

1.

BESTの開発背景と開発目標

村上 周三 (独)建築研究所 理事長
 牧村 功 (社)建築設備技術者協会 会長

野原 文男 (株)日建設計執行役員設備設計部門 副代表

1. はじめに

我が国のセクター別CO₂排出量の経年変化(図1参照)を見ると、民生部門においては増加の一途を辿っている。逼迫する温暖化問題を緩和するためには、これに歯止めをかけ、なんとしても削減方向にしなければならない。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総合的なエネルギー消費を可視化できるツールが必要であるが、残念ながら現時点で、そのようなツールが存在しているとは言えない。そこで、BEST (Building Energy Simulation Tool) の開発に数年ほど前から着手し、2008年3月にはBEST0803版を公表した。今後、この成果を元にBESTをさらに発展させ、幅広い普及を目指している。

一方、省エネ法改正にともないPALやCECといった建築や設備の省エネ性能を数値化し、それを届け出る義務が2,000m²以下の小規模建物にも及ぶようになると、設計者にとっては届出書類作成業務が増加する一方、これを処理する行政側の業務量も極めて膨大になることが容易に予想される。このため、現行制度での

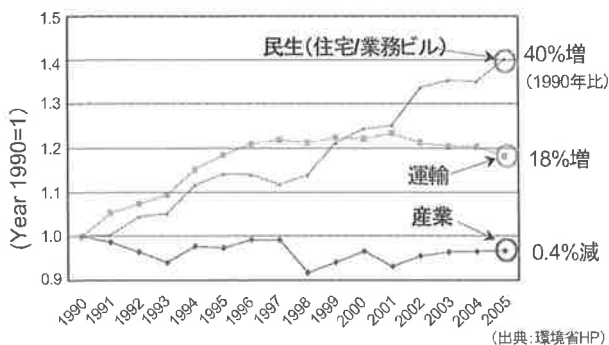


図1 分野別CO₂排出量の推移

対応が困難となる可能性があることから、省エネ性能を簡便に、しかも精度良く算定することのできるBEST行政ツール版の開発に着手したところであるが、これに関しては次報で詳細を報告することとし、ここではBESTの開発背景と今後の開発目標について述べる。

2. BESTの開発背景

2.1 開発の契機

BEST開発の契機は、建築設備の分野における省エネルギー推進に多大な貢献をしてきた空調システムシミュレーションプログラム (HASP/ALCD/ACSS) が存続の危機にさらされていることが顕在化しはじめた今からおよそ4年前に遡る。何故、存続の危機にさらされてしまったのであろうか。その理由は、開発から30年以上が経過し、当時の開発者が高齢化のため引退の時期を迎えはじめたことを最大の理由として挙げることができる。継続的なプログラム開発を怠ったため後継者が育ってこなかったことに加えて、IT環境の劇的な変化や、それにともなうボーダーレス化などが、このプログラムのこれまでの存在感を急速に色褪せたものとしてしまった。

開発当時、HASP/ALCD/ACSSは世界でも先端的なプログラムであった。しかしながら、継続的な開発をしてきた欧米あるいは後発ながらも継続的な開発に力を入れている中国からも水をあけられてしまった。

このため2005年3月に(社)建築設備技術者協会(以降、JABMEEと呼ぶ)が事務局となり、当時のプログラム開発に携わった学識者やユーザを交えて新たなプログラム開発の構想企画書を纏めた。その後、同

年6月には事業推進の事務局を（財）建築環境・省エネルギー機構（以降、IBECと呼ぶ）に移し、産官学の協力による開発体制を築いた。同年10月には、国土交通省の支援によって「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、同研究会で新プログラムの名称を「the BEST program」と定めたほか、後述する「マクロデザイン」を纏めた。

2.2 HASP/ACLD/ACSSの歴史とそのファミリー

動的熱負荷計算プログラムHASP/ACLDは（社）空気調和・衛生工学会（以降、SHASEと呼ぶ）の空調設備基準委員会（井上宇市委員長）のもと、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年以降は開発主体がSHASEから日本建築設備士協会に移り、7301版、7501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 松尾他 共著）とバージョンアップされた。HASP/ACLDは今日まで30年以上に亘り、わが国で開発された動的熱負荷計算プログラムとして利用されて来た。

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、設備士の技術向上と社会的な地位向上を目的として活動していた職能団体であり、その後、日本空調衛生設備士協会と名称変更し、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JABMEEにその業務の大半を移行して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、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・松尾他 共著）、MICRO-HASP/1982（HASP/ACLD/8001をBASIC版に変更：日本建築設備士協会・松尾研究室）、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・瀧澤著）、COGEN-PLAN・

COGEN-DE1・MICRO/PEAK/1987（MICRO/PEAK/1984をベースにした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・瀧澤著）、MICRO/PEAK/2000（MICRO/PEAK/1984のWINDOWS版：JABMEE・菅長著）と、次々に日本建築設備士協会やJABMEEが社会のニーズに応じて様々なプログラムを開発していった。

またその間に、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・松尾研究室）も開発された。現在では、MICRO/PEAK/2000およびHASP/ACLD/8501・HASP/ACSS/8592が数多く販売されている。（以上、資料提供：JABMEE）

また、関連団体、学会、企業、大学などで、HASP/ACLD/ACSSをベースに様々なプログラムが開発されている。現在把握できる公的機関他が開発したプログラムを挙げてみる。

- 1) BECS：IBECでは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。
- 2) FACES：東京電力を中心とした複数の電力会社チームが開発し、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ための空調・熱源システム評価ツール。2003年に開発され現在もバージョンアップを継続。
- 3) New-HASP/ACLD/ACSS：SHASEがHASP/ACLD-8501、HASP/ACSS-8502に機能追加し2004年、2006年に委員会報告を行った。
- 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、研修会にて利用。

3. BESTの開発目標

3.1 BESTのマクロデザイン

プログラム開発の着手に先立ち、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・駆体と設備・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中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。

3.1.1 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、その組み合わ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。このため、大規模なソフトウェアを複数人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、a) モデルの再利用が行いやすい、b) 機能拡張が容易、c) 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。

3.1.2 外皮・駆体と設備・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精度よく求めるためには、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方法にはいろいろあるが、BESTでは図2に示すように、

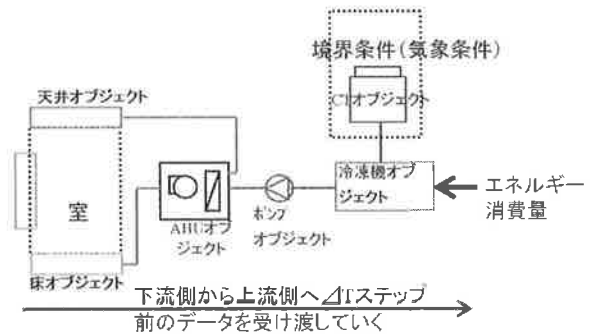


図2 建築と空調設備の連成解法のイメージ

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針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トもある。

3.2 BEST-簡易版・基本版の開発

これまで建築や設備の設計プロセスにおける外皮・駆体の設計や設備・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殆どであった。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事ができる。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な入力でありながら精度の高い計算結果を得られることを開発目標に定めた。即ち、計算エンジンは開発済みのBEST0803版(専門版)をベースにしながら、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。

また、2050年までに現状のCO₂排出量を半減するためには低炭素社会(Low Carbon Society)を実現する必要があるが、このためにはバックキャストिंगによる設計法が必須になると考えられる。つまり、炭素排出量の目標値を定め、これをクリアするため、数多くの省エネなどの低炭素技術の中から適切なものを抽出することが求められる。このような設計法のために

は極めて高度なシミュレーションツールが不可欠であるが、低炭素社会では全ての新築・改修建物でこれを実践する必要があるため、高度であると同時に極めて簡易でなければならない。このためにもBEST-簡易版、BEST-基本版が期待されている。

3.3 BESTの国際化・標準化

IEA（国際エネルギー機関）では、太陽熱利用システムや空調システムのシミュレーションのプログラム開発の他、プログラム検証システムBESTESTを公開している。残念なことに、現在、BESTESTをクリアした日本発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。

ボーダーレス社会において国際標準を目指すことは、我が国のプレゼンスを国際社会に示すことができるだけでなく、ビジネスチャンスに繋がるものと考えられる。

また、建築分野においてはBIM（Building Information Modeling）が一部のCADソフト開発メーカの主導で進められているが、BESTはやがてこのBIMに組み込まれることも想定している。このように、外部ツールとの連携によって本当の意味でのサードパーティーによるUI（User Interface）開発ができるのではないかと考えている。

3.4 BESTコンソーシアム

2008年5月「The BEST program」の継続的な開発、運用、支援活動を目的とし、IBEC内に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、坊垣和明委員長の下、BESTの広報や会員募集に関わる企画運営を行う運営委員会を組織した。運営委員会では、2008年5月の札幌をスタートに、2009年3月までに、仙台、名古屋、東京、広島、福岡にて、IBECとJABMEEの共

催により、全国のあらゆるユーザを対象に、最新情報を取り入れたBESTの説明会を開催し普及に努めている。

また、村上周三委員長の下、BEST専門版の機能拡張、高度化を継続するBEST専門版開発委員会（石野久彌委員長）、BEST0803版の当面の操作に関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）、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）を設置している。これらの委員会の諸活動により、①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、③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、建築主等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を整備しつつある。

4. おわりに

説明会場やサポートオフィスに、「プログラムはいつごろ完成予定ですか？」という質問が時々寄せられる。BESTは将来に亘って継続的に開発されることを目指しており、今後、定期的にバージョンアップされる予定である。つまり、完成版というものはなく、最新版が存在するだけである。簡易版や基本版も同様である。技術は絶えず進歩している。したがってプログラムも常に進化し続けなければならない。そうでなければ、あつと言う間に使えないものになってしまう。ところで、継続にはパワーが必要である。読者の方々の支援がそのパワーとなることは疑いようもない。読者諸氏のご理解とご支援を切にお願いする次第である。

2.

建築行政からみたBESTに期待するもの

野坂 和弘 国土交通省住宅局建築指導課 課長補佐

1. 地球温暖化対策の推進について

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、昨年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』を発表し、「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、昨年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中、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言える。

こうした中、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、昨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言える。

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(以下、「省エネ法」という。))」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」の改正について

1. で記述したとおり、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等から、省エネ法が改正されたところである。

従来の省エネ法では、床面積2,000㎡以上の住宅・建築物を特定建築物とし、その所有者等は新築・増改築及び大規模修繕等の際、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付けられていた。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付けられていた。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することが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付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に罰則を科することができることとした。

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建築物（今後、政令改正を行い床面積300㎡以上とする予定）を第二種特定建築物とし、これについても一定規模以上の新築・増改築の際、省エネルギー措置の届出を義務付けることとするなど、省エネルギー措置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。

（省エネ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

大規模な建築物の新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した。

（2）小規模の建築物（第二種特定建築物）を届出義務等の対象に追加

第一種特定建築物よりも規模の小さい一定規模以上の建築物（今後、政令改正を行い床面積300㎡以上とする予定）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付け、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した。

（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

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した。

（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、その新築する一戸建ての住宅の省エネルギー性能の向上に努めることとし、1年間に150戸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、国土交通大臣は勧告、公表、命令することができることとした。

（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した。

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した。

（改正省エネ法の施行日等）

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

今回の省エネ法改正により新たに省エネ措置の届出義務が課される第二種特定建築物の所有者・設計者等は、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及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6倍以上に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所である。

このため、第二種特定建築物について、省エネルギーの観点から簡易な手法で建築設計の評価を行うことが可能となるシミュレーションツールの開発が、政策的にも実務的にも、望まれている所である。

現在リリースされているBEST (Building Energy Simulation Tool) 【専門版】は、高度なシミュレーションプログラムであるが、詳細の設計データを多数入

力する必要があるが、第二種特定建築物の所有者・設計者が利用するにはハードルが高いと思われる。そこで行政支援ツールとしてのBESTは建築設備の運転条件を省エネ法に対応した計算方法にて定めた条件にて固定し、住宅・建築物の省エネルギー措置について十分な知識及び能力を有していない一般の設計者においても、十分使いこなせるプログラムとなるべく開発が進められており、改正省エネ法の施行に際し、大変有意義なツールであり、行政における省エネルギー施策の遂行に資するものと考えており、この開発に国土交通省としても大きな期待を寄せている所である。

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

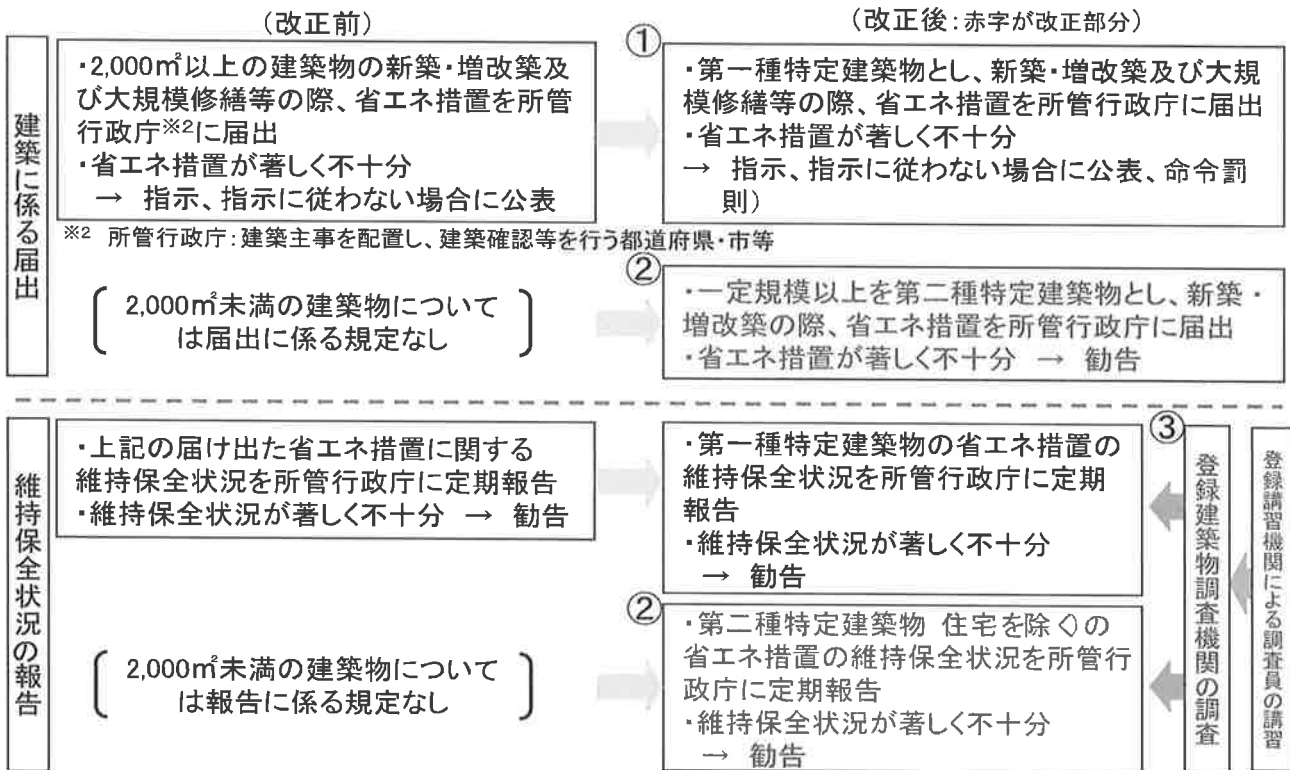
※¹ 省エネ措置:建築物の外壁、窓等の断熱化、空気調和設備等の効率的な利用のための措置

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



④住宅を建築し販売する住宅供給事業者(住宅事業建築主)に対し、その新築する特定住宅の省エネ性能の向上を促す措置の導入

・住宅事業建築主の判断基準の策定
・一定戸数以上を供給する住宅事業建築主について、特定住宅の性能の向上に係る国土交通大臣の勧告、公表、命令(罰則)の導入

⑤建築物の設計、施工を行う者に対し、省エネ性能の向上及び当該性能の表示に関する国土交通大臣の指導・助言

⑥建築物の販売又は賃貸の事業を行う者に対し、省エネ性能の表示による一般消費者への情報提供の努力義務を明示

○施行日:平成21年4月1日(②については平成22年4月1日)

3.

行政支援ツールとしてのBESTの開発概要

坂本 雄三 東京大学大学院 教授
野原 文男 (株)日建設計 執行役員 設備設計部門副代表

佐藤 正章 鹿島建設(株) 技師長

1. 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対策が必須となってきている。建築分野においても、省エネ法の適用強化が進められており、これまで大規模建物を中心にして進められてきた建築物の省エネルギー対策を小規模建物に対しても強化することが課題の一つとなっており、それらの取り組みを適切に評価する評価法の整備も重要になっている。

The BEST Programは、高度なエネルギーシミュレーションプログラムであり、この分野の特出したエンジニアの専門的なツールと思われがちであるが、そのツールをカスタマイズして、設計者自身が手軽に使える省エネルギー検討ツールであると同時に、小規模建物に対する省エネ計画書の提出にも活用できるような評価ツール（以降、行政支援ツールと呼ぶ）を現在開発中である。

2. BESTの行政支援ツールの位置づけと役割

BESTの開発にあたって、図1に示すバリエーションを念頭において、具体的な開発が進められている。

現在リリースされているものは、“専門版”として位置づけられており、BESTの最大の特徴である建築の熱性能や空調の省エネ性能を評価するだけでなく、電気や衛生の省エネ・省資源性能を総合的に検討できるツールとなっている。しかし、熱負荷の詳細な動的特性、機器の制御特性、建築と一体化した空調システム、複雑な機器相互の相互作用なども解析・評価できるようなシミュレーションツールであることが、逆に、詳細な設計データを多数入力する必要があることに繋がり、利用に習熟が必要な“専門的”なツールとなっていることは否めない。

これに対して、BEST簡易版やBEST基本版は、BESTの高い機能をできるだけ維持しながらも、ある



図1 BESTのバリエーション

程度、汎用性を限定することにより、一般の設計者が使いこなせるツールとなることを大前提として、開発を進めている。

BEST簡易版及びBEST基本版の開発の基本コンセプトを下記に示す。なお、簡易版と基本版の役割分担については4.に後述する。

- ・外皮性能（PALに相当）と設備のエネルギー効率（CECに相当）を簡易に算出し、省エネ計画書の省エネ性能データとして行政に提出できるようにする。
- ・内部発熱や機器の運転時間などの建築・設備の運転条件は、これまでの省エネ法に対応した計算法で定めた「標準運転条件」と可能な限り整合させる。言い換えると、BEST専門版では変更可能な入力データの多くを上記の考え方で定めたデフォルトデータに固定することになる。
- ・外皮性能や個々の設備のエネルギー効率だけでなく、BESTの本来の機能である建物全体のエネルギー消費量、CO₂排出量などを算出して示すことにより、省エネ・省CO₂設計のモチベーションを高める。
- ・設計の最終的な仕様を基に、その省エネ性能を評価して行政に届け出るといった事務的な側面だけでなく、本来の法の主旨である「建築物の省エネ化の推進」という観点から、実務における企画設計段階、基本設計段階での「省エネ設計のためのツール」として活用できるようにする。言い換えると、設計の様々な要素を変更したときにその省エネ効果を簡単に定量評価できるようにすることにより、設計者の判断や顧客との合意形成などに活用し、設計初期段階からの省エネ設計の作りこみを可能にする。
- ・“行政支援ツール”としての役割とは異なるが、簡易版から基本版へ、さらに専門版にデータを受け継ぐことを可能なようにする。これにより、設計フェーズに応じたデータを追加入力することにより、設計フェーズにあわせた省エネ性能評価を可能にする。また、習熟が必要なBEST専門版のデータ作成を支援するという役割も持つ。

3. 行政支援ツールのデータ入力簡易化

前述のように、BEST行政支援ツール（簡易版・基

本版）は、BEST専門版とは異なった役割を担っているが、BESTの計算実行モジュール（いわゆる計算エンジン部分）は、BEST専門版と同じ物を用いる。したがって、専門版の高い精度の計算を行うが、専門版に必要な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より、少ない入力で、これまでのPALやCECに相当する指標を計算したり、建物全体でのエネルギー消費量・CO₂排出量の推定を行ったりすることを可能とする（図2参照）。具体的には、例えば簡易版では図3、図4に示すようなデータを入力する。この簡易化に際しては、可能な限り複雑な入力を避け、

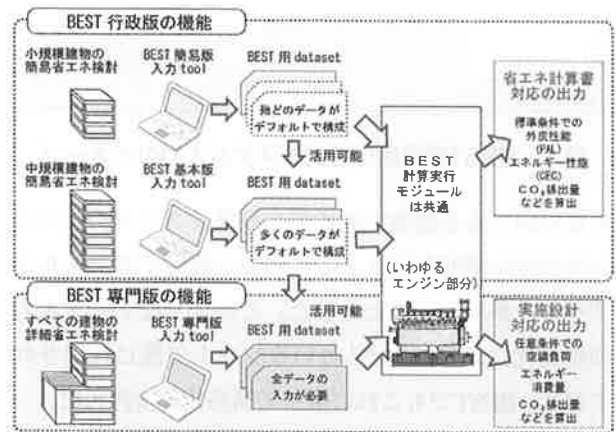


図2 BEST行政ツール（簡易版・基本版）とBEST専門版の位置づけ



図3 BEST簡易版の建築データ入力のイメージ



図4 BEST簡易版の空調システム入力イメージ

計算目的である建物の熱性能や設備システムの省エネ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することとした。このようなデータ入力の簡易化は、FACES^{※1}というソフトで既に採用されており、BESTでもこれに倣って簡易化を検討した。

※1 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。

4. 行政支援ツールとしてのBESTの役割分担

4.1 BEST簡易版の活用

BEST簡易版の活用イメージを図5に示す。BEST簡易版は、概ね平成22年度から省エネ計画書の提出が義務付けられる小規模建物やポイント法などによる簡易評価が可能

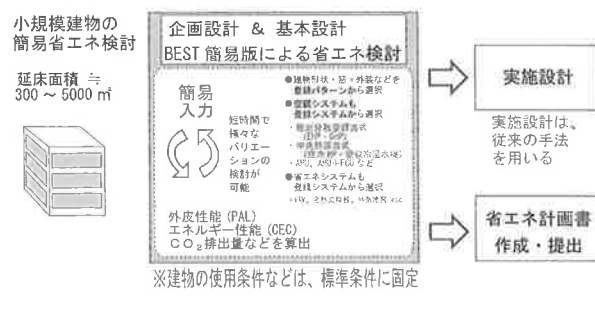


図5 BEST簡易版の活用イメージ

務付けられる小規模建物やポイント法などによる簡易評価が可能な中小規模の建物での活用を想定して開発を進めている。つまり、おおむね延床面積300m²～5000m²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。延床面積2000～5000m²の建物は、これまで、ポイント法(仕様基準)による簡易な省エネ評価が可能であったが、このポイント法に比して、精度が高く、かつユーザーの手間も少なく、更に、実効ある省エネルギーを検討できるツールとなることを目標とした。

現行のポイント法は、採用する省エネ手法による省エネ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基にして、運用段階における省エネ・省CO₂の性能を予測したり省エネ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、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。

4.2 BEST基本版の活用

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する。開発にあたっては、簡易版の開発を先行して進めているが、基本版では、より細かい条件設定を可能にするオプション機能を充実させてい



図6 BEST基本版の活用イメージ

くことを想定している。

基本版の対象として想定した規模の建物に対しては、すでにPALとCECによる評価が必須となっており、CEC/AC（空調のエネルギー消費係数）の計算に関しては精度の高いシミュレーション手法（BECS：Building Energy Consumption Simulator）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言い難く、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計画書の提出のためにPALやCECを計算することが多い。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、これらの評価法を省エネ性能の検討に積極的に活用することはあまり行われていない。また、PALとCECの評価を建築図や設備システムにできるだけ忠実にを行うためには、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。これに対して、BEST基本版は、ある程度の精度を確保しながら、できる限り簡易化を図り、設計の要所々々で活用できるツールとすることを目指している。

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、更にBEST専門版でも受け継いで利用できるように配慮した。

4.3 BEST専門版の役割

BEST専門版の活用イメージを図7に示す。

BESTの行政支援ツール（簡易版・基本版）は、あくまでも省エネ法に対応した標準使用条件における省

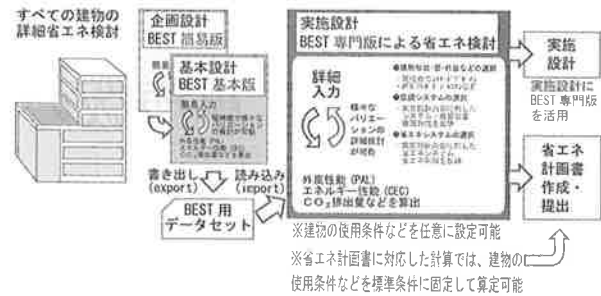


図7 BEST 専門版の活用イメージ

エネ効果の検討・評価ツールである。このため、建物の詳細な形状、実際の運用条件に対応した詳細な省エネ検討や、特に、運用時間が長い、内部発熱が非常に大きいなどの特殊条件がある建物の省エネ検討に際しては、BEST専門版を用いることが必要になる。

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検討を進めることが重要である。更に、実施設計などで詳細な省エネ検討が必要な場合は、企画・基本設計段階の検討用データを再利用して、BEST専門版の入力データのベースとして利用することを可能とする。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基に、入力データを細かく再設定することができる。

これらの詳細データを用いて、省エネ計画書に対応したPALやCECに相当する評価指標を算定する機能も必要となる。具体的には、これらの指標を算定して、省エネ計画書に記載して提出するためには、「建築主の判断基準」や他の建物との比較を可能にするために、建物の利用時間や内部発熱などを省エネ法に対応した「標準運転条件」に戻して、再計算する必要がある。

これに関しては、専門版の追加機能として、今後の開発が必要となる。

5. おわりに

BESTを活用した行政支援ツールの開発は、今後の建築物の省エネ設計のプロセスを変える可能性を持っており、開発したツールの試行・活用と開発・改善を継続的に実施していくことが重要と考えている。

4.

BEST専門版の特徴と位置づけ

石野 久彌 首都大学東京大学院 名誉教授

1. 開発当初の基本方針

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。840地点まで拡大できたことはかなりの成果であるといえる。従来は1時間間隔であった気象データを現在は1分間隔へ進展している。このことも大きな進展である。1分間隔の気象データが揃えば、1分の倍数の時間であれば任意の時間間隔の気象データを生成することが可能となる。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。しかし、この間、猪岡は種々のプログラム作成に貢献してきた。HASP/ACSS、BECS、FACESなど、各々特徴あるプログラムを殆ど一人の力で作成、維持管理してきたことは、空調界にとって大きな財産となっている。またこれ以外にもHASP系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。それらは設備技術者協会がその開発基盤として機能してきた。また各企業でも同

様のソフトウェアの開発の競合が見受けられた。

これから登場するBESTはHASPの延長線上というのではなく、今の時代に最も相応しいもの、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BESTの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。

1) ユーザーフレンドリー

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、『言うは易し行うは難し』である。プログラムは使いやすさが最重要なのである。わかってはいるが、いろいろな多機能な精度の高いプログラムにすることに力点を置きがちであり、使いやすさは二の次になってしまいがちなのである。使いやすさはプログラム完成後に第三者組織に任せるべきだと思っている開発者もいるのである。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) で作成する方が相当楽である。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初心者にとってはGUIの方がはるかに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とな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。開発当初に利用者のアンケート調査をしたが、多少入力は複雑でも計算精度が高い方がいい、計算精度を犠牲にしても入力がやさしい方がいい、の両者では後者の方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、真摯に受け止めなければならないのだが、本当にそうなのかという不安感が抜け去らないのが開発者側の気持ちである。そういう点もユーザーフレンドリーを困難なものにしているのかもしれない。

現在鋭意開発している行政支援ツールとしての簡易版・基本版は入力量を極力減らし、ユーザーにとって使い易いものにするを第一にして作成している。ただ、入力を極端に減らして（ほとんどがデフォルト値）のBESTの利用はBEST本来の計算精度にはならないことを承知しなければならない。しかし、簡易設計、基本設計の段階で必要とする計算精度は十分に得られるものと確信している。

2) 拡張性

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。オブジェクト指向プログラミング、開発委員に若い人を積極的に勧誘、データベースの新陳代謝を可能にするプログラム・組織作り、等々である。

3) メンテナンス

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。言い換えれば、BEST開発は終えるということはなく常

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、一本の幹は着実に常時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。UIUCのBSOでは、このようなBLASTのメンテナンスをしつつも、MIT、スタンフォード、カーネギーメロン大学との4大学交流のソフトウェア研究会を組織したり、建築・空調・熱源をインテグレートするiBLAST構想とか、DOE2とBLASTを合体させてEnergyPlusを作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のような維持+開発という体制づくりが望まれるのである。現在、その方向で進んでいる。

4) 国際性

国際性については、過去のわ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。現在アメリカのエネ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カ国から340本に及んでいる。無償配布のものが多いようである。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自由に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。国際性の範疇がどうか境界のところであるが、ソフトウェア開発にとってオープンソースという風潮も無視できない。そもそもオープンソースとは、あるソフトウェアのソースコードをネット上に無償で公開し、世界中の不特定多数の開発者が自由に参加できる環境を提供することで、そのソフトウェアをさら

に開発していく方式であり、ヨーロッパ、アメリカの若い知的階層が積極的に参加しているものであり、インド、中国などはプログラム人口の多さの割には参加者が少ないといわれている。BESTで時々話題になるオープンソースというのは、開発終了時に、プログラムコード無償で公開するか否かという限定的なものであるようだが、インターネット上で配信されるようになってきていること、それが新たな開発につながるかどうか、また日本語を使わないですべて英語表記にする土壌が日本で育つかどうかなど議論の余地はある。限定的であるにせよオープンソース化は、プログラムの精度を公開することにもつながり、使用上の安心感も出てこよう。オープンソース化しない可能性も残しているので、国際エネルギー機関（IEA）で推奨されているBESTESTによるプログラム検証の必要性を痛感し、国際的に認められる計算精度確認を行っているところである。

5) Web利用

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、ASP³⁾やSaaS⁴⁾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利用に関しての検討は開始したばかりであるが、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。理想的にはいつでもどこからでも誰でも利用できるBESTになっていれば最高であろう。

2. 海外のソフトウェアの事情

わが国で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にはわ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

ンスファクター法の発表と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。わ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、アメリカではTask Groupの流れを受けて1971年にLokmanhekim, M.らによるFORTRAN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DOE2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、つまりシステムの中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DOE2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は当初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かったが、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他多くのプログラムが存在するが、EnergyPlusが今現在、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いのか、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、非公開の時にはIEAのBESTESTのような手順に従うことが信頼性に応えられる、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見られる、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、様々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. プログラム開発のキーワード

種々の重要な用語について説明する。

1) オブジェクト指向プログラミング

オブジェクト指向プログラミングが今やソフトウェア業界の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易いこと、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作るため役割ごとにセキュリティを設定し易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。再利用のレベルも様々あり、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、他がある。

2) Java

言語としてJava言語を採用した。Java言語は、C言語に似た文法をも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、他である。

3) UML

UMLとはUnified Modeling Languageのことであり、直訳すれば統一モデリング言語と言うことになるが、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。UML2.0ではソフトウェアシステムに対して様々な角度からモデリングできるように13種のダイ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の視点から見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。

4) XP

XPとは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、4つの価値と12のプラクティスで表現される。4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・設計変更を恐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（システムメタファー）である。

5) Eclipse

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圧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以外も殆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。

6) XML

XML (eXtensible Markup Language) とは、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言われる。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、データの意味は分からないし階層的なデータも表すことができない。更にデー

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）の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変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ー法は、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退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、またエクスプ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元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、エクスプ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、反復解法やエクスプ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、エクスプ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恐れがあり、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、ユーザ入力簡易化を考えている。空調計算は常にエクスプ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、4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。

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成果に基づき、表1に特徴をまとめて記す。

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、日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3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、数種のフラインド、中空層厚、封入ガスの場合の断熱性能値、日射遮蔽性能値、可視光透過率データを選択可能（約650種）。エアフローエイ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。
	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。

分類	特徴	概要
設備共通	機器のモジュール化	各機器モデルを、統一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。
空調	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。
	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）を組合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）等を入力することが可能である。
電気	昼光連動照明制御	照明制御において、明るさセンサ部に入射する昼光強度を受け、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、よりリアルタイムのあるシミュレーションが可能である。

分類	特徴	概要
コジェネシステム	連成計算が可能	従来のコ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を与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。
	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。
蓄熱システム	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、氷蓄熱槽：現場築造型）、蓄熱制御弁、蓄熱槽内水槽プロファイル確認用グラフ、熱量計などを独立モジュールとして作成し、これらの組み合わせにより色々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氷蓄熱槽には、TESEP-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。氷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なっている。
	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。水温プロファイ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。
	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。
GUI	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、エネルギー等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。

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ということである。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。ソフトウェア科学の分野では4つの定義を宣言している。

- ・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
- ・ドキュメント作りよりも動くソフトウェア
- ・当初契約内容よりもユーザとの協働
- ・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勿論である。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、読者の皆さんからは非とも種々の意見を戴きたいと思う所存である⁶⁾。

【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)、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)、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)

<注記>

- 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。Crawley,D.B., Hand,J.W., Kummert,M., Griffith,B.T.: Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs, US Department of Energy, 2005
- 6) 筆者のアドレス:ishino.h@gmail.com
BESTのHP:<http://www.ibec.or.jp/best/index.html>

<参考文献>

- 1) 赤坂、荒井、井川他:拡張アメダス気象データ 1981-2000、日本建築学会、2005
- 2) Malkawi,A.M., Augenbroe,G: Advanced Building Simulation, Spon Press, 2003
- 3) Flanagan,D.: JAVAクイックリファレンス 第4版、O'REILLY, 2003
- 4) Booch,G.: Booch法:オブジェクト指向分析と設計第2版、星雲社、1995、他多数
- 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)

5.

建築の熱シミュレーション法とBESTEST

郡 公子 宇都宮大学 准教授
 平林 啓介 新日本空調(株)技術開発研究所 担当研究員

はじめに

The BEST Programは、建築と設備システムの連成計算が可能なプログラムである。連成に適する計算法を構築する過程で、解法の切換え、計算時間間隔可変などの建築熱シミュレーション法の特徴が生まれた。本報告では、シミュレーション法の特徴と概要、建築と設備システムとの接点の扱い方を述べ、国際的なプログラム検証手法であるBESTESTによる検証を報告すると同時に、建築一体化空調の試算例を紹介する。

1. 建築熱シミュレーション法の特徴

BESTの建築熱シミュレーション法は、次のような特徴をもっている。

- 1) 設備システムとの連成計算と建築単独計算の両方が可能である。
- 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) 計算時間間隔が可変である。
- 4) 室間の相互影響を考慮できる。
- 5) 熱計算のほか、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。
- 7) 豊富な窓・壁性能値データベースをもち、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。
- 8) データベースとユーザ入力データに、再利用性の高いXML形式を導入し、プログラムでの読込みに、JAXBの自動インスタンス化機能を利用している。

以降に、解法、計算法の概要とともに、これらの特徴についても述べる。

2. 室熱平衡式と解法

室間の相互影響を考慮する計算を行うことを前提として、各室の室温、絶対湿度を未知数とする熱平衡式をたてた。時間ステップ n における、室 i の熱平衡式は、係数を整理すると次式になる。

$$C_i \cdot \dot{\theta}_{i,n} = K_{i,i,n} \cdot \theta_{i,n} + \sum_k K_{i,k,n} \cdot \theta_{k,n} + F_{i,n} + q_{i,n} \quad \dots (1)$$

ここに、

$\theta_{i,n}$, $\dot{\theta}_{i,n}$: 室 i の室温 [°C]、室温の時間微分 [K/sec]

C_i : 室 i の室熱容量 [J/K]

$K_{i,k,n}$: 室 i の熱平衡式の室 k に関わる係数 [W/K]

$F_{i,n}$: 室 i の熱平衡式の定数項 [W]

$q_{i,n}$: 室 i の空調供給熱量 [W]

BESTでは、式(1)に対して2つの解法をもち、使い分けて計算することが可能である。建築側の熱の現象は、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。建築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、建築側に適する解法をとるというように切り換えるようにした。前者はエクспリシット法、後者はインプリシット法である。

エクспリシット法では、室温などの現在の状態値を既知とし、次ステップの状態値を未知数として扱う。多数室の熱平衡式を連立させて解く必要はなく、次に

示す4次ルンゲクッタ法を利用して各室の状態値を求めることとした。

$$\theta_{i,n+1} = \theta_{i,n} + (\Delta\theta_1 + 2\Delta\theta_2 + 2\Delta\theta_3 + \Delta\theta_4) / 6 \quad \dots (2)$$

$$\Delta\theta_1 = \dot{\theta}_{i,n}(\theta_{i,n}) \cdot \Delta t \quad \dots (3-1)$$

$$\Delta\theta_2 = \dot{\theta}_{i,n}(\theta_{i,n} + \Delta\theta_1 / 2) \cdot \Delta t \quad \dots (3-2)$$

$$\Delta\theta_3 = \dot{\theta}_{i,n}(\theta_{i,n} + \Delta\theta_2 / 2) \cdot \Delta t \quad \dots (3-3)$$

$$\Delta\theta_4 = \dot{\theta}_{i,n}(\theta_{i,n} + \Delta\theta_3) \cdot \Delta t \quad \dots (3-4)$$

$$\dot{\theta}_{i,n}(\theta_{i,n}) = \frac{K_{i,i,n}}{C_i} \theta_{i,n} + \sum_k \frac{K_{i,k,n}}{C_i} \theta_{k,n} + \frac{F_{i,n} + q_{i,n}}{C_i} \quad \dots (4)$$

空調供給熱量は、例えば、PID制御理論などを応用して、既知である現在の状態値を利用して次式で表す。

$$q_{i,n} = K_p(\theta_{i,n} - \theta_{sp}) + \frac{K_p}{T_i} \sum_{j=0}^{\infty} (\theta_{i,n-j} - \theta_{sp}) \Delta t_{n-j} + K_p \cdot T_d \frac{(\theta_{i,n} - \theta_{i,n-1})}{\Delta t_n} \quad \dots (5)$$

ここに、

K_p ：比例ゲイン

T_i, T_d ：積分時間、微分時間 [sec]

θ_{sp} ：設定室温 [°C]

Δt_n ：前ステップとの時間間隔 [sec]

エクспリシット法は、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 $\theta_{k,n}$ を未知数として扱い、多数室熱平衡式を連立させて解く。

$$\frac{C_i}{\Delta t_n} (\theta_{i,n} - \theta_{i,n-1}) = K_{i,i,n} \cdot \theta_{i,n} + \sum_k K_{i,k,n} \cdot \theta_{k,n} + F_{i,n} + q_{i,n} \quad \dots (6)$$

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活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

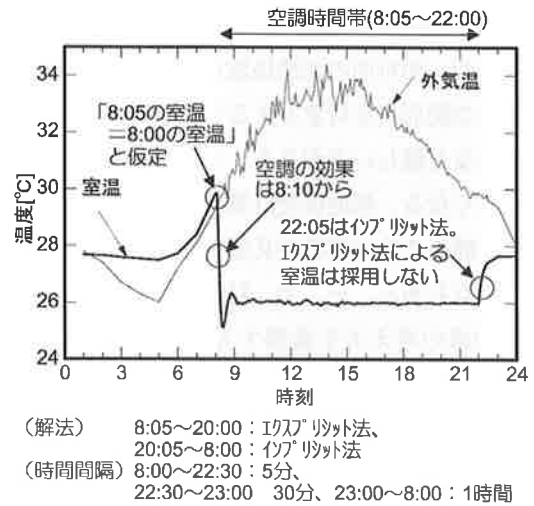


図1 建物側解法の切換え例

空調時間帯は1時間を基本とした場合である。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する。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、エクспリシット法による解とインプリシット法による解の2種が得られるが、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。

3. 各部計算法

3.1 壁体の計算法

壁体非定常伝熱計算法は、計算時間間隔可変に対応できる方法にする必要がある。この点から、HASP/ACLDを初めとして、従来の熱負荷計算プログラムによく利用されてきた応答係数法は、適さない。そこで、松尾の項別公比法⁶⁾を拡張して、計算時間間隔可変に対応できる式に変形し、これを利用した。図2に示すように、各時間ステップの外乱や空調熱量を不等辺三角波励振で表し、その応答式をもとにするものである。任意の外乱変動時系列に対する応答時系列の式を導いたものを表1に示す。

壁体計算に関連して、表面温度を未知数とするかどうかの問題となった。表面温度を未知数とすると、対

流・放射の取扱いが明快で、熱平衡式自体はわかりやすいものの、面对面の形態係数を求める上で、どの程度自由な空間形状を対象とするか、家具類の扱いをどうするかなど難しい点がある。また、連立方程式の未知数が多くなる、形態係数計算に時間がかかる恐れがある、空間の3次元情報が必要で入力の手間がかかるという欠点もある。そこで、対流・放射を近似的に分離する従来の考え方を踏襲することにした。HASP/ACLDでは、熱取得に対する熱負荷の重み係数を利用

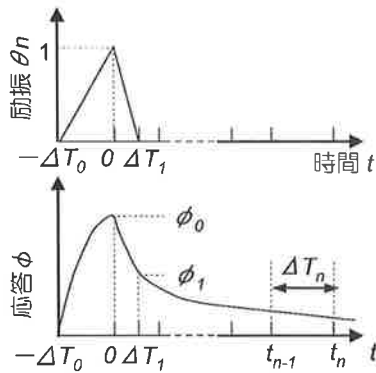


図2 不等辺三角派励振に対する応答

表1 項別公比法による壁体伝熱計算法

項別公比法を、計算時間間隔可変に対応するよう拡張して利用する。まず、不等辺三角波励振に対する応答を、時系列 ϕ_n ($n=0, 1, \dots$) で表すと、次式となる。

$$\phi_0 = A_0 + \sum_{k=1}^{k_0} X_{k,0} \quad \dots (1-1)$$

$$\phi_1 = \sum_{k=1}^{k_0} Z_{k,1} = \sum_{k=1}^{k_0} (R_{k,1} \cdot X_{k,0} - X_{k,1}) \quad \dots (1-2)$$

$$\phi_n \ (n \geq 2) = \sum_{k=1}^{k_0} Z_{k,n} = \sum_{k=1}^{k_0} R_{k,n} \cdot Z_{k,n-1} \quad \dots (1-3)$$

ただし、 $R_{k,n} = e^{-\alpha_k \cdot \Delta T_n}$ $\dots (2)$

$$X_{k,n} = \{A_k / (\alpha_k \cdot \Delta T_n)\} (1 - R_{k,n}) \quad \dots (3)$$

さらに、任意の外乱変動の時系列 θ_n が与えられる場合の応答 q_n を、式(2)、(3)を用い、 $Z_{k,n}$ を改めて導いて表すと、次のようになる。

$$q_n = \phi_{0,n} \cdot \theta_n + \sum_{k=1}^{k_0} Z_{k,n} \quad \dots (4)$$

$$\phi_{0,n} = A_0 + \sum_{k=1}^{k_0} X_{k,n} \quad \dots (5)$$

$$Z_{k,n} = R_{k,n} \cdot Z_{k,n-1} + (R_{k,n} \cdot X_{k,n-1} - X_{k,n}) \theta_{n-1} \quad \dots (6)$$

ただし、 $Z_{k,1} = (R_{k,1} \cdot X_{k,0} - X_{k,1}) \theta_0$ $\dots (7)$

【記号】 n : 時間ステップ、 $R_{k,n}$: 項別公比、 $X_{k,n}$: 項別公比法係数、 $Z_{k,n}$: 過渡項、 A_0, A_k : ステップ応答の定常項と係数、 α_k : 根、 k_0 : 根の数、 ΔT_n : 時間ステップ n と $n-1$ との時間差、 $\phi_{0,n}$: 不等辺三角波励振の時間0での値

することで、対流・放射の近似分離を行っている。BESTでは、松尾の方法を利用して、まず、室熱取得に対する室熱負荷応答 W を求めることにした⁷⁾。また、将来、壁面流計算を組込むことを考え、室温が得られた後に各部の表面温度を計算できるようにした。すな

表2 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。

$$Q(s) = HG(s) \cdot W(s) \quad \dots (1)$$

$HG(s)$ は、室内側相当温度 $\Theta_{oe}(s)$ 、室外側相当温度 $\Theta_{re}(s)$ 、室内側表面の吸収放射熱 $RI(s)$ を使って、次式で表される。

$$HG(s) = \Phi_{T0}(s) \Theta_{oe}(s) - \Phi_{A0}(s) \Theta_{re}(s) + RI(s) \quad \dots (2)$$

ただし、 $\Theta_{re}(s) = \Theta_r(s) + RI(s)/h_r$ $\dots (3)$

外壁の場合、

$$\Theta_{oe}(s) = \Theta_o(s) + (I(s) - RN(s))/h_o \quad \dots (4-1)$$

室温未知の隣室の場合、

$$\Theta_{oe}(s) = \Theta_{ro}(s) + RO(s)/h_o \quad \dots (4-2)$$

式(1)~(3)より、

$$Q(s) = \Phi_T(s) \Theta_{oe}(s) - \Phi_A(s) \Theta_{re}(s) + W(s) RI(s) \quad \dots (5)$$

ただし、 $\Phi_T(s) = \Phi_{T0}(s) W(s)$ $\dots (6-1)$

$$\Phi_A(s) = \Phi_{A0}(s) W(s) \quad \dots (6-2)$$

【記号】 h_r, h_o : 室内側、室外側総合熱伝達率、 $\Theta_o, \Theta_r, \Theta_{ro}$: 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。

$$W(s) = h_c \cdot A_{wt} / (h_c \cdot A_{wt} + h_r \sum_i A_{wi} (\Phi_{A0i}(s)/h_i)) \quad \dots (7)$$

ただし、 $A_{wt} = \sum_i A_{wi}$ $\dots (8)$

貫流熱負荷に関する壁体伝達関数 $\Phi_T(s)$ を例にとると、

$$\Phi_T(s) = W(s) \Phi_{T0}(s) = A_0/s + \sum_{k=1}^{k_0} A_k \cdot s / (s + \alpha_k) \quad \dots (9)$$

と置き近似的。

【記号】 h_c, h_r, h_i : 室内側対流、放射、総合熱伝達率、 A_{wt} : 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_0, A_k : ステップ応答の係数

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熱量を計算する。表2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⁸⁾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⁹⁾、表面積を適当に仮定し、壁体と同様に取り扱う。

3.2 窓の計算法

窓からの日射熱取得は、表3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¹⁰⁾。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4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蔽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蔽性能値は、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

表3 窓日射熱取得の計算法

■日射熱取得

日射熱取得 HG_{SR} [W/m²]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/m²]を、次式で表す。

$$HG_{SR} = I_D \cdot \eta_D + I_S \cdot \eta_{SKY} + I_G \cdot \eta_{GR} \quad \dots(1)$$

$$HG_{SR,SR} = I_D \cdot \tau_D + I_S \cdot \tau_{SKY} + I_G \cdot \tau_{GR} \quad \dots(2)$$

$$HG_{SR,LR} = k_{LR}(HG_{SR} - HG_{SR,SR}) \quad \dots(3)$$

$$HG_C = HG_{SR} - HG_{SR,SR} - HG_{SR,LR} \quad \dots(4)$$

【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]、 τ_D 、 τ_{SKY} 、 τ_{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[-]、 η_D 、 η_{SKY} 、 η_{GR} ：直達、天空、地表面反射日射に対する日射熱取得率[-]

る計算法を採用した¹¹⁾。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¹⁰⁾、¹¹⁾。

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¹²⁾。

表4 一般窓の日射遮蔽性能値の計算法

■ブラインド非使用時の一般窓の日射遮蔽性能値

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。

$$\eta_G = \eta_{G0} f_G \quad \dots(1) \quad \tau_G = \tau_{G0} g_G \quad \dots(2)$$

直達日射に対する f_G 、 g_G は、次式で得られる。

$$f_G = \sum_{n=1}^5 A_n \cdot \cos^n i \quad \dots(3) \quad g_G = \sum_{n=1}^5 B_n \cdot \cos^n i \quad \dots(4)$$

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蔽性能値

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、スラット隙間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、2つの項に分けた式で推定する。

$$\tau_{GB} = x_{GAP} \cdot \tau_G + (1 - x_{GAP}) \tau_{GB'} \quad \dots(5)$$

$$\eta_{GB} = \eta_{GBA} + \tau_{GB} \quad \dots(6)$$

$$\eta_{GBA} = x_{GAP} \cdot k_B \cdot \eta_{GA} + (1 - x_{GAP}) \eta_{GBA'} \quad \dots(7)$$

$$\text{ただし、} \tau_{GB'} = \tau_{GB0} \cdot g_B \cdot g_{GOUT} \quad \dots(8)$$

$$\eta_{GA} = \eta_G - \tau_G \quad \dots(9)$$

$$\eta_{GBA'} = \eta_{GB0} f_{GOUT} - \tau_{GB0} g_{GOUT} \quad \dots(10)$$

【記号】 x_{GAP} ：ガラス透過日射のうちスラット隙間を通り抜ける比率[-]、 η_{GBA} 、 τ_{GB} ：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_{GAP} 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、ブラインド内蔵窓は1.0。

3.3 その他の部分の計算法

隙間風計算法は、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¹³⁾で定義される3段階の漏気係数を利用している。方位別に内外差圧と外壁・窓面積から隙間風を算出する。ゾーン間換気量は、ゾーン間境界長さや境界長さ当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¹⁴⁾。入力値の代謝量、着衣量、気流速度、作用温度と湿度から、放熱量各成分を計算する。

在室率、照明点灯率、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。

温熱環境指標の計算は、室やシステムの熱平衡状態が得られた後に行う。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。PMV計算に必要な代謝量、着衣量、気流速度は、人体発熱負荷の画面で入力したデータを利用する。

4. 窓・壁データベースとXML形式入力データ

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、これまで熱負荷計算によく利用されてきた空気調和・衛生工学便覧データ63種のほかに、DIN/EN12524データ140種、湿気物性値も含むデータ25種も用意されている。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。表5に、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。

BESTの開発初期段階より、マクロデザインの1項目としてXML形式データの利用を挙げ、この実現を目指してきた。XMLは、データにタグ名を付し階層構造化して表すもので、処理系の内容を全く知ることなくデータの内容を理解することができ、このために、BEST以外の用途での再利用性が高まる。建築側は、データベースおよびユーザ入力データは、全てXML形式を採用した。これにより、プログラムのデータ読み部分にJAXB2.0 (Java Architecture for XML

Building2.0)を利用して、データを扱いやすいインスタンスに自動変換することもできる。JAXB2.0は、XMLSchemaに記した階層構造に沿って読み込みデータを格納するクラスを自動生成するため、プログラム開発者は、データ読み込み部分を作成しなくてもよい。

5. システム側との接点の扱い

5.1 計算順序

BESTでは、建築と空調・電気・衛生との連成計算を行うこと、建築計算は2種の解法を切り換えることから、計算順序をどのようにするか整理が必要であった。検討の結果、建築と設備システムおよび共通部分の計算は、図3に示すような順序で行っている。入力データの読み込みと初期設定は、共通、建築、設備シ

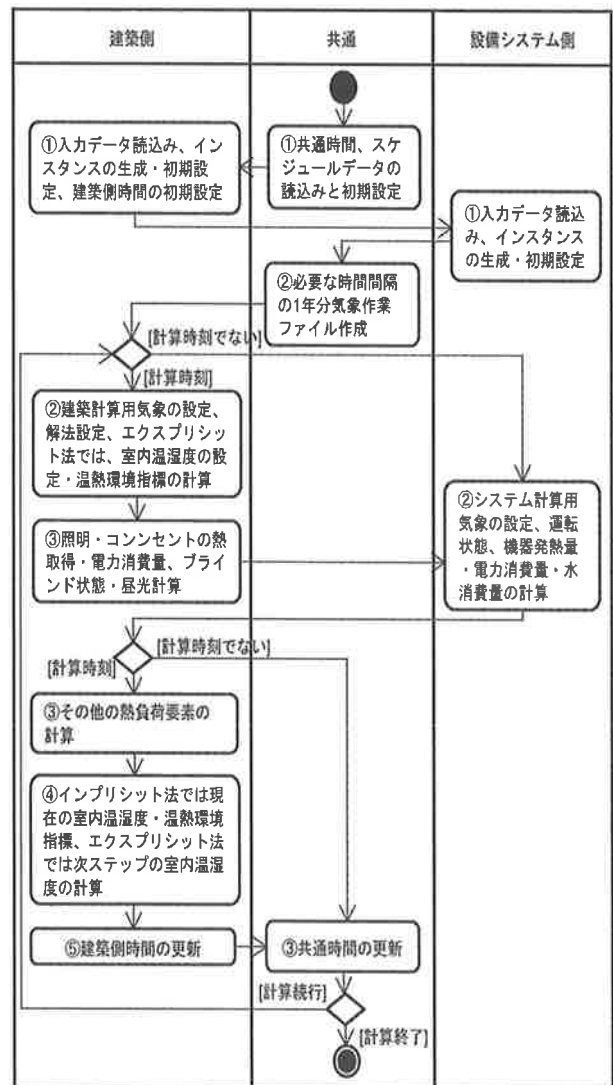


図3 建築・設備システムの計算順序 (アクティビティ図)

テムの順に行う。気象データは、建築と設備システムで計算時間間隔が異なる時間帯もあり得るため、それぞれ該当する時間間隔のものを用意する。時間ループ内の処理は、エクスプリシット法の場合、①建築側の昼光照射度・電力消費量計算、②システム側の状態値・エネルギー消費量計算、③建築側の次ステップ室内温湿度状態値計算、の順となる。

5.2 システム側との接点のクラス

BESTの建築プログラムと設備システムプログラムは、基本的に独立して、それぞれ単独の計算を行うことができる。連成計算を行うときには、建築と設備システム間の情報交換が必要とある。その役目は、システム側にあるゾーンに関するモジュールが行う。建築と設備システムの接点部分のクラス構成を図4に示す。Zone Air Moduleは、ゾーン温湿度を空調システムへ伝え、空調供給熱量に関する情報を建築に伝える。Zone Env Moduleは、PMVや作用温度などのゾーン温熱環境情報を空調システムへ伝える。このモジュールを利用すると、PMV制御や作用温度制御が可能である。Zone EP Load Moduleは、照明・コンセント電力消費量を電気システムへ伝えるモジュール、Zone Heat Gain Moduleは、空調・電気・衛生システムの配管や機器の放熱量を建築へ伝えるモジュール、Zone Daylight Moduleは、昼光照射度を電気システムへ伝えるモジュールである。この5つのモジュールの機能を組み合わせ利用できるモジュールとして Zone Moduleがある。ユ

ーザは必要なモジュールを選び、設備システムの他のモジュールを接続して利用する。

6. 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EnergyPlus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。まず、その具体的な検証方法及び入力条件について述べ、次にケーススタディの結果について述べる。

6.1 検証方法と入力条件

IEAがまとめたBESTESTの報告書¹⁵⁾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、比較による検証が挙げられ、この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いく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、DOE2、ESP、SERIRES、S3PAS、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5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おり、また、計算条件についても表6に



図4 建築と設備システムの接点となるクラス

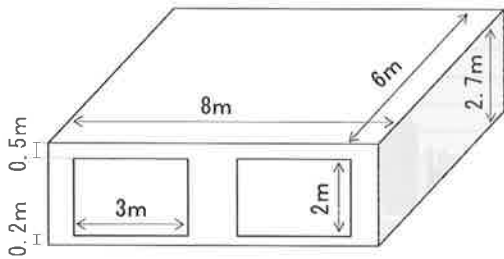


図5 標準建物アイソメ図 (CASE_600)

表6 具体的な入力情報

気象データ	EPWデータ(Denver)	
建物情報	面積: 6m×8m=48㎡、高さ: 2.7m、窓面積: 12㎡	
ガラス種類	透明フロート二重 (ガラス厚: 3mm、空気層: 12mm)	
壁体構造	屋根	Plasterboard 0.16W/mK, 10mm Fibreglas quilt 0.04W/mK, 112mm Roofdeck 0.14W/mK, 19mm
	床	Timber flooring 0.14W/mK, 25mm Insulation 0.04W/mK, 1003mm
	外壁	Plasterboard 0.16W/mK, 12mm Fibreglas quilt 0.04W/mK, 66mm Wood Siding 0.14W/mK, 9mm
侵入外気	0.41回/h	
内部発熱	機器発熱: 0.2kW 冷却方式: 自然放熱 暖房: 室温<20℃、冷房: 室温>27℃	
空調条件	暖房容量: 1000kW、冷房容量: 1000kW (実際上∞) 外気導入なし	
計算間隔	3600sec	

示すように単純なものが用意されている。この標準条件に対して、建物方位、外部日除けの有無、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7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のみサニー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

表7 各ケースの入力項目と診断項目

CASE	熱容量	空調制御		換気	窓面積 [㎡]	方位	日除け	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:1m	南側水平ルーバーの影響の検証
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:1m	東/西側水平垂直ルーバーの影響の検証
640		セッパック ^{※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		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:1m	南側水平ルーバーの影響の検証
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:1m	東/西側水平垂直ルーバーの影響の検証
940		セッパック ^{※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		小大	20℃	27℃	—	0	—	—
		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

て、空調のない自然室温を想定したケースが4つ用意されており、CASE_600、650、900、950において空調制御をなくしたものがそれぞれCASE_600FF、650FF、900FF、950FFとして用意されている。

BESTESTで比較することが可能な出力項目は表8のとおりで、これらの出力結果が大きく違う場合、フロー図に従って問題点を見つけることができるのもBESTESTの長所である。また、気象データはアメリカのデンバーの標準気象データ (TMYデータ) が用意されているが、BESTではそのままの形式では読み込めないため、EnergyPlus気象データ (EPWデータ) を使用して今回の計算を行った。

6.2 室負荷による比較

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6に示す。計算結果を見ると、ほとんどのケースでは、他のプログラムによる結果の最大・最小の範囲内におさまっていてBESTがほぼ妥当であることが確認できた。しかし、Case910の年間積算暖房負荷、Case640、940のピーク暖房負荷で最大に近い、あるいは若干最大を超えている。表7の診断項目よりルーバーの影響やセットバック制御の影響が考えられるが、計算結果が大きく違うわけではなく、この出力だけで問題を見つけることは難しく、他の出力項目についての検証が必要である。

6.3 方位別日射量による比較

方位別の全日射量の年間積算値による比較を図7に示す。与条件である水平面日射量に対して、鉛直面日射量は、直散分離法などの違いからプログラムによる差が生じる。BESTの直散分離法はPerezモデルであり、

表8 比較可能な出力項目

- ・年間積算負荷
- ・各ケース間での差 (例: 610と600の積算負荷の差)
- ・ピーク負荷とその発生日時
- ・最大室温とその発生日時
- ・最小室温と "
- ・年間平均室温
- ・各面での年間の全日射量
- ・窓の年間の透過日射量
- ・代表日の室温の時刻変動
- ・代表日の負荷の "
- ・代表日の全日射量の "

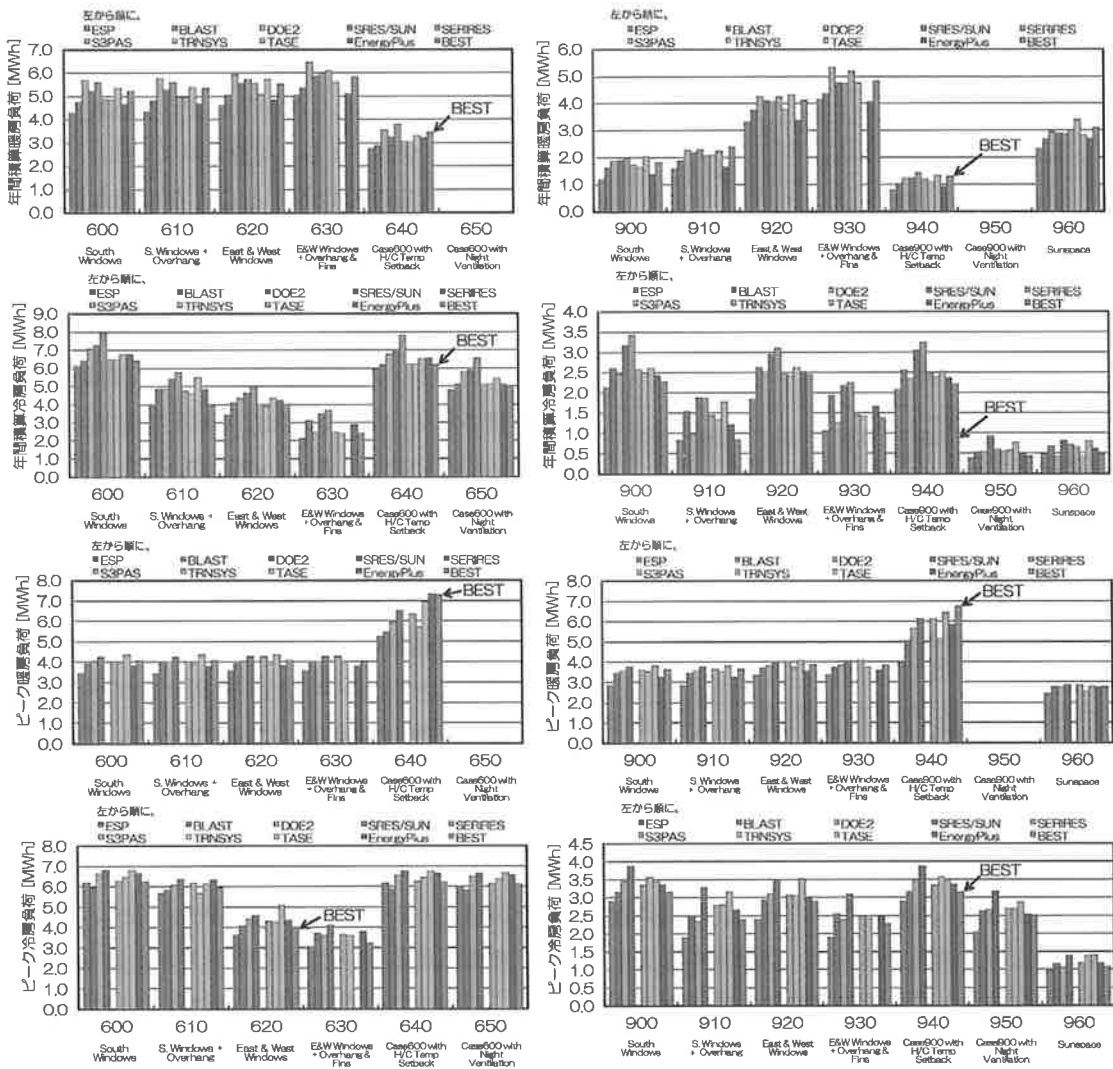


図6 BESTESTによる年積算暖冷房負荷とピーク暖冷房負荷の比較 (左：熱容量小のケース、右：熱容量大のケース)

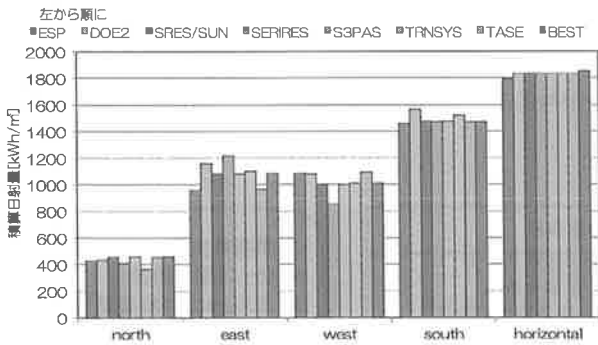


図7 BESTによる年積算日射量比較

現時点では天空日射は一様分布として扱っている。他のプログラムと比較して、ほぼ平均的な年積算日射量が得られることがわかる。快晴日と曇天日の南面と西面の全日射量の時刻変動を、図8に示す。西面におい

て、直達日射の当たらない午前中の日射量がやや大きく午後やや小さいという特徴が現れた。比較したプログラムには、天空日射を一様分布として扱うプログラムが多いが、今後BESTでは、天空日射の不均一性を考慮できるPerezの方法による斜面日射量計算に変更し、さらに比較を行う予定である。

6.4 自然室温変動による比較

1月4日と7月27日の空調制御を行わない自然室温(CASE_600FF、900FF、650FF、950FF)での時刻変動を図9に示す。1月4日の外気温は-25~-10℃であるが、建物の熱容量の小さいケースでは日射の影響を受ける昼間には30℃を超えており、一日の変動幅も50K以上と非常に大きい。それに対して熱容量の大きいケースでは変動幅も約10Kと小さい。グラフ右の7月27

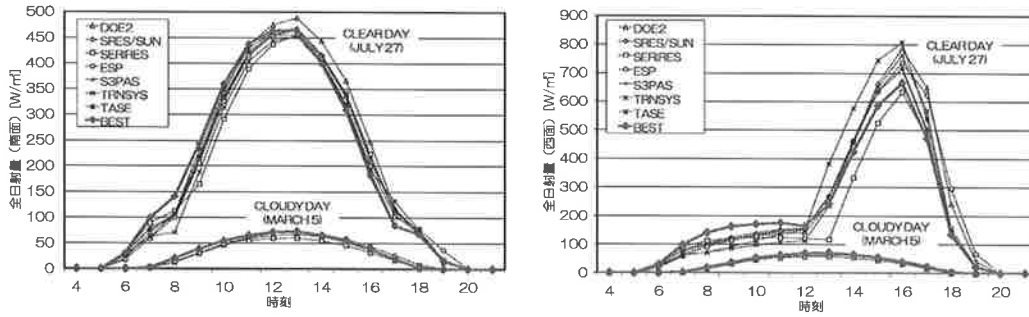


図8 BESTESTによる斜面日射量の時刻変動比較 (左：南面、右：西面)

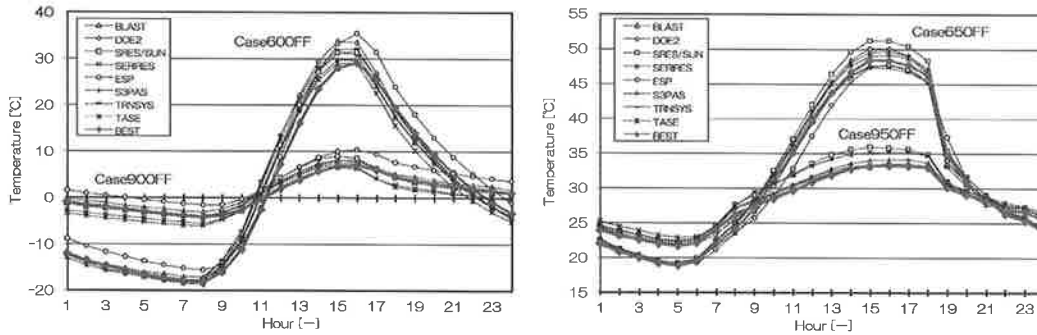


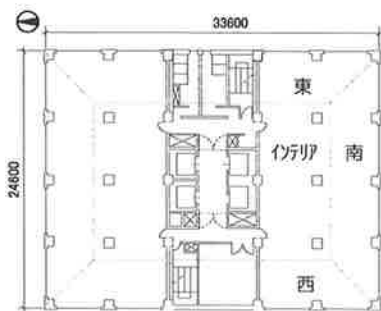
図9 BESTESTによる自然室温の時刻変動比較 (左：1月4日、右：7月27日)

日の外気温は18~35℃で、このケースでは夜間に換気を行っているため、熱容量が大きいケースでも左のグラフに比べて夜間の室温が低下傾向にあることが確認できる。多少日中の室温が低い、他のプログラムの結果と比較して大きな違いは見られない。

7 建築一体化空調のシミュレーション例

「6. 空調システムのシミュレーション法」に、詳しく述べられるが、建築・空調システムの連成計算を行う場合、システム側では、モジュール化したゾーンや機器を自由に接続して計算を行う。これまで、計算が簡単ではなかった床吹出空調や躯体蓄熱空調などの建

築一体化空調、作用温度制御やPMV制御なども、プログラム上の特別な扱いなしに、計算を行うことができる。ここでは、ゾーンモジュール (Zone Module) と、建築プログラムのテスト用に作成した空調機モジュール (AHUModule) を利用して、建築一体化空調の1つである床吹出空調の試算を行った例を示す。図10に示す標準オフィスの基準階南室について、南、西、東、インテリアそれぞれ床内空間、居住空間、天井内空間に分割し、計12ゾーンの相互影響を考慮した計算を行った。計算ケースは、床吹出方式のほか、比較のために天井吹出方式も加えた。空調による空気の流れは、空調システムの接続情報入力で指定する。接続情報を



【計算条件】
 気象：2006年大阪 (1分値)
 計算時間間隔：8:00-22:30は5分、22:30-23:00は30分、23:00-8:00は60分
 計算対象室：標準オフィス基準階南側室
 ゾーン分割：南、西、東、インテリアの居住域、天井内、二重床内の計12ゾーン
 窓：窓面積率68%、low-εグリーン複層ガラス+中間色ブラインド
 内部発熱 (最大値)：照明20W/m²、在室者0.15人/m²、OA機器15W/m²
 冷温水供給：夏期 (5-10月) 冷水、冬期 (11-4月) AHUに冷温水、FCUに温水供給
 室内設定温湿度：夏期26℃、冬期22℃50% (湿度センサーはインテリア)
 空調風量：AHU7回/h (室容積基準)、FCU15回/h (ペリメータ容積基準)
 外気取入量：1.4回/h (25CMB/人)

図10 標準オフィス基準階平面図と計算条件

空気ループ説明図として図11の右側に示した。図中の「床内」、「居住域」、「天井内」はゾーンモジュールを適用した空間、「AHU」、「FCU」は空調機モジュールを適用した機器である。このように、ゾーン同士あるいはゾーンと機器を自由に接続することが可能である。

2ケースの夏期代表日の温度と装置負荷の時刻変動を図12に示す。装置負荷は南室の単位床面積当たり

の値で示し、各装置の処理割合がわかるようにした。床吹出方式は天井吹出方式に対して、非空調時の室温が1K程度低い、空調時には床内温度が低下するだけでなく、天井内温度も1K程度低くなる。また、午前中の装置負荷が天井吹出方式より大きい。床吹出方式の年間装置負荷は、図13に示すように、天井吹出方式に対して、1割程度大きくなった。

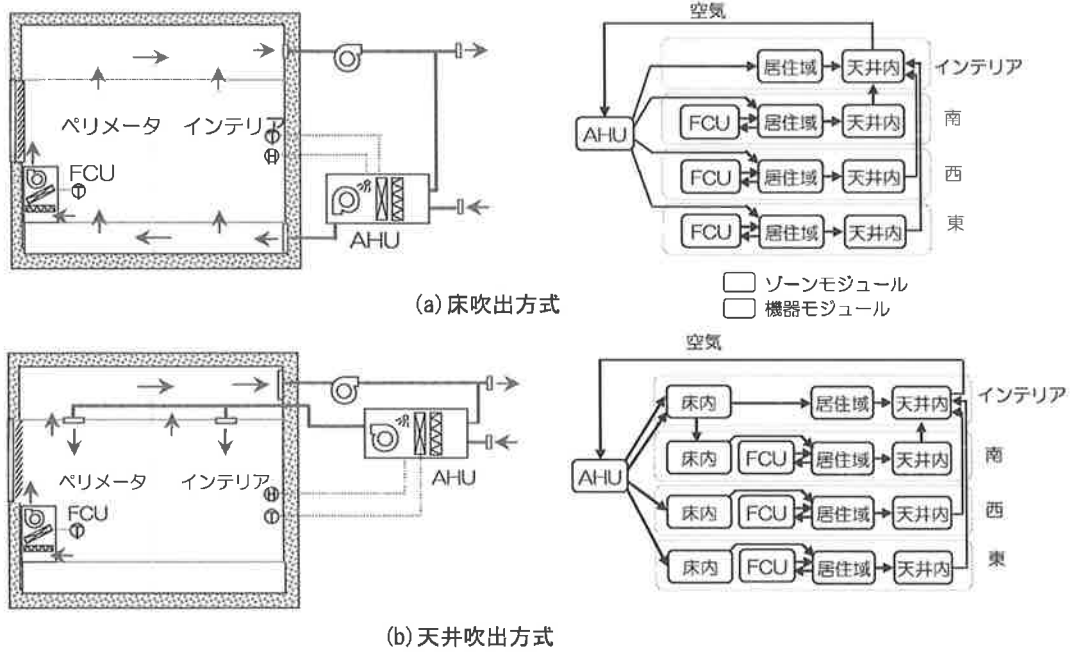


図11 空調システム図と空気ループ説明図

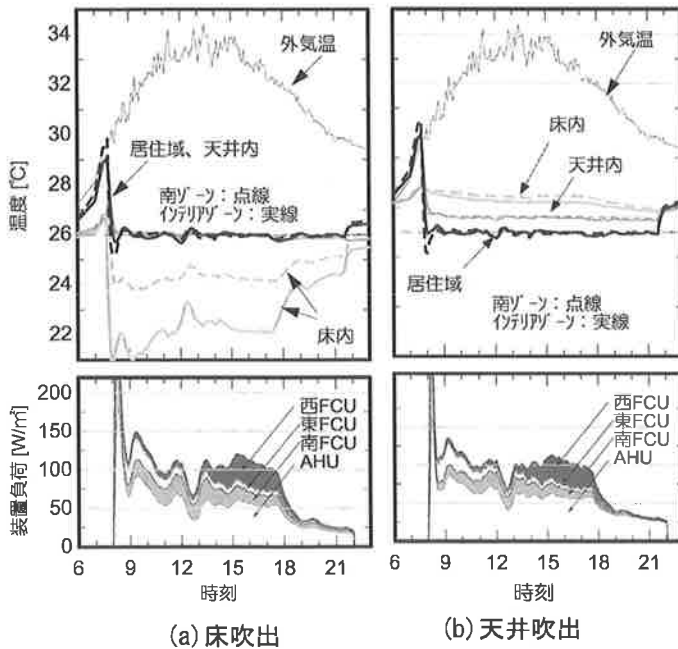


図12 夏期代表日（7月28日（金））の時刻変動特性

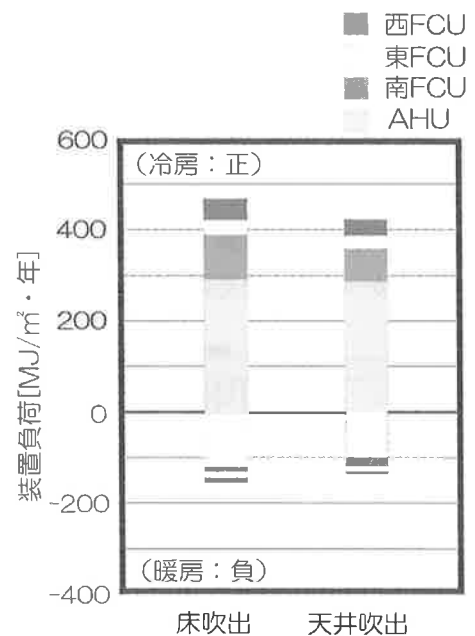


図13 年間装置負荷

おわりに

建築の熱シミュレーション法を概説し、BESTESTによる検証から建築の熱シミュレーション法が妥当であることを示した。また、建築一体化空調の試算例を示し、BESTが多様な空調システムのシミュレーションに利用可能となる可能性があることを示した。

今後は、最大熱負荷計算のための予冷熱計算法の導入、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ャ検討部会(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るものである。

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(NITTFアシリエーズ)、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) 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”に関する総合究、空気調和・衛生工学、82-1(2008-1)、pp.67-73
- 5) 郡：「特集The BEST Program」建物側のシミュレーション法、空気調和・衛生工学82-11(2008-11)、pp.31-36
- 6) 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)
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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、pp.39-44、2006.2
- 11) 郡・石野他：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、pp.369-372、2007.9
- 12) 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
- 13) 早川・戸川里：煙突効果と風力による漏気量の予測 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、pp.47-55、1990.1
- 14) 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集No.451、pp.67-74、1993.9
- 15) R.Judkoff, J.Neymark: International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, February 1995
- 16) 石野・郡ほか：オフィスビルの熱性能解析のためのBESTシミュレーション(第1報)~(第3報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008-9)、pp.1919-1930

6.

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 准教授
 二宮 博史 (株)日建設計環境計画室 主管

菅長 正光

1. はじめに

空調シミュレーションは、設計時における容量算定や、システム比較、省エネルギー性の検討、竣工後の不全のチェック等、様々な目的に用いられている。これら種々の設計フェーズおよび計算目的に対して個別のツールをそれぞれ開発するのではなく、一つの計算フレームワークのもとに、用途に応じて適切なバリエーションを用意するというのがBESTの基本方針である。

本報では、このような方針に従い、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造について解説し、BEST専門版に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、拡張性を維持しつつ、物件ごとのシステム構築（モジュール接続）作業を容易にするために導入されたテンプレート機能について説明する。最後に、BEST専門版を用いた試算例について紹介する。

2. 計算法の概要

2.1 モジュール構造と計算機能の拡充

先行する海外のシミュレーションツール（HVACSIM+やTRNSYS等）と同じく、BESTでは、各機器のモデルを統一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取っている。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。

- 1) 多様なシステム構成への対応

従来は、システム構成を予めある程度仮定した上で、機器の仕様をユーザーに入力させる方式を採ることが多かった。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。

- 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、空調に関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。

- 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、

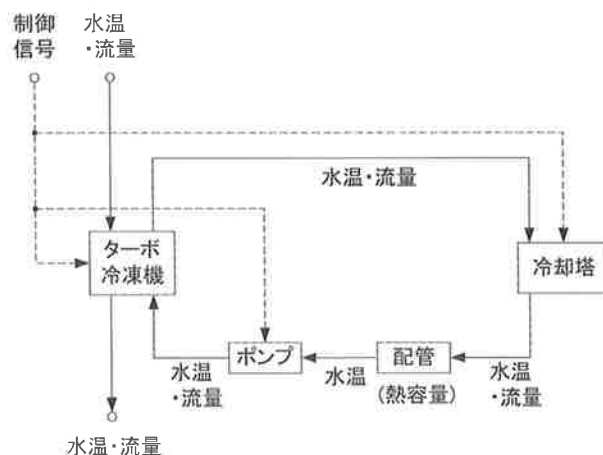


図1 部分システム「熱源周り」(ターボ冷凍機)の例

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、固定値の他、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等を用いることができる。

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。

2.2 要素モジュールの基本形

ここまで「モジュール」と読んでいたものの概念図を図2に示す。各モジュールは、時々刻々変化する機器入口条件（ u ）から出口条件（ y ）を計算することを基本とする。パラメータ（ p ）は、計算中変化する可能性のないモジュール固有の特性値であり、計算前にユーザーがモジュールごとに値を入力する。状態（ x ）は、動的なモジュールの場合にのみ必要で、例えば、躯体の熱容量が無視できない室モジュールや、動特性まで表現されたコイルモデル等に用いられる。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。

モジュールは、具体的にはJava言語で記述されたクラスであり、機器仕様等のプロパティと、メソッドの組み合わせからなる。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

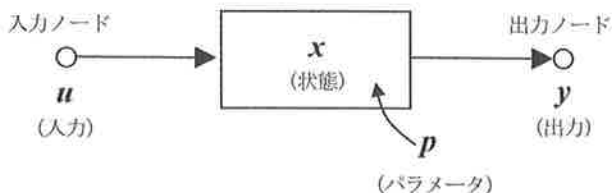


図2 モジュールの基本構成

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	・ 機器の定格等、固定値をセットする
initialize	・ 結果を保持する変数の作成等、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

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と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。

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3に示す。こ

```

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3 要素モジュールのソースイメージ
(ガス焚き冷温水発生機の場合)

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信号等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。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は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出力(計算結果)となる。

2.3 全体システムの計算法

空調シミュレーションの計算法は、各機器のモデルの形式に依存し、以下の観点から分類される。

- 1) モデルが静的か動的か
- 2) モデルが(連立)方程式として表現されているか、あるいは入力変数から出力変数を計算するアルゴリズムとして記述されているか

1) において静的とは、現在の状態が過去の履歴に依存しない場合であり、計算ステップごとに独立してシステム全体の状態を解くことができる。動的なモデルの場合、過去の計算ステップにおける状態を参照して現在の状態を計算する。2) において、各モジュールのモデルが連立方程式として表現されている場合には、それらを統合したシステム全体の連立方程式を解くことによって各部の状態が求まる。モジュールに関わる変数について、入力と出力が区別されている場合には、モジュールの計算を逐次的に実行する方法によって解かれることが多い。

BESTでは、入出力を区別して記述されたモデルを用いており、システム全体の連立方程式を解くのではなく、信号の上流から下流に向かって、逐次的に計算する方式を採っている。また現状のモデルでは、室や蓄熱槽を除くほとんどのモジュールが静的であるが、計算時間間隔を短く取った上で、前ステップの値を参照して次ステップの計算を行う、いわゆる擬定常法を用いることによって、収束計算を行わない方針としている。

モジュールを逐次的に計算する方式の場合、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

た順序で計算し、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、熱源側等のグループに分類した上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、計算順序はユーザーによって、GUIから並べ替え可能である。

空調システム内には配管・ダクトループが複数存在し、いわゆる代数ループが発生してしまうことが多い。現在のバージョンでは、このような場合でも特に収束計算を行ってはいないが、計算時間と精度との関係について、今後検討が必要である。

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他、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等と同じく、冷凍プロセスを再現したもの

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チラー、 ターボ冷凍機、ブラインHPチラー 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チャンバー、ファン) *空調機はこれらのモジュールの組み合わせ
制御機器	PID制御、2位置制御、VAV制御、センサー、 熱源制御(発停、モード切替など)、 熱源台数制御(ヘッダーバイパス)、 AHU制御(発停、モード切替、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・集合ヘッダ)、 2方弁、3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	1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

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次報「BESTの機器特性」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他、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。

(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4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等からの給気、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他）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。

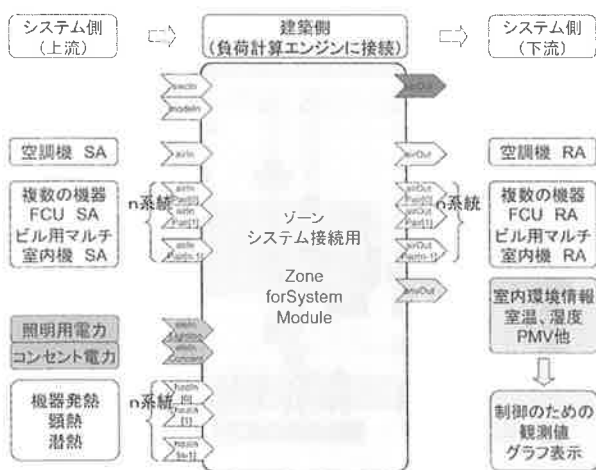


図4 ゾーンシステム接続用モジュールのノード図

(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、取引メータである電力メータ、ガスメータや量水器の数値を読めばよい。これらのメータ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。集計部品の中には、燃料別・用途別・昼夜別に1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) 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時に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・空気等の媒体について、ユーザーが指定した特性値、すなわち温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、外気取入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み合わせを記述し、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1つのセットで取扱い、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。

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[°C] 絶対湿度[g/g(DA)] 質量流量[g/s]	getTempWB() getEnthalpy() getHumiR() getTempDP()	airIn airOut
水 BestWater	温度[°C] 質量流量[g/s]	getTemp() getFlowRate()	watIn watOut
ブライン BestBrine	温度[°C] 質量流量[g/s] 濃度[-] 種類[-]	getTemp() getFlowRate() getConcentration() getType()	brIn brOut
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。

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 [°C]、絶対湿度 [g/g (DA)]、質量風量 [g/s] の3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。

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、予めテンプレートを用意しておき、テンプレー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5には、「AHU/FCU」、「中央熱源」について、テンプレートの

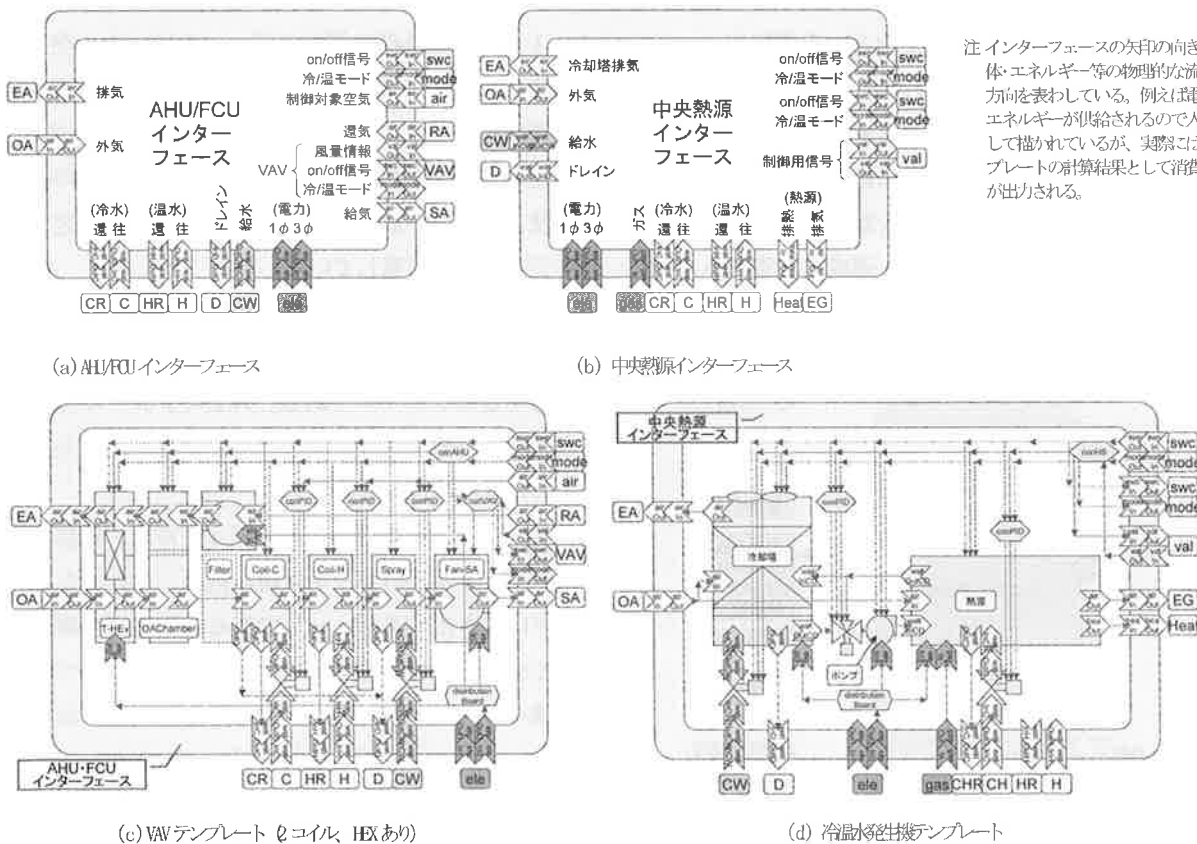


図5 AHU/FCUテンプレートと中央熱源テンプレートの例

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5（c）に示す「VAV（2コイル、HEXあり）」テンプレートの場合、予め「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（送風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5（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」等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5（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5（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、1次ポンプ、ヘッダ、台数制御モジュール等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、セントラル主体等）について、システム全体のモジュールを接続した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. 制御の位置付けと階層構造

6.1 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な入出力と整合させるという方針のため、不可避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。

6.2 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3方

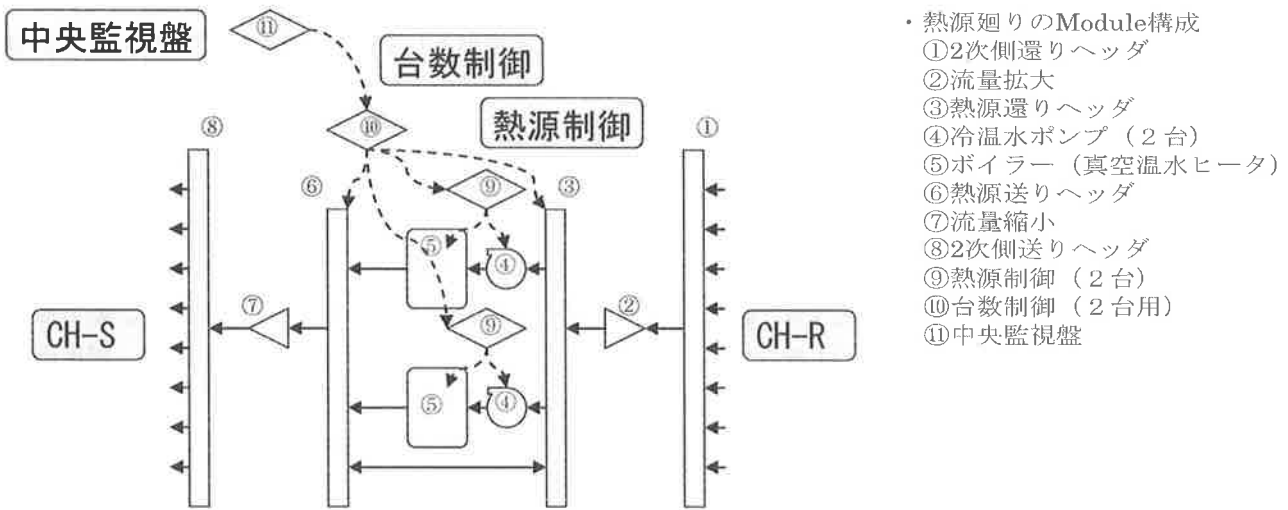


図6 制御の階層構成の例（熱源廻りの台数制御）

弁のPID制御を階層的に接続して使用する例を図6に示す。

7. 試算例

BESTによる空調システムの試算例として、龍澤のオフィス標準問題¹⁾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。

(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1次ポンプと対で配置し、2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7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。

(2) 計算結果

図8に、case A、Bにおける南系統南ゾーンの夏期1週間の室内温度と相対湿度比較グラフを示す。室内

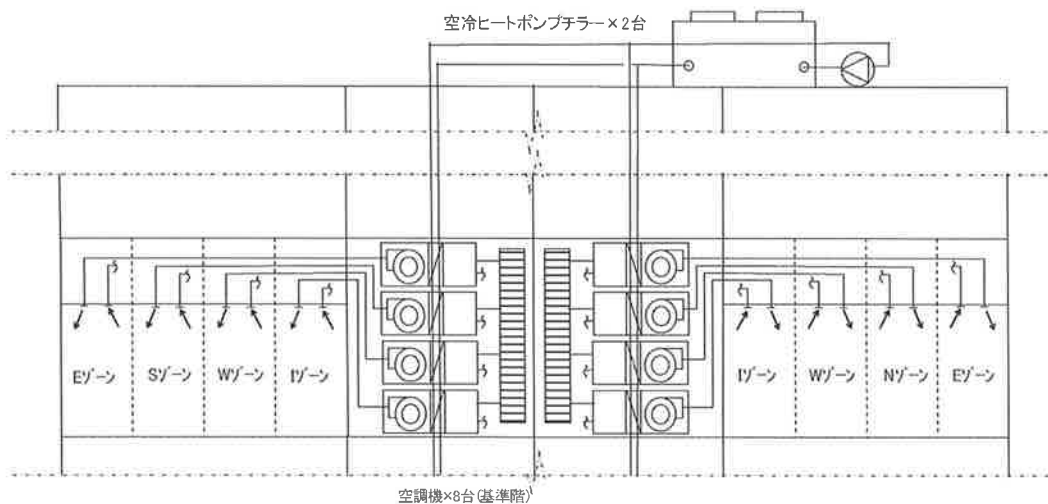
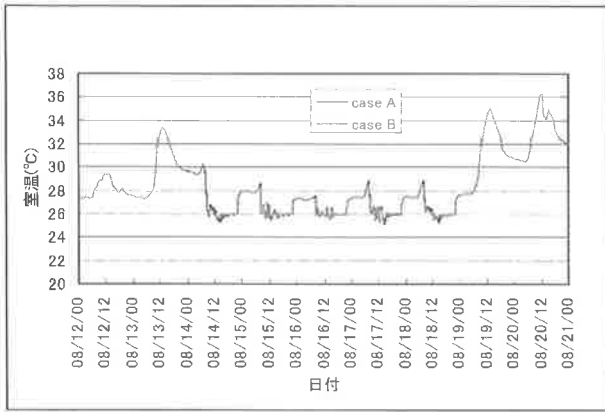
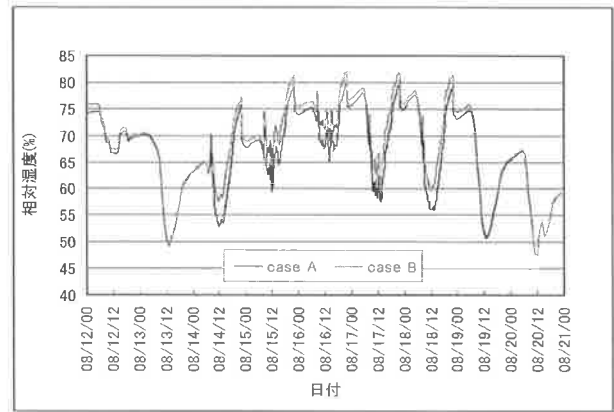


図7 システム概略図



(室内温度)



(室内相対湿度)

図8 室内温湿度比較 (南ゾーン)

温度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9には、熱源の月別消費電力量の比較を示す。容

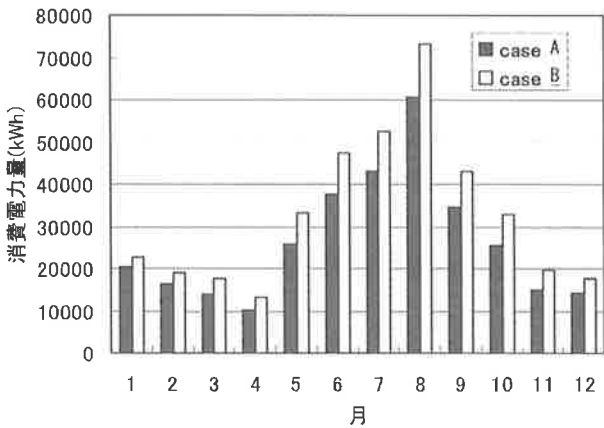


図9 空冷ヒートポンプチラーの月別消費電力量

量を約20%過大に設定したcaseBのほうが、年間を通してcase Aより大きな結果となっている。

8. 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・電気等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、機器接続に関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取っているが、入力簡易化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、pp.35-42、1984

7.

BESTの機器特性

柳井 崇 (株)日本設計環境・設備設計部
 設計グループ グループ長
 藤居 達郎 (株)日立製作所機械研究所 主任研究員

助飛羅 力 三機工業(株)
 リノベーション事業推進室 室長

BEST機器特性SWG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収集した特性データのメンテナンス性向上との両立を図るため、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。

1. 機器特性SWGの活動状況

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向上との両立がテーマである。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・熱容量を与える等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、補機動力等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。

各種機器特性のデータ収集に関しては、表1に示す様に、全体を5つの分科会に分け、活動を展開している。

特に、データ収集内容・範囲に関しては、汎用化や表現の統一化を目的に、各工業会との連携体制を組んで進める体制を取っている。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。

表1 機器特性SWGに於けるデータ収集体制

調査対象機器		活動概要	協力団体
熱源機器特性分科会	電動系冷凍機 吸収系冷凍機	動特性データの収集 高効率機種のデータ収集 標準機種のデータ収集	日本冷凍空調工業会 ターボ冷凍機技術専門委員会 吸収式冷凍機技術専門委員会 リソグエット技術専門委員会 スクリー冷凍機技術専門委員会
熱源補機特性分科会	冷却塔	変風量制御データの収集	日本冷却塔工業会
パッケージ空調機特性分科会	ビルマル 冷暖フリー 店舗用エアコン 水熱源	高効率機種のデータ収集 標準機種のデータ収集	日本冷凍空調工業会 パッケージエアコン技術専門委員会 GHP委員会
搬送機器特性分科会	ポンプ・ファン	新規機種のデータ収集	日本産業機械工業会 汎用送風機委員会 汎用ポンプ委員会
空調機器特性分科会	空調機・FCU	コイル関係のデータ収集	日本冷凍空調工業会 空調器技術専門委員会
	全熱交換器 加湿器	全熱交換器関係のデータ収集	日本冷凍空調工業会 全熱交換器委員会

2. 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。設計時等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、ターボ冷凍機を表2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値としてセットされる²⁾。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るには至っていない。更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等につい

表2 機器仕様テーブル
(ターボ冷凍機の例、数値などは一部実際と異なる。)

ターボ冷凍機	
1. 分類①	ターボ冷凍機
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	HFC134a
8. 冷房時特性	
定格出力 (kW)	2813
定格時電力消費量	
・ 主機 (kW)	505
・ 補機 (kW)	2
定格温度・流量	
冷水	
・ 入口温度(°C)	12
・ 出口温度(°C)	7
・ 流量(m ³ /h)	121
・ 圧力損失(Pa)	60
冷却水	
・ 入口温度(°C)	32
・ 出口温度(°C)	37
・ 流量(m ³ /h)	148
・ 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	—

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SWG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。

3. 機器特性モデル

3.1 冷凍機

(1) 対象とした冷凍機の種類

モデル開発対象とした冷凍機と特性式の種類を表3に示す。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SWG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、ターボ冷凍機を例として説明する。

(2) ターボ冷凍機の回帰式モデル

ターボ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、(社)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⁴⁾から定式化したものである。この線図では、冷却水温度が

表3 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*
ターボ冷凍機	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: 刊行物等の公表済み資料から本SWGにて作成

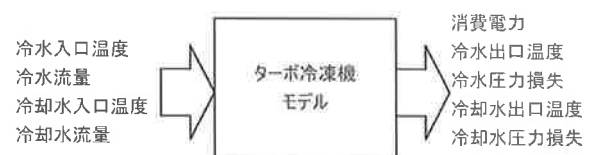


図1 ターボ冷房機モデルの入出力

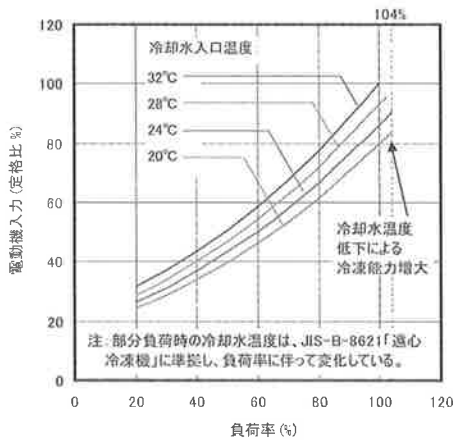


図2 ターボ冷凍機特性A (固定速-標準)
(冷却水温度ごとの部分負荷特性)

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おり、この点もモデルに反映している。特性式Aによる計算結果を図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に示したターボ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。

3.2 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。

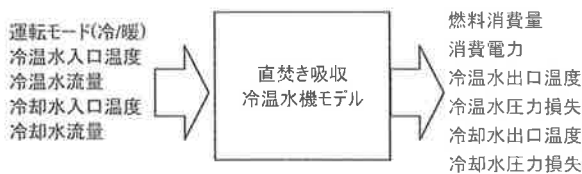


図3 直焚き吸収冷温水機モデルの入出力

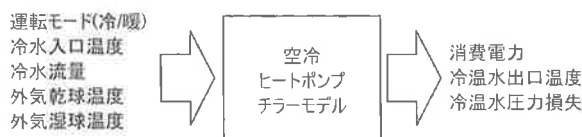


図4 空冷ヒートポンプチラーモデルの入出力

各特性の基本的な計算方法は同一であり、冷却塔本体の出口温度を算出した後に、三方弁における混合後の温度を算出する。三方弁開度は冷却水の入口・出口温度から算出される。

計算結果の例を図6、図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

表4 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°C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°C仕様	B	
密閉式冷却塔	37.5-32.0°C仕様	C	提供による
	37.0-32.0°C仕様	D	



図5 冷却塔モデルの入出力

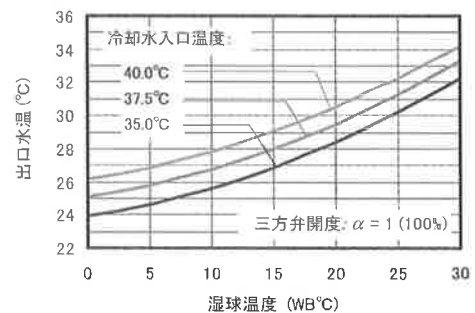


図6 開放式冷却塔 (37.5-32.0°C仕様) の特性
(冷却水入口温度変動時)

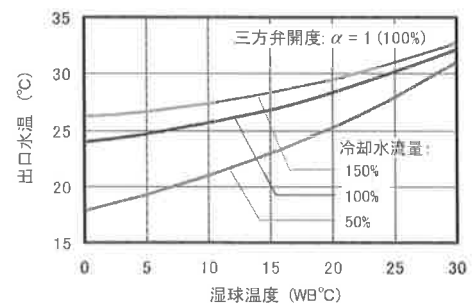


図7 開放式冷却塔 (37.5-32.0°C仕様) の特性
(冷却水流量変動時)

り、妥当な結果が得られている。

今後は変風量への対応、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。

3.3 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。蒸気ボイラ、真空温水ヒータともにほぼ同様の傾向であることから共通のモデルとし、係数のみを変更した。

本モデルによる小型貫流蒸気ボイラ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概ね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動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。

3.4 ビルマルチ空調機

図10に検討の対象とするビルマルチ空調システムの計算モデルの概要を、表4に同モデルにおける各特性式の種類と内容を示す。計算モデルは、複数の室内機及び室外機から構成され、外気条件、室内吸込空気条件、各機器の定格仕様、冷媒配管の長さや機器間の高低差などの各種情報を入力して、任意の条件下における各機器から供給可能な冷房能力、暖房能力及びエネルギー

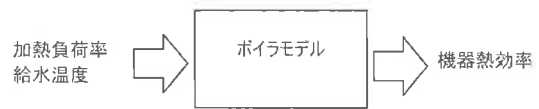


図8 ボイラモデルの入出力

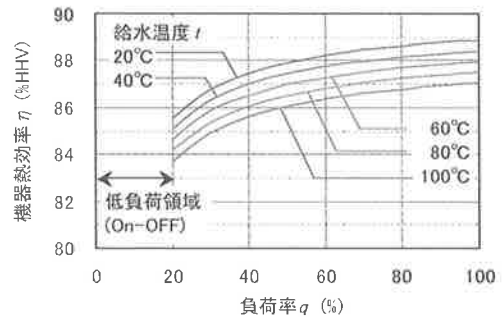


図9 小型貫流ボイラの負荷特性

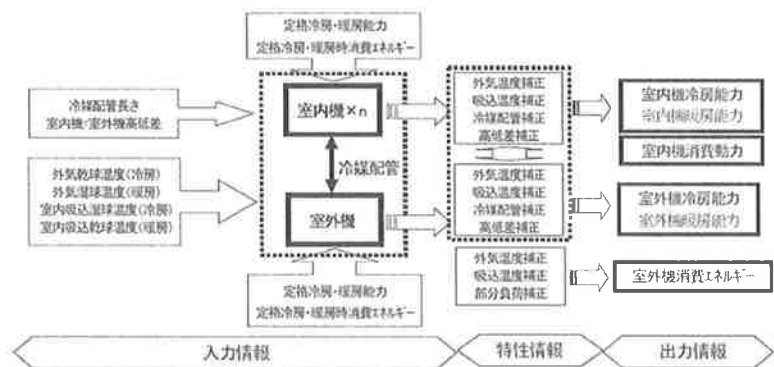


図10 ビルマルチ空調システムのモデル概要

表5 機器特性を示す補正係数の算定式

モード	機器	目的変数	補正内容	説明変数	特性式のパターン	特性式次数	
						EHP	GHP
冷房	室内機	冷房能力	1 外気補正COFcc.in.oa	DB _{OA}	COFcc.in.oa=A1+A2*DB _{OA} +A3*DB _{OA} ²	1	2
			2 吸込補正COFcc.in.ra	WB _{RA}	COFcc.in.ra=B1+B2*WB _{RA} +B3*WB _{RA} ² +B4*WB _{RA} ³	2	3
			3 冷媒長補正COFcc.in.lp	Lp	COFcc.in.lp=C1+C2*Lp	1	1
			4 高低差補正COFcc.in.lh	Lh	COFcc.in.lh=D1+D2*Lh	const	1
			5 外気補正COFcc.out.oa	DB _{OA}	COFcc.out.oa=A1+A2*DB _{OA} +A3*DB _{OA} ²	1	2
	室外機	消費エネルギー	6 吸込補正COFcc.out.ra	WB _{RA}	COFcc.out.ra=B1+B2*WB _{RA} +B3*WB _{RA} ² +B4*WB _{RA} ³	2	3
			7 冷媒長補正COFcc.out.lp	Lp	COFcc.out.lp=C1+C2*Lp	1	1
			8 高低差補正COFcc.out.lh	Lh	COFcc.out.lh=D1+D2*Lh	const	1
			9 部分負荷率補正COFcc.out.rc	Rc	COFcc.out.rc=E1+E2*Rc+E3*Rc ²	2	1
			10 外気補正COFcc.out.oa	DB _{OA}	COFcc.out.oa=F1+F2*DB _{OA} +F3*DB _{OA} ²	1	1
暖房	室内機	暖房能力	11 吸込補正COFcc.out.ra	WB _{RA}	COFcc.out.ra=G1+G2*WB _{RA} +G3*WB _{RA} ² +G4*WB _{RA} ³	2	3
			12 外気補正COFhc.in.oa	WB _{OA}	COFhc.in.oa=H1+H2*WB _{OA} +H3*WB _{OA} ² +H4*WB _{OA} ³	1	3
			13 吸込補正COFhc.in.ra	DB _{RA}	COFhc.in.ra=I1+I2*DB _{RA} +I3*DB _{RA} ² +I4*DB _{RA} ³	2	3
			14 冷媒長補正COFhc.in.lp	Lp	COFhc.in.lp=J1+J2*Lp	1	1
			15 高低差補正COFhc.in.lh	Lh	COFhc.in.lh=K1+K2*Lh	const	1
	室外機	消費エネルギー	16 外気補正COFhc.out.oa	WB _{OA}	COFhc.out.oa=H1+H2*WB _{OA} +H3*WB _{OA} ² +H4*WB _{OA} ³	1	3
			17 吸込補正COFhc.out.ra	DB _{RA}	COFhc.out.ra=I1+I2*DB _{RA} +I3*DB _{RA} ² +I4*DB _{RA} ³	2	3
			18 冷媒長補正COFhc.out.lp	Lp	COFhc.out.lp=J1+J2*Lp	1	1
			19 高低差補正COFhc.out.lh	Lh	COFhc.out.lh=K1+K2*Lh	const	1
			20 部分負荷率補正COFhc.out.rc	Rc	COFhc.out.rc=L1+L2*Rc+L3*Rc ²	2	1
			21 外気補正COFhc.out.oa	WB _{OA}	COFhc.out.oa=M1+M2*WBOA+M3*WBOA ² +M4*WBOA ³	1	3
22 吸込補正COFhc.out.ra	DB _{RA}	COFhc.out.ra=N1+N2*DBRA+N3*DBRA ²	2	2			

DB_{OA}: 外気乾球温度 WB_{RA}: 室内吸込湿球温度 WB_{OA}: 外気湿球温度 DB_{RA}: 室内吸込乾球温度 Lp: 冷媒配管長さ Lh: 室内機/室外機高低差 Rc: 冷房(暖房)能力/定格能力(部分負荷率) const: 一定値 A~N*: 特性式の係数(*:1~3)

消費量を出力情報として得る「システム
 一体の性能特性モデル」を採用している

特性式に関しては、電動駆動個別空
 調機（以下、EHP）及び燃料駆動個別
 空調機（以下、GHP）とも、ほぼ共通
 の形式にて、室内機/室外機、冷房時/暖
 房時、冷房（暖房）能力/エネルギー
 消費に関して各々単独の説明変数の最
 大3次式で表され、係数A*からN*の係
 数を与えることで、定式化を行なっ
 ている。特性データの一例を図11に示す。

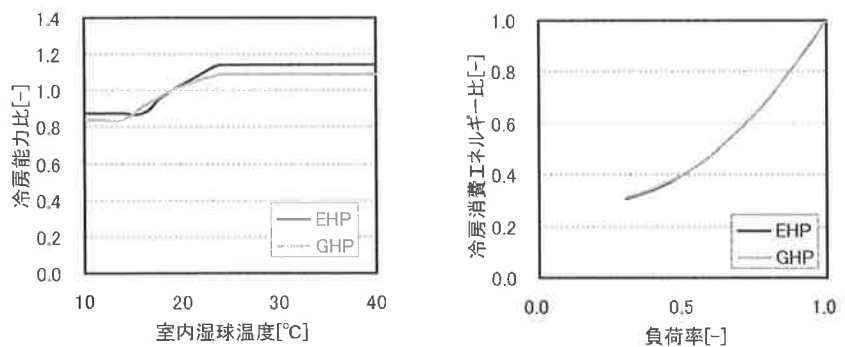


図11 ビルマルチ空調システムの機器特性（例）

3.5 送風機

今回開発対象とした送風機は、片吸込型シロッコフ
 ァンである。モデルの入出力を図12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
 の特性データから作成した。計算結果を図13に示す。
 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
 等は考慮されておらず、さらに検討が必要である。

3.6 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
 小形渦巻きポンプである。モデルの入出力を図14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）の確認を頂いた。

- ① JIS B 8313-91（小形渦巻きポンプ）による定格時
 流量GWSと定格時ポンプ効率EFS の関係の定式化
- 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15に示す。

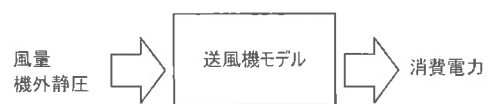


図12 送風機モデルの入出力

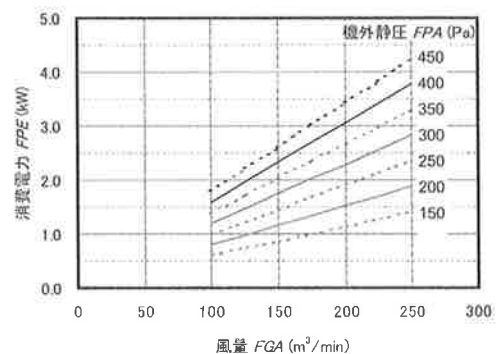


図13 送風機モデルの特性（例）

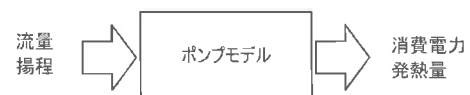


図14 ポンプモデルの入出力

3.7 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。モデルの入出力は図16の通りである。

図17は本モデルによる加熱時および冷却時の計算
 結果である。横軸の水速は水量に比例していることか

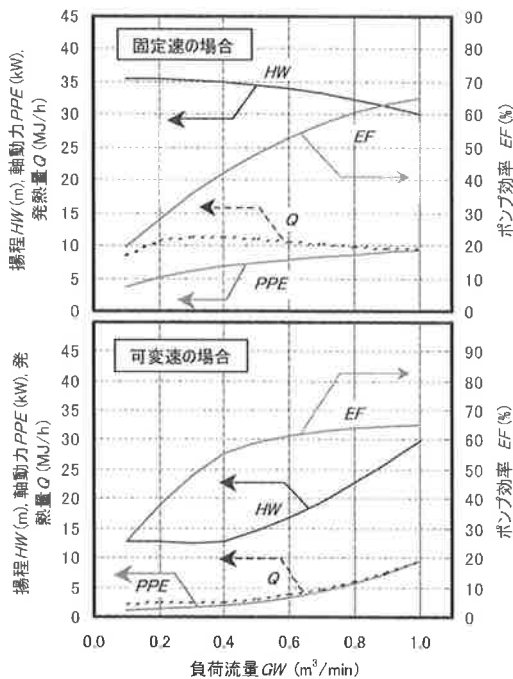


図15 ポンプモデルの特性(定格流量：1m³/minの例)

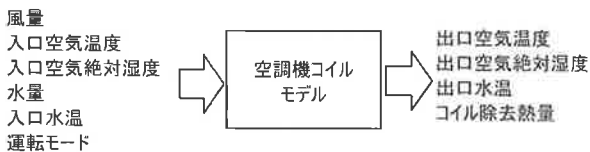


図16 空調機コイルモデルの入出力

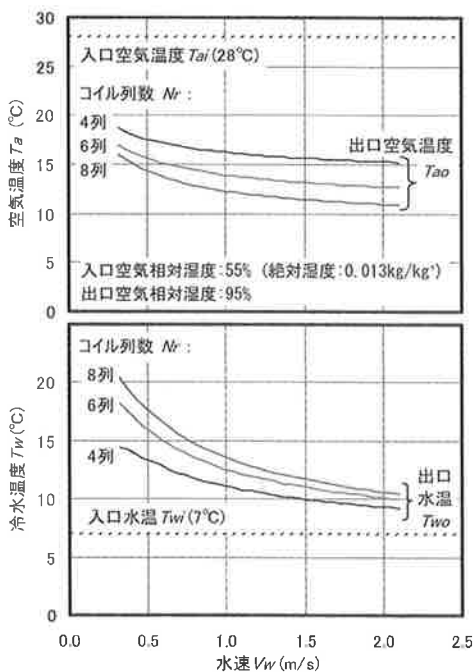


図17 空調機コイルモデルの特性(冷却コイルの例)
(管内水速とコイル列数による出口温度変化)

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、妥当な結果を示している。

4. まとめ

本稿で示した各機器の特性式については、SWG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み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等は容易になると考えられる。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SWG(柳井 崇主査)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SWG名簿(順不同)主査：柳井 崇(日本設計)、幹事：藤居 達郎(日立製作所/日本冷凍空調学会)、委員：阿部 裕司(竹中工務店)、野原 文男、伊藤 祥一、丹羽 勝巳(以上日建設計)、工月 良太、村上 高(以上東京ガス)、熊谷 雅彦(東京電力)、助飛 羅力、後藤 裕(以上三機工業)、品川 浩一(日本設計)、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頂いた各協力団体、メーカーの皆様には謝意を表します。

<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

8.

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 教授
 長谷川 巖 (株)日建設計設備計画室 室長

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水・湯使用量や給排水設備機器のエネルギー消費量が計算でき、省資源化と省エネルギー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、先ずBESTにおける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3つの設備システムの計算を行なう上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、空気調和・衛生工学会SHASE-S206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等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CIBW062での研究動向を見ても指摘される点であり、給排水衛生設備分野が空調設備分野に比べ大きく実用的なシミュレーション技術という点で、立ち遅れた課題点でもある。

本プロジェクトでは、気象、建築躯体、空調設備、

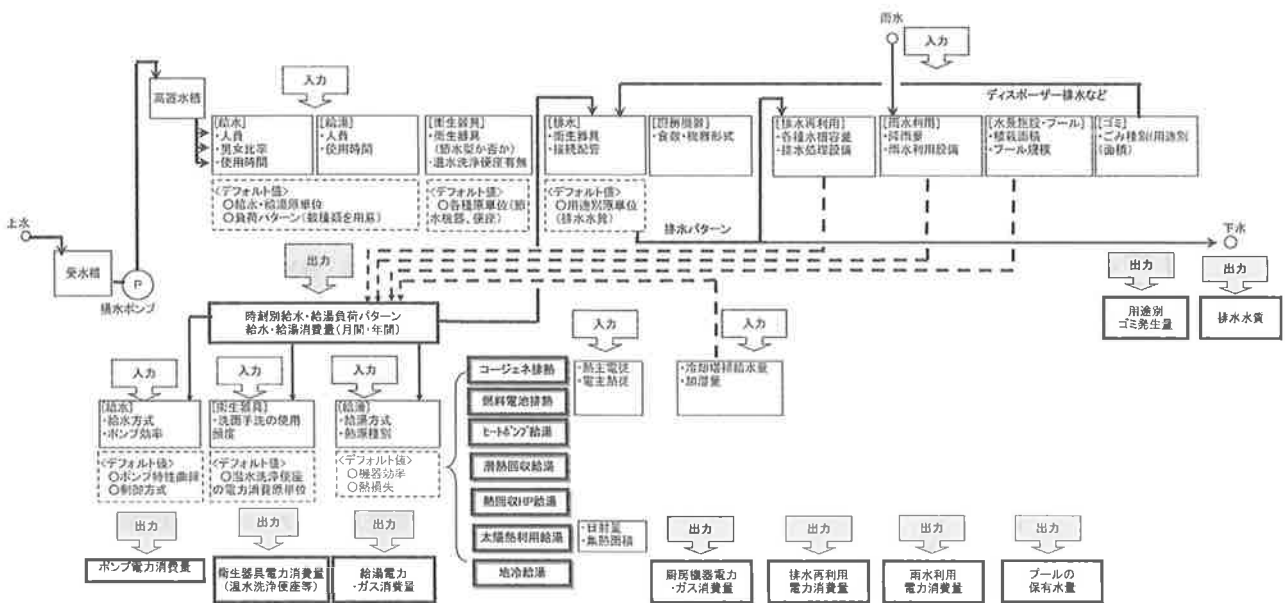


図1 給排水衛生システムのプログラム全体開発フロー

電気設備の各設備間とのデータのやりとりや連成計算を行な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する資源量、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ツール開発の全体像を示す。開発概念と特徴を以下に示す。

(1) 給水・給湯の負荷パターンにより給水・給湯使用量とエネルギー消費量を一貫して計算

衛生器具の種類、1人当たり日使用水量、時間負荷パターン、収容人員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、熱源機等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する。

(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

空気調和・衛生工学会の便覧等に定める給水・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水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、更新が可能であるものである。またこれ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計算を可能とする。

(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)、(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、給排水設備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で消費する電力、ガスのエネルギー消費量も算出できるものである。

(4) 給水、給湯、雨水利用の各システム計算を一体的に解く

将来的な構想も含め、計算対象システムは給水、給

湯、衛生器具、排水、厨房機器、排水再利用、雨水利用、水景施設、プール、ごみ処理などとする。建物側での入力条件は、(1)で述べたものと、その他にBEST気象データにより降水量や外気温度データを得て各種システムを一体的に計算する。最初は、もっとも基本となる給水、給湯、雨水利用システムの開発から着手した。

(5) 建築、空調、電気設備と連成して解く

建物規模は、給排水衛生システムにおける人員規模設定に関連し、配管ルートを選択は給湯システムの熱損失計算に影響する。また、空調用の冷却塔補給水量や加湿給水量、給湯設備における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た事項が多い。

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システムを備えている。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。これらは、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

給水、雨水利用システム、給湯システムのプログラムについて一般のビルを想定した計算モジュールと計算内容について、以下に解説する。

(1) 給水システムにおけるモジュール構成

図2は典型的な例として、高置水槽方式の給水システムにおけるモジュール構成とそのつながり、各モジュールにおける計算内容と出力内容を示したものである。建物全体の給水負荷は、生活に関わる便所・洗面給水負荷を器具別に算出する他、冷却塔補給水や加湿給水など空調システムで生じる給水負荷とも連成する。またシステムによっては雨水利用システムの上水補給水、給湯システムの補給水にも接続される。給水負荷が生じると高置水槽で水位変動が生じ、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、受水槽への補給水という計算順序にて、計算時間間隔毎に実施し、時刻別の水使用量、

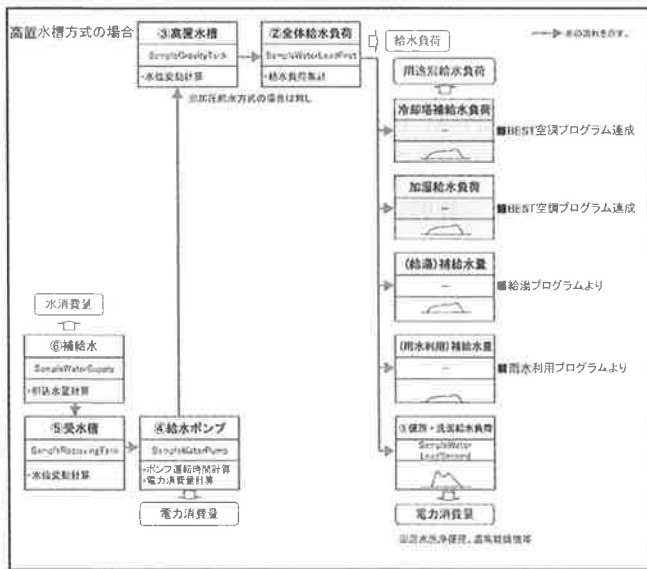
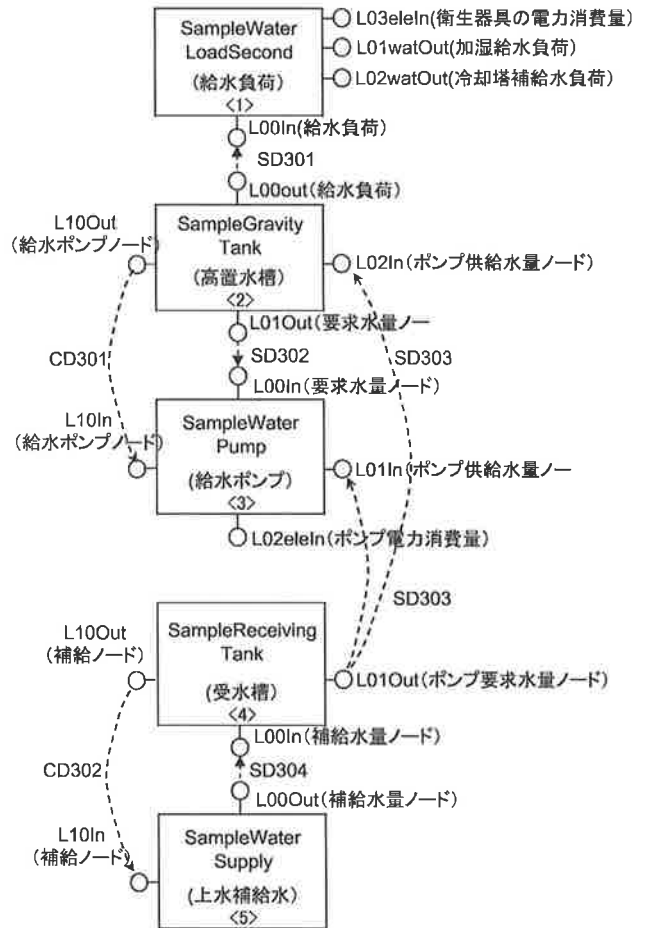


図2 給水システムのモジュール構成と計算の流れ (高置水槽方式の場合)

水槽やポンプや衛生器具によるエネルギー消費量、水槽の水位変動を同時に算出することが出来る。

図3は図2で示した給水システムモジュール構成においてノードと呼ばれる媒体によるデータや制御情報の受け渡しを示したものである。

図4に雨水利用システムのモジュール構成と計算の流れを示す。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



注)◇内の数字は計算順序を示す。

図3 給水システムのモジュールとノードによる結合 (高置水槽方式の場合)

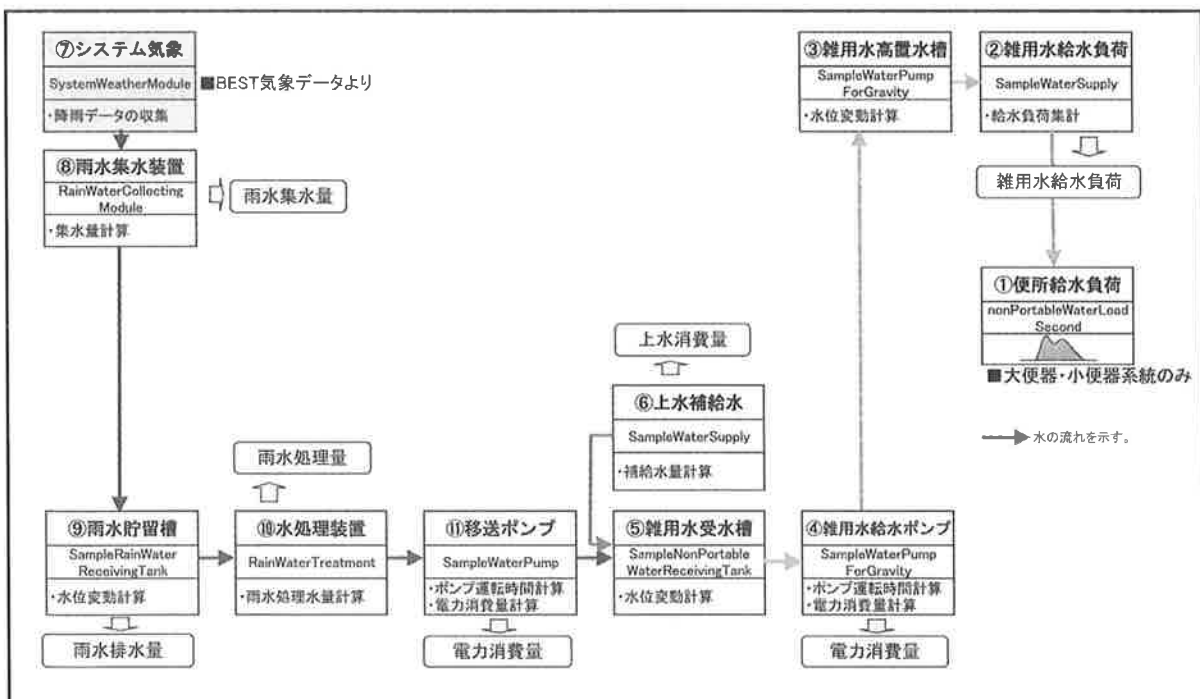


図4 雨水利用システムのモジュール構成と計算の流れ

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。一方、雑用水高置水槽は、雑用水給水負荷（便器洗浄水への利用）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、雑用水高置水槽は上水高置水槽と、また、雑用水給水負荷も上水給水負荷と各々同じモジュールを用いることが可能である。このように同じモジュールを繰り返し使用出来ることもBESTの特徴である。また雨水集水装置で集められる降雨量については、BEST-気象データから降雨データを取得している。

BESTにおける給湯システムは、第一には図5に示すような中央式給湯システムを想定した。給湯循環配管や貯湯槽からの熱損失を考慮するとともに、加熱装置のON/OFF制御を反映させるため貯湯槽は温度成層型の上下2層構造としてモデル化した。

図6に給湯システムのモジュール構成と計算の流れを示す。まず全体給湯使用量（需要端）は、複合用途の負荷パターンを組み合わせることが出来るように3

種類選択できるようにした。次に給湯使用量の合計値を算出し、これを給水温度により、混合前の給湯負荷と給水負荷に区分する。このとき給水温度はCEC/HWの計算で用いられている、外気温度から給水温度を予測する換算係数を用いて算出する。先止まり配管については、保有水量が1日あたりの頻度により捨てられるとし計算をしているが今後も検討が必要である。二次側給湯配管では一定量の循環水量が流れ、熱損失を考慮しながら計算をする。また熱損失により、循環配管入口から出口における、温度降下を計算し、水量だけでなく水温の状態もモジュール間で受け渡される。次に貯湯槽（下部）では、二次側給湯水量、給湯負荷

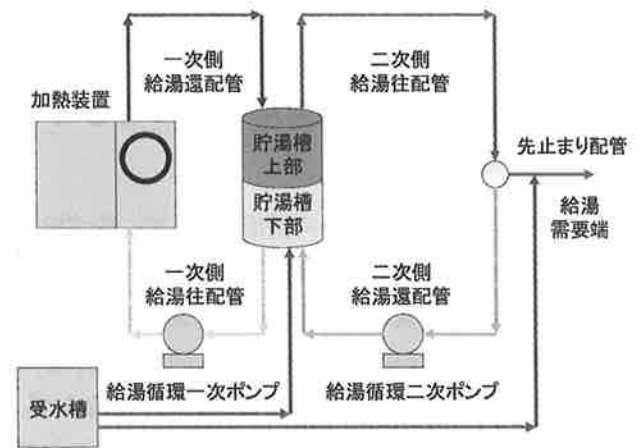


図5 BEST給湯システムのイメージ

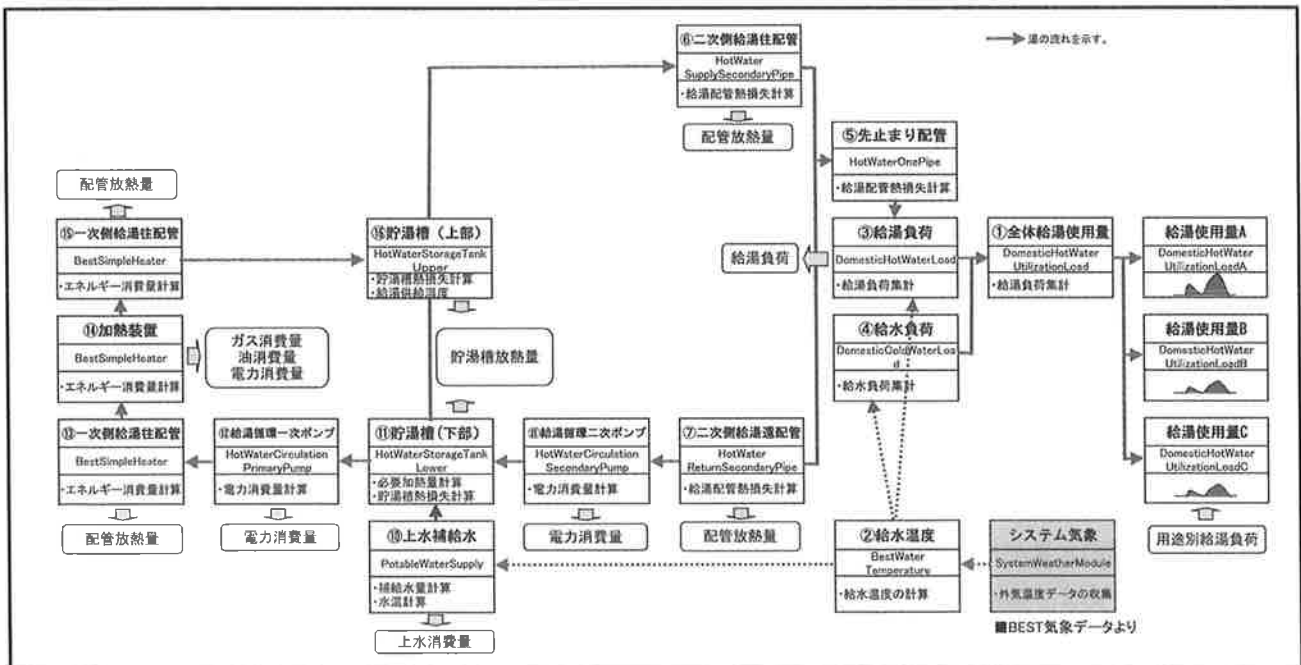


図6 給湯システムのモジュール構成と計算の流れ

分の補給水量、また先止まり配管で捨てられた水量の合計値が計算される。このとき貯湯槽を上下2層に分け、下部では加熱装置への負荷、上部は有効貯湯量として計算される。またこのとき、貯湯槽における熱損失も計算される。同様に一次側給湯配管における熱損失を計算し、給湯一次側往配管の出口温度と加熱装置の出口温度設定の温度差をもって、加熱装置のON/OFF制御を行う。加熱装置のエネルギー消費量はその種類によってガス、電力、油消費量の定格値と定格能力を入力することで算出する。加熱装置で昇温した給湯は貯湯槽上部に貯められ、再び二次側給湯往配管を通じて循環する。今後の展開としては、貯湯槽下部への補給水の予熱として、太陽熱給湯システムやコージェネレーションシステムとの連成を検討する予定である。

3. 設備設計・設備運用ツールとしての利用方法

給水システムプログラムの活用例として、先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消費電力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、水消費量の削減のみならず、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消費エネルギー量の差異の比較を行うこともできる³⁾。また図8は、高置水槽と受水槽の水位変動をシミュレーションしたもので、適正なポンプと水槽の容量算定を検討することにも活用できる。水槽容量によっては揚水が追いつくかどうかや、逆に給水負荷が少ない場合には、水槽の水位変動がなく死に水の可能性があるかどうかなどを検討することが出来る。

雨水利用システムプログラムでは、降雨量による、集水面積、雨水貯留槽、雑用水槽の容量検討や年間の上水代替率、雨水ろ過ポンプなどのエネルギー消費量の検討が可能である。図9は雑用水負荷により雨水集水量と雨水貯留槽の水量がどのように変化するかを示しており、上水があまり補給されずに雨水が有効に活用されているかどうかなどをビジュアル的に捉えながら検討することが出来る。

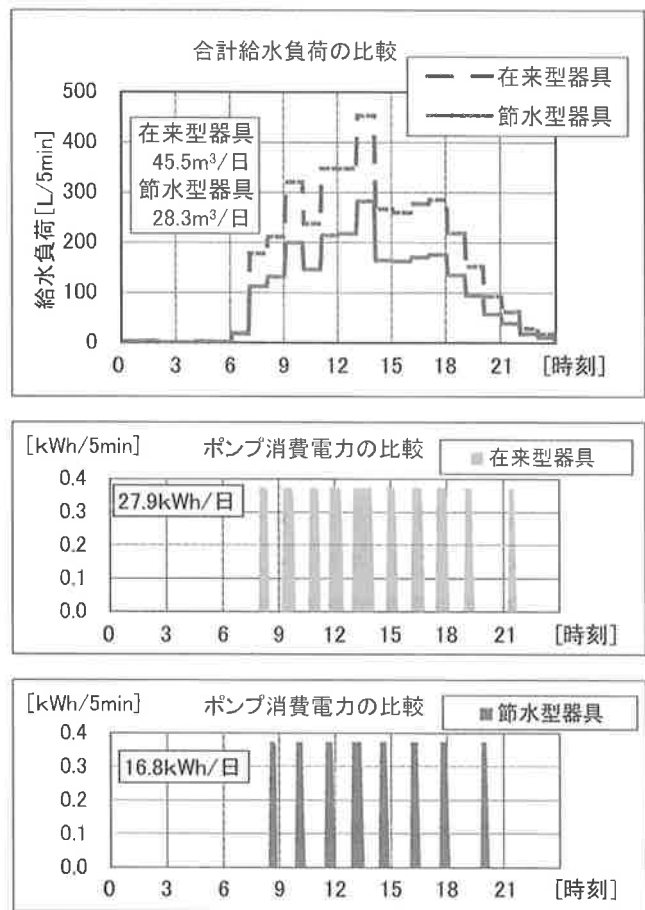


図7 節水効果によるポンプ消費電力の比較

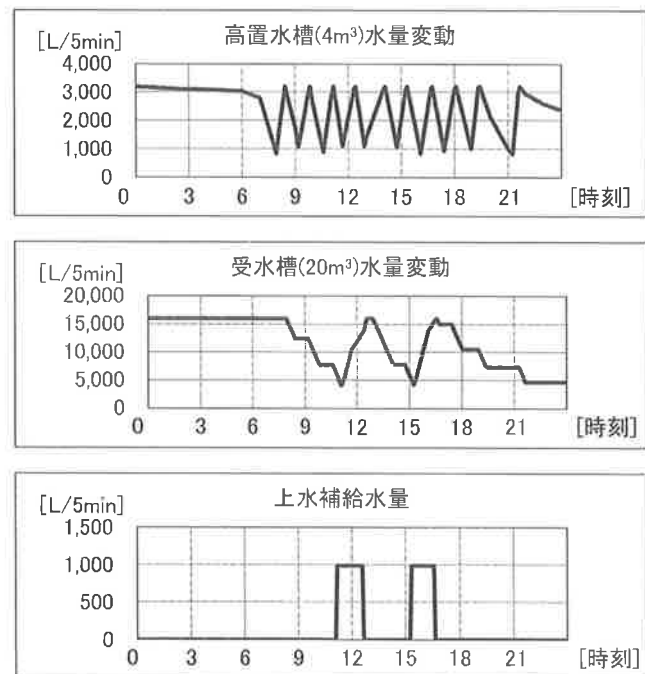


図8 水槽容量の違いによる水量変動の計算例

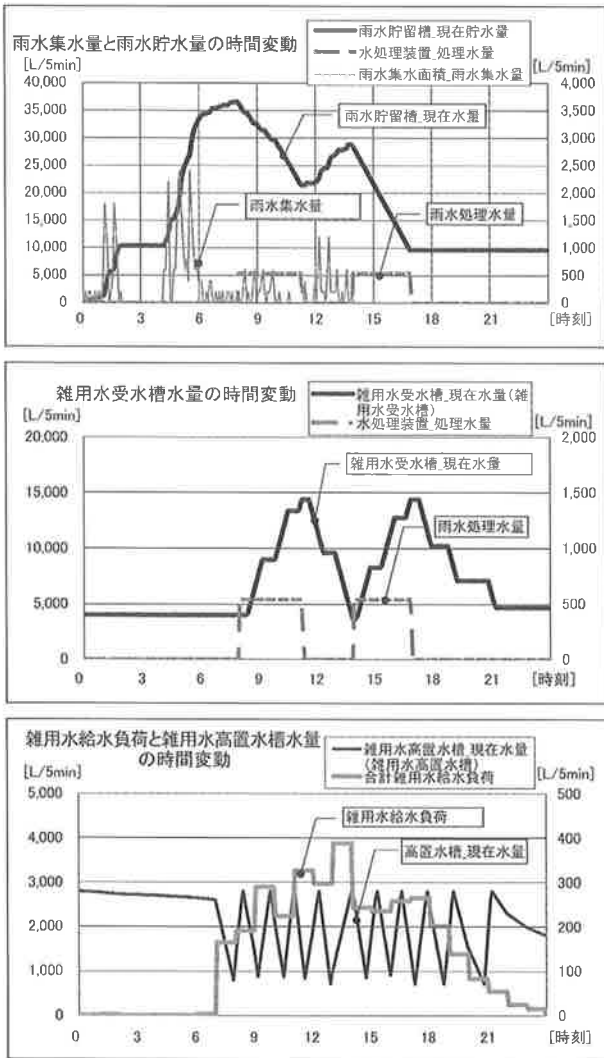


図9 雨水利用システムにおける計算例

また給湯システムに関しては、給湯使用量だけでなく、設計用給湯配管での熱損失、貯湯槽の熱損失を算出し、加熱装置の加熱負荷、加熱装置や循環ポンプのエネルギー消費量を計算するため、給湯システムの総合的な効率も算出出来る。また貯湯槽容量や加熱装置の設備容量の検討や、循環する給湯温度の時刻別変動など運用時にも活用できる計算が可能である。また今後は行政支援ツールとして、既往のCEC/HWに近い計算を今後は整備していく予定である。

おわりに

給排水衛生システムの計算ツールとして、基幹プログラムとなる給水システム、雨水利用システム、給湯システムのモジュール構成と計算内容について紹介し

た。今後は、それぞれの計算精度を高める他、計算結果の検証を行うとともに、他の給排水衛生システムの計算を可能にしてゆく予定である。

【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)、甕岡賢悟(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、生稻清久(以上、建築環境・省エネルギー機構)

<参考文献>

- 1) 大塚雅之他；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) 長谷川巖他；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) 大塚雅之他；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) 前真之他；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)
- 5) 小瀬博之他；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)

9.

電気設備のシミュレーション法

滝澤 総 (株)日建設計 設備設計部 設計長

はじめに

電気設備のシミュレーション法は、図1に示す4つの目的を掲げて開発を行ってきた。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、搬送システムなどであり、具体的には、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モジュールの開発を完了している。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、要素モジュールなどについて紹介する。

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2に示す。例えば照明システムは、日射（気象）が室（建物）に寄与する自然採光量を入力として、照度確保など環境形成に必要な挙動を行い、出力として必要な電力を変圧器・幹線経由でイ

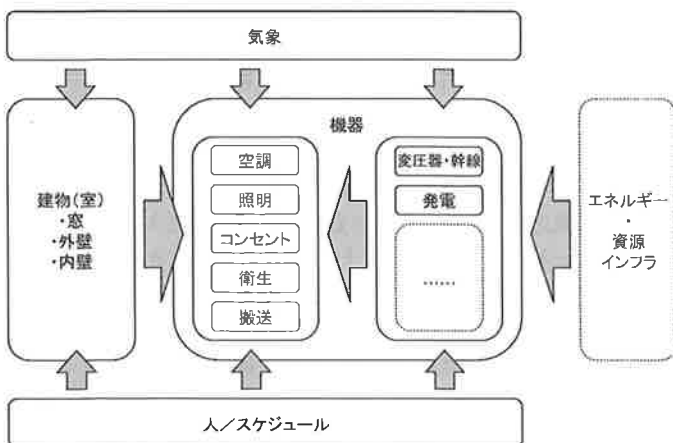


図2 電気設備から見たエネルギー計算のマクロデザイン¹⁾

- ① 電力を中心としたエネルギーの流れの総合的把握
- ② 建築・気象条件との連動によるエネルギー消費量の詳細把握
- ③ 機器・システムの特徴や運用パターンの違いとエネルギー消費量の関係把握
- ④ 建築、空調との更なる連成による二次的なエネルギー消費量の関係把握

図1 電気設備シミュレーション法の開発目的

ンフラに要求する、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3に示す。電力の流れに沿って、電源システムを盤類（受電部、配電盤、動力制御盤、分電盤など）、変圧器、各種発電システムから構成し、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）を接続して電力量の計算を行う。図3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、などで対応できる。なおBESTにおいて電力とは、Best Electricity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、周波数の状態を有する。以下において『消費電力量』との簡易記述するが、Best Electricityクラスを指すものとする。

2. 要素モジュール

BESTのモジュールは、入力、出力及び状態、パラメータで記述され、入力と出力が同じであれば、状態、パラメータの異なるモジュールを作成しても、接続可能となる。ここでは現時点で開発した電気設備の各要

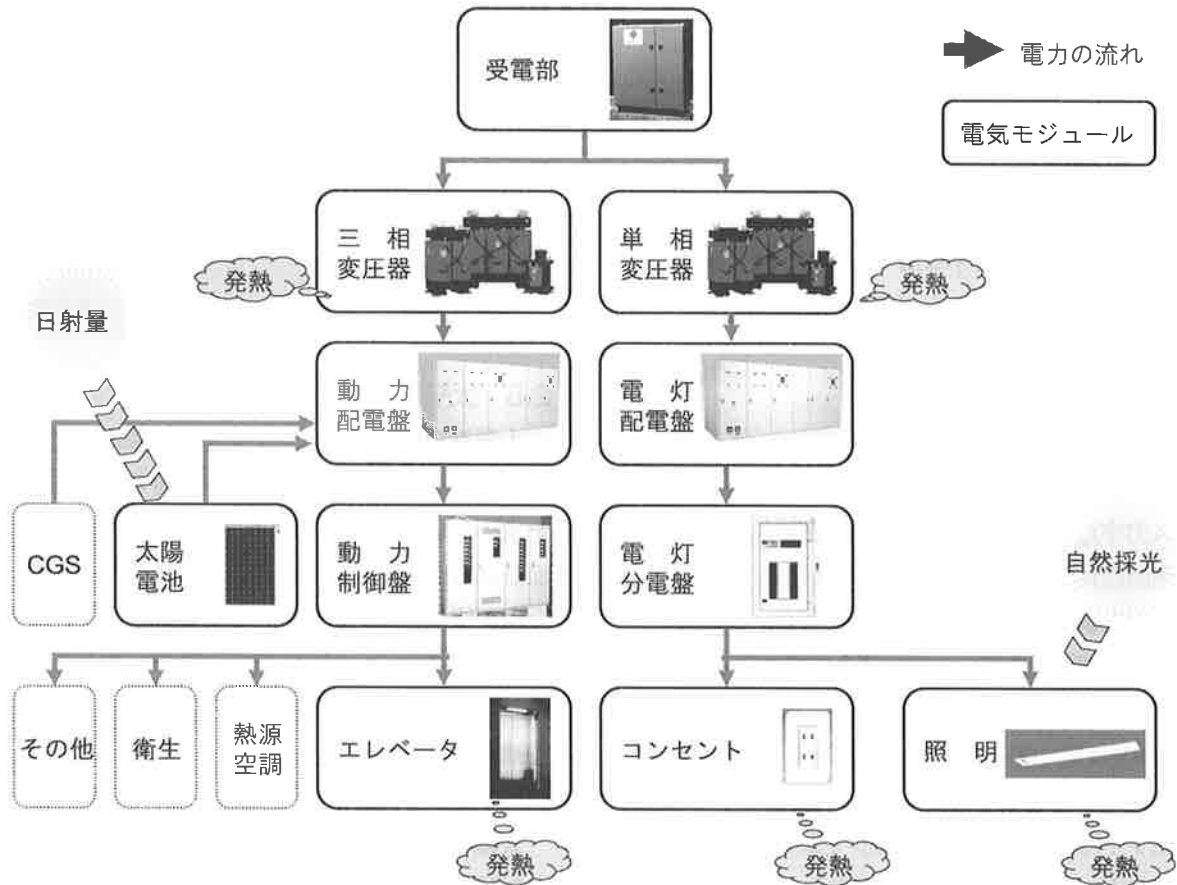


図3 電気設備プログラムの構成 (開発モジュール)²⁾

素モジュールについて説明する。

2.1 照明モジュール (詳細法)

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、消費電力原単位に負荷率スケジューラを乗じて算出する在来法の2種類がある。在来法は2.2に準じるため、説明を割愛する。

(1) 前処理

- ・部屋の大きさ (間口、奥行き)、センサの数 (行方向、列方向)、センサ1台が制御する照明器具群の台数を設定する。
- ・照明器具群の調光率 x と制御対象となるセンサ直下照度分布 E の関係式を求める (x 、 E ともセンサ数分の配列)。具体的には、すべての照明器具のフル点灯 (調光率 x がすべて1.0) 時にセンサ直下照度を E とする各照明器具群の寄与が A の要素となる。

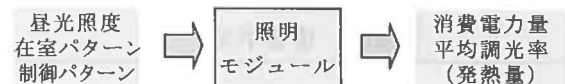
$$E = A \cdot x$$

- ・この逆行列 A^{-1} を求めることで、任意の照度分布 E の際の照明器具群の調光率 x を算出できる。

$$x = A^{-1} \cdot E$$

- ・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



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	室形状・作業面高さ、室反射 センサ調光有無 センサ配置、照明器具群の台数 照明器具形式 (配光分布をIESNA標準形式で与える)、定格消費電力 W 、電力-調光率特性、保守率、設定照度 lx 在室制御の有無、係数 熱換算係数 (以下記載省略)

- ・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）。

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

- ・前処理(1)で算出した逆行列 A^{-1} を用いて E_n に対応する調光率を計算し、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）。

$$x_m = A^{-1} \cdot E_n / M$$

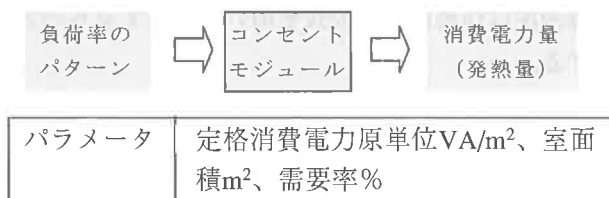
(3) 消費電力計算

- ・照明器具の調光-電力特性から調光率 x_m に対応した電力入力率 f_m を求め、定格消費電力と器具台数を乗じて照明器具群の消費電力量 W_m [W]を算出する。
- ・さらに照明制御パターン、在室制御パターン、補正係数を乗じ制御を考慮した照明器具群電力量とする。室全体の集計はすべての群の合算とする。
- ・照明発熱量は電力量に発熱換算係数を乗じて算出する。

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をパラメータに負荷率パターンを入力として電力量を算出することとしている。

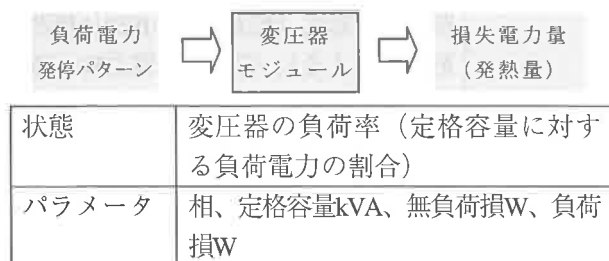
コンセント消費電力量 = 定格消費電力原単位 × 面積 × 需要率 × 負荷率パターン



2.3 変圧器モジュール

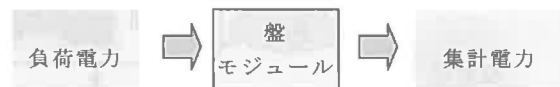
変圧器モジュールは、負荷電力に応じて変化する変圧器負荷率を状態として算出する。

変圧器損失電力量 = 無負荷損 + 負荷損 × 変圧器負荷率²



2.4 盤モジュール

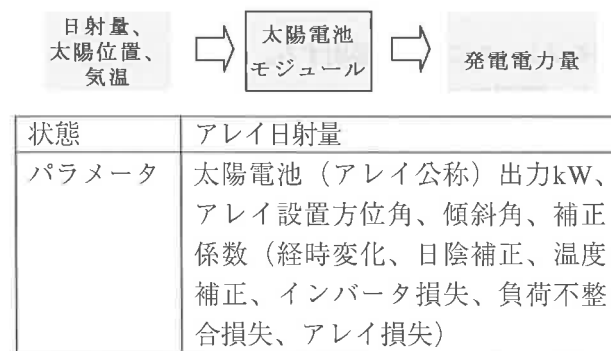
盤モジュールは受電部、配電盤、動力制御盤、分電盤など電力を分配/統合する箇所に使用する。名称は異なるが機能は同じで、二次側の電力を集計し一次側へ出力する。



2.5 太陽電池モジュール

太陽電池の発電量は、アレイの公称出力にアレイへの日射量を乗じて求めることができる。アレイ日射量を求めるには、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）のアレイ設置角、方位角に対する変換が必要であり、補正表がよく使用されている。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補正表の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 × アレイ日射量 × 補正係数

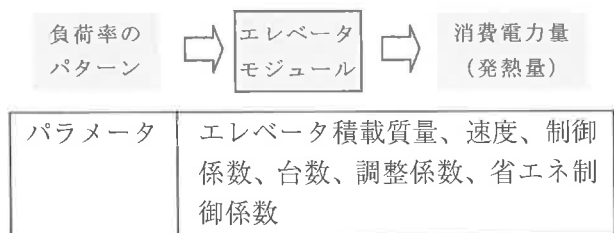


2.6 エレベータモジュール

エレベータモジュールは、省エネ法におけるCEC/EVの計算式をベースとして消費電力を算出している。これはエレベータが、群台数、階間連絡の強さ、階段の使いやすさなどの使用状態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いためである。

BESTでは、群制御や部分停止など省エネオプションを反映できる係数などを乗じることで実態に合わせた調整を可能としている。

エレベータ消費電力量 = Σ 負荷率パターン × 積載質量 × 速度 × 制御係数 / 860 × 調整係数 × 省エネ係数



3. テンプレート³⁾

通常の電気設備では、電圧降下や配線サイズ、供給エリアを考慮し、分電盤は各階、動力制御盤は機械室ごとなど、建物全体で相応の面数の盤が必要となる。一方で初期段階での検討などでは、変圧器の容量、台数程度の設定で電源系を検討することが実体的であり、図4のような電源テンプレートを準備している。

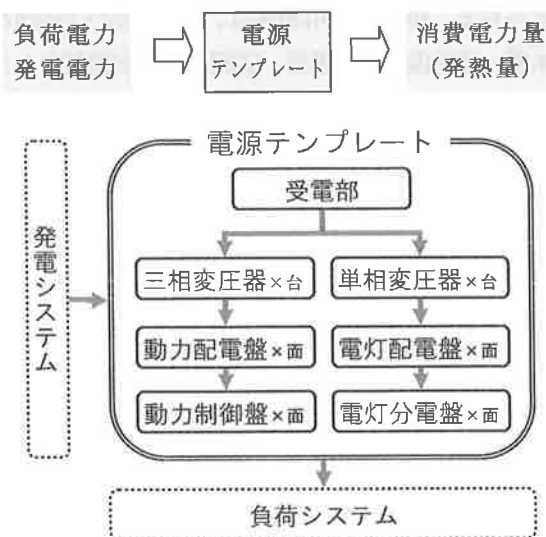


図4 電源テンプレートの考え方

おわりに

The BEST Programにおける電気設備の主要なモジュールは構築できた。表1に示すような、これまでにない活用に寄与すれば幸いである。

【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

表1 プログラムの活用方法

システム	活用例と活用効果
電源	時刻変動シミュレーションによる契約電力推定、デマンド制御対象の選定
	気象条件により変動する機器の電力把握
	事前シミュレーションによる電力量計設置ポイントの把握 (容量・負荷変動が大きい重要ポイント、負荷変動が小さく常設機器不要ポイントなど)
	実データとの組合せによる機器増設時の電力余力判定
照明	建築・気象データとの連動による昼光利用制御と在室検知制御などの総合的評価
	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による総合的評価
太陽電池	気象条件と連動した時刻シミュレーションによる電力融通や商用電力との系統連系 (逆潮流の有無、量) や、蓄電池バックアップ時間の検討

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)、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：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>

- 1) 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
- 2) 滝澤総、The BEST Program電気設備のシミュレーション法、空気調和衛生工学11号、2008、pp.965-970
- 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

10.

コージェネレーションのシミュレーション法

秋元 孝之 芝浦工業大学 教授
 工月 良太 東京ガス(株)エネルギー企画部 課長

1. はじめに

コージェネレーションシステムは、オンサイトで発電し、同時に発生する排熱を空調や給湯等に利用することによりエネルギーの利用効率（一次エネルギー効率）を向上させるシステムである。民生分野の建築プロジェクトでも数多く採用されており、BESTがカバーすべき要素の1つである。この効果を定量的に表現するためには、建築・空調、電気、衛生の各分野との連成計算を必要とする。筆者らはBEST専門版開発委員会クラス構想ワーキンググループ下に設置されたコージェネレーション検討サブワーキンググループにおいて、他の作業部会、ワーキングと連携しつつ、コージェネレーションシステムに必要なモジュールの検討・開発を行っている。本稿ではこれまでの取組みの概要と、今後の展望について報告する。

2. 想定したシステム

開発の初期段階として、典型的な要素を含むコージェネレーションシステムを想定した。基本構成を図1に示す。主要な要素としては、ガスエンジン、排熱投入型吸収冷温水機、給湯用予熱槽を想定し、基本的なシステムはそれぞれが各1台ずつで構成されるものが考えられる。排熱の利用順序は、①排熱投入型吸収冷温水機、②給湯用熱交換器、③暖房用熱交換器とした。建物により給湯排熱利用系統がない場合でも①、③で対応可能である。

3. 参考とした既存のシミュレーションプログラム

プログラムの作成に先立ち、コージェネレーションシステム計画・評価用プログラムとして知られている

CASCADEⅢ¹⁾を参考とした。

表1に示すとおり、BESTで求められる仕様とCASCADEⅢでは状態値の表現が異なる。BESTでは熱媒（水）の流量と温度差で熱収支が表現されること、ならびに5分程度の短い間隔での計算を可能とすることが求められる。以上の要件を踏まえて開発を行った。

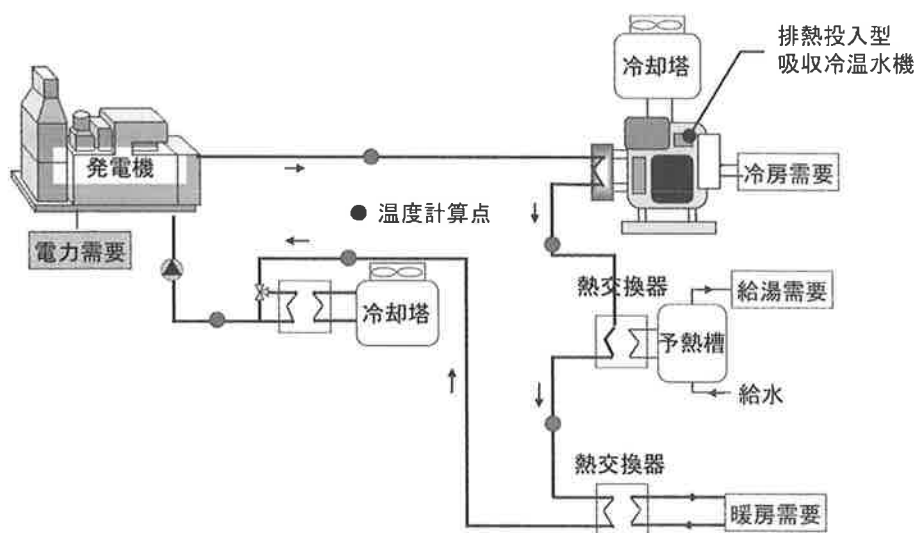


図1 コージェネレーションシステムの基本構成 (例)

表1 CASCADE III¹⁾の主な仕様とBESTで求められる仕様

項目	現在のCASCADE IIIの仕様	BESTにおいて求められる仕様(案)
計算時間間隔	1時間	1時間~1分間の可変とする
排熱出力	・熱量の収支を計算 ・温水・蒸気・排ガスの区別はない	熱媒温度差と流量の収支から計算する
排熱温度	固定	負荷変動に追従させる
予熱槽・配管内温度	時刻とともに変化しない	負荷変動に追従させる(時刻とともに変化)
熱源機の混合の扱い	ガス直焚吸収冷温水機、ボイラとの混合は可	左記に加え、電動冷凍機等の他熱源との連携を可能とする
複数の熱源機、発電機の扱い	複数台の機器容量を合計し1台として扱う	台数分割の場合は各々の運転時間割当て等の対応を行う

4. 主な構成要素のモデル化

以下では、前述のサブワーキンググループで開発した、ガスエンジン、発電機コントローラ、排熱投入型吸収冷温水機のモデルの概要を述べる。

(1) ガスエンジン

ガスエンジンは、図2に示すとおり当該時刻における発電需要量に応じて発電し、その時の発電負荷率からガス消費量と排熱利用量を求める。本開発では文献²⁾の発電効率(定格の75%負荷時、50%負荷時)の3点の数値をもとに、部分負荷の場合の特性式を図3に示すとおり二次曲線として作成した。

ガスエンジンでは部分負荷時に発電効率が定格時(100%負荷時)に比べ低下する一方、排熱回収効率は上がる傾向がある。そこで排熱利用効率についても、

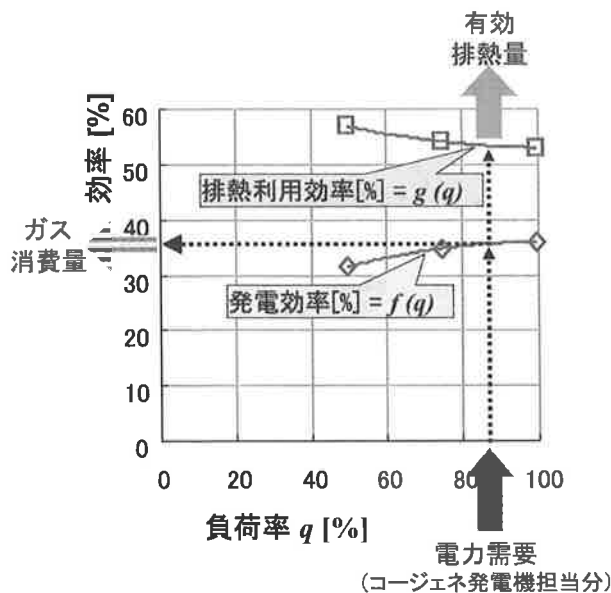


図2 ガスエンジンにおける部分負荷特性

文献²⁾を参考に、75%負荷時、50%負荷時の数値をもとに、二次曲線で表現した。

なお、文献²⁾における各種のガスエンジンの部分負荷時のデータをもとに、平均的な水準をデフォルト値として、図3に示すとおり $\eta_{75}=93$ (%)、 $\eta_{50}=82$ (%) を設定した。

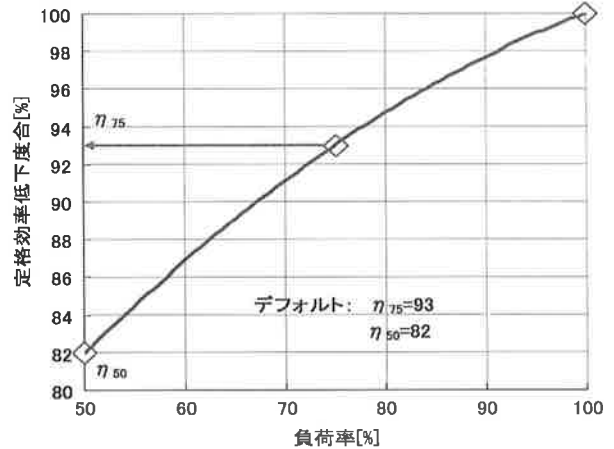


図3 ガスエンジンのモデル開発における部分負荷特性(発電効率に関するデフォルトの設定)

(2) 発電機のコントローラ

図4、図5にガスエンジン発電機の制御のイメージを示す。出力一定制御の場合は「発電目標量=対象発電機の定格発電」として、制御対象発電機に制御信号を送る。一方、電力負荷追従制御の場合は、図5に示すロジックで発電目標量を求め、制御対象発電機に出力制御信号を送ることとした。

BEST0810版におけるGUIを図6にコントローラの入力画面の例を示す。一部の項目はデフォルト値が表示されているが、ユーザーがカタログ等をもとに数値を入力することができる。

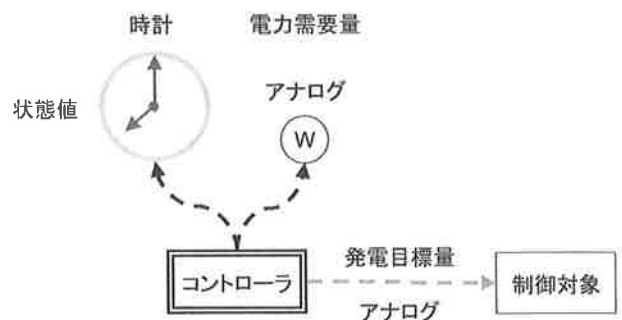


図4 発電機用コントローラ的作用

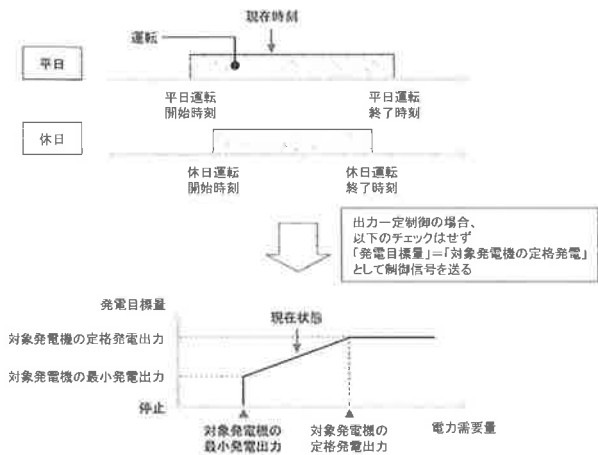


図5 発電機の発電目標量の制御方法



図6 BEST (O810版)におけるガスエンジンの入力画面 (数値は例)

(3) 排熱投入型吸収冷温水機

排熱投入型吸収冷温水機では、他の部会で開発された直焚き吸収冷温水機の特性に排熱利用時の特性を加えてモデル化を行った。図7にモデルの構成を示す。

図8に示すとおり、排熱投入型吸収冷温水機は、定格負荷に対する部分負荷率に応じて排熱の寄与分が変化するという特徴がある。計算の流れを図9に示す。コントローラから冷水需要量が与えられ、この需要量と排熱のポテンシャル (排熱入口温度、排熱流量) によって排熱回収量を算出する。排熱回収量から、ガス消費量や各系統における出口温度が算出可能となる。

排熱回収量の計算は、各系統の入口温度、流量から排熱回収可能量を算出する。これをもとに排熱出口温度をチェックし、最終的な排熱回収量を算出する。

ガス消費量については、排熱を利用せずに直焚き吸

収冷温水機として運転した時に消費されるガス量から、排熱利用分を差し引いて求める。

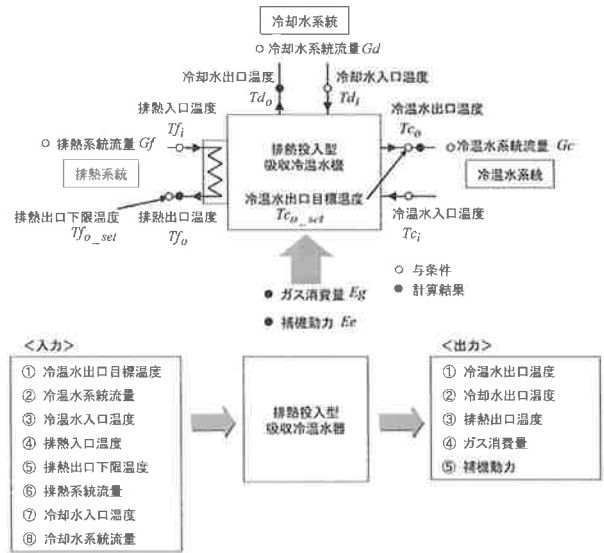


図7 排熱投入型吸収冷温水機のモデル化(イメージ)

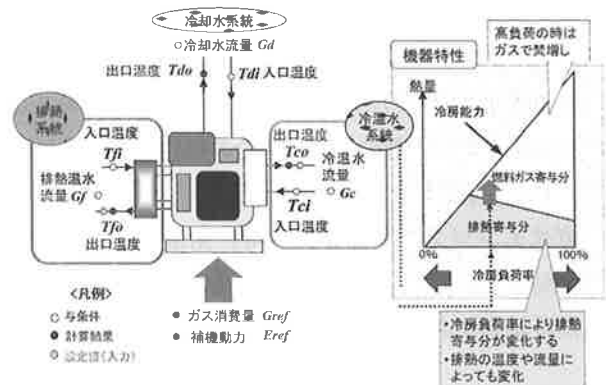


図8 排熱投入型吸収冷温水機の部分負荷運転時のモデル化イメージ

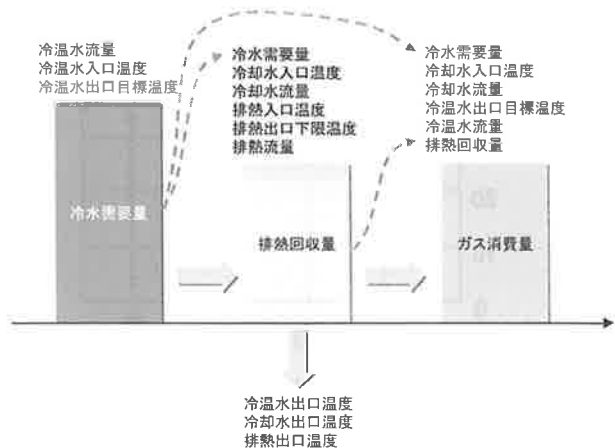


図9 排熱投入型冷温水機の計算の流れ

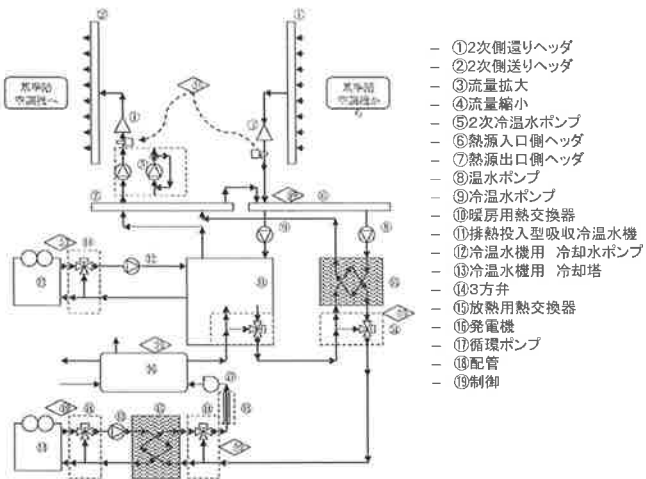
5. 連成計算

上に述べた要素を含むコージェネレーションシステムを空調のサンプルシステムに組み込んで実施した連成シミュレーションについて述べる。表2に示すとおりBEST0810版でサンプルとしたオフィスビルの空調シミュレーションを用いた。給湯予熱の系統は本例には含まれない。

熱源機廻りの構成を図10に示す。ガスエンジン発電機、排熱吸収型吸収冷温水機、暖房用熱交換器各1台ずつのほか、冷却塔2台その他で構成している。

表2にサンプルシステムにおける主な設定項目と設定例を示す。

BESTの画面上では、図11のような入力項目が表示されるので、必要な設定を行う。幾つかの項目にはデフォルト値が入っている。



- ①2次側送りヘッダ
- ②2次側戻りヘッダ
- ③流量拡大
- ④流量縮小
- ⑤2次冷温水ポンプ
- ⑥熱源入口側ヘッダ
- ⑦熱源出口側ヘッダ
- ⑧温水ポンプ
- ⑨冷温水ポンプ
- ⑩暖房用熱交換器
- ⑪排熱投入型吸収冷温水機
- ⑫冷温水機用 冷却水ポンプ
- ⑬冷温水機用 冷却塔
- ⑭3方弁
- ⑮放熱用熱交換器
- ⑯発電機
- ⑰循環ポンプ
- ⑱配管
- ⑲制御

図10 サンプルシステムにおける機器要素の接続図

表2 サンプルシステムにおける主な設定項目と設定例

主な設定項目	設定例
運転スケジュール	運転時間 8:00 ~ 22:00 月曜～金曜 冷水 7°C 期間 5/1～11/30 温水45°C(60°C) 期間 12/1～4/30
ガスエンジン	発電能力 定格: 350 kW ガス消費量 / 電力消費量: 864 kW / 17.5 kW 排熱温水流量: 426 L/min
排熱投入型吸収冷温水機	冷房時(定格能力 / ガス / 電力): 1055 / 822 / 5.1 kW 加熱時(定格能力 / ガス / 電力): 692 / 822 / 4.6 kW 冷温水流量: 3024 L/min 冷却水流量: 5000 L/min
暖房用熱交換機	能力 298.15 kW
ポンプ	冷温水ポンプ: 3024 L/min x 30 kW 冷却水ポンプ: 5000 L/min x 22 kW 温水ポンプ: 855 L/min x 11 kW 排熱循環ポンプ: 481.8 L/min x 3.7 kW 排熱冷却用冷却水ポンプ 963.6 L/min x 7.5 kW
冷却塔	冷却水流量: 5000 L/min ファン: 16.5 kW
冷却水 三方弁制御	熱源の冷却水入口温度を観測対象とし、目標設定温度になるように冷却水3方弁の流量比にPID制御を行なう
熱源台数制御	送りヘッダ入口と送りヘッダ出口の状態から求めた熱量を観測対象に、熱源2台の台数制御を行なう

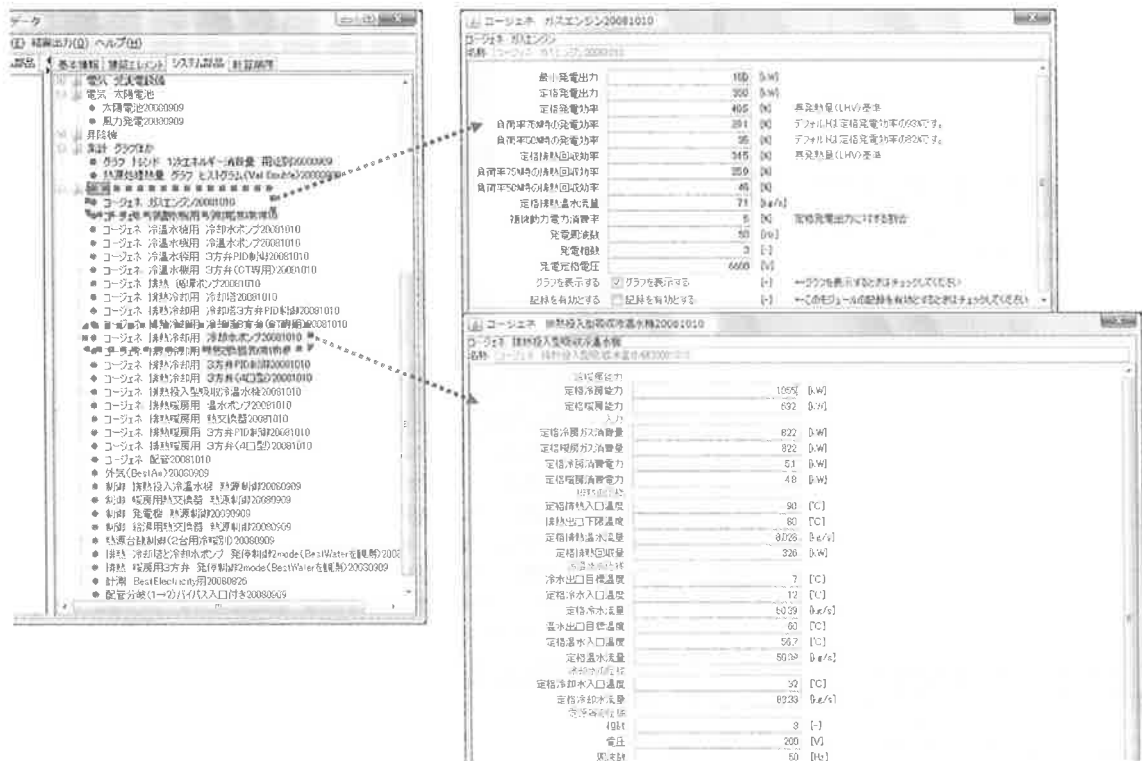


図11 設定項目の入力画面の例 (ガスエンジン、排熱投入型吸収冷温水機)

電気設備の構成とコージェネレーション発電機の接続イメージ図12に示す。コージェネレーションシステムで発電された電力は、動力配電盤に接続される。太陽光や風力発電の電力とはその後に集約され建物側の熱源、空調、換気、昇降機等の動力盤に供給される。

試算結果の例を図13に示す。ガスエンジンでは空気出入口温度、発電量、消費ガス、熱処理能力、放熱量、排熱温水質量流量、空気質量流量、発電COP、有効熱COPがトレンドグラフとして表示されている。また排熱投入型吸収冷温水機では、発電機排熱、冷温水、冷却水の出入口温度、質量流量、消費電力、消費ガス、熱処理能力がトレンドグラフとして表示されている。

本例は平日のDSS運転であり、機器の出入口温度差、On-Offタイミングとエネルギー消費のタイミング等については概ね正常な動作を確認している。計算負荷軽減の目的から前進法を採用しているため、各種構成要

素内、要素間の熱収支の確認が必要である。出力値については精査中である。

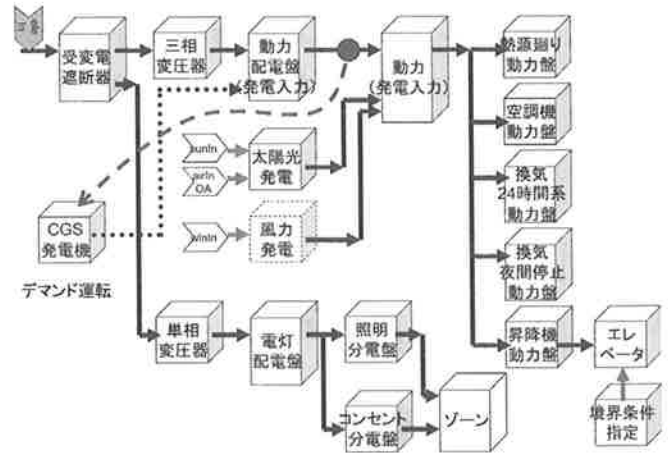


図12 電力設備の構成とコージェネレーション発電機の接続イメージ

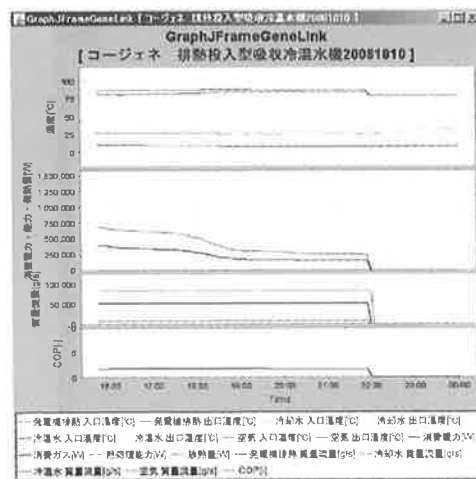
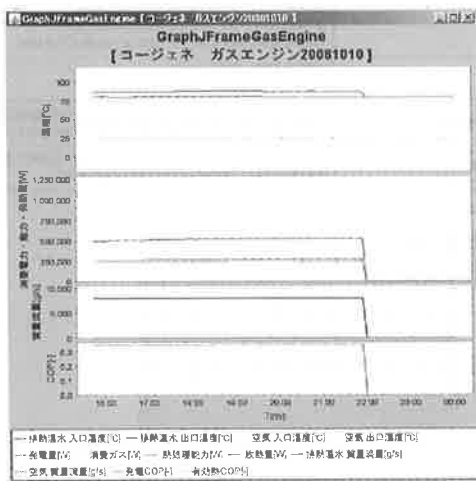
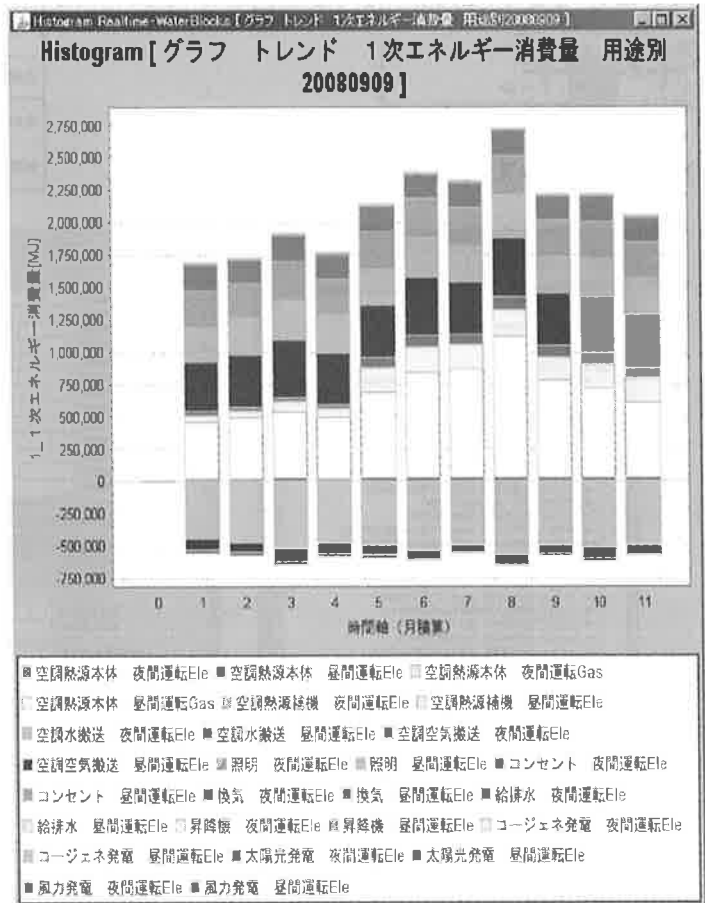


図13 シミュレーション結果(例)



6. まとめと今後の課題

本稿では、筆者らがBESTコージェネレーション検討SWGで開発したモデルの概要と、サンプルシステムでの連成計算の状況について説明した。設備機器の計算モデルについては、既存の計算モデルからの流用やメーカーへのヒアリングによって決定しているが、これを接続した状態での連成計算では、循環流量や熱容量の大きさに起因すると考えられる熱収支の差異が生じるケースがあるため、熱収支等のチェックが必要である。

要素機器の動作については概ね良好であり、簡易な計算法で可能なシステムシミュレーションの方法が構築できたと考える。

今後さらに汎用的なシミュレーションを行うにあたっては、以下の点について検討していく。

(1) 設備機器の拡充

発電機の種類の実（ガスタービン、燃料電池）を図るとともに、排熱が蒸気の形で得られる場合の取扱いを検討中である。排熱利用機器として、デシカントシステムについてもモデル化も進めていく考えである。

(2) ユーザー向けの利便性の向上

サンプルシステムの入門用の操作手順マニュアルを作成中である。ユーザーは要素機器の構成や順序は変えずに容量や運転スケジュール等だけを変更し、結果を表示するまでの一連の操作を体験できる環境を整えていく予定である。

各種要素機器の入力を簡略化するためのデフォルト値を充実するとともに、機種を選定したときにそのカタログ値が入力画面に表示されるようデータベースを順次準備していく。

要素機器間の接続操作を簡略化するため、連成計算のワーキングで検討が進んでいるテンプレート化についても対応していく必要がある。

(3) 汎用性の向上

今回のアルゴリズムには、簡易な「前進法」を採用した。「前進法」の場合、設備機器の計算順序によって、計算結果が大きく異なることが予想されるため、堅牢な計算順序の決定法、もしくはより汎用性を高めるのであれば、簡易な収束を行うアルゴリズムへの変更なども必要と考えられる。

また、実際の建物では複数の熱源機などが台数制御によって動作するため、熱源機の起動・停止順序や拡充や空気系統の機器の建物全体のシステムシミュレーションを行うような環境が必要になる。

【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コンソーシアムの企画委員会（村上周三委員長）ならびにBEST専門版開発委員会（石野久彌部委員長）下に設置された、コージェネレーション検討SWGの活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表す。

コージェネレーション検討SWG名簿（順不同）主査：秋元孝之（芝浦工業大学）、副主査：笹嶋賢一（日本設計）、委員：野原文男、二宮博史、田端康宏（日建設計）、昆野京一郎（ヤンマーエネルギーシステム）、佐藤誠（佐藤エネルギーリサーチ）、斎藤央（システック環境研究所）、工月良太（東京ガス）、事務局：生稲清久（IBEC）

<参考文献>

- 1) 都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム—CASCADEⅢ、(社) 空気調和・衛生工学会、2003.12
- 2) 天然ガスコージェネレーションシステム計画・設計マニュアル2005、日本工業出版、2005.4
- 3) BEST開発普及事業研究会（第一次）におけるプログラムリリース及び説明会資料、(財) 建築環境・省エネルギー機構、2008.3

11.

蓄熱式空調システムのシミュレーション法

柳原 隆司 東京大学大学院 特任教授
河路 友也 (株)トーエネック技術開発室 研究主査

1. はじめに

蓄熱式空調システムは、電力負荷の平準化、省エネルギー、ランニングコストの削減などメリットの大きな空調システムである。しかしながら、設計や運用の不具合により本来のメリットが享受できず、逆にエネルギー的、コスト的な損失を招いている事例も少なく無い。この一つの原因として、年間の蓄熱槽の挙動を十分に把握しないまま、設計や運用が行われることが考えられる。このような問題の対策を検討する上で、シミュレーション技術は重要となってくる。

以上のようなことから、BESTプログラムにおいても蓄熱式システムの計算を組み込み、計画・設計・運用段階で有効に利用されることを期待している。

ここでは、BESTプログラムに組み込まれた蓄熱式システムのシミュレーション法について述べている。

2. 基本プログラムの選定

2.1 基本プログラムに必要とされる条件

BESTプログラムの中でも、蓄熱式空調システムの計算、特に蓄熱槽のシミュレーション機能は、他のシステムに比べて計算が1日単位になるなど計算が複雑になるため、開発にも時間を要すると考えられた。そのため、既存プログラムを利用する方法で進めることにした。これにより、過去の研究成果・実績を活かすことが出来る。しかし、BESTに適用するためにはいくつかの条件があり、それらをクリア出来るプログラムでなければならない。必要な条件は以下の通りである。

① 一次側、二次側と蓄熱槽の間で交換される情報は、水温、流量であるため、熱量のみの計算ではなく、

水温、流量が算出される必要がある。

- ② BESTの計算時間間隔は可変となっているため、計算時間間隔を変更しても計算が可能なロジックである必要がある。
- ③ 蓄熱槽の種類、容量、槽数、深さなど条件をある程度自由に変更しても計算が可能である必要がある。

2.2 検討したプログラム

蓄熱式システムのプログラムについては、蓄熱・蓄電等システム検討WGで検討が行われたが、基本プログラムの検討においても、WGの各委員が候補となるソフトを持ち寄り委員会で各種検討を行い決定した。検討対象となったソフトは、(1) 水蓄熱槽最適設計プログラムTESEP-W (財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター)、(2) FACES、(3) LCEM、(4) 3次元水蓄熱シミュレータの4本であった。FACESについては熱量ベースでの計算であること、LCEMについてはEXCELシートでの計算でありBESTにそのまま組み込めないこと、3次元水蓄熱シミュレータについてはCFDでの計算となりBESTに搭載するのは困難であること、等のそれぞれの理由により採用不可となった。TESEP-Wについては水温の計算であり、前述の①から③全ての条件をクリアしているため、TESEP-Wを基本プログラムとすることに決定した。TESEP-Wは、中原らが名古屋大学時代に水蓄熱の研究¹⁾を進めていく中で、N88BASICで開発した蓄熱槽効率の推定表作成のためのプログラムであるが、プログラムそのものを一般の設計者に提供するために財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターの委員会にてWindows化作業が行われたものである。現在は研修会で教材として使用、配布されている。

3. 基本プログラム (TESEP-W) の概要

基本プログラムとして採用したTESEP-Wの概要を紹介する。図1に入力画面の一例を示す。この画面は熱源関係の設定を行う画面である。このように、系統図などを示すことによって、プログラム操作中もシステムを意識した入力が可能になるように工夫されている。図2にシミュレーション実行画面を示す。熱源の運転状態、空調負荷の処理および蓄熱の状況等、熱量・水温プロフィールの変化が視覚的に確認できる。一次側、二次側、蓄熱槽の設定状況の影響を考慮した計算が行われ、水蓄熱式空調システム全体の検討が可能である。本プログラムは基本的には蓄熱槽の最適容量と方式設計であるが、既存建物の性能検証等にも適

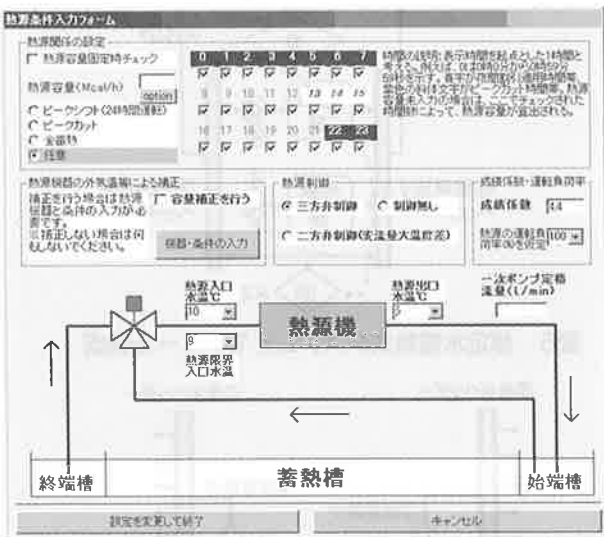


図1 TESEP-W入力画面例 (熱源運転制御条件入力)

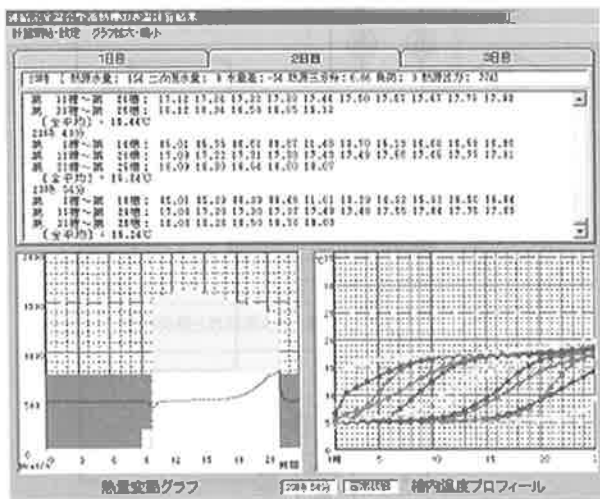


図2 TESEP-W計算画面例 (熱量及び温度プロフィール)

用できるように、熱源容量、蓄熱槽容量の固定入力、中間期など低負荷での計算、実測値との比較用計算機能などを備えている。その他、設計者や運転管理者の教育用、コミッションングへの適用など利用範囲は広い。

本プログラムのみでも水蓄熱式空調システムの検討は可能であるが、BESTに組み込まれることにより、建物条件など様々な要因の影響も考慮した検討や年間を通しての蓄熱槽の挙動検討に利用されることを期待している。

4. 蓄熱槽モデルの考え方

TESEP-Wにおける蓄熱槽モデルの考え方は、BESTにおいてもそのまま適用されている。図3に連結完全混合槽型蓄熱槽、図4に温度成層型蓄熱槽の蓄熱槽モデルの考え方を示す。

連結完全混合槽型蓄熱槽においては、各槽を一つの水の塊と考え水温は均一としている。この水の塊 (Water Block) が連結され、隣接する槽や一次側、二次側に対して入出力が発生するという考えである。よ

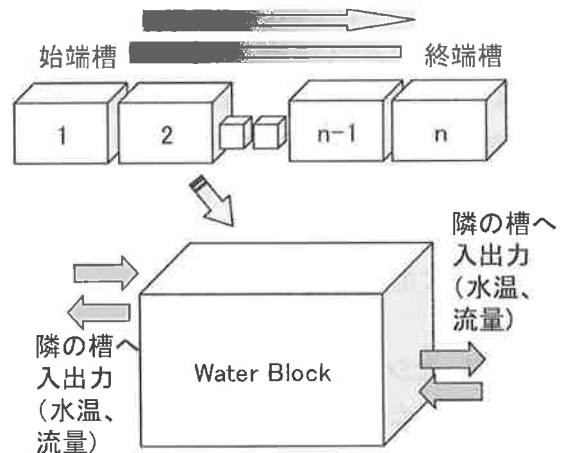


図3 連結完全混合槽型蓄熱槽の考え方

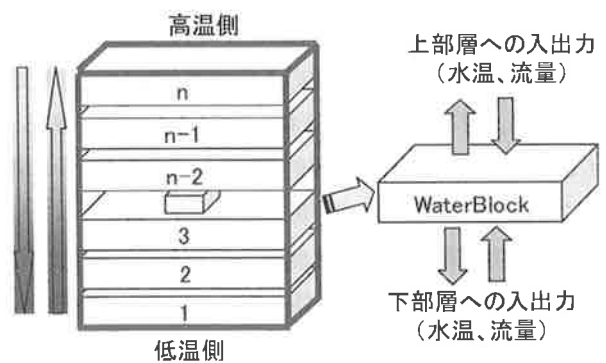


図4 温度成層型蓄熱槽の考え方

って、各槽の水温と流入出流量が必要な情報となる。

温度成層型蓄熱槽の場合は、実際は上下方向に無段階に温度変動があると考えられるが、ここでは、図4に示すように、1つの水の塊（Water Block）については均一な水温として扱うが、いくつかの塊が積み重なり、それらに温度差が生じることにより温度成層を形成している。

連結完全混合槽型蓄熱槽、温度成層型蓄熱槽のいずれも、両端のWater Blockにおいて、一次側、二次側システムとの間で、水温と流量データの受け渡しが行われる。

5. BESTにおける蓄熱プログラムの概要

5.1 BESTにおける蓄熱プログラムの現状

平成20年11月時点で公開されているBESTには、蓄熱システムとして、水蓄熱（連結完全混合槽型、温度成層型）、氷蓄熱（現場築造型）が用意されている。氷蓄熱についても、中原らの研究成果²⁾を採用して開発が行われている。氷蓄熱ユニットや氷ビルマルチエアコンについても、一つのオブジェクトとして提供できるように準備を進めているが、機器の特性、制御方法に関する十分なデータが開示されない等の問題もあり、作業の進行が遅れているのが実情である。

以上のようなことから、以下では水蓄熱式システムおよび氷蓄熱式システム（現場築造型）のプログラムの内容について主に説明する。

5.2 想定したシステムとモジュール構成

図5に想定した基本的な水蓄熱式空調システムを示す。一次側は複数熱源の設置が可能である。蓄熱時は全台数が全負荷運転することが基本となるが、昼間追掛け時および中間期などのために、台数制御モジュールも用意されている。熱源の入口水温制御は三方弁で行われる。2次側ポンプは変流量制御が可能である。FCU系統などの定流量系統が存在し、負荷が小さい場合に蓄熱槽への還水温度が低温（冷房時）になってしまうのを防ぐ為に、送水温度を制御する2次側送水温度制御用3方弁の選択も可能となっている。TESEP-Wのアルゴリズムは、主には⑰の蓄熱槽内の水温計算に利用されており、その他部分においても思想は反映さ

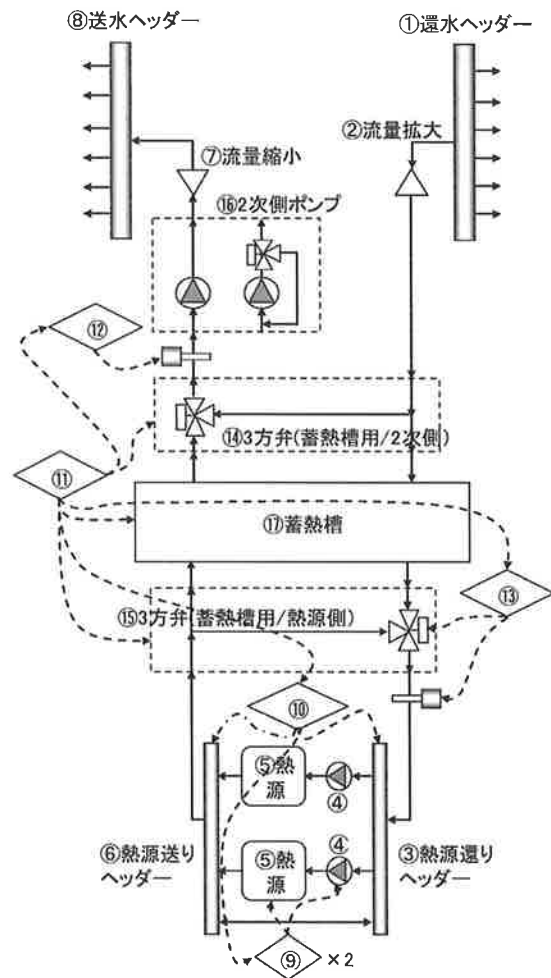


図5 想定水蓄熱式システムとモジュール構成

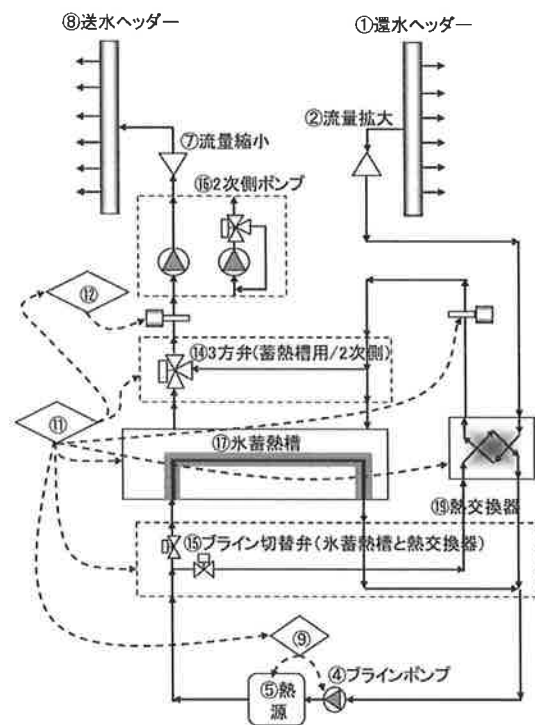


図6 想定氷蓄熱式システムとモジュール構成

れている。

図6には想定した水蓄熱式システム（現場築造型）を示す。水蓄熱式システムの場合も蓄熱槽モデルの考え方は水蓄熱槽の場合と同様であり、図3と図4に示したWater Blockの中にコイルが設置されていると考えれば良い。水蓄熱式システムにおいては、夜間はブラインチラーで蓄熱槽に氷を生成し、昼間は熱交換器（ブラインー水）で必要に応じて追い掛け運転を行う。

表1と表2には、水蓄熱式システムと氷蓄熱式システムに用意されているモジュールの名称を示している。これらを必要に応じて取捨選択し、システムを構築して行くことになる。熱量計は図中に記述は無いが、二次側負荷、蓄熱槽への入出力熱量など、必要な箇所に設置することが可能である。

5.3 二次側との関連

蓄熱式システムは、図5と図6で示した範囲内で完結するものではなく、当然、2次側の空調機運転状況の影響を受けることになる。蓄熱槽水温と熱源の追掛

表1 水蓄熱式システムの各モジュールの名称

No.	モジュール名称	No.	モジュール名称
①	還水ヘッダー	⑩	熱源台数制御
②	流量拡大	⑪	蓄熱コントローラー
③	熱源選りヘッダー	⑫	PID制御(2次側送水)
④	冷温水ポンプ	⑬	PID制御(熱源送水)
⑤	熱源(HPチラー)	⑭	3方弁(蓄熱槽用/2次側)
⑥	熱源送りヘッダー	⑮	3方弁(蓄熱槽用/熱源側)
⑦	流量縮小	⑯	2次側ポンプ
⑧	送水ヘッダー	⑰	蓄熱槽
⑨	熱源制御	⑱	熱量計

表2 氷蓄熱式システムの各モジュールの名称

No.	モジュール名称	No.	モジュール名称
①	還水ヘッダー	⑫	PID制御(2次側送水)
②	流量拡大	⑭	3方弁(蓄熱槽用/2次側)
④	ブラインポンプ	⑮	ブライン切替弁(蓄熱槽用/熱源側)
⑤	ブラインチラー		
⑦	流量縮小	⑯	2次側ポンプ
⑧	送水ヘッダー	⑰	氷蓄熱槽
⑨	熱源制御	⑱	熱量計
⑪	蓄熱コントローラー	⑲	熱交換器(ブラインー水)

け運転状況から算出された2次側送水温度と流量を、BESTの空調機側の計算に引き渡している。そして、空調機側の制御に従って室負荷を処理した結果の水温と流量を、蓄熱槽側で受取ることになる。その情報を元に、蓄熱槽内水温の計算を実行していくことになる。

5.4 蓄熱コントローラーの考え方

夜間移行率や蓄熱槽効率が高い状態での運転を維持する為には、適切な制御が必要である。現在、蓄熱コントローラーと称されるものがいくつか存在している。BESTプログラムにおいても、それらの制御を模擬できるような機能は必要と考えている。また、現存するコントローラーの問題点を克服し、理想的な制御が行えるコントローラーも将来的には装備したいと考えている。しかしながら、現段階で用意しているものは非常に簡易なコントローラーであり、スケジュール制御で基本的には稼動し、2次側送水限界温度の判定によって、追掛け運転が始動する程度の機能しか有していない。

6. 蓄熱プログラムの入出力項目

6.1 蓄熱式システムに用意されている部品

図7にBESTのメニュー画面を示す。蓄熱式システム特有の部品については、蓄熱システムのフォルダの中に収められている。熱源やポンプ等は、他の空調設備と共通である。

6.2 入力項目

図8に水蓄熱槽の入力画面を示す。蓄熱槽のタイプは、連結完全混合槽型、温度成層型から選択できる。槽分割数と槽容量を入力するようになっており、1槽



図7 BESTメニュー画面

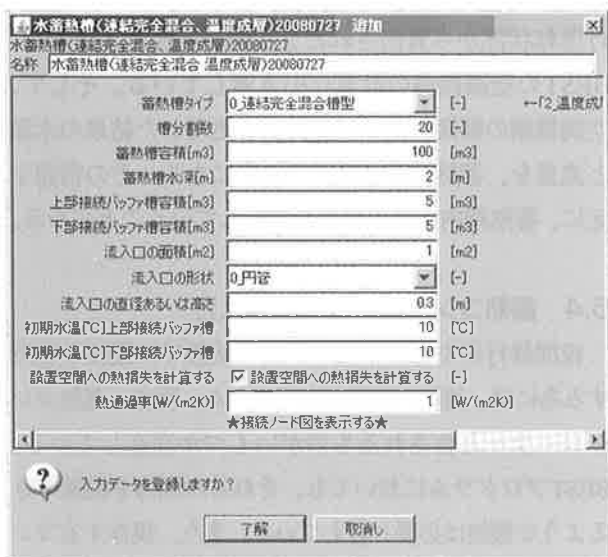


図8 水蓄熱槽入力画面

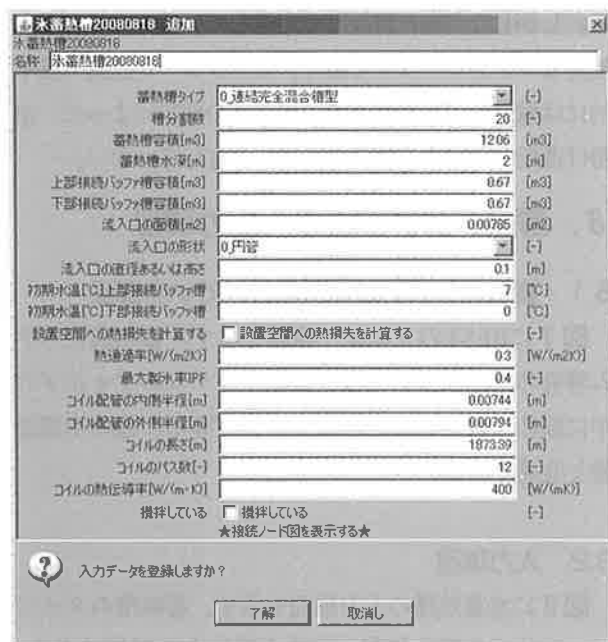


図9 水蓄熱槽入力画面

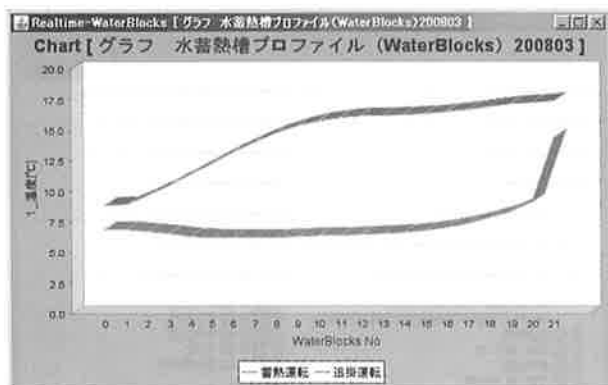


図10 水蓄熱槽水温プロファイル表示画面

の容量は槽数で等分されたものとなる。蓄熱槽の水深、流入口の形状・面積は、温度成層の形成に大きな影響を与える項目であるので、温度成層型蓄熱槽の場合には、各数値の決定には十分な検討が必要である。蓄熱槽自体の熱損失の影響も考慮した計算が可能である。蓄熱槽の容量、形状、一次側、二次側の制御方法については、事前にTESEP-Wで検討したものを入力すると作業時間の短縮が図れる。

図9に氷蓄熱槽の入力画面を示す。氷蓄熱槽についても、連結完全混合槽型と温度成層型の選択が可能である。水蓄熱槽と比較すると、IPFやコイル関係の情報の入力が必要となる。

6.3 出力項目

水蓄熱槽が良好に稼働しているかの判断材料として、蓄熱槽内水温プロフィールは非常に重要である。そのため、蓄熱槽内水温プロフィールの時間変化を出力している。図10に出力画面を示す。蓄熱運転時と放熱運転時が色分けされた状態で、アニメーションにより変化の状況を確認できるようになっている。

6.4 蓄熱式システム構築例

図11には、蓄熱槽廻りの主なモジュールの接続例を示す。現状ではまだ完成していないが、熱源部分はテンプレート化されたことを想定した図になっている。図5で示したような系統図に従って、各モジュールのInとOutを接続していくことによって、システムが構築されていく。現状の接続操作は決して容易ではないが、将来的には蓄熱システムのテンプレート化や、より感覚的な接続ツールの開発を予定している。

7. 現在の状況

現在は、氷蓄熱式ユニットの組み込み作業を行うと共に、水蓄熱式システム部分の検証作業を進めている。前述のTESEP-Wは実測値との比較も行われており、精度は確認されているため、第一段階としてBESTとTESEP-Wの計算結果が一致することの確認作業を進めている。今後は、現場築造型の水蓄熱システムの検証も行う予定であり、より精度の高いプログラムを提供できるように検証作業を進めていく予定である。

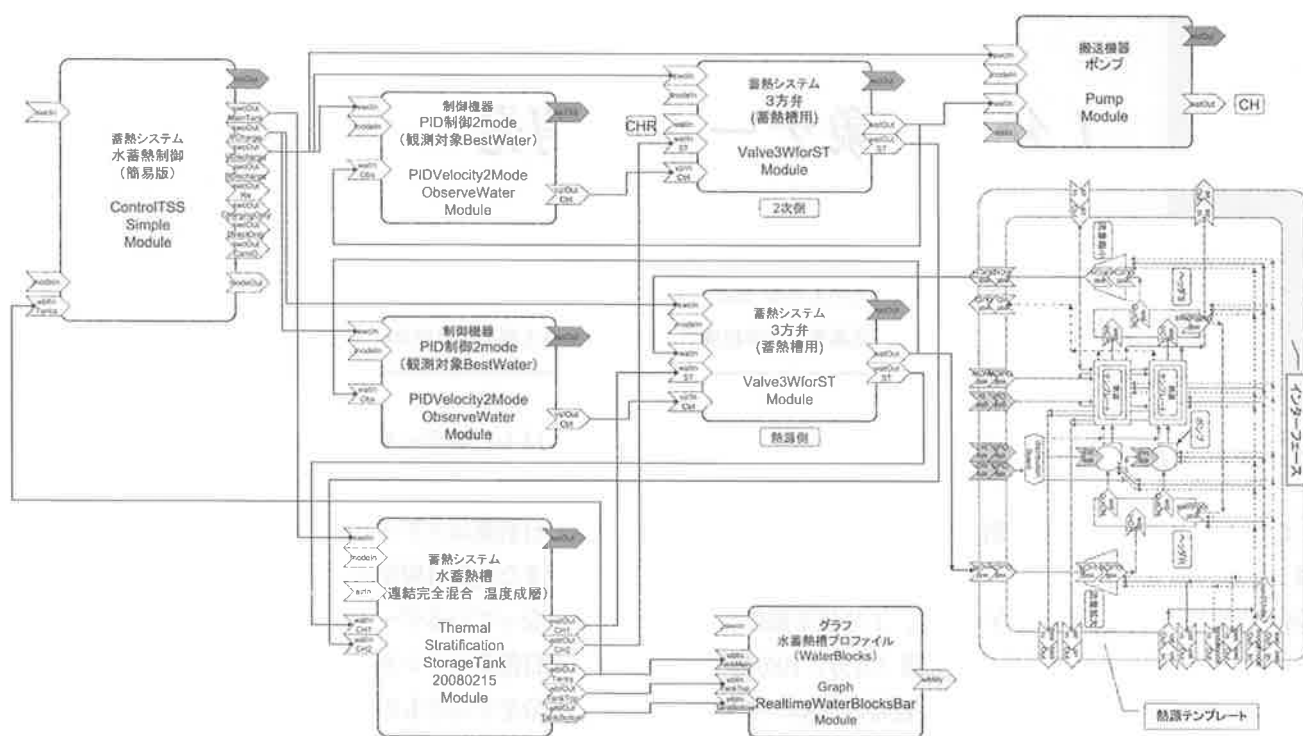


図11 蓄熱槽廻りの主なモジュール接続例

8. まとめ

本報では、BESTにおける蓄熱式空調システムのプログラム概要を示した。このプログラムの利用によって、蓄熱システム本来のメリットが確実に享受できるように、計画、設計、運用などに有効に利用されることを期待する。今後は、各種ケーススタディの実行、蓄熱コントローラーの充実、氷ビルマルチエアコンの実装作業などを進める予定である。

【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ャ検討部会(坂本雄三部会長)、蓄熱・蓄電等システム検討WG(柳原隆司主査)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。蓄熱・蓄電等システム検討WG名簿(順不同)主査:柳原隆司(東京大学)、幹事:合田和泰(着設備設計)、委員:中原信生(環境システック中原研究処)、林英人(関西電力)、柳井崇(日本設計)、岩田

美成、澤田佳也、井上聡、橋本英明(以上、中部電力)、小澤正一、山本秀希(以上、東京電力)、河路友也(トーエネック)、助飛羅力(三機工業)、野原文男、二宮博史(以上、日建設計)、工藤良一(着設備設計)、鄭明傑(三晃空調)、内海一朗(ヒートポンプ・蓄熱センター)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)、西尾敏朗(ヒートポンプ・蓄熱センター)

また、プログラムを提供頂いた、(財)ヒートポンプ・蓄熱センターの関連委員会(中原信生主査)に感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 中原信生・相良和伸・辻本誠:蓄熱槽に関する研究、第3報-運転シミュレーションを用いた実験計画法による連結完全混合型蓄熱槽の蓄熱槽効率の推定、空気調和・衛生工学会論文集、No.20, pp.59~72, 1982 他一連の研究
- 2) 中原信生・山羽基:氷蓄熱槽の熱特性に関する研究、第3報-アイスオンコイル型氷蓄熱槽のシミュレーションモデルと蓄熱槽効率推定表の作成、空気調和・衛生工学会論文集、No.56, pp.13~24, 1994
- 3) 河路友也・村上周三・柳原隆司・合田和泰・二宮博史: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33)蓄熱式空調システムのプログラム概要、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1133~1136, 2008

12.

1 分値気象データの開発

二宮 秀與 鹿児島大学工学部 教授
赤坂 裕 (独)国立高等専門学校機構 理事/鹿児島工業高等専門学校 校長

1. はじめに

BESTでは1時間より短い時間ステップに対する計算ロジックが導入されている。これに対応するために1分値気象データの開発を進めている。1分値を整理できればこれをベースに任意の時間間隔（5分、10分等）データも作成できる。これまでも短時間間隔の気象データの必要性は言われて来たが、基になる気象データが1時間間隔のものしか公開されていなかったため、便宜的に特別データを補間する手段が取られてきた。現在、気象庁ではアメダス10分値データと気象官署における1分値データを収集・公開している。現段階ではまだデータの蓄積は少ないが、短時間間隔の気象データを整理する際の有効な資料として期待される。本稿では現在開発中の1分値気象データについて報告する。

2. 気象庁から入手可能な短時間間隔の気象データ

気象官署の1分値データは、JMA-95型地上気象観測装置¹⁾が導入された地点から順次整備されており、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。1分値データの気象要素は、気温、湿度、気圧、風向・風速、降水量、日照時間、積雪深、全天日射量、直達日射量、視程である。全天日射量に関しては日射観測地点（67地点）のみが対象となる。直達日射は太陽追尾式日照計による観測値であり、直達日射量の精度は保証されているものではない。アメダスの気象要素は気温、風向・風速、降水量、日照時間の4要素（一部積雪深）であるが、地上気象官署に併設されたアメダスの10分値データには日照時間が含まれない²⁾。

図1は1分値データに収録されている全天日射量と直達日射量の1日の変動を示した例である。図のように1分値の日射量はステップ状の変動を示していることが分かる。また直達日射が観測されている時間に全天日射量が0になっているデータも見られる。1分積算値は具体的には日積算カウンターを基準として1分ごとに前時間との差分をとったものであり、 $[0.01\text{MJ}/\text{m}^2]$ 単位で記録されている。1分積算値は最大でも $0.08202\text{MJ}/\text{m}^2$ （太陽定数 $1367\text{W}/\text{m}^2 \times 60\text{s}$ ）以下であり、絶対値に対して記録精度が粗い。このため昼間に全天日射量が0値になるケースが生じている。このように1分値としての日射量は分解能が低いが、積算時間を少し長くすると日射の変動成分が読み取れるようになる。図2は図1と同じ日のデータを5分積算値で表したものである。

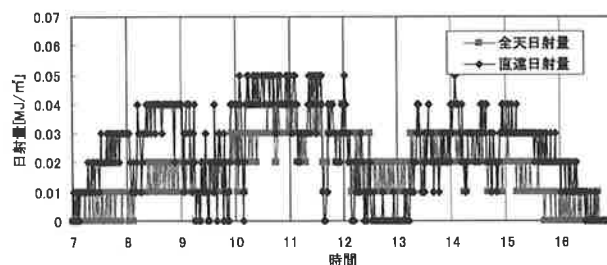


図1 全天候日射量および直達日射量の1分値の例 (東京管区気象台1999年1月23日)

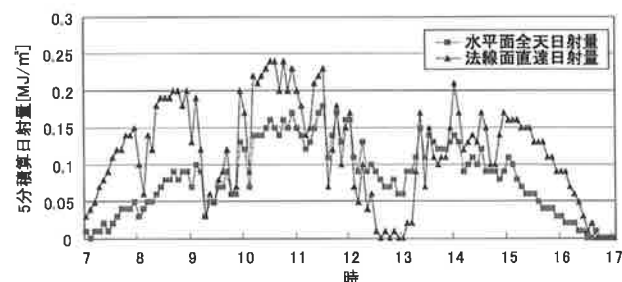


図2 全天候日射量および直達日射量の5分積算値の例 (東京管区気象台1999年1月23日)

3. 気象庁の観測データについて

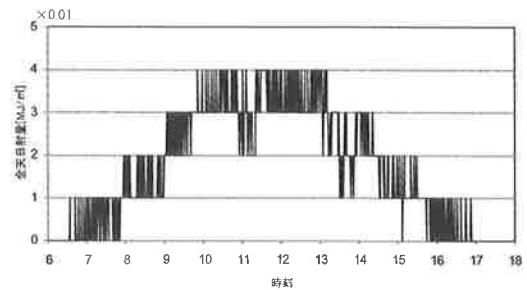
気象データの時間間隔が短時間になると、計器の時定数や観測方法の影響が顕在化してくる。このため気象データの持つ特徴をまず把握しておく必要がある。表1はJMA-95型地上気象観測装置による1分値気象データの概要である。気温、湿度の1分値は前1分間の平均値、風向・風速は前10分の平均値、降水量と日射量は前1分間の積算値として処理されている。風向・風速の1分値が前10分の平均値である点は特に注意が必要である。

表1 気象データの観測方法¹⁾

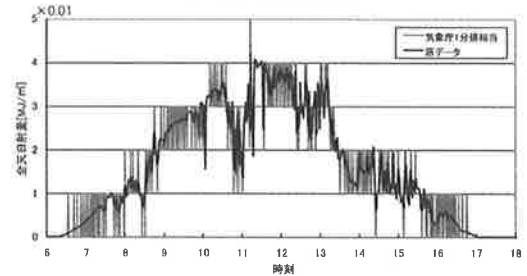
要素	観測方法
気温	測器：電気式温度計(白金抵抗型)。 時定数は約40秒。感部付近の通風速度は約5m/sに設定してある。 高さ：地上1.5m(多雪地は雪面上1.5m) 正1分値は前1分間の正10秒値(6個)の平均
湿度	測器：電気式湿度計(静電容量型)。 感部付近の通風速度は約4m/sに設定してある。 高さ：地上1.5m(多雪地は雪面上1.5m) 正1分値は前1分間の正10秒値(6個)の平均
降水量	測器：転倒ます型雨量計 降水量0.5mm毎に1パルス出力 正1分値は前1分間との積算カウンタの差から算出
風向・風速	測器：風車型風向風速計 高さ：地上10m 0.25秒ごとにサンプリングし、正10秒毎に前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秒毎に受信し日射量積算カウンタを積算。 正1分毎に前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の位まで求める。

4. 1分値日射量の平滑化

1分値ファイルの日射量は表1に示すように、1分積算値を0.001MJの位で四捨五入し、0.01MJ単位で記録している。この操作に伴う日射量の変化の様子を図3に示す。aは大坂管区気象台による1分値全天日射量で、bは大坂市立大学で観測²⁾した10秒間隔日射量を気象庁と同じ手順で1分値に編集したものである。図のように気象庁形式1分値データは、原データに雑音(四捨五入操作に起因)がのった時系列データと見なせる。そこでこのデータに雑音除去法(適応平滑化法)を適用し^{3) 4)}、原データと比較したものが図4である。日射の変動が大きくなると原データとの偏差



a.大阪管区気象台



b.大阪市立大

図3 全天日射量1分値の特性(2006年11月2日)

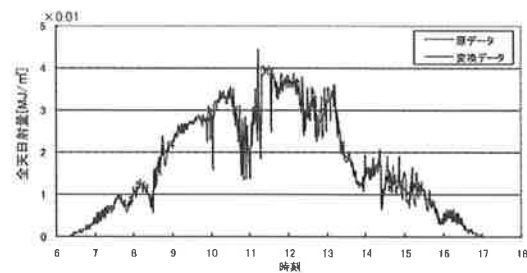


図4 全天日射量1分値の変換結果(2006年11月2日)

も大きくなるが、それでも短時間の変動はある程度再現できていると言える。適応平滑化法の最適化については現在検討を続けている。

5. 大気放射量の推定

大気放射量は館野高層気象台でのみ観測が行われている。公開されているデータは特別値であり、1分値ファイルには大気放射は含まれていない。しかし良く知られているように大気放射量の日変動は小さく、ある程度の誤差を許容するなら特別値の線形補間でも実用上問題は小さいと考えられる。そこで大気放射量の特別値を拡張アメダス気象データ⁵⁾(EA気象データ)と同じ手法で推定し、得られた特別値から分データを補間する。

図5に大阪市立大学における大気放射量1分値の観測値と推定値を示す。推定値は特別推定値を分データ

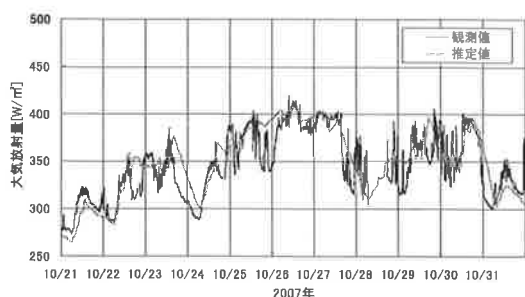


図5 大気放射量の観測値と推定値の比較
(大阪市大2007年10月)

に直線補間したものである。また夜間については前日・日没時の推定値と当日・日出後の推定値を直線補間したものである。このため夜間の推定精度は劣る。また昼間についても細かい変動までは再現できていない。しかしながら全体的な変動はだいたい再現できており、観測値との差も最大でも50W/m²程度であり、オーダーとしては実用的な精度が得られていると考えられる。

6. 欠測処理

1分値データは気象官署の観測値であり、アメダスと比較すると長期のデータ欠測は少ない。しかしシステム上のエラーも含め、短時間の欠測は相当数発生している⁶⁾。具体的な欠測時間数は気象要素・年によって異なるが、東京のデータでも欠測が多い年は延べで1000分を上回っている。ただし欠測にはシステム上のエラーによるものも含まれているので、1分値が欠測でも日原簿データやアメダス10分値には正常値が記録されている場合もある。そこで1分値の欠測処理では、まず、日原簿、アメダス10分・1時間値を参照して、当該時間が欠測かどうかを判断し、正常値がある場合にはこれで置き換える作業を行う。次に要素毎に以下のような欠測処理を適用する。

気温・湿度：欠測時間が120分未満の場合は、前後の観測値から直線補間で推定。長時間の欠測に対しては、まずEA気象データの欠測処理と同様の手法⁵⁾で時別値を推定し、さらに分単位に直線補間する。

日射量：短時間の欠測は直線補間。2時間以上の欠測に関しては同じ地点の観測データ（5年分以上）から類似日を探して代用する。

降水量：近隣の気象官署またはアメダスの観測値で代用。アメダスで代用する場合は、10分積算値を

0.5mmの倍数になるように分データに均等分配する。

風向・風速：ベクトル表現に変換し欠測は両者を同時に処理する⁷⁾。まず毎正時に欠測を含む24時間（1日）を対象に、1時間値によるスプライン補間を行い、これをもって1時間値の欠測を補充する。補間条件は4階3次B-splineで両端の毎正時を4重度、他を1重度の接点とする。なお、欠測が12時間を超える場合には、対象期間を48時間に拡大し、同様のスプライン補間を適用する。次にこのスプライン補間で推定された変動成分を1分値観測データから差し引いて、1日の確率的変動成分を求める。この確率的変動成分に時系列モデルを当てはめ、モデルにより推定された値で1分値を補充する。時系列モデルの推定にあたっては、事前に単位根検定で定常性を確認し、モデルの次数はAIC基準で求める。1日を超える長時間の欠測はEA気象データと同様に周りの観測地点のデータから時別値を推定し⁶⁾、これに時系列モデルによる分変動成分を合成する。図6に東京2006年1月21日の欠測補充の例（欠測10:17~10:32）を示す。

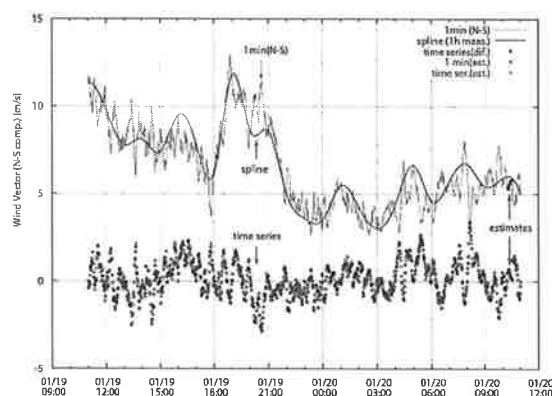


図6 風1分値の欠測補充の例（東京2006年1月）

7. 日射の直散分離モデル

日射の直散分離と斜面日射の合成方法はこれまでに幾つかの方法が提案されているが、BESTの気象データではPerezモデル^{8) 9)}を採用した。Perezモデルは天空放射輝度分布を考慮しており、斜面日射量の合成において方位毎の不均一性が再現できる。また昼光照度の計算には精度の高いIgawa_Bモデル¹⁰⁾を採用した。

8. 既存の時別値気象データへの対応

以上、気象庁の観測1分値に基づく気象データの開発

状況を述べた。一方、EA気象データをはじめとする既存の気象データをBESTで活用するには1時間間隔データを分間隔データに変換する必要がある。BEST気象データ部会では当初、各気象要素の分レベルの気象特性を考察し、それに基づいて1時間間隔データから分間隔データを発生させる手法を検討した。しかしながら風や日射、降水の変動は局地性が大きく、特定の地点の1分値気象データから統計的なモデルを作成しても、それを他地点の気象データに適用したときに、どの程度の信頼性があるのか検証するのは非常に困難である。このため、1時間値から分間隔データを発生させる気象のモデル化は今後の課題とし、現状ではできるだけ単純な方法で分間隔データに補間することにした。

気温・湿度：前後の毎正時値を直線補間。

日射量：前後の特別値を直線補間。ただし、日の出、日没時は太陽高度が正になる時刻を基点とする。

太陽位置：日射の直散分離や斜面日射量の合成において、日射量と太陽位置の整合性が重要になる。EA気象データは日射量の積算時間が毎正時±30分で整理されている。このため、日射量を分データに補間する際に、対応する太陽位置は毎正時を基準として補間する。これに対して、EPWデータや気象庁で公開している日射量は毎正時前60分の積算値である。このため対応する太陽位置は積算時間の中央時刻である正30分の値とし、これを基準として補間をおこなう。

大気放射量、風速：前後の特別値を直線補間。

風向：円周上の短円弧側を直線補間。

降水量：0.5mm単位で均等分配。

9. おわりに

気象庁の観測1分値にもとづく気象データの開発状況を報告した。また、既存の1時間間隔の気象データを1分値に変換する方法の現状を補足した。前者は設備機器類や室内環境の短時間の挙動を含めたシミュレーションに必要であり、後者はEA気象データへの適用により多地点データを使用できるため汎用的な省エネルギー評価に有効である。前者に関しては、当初の開発目標として、県庁所在地を主とする全国56都市の1分値データの整備を考えていたが、この中には全天日射の未観測地点も含まれるため、当面は東京・大阪

など主要都市のデータ整備を先行させる方針である。

【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)」ならびにアーキテクチャ検討部会(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：二宮秀興(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(以上、IBEC)

注) 2008年6月25日からは気象官署も日照時間の10分値を含む。

〈参考文献〉

- 1) 気象庁：地上気象観測指針、2002
- 2) 井川憲男・永村一雄・二宮秀興・菊池卓郎：大阪市立大学における太陽放射日光測定システム、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.285-286(2006)
- 3) 二宮秀興・村上周三・赤坂裕・井川憲男・永村一雄：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21)1分値気象データの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2008)
- 4) 南茂夫：科学計測のための波形データ処理、CQ出版社、(1986)
- 5) 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)、公開：気象データシステム(<http://www.metds.co.jp/>)
- 6) 永村一雄・村上周三・赤坂裕・永村悦子：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11)1分値気象データ開発のための風・気温の欠測補充、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2007)
- 7) 永村一雄・永村悦子：風向風速の1分値気象観測データの欠測補充—大阪・東京の作成事例—、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp.45-46(2008)
- 8) R.R.Perez, P.Ineichen, E.L.Maxwell, R.D.Seals, A.Zelenka : Dynamic Global to Direct Conversion Models, ASHRAE Transactions Research Series, pp.154-168(1992)
- 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, Vol.44, No.5, pp.271-289(1990)
- 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、pp.233-241(2005)

13. 座談会

これからのBEST

(出席者)	石野 久彌	首都大学東京大学院 名誉教授
	長井 達夫	東京理科大学 准教授
	柳井 崇	(株)日本設計 環境・設備設計群設計グループ グループ長
	佐藤 正章	鹿島建設(株) 技師長
	野原 文男	(株)日建設計執行役員設備設計部門 副代表
(司会)	牧村 功	(社)建築設備技術者協会 会長

BEST開発の背景と現況

司会 本日は、BESTの開発企画を始めてから4年経過しましたが、その間、主要な立場で開発にかかわられた5人の方にお集まりいただきました。BESTそのものの具体的な内容は、会誌に紹介されていますので、この座談会では、BESTの開発現況と今後の展開について、開発当事者、および外部から眺めた第三者の二つの立場で率直なご意見をいただきたいと存じます。まず冒頭に、私のほうから、BEST開発の経緯を、ざっとお話させていただきたい。その上で、皆さまにお話しいただこうかと思います。

まず私は建築設備技術者協会の会長を務めておりますが、副会長時代、今から4年以上前に、協会が発売しておりますHASP/ACLD・ACSS、これがいろいろな問題を抱えているということで、なんとかこのプログラム本体を今の時代に合ったものに変えていくことが必要だと議論されました。一番の大きな問題は、HASP/ACLDは1971年、今から38年も前に作られた年間空調熱負荷を求める動的シミュレーションプログラムであるということ。その後、HASP/ACLDの結果を用いて、1985年の20数年前にHASP/ACSSという、空調システムの年間エネルギー消費量を計算できるシミュレーションプログラムができあがった。その時代は、大型のセンターコンピュータで、一部の研究者、一部のマニアックな設計者のみを使う状態であり、当時のCPUの能力を遙かに上回るパソコンを利用している現在でも、そ



の利用状況は変わっていない。そんな背景もあって、この数年前から、HASP/ACLD・ACSSをベースにして、研究者、学・協会、企業、エネルギー会社などのいろいろな立場の方々が、より使いやすく新たな機能を加えたソフトを作り上げてこられたという実態がございます。しかし、これらのソフトには著作権問題をはらんでいること、また、30年前のソフトを研究・技術開発が進んでいる現在も使い続けているのか、当時のソフトは、エネルギー会社や企業の寄付を財源に、大学や一部の企業の研究者に委員会形式のボランティアで開発していただいたが、現在、開発費や人材をどうやって用意できるのか、などなど、議論を重ねながら、企画書を作り上げました。まずは、プログラム開発の代表者として、当時CASBEE開発を推進されておられたIBECの村上理事長にお願いし、国土交通省さんの支援もいただける話になり、2005年10月から、第1ステップのマクロデザインが始まり重要な要件と全体構成ができあがりました。そのマクロデザインを受けて、2006年4月から2年がかりで、BESTの専門版ができた

わけでございます。2008年3月にリリースはさせていただきましたけれども、皆さまよく理解されているとおり、まだまだ一般の方々が、設計者がそのまま使えるという状況にはなっ



ていないということで、いろいろな問題を抱えながら、1年経過をして、BEST専門版の0812版、あるいは0903版となり、かなりの多くの専門的な知識を持った方々が、BEST専門版を使えるような状況になってきたのが現状ではないかと思っています。合わせて、国土交通省さんの支援をいただきながら、今の地球環境問題、特に建築物のエネルギー消費量をいかに削減し、CO₂排出量を抑えていくかに絶対必要なツールとしての行政支援ツールを並行して開発しています。2010年4月から施行されます省エネルギー法の運用に向けて利用できるツールを提供していくには、そのツールが2009年3月末にはできあがっているということが必要条件であることが現状ではないかと理解しております。そんな中で、BESTのプログラム作成にかかわられました主要な方々に今日はお集まりいただいているということで、開発企画段階からプログラムの具体的な中身の検討と、直接的な作成にかかわっておられる石野先生、それから空調関係を中心にソフト関係をまとめられている長井先生、それから空調関係の中の機器特性をまとめられた柳井さん、それから行政支援ツール開発に対してかなり中心的になっていただいております佐藤さん、それから、これはもうスタート当初からずっと幹事として、あらゆる場面でまとめ役をしていただいている野原さんの、今日は5人の方々に、各々の立場でお話をさせていただこうと思います。

それでは皮切りに、石野先生のほうから、今、現状に対して、成果・アウトプットに対してどう評価をされているかのお話をまずは全貌していただき、あと、皆さまで各論のお話をさせていただければということになります。大変言いづらいことがあるかと

思いますけれど、座談会だからこそ言える意見を述べていただきたいと思います。では石野先生よろしく。

石野 そうですね、私は第三者的に見るというのは意外と、こういう機会でないといけないということですね。だから今日は、ある意味では私はいいい機会です。うれしいなと思ってます。それで、いつも中からしか見てませんから、外から見るとどうなんでしょうね。学会誌とか大会とかで発表されている、それを見るとよくできているように一応見ると。それから、一般ユーザー、本当の優秀なユーザーが使われているかどうかは疑問なんです。若手社員にちょっと使ってみると、そういう感じでやると、なんだ、使えないのかというふうなことを言われているのではないのかなと思います。ですから本当の評価というのはこれからだと思うんですけども、そうですね、外から見るとどうなんでしょう。私は最初このBESTを始めたときに、ユーザーフレンドリーと拡張性とメンテナンス、それと国際性とWeb利用、この5本を柱としてとして考えられたのですね。いつもこの観点から評価していくのがいいのではないのでしょうか。それらがどこまでできているかな、で第三者的な評価をやれというのが司会の牧村さんからの意見ですけれども、そういう意味では目標に対して、70点ぐらいが第三者的な評価じゃないんでしょうかね。非常にあいまいな言い方ですけれども。プログラムの開発方法としては、国交省や一般会員からの支援を受けて委員会形式で多人数で多角的に討議しつつ、また定期的に公表の機会をもちユーザーからの意見を常時取り入れているという、今の時代にぴったりの、パブリックでオープンであるところですね。そういうそれは絶対に評価されると思います。要するに裏表がないという開発方針でやっているということだと思います。しかし、入力が難しいとか、まだ本当のユーザーが使用していないなどこれからの課題もございます。

BESTの特質・特色

司会 今回のプログラムでは、オブジェクト指向と

か、いろいろなシステムを取り入れて、世の中にな
い、特に建築界ではないようなソフトができあがり
つつあるということで、その良さを紹介していた
だけですか。

石野 今度は開発
者側の意見になり
ますけれども、オ
ブジェクト指向と
か、これからやろ
うとしているイン
ターネット利用で
あるとか、そうい
うことはこの10年



の技術ですよ。もちろんこの情報技術の大発展自
体が50年の歴史しかないというか、HASPが始まった
1960年代が世界的にも幕開けだったわけで、最近10
年今はインターネットの時代に入ろうとしていると
ころですよ。何をやっても新しいということにな
ってしまいます。JAVAという言語ができたのが
1995年頃ですよ。アジャイル開発とか、XMLと
かXMLDBなどの用語は2000年すぎたからですから、
やっとオブジェクト指向が本格的に使えるようにな
ってきたという夜明けの時代ですよ。まさに最新
のソフトウェア技術を使っているというので、世界
にないとも言えるけれども、海外も、今現在そうい
う視線でやろうとしているといえます。

司会 プログラム自身は、今言われた、国際的に見
ても、言語も含めて、第一線に立ったプログラムと
して構築されているということ。それから総枠で見
れば、目標であるレベルの7割方がまずできあがっ
て、残りの3割はこれから充填していかなければい
けないというのが石野先生からの評価であったと理
解させていただきます。それでは引き続いて、より
具体的な形で取り組まれた、長井先生から、同じよ
うな視点でお話をしてください。

長井 そうですね、単に建築と空調というのではな
く、電気や衛生を含めて建物全体を連成するという
のが、顕著な特徴だと思います。一方で、ユーザー
は使い勝手を、われわれ開発者が思っている以上に
重要視していて、開発の初期段階では、計算エンジ

ンという主要な部分
だけを作って、GUI
はサードパーティー
が作るということも
想定されていたと思
いますけれども、ユ
ーザーから見ると、
エンジンとかいうこ
とよりも、使い勝手



を非常に重要視されるということが分かってきて、
開発の視点も少し移ってきたかなという感じがして
います。あとは、我々はいわゆるソフト開発のプロ
かというところと心許ないところがあり、例えばわかりや
すいマニュアルを作るといった面で弱いところがあ
るため、ユーザーの方から見ると、わかりにくい、
使いにくいという印象を持たれる原因になっている
のかもしれないと感じております。

司会 今、ユーザーフレンドリー中心のお話をいた
だきましたけれど、柳井さんは機器特性担当として
プログラム作成にかかわっていただきましたが、そ
こには機器本体の話と、それからメーカーがどうそ
れに取り組むかということで、いろいろな問題が絡
んでくるかと思えますけれども、いかがでしょうか。

エネルギー使用量を左右する機器部分負荷特性

柳井 特に苦勞とした点は、メーカーとのコミュニ
ケーションです。メーカーに対してBEST開発へ参
加する意義やメリットが、なかなかうまく伝えられ
なかったことがあります。メーカー側は、どちらか
というピーク点、一点の性能をすごく気にしていま
すが、BESTでは、期間や年間といったより長い期
間を対象として、部分負荷時や低負荷時の性能に重
点を置いていることなど、視点の違いを感じました。

こうした違いに対して、例えばそういう部分負荷
の影響がどのくらいあるかということ、逆に
BESTを使って見せることで、理解を示していただ
いたケースもあります。こうした方法でコミュニケ
ーションを深めていくことも、ひとつの方向性かと
思います。

まだまだ機器特性SWGでは、やることが多いと思っています。現在は、比較的汎用的な特性を中心に整備している段階ですが、今後、省エネ性の高い機器の部分負荷特性や、あるいは行政ツールの開発を対象と考えれば、全国、全用途をカバーしなければなりません。こういった状況ですので、優先順位を考えて機器特性の収集を行って、達成度を上げていきたいというのが、今考えていることです。



司会 メーカー側から見れば、今回のこのBESTにより、機器のピーク時の効率に注目するのではなく、ほとんど機器は、部分負荷で運転されているのが実態ですから、部分負荷特性のいかにいいものを作り上げていくかに変わっていったかできないかと駄目だということが、一番大きなところじゃないかと思えます。

柳井 更に将来を考えると、継続的にそれ（機器特性情報）をメーカー側が進んで提供してくれるようなモチベーション向上につながらないかと考えています。新機種が出るたびに毎回、このような調査を行なうことは、まとめる側も提供する側も、お互いかなり労力がかかります。機種も多いし、メーカーの数もものすごく多いので、自主的な情報提供といったモチベーションが上がるような方向に持って行けると理想的です。最近の環境配慮や省エネルギー推進の活発な動きは、こうした方向性を加速させることも可能と期待しています。省エネに対する重要度が、世の中増してきていることは、メーカー側も同じですから、いい方向に向いてくると考えています。

石野 やっぱりメーカーさんの理解という下支えが重要ですよ。

司会 今、トップランナーのメーカーにしか協力していただけていないという状況ですが、そうじゃなくて、セカンドランナーも含めて機器開発に真剣に

取り組んでいかないと駄目だなというような、大きな流れを感じていただければ、システム効率が、部分負荷効率が上がってくることになるんじゃないかなと思いますので、大変期待しているところです。

石野 結局、メーカーさんとしても、営業窓口の人、実験データを持っている人、研究している人、そして上層部の人、それぞれ切り口が違いますから、機器性能データを提供するという行為の意味や方法に統一性がとりにくいわけです。建築業界、設備業界、わが国の環境政策の底上げとしての意識改革が必要なのでしょうね。

行政支援ツールとBEST専門版

司会 それでは、先ほど行政支援ツールの話も少し出ましたが、佐藤さん、これから、それこそ本格的に取り組んでいただかなければいけない状況ではないかと思えますけれども、現状での評価、まだまだできあがっていない状況での評価というのは大変難しいかと思えますけれども、今の問題点を指摘するだけでも結構ですので、お話をお願いします。

佐藤 今進めている

行政支援ツールの開発は、これまでの開発の流れと、全くフェーズが異なる動きになると思います。これまでもHASPとかACSSなどのシミュレーションツール



を基に、BECS/CECのような省エネルギー行政に使えるようなツールを作ったという例はありますが、それはそれでやっぱり、かなり難しいところもあって、実はあまり使われていないというのが現状です。今回は、当初から比較的小規模建物の省エネルギー行政の支援ツールをBESTの1つのバリエーションとして作り上げていって、ユーザーの層を広げようというところがあります。また、実際の建物そのものの正しい形をなぞって、精度を上げていくということを少し置いておいて、かなり小さい建物でも省エ

ネ設計を実務の中で実施できるようにツールを作っ
ていこうというところが、これまでと違った流れに
なっていると思います。今までの省エネ計画書とい
うのは、設計者が自分の考えで省エネ設計を積み上
げていって、最終的にできた形を計算して、合格ラ
インに達していれば、それで、もう省エネ設計はOK
といった感覚がありました。そうではなくて、早い
段階でいろいろな省エネ設計をトライしながら、国
の定めたボーダーラインに収まるということだけで
はなく、さらに、もう一歩進めるには何をしたら
いいのかを考えていくことが設計者の責務になっ
てきています。そういう意味で、早い段階から省エ
ネ設計の検討に活用できるツールを目指したという点
で、かなり画期的だと思います。今作っているツ
ールが、省エネ計画書にうまくマッチングするため
には、実はこれからひと山、ふた山乗り越えなければ
ならない課題があると思いますが、実務で実質的な
省エネ設計を推進できるツールを提供することが、
実効あるCO₂削減につながるということを理解いた
だいて、このBESTを行政の仕組みと実務の両方で
活用できるようにするということが、非常に重要な
課題だと思っています。

司会 今の行政支援ツールに限らず、専門版の中で、
いわゆる実設計段階で、最適解を求めるためのツ
ールである専門版と、それからもう少し早い段階で利
用する基本設計版と、さらに、設計の当初に行う簡
易版というツールの使い方と、行政支援ツールとの
関係のお話をさせていただいたんですが、設計は、初
期段階のかなりラフな状態でよりよいシステムを選
定し、ステップを踏むに従って、段々、段々ものを
固めていくというそんな流れの中で、このBEST
が使われれば最高だなと常に思っていたことが1つ、
それからもう1つ、長井先生が言われましたけれど、
私が一番期待していたのが、自然通風とか、自然採
光がトータルの省エネにどれだけ影響してくるか
ということに対して、実は石野先生もかかわられた新
潟県庁では、それを徹底的にやろうと思ったんです
が、これはもう今から30年近く前です。そのとき
には、換気回路網計算とHASP/ACLDとHASP/ACSS
を使わせていただいたんですけど、そういうベ

ト解を求めながら設計する、今考えられる最高のも
のは何かの答えを出せる、あらゆる人が使えるような
ツールが一番いいだろうと常に思っております。そ
れが結果的に行政支援ツールにもなっていくとい
うことで、今、佐藤さんのお話にもつながっていく
んじゃないかと思っております。

野原さん、すべてのステージで幹事として、裏方
になり、表になり、プログラム作成にも直接かかわ
りながら、もう一番大枠からディテールまでかかわ
ってこられた立場で、今、何が、どんな問題点を抱
えているかを話していただければ。

BEST専門版の今後

野原 分かりまし
た。現在、自然換気
だとか、床吹出し空
調、あるいはダブル
スキンのように設計
者が設計したい建築
や設備システムを評
価できるツールは無
いと思います。世界



中で最も幅広く使われているEnergyPlusでさえも同
じです。私はBESTを作ろうとしたきっかけはここ
にあると思っています。このためにはオブジェクト指
向という新しい考えを取り入れなければ実現できま
せん。オブジェクト指向については誰も知らない未
知のものだったので、土台ができればいいくらい
に思っていました。ところで、BESTを第三者から見
ると、どうしてもインターフェースのところでは
評価されないで、その辺が少しつらいなと思っ
ています。正直言うと、ユーザーインターフェースの
開発は時間とお金がかかるのでサードパーティーに
委ねることでスタートしたのですが、ユーザーイン
ターフェースがないとプログラムは動かないので簡
単なものを作ることにしました。しかし、やはりそ
れなりのものしかできません。それなりのユーザ
ーインターフェースでBESTを評価されてしまってい
ると考えると、とても残念です。Visioというお絵かき

ソフトがありますが、それをうまく利用するとグラフィカルユーザーインターフェースになるのですが、いざVisioを採用するとなると色々な問題があって採用には踏み切れませんでした。あくまで暫定的なものだと割り切れればVisioでも良かったのかもしれませんが。今思えば少し残念です。私自身はソースコードを書いていないのでBESTの中身のことは分かりませんが、石野先生はよく、まだまだオブジェクト指向になっていないとか、アジャイルなプログラムの作り方になっていないと言って常々開発陣にハッパをかけてらっしゃいます。できればそういうところをきちっと、初心貫徹で極めることが出来れば開発者の一員として非常にうれしいですし、そういうところを第三者から評価されたらとても嬉しいと思います。また、メーカーさんにとってみれば自分の会社の製品をBESTのデータに登録して、BESTで性能評価ができるということ、まだ実感できる状況になっていないので無理もないのですが、BESTを中心として、いろいろな研究者やメーカーさんがどんどんBEST開発に参画できる状況になってくれば、BESTの本当の良さ、凄さが分かってもらえるようになると思っています。もう少し時間がかかりますが、そういう事例をどんどんつくれるように、私も幹事役として、このあたりを重点的に取り組みたいと考えています。

司会 今、5人の方々からいろいろ話を伺いましたが、石野先生、言い足らなかったことをちょっと付け加えていただければ。どこか抜けていることがあるんじゃないかなと思いますが。

GUIの重要性

石野 オブジェクト指向として重要な一つであるところのフレームワークですが、長井先生のご提案が採用されていて、設備システムはすべて同じフレームワークのもと動くようになっています。機器などを要素モジュールで表現し、要素モジュールの結合で全体システムを作り上げるというもので、考え方としては非常にシンプルになります。建築の方は計算時間間隔を自由に変えられるというものだし、

気象データもそれにあわせて最小1分間隔の気象データが用意されるまでになりました。それとGUIは、ユーザーフレンドリーとしても非常に大切なことなのですが、研究者はあまりそちらの方面には入りたがりません。どうしても外注的にならざるを得ません。JAVAでもお絵かきソフトは可能なのですが、まだ着手していないのが現状です。

野原 マクロデザインを纏めているときに、設計者にアンケートを取ってみました。どんなプログラムを望みますかという質問を設けたのですが、使い易いとか、入力が容易という回答は多いのですが、精度が高いという回答は極端に少ないのです。ちょっとショックでした。そういうアンケート調査を2004年くらいに実施したのですが、ここにいらっしゃる方でそれをご存じなのは石野先生と私だけです。

石野 アンケート結果を、軽視はできないけれど鵜呑みにもできないのですね。使いやすさは開発者の義務、計算精度は開発者の良心ということですね。

BEST専門版の国際性

司会 石野先生が言われた最初のキーワードの中で、国際性をあげられましたが、今、国際性を考えると、プログラムの中身自身が、例えばBESTESTを使って検証して学術的にこのレベルであると。それからもう1つ、日本国内に限らず、全世界にBESTを普及させていくことを考えると、GUIがいかにユーザーが使いやすいものかということの2点があるわけですが、BESTのロジック、中身自身に関しては、もうどこにも負けないいいものであると石野先生が思っておられるかをお聞きしたい。

石野 それは間違いなく大丈夫だと思いますよ。ただ、今世界はそういう方向で動いているから、ほか



の国も今やろうとしている。今世界の中心にいる EnergyPlus は、世界の目標になっていますが、EnergyPlus 自体は今どちらかというと、使いやすさみたいな、ユーザーインターフェースみたいなところに力を入れてますね。BESTEST という話が、今牧村さんから出ましたけれども、日本の私たちとしては BEST の TEST なのですが、IEA での本来の意味は BES (Building Energy Simulation) の TEST ということなのですが、よく勘違いされます。国際的に評価されるには通らなくてはならない第一歩です。またインターネットといいますが、Web 利用しないことには国際的にならないといえるのではないですか。ロングテールですよ。アジアにも見えないユーザーが非常に潜んでいるのではないですか。

司会 Web 利用も国内だけでも、まずはやらなきゃいけない。それが世界に広がればさらにユーザーが増えてくるということで、BEST に対する評価もさらに上がっていく。ところで、BESTEST で確認し、そしてこれを国際的な場で発表していてもよしということになれば、それを登録するということを早めにやるということは考えられないんですか。

石野 それはアメリカの DOE の登録ですね。今アメリカのエネルギー省に 400 ぐらいのプログラムが登録されているのですけれども、やっぱりアメリカが多いんですけど、世界で 30 カ国ぐらいから登録されていて、日本からはゼロなんです。海外からすれば、日本のプログラムを使っている人はいないということです。海外に知られている日本のソフトというと赤坂先生が中心になって開発された拡張アメダス気象データのみといえは言い過ぎでしょうか。BEST も拡張アメダスのように海外向けの出版物が必要になると思います。その前に日本向けの出版物もまだですから順にということではないでしょうか。

司会 じゃ、どなたかにこれをやっていただかなければなりませんね。その先鞭を切っていくのが石野先生じゃないかなと私は思っているんですが。

石野 それは国際学会なんかあれば、発表しなきゃいけないでしょう。また IBEC のホームページにある英語バージョンの大会論文も昨年は完備されているので閲覧者はいるようです。今年は予算の関係で

やっていないのですが、考えなければならぬですね。ホームページの英語版をもう少しよくしたいですね。全世界から閲覧できるという認識を強くもつ必要がありますね。

野原 そうかも知れませんね。

石野 日本の学会には村上先生の指導もあって、建築学会、空調学会の大会に合計 50 編ぐらいは載せています。

野原 まだ 1、2 例ですが、海外から英文のマニュアルはないのですかという問い合わせが実際にあります。

ソフトの継続開発費用と体制

司会 今、海外の話も出てきましたので、実は今回、BEST をスタートした時の企画書で提案した開発費用というのは、開発範囲が現在と異な



っていたため、たかだか数千万円。五、六千万円だったんですね。最初の企画がよくなかったのかもしれませんが、数年間進めてみて、実際にこのプログラムを民間に委託開発したとすると、今までできあがったところだけでも恐らく 2 億、3 億の費用はかかっているんじゃないかなと。これが今の BEST の成果。投資対効果から見ればそういうふうに評価できる。実は 2 億、3 億の資金が集まらずに、それこそ 1 億未満しかない状態で、ここまで来たということは、結果的に大学の先生方や企業の関係者には、無料奉仕で対応していただいたという話でございまして、一番問題は、今後、国際性とか Web 利用とか、さらに拡張版に対応していくということになると、開発体制をどう作っていくか。いわゆる人の話をどうしていくか。それに、どういう金をどこまで集めてどう対応するかということが、今後 BEST を発展させていくためには、すごく重要なことだと思っておりますけれど、どなたかそれに対し

てご意見をお持ちの方があれば、発言していただければと思います。

野原 私は、BESTが継続的に開発され続けなければいけないとすると、やはり若い人がBESTに触れる環境にないと駄目だと思います。つまり、大学にBESTを維持管理する組織を作り、民間企業はその大学に出向の形で人材を出していただくことにすれば良いと思います。そうすれば、大学では当然、学生さんが育ちますし、民間企業においても出向者がBESTを習得して企業に帰ってくる。日本の大学の仕組みでは、特に私学では無理だとかありますか。

石野 いやいや、私学も変わっていくのじゃないですかね。私はたまたまBLASTを開発そしてメンテナンスをやっていた、UIUCの研究室にいましたけども、いつも



室員はコンピューターに向かっていて、アメリカの至る所からの質問に回答したり、大きなプロジェクトがあったらその会社まで行って説明してきたり、ある建物のシミュレーションやってくれと言ったら代行したり、その裏では着実にMIT、カーネギーメロン、スタンフォードの大学とプログラムの共同研究をしていました。BLASTからiBLASTが生まれたのもそういう土壤があったからなのでしょう。わが国でソフトウェアのサポート+開発の環境ができるかどうかは、今の若い人たちの情熱とそういう環境を大人達が作れるかということなのでしょう。

司会 そういう環境は、どのように作っていけば実現するんですかね。

石野 日本とアメリカの風土は違うけれども、日本はアメリカの10年後を追っかけているといわれたりしますが、インターネットはもうちょっと遅れているかもわかりませんが、いつも追いつこうとしていますから、可能性はあるんだと思いますが、ソフトウェアは完成するものではなく育てるものなのだという意識が大切のような気がします。ソフトウェア

に対する価値意識も重要です。どうですか。

長井 寄付講座のようなもの作っても、プログラムのメンテナンスを専門にやるスタッフを常置するといったことをしないと、現状の研究室という組織体そのままメンテナンスをするのは、難しいと思いますね

司会 今、寄付講座という話が出ましたが、実はスーパーゼネコンとか、大手の設計事務所、代表的なところではかつては社内でソフト開発をしていた。今もそれは継続しているところがある。その継続するための投資額というのはもうすごい額になっているわけですね。例えば、ある会社では、恐らく年間数千万の金が、人件費を加えれば1億という金が投資されていることが十分あるんじゃないか。

佐藤 もうそういう時代は過ぎました(笑)。

司会 結局、時代が過ぎたということは、本来やらなきゃいけないことをやってないということでしょうか。自社でやらざるを得なかったというのが過去であれば、これからは同じテーマで、共有のツールを各社が投資をしながら一緒に作り上げていくという考え方になれば、結果的に民間企業がソフト開発を後押しすることができるんじゃないか。その作業母体を大学に持っていくということも十分あり得るんじゃないかと。そんな思いで当初から大企業に対して、今、各社にお持ちのプログラムはありますけれど、今回、ツールを一緒に作っていきませんかということで声を掛けさせていただいた過去の経緯があるわけですね。そういう発展性というのは、今後経営者、研究者、開発者の立場から見た場合には、やはり日本の中にはこういう社会システムがないと、やっぱりいけないですよということを言えるんじゃないかなと思うんですけど。佐藤さん、どうですかね、その辺の話は。

佐藤 当初からこのBESTの費用負担の問題は、かなり大きい問題で、民間が開発資金を負担することに對して各社にうまく説明できるかというのが、非常に重要なポイントでした。確かに、CADソフトの維持などに結構莫大なお金がかかっているわけですが……。投資に対して、それに見合った成果がすぐに出てくるならば、説得できると思いますが、それが

例えば、5年先、10年先を見越して、ある一定以上のお金を出すという風土に、今の企業はなくなってきているところがあります。それからもう1つは、最終的には国全体のエネルギー消費量の削減につながると考え、国が受益者だと考えれば、広い意味での省エネルギー行政の中で、公的な人的・資金的なリソースに基づいた開発の仕組みがあっても良いのではという気持ちもあります。

司会 最終的には受益者が負担するとすれば建築主、消費者であり、それをサポートしているのが設計者であり、施工者であると考えれば関係者が一体となって費用負担をしていく。共通のツールであれば、全員が負担していくことが本来の在り方ではないかなど。関係者全員の金をどこかにプールして、それをBESTの開発費用へ投資していくという考え方をとれば、今回のBESTコンソーシアムに参加しているメンバーが開発費用を負担していくシステムも、本来の望ましい姿じゃないかなと思っています。

野原 そうだと思いますね。最終的に受益者は建築主であることが一番いいと思います。例えば、実現は難しいかも知れませんが、確認申請に必ずBESTでの計算結果を添付しないとイケないと思います。そうすれば、確認申請費用の一部がBESTの開発費として自動的に徴収され、BESTの研究機関に支払われる。そんな仕組みができればと思います。あるいは、アメリカのLEEDではエネルギーモデルを作ってシミュレーションすることがLEEDの認証取得の必須条件になっています。CASBEEでもBESTを使ってエネルギーモデルを作り、計算することが高得点に繋がるとしたら、CASBEEの認証取得費用の一部をBESTの研究機関に支払われる仕組みといったようなことが可能ではないかと思っています。もちろん、設計事務所やゼネコンが委託研究の形で開発費用を出すというのも考えられますし、質問への受け答えを費用として徴収することもあると思います。ただし、継続的な収入源の確保を考えるとしたら最終的には受益者、つまり建築主が負担する仕組みが必要だと思います。

司会 CO₂削減責任は、最後の最後に消費者に来るわけで、それは建築主である、そのユーザーであ

ると考えれば、BESTの開発運用費用は最終的には建築主が負担している形になる。結論を出したみたいですけど、柳井さん、設計者の立場で、それをどう思っておられますか。

BEST専門版・拡張版の姿

柳井 今、CAS-

BEEの話ができましたが、CASBEEは、決して簡単に評価結果を得ることができるツールというわけではなく80近い評価項目を調べて、評価しな



ければならないものです。ただ、それを費用をかけてでも第三者認証を取るクライアントが出てきているわけです。どうしてそういうモチベーションが働くかということが重要じゃないかと思っています。

BESTが使われる、使われないというのは、やっぱりBESTを使わないとイケないという、モチベーションが働く環境に、世の中がシフトする、シフトさせる動きが必要になると思います。

例えば特区計画では非常に早い段階で、ERRを35とか40%にしなければならないといった極めて具体的な数値目標が示されるわけですね。そうすると今のCECの計算では限界がある。例えばさっき新潟県庁の話を出されましたけれども、自然換気システムなどを入れて、もっと下げなきゃいけない。そういうところにBESTを使うと、ちゃんと数字が出せる。NEDOの補助金関連での実績報告の補正などに関しても、BESTを使うと、運用条件も変えながら補正ができるという事例ができてきて、ああ、BESTを使うといいんだということがわかるようなこと、活用事例を広げていくことが重要だと思います。

野原 先ほどLEEDの認証取得の必須条件にエネルギーモデルを作り、さらにコミッショニングすることが含まれていると申しました。今、柳井さんがおっしゃったように、竣工後、設計時に想定したエネ

ルギー消費量との違いとか、フォルト検知のために、運転管理者が設計者が作成したエネルギーモデルを使って、例えば運転時間を1時間短くしたらどのくらい省エネになるだろうかとか、モデルさえできていれば簡単にシミュレーションできます。どんな小さな建物であっても、あるいはどんなに簡易なモデルでも良いから、設計時点でエネルギーモデルを作っておくということが非常に重要だと思います。それが建築主の最終的な利益にもなります。建築主は確認申請の許認可取得だけの目的ではなく、運用管理にも使えるモデルを作成するために設計者にその費用を払うが、それが省エネに繋がるので受益者と為り得る。行政からみてもBESTによるシミュレーション結果は、基準が明確でしかも業務負担が少ない。このような善循環がBESTで実現できれば良いなと思っています。

司 会 冒頭に申し上げましたが、BEST自身がトッププランナーの企業だけが使うツールじゃなくて、もう設計スタッフ全員が使っているという状況になるのが一番いいわけであって、そのときにたとえ300平米の小さな建物でも、同じツールを使って、そのレベルで最適なベストの解を見出しながら設計をすると。そしてそのツールを使いながら運用していくということが一番いいだろうと。そこで初めて2050年にCO₂削減5割以上、8割ということも可能になるだろうということが期待されるわけですね。私はいつかはBESTを皆さんが使っている時代が来るだろうとは思いますが、それがいつ普及していくか、心配しているところでございます。普及するためには、先ほど、また戻りますけれども、ユーザーフレンドリーというところをなんらかの形で対応していかなければいけない。そのためには資金が要る。じゃその資金を集めるためにはどうしたらいいか。いろいろなことで仕掛を作り上げていかないと、開発をしながら、さらに拡張しながら、ユーザーが増えていくという環境はつくれないだろうと思いますので、ぜひ、これは今後期待したいところです。

それで、全体的にお話、今後の夢を語るころまで、既に入り込みましたけれども、プログラム自身に関して、そのロジック、エンジン部分、GUIも含

め、今後何をどうなっていれば一番いいかという、夢を語ることが、将来の開発・展開方向を見出すために必要だと思われるので、長井先生、今、ここをこう変えていったら、最高のものになるなどというお考えをお持ちであれば、ご紹介していただければと思います。

長 井 そうですね、細かいことになりませんが、先程来、自然換気という話がありますが、システム側でもそうですが、圧力・流量バランスを解けるようになったらいいなと思



いますね。もう少し具体的には、換気回路網を組み込む。あるいはシステム側で言えば、ファンのP-Q特性を考慮した消費電力を、きちんと圧力と流量のバランスを解いて求める仕組みを組み込まれたらいいなと思っています。

司 会 今、いわゆるアトリウムの温度分布に関して閉鎖空間の場合はどうなる。それから外気が入るように開放空間にしたらどうなるかということに関しては、今、BESTではまだまだ手を付けてないところなんです。全く手を付けてない。しかしそれを入れようと思ったら、入れられるような環境ですよ。

長 井 そうですね。もともと、そういう拡張性というものを大事に考えて、開発をスタートしていますので、それは実現できるだろうと思います。

司 会 でも、自然採光と自動調光照明および空調熱負荷と達成した年間エネルギー消費シミュレーションはもう可能だということですが、自然通風の効果をいかに早く実現するかが、戸建て住宅を考えるとすごく重要になってくるかと思うんですね。超高層ビルでも自然通風を採用しているところもございますけれども、ビルにとっては、外部の環境がいいときに、自然のエネルギーを使いながら室内環境をよくしていこうと考えている設計者の立場から見ると、早く自然通風の採用効果を把握できるプログラ

ムがBESTに組み込まれていくことが重要だと思いませんけれども、どの時点でどのくらい時間かかって実現するかの予測があれば、石野先生。

石野 プライオリティーからすると、自然通風それほど高くありません。それ以前に最大負荷計算とか、ブロックモデルによる上下温度分布の計算などを組み込みます。暖房していて足元は温度低いという現象はよくあると思います。そういうところを再現したいと思っています。プログラムに対する要求は、300㎡の建物の話と、数万㎡の話があります。ここにいらっしゃる方は、数万平米の建物しかやったことがないような方だから、最新の設計の流行の自然エネルギー利用の方に向うのだと思います。自然通風の解法は色々あるにせよ解けることになっています。自然エネルギーの利用は入力条件が厄介ですし、結果の解釈も面倒です。BESTはシミュレーションですから、言うならば実験・実測のようなものです。自然通風の実際評価は経験からして難しいです。例えば先ほど戸建て住宅の例がありましたが、窓を1時間に何回、どの程度の開口面積で開けるか、インテリア側の開口状況は、風の通路すべて既知でないと計算できないし、どの室内環境因子を評価するのか、どういう状況のときにどれだけ閉鎖するのか、など実装された自動制御と同様にプログラムにおいても入力条件を作成することになります。これを今のBESTの中にスムーズに組み込むことは容易ではありません。そのため少し遅れることになります。逆に小さな数百㎡の建物に対して、また特に行政用ツールにおいては非常に簡易な少しだけの入力でもBESTを動かすことになります。BESTの行政用ツールの利用は小さな建物ほどその件数は増加すると思われれます。そのときBESTのエンジンの全く同じ部分を利用するのか、同じフレームワークのもとで作る簡易な計算エンジンを利用するのかは議論の余地があります。プログラム入力のほとんどをデフォルト値入力としてBESTを使うのではなく簡易な入力には簡易な計算で対応するべきとするのか、簡易な入力でもBESTの大きな同じエンジンを使う方がいいとするのか大きなギャップがあると思います。佐藤さん、行政支援ツールのときどう思われますか。

佐藤 もちろん、ギャップはありますが、ユーザーもそれを判って使い分ける必要があります。小規模建物のルーチ的な設計の中でBESTを使うのと、大規模建物



に対してBESTで詳細な省エネ検討を行うフェーズというのは、かなり異なると思います。小規模建物の設計のターンアラウンドタイムは短くて、今答えがほしい。明日までにCO₂の排出量を全部出せとか、例えばそういう時間スケールでものごとが進んでいくわけです。一方、ある一定の規模以上になると、それが、1カ月だったりします。そういう意味では、簡易版とか基本版とかというのは、前者の比較的ターンアラウンドが短いものに対して対応できるようなものを考えています。さらに専門版で、入力データを細かく調整をしていくと、かなり細かい検討まで可能になるといったように同じ土俵の中でフェーズの異なった機能が共存することが、BESTを広い範囲の設計者に使っていただくために必要になると考えています。それぞれ違うツールを使うという考え方もありますが、同じツールで二面性があるというのも、BESTの1つの特徴になると思います。

石野 BESTプログラムを設計の基本段階から実施設計そして竣工後の経年変化に応じて順にそれぞれの段階で計算していくというのは、その建物の一つの財産として意味のある計算書になると思います。それとは別に300㎡の建物と数万㎡の建物の計算が同レベルでいいのかどうかは、疑問に思うところです。完成したプログラムを使う側からすれば、プログラムは入力次第でどうにでもなるという危険な側面も持ち合わせています。

行政支援ツールの入力簡略化

司会 私は常に、行政支援ツールの入力数を抑えることに疑問を持っているんだけど、今までの省エネ

ツールというのは、手計算、人が介在していく、だから最小限の入力で、最大の成果になるようにやっ
ていこうという流れの中で、PAL、CECもポイント
法も作成されてきたわけですね。今、パソコンに向
かえば、多少入力項目が増えてもいいんじゃないか。
増えても作業量は変わらないんじゃないか。入力
の項目を増やせば、より実態に近い数値が出てく
るのであればそれでいいんじゃないか。あまりにも
入力数を抑えることにこだわりすぎ、BESTの効用
をつぶしているのではないかと考えているんですよ。
だからもう少し入力を増やして、たとえプログラム
を動かすのに1ケース5分かかってもいい。あまり
にも簡単入力で行政支援ツールを作っていくのは間
違いじゃないかなと私は思っている。いかがですか。

石野 そうすると過去のプログラムのように、行政
用としては使いにくいという意見が出てきます。

司会 いや、そこまで入力数を多くしなくても。デ
フォルト値がいっぱいあってもいいですから。設計
者だったら、断熱と開口だけでは省エネ設計できま
せんよと言うんじゃないですか。庇の形状も必要で
すよ。ルーバー付けるとその形状も必要ですよとな
るわけです。木造住宅の設計では庇の深さを常に考
えるわけですからね。その入力ができるレベルのも
のに持っていかないといけないんじゃないでしょ
うかと。でないと、建築の設計者が使わなくなる。

石野 数百㎡の建物の設計者に対して、希望者に対
してではなく理想的には全員にプログラムを使って
もらうのだから、手計算並みに簡易にする必要があ
るのではないかと思います。

司会 いや、設計自身でパソコンを皆さん使ってま
すからね。今、図面は全部CADでかいているそう
いう環境にあるわけですよ。実は小規模建築の設計者
は、設備設計をせずに、メーカーの協力を得ながら、
ものごとを決めているという実態が多い。そこは変
えていかなきゃいけないわけです。省エネ建築を造
るためには、建築設計者自らBESTというツールを
使って、最小限この入力まではしてください。そ
うすれば、今までのポイント法以上に、より効果的
なツールになりますよと持っていくのが、今回の
BESTを行政支援ツールに適用していく方針じゃな

いかなと、私は思っているんですけど。行政側から
見れば、より簡便に、簡便にということが一番のテ
ーマになっているようでございますが。どうですか、
皆さん。

石野 その辺が微妙ですかね。それはそれで否定は
しないんですけどね。

柳井 最終的にCO₂排出量半減ということがテーマ
になったときに、それにこたえられるツールという
ことになる、限定した入力しかできないような行
政支援ツールでは、こうした高度な設計にはこたえ
られないのではないかと思います。

石野 限定した入力は限定した結果しか出ません。
ポイント法はその作成段階で柳井さんと苦労しまし
たから柳井さんも詳しいのですが、ある最低レベル
を守ることに留意しているという感じです。

柳井 省エネ設計の目標が半減なのか、数十%削減
なのか、どこレベルかによって、入力条件も変わ
ると思います。例えば今の省エネ法の基準値をクリア
するレベルであれば、ガラスの種類とか窓面積率程
度の内容で対応できると思いますが、どんどん高度
になっていって、今の規準よりも2割、3割、もっ
と低いレベルとなったときには、それだけいろい
ろな工夫が必要で、入力項目は増えていかざるを得
なくなると思います。

設計の目標によって使い方が変わるので、規模で
とらえるのは限界があると思いますが。

長井 入力項目をユーザーが選択できるようにす
れば、いいのかもしれませんが。

柳井 設計のグレードに合わせて選ぶというイメ
ジでしょうか。

長井 初期設定ではほとんどデフォルトにしておい
て、そのデフォルトのまま計算すると、少しずつ悪
いほう、悪いほうに結果が出る、というように設定
しておく。ちゃんと庇を設計して、それを結果に反
映させたいという人は、その庇に関するオプション
を細かく入力してもらって、そこまでやりたくない
という人は、少し不利になってしまうけれど、最小
限の項目を入力するだけにする、というやり方もあ
るのではないのでしょうか。

石野 今、そういう方向に行っているんです。小規

模建築ほど簡易な計算法が適用されます。簡易というのは入力といいますか、評価項目が少ないということです。そして簡易な計算法ほど結果が悪い方悪い方にでます。そうすると300平米の建物の計算が一番厳しい結果になり、かなりの検討をしないと基準がクリアできないとなる。それはいけないと、大慌てで修正を施しましたが。また小規模建築と大規模建築では省エネ手法が根本的に異なるのかもしれない。

司 会 世の中の設計者で、それこそピンからキリまでありまして、同じ一級建築士であっても、もうひどい設計をしている人もいれば、素晴らしい設計をしている人もいます。ひどい設計している人たちを前提に、ツールを作ることはまずいんじゃないかなと。ひどい設計をしている人は、最低限、この機能を理解した上で設計をしてくださいよというところへ持ってこない、CO₂削減にはつながっていかないだろうと。

石 野 それは牧村さんおっしゃるのは正しいわけです。大規模建築になるとBESTのような高性能プログラムを駆使して設計するのですが、今の世界の風潮は、設計者に高性能プログラムを動かさせていいのか、ということです。高級な設計の結果を評価するには入力もそれ相当の高度複雑になり、施主へのシミュレーション結果の報告に対する説明責任、などを勘案するとプログラム入力専門の解析者が必要ではないかと言われているのです。ただ行政支援ツールは一気に今度は、小さな建物に使うのがメインですから、そこで本当に両方のことを考えないといけないというふうに思うのですけどね。

司 会 2010年4月には、その最低限の入力数になったとしてもですね、年々CO₂削減環境が変わっていくわけですから、社会環境も変わってくる。だから入力項目がだんだん増えていって、そしてより現実に近いデータが出てくるような形に、BESTは手を加えようと思ったらいくらでも変えられますからね。入力の項目はもっと増やしたほうが、設計者がより使いやすくなりますよということを、今申し上げているわけであって、あまりにも限定しすぎて、行政支援ツールだからこれはずっと継続的に使っていく

んだという考え方はやめていただきたいと。

司会進行している私がこんなことを言っではまずいですけど(笑)。

柳 井 あと気になる点ですが、入力の簡易化のあまりシミュレーションソフトが、完全にブラックボックス化してしまうというのはよくないですね。というのは設計で考えなくなっちゃう。それは今、エンジニアリングという言葉がいろいろな場面で使われている中で、環境設備設計者のエンジニアリング能力が弱くなってしまって、カタログ設計に頼りきってしまった、そういう風潮もあると思います。期間も短い、費用も少ない状況下ですので、仕方ない反面もありますが、こうした状況の中でもBESTのようなツールを使うことで、設計を考える、エンジニアリング能力を磨く、戦略を立てて業務を進めるといったことに繋がるといいと思うんです。

石 野 いや、面白いです、今おっしゃったこと。野原さんは今ちょうどデフォルトをいかにうまく作っていくかで苦労されてます。

野 原 はい。

石 野 それで今、デフォルトはあまりよくないというふうに言われて、私は正論だと思うんですよ、絶対に。しかしデフォルトがないと入力が大変。

野 原 行政支援ツールと、簡易版は分けて考える必要があると思っています。

石 野 簡易版イコール行政支援ツールではない、と。

野 原 行政支援ツールは、今作られている簡易ポイント法をある程度横目で見ながら考えないといけません。それで少し苦労しています。ただ行政支援ツールは、マウスをクリックするだけで入力できてしまうので、ある程度の整合性はとる必要はあるが全く同じ必要もない。そのバランスが難しいなと思っています。また、できるだけブラックボックス化を防ぐためには、エネルギー消費に影響が大きい項目は選択肢とすべきだと思います。例えば小さな建物が対象であっても選ばせるようにすべきだと思います。そうしないと設計者が感性を失ってしまう。そんな気がします。それからアウトプットは、できれば月別のエネルギー消費量であるとか、必要な出力を増やす必要があると思います。ただ、あまり増やすと

計算時間が増えるので、そのジレンマがあります。省エネに繋がるような計算結果を標準で出力するようにしたいと思っています。ポイント法などとの差別化のためにも。



司 会 よく建物の省エネの診断をしているときに、省エネ手法を例えば10項目を選んで、そして効果の大きいものから導入していくということをやりますね。これが行政支援ツールでもそれができるようになっていけばいいなと。例えば10項目のうち、最低限は5項目やりなさいよと。さらに省エネ化を図るとすれば6項目、7項目まで手を付けて対応すればいいですよというふうになっていると、簡易版だとか基本設計版はすごく使いやすいなというふうに思うんですね。その機能を行政支援ツールに加えていく設計者にやりがいが出てくる。このツールを使って、自分が決断を下したということに対して成果が出るということになるわけですから、あまりにも限定しすぎると。ただ提出するがために作業しているというような位置付けになってしまうんじゃないかと。

野 原 そう思います。少なくともBESTを操作する人は一級建築士あるいは建築設備士であるので、それなりの知識がある方だと思います。したがってBESTの入力項目は簡易ポイント法より多少多めでも良い。そうでないとBESTの良さが出ない。アウトプットが点数だけのポイント法よりも、月別負荷パターンや日別負荷パターン、用途別エネルギー消費のパイチャートとかの出力の出るBESTは遥かに優れているわけですから。

柳 井 省エネ手法のメニューを多数羅列して、ユーザーが選ぶと加点されるようにする。いろいろな選択の組み合わせで結果へどのように影響が及ぶかをより把握しやすくするとよいと思います。設計者の省エネ意識として、いろいろな項目にチェックを付けていくと、どんどん点数が上がっていくとか。

最近では100の手法を積み上げて4割、5割削減まで到達しようというプレゼンテーションをやることもあります。そこまでやらなくても、30、40ぐらい並べた中から選ぶことでもよいのでは。

石 野 ポイント法はわかりやすさとか、横並びさせやすい長所がありますが、工学的ではない。BESTで細かく計算するのがいいのだけど、多くの評価項目の中から選択するのがいいのだけど、入力に注意しなければいけない。BEST開発者としてはそりゃ答えは一つですが、難しい。

野 原 でも、低炭素とかエコとか、市民権を得た言葉になってますから、点数で出てくるよりかは、例えばCO₂が計算できるとか、一次エネルギー消費量が計算できた方が良いと思います。ポイント法では、一体、CO₂換算するとどうなのかが分からないのですから。

石 野 一般世間で100点満点と言ったら意味が分かる。裏では開発者は何でも100点基準にするのだから大変な苦労がある。しかしユーザーの勉強にはならない。CO₂は対象建物により、評価項目により、分母により、地域により異なる。入力も大変。しかし勉強になる。

野 原 低炭素社会においては、もう全員が私は素人ですって言い方は許されない。

司 会 それはCO₂削減しかないというふうに持っていかないといけないんじゃないかなと。

野 原 もう許されない。そういう人は一級建築士の資格剥奪ぐらいのつもりでないと駄目では。

石 野 正しい意見です。

Web環境

司 会 かなり、ユーザーフレンドリーというか、専門版と簡易版のあるべき姿ということで、大変に議論が集中しましたがけれど、もう一つ、先ほど石野先生も言われた、今後、割合早い時期にWeb利用の環境をつくりあげていくかということがすごく重要なことで、実はかなり前に私がいろいろな協力をいただきながら試算をしたら、ほんとに簡単な導入をするだけでも1億という投資が必要になってくるとか、

そういう話があるわけで、金の話は別にして、Web利用がいかにBESTを普及していくために必要かということ、再度、先ほど石野先生が言われましたけど、ほかの方々から、どんなWeb環境があればいいのかというご提案があれば、お話をいただければ、どなたかいかがですか。

佐藤 Webによって便利になりますが、最近、各社の情報セキュリティが非常に厳しくなっていて、この問題をいかに解決するかを、同時に考えていけないといけないと思います。利便性とセキュリティを共存させるということが課題です。便利だからといって短絡的にやると、あとで大きな問題が発生する可能性がありますので、その部分はやっぱりちょっと慎重に考えないといけないと思います。

司会 当然のことながらWeb環境ができれば、アクセスするにもかなりのファイアウォールを入れ込んでいかなきゃいけないという、そういう制約は当然出てくるわけで、それをした上で、どこか母体になって、運用していくかというところが一番気になっているんですね。ここの省エネルギー機構が、IBECがそれをやっていけるのかどうか。建研が母体になっていくのも組織上大変難しいとかという話もあって、民間でWeb環境を作っていくとなると、コストの話、構築費と運用費、それから今言われた、セキュリティをどのレベルに持っていくかという話とか、かなりいろいろな壁があるわけですね。最初に石野先生が言われたように、この環境がないと世界的にも使っていけなくなるという話になると、いつかは解決をしていかなければいけないことと思っています。

石野 電子メールも、私がアメリカに行っているときに、日本では会社のエグゼクティブな方々にどうして普及しないのですかね、とよく聞かれました。そのことを日本の方に質問するとアイコンタクトが必要とか、相手の呼吸がわからないではないか、などといわれたことを思い出します。それから10数年、誰もが電子メールを使うようになりました。今はインターネットの利用も広範囲になってきて、ホームページ、ブログ、検索、買い物、調べ物、読書、色々ありますが、インターネットは弱者のものとい

う感覚があります。公共的で、開放的で、自由なのがインターネットですから、強者にはあまり必要ないものといわれています。要するにインターネットと大組織というのは、相反してしまうといわれています。パブリックとオープンというような考え方でセキュリティがまた必ず相反するわけで、それはもういつまでも問題として残るものですよ。ただ、このインターネットの波がグワーツときてるから、それをいつまでも静観しているわけには行かないということですよ。それで防御が強いということは、それだけいいのか、それだけ世界から遅れているのかという、そこをどう見るかが、結局わからないですよ。それでそれを打破するのは若い人だろうと。若い人、クリエイティブな若い人。そういう人たちが、ほっといてもそちらのほうが楽しいから、とても使いやすいからという人たちが、世の中を変えていくんで、今私たちが決め付けるのは本当に難しいですね。

司会 数十万平米の建物を設計する組織と、300平米を設計する組織、小さな組織になるわけですが、その小さな組織でも、ほんとに容易に使えるためには、どうしてもWeb環境が必要になってくるだろう。ローコストで利便性があるって、かつ、最新の、最高のツールを使えるという環境には、絶対Web環境が必要だと。絶対的な条件だと思います。そのときに、何をどこまでの条件をクリアすれば許されるかという押さえ方じゃないかなと。それと、本来もう少しいろいろなお話をさせていただければと思ったんですけど、1つのテーマでかなり時間を使ってしまっていて、最後に、全体を通じて、また今後も含めて、あらゆることを含めて、1人数分程度ずつ、お話をさせていただいて、この座談会を終えさせていただければと思いますので、どうでしょうか、順番に佐藤さんから。

今後の課題・夢

佐藤 BESTの普及は、長いスパンで考えなければならぬと思っています。例えば大学の教育や研究に取り入れてもらう。そのためには、教育関係に対し

ては無償ないしは、非常に安く提供する。企業から関連の委託研究を出す。このような形で、ユーザー層を若い世代から増やすということが非常に重要だと思います。そういう若い世代が企業に入って、ツールを実務で活用できるようになると良いと思います。おそらく、HASPなどのシミュレーションもそのような形で、企業に浸透してきたのだと思います。

柳井 最近、CO₂削減など、建築の環境性能の数値化のニーズが急速に広がってきている状況にあると感じています。繰り返しになりますけれども、BESTを使ってこうしたニーズに対して定量的な評価をしていくということが、これから絶対に必要になってくる。こうしたニーズをどのように、BESTの活用に結び付けていくかということ、ユーザーを使ってみようという気にさせることが大きな課題だと思います。こうした視点からは、機器特性SWGでは、得られた情報をシンポジウムとか、ホームページで公開して、興味を持ってもらっていくようなことができればと思います。

野原 私は、BESTの最初の立ち上げのところから携わった者として、継続的なメンテナンス体制づくりのところまで誘導してはじめて勇退させてくれるのかなと思っています。そこまでやるのが、最初から携わった者の1人として最低限の義務であると、そんなふうに思っています。

長井 私は、継続的にメンテナンスをするためにも、またプログラムツールの発展という上でも、ソースのオープン化をどこかでしないといけないと思っています。計算エンジンの部分はともかくとして、個々の部品、機器のモジュールと呼ばれる部分のソースは、公開していく。最終的には、廉価な費用でツールを使えるようにしていかないと、若手がやってみようということに、なかなかならないと思います。あとは、こういうエネルギーシミュレーションツールは、既に海外にいろいろとありますので、それらとの連携を図る必要があるのではないかと考えています。例えばHVACSIMというソフトと、TRN-SYSというソフトがありますが、お互いの部品を融通し合って使い回すということもされています。ある程度プログラムの構成と言いますか、考え方が似

たり寄ったりなんですね。日本から発信して、だんだん世界に広げていくということにあまりこだわらず、海外にある部品を取り込むとか、そういう他ツールとの連携がこれからあってもいいんじゃないかなと思っています。

司会 今、お二方から、いわゆるプログラムそのもののソースをオープンにするという、著作権に絡んだ話がありましたが、それも含めて、最後に。

石野 長井先生が言われたことは本当に同感で、非常にいいことだと思います。オブジェクト指向だからほかのプログラムをパッキングするとか、そういうことも本来できるはずです。それからオープンソースというのは、もともと思想的には、そういうプログラムをオープンソース化することによって、不特定多数の人がその開発に参加できて、プログラム開発が促進するというのがオープンソースの考え方ですね。それは確かに大きいと思います。そのときには、日本人だけを相手にするのか、外国、海外の人を相手にするのかということ、英語バージョンが重要になります。だから、オープンソースは非常に重要なことだけれども、反対側で言えば、そういう土壌になっているかというようなことを考える必要はあります。世界を見てもプログラム人口の割合とオープンソースへの参加者の割合は、文化成熟度により相当異なるようです。それで私の夢は何かというと、このBESTは要求条件の変化に耐えられるような状況にしたい。変化に強いプログラム開発、それが一番。その次は、いつでも、どこからでも、だれでも使える。例えば、どなたかが海外の現場にいるとする。海外の現場から、インターネットでBESTを使っていると。その現場のチェックをしていると。そういうような感じで使われるようになれば、すごくいいなど。

司会 ありがとうございます。最後に一言ずつお話をさせていただいた発言そのものが今後に対する夢と解釈させていただきたい。その夢をこれから、時間をかけながら1つ1つ実現していくことが、BESTチームの一員の義務であると思っています。今後とも、ご協力よろしく願いいたします。本日は長時間お疲れさまでございました。