工業会 ターボ冷凍機技術専門委員会:ターボ冷凍機 ハンドブック(2006-6)、p.17
(2008/8/26 原稿受理)

Database of Appliance Characteristics

Chikara Sukehira*¹
Tatsuo Fujii*²

Synopsis BEST working group of appliance characteristics has proceeded the database development and modeling of various appliances. To combine the individual characteristics and maintenance performance, the database is consist of an appliance database and characteristic models. The individual specifications of each model are recorded in the appliance database. The characteristics of appliances are grouped into some segments according to their characteristics and mentioned in the characteristic models. In these models, input and output are defined for each model and their relations are described as physical model or fitting curve model. In this report, the structure of the appliance data, the outlook of each model and the example results of calculation are explained.

*¹ Sanki Engineering Co., Ltd., Member

*² Hitachi, Ltd., Member



助飛羅力 すけひらちから
昭和25年生まれ/出身地 鳥取県/最終学歴 神戸大学大学院工学専攻/学位 工学修士/資格 技術士(衛生工学)



藤居達郎 ふじいたつお
昭和41年生まれ/出身地 北海道/最終学歴 北海道大学大学院工学研究科衛生工学専攻/学位 工学修士

給排水衛生システムのシミュレーション法

大塚 雅之 関東学院大学 正会員

小瀬 博之 東洋大学 正会員

前 真之 東京大学 正会員

長谷川 巖 (株)日建設計 正会員

キーワード：給水システム (Water Supply System), 雨水利用システム (Rainwater Utilization System), 給湯システム (Hot Water Supply System)

給排水衛生システム分野では、主に、給水システム、雨水利用システム、給湯システムの運用時のエネルギー消費量や給水・給湯使用量を計算でき、省エネルギー化と省資源化に寄与できる計算ツールの開発を目的とする。本報では、まず給排水衛生システム計算の体系化の概要を説明し、前述の三つの設備システムの計算を行ううえでの基本フレームを構成する計算モジュールの概要を中心に解説し、検討段階ではあるが幾つかの計算例について紹介する。

はじめに

給排水衛生設備分野においては、各設備システムの負荷計算法や管径決定法に関しては、本学会 SHASE-S 206 にも各種負荷算法が紹介されており、そこでは瞬時最大負荷の計算が主とされている。しかし、実際に各種設備システムが設計され、それらが運用された場合の経時変化に伴う使用水量の変化や給排水設備機器でのエネルギー消費量を計算するシミュレーションツールは開発されていない。また、例えば、既存の給排水衛生設備システムを改修する際にも、従来型の衛生器具を節水型に取り変えた場合の節水効果やポンプなどのエネルギー消費量の削減効果なども試算できるツールがないことが課題であった。この点は、給排水衛生設備分野の研究開発の発表の場である CIB W 062 での研究動向をみても指摘でき、給排水衛生設備分野が空調設備分野に比べ大きく立ち遅れたところでもある。

本プロジェクトでは、気象、建築躯体、空調設備、電気設備の各間とのデータの交換や連成計算を行いながら給排水衛生システムで発生する負荷変動に対し消費させる資源量、すなわち給水・給湯使用量を、また、それに伴うシステム運用時のエネルギー消費量を計算できるシミュレーションツールを開発することを目的とした。

1. 給排水衛生システムのシミュレーションツール開発のマクロデザイン

図-1 に、給排水衛生システムの計算ツール全体の開発フローを示す。その要点は以下のとおりである。

1.1 給水・給湯の負荷パターンにより運用時の給水・給湯使用量とエネルギー消費量の計算を一貫して行う

衛生器具の種類、1人あたり日使用水量、時間負荷パターン、建物形状などを入力することで、時刻別給水給湯負荷パターン、給水給湯使用量(月間、年間)が算出できるものとする。それらの値と各種給水・給湯システムにおけるポンプ、熱源機などの機器特性データを用いて計算することで、月間・年間のポンプ電力消費量、衛生器具での電力消費量、給湯の電力・ガス消費量を一貫して計算させる。

1.2 既往の文献値データや研究成果も活用でき、今後も更新が可能

便覧などに定める給水・給湯使用量などの過去の原単位データのみではなく、例えば節水型器具へ変更する場合の消費量の削減などにも対応でき、データのフレキシブルな入力変更や、更新が可能であることとする。また、今まで用いられてきた定量的原単位データのみではなく、建物用途ごとに各種負荷変動パターンを用意し、動的な計算を可能とする。

1.3 資源量(水使用量・資源量)とエネルギー消費量を同時に算出する

1.1, 1.2 を考慮し、建物内で消費される水使用量や将来的には、ごみ量(一般廃棄物)などの資源量、給排水システムを運転した場合にポンプ、衛生器具、給湯機器システムなどの電力、ガスのエネルギー消費量も算出できるものとする。

1.4 給水、給湯、雨水利用の各システム計算を一体的に解く

計算対象システムは給水、給湯、衛生器具、排水、ちゅう房機器、排水再利用、雨水利用、水景施設、プール、ご

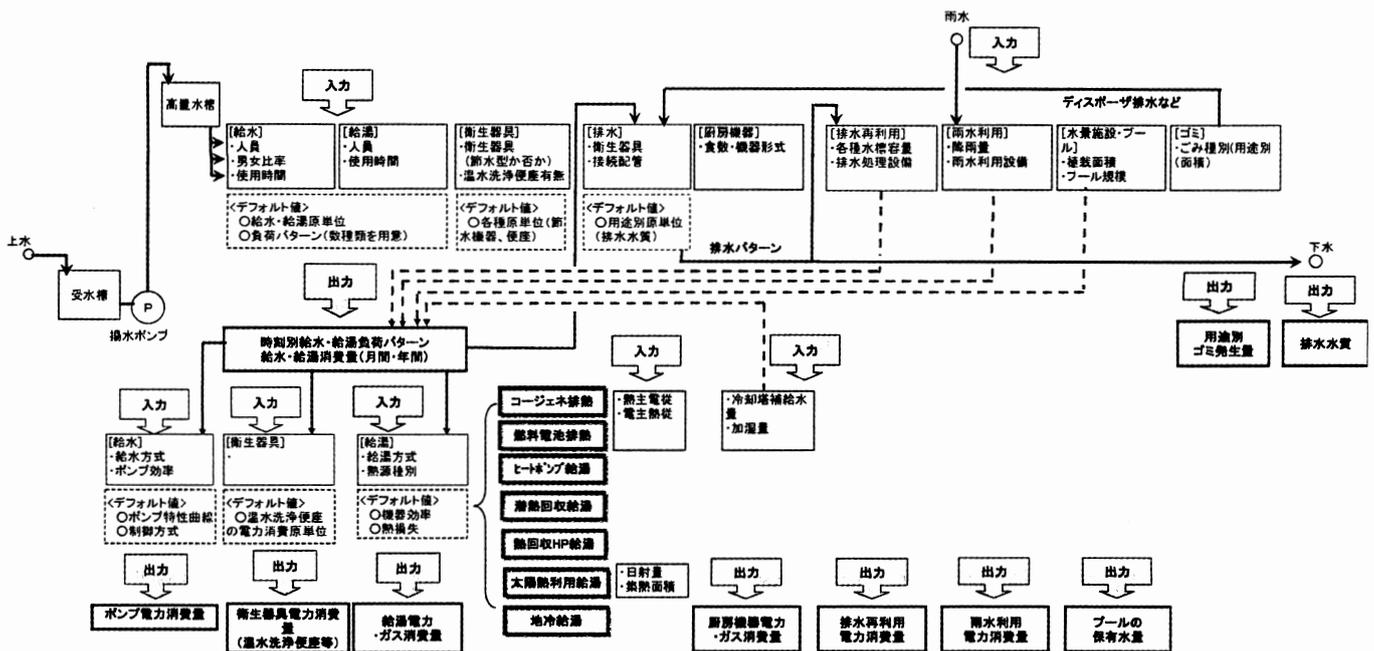


図-1 給排水衛生システムのプログラム全体開発フロー

み処理などとする。建物側での入力条件は、1.1で述べたものと、“BESTの気象データ”で述べられた気象データより降水量のデータなどを得て前記システムを一体的に計算する。最初は、最も基本となる給水、給湯システム、雨水利用システムの計算から着手した。

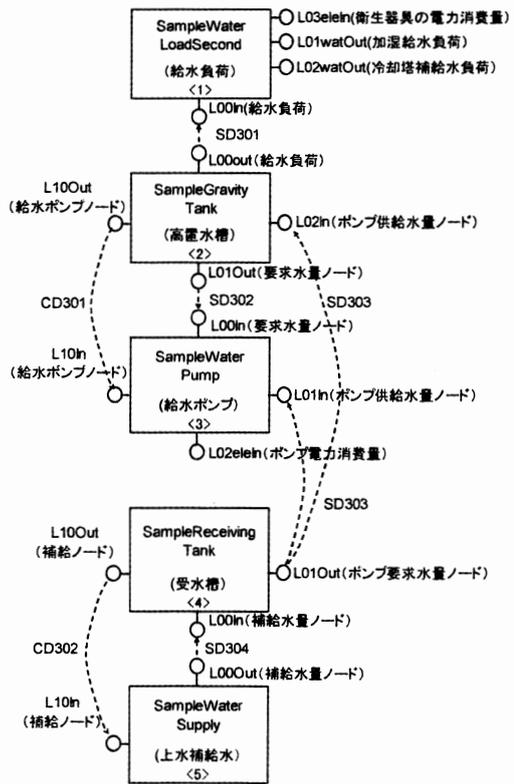
1.5 建築、空調、電気設備と連成して解く

建物の形状は、給水・給湯システムの計算では配管ルート決定に影響する。また、空調用の冷却塔補給水量や加湿給水量、給湯設備でのコージェネレーションシステムの排熱利用など、給排水衛生システムに関連して計算する事項もある。よって、単に給排水衛生システムを他の設備と独立させて計算するのではなく、建築、空調、電気設備と関連部分を連成させて計算できるデータのやり取りのシステムを備えることとする。また、雨水利用システムでは降雨量が、太陽熱集熱システムを給湯に用いる場合には、日射量データが計算に必要な。本プロジェクトの一環として整備される豊富な気象データを活用することとする。

2. 各種システムと計算モジュールの考え方

一般の事務所ビルを想定した場合の計算モジュールについて、以下に説明する。図-2に、給水システムの計算での各モジュール構成と結合状態を示す。給水負荷の算定から高置水槽での水位変動、給水開始水位の設定によるポンプの起動、ポンプの運転に伴う受水槽の水位変動、受水槽への給水補給という計算順序にて、給水負荷、水槽やポンプなどの機器類の計算を計算時間間隔ごとに実施し、水位変動状態や電力消費量を算出する。

図-3に、雨水利用システムの計算での各モジュール構



注) ◊内の数字は計算順序を示す。
図-2 給水システムのモジュールの構成と結合 (高置水槽方式の場合)

成と結合状態を示す。建物屋上から雨水集水装置を通じて、雨水が雨水貯留槽に流入し、雨水貯留槽の満水時は、雨水遮断装置により屋外の排水ますを通じて排水される。雨水貯留槽の水は、雑用水受水槽の水位が設定した水位以

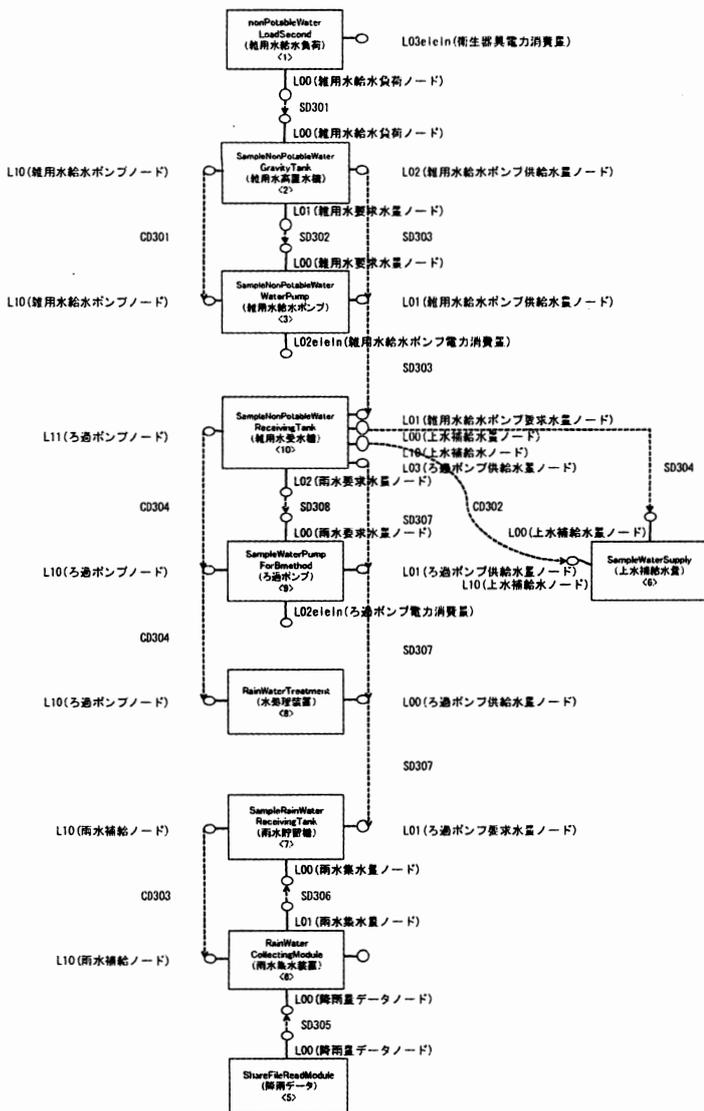


図-3 雨水利用システムのモジュールの構成と結果

下になると、ろ過ポンプ(送水ポンプ)が起動して、水処理装置を通して雑用水受水槽に流入する。雑用水高置水槽は、雑用水給水負荷(便器洗浄水の使用)によって水位が変動し、設定した水位以下になると雑用水給水ポンプが起動して、雑用水受水槽の水が雑用水高置水槽に揚水される。雑用水給水ポンプから先のモジュールは、図-2の給水システムと同じ計算方法を用いる。雑用水給水ポンプは給水ポンプと、雑用水高置水槽は高置水槽と、また、雑用水給水負荷も給水負荷と各々考え方は同じである。また、降雨データについては、気象データから降水量を取得できるようにしている。

給湯システムについては図-4の中央式給湯システムを想定し、その計算フローを図-5に示す。また、図-6にその詳細計算の各モジュール構成と結合状態を示す。

消費量・負荷モジュールは、(給湯消費量モジュール、給水モジュール、先止まり配管モジュール、給湯負荷モ

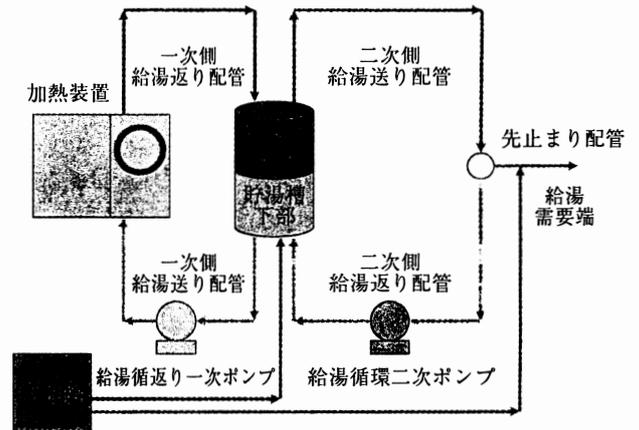


図-4 標準で想定する給湯システム

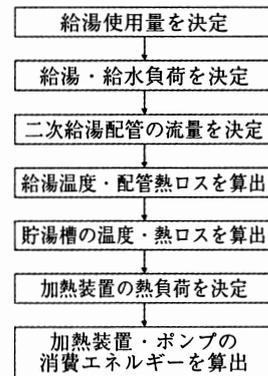


図-5 各時間ステップにおける計算フロー

ジュール、給水負荷モジュール)から、配管モジュールは、(二次側給湯戻り配管モジュール、二次側給湯送り配管モジュール、一次側給湯送り配管モジュール、一次側給湯戻り配管モジュール)から構成される。それ以外に、貯湯槽(上部、下部)、加熱装置、ポンプなどの各モジュールがある。

3. 設備設計・設備運用ツールとしての利用方法

給水システムの利用方法の例について、まず給水負荷の違いによる計算結果を図-7に示す。これは、衛生器具の吐水量を変えた場合の節水効果と、これに伴うポンプ電力消費量の計算例を示したもので、節水器具を採用することにより、水資源量の削減効果のみならず、電力消費量の削減効果もビジュアルに表示することができる。これ以外にも各種給水システム、すなわち高置水槽方式とポンプ直送方式によるエネルギー消費量の差異の比較を行うこともできる³⁾。また図-8は、効果的な高置水槽と受水槽の容量変動を決定するために上水補給水と各水槽での水量変動のシミュレーションを行ったものである。これによって適正なポンプと水槽の有効容量の算定を行うことにも活用できる³⁾。また、本報では省略するが雨水利用システムでは、

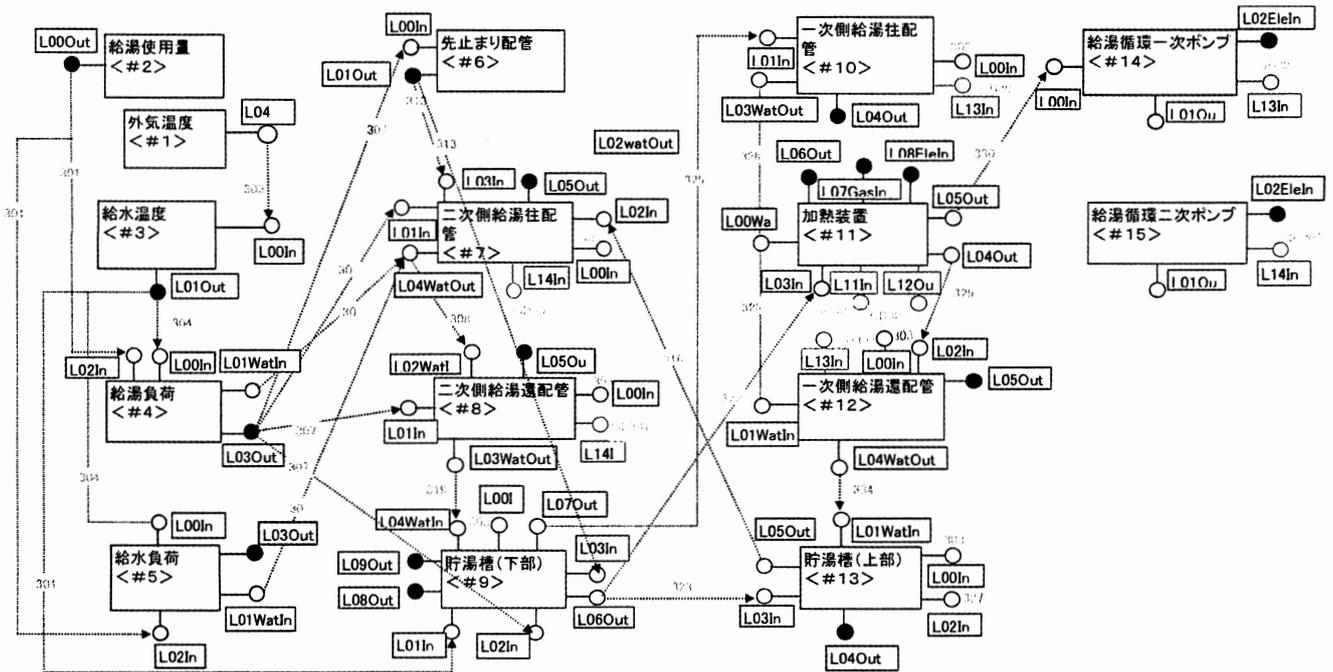


図-6 給湯システムの場合モジュールの構成と結合

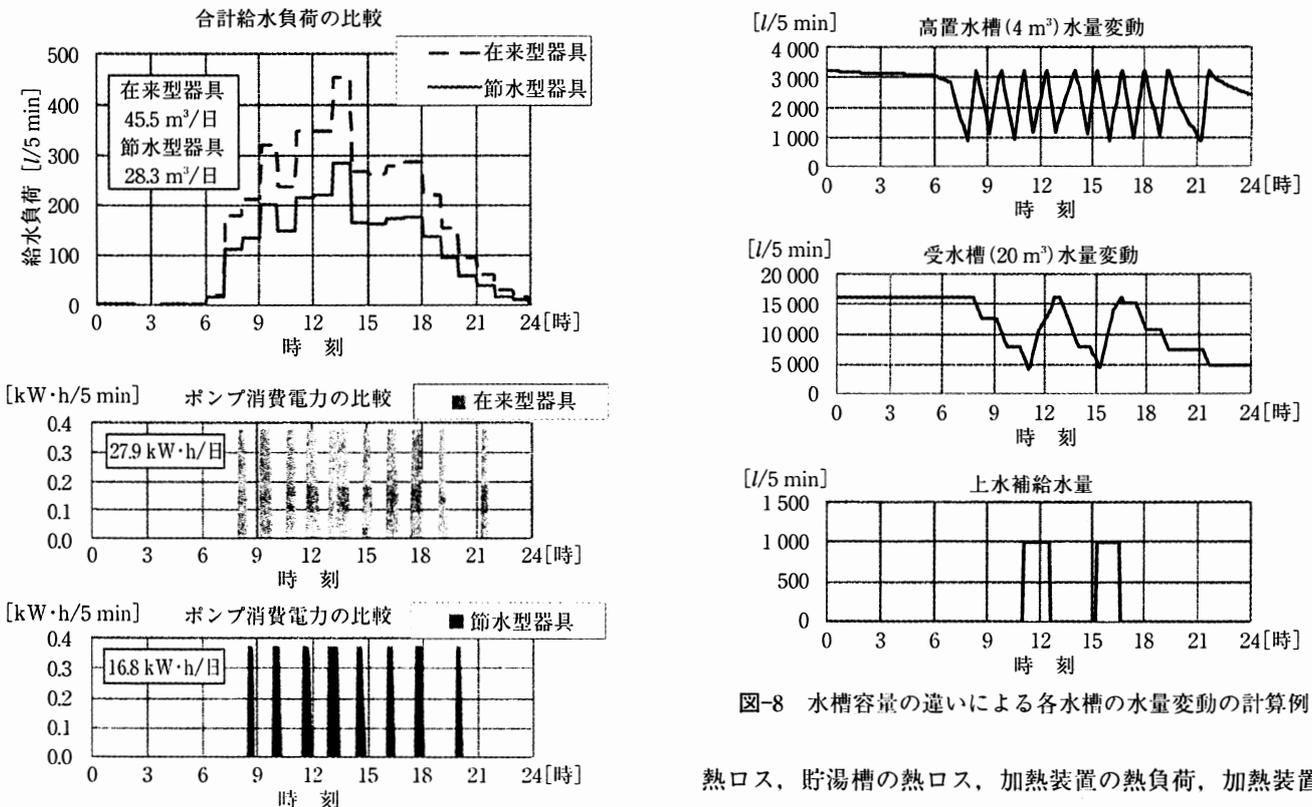


図-8 水槽容量の違いによる各水槽の水量変動の計算例

図-7 節水効果とポンプ電力消費量 (高置水槽式の場合)

熱ロス、貯湯槽の熱ロス、加熱装置の熱負荷、加熱装置や循環ポンプの消費エネルギー量も計算できる⁵⁾。

おわりに

給排水衛生システムの計算ツールとして、主要となる給水システム、雨水利用システム、給湯システムのシミュレーション体系について解説した。それぞれの計算精度を高めつつ、今後は他の給排水衛生システムの計算を可能に

降雨量、集水面積、雨水貯留槽、雑用水槽の容量変化に伴うポンプのエネルギー消費量の変化や上水代替率なども計算が可能である⁶⁾。

同様に、給湯システムに関しては、設計用給湯配管での

していく予定である。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびに衛生作業部会の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。衛生設備作業部会名簿(順不同)部会長：大塚雅之(関東学院大学)、幹事：長谷川巖(日建設計)、委員：小瀬博之(東洋大学)、前真之(東京大学大学院)、飯田芳史(長谷工コーポレーション)、菊池健二(2007.3までは老沼広之)(三機工業)、小原直人(ピーエーシー)、薨岡賢悟(西原衛生工業所)、草深隆道(東邦ガス)、久保田祥彰(大成建設)、佐々木真人(日本設計)、武田成司(齊久工業)、土井章弘(竹中工務店)、村江行忠(戸田建設技術研究所)、宮本和弘(東京電力)、協力委員：久野岳人、曾我部伸雄(以上、INAX)、梶田卓司(2007.3までは山内大助)(TOTO)、事務局：野原文男、藤井拓郎(以上、日建設計)、諏佐庄平、生稲清久(以上、建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

- 1) 大塚雅之ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その4)給排水衛生システムの計算体系、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9)
- 2) 長谷川巖ほか：同上(その5)給排水衛生システムの計算法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007-9)
- 3) 大塚雅之ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その36)給排水システムプログラムの概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008-8)
- 4) 小瀬博之ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その38)雨水利用プログラムの概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008-8)
- 5) 前 真之ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その37)給湯プログラムの概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008-8)

(2008/8/25 原稿受理)

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST

Outline of Calculation Method for Plumbing Systems

Masayuki Otsuka*¹

Hiroyuki Kose*²

Masayuki Mae*³

Iwao Hasegawa*⁴

Synopsis This study aims to develop a calculation tool, which is able to simulate overall energy consumption of air-conditioning systems, electric systems and plumbing systems for buildings. This paper outlines the framework and system that facilitate especially the development of a simulation tool, which enables the design of plumbing systems as well as calculating energy and water consumption spent on system operation while contributing to the conservation of energy and water sources.

(Received August 25, 2008)

*¹ Kanto Gakuin University, Member

*² Toyo University, Member

*³ The University of Tokyo, Member

*⁴ Nikken Sekkei Ltd., Member



大塚雅之 おおつかまさゆき

昭和34年生まれ/出身地 静岡県/最終学歴 東京理科大学大学院理工学研究課/学位 工学博士/専門 給排水衛生設備/その他 空気調和・衛生工学会給排水衛生設備委員会委員、空気調和・衛生工学会論文賞ほか



小瀬博之 こせひろゆき

昭和45年生まれ/出身地 埼玉県/最終学歴 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻博士後期課程修了/学位 博士(工学)/専門 水環境計画、給排水衛生設備、環境まちづくり/その他 日本建築学会水環境運営委員会主査、かわごえ環境ネット理事長



前 真之 まえまさゆき
昭和50年生まれ/出身地 広島県/最終学歴 東京
大学大学院建築学専攻/学位 博士(工学)/専門 住
宅のエネルギー消費実態調査と省エネルギー技術



長谷川巖 はせがわいわお
昭和43年生まれ/出身地 神奈川県/最終学歴 東
京工業大学大学院総合理工学研究科社会開発工学専
攻/学位 修士/専門 建築設備計画・設計ほか

電気設備のシミュレーション法

滝澤 総 (株)日建設計 正会員

キーワード：電気設備 (Electrical Installation), 照明システム (Lighting Systems), 電源システム (Electrical Power Supply Systems), エレベータ (Elevator)

電気設備のシミュレーションは、電力を中心としたエネルギーの流れの総合的な把握、建築・気象条件との連動、機器・システムの特性や運用パターンとエネルギー消費量の関係把握、建築、空調とのさらなる連成、という四つの目的を掲げて開発を行っている。対象は、電源 (変圧器、太陽電池、盤類)、照明、コンセントおよびエレベータの6モジュールである。本報では、電気設備のマクロデザインとプログラムの概要、要素モジュールおよび活用方法について紹介する。

はじめに

電気設備分野では、視環境解析を目的とした照明・採光シミュレーションや、エレベータのサービス検討を目的とした交通計算シミュレーションツールなどの使用頻度が高い。エネルギー消費を扱ったものとして、省エネルギー法における照明エネルギー消費係数 CEC/L, エレベータにおける CEC/EV があり、計算方法や諸係数が整理されている。CEC 計算では、高効率変圧器や自然エネルギー発電、コージェネレーションシステムなどのエネルギー効率化設備を導入した場合の反映の枠組みも用意されているが、エネルギー消費量を計算するといった形での使用頻度は少ない。また、電気設備学会の地球環境を考慮した電気設備調査研究委員会¹⁾では、環境負荷低減手法 14 技術を建物に適用した効果として、エネルギー消費量、LCCO₂ および LCC などを試算しているが、年間値で評価していること、空調設備との相乗効果を考慮できていないなど、改善の余地がある。その他、太陽光や風力といった発電システム、コージェネレーションシステムの個々の計算ツールも普及しているが、建物全体を扱える枠組みにはなっていないという現状がある。

本プロジェクトでは、既往研究の知見を生かしながら、業務用建物における電気設備のエネルギー消費量を算出し、省エネルギーに寄与できるシミュレーションツールを開発することを目的とした。ここで電気設備とは、エネルギー供給設備である電源システム (発電装置などを含む)、電力供給を受けサービスを提供する照明システム、搬送システムなどとする。

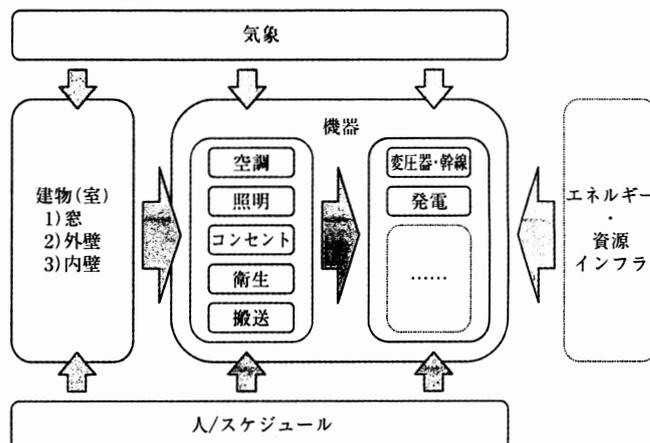


図-1 電気設備からみたエネルギー計算のマクロデザイン²⁾

1. 電気設備のマクロデザインとプログラムの構成

マクロデザインを図-1に示す。例えば照明モジュールは、日射(気象)が室(建物)に寄与する自然採光量を計算したうえで、照度確保など環境形成に必要な挙動を行い、見合う電力を電源システム変成器・幹線モジュール、さらに上位のインフラに対し要求する、といった相関となる。

マクロデザイン受け、開発した具体的なモジュールとプログラムの構成を図-2に示す。電力の流れに沿って、盤類(受電部、配電盤、動力制御盤、分電盤など)、変圧器、各種発電システムモジュールから電源システムを構成し、これに負荷機器(照明、コンセント、エレベータ、熱源、空調、衛生など)モジュールを接続して電力量の計算を行う。図-2は、高圧受電設備+低圧発電機器(CGS, 太陽電池)の例であるが、特高受変電設備があれば上位階層を1段追加する、発電設備が高圧出力であれば接続箇所を上位に変更する、などで対応する。

なお、BESTにおいて電力とは、BestElectricityというクラスで扱い、有効電力(この時間積算値が消費電力量)、電圧、電流、相数、力率、周波数の状態を有したものである。以下において“消費電力量”と簡易記述するが、BestElectricityというクラスを指すものとする。

2. 要素モジュールとテンプレート³⁾

BESTのモジュール基本記述(前出)に従い、各要素モジュールと電源系を統合するテンプレートについて説明す

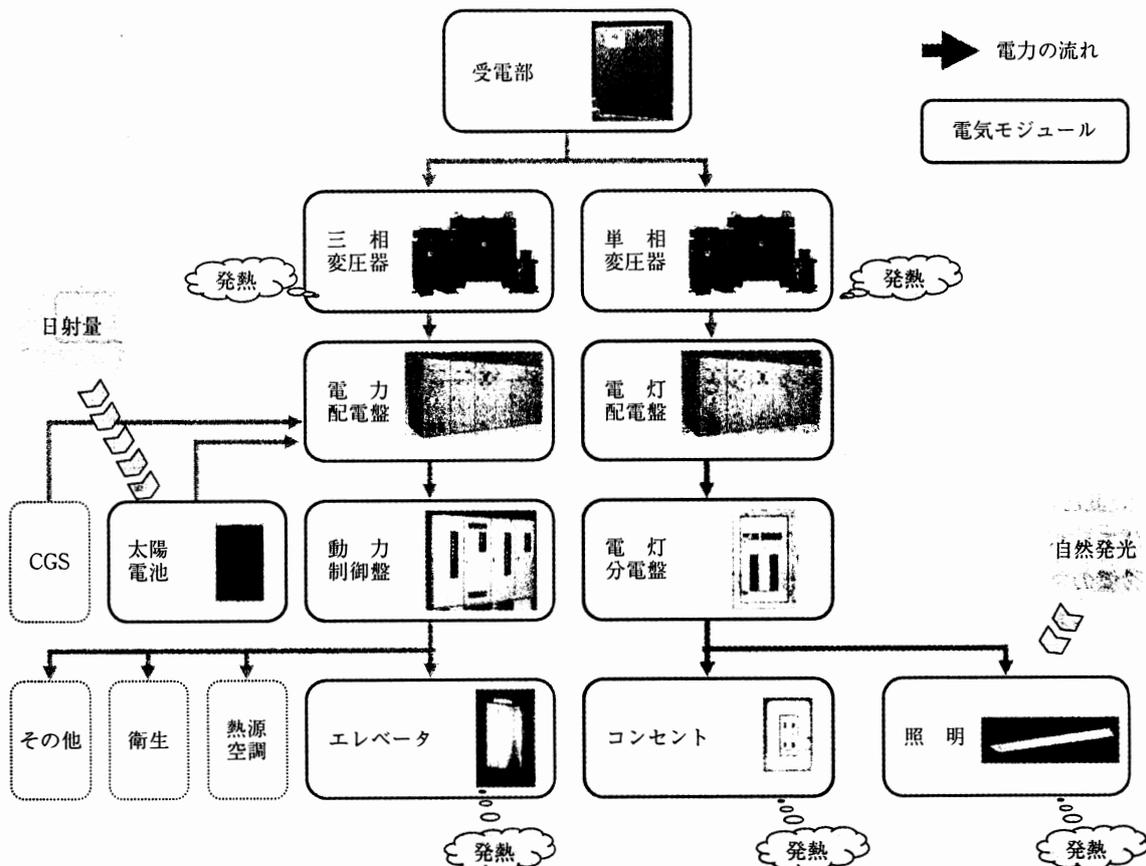
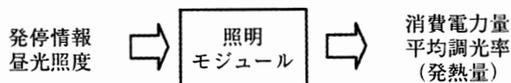


図-2 電気設備プログラムの構成(開発モジュール)



状態	センサごと直下の昼光照度, 人工照明による直接照度, 間接照度, 調光率
パラメータ	設定照度 [lx] 制御種別(昼光連動/適正照度補正, 在室検知[在室パターン], なし) 照明器具形式(配光分布, IESNA 標準形式), 定格消費電力[W], 電力-調光率特性, 保守率, 器具, センサ配置 室形状・作業面高さ, 室反射率 熱換算係数(以下, は記載省略)

図-3

る。

2.1 照明モジュール

照明モジュールには, 照明器具, センサなどの情報を入力しフィードバック制御を行う場合の消費電力量を算出する詳細法と, 単位消費電力に需要率スケジュールを乗じて電力量を算出する在来法の2種類がある。ここでは詳細法について説明する(在来法は2.2に準じる)。

(1) 前処理

1) センサ(計 n 台)ごとに制御する照明器具群を設定

する(群数も n となる)。

2) 照明器具群の調光率 x とセンサごと直下の直接照度 E の関係式を求める。具体的には, センサ直下の直接照度と制御配下以外を含めた照明器具群からの出力の関係を示す行列の逆行列の算出となる。

3) 間接照度の平均寄与率 P を求める。ここで, P は部屋全体の直接照度に対する間接照度の割合とし, 間接照度は作業面切断公式を用いて算出するものとする。

(2) 人工照明の照度, 調光率計算

1) センサ位置の昼光照度 E_{dn} を取得し, 設定照度 E_{setn} との差に, 間接照度の寄与率 P を減じ人工照明による必要照度 E_n を求める(負になった場合はゼロ)。

$$E_n = (E_{setn} - E_{dn}) / (1 + P)$$

2) 前処理(1)で算出した逆行列を用いて E_n に対応する各群の調光率 x_m' を計算し, 保守率 M で割り戻して, 保守率を考慮した調光率 x_m とする(調光率が最小出力を下回る場合は, 最小出力値)。

(3) 消費電力計算

1) 照明器具の調光-電力特性から調光率 x_m に対応した電力率 f_m を求め, 定格消費電力に乗じて当該照明器具の消費電力 W_m [W] を算出する。

2) 各群の台数を乗じたうえで、部屋全体(n 群)を集計し、さらに在室制御係数を乗じ照明の総消費電力とする。

a) 照明消費電力量 = $\Sigma \Sigma W_m \times$ 在室制御パターン

b) 照明発熱量 = 照明消費電力量 \times 発熱換算係数

(以下、発熱量への換算の考えはモジュール共通)

2.2 コンセントモジュール

コンセントモジュールは、従来シミュレーションと原則同様であって、定格消費電力原単位[VA/m²]、負荷率スケジュールをパラメータに電力量を算出することとしている。

コンセント消費電力量 = 定格消費電力原単位 \times 面積 \times 需要率 \times 負荷率パターン

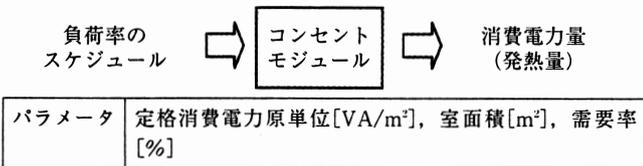


図-4

2.3 変圧器モジュール

変圧器モジュールは、負荷電力に応じて変化する変圧器負荷率を状態変数として算出する。

変圧器損失電力量 = 無負荷損 + 負荷損 \times 変圧器負荷率²

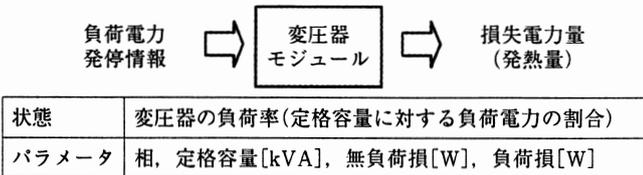


図-5

2.4 盤モジュール

盤モジュールは受電部、配電盤、動力制御盤、分電盤など電力を分配する箇所に使用する。名称は異なるが機能は同じで、二次側の電力を集計し一次側へ出力する。

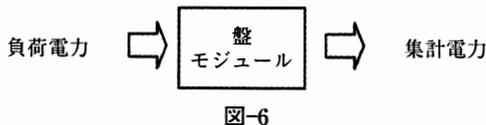


図-6

2.5 太陽電池モジュール

太陽電池モジュールは、アレイの公称出力にアレイへの日射量に乗じて発電量を算出する。ここで、アレイ日射量としては気象データ(法線面直達日射量、水平面直達日射量、太陽方位角、太陽高度)をアレイ設置角、方位角に対しての入射となるよう変換する必要がある。また、各種補正係数を考慮し、最終的な発電電力量が算出される。BEST では気象データとして日射量のみならず、太陽方位

角、太陽高度データを有しているため、補正のためのグラフ読取りが不要となり、原理式に基づく算出が可能となっている。

太陽電池発電電力量 = アレイ公称出力 \times アレイ日射量 \times 補正係数

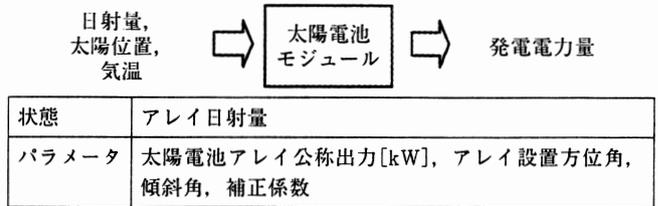


図-7

2.6 エレベータモジュール

エレベータモジュールは、省エネルギー法におけるCEC/EVの計算式をベースとして消費電力量を算出する。これは、エレベータの使用状態が、群台数、階間連絡の強さ、階段の使いやすさなどにより異なって平均的な使用勝手の知見が乏しく、他に適切な研究成果を入手できなかったためである。BESTでは、実態に合わせた調整係数、群制御や部分停止など省エネルギーオプションを反映できる係数を乗じる構成としている。

年間エネルギー消費電力量 = Σ (積載質量 \times 速度 \times 制御係数 \times 運転時間 \times 台数) / 860 \times 調整係数 \times 省エネルギー係数

エレベータ消費電力量 = 年間エネルギー消費電力量 \times 負荷パターン

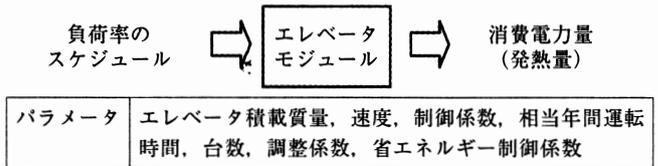


図-8

2.7 電源テンプレートの検討

通常の電気設備では、電圧降下や配線サイズなどを考慮し、分電盤は各階ごと、動力制御盤は各機械室ごとに設けるなど、建物全体で相応の面数の盤が必要となる。初期段階での検討には、変圧器の容量、台数を含めて、図-9のような電源テンプレートを設定することで、容易に電源システムの損失電力量を把握できる仕組みが必要と思われる。

3. プログラムの活用方法と将来展望

3.1 電源システム設計・運用のガイドとして使う

変圧器や幹線の容量設計にあたっては、機器の負荷特性や運用パターンなどによる需要率の影響が大きい。需要率が不明な場合、将来の負荷増設などを見越して安全側に設

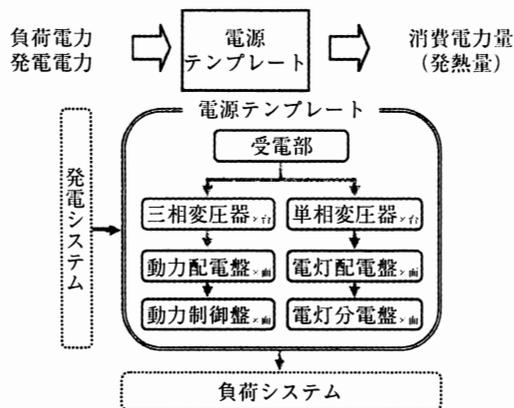


図-9 電源テンプレートの考え方

計することが多く、機器未決定段階の安全率、需要率の安全率、必要容量の上位で電源機器を選ぶことの余裕などの相乗効果で設備容量が大きくなることが多い。機器特性や使用・運用状態を推定できる場合にBESTにて解析を行うと、変圧器や幹線容量低減の可能性がある。

BESTでは、時刻ごと、受電点、変圧器単位、幹線単位、盤単位、機器単位など、さまざまなレベルでの電力量の把握ができる。また、各サブシステムの機器選択も可能であるので、例えば電気設備設計者が、設計初期段階で、熱源種別や主要室方位などシステムの概要を入力することで、電源設備の概略容量が検討可能となる。

設計内容が固まってくると、契約電力の推定やデマンド制御、さらにはデュレーションカーブによる負荷平準化の検討も可能となる。気象との連動により、外気高温時に定格容量を超過することがよく知られている密閉(半密閉)型圧縮機を用いた遠心冷凍機やパッケージエアコンなどの必要電力、電流の検討などにも利用できる。

運用時には実使用データを入力することにより、設計値の検証や、運用改善の目安を得られるなどBEMS機能としても利用が可能である。機器増設時の電力余力判定検討や、設備更新時のガイドツールとして機能すると思われる。

BESTをシミュレータとして利用することにより、容量・負荷変動が大きい重要ポイントや、負荷変動が小さく常設機器が不要となるポイントの把握が可能で、エネルギー計量器の設置箇所の選定にも有効であると思われる。

3.2 高効率機器採用時の省エネルギー効果を把握する

BESTでは機器特性を設定することで、最新の高効率機器採用による省エネルギー効果を把握することが可能である。リニューアル時においては、実負荷にて省エネルギー効果を把握できるため、高効率機器導入促進に寄与する可能性が高い。さらに、負荷システムの高効率化が電源システムの容量低減にも寄与するような導入効果も一元的に把

握でき、有用なツールとなると思われる。

3.3 照明制御システムの総合的な効果を検証する

電気設備のエネルギー消費量は建物全体の約1/3を占め、その約90%が照明用途で消費されている。照明システムの省エネルギーは前項の高効率化機器の採用に加え、各種制御の適用により達成される。建築・気象データと連動した昼光利用照明制御と在室検知制御などの制御効果を総合的に評価するツールとしてはBESTは初の試みといつてよい。さらに、自然採光による熱負荷増の処理など、光と熱のトレードオフの検討も可能であるので、二次的な効果に踏み込んだ検討が可能である。

3.4 自然エネルギー発電の最適設計へ適用する

BESTでは豊富な気象データを用い、時刻ごとの太陽光発電や風力発電システムを計算でき、電力融通や商用電力との系統連系(逆潮流の有無、量)の検討に有効なツールと思われる。また、悪条件、例えば不照が続く場合の太陽光発電システムの検討なども可能であるため、単独運転の場合の蓄電池バックアップ時間の検討などにも使用できる。

おわりに

電気設備システムの計算ツールとして、主要なモジュールは構築できた。今後は計算精度を高めつつ、使いやすいプログラムとなるよう検討を続ける予定である。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST開発普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびにアーキテクチュア検討部会(坂本雄三部会長)、電気設備作業部会(滝澤総部会長)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。

電気設備作業部会名簿(順不同)部会長：滝澤総(日建設計)、幹事：稗田雄大(日本設計)、委員：高橋文雄(松下電工)、久保田正治(東芝)、笹生健司(きんでん)、小澤正一(東京電力)、船谷昭夫(大阪ガス)、櫻井文雄(日建設計)、オブザーバ：野原文男、事務局：吉田剛司、水谷周(以上、日建設計)、諏佐庄平、生稲清久(以上、建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

- (社)電気設備学会：地球環境を考慮した電気設備調査研究委員会、地球環境を考慮した電気設備～電気設備から見た地球環境負荷削減の基本知識～(2003-9)、pp.10-1～10-214
- 滝澤 総・村上周三・稗田雄大：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(そ

の6), 電気設備～照明システム・電源システム・搬送システムの計算体系, 平成19年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1989～1992

- 3) 滝澤 総・村上周三・稗田雄大・櫻井文雄: 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その35), 電気設備プログラムの概要, 平成20年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集

(2008/8/27 原稿受理)

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST

Outline of the Models of Electrical Installation

So Takizawa*

* Nikken Sekkei, Member

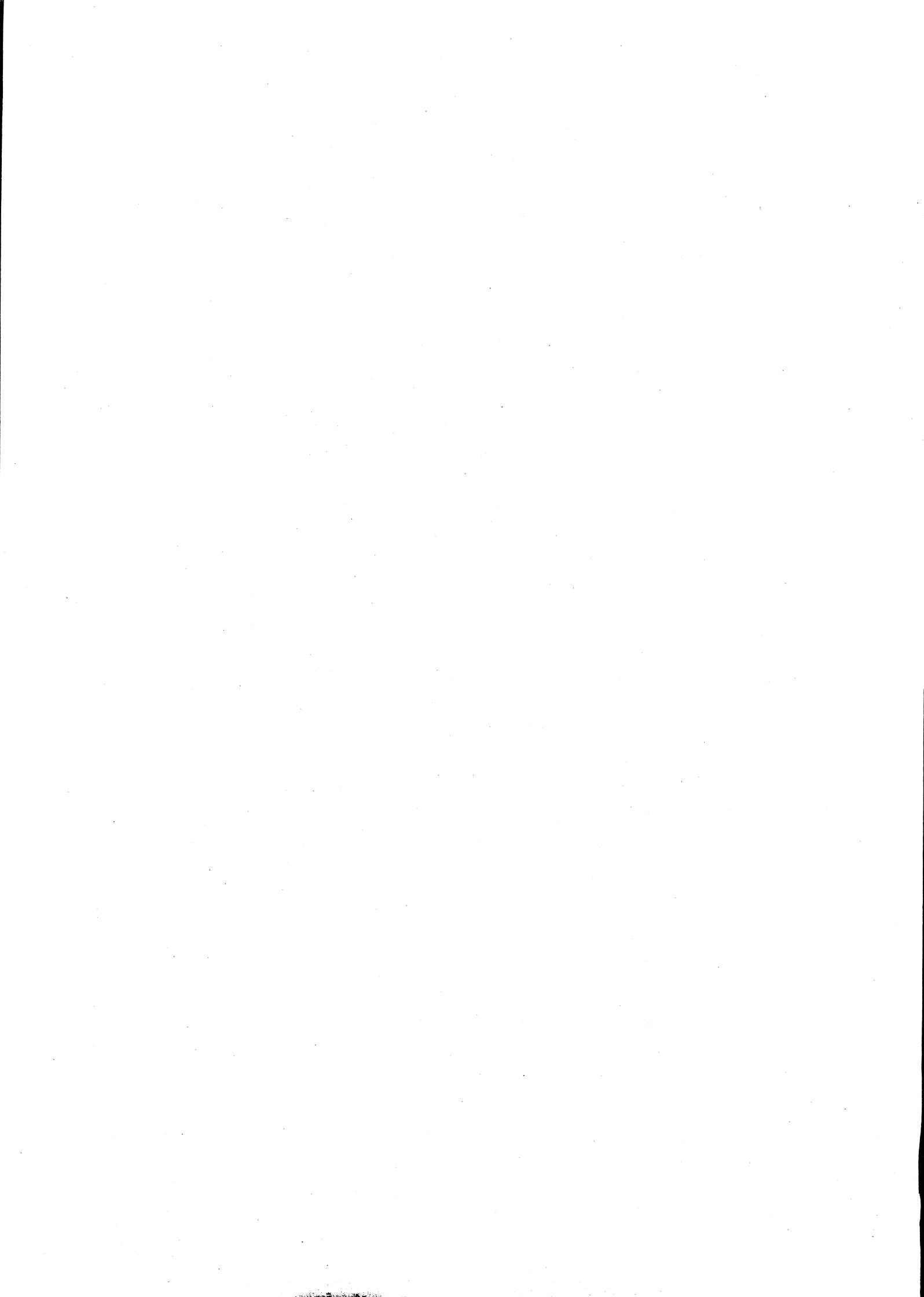
Synopsis This study aims to develop a calculation tool“BEST”, which is able to simulate overall energy consumption of MEP systems. This paper presents the outline of the models of electrical installation in BEST. Lighting systems, electrical power supply systems and elevators are the subject of electrical installation.

(Received August 27, 2008)



滝澤 総 たきざわそう

昭和39年生まれ/出身地 東京都/最終学歴 早稲田大学大学院電気工学専攻修士課程修了/資格 技術士(電気・電子部門), エネルギー管理士, 建築設備士, ファシリティマネージャー/その他 地球環境委員会ほか



BESTのGUI

内海康雄 宮城工業高等専門学校 正会員

キーワード：BEST (Building Energy Simulation Tool), GUI (Graphical User Interface), 入出力 (Input/Output)

BESTは建物や使用される設備機器間で複雑な関係を持つシステムのエネルギー消費量を算出するため、その計算過程における入出力データは膨大なものである。使用者が操作するうえでは、これらのデータを容易に扱うために、データの構成、視覚的なデータ表現や操作方法などの工夫が必要であり、多くのプログラムでは、専用のGUIを持っている。本報では、全部で五つのバージョンの開発を想定しているBESTのうちの、専門版について開発したGUI(グラフィカルユーザーインターフェース)の開発方針、作成手順、特徴、画面などについて説明する。

はじめに

開発されたBESTの大きな目的は建物全体のエネルギー消費量を算出することであるが、その計算過程における入出力データは膨大なものであり、建物や使用される設備機器間で複雑な関係を持っている。使用者が操作するうえでは、これらのデータを容易に扱うために、データの構成、視覚的なデータ表現や操作方法などの工夫が必要であり、多くのプログラムでは、専用のGUIを持っている¹⁾。

本報では、全部で五つのバージョンの開発を想定しているBESTのうちの、専門版について開発したGUI(グラフィカルユーザーインターフェース)の特徴や画面について説明する。

1. BESTのGUIの考え方

1.1 GUIの開発方針

開発当初のGUIの開発方針²⁾は、“マルチユーザーからの、多種多様の膨大な入力データを効率よく作成支援すること”と、“結果を効果的に表示できること”である。その開発方針を実現することを目標としているが、諸外国のプログラムにみられるように、将来的にはサードパーティーによる開発も想定しており、第三者による開発にも考慮した構成としている。

BESTがオブジェクト指向型の構成であり、建物、設備機器などの入出力データをそれぞれのオブジェクト単位で扱えることから、次のような利点がある。

- 1) GUIを共通に使用できること：同様の画面で操作でき、データの永続性・再利用が容易となる。また、入力画面作成や入力データのチェック・単位変換の自

動化などが可能となる。

- 2) 結果表示におけるエネルギー量などの統一的な把握ができること：モジュール間の空気や水などの熱媒をクラスとして、状態値をオブジェクトで取り扱う。例：空気クラスは、乾球温度、絶対湿度、質量流量、圧力などの状態値を持つ。
- 3) 第三者がデータ構造を容易に理解できること：オブジェクトから構成されており、定義が明確なので、サードパーティーによるGUI開発、例えば建物用途別のGUIなどの開発が可能である。

1.2 GUIの作成手順

開発方針に沿ってBESTのさまざまなユーザーと使い方を想定してまとめた。手法としては、一般的に用いられるユースケース図を幾つか描いた後に、BESTではマインドマップを利用した。BESTで用意するバージョンごとの使い方に関するユースケース図を、マインドマップに纏めたものを図-1に示す。ユーザーが複数の役割を持つなど使い方が多様であるため、特に専門版については、ユーザーを大きく四つのグループに分けて詳細化した。これを基にそれぞれのユーザーが満足できるGUIを開発するように作業を進めた。

また、使いやすいユーザーインターフェース(UI)設計のための開発者として心得についても、UI設計の参考資料³⁾を基に、マインドマップを作成した。ユーザー側と開発者側のそれぞれの立場を考えながら開発作業を進めた。

2. GUIの構成

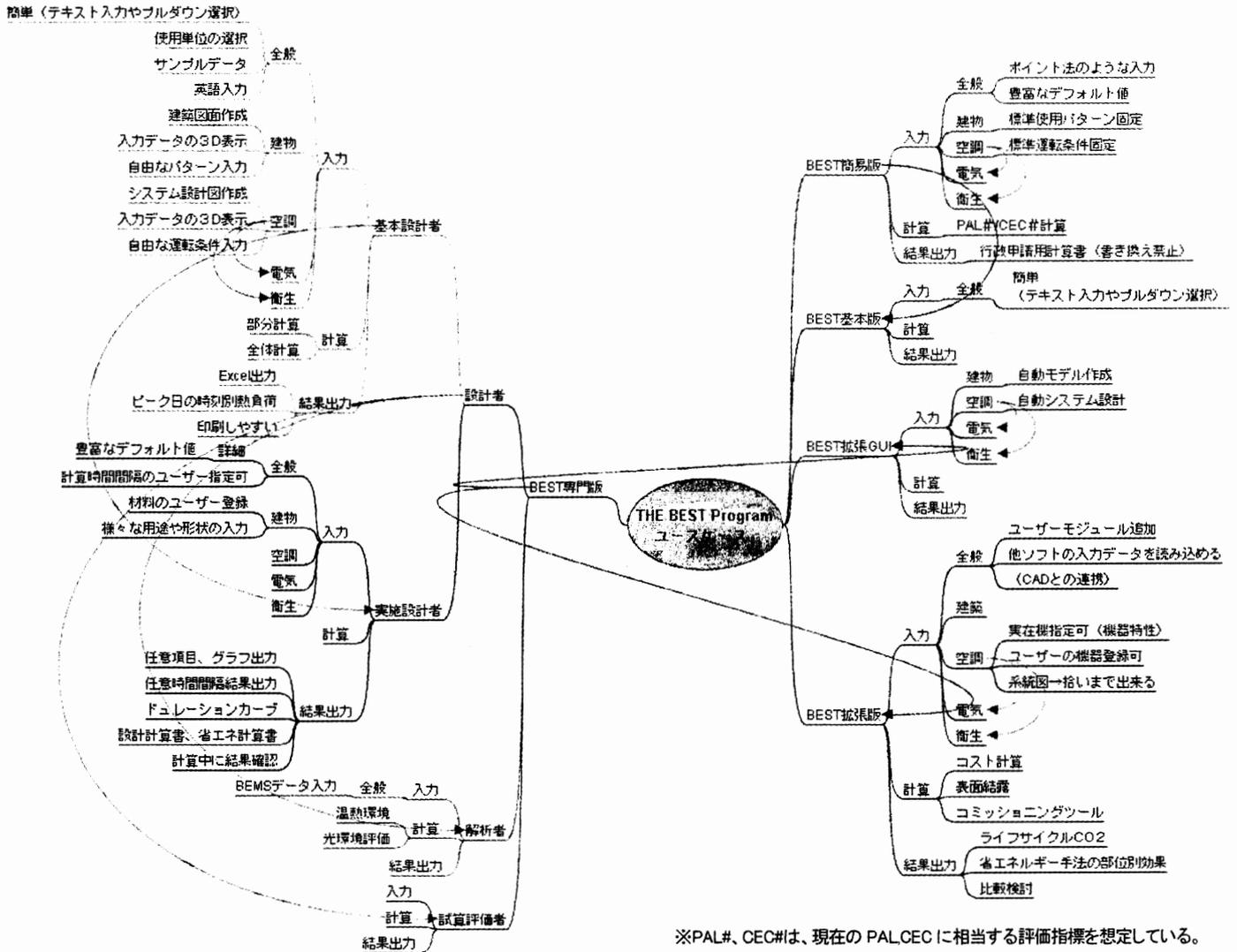
2.1 全体の構成

計算に使うデータの構成は、①建築、気象データのグループ、②空調、衛生、電気の各設備のグループに大別してインターフェースを作成した。これらは、接続情報、計算順序とともに、計算エンジン側に引き渡される。

BESTでは空気、水、電力などのモジュール間に流れる情報を伝達する熱媒クラスという考え方を利用しているが、これは、各モジュールの入出力の接続によってどの熱媒かを判別でき、結果出力の際に有用であるが、ユーザー側では意識する必要はない。

2.2 特徴

BESTのGUI画面は、XMLファイルにて定義したものを表示する仕組みとしているが、現時点ではcsvファイル



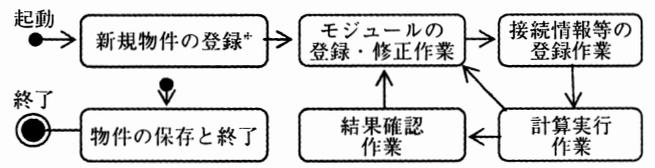
※PAL#, CEC#は、現在のPALCECに相当する評価指標を想定している。

図-1 The BEST Program のユースケースのマインドマップ

も共存している。画面を変更したい場合には、XML ファイルを修正することで対応が可能となり、ソースコードの修正は、ほとんど必要がない仕組みである。

また、データの設定機能としては、データの登録、編集、リネーム、削除といった基本的な操作に加え、データのコピー、移動などの機能を設けており、同じ仕様のものを他の場所に設定することや設置場所の変更が簡易に行える仕組みを用意している。

このほか、設備システムの設定については、例えば、空調機周り、熱源周りなどは、熱源機器に付属するポンプなどすべての機器を接続し、その情報を計算エンジンに渡す必要がある。これは、設備システムを熟知したユーザーでないと入力できないものもあるため、ある程度グループ化したテンプレートを作成し、これを利用できる仕組みを用意するべく、開発を進めている。使用の用途に応じた複数のテンプレートを用意することにより、ユーザーの入力作業の時間短縮が図れると考えている。



※基本的には前回終了時の設定が表示される。

図-2 BEST の操作の流れ

2.3 操作の基本的な流れ

BEST の基本的な操作の流れのアクティビティ図を図-2 に示す。基本的には、新規物件については、登録、修正、計算実行、結果確認の流れになるが、既存物件にも対応しており、物件の保存とプログラム終了はどの段階でも可能である。

3. GUI 画面

3.1 入力画面の構成

BEST の GUI はメニュー、マスター情報ツリー、物件

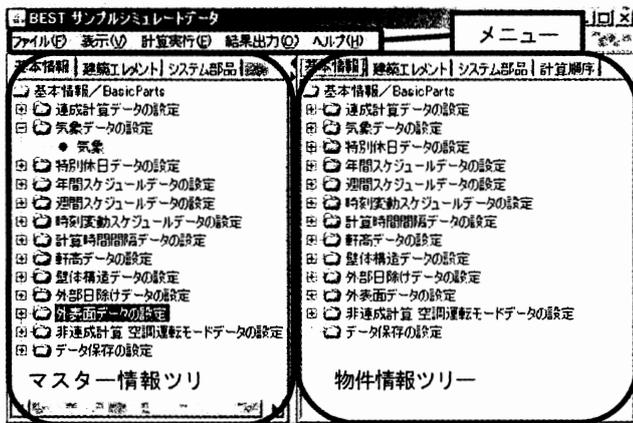


図-3 BESTのGUIの構成

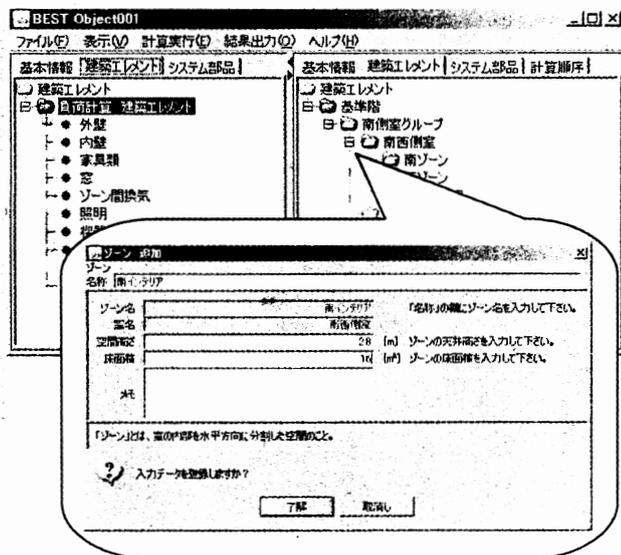


図-4 ゾーンの設定画面

情報ツリーの三つからなる(図-3)。基本的には、マスター情報ツリーより登録する部品を選択し、物件ごとに作成する物件情報ツリーに登録する仕組みである。情報ツリーは、作業内容、手順内容からさらに分類され、下記の構成としている。

- 1) 基本情報：共通データの入力
- 2) 建築エレメント：建築仕様の入力
- 3) システム部品：設備仕様の入力
- 4) 計算実行
- 5) 結果出力

2.2で説明したとおり、設定画面はXMLファイルにて定義を行い表示させている。

(1) 基本情報

基本情報は、気象データやスケジュールなど、建築の熱負荷計算とシステム側のシミュレーションの両方で使用するデータのほか、壁体構成のなど建物の仕様を設定する。

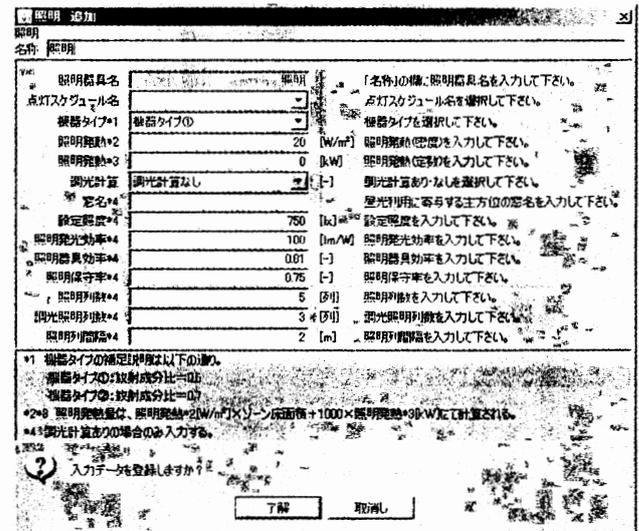


図-5 照明の設定画面

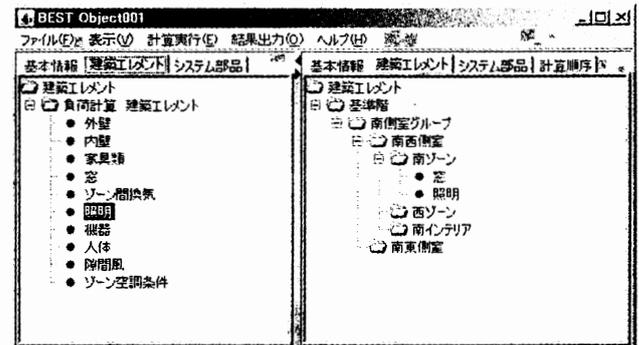


図-6 エレメント登録後の画面イメージ

(2) 建築エレメント

建築エレメントの登録では、ゾーン相互の影響を考慮した計算とするため、エレメントの登録前に、各階に室グループ、室、ゾーンを定義する必要がある。ゾーン設定は、物件情報ツリー上で行う(図-4)。フロアのなかに室グループ→室→ゾーンの順番に作成する。ゾーンが作成されたら、そのゾーンの窓や外壁などを設定していく。図-5に設定項目の一つである照明の設定画面を示す。エレメントの登録を行うと、そのゾーンにエレメントが登録される(図-6)。

(3) システム部品

システム部品の登録では、空調、電気、衛生のすべての設備システムの機器を取り扱う。ここでは、使用する機器、制御コントローラを登録するとともに、どの機器と接続しているのか、どの部屋に空気を送るのかなどの接続情報を登録する。接続はどのモジュールに何を渡すのか、どのモジュールから何を受け取るのかを認識するために必要である。

例えば、空調機の場合、図-7に示す通り空気の入と出がどこに接続するかを、設定する必要がある。このほか、

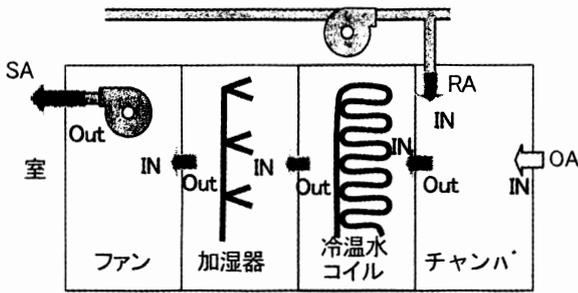


図-7 空調機のモデル化と接続の考え方

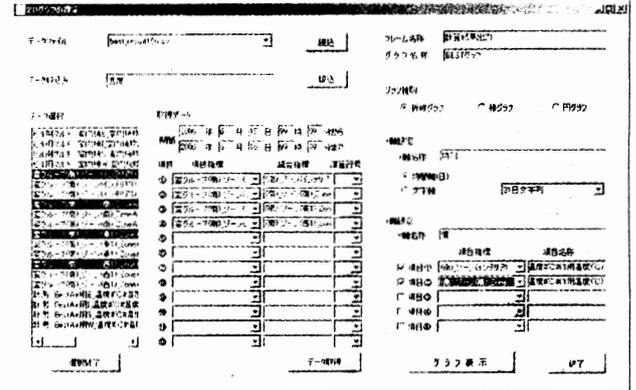


図-9 グラフ表示設定画面

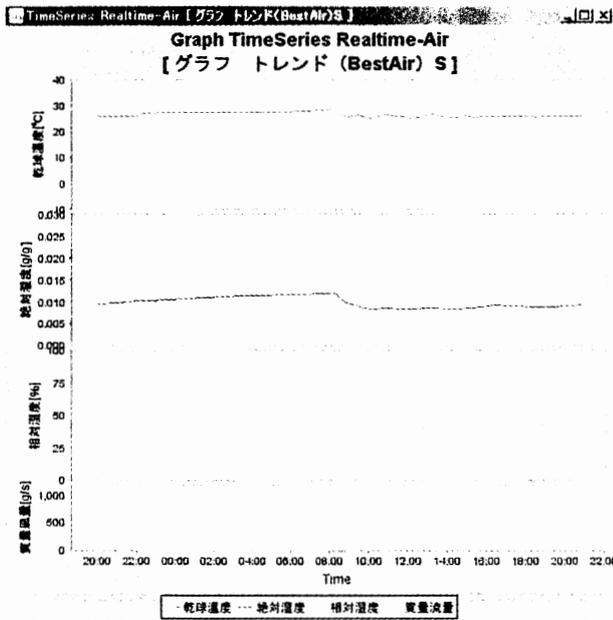


図-8 リアルタイムグラフ

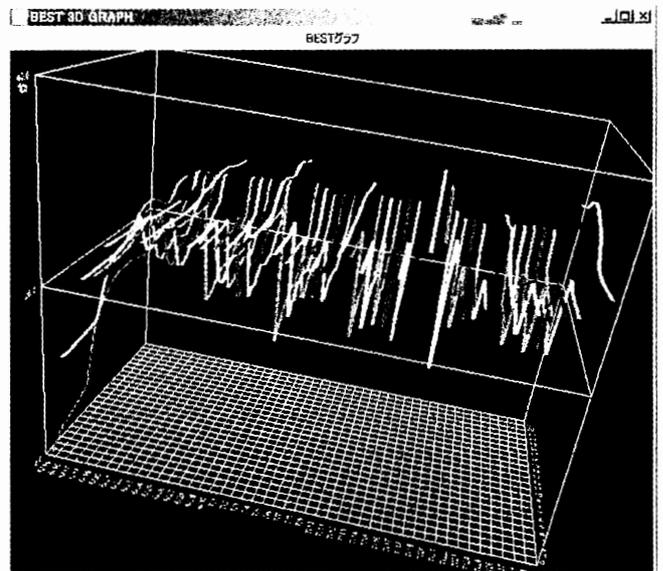


図-10 三次元グラフの例

運転モードの信号などが、空調機には接続される。

(4) 計算実行

計算実行は、メニューバーより行う。ここでは、計算順序の設定やどの計算を実行するかを設定する。計算順序は、システム側の計算を行ううえで重要な要素である。ただし、ユーザーが指定するのは難しいため、ファイルを作成すれば、登録されたシステムにより、デフォルトとしての計算順序を自動的に設定する仕組みとした。これにより、ユーザーは基本的には計算順序を意識しなくても計算ができるが、自由に設定変更もできる仕組みとしている。また、計算実行は、すべてのシステムを連成して解く連成計算と、建築のみや建築と空調の計算など、目的に合わせて計算する内容を設定できる。

(5) 結果出力

結果は、ユーザーによる自由な加工やサードパーティーによる開発を想定し、csv ファイル形式を用いている。設定された計算時間間隔での計算結果をそのまま出力しているが、その後の加工のしやすさを考慮して、時間別(時刻、月)や項目別(単位による物理量、階数など)にファイ

ル出力させるための集計機能も設けている。

また、計算終了後に結果を表示するためのファイル出力の仕組み以外にリアルタイムグラフ表示機能を設けている。システム部品タブのグラフトレンドと呼ぶ部品を用いて表示の設定を行う。リアルタイムグラフの一例を図-8に示す。これにより、計算が終わるのを待たずに結果を確認することができるので、不必要な計算時間を費やすことが避けられる。

3.2 出力画面

BESTで用意している出力画面は、表、二次元グラフ、三次元グラフの3種類である。

“表”は結果出力されたcsv ファイルを画面上に表示する仕組みである。これは、計算時間間隔ごとの結果のほか、集計を行っている場合、集計結果ファイルも表示できる。

グラフ表示は、多様なユーザーに対して、目的別にグラフ表示できるよう柔軟な仕組みとした。出力プログラムの概要は、文献2)で述べた仕組みと基本的には同様である。膨大な計算結果から、表示したい項目をスムーズに選

択するため、出力された項目のうち、必要な項目を絞り込む機能を追加した。この機能は、出力項目の名称から検索を行っており、例えばゾーン名や単位などを入力して項目を絞ることが可能である。グラフの設定画面を図-9に示す。

二次元グラフは、表示されたグラフについて、具体的に確認したい範囲を選択することにより、拡大表示することが可能であり、元の画面サイズに戻すことも可能である。三次元グラフ(図-10)は、視覚的に大量のデータの傾向をみるうえで有用であり、拡大、縮小のほか回転や移動も可能である。

おわりに

BESTの幾つかのバージョンのうち、専門版のGUIの開発方針と開発された画面などの概要を述べた。多様なユーザーと使用方法に対応できる、よりユーザーフレンドリーな操作画面にするためには、まだ幾つかの改良部分がある。

今後は、さらに使い勝手のよいユーザーインターフェースとするための機能追加などを行う。

謝 辞

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)”ならびにアーキテクチャ検討部会(坂本雄三部会長)、GUI作成WG(内海康雄主査)、クラス構想WG(合同)(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。

BEST 開発 GUI 作成 SWG 名簿(順不同・2007年度委員含む)主査：内海康雄(宮城高専)、委員：上田博嗣(大林組)、木下泰斗(日本板硝子)、櫻井文雄(日建設計)、菅長正光(自営)、滝澤総(日建設計)、長谷川巖(日建設計)、二宮博史(日建設計)、野原文男(日建設計)、國吉敬司(日建設計)、篠原奈緒子(日建設計)、江崎由朗(BIT)、オブザーバー：石野久彌(首都大学東京)、郡公子(宇都宮大)、芝原崇慶(竹中工務店)、事務局：生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

- 1) A. Malkawi, et al.: Advanced Building Simulation (2004), Spon Press.
- 2) 二宮博史ほか：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール“BEST”の開発(その8)GUIの構成, 空気調和・衛生工学会学術論文集(2007-9), pp.1997-2000
- 3) ITアーキテクト vol.11(2007-11), pp.29~69
(2008/9/3 原稿受理)

Graphical User Interface of BEST

Yasuo Utsumi*

Synopsis BEST calculates the energy consumption rate of the building and its equipments that are massive and have the complicated relations, therefore, the data amount of the input and output are huge through the simulation process. Most of the tool like BEST provides the customized user interface that enables the users to deal with the tool operation and data input/output more conveniently with constructing the flexible data structure and offering the visual presentation, etc. The GUI of BEST professional version where BEST has five versions is described here in terms of the development principle, the creating procedure, the characteristics, the screens, etc.

(Received September 3, 2008)

*Miyagi National College of Technology, Member



内海康男 うつみやすお
昭和30年生まれ/出身地 宮城県/最終学歴 東北
大学工学部建築学科建築環境工学/学位 工学博士

BEST 開発の背景とこれから

牧村 功 (株)日建設計・(社)建築設備技術者協会 正会員

キーワード：HASP/ACLD, HASP/ACSS, MICRO/PEAK, BECS, FACES, New HASP/ACLD- β , Micro HASP/TES, BEST-専門版(BEST-Professional), BEST-基本版(BEST-Basic), BEST-簡易版(BEST-Simple), BEST-拡張版(BEST-Extended), BEST コンソーシアム(BEST Consortium)

30年以上前に開発された HASP/ACLD(動的熱負荷計算プログラム)と HASP/ACSS(空調システムシミュレーションプログラム)および関連するプログラムには多くの課題をはらんでいた。その解決を目的として新 HASP/ACLD・ACSS 計画が提案され、BEST 開発に発展していった。BEST-専門版の大勢が明らかになった現時点において、諸課題がいかに解決されつつあるかを評価し、今後の BEST のさらなる開発・展開と BEST 利用による大きな効果について述べる。

1. BEST 開発の組織立ち上げまで

1.1 HASP/ACLD・ACSS の開発の歴史

空調設備の動的熱負荷計算プログラムである HASP/ACLD は(社)空気調和・衛生工学会(SHASE)の空調設備基準委員会(井上宇市委員長)の下で、斎藤平蔵、松尾陽、横山浩一、木村健一、武田仁、石野久彌らが中心となって開発され、1971年に HASP/ACLD/7101 として発表された。1973年以降、開発主体が SHASE より、日本建築設備士協会に移り、7301 版(改良版)、7501 版(改良版)、8001 版(改良第3版：“空調設備の動的熱負荷計算入門”，日本建築設備士協会 編集、松尾陽、横山浩一、石野久彌、川元昭吾 共著)とバージョンアップされていった。この HASP/ACLD は、今日まで37年間にわたり、我が国の空調設備動的熱負荷計算の信頼できる必要不可欠なプログラムとして利用されている。

日本建築設備士協会は、SHASE の内部組織であった設備士会が1969年に学会より独立し、学会設備士の資格者の任意団体として設備士の技術の向上と社会的地位向上を目的として活動していた。その後、日本空調衛生設備士協会と名称変更、1985年の建築士法の改正により誕生した建築設備士の職能団体である(社)建築設備技術者協会(JABMEE)にその業務の大半を移行し、1989年に解散した。これにより、HASP/ACLD 関連プログラムの著作権は、SHASE および JABMEE に帰属している。

HASP/ACLD をベースに、MICRO-HASP/1982(HASP/ACLD/8001)を BASIC 版に変更：日本建築設備士協会・

松尾陽研究室)、MICRO/PEAK/1984(MICRO-HASP/1982)をベースにした周期的気象データによる非定常計算を用いた設計容量算定用プログラム：日本建築設備士協会・瀧澤博)、HASP-L(HASP/ACLD/8001)に昼光利用・照明制御計算機能を付加、1985年：日本建築設備士協会・松尾陽・井上隆・澤地孝男)、COGEN-PLAN・COGEN-DE 1・MICRO/PEAK/1987(MICRO/PEAK/1984)をベースにコージェネレーション評価プログラム、建物エネルギー需要推計、簡易年間負荷計算機能を付加：日本コージェネレーション研究会・日本空調衛生設備士協会・瀧澤博)、MICRO/PEAK/2000(MICRO/PEAK/1984)の WINDOWS 版：JABMEE・菅長正光)と、次々に、日本建築設備士協会や、JABMEE がニーズに応じて関連プログラムを開発していった。

またその間、空調システム標準シミュレーションプログラム HASP/ACSS/8502 および同プログラム専用の動的熱負荷計算プログラム HASP/ACLD/8501(日本建築設備士協会・松尾陽研究室)も開発された。

現在では、MICRO/PEAK/2000 および HASP/ACLD/8501、HASP/ACSS/8502 が多く購買、利用されている(JABMEE CPU 委員会資料より引用)。

1.2 HASP/ACLD・ACSS をベースとした関連プログラムの開発

21世紀を迎え、建築分野における省エネルギーの諸対策が推進されるなか、建築物のエネルギー消費量の算出ツールが求められ、学会、団体、エネルギー会社、企業が独自に、HASP/ACLD・ACSS をベースとしてさまざまなプログラムを開発していった。現在把握できる公的機関開発のプログラムの事例をあげてみる。

(1) BECS

(財)建築環境・省エネルギー機構(IEEC)が、HASP/ACLD・ACSS をベースに省エネルギー法の CEC/AC を算出することに特化したプログラムを1994年に開発した。

(2) FACES

東京電力を中心とした複数の電力会社の共同事業として、空調エネルギー使用量のみならずコスト比較まで可能

な電力会社独自の営業戦略の空調・熱源システム評価ツールとして2003年に開発、バージョンアップを継続している。

(3) New HASP/ACLD-β

SHASEがHASP/ACLD/8501, HASP/ACSS/8502に機能を追加し、2004年に開発した。

(4) Micro HASP/TES

(財)ヒートポンプ蓄熱センターがMICRO-HASP/1982に機能を追加し、蓄熱式空調システム設計用動的熱負荷計算プログラムを2007年に開発した。

1.3 HASP/ACLD・ACSSの抱える諸課題と対応策の提案

高い評価を受けた建築物に与えられる、SHASEの技術賞やIBECの建築省エネルギー賞(現・サステナブル建築賞)を受賞している建築物のほとんどがシステムシミュレーション結果を評価資料として提出しており、HASPを駆使しなければ受賞できないともいわれ、受賞企業が限定されつつあった。これら建築物表彰の目的は、研究・開発・設計により実現された新たな建築・設備システムの普及促進であり、その目的を実現する障害にもなっていた。

また、2004年3月、New HASP/ACLD-βの発表と今後の展開をテーマに開催されたSHASEシンポジウム-熱負荷・空調ソフトウェアの現状と将来-では、“HASP系のソースコードを公開し、サードパーティーのGUI開発を促してはいかがか。”、“HASP系プログラムの著作権問題を整理し、public domainとして解放すべきではないか。”などの普及促進にかかわる意見が多く出された。

現在、HASP系プログラムのユーザーからの質問回答、バージョンアップ、新規開発業務を、JABMEEのコンピュータ委員会が行っているが、ソフト開発に対する大学内、学会内での注目度はそれほどでなく、若手の電算機離れから新たな技術者の登場も少なく、維持管理を行うための資金不足もあり、顕著な活動成果はみられていない。

HASP/ACLD・ACSS系プログラムの抱える諸課題と処置すべき対策を整理すると次のようになる。

- 1) プログラム開発者の高齢化によるバージョンアップ業務者人材不足 ⇒ 若手プログラム開発者への技術の伝承と育成環境の構築
- 2) バージョンアップのための管理体制の不備と運用資金不足 ⇒ バージョンアップ業務および、新プログラム開発を可能とするメンテナンス体制と資金確保システムの構築
- 3) 空調に限定され、また、新しい空調システム・機器を取り込めないエネルギーシミュレーションツール ⇒ 地球資源・環境問題から省エネルギー、CO₂排出量の削減が要望されている現在、建築物と空調設備の

みならず、照明設備、給湯設備、昇降機設備などをも含めた建築物の総合的なエネルギーシミュレーションツール

- 4) 国際的に認められたシミュレーションツール ⇒ 学術的にレベルの高い、グローバルな位置づけと世界への普及に繋がるプログラム開発
- 5) 著作権諸問題 ⇒ 著作権の所在を明確にし、第三者のプログラム開発を可能とする運用基準の設定
- 6) 一部の企業、研究者、スペシャリストのみが利用している入出力が煩雑なプログラム ⇒ 研究者、設備設計者、施工管理者、維持管理者、建築設計者、建築企画者、建築主らのあらゆる部門の者が、建築物ライフサイクルのあらゆるステージで利用できるユーザーフレンドリーでユビキタスなプログラム
- 7) ソフトが高額 ⇒ 普及に繋がる費用負担の少ないプログラム、また、費用負担が多くても利用価値の高いプログラム

1.4 BEST 開発の組織立ち上げまで

このような状況のもと、2005年3月にJABMEEが事務局となり、牧村功、猪岡達夫、落合総一郎、柳原隆司らが意見交換・協議を重ね、今までのHASP/ACLD・ACSS関連プログラムが抱える諸課題を解決し、21世紀の技術の粋による、社会のニーズに応えるプログラムとなる新HASP/ACLD・ACSS開発事業の企画書がつくられた。HASP系プログラム開発にかかわった大学教授・研究者、開発者、今後かわるべき関係者、各団体に、企画書の説明と協力依頼にまわったところ、すべての方々から賛同と協力受諾をいただいた。

2005年6月末日には、事業推進事務局がJABMEEからIBECに移り、2005年10月に、国土交通省住宅局の支援による“環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費算出ツール開発のためのガイドライン作成に関する研究会”がスタートした。2006年4月から2008年3月までの2年間にわたる“企画・設計段階から運用段階にわたる建築物の総合的なエネルギー消費算出ツールの開発普及委員会”の活動成果である“The BEST program (BEST)”(商標登録済)の内容は前述のとおりである。

2. BESTのこれから

2.1 BEST コンソーシアムの設立

2008年5月、IBEC内にBESTの継続的な開発・運用・支援活動を目的とした“BEST コンソーシアム”が設立された。

コンソーシアムの内部組織として、BESTの広報や会員募集にかかわる企画運営を行う運営委員会(坊垣和明委員長)と、BESTの専門版、行政ツールの開発やサポート対

応などの総括を行う企画委員会(村上周三委員長)が設けられた。企画委員会の管理下に、BEST-専門版の機能拡張と高度化を継続する BEST 専門版開発委員会(石野久彌委員長)、BEST 0803 版の当面の操作にかかわる質問やエラー対応などのユーザーサポートを行うサポート委員会(石野久彌委員長)、および、省エネルギー法対応の行政支援ツールの開発を行う BEST 行政ツール開発委員会(坂本雄三委員長)が設置され活動している。

運営委員会では、IBEC と JABMEE の共催により、2008 年 9 月より 2009 年 2 月までの 6 箇月にわたり、札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、広島、福岡と、全国のあらゆるユーザーを対象に、最新開発情報を含めた BEST の説明会を開催し普及に努めている。

これら委員会の諸活動により、○若手プログラム開発者への技術の伝承と育成環境の構築、○バージョンアップ業務のみならず、新プログラム開発を可能とするメンテナンス体制と資金確保システムの構築、○研究者、設備設計者、施工管理者、維持管理者、建築設計者、都市・建築企画者、建築主などのあらゆる部門の者が、建築物ライフサイクルのあらゆるステージで利用できるユーザーフレンドリーなプログラムを実現する継続的な環境が整備された。

2.2 著作権とプログラム利用費用

BEST は開発当初より、著作権は IBEC に属すること、ソースプログラムは原則として非公開とすることとしてきた。

よって、BEST 0803 版はもちろんのこと、今後 BEST 専門版開発委員会で開発されるプログラム類の著作権は IBEC が保有し続けることになる。また、ユーザー、クライアントは所定の費用を負担して BEST コンソーシアムに参加し続ける限り、最新版を含めた BEST-専門版を利用できる。BEST-専門版には、BEST-簡易版、BEST-基本版も含まれることになる。

大学に所属する教授、准教授、学生や企業の研究者、設計者らによる BEST-拡張版の開発を目的としたプログラム利用の場合には、BEST 企画委員会の管理のもと、諸条件付でソースプログラムを貸与することがある。貸与先で開発されたプログラムは、GUI 部分・エンジン部分とも BEST コンソーシアムに著作権を含めて無償あるいは有償提供し、BEST 専門版開発委員会の技術的な適合性検討と BEST 企画委員会の承認を経て、BEST-専門版のバージョンアップに利用される。GUI 部分に関しては、さまざまな第三者による開発の可能性がある、GUI 部分のみの販売を承認する場合もある。これらの諸条件は、今後 BEST 企画委員会、運営委員会で協議されていくであろう。

コンソーシアム会員であるユーザーが負担する入会金・

年会費は、ユーザーサポート、プログラムのバージョンアップ、新規開発などの諸費用に充当される。

一方、プログラム利用の最大の目的は、建築物の最適省エネルギー設計支援、すなわち、建築物の CO₂ 排出量削減対策、地球温暖化防止対策である。地球温暖化防止対策は世界の各国の方針に基づく全人類活動であり、排出者負担の原則は理解できるが、プログラム開発普及活動を効果的に進めていくためには、行政側の継続的な支援が必要不可欠であり、その支援が持続可能ツールに繋がっていくことになる。

建築物は土地に固定されその地点ごとに周辺環境、自然環境が異なる。建築物の消費エネルギーの算出データとして必要な気象データは可能な限り建設地に近似したデータであるべきである。BEST-専門版で利用可能な気象データは、国内 842 地点用意されており、実環境に近い条件下での最適建築設計を実現させている。また、世界 3700 都市の気象データをも用意されており、海外の建築設備設計も可能としている。加工された国内気象データは、従来有料で頒布されていることから、BEST 開発に合わせて作成された 842 地点の気象データは有料となるであろうが、その費用負担方法を現在協議中である。

これらの諸活動により、○著作権の所在を明確にし、第三者のプログラム開発を可能とする運用基準の設定、○普及に繋がる費用負担の少ない、また、費用負担が多くても利用価値の高いプログラム開発を実現する環境が整備された。

2.3 インターネットの利用

BEST 開発ではインターネット活用により、BEST ユーザーの最新プログラムの情報取得とその利用、サポートおよび新規開発機器・材料のデータ更新を容易とする環境整備を目論んでいる。

BEST の利用者は数年後には、1000 クライアントを遥かに越えると想定しており、○建築物ライフサイクルのあらゆるステージであらゆる部門の者が利用できる、ユビキタスなプログラムの利用環境の整備を着実に進めていく必要がある。

IBEC ホームページの BEST コーナーの最新情報提供システム、SaaS 導入による BEST 専門版の利用環境整備など、重要な課題も控えている。

2.4 LC の各段階における BEST 利用とその効果

地球資源・環境問題から省エネルギー、CO₂ 排出量の削減が要望されている現在、建築物・空調設備のみならず、照明設備、給湯設備、昇降機設備などをも含めた建築物の総合的なエネルギーシミュレーションツールを社会が求めており、2050 年の CO₂ 排出量の 50% 削減に向けて、建築物の CO₂ 排出量(資源の利用状況)の把握と削減計画を容

易に検討できる環境が望まれる。

それに応えるツールがBESTであり、すべての建築物に関しLCM(ライフサイクルマネジメント)が行われ、省エネルギー機器・器具の開発、運用条件の変更(営業時間変更、サマータイム運用、クールビズ対応など)の効果把握、エネルギー供給側の効率向上、エネルギー変換などによる効果の確認を可能とし、建築・設備設計者のみが設計ツールとして利用することにとどまらず、建築物の引き渡し情報ツール、運用評価ツールとして、建築物のライフサイクルにわたり利用されていくであろう。

(1) 都市計画段階(BEST-簡易版の利用例)

- 1) 広域面開発でのエネルギー使用量の算出(エリア総量規制対応)
- 2) 建築物ごとの規模・形態・用途および省エネルギー対策項目とそのレベルを入力することで総エネルギー使用量を把握
- 3) 全域のエネルギー使用量の把握により、CO₂排出量規制値に見合う計画が可能
- 4) 地域計画認可資料に添付

(2) 建築物の基本計画・設計段階(BEST-基本版の利用例)

- 1) 設定された建築物の品質・性能要件にふさわしい建築物形態、外皮計画、設備計画、外構計画の大枠を検討
- 2) 基本設計段階での建築物諸条件下での、省エネルギー計画書[エネルギー消費量/(m²・年)、CO₂排出量/(m²・年)]の作成

(3) 実施設計段階(BEST-専門版の利用例)

- 1) 省エネルギー計画入力データをさらに詳細検討し、実施設計段階での各省エネルギー手法の感度分析による最適設計の詳細検討
- 2) MICRO/PEAK の設計最大負荷計算プログラムの導入による装置容量の選定
- 3) 最適設計システムの設計図書への落とし込み支援
- 4) 実施設計に用いた入力データを実施設計図書の一部として管理

(4) 施工段階(BEST-専門版の利用例)

- 1) 現場段階での設計変更適否の確認と入力データの修正
- 2) 施工段階で決定された機器仕様(メーカーなどの詳細データ)に基づく実データによるシミュレーション結果と実施設計段階での検討結果との性能比較確認
- 3) 改正データを竣工図書の一部として建築主に引き渡し
- 4) BMS, BEMS の一部のツールとして建物システムに導入

(5) 施設運用段階(BEST-専門版の利用例)

- 1) 運用段階では、計画・想定エネルギー使用量と運転管理データの比較により、最適運転状況を予測し、運転方法を改善
- 2) 経年劣化によるエネルギー使用量増加の詳細把握による、システム改善の計画立案
- 3) 改善計画立案時点の最新機器の導入によるエネルギー使用量の想定で、リニューアル計画の立案
- 4) リニューアル後のコミッションングにシミュレーション結果を利用
- 5) データによる運用管理を継続

おわりに

BESTは1.3で述べたHASP/ACLD・ACSS関連プログラムの抱える諸課題と対応策の提案の7項目をすべて解決しつつあり、今後、地球温暖化防止にかかる民生部門のエネルギー消費量の削減策に大きく貢献するであろう。

特に、BEST-専門版は、建築設備設計・工事監理、施工管理、維持管理段階において、適切に利用することにより、我が国に限らず、世界の建築物の総エネルギー使用量、CO₂排出量の削減に貢献していくものと確信している。

謝 辞

本稿は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する“BEST 開発普及事業研究会(村上周三委員長)”, “開発事業委員会幹事会・アーキテクチュア検討WG”ならびに“BEST 普及推進委員会(村上周三委員長)”の活動成果を引用しており、関係各位に謝意を表すものである。

(2008/8/22 原稿受理)

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST

Background and the Future of The BEST program Development

Isao Makimura*

Synopsis HASP/ACLD(Dynamic thermal load calculation program), HASP/ACSS(HVAC system simulation

* Nikken Sekkei Ltd: Advisor, Japan Building Mechanical and Electrical Engineers Association: President, Member

program) had been developed 30 or more years ago. However, some problems remained in these programs. It aimed at the solution of the problem, the new HASP/ACLD・ACSS program was planned, and it led to the development of The BEST program. In this report, the following subjects are summarized: the evaluation of method of solving the problem at present, future evolution of The BEST program, large effect of use of The BEST program.

(Received August 22, 2008)



牧村 功 まきむらいさお

昭和 20 年生まれ/最終学歴 早稲田大学大学院理工学研究科建設工学専攻修士課程修了/資格 技術士(衛生工学部門)・一級建築士・建築設備士/新潟県庁舎・太田市場の自然通風採光技術報告, 新潟県庁舎・萬有製薬つくば研究所の建築設備計画にて SHASE 論文賞・技術賞/2008 年建設事業関係功労 国土交通大臣表彰