

令和元年6月30日現在

機関番号：31307

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06616

研究課題名(和文) 顕熱交換型太陽熱集熱システムを用いた基礎断熱床下空間のカビリスク低減手法の構築

研究課題名(英文) Development of mold risk reduction method of crawl space with vertical edge insulation using solar heat collection system combined with sensible heat exchanger

研究代表者

本間 義規 (HONMA, Yoshinori)

宮城学院女子大学・生活科学部・教授

研究者番号：90331272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：基礎断熱した床下空間由来の微生物汚染を防止するため、顕熱交換型太陽熱集熱(SHE-SAC)システムの開発を行い、かつ実住宅において実測評価を行った。また、移流と連成した多数室熱湿気性状解析プログラムにSHE-SACシステムモジュールを組み込んでパラメータ解析を行い、微生物汚染を生じさせない床下熱湿気環境を検討した。

札幌の気候条件でSHE-SACシステムを利用する場合、適切な装置容量が確保されれば顕熱交換しなくても床下空間の湿度低減に効果があることが明らかとなった。また、盛岡、仙台以南は、地域気象条件に応じて顕熱交換装置を用いることが必要であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

基礎断熱工法は、住宅の気密性能や耐久性向上など多くの利点を有する一方、高湿な期間が比較的長い温暖地では梅雨時期から夏期にかけて微生物汚染が生じやすい。微生物増殖抑制には、材料表面を効率的に乾燥させるしくみが求められるが、できるだけエネルギーを使わないシステムが望ましい。居住者対応に依存せず、エネルギー自立型の熱交換型太陽熱集熱システムを応用することより、床下の微生物汚染のリスクを減少させるとともに、居住者の健康維持に寄与することができる。

研究成果の概要(英文)：In order to prevent microbial contamination from the crawl space with vertical edge insulation system, the Sensible Heat Exchange type solar heated Air Collection (SHE-SAC) system are developed, and evaluated this system installed in a real house. Moreover, the SHE-SAC system module was incorporated into the Heat, Air and moisture transfer analysis program coupled to the advection to perform parameter analysis, and the risks caused by high moisture environment in the crawl space causing microbial contamination was examined.

When using the SHE-SAC system in Sapporo's climatic conditions, it became clear that there is an effect on the relative humidity making stable to moderate in the crawl space even without sensible heat exchanger if the appropriate device capacity is secured. In addition, it was found that Region south of Morioka and Sendai needed to use a sensible heat exchanger according to the local weather conditions, especially relative humidity.

研究分野：建築環境工学

キーワード：基礎断熱 空気集熱装置 真菌 熱水分同時移動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

基礎断熱工法は、床下空間の湿度環境改善や気密施工の合理化などの利点を有し、床断熱工法に代替する工法として北海道内で研究開発された。さらに、次世代省エネルギー基準への適用に向けた基礎断熱工法普及検討委員会（建築環境省エネルギー機構）での検討を経て、1999年から全国適用も開始している。住宅金融支援機構のフラット35を利用した住宅での基礎断熱工法の採用率（全国）をみると、2002年の5.1%から2007年8.6%、2012年には11.9%と上昇しているが、それに伴い、特に梅雨時期を含む夏期にカビが発生する被害も増加していることが報告されている。

こうしたリスクに関し、申請者らは、基礎断熱した床下空間での浮遊真菌増殖が及ぼす影響について既に研究を開始しており、東北エリア（岩手県）で基礎断熱床下の微生物汚染の実態調査を実施するとともに、実験住宅を用いて基礎コンクリートの水セメント比が床下温湿度と微生物汚染にどのように影響するかの検討を行ってきた。

また、本研究で活用予定の太陽熱集熱パネルは、太陽光発電パネルによるファン動力供給の自立型補助暖房システムであるが、シンプルな反面、利用期間や時間帯が限定される。しかし、温暖地では、冬期のベース暖房への利用、不在時にも確実な常時換気を実現することによる空気質維持および湿害リスクの低減、また、熱交換装置と組み合わせたシステムとすることで、夏期においても加湿することなしに簡易に床下空間の乾燥化を促進させる効果が期待できる。

基礎断熱した床下空間の温湿度環境の予測に関しては、換気と連成した多数湿熱湿気シミュレーション手法を既に確立しており、またパッシブ換気システムによる床下給気や床下暖房に関する研究実績を有している。こうした研究蓄積に加え、床下における真菌増殖モデルを組み込んだ総合的・直接的な基礎断熱床下空間でのリスク低減手法を構築することは、今後のさらなる全国的な普及展開を考える際に特に重要となる。

2. 研究の目的

基礎断熱工法は、住宅の気密性能や耐久性向上など多くの利点を有する一方、高温な期間が比較的長い温暖地では梅雨時期から夏期にかけてカビ被害が生じやすいことが指摘されている。

カビ発生抑制には、材料表面を効率的に乾燥させる除湿器が有効であるが、できるだけエネルギーを使わないシステムが望ましい。その他のカビ発生抑制の手段として、夏期には殆ど活用できない太陽熱空気集熱器(Solar heat Collector)を有効活用し、床下湿度環境を改善するアイデアがある。居住者対応に依存せず、通年の稼働率向上の面でも効果的な本システムは、冬期の省エネ効果や温熱環境の改善も併せて達成することができる。こうしたシステムの構築について、実測とシミュレーションの両面から検討することを本研究の目的としている。

3. 研究の方法

基礎断熱した床下空間由来の微生物汚染を防止し、かつ冬期の省エネルギー性能・温熱環境の向上を図るため、顕熱交換型太陽熱集熱(SHE-SAC)システムの開発を行い、かつフィールドでの実測評価を行う。また、移流と連成した多数室熱湿気性状解析プログラムにSHE-SACシステムモジュールを組み込んでパラメータ解析と気流解析を行うとともに、本研究で開発する微生物増殖予測プログラムを用いて、微生物汚染を生じさせない床下熱湿気環境を模索する。最終的に地域気象条件に基づく必要パネル面積等の設計資料の作成等を行い、普及を図る。

1) 顕熱交換型太陽熱集熱(SHE-SAC)システムの開発

本研究で利用する太陽熱空気集熱パネル(SolarVenti Industrial: Denmark)は、図に示すように内蔵する太陽電池によりファンを稼働し、集熱器裏面の微細な穴から外気を取り入れて加温した温風を供給する装置であり、稼働に際して外部動力を全く必要としない。夏期に高温多湿な外気をそのまま加熱供給することは高湿化の原因となるため、顕熱交換器(SHE: Sensible Heat Exchanger)を利用し、顕熱のみを利用するシステムの構築を検討する。顕熱交換効率を適度にコントロールすることで床下への供給熱量を決定し、一方、床下空間の昇温に寄与しない排熱は、夏期におけるパッシブ換気システムの換気動力として活用する。

2) SHE-SACシステムを用いたフィールド実測

実大住宅にSHE-SACシステムを設置、基礎断熱した床下空間に熱交換した空気を送風し、床下の温湿度性状および浮遊真菌濃度を測定する。太陽熱集熱パネルの性能測定項目は、集熱効率、太陽電池セル発電量およびファン風量、顕熱交換装置は熱交換効率および風量である。また床下側環境測定は、空間温湿度、土間スラブ・基礎壁面の熱流、浮遊真菌量および表面付着真菌量の測定を計画している。フィールド実測は平成28~29年度中の間、東京および札幌で1年以上の期間で実施する(真菌サンプリングに関しては月1回以上測定)。

3) 温風床下吹き出し効果に関する熱湿気性状シミュレーション

移流を考慮した多数室熱湿気性状解析プログラムにSHE-SACシステムの性能解析モジュールを組み込むことを計画している。太陽熱集熱パネル自体はSolarVenti Industrial社の製品であるが、その解析モジュールは提供されていないわけではない。従って、解析に必要な日射量、集熱器入口温度、外気温度、空気流量、顕熱交換効率などが測定すべきデータであり、フ

フィールド実測からそれらを得る。

4) 解析プロセスの妥当性検証

顕熱交換型太陽熱集熱 (SHE-SAC) システムを用いた実住宅でのフィールド実測結果とシミュレーション解析結果とを比較, 解析プロセスの妥当性を検証する。特に, 床下の熱湿気性状の一致度合と真菌増殖の予測が可能となれば, 微生物汚染を防止するうえで非常に有効である。

4. 研究成果

基礎断熱した床下空間由来の微生物汚染を防止し, かつ冬期の省エネルギー性能・温熱環境の向上を図るため, 顕熱交換型太陽熱集熱 (SHE-SAC) システムの開発を行い, かつフィールドでの実測評価を行った。また, 移流と連成した多数室熱湿気性状解析プログラムに SHE-SAC システムモジュールを組み込んでパラメータ解析を行い, 微生物汚染を生じさせない床下熱湿気環境を模索する。

1) 顕熱交換型太陽熱集熱 (SHE-SAC) システムの開発

SHE-SAC システムの性能設計について実施し, シミュレーション予測モデルを作成した。SHE-SAC システムの P-Q 特性曲線を(1)式で近似する。

$$Q = \sqrt{\frac{P_0 - \Delta p}{b}} = \sqrt{\frac{\gamma_i}{2 \cdot b} \cdot \left(-P_0 + \Delta p \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

図 1 に示す仮想ファンを用いるとすると本システムの合成 A は $A=82.8\text{cm}^2$ であり, その圧力は日射量と圧力差の関係から算出する (図 2)。

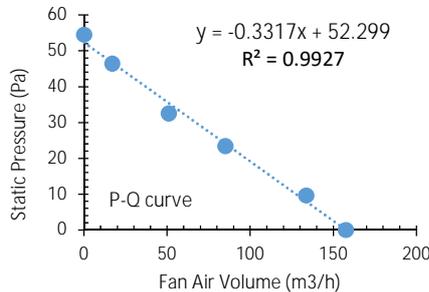


図 1 装置ファンの P-Q 特性

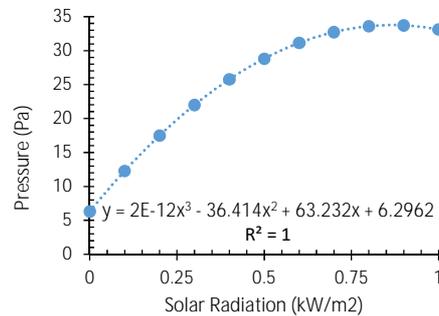


図 2 日射量とファン圧力の関係

$$P = -b \cdot Q^n + P_0 \quad (2) \quad Q_{9.8} = \left(\frac{1}{b} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot (9.8)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

$$Q = a \Delta p^{\frac{1}{n}} \quad (4) \quad Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (5)$$

$$\Delta p = P_0 - P \quad (6) \quad \alpha A = 0.627 \cdot \sqrt{\rho} \cdot Q_{9.8} \quad (7)$$

これらのロジックを前提として, 解析には有効開口面積および開口圧力を組み込む。ファン静圧 P_0 とし, ファン流量 (1) 式を用いて, (2) 式で P-Q 特性を近似する。9.8Pa のときの流量 $Q_{9.8}(\text{m}^3/\text{h})$ を (3) 式に変形, 一方, 流量・差圧関係式は (4) 式, (5) 式で記述すると, 装置の有効開口面積 $A(\text{cm}^2)$ は (7) 式となる。

実験によって求める機器特性もこの形で整理した。なお, 今回用いた顕熱交換型は一般的な直交流型であり, 伝熱単位数 (NTU) を N_h として

$$\phi_h = \frac{\Psi N_h}{1 + \Psi N_h} \quad (8)$$

とし, 対数平均温度差の修正係数 は実験データを 3 次多項式近似することで求めた。

2) SHE-SAC システムを用いたフィールド実測

SAC システムを組み込んだ 3 軒の住宅 (札幌と東京, 群馬県に立地) の長期実測を行った。冬季は暖房が稼働しているため, 床下温度がほぼ 20 で安定, 集熱量は相当量あっても大きな温度上昇は見られず, 集熱した太陽熱が有効に活用できることが明らかとなった。一方, 2017 年 6 月は太陽高度と空気集熱装置の設置角度の問題から集熱量が少ないことが判明した。設置位置は, 住宅外観意匠との整合性, メンテナンス性, 周辺の日射遮蔽状況の影響が影響し, かつダクト延長の伴う装置特性の変化などが設計課題として整理すべき要件であることがわかった。

3) 既存熱湿気性状解析プログラムへの SHE-SAC モジュールの組み込みとパラメータ解析

1 顕熱交換型太陽熱集熱 (SHE-SAC) システムの開発で行ったモデルを組み込み, パラメータ解析を実施した。一例として, 札幌の実測住宅をモデルに解析を行った結果を下記に示す。

夏期に床下へ加温外気導入に伴う温湿度状況の差異を把握するため, 太陽熱利用空気集熱装置 (SAC) 付ハイブリッド換気システム (With SAC) と通常ハイブリッド換気システム (Without SAC) で行った。シミュレーション結果を図 3~7 に示す。

図 3 に床下空間に出入りする空気流量の時刻別平均値 (8/1-10) を示す。12 時前後に集熱装置の流量が増えるが, それ以外の時間帯も流量が存在している。図 4 に示すように, 55m³/h 以下の風量でファンは停止する設定としている。55m³/h 以下の流量時はファンが停止するため, パッシブ換気用通常開口になる。

床下空間の温湿度結果を図 5~7 に示す。図 5 は外気温度に対する各システムの床下温度 (6/1~9/30) である。装置利用により平均で 0.6℃ 上昇する。図 6 は絶対湿度の比較である。平均で 0.06g/kgDA の差である。図 7 は相対湿度頻度である。太陽熱利用空気集熱式装置を利用することにより, 70%RH を超える頻度が 11.4% 減少することが理解できる。

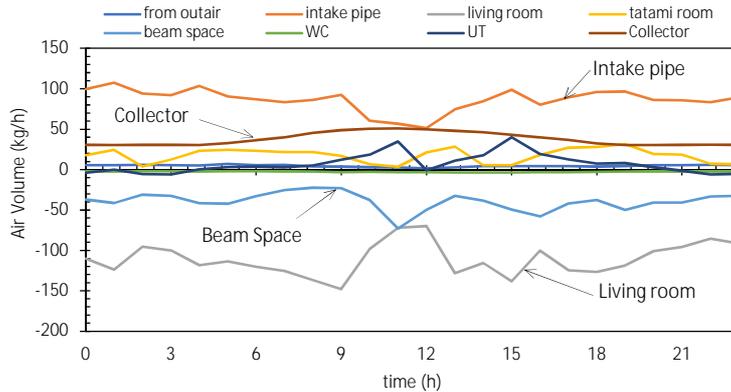


図 3 床下空間まわりの出入り空気流量時刻別平均値(8/1-8/10, 流入プラス, 流出マイナス)

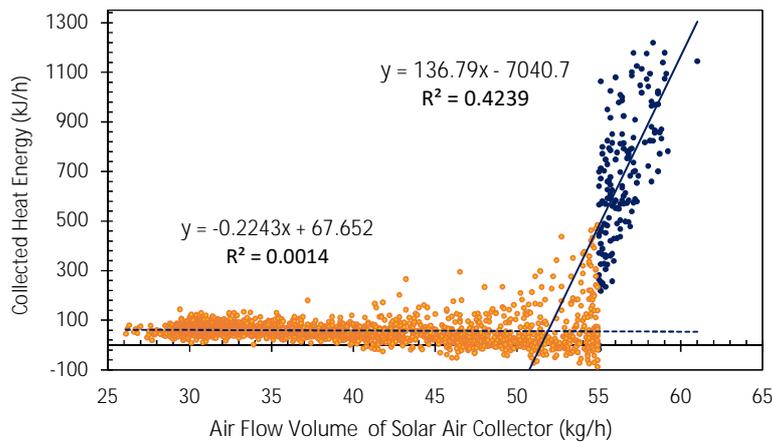


図 4 風量と集熱量の関係(6/1-9/30,札幌)

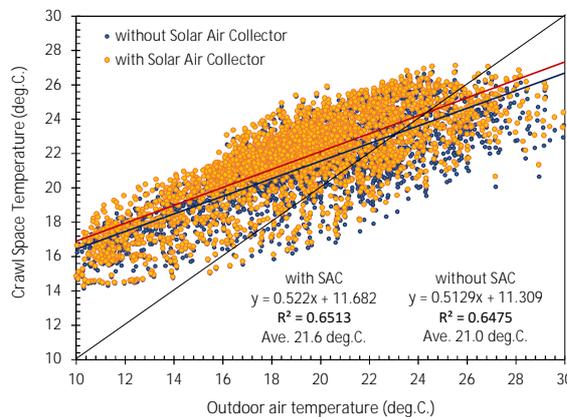


図 5 SAC の有無による床下温度の差異 (6/1-9/30,札幌)

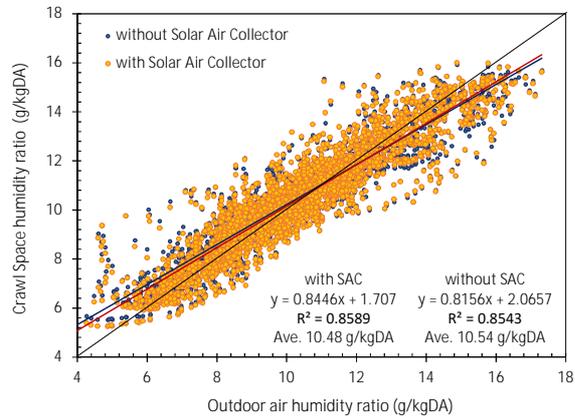


図6 SACの有無による床下絶対湿度の差異 (6/1-9/30,札幌)

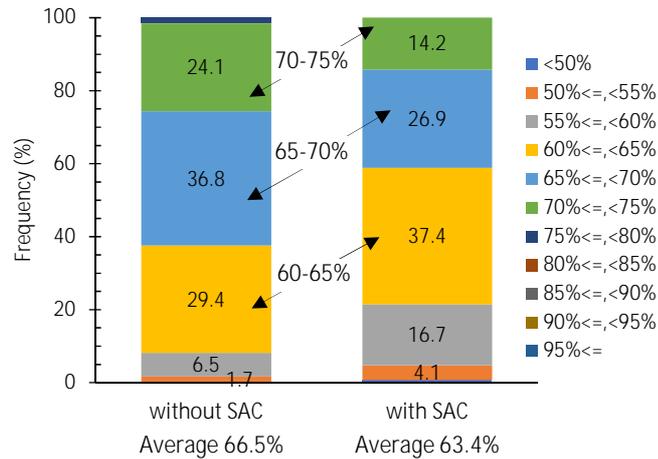


図7 SACの使用に伴う床下相対湿度の改善

4) 基礎断熱床下空間を用いた別モデルとの比較

研究当初の背景に加え，床下チャンバーエアコン方式全館空調が広く普及するようになってきた。この方式は本研究の取り組んでいる内容よりも，より積極的に基礎断熱した床下空間を利用しようとするものである。今回2件(宮城県塩釜市および岩手県盛岡市)の住宅で温湿度，浮遊微粒子，浮遊真菌等の測定を行った。浮遊微粒子の測定結果の一例を図8に示す。換気ダクト経路に電気集塵機を取り付けたアクティブ制御であるが，床下空間がクリーンルーム基準のCLASS8に相当することがわかった(居住空間はCLASS9レベル)。

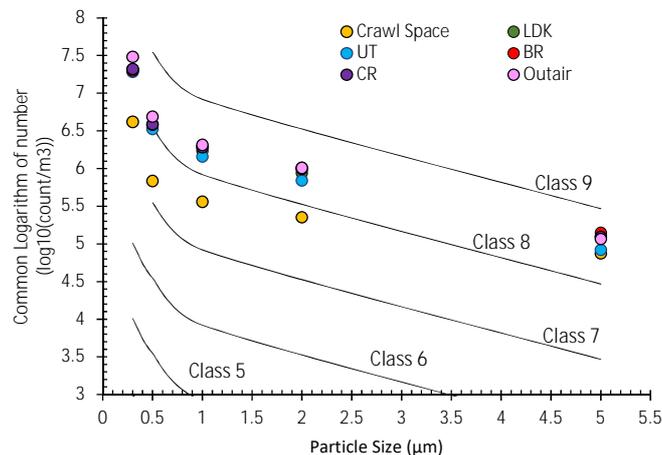


図8 実測住宅の各部浮遊微粒子量

5) まとめ

基礎断熱した床下空間の高湿化防止と微生物汚染を防止するため，実測・シミュレーションとから検討を行った。SHE-SACシステムは自然エネルギーを利用したアクティブ装置であり，札幌の気候条件の場合，装置容量が確保されれば顕熱交換しなくても床下空間の湿度低減に効果があることが明らかとなった。盛岡，仙台以南では，地域気象条件によっては顕熱交換装置を用いることが必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ・ Yoshinori Honma, Akira Fukushima, Masaki Tajima, Junichiro Matsunaga : Simulation Study on Optimizing the hygrothermal condition of an underfloor ventilation chamber, Track4 – Applications: Natural Ventilation (NV2), Roomvent & Ventilation 2018, 637-642, 2018.6 (査読有)

〔学会発表〕(計3件)

- ・ 福島明・本間義規・田島昌樹・松永潤一郎 : 太陽熱利用空気集熱装置を用いたハイブリッド換気住宅に関する研究, その1 基礎断熱床下空間への集熱温風供給に関する長期測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.689-690, 2018年9月
- ・ 本間義規・福島明・田島昌樹・松永潤一郎 : 太陽熱利用空気集熱装置を用いたハイブリッド換気住宅に関する研究, その2 装置からの外気直接供給が基礎断熱床下の夏期熱湿気性状に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.691-692, 2018年9月
- ・ 本間義規・福島明・田島昌樹・松永潤一郎 : パッシブ換気システムを利用する基礎断熱床下空間の空気移動性状とその湿度環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp.209-210, 2017年8月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 福島 明

ローマ字氏名: FUKUSHIMA Akira

所属研究機関名: 北海道科学大学

部局名: 工学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 00536211

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 田島 昌樹

ローマ字氏名: TAJIMA Masaki

所属研究機関名: 高知工科大学

部局名: システム工学群

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 90391680

(2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。