

厚生労働科学研究費補助金（化学物質リスク研究事業）  
（H29-化学-一般-004）  
分担研究報告書

室内環境中の化学物質リストに基づく優先取組物質の曝露・リスク評価

研究分担者：

雨谷 敬史（静岡県立大学食品栄養科学部・教授）

三宅 祐一（静岡県立大学食品栄養科学部・助教）

久米 一成（東京都市大学環境学部・客員教授）

研究要旨

本サブテーマ(a)では、曝露評価・リスク評価を担当し、昨年度に明らかにした防災カーテン中の臭素系およびリン系難燃剤の網羅的な定量分析結果を基に、これら難燃剤のヒトへの曝露量を明らかにするために、曝露媒体であるハウスダストへの移行メカニズムの解明を行った。移行メカニズムとしては、ハウスダストとカーテンの直接接触に伴う直接移行と、カーテンから難燃剤が一度室内空気中に揮発した後に、ハウスダストに吸着する間接移行の二つの経路を想定し、経路ごとの移行量を実験的および理論的に比較した。この結果、リン系難燃剤のハウスダストへの移行は、ハウスダストとカーテンの直接接触に伴う直接移行が主であることが明らかとなった。また、「室内に存在する化学物質リスト」で高懸念物質として挙げられたグリオキサールやグルタルアルデヒドについて、一般住宅の空気中濃度の測定も行った。

A．研究目的

室内環境ガイドラインが設定されて以降、現在でもシックハウス問題の懸念が存在している。本研究班では、平成 26 年～28 年の本事業において、室内に存在する可能性がある化学物質 1698 種の名称、性状、用途、毒性情報、感作性情報を網羅的に収集した「室内環境中の化学物質リスト 1698」を開発した。しかし、このリストには、曝露情報、毒性情報ともに空白があり、懸念が高い物質から空白を埋めていく必要がある。この中でも、難燃剤や殺虫剤は WHO guidelines for indoor air quality (WHO 室内空気質ガイドライン)にも挙げられている、優先度が高い物質である。このうち、

難燃剤では、以前使用されていたヘキサブロモシクロドデカン(HBCD)が規制されたことにより、代替品が使用され始めている。これまでの研究では、HBCD 代替品を含む有機リン系及び臭素系難燃剤について曝露評価、ハザード評価を連携して行い、臭素系難燃剤のリスクより、有機リン系の難燃剤のリスクがより高いと推定されることや、新規化合物が続々と使用されていることなどが判った。

本サブテーマでは、昨年度に行った、防災カーテン中の臭素系およびリン系難燃剤の網羅的な定量分析結果を踏まえ、カーテン中の難燃剤のヒトへの曝露経路を明らかにするために、難燃剤の主要な曝露媒体

であるハウスダストへの移行メカニズムの解明を行った。また、「室内に存在する化学物質リスト 1698」から有害性と曝露可能性が高い物質としてグリオキサールやグルタルアルデヒドがリストアップされたが、これらの物質について昨年度、2,4-ジニトロフェニルヒトラジン(DNPH)含浸シリカゲルを用いた分析法の開発を行った。本年度は、本方法を用いて、一般住宅の室内空気中濃度の測定を行うことにより実際の曝露量を求めることを目的とした。

一方、サブテーマ(d)では、室内化学物質エミッション評価についての検討を行った。室内空気汚染対策として厚生労働省では、室内空気汚染に係る13物質の室内濃度指針値を設定し、建築基準法ではホルムアルデヒドを発生する建材の使用制限をするなど、それらの対策効果により室内環境は改善されてきた。しかし、家具や電化製品など室内に持ち込まれた部材から発生する未規制の化学物質の問題が残されている。

室内に持ち込まれる物としてカーテンは、一般家庭室内では窓等に設置されており、その使用頻度や面積・容積規模から、化学物質が放散された場合、室内環境への負荷率が大きい家庭用品である。防災カーテンの難燃剤は代替化が進んでいるが、その代替難燃剤の有害性が不明なものも多く、代替品による新たなリスクの発生が懸念される。これら難燃剤のようなSVOCは室内空気よりハウスダストから高濃度で検出され、ヒトへの暴露経路としてハウスダストの摂取が重要な経路であるとされている。そこでダストへ移行経路を明らかにするためにハウスダストに含まれる難燃剤濃度の実態調査及び化学物質の放散源実態調査を行うための試料採取を実施した。

## B. 研究方法

### サブテーマ(a)

(a-1) 防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの移行メカニズムの解明

防災カーテンのサンプルは昨年度に調査した3種類のカーテンを用いた。防災カーテン内のリン系難燃剤の濃度は、カーテンNo. 5では3,900 µg-TDCPP(リン酸トリス(1,3-ジクロロ-2-プロピル)) g<sup>-1</sup>、カーテンNo. 8では4,310 µg-TDCPP g<sup>-1</sup>、カーテンNo. 12では4,840 µg-TCsP(リン酸トリクレジル) g<sup>-1</sup>である。

本研究では防災カーテン中のリン系難燃剤のハウスダストへの移行メカニズムとして、下記の二つの移行経路を検討した。一つ目の経路は、防災カーテン中のリン系難燃剤が室内空気中へ放散した後、ハウスダストへと吸着する間接移行である。間接移行実験の手順は下記の通りである。カーテンの上に10 cm × 10 cm × 高さ5 cmのエミッションセルを置き、20 に設定した恒温槽の中に入れた。エミッションセルには、ポリウレタンフォーム(PUF)(直径90 mm、厚さ10 mm)を取り付けて、カーテンから放散されたリン系難燃剤をサンプリングした。48、72、168時間後に恒温槽から取り出し、PUFをアセトン30 mLで30分間、超音波抽出を行った。

もう一つの経路は、防災カーテンに付着したハウスダストへとリン系難燃剤が拡散する直接移行である。直接移行実験の手順は下記の通りである。ハウスダスト(50 mg)を250 µmメッシュのふるいに通し、カーテン(7 cm × 7 cm)の上に散布した。その上からステンレススチール製のエミッションセル(10 cm × 10 cm × 高さ5 cm)で覆い、20 に設定された恒温槽の中に置いた。その後6、24、48、72、120時間後にサンプリングし、捕集したダストは、アセトン3.0 mLで20分間、超音波抽出を行った。

両実験とも、ハウスダスト中のリン系難燃剤はガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)を用いて分析を行った。

#### (a-2) 室内空気中のグリオキサールおよびグルタルアルデヒドの測定

測定対象物質はグルタルアルデヒド、グリオキサール、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンとした。DNPH 含浸シリカゲルを充填した多孔質テフロンチューブをパッシブサンプラー (Figure 1) として用い、一般住宅 4 戸にて 24 時間の捕集を行った (2017 年夏季、 $n=2$ )。捕集後、20 vol% ジメチルスルホキシド (DMSO) / アセトニトリル混合液を抽出溶媒として用いてアルデヒド類を抽出した後、分析を行った。内標準物質としては DNPH 誘導化したホルムアルデヒド- $d_2$  とアセトン- $d_6$  を用いた。

アルデヒド類の分析には、液体クロマトグラフィー タンデム質量分析装置 (LC-MS/MS) (Ultimate 3000 - Endura, Thermo Scientific) を用い、カラムは Knitex C18 (長さ 5.0 mm、内径 2.1 mm、粒径 1.3  $\mu\text{m}$ 、島津製作所) を用いた。移動相にはメタノールと Milli-Q 水を使用した。イオン化法はエレクトロスプレーイオン化 (ESI) (Negative) を使用し、イオン化電圧を 3300 V、イオントランスファーチューブおよびベーパーライザー温度をそれぞれ 250 とした。

#### サブテーマ (d)

##### (d-1) 室内ハウスダスト調査

戸建・アパート等 7 家庭の居室等室内で、市販のハンディ掃除機 (リョウビ BHC1400) を用いて、延べ数十分から数時間、室内のダストを採取した (Figure 2)。6 家庭については、夏期と冬期にそれぞれ室内の居間等で、また 1 家庭については、詳細な季節的变化を確認するため四季 (春期、夏期、秋期、冬期) における調査を実施した (Table 1)。

##### (d-2) QEESI 問診票によるシックハウスの自己診断調査

室内化学物質量とシックハウス等の症

状との関係を探るため、室内ハウスダスト調査を実施した戸建・アパート等の住民に対し、QEESI 問診票の Q1 (化学物質暴露による反応) ~ Q5 (日常生活の支障程度) による自己診断調査を実施した (Table 2)。

##### (d-3) 室内環境でのエミッションセルを用いた化学物質放散源の実態調査

室内において、化学物質の放散源の実態を知るため、ポリウレタンフォームを固定したエミッションセル (Figure 3) を用いた調査を実施した。

室内ハウスダスト調査を実施した 1 家庭において夏期及び冬期に、カーテン、フローリングやカーペット等にエミッションセルを室内の 7 か所に約 3 日間設置し、そこからの放散する物質の捕集を行った (Table 3)。

## C . 研究結果

### サブテーマ (a)

#### (a-1) 防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの移行メカニズムの解明

昨年度に調査した 3 種類のカーテン内のリン系難燃剤の濃度を Table 4 に示す。また、防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの間接移行実験の結果を Figure 4 および Table 5 に示す。間接移行の放散速度を比較すると、カーテン No. 8 ( $0.17 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) よりカーテン No. 5 ( $0.044 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) の方が速かった。また、カーテン No. 5 よりもカーテン No. 12 ( $0.060 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) の放散速度の方が速かった (Table 6)。

防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの間接移行のモデル式を下記のとおり構築した。

$$\frac{1}{A} \frac{d(Mq_A + A_W q_W)}{dt} = \frac{dE}{dt} = k_a (C_a^* - C_a) \quad (1)$$

ここで、 $A$  は放散面積、 $M$  は吸着剤の量、 $q_A$  はリン系難燃剤の吸着濃度、 $A_W$  はエミッションセルの壁面面積、 $q_W$  はエミッシ

ヨンセル壁面への吸着濃度、 $t$  は時間、 $E$  は単位面積当たりのリン系難燃剤の放散速度、 $k_a$  は放散速度定数、 $C_a^*$  は平衡状態における気相中リン系難燃剤濃度、 $C_a$  は気相中リン系難燃剤濃度を示す。また、気相中リン系難燃剤はただちに吸着剤に吸着すると仮定すると、下記の式の様に変換される。Table 6 に実験から得られた速度論的パラメーターをまとめた。

$$\frac{dE}{dt} = k_a C_a^* = k' \quad (2)$$

防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの間接移行における温度の影響について調べた結果を Figure 5 および Table 7 に示す。温度が 20 °C では、間接移行の放散速度は  $0.17 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  であったが、温度を 60 °C に上昇させると、放散速度は  $11 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  となった。これより、温度上昇に伴い、間接移行速度が上昇することが明らかとなった。

防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの直接移行実験の結果を Figure 6 と Table 8 に示す。カーテン No. 5 とカーテン No. 8 の TDCPP のハウスダストへの直接移行速度を比較すると、カーテン No. 5 ( $4.4 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) よりカーテン No. 8 ( $12 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) の方がより速い移行速度を示した。

防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの直接移行のモデル式を下記のとおり構築した。

$$\frac{dC_d}{dt} = k_d (C_d^* - C_d) \quad (3)$$

ここで、 $k_d$  は移行速度定数、 $C_d^*$  は平衡状態におけるハウスダスト中リン系難燃剤濃度、 $C_d$  はハウスダスト中リン系難燃剤濃度を示す。Table 9 に実験から得られた速度論的パラメーターをまとめた。

防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの直接移行における温度の影響について調べた結果を Figure 7 および

Table 10 に示す。温度が 20 °C では、間接移行の放散速度は  $0.17 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  であったが、温度を 60 °C に上昇させると、放散速度は  $11 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  となった。これより、温度上昇に伴い、間接移行速度が上昇することが明らかとなった。

Table 11 に既往研究における、ハウスダスト中のリン系難燃剤の測定結果をまとめた。これらのリン系難燃剤濃度は、本研究で構築したモデル式でのパラメーターで十分説明できる範囲であった。

#### (a-2) 室内空気中のグリオキサールおよびグルタルアルデヒドの測定

室内空気中のアルデヒド類濃度は次式に従って算出した。

$$C = \frac{Q_P - Q_B}{V_P t} \times 1000 \quad (1)$$

ここで  $C$  はアルデヒド類濃度 (ppbv)、 $Q_P$  はパッシブサンプラーによるアルデヒド類の捕集量 ( $\mu\text{g}$ )、 $Q_B$  はトラベルブランクに含まれていたアルデヒド類の量 ( $\mu\text{g}$ )、 $V_P$  はアルデヒド類の捕集速度 ( $\mu\text{g ppmv}^{-1} \text{hr}^{-1}$ )、 $t$  は捕集時間 (h) である。

本年度調査した 4 戸の一般住宅におけるグルタルアルデヒドの室内空気中濃度は、 $0.0881 \text{ppbv}$  ( $0.355 \mu\text{g m}^{-3}$ 、住宅 1)、 $0.0835 \text{ppbv}$  ( $0.337 \mu\text{g m}^{-3}$ 、住宅 2)、 $0.0503 \text{ppbv}$  ( $0.203 \mu\text{g m}^{-3}$ 、住宅 3) および  $0.0325 \text{ppbv}$  ( $0.132 \mu\text{g m}^{-3}$ 、住宅 4) であった。測定結果は Figure 8 - 11 および Table 12 に示す。

一方、グリオキサールの室内空気中濃度は、いずれの住宅においても検出下限値 ( $<0.0015 \text{ppbv}$  :  $<0.0035 \mu\text{g m}^{-3}$ ) 以下であった。また、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドおよびアセトンの室内空気中濃度は、 $85.8\text{--}187 \text{ppbv}$  ( $104\text{--}227 \mu\text{g m}^{-3}$ )、 $4.48\text{--}90.4 \text{ppbv}$  ( $7.94\text{--}160 \mu\text{g m}^{-3}$ ) および  $3.54\text{--}97.2 \text{ppbv}$  ( $8.30\text{--}228 \mu\text{g m}^{-3}$ ) であった。

#### サブテーマ (d)

(d-3) 室内環境でのエミッションセルを用いた化学物質放散源の実態調査

エミッションセルは、化学物質の捕集量を確保するため、夏期は73時間、冬期は71時間、各部材等の上に設置し、エミッションセルと部材の間隙を防ぐため、重りを上にのせて行った。

#### D . 考察

##### サブテーマ (a 及び d)

(a-1) 防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの移行メカニズムの解明

間接移行実験において、カーテン No.5 ( $0.044 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )と比較し、カーテン No.8 ( $0.17 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )の移行速度が速かったが、これはカーテン中の高いTDCPP濃度に起因したものと考えられる。また、カーテン No.5 と比較してカーテン No.12 ( $0.060 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )の放散速度の方が速かった要因として、TCsP と比べて TDCPP の蒸気圧がより高いことが考えられた。

直接移行実験の場合、カーテン No.5 ( $4.4 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) よりカーテン No.8 ( $12 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )の方がより速い移行速度を示したが、これは防災カーテン中の高いTDCPP濃度に起因したものと考えられる。間接移行の場合と異なり、直接移行の場合、カーテン No.12 からの TCsP ( $17 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )の移行速度はカーテン No.8 からの TDCPP ( $12 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )の移行速度と同程度であった。リン系難燃剤の間接移行速度と直接移行速度を比較すると直接移行の方が 71～280 倍高いという結果となった。

(a-2) 室内空気中のグリオキサールおよびグルタルアルデヒドの測定

本年度調査した 4 戸の一般住宅におけるグルタルアルデヒドの室内空気中濃度は、グルタルアルデヒドが室内中で使用されている病院の室内空気中濃度 ( $1.30\text{--}19.6 \text{ppbv}$ ) (Katagiri et al., 2006) と比較し、低かった。しかし、検出率は 100%であった。

ホルムアルデヒドの室内空気中濃度は、本年度測定したすべての住宅にて室内濃度指針値 ( $80\text{ppbv}$ ) を超過していた。

#### E . 結論

防災カーテン中リン系難燃剤のハウスダストへの移行メカニズムを調査した結果、ハウスダストへの直接移行速度が非常に早く、主要な移動経路であることが明らかになった。また、ライブラリ構築グループで高懸念物質としてリストアップしたグリオキサールやグルタルアルデヒド室内濃度の実態調査を行った。

#### F . 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) Misato Masuda, Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their chlorinated derivatives in grilled foods, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 178, 188-194, 2019. (IF=4.000)
- 2) Masahiro Tokumura, Makiko Seo, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Dermal Exposure to Plasticizers in Nail Polishes: An Alternative Major Exposure Pathway of Phosphorus-Based Compounds, *Chemosphere*, 226, 316-320, 2019. (IF=4.506)
- 3) Masahiro Tokumura, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Kosuke Muramatsu, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Comparison of Rates of Direct and Indirect Migration of Phosphorus Flame Retardants from Flame-Retardant-Treated Polyester Curtains to Indoor Dust, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 464-469, 2019. (IF=4.000)
- 4) Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura,

- Qi Wang, Takashi Amagai, Yasuhiro Takegawa, Yoko Yamagishi, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Takeshi Kobayashi, Shinji Takasu, Kumiko Ogawa, Kurunthachalam Kannan, Identification of Novel Phosphorus-Based Flame Retardants in Curtains Purchased in Japan Using Orbitrap Mass Spectrometry, *Environmental Science & Technology Letters*, 5, 448-455, 2018. (IF=5.869)
- 5) Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Qi Wang, Hayato Nakayama, Takashi Amagai, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Takeshi Kobayashi, Shinji Takasu, Kumiko Ogawa, Methods for the analysis of organophosphate flame retardants - A comparison among GC-EI-MS, GC-NCI-MS, LC-ESI-MS/MS, and LC-APCI-MS/MS, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53, 475-481, 2018. (IF=1.425)
- 6) Qi Wang, Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura, Takashi Amagai, Yuichi Horii, Kiyoshi Nojiri, Nobutoshi Ohtsuka, Effects of characteristics of waste incinerator on emission rate of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbon into environments, *Science of the Total Environment*, 625, 633-639, 2018. (IF=5.102)
- 7) Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura, Hayato Nakayama, Qi Wang, Takashi Amagai, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Takeshi Kobayashi, Shinji Takasu, Kumiko Ogawa, Kurunthachalam Kannan: Simultaneous Determination of Brominated and Phosphorus Flame Retardants in Flame-Retarded Polyester Curtains by a Novel Extraction Method. *Science of the total Environment*, 601-602, 1333-1339 (2017). IF=5.102
- 8) Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura, Qi Wang, Zhiwei Wang, Takashi Amagai: Comparison of Volatile Organic Compound Recovery Rates of Commercial Active Samplers for Evaluation of Indoor Air Quality in Work Environments. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(6), 737-746 (2017). DOI: 10.1007/s11869-017-0465-0. IF=3.102
- 9) Takasu, S., Ishii, Y., Yokoo, Y., Tsuchiya, T., Kijima, A., Kodama, Y., Ogawa, K., Umemura, T. In vivo reporter gene mutation and micronucleus assays in gpt delta mice treated with a flame retardant decabromodiphenyl ether. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen*. 816-817:7-11, 2017.
2. 学会発表
- 1) Misato Masuda, Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Generation of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives during cooking, The 4th International Conference on Pharma and Food (ICPF2018), Shizuoka, Japan. (November, 2018)
- 2) Kosuke Muramatsu, Masahiro Tokumura, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Novel effective method to evaluate risks of phosphorus flame retardant, The 4th International Conference on Pharma and Food (ICPF2018), Shizuoka, Japan. (November, 2018)
- 3) Misato Masuda, Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and their chlorinated derivatives produced by cooking, THE 23rd Shizuoka Forum on Health and Longevity, Shizuoka, Japan. (November, 2018)
- 4) Kosuke Muramatsu, Masahiro Tokumura

- ra, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Development of a screening method to evaluate risks of flame retardants in indoor environments, THE 23rd Shizuoka Forum on Health and Longevity, Shizuoka, Japan. (November, 2018)
- 5) Kento Sei, Qi Wang, Misato Masuda, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, An Analytical Method for Chlorinated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particles by Thermal Desorption-GC/MS, the 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs) & 10th International PCB Workshop (Dioxin 2018), Kraków, Poland. (August 2018)
  - 6) Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura, Qi Wang, Takashi Amagai, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Takeshi Kobayashi, Shinji Takasu, Kumiko Ogawa, Kurunthachalam Kannan, Identification of Novel Phosphorus Flame Retardants in Curtains Using Orbitrap Mass Spectrometry, the 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs) & 10th International PCB Workshop (Dioxin 2018), Kraków, Poland. (August 2018)
  - 7) Masahiro Tokumura, Kosuke Muramatsu, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Comparison of Rates of Direct and Indirect Migration of Phosphorus Flame Retardants from Flame-Retardant-Treated Polyester Curtains to Indoor Dust, the 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs) & 10th International PCB Workshop (Dioxin 2018), Kraków, Poland. (August 2018)
  - 8) Misato Masuda, Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Unintentional Generation of Chlorinated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Cooking, the 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs) & 10th International PCB Workshop (Dioxin 2018), Kraków, Poland. (August 2018)
  - 9) Mai Shindo, Kotone Terao, Kosuke Muramatsu, Masahiro Tokumura, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Estimating Potential Dermal Exposure to Organophosphorus Flame Retardants via Direct Contact with Products, the 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs) & 10th International PCB Workshop (Dioxin 2018), Kraków, Poland. (August 2018)
  - 10) Haruna Nishio, Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Yasuhiro Fukushima, Yoshihiro Suzuki, Takanori Enomoto, Effects of Environmental Factors on Sampling Rates of VOCs with Porous Tube-Type Passive Samplers, The Joint Annual Meeting of the International Society of Exposure Science and the International Society for Environmental Epidemiology (ISES-ISEE 2018), Ottawa, Canada. (August 2018)
  - 11) Kosuke Muramatsu, Hiroshi Aiuchi, Yuta Goro, Masahiro Tokumura, Qi Wang, Takanori Ambo, Masakazu Minagawa, Ryutaro Ishibashi, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Decolorization of Colored Effluent from Textile Manufacturing Industry in Bangladesh by Photo-Fenton Reaction Coupled with Catalyst, The 12th Asia Impact Assessment Conference (AIC

- 2018), Shizuoka, Japan. (August 2018)
- 12) Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Environmental impact of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from E-waste recycling activities in Vietnam, The 12th Asia Impact Assessment Conference (AIC 2018), Shizuoka, Japan. (August 2018)
  - 13) Mai Shindo, Kotone Terao, Kosuke Muramatsu, Masahiro Tokumura, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Device for Measuring Dermal Exposure Rate of Flame Retardants via Direct Contact with Products, The 12th Asia Impact Assessment Conference (AIC 2018), Shizuoka, Japan. (August 2018)
  - 14) Jumpei Miyazaki, Kosuke Muramatsu, Masahiro Tokumura, Muhammad Rafiqul Islam, Qi Wang, Yuichi Miyake, Masahiro Sakata, Shigeki Masunaga, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Arsenic and Heavy Metal Contaminations of Rice Grown in Bangladesh, The 12th Asia Impact Assessment Conference (AIC 2018), Shizuoka, Japan. (August 2018)
  - 15) Masahiro Tokumura, Makoto Sekine, Mohammad Raknuzzaman, Md Habiburillah Al Mamun, Md Kawser Ahmed, Muhammad Rafiqul Islam, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Shigeki Masunaga, Masakazu Makino, Feasibility of Quantitative Image Analysis Method to Improve Performances of Arsenic Field Test Kit for Screening of Tube Well Waters in Bangladesh, The 12th Asia Impact Assessment Conference (AIC 2018), Shizuoka, Japan. (August 2018)
  - 16) Masahiro Tokumura, Sayaka Ogo, Kazunari Kume, Kosuke Muramatsu, Qi Wang, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Migration Mechanism of Phosphorus Flame Retardants from Flame-Retardant-Treated Polyester Curtains to Indoor Dust, the 15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (ISIAQ) (Indoor Air 2018), Philadelphia, PA, USA. (July 2018)
  - 17) Yuichi Miyake, Masahiro Tokumura, Qi Wang, Takashi Amagai, Novel Phosphorus Flame Retardants Found from Flame-Retardant Curtains Purchased from Japanese Market, the 15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (ISIAQ) (Indoor Air 2018), Philadelphia, PA, USA. (July 2018)
  - 18) Misato Masuda, Qi Wang, Masahiro Tokumura, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Determination of Chlorinated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments, The Water and Environment Technology Conference 2018 (WET 2018), Ehime, Japan. (July, 2018).【The WET Excellent Presentation Award 受賞】
  - 19) Kosuke Muramatsu, Hiroshi Aiuchi, Yuta Goro, Masahiro Tokumura, Takanoori Ambo, Masakazu Minagawa, Ryutarō Ishibashi, Yuichi Miyake, Takashi Amagai, Masakazu Makino, Mechanism of Photo-Fenton Reaction Coupled with Catalyst Investigated by Kinetic Model, The Water and Environment Technology Conference 2018 (WET 2018), Ehime, Japan. (July, 2018).
  - 20) 王 齊, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 福島 靖弘, 鈴木 義浩, 榎本 孝紀, 活性炭・シリカゲルチューブを用いた作業環境における揮発性有機化合物の回収率に関する検討, 平成30年室内環境学会学術大会, 東京. (20



- 18年12月)
- 21) 増田 美里, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 加熱調理により生成した多環芳香族炭化水素とその塩素化体の曝露経路別リスク評価, 平成30年室内環境学会学術大会, 東京. (2018年12月)
  - 22) 清 健人, 王 斉, 増田 美里, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 加熱脱着法を用いた塩素化多環芳香族炭化水素類 (CIPAHs) の室内濃度の実態調査, 平成30年室内環境学会学術大会, 東京. (2018年12月)
  - 23) 村松 孝亮, 徳村 雅弘, 小郷 沙矢香, 久米 一成, 王 斉, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, カーテン中に含まれるリン系難燃剤の反応速度論的解析, 平成30年室内環境学会学術大会, 東京. (2018年12月) 【優秀ポスター賞受賞】
  - 24) 新堂 真生, 村松 孝亮, 徳村 雅弘, 王 斉, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 室内製品との直接接触に伴うリン系難燃剤の経皮曝露量スクリーニング法の開発, 平成30年室内環境学会学術大会, 東京. (2018年12月) 【優秀ポスター賞受賞】
  - 25) 増田 美里, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 食品や調理排気中に存在する多環芳香族炭化水素誘導体のリスク評価, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 26) 清 健人, 王 斉, 増田 美里, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 高橋 ゆかり, 粒子状の発がん物質生成に対する室内暖房の寄与, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 27) 三輪 春樹, 古川 美乃里, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 高橋 ゆかり, ハウスダスト中に含まれる家庭製品由来の難燃剤の実態調査, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 28) 西尾 春菜, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 福島 靖弘, 鈴木 義浩, 榎本 孝紀, 有害物質 (VOCs) の個人曝露におけるサンプラーの精確性の検討, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 29) 新堂 真生, 徳村 雅弘, 王 斉, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 身の回りの製品に含まれる化学物質の経皮曝露量測定法の開発, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 30) 宮崎 淳平, 村松 孝亮, 徳村 雅弘, イスラム ラフィクール ムハンマド, 王 斉, 三宅 祐一, 坂田 昌弘, 益永 茂樹, 雨谷 敬史, 牧野 正和, バングラデシュの重金属汚染におけるコメの栽培方法の最適化による健康リスク低減策の提案, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 31) 天野 あすか, 五老 祐大, 徳村 雅弘, 王 斉, 保田 倫子, 内藤 博敬, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 食品の加熱により生成する新規有害物質の代謝を考慮した毒性評価, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 32) 村松 孝亮, 五老 祐大, 徳村 雅弘, 王 斉, 安保 貴永, 皆川 正和, 石橋 龍太郎, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 開発途上国ための低コスト排水処理プロセスの開発, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 33) 柴崎 祐希, 徳村 雅弘, 王 斉, 三宅 祐一, 坂田 昌弘, 内藤 博敬, 戸敷 浩介, 雨谷 敬史, 牧野 正和, モンゴル国における自動車の普及に伴う土壌の重金属汚染の実態調査, 富士山麓A&Sフェア2018, 富士. (2018年11月)
  - 34) 増田 美里, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 調理により生成する多環芳香族炭化水素とその塩素化体の経路別曝露量の比較, 環境科学

- 会 2017年会, 東京. (2018年9月) 【優秀発表賞受賞】
- 35) 三輪 春樹, 古川 美乃里, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 高橋 ゆかり, ハウスダストを介した規制・未規制難燃剤の曝露・リスク評価, 環境科学会 2017年会, 東京. (2018年9月)
- 36) 清 健人, 王 斉, 増田 美里, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 塩素化多環芳香族炭化水素類 (CIPAHs) 個人曝露評価のための高感度分析法の開発, 環境科学会 2017年会, 東京. (2018年9月)
- 37) 新堂 真生, 寺尾 琴音, 村松 孝亮, 徳村 雅弘, 王 斉, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 製品中難燃剤の直接接触に伴う経皮曝露量推算のための測定デバイスの開発, 環境科学会 2017年会, 東京. (2018年9月)
- 38) 宮崎 淳平, 村松 孝亮, 五老 祐大, 徳村 雅弘, イスラム ムハンマド, 王 斉, 三宅 祐一, 坂田 昌弘, 益永 茂樹, 雨谷 敬史, 牧野 正和, バングラデシュにおける稲品種および水管理方法の違いによるコメ中ヒ素および重金属濃度への影響, 環境科学会 2017年会, 東京. (2018年9月) 【優秀発表賞受賞】
- 39) 天野 あすか, 五老 祐大, 徳村 雅弘, 王 斉, 内藤 博敬, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 新規環境汚染物質である塩素化多環芳香族炭化水素類の包括的かつ統合的環境影響評価, 環境科学会 2017年会, 東京. (2018年9月)
- 40) 村松 孝亮, 五老 祐大, 王 斉, 徳村 雅弘, 安保 貴永, 皆川 正和, 石橋 龍太郎, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 反応速度論的解析に基づく排水処理プロセスの改善策の提案, 環境科学会 2017年会, 東京. (2018年9月)
- 41) 徳村 雅弘, 瀬尾 真紀子, 王 斉, 甲斐 葉子, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, マニキュア液に含まれる可塑剤の経皮曝露を考慮した確立論的リスク評価, 第27回日本臨床環境医学会学術集会, 三重. (2018年7月)
- 42) 三輪 春樹, 古川 美乃里, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 高橋 ゆかり, ハウスダスト中の代替難燃剤の一斉分析法の検討, 第27回環境化学討論会, 那覇. (2018年5月)
- 43) 西尾 春菜, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 福島 靖弘, 鈴木 義浩, 榎本 孝紀, 多孔性チューブ型パッシブサンプラーにおけるVOCsのサンプリングレートの影響要因に関する研究, 第27回環境化学討論会, 那覇. (2018年5月)
- 44) 清 健人, 王 斉, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 加熱脱着-GC/MSを用いた粒子状塩素化多環芳香族炭化水素類 (CIPAHs) 分析法の開発, 第27回環境化学討論会, 那覇. (2018年5月)
- 45) 新堂 真生, 寺尾 琴音, 村松 孝亮, 徳村 雅弘, 王 斉, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 製品中難燃剤の直接接触に伴う経皮曝露量測定デバイスの基礎的検討, 第27回環境化学討論会, 那覇. (2018年5月) 【RSC賞受賞】
- 46) 宮崎 淳平, 村松 孝亮, 五老 祐大, 徳村 雅弘, イスラム ムハンマド, 王 斉, 三宅 祐一, 坂田 昌弘, 益永 茂樹, 雨谷 敬史, 牧野 正和, バングラデシュにおけるコメのヒ素および重金属汚染の実態調査, 第27回環境化学討論会, 那覇. (2018年5月)
- 47) 村松 孝亮, 相内 博, 五老 祐大, 徳村 雅弘, 安保 貴永, 皆川 正和, 石橋 龍太郎, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 触媒併用型フォトフェントン反応による汚染物質除去機構の反応速度論的解析, 第27回環境化学

- 討論会, 那覇. (2018年5月)
- 48) 増田 美里, 王 齊, 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 底質および魚介類中の塩素化ピレンとそのヒドロキシ誘導体の分析法の開発, 第27回環境化学討論会, 那覇. (2018年5月)
- 49) 徳村 雅弘, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, マニキュア液中に含まれるリン系化合物の経皮曝露を考慮した確率論的リスク評価スキームの構築, USフォーラム 2018, 静岡. (2018年4月)
- 50) 増田 美里, 相内 博, 徳村 雅弘, 五老 祐大, 王 齊, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 水生生物中のハロゲン化多環芳香族炭化水素及びその誘導体の分析法の開発, 第52回日本水環境学会年会, 札幌. (2018年3月)
- 51) 村松 孝亮, 相内 博, 五老 祐大, 徳村 雅弘, 安保 貴永, 皆川 正和, 石橋 龍太郎, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 触媒併用型フォトフェントン反応の汚染物質除去メカニズムの解明, 第52回日本水環境学会年会, 札幌. (2018年3月)
- 52) 相内 博, 徳村 雅弘, 五老 祐大, 王 齊, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和, 塩素化多環芳香族炭化水素類 (Cl PAHs) とその誘導体の生体毒性評価, 第52回日本水環境学会年会, 札幌. (2018年3月)

**Table 1 室内ハウスダスト調査概要**

No	調査個所	春期 調査	夏期 調査	秋期 調査	冬期 調査
1	自室 ・K		2018 0613		2018 1212
2	自室 居間		2018 0621		2019 0121
3	自室寝室		2018 0625		2018 1218
4	居間		2018 0703		2018 1222
5	居間		2018 0708		2018 1218
6	居間 ・K		2019 0127		2019 0127
7	居間 DK	2018 0520	2018 0725	2018 1010	2019 0201

注) K : キッチン DK : ダイニングキッチン

**Table 2** QEESI 問診票の概要

質 問 票	反 応・症 状の強 さ
Q1 化学物質暴 露による反応	まったく反応なし(0) ～動けなくなる程の症 状(10)
Q2 その他物質 に対する反応	まったく反応なし(0) ～動けなくなる程の症 状(10)
Q3 症状	まったく症状なし(0) ～動けなくなる程の症 状(10)
Q4 マスキング	当てはまるものを選択
Q5 日常生活の 支障の程度	まったく支障なし(0) ～動けなくなる程の症 状(10)

注) Q1、Q2、Q3、Q5は、反応なし等の0点から最も重い症状  
の10点までの項目をそれぞれの設問について選択する

Table 3 化学物質放散源の実態調査概要

No	調査場所	夏期調査	冬期調査
1	カーテン	20180706	20190128
2	テレビ下	20180706	20190128
3	ソファタオルケット	20180706	20190128
4	フローリング	20180706	20190128
5	カーペット	20180706	20190128
6	テレビ下カーペット	20180706	20190128
7	上向き（セル）	20180706	20190128

**Table 4** Information on curtain samples (Miyake et al., 2017).

Sample ID	Make	Type	Material	Flame resisting method	Phosphorus Flame Retardant detected
5	Japan	Curtain	Polyester 100%	Post processing	3,900 $\mu\text{g-TDCPP}^{*1} \text{ g}^{-1}$
8	Japan	Curtain	Polyester 100%	Post processing	4,310 $\mu\text{g-TDCPP}^{*1} \text{ g}^{-1}$
12	Japan	Curtain	Polyester 97%, Nylon 3%	Post processing	4,840 $\mu\text{g-TCsP}^{*2} \text{ g}^{-1}$

<sup>\*1</sup> tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP), <sup>\*2</sup> tricresyl phosphate (TCsP)

**Table 5** Emission rates of phosphorus flame retardants (PFRs) from treated polyester curtains.

Time (h)	Area-specific amount of PFR emitted ( $\mu\text{g m}^{-2}$ ) (average $\pm$ standard deviation)		
	TDCPP* <sup>1</sup> (Curtain 5)	TDCPP* <sup>1</sup> (Curtain 8)	TCsP* <sup>2</sup> (Curtain 12)
0	0	0	0
24	–	6.2 $\pm$ 0.66	–
48	2.3 $\pm$ 0.25	7.2 $\pm$ 1.4	2.8 $\pm$ 0.77
72	4.1 $\pm$ 0.39	12 $\pm$ 2.3	4.8 $\pm$ 0.28
120	–	19 $\pm$ 2.6	–
168	6.9 $\pm$ 0.54	31 $\pm$ 1.3	9.9 $\pm$ 2.3

\*<sup>1</sup> tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP), \*<sup>2</sup> tricresyl phosphate (TCsP)



**Table 6** Pseudo-zero-order rate constants for indirect migration of phosphorus flame retardants from treated polyester curtains to indoor dust

	$k'$ ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )
TDCPP, Curtain 5	0.044
TDCPP, Curtain 8	0.17
TCsP, Curtain 12	0.060

\* TDCPP: tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate; TCsP: tricresyl phosphate.

**Table 7** Effects of temperature on emission rates of tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP) from treated polyester curtains (Curtain 8).

Time (h)	Area-specific amount of PFR emitted ( $\mu\text{g m}^{-2}$ ) (average $\pm$ standard deviation)	
	20°C	60°C
0	0	0
6	–	180 $\pm$ 9.6
24	6.2 $\pm$ 0.66	–
48	7.2 $\pm$ 1.4	500 $\pm$ 63
72	12 $\pm$ 2.3	850 $\pm$ 160
120	19 $\pm$ 2.6	–
168	31 $\pm$ 1.3	–

**Table 8** Temporal dependence of phosphorus flame retardants (PFRs) in indoor dust.

Time (h)	PFR concentration on dust ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (average $\pm$ standard deviation)		
	TDCPP* <sup>1</sup> (Curtain 5)	TDCPP* <sup>1</sup> (Curtain 8)	TCsP* <sup>2</sup> (Curtain 12)
0	0	0	0
6	6.4 $\pm$ 0.60	14 $\pm$ 2.5	10 $\pm$ 0.79
24	10 $\pm$ 2.0	27 $\pm$ 2.8	17 $\pm$ 3.1
48	16 $\pm$ 1.7	62 $\pm$ 9.0	36 $\pm$ 5.0
72	23 $\pm$ 1.1	70 $\pm$ 23	91 $\pm$ 3.2
120	27 $\pm$ 6.0	–	140 $\pm$ 24

\*<sup>1</sup> tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP), \*<sup>2</sup> tricresyl phosphate (TCsP)

**Table 9** Kinetic parameters of our model for direct migration of phosphorus flame retardants from treated polyester curtains to indoor dust.

	$k_d$ (h <sup>-1</sup> )	$C_d^*$ (μg g <sup>-1</sup> )
TDCPP, Curtain 5	0.017	31
TDCPP, Curtain 8	0.016	110
TCsP, Curtain 12	0.0087	200

\* TDCPP: tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate; TCsP: tricresyl phosphate.

**Table 10** Temperature dependence of direct migration rate of tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP) from treated polyester curtain (Curtain 8) to indoor dust.

Temperature (°C)	Direct migration rate ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )
10	5.5
20	12
40	26

**Table 11** Previously reported concentrations of phosphorus flame retardants on indoor dust collected from indoor environments.

Indoor environment	Concentration ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		Reference
	TDCPP	TCsP	
Dwellings in United States	<0.09–56	–	Stapleton et al. (2009)
Dwellings in California	0.49–140	0.18–10	Dodson et al. (2014)
Dwellings in Japan	5.8–130	<4–100	Kanazawa et al. (2010)
Dwellings in Belgium	<0.08–6.6	<0.04–5.1	Van den Eede et al. (2011)
Dwellings in Kuwait	0.06–1.6	0.075–11	
Dwellings in Pakistan	<0.005–0.26	<0.002–0.36	Ali et al. (2013)
Car cabin in Kuwait	0.6–170	–	
Car cabin in Pakistan	<0.005–1.2	–	
Dwellings in Germany	<0.08–0.11	<0.04–0.24	Brommer et al. (2012)
Car cabin in Germany	<0.08–620	<0.04–150	
Car cabin (car seats) in Japan	1.4–190	–	Tokumura et al. (2017)
Car cabin (floor mats) in Japan	0.81–2.1	–	

\* TDCPP: tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate; TCsP: tricresyl phosphate.

Table 12 4ヶ所の住宅における測定対象物質の濃度

		住宅 1	住宅 2	住宅 3	住宅 4
グルタルアルデヒド	ppb <sub>v</sub>	0.0881	0.0835	0.0503	0.0325
	μg/m <sup>3</sup>	0.355	0.337	0.203	0.132
グリオキサール	ppb <sub>v</sub>	<0.00150	<0.00150	<0.00150	<0.00150
	μg/m <sup>3</sup>	<0.00351	<0.00351	<0.00351	<0.00351
ホルムアルデヒド	ppb <sub>v</sub>	177	85.8	187	138
	μg/m <sup>3</sup>	214	104	227	168
アセトアルデヒド	ppb <sub>v</sub>	90.4	10.1	4.48	9.92
	μg/m <sup>3</sup>	160	17.9	7.94	17.6
アセトン	ppb <sub>v</sub>	97.2	5.86	3.54	4.02
	μg/m <sup>3</sup>	228	13.7	8.30	9.39

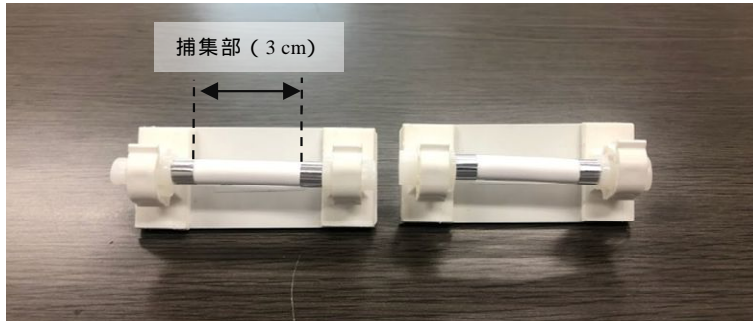


Figure 1 使用したパッシブサンプラー



Figure 2 ハンディー掃除機を用いた  
ハウスダスト捕集



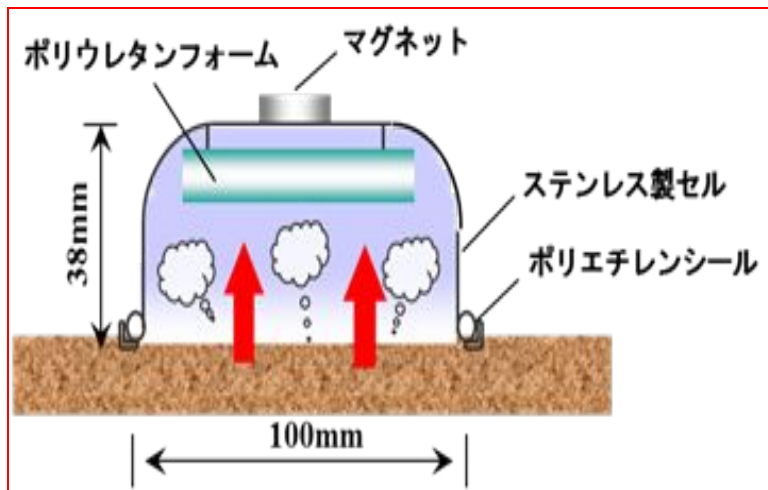
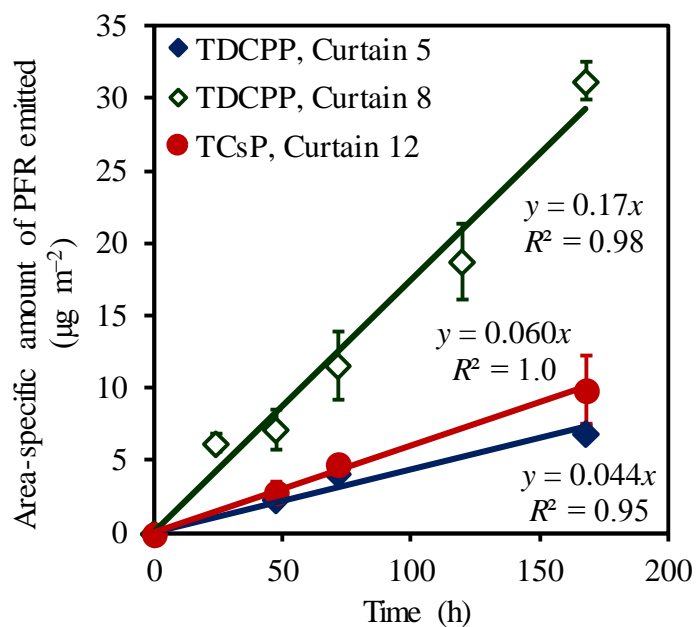
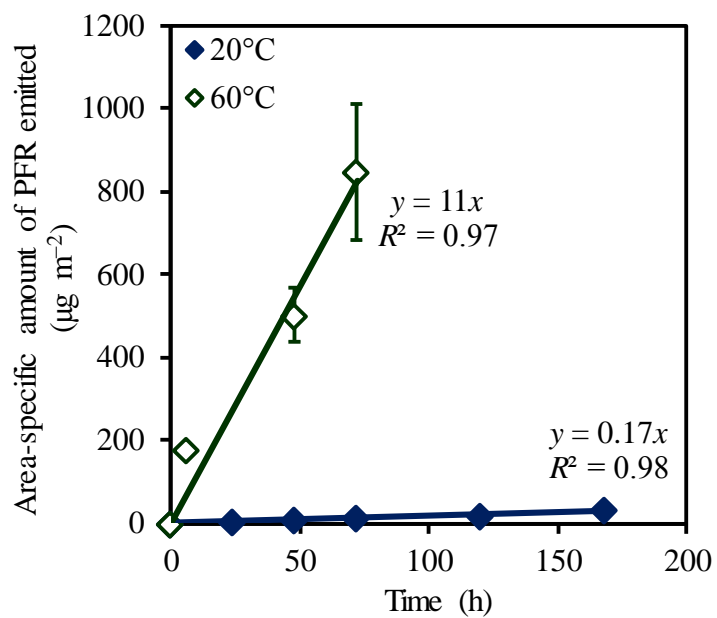


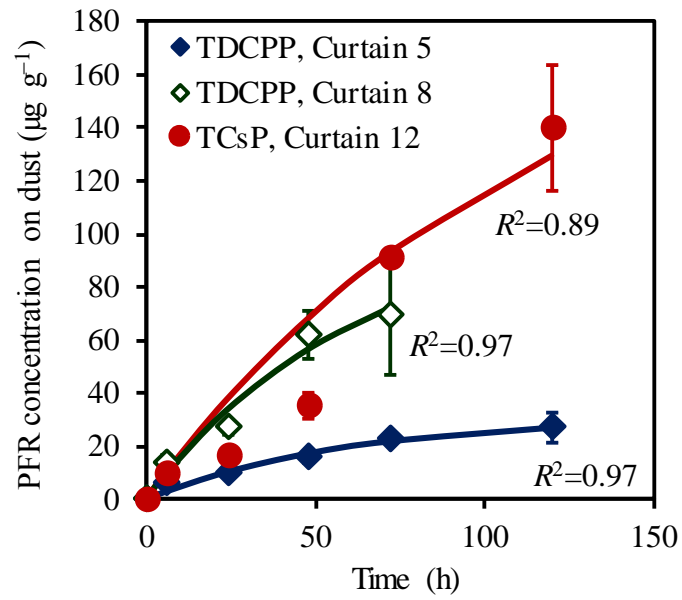
Figure 3 エミッションセルの写真と概要図



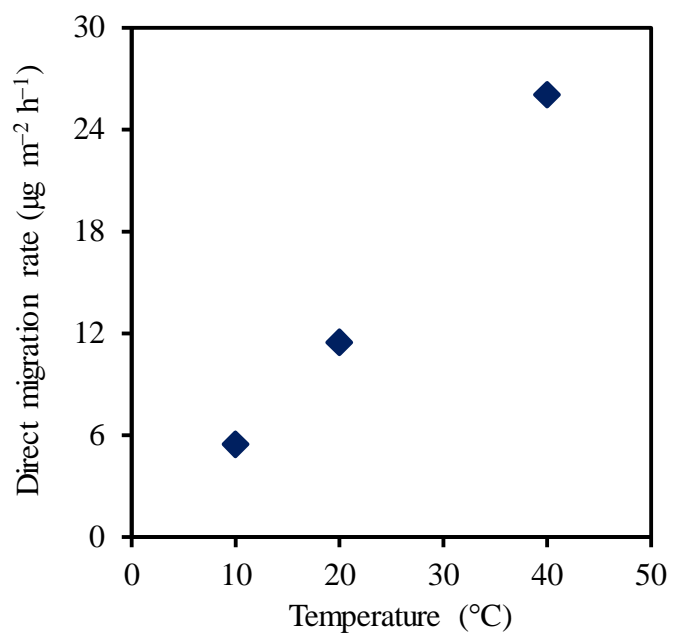
**Figure 4** Emission rates of phosphorus flame retardants (PFRs) from treated polyester curtains (TDCPP: tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate; TCsP: tricresyl phosphate).



**Figure 5** Effects of temperature on emission rates of tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP) from treated polyester curtains (Curtain 8).



**Figure 6** Temporal dependence of phosphorus flame retardants (PFRs) in indoor dust (data points and solid curves show experimental results and predicted results, respectively) (TDCPP: tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate; TCsP: tricresyl phosphate).



**Figure 7** Temperature dependence of direct migration rate of tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP) from treated polyester curtain (Curtain 8) to indoor dust.

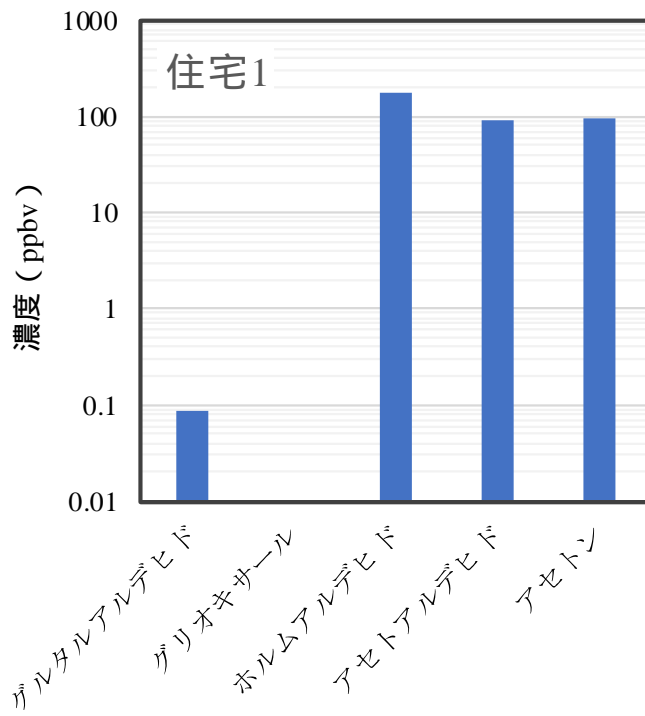


Figure 8 住宅1における測定対象物質の濃度

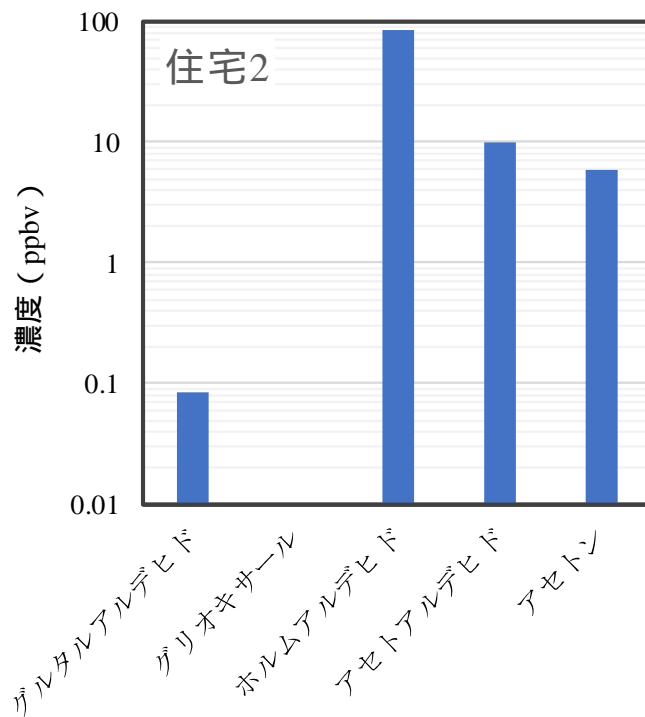


Figure 9 住宅2における測定対象物質の濃度

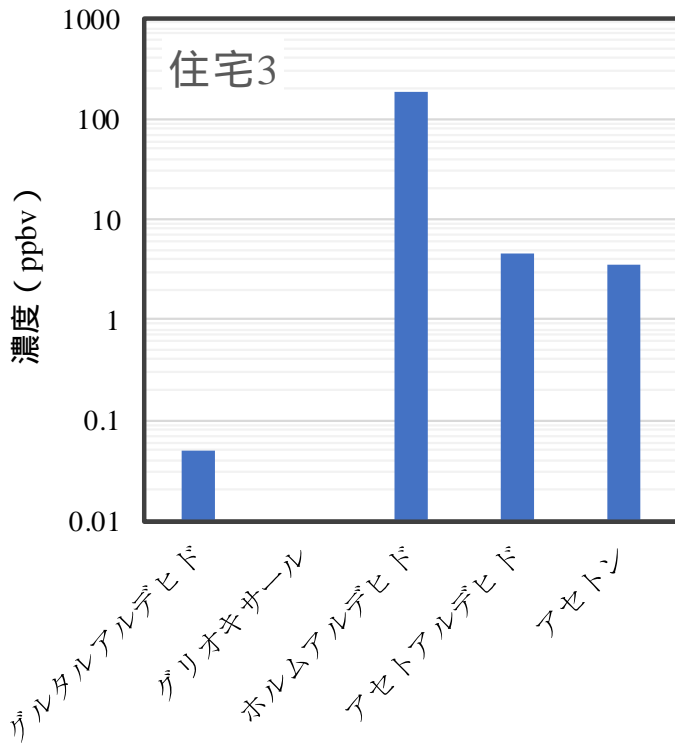


Figure 10 住宅3における測定対象物質の濃度

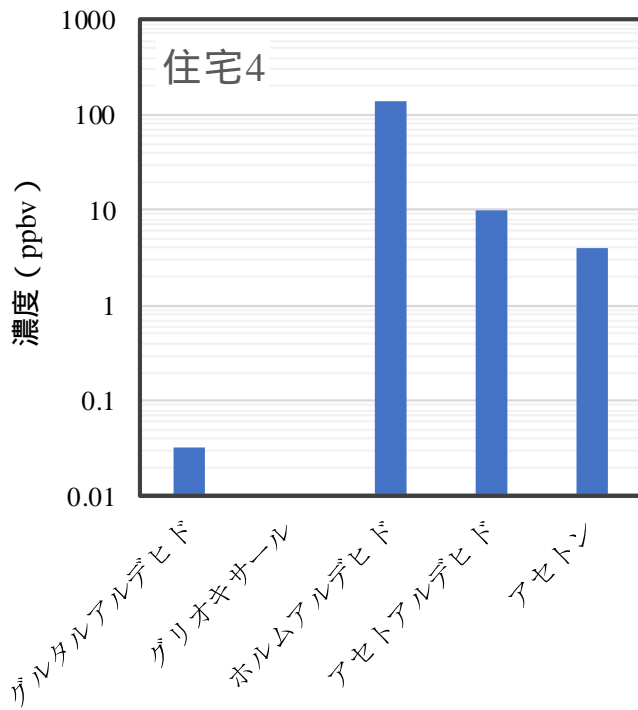


Figure 11 住宅4における測定対象物質の濃度