

太陽熱フル活用を目的とした空気式太陽熱集熱システムを用いた戸建住宅に関する研究

第1報 3棟の実験棟の概要と基礎蓄熱部の蓄熱性状

A Research of Detached Houses with Air-Based Solar System Intended to Full Solar Energy Use

Part.1 Abstract of Three Experimental Hut and Thermal Characteristics of Foundation

正会員 ○高瀬 幸造 (東京大学)

正会員 崔 榮 晋 (東京大学)

正会員 前 真之 (東京大学)

正会員 小原 克哉 (東京大学)

正会員 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ(株))

正会員 盧 炫 佑 (OMソーラー(株))

正会員 駒野 清治 (OMソーラー(株))

Kozo TAKASE*¹ Youngjin CHOI*¹ Masayuki MAE*¹ Katsuya OBARA*¹

Makoto SATOH*² Hyunwoo ROH*³ Seiji KOMANO*³

*¹ The University of Tokyo *² Satoh Energy Research *³ OM Solar

In these days, there is much more needs for Solar-Energy. In this research we deal with solar house system with solar heat collector which moves air. There are three important elements, Heat load determined by the skin performance, the amount of heat collector on the roof, and the amount of thermal mass. We built three hut in Hamamatsu City, and we've been trying some study for improving the system. In this report, we surveyed the property of heat loss through the foundation used as thermal mass.

1. はじめに

近年、有効な自然エネルギー利用が求められているが、中でも太陽エネルギーを使用した暖房・給湯システムは、従来より様々なものが提案されている。ここでは空気式太陽熱集熱を対象とし、既往研究でほとんど注目されてこなかった建物負荷と集熱量、蓄熱部位での蓄放熱量のバランスに重点を置いた検討を行った。

2. 既存の空気式太陽熱集熱システムの課題点

本研究で扱う空気式集熱暖房システムの概念図を図1に示す。屋根で集熱された外気は立下りダクトから床下空間に供給され、対流(床下空間から居室への温風の吹き出し)と貫流(温まった床から居室への貫流による熱移動)によって室内に供給される。またそれ以外については、一部は基礎コンクリートに吸熱されて蓄熱されると同時に、床下空間の基礎立ち上がり部と室内の壁・天井から隣室あるいは外気への貫流による熱損失が発生する。基礎への蓄熱量が少ないと昼間に室温が上昇してオーバーヒートが発生し、夜間放熱量が少なくなって暖房負荷が増加する。そのため、冬期の暖房負荷を下げるためには、断熱性能と窓からの日射取得などの建物条件に適した、①集熱量、②蓄熱量の適切な設計が必要である。また、蓄熱分をロスなく必要な時間帯に使用できているかは、③放熱量に関係している。①集熱量は、気象条件、集熱面積や集熱器の性能によって変わる。②蓄熱量は蓄

熱体の熱容量や床下空間、外部環境(外気や土)との温度差、表面の熱伝達率に影響される。③放熱量は蓄熱体の温度と表面積、表面熱伝達率に影響される。よって、本システムの性能向上には、これらのバランスを把握し、更に制御(室内循環など)による運転時間、風量・風速

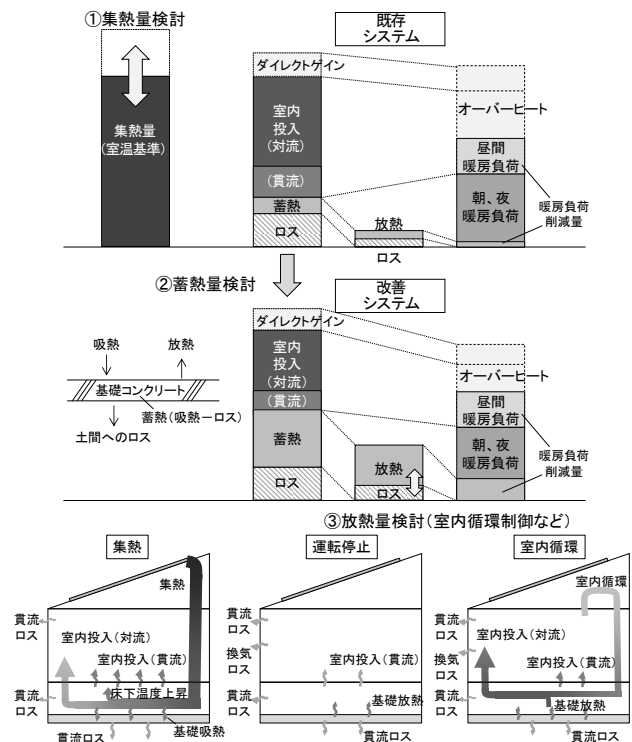


図1. 空気式太陽熱暖房システムの概念図

の影響に関する検討が必須である。

既往研究では、ある特定の住宅についての集熱・蓄熱の検討結果を示したもの^{*)}はあるが、同じ条件での集熱量・蓄熱効果の違いによる効果や他暖房方式との比較が不可能である。また、シミュレーションによる検討では、1次元の熱回路網計算によって空気式太陽熱集熱システムの暖房・給湯負荷を検討したものはあるが、床下空間を積極的に温めて蓄熱体とする方式であるため、複雑な温度分布を示す土中や基礎内部温度を正確に再現した熱負荷の評価が必要である。土中・基礎内部の温度分布を検討した例はあるものの、建物全体をモデル化して省エネルギー効果まで評価した例は国内において未だない。そこで本研究では、同時比較が可能な3棟の実験棟を建設し、詳細測定を行うと同時にシミュレーションによる熱負荷の低減効果を検討することで、同じ環境条件での集熱性能・蓄放熱性能・断熱性能に対する建物全体の総合的な熱収支を求め、太陽熱利用システムの改善を目的とした検討を行う。

空気式太陽熱暖房システムの性能改善のためには、各要素技術の開発だけでなく、各要素の関係による全体システムのバランスが重要である。研究全体の結果を本稿だけで述べるのは不可能なので、本稿では実験棟の概要を述べたうえで、実験を行った1年目の冬期に測定を行った結果の一部として、集熱面積を変えた条件下での基礎の蓄放熱状況を報告する。

3. 実験棟の概要

3.1 建物概要

本研究で建設された実験棟は、静岡県浜松市に同じ規模のものが3棟並置されている。実験棟の写真を図2に示す。実験棟の延床面積は33.12m²で、主開口が真南に向くよう配置されており、内部は図3のように、居室、床下空間、小屋裏、計測器室の4室で構成される。実験棟の断熱材は住宅性能表示基準の等級4に相当する厚さとした(表1)。実験棟①は基礎下の断熱材を施工せず、熱損失係数Q値(実測値)は3.4W/m²Kであった。実験棟②③は、基礎下の断熱材を施工しており、Q値は2.7W/m²Kであった。なお今回のQ値測定では、床下空間を積極的に加熱する暖房方式の評価のため、居室の床板を取り外して居室と床下空間を一室として測定した。集熱パネルは横方向に4列設置され、各列に設置されたダンパーの操作で集熱面積を調節可能である(図4)。1列あたり、予備集熱面(太陽光発電パネル)3.7m²、ガラス集熱面1.25m²、全体の集熱面積は予備集熱面14.80m²、ガラス集熱面5.00m²である。なお、窓の外側に遮熱シートを設置し、南窓日射取得なしとした。

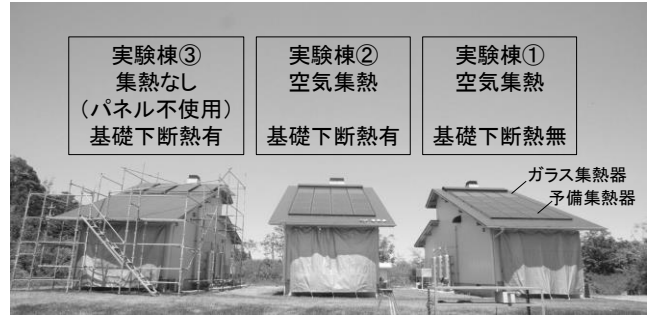


図2 実験棟の概観

表1 実験棟の仕様

基礎の大きさ(外寸)	立ち上がり：幅150mm * 高さ600mm 平面：基礎床スラブ厚さ180mm*幅3790mm*長さ6520mm
壁	カラー鋼板, PB t=9.5mm, 通気層 t=36mm, 透湿防水シート, 構造用合板 t=9mm, 高性能GW16K 100mm, PB t=12.5mm
床	構造用合板 28mm
天井	構造用合板 t=28mm, フェノールフォーム t=80mm, 空気層 40mm, PB t=9.5mm
屋根	樹脂系ルーフィング t=0.42mm, 構造用合板 t=12mm, GW32K t=50mm
南面、北面高窓開口部	Low-E(断熱)ガラス+アルミ複層障子・樹脂複合枠(下枠二重断熱)
基礎下断熱	押出法XPS 3種B t=50mm (実験棟2,3のみ)
基礎外周部	立ち上がり：押出法XPS 3種B t=50mm 平面：押出法XPS 3種B t=50mm (幅700mm)
計測室と物置の仕切り扉	シナベニア t=3mm, GW32K t=25mm, シナベニア t=3mm (気密パッキン取り付け)

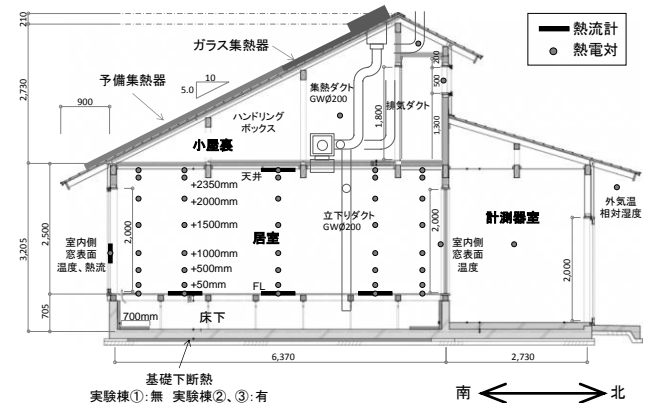


図3 実験棟の断面図、測定点

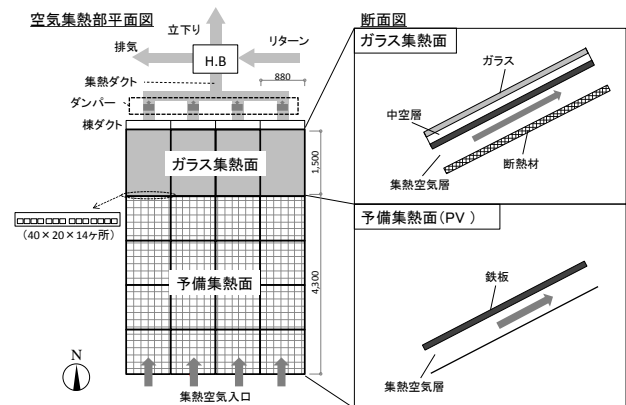
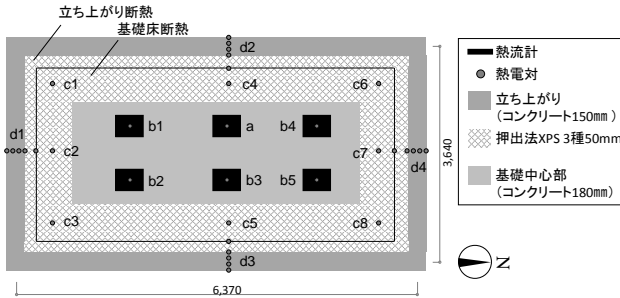


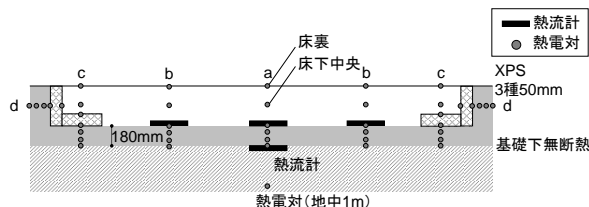
図4 空気式集熱器の仕様

3. 2 測定概要

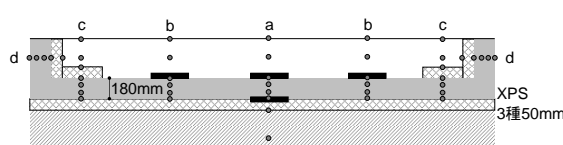
集熱部や基礎周りでの蓄放熱の状況を詳細に測定するため、外部気象（温湿度、水平面・集熱屋根面の全天日射量、風向風速など）、居室の床・壁・天井・ガラス面の熱流センサー（図3）、集熱パネル（図4）内部の出入口温度、床下空間の基礎表面熱流センサーや各部位の温度センサー（図5）等を設置した。測定は1分間隔とした。



実験棟①、②、③床下平面図



実験棟①床下断面図



実験棟②、③床下断面図

図5. 床下温度、熱流の測定位置

3. 3 実験概要

空気式集熱暖房システムの場合、床下空間と基礎を蓄熱体に利用するため、床下の基礎まわりの断熱状況によって基礎への吸放熱性状は大きく変わる。本実験では、3つの棟で同時測定したデータの解析が可能となるが、まず実験棟①・②を対象として基礎下の断熱材の有無による違いについて検討を行った結果を本報では示す。表2が実験条件である。

表2 実験条件

	集熱面積		設定風量 [m³/h]	測定期間
	予備集熱[m²]	ガラス[m²]		
実験A	7.4	2.5	120	2012年12月29日 ～2013年1月6日
実験B	14.8	5.0	240	2013年1月7日～14日

4. 実験結果

4. 1 基礎下断熱の効果

まず実験Aにて、集熱パネルは中央2列（予備集熱面

積7.4m²、ガラス有効集熱面積2.5m²）のみ使用し、集熱時の風量は約120m³/hで集熱運転を行い、基礎下の断熱材の有無による集熱時の吸放熱量の変化と居室のエアコン消費エネルギーの変化を比較した。なお集熱量の計算では、室内の暖房負荷への影響を確認するには式(1)で示す室温基準集熱量を、パネルの効率を計算するには式(2)で示す外気温基準集熱量を用いた。

$$Q_c = c_f \times G_r \times (T_{out} - T_r) \quad \dots (1)$$

$$Q_c' = c_f \times G_r \times (T_{out} - T_{in}) \quad \dots (2)$$

(Q_c : 室温基準集熱量[W]、 Q_c' : 外気温基準集熱量[W]、 c_f : 空気比熱[J/kgK]、 G_r : 空気流量[kg/s]、 T_{out} : ガラス集熱パネル出口温度[°C]、 T_{in} : 予備集熱パネル入口温度[°C]、 T_r : 室温[°C])

実験日の外気温、水平面日射量、集熱状況を図6に示す。6日間の集熱量合計は実験棟①が75.4MJ、実験棟②が72.3MJで約4.2%の差となりほぼ等しかった。

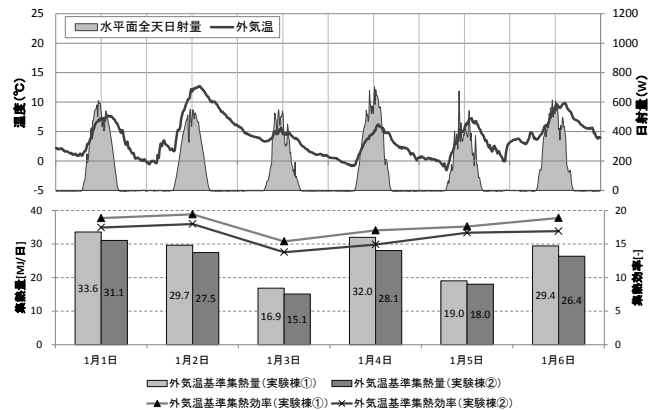


図6. 気象状況・集熱量及び集熱効率(1月1日～6日)

図7,8に基礎断熱有無による計測室室温、エアコン消費エネルギー、基礎表面の吸放熱状況の時系列データを示す。基礎下断熱がない実験棟①の場合、断熱がある実験棟②より朝立ち上がりのエアコン消費エネルギーが大

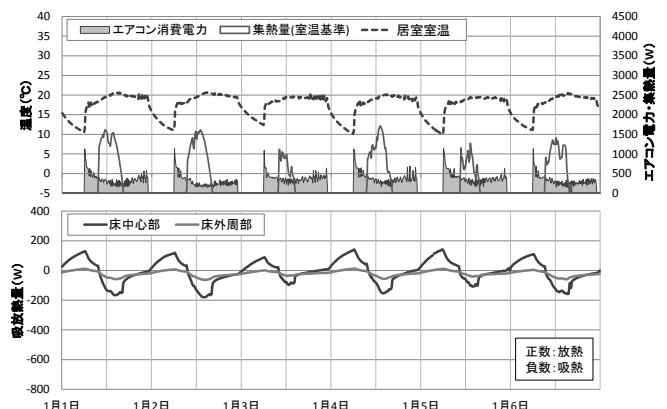


図7. 実験棟①の室温、集熱量、エアコン消費電力、基礎吸放熱

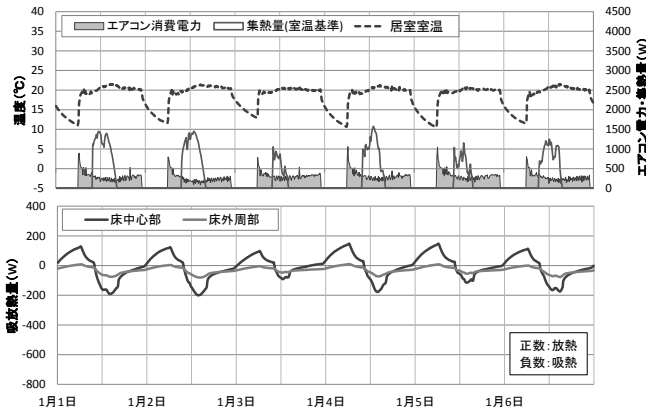


図8. 実験棟②の室温、集熱量、エアコン消費電力、基礎吸放熱

大きく、室温設定温度 20℃まで到達するのに時間がかかった。この結果は実験棟①と②の Q 値の差（土壌への熱損失の大小）によるものと考えられる。基礎からの放熱量が大きく変わらなかったのは、基礎熱容量に対して集熱量が小さかったためと考えられる。

4. 2 集熱量変化による暖房効果検討

次に、集熱量の不足を補うために集熱面積を 2 列から 4 列（予備集熱面積 14.8m²、ガラス有効集熱面積 5.0m²）とした際の基礎下断熱の影響と室内温熱環境を評価した。測定期間は 2013 年 1 月 7 日～14 日（図 9）である。

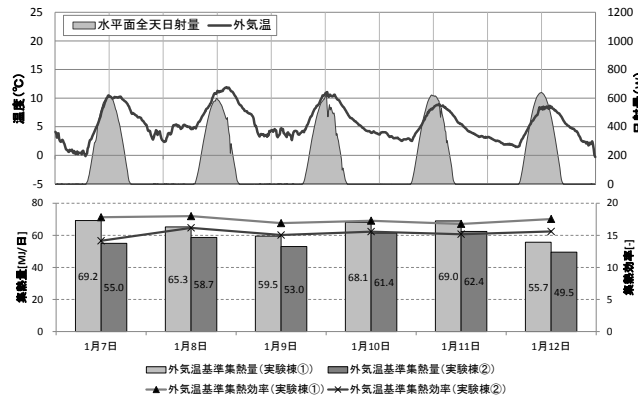


図9. 気象状況・集熱量及び集熱効率(1月7日～11日)

基礎への吸熱量は実験棟①106.3MJ、実験棟②95.6MJ と大差はないが、集熱停止時の基礎からの放熱量はそれぞれ 18.5MJ、28.1MJ となり、基礎下断熱を設置することにより放熱量は約 1.5 倍に増加した（図 10,11）。

図 12 に、実験 A,B の測定期間中の実験棟①と②の基礎各部位での吸放熱状況を示す。実験棟①では基礎への期間積算放熱量は 106.3MJ、放熱量は 18.7MJ で、吸熱した熱の約 17.6%が放熱する。実験棟②は 95.6MJ 吸熱して 28.1MJ 放熱することで、約 29.4%の吸放熱比となった。また、グラフの左側（a～b5）は基礎床中央部になるが、実験棟②ではここでの吸放熱比は 50%を超える箇所もあった。一方で、基礎床外周・隅部では吸熱した

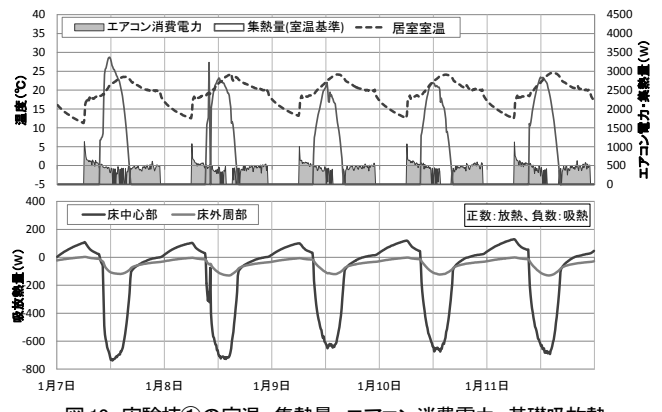


図10. 実験棟①の室温、集熱量、エアコン消費電力、基礎吸放熱

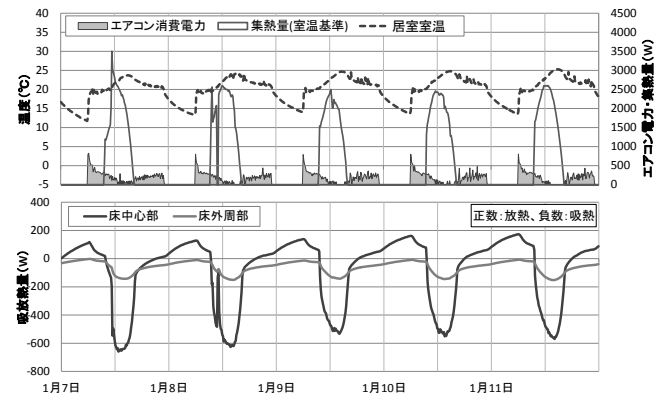


図11. 実験棟②の室温、集熱量、エアコン消費電力、基礎吸放熱

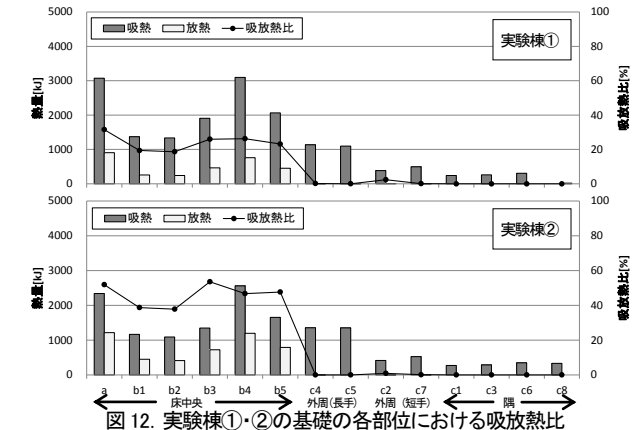


図12. 実験棟①・②の基礎の各部位における吸放熱比

後に外気や土中への熱損失となってしまい、実験棟①・②ともに非集熱時に室内に放熱されることはなかった。

5. まとめ

実験棟による集熱・蓄放熱に関する実験から、蓄熱部である基礎の熱容量に対して過少でない集熱量を確保する必要性、基礎床中央からの放熱量を増加させるための基礎下断熱の必要性、外気の影響が大きい基礎床外周部や立ち上がりでの断熱補強による熱損失の必要性が明らかとなった。今後は、暖房エネルギー消費量の推定やより有効な床下での蓄熱システムの提案、給湯等も考えたシステムの年間評価が課題である。

【参考文献】1) 例えば赤嶺ら、「空気集熱式ソーラーシステムの省エネルギー効果の評価に関する研究 第1報」, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2010. 9

【謝辞】本研究は平成23～24年度NEDO太陽熱エネルギー活用型住宅技術開発助成事業（実施者：OMソーラー㈱、東京大学、工学院大学）により実施したものである。また、実験に際してOMソーラー㈱メンバーと東京大学前研究室メンバーのご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。