

戸建住宅における空気式太陽熱集熱システムの性能向上に関する研究

その1. 実験棟実験とシミュレーションモデル

集熱器	熱交換係数	貯湯タンク
地中温度	付加蓄熱	シミュレーション

1. はじめに

これまで広く普及してきた空気式集熱システムは床下空間温度が高くなるので、外気に接する基礎立ち上がり部や地面に接する基礎コンクリート下面から熱損失が発生すること、基礎コンクリート表面での吸放熱効率が低いことにより、昼間のオーバーヒート発生や夕方以後の室温低下を抑制する効果が不十分であることが課題である。本研究では、シミュレーション計算による既存太陽熱システムの性能把握や問題点の検討を行い、集熱面、蓄熱の方式及び容量、建物の断熱性能等の変化によるシステムの熱特性の効果を検討し、太陽熱システムの適用する際のシステムの効果やシステムの性能を最大化する改善案を提示することを目的とする。本報では、本システムを適用した実験棟にて求めた実験結果に基づいてシミュレーションモデルを作成し、その妥当性を検討する。

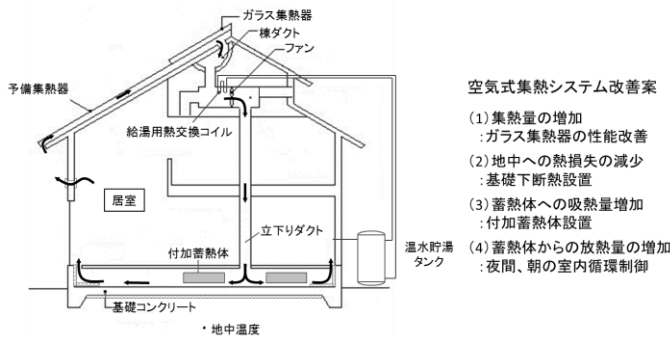


図1 空気式集熱システムの概念図

2. 対象建物

本研究では2012年3月に静岡県浜松市に建設された3棟の実験棟を対象とした。居室、床下空間、小屋裏、計測器室の4室で構成され、実験棟の断熱厚さや開口部熱性能は住宅性能表示基準の等級4相当である。その他の実験棟の詳細については既往研究¹⁾を参照されたい。

3. シミュレーションモデル作成

本システムのシミュレーションには、集熱器、貯湯タンク、ハンドリングボックス内の熱交換、地中温度、付加蓄熱体に関するモデル化が必要である。本検討においては、東京大学前研究室で開発した熱回路網計算ツールExTLAを用いた。

3-1 集熱器²⁾

集熱器の入口温度、集熱器相当外気温、集熱器の総合熱貫流率などから集熱器の出口温度と集熱量が求められ

正会員	○崔 榮晋 ^{*1}	正会員	高瀬 幸造 ^{*2}
正会員	小原 克哉 ^{*3}	正会員	前 真之 ^{*4}
正会員	佐藤 誠 ^{*5}	正会員	盧 炫佑 ^{*6}

る。空気式集熱器の計算モデルの精度検討のために、実験棟での外気条件、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、実験とシミュレーションの集熱器の出口温度を比較した。

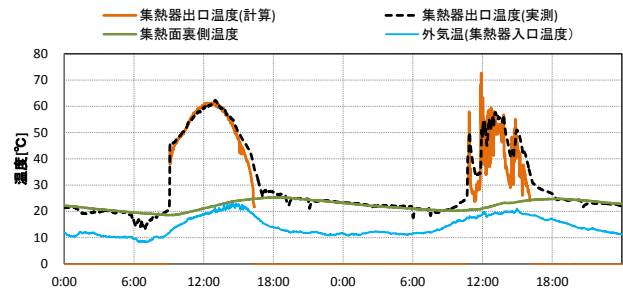


図2 空気式集熱器の精度検討(2012年11月26日~27日)

図2にて、予備集熱面積3.45m²、ガラス集熱面積1.32m²の条件にて実験を行った2012年11月26日からの2日間の結果を示す。実験結果とシミュレーションとで多少の差はあるものの、十分な精度が確保されていた。

3-2 給湯用熱交換コイル熱交換量推定式

ハンドリングボックス内で、集熱した空気と給湯での熱供給に使われる不凍液との熱交換量を計算するため、実験結果の集熱空気温(T_{out})や不凍液温度(T_{in})の差、集熱風量(V_c)、空気の定圧比熱(cp_{air})と不凍液の温度上昇分による熱交換量(Q_{hb})の相関性を回帰分析から求めた。式(1)に集熱空気温度基準の熱交換量推定式を示す。回帰分析から求めた熱交換係数(C_h)は式(2)のように集熱風量(V_c)と熱媒流量(F_t)で表現できる。

$$Q_{hb} = (T_{out} - T_{in}) \cdot V_c \cdot cp_{air} \cdot C_h \quad \dots (1)$$

$$C_h = 0.00061 \cdot V_c - 0.00057 \cdot F_t - 0.00301 \quad \dots (2)$$

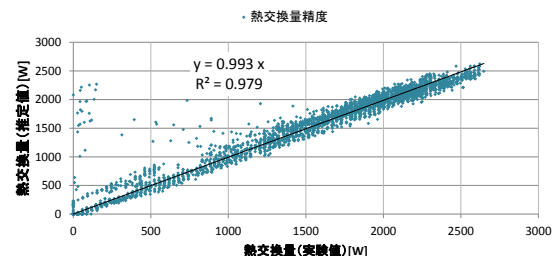


図3 熱交換推定式の精度検討(2013年9月20~22日)

図3に2013年9月20日からの3日間の実験による熱交換量の結果と推定式結果の関係を示す。推定式による結果と実験結果の相関比が約99.3%で、シミュレーションに用いるモデルとして妥当と判断した。

3-3 貯湯タンク

貯湯タンクでは内部の水の対流を考慮するために、高さ方向に5分割して計算した。貯湯タンクの内部温度は、給湯用熱交換量、タンク表面からの熱損失量、上下層との温度差と移動流量による熱移動量から計算する。貯湯タンク内部の層間移動流量は図4のように、下層の温度が上層の温度より高い場合、層の容量分混せて反復計算を行う。給湯用熱交換量はタンク入口の不凍液温度とタンク1層の温度差、不凍液流量、実験から求めた給湯用熱交換コイルの熱交換係数から計算を行う。

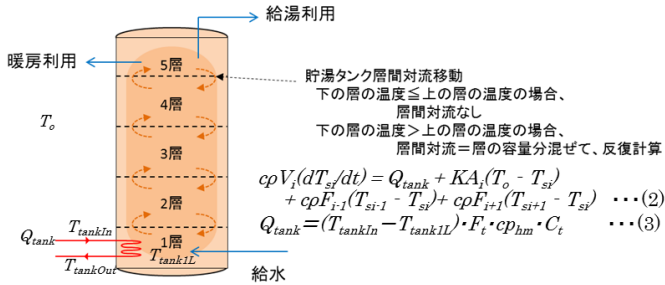


図4 貯湯タンクの計算モデル

3-4 地中温度と付加蓄熱体の計算モデル

蓄熱効果を上げる方法として床下空間に付加蓄熱体として水パックを用いた提案を行う。この効果を検討するために、水パック計算モデルを作成した。水パックの表面での熱伝達と集熱空気温度の変化による熱収支計算式から表面の熱流を計算し、パック内での水の温度分布によって生じる対流を考慮するため、上下3段に分けて計算した。また、蓄熱体への吸熱による床下空気の温度変化を考慮するために、図5のように、床下空間と水パック(1000L)を横側に分けて(床下空間12室、水パック4列3段)計算モデルを作成した。

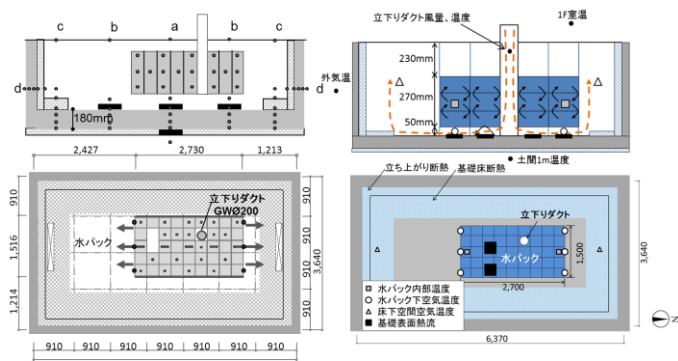


図5 床下空間計算モデルと実験結果との比較ポイント (左:実験、右:シミュレーションモデル)

本システムでは、床下空間の基礎コンクリートを蓄熱体として利用するため、地中温度の正確な計算が重要と

なる。ここでは、既往文献³⁾の推定式を使用して地中5m温度を計算する。図6に地中温度計算の概念図を示す。

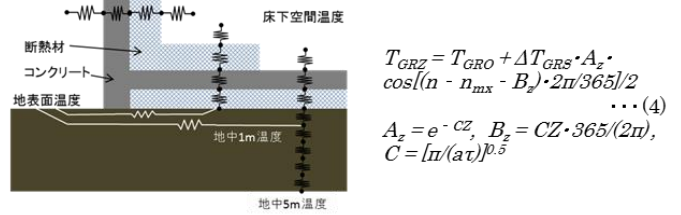


図6 地中温度計算の概念図

図7のように床下空間空気温度は概ね一致する結果となったが、最大2℃以下の差が生じていた。これは今回の計算モデルでは地中温度の平面温度分布を考慮していないのが原因と考え、今後の課題である。

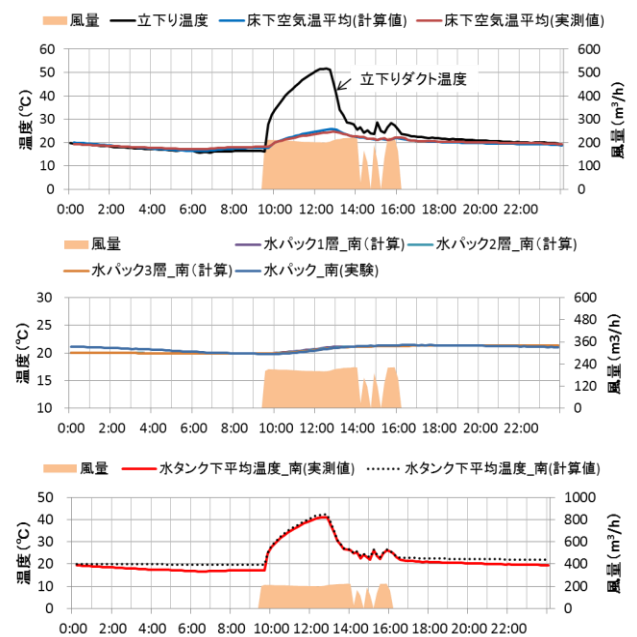


図7 水パックモデルの精度検討 (2013年1月28日)

4. まとめ

本報では、既往研究や実験結果を参考にしたシミュレーションモデルの作成・精度検討を行った。次報では、シミュレーションによるシステム性能評価を行う。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 宇田川光弘他, 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, JSES/JWEA 研究発表会, 2009年
- 3) 宇田川光弘, パソコンによる空調計算法, オーム社, 1986年

*1 東京大学大学院 特任研究員・博士 (工学)
 *2 東京理科大学 助教・博士 (工学)
 *3 東京大学大学院 大学院生
 *4 東京大学大学院 准教授・博士 (工学)
 *5 佐藤エネルギーリサーチ 代表取締役・博士 (工学)
 *6 OM ソーラー 取締役・技術部長・博士 (工学)

*1 Project Researcher, the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
 *2 Assistant Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.
 *3 Graduate Student, Dept. of Architecture, the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
 *4 Assoc. Prof., the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
 *5 CEO, Satoh Energy Research Co., Ltd., Dr. Eng.
 *6 Director, R&D Department, OM Solar Inc., Dr. Eng.