

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195) 住宅版の温熱環境、暖冷房処理熱量、エネルギー消費量計算結果の検証
**Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
 the BEST (Part 195) Verification of Calculation Result of Thermal Environment, Heat
 Load and Energy Consumption by BEST-H Program**

正会員 ○芹川 真緒 (佐藤エネルギーリサーチ) 正会員 飯田 玲香 (日建設計)
 正会員 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ) 正会員 品川 浩一 (日本設計)
 技術フェロー 長井 達夫 (東京理科大学) 特別会員 村上 周三 (建築環境・省エネルギー機構)

Mao SERIKAWA*1 Reika IIDA*2 Makoto SATOH*1

Koichi SHINAGAWA*3 Tatsuo NAGAI*4 Shuzo MURAKAMI*5

*1 Satoh Energy Research, Co. *2 Nikken Sekkei Ltd. *3 Nihon Sekkei Inc.

*4 Tokyo University of Science *5 Institute for Building Environment and Energy Conservation

In this research, calculation result by BEST-H was compared with the result of other programs for verification of BEST-H. Result of heat load and energy consumption was compared to WEB Program (energy-saving standard for residential houses), and the difference of heat load between two programs was caused by the heat load correction factor used in energy-saving standard. In terms of floor surface temperature, it was found that BEST-H has enough accuracy while there was no solar radiation heat acquisition in the room.

1. はじめに

日本における戸建住宅の多くは、現行の省エネルギー基準を満たさない断熱性能の低い住宅である。これらの住宅は、断熱性能の低さのために温熱環境が劣悪であり、健康面に影響を与える可能性があるとともに、暖冷房に多量のエネルギーを使用していると推察される。この状況の改善のため、精度を有する建築・設備連成シミュレーションを活用して、断熱・気密性能の向上による温熱環境やエネルギー性能の改善効果が示されることが望ましい。

本調査では、住宅の温熱環境とエネルギー性能が計算可能であるBEST-H^{(1)~(3)} (以下、本ツール) の検証および感度解析を行う (表1)。2. において、本ツールで計算されるエネルギー消費量の妥当性や傾向の把握のため、省エネルギー基準におけるWEBプログラム^{(4),(5)} (以下、ツールW) との比較を行う。また、3. において、壁体の非定常熱伝導計算に応答係数法を使用する本ツールに、部分的に差分法の計算ロジックを組み込んで出力される床表面温度⁽²⁾ の検証のため、差分法を用いるプログラム (EESLISM⁽⁶⁾、以下ツールE) との比較を行う。更に、4. において、本ツールを用いて、断熱性能を平成25年省エネルギー基準相当と無断

表1 検証・感度解析に使用したプログラムと気象データ

使用したプログラム	検証項目		
	2.エネルギー	3.床表面温度	4.断熱性能の差異
BEST-H (本ツール)	○ (開発者版)	○ (開発者版)	○
WEB プログラム (ツールW)	○		
EESLISM (ツールE)		○	
気象データ	1995年岡山	1995年岡山	2000年東京

※気象データは、拡張アメダス気象データ標準年を使用

表2 シミュレーション設定条件 (本ツール、ツールE)

項目	設定内容	
	本ツール (開発者版)、ツールE	本ツール
地域	岡山	東京
計算時間	5分間隔	
暖冷房期間	暖房: 11月4日~4月21日 冷房: 5月30日~9月23日	暖房: 11~4月 冷房: 5~9月
建物モデル	自立循環型住宅モデル (木造住宅) ⁽⁷⁾	
延床面積	120m ²	
給湯	ガス従来型給湯器。MIスタンダードをもとに「平日」「休日在宅」「休日不在」の3パターンのスケジュールを設定。	
照明	住宅事業建築主の判断基準 ⁽⁸⁾ に準じて設定。	
暖冷房方式	空調するLD、寝室、子供室にルームエアコンを設置。各室の定格暖房能力、定格暖房 COP は LD: 8.5kW (3.63)、寝室: 2.8kW (5.00)、子供室: 2.2kW (4.89)。各室の定格冷房能力、定格冷房 COP は LD: 7.1kW (2.96)、寝室: 2.5kW (4.39)、子供室: 2.2kW (4.23)。	
暖冷房設定温度	暖房: 室温 20°C 設定 冷房: 起床時室温 27°C 設定 就寝時室温 28°C 設定	暖房: 室温 20°C 設定 冷房: 室温 27°C 設定
暖冷房スケジュール	※冷房の湿度は成り行き 住宅事業建築主の判断基準 ⁽⁸⁾ における居室間歇空調	
内部発熱スケジュール	人体、照明、機器を住宅事業建築主の判断基準 ⁽⁸⁾ に示されるスケジュールに準じて平日と休日を別々に設定。機器の顕熱発熱は全て対流成分、照明は対流成分を70%として入力した。潜熱発熱は人体と調理を設定。	
常時換気	第3種換気: 住宅事業建築主の判断基準 ⁽⁸⁾ に準じて居室に設置した給気口より給気、1階は玄関、トイレと洗面所、2階はトイレより排気した。	
局所換気	台所、1階トイレ、浴室に住宅事業建築主の判断基準 ⁽⁸⁾ の风量、スケジュールに則り設定。	
隣室間換気 ⁽⁸⁾	リビング-台所間: 5000 m ³ /h 1階廊下-2階ホール間: 273 m ³ /h	
家具などの熱容量	12.6kJ/m ³ K	
開口部遮蔽	常時レースカーテン閉鎖を想定	

表 3 常時換気、漏気、部位の熱貫流率、日射熱取得率の設定

断熱性能	常時換気	漏気量(暖房期間のみ)	熱貫流率[W/(m ² ・K)]				開口部日射熱取得率[%]
			天井	外壁	床	開口部*	
無断熱	第3種換気	1.0回/h	3.06	2.30	3.36	6.51	0.554
平成25年基準相当	0.5回/h	0.0回/h	0.24	0.53	0.48	4.65	0.512

※無断熱：単板ガラス、平成25年基準相当：複層ガラスを想定。いずれも金属製サッシ、レースカーテン閉を想定。

表 4 ツールW プログラム入力条件

項目	設定
基本情報	住宅建て方 戸建住宅
床面積	主たる居室 29.81 m ² 、その他の居室 51.34 m ² 、合計 120.07 m ²
地域の区分	6地域
外皮	外皮性能の評価方法 当該住宅の外皮面積を用いて外皮性能を評価する
外皮面積の合計	319.81 m ²
外皮平均熱貫流率	0.85W/m ² K
暖房期平均日射熱取得率 η_{RH}	3.6
冷房期平均日射熱取得率 η_{RC}	2.0
暖房・冷房	暖房・冷房方式の選択 居室のみを暖房・冷房する
設備機器の種類	ルームエアコンディショナー
省エネルギー対策の有無および種類	エネルギー消費効率の区分を入力することにより省エネルギー効果を評価する
エネルギー消費効率の区分	主たる居室：区分(い) その他の居室：区分(は)
容量可変型コンプレッサー	搭載しない
換気	換気設備の方式 壁付け式第二種換気設備または壁付け式第三種換気設備
省エネルギー対策の有無および種類	特に省エネルギー対策をしていない
換気回数	0.5回/h
熱交換	熱交換型換気設備の採用 採用しない
給湯設備	給湯設備・浴室等の有無 給湯設備がある(浴室等がある)
熱源機の種類	給湯専用型
熱源機の種類	ガス従来型給湯器
効率の入力	入力しない
照明	設置の有無 設置する
照明器具の種類	(居室)すべての機器において白熱灯以外を使用している(非居室)いずれかの機器において白熱灯を使用している
多灯分散照明方式の採用・調光可能な制御・人感センサー	採用しない

熱とした場合の2通りで計算し、計算結果の差異を確認する。なお、本ツールは、原稿執筆時点では、気象データが東京に限られ、また、時間帯別の暖冷房温度設定や日単位での暖冷房期間の設定ができないため、岡山のデータを用いて詳細な暖冷房の設定を行う2.と3.の検証には、本ツールの開発者版の機能を使用している。

2. 省エネルギー基準と比較したエネルギー消費量の検証

本ツールとツールWの計算結果を比較し、暖冷房負荷・処理熱量やエネルギー消費量の妥当性や傾向の把握を行う。

2.1 計算条件

本ツールの主な計算条件を表2、表3(平成25年基準相当)に、ツールWの主な入力情報を表4に示す。入力は、基本的に、住宅事業建築主の判断基準⁹⁾に準じている。

2.2 計算結果

図1で、負荷補正後のツールWの暖房負荷と、本ツールの暖房処理熱量に差が見られる。本ツールについて、空

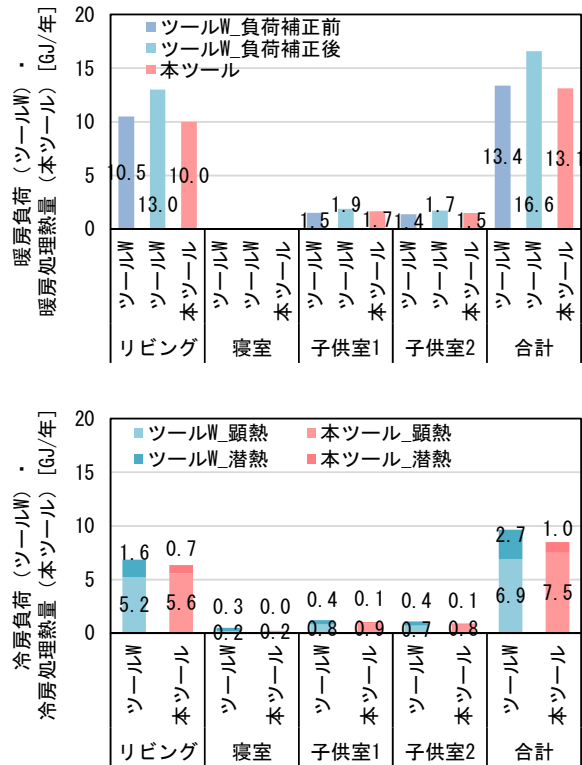
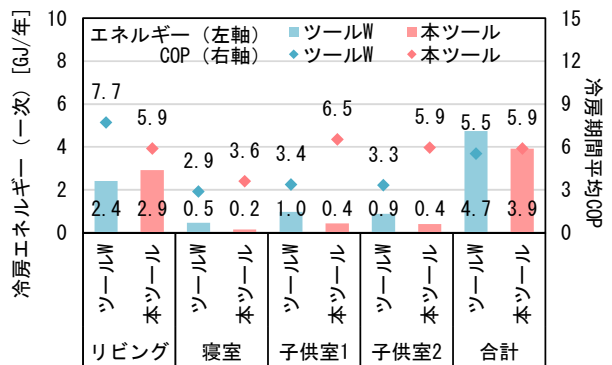
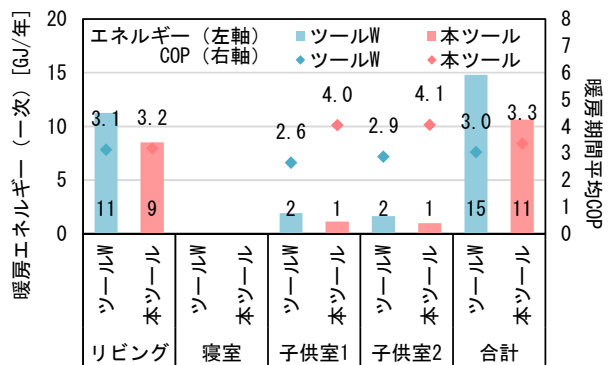


図1 年間熱負荷・処理熱量の比較(上)暖房(下)冷房



※ツールWの暖房負荷は負荷補正係数を用いた補正後の値を使用

図2 年間暖冷房エネルギー消費量(上)暖房(下)冷房

間の上下温度分布は考慮せず、また、本報では暖冷房を室温制御としている。一方、ツールWでは、外皮性能や暖房設備方式による暖房室の放射温度や上下温度分布の差の影響を考慮するため、補正係数を用いて暖房負荷の補正を行うためである。本検証における条件では、外皮

表 5 平成 25 年基準相当 ツール W・本ツール計算結果

	ツール W 設計一次エネルギー [GJ/年]		本ツール一次エネルギー消費量 [GJ/年]
暖房設備	15.0 (負荷補正後)	空調熱源	暖房 10.6
冷房設備	4.7	本体	冷房 4.0
換気設備	4.6	換気	-
給湯設備	27.6	給湯熱源	24.3
照明設備	9.5	照明	12.6
その他設備	21.2	コンセント	22.5

※本ツール開発者版では経路を考慮する換気の消費電力は計算対象外の表面温度による放射温度を考慮した負荷補正係数 1.195、暖房設備の方式による放射温度を考慮した負荷補正係数 1.000、上下温度分布を考慮した負荷補正係数 1.038 であり、これらの係数の積は 1.240 である。

なお、本ツールでは、暖冷房を OT 制御とすることで、家具を含んだ放射環境を考慮した制御が可能である。

また、本ツールでは冷房時の湿度は顕熱に応じて除湿される計算となっており、ツール W は設定湿度を入力する関係で、本ツールの処理潜熱量とツール W の潜熱負荷に差が生じる。

図 2 に、暖冷房エネルギーの計算結果を示す。ツール W と本ツールでは期間平均 COP にも差が見られ、暖冷房負荷・処理熱量の差以上にエネルギーの差が大きくなる。特に冷房期間の効率の差が大きい点について、前述のような潜熱の計算法の差異の影響があると推察される。

表 5 に示す住宅全体のエネルギー消費量について、前述のとおり暖冷房に差がある他、本ツールでは照明エネルギー計算と暖冷房負荷計算が連成しているのに対し、ツール W では非連成である点などに起因する差が見られる。

3. 床表面温度の検証

壁体の非定常熱伝導計算に応答係数法を用いる本ツールに、部分的に差分法の計算ロジックを組み込んで出力される床表面温度の検証のために、差分法を用いるプログラム(ツール E) との比較を行った。

3.1 計算条件

主な入力条件は、表 2、表 3 (平成 25 年基準相当) によ

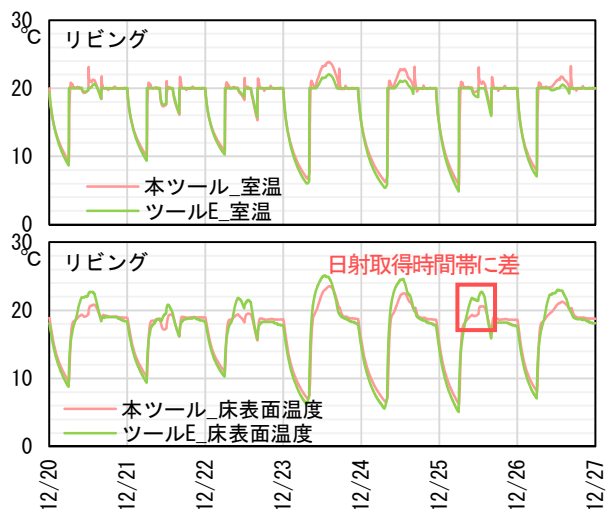


図 3 室温・床表面温度計算結果 (代表期間 12 月 20~26 日)

る。入力は、基本的に、住宅事業建築主の判断基準⁹⁾ に準じている。床の対流熱伝達率は、両ツールとも固定値 4.5W/(m²・K) を使用した。これは、本ツールの建築計算用の総合熱伝達 9.0W/(m²・K) との整合性を考慮している。

3.2 計算結果

図 3 に代表期間 12 月 20~26 日の室温、床表面温度の計算結果を示す。日射の入る時間帯の床表面温度に、ツール間に差が生じているが、これは透過日射の扱いの違いに起因する。本ツールでは床表面に直接日射が当たらない条件での計算となっており、ツール E では床表面で日射を一樣に吸収する計算となっている。そのため、特に、床へ入射する透過日射が大きい時間帯に、本ツールの床表面温度は低めに算出されるので、結果の扱いには注意が必要である。それ以外の時間帯では、両プログラムでの床表面温度計算結果の傾向がほぼ一致していることが確認される。

4. 断熱性能が異なる住宅での計算結果の比較

本ツールの感度解析のため、平成 25 年基準省エネルギー

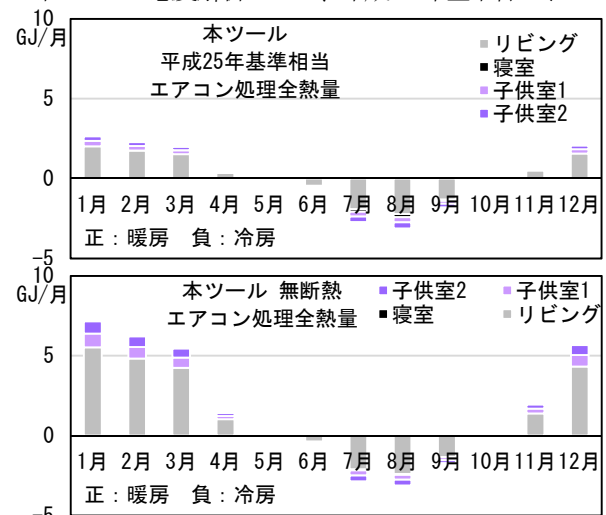


図 4 月別暖冷房処理熱量

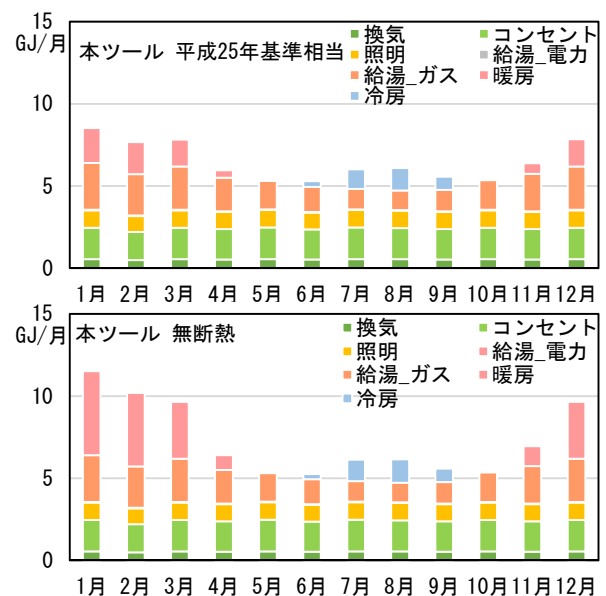
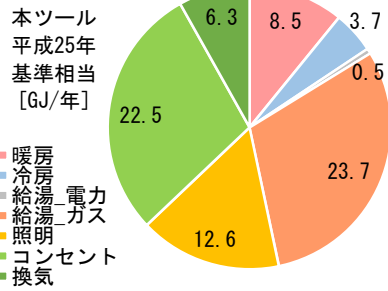


図 5 月別一次エネルギー消費量計算結果

本ツール 平成25年基準相当	
	GJ/年
暖房	8.5
冷房	3.7
給湯_電力	0.5
給湯_ガス	23.7
照明	12.6
コンセント	22.5
換気	6.3
合計	77.8



本ツール 無断熱	
	GJ/年
暖房	18.6
冷房	3.9
給湯_電力	0.5
給湯_ガス	23.7
照明	12.6
コンセント	22.5
換気	6.3
合計	88.1

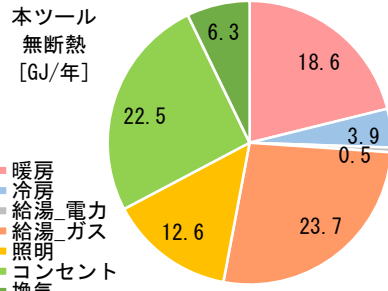


図6 年間一次エネルギー消費量計算結果

一相当と無断熱の2通りの断熱性能で計算を行い、暖冷房処理熱量や一次エネルギー消費量の計算結果を確認した。

4.1 計算条件

主な入力条件は、表2、表3による。入力は、基本的に、住宅事業建築主の判断基準⁸⁾に準じている。

4.2 計算結果

図4～7に示すとおり、躯体の断熱性能により、暖冷房処理熱量、暖冷房エネルギー、室内温熱環境に差が生じることが確認される。暖冷房処理熱量は、無断熱の条件では、平成25年基準相当と比較し、住戸全体で暖房18GJ/年程度の増加となり、冷房ではほとんど差がない。暖冷房用一次エネルギーは、無断熱の条件では、平成25年基準相当と比較し、暖房10GJ/年程度の増加となっている。室内温熱環境について、断熱性能の低い条件では、暖房時間帯に、室温とOT（作用温度）の差が大きくなることを確認される。

5. まとめ

本調査では、本ツール (BEST-H) について、エネルギー消費量や床表面温度の計算結果の検証を行うとともに、断熱性能の差が温熱環境や暖冷房エネルギーへ与える影響の確認を行った。検証は、他のプログラムとの比較により行った。検証により、以下の知見が得られた。

- 本ツールとWEBプログラムの比較を行い、エネルギー消費量は暖房用を除いてほぼ一致することが確認された。暖房用エネルギーの差について、WEBプログラムでは外皮性能や暖房設備方式による暖房室の放射温度や上下温度分布の差の影響を考慮するため補正係数を用いて暖房負荷を補正することが影響していると確認された。
- 床表面温度について、本ツールと差分法のプログラムとの比較を行った。透過日射が小さい時間帯については、両プログラムで近い値を示すことが確認された。
- 平成25年基準省エネルギー相当と無断熱の2通りの断熱性能で本ツールの計算を行ったところ、暖房の処理熱量18GJ/年、一次エネルギー10GJ/年程度の差が生じた。

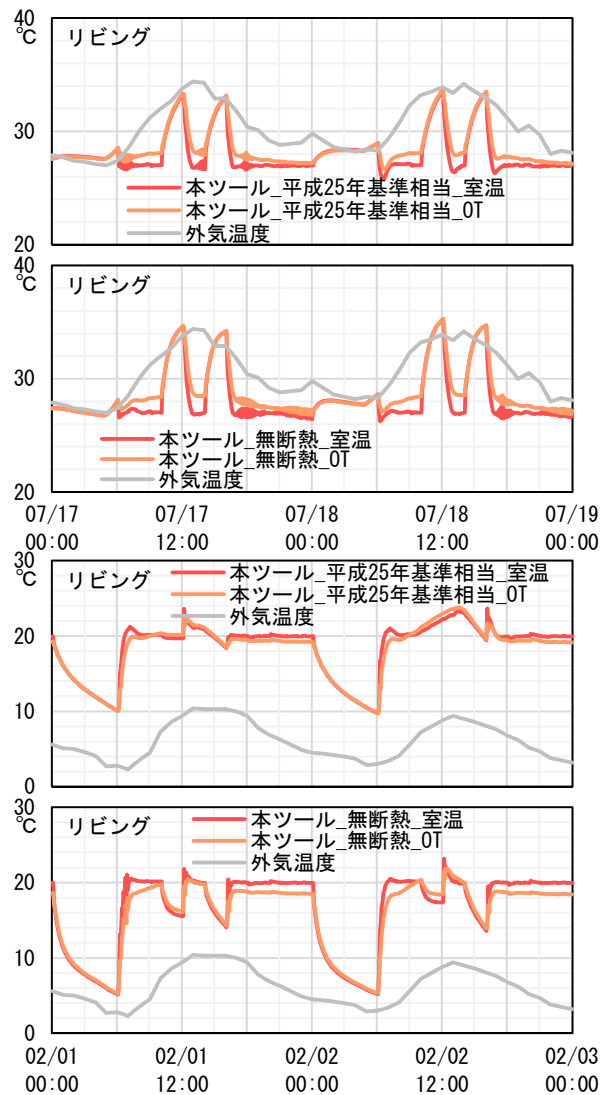


図7 室内温熱環境計算結果（夏期・冬期代表期間）

【謝辞】(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住宅版開発WGの関係各位に謝意を表す。BEST住宅版開発WG名簿(順不同) 主査：長谷川肇(日建設計)、幹事：小林弘造(日建設計)、委員：古賀修(関西電力)、品川浩一(日本設計)、近田智也(積水ハウス)、二宮誠英(東京ガス)、二宮博史(日建設計)、オブザーバー：長井達夫(東京理科大学)、佐藤誠、芹川真緒(佐藤エネルギーリサーチ)、田岡知博(コンパス)、事務局：生稲青久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1) 小林弘造ら：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192) 住宅版の概要・機能、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2017.9 (予定)
- 2) 飯田玲香ら：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193) 住宅版の建築計算方法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2017.9 (予定)
- 3) 二宮博史ら：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194) 住宅版の設備計算方法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2017.9 (予定)
- 4) 建築研究所：平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報(住宅) 暖冷房負荷データ、<http://www.kenken.go.jp/becc/house.html>
- 5) 建築研究所：エネルギー消費性能計算プログラム(住宅版) Ver 2.2.0、<http://house.app.lowenergy.jp>
- 6) 佐藤誠、宇田川光弘、樋口佳樹、嵐友佑：EESLISMの概要と計算事例、日本建築学会第39回熱シンポジウム、pp.139-146、2009年10月
- 7) 国土技術政策総合研究所、建築研究所監修：自立循環型住宅への設計ガイドラインエネルギー消費50%削減を目指す住宅設計、建築環境・省エネルギー機構、2009.9
- 8) 建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説、2009.3