

厚生労働科学研究費補助金（化学物質リスク研究事業）  
分担研究令和元年度終了報告書

家庭用品中の有害化学物質の試験法及び基準に関する研究

防炎加工剤の試験法に関する研究

研究分担者 大嶋智子 大阪健康安全基盤研究所 衛生化学部 主幹研究員

今年度は、有機リン系防炎加工剤のトリス（2,3-ジブロムプロピル）ホスフェイト（TDBPP）及びビス（2,3-ジブロムプロピル）ホスフェイト（BDBPP）化合物の GC/MS による同時分析法の確立をめざした。これまでに、市販のトリメチルシリル（TMS）ジアゾメタンヘキサン溶液を用いることで、安全で簡便に BDBPP 化合物のメチル誘導体化が、低濃度でも良好に反応が進むことを明らかにした<sup>1,2)</sup>。それを基礎にして、TDBPP 及び BDBPP 化合物の GC/MS 分析法の検討を進めた。

GC/MS の SIM 分析では、BDBPP-methyl 及び TDBPP は、いずれも 0.5-8 µg/mL の良好な検量線が得られ、定量下限値（各 1 µg/g）は家庭用品規制法<sup>3,4)</sup>の検出限界（各 10 及び 8 µg/g）を充分下回った。

実際の試料について検討するため、防炎加工されたカーテン 0.5 g に TDBPP 及び BDBPP 化合物をいずれも 5 µg 添加して回収試験を実施した。その際、抽出溶剤には、発がん性のあるベンゼンから酢酸エチルに変更して検討を行った。その結果、サロゲート補正による添加回収率は、メチル化の有無や酢酸エチル抽出回数にかかわらず、両化合物は 82-107%（相対標準偏差（RSD）1-16%）の回収率を示し、良好であった。なお、BDBPP 化合物については、その存在疑いや夾雑物による妨害が見られる場合には、メチル化することで妨害を排除して定量するのが望ましい。

また、内部標準法及び絶対検量線法についても検討を加え、いずれも酢酸エチル 2 回抽出によって、TDBPP はメチル化せずに 77%（RSD5%）、110%（RSD4%）と良好な回収率を示し、BDBPP 化合物はメチル化することで 90%（RSD24%）、97%（RSD25%）、とややばらつくが良好な回収率が得られた。分析検討を進める中で発生する TDBPP の低減は、試験溶液に含まれる夾雑物がカラムインサート内に残ることが原因であり、さらにメチル化を行うことでメチル化剤も蓄積するため、TDBPP の低減を一層進めることが推察された。カラム及びカラムインサートを汚染のないものに交換することにより、TDBPP の分解を抑えられることがわかった。

本調査研究により、分析者の健康影響に配慮した TDBPP 及び BDBPP 化合物の GC/MS による分析法が確立され、分析する際の留意点も明らかになった。

## A. 研究目的

有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律<sup>3)</sup>(家庭用品規制法と略す)において、有機リン系防炎加工剤の TDBPP 及びそのビス体の BDBPP 化合物の分析法は、充填カラム GC 分析法を用い、有害な溶剤を前処理に使用することから、現在の分析水準と乖離している状況にある。そこで、本分担研究では、家庭用品規制法で規制される防炎加工剤の試験法を現在の分析技術に沿うようにキャピラリー GC/MS 分析へ対応させ、有害な溶剤を使用せず、より迅速で正確な分析法への転換を検討した。

昨年度までに、低濃度での誘導体化について、市販される安全で取り扱いが簡便な TMS 誘導体化 (BSTFA 試薬を使用) 及びメチル誘導体化 (TMS ジアゾメタンヘキサン溶液使用) を比較し、メチル化が低濃度でも安定して反応することを明らかにした<sup>1,2)</sup>。

今年度は、防炎加工されたカーテンを試料に用いて、メチル化を適用して、TDBPP 及び BDBPP 化合物の GC/MS 同時分析法の有用性を確認し、分析法を確立することを目的とした。

## B. 研究方法

### B1. 試薬類

TDBPP、BDBPP 化合物、TDBPP-d<sub>15</sub> 及び BDBPP-d<sub>10</sub> はトロントリサーケミカル製を用いた。メチル誘導体化試薬にはナカライテスク製の TMS ジアゾメタン (ヘキサン溶液中 10%含有) を使用し、メタノール、*n*-ヘキサン、アセトン、酢酸

エチルは和光純薬製の残留農薬試験用を用いた。内部標準物質には、富士フィルム和光純薬製の環境分析用標準品フェナントレン-d<sub>10</sub> を用いた。塩酸は関東化学製の有害金属測定用を、塩化ナトリウム、無水硫酸ナトリウムは富士フィルム和光純薬製の残留農薬・PCB 試験用を用いた。

### B2. 装置及び分析条件

GC/MS 装置は、Agilent 製 HP6890GC/HP5973 を用いた。カラムは、HP-5ms (30 m×0.25 mm×0.25 µm) を用いた。カラム昇温条件は、40°C で 2 分間保持し、毎分 20°C で 180°C まで昇温し、さらに毎分 10°C で 300°C まで昇温後、10 分間保持した。キャリアーガスにヘリウムガスを用い、1.0 mL/min で定流量モードにより分析した。注入口温度は、250°C、インターフェース温度 280°C、スプリットレス注入法で、1 µL を注入した。イオン源温度は 230°C、イオン化エネルギーは 70 eV であった。

SIM 分析では、BDBPP (337、119)、BDBPP-Methyl (231、151)、BDBPP-TMS (155、355)、BDBPP-d<sub>10</sub> (347、266)、BDBPP-d<sub>10</sub>-Methyl (237、156)、TDBPP (119、419)、TDBPP-d<sub>15</sub> (125、430)、フェナントレン-d<sub>10</sub> (188) を定量/確認イオン (m/z) とした。

### B3. 標準溶液の調製

TDBPP、BDBPP 化合物はいずれも約 1,000 µg/mL のアセトン溶液を調製し、それを適宜混合し、アセトンで混合標準溶液を調製した。それをアセトンで検量線用に段階的に希釈し、その各 1mL を分取し、内部標準溶液フェナントレン-d<sub>10</sub> の 10

μg/mL (アセトン溶液中) 20 μL を加えて GC/MS 用混合標準溶液とした。メチル化する場合は、段階的に希釈した標準溶液 1mL を分取し、酢酸エチル 1 mL、メタノール 0.5 mL、TMS ジアゾメタンヘキサン溶液を 100 μL 加え、混和し、1 時間室温で放置しメチル誘導体化を行った。その後、窒素気流下で 0.1 mL まで濃縮し、*n*-ヘキサンで 1.0 mL としたものに先と同様内部標準液を加えて GC/MS 用混合標準溶液とした。

サロゲート化合物の BDBPP-d<sub>10</sub> 及び TDBPP-d<sub>15</sub> はそれぞれ 100 及び 400 μg/mL のアセトン溶液を調製したものを混合し、各 50 μg/mL 含むサロゲート混合溶液を調製した。サロゲート化合物は、標準溶液及び最終試験溶液中に 2.5 μg/mL となるように添加した。

#### B4. 試験溶液の調製

図 1 に示すように、細切した試料 0.5 g に各サロゲート化合物を最終試験溶液中 2.5 μg/mL となるように添加し、塩酸・メタノールにより還流抽出した後、濃縮し、酢酸エチルで抽出を行い、脱酸、脱水、濃縮したものをアセトンで定容した。それを 1 mL 採取し、標準溶液の調製と同様、内部標準液を加え、GC/MS 分析用試験溶液とした。また、メチル化する場合は、アセトンで定容した試験溶液について、B3.で示す方法により調製した。

### C. 結果及び考察

#### C1. 標準溶液の GC/MS-SIM 分析

これまでに BDBPP 化合物及び TDBPP

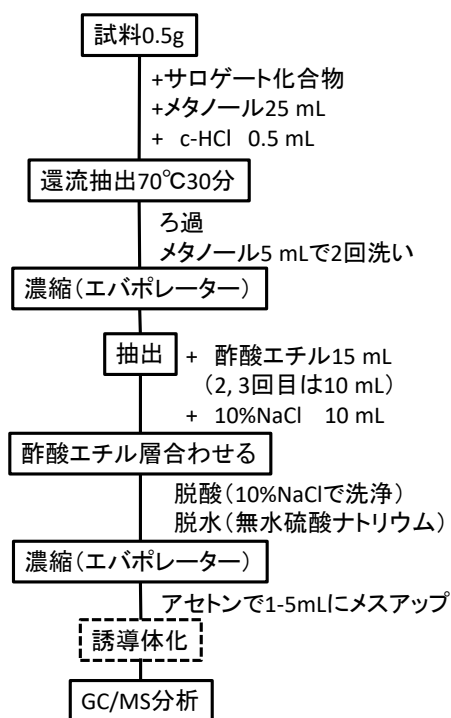


図1 フローチャート

の GC/MS 分析に際し、注入口での分解を抑えるため注入口温度を低く (190°C) 設定して分析検討を行った<sup>1,2)</sup>。その結果、検出されるピークのマスマスペクトルより、おおむね構造を把握できた。今年度は、高感度分析を行うため、注入口温度を高め、TDBPP が 260-300°C 以上で加熱分解される<sup>4)</sup>よりも少し低い温度の 250°C に設定して GC/MS-SIM 分析を行った。

図 2 に示すように、BDBPP 化合物を誘導体化しない場合に検出される 4 本のピークは、いずれも同じマスマスペクトルを持ち<sup>1)</sup>、カラムの分離状況により、保持時間 (RT) の早い 2 本のピーク強度が弱く、後ろの 2 本が強かった。実際の試料溶液では夾雑物が含まれるため、最初の 2 本の積分が困難になる場合があり、BDBPP 化合物のピーク面積は後ろ 2 本のピーク

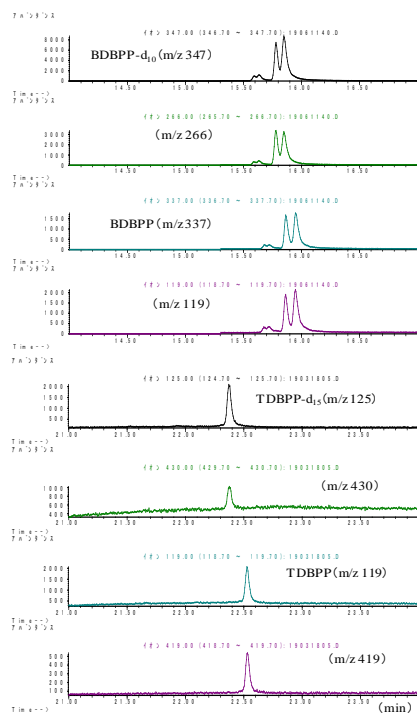


図2 BDBPP化合物及びTDBPPのマスクロマトグラム  
上) 定量イオン、下) 確認イオン

面積合算値より求めた。

BDBPP 化合物をメチル化した時のマスクロマトグラムを図 3 に示した。保持時間 (RT) は BDBPP-methyl が RT16.92 分、BDBPP-d<sub>10</sub>-methyl が RT16.83 分にいずれもピーク強度も形状も良好に検出され、BDBPP 化合物はメチル化して定量するのが望ましいことがわかった。

標準溶液の GC/MS の SIM 分析では、BDBPP-methyl 及び TDBPP とともに 0.5-8 µg/mL の範囲で良好な検量線が得られ、定量下限値 (各 1 µg/g) は家庭用品規制法の検出限界 (各 10 及び 8 µg/g) を充分下回った。

## C2. 酢酸エチル抽出回数による回収率の違い (サロゲート補正)

試験溶液の調製は、家庭用品規制法<sup>3,5)</sup>

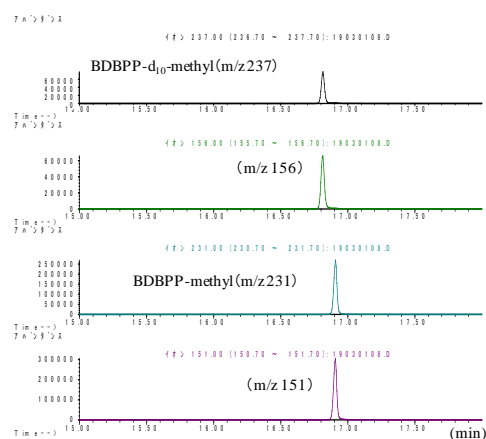


図3 メチル化したBDBPP化合物のマスクロマトグラム  
上) 定量イオン、下) 確認イオン

とは異なり、京都市衛生公害研究所報<sup>6)</sup>に示される抽出工程と同様の方法を用いた (図 1)。サロゲート補正による分析法の検討では、精製せずに、GC/MS-SIM による高感度で選択的な分析を行うことにした。還流抽出後の抽出には、クリンアナリシスの観点から、発がん性のあるベンゼンではなく、酢酸エチルに変更した。実際の防炎加工カーテン (ポリエステル 100%) を試料に用いて、その 0.5 g に各標準物質 5 µg 及びサロゲート化合物各 2.5 µg を添加して、B4. 試験溶液の調製 (図 1) に従い、3 試行で回収試験を実施した。BDBPP 化合物と TDBPP の GC/MS による同時分析を行うため、メチル化の有無によるそれら化合物の回収率への影響を調べた。その際、酢酸エチル抽出回数の違いによる各化合物のサロゲート補正回収率を確認した。

その結果、表 1 に示すように、メチル化しない場合には、サロゲート補正回収率は、酢酸エチル抽出回数によらず、BDBPP 化合物で 88-91% (RSD 2-6%) 及び TDBPP で 92-107% (RSD 1-6%) という

良好な結果が得られた。メチル化した場合には、表2に示すように、先と同様、抽出回数によらずサロゲート補正回収率はBDBPP-methylで100-102% (RSD 4-8%)、TDBPPは82-93% (RSD 2-16%)となり、酢酸エチル1回抽出でTDBPPのRSDが若干ばらついたが良好な結果が得られた。このように、サロゲート補正回収率は、抽出回数やメチル化の有無によらず、良好な結果が得られた。

### C3. 酢酸エチル抽出回数による回収率の違い (内部標準法)

メチル化しない場合について、内部標準フェナントレン-d<sub>10</sub>を用いて回収率を求めた。表1に示すように酢酸エチル抽出回数に連動して夾雑物の抽出も多くなりBDBPPでは99-140% (RSD 5-14%)となった。一方、TDBPPの回収率は66-90%

(RSD 5-15%)となり、酢酸エチルにより徐々に抽出されることがわかった。いずれも酢酸エチル1回抽出ではRSDにばらつきがみられるが、2回、3回の抽出では、ばらつきはみられず、TDBPPの回収率も良好であった。

メチル化した場合に、内部標準法による回収率はBDBPP-methylで48-90% (RSD 12-24%)、TDBPPは44-84% (RSD 14-36%)となり、BDBPP-methylは酢酸エチル1回抽出では回収率が48%と低かったが、2回抽出以降、RSDはばらつきが回収率は良好であった(表2)。メチル化することにより、BDBPPはピーク強度と形状が良好になり、夾雑物の影響を排除して、良好な回収率が得られた。一方、TDBPPの回収率は、酢酸エチル1回抽出では84% (RSD 36%)とばらつきがあるが良好であった。2回抽出より、RSDのばらつきは小さく

表1 メチル化しない場合の添加回収試験の結果

酢酸エチル抽出回数	メチル化せず(n=3)											
	BDBPP						TDBPP					
	サロゲート(BDBPP-d <sub>10</sub> )補正回収率(%)		内部標準(IST)による回収率(%)		絶対検量線法による回収率(%)		サロゲート(TDBPP-d <sub>15</sub> )補正回収率(%)		内部標準(IST)による回収率(%)		絶対検量線法による回収率(%)	
	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD
1	91	6	99	14	110	6	107	6	66	15	83	11
2	89	2	130	5	199	4	92	1	77	5	110	4
3	88	2	140	9	169	9	98	2	90	8	105	5

添加量: BDBPP化合物及びTDBPPは5 µg、各d-体(BDBPP-d<sub>10</sub>及びTDBPP-d<sub>15</sub>)は2.5 µg、IST: フェナントレン-d<sub>10</sub>を0.2 µg/mLとなるよう添加  
 消炎加工カーテン素材: ポリエステル100%

表2 メチル化した場合の添加回収試験の結果

酢酸エチル抽出回数	メチル化(n=3)											
	BDBPP-methyl						TDBPP					
	サロゲート(BDBPP-d <sub>10</sub> -methyl)補正回収率(%)		内部標準(IST)による回収率(%)		絶対検量線法による回収率(%)		サロゲート(TDBPP-d <sub>15</sub> )補正回収率(%)		内部標準(IST)による回収率(%)		絶対検量線法による回収率(%)	
	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD	recovery	RSD
1	100	8	48	22	60	8	93	16	84	36	82	27
2	102	6	90	24	97	25	82	2	44	14	48	12
3	102	4	84	12	86	25	82	7	44	15	46	29

添加量: BDBPP化合物及びTDBPPは5 µg、各d-体(BDBPP-d<sub>10</sub>及びTDBPP-d<sub>15</sub>)は2.5 µg、IST: フェナントレン-d<sub>10</sub>を0.2 µg/mLとなるよう添加  
 消炎加工カーテン素材: ポリエステル100%

なったが、回収率は44%と低下した。

これらのことから、内部標準法による定量では、酢酸エチル抽出は2回が適当であり、TDBPPはメチル化せずに、BDBPPはメチル化することで良好に定量できることが示唆された。

#### C4. 酢酸エチル抽出回数による回収率の違い（絶対検量線法）

絶対検量線法による添加回収試験の結果も表1、2に併記した。TDBPPの回収率は、メチル化しない場合に、酢酸エチルの抽出回数によらず、83-110% (RSD 4-11%)と良好な結果が得られた。

BDBPPはメチル化した場合に、酢酸エチル1回抽出では若干低め60% (RSD 8%)の回収率であったが、2回、3回抽出ではRSDは25%とばらつくが、回収率は97及び86%と良好であった。酢酸エチル2回抽出により、TDBPPはメチル化せずに、BDBPPはメチル化した場合に絶対検量線法でも良好な回収率が得られた。

#### C5. メチル化効率及びメチル化の影響

GC/MS-SIM分析に際し、本方法によるBDBPP及びBDBPP-d<sub>10</sub>のメチル化効率は90%以上であった。試料採取量を2倍の1.0gにすると、メチル化効率は60%程度になり、回収率は低下した。したがって、メチル化剤は、試料0.5gに対し100µLの添加が良いことがわかった。

また、メチル化した場合のTDBPP回収率について、サロゲート補正回収率は良好であっても、内部標準法および絶対検量線法による回収率は半減したことから、TDBPPはメチル化剤の影響を受けること

が推察された。そこで、メチル化反応後の窒素気流下による濃縮を、これまでの0.3から0.1 mLに、最終試験溶液をアセトンから*n*-ヘキサンに変更することで、GC/MSへのメチル化剤の注入量を減らし、カラム等のメチル化剤による汚染を減らすことにした。

#### C6. TDBPP化合物の低減について

C5.で述べたように、分析検討を進め、データを蓄積していくと、同時分析を行うTDBPPのピーク強度が半減するなどの影響がみられた。すでに、TDBPPに関しては標準物質の分解が報告<sup>7)</sup>されていることから、GC/MS-SCAN分析を行い、TDBPPの挙動を確認することにした。新しいカラムとインサートを用いてメチル化していない標準溶液を分析している間は、図4(A)に示すように、TDBPP-d<sub>15</sub>(ピーク7)及びTDBPP(ピーク8)に由来する分解物ピーク(ピーク3、4)の検出はわずかであった。得られたピークのマススペクトルを図5に示した。ピーク3はTDBPP-d<sub>15</sub>の親化合物からBrが3つ解離した分解生成物 *m/z* 472、474がフラグメントとして確認され、ピーク4はTDBPPの親化合物からBrが3つ解離した分解生成物 *m/z* 457、459がフラグメントとして確認された。この時、親化合物のピーク面積の割合が90%以上であることから、注入口温度がTDBPPの分解に与える影響は小さいと考えられた。

しかし、防炎加工カーテンの試験溶液を8回注入した後に、再度、標準溶液を分析すると、図4(B)に示すように、TDBPP-d<sub>15</sub>及びTDBPPは注入口で分解し、

それぞれ2種類の分解物（ピーク3-6）の生成が確認された。ピーク3、4は先述の通りで、ピーク5はTDBPP-d<sub>15</sub>の親化合物からBrが2つ解離したと推定されるm/z 550がフラグメントとして確認され、ピーク6はTDBPPの親化合物からBrが2つ解離したm/z 535、537がフラグメントとして確認された（図5）。分解にかかわ

るピーク面積合算値から計算すると、親化合物は30~50%程度の残存となり、いずれも濃度の高い方が分解傾向は少なかった。TDBPP及びTDBPP-d<sub>15</sub>はおおむね同じように分解が進むため、メチル化しない場合には、どの解析法を用いてもTDBPPは表1に示すように良好な回収率が得られる結果となった。

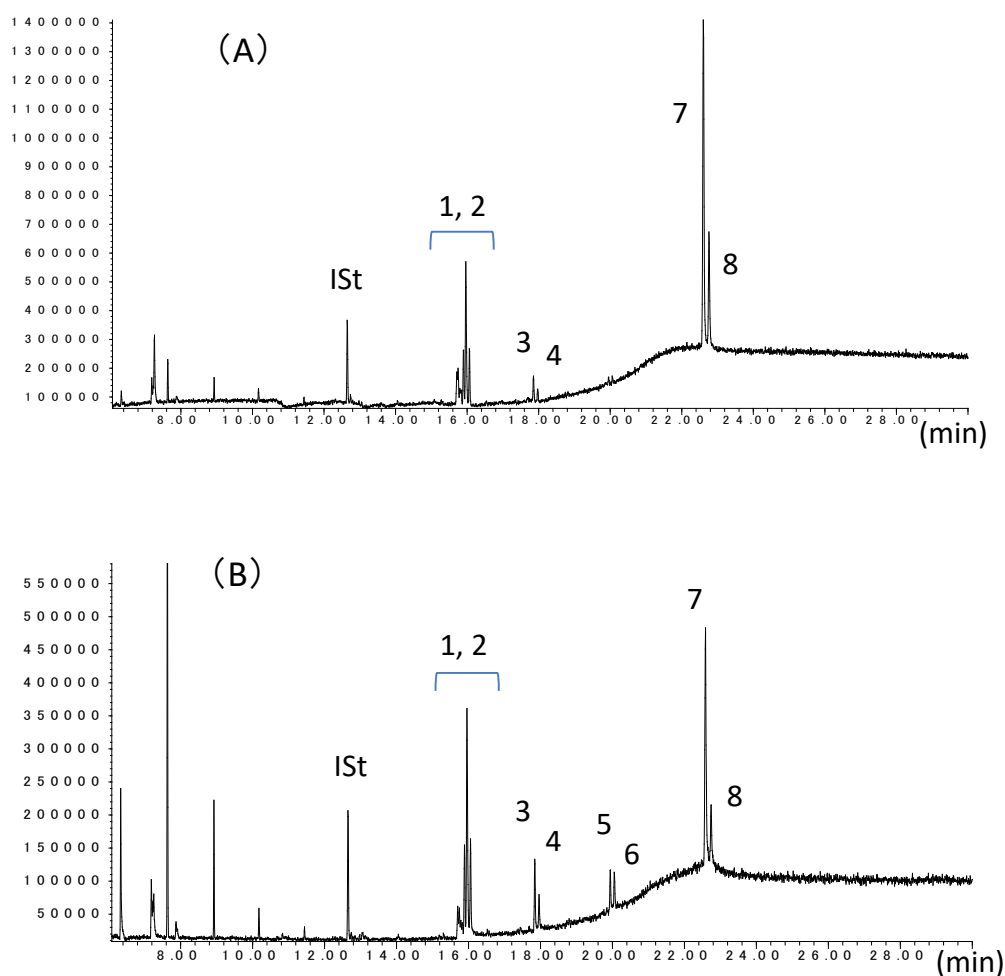


図4 標準溶液のGC/MSクロマトグラム(SCAN)

(A)分析開始時 (B)試験溶液分析後に標準溶液分析

(いずれもアセトン溶液中に5 µg/mL、d-体は2.5 µg/mL)

1: BDBPP-d<sub>10</sub>、2: BDBPP、3,5: TDBPP-d<sub>15</sub>分解生成物、4,6: TDBPP分解生成物  
7: TDBPP-d<sub>15</sub>、8: TDBPP、Ist: フェナントレン-d<sub>10</sub>

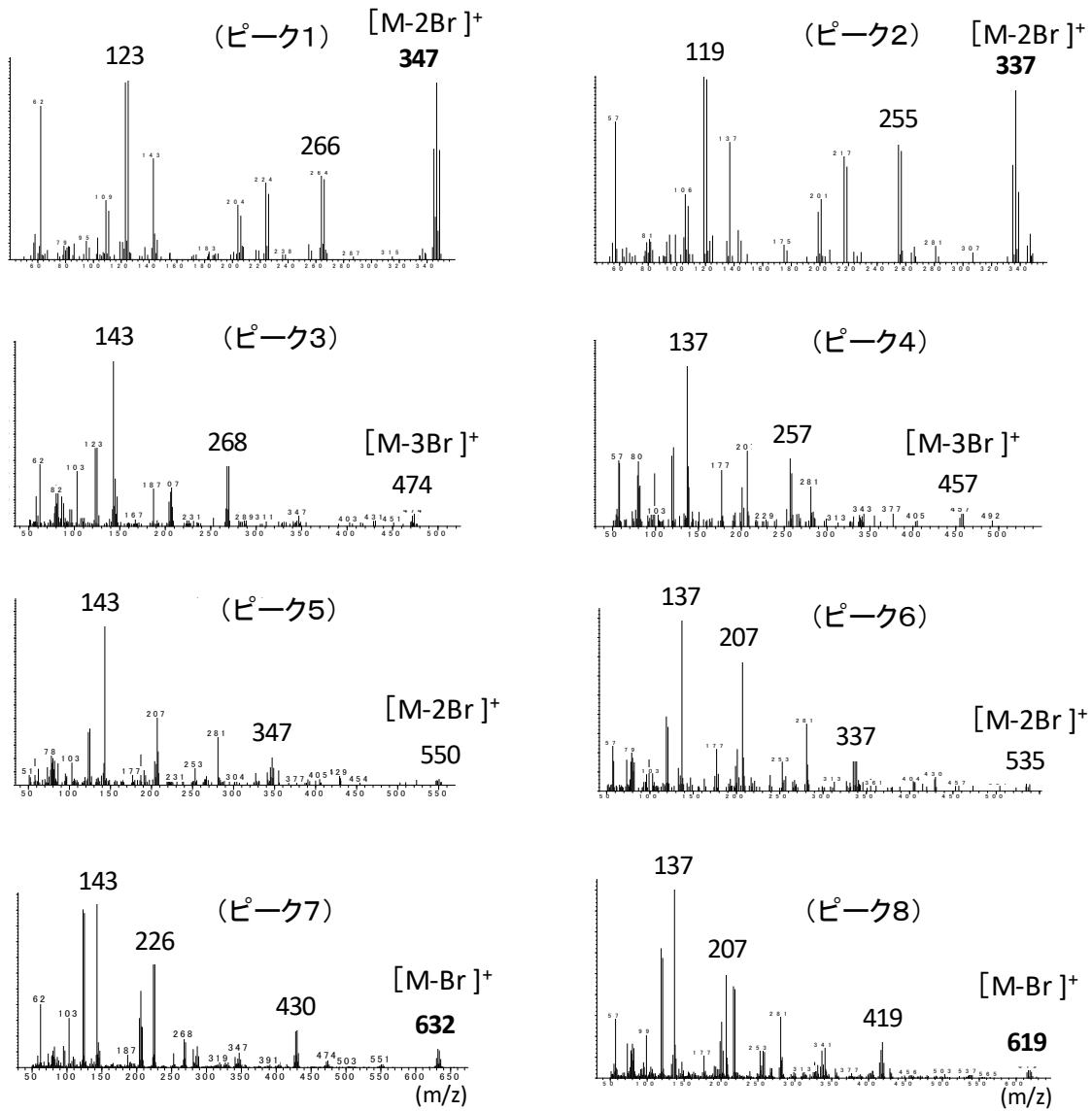


図5 標準溶液及びその分解生成物のマススペクトル

ピーク1: BDBPP-d<sub>10</sub>、ピーク2: BDBPP、ピーク3: TDBPP-d<sub>15</sub>の分解生成物、  
 ピーク4: TDBPPの分解生成物、ピーク5: TDBPP-d<sub>15</sub>の分解生成物、  
 ピーク6: TDBPPの分解生成物、ピーク7: TDBPP-d<sub>15</sub>、ピーク8: TDBPP



しかし、メチル化した場合には、表 2 に示すようにサロゲート補正 TDBPP 回収率は良好であるが、内部標準法や絶対検量線法では、カラムインサート等の汚染が進むにつれて回収率が低減したと推測された。カラムインサートを交換することで TDBPP の分解は約半分改善され、注入口部分のカラム切除を合わせて行うことで、ほぼ改善できることがわかった。

また、図 4 の早い RT に出現するいくつかのピークについて、得られたマススペクトルを NIST ライブラリーで検索したところ、いずれもキャピラリーカラムの液相のシロキサン等に由来していた。よって、BDBPP 及び BDBPP-d<sub>10</sub> については、メチル化を含む一連の分析において、分解生成物は認められなかった。

これまで分析検討を行いデータの蓄積をする中で、TDBPP のピーク強度が半減するのはメチル化剤の影響によるものと考えてきたが、試験溶液に含まれる種々の夾雑物がインサート内に残ることが原因であり、さらに、メチル化を行うことで、メチル化剤もカラムインサート及びカラムに蓄積することとなり、TDBPP の低減をより一層進めたと推察された。

このように GC/MS 分析に際し、TDBPP 及び TDBPP-d<sub>15</sub> の分解傾向はみられるが、カラム及びカラムインサートを交換して分析することで、TDBPP-d<sub>15</sub> の挙動も TDBPP と連動し、サロゲート補正による回収率では分解生成物を考慮せずに良好に分析できることが分かった(表 1、2)。

なお、TDBPP の低減は、カラムインサートに残る試験溶液の夾雑物により起きることから、試験溶液を 1 週間保存後、

カラム及びカラムインサートを汚染のないものに交換して再測定が可能であった。

#### D. まとめ

TDBPP 及び BDBPP 化合物の GC/MS 同時分析法を検討した。その際、酢酸エチル抽出回数による回収率の違いを、サロゲート補正、内部標準法及び絶対検量線法により比較した。

サロゲート補正による定量分析では、メチル化の有無や酢酸エチル抽出回数にかかわらず、両化合物は良好に分析できることが明らかになった。なお、BDBPP 化合物は、その存在疑いや夾雑物による妨害が見られる場合には、メチル化して定量することで妨害を排除することができるとわかった。

内部標準法及び絶対検量線法による定量分析では、酢酸エチル 2 回抽出により、TDBPP はメチル化せずに、BDBPP 化合物はメチル化して分析することでおおむね良好に定量できると推察された。

いずれの解析方法であっても、TDBPP はメチル化せずに、BDBPP 化合物はメチル化して定量できることが明らかになった。

本法による GC/MS の SIM 分析では、BDBPP-methyl 及び TDBPP とともに 0.5-8 µg/mL の範囲で良好な検量線が得られ、定量下限値(各 1 µg/g)は家庭用品規制法の検出限界(各 10 及び 8 µg/g)を充分下回った。また、カラムインサート等で発生する TDBPP の低減は、カラム及びカラムインサートを汚染のないものを用いることで TDBPP の分解を抑えることができ

るなどの留意点も明らかになった。

本調査研究により、メチル化剤及び使用溶剤を、発がん性のあるものから市販の取り扱いが簡便でより安全なものに変更することができた。分析者の健康影響に配慮した TDBPP 及び BDBPP 化合物の GC/MS による分析法を確立した。

最近、ヘリウムガスの入手困難などの課題が発生しており、安定した検査の実現のために、ヘリウムガスを使わない代替法として、TDBPP にはすでに適用されている LC/MS-MS 分析法<sup>8)</sup>などのスクリーニング分析法の検討が必要である。EU において乳幼児玩具基準 (5 mg/kg 以下) が設けられているリン酸トリス (2-クロロエチル) (TECP)、リン酸トリス (2-クロロ-1-メチルエチル) (TCPP)、リン酸トリス [2-クロロ-1- (クロロメチル) エチル] (TDCP)、特に、TCEP は生殖毒性の観点から REACH (0.1%) 規制となっており、国際的な規制<sup>9)</sup>との整合性を視野に入れた検討も必要になると思われる。

## 謝辞

本研究の遂行に際し、貴重なご意見をいただきました大阪健康安全基盤研究所 衛生化学部 山口之彦課長及び角谷直哉課長に感謝いたします。

## E. 研究発表

### E1. 論文発表

- 1) 吉田俊明, 味村真弓, 大嶋智子, 山口進康: 室内空气中 2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオール

ジイソブチレート及び 2-エチル-1-ヘキサノールの分析法の検討、大阪健康安全基盤研究所研究年報, 3, 89-95 (2019)

## E.2 学会発表

- 1) 大嶋智子, 角谷直哉, 山口之彦, 河上強志: 家庭用品規制法における防炎加工剤の試験法の検討 (II), 第 56 回全国衛生化学技術協議会年会, 広島 (2019)

## F. 知的所有権の取得状況

7. 特許取得  
なし
8. 実用新案登録  
なし
9. その他  
なし

## G. 引用文献

- 1) 厚生労働行政推進調査事業費補助金 (化学物質リスク研究事業) 家庭用品中有害物質の試験法及び基準に関する研究、平成 29 年度総括・分担研究報告書、平成 30 年 (2018) 5 月
- 2) 厚生労働行政推進調査事業費補助金 (化学物質リスク研究事業) 家庭用品中有害物質の試験法及び基準に関する研究、平成 30 年度総括・分担研究報告書、令和元年 (2019) 5 月
- 3) 厚生省令第 34 号: 有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律施行規則、昭和 49 年 9 月 26 日

- 4) 環境保健クライテリア 173、トリスおよびビス (2,3-ジブロモプロピル) リン酸塩 (1995)  
<https://www.nihs.go.jp/hse/ehc/sum2/ehc173/ehc173.html> (ウェブサイトの内容を 2020 年 3 月 23 日に確認した)
- 5) 保健衛生安全基準家庭用品規制関係実務便覧 (加除式製本), 技術編, 2045 の 2-23, 40-42, 第一法規出版, 昭和 50 年
- 6) 京都市衛生公害研究所年報, 生活衛生部門: 繊維製品中の防炎加工剤 BDBPP 及び TDBPP の分析について, 平成 19 年度, 74, 129-132 (2008)
- 7) 味村真弓, 中島晴信, 吉田 仁, 吉田俊明, 河上強志, 伊佐間和郎: 有害物質含有家庭用品規制法で規制されている繊維製品中のトリス (2,3-ジブロムプロピル) ホスフェイト分析法の改定に向けた検討, 薬学雑誌, 134 (2), 259-268 (2014)
- 8) Castro V, Montes R, Quintana J B, Rodil R, Cela R. : Determination of 18 organophosphorus flame retardants /plasticizers in mussel samples by matrix solidphase dispersion combined to liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*. 2020 Feb 1;208:120470.
- 9) ECHA Screening Report, An assessment of whether the use of TCEP, TCPP and TCP in articles should be restricted, [https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/screening\\_report\\_tcep\\_tcpp\\_tcp\\_en.pdf/e0960aa7-f703-499c-24ff-](https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/screening_report_tcep_tcpp_tcp_en.pdf/e0960aa7-f703-499c-24ff-) fba627060698 (ウェブサイトの内容を 2020 年 3 月 16 日に確認した)