

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：11302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560031

研究課題名(和文) 在室行動と室内環境のローコストモニタリングによる放射暖房のスマート制御

研究課題名(英文) Smart control of thermal radiation heating by low-cost monitoring of occupants' staying behavior and indoor environment

研究代表者

菅原 正則 (Sugawara, Masanori)

宮城教育大学・教育学部・教授

研究者番号：60300513

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：居住者の滞在行動および環境調整行動を、プライバシー侵害が極力生じないように人体由来の空気中物質計測値や、人感センサのような簡易な機器から得られる計測結果に基づいて推定し、放射型暖房の運転計画に反映させる方法を提案した。人体への熱放射が不均一となる温熱環境の快適性や印象評価、そして居住者の在不在予測による予熱暖房の熱負荷低減効果を明らかにした。また、空調を含む環境調整行動の効果的な学習法として建築外皮模型を用いた学習プログラムに関するこれまでの研究をまとめ、体系化した。

研究成果の概要(英文)：It is important to estimate behaviors of residents in a house to allow for modification of the room environment and effective energy use. An automatic estimation system using environmental sensors for conserving privacy was proposed in this research. Estimated behaviors were applied to a radiation type heater which was investigated concerning both impression evaluations and heat load reductions as effects of preheating. Already invented learning programs on house environments by using building envelope models are organized for optimizing residents' behaviors for environmental regulation.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：住環境・設備 住まい方 組み込みシステム 環境調整行動 放射暖房 熱的快適性 熱負荷 住環境教育

### 1. 研究開始当初の背景

高断熱気密化し蓄熱性能を有する高性能な住宅では、冬季に放射暖房を導入することにより高温熱源を用いなくても快適な室内環境を形成することができる。しかし、その温度および空気質制御にはタイムラグが伴うため、無駄のない空調運転を行うためには、居住者の滞在行動および環境調整行動を把握し、その規則性から近い将来の行動を正確に予測する必要がある。

申請者はこれまで、CO<sub>2</sub>濃度や湿度といった人体由来の空気質変化に基づいた在室人数推定や在室行動の規則性を利用した予測空調制御の方法を提案し、平成22~24年度JSPS 科研費 22560581「住宅における最適な空調制御のための滞在行動計測法開発と環境調整行動の教育的誘導」において、在室行動を考慮した予熱暖房によって快適性を損なわずに熱負荷低減することが可能であることを示した。予熱暖房の効果を高める前提として、在室行動に規則性を見出し、近い将来の空調稼働を決定することが重要であるが、その方法は確立されておらず、効果も検証されていない。

### 2. 研究の目的

居住者の滞在行動および環境調整行動を、プライバシー侵害が極力生じないように人体由来の空気中物質計測値や、人感センサのような簡易な機器から得られる計測結果に基づいて推定し、放射型暖房の運転計画に反映させる方法を提案する。また、空調を含む環境調整行動の効果的な学習法を開発し、その有効性を評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 在室人数推定方法の推定精度向上

住宅内の各室における滞在人数の経時変化を、室内環境計測値を主としたデータから推定する方法について、計測精度および計算式に適用する係数を検討することにより正答率の向上を図る。

#### (2) 在室人数推定および在室行動予測の自動化

環境計測の機能および、従来「手作業」で行われてきたこれらの計算手順を、近年普及が著しい安価なマイコンに組み込む。

#### (3) 放射暖房の熱放射特性を考慮した効果検証

放射暖房の運転計画を行う際の資料となる、熱放射特性の熱的快適性への効果を実験的に検証する。

#### (4) 在室行動計測の空調制御への応用

住宅内における在室行動を分析し、外気および室内の熱・空気環境の経時変化・分布特性から、放射暖房および換気設備の制御を最適化する方法を提案する。またその際の空調

効率を熱負荷計算等により評価する。

#### (5) 環境調整行動に関する学習法の開発

住宅内の熱・空気について、モニタリングと適正開示により環境調整行動へ働きかける学習法を提案する。滞在行动を考慮した窓開閉行為・空調設備運転の状況により学習効果を客観評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) 在室人数推定方法の自動化とその推定精度向上

住宅における室内のCO<sub>2</sub>濃度および湿度の変化から在室人数を推定するアルゴリズムを組み込んだ電子回路を、マイコンボード (Arduino2009) および環境センサにより試作 (図1) し、自動化のための動作実験を行った。6.0×3.3×2.4mの室内に2名在室した条件において、推定人数が正しく推定されたのは8回の結果の内1回であり、推定精度には課題が残った。しかし、無線通信を伴うマイコンボードを用いた在室人数の自動推定システムが正常に動作することは確認できた。

これに対し、推定精度向上と安定動作を目的として、親機子機間の通信方法やセンサ規格の見直しを行った。しかし、通信および計測の安定動作は確認できたものの、推定精度は十分に得られなかった。

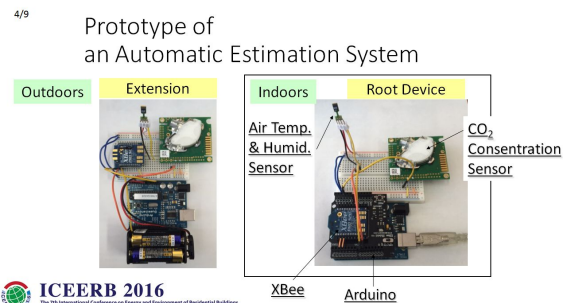


図1 在室人数の自動推定システム

#### (2) 放射暖房の熱放射特性を考慮した効果検証

放射型暖房設備からの熱放射と快適感との関連性に関する知見を文献調査により整理するとともに、人体への熱放射が不均一となる温熱環境の快適性や印象評価を明らかにするために被験者実験を行った。その手順は、実験室内に熱放射強度が 384~444W/sr である放射型暖房 (図2) または対流型暖房を設置し、PMV が -0.5 よりもやや上回る温熱環境に 60 分間曝露した状態 (図3) で、皮膚温測定および温冷感申告等のアンケート調査を行うものである。

被験者の平均皮膚温上昇は、実験開始時点から 60 分後において、対流型でほとんど見られなかったのに対し、放射型では 0.63 生じた。温冷感申告および快適感申告において、放射型の申告値は時間経過とともに上昇傾

向がみられ、30分経過以降はいずれの申告値も対流型より大きかった。形容詞対に対する評価得点の平均値の差を比較すると、放射型の方が、空間の雰囲気については「迫力のある」「安定」「力強い」「重みのある」印象で、「全体的に良い」という評価が得られ、感じられる気分については「楽しい」「居心地の良い」という評価になっていた。

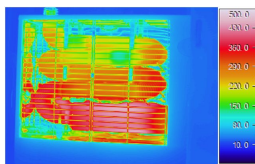


図2 被験者からみた赤外線ヒーターの熱画像の一例

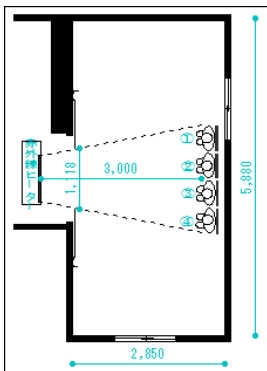


図3 実験室内の配置（被験者の放射型暖房への曝露）

### (3) 在室行動計測の空調制御への応用

居住者の在室行動における規則性に基づいて、近い将来の在不在を予測し、予熱暖房することによる熱負荷低減効果を、建築熱環境・エネルギーシミュレーションプログラムEESLISMにより検討した。主な設定条件は、予熱時間は3時間、対象は仙台市内にあるRC造集合住宅(56m<sup>2</sup>)、家族数3名である。

その結果(図4)を24時間暖房の場合と比べると、総熱負荷が16~26%削減された一方、快適時間率は87~92%と高い値となっており、快適性を損なうことなく熱負荷の総量を低減できたと言える。在室行動の正解率は、居間で85~88%、寝室で63~65%であったが、正解率100%とした場合に比べて、総熱負荷、快適時間率の差は1~4%とわずかであった。ただし、最大瞬時熱負荷は2.2~2.5倍に達していたので、設置する設備容量によっては、快適時間率が低減する可能性がある。

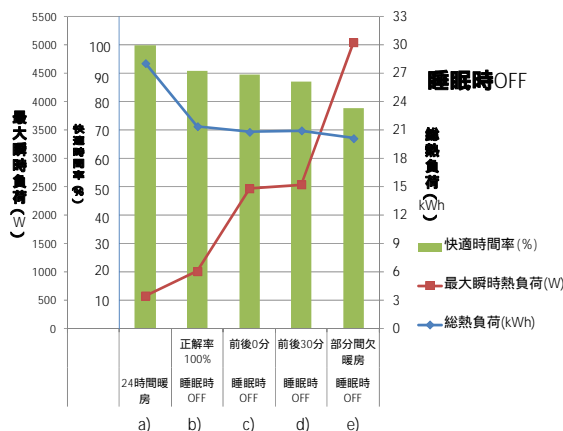


図4 総熱負荷と最大瞬時熱負荷、快適時間率(ただし、睡眠時は在室していても暖房を停止する)

### (4) 環境調整行動に関する学習法の開発

建築外皮模型を用いた学習プログラムに関するこれまでの研究をまとめ、体系化した。これらの学習体験を通じて、室内環境の形成を意識した在室行動につながると考えられる。

#### あたたかい家をつくる

自然のポテンシャルを生かしながら快適さを得られる家づくりについて、考える動機を与えることを目的とした、基礎実験、建物模型作り、コンテストからなる学習プログラム。単に知識の学習ではなく、コンテストによって自作模型の性能に対する関心を高め、実験でそれを確かめることによる自主的な学習を促すのが特徴である。

#### 明るく強い建物デザイン

建物の耐震性を増す(壁率を上げる)ことと自然採光量を増す(開口率を上げる)ことが、概してトレードオフ(相反)する関係にあることに着目し、ものづくりの難しさやデザインの多様性に挑戦することを目的とした学習プログラム。建築材料の「割れる」性質をもった模型材料として食材を用い、実験後に食して廃棄不要な取り扱い方の確立を目指している。

#### 透明樹脂ケースを用いた換気実験

換気による室内空気の流れや汚染の度合いを可視化することを目的として、「ウインターケース」と呼ばれる人形などのディスプレイのための市販品を利用した学習プログラム。これにより、高低差のある開口部による温度差換気の効果をも、目視で確認させることができた。

#### 避難所用ダンボールルーム

初期の避難所におけるプライバシーや寒さ対策を想定して、避難者自ら室内用シェルターを製作するプログラム。主な材料は支援物資の梱包材として使用され廃材となったダンボールで、これを備蓄してあるプラスチックボルトを用いて素手で組み立て可能。非常時に限らず、ダンボールルームの組み立てを通じて、建築構造と内部の温熱感を理解することができる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 24件)

Sugawara, M. and Zamma, Y., Automatic Estimation of the Number of People Remaining in a Room by using a Micro Computer and Environmental Sensors, Healthy Housing 2016: Proceedings of the 7th International Conference on Energy and Environment of Residential Buildings (November, 2016), 査読有, pp. 370-374, DOI: <http://dx.doi.org/10.4225/50/58107a0d4629c>

菅原正則、放射型暖房と対流型暖房におけ

る印象評価の比較、日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集、査読無、D-2 環境工学（2016-8）pp. 381-382

Sugawara, M., A Practice Procedure for Making the “Tataki” Cube: a Learning Program on Japanese Traditional Architectural Material, Proceedings of the 4th International Conference on Archi-Cultural Interactions through the Silk Road, iaSU2016 JAPAN Publication Committee, The International Association of Silk Road Universities (July, 2016), 査読有, pp. 150-153, [http://www.mukogawa-u.ac.jp/~iasu2016/pdf/iasu2016\\_proceedings\\_404.pdf](http://www.mukogawa-u.ac.jp/~iasu2016/pdf/iasu2016_proceedings_404.pdf)

菅原正則、鶏徳真衣、支援物資の梱包材から製作する避難所用ダンボールルームの提案、日本建築学会東北支部研究報告集、査読無、第79号、計画系（2016-6）pp. 141-144

菅原正則、姉帯彩香、放射型暖房設備からの不均一熱放射環境における快適性および印象評価、日本建築学会東北支部研究報告集、査読無、第79号、計画系（2016-6）pp. 1-4

菅原正則、住まいの環境と生活行動を測る、宮城教育大学家庭科教育研究、査読無、第12号（2016-3）pp. 8-11

残間洋輔、菅原正則、環境センサおよびマイコンボードを用いた在室人数自動推定システムの構築に関する研究、空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集（2016-3）査読無、pp. 147-150  
鶏徳真衣、菅原正則、多様な形状の材料を用いた避難所用ダンボールルームの提案、空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集（2016-3）査読無、pp. 135-138

渡辺壮太、菅原正則、住宅における湿害への理解を深める教育プログラムの提案、空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集（2016-3）査読無、pp. 37-40

姉帯彩香、菅原正則、大型暖房設備からの放射熱による不均一な温熱環境における快適感、空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集（2016-3）査読無、pp. 23-26

林基哉、菅原正則、本間義規、倉淵隆、戸建住宅における窓開放の年推移に関する調査 引違窓の開閉の連続測定法と開閉の年間特性、日本建築学会環境系論文集、査読有、No. 719（2016-1）pp. 93-100

Sugawara, M. and Hayashi, M., Effect of Indoor Air Temperature on Window Operation in Detached Houses in Japan, Proceedings of 31th International PLEA (Passive and Low Energy Architecture) Conference (September, 2015), 査読有, pu\_72,

<http://www.plea2015.it/book/download.php?id=72>

菅原正則、残間洋輔、マイコンボードと環境センサを用いた在室人数の自動推定、日本建築学会大会（関東）学術講演梗概集、査読無、D-1 環境工学（2015-9）選抜梗概 pp. 891-894

菅原正則、菅原由楠、水谷好成、明るく強い建物デザインを考える教育プログラム（食材版）の実用化に向けた模型製作法の改善、日本建築学会東北支部研究報告集、査読無、第78号、計画系（2015-6）pp. 61-64

菅原正則、高橋智花、透明樹脂ケースを用いた暖房・換気実験教材に関する基礎的検討、日本建築学会東北支部研究報告集、査読無、第78号、計画系（2015-6）pp. 57-60  
相澤華絵、菅原正則、避難所用ダンボールルームの製作と熱環境改善効果、日本建築学会東北支部研究報告集、査読無、第78号、計画系（2015-6）pp. 41-44

菅原由楠、菅原正則、水谷好成、食材を用いた建物模型の子ども向け教育プログラムへの適用に関する研究、空気調和・衛生工学会東北支部第4回学術・技術報告会論文集（2015-3）査読無、pp. 151-154

高橋智花、菅原正則、透明樹脂ケースを用いた室内環境の再現による教育プログラムの提案、空気調和・衛生工学会東北支部第4回学術・技術報告会論文集（2015-3）査読無、pp. 147-150

残間洋輔、菅原正則、環境センサを用いた在室人数の自動推定システムに関する研究、空気調和・衛生工学会東北支部第4回学術・技術報告会論文集（2015-3）査読無、pp. 107-110

相澤華絵、菅原正則、避難者が製作できる段ボールルームの提案、空気調和・衛生工学会東北支部第4回学術・技術報告会論文集（2015-3）査読無、pp. 83-86

21 Sugawara, M., Tsukidate, T. and Wang, Y.X., Measurement of Thermal Radiation Properties of Large Heating Equipment Using Infrared Thermography, Proceedings Vol. 3, 30th International PLEA (Passive and Low Energy Architecture) Conference (December, 2014), 査読有, pp. 292-299, [http://www.plea2014.in/wp-content/uploads/2014/12/Poster\\_PF\\_2516\\_PR.pdf](http://www.plea2014.in/wp-content/uploads/2014/12/Poster_PF_2516_PR.pdf)

22 菅原正則、住宅における在不在予測を導入した予熱暖房による熱負荷低減効果 その2 在不在予測結果を利用した暖房スケジュールによる熱負荷計算、日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集、査読無、D-2 環境工学（2014-9）pp. 545-546

23 菅原正則、田中恵莉、住宅における在室行動の規則性を利用した在不在予測による暖房負荷低減効果、日本建築学会東北支部研究報告集、査読無、第77号、計画系（2014-6）pp. 7-10



24 Hayashi, M., Honma, Y., and Sugawara, M., Dwellers' habit of opening windows in detached houses in cold and hot-humid climate of Japan, *Journal of Environmental Protection*, 査読有, Vol.5 (2014), pp. 663-671

[学会発表](計 12件)

Sugawara, M., Automatic Estimation of the Number of People Remaining in a Room by using a Micro Computer and Environmental Sensors, *Healthy Housing 2016: the 7th International Conference on Energy and Environment of Residential Buildings*, November 22, 2016, Queensland University of Technology, Gardens Point Campus, Brisbane (AUSTRALIA)

菅原正則, 放射型暖房と対流型暖房における印象評価の比較, 日本建築学会大会(九州), 2016年8月25日, 福岡大学(福岡県・福岡市)

Sugawara, M., A Practice Procedure for Making the "Tataki" Cube: a Learning Program on Japanese Traditional Architectural Material, the 4th International Conference on Architectural Interactions through the Silk Road, July 16, 2016, Mukogawa Women's University (Nishinomiya, Hyogo)

菅原正則, 支援物資の梱包材から製作する避難所用ダンボールルームの提案, 日本建築学会東北支部研究報告会, 2016年6月19日, 東北大学(宮城県・仙台市)

菅原正則, 放射型暖房設備からの不均一熱放射環境における快適性および印象評価, 日本建築学会東北支部研究報告会, 2016年6月18日, 東北大学(宮城県・仙台市)

Sugawara, M., Effect of Indoor Air Temperature on Window Operation in Detached Houses in Japan, 31th International PLEA Conference, September 9-11, 2015, Palazzo Re Enzo, Bologna (ITALY)

菅原正則, マイコンボードと環境センサを用いた在室人数の自動推定, 日本建築学会大会(関東), 2015年9月4日, 東海大学(神奈川県・平塚市)

菅原正則, 明るく強い建物デザインを考える教育プログラム(食材版)の実用化に向けた模型製作法の改善, 日本建築学会東北支部研究報告会, 2015年6月20日, 山形大学(山形県・山形市)

菅原正則, 透明樹脂ケースを用いた暖房・換気実験教材に関する基礎的検討, 日本建築学会東北支部研究報告会, 2015年6月20日, 山形大学(山形県・山形市)

Sugawara, M., Measurement of Thermal Radiation Properties of Large Heating Equipment Using Infrared Thermography,

30th International PLEA Conference, December 16-18, 2014, CEPT University, Ahmedabad (INDIA)

菅原正則, 住宅における在不在予測を導入した予熱暖房による熱負荷低減効果 その2 在不在予測結果を利用した暖房スケジュールによる熱負荷計算, 日本建築学会大会(近畿), 2014年9月12日, 神戸大学(兵庫県・神戸市)

菅原正則, 住宅における在室行動の規則性を利用した在不在予測による暖房負荷低減効果, 日本建築学会東北支部研究報告会, 2014年6月21日, 日本大学工学部(福島県・郡山市)

[図書](計 1件)

住まいと環境 東北フォーラム編, 吉野博, 菅原正則ほか共著, 技法堂出版, 住まいと人と環境 ~プロフェッショナルからの提言~, 2015-11, 担当部分: pp. 100-104および152-157

[その他]

国立大学法人 宮城教育大学 教員一覧 教員紹介ホームページ

<http://www.miyakyo-u.ac.jp/KyouinDB/public/teacher/view/33>

宮城教育大学 家庭科教育講座 菅原研究室ホームページ

<http://staff.miyakyo-u.ac.jp/~msugawa/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

菅原 正則 (SUGAWARA, Masanori)  
宮城教育大学・教育学部・教授  
研究者番号: 60300513

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者 なし

### (4) 研究協力者 なし