

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22439

研究課題名（和文）化学物質の室内挙動を予測する高精度なシミュレーションモデルの構築

研究課題名（英文）Relationships between indoor behavior of volatile organic compounds and Indoor environment

研究代表者

高口 倅暉（Takaguchi, Kohki）

千葉大学・予防医学センター・特任研究員

研究者番号：90873109

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）：室内に設置した家具やヒトの活動によって揮発性有機化合物（VOCs）が放出されており、生活スタイルに個人差があるため、生活に由来する化学物質の放出を把握・制限することは難しい。そのため、化学物質を滞留させない空間を設計し、空気質をコントロールすることが必要であると考えられる。本研究では室内空気中VOCsの動態とそれに影響を与える要因を解明すること目的とした。

当研究室の実証実験住宅を活用し、VOCsの動態を調査した。モデル物質を散布し、環境センサーを用いてリアルタイムで化学物質の分布および室内環境（温湿度、気圧）を測定し、室内空気中VOCsの動態とそれに影響を与える要因を測定・推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

室内空気汚染とそれによる健康影響から建築材料等の制限などの建築物においてシックハウス対策のための対策や規制がなされているが、室内に設置した家具やヒトの活動によって揮発性有機化合物（VOCs）が放出されており、生活スタイルに個人差があるため、生活に由来する化学物質の放出を把握・制限することは難しい。そのため、室内空気中VOCsの動態とそれに影響を与える要因を推定した本研究の成果は化学物質を滞留させない空間を設計し、空気質をコントロールするための、クリーンな空間デザインの一助となる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Measures and regulations on building materials have been taken because of indoor air pollution and the resulting health effects such as sick building syndrome. However, it is difficult to grasp and limit the release of volatile organic compounds (VOCs) due to the occurrence of their compounds by human activities and the release from furniture. Therefore, it is necessary to design a space where chemical substances do not stay and control the air quality. The present study aimed to elucidate the behavior of VOCs in indoor air and the factors that influence them. We investigated the behavior of VOCs in the indoor air using the demonstration experiment house in our laboratory. Model substances were sprayed in a demonstration experiment house. The distribution of VOCs and indoor environment (temperature, relative humidity, atmospheric pressure) were measured in real time using an environmental sensor. We estimated the dynamics of VOCs in indoor air and the factors that affect them.

研究分野：環境化学

キーワード：揮発性有機化合物 室内分布

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々の周りには様々な環境化学物質があり、無意識のうちに体内に取り込まれているが、その化学物質曝露が人間の健康にどのような影響を及ぼすかは未だ把握できていない。さらに、子どもに着目すると、体重当たり化学物質の取り込み量が大人の約 2 倍と考えられている。厚生労働省による室内濃度指針値策定及び建築基準法改正など、シックハウス症候群に関する対策や改善が進んでいる。しかしながら、規制対象外の新たな化学物質による健康影響の報告や¹、疾患と診断されないまでも建物内部や居室空間への入室時に何らかの体調の変化を感じるケースもあり、その実態や健康影響、環境要因は解明されていない。加えて、近年、アレルギー、特に子どものアレルギーの増加が報告されており、その原因の一つとして室内空気質汚染の関与が疑われている²。また、現在の生活においてヒトは一日の大半を室内で過ごすことが多く、室内空気から継続的かつ長期的に化学物質の曝露を受けていると考えられ、これらの予防の観点から化学物質の曝露が少ない空間デザインが求められる。

近年、室内空気汚染とそれによる健康影響から建築材料等の制限などの建築物においてシックハウス対策のための対策や規制がなされている。しかしながら、室内に設置した家具やヒトの活動によって揮発性有機化合物 (VOCs) が放出されることが報告されており³、化学物質の対策が講じられた住宅に住んでいても生活することにより化学物質濃度が上昇し、体調の変化が引き起こされる可能性がある。VOCs の放出源の一つである家具は続々と新製品が売り出されることや生活スタイルに個人差があるため、生活に由来する化学物質の放出を把握・制限することは難しい。従って、化学物質を滞留させない空間を設計し、空気質をコントロールすることが必要であると考えられる。本研究では室内空气中 VOCs の動態とそれに影響を与える要因を解明することで、子どもや化学物質に敏感な人の為の様々な化学物質に対応したクリーンな空間のデザインに有用な成果を得ることができる。

2. 研究の目的

本研究では当研究室にあるケミレスタウンの実証実験住宅を活用し、VOC をリアルタイムで測定可能な環境センサを用いて化学物質の分布を測定することに加え、温湿度などの環境要因と同時に測定することで化学物質の挙動に影響を与える環境因子を特定することで、VOCs の室内分布とそれらに影響を与える要因の解明を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験を実施する対象として当研究室にあるケミレスタウンの実証実験住宅の一室 (部屋の大きさ: 約 28.6 m³) を選定した。本研究では VOC のモデル化合物として、実際の室内環境で検出頻度が高く、扱いやすいアセトンを選定した。机にホットプレート (東京硝子器械株式会社, REC F20710081) とステンレス製シャーレを設置し、アセトン 500 μL を散布することで発生源とした。ホットプレート温度は 35℃ に設定した。オムロン環境センサ 2JCI-E-BU01 を用いて、温湿度、気圧、VOC 濃度を 1 秒間隔で測定した。対象とした部屋の詳細、環境センサと発生源の位置は図 1 に示す。環境センサの位置はそれぞれ左上、左中、左下、中上、中央、中下、右上、右中、右下の合計 9 ケ所を測定点とし、換気および空調はせず、閉鎖した室内という条件で実験を実施した。

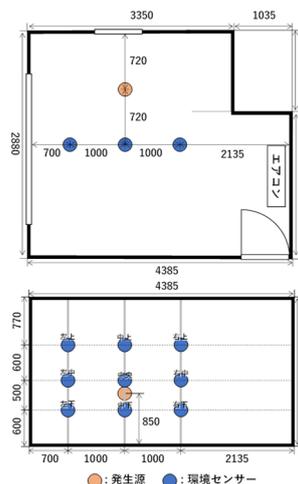


図1: 実験対象とした部屋の詳細

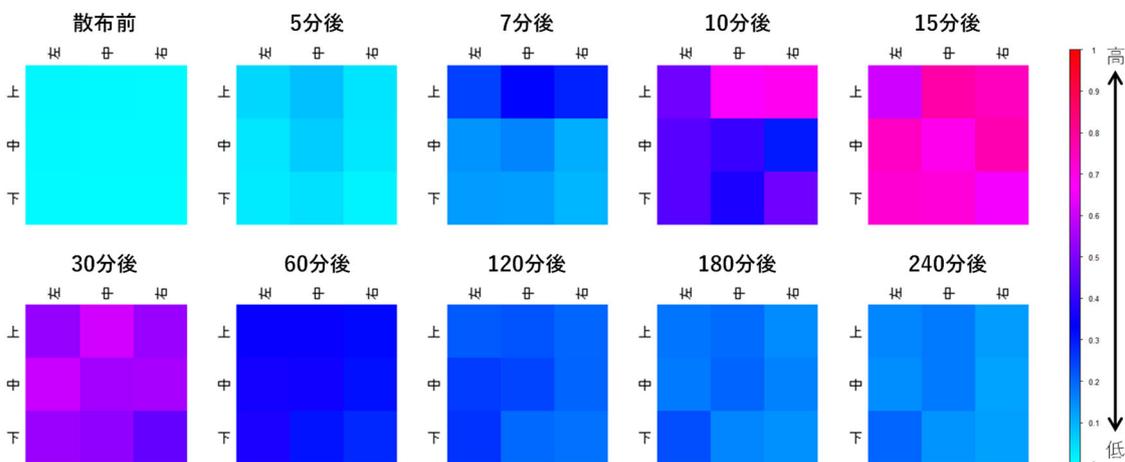


図2: VOCsモデル化合物の室内分布の経時変化

(2) 得られた測定データは 6 分間の移動平均を解析に用いた。また、解析に用いた各パラメータは以下のように定義した。VOC 濃度の最大値を C_{max} 、 C_{max} が 1/2 にまで減少した地点を $C_{1/2max}$ とした。また、散布開始 (t_0) から VOC 濃度が C_{max} まで経過した時間を t_{max} 、 C_{max} から $C_{1/2max}$ までの時間経過した時間を $t_{1/2max}$ とした。また、 C_{max} から $C_{1/2max}$ までの傾きを減少速度 v とした。ある一定値まで減少し、それ以上拡散による減少が見られなくなった地点から実験終了時までの VOC 濃度の平均値を定常状態 SS とし、散布開始から SS に至るまでの時間を t_{ss} とした。各パラメータの有意差は Tukey-kramer 検定を用いて検出した。また、各パラメータの関係は Spearman の順位相関係数を用いて調査した。

4. 研究成果

(1) VOCs の室内分布

得られた測定データを基にした VOCs モデル化合物の室内分布の経時変化を図 2 に示す。散布後 7 分までに中央の発生源から上段に拡散、その後、全体へ化学物質が拡散していることが分かる。また、15 分後には VOCs 濃度がピークに達し、特に中上および右上に化学物質が集中していた。その後、右下から徐々に化学物質が拡散し、濃度が減少した。散布から 240 分後にはほとんどの階層でピーク時の 20% を下回っていたが、左下は濃度の減少が遅く、化学物質が滞留していた。

VOCs の測定データから得られた各階層のパラメータを図 3 に示す。 C_{max} は右側、中央、左側の順で高い傾向であった。また、左側を除き上段、中段、下段の順で高い傾向にあった。また、 t_{max} は中段、下段と比較して、上段が短い傾向が認められ、特に、中上および右上が C_{max} に早く到達するした。また、右側および中央と比べ、どの階層においても左側の t_{max} が長い傾向であった。これらの結果は左側の換気が中央、右側よりも遅く、空気が滞留していることが原因であると考えられる。

$t_{1/2max}$ は上段、中段、下段でほとんど差はなく、右側、中央、左側の順で短く時間である傾向があった。特に、右側の $t_{1/2max}$ は左側と比較して有意に短い時間であった。 SS は右側および中下が低い値を示した。本研究で使用した一室は入口のドアの下に隙間があり、僅かに通気していると考えられる。そのため、右下に向けて排気されていることが推測される。これらのことから、室内の空気の流れ（風向）が VOCs の室内分布に関連していることが推察される。また、左側の SS は、中央および右側よりも高い傾向にあり、左下の SS は、その他の階層と比較して、有意に高い値を示した。これは左側の換気が中央、右側よりも遅く、特に左下の空気が滞留しているためであると考えられる。

(2) VOCs の室内分布に影響を与える要因

VOCs の室内分布に影響を与える要因を調べるために、VOCs の各パラメータと温湿度および気圧の関連を調査した。 SS は気圧と負の相関を示した ($\rho = -0.64, p < 0.05$)。このことから、気圧が下がると、室内空気中の化学物質が高濃度で滞留する可能性がある。また、 t_{ss} は相対湿度と正の相関を示した ($\rho = 0.84, p < 0.05$)。このため、高湿度の室内では t_{ss} が長くなる傾向にあり、室内の湿度は VOCs の拡散を抑制してると考えられる。加えて、減少速度 v と室温が正の相関を示し ($\rho = 0.66, p < 0.05$)、室温が高いと室内空気中の化学物質の減少（拡散）速度が上昇することが示唆された。これらのことから、温湿度および気圧は室内空気中の化学物質の拡散に影響することが考えられる。これらに加え、上記に示した通り、風向も VOCs の室内分布に関連していることが推察される。しかしながら、本研究では風向を測定しておらず、実際にどの程度関連しているかは不明である。そのため、本研究で関連が示唆された風向に加え、その他の要因の影響を調査する必要がある。

引用文献

- 1) Wieslander G, Kumlin A, Norbäck D. Dampness and 2-ethyl-1-hexanol in floor construction of rehabilitation center: Health effects in staff. Arch Environ Occup Heal. 2010;65(1):3-11
- 2) 荒木敦子, アイツバマイゆふ, 岸玲子. 2. 環境汚染とアレルギーに関する疫学的知見：特に室内空気質に焦点をあてて (XVI. 環境因子とアレルギー, 専門医のためのアレルギー学講座). アレルギー. 2014;63(8)

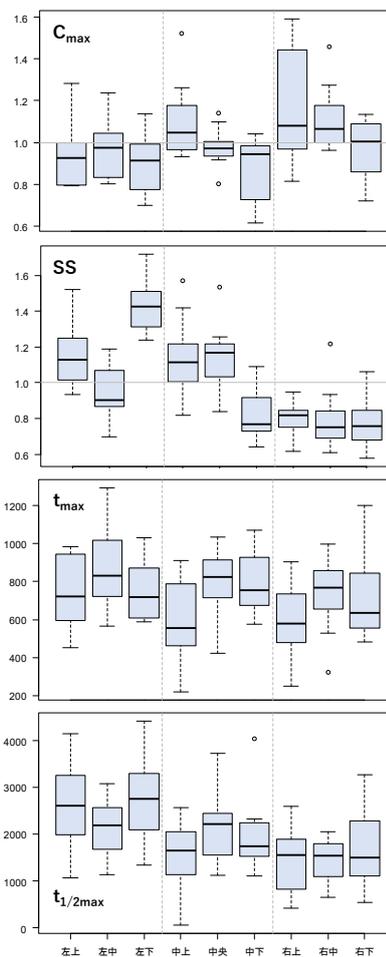


図3: 各階層のVOCsパラメータ

- 3) Sarigiannis DA, Karakitsios SP, Gotti A, Liakos IL, Katsoyiannis A. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environ Int.* 2011;37(4):743-765.

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 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Suzuki Norimichi, Nakaoka Hiroko, Nakayama Yoshitake, Tsumura Kayo, Takaguchi Kohki, Takaya Kazunari, Eguchi Akifumi, Hanazato Masamichi, Todaka Emiko, Mori Chisato	4. 巻 750
2. 論文標題 Association between sum of volatile organic compounds and occurrence of building-related symptoms in humans: A study in real full-scale laboratory houses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 141635 ~ 141635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.141635	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakayama Yoshitake, Suzuki Norimichi, Nakaoka Hiroko, Tsumura Kayo, Takaguchi Kohki, Takaya Kazunari, Hanazato Masamichi, Todaka Emiko, Mori Chisato	4. 巻 18
2. 論文標題 Assessment of Personal Relaxation in Indoor-Air Environments: Study in Real Full-Scale Laboratory Houses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 10246 ~ 10246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph181910246	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------