

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00641

研究課題名(和文)規制難燃剤に代わる縮合型リン系難燃剤の安全性評価：適切なリスクベース管理に向けて

研究課題名(英文)Chemical safety assessment of oligomeric organophosphorus flame retardants used as alternatives for restricted hazardous substances

研究代表者

松神 秀徳(Matsukami, Hidenori)

国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・主任研究員

研究者番号：10639040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：縮合型リン系難燃剤は、欧州RoHS指令やPOPs条約対象の規制難燃剤に代わって主流となりつつある次世代難燃剤のひとつであるが、近年、環境経由の曝露リスクが危惧されている。縮合型リン系難燃剤に関しては、科学的知見に基づくリスクベース管理を導入し、消費者の火災安全性と健康安全性を両立させる管理方策を採ることが考えられるが、その生体内利用性と毒性発現性は解明されておらず、消費者製品の含有実態に関する実測データも極めて少ない。本研究は、縮合型リン系難燃剤を対象に、生体内利用性と毒性発現性に関するラボ実験、および消費者製品に関する含有実態調査を行い、そのリスク性の解明に資する科学的知見を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた生体内利用性と毒性発現性に関する知見は、本研究のみならず今後の環境経由の化学物質曝露に伴うリスク評価を検討する上で基盤となる科学的知見である。また、消費者製品における濃度レベルと物質組成に関する特徴を示した点は、国際的にも本研究が初めて明らかにしたものである。さらに、縮合型リン系難燃剤の市販製剤から消費者製品に関する科学的知見を伝達することは有意義であると考えられ、積極的な情報発信を通じて学術的・社会的貢献を果たすことができると考える。

研究成果の概要(英文)：Oligomeric organophosphorus flame retardants (O-PFRs) is a group of flame retardants that are becoming mainstream in place of the regulated flame retardants subject to the European RoHS Directive and the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. The risk of exposure via the environment has been a concern in recent years. Regarding O-PFRs, it is possible to introduce risk-based management based on the scientific knowledge and adopt management measures that make fire and health safety of consumers compatible. Information on hazard of O-PFRs has not been clarified, and there is very little actual measurement data regarding the actual content of consumer products. In this study, we conducted a laboratory experiment on bioavailability and toxicity development of O-PFRs, conducted a fact-finding survey on the content of consumer products, and proposed additional information that contributes to the elucidation of the risks posed by O-PFRs.

研究分野：環境学

キーワード：次世代難燃剤 縮合体 不純物 生体内利用性 溶解度 膜透過性 毒性発現性 消費者製品

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

縮合型リン系難燃剤は、有機リン酸トリエステル縮合体を主成分とする有機リン系難燃剤の一種であり、エンジニアリングプラスチックやポリウレタンフォーム、合成繊維などの身近な消費者製品を難燃化するために使用されている。縮合型リン系難燃剤は、欧州 RoHS 指令や POPs 条約の規制対象となった臭素系難燃剤に代わって需要が堅調に伸びており、現在、主流となりつつある次世代難燃剤のひとつである。縮合型リン系難燃剤を構成する縮合体については、従来の難燃剤に用いられてきた低分子量化合物よりも分子構造が大きいため、環境放散性および生体内利用性が低く、さらに毒性発現性も低いことも期待されている。しかしながら、縮合型リン系難燃剤の縮合体が、家屋の室内環境や自動車の車内環境、使用済み電気製品の処理施設の作業環境とその周辺環境から、規制対象となった臭素系難燃剤と同等もしくはそれ以上の濃度レベルで検出される事例¹⁻³が報告されており、近年、環境経由の曝露リスクが危惧されている。

我々の研究グループでは、縮合型リン系難燃剤のリスク性の解明に資する科学的知見の提示を目的として、まずは代表的な市販製剤に関する実態把握を進めてきた。これまでの研究成果として、縮合型リン系難燃剤を構成する縮合体よりも市販製剤の製造過程で混入した含有量 1%以下の低分子量不純物の環境放散性が高いことを初めて明らかにした⁴。一方で、縮合型リン系難燃剤の縮合体と低分子量不純物の生体内利用性と毒性発現性については明らかになっていない。また、消費者製品の含有実態に関する実測データも極めて少ない。以上のことから、縮合型リン系難燃剤のリスク性の解明に資する科学的知見はまだ不足していると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、縮合型リン系難燃剤を対象に、生体内利用性と毒性発現性に関するラボ実験、および消費者製品に関する含有実態調査を行い、最終的には、縮合型リン系難燃剤のリスク性の解明に資する科学的知見を提示することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 分析対象試料

本研究では、縮合型リン系難燃剤の市販製剤として、レゾルシノールビス(ジフェニルホスフェート)製剤(CR-733S)(CAS番号: 57583-54-7 および 125997-21-9)、ビスフェノール A ビス(ジフェニルホスフェート)製剤(CR-741)(CAS番号: 5945-33-5 および 181028-79-5)、レゾルシノールビス(ジキシレニルホスフェート)製剤(PX-200)(CAS番号: 139189-30-3)、テトラキス(2-クロロエチル)ジクロロイソペンチルジホスフェート製剤(V6)(CAS番号: 38051-10-4)、ポリオキシアルキレンビス(ジクロロアルキル)ホスフェート製剤(CR-504L)(CAS番号: 184530-92-5)を使用した。CR-733S、CR-741、PX-200、CR-504L は、大八化学工業株式会社から販売されているものを入手した。V6については、デューク大学 Stapleton 教授らが先行研究⁵で使用していた市販製剤を入手した。これら 5 種類に含まれている縮合体の分子構造と略称を図 1 に示す。CR-733S、CR-741、V6、CR-504L は常温で粘性液体、PX-200 は固体であった。

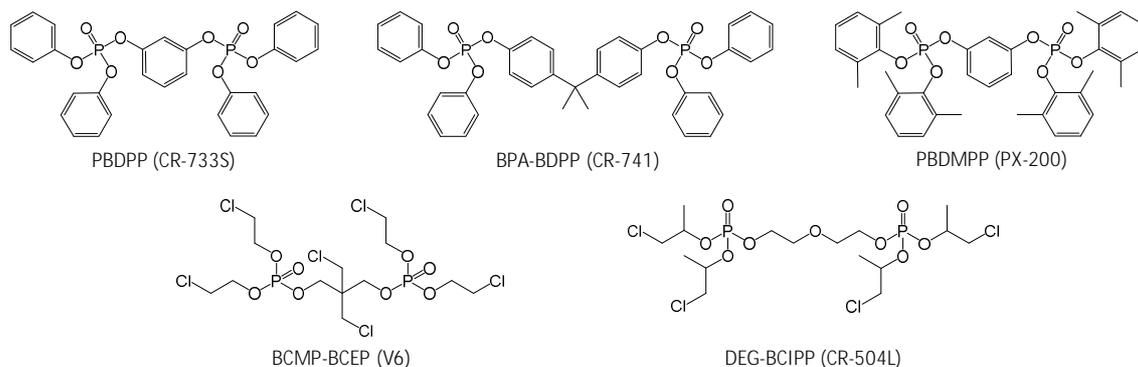


図 1. 縮合型リン系難燃剤の縮合体の分子構造と略称

本研究では、消費者製品に関する含有実態調査において、製造年 2001 年から 2013 年までのパソコン用ディスプレイ 45 台から採取したプラスチック筐体(PC用ディスプレイ筐体)を使用した。PC用ディスプレイ筐体は、凍結粉碎機により微細化後、テトラヒドロフラン(THF)に溶解させたものを分析供試料とした。また本研究では、縮合型リン系難燃剤の生体内利用性を検討する際に、使用済み電気製品の再資源化施設で採取した、縮合型リン系難燃剤含有ダストを使用した。使用済み電気製品を手解体・手選別する過程で発生したダスト(作業場ダスト)、作業場の床面に堆積したダスト(フロアダスト)、作業場の梁や窓枠に堆積したダスト(静置ダスト)を採取し、0.25 mm メッシュ篩下を分析供試料とした。ダスト試料中 PBDPP、BPA-BDPP、PBDMPP の含有量の平均値はそれぞれ、作業場ダストで 2.4 µg/g、4.7 µg/g、0.78 µg/g、フロアダストで 3.2 µg/g、5.3 µg/g、0.48 µg/g、静置ダストで 1.7 µg/g、3.2 µg/g、0.39 µg/g であった。

(2) 消費者製品に関する含有実態の調査

消費者製品には、縮合型リン系難燃剤のみならず、高分子素材や添加剤（例えば、酸化防止剤や紫外線吸収剤など）などの夾雑物が混在している。このため、縮合型リン系難燃剤の構成成分の分子構造解析においては、夾雑物による干渉を可能な限り分離・除去する必要がある。そこで本研究では、試料に由来する夾雑物の分離除去能力を強化するため、ゲル浸透クロマトグラフィー（GPC）カラム（昭和電工株式会社製 KF-402HQ（内径 4.6 mm、長さ 250 mm、ポリスチレンでの排除限界：5000））と逆相カラム（インタクト株式会社製 Cadenza CD-C18（内径 2.0 mm、長さ 150 mm、粒子径 3 μm））をオンラインで接続した、液体クロマトグラフ/四重極飛行時間型質量分析計（アジレント・テクノロジー株式会社製 6530 Accurate-Mass Q-TOF LC/MS システム）を用いるマルチハートカット 2D-LC/QTOFMS 法を検討し、PC 用ディスプレイ筐体に適用した。

(3) 経口曝露に伴う消化管液に対する溶解度の調査

本稿 3. (1) の市販製剤および室内ダストを秤量し、模擬胃液（超純水 1 L に、ペプシン 1.25 g、クエン酸 0.5 g、リンゴ酸ナトリウム 0.5 g、乳酸 0.42 mL、酢酸 0.5 mL を加えて pH2.5 に調製したものを）を液固比 10:1 で加え、37 °C で 1 時間転倒攪拌させた後、模擬小腸液（模擬胃液 32 mL に、パンクレアチン 20 mg、胆汁 70 mg を加えたものを）を調合し、37 °C で 4 時間転倒攪拌させた^{6,7}。3000 rpm で遠心分離を行い、孔径 0.25 μm のガラス繊維ろ紙でろ過したものを、本稿 3. (7) の LC/TOFMS 法で測定した。

(4) 吸入曝露に伴う肺胞上皮細胞およびリソソームに対する溶解度の調査

本稿 3. (1) の市販製剤および室内ダストを秤量し、模擬肺胞上皮細胞液（超純水 1 L に、グルタチオン 30 mg、アスコルビン酸 18 mg、尿酸 16 mg、ジパルミトイルホスファチジルコリン 100 mg、アルブミン 260 mg、システイン 122 mg、グリシン 376 mg、ムチン 500 mg、その他無機塩を加えて pH7.4 に調製したもの⁸）と模擬リソソーム液（超純水 1 L に、クエン酸 208 g、グリシン 59 mg、クエン酸ナトリウム二水和物 77 mg、酒石酸ナトリウム二水和物 90 mg、酪酸ナトリウム 84 mg、ピルビン酸ナトリウム 86 mg、その他無機塩を加えて pH4.5 に調製したもの^{9,10}）を液固比 10:1 で加え、37 °C で 24 時間転倒攪拌させた。3000 rpm で遠心分離を行い、孔径 0.25 μm のガラス繊維ろ紙でろ過したものを、本稿 3. (7) の LC/TOFMS 法で測定した。

(5) リン脂質膜に対する親和性の調査

本稿 3. (1) の市販製剤のアセトニトリル希釈溶液を調製し、固定化人工膜（IAM）カラム（Regis Technologies 社製 IAM.PC.DD2（内径 4.6 mm、長さ 100 mm））を用いた LC 法¹¹⁻¹⁴ に準拠して測定を行い、検出された構成成分のピークの保持時間に基づいて算出した K_{IAM} という定数で、pH7.4 におけるリン脂質膜に対する親和性を数値化した。

(6) 膜透過性の調査

本稿 3. (1) の市販製剤の HBSS-MES 希釈溶液（pH6.5）を調製し、「POCA® 小腸吸収（CACO-2）」ヒト小腸吸収評価キット（株式会社ケー・エー・シー）による Caco-2 細胞膜透過試験を行い、30 分間および 60 分間透過後の Apical 側および Basolateral 側の透過液を、本稿 3. (7) の LC/TOFMS 法で定量した。試験実施前には、細胞膜抵抗値の測定を実施して単層膜形成を確認した。また、試験終了後には、Apical 側を Lucifer Yellow に交換して 60 分間透過を行い、タイトジャンクションの形成維持を確認した。指標化合物にアテノロールとプロプラノロールを使用して試験の成立を確認した。

(7) 機器測定

本稿 3. (3) に示す各種試験で得られた測定用試料液中の縮合体と低分子量不純物の定量分析は、LC/TOFMS 法により行った。LC カラムは、アジレント・テクノロジー株式会社製 ZORBAX Eclipse Plus C18 RRHD（内径 2.1 mm、長さ：100 mm、粒子径 1.8 μm）を使用した。移動相は、5 mM 酢酸アンモニウムを含む Milli-Q 水とメタノールによるグラジエントで行い、流量を 0.3 mL/min に設定した。TOFMS のイオン化は、エレクトロスプレーイオン化を適用した。

(8) 毒性発現性の検討

本研究では、オランダ・BioDetection Systems b.v. で開発された核内受容体結合レポーター遺伝子アッセイ法により、縮合型リン系難燃剤のヒトエストロゲン受容体（ER）の作動性（アゴニスト活性）を評価した。リン系難燃剤は室内ダスト中で高濃度に検出され、リン系難燃剤を含む室内ダスト抽出液は ER アゴニスト活性、AR アンタゴニスト活性、PR アンタゴニスト活性を示す。本研究では、評価指標として良く知られており、リン系難燃剤や室内ダスト抽出液で頻度高く検出される ER アゴニスト活性を評価指標とした。

4. 研究成果

(1) 消費者製品に関する含有実態

本稿 3. (1) の市販製剤を対象にマルチハートカット 2D-LC/QTOFMS 法の測定パラメータを検討した。本稿 3. (2) に示す 2 本の分析カラムを組み合わせ、第 1 カラム（GPC）の移動相は THF、第

2 カラムの移動相は 5 mM 酢酸アンモニウムを含む Milli-Q 水と 5 mM 酢酸アンモニウムを含むメタノールによるグラジエントで測定したところ、CR-733S では、縮合体 4 物質と合成不純物 3 物質、CR-741 では、縮合体 3 物質と合成不純物 2 物質、PX-200 では、縮合体 2 物質と合成不純物 2 物質、CR-504L では、縮合体 4 物質と合成不純物 2 物質、V6 では、縮合体 2 物質と合成不純物 9 物質を完全に分離し、単一の精密質量スペクトルに基づいて元素組成を同定することが可能であったことから、マルチハートカット 2D-LC/QTOFMS 法は消費者製品に含まれている縮合型リン系難燃剤の全体像を把握するための網羅分析法として最適であると判断した。

本稿 3. (1) の PC 用ディスプレイ筐体 45 試料のうち、7 試料からレゾルシノールビス (ジフェニルホスフェート) 製剤の縮合体 (PBDPP)、17 試料からビスフェノール A ビス (ジフェニルホスフェート) 製剤の縮合体 (BPA-BDPP)、3 試料からレゾルシノールビス (ジキシルニルホスフェート) 製剤の縮合体 (PBDMPP) が 1,000 mg/kg 以上の濃度レベルで検出された。テトラキス (2-クロロエチル) ジクロロイソペンチルジホスフェート製剤およびポリオキシアルキレンビス (ジクロロアルキル) ホスフェート製剤の縮合体は全試料で不検出であった。PBDPP、BPA-BDPP、PBDMPP の濃度範囲はそれぞれ、1,300 ~ 46,000 mg/kg、1,300 ~ 88,000 mg/kg、5,300 ~ 84,000 mg/kg であった。PBDPP、BPA-BDPP、PBDMPP 含有プラスチック筐体試料を対象に、マルチハートカット 2D-LC/QTOFMS 法による分子構造解析を行ったところ、試料の夾雑物による干渉は認められず、CR-733S、CR-741、PX-200 の縮合体および合成不純物が同定された。CR-733S および CR-741 の低分子量不純物であるリン酸トリフェニル (TPHP) の濃度範囲は 1,100 ~ 51,000 mg/kg、PX-200 の低分子量不純物であるリン酸トリス (ジメチルフェニル) (TDMPP) の濃度は、3,400 mg/kg であった。PC 用ディスプレイ筐体から検出された縮合体と低分子量不純物は、市販製剤と類似した組成であったことから、市販製剤の製造過程で発生した低分子量不純物が消費者製品にそのまま混入していたと示唆された。

(2) 消化管液、肺胞上皮細胞、リソソームに対する溶解度

本稿 3. (3) に示す模擬胃液と模擬小腸液による溶解性試験により、市販製剤に含まれる構成成分の経口曝露に伴う消化管液に対する溶解度を算出したところ、CR-733S の縮合体と低分子量不純物では 0.26% と 0.49%、CR-741 では 0.44% と 0.57%、PX-200 では 0.017% と 0.81%、CR-504L では 5.3% と 21%、V6 では 1.8% と 26% であり、溶解度の高さは、CR-504L > V6 > CR-741 > CR-733S > PX-200 の順であった。室内ダストを対象に実施した試験では、CR-733S および CR-741 の低分子量不純物である TPHP の溶解度が 0.41 ~ 1.4%、CR-504L の低分子量不純物であるリン酸トリス (2-クロロイソプロピル) (TCIPP) の溶解度が 5.5 ~ 30%、V6 の低分子量不純物であるリン酸トリス (2-クロロエチル) (TCEP) の溶解度が 46 ~ 100% と算出されたものの、縮合体については、模擬胃液および模擬小腸液から不検出であったため、溶解度の算出に至らなかった。

本稿 3. (4) に示す模擬肺胞上皮細胞液による溶解性試験により、市販製剤に含まれる構成成分の吸入曝露に伴う肺胞上皮細胞に対する溶解度を算出したところ、CR-733S の縮合体と低分子量不純物では 6.4% と 15%、CR-741 では 8.2% と 9.7%、PX-200 では 0.20% と 1.7%、CR-504L では 23% と 68%、V6 では 11% と 63% であり、溶解度の高さは CR-504L > V6 > CR-741 > CR-733S > PX-200 の順であった。室内ダストを対象に実施した試験では、TPHP、TCIPP、TCEP の溶解度がそれぞれ 0.059 ~ 0.37%、4.6 ~ 30%、5.4 ~ 17% と算出されたものの、縮合体については、模擬肺胞上皮細胞液から不検出であったため、溶解度の算出に至らなかった。また、本稿 3. (4) に示す模擬リソソーム液による溶解性試験により、市販製剤に含まれる構成成分の吸入曝露に伴うリソソームに対する溶解度を算出したところ、CR-733S の縮合体と低分子量不純物では 0.55% と 0.86%、CR-741 では 0.0018% と 0.26%、PX-200 では不検出と 0.046%、CR-504L では 22% と 64%、V6 では 15% と 63% であり、溶解度の高さは CR-504L > V6 > CR-733S > PX-200 > CR-741 の順であった。室内ダストを対象に実施した溶解性試験では、TPHP、TCIPP、TCEP の溶解度がそれぞれ 0.33 ~ 1.0%、8.4 ~ 35%、9.4 ~ 19% と算出されたものの、縮合体については、模擬リソソーム液から不検出であったため、溶解度の算出に至らなかった。

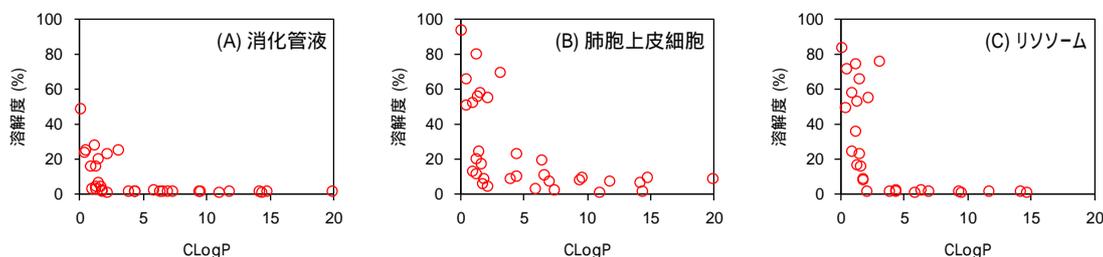


図 2. 消化管液、肺胞上皮細胞、リソソームに対する溶解度と CLogP の関係

市販製剤を対象に模擬生体液による溶解性試験を行い、経口および吸入曝露に伴う生体液に対する溶解度を算出したところ、縮合体の溶解度は低分子量不純物よりも低値を示した。また、

室内ダストを対象に行った溶解性試験では、縮合体は検出されなかったものの、縮合体の溶解度は少なくとも低分子量不純物よりも低値であったと推察された。本研究で得られた市販製剤の構成成分の消化管液、肺胞上皮細胞、リソソームに対する溶解度とオクタノール/水分配係数の計算値 (CLogP) を比較したところ (図2) CLogP の数値が5 を境に溶解度が大きく変化しており、化合物の脂溶性が生体液に対する溶解度に影響を与えていることが示された。

(3) リン脂質膜に対する親和性

本稿 3. (5) に示す IAM カラムを用いた LC 法に準拠して、本稿 3. (1) の市販製剤のアセトニトリル希釈溶液を測定した結果、pH7.4 における縮合体のリン脂質膜に対する親和性の強度は K_{IAM} 値の大きい順に、PX-200 > CR-741 > CR-733S > V6 > CR-504L の順であった。本研究で得られた市販製剤の構成成分の K_{IAM} 対数値 ($\text{Log}K_{IAM}$) と CLogP を比較した結果から (図3) 化合物のリン脂質膜に対する親和性と脂溶性との間に強い正の相関が認められたものの、リン酸トリエステルの縮合度によってその傾きが変化した。化合物の脂溶性のみならず、その分子の極性も影響を与えている可能性が考えられた。

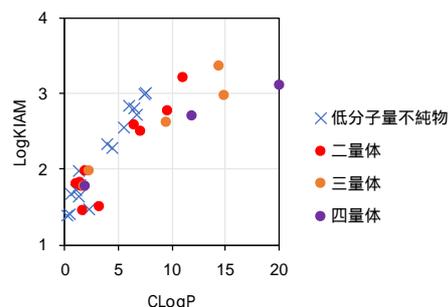


図3. $\text{Log}K_{IAM}$ と CLogP の関係

(4) 膜透過性

本稿 3. (6) に示す Caco-2 細胞膜透過性試験により、市販製剤に含まれる構成成分の膜透過速度 (cm/s) の対数値を算出したところ、CR-733S の縮合体と低分子量不純物では -5.5 と -4.5、CR-741 では -6.3 と -4.7、PX-200 では -6.5 と -4.9、CR-504L では -4.4 と -4.2、V6 では -4.5 と -4.3 であり、膜透過速度の大きさは CR-504L > V6 > CR-733S > CR-741 > PX-200 の順であった。本研究で得られた市販製剤の構成成分の膜透過速度と CLogP、位相幾何学的極性表面積 (TPSA)、分子量を比較したところ (図4) CLogP では 8 以下、TPSA では 120 \AA 以下、分子量では 700 g/mol 以下で Caco-2 細胞に対する高い膜透過性が認められた。化合物の脂溶性、極性表面積、分子量が膜透過性に影響を与えていることが示された。

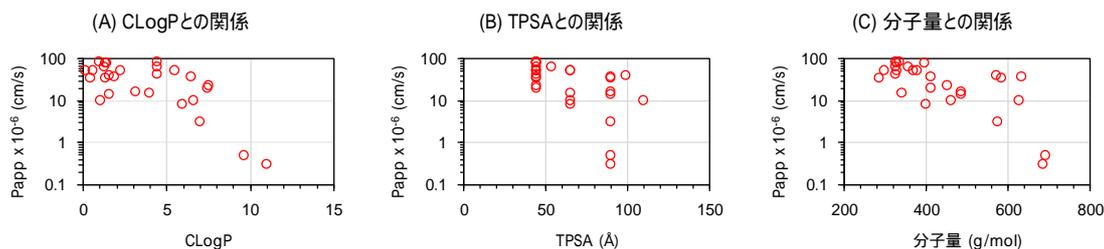


図4. 膜透過速度と CLogP、TPSA、分子量の関係

(5) 毒性発現性

縮合型リン系難燃剤の市販製剤を対象に実施した ER アゴニストアッセイでは、PX-200 の強度が最も高く、PX-200 > CR-733S > CR-741 > CR-504L > V6 の順位で低下した。模擬胃液と模擬小腸液による溶解性試験で得られた抽出液を対象に実施した ER アゴニストアッセイでは、PX-200 のみが検出され、他の市販製剤では検出されなかった。模擬胃液と模擬小腸液による溶解性試験で測定された低分子量不純物の実測濃度と溶解度から ER アゴニスト活性の予測強度を算出したところ、ER アゴニスト活性の実測強度と概ねよく一致する結果が得られた。以上のことから、PX-200 に含有する低分子量不純物のリン酸トリス (ジメチルフェニル) とリン酸ビス (ジメチルフェニル) ヒドロキシルフェニルに対する注意が特に必要であると考えられた。

< 引用文献 >

- [1] Brandsma et al., Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 14434-14441. [2] Fang et al., Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 4449-4454. [3] Ballesteros-Gómez et al., Environ. Sci. Technol. 2016, 50, 1934-1940. [4] Matsukami et al., Environ. Sci. Technol. 2015, 49, 12913-12921. [5] Phillips et al., Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 13443-13449. [6] Ruby et al., Environ. Sci. Technol. 1996, 30, 422-430. [7] Huang et al., Sci. Total Environ. 2014, 479-480, 117-124. [8] Boisa, et al., Environ. Int. 2014, 70, 132-142. [9] Midander et al., Environ. Pollut. 2007, 145, 51-59. [10] Colombo et al., Ecotox. Environ. Saf. 2008, 71, 722-730. [11] Ong et al., Anal. Chem. 1995, 67, 755-762. [12] Ong et al., J. Chromatogr. A 1996, 728, 113-128. [13] Valko et al., J. Pharm. Sci. 2000, 89, 1085-1096. [14] Valko et al., J. Pharm. Sci. 2011, 100, 849-862.

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 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wannomai T., Matsukami H., Uchida N., Takahashi F., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Kunisue T., Suzuki G.	4. 巻 251
2. 論文標題 Bioaccessibility and exposure assessment of flame retardants via dust ingestion for workers in e-waste processing workshops in northern Vietnam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 126632
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126632	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 鈴木剛, 松神秀徳	4. 巻 24
2. 論文標題 非意図的副生物を含む工業製剤の安全性評価：In vitroレポーター遺伝子アッセイとLC/QToFMSによる縮合型リン系難燃剤の影響指向分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球環境	6. 最初と最後の頁 33-42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Wannomai T., Matsukami H., Uchida N., Takahashi F., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Kunisue T., Suzuki G.
2. 発表標題 Inhalation bioaccessible concentration and bioaccessibility of flame retardants in floor dust from e-waste-processing workshop in northern Vietnam.
3. 学会等名 5th 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsukami H., Suzuki G.
2. 発表標題 Investigation of potentially hazardous ingredients in commercial halogenated oligomer flame retardants: a case study on V6.
3. 学会等名 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wannomai T., Matsukami H., Uchida N., Takahashi F., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Kunisue T., Suzuki G.
2. 発表標題 Bioaccessible flame retardants in dusts from e-waste-processing workshops in northern Vietnam.
3. 学会等名 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松神秀徳
2. 発表標題 マルチハートカット二次元GPC/RPLC-ESI-QTOF-MSを用いた含塩素縮合型リン系難燃剤V6の不純物同定
3. 学会等名 第66回質量分析総合討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidenori Matsukami
2. 発表標題 Impurity Identification of Commercial Oligomers and Polymers using GPC-APPI-QTOF-MS: A Case Study on Emerging Organophosphorus Flame Retardants
3. 学会等名 SHIMADZU GLOBAL INNOVATION SUMMIT 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木剛
2. 発表標題 縮合型リン系難燃剤PX-200のレポーター遺伝子アッセイ / 機器分析による安全性評価
3. 学会等名 第26回環境化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wannomai T., Matsukami H., Uchida N., Takahashi F., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Kunisue T., Suzuki G.
2. 発表標題 Inhalation and ingestion bioaccessibility of flame retardants in plastic from e-waste processing workshops in Northern Vietnam
3. 学会等名 39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wannomai T., Matsukami H., Uchida N., Takahashi F., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Kunisue T., Suzuki G.
2. 発表標題 Ingestion and inhalation bioaccessibilities for flame retardants in working area from e-waste processing sites in northern Vietnam
3. 学会等名 第28回環境化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wannomai T., Matsukami H., Uchida N., Takahashi F., Tuyen L.H., Viet P.H., Takahashi S., Kunisue T., Suzuki G.
2. 発表標題 Inhalation exposure assessment of flame retardants in indoor dusts from e-waste processing workshops in northern Vietnam
3. 学会等名 9th International Symposium on Flame Retardants (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
研究分担者	鈴木 剛 (Suzuki Go) (70414373)	国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・主任研究員 (82101)	