

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14769

研究課題名（和文）住宅周囲の植栽による微気象の変化を考慮した室内熱環境の予測・評価

研究課題名（英文）Evaluation of indoor thermal environment considering change of micrometeorology by garden planting around residential building

研究代表者

河合 英徳 (Kawai, Hidenori)

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：00735376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では多点同時計測システムを用いた屋外実測により、住宅周囲に局所的に形成される微気象の特徴を把握すると同時に、外気導入用の開口部の近傍に配置された植栽の熱収支の分析を行った。数値解析では、熱放射解析とLESの連成解析による屋外微気象の予測手法を構築した。さらに、構築した手法に植栽の空気力学抵抗と顕熱フラックスのモデルを導入し、植栽による住宅地における屋外微気象の改善効果を予測した。最後に、開口部近傍の気温の低減効果を考慮して室内気候を予測するモデルを構築し、住宅における夏季の長期間を対象としたモデルの適用において、開口部の近傍に配置された植栽による室内気候の改善効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築する解析手法において、数値流体解析結果を用いて建物近傍の外気温・湿度分布を推定することで室内熱環境改善効果が得られる植栽の種類・配置や外構部材の設計方法が確立可能となる。さらに今後、数値流体解析によってとらえた風速場・温度場を建築内外の熱・水・空気のマクロな収支モデルに組み込むことで、住宅周囲の植栽による微気象の空間分布を考慮しながら数日～数か月単位にわたる室温・湿度変化を予測することが可能となり、屋内外を包括した熱環境改善手法の設計・評価が実現可能となる。

研究成果の概要（英文）：This study reveals characteristics of local micrometeorology around residential building by multi-point measurement system and analyzes thermal balance of garden planting located around ventilation window. For numerical simulation, coupling method of thermal radiation analysis and LES is presented and models of drag effect and sensible heat flux for garden planting are introduced to the presented model. Then, improvement effect on micrometeorology in residential areas by garden plantings is predicted by the coupling method. Finally, based on the measurement result of thermal balance for garden planting, prediction model of indoor climate considering the local distribution of air temperature caused by garden planting is presented. The presented model is applied to long-period prediction of indoor climate in summer and the improvement effect of indoor climate by garden planting located around ventilation window.

研究分野：建築環境工学，風工学

キーワード：微気象 植栽 換気 LES 建物熱負荷計算

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 住宅周囲の良好な微気象を利用した自然換気・通風手法の予測・評価

近年、都市の暑熱環境が悪化する中で、住宅地の街区設計において植栽や蒸発冷却手法を積極的に導入し、良好な微気象の形成を意図した事例が増加している。このような外構計画の導入を推進していくためには屋外の暑熱環境にとどまらない複合的な効果を提示していく必要がある。住宅周囲の植栽による微気象の効果の一つとしては、住宅の自然換気・通風に対する効果が挙げられ、植栽により形成された良好な微気象は室内に快適な空間を創り出すとともに、外気導入可能な期間の拡大が期待される。外気導入期間の検討においてはそれぞれの日、時間によって気象条件が時々刻々と変化するのに加え、室温の予測においては住宅の躯体の蓄冷効果等、伝熱現象における履歴を考慮する必要があるため、外気導入の効果や利用期間を評価していくためには、植栽等の周りでの冷気の生成過程を明らかにしながら、屋内外の気温、湿度を数日～数か月の期間で予測していく必要がある。

(2) 植栽によって形成された屋外微気象の分布が室内気候に及ぼす影響の予測

数日～年間の住宅の室温・湿度予測が可能な建築熱環境シミュレーションとしては建物熱負荷計算、換気回路網計算があげられるが建物近傍の外気温・湿度も空間分布一様として扱われており、建物周りに形成される局所的な微気象の影響を考慮することができない。一方で既往研究では建築外部空間と解析領域を一体化し、熱収支解析と数値流体解析(CFD)を用いた空間的にミクロな解析手法により建築内外の熱環境を予測する方法も提案されている。しかし、本研究で扱う外構部材のような複雑な形状周りに形成される流れ場・気温場については明らかにされていないとともに、計算負荷の観点から数日～数か月の時間スケールでの予測・評価は困難である。よって、このような評価を可能にするためにはCFDの解析結果に基づく入力パラメータによる開口部近傍の微気象をマクロに評価するモデルの作成が課題である。

(3) 住宅周囲の微気象を把握するための数値解析手法

市街地における街路樹等による暑熱環境の緩和効果については、RANSモデル等を用いた定常状態を仮定した数値流体解析手法と熱放射解析の連成によって明らかにされているが、住宅周囲の局所的な微気象の変化を明らかにするためには、風速の非定常な変化を再現可能な乱流モデルのLES(Large Eddy Simulation)の活用を視野に入れる必要がある。しかし、LESによって再現される風速のスケールは熱放射の時間変化に比べて非常に小さく、熱放射解析とLESの時間スケールの違いを考慮した解析が必要である。

2. 研究の目的

住宅周囲の植栽によって局所的に形成される微気象の分布を考慮しながら、住宅の室温・湿度の時系列変化を数日～数か月単位の期間で予測するモデルを構築し、住宅周囲の風況や外気温、湿度が非定常的に変化する状況での自然換気・通風手法の有効性を評価する。まず、開口部近傍の1～10m程度の領域(開口部近傍ゾーン)に着目し、開口部近傍ゾーンを出入りする熱、湿度の輸送過程を明らかにする。一方で数値解析においては、建物周りの局所的な微気象の分布を明らかにする手法として熱放射解析とLESの連成解析手法を構築し、その妥当性を確認する。さらに連成解析手法の有効性を示すために、実在住宅での解析を行い、植栽を用いた設計が屋外微気象の改善に及ぼす効果を明らかにする。最後に、実在住宅を対象とした解析によって得られた微気象改善効果に基づき、室内気候の改善効果を数日レベルで評価し、屋外の植栽の配置の有効性を示す。

3. 研究の方法

研究背景において示された課題に対して下記の方法に基づき研究を実施した。

(1) 多点同時計測システムによる住宅周囲の微気象の把握と植栽の熱収支、運動量収支の把握

本研究ではまず、気温・風速・湿度の多点同時計測システムによる測定から住宅周囲の微気象を把握する。さらに植栽によるパッシブクーリング効果を明らかにするために住宅周囲で想定される植栽を対象として植栽の表面積、形状を整理したうえで、これらのパラメータと植栽の冷却効果、風速の減衰効果の関係を明らかにする。

(2) 熱放射解析とLESの連成解析手法の構築

実市街地における微気象を把握するうえでは住宅や植栽の周囲に形成される非定常な風速、温度の変化をとらえる必要がある。本研究では数値流体解析手法において非定常な風速の変化の予測が可能であるLES(Large Eddy simulation)と熱放射解析手法に着目する。前者は1秒以下の高周波に変動する風速の変化を解析する一方で、後者における地表面の熱放射場の変化は地面や躯体の熱伝導に基づき変化することから時間スケールが前者よりも大きく、この点を考慮しながら連成手法の構築を行う。

(3) 熱放射解析とLESの連成解析手法への植栽モデルの導入

本課題において住宅周囲の微気象を把握するうえでは植栽による風速低減効果と気温低減効

果を適切に評価する必要がある。本課題では(1)において評価したパラメータに基づいた植栽のモデルを熱放射解析と LES の連成解析手法に導入する。

(4) 住宅における植栽の配置提案による良好な微気象の形成とその利用

(1)~(3)に基づいたモデルに基づいて良好な微気象を形成するための設計手法を検討するために植栽の配置が異なる複数のケースを用いて地表近傍での気温低減効果を検討した。さらに、植栽の配置により形成された良好な微気象を室内気候の改善に生かすための開口部近傍の微気象ゾーンモデルの構築に向けて、屋外微気象の風速・温度の分布特性と乱流構造に関する分析を実施する。

(5) 良好な屋外微気象の形成による室内気候の改善効果予測のためのモデル構築と適用

本課題では住宅の外気導入用の開口部の直近に植栽を配置した事例を対象として、開口部近傍の気温の低減効果を予測するモデルを構築し、建物熱負荷計算と換気回路網計算に組み込むことにより数日レベルの室内気候低減効果を予測するモデルを構築する。以上から構築した建築内外の熱環境の予測モデルを住宅における長期間(数日~数十日レベル)の室内気候の予測に適用する。

4. 研究成果

(1) 屋外実測による開口部近傍ゾーン内の熱・水収支の解析

夏季に良好な屋外微気象が得られる手法として開口部近傍の植栽に散水を行った場合に着目し、多点同時計測システムによる測定結果から気温・風速・湿度の空間分布特性を明らかにした。その結果、蒸発の駆動力である大気飽差と植栽前後における気温差との間に正の相関が見られ、大気飽差が 3.0kPa となる条件において開口部近傍気温が周囲より最大で 3℃ 低下することを確認した。また、開口部近傍に配置する植栽の熱収支の分析として、住宅の植栽として用いられることの多いキンメツゲ、シマトネリコ、シラカシを対象とし、多点同時計測システムの実測結果から植栽による風速減衰(抵抗係数)と対流熱伝達率を植栽全体の熱収支・運動量収支により同定した。その結果、風速と正の相関をもつ植栽の対流熱伝達率が得られた。

(2) 熱放射解析と LES の連成解析手法の構築

住宅周囲の植栽による微気象の変化をとらえる手法として、熱放射解析と数値流体計算(CFD)の連成手法を提示した。本手法では市街地の表面近傍における詳細な乱流構造とキャノピー内の長波長放射の輸送プロセスを再現するために、非構造格子の有限体積法に基づくラージ・エディ・シミュレーション(LES)と放射強度の輸送方程式に基づく放射解析手法の導入を行った。また、表面の熱伝達と乱流場の相互作用を再現するために市街地表面の熱伝導計算と LES による乱流解析の間での連成方法の検討を行った。LES の流入条件についてはメソ気象モデルに基づく夏季晴天日の温度の鉛直分布を考慮した大気境界層の LES を実施し、温度と風速の時空間データベースを作成した。次に、市街地における連成手法の有効性を確認するために、ドップラーライダーと地上における気温・風速の観測結果との比較を実施し、都市キャノピー内における風速と加熱された市街地表面からの気温の上昇のプロセスが再現されていることを確認した。

(3) 熱放射解析と LES の連成解析手法への植栽モデルの導入

昨年度検討を行った熱放射解析と数値流体計算の連成解析手法において植栽の空気力学抵抗と顕熱フラックスのモデルの導入を試みた。植栽の抵抗モデルは LAD(葉面積密度)と植栽の抵抗係数によって抗力を運動量保存式とエネルギー方程式に与えるモデル(Shaw and Schumann, 1992)を、樹木の顕熱フラックスは樹木の熱収支に基づいて鉛直方向の熱交換係数を定める Brown and Covey(1966)のモデルを用いた。

(4) 連成解析手法の住宅地への適用と屋外微気象分布の把握

さらに、植栽の熱環境効果を確認するために、植栽が入った市街地の LES (Large Eddy Simulation)を実施した。本研究では、市街地を対象として屋外空間の熱環境緩和に効果的な植栽な配置として、植栽を 10m×20m 程度の領域に集中的に配置したケースと分散して配置したケースに関する LES を実施し、その気温低減効果を植栽のないケースと比較した。その結果、植栽を 10m×20m 程度の領域に集中的に配置したケースでは植栽を分散して配置したケースと比べて 0.5℃ 程度の気温低下がみられた。一方で分散配置したケースでは対象市街地の広い範囲において植栽のないケースと比較して 1~3℃ の平均気温の低下が確認された。また、地表近傍の温度場、風速場の乱流構造を確認したところ、屋外空間にも空間スケールが 3~4m 程度の詳細な網目状の温度場の乱流構造が確認され、構造が瞬間的な気温の上昇、下降に影響を及ぼすことが示唆された。

本研究の当初計画では等温の LES の結果に基づき開口部近傍の微気象ゾーンモデルを構築し、室内気候への影響を示す計画であったが、本課題の成果は地表近傍の乱流構造が熱的效果によって変化することを示唆するものであり、地表近傍に形成される局所的な温度場の分布のモデル化が課題である。

(5) 良好な屋外微気象の形成による室内気候の改善効果の予測

(1)において得られた植栽の風速減衰に関するパラメータ(抵抗係数)と対流熱伝達率に基づき、開口部近傍の気温の低減効果を予測するモデルを構築し、建物熱負荷計算と換気回路網計算に組み込むことにより数日レベルの室内気候低減効果を予測するモデルを構築した。以上から構築した建築内外の熱環境の予測モデルについては住宅における夏季 30 日間の室内気候の予測に適用した。その結果、住宅の植栽の蒸発散効果に伴う気温低減により、日中正午前後における居間の室温が最大 2 程度低減し、室内の気温が 28 度を超える時間が植栽を用いないで外気導入をしたケースと比較して平均で約 40 分増加することが確認された。本解析では開口部直近にある植栽の気温低減効果と風速減衰効果のみに着目してモデル化を行ったが、今後(4)の結果に基づき、開口部近傍の微気象をモデル化することで、より多様な植栽や外構部材の配置・設計事例への適用が可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 新井舞子、河合英徳、田村哲郎	4. 巻 25
2. 論文標題 熱放射を考慮した市街地の L E S に基づく気流・熱環境解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第25回風工学シンポジウム	6. 最初と最後の頁 217-222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河合 英徳、眞鍋 悠太、浅輪 貴史	4. 巻 52
2. 論文標題 土浦市街地における高層建築物が周辺低層市街地の冬季の建物熱負荷に及ぼす影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 387 ~ 392
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.11361/journalcpj.52.387	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hidenori Kawai, Takashi Asawa and Yuta Manabe
2. 発表標題 Outdoor Space Modelling for BIM-BASED Building Thermal Simulation
3. 学会等名 The 33rd International Conference on Passive Low Energy Architecture (PLEA) (国際学会)
4. 発表年 2017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
---------------------------	-----------------------	----