

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560710

研究課題名(和文)高性能住宅向け採暖システムの開発と評価

研究課題名(英文) Research and Development of floor heating system for high performance housing

研究代表者

森 太郎 (Mori, Taro)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70312387

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、住生活の省エネルギー化を目的に寒冷地の高性能住宅で使用する採暖装置の開発と評価を実施した。具体的には1.kinectセンサーを利用した住宅内の人追従システムの開発を実施し、2.採暖器具使用時の生理・心理反応測に関する被験者実験を行い、分析を行い、さらに3.高性能住宅の温熱環境の実測と熱環境解析を以下のような項目で実施した。パッシブ換気住宅と床下チャンパーエアコン方式の住宅の企画と実測、吸収日射量分布を考慮した住宅の温熱環境解析、GISデータを利用した高性能住宅の温熱環境解析、PCMと太陽熱集熱装置の組み合わせによる換気予熱装置の開発と評価

研究成果の概要(英文)：Research and development for heating system in cold climate area was conducted. the detail is as follows. 1. the development of human tracking system in a housing by using kinect sensor. 2. the analysis of physiological and psychological response in the test housing which use floor heating system was conducted. Also, the analysis of those response under solar radiation was conducted. 3. measurement of energy consumption and numerical analysis for high performance housing were conducted. a. measurement of energy consumption for high performance housing with passive ventilation and air source heat pump heating system is conducted. b. numerical analysis of absorbed solar radiation for high performance housing is conducted. 3. numerical analysis by using GIS data was conducted. 4. research and development of pre-heating system by using PCM and tronbe wall system is conducted.

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築環境・設備

キーワード：高断熱・高气密住宅 温熱環境 採暖装置

1. 研究開始当初の背景

住生活の省エネルギー化は喫緊の課題である。そのために、これまで住宅の断熱・気密性能を高めてきたが、技術的な限界に達しつつある。

2. 研究の目的

そこで、本研究では寒冷地において、高性能住宅の環境下で省エネルギー採暖手法を用いて熱取得を行うための採暖装置(ウェブカメラを利用した人追従システム, 採暖器具, 携帯端末を利用したコントローラーを住宅内のデータサーバーと無線 LAN を用いて接続した装置)の開発と、その生理・心理的評価, また、それを設置した高性能住宅の温熱環境評価を行う。

3. 研究の方法

本研究では以下の研究開発を行った。

(1)高性能住宅向け採暖器具の開発

ウェブカメラを利用した人追従システム, 採暖器具, 携帯端末を利用したコントローラーを住宅内のデータサーバーと無線 LAN を用いて接続した高性能住宅向けの採暖器具を開発する。

(2)採暖器具使用時の生理・心理反応測定

熱伝導を利用した採暖器具について、床暖房に関する知見を応用し、採暖器具の制御機構に必要な情報を得ること, また、省エネルギー運転手法の開発に向けた試みを実施する。

(3)高性能住宅の温熱環境の実測と熱環境解析

既存の高性能住宅の環境下で採暖装置を使用した場合、温度分布が生じやすくなるため、高性能住宅では解消したはずの結露やヒートショックの懸念がある。そこで温度分布性状を把握し、採暖装置の設計指針とするために a. 一般の高性能住宅, b. 温度分布を許容している高性能住宅, c. 採暖装置を用いた高性能住宅の温湿度分布測定・熱環境解析を実施する。

4. 研究成果

(1)kinect センサーを用いた住宅内における人追従システムの開発を行った。図 1 は、kinect センサーで検知される人体の骨格モデルである。住宅内でも位置の同定ができるように、また、ヒーターの上部に人がいるかどうかを判定できるように改良を行った。成果は H25 電気・情報関係学会北海道支部連合大会「スマートハウスでの利用を想定したユーザー状態識別システムの検討」、International symposium on technology for sustainability, A study on person following for control of heating system using Kinect sensor, 等で発表した。

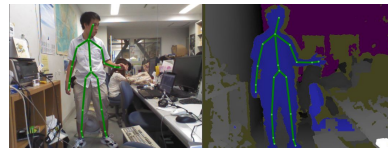


図 1 kinect を用いた人体位置の推定

(2)採暖器具使用時の生理・心理反応測定

床暖房による熱伝導や日射が人体の温冷感に与える影響について生理・心理反応の測定を実施した。図 2 は伝導と日射を考慮した PMV と温冷感の関係である。日射あり・日射なしの場合、PMV と被験者の温冷感申告は ±1 の範囲内でおおむね一致している。床採暖ありの温冷感のばらつきは、伝導熱量が熱負荷に与える影響は非常に少ないものの床温感の高さが全身の温冷感に影響を及ぼしている可能性が示唆された。成果は、栗原浩平, 森 太郎, 北方型住宅における床採暖システムの快適性評価に関する研究 第 1 報 生理・心理反応に及ぼす機能性衣服および男女差の影響, 建築学会北海道支部研究発表会, pp.491~494, 2013, 栗原浩平, 森 太郎, 住宅への入射日射及び床採暖が人体の熱的快適性に及ぼす影響, 建築学会北海道支部研究発表会, 2014 で発表した。

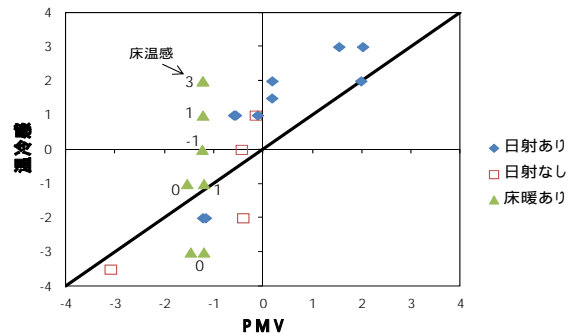


図 2 伝導と日射を考慮した PMV と温冷感の関係

(3)高性能住宅の温熱環境の実測と熱環境解析

パッシブ換気と組み合わせたエアコン床下チャンバー方式の性能評価

パッシブ換気とエアコン床下チャンバー方式に関する温熱環境の実測とシミュレーションによる評価を実施した。その結果、北海道のような寒冷地でも通常の大きさの住宅であればエアコン 1 台による暖房が可能であることがわかった。但し、本方式の利用には空気循環のデザインが必要であり、床面積の大きな住宅では室温の低い部屋が発生することも示唆された。成果は、森太郎他, パッシブ換気と組み合わせたエアコン床下チャンバー方式の性能評価, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 D (招待講演) 2012 等で発表した。

太陽熱給湯システムに関する評価
積雪寒冷地である北海道では太陽電池の

普及は進んでいるが、より効率の高い太陽熱給湯システムの普及は進んでいない。これは、積雪が多く、パネルの上に雪が積雪し、十分な日射量が得られない可能性があること、寒冷な時期にはパネルからの放熱が進み、取得熱量が減ってしまうこと、また十分な温度が得られないことが理由である。本研究項目では釧路市に建設した実験住宅を対象に日射受熱量の測定を実施し、また、そのデータを元に給湯による熱回収

正射影画像を利用したダイレクトソーラーゲイン効果の把握

本項目では都市計画基礎調査データというGISデータを利用した。都市計画基礎調査データは国土地理院が提供している基盤地図データの各建物ポリゴンに各建物の情報（敷地面積、建築年、階数、延べ床面積等）を添付したデータである。このうち、建物のポリゴンデータと階数のデータを使用してそれぞれの建物の概形を再現し、次のように気象データと組み合わせた。

- A. 対象の敷地の正射影画像を作成する。
- B. 画像と太陽位置を重ね合わせ、建物と太陽位置が重なる場合は直達日射の値を0とする。重ならない場合には直達日射と拡散日射の両方の値を残す。但し、拡散日射は正射影画像の建物以外の部分の占める割合を天空率として全拡散日射量に乗ずる。

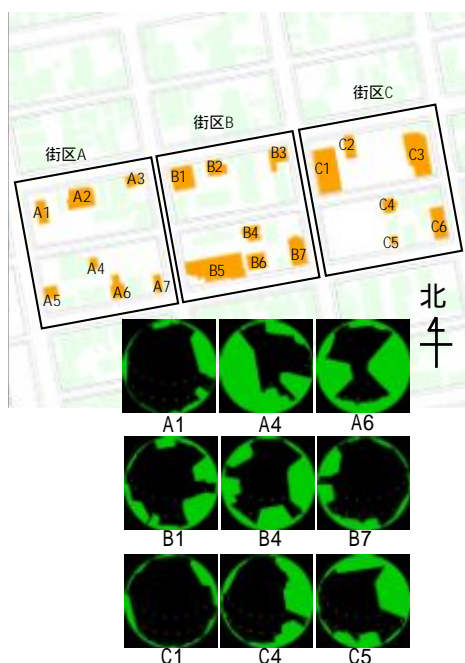


図3 GISデータと正射影図

図3は北海道大学周辺のある敷地のGISデータである。このように二年ごとの更新となるが全ての建物の外形線の情報を得ることができる。また図3下は各場所の正射影画像である。このように建物の周辺を取り巻く状況は様々であり、一言で日射利用といっても周辺の状況によって日射をどの程度利用できるかは大きく異なっていることがわかる。場所によっては窓への月積算日射入射量は

1/8程度になる場合もある。

図4は正射影画像と標準気象データを組み合わせた気象データをenergy-plusで解析した結果である。解析モデルとして7m×7m×3mのワンルーム空間を用意し、それに三種類の窓を設置し、暖房期の温熱環境、暖房消費エネルギーの解析を実施した。南天空率は正射影画像の南半分の内、空がどの程度を占めているかを求めている量（最大1）である。グラフ横軸の南天空率と暖房消費エネルギーが良い相関関係になっているのがわかる。つまり、南天空率が高いということは南側の空が開けていることを表しており、多くの日射を窓を通して得ることができる。その結果、暖房負荷が小さくなり、図4のような関係が生じたと考えられる。

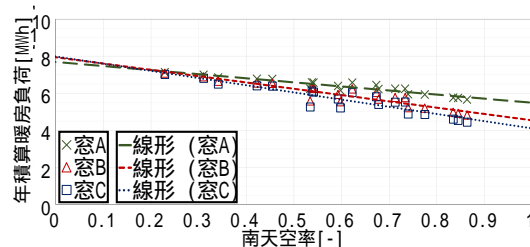


図4 南天空率と暖房負荷の関係

南側天空率は魚眼レンズを付けたスマートフォンで窓面の中心位置となる場所から外部環境を撮影し、魚眼画像の天空部分を着色し（画像処理ソフトを用いれば簡単に処理できる）、そのうえで着色されているピクセル数を魚眼画像の上半分のピクセル数で除すと南天空率を求めることができる。

このように現場でも簡単に求めることができる指標であるため、実務上でもダイレクトソーラーゲインの利用の有無を判断するのに都合がよい。

ダイレクトソーラーゲイン設計手法の開発

暖房負荷と南側天空率の間に良い相関関係があったため、この性質を用いてダイレクトソーラーゲイン（以後DSG）の設計手法を図5のように提案した。つまり、窓面からの日射侵入よりも熱損失が少ない場合のみDSGは有効であり、暖房負荷が南側天空率に対してニアであるため南側天空率によって上記の状況がある程度予測が付くと考えたからである。

図6にenergy-plusによる解析結果を示す。この図は中面積窓、大面積窓の窓を通じた日射侵入と熱損失の状況を表している。二つの線が交わっている場所が両者が等しくなっている場所であり、その場所の南側天空率をDSGの閾値として考えることができる。

図をみるといずれの場合も南側天空率が0.4近辺が交点となっていることがわかる。したがって、0.4以上の場所でDSGを利用することが望ましいと言える。

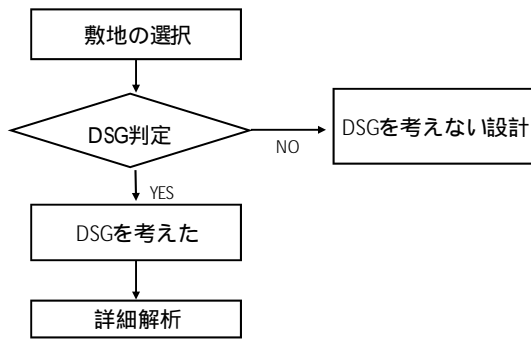
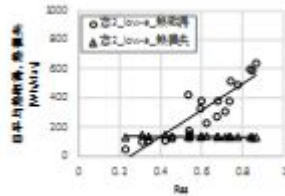
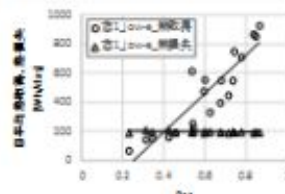


図5 DSGの判定フロー



中面積窓



大面積窓

図6 窓による熱損失, 日射取得の関係

南側天空率が0.5以上の敷地条件に対して詳細な解析を実施した。解析には Radiance を用いた。Radiance は LBNL が開発している日照や照明解析に用いられるソフトウェアであり、その分野においては世界で最も信頼性が高いと言われている。このソフトは図7のようにモンテカルロレイトレーシングを用いてフォトリアリスティックな画像を生成するのが目的であるが、今回はこのソフトの 3-phase method という機能を用いて周辺に建物がある状態で建物モデルを作成し、さらにその内部に120点ほどの視点を設け、それぞれの視点への日射入射量を求めている。また、この計算には室内側の表面性状だけでなく、ガラスの bidirectional な性能もいれこまれている。さらに、この解析によって得られた日射入射量の分布をもとに有限積分法を用いた室内の温度分布、暖房負荷計算を実施した。

図7は南側天空率が0.5の時の部屋奥からみた窓面の様子である。窓の外に建物が建っているようすがわかる。また、それぞれの仕上げで部屋の様子が異なっていることがわかる。図8, 9は窓B(中規模窓)の場合の各ケースの場合の平均暖房負荷である。Rss が0.5, 0.7それぞれのケースで白色の面積が増

えた方が暖房負荷が増え、low-e ガラスよりもペアガラスの方が暖房負荷が多い。白色にすると、室内の反射光が増加するため、室内で反射して外部に戻ってしまう日射が増える。特にその傾向は透過率の高いペアガラスを使用した場合に顕著になる。図10, 11は窓C(大面積)のケースの結果である。暖房負荷はいずれのケースでも窓Bよりも大きくなっている。但し、窓A(小面積)よりは暖房負荷は小さく、DSGが有効といっても窓には適切な面積があると考えられる。また、窓面積が大きなケースでは熱損失、日射侵入がともに大きくなるため、それぞれの違いが顕著になる。特に白色の仕上げのケースでは反射日射が多くなるため、ペアガラスとの組み合わせで暖房負荷が大きくなるのがわかった。

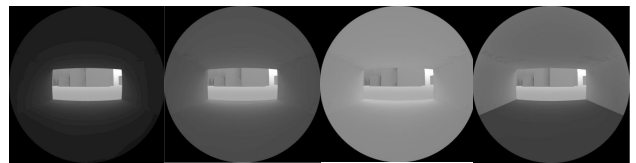


図7 部屋奥からの景色

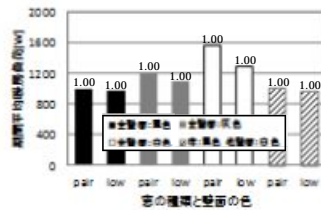


図8 窓1, Rss0.5

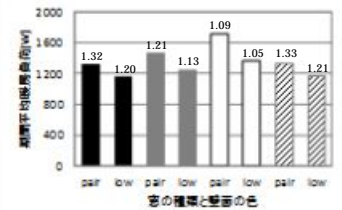


図10 窓1, Rss0.7

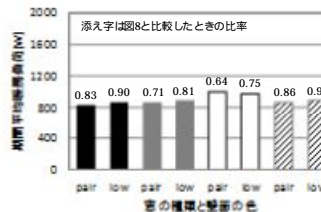


図9 窓2, Rss0.5

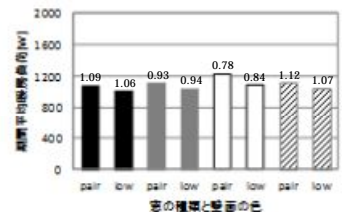


図11 窓2, Rss0.7

図12は熱容量の有無による室温、暖房負荷の推移を表している。上記までのケースは全て熱容量はなしで計算しているが、これに加え、このケースでは床面に厚さ10cmのコンクリートを設置した場合について計算した。室温の推移に関してはオーバーヒートがおさまり、また、20時以降、8時までの暖房負荷が小さくなっていることがわかる。

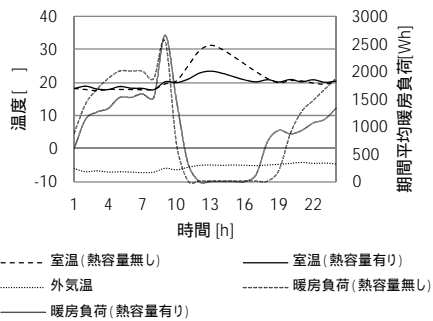


図 12 熱容量の有無による室温,暖房負荷の推移

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

taro mori, atsuhiro kawamura, design of solar heating system for detached house in cold climate area, energy procedia, 査読あり, volume 48, 2014 1393-1400

Atsuhiro kawamura, hiroki hayashi, hidekazu kajiwara, taro mori, kazunori chida, et. Al, development of solar heating using information and communication technologies for northern houses, energy procedia, 査読あり, volume 48, 2014, 588-597

辻圭輔, 森太郎, 羽山広文, 絵内正道, 菊田弘輝, 非定常解析による高断熱建物を対象とした最大熱負荷計算法の提案と検証, 日本建築学会環境系論文集, 査読あり, 第 694 号, 2013, pp.929-938

〔学会発表〕(計 28 件)

濱田裕章, 緒形浩佑, 森太郎, 羽山広文, 菊田弘輝, ダイレクトソーラーゲイン最大化を図るための解析手法に関する研究 その 2 ダイレクトソーラーゲインとグレアの関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D , pp.479-480, 2013/8/30-9/1

緒形浩佑, 森太郎, 濱田裕章, 桑原浩平, 羽山広文, 菊田弘輝, 吸収日射量の分布を考慮した住宅の温熱環境解析その 3 人体の日射吸収が快適性に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D , pp.353-354, 2013/8/30-9/1

絵内正道, 森太郎, 羽山広文, 最寒気の日射受熱量に基づいた高断熱高気密住宅の窓開口面積の算定その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D , pp.61-62, 2013/8/30-9/1
その他 18 件

森太郎, 羽山広文, 菊田弘輝, 将来気象データが北海道の住宅の暖冷房負荷, ダイレクトソーラーゲイン効果に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D , pp.19-20, 2013/8/30-9/1

松本若菜, 森太郎, 三村渉, 羽山広文, 菊田弘輝, 天井放射冷房システムにおけるサービサビリティの検討その 4 デシカント空調併用時の運用に関する数値解析, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, 第 3 巻,

pp.453-456, 2013/9/23

緒形浩佑, 森太郎, 濱田裕章, 桑原浩平, 羽山広文, 菊田弘輝, 吸収日射量の分布を考慮した住宅の温熱環境解析その 5 冬期における人体の吸収日射が快適性に与える影響, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, 第 6 巻, pp.153-156

濱田裕章, 緒形浩佑, 森太郎, 羽山広文, 菊田弘輝, ダイレクトソーラーゲイン最大化を図るための解析手法に関する研究 その 4 ダイレクトソーラーゲインとグレア・照度・人口照度の関係, 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, 第 2 巻, pp.109-112

Yoshiaki Yamaguchi, Satoshi Asamizu, A study on person following for control of heating system using Kinect sensor, international symposium on technology for sustainability, 2013/11/20, THEi hall, IVE Hong Kong

久澤大輝, 笹岡久行, 森太郎, スマートハウスでの利用を想定したユーザー状態識別システムの検討, 平成 25 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2013/10/19, 室蘭工業大学, 北海道

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 太郎 (MORI, Taro)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 70312387

(2) 研究分担者

梶原 秀一 (KAZIWARA, Hidekazu)

室蘭工業大学・情報電子工学系・准教授

研究者番号: 00280313

笹岡 久行 (SASAOKA, Hisayuki)

旭川工業高等専門学校・電気情報工学科情報電子工学系・准教授

研究者番号: 30333272

桑原 浩平 (KUWABARA, Kouhei)

釧路工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号: 40374582

浅水 仁 (ASAMIZU, Hitoshi)

釧路工業高等専門学校・電子工学科・准教授

研究者番号: 40369905

林 裕樹 (HAYASHI, Hiroki)

釧路工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号: 60342440