

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：32678

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22449

研究課題名（和文）建築・都市における動的な熱的快適性に関する研究

研究課題名（英文）Dynamic Thermal Comfort in Architecture and Urban.

研究代表者

中川 純（NAKAGAWA, Jun）

東京都市大学・建築都市デザイン学部・准教授

研究者番号：60875293

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、空間性と人間の行動や心理・生理を加味しながら、我々はどのようなときに快適・不快と感じるかをライブ状態で計測し、そこから動的な熱的快適性に関する知見を得ることを目的としている。本研究によって温湿度、上下放射温度計、照度計、風速、位置情報、快不快申告値をインターネットに接続したWi-Fiに接続することで自動的にgoogleスプレッドシートに蓄積するシステムを開発・構築し、その回路図と基板を公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、気温、湿度、放射温度、照度、風速、位置情報、および被験者の心理量の申告を1秒間隔で計測し、自動的にサーバにアップする装置を、オープンソースハードウェアを用いて開発している。従来では難しかった移動中の動的な温熱環境を、心理量を含めて同時に測定する装置を開発しており、まだ課題はあるが、本装置を実際の半屋外空間の評価に用いている。センサ部の改良やソフトウェアの工夫は、今後広く適用可能な成果である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to gain knowledge about dynamic thermal comfort by measuring when we feel comfortable or uncomfortable under live conditions, taking into account spatial characteristics, human behavior, psychology, and physiology. We have developed a system that automatically stores temperature, humidity, upper and lower radiation thermometers, illuminance, wind speed, location information, and comfort/uncomfort report values in a google spreadsheet by connecting to a Wi-Fi connected to the Internet. And, the electronic circuit diagram and board of the system are now available to the public.

研究分野：建築計画・建築環境工学

キーワード：熱的快適性 移動計測 オープンソースハードウェア

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

建築における熱的快適性の評価は、その空間の温熱環境の物理的な条件に対して、人体の熱収支理論をあてはめることによって体系化されてきた歴史がある。特に PMV¹⁾は、温冷感を算出するために計算式を「温冷感=人体の熱負荷の関数」と「人体の熱負荷=温熱6要素の関数」の二つに分け、温熱6要素の物理式から導かれた人体の熱負荷と、被験者実験に基づく温冷感を統計処理して人体の熱負荷を結ぶことで熱的快適性を求めている。これは、温熱6要素から快適性を予測するためには有用な手段である。また、室内滞在者が十分に多いこと、室内が均質であること、温熱6要素が一定という条件が仮定されている。従って、長期滞在を目的とした空調された執務空間などの快適性を評価するためには非常に有効な手段である。

一方、de Dear²⁾は行動的・心理的適応により、自然換気を用いたオフィスの熱的快適条件が空調されたオフィスとは異なることを報告している。厳密な環境制御が行われている実験室において行われた結果に基づく PMV では、快適温熱環境範囲が比較的狭い範囲になっていると指摘している。本来は自然換気オフィスに対する提案であったが、アダプティブ・モデル²⁾は間欠空調やハイブリッド空調が行われている空間にも適用する事例も報告されており、設備容量の縮小や設定温度の緩和の理由とされている。

オフィスのように長時間滞在するための空間を評価するだけではなく、滞在時間が短い空間、特にエントランスやアトリウムといった移動を前提とした空間に対しても、行動的・心理的適応があることを解明する研究も行われている。エントランスやアトリウム等の移動空間の省エネに関しては、必ずしも温熱環境を均一に保つ必要はなく、分布を考えることでエネルギー消費量も削減できる。さらにエネルギーを削減して移動空間を非空調空間としたとき、屋外環境もしくは半屋外空間と同等の環境になるだろう。

滞在を前提とした空間と移動を伴う空間の温熱環境について述べたが、建築は本来これら二つの空間の総体であるので、各空間との連続性と関連性において評価する必要があると考えられる。「快適」とは「快い状態に適する」行動を伴った概念であり、快・不快の判定には微細な環境の差異から導かれた動的な熱的快適性が重要な概念となると考えられる。屋外から執務空間に至るプロセスにおいて更なる省エネを実現するために、移動空間をあえて不均一環境として、滞在者が執務室に至る温熱履歴を踏まえた上で快適と思える空間を計画・設計するためには、不均一環境における温熱履歴などの物理的な環境条件と多様な心理的・生理的反応を小さな時程数で定量的に把握した上で評価する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、空間性と人間の行動や心理・生理を加味しながら、我々はどのようなときに快適・不快と感じるかをライブ状態で計測し、そこから動的な熱的快適性に関する知見を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

空間性と人間の行動や心理を加味しながら、どのようなときに快適と感じるかを簡易な方法で計測するデバイス「Wi-Fi Yuho」を開発する。計測項目は、照度、温度、湿度、上下放射温度、風速、GPS、快・不快の申告とした。快・不快の申告は1秒間に最大6回程度認識できる仕様になっている。「Wi-Fi Yuho」をWi-Fiに接続することで、googleのサーバに自動的に蓄積する仕様とする。

4. 研究成果

「Wi-Fi Yuho」を図1に示す。基板(図2)にはマイコン、温湿度計、放射温度計、照度計、風速センサ、GPS、Wi-Fiを組み込んだ。マイコンは「ATSAMD21」を採用した。照度計は「TSL2591」、温湿度計は「SHT25」、放射温度計は「D6T-44L-06」、風速計は「wind sensor」を採用した。図3に回路図を示す。各種センサはASHRAE及びISO等に準拠すべきであるが、本研究では時定数を優先してデバイスの開発を行うことで既往研究とは異なる解像度のデータが得られるようにした。



図1 Wi-Fi Yuho

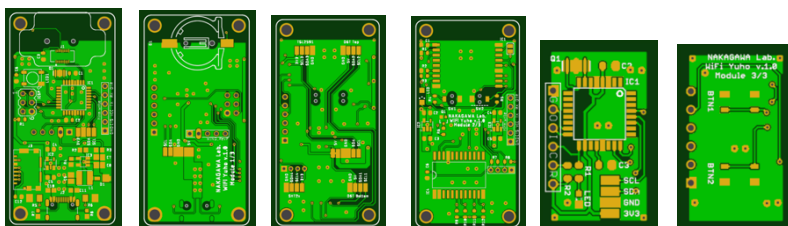


図2 Wi-Fi Yuho 基板

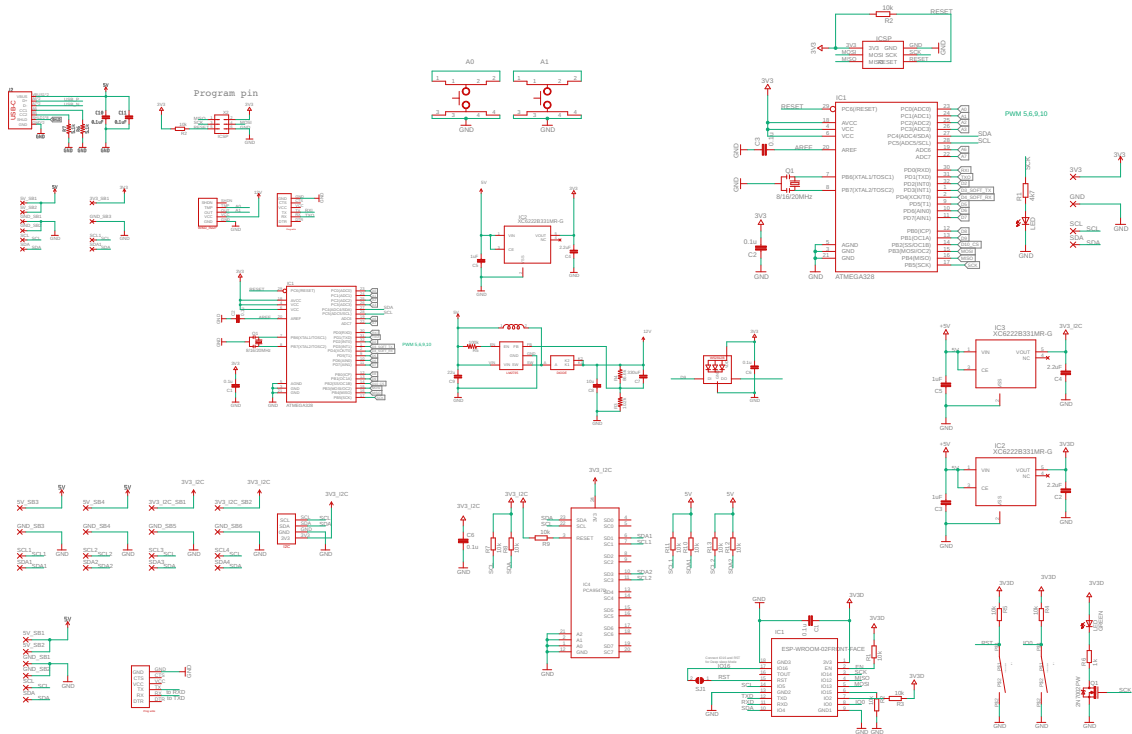


図3 WiFi Yuhu 回路図

データの取得に関しては「Wi-Fi Yuhu」をインターネットに接続したWi-Fiに接続することで自動的にgoogleスプレッドシートに蓄積する仕様とした。実測前の初期設定において、はじめに屋外で実測する時に用いるWi-Fi（たとえば携帯するスマートフォン等）のSSIDとパスワード、ならびにgoogleスプレッドシート用にgas idを用意し、これらの値を「Wi-Fi Yuhu」内に実装したサーバ上に登録することで温度、湿度、上下放射温度、照度、風速、GPS、時刻、申告値の情報を指定したgoogleスプレッドシートに毎秒記録するシステムを構築した。

温湿度センサはデジタルセンサであるためキャリブレーションを行う必要はないが、チップの発熱を拾わないように2秒に1回チップに通電して計測し、データの書き込みは毎秒行う仕様とした。また、照度センサについてもデジタルセンサであるためキャリブレーションを行う必要はない。風速センサは発熱体とサーミスタによって構成されており、温度と風速の関係を機械学習によって算出した計算式を用いて数値化し、それをアナログデータでマイコンが取得する仕様になっている。9.00Vの電圧をかけた状態では0.01m/sから25.00m/s程度の風速に対応する。ただし、給電時の電圧と発熱体およびサーミスタにわずかな個体差があり、これが風速の値に影響を及ぼすため、線形性は担保されているが、風洞試験機でのキャリブレーションは必須になる。チューニングの結果、1次式の補正式でキャリブレーションが可能になったため、2点の風速値を計測することでキャリブレーションが可能になった。放射温度に関しては、長波長だけでなく短波長域の一部を感知するセンサを新たに採用した。4×4マスの放射温度を検出し、それらをひとつのデータに統合するときの直達光による誤差が大きく、今後の課題となった。また、GPSに関してはWi-Fiを起動すると電波干渉のため位置情報に大きな誤差が生じることが分かった。リアルタイム計測において、GPSとWi-Fiの各チップの配置や筐体デザイン、シールドの方法など今後の課題となった。

実測調査に関しては、気流速度分布の大きい上部が屋根と樹木に囲まれているテラス、直達日射に曝された中庭、ピロティ空間の3点で行った。被験者は約25°Cに空調された前室にて椅座安静の後、直達日射に曝された屋外定点にて10分間滞在し、その後、再度前室にて10分間滞在した後に、直達日射が当たらない非空調の半屋外環境にて30分間椅座安静を保ち測定を行った結果、周囲を建物に囲まれ上部が天井で覆われているピロティでは気流速度が快・不快感に及ぼす影響が大きいことが示唆された。今後は「Wi-Fi Yuhu」の放射温度の精度検証、ならびにGPSとWi-Fiの電波干渉の課題に取り組み、追加の実測で取得した未知のデータを用いて予測精度の検証を行いたいと考えている。

<参考文献>

- 1) P. O. Fanger, Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970
- 2) deDear, R. J, et al., Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, Vol. 104(1), pp. 27-48, 1998

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊侑々子, 深和佑太, 小川裕太郎, 野元彬久, 秋元瑞穂, 飯原康介, 松尾和弥, 中野淳太, 中川純, 田辺新一
2. 発表標題 半屋外環境における空間特性を考慮した熱的快適性調査（第1報）空間の印象評価を用いた環境グレード分類
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深和佑太, 渡邊侑々子, 小川裕太郎, 野元彬久, 秋元瑞穂, 飯原康介, 松尾和弥, 中野淳太, 中川純, 田辺新一
2. 発表標題 半屋外環境における空間特性を考慮した熱的快適性調査（第2報）リアルタイム申告を用いた気流速度が及ぼす快・不快感への影響度の空間別比較
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------