

厚生労働行政推進調査事業費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）  
分担研究報告書

受動喫煙環境の定量評価に向けたパッシブサンプリング技術の検討

研究分担者 戸次 加奈江 国立保健医療科学院

研究要旨：近年，国内外で普及する加熱式たばこは，燃焼を伴わず加熱により使用するため，有害成分が低減されていることが特徴とされているが，主流煙からは多種類の有害成分が検出されていることや，専用リキッドを充填し加熱する電子たばこにおいては，紙巻たばこを上回る量の有害成分が含まれている報告もある。そのため，これら製品を介した喫煙者の健康影響や受動喫煙の影響が懸念されている。実際，国内で加熱式たばこを使用する喫煙者のいる家庭において，非喫煙者である家族の尿試料からは，ニコチン代謝物が有意に高く検出されていることなどから，加熱式たばこであっても受動喫煙を引き起こす可能性も徐々に明らかとされている。そのため，加熱式たばこから発生するニコチンを含む有害物質が，室内を汚染し，喫煙者のみでなく，非喫煙者へもばく露される可能性がある。そこで本研究では，新型たばこから発生する有害成分の一つとして，イソシアネートを対象に，空気中での簡易な測定を可能とするパッシブサンプラーを開発し，たばこ製品の使用による室内の汚染状況を調べることにした。本研究では，ガラス繊維フィルターに，誘導体化試薬であるジブチルアミン（DBA）と酸を含浸させたものから作成した拡散サンプラーを用い<sup>1)</sup>，喫煙環境下での適用を試みた。その結果，環境中でのイソシアネートの濃度分布が明らかとされ，ICA や MIC については，特に喫煙者のいる家庭において有意に高く検出され，イソシアネートを指標とした受動喫煙環境の定量評価において，拡散サンプラーの有効性が示された。

#### A. 研究目的

近年，国内外で普及する加熱式たばこは，燃焼を伴わず加熱により使用するため，有害成分の低減が特徴とされているが，主流煙からは多種類の有害成分が検出されていることや，専用リキッドを充填し加熱する電子たばこの主流煙においては，紙巻たばこを上回る量の有害成分が含まれている報告もある。そのため，これら製品を介した喫煙者の健康影響や受動喫煙の影響が懸念されている。実際に，国内で加熱式たば

こを使用する喫煙者のいる家庭では，非喫煙者である家族の尿試料から，ニコチン代謝物が有

意に高く検出されており<sup>2)</sup>，加熱式たばこであっても受動喫煙を引き起こす可能性のあることが報告されている。そのため，加熱式たばこを使用する室内は，ニコチンを含む有害物質に汚染されている可能性があり，喫煙者のみでなく，非喫煙者もばく露されている可能性がある。そこで本研究では，加熱式たばこから発生する有害成分の一つであるイソシアネート<sup>3)</sup>を対象に，空気中での簡易な測定を可能とする拡散サンプラーを用い，たばこ製品の使用による室内での濃度レベルを調べることにした。

#### B. 研究方法

## B. 1. 分析対象物質

本研究では、たばこ煙や環境中での検出頻度が高いイソシアネート5種を測定の対象とした。イソシアン酸 (ICA), メチルイソシアネート (MIC), エチルイソシアネート (EIC), プロピルイソシアネート (PIC)。

## B. 2. サンプラーの作製

拡散サンプラー (PSG-DBA) の作製: ガラス繊維フィルター (GFF) (AP25, Merk 社製) に、誘導体化剤ジブチルアミン (DBA) と等量の酢酸を溶解したメタノール溶液を含浸させ溶媒を乾燥 (50°C) させた後、専用のカートリッジに装着したものを拡散サンプラーとした (図 1) 1)。

アクティブサンプラー (SCX-DBA) 4) の作製: アセトニトリル及びメタノール溶液で陽イオン交換樹脂カラム (SCX) (Bond Elut, Agilent) をコンディショニングした後、DBAメタノール溶液 2 mL (24 mg/ml) を SCX にロードし、陽イオン交換体 (SCX) に保持させた。その後、溶媒を窒素気流下で乾燥させ、サンプリングに適用した。

## B.3. 室内空気の捕集及び分析

作製した拡散サンプラー (PSG-DBA) を室内・屋外に7日間設置しサンプリングを行った。このとき、サンプリングプレート (SR) は、SCX-

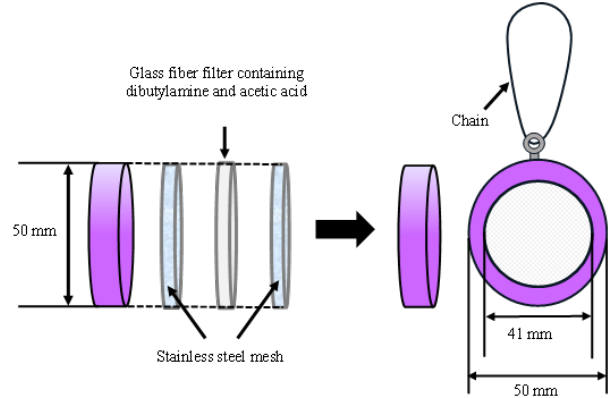


図 1. PSG-DBA サンプラーの概要。

DBA サンプラーにより流速 0.1 L/min でアクティブサンプリングを平衡して行った値から算出したものを用いた。

サンプリングの後、メタノール:硫酸:トルエンで液液抽出し濃縮したものを試料として、イソシアネート誘導体を LC-MS/MS で分析した 4)。サンプリングの後、SCX-DBA サンプラーは、アセトニトリルで抽出した後、濃縮したものを拡散サンプラーと同様に分析した。

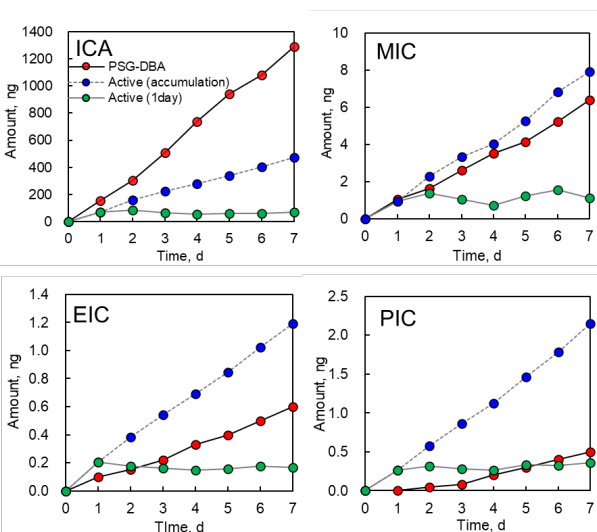


図 2. サンプリング期間の検討 3)

## C. 結果及び考察

### C.1. サンプリングプレート (SR) の算出

PSG-DBA サンプラーによるイソシアネートの空气中濃度を算出するため、SCX-DBA サンプラーによるアクティブ法と PSG-DBA サンプラーの同時捕集による比較から、SR を算出した。

はじめに、PSG-DBA サンプラーのサンプリング期間を検討するため、室内で1日から7日間までのサンプリングを実施した。その結果、検出されたイソシアネート (ICA, MIC, EIC, PIC) の濃度はサンプリング時間に比例して増加し、最大7日間の連続したサンプリングが可能である

ことが確認された (図 2)。各イソシアネートの濃度レベルは、それぞれの沸点に依存しており、ICA (23° C) > MIC (39° C) > EIC (60° C) > PIC (83° C) の順であった。このとき並行して、アクティブサンプリングによって測定した濃度も時間とともに増加が確認された (図 2)。しかしながら、アクティブサンプラー (SCX-DBA) の捕集容量には限界があるため、24 時間以上の連続したサンプリングが困難であったため、24 時間ごとにサンプラーを交換し、7 日間までの濃度を 24 時間ごとの値を累積することで算出した (図 2)。両サンプリング法によって得られた値の間には比例関係が認められ、各成分と

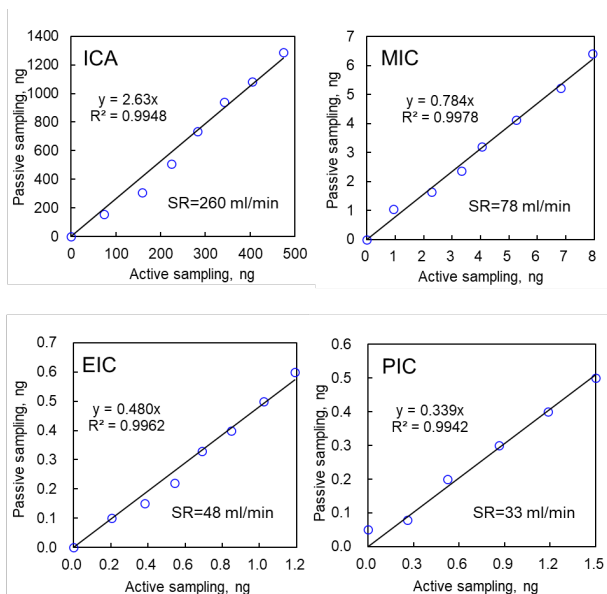


図 3. サンプリングレート の算出<sup>1)</sup>.

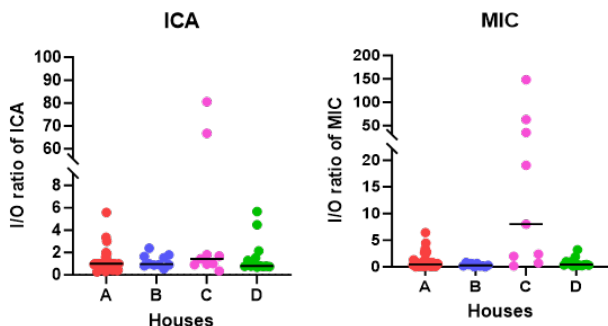


図 4 一般住宅で検出された ICA 及び MIC の I/O 比

もパッシブサンプリングによる 7 日間までの長期サンプリングが可能であることが確認され (Fig. 2), SR は, ICA : 260 ml/min, MIC : 78 ml/min, EIC : 48 ml/min, PIC : 33 ml/min (図 3) と算出された。

## C.2. 室内環境測定

関東近郊の住宅 4 軒で、本研究で開発した PSG-DBA サンプラーを用いて毎月 1 回イソシアネートを測定し (2022 年 12 月~2023 年 10 月)、室内外の濃度比 (I/O 比 : 室内濃度/屋外濃度比) を比較した (図 4)。その結果、いずれの住宅からも ICA と MIC の I/O 比が 1 を超えるサンプルが検出された。この結果から、室内に何らかの発生源があると考えられたが、特に住宅 C では、ICA と MIC の I/O 比が極端に高値となった。この要因として、住宅 C では、喫煙者が室内で紙巻たばこを喫煙する習慣があったことから、喫煙による影響があるものと考えられた。

## D. 結論

本研究により、イソシアネートを指標とした受動喫煙環境の定量評価において、拡散サンプラーの有効性が示され、環境中でのイソシアネートの分布と濃度レベルを明らかにすることができた。特に、ICA や MIC については、喫煙者のいる家庭で有意に高く検出されたことから、喫煙による室内汚染の影響と共に、受動喫煙を引き起こす可能性のあることも示唆された。

## E. 参考文献

1. Bekki. K. et al., Atmos Environ, 338, 2024.
2. Onoue A et al., Int J Environ Res Public Health. 2022; 19(10): 6275.
3. Leanderson, P. Indoor air 2019, 29. 291-298

4. Bekki K. et al., *Anal. Bioanal. Chemistry*  
412, 2020.

F. 研究発表

(学会発表)

1. 戸次加奈江, 内山茂久, 開原典子, 稲葉洋平, 牛山明. パッシブサンプラーによる空气中イソシアネートの長期モニタリング. 2024 年室内環境学会学術大会; 2024. 11. 29-12. 1; 札幌. 同講演集 P119-120.

2. 戸次加奈江. 大気中の微量汚染物質の新たなモニタリング手法の研究. 第 47 回日本分子生物学会年会 フォーラム; 2024. 11. 26-29; 福岡. 同講演集 P1672

3. 戸次加奈江, 内山茂久, 稲葉洋平, 牛山明. 含窒素有機化合物の曝露評価に向けた新規モニタリング手法の開発. 第 95 回日本衛生学会学術総会; 2024. 3. 19-21; 埼玉. 同講演集 P S261

(論文発表)

1. Bekki K, Uchiyama S, Kaihara N, Inaba Y, Ushiyama A. A novel passive sampler for long-term monitoring of isocyanates in air. *Atmospheric Environment* 2024; 338: 1