

研究要旨

本研究では、室内空気汚染化学物質の標準試験法の国際規格化に関する調査研究を行った。シックハウス対策には、厚生労働省がとりまとめている「室内空气中化学物質の測定マニュアル（統合版）」及び一連の日本産業規格（JIS）が用いられている。これらと国際規格であるISOとの整合性を維持するため、日本で用いられている分析・測定方法をISO規格へ提案していくことが求められている。そこで、2025年に開催されたHealthy Buildings 2025国際会議（アイスランド）及び同年9月に開催されたISO/TC 146/SC 6において、アクロレイン及び有機フッ素化合物（PFAS）に関する調査を行った。室内空气中のアクロレインについては、ドイツ室内空気指針値委員会（AIR）が指針値を設定したことを確認した。また、PFASは撥水・撥油性、熱的安定性、化学的安定性に優れることから、溶剤、界面活性剤、繊維、革、紙、プラスチック等の表面処理剤、家具、家電製品、室内仕上げ材など幅広い用途で使用されているため、関連する米国規格及び測定法の動向についても調査した。その結果、空气中PFASの体系的な測定・評価は未だ十分に整備されていないことが分かった。さらに、室内環境におけるPFAS汚染濃度に関する研究が少ないことから、室内ダスト中PFAS濃度を測定する手法の開発を目的として試験測定を行った。その結果、対象とした10種類のうち8種類のPFASが検出された。

A. 研究目的

厚生労働省のシックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会が継続的に開催され、指針値の見直しや新たな規制対象物質の検討が進められている。本研究では、精度の高い国内規格の国際標準化を図るため、ISO規格への新規提案に向けた基礎資料の収集・整理を目的とした。また、関連する国際会議に参加し、欧米における室内空気質に関する最新動向を把握することを目的とした。ISO国際会議及びHealthy Buildings 2025（アイスランド）において、アクロレイン及び近年注目されている有機フッ素化合物（PFAS）の室内環境における最新研究動向を調査した。アクロレインについては、従来のDNPHカートリッジを用いる測定法では捕集効率が低いことが指摘されており、日本では調理等により室内で発生する可能性も示唆されている。また、PFASは撥水・撥油性、熱的安定性、化学的安定性に優れることから、溶剤、界面活性剤、繊維、革、紙、プラスチック等の表面処理剤、家具、家電製品、室内仕上げ材など幅広い用途で使用されている。とくにペルフルオロオクタン酸（PFOA）及びペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）については、健康影響や環境影響の観点からさまざまな問題が指摘されており、国内でも水道水における規制強化が進められている。一方で、大気、海洋、河川等の自然環境に関する研究は多いものの、室内環境におけるPFAS汚染濃度に関する研究は少ない。とくにハウスダストは在室者にとって重要な曝露経路であるが、その濃度実態や曝露寄与には未解明な点が多い。そこで本研究では、アクロレインの指針値に関する調査に加え、室内環境中のPFASに関する動向調査及び室内ダスト中PFASの測定方法の検討を行い、生活空間におけるPFAS分布の実態把握と健康リスク評価に資する基礎データの取得を目的とした。

B. 研究方法

B-1 アクロレインに関する調査

2025年6月に開催されたHealthy Buildings 2025（ア

イスランド）及び2025年9月に開催されたISO/TC 146/SC 6会議に参加し、アクロレインに関する関連国際基準及び最新動向を調査した。

B-2 PFASに関する動向調査

2025年6月に開催されたHealthy Buildings 2025（アイスランド）及び2025年9月に開催されたISO/TC 146/SC 6会議に参加し、PFASに関する関連国際基準及び最新動向を調査した。

B-3 PFASの測定

表1に測定概要を示す。大学施設5か所、住宅3か所、幼稚園2か所の計10か所を対象としてダストを捕集し、PFAS濃度を測定した。ハウスダストは家庭用一般真空掃除機を用いて捕集し、その後、粒径63 µm以下にふるい分けした試料を分析対象とした。試料0.1 gを遠沈管に量り取り、サロゲートを添加した後メタノール5 mLを加え、振とう抽出及び超音波抽出を行った。抽出後は遠心分離により上澄みを回収し、この操作を3回繰り返して粗抽出液を得た。粗抽出液はフィルター（NY シリンジフィルター25 mm、0.22 µm）でろ過した後、窒素吹付により0.5 mLまで濃縮し、LC/MSで分析した。

分析対象物質は、ペルフルオロオクタン酸（PFOA）、ペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）、ペルフルオロヘキサンスルホン酸（PFHxS）、ペルフルオロナン酸（PFNA）、ペルフルオロデカン酸（PFDA）、ペルフルオロヘプタン酸（PFHpA）、ペルフルオロブタン酸（PFBA）、ペルフルオロヘキサン酸（PFHxA）、ペルフルオロブタンスルホン酸（PFBS）、GenX（HFPO-DA）の10種類を対象物質とした。表2にLC/MSの分析条件を示す。

C. 研究結果

C-1 アクロレインに関する調査

室内空气中のアクロレインに関する指針値は、2025年4月11日にドイツ室内空気指針値委員会（AIR）から公表された。<https://doi.org/10.1007/s00103-025-04040-6>

ドイツ室内空気指針値委員会 (AIR) は、一般住民が室内空気中の汚染物質に曝露されることによる潜在的な健康リスクを標準化して評価するため、健康に基づく指針値を設定している。アクロレインの吸入曝露に関する健康評価には、短期および長期曝露に関する複数の動物実験データのほか、感覚器系への影響を調べたヒトボランティア試験の結果が利用されている。アクロレインの室内曝露において最も感受性の高いヒトの指標は「眼の感覚刺激」であり、この知見に基づいて指針値が設定されている。急性曝露後の眼刺激に対して、最小影響濃度 (LOAEC) として 0.23 mg/m^3 、無影響濃度 (NOAEC) として 0.12 mg/m^3 が得られている。個人差を考慮するため、局所刺激性物質に対しては安全係数 20 が適用されている。影響が時間と無関係であることから、時間に関する補正係数は使用されていない。これらの知見に基づき、AIR はアクロレインに対して以下の室内空気指針値を設定した。

指針値 II : $12 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

指針値 I : $6.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

C-2 PFAS に関する動向調査

PFAS の空気中測定は、従来の水系評価では把握できない吸入曝露、材料由来放散、PFAS 処理・破壊過程における環境影響を評価するうえで重要性が高まっている。PFAS は、揮発性、半揮発性、イオン性など物性の幅が極めて広く、単一の分析手法で全種を網羅することは困難である。このため、イオン性・非揮発性 PFAS には LC-MS/MS、揮発性・中性 PFAS には吸着管を用いた TD-GC-MS/MS を適用する「目的適合型 (fit-for-purpose)」の測定体系が国際的に整理されつつある。とくに室内空気や建材・製品からの放散評価では、FTOH 等を対象とした TD-GC-MS/MS により、 pg/m^3 オーダーの高感度かつ再現性の高い測定が可能である。さらに、PFAS の分解・焼却処理では、 CF_4 等の分解不完全生成物を監視する EPA OTM-50 が整備され、処理技術の妥当性検証に用いられている。ASTM D8560 (空気中 PFAS 測定ガイド) 及び D8591 (FTOH 試験法) などの標準化を踏まえると、今後は建築・室内環境分野における曝露評価や環境安全性検証への活用が期待される。

C-3 PFASの測定結果

大学5か所、住宅3か所、幼稚園2か所を対象とし、 $63 \text{ } \mu\text{m}$ 以下のダストを分析対象としてダスト中PFAS濃度を測定した。分析対象物質は、PFOA、PFOS、PFHxA、PFNA、PFDA、PFHpA、PFBA、PFHxA、PFBS、HFPO-DAの10種類であり、LC/MSを用いて分析した。図1に各物質の検出頻度を、図2にダスト中PFAS濃度を示す。すべての測定対象からPFOA、PFNA、PFBAが検出された。また、PFHpA、PFHxA、PFBSの検出率も高かった。測定の結果、10種類中8種類のPFASが検出された。とくに、住宅におけるPFNA、幼稚園におけるPFBA及びPFHxAの濃度が高かった。以上より、室内ダストはPFASの室内空気中における主要な存在媒体の1つである可能性が示唆され、今後は室内における発生源及び放散量をさらに検討する必要がある。

D. 考察

D-1 アクロレインに関する調査

ドイツでアクロレインの室内空気指針値が設定されたことは、日本における今後の指針値検討に重要な示唆を与える。とくに、眼刺激を主要指標とした評価枠組みは、国内での健康影響評価や測定法整備を進めるうえで参考となる。今後は、国内の曝露実態や測定精度の検証とあわせて、その妥当性を検討する必要がある。

D-2 PFASに関する動向調査

本調査結果から、空気中PFAS、とりわけ揮発性・中性PFASや分解不完全生成物に対する体系的な測定・評価は、我が国では未整備であることが分かった。国際的には、ASTMやEPAを中心にTD-GC-MS/MSを用いた標準化が進展しており、日本においても室内環境、建材評価、PFAS処理技術の検証に空気中PFAS測定を位置付け、既存の水系規制と連動した包括的なリスク評価体系を構築することが重要である。国際的には空気中の揮発性・中性PFAS評価が急速に進展しており、関連調査を継続する必要がある。

D-3 PFASの測定について

本測定では、室内におけるPFASの重要な曝露媒体となり得るダストに着目した。複数のPFASが高頻度で検出され、とくに住宅及び幼稚園で高濃度の物質が認められたことから、建材、家具、生活用品等からの寄与が示唆される。今後は、試料数を拡大するとともに、発生源、粒径分布、曝露量との関係を継続的に検討する必要がある。

E. 結論

E-1 アクロレインに関する調査

ドイツ室内空気指針値委員会 (AIR) により、アクロレインの室内空気指針値が新たに示された。眼刺激を主要影響指標とし、指針値I $6.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 、指針値II $12 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ が設定された点は、今後の国内検討に重要な示唆を与える。本研究で得られた国際動向に関する知見は、日本におけるアクロレインの評価法および測定法の整備に有用である。今後は、国内の曝露実態や測定精度の検証とあわせて、指針値設定の妥当性を検討する必要がある。さらに、標準試験法の国際規格化に向けた継続的な情報収集と整理が重要である。

E-2 PFASに関する動向調査

PFASの空気中測定については、国際的に目的適合型の測定体系及び標準化が進展していることが明らかとなった。イオン性・非揮発性物質にLC-MS/MS、揮発性・中性物質にTD-GC-MS/MSを適用する目的適合型の体系が国際的に整備されつつある。ASTMやEPAを中心とした標準化の進展により、室内空気、建材、処理技術評価を含む曝露評価の枠組みが形成されつつある。一方、我が国では空気中PFASの体系的な測定・評価は未整備である。本研究で得られた知見は、国内における標準試験法整備および包括的なリスク評価体系構築の基礎資料となる。今後も国際動向を継続的に把握し、室内環境分野への適用可能性を検討する必要がある。

E-3 PFASの測定について

大学、住宅、幼稚園の計10地点から捕集した $63 \text{ } \mu\text{m}$

以下ダストを対象にPFASを測定した結果、対象とした10種類のうち8種類が検出された。特に、PFOA、PFNA、PFBAは10地点すべての測定対象から検出され、室内ダストがPFASの室内空気における主要な存在媒体の1つである可能性が示唆された。また、PFNA、PFBAおよびPFHxAの検出濃度が高い住宅、幼稚園もあり、用途や空間特性に応じた分布差がみられた。本測定手法は、生活空間におけるPFAS汚染実態の把握に有効な基礎的手法である。検出されたPFASの有害性情報の収集やリスク評価についても今後の課題であり、現時点ではPFASが検出されたことをもって有害性等の判断はできない。

3. その他

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- ・室内における有機フッ素化合物 (PFAs) の測定 その
1) 空気・ハウスダスト中 PFAS の濃度、金炫兌、呉濟元、田辺新一、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.1185-1186、2025.9

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

表一覧

表 1 測定概要

対象建築物	場所	サンプル名称	仕上げ材			換気種類	築年数(年)	延べ床面積 (㎡)
			床	壁	天井			
K 大学	多目的ホール	K-MC	フローリング	塗装	石膏ボード	機械換気	9	201.5
	131 講義室	K-CR	カーペット				9	298.1
	新棟講義室	K-NB	カーペット		アルミニウム合板		1	150.0
	新棟製図室	K-AR	コンクリート				1	150.0
	研究室	K-KL	カーペット				ケイ酸カルシウム板	30
幼稚園	教室	NS-A	フローリング	化粧合板	石膏ボード	29	40.0	
		NS-T	フローリング			25	35.0	
住宅	リビング	H-HG	PVC シート	紙クロス	木板	自然換気	27	13.9
		H-HD	フローリング	PVC シート	PVC シート		22	17.2
		H-YG	フローリング	紙クロス	ケイ酸カルシウム板		24	20.0

表 2 LC/MS 分析条件

液体クロマトグラフ	機種	VANQUISH (Thermo Fisher Scientific 社製)
	カラム	ZORBAX Eclipse Plus C18(2.1mm×100mm、1.8μm)
	移動相 A	2mM 酢酸アンモニウム
	移動相 B	アセトニトリル
質量分析計	機種	Q Exactive FOCUS (Thermo Fisher Scientific 社製)
	イオン化法	HESI Negative (FullMS)
	質量数 (m/z)	70~1050

図一覧

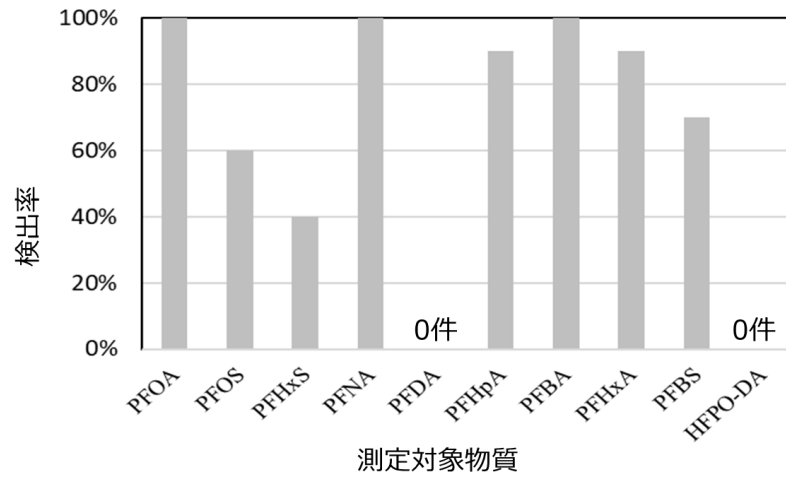


図1 各物質の検出頻度

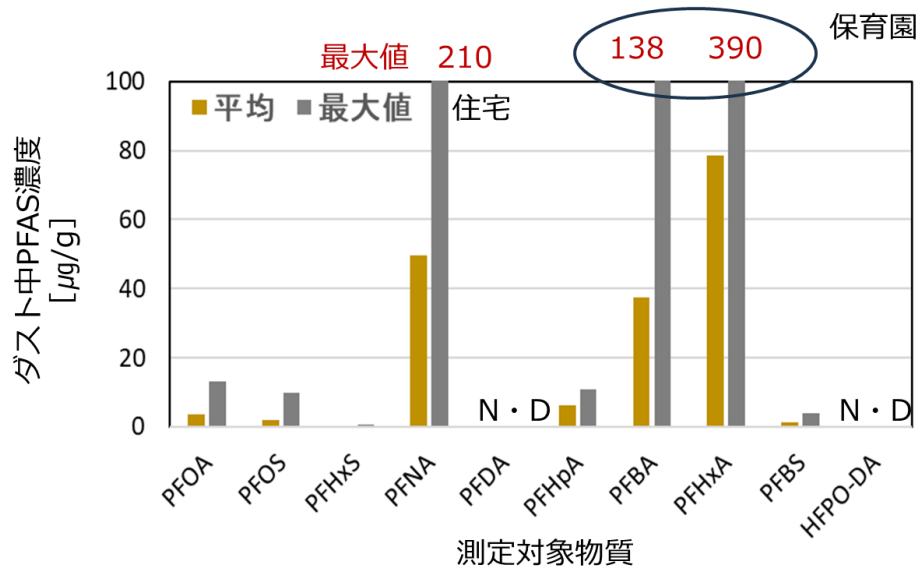


図2 ダスト中PFAS濃度