

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13882

研究課題名（和文）生体発散物質による空気汚染の解明と快適・省エネルギーな室内環境制御法の開発

研究課題名（英文）Elucidation of air pollution caused by bioeffluents and development of comfortable and energy-saving indoor environment control method

研究代表者

對馬 聖菜（TSUSHIMA, Sayana）

芝浦工業大学・建築学部・助教

研究者番号：10801251

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、主たる室内空気汚染源であり、必要換気量を決める際の基とされている生体発散物質に着目し、良好な室内空気環境を省エネルギーで実現するための原理と手法に関して追究することを目的とした。異なる身体活動・睡眠時間条件が生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響に関する被験者実験、および公立小学校における実測調査により、体臭成分であるAcetaldehyde濃度やAmmonia濃度の方がCO2濃度よりも臭気強度との相関が高い場合があることを示し、必ずしも現状のCO2濃度による体臭制御が適切でない可能性を明らかにした。また、効果的な知覚空気質改善方法を空気清浄機使用方法の観点から検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、一般居室における空気環境制御の総合的な換気基準として、室内CO2濃度の上限は1000 ppmと定められている。しかし、CO2自体は体臭成分ではないため、多様な執務者が混在する建築室内においては、体臭による知覚空気汚染を制御する指標として十分とは言えない。生体発散物質は多くの既往研究により化学的に分析されているものの、知覚空気質に与える影響の違いに着目した研究は少ない。本研究の成果は、新たな空調方式やフィルター・衣服素材の開発・実用化への足掛かりとなり、居住者の快適性、知的生産性、健康そして建築の省エネルギー性向上に大きく貢献することが可能である。

研究成果の概要（英文）：In this research, we focus on bioeffluents substances, which are the main sources of indoor air pollution and are the basis for determining the required ventilation volume. The purpose was to pursue the principles and methods for realizing a good indoor air environment with energy saving.

According to subject experiments on the effects of different physical activity and sleep time conditions on the amount of bioeffluents substances and perceived air quality, and actual measurement surveys at public elementary schools, the odor intensity of Acetaldehyde and Ammonia, which are body odor components, is higher than that of CO2. It was clarified that body odor control based on the current CO2 concentration may not always be appropriate. In addition, an effective method for improving perceived air quality was examined from the viewpoint of how to use an air purifier.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：生体発散物質 室内空気質 知覚空気質評価 化学分析 実測調査 チャンバー実験

1. 研究開始当初の背景

室内空気質は居住者の快適性、知的生産性、健康そして建物のエネルギー消費に関わる重要な要素である。

室内空気質の基準として、日本では建築基準法・建築物衛生法いずれにおいても一般居室のCO₂濃度上限は1,000 ppmと定められ、1975年から現在に至るまで変更されていない。この基準は、生体発散物質が不快感に関係しているとし、呼吸由来のCO₂をベンチマークとした空気汚染度評価法を提案したPettenkoferの論文(1858)に基づいている。

しかし、申請者らはこれまでの研究で、室内知覚空気質悪化の主原因は皮膚発散物質であること、そして環境条件として、室内のオゾンが存在よりも温度上昇がより臭気強度を強める可能性があることを明らかにしている。室内温熱環境や在室者の性質によっては現状のCO₂濃度による体臭制御が適切でない可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

生体発散物質は、主たる室内空気汚染源であり、必要換気量を決める際の基とされている。本研究では、生体発散物質が知覚空気質に与える影響に着目し、皮膚由来の生体発散物質の原因臭気特性に関する実験、実施設における温熱・空気質環境に関する実測調査、効果的な知覚空気質改善手法の検討を行うことで、良好な室内空気環境を省エネルギーで実現するための原理と手法に関して追究することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、生体発散物質が知覚空気質に与える影響に着目し、(1)皮膚由来の生体発散物質の原因臭気特性に関する実験を実施した。これにより得られた知見を実用段階まで発展させるため、(2)実施設における温熱・空気質環境に関する実測調査、および(3)効果的な知覚空気質改善手法の検討を行った。

(1) 皮膚由来の生体発散物質の原因臭気特性に関する実験

① 小型の化学物質捕集装置を用いた異なる室内温度条件下における皮膚ガス放散量に関する被験者実験：

在室者の皮膚表面から放散する化学物質を簡易に直接捕集するため、小型皮膚ガス捕集プローブ(図1)を用いた実験を行った。23℃および30℃の異なる室内温度条件の実験室に滞在させた在室者の皮膚表面から放散する化学物質を直接捕集する被験者実験を実施した。

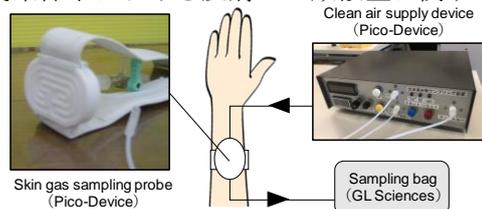


図1 測定方法

② 身体活動が生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響に関する被験者実験：

体臭として知覚される生体発散物質の放散量は、温熱環境、身体活動による代謝量変化、生活習慣等の様々な要因により変化する。特に、皮膚腺由来、血液由来の体臭物質の放散量は身体活動および温熱環境変化による影響が大きいことが既往文献調査より予想された。

そこで、知見の少ない身体活動影響について、3つの異なる代謝量条件を設け、5.5m³ステンレス製チャンバーにて被験者実験を行った。チャンバー内の空気温度は一般的なオフィスで用いられる26℃、相対湿度は60%RH、換気回数はチャンバーの最大換気回数である2.0回/hとし、その他の環境条件はなりゆきとした。表1に4名の被験者それぞれの代謝量条件を示す。実験中はチャンバー内の空気温湿度、CO₂濃度、PMVの測定を行った。化学分析のため、各代謝量条件の最後25分間、チャンバー内空気をポンプで捕集した。在室者の生理量として、皮膚温、皮膚水分量および心拍数を計測した。また、臭気評価を行う上で正常な嗅覚を有すると認められた20~21歳の男女各3名の学生6名のパネルにチャンバー内空気の知覚空気質評価をさせた。

なお、同一被験者で代謝量条件を一部変更し、追試実験も行った。

表1 代謝量条件

日程	1日目						2日目					
	A			B			C			D		
在室者	安静	2.0 met	再安静	安静	2.5 met	再安静	安静	2.0 met	2.5 met	安静	2.0 met	2.5 met
代謝量条件	75分	75分	75分	75分	75分	75分	60分	60分	60分	60分	60分	60分
継続時間	75分	75分	75分	75分	75分	75分	60分	60分	60分	60分	60分	60分

③ 睡眠不足に伴うストレスが生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響に関する被験者実験：

睡眠不足によるストレスは身体および心理状態の変化を引き起こし体臭に影響すると予想される。睡眠不足に伴うストレスが生体発散物質の放散量および知覚空気質に与える影響を把握するため、②と同じ男子大学院生4名の被験者を対象として2019年夏季に実験を行った。第一

タームを睡眠不足条件、第二タームを睡眠充足条件とし、同一被験者を対象に2タームにおいて同様の実験を実施した。各タームにおいて、被験者には睡眠制御を5日間連続で行わせた後、5日目に5.5 m³ ステンレス製チャンバーにて実験を実施した。ターム間は約1カ月空け、各タームにおいてI. 安静条件60分間、II. 運動条件60分間、III. 運動+ストレス負荷条件15分間の在室条件を連続して行わせた(図2)。

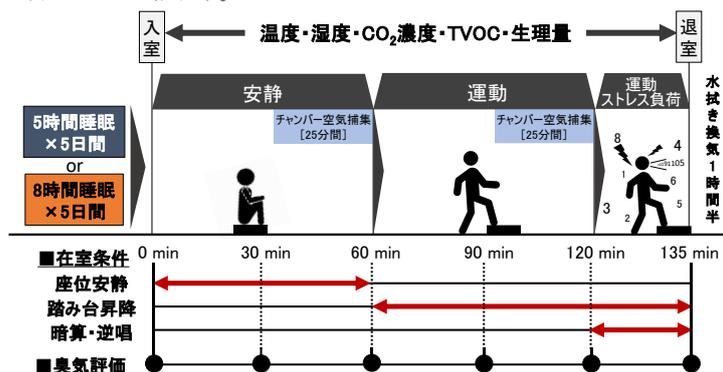


図2 実験条件

(2) 実施における温熱・空気質環境に関する実測調査

研究(1)で得られた知見を、体臭汚染の影響が大きいと考えられる人員が密集する学校施設の温熱・空気質環境に関する実測調査結果と照合することを目的とした。特に学校施設は学習効率の観点からも良好な空気環境が求められる。

① 公立小学校における空気質環境の実測調査1:

空調設置率が100%である東京都にある公立小学校にて実測調査を行った。本小学校では換気設備が導入されていない教室と機械換気設備が導入されている教室が混在している。

測定は夏季を2018年9月、冬季を2019年1月に行い、換気設備が導入されていない教室(2-2教室、5-1教室)と機械換気設備が導入されている教室(2-1教室、5-2教室)の計4教室を対象とした。測定項目は教室内の温湿度、CO₂濃度、空調吹出し温度、廊下の温湿度、窓・扉の開閉状況の把握、教室内の化学物質濃度とした。化学物質濃度の測定では、授業中及び放課後に各教室1回ずつ30分間室内空気を捕集した後、定量分析を行った。授業中は児童が概ね全員在室した状態、放課後は1人も在室しない状態で空気捕集を行った。

② 公立小学校における空気質環境の実測調査2:

神奈川県にある公立小学校において、代表教室を3-4教室と5-4教室と定め、空気温度、相対湿度、CO₂濃度、エアコン吹き出し温度、天井表面温度の5項目を測定した。教室内の空調換気設備として、各教室では天井に全熱交換器が2台、天井埋め込みエアコンが2台設置されている。また、実空間において身体活動が室内空気質に与える影響に関して調査を行うため、2限の体育授業の前後で教室空気質の臭気官能評価を行った。2019年10月に3-4教室を対象に、1限、4限の終了間際および放課後に教室空気質を間接採取用吸引ケースを用いてにおい袋に採取した。当日中にパネル7名(大学生男子:4名、女子:3名)による臭気評価を行った。

(3) 効果的な知覚空気質改善手法の検討

○ 空気清浄機を用いた体臭制御に関する実験:

空気清浄機を用いた知覚空気質評価の標準試験方法が確立されていない現状を踏まえ、体臭による知覚空気質悪化を低減させる効果的な知覚空気質改善方法を空気清浄機使用方法の観点から検討した。生体発散物質が主な汚染源である室内において空気清浄機運転が知覚空気質に与える影響の把握を目的に、ヒトを在室させた5.5m³チャンバー内の化学物質濃度測定およびパネル被験者による空気質の官能評価を行った。空気清浄機運転時・非運転時それぞれにおいてチャンバー内の換気量および在室者の代謝量を変化させた計4条件を設け、2日間にわたって実験を実施した(図3)。

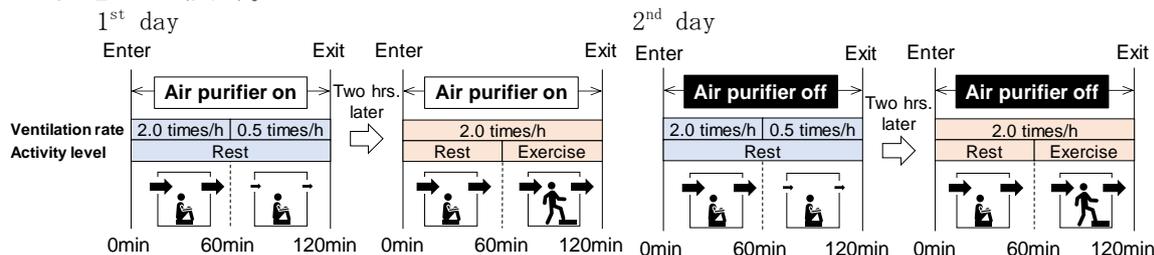


図3 実験条件

4. 研究成果

(1) 皮膚由来の生体発散物質の原因臭気特性に関する実験

① 小型の化学物質捕集装置を用いた異なる室内温度条件下における皮膚ガス放散量に関する被験者実験：

小型皮膚ガス捕集プローブによる簡易測定が、今後の実験においても有用であることを確認した。申請者らの既往の研究結果と同様に、高温環境下において臭気成分の放散量が多い結果となった。Acetone 放散量は 30°C 条件で有意に増加し、Acetaldehyde、Ethanol、Acetic acid、2-Ethyl-1-hexanol (2E1H)、Toluene についても増加傾向がみられた (図 4)。同等の換気量が確保されている場合でも、室温が異なれば体臭物質による知覚空気質汚染度が異なる可能性を示した。

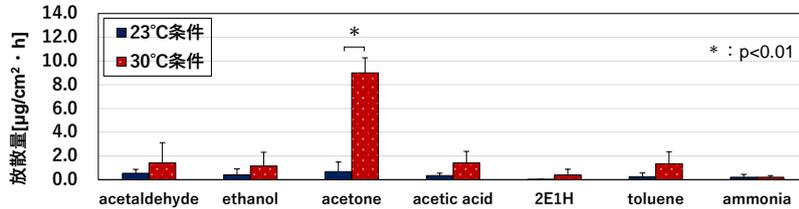


図 4 皮膚ガス平均放散量

② 身体活動が生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響に関する被験者実験：

在室者の代謝量の増加により、チャンパー内の臭気強度が有意に増加 (図 5)、許容度が有意に低下した。また、代謝量の増加により Formaldehyde、Acetaldehyde、Acetone の濃度が有意に増加したが、増加量は様でなかった。Acetaldehyde 濃度は CO₂ 濃度よりも臭気強度との相関が高く、知覚空気質悪化に寄与する可能性が示された。室内 CO₂ 濃度が同等である場合において、在室者の身体活動レベルが異なる場合 CO₂ 濃度に対する臭気強度の関係が異なる可能性が示された (図 6)。在室者の代謝量によっては CO₂ 濃度が必ずしも体臭による知覚空気質汚染度の指標にならない場合があると考えられる。

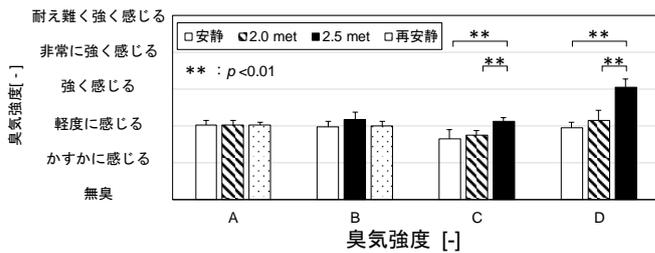


図 5 代謝量と臭気強度の関係

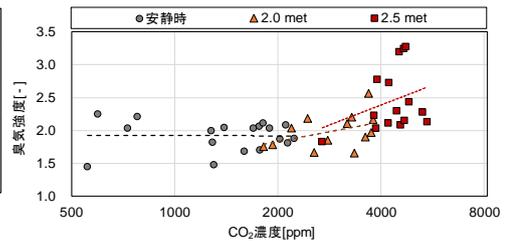


図 6 CO₂ 濃度と臭気強度の関係

③ 睡眠不足に伴うストレスが生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響に関する被験者実験：

臭気評価について、睡眠不足タームでは睡眠充足タームと比較し、チャンパー内空气の臭気強度は低い傾向を示し、快不快度および新鮮度は有意に低かった。執務者に睡眠不足者が多い空間では、臭気強度が低い場合でも室内空気質の快不快度が低く新鮮度が低下する可能性が示された。また、睡眠不足タームにおける臭気強度と Ammonia 濃度の正の相関は高く、CO₂ 濃度との正の相関を上回った (図 7)。Ammonia 濃度は睡眠不足者が多く滞在している室内において在室者由来の臭気の指標となる可能性がある。また、睡眠習慣が類似した在室者は同様の生体発散物質放散傾向を示す可能性が示された。室内の CO₂ 濃度が同程度でも在室者の睡眠時間や在室条件に伴い室内における生体発散物質放散量に差異が生じるため、必ずしも CO₂ 濃度が体臭による知覚空気質汚染の指標にならないと考えられる。

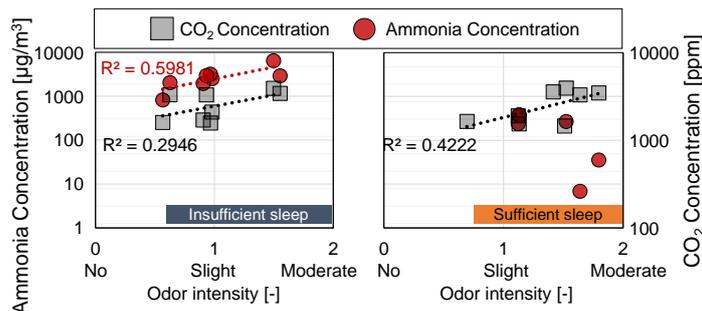


図 7 CO₂ 濃度 / アンモニア濃度と臭気強度の関係

(2) 実施設における温熱・空気質環境に関する実測調査

①公立小学校における空気質環境の実測調査 1:

実測調査の結果、CO₂濃度に関して、授業中の概ねすべての教室で、学校環境衛生基準で換気の目安とされる 1500 ppm を超過した。化学物質濃度測定の結果、Hexanal、Octanal、Nonanal、Decanal、Acetone 濃度は全教室で授業中が放課後を上回り、着衣を含む人体周辺からの放散が示唆された。また、Nonanal、Decanal は夏季と比較して着衣面積が大きい冬季における濃度が高く、着衣からの放散量が多い可能性が示唆された(図 8)。また、Hexanal、Octanal、Nonanal、Decanal、Acetaldehyde は検知閾値を超過する教室が多く、教室内臭気に寄与している可能性が示された。測定前に身体を動かす授業が行われていた教室において Acetaldehyde、Acetone 濃度が高かった。児童の代謝量上昇に伴いこれら 2 物質の放散量が上昇した可能性がある。

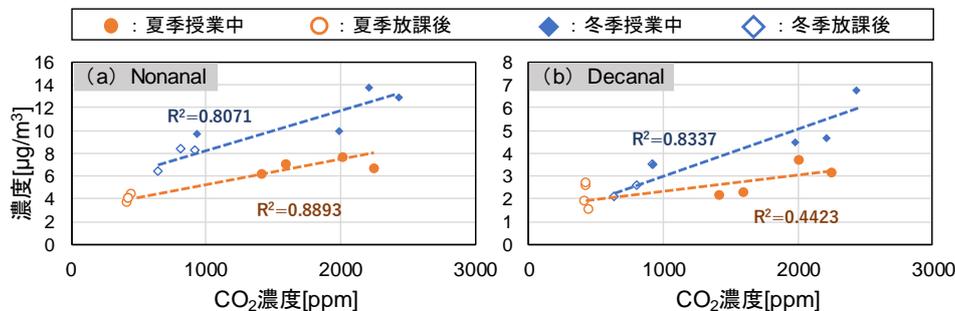


図 8 CO₂濃度と化学物質濃度の関係

②公立小学校における空気質環境の実測調査 2:

室内物理環境に関して、温熱環境は概ね適切に制御されている一方で、CO₂濃度基準値 1000 ppm を超過している頻度が対象教室で 60%程度であり、適切に換気がされていない可能性があることがわかった。原因として、適切なモードで運転されていないことや、フィルターのメンテナンス不足により全熱交換器の性能が活かしきれていない可能性が考えられた。

2限の体育授業の前後で教室内空気臭気官能評価を行った結果、1限と比較して4限では臭気強度の上昇や許容度の低下傾向がみられ、知覚空気質は悪化していた。また、自由記述において「汗や人間系の臭いがする」という申告があり、人の体臭が臭気に影響していた可能性が高い。学校へのヒアリングにより、体育の授業の後直ぐに着替えるとは限らないことや、体育着は週に一度金曜日に持ち帰るといったことがわかった。知覚空気質の悪化は、2限に行われた体育時の発汗に伴う体操着からの臭気が原因であった可能性が考えられる。

(3) 効果的な知覚空気質改善手法の検討

○空気清浄機を用いた体臭制御に関する実験:

空気清浄機運転条件では非運転条件と比較して、臭気強度が増大、非容認率が上昇し知覚空気質が悪化した。運転条件では Acetaldehyde、Acetone、TVOC 濃度が高く、Acetaldehyde および Acetone は生体由来の Ethanol が分解され生成された可能性がある。しかし、運転条件において臭気強度と相関が高い生体発散物質はなかった。空気清浄機自体のにおいが臭気に寄与したと考えられ、さらなる調査が必要である。一方で、運転条件と比較して非運転条件では、6-Methyl-5-hepten-2-one、Octanal、(E)-Geranylacetone、Decanal など、皮脂由来生体発散物質濃度が高かった。空気清浄機運転により放出されるイオンが皮膚上の微生物除去に寄与した結果、皮脂由来生体発散物質の放散量が低減した可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ito Kosai, SayanaTsushima, Ko Murakami, Shin-ichi Tanabe
2. 発表標題 Effect of Metabolic Rate Changes on Human Bioeffluents and Perceived Air Quality
3. 学会等名 Roomvent2020（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲坂まりな, 伊藤滉彩, 對馬聖菜, 田辺新一
2. 発表標題 異なる睡眠時間条件における生体発散物質放散量および知覚空気質 その1 被験者実験における生理量および臭気評価
3. 学会等名 日本建築学会2020年度大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤滉彩, 稲坂まりな, 對馬聖菜, 田辺新一
2. 発表標題 異なる睡眠時間条件における生体発散物質放散量および知覚空気質 その2 被験者実験における化学分析
3. 学会等名 日本建築学会2020年度大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲坂まりな, 對馬聖菜, 伊藤滉彩, 田辺新一
2. 発表標題 睡眠不足に伴う生理量の変化が生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響 （その1）被験者実験における生理量および臭気評価
3. 学会等名 令和2年度空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤滉彩, 對馬聖菜, 稲坂まりな, 田辺新一
2. 発表標題 睡眠不足に伴う生理量の変化が生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響 その2 被験者実験における化学分析
3. 学会等名 令和2年度空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 對馬聖菜, 伊藤滉彩, 村上航, 田辺新一
2. 発表標題 異なる活動条件時の生体発散物質放散量および知覚空気質 その1 被験者実験における知覚空気質評価
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤滉彩, 村上航, 對馬聖菜, 田辺新一
2. 発表標題 異なる活動条件時の生体発散物質放散量および知覚空気質 その2 被験者実験における化学分析
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上航, 伊藤滉彩, 對馬聖菜, 田辺新一
2. 発表標題 異なる活動条件時の生体発散物質放散量および知覚空気質 その3 学校教室における実態調査
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上航, 伊藤滉彩, 對馬聖菜, 田辺新一
2. 発表標題 室内温度がヒト皮膚ガス放散量に与える影響
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会 (北海道)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤滉彩, 對馬聖菜, 村上航, 田辺新一
2. 発表標題 運動時の生体発散物質が知覚空気質に与える影響
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会 (北海道)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 對馬聖菜, 酒井健太, 村上航, 伊藤滉彩, 田辺新一
2. 発表標題 身体活動が生体発散物質放散量および知覚空気質に与える影響 (その1)
3. 学会等名 室内環境学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ko Murakami, Kenta Sakai, Daisuke Nakamura, Haruno Ishikawa, Sayana Tsushima, and Shin-ichi Tanabe
2. 発表標題 A Field Survey on Indoor Air Pollution in School Classrooms with Different Ventilation Methods
3. 学会等名 Clima2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------