

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246098

研究課題名(和文) 住居内環境の日変化・年変化に伴う居住者の場所選択行動とその設計への応用

研究課題名(英文) The variation of occupants' place choice in housing in a day and through a year and its application to planning

研究代表者

久野 覚 (Kuno, Satoru)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：70153319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、一日および年間を通じた実験により、外界の変化とそれに伴う住宅内環境の変化および人間の行動・心理の変化を捉え、地球環境保全の時代にふさわしい住宅のあり方について検討することである。温熱環境については環境計測と被験者実験による生理・心理反応の把握、数値流体力学を用いた夏季通風時における室内温熱・気流環境と人体温熱生理状態の予測、換気方式の違いによる室内環境への影響評価、光環境については居住者の光環境調整行動による照明用電力削減効果とLED照明によるメラトニン抑制効果等、新しい評価法の提案を行った。夏季通風時における人体熱収支については従来の定説を覆す成果を上げた。

研究成果の概要(英文)：The aims of this research is to investigate the change of indoor environment, occupants' behavior and psychological responses by the experiments in a day and through a year and to consider the new form of housing suitable for the global environment preservation. We carried out the measurements of indoor thermal environment and the subjective experiments to examine the physiological and psychological responses, and predicted human thermo-physiological responses under natural ventilation in summer by CFD. The influence to the indoor thermal environment by different ventilation systems was also investigated. On lighting environment, we investigated the effect on decrease of lighting energy consumption by the occupants' action to control the lighting condition and the effect on decrease of melatonin by LED lighting. In each part new methods were proposed. Especially, the outcome on heat balance under summer natural ventilation is thought to break through usual theory.

研究分野：建築環境工学

キーワード：環境心理生理 温熱環境評価 視環境評価 住宅 CFD 人体熱モデル LED 生体リズム

1. 研究開始当初の背景

猫はいつも最も居心地のよい場所にいる、とよく言われる。猫の場合は自らの快適性のみで行動しているが、人間の場合は何らかの作業を行うので快適性だけで行動しているわけではない。その場所の機能性と快適性を評価して行動している。それぞれ合格点というものが考えられ、片方だけでも不合格なら選択はされない。しかし、いくつかの場所があってそれぞれ機能性・快適性が合格であれば、必ずしも最もよい場所でなくても選択されることは起こり得る。昨今の地球環境問題や省エネルギーが意識されるとき、あるいは電気代等の経済性を考えるとき、実際にそのような行動が選択されている可能性は高い。このような考え方は類似した記述が散見はされるものの、具体的データとともに示された例はかつてなかった。

既存の一般住宅あるいは伝統的住宅に関して、物理計測および居住者の意識を含む居住環境調査は多々ある。その中で、夏の通風・冬の日照の重要性を指摘する研究、居住者が時として住宅内の位置を変えて暮らしているという報告はある。しかしながら、実際に居住している住宅を対象としているため、サンプル数が少なく、個別的であり、また調査内容も限定されてしまう。そのため、いずれもケーススタディの域を超えておらず、一般化が難しい。これに対して久野は、住宅展示場のモデルハウスを用いた既往研究において、夏の通風・冬の日照の重要性および環境条件による場所選択行動の変化を実験的に検出することが可能であることを示した。これは従来の研究にはなかった知見である。そこで、モデルハウスを実験室とすることにより、フィールド調査の短所を補うことができ、実験条件をコントロールした実験が可能になり、多数のデータを集めることができる考えた。

現代の日本住宅では、LDKや寝室など使用目的がはっきりした設計になっている。しかし、実際には色々な場所で新聞を読んだり電話をしたりパソコンをしたりという行為を行っていることを考えると、複数の部屋同士が機能を重複して共有している方がいいということになり、むしろ伝統的住宅の作り方に似てくる。また選択の余地があるということは、それなりの広さの空間を必要とするであろう。ここで、環境変化に伴う人間の場所選択行動と住宅のあり方が結びついてくることになると言える。

2. 研究の目的

前述のとおり研究代表者の久野は、良好な通風・日照環境を持ったモデルハウスにおいて夏秋冬の実験を行い、夏の通風と冬の日照の有効性を確かめた。これにより、ASHRAEなどの快適範囲を越えても快適性が得られることが分かった。また、環境条件によって場所の選択が変化する様子を見出した。

一方、夏は通風があることが望ましいが他の季節は必ずしも必要とはされず、意図的に換気を考えなければならない。冬の日照は好ましいものであるが、夏は嫌われる。また、一般にオフィスではグレアが問題になるため、太陽の直射や高輝度窓面は季節を問わず排除される。しかしながら、住宅においてはオフィスのような高い生産性が求められるわけではないので、Hewitt(1963)が指摘するような acceptable glare も短期的には取り入れられるべきであろう。

そこで本研究では、一日および年間を通じた実験により、外界の変化とそれに伴う住宅内環境の変化および人間の行動・心理の変化を捉え、一日間・一年間の中における変曲点を考慮した地球環境保全の時代にふさわしい住宅のあり方について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

場所選択行動に関しては、研究代表者の久野がモデルハウスを用いた実験を行い、まず、夏期・冬期の違いを明らかにし、次に年間を通じた実験により、環境および行動の日変化・年変化を求めた。

温冷感予測については、久野と研究分担者の佐古井・加藤により開発した非定常温冷感シミュレーションモデルを用い、佐古井・飯塚・加藤が夏の通風環境への適用について拡張・改良を行った。また、久野・齋藤が住宅内の温熱環境について複数のモデルハウスを用いた年間実験を行い、通風と日照の効果について測定・検証を行った。これにより、通風・自然換気で過ごすことのできる環境状態を把握し、通風利用可能時間について検討した。通風・換気の性状は、外部風の条件や住宅の開口部・方位によって異なるが、齋藤・飯塚が実測および多室間シミュレーション・CFD(数値流体力学)シミュレーションを行い、設計・運用方法を検討した。

光環境については、岩田・望月が輝度分布および選択場所の日変化・年変化から、作業に必要なとされる照度、周囲輝度、日照が好まれるための条件などを明らかにした。実際のモデルハウスで実現できない条件については照明シミュレーションにより検討を行った。また、演色性の改良が進み、電球との置換を簡易にするために光束表示が行われるなど、住宅で使用する上での問題が解決され、今後急速に普及すると思われるLED照明についても検討を行った。さらに住宅用でも調光・調色が可能なものが多いことを踏まえ、適切な制御を行うことによる省エネルギー効果と人体生理への影響について検討を行った。

4. 研究成果

久野・齋藤は、男女被験者各8名を用い、TG社実験住宅(愛知県東海市)で年間を通じた被験者実験を行った。TH社のモデルハウス

(愛知県豊田市)では女性被験者を用いたが、本研究により場所選択行動に影響を与える生活行為評価に男女差が見られないことを示した。また、場所選択行動において、夏季に通風のある快適な場所では通常とは異なる行為も選択されること、冬季において近傍に日射がある場所でも同様の結果が得られること、温熱環境が中立である中間期では光環境が好影響を与えることを示した。さらに久野は、住宅内および都市空間において、アプローチの違いによる印象変化について年間を通じた調査を行い、開放的で安定的な空間が快適であることを示した。住宅ではアプローチによって輝度差が大きくなる場所でプレザントネスが生じ、評価場所の照度が高いほど評価性の得点が高くなること、半屋外を通るルートでは外部とのつながりが強く意識され、安全性の評価に大きな得点差が生じることを明らかにした。また、都市空間では明るさの差が開放性に、アプローチでの情報の差が安全安定性に影響を与えることを明らかにした。

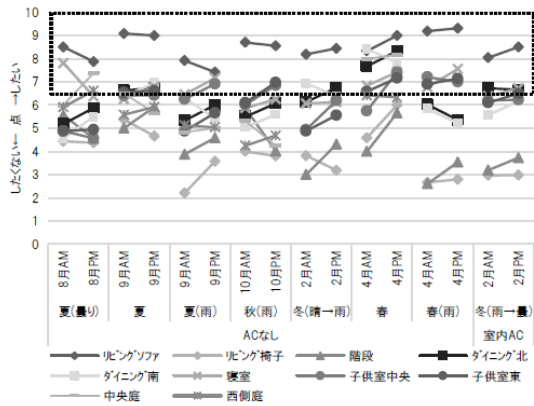


図1 第1因子『リラックス』の「何もせずリラックスする」の季節・時間帯変化(豊田)

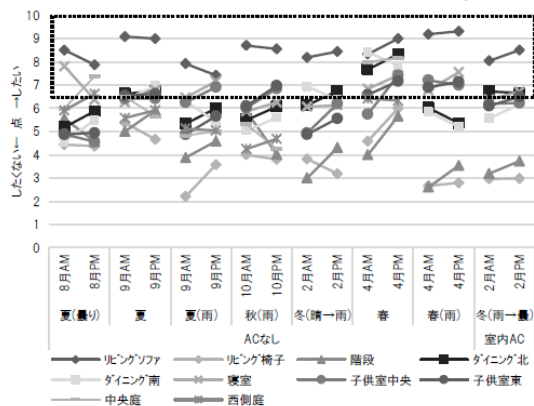


図2 第1因子『リラックス』の「何もせずリラックスする」の季節・時間帯変化(東海)

温熱環境評価については、過去の研究において夏季に気温 33 度でも気流が 0.6m/s 以上あると快適側の申告となることが分かっているが、本研究における皮膚温等の測定により、風速 0.6m/s 以上の気流が得られれば対流による放熱に加えて汗の蒸発も促進されるため、気温 34 度程度まで平均皮膚温が上

昇しないこと明らかにし、高温環境下において従来の人体熱モデルで計算される値よりも平均皮膚温が低くなることを示した。また、被験者実験の結果から、自然通風時に SET*29.7、PMV1.67 以下であれば 80% の居住者が室内温熱環境を許容できることを示し、熱・換気回路網モデル計算を用いて、住宅で自然通風を有効利用するための窓開放方法に関する検討を行った。これにより、夏季の通風利用可能時間が窓開放状況によって 1 日 2 時間程度異なる可能性を示した。冬季については日射を積極的に取り入れることで日当たり満足感が向上し、エアコンを使用しなくても熱的快適性が確保されることを明らかにした。

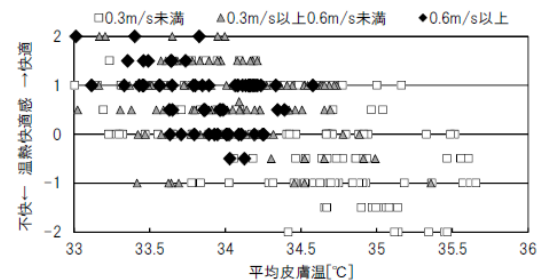


図3 平均皮膚温と温熱快適感申告との関係

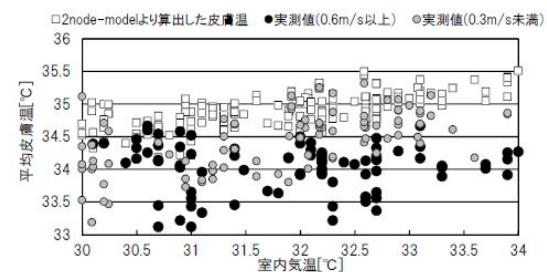


図4 室内気温と平均皮膚温との関係

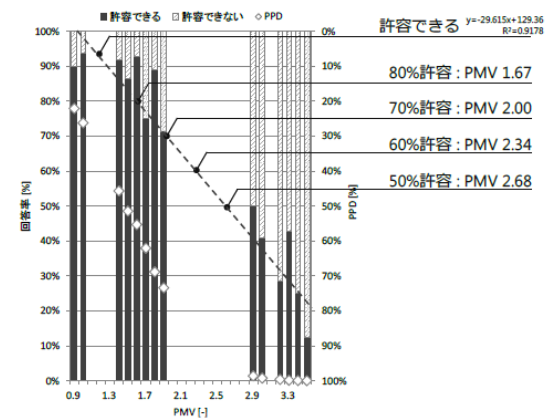


図5 通風時許容上限 PMV

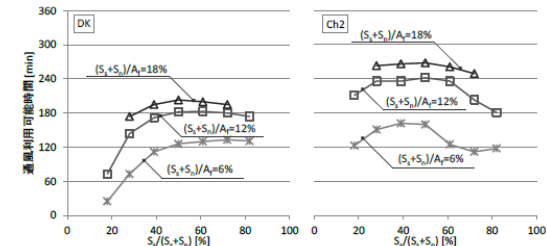


図6 窓面積率と南北窓面積比による通風利用可能時間(左:DK、右:子供室2)

飯塚・佐古井・加藤は、CFD（計算流体力学モデル）により夏季通風時の室内温熱・気流環境を解析し、それに基づく人体各部位の対流熱伝達率などを人体熱モデルに入力して人体各部位の皮膚温や放熱量を予測した。まず、CFD と人体熱モデルをオフラインで接続し、夏季通風時の室内温熱・気流環境解析と人体温熱生理状態の予測に取り組んだ。次に、数値流体力学（CFD）と3次元32分割人体熱モデルの連成計算に取り組み、予測精度の向上を図った。夏季通風時における室内への流入角度と気流温度の影響を考慮して室内温熱・気流環境と人体温熱生理状態を予測することにより、部位別皮膚温および部位別放熱量の算出を可能とした。その結果、前述した実測平均皮膚温とほぼ等しい値が得られた。

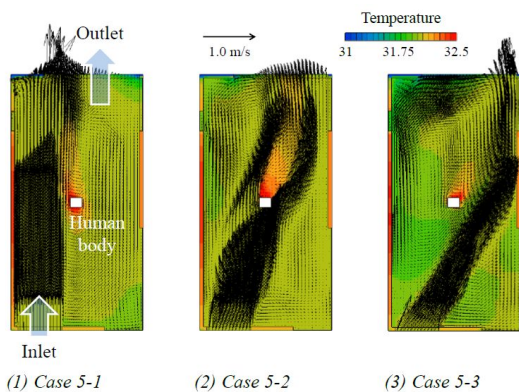


図7 床上1.2mにおける気温と風速ベクトルの水平分布

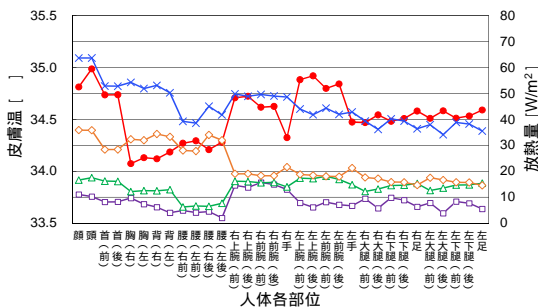


図8 人体各部位の皮膚温と各種放熱量（流入風温度 32 °C・流入風向 20°）

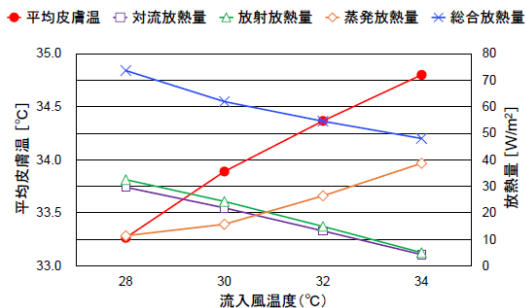


図9 平均皮膚温と各種放熱量(流入風向 20°)

また、佐古井は熱的中立近傍における夏服、静穏条件下での温冷感覚を、活動に伴う発汗増を考慮した人体熱モデルの皮膚温に対応付け、基礎衣服熱抵抗 0.35~1.1clo、風速

0.15~1.0m/sでの温熱快適域を示した。加藤は換気口や住宅開口部へダイナミック・インシュレーションを適用した場合の換気空気が室内温熱環境へ与える影響、および人体と接触あるいは近接する家具による熱的快適性への影響について、サーマルマネキンによる検証と等価温度を用いた評価を行い、新たな環境調整と省エネの可能性を示した。

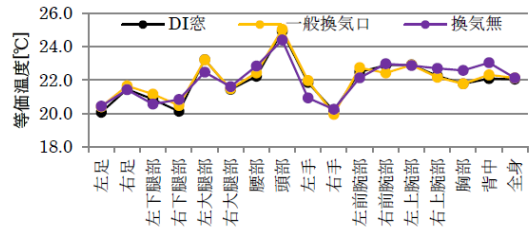


図10 換気種類別の等価温度（着衣時）
Sapporo (Cold region)

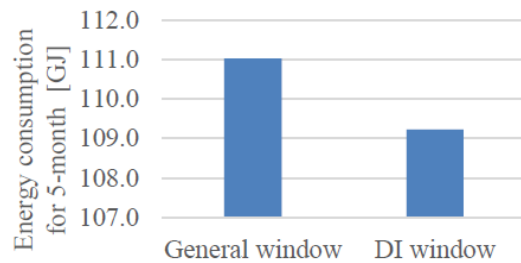


図11 換気種類とエネルギー消費量(札幌)

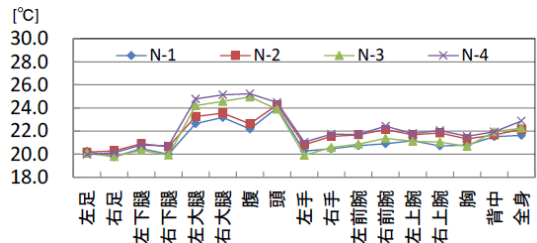


図12 机の有無による等価温度の変化

岩田は、模型実験により、住宅居間のLED光源による照明方式（分散照明と集中照明）、光色（色温度）、内装色による明るさ感と印象評価実験を行い、集中照明では輝度分布から予測される明るさ感より明るいと評価され、集中照明の高色温度照明、ブルー系壁紙で低色温度照明や暖色系壁紙より暗く感じられることを示した。また、熱環境の影響が少ない春季、秋季について、窓から外光を取り入れて日光利用を行う場合を対象に、視環境調整行動を考慮した光環境変動シミュレーションを行った。さらに、光環境調整行動の計算フローを提案し、居住者の光環境調整行動により明るさ感を確保しつつ照明用電力を削減できる可能性を示した。一方、夜間照明についても、実際の住宅照明を調光・調色可能なLEDシーリングライトへ取り替えた場合の実測調査を行い、居住者の光環境調整行動による照明用電力削減効果と、LED照明によるメラトニン抑制光の低減効果を確認した。

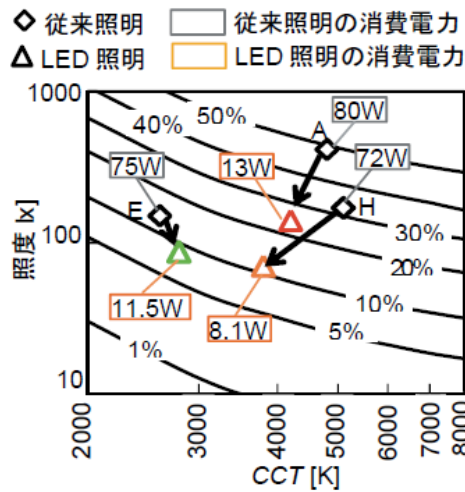


図 13 就寝 1 時間前のメラトニン分泌抑制率

望月は、模型実験により、各種生活行為を考慮した住宅居間光環境の快適性について心理・生理の両面から検討し、照明方式による快適性の違いについて、唾液アミラーゼ酵素や心拍変動に基づくストレス指標による評価の可能性を示した。また、少ない光束を空間内に効果的に分配し、住宅居間で行われる多様な生活行為に適した照明環境を形成するため、各種生活行為を考慮した住宅居間光環境の快適性について検討を行うとともに、睡眠効率と覚醒度に基づき、起床後・起床前の好ましい照明条件を示した。

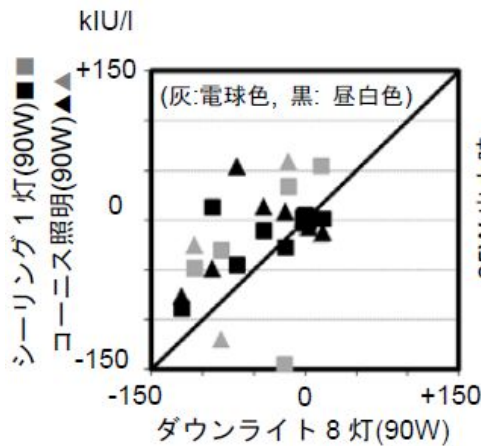


図 14 照明方式による唾液アミラーゼ活性変化量の比較

以上のように、室内環境の日変化・年変化に伴う人間行動の変化を明らかにし、温熱・換気・光環境の新しい評価法を見出した。また、ある程度の風速を持つ自然通風時における人体熱収支に関して、従来のモデルでは説明できなかった新しい成果を上げた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11 件)

Daisuke K, Shinsuke K, Energy saving and thermal comfort in residential buildings with dynamic insulation windows,

Proceedings of AIVC2014, 査読有, 2014, 447-456

Daisuke K, Shinsuke K, Kyosuke H, Evaluation of thermal comfort in rooms with dynamic insulation windows, Proceedings of Roomvent2014, 査読有, 2014, 142-149

Iizuka, S., Sakoi, T., Saito, T., Kuno, S., A numerical analysis of indoor thermal environment and human thermophysiological responses under natural ventilation, Proceedings of the 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association (ASim2014), 査読有, 2014, USB8p

Teruyuki Saito, Satoru Kuno, Saki Ota, Mayumi Mimura, The effect of natural ventilation on physiological and psychological responses to the indoor thermal environment of Japanese housing, Proceedings of Indoor Air 2014, 査読有, 2014, USB8p

Sakoi T., Mochida T., Kurazumi Y., Tsuzuki K., Ooka R., Modification of standard effective temperature for the evaluation of activity intensity, Proceedings of Indoor Air 2014, 査読有, 2014, USB8p

Tomoko Taniguchi, Toshie Iwata, Mina Watanabe, Effect of living room led lighting controlled by occupants on circadian rhythm and energy saving, Proceedings of Indoor Air 2014, 査読有, 2014, USB8p

Mayumi Mimura, Saki Ota, Satoru Kuno, Teruyuki Saito, Seasonal Changes in the Relation between Actions in Daily Life and Indoor Environment in Japanese Housing, Clima2013 - 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC, 査読有, 2013, USB10p

Saki Ota, Mayumi Mimura, Satoru Kuno, Teruyuki Saito, The Effects of Natural Ventilation and Sunshine on the Indoor Thermal Environment of Japanese Housing, Clima2013 - 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC, 査読有, 2013, USB10p

Mochizuki, E., Ishii, C., Sugano, S., Kashihara, S., Comfortable Darkness in Living Room Considering Living Activities, Proceedings of the 7th Lux Pacifica, 査読無, 2013, 90-94

Toshie Iwata, Effects of light color, surface color and luminance distribution on perception of brightness and atmosphere in living rooms, Journal of Light and Visual Environment, 査読有, 36, 2012, 94-99

Teruyuki Saito, Satoru Kuno, Effect of Air Movement in Housing during Japanese Summers, Proceedings of 7th Windsor Conference, 査読有, 2012, USB9p

[学会発表](計 34 件)

松井那緒美, 飯塚悟, 佐古井智紀, 齋藤輝幸, 久野覚, CFD と人体熱モデルの連成シミュレーションモデルの開発(その2) CFD・人体熱モデル連成解析に基づく積極的な通風利用の検討, 2015 年度日本建築学会大会, 2015 年 9 月 5 日, 東海大学

岸紗也子, 齋藤輝幸, 戸建住宅における自然通風有効利用のための窓開放方法に関する研究, 第38回人間-生活環境系シンポジウム, 2014 年 12 月 6 日, 長崎県立大学

大藪真裕, 中根晃, 久野覚, 住宅における屋内・半屋外空間の認識と積極的快適性に関する研究, 第38回人間-生活環境系シンポジウム, 2014 年 12 月 6 日, 長崎県立大学

河原大輔, 加藤信介, 樋山恭助, 大浦豊, 手塚純一, 山本哲也, 住宅開口部へのダイナミックインシュレーションの適用(その17) ダイナミック・インシュレーションによる換気空気の室内温熱環境への影響, 2014 年度日本建築学会大会, 2014 年 9 月 14 日, 神戸大学

小林美子, 加藤信介, 河原大輔, 人体周囲の家具が熱的快適性に与える影響(その1), 2014 年度日本建築学会大会, 2014 年 9 月 12 日, 神戸大学

望月悦子, 石井千恵子, 菅野普, 柏原誠一, 生理学的アプローチによる住宅照明空間の評価(その1 就床前・起床時の照明条件が睡眠・覚醒に与える影響), 平成 26 年度照明学会全国大会, 2014 年 9 月 6 日, 埼玉大学

谷口智子, 岩田利枝, 夜間住宅居間の光環境調整による生体リズムへの影響, 平成 26 年度照明学会全国大会, 2014 年 9 月 5 日, 埼玉大学

佐古井智紀, 持田徹, 都築和代, 大岡龍三, 作業環境評価のための標準有効温度の拡張, 平成 26 年度空気調和・衛生工学会大会, 2014 年 9 月 4 日, 秋田大学

小林美子, 加藤信介, 河原大輔, 人体周囲の家具が熱的快適性に与える影響の等価温度による検証, 平成 26 年度空気調和・衛生工学会大会, 2014 年 9 月 3 日, 秋田大学

佐古井智紀, 持田徹, 藏澄美仁, 都築和代, 大岡龍三, 活動評価のための標準有効温度の改良, 繊維製品消費科学会 2014 年年次大会, 2014 年 6 月 28 日, 京都工芸繊維大学

山口武俊, 中根晃, 久野覚, 都市空間の認識と積極的快適性の関係とその季節差に関する研究, その1 冬期・春期における現場実験, 第 37 回人間-生活環境系シンポジウム, 2013 年 12 月 1 日, 神戸大学

中根晃, 山口武俊, 久野覚, 都市空間の認識と積極的快適性の関係とその季節差に関する研究, その2 動画と実空間との印象評価の差異, 第 37 回人間-生活環境系シンポジウム, 2013 年 12 月 1 日, 神戸大学

佐古井智紀, 持田徹, 藏澄美仁, 都築和代, 大岡龍三, 高活動時の標準有効温度のずれと修正の試み, 第37回 人間-生活環境系シンポジウム, 2013 年 11 月 30 日, 神戸大学

三村真祐美, 太田早紀, 齋藤輝幸, 久野覚,

住宅における快適性と省エネルギー性両立のための室内環境に関する研究, (第3報) 温熱環境評価と生活行為評価の日変化・季節変化, 平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会, 2013 年 9 月 27 日, 信州大学

太田早紀, 三村真祐美, 齋藤輝幸, 久野覚, 住宅における快適性と省エネルギー性両立のための室内環境評価に関する研究, (第4報) 通風と日射が生理・心理反応に及ぼす影響, 平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会, 2013 年 9 月 27 日, 信州大学

芝秀輔, 飯塚悟, 佐古井智紀, 齋藤輝幸, 久野覚, CFD と人体熱モデルの連成シミュレーションモデルの開発(その1) 夏季通風時の室内温熱・気流環境および人体温熱生理状態のオフライン解析, 2013 年度日本建築学会大会, 2013 年 8 月 31 日, 北海道大学

望月悦子, 柏原誠一, 菅野普, 石井千恵子, 省光束で快適な光環境の評価手法に関する研究 その1 光環境の印象評価と生活行為の適否評価, 2013 年度日本建築学会大会, 2013 年 8 月 30 日, 北海道大学

柏原誠一, 望月悦子, 菅野普, 石井千恵子, 省光束で快適な光環境の評価手法に関する研究 その2 生理学的な評価アプローチの検討, 2013 年度日本建築学会大会, 2013 年 8 月 30 日, 北海道大学

佐古井智紀, 着衣と気流による温熱快適性の調節効果, 日本建築学会「建築環境設計のための次世代型温熱快適域シンポジウム」, 2012 年 11 月 8 日, 建築会館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久野 覚 (KUNO Satoru)
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号: 70153319

(2) 研究分担者

齋藤 輝幸 (SAITO Teruyuki)
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号: 30281067

飯塚 悟 (IIZUKA Satoru)
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号: 40356407

岩田 利枝 (IWATA Toshie)
東海大学・工学部・教授
研究者番号: 80270627

望月 悦子 (MOCHIZUKI Etsuko)
千葉工業大学・工学部・教授
研究者番号: 80458629

加藤 信介 (KATO Shinsuke)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 00142240

佐古井 智紀 (SAKOI Tomonori)
信州大学・繊維学部・講師
研究者番号: 70371044

(3) 連携研究者

なし