

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 238）

最近の開発状況と住宅の夏期・冬期過酷環境の評価

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 238)

Recent Development and Evaluation of Severe Thermal Environment in Residential Houses

技術フェロー	○石野 久彌（東京都立大学名誉教授）	特別会員	村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）
技術フェロー	二宮 秀典（鹿児島大学）	正会員	宮田 征門（国土技術政策総合研究所）
技術フェロー	郡 公子（宇都宮大学）	技術フェロー	長井 達夫（東京理科大学）
技術フェロー	大塚 雅之（関東学院大学）	技術フェロー	秋元 孝之（芝浦工業大学）
技術フェロー	柳原 隆司（RY 環境・エネルギー設計）	正会員	牧村 功（名細環境・まちづくり研究室）
技術フェロー	野原 文男（日建設計総合研究所）		

Hisaya ISHINO*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hideyo NIMIYA *³ Masato MIYATA*⁴

Kimiko KOHRI*⁵ Tatsuo NAGAI*⁶ Masayuki OTSUKA*⁷ Takashi AKIMOTO*⁸

Takashi YANAGIHARA*⁹ Isao MAKIMURA*¹⁰ Fumio NOHARA*¹¹

*¹ Tokyo Metropolitan Univ. *² IBEC *³ Kagoshima Univ. *⁴ NILIM

*⁵ Utsunomiya Univ. *⁶ Tokyo Univ. of Science *⁷ Kanto-Gakuin Univ. *⁸ Shibaura Institute of Technology

*⁹ Tokyo Denki Univ. *¹⁰ Naguwashi E & TP Lab. *¹¹ Nikken Sekkei Research Institute

This paper reports the development of the BEST in the last year and also describes the results of evaluation of severe thermal environment during unconditioned hours in detached residential houses through daily periodic simulations by using cooling and heating design weather conditions. The effects of strategies for improving thermal environment such as natural ventilation, solar shading devices, insulation and clayey walls were evaluated.

1. 序

BEST 省エネルギー基準対応ツールが、国交大臣が認める計算法をもつプログラムと位置付けられ、省エネ法の誘導基準のみならず省エネ適判の申請や審査に利用できることが正式に発表された。これにより、BEST 設計ツールを利用して省エネルギー計画・設計を行い、これと互換性のある BEST 省エネ基準対応ツールにより申請書類を簡単に作成可能となり、さらには専門版にインポートして詳細な運用解析にも利用できる。BEST の実用性が飛躍的に向上したといえる。本報では、まず、最近 1 年間の開発状況を報告するとともに、既報(その 221)に続き、住宅に発生する恐れのある過酷な熱環境の推定と改善策の効果について評価した結果も報告する。

2. 最近の開発状況

表 1 に最近 1 年間の開発状況をまとめた。10 年を超える開発期間を経て、省エネ評価に必要なある程度の計算機能をもつに至ったといえる。住宅版も、スマートウェルネス住宅の検討が可能な UI を目指している。今後さらに幅広い省エネ技術の効果推定を可能にする開発を続けるとともに、次世代にふさわしい新しいプログラムの計画に着手する時期ともなっている。

3. 住宅の夏期・冬期過酷環境とその改善策の評価

既報では、熱中症発症の危険の視点から、東京における低性能な戸建て住宅で発生し得る猛暑期の過酷な温熱環境を予測して考察した。本報では、夏期に加えて冬期

の過酷な温熱環境を推定するとともに、それを改善策の効果の評価した。

3.1 計算条件と比較ケース

東京における木造および RC 造戸建て住宅について、数値解析による検討を行った。表 2 に無断熱の低性能住宅である基準ケースの計算条件を示す。木造と RC 造の断熱性は同程度になるよう調整した。居間と寝室、子供室は、短い時間帯の冷暖房を行う。住宅での健康被害は、種々の事情から冷暖房が切れて温熱環境が悪化した室内で起きる恐れがある。そこで、冷暖房設計用気象条件を用いる日周期定常計算から、猛暑日あるいは厳寒期の非冷暖房室や非冷暖房時間帯の過酷な温熱環境を推定した。また、表 3 に示す改善策を導入するケースの数値計算も行った。

3.2 基準ケースの温熱環境

夏期 3 タイプの過酷気象日の数値計算結果を図 1 に示す。2F 寝室と 1F 和室に注目して考察する。寝室は夜 2 時間のみ冷暖房を行う。和室は非冷暖房室だが、朝と夜に冷暖房する居間に接している。木造住宅についてみると、室温の日最高値は 14 時頃に発生し、日射の強い Jc-t 基準の気象のときに高く、寝室は 45°C、和室は 40°C 近くになる。しかし、WBGT で評価すると、蒸暑気象の h-t 基準の温熱環境の方が悪く、寝室は危険域の 33°C、和室は厳重警戒域上限の 31°C である。南面日射の強い秋寄りの気象の Js-t 基準のときも日中の室温は高いが、湿度が低い分 WBGT の日最高値はやや低い。それでも寝室は危険域になる。RC 造住宅

は、木造住宅に比べ室温、WBGTの日較差が小さく室温ピークはJc-t基準のときに寝室37℃、和室35℃程度、WBGTのピークはht基準のときに寝室29.5℃、和室28.5℃程度の嚴重警戒域で、危険域にはならなかった。また、2Fは屋根から侵入する日射の影響が遅れて現れるため、寝室のピークは17時頃となる。

図3に、冬期2タイプの過酷気象日の結果を示す。木造住宅は、日射量・夜間放射量が大きい乾燥気候のt-x基準のときに、寝室・和室の日最高室温は18℃前後にまで上昇するが、日最低気温は外気温の0℃近くまで下がる。曇天気象のt-Jh基準のときも日最低室温は明け方に発生し、その後居間の冷暖房の影響により少し室温が上昇する。RC造住宅の室温最低値はt-Jh基準で発生し、和室は明け方、寝室は夜の暖房開始直前に5~6℃になった。

3.3 各種改善策の効果

表2の改善策を導入した

ときの寝室の夏期室内環境時刻変動の比較を図4に示す。木造住宅に対する手法の単効果に着目すると、室温ピークは、簾により2.5K、10回/hを想定する自然換気により5K程度低下したが、WBGTは嚴重警戒域までは低下しなかった。土壁は、断熱性をあまり変えず熱容量のみ増加させる条件設定とし、これにより室温ピークは2Kほど低下した。断熱は日射侵入を抑えるほか、熱容量と同様に室温応答を遅らせる作用もある。室温ピークは土壁より遅い16時に発生し、基準ケースに対して5K程度低下し、WBGTは自然換気のケースより少し低く嚴重警戒域まで下げることができた。2種の改善策の複合効果は、簾・自然換気より、断熱・土壁の方が大きい。また、断熱・土壁に対して簾を加えることによる室温低下は、日中に大きいほかに、夜間にも少し現れている。WBGTピークは28.5℃となり嚴重警戒域の下限に近付いた。さ

表1 最近1年間の開発状況

項目	開発・ユーザ支援内容
省エネ基準対応ツール	①国土交通大臣認定:本ツールは、エネルギー消費性能を適切に評価できると国交大臣が認める方法に位置付けられた。省エネ法で規定する性能向上計画認定(誘導基準)のほか、省エネ適判及び省エネ性能に関わる認定等を含めて、その申請や審査に利用できる。②機能拡充とUI開発:省エネ適判及び誘導基準へ対応するための改良とVer.3.0.0(試行版)、Ver3.0.2(正式版)のリリース ③ユーザ支援:操作編解説書、理論編解説書の修正・公開、判定機関向けマニュアルの整備、ビデオ講習の対応
設計ツール	本ツールは、設計段階において建築物の一次エネルギー消費量、年間熱負荷及び最大熱負荷を計算できる。省エネ基準対応ツールとデータ互換性がある。①UI機能拡充:世界の気象データ(EPW、WEDACデータ)の利用機能、詳細計算結果の出力機能の追加、ウェルネスオフィスのための活用に関する検討 ②ユーザ支援:3回の講習会開催 ③妥当性・有用性確認:省エネ基準対応ツールとの条件設定・計算機能の違いの明確化と計算値の比較、実績値や他ツールによる計算値との比較、ピーク電力分析(今後の計画)計算機能の拡充(デンカント空調、自然換気等)
住宅版	①UI機能拡充:一括計算機能の追加、入力機能の拡充・改良(室追加時に家具顕熱容・隙間風のデフォルト値設定・潜熱発熱機器の入力機能の追加・スケジュール入力の改良)、入力設備機器一覧の表示改良、BEST-H簡易版の検討(入力項目及び画面イメージ)、スマートウェルネス住宅のための検討、Ver.1.1.4のリリース ②ユーザ支援:マニュアルの改良、講習会の開催 ③妥当性・有用性確認:エアコンの連続・間欠運転の違いと室内環境・エネルギー消費量の特性解析、作用温度を用いた健康性評価、(今後の計画)最新版リリース、BEST-H簡易版の実装
専門版UI	①新UI開発:一覧機能を重視する共通・建築画面の開発の続行 ②表計算ソフト利用の入力支援ツール開発:支援ツールのテスト、専門版UIへのインポート機能テスト(今後の計画)正式リリースと利用促進 ③現行UIの改良:エンジンの機能拡充に伴う改良
エンジン全体	①性能評価:エンジン各部の計算効率・複雑さの分析・評価、コード記述法改良のための分析・評価、②将来計画:次世代BEST(BEST+)のエンジン開発の方針検討の開始
建築	①プログラム機能拡充:2010年版EA設計用気象データの読み込み機能の追加、外部日除け計算機能拡充のための外部日よけ分類と入力項目整理 ②データ開発:2010年版EA設計用気象データのフォーマットの検討と最終版完成、30年実在気象に基づく設計気象日別値の超過確率・空調装置能力超過率による妥当性の確認 ③ユーザ支援:マニュアル用語集の改訂と講習会テキスト更新と実施 ④妥当性・有用性確認:住宅の非冷房過酷環境の予測と熱中症評価、国内836地点の最大熱負荷と年間熱負荷の特性比較、外気冷房・自然換気による冷房負荷低減効果解析、ゼロエナジーバンド設定と自然換気効果の評価、実験計画法を利用した自然換気ビルの年間冷房負荷の簡易推定(今後の計画)外部日除け(外ブラインド・ルーバ・スクリーン類)の計算機能の追加・拡充のための検討
空調	①プログラム機能拡充:機器モジュールの改良(ポンプ台数制御・熱源機器台数制御の閾値設定の自由度向上、ルームエアコンに対するユーザ定義機器特性の設定機能の実装、VAV空調機コイルPID制御、熱源変流量用PID制御モジュールの追加、配管分岐・集合モジュールの開発)、テンプレートの追加(FCU、放射パネル、給湯設備、テスト・講習会用途限定) ②ユーザ支援:主要モジュールの解説書作成、講習会用テキスト改訂と講習会実施、用語集の見直し ③検証:4管式VAV空調機コイルの動作検証と改善、新規・更新モジュールの機器特性等の検証、SHASE評価ガイドラインへの協力と検証 ④有用性確認:空調機構成要素の圧力計算法や圧力制御法の違いと電力消費量、高静圧ファンによる出口空気温度上昇の特性解析(今後の計画)ユーザ定義機器特性を適用できる機器の拡大、モジュールの開発・改良
機器特性	①新規機器特性の調査:ファンコイルユニット・GHPチラー・圧縮式冷凍機新冷媒対応(調査終了)、静止型全熱交換器ユニット・アクティブチルドビーム・ハイブリッド型GHP(調査継続中) ②ユーザ支援:空調機組込み加湿器、空調機コイルの機器特性マニュアルの整備 ③有用性確認:大規模建築のZEB化手法による省エネルギー効果・デマンドカット性能・空調負荷削減効果の評価、空調機・ファンコイルユニットの最新コイル特性のモデル化と性能確認(今後の計画)デンカント空調機の新規調査、機器特性のユーザ定義機能(中央熱源・個別式ユニット)、マニュアル整備、モジュールテスト
蓄熱・蓄電	①検証・改良:水蓄熱槽の3方弁周り及びPID制御法の改造、連結完全混合水槽の部分利用機能の追加、複数熱源接続可能とするテンプレート追加、台数制御方法(増減段)の改良、パワーコンディショナーの変換効率計算法の改良 ②有用性確認:水熱源HPと蓄熱槽の実測比較等、(今後の計画)デマンドリスポンスの機能拡張、新型NAS電池の計算機能、モジュール解説書作成
コジエネ	①モジュール開発:太陽熱温水利用システム用各種モジュール開発 ②検証・改良:排熱投入型吸収冷温水機の排熱利用特性の拡張法検討、太陽熱温水利用システムが導入された実在ビル実測値による検証 ③有用性確認:排熱利用率最適化のケーススタディ ④ユーザ支援:講習会実施と用語集改訂(今後の計画)機能拡張・プログラム検証・解説書整備

表2 基準ケースの計算条件

気象	東京 2010年版EA設計用データ
建物	外壁・屋根：断熱なし(外壁熱貫流率U=2.9W/m ² K)、窓：透明単板ガラス、隙間風・換気：0.3回/h、ブラインド常時使用(小窓はブラインドなし)、居間と和室の南窓は庇付き(出1m)、主なゾーン間換気：1回/h(居室-廊下・居室容積基準)、1回/h(居室-和室・居間容積基準)
発熱	照明・機器：各室適宜考慮、在室者：非考慮
冷房	冷房時間：7:00-8:00・17:00-22:00(居間)、22:00-24:00(寝室)、20:00-22:00(子供室S、N) 室内設定温度：冷房27°C60%、暖房21°C40%

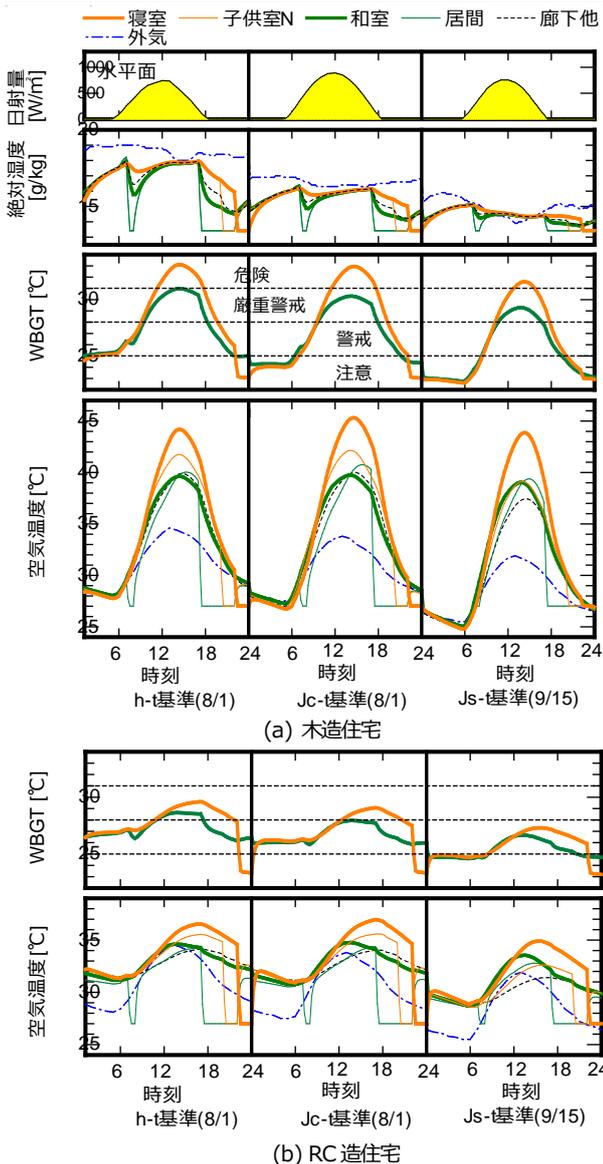


図1 冷房設計気象日の室内環境の時刻変動(基準条件)

らに自然換気を加えても、日中の室温は外気温より低いことが多く、夜間の自然換気が中心となり、日中のWBGTの低下効果はほとんどない。

RC造住宅に対する各手法の日中の室温低下は、木造住宅に対するより小さく、自然換気は夜間に効果があるが日中は不許可になる時間帯があり、WBGTのピークは簾と同程度になった。断熱ケースは、非冷房時の室温が31°C前後で変動が極めて小さく、そのときのWBGTも

表3 比較ケース

A 基準	B 断熱	C 土壁*	D 簾	E 自然換気
F 簾・自然換気	G 断熱・自然換気	H 断熱・土壁*	I 断熱・簾	J 断熱・土壁・簾*
K 断熱・簾・自然換気	L 自然換気・簾・土壁・断熱*	*付きは木造住宅用		

【基準ケースに対する変更条件】
 (断熱) 外壁U=0.6W/m²K・日射取得型Low-E複層ガラス(土壁) 土壁50mm(断熱なし外壁U=3.1)
 (簾) 日射熱取得率の減率0.33(内部日除けなしのとき)
 (自然換気) 予備室以外の空間対象・外気温<室温のとき10回/h・自然換気時ゾーン換気量5回/h

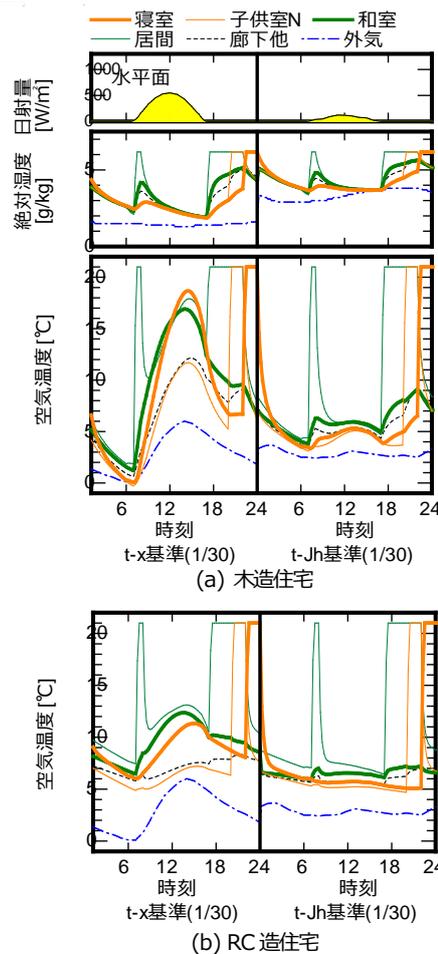
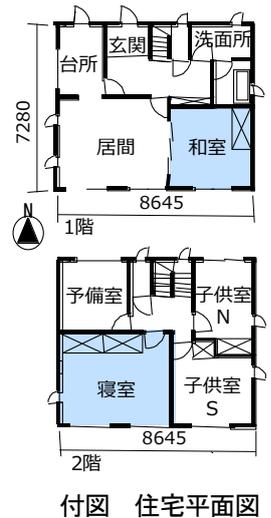


図2 暖房設計気象日の室内環境の時刻変動(基準条件)

警戒域の26~27°Cに抑えられた。日中の温熱環境の改善に、断熱と簾の組合せ効果は大きく、それに自然換気を加えても夜間換気しか許可されないことや自然換気による湿度上昇のためWBGTピークはあまり変化しない。

木造・寝室の各ケースの冬期室温変動を図5に示す。断熱は、日平均室温の上昇と日較差の縮小の作用があり、基準ケースに対する室温上昇は、t-x基準の場合、日最高値は2K、日最低値は8Kになった。土壁・断熱ケースの日最低室温は、RC造と同じt-Jh基準の17時に起きた。

図6に、各ケースの寝室・和室の夏期最高WBGTとその時の室温をまとめた。自然換気は、木造の低断熱住宅に効果があるが、RC造や高断熱木造に対しては小さい。断熱は日中の温熱環境改善効果が大きくほか、室間の温



付図 住宅平面図

【表1注記】

木造とRC造の外壁断熱性はほぼ同程度に設定した。

【表2注記】

「断熱」は、RC造住宅の場合外断熱

【図1・3・5注記】

WBGT算出の際に、グローブ温度の代わりに作用温度を用いた。また、湿球温度として、自然湿球温度ではなく通常の湿球温度を用いた。(文献)小野・登内：通常観測気象要素を用いたWBGTの推定、日本生気象学会誌、pp.147-157、2014

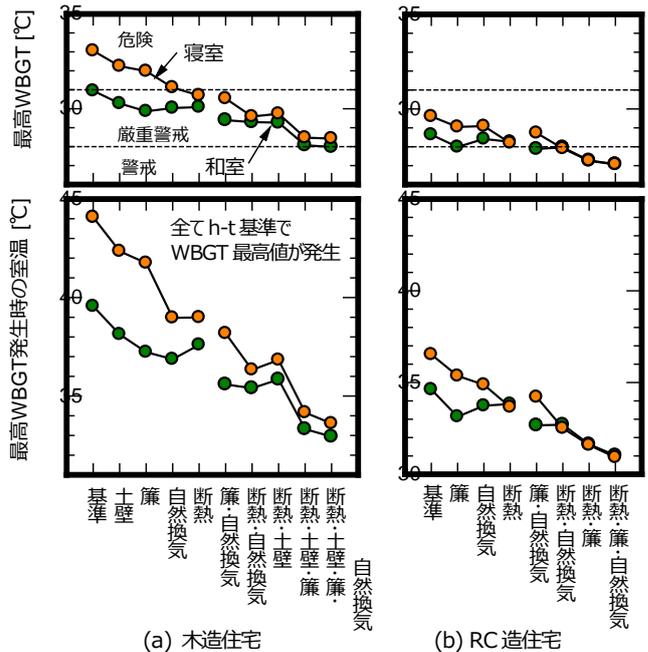
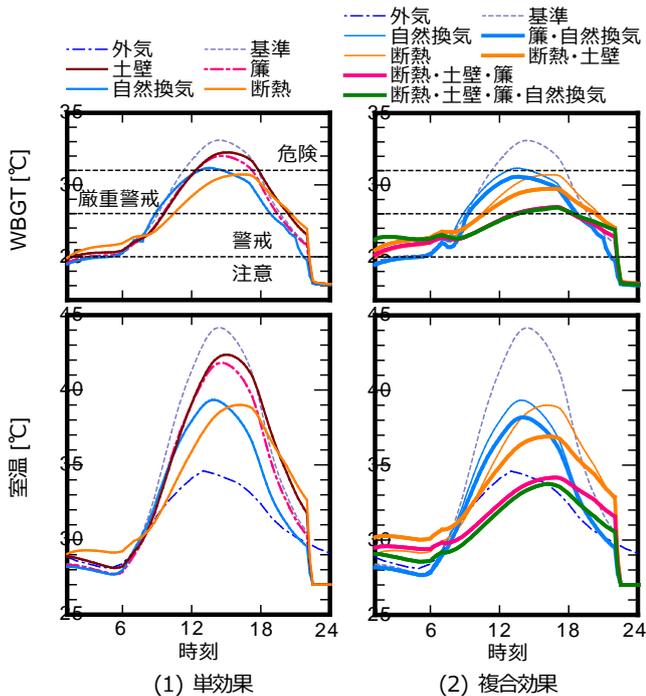


図5 各ケースの夏期最高 WBGT とそのときの室温

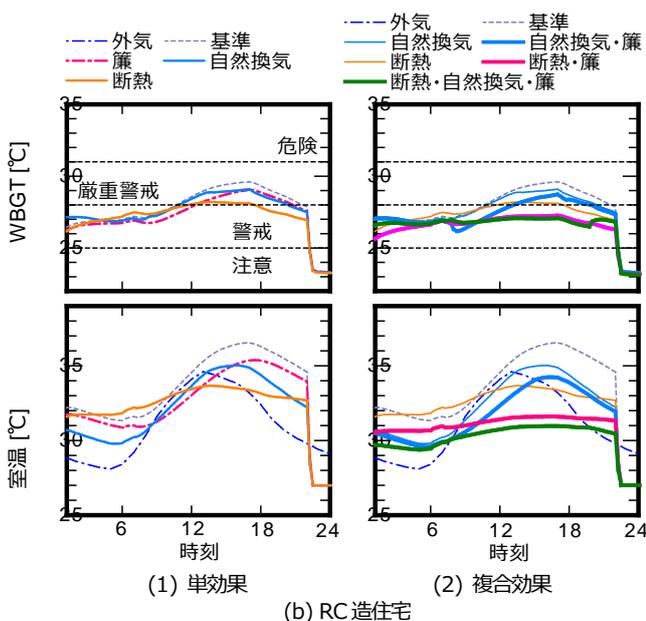


図3 各ケースの冷房設計気象日の室内環境(h-t 基準・寝室)

*付きプロットは、t-Jh 基準、その他は t-x 基準で最低値が発生

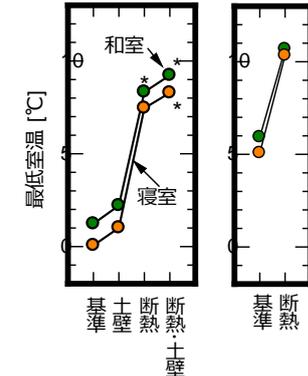


図6 各ケースの冬期最低室温

熱環境の差も小さくし、RC 造では寝室と和室の差がなくなる。断熱・簾の組合せの効果が大きい。

図6の各ケースの冬期最低室温から、断熱により、木造とRC造の室温差が小さくなるのがわかる。

4. 結

最近1年間の開発状況を報告するとともに、住宅の過酷熱環境とその改善策の効果を明らかにした。

【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」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」およびプログラム開発委員会(石野久彌委員長)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表す。プログラム開発委員会名簿(順不同) 委員長:石野久彌(東京都立大学名誉教授)、委員:大木泰祐(大成建設)、郡公子(宇都宮大学)、菟田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ)、佐々木尚(安井建築設計事務所)、品川浩一(日本設計)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、長井達夫(東京理科大学)、西田裕道(東京ガス)、二宮秀興(鹿児島大学)、相沢則夫(大林組)、野原文男、二宮博史、長谷川巖、久保木真俊(以上、日建設計、事務局:生稲清久、三田茂(以上、建築環境・省エネルギー機構))

図4 各ケースの暖房設計気象日の室内環境(木造住宅・寝室)