

空気式太陽熱集熱システムを採用した実証住宅に関する研究 (第5報) 実測結果を用いた熱負荷シミュレーションの精度検討

A Study of Demonstration Houses with Air-Based Solar System

Part6. Accuracy investigation of the heating load simulation using the measured results

正会員 ○崔 榮晋 (東京大学) 学生会員 軽部 達也 (東京大学)
 正会員 高瀬 幸造 (東京理科大学) 正会員 前 真之 (東京大学)
 正会員 盧 炫佑 (OMソーラー)

Youngjin CHOI*¹ Tatsuya KARUBE*¹ Kozo TAKASE*² Masayuki MAE*¹ Hyunwoo ROH *³

*¹ The University of Tokyo *² Tokyo University of Science *³ OM Solar

In this paper, the accuracy investigation of heating load simulation is carried out by comparing between the result of measurement and simulation about air-based solar heating system. Furthermore, annual heating/cooling/hot water load of remodeled simulation model is compared with that of design step.

1. はじめに

本報では前報に示された5物件の中で冬期実測が行った4物件(伊達、仙台、浜松、鹿児島)に対して、実測結果とシミュレーション結果の比較によるシミュレーションモデルの精度検討を行った。また集熱・断熱・蓄熱改善や太陽熱冷房適用による年間冷暖房・給湯負荷削減効果を初期設計段階とシミュレーションモデル修正後の年間負荷シミュレーションで結果を比較した。

2. シミュレーション精度検討

シミュレーションモデルの精度検討のために計測した空気式集熱器出口温度と室温をシミュレーション結果との比較を行った。空気式集熱器の計算モデルは既往文献¹⁾を参考して、集熱器出口の熱媒温度および集熱量などの計算を行った。

$$T_{fout} = T_{coke} - (T_{coke} - T_{fin}) \exp[-(K_c \cdot A_c)/(c_f \cdot G_f)] \dots (1)$$

$$Q_c = c_f \cdot G_f (T_{fout} - T_{fin}) = c_f \cdot G_f \cdot \varepsilon_c (T_{coke} - T_{fin}) \dots (2)$$

$$\varepsilon_c = 1 - \exp[-(K_c \cdot A_c)/(c_f \cdot G_f)] \dots (3)$$

空気式集熱器の計算モデルの精度検討のために、実証住宅で2016年10月1日から12月31日まで(92日間)計測した外気条件、集熱器入口温度、集熱風量をシミュレーションに入力して、実測とシミュレーションの集熱器の出口温度を比較した。また、集熱による給湯用の貯湯タンクへの供給熱量を計算するために、実測値の集熱風量、熱媒流量と熱交換係数の推定式を回帰分析により行った。付加蓄熱材(水ペットボトル)の対流熱伝達率(集熱時、非集熱時)は前報のCFD計算結果を用いて負荷計算を行った。

2.1 北海道伊達市の実証住宅

集熱器の風量むらによって計測した4点の出口温度が異なることで単純平均した4点の計測結果よりシミュレーションの結果が多少高くなったが、全体の傾向として精度よく一致していると考えられる。

室温計算では外気温、室温と表面熱流から算出した窓単体の熱貫流率(1.38W/m²K)と真空断熱建具を閉めた状態の熱貫流率(0.90W/m²K)を適用して計算を行った。付加蓄熱対(水ペットボトル)の表面熱伝達率はCFD結果から集熱時8.64W/m²K、非集熱時:6.54W/m²Kを入力して吸放熱計算を行った。

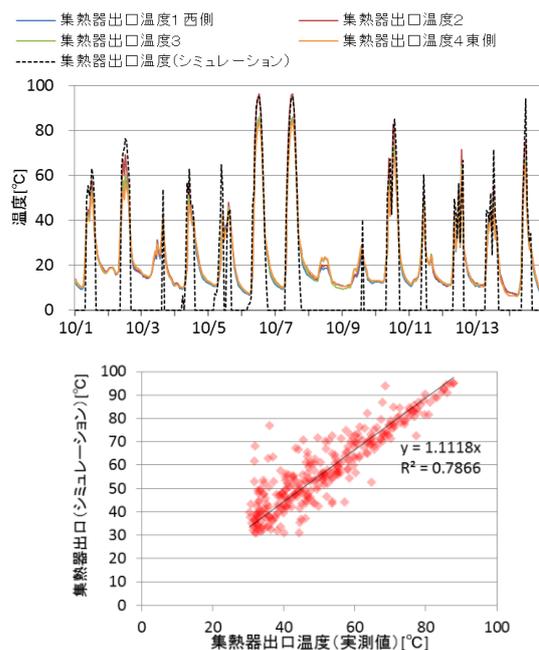


図1 集熱器出口温度比較(伊達)



図2 室温比較 (伊達)

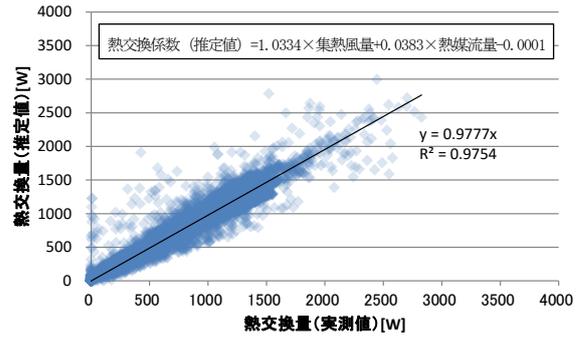


図3 熱交換量比較 (仙台)

2.2 宮城県仙台市の実証住宅

シミュレーションと実測値の集熱出口温度に多少ばらつきがあり、室温にも最大 2°C程度誤差が発生したが、全体的な挙動としては精度よく一致した。

窓熱貫流率 1.13W/m²K、真空断熱建具を閉めた状態での熱貫流率 0.67W/m²K の実測結果からシミュレーション室温計算に用いた。付加蓄熱対 (水ペットボトル) の表面熱伝達率はCFD 結果から集熱時 7.70W/m²K、非集熱時: 6.73W/m²K を入力して計算を行った。また、集熱による給湯用の貯湯タンクへの供給熱量を計算するために、実測値の集熱風量・熱媒流量と熱交換係数の関係を回帰分析から推定した。

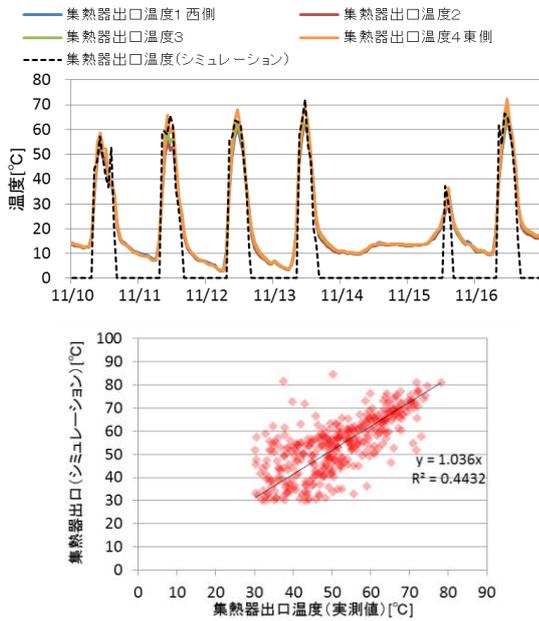


図5 集熱器出口温度比較 (仙台)

2.3 静岡県浜松市の実証住宅

浜松物件の場合、実測とシミュレーションの集熱モード判定にずれがあることにより集熱出口温度のばらつきが大きくなったが、同じモードについては集熱出口温度と室温が概ね一致した。実測値からの窓熱貫流率 3.03W/m²K、真空断熱建具を閉めた状態の熱貫流率 1.47W/m²K をシミュレーションに入力した。負荷蓄熱対 (ペットボトル) の対流熱伝達率はCFD 結果である集熱時 6.79W/m²K、非集熱時: 6.16W/m²K をシミュレーションに入れて計算を行った。給湯用熱交換係数の推定値は低温側で少し誤差があるが全体的に同じ傾向になっている。

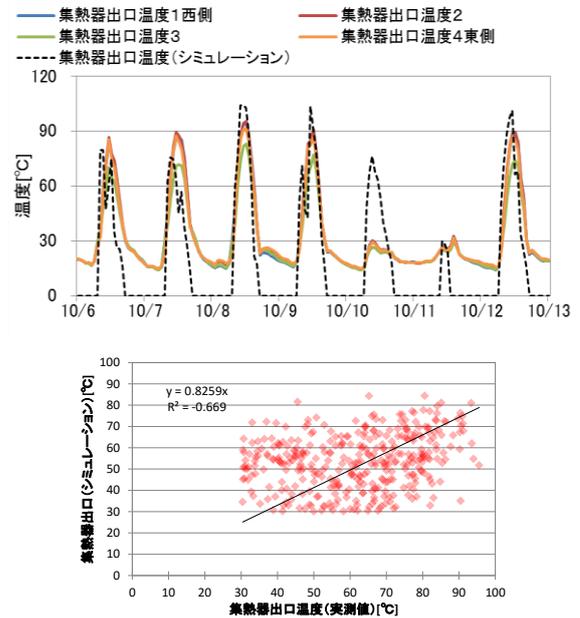


図6 集熱器出口温度比較 (浜松)

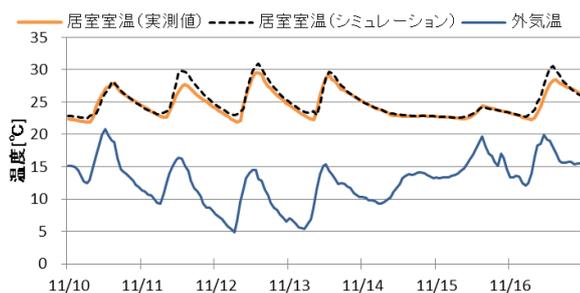


図4 室温比較 (仙台)

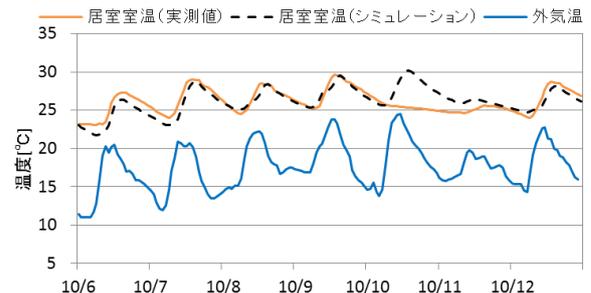


図7 室温比較 (浜松)

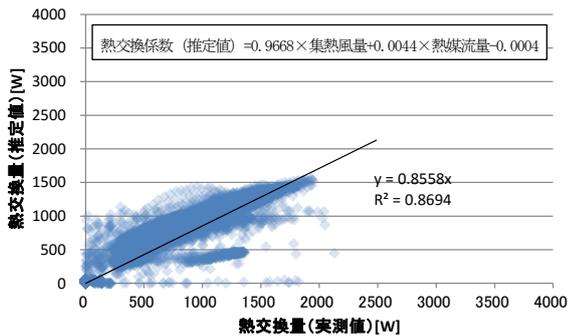


図8 熱交換量比較 (浜松)

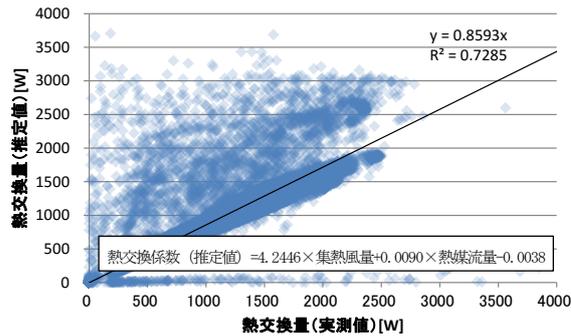


図11 熱交換量比較 (鹿児島)

2.4 鹿児島県鹿児島市の実証住宅

シミュレーションと実測の集熱出口温度は精度よく一致しているが、付加蓄熱体が適用されていないことで基礎コンクリートの蓄熱効果の差に応じて室温が約1°C程度差が発生していると考えられる。シミュレーションでの窓熱貫流率は実測値から1.85W/m²Kを、真空断熱建具を閉めた状態では0.86W/m²Kを入れて計算を行った。

給湯用の熱交換係数の推定については、準蒸暑地である鹿児島実証住宅では暖房運転から給湯への熱交換に切り替わる頻度が多いことで転換時のばらつきが多く発生していると考えられる。

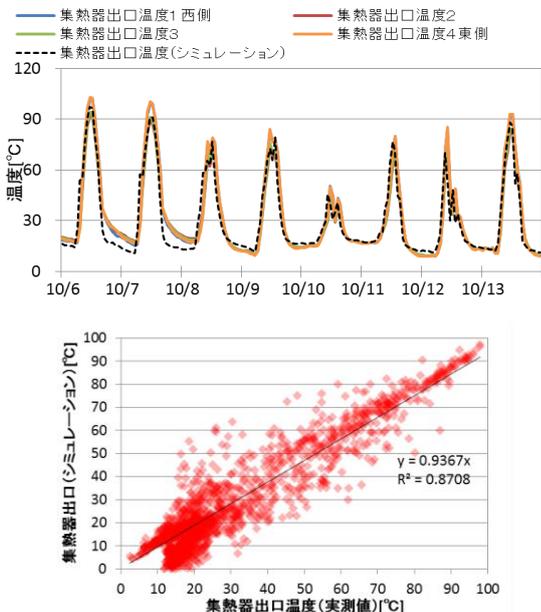


図9 集熱器出口温度比較 (鹿児島)

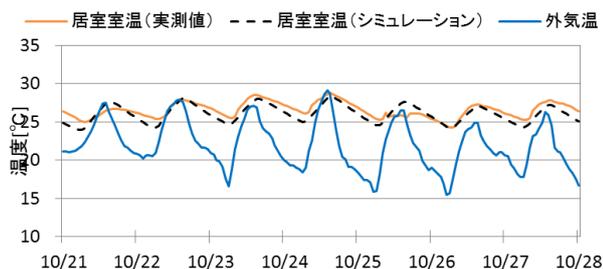


図10 室温比較 (鹿児島)

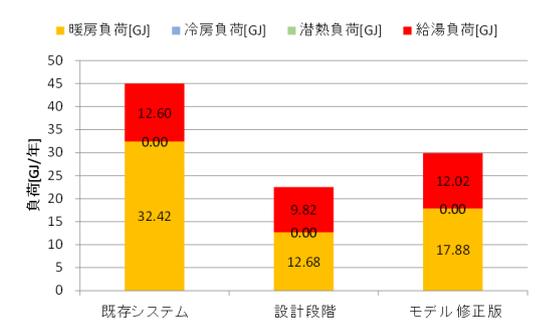
3. 年間シミュレーション

年間シミュレーション計算では標準的な4人家族を想定し、給湯で40°Cの450L/日の湯消費(修正M1モード³⁾の「平日・大」のスケジュールを基に年間平均値である450L/日に合わせるように一部修正)とした。内部発熱は既往研究⁴⁾の機器・人体・照明発熱を1時間間隔のスケジュールで入力して計算を行った。表1にシミュレーション条件を示す。計算は1時間間隔で土壌・基礎コンクリートなどの温度安定を考慮して、1年間助走計算後に対象期間1年間計算を行った。また室温26°C以上、外気温24°C以下の条件では10回/h換気するように設定して中間期の通風効果を反映した。

表1 シミュレーション条件

気象データ	拡張アメダス標準年(2000年) 伊達、仙台、浜松、鹿児島、那覇
計算間隔	1時間
暖房設定温度	20°C
暖房スケジュール	7:00~10:00、12:00~14:00、 16:00~23:00
冷房設定温湿度	26°C/60%
冷房スケジュール	7:00~10:00、12:00~14:00、16: 00~23:00
計算期間	助走期間1月1日~12月31日、 対象期間翌年1月1日~12月31日
計算時間間隔	1時間
給湯使用量	450L/日(40°Cで出湯) 貯湯層:420L
内部発熱	1日13.26kWh
通風計算	室温26°C以上、外気温24°C以下の条件 ⇒10回/h換気

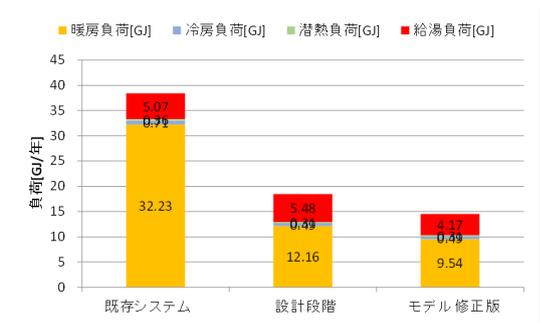
伊達実証住宅の年間熱負荷シミュレーション結果、設計段階の予測より約3割以上年間負荷が高くなった。その原因としては、設計段階で負荷蓄熱体(水ペットボトル)の表面熱伝達率を平均風速から予測(ユルゲスの式 $\alpha_c = 5.8 + 3.9v$)して吸放熱を過大に評価したのと真空断熱建具の性能をカタログ値を使うことで隙間、設置面積などによる熱性能減少を考慮していなかったためと考えられる。その結果、暖房に回す時間が多くなり給湯への供給熱量が少なかった。図12に年間負荷計算結果を示す。



[GJ/年]	暖房負荷	冷房負荷	潜熱負荷	給湯負荷	年間負荷
既存システム	32.42	0.00	0.00	12.60	45.02
設計段階検討	12.68	0.00	0.00	9.82	22.50
モデル修正版	17.88	0.00	0.00	12.02	29.90

図 12 年間熱負荷計算結果 (伊達)

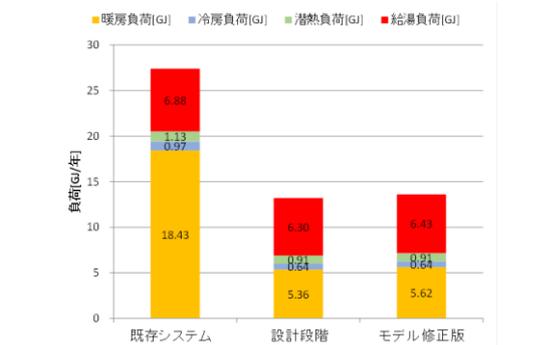
仙台実証住宅の場合は、計画時より躯体断熱強化 (U_A 値 0.46 から 0.33W/m²K) とシミュレーションモデルの精度向上によって、設計段階より暖房負荷が約 22%、給湯負荷が約 24%減少した。



[GJ/年]	暖房負荷	冷房負荷	潜熱負荷	給湯負荷	年間負荷
既存システム	32.23	0.71	0.36	5.07	38.37
設計段階	12.16	0.49	0.31	5.48	18.44
モデル修正版	9.54	0.49	0.31	4.17	14.51

図 13 年間熱負荷計算結果 (仙台)

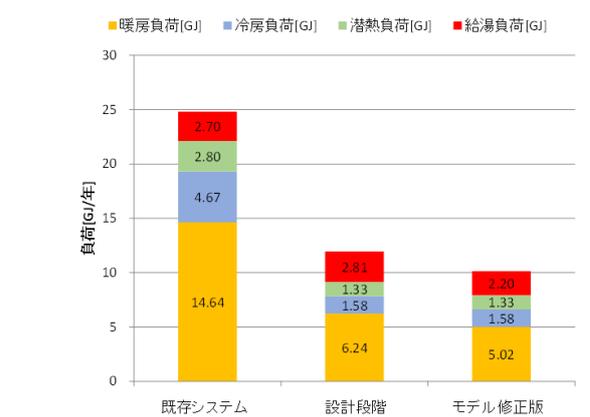
浜松実証住宅の場合、計画時より躯体断熱強化 (U_A 値 0.53 から 0.50W/m²K) したが、負荷蓄熱体の気流考慮と真空断熱建具の性能が計画より下回ったので、暖房負荷は約 5%、給湯負荷は約 2%増加した。



[GJ/年]	暖房負荷	冷房負荷	潜熱負荷	給湯負荷	年間負荷
既存システム	18.43	0.97	1.13	6.88	27.41
設計段階	5.36	0.64	0.91	6.30	13.21
モデル修正版	5.62	0.64	0.91	6.43	13.60

図 14 年間熱負荷計算結果 (浜松)

鹿児島実証住宅の場合は、計画時より躯体断熱強化 (U_A 値 0.77 から 0.62W/m²K) とシミュレーションモデルの精度向上によって、設計段階より暖房負荷が約 20%、給湯負荷が約 21%減少した。



[GJ/年]	暖房負荷	冷房負荷	潜熱負荷	給湯負荷	年間負荷
既存システム	14.64	4.67	2.80	2.70	24.82
設計段階	6.24	1.58	1.33	2.81	11.96
モデル修正版	5.02	1.58	1.33	2.20	10.13

4. まとめ

本章では、冬期実測を行った 4 か所の実証住宅に対して実測とシミュレーション結果を比較することでシミュレーションモデルの精度検討を行った。4 物件ともに集熱器出口温度と室温のシミュレーション結果が実測値と概ね一致していることでシミュレーションモデルの信頼性があると判断させる。しかし、集熱運転モード判定予測やモード変更時の誤差などが今後の課題である。

また、年間シミュレーションを行い設計段階の熱負荷削減効果とシミュレーションモデル修正後の熱負荷削減効果の差を確認した。

参考文献

- 1) 宇田川光弘、太陽エネルギー利用建築外皮のシミュレーションモデル、2009、JSES/JWEA 研究発表会
- 2) 崔 榮晋 他、実験棟における冬季の床下吸放熱特性の評価、空気式太陽熱集熱を利用した住宅のシステム性能改善に関する研究 (その 1)、日本建築学会環境系論文集 79(697)、pp.271-280、2014 年 3 月
- 3) 自立循環型住宅への設計ガイドライン、財団法人 建築環境・省エネルギー機構
- 4) 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、財団法人建築環境・省エネルギー機構
- 5) 宇田川光弘、パソコンによる空調和計算法 オーム社 1986 年