

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31

経済産業省プロジェクト
「化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発」

最終製品消費段階における プラスチック添加剤の排出シナリオ文書

2012年9月

独立行政法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
委託元 経済産業省

1	目次
2	
3	1. はじめに
4	1.1 本書の目的
5	1.2 既存 ESD の問題点
6	1.3 本 ESD の特徴
7	
8	2. 日本国内におけるプラスチック添加剤の需要量
9	2.1 プラスチック添加剤の概要
10	2.1.1 可塑剤
11	2.1.2 塩ビ安定剤
12	2.1.3 酸化防止剤
13	2.1.4 紫外線吸収剤
14	2.1.5 難燃剤
15	2.2 国内需要量
16	
17	3. 最終製品からの排出の測定
18	3.1 マイクロチャンバー法の概要
19	3.2 可塑剤の放散速度試験
20	3.2.1 塩ビ製品の放散速度結果
21	3.2.2 試験サンプルによる放散速度測定
22	3.3 難燃剤の放散速度試験
23	3.3.1 製品サンプルの放散速度結果
24	3.3.2 試験サンプルの放散速度結果
25	3.4 考察
26	
27	4. 排出係数の設定
28	4.1 排出係数の推定方法の検討
29	4.1.1 前提条件
30	4.1.2 蒸気圧による排出係数
31	4.1.3 活性化エネルギーによる排出係数
32	4.1.4 加熱減量データの利用
33	4.2 排出係数の設定
34	

1	5. マテリアルフロー解析
2	5.1 市中ストック量の推定方法
3	5.2 最終製品の耐用年数設定
4	5.3 市中ストックの計算例
5	
6	6. 排出シナリオと排出量推定
7	6.1 排出量推定方法
8	6.2 プラスチックの密度
9	6.3 プラスチックの板厚
10	6.4 製品使用時間
11	6.5. 排出量推定の計算例
12	
13	参考文献
14	
15	

1 はじめに

2 1.1 本書の目的

3 プラスチック添加剤は建材や電気電子製品など多様な用途に使用され、かつ長期間にわたる最
4 終製品の使用期間がある。そのため、消費段階におけるプラスチック添加剤の排出量の占める割
5 合は大きい。そこで、プラスチック添加剤の消費段階に着目して、排出係数を提示することが本
6 排出シナリオ文書（ESD）の目的である。

7 消費段階における最終製品に含まれるプラスチック表面からの大気への排出については、世界
8 の共通の考え方が適用できる。一方で、室内で靴を履く西洋と靴を履かない東洋では、最終製品
9 消費段階からの水域への排出量に大きな違いがある。すなわち、西洋では床を水洗いするため、
10 室内からの水域排出量が大きいと考える。しかし、日本国内では消費段階からの水域への排出は
11 ほとんどないと考えられるため、本 ESD では水域への排出は扱わないことにする。

12 近年は、RoHS 指令や REACH への対応で、リスクが懸念されそうな物質から他の物質へ代替
13 されるケースが多いが、代替物質のリスクを検討する際には、排出量の推定が困難なため暴露解
14 析が難しいことが多い。そこで、本書を利用することによって、代替物質と元物質とのリスクト
15 レードオフ評価が可能になることが期待される。

16

17 1.2 既存 ESD の問題点

18 OECD-ESD, No.3 のプラスチック添加剤の排出シナリオ文書は、プラスチック添加剤の加工、
19 消費、廃棄段階にわたるライフサイクル段階の排出係数を詳細に設定しており、プラスチック添
20 加剤のリスク評価の際には非常に役に立つ文書である。しかし、最終製品消費段階においては、
21 物性にかかわらず全使用期間で 0.05%の大気や水域への排出係数を設定している。よって、物質
22 の違いによる排出量の差が出ないため、物質代替に伴うリスクトレードオフ評価には利用できな
23 い。

24 可塑剤については、蒸気圧にもとづく排出係数の推定式が OECD の改訂版で示されている。よ
25 って、物性の違いを排出量の差に反映することが可能となっている。しかし、プラスチック添加
26 剤の物質は一般的に蒸気圧がきわめて低く、蒸気圧のデータに不確実性が大きいという問題があ
27 る。よって、蒸気圧にもとづく推定式を排出速度の実測値で検証する必要がある。

28 しかし、プラスチック添加剤のような準揮発性有機化学物質（SVOC）は、プラスチック表面
29 からの排出速度がきわめてゆるやかであり、またチャンバー内に吸着するなどの現象が起りや
30 すい。よって、揮発性有機化学物質（VOC）に使われる一般的な測定方法では SVOC の排出速度
31 を測定することは困難であり、上記の推定式の検証も今まで行われてこなかった。

32 また、ある年のプラスチック添加剤の市中ストック量に消費段階の排出係数を乗算することで、
33 最終製品消費段階におけるその年のプラスチック添加剤の排出量を以下の式のように求めること
34 ができる。

1
$$E_{air,year_x} = F_{air,year_x} \times Stock_x$$

2 ここで、 $E_{air,year_x}$ はプラスチック添加剤 X の年間排出量、 $F_{air,year_x}$ はプラスチック添加剤 X の
3 消費段階での年間排出係数、 $Stock_x$ はプラスチック添加剤 X のある年のストック量を示す。

4 しかし、OECD-ESD では最終製品の使用期間を考慮した市中ストック量や排出量の経年変化を
5 検討することはしていない。また、ある年の市中ストック量を求める方法について、既存 ESD は
6 言及していない。それでも、排出量の経年変化を推定するためには、最終製品に使用されるプラ
7 スチック添加剤の市中ストック量を計算することがのぞましい。

8

9 1.3 本 ESD の特徴

10 そこで、本書では低揮発性のプラスチック添加剤でも放散量を精度高く測定できるマイクロチ
11 ャンバー法を使用した排出速度の実測にもとづいて、製品中のプラスチック添加剤の大気への排
12 出係数の推定式を導出する。また、プラスチック添加剤の市中ストック量を求めるために、マテ
13 リアルフロー解析の方法と結果について記述する。そして、最終製品消費段階におけるプラスチ
14 ック添加剤の排出量を求める方法を示す。さらに、難燃剤での排出量の計算例を示す。

15

16

1 2. 日本国内におけるプラスチック添加剤の需要量

2 本章では、主要なプラスチック添加剤の概要を示す。また、日本国内の近年のプラスチック添
3 加剤の国内供給量および需要量を示す。

4
5 2.1 プラスチック添加剤の概要

6 プラスチックは、一般に軽く、所望の形状に加工しやすく、透明な材料もあり、,、化学的には腐
7 食しにくくまた耐水・耐油・耐薬品性に優れ、電気的には電気絶縁性が良好であるといった種々
8 の特質を持っているため、さまざまな用途に使われている。

9 しかし、プラスチック単独では、様々な用途で要求される性能を全て満足させることはできな
10 い。プラスチックの加工性の向上、加工時の熱や使用時の光・紫外線などによる劣化に対する安
11 定性の確保、可燃性であるプラスチックの火災への対応、更に新たな機能の付与などを目的に様々
12 な添加剤が使用されている。

13 表 2.1 にプラスチック添加剤の概要についてまとめた。

14
15 表 2.1 プラスチック添加剤の概要

添加剤大分類	添加剤細目	内容
加工性のための添加剤	可塑剤 plasticizer	本来硬いプラスチックに加工時の流動性の改良と、常温での柔軟性を付与する。特に塩化ビニル樹脂に多用されている。
	滑剤 lubricant	プラスチックを溶融して成形加工する際、金型表面との粘着の防止、材料同士の粘接着の防止、材料の流動性の改良、材料内部または金属表面との間での摩擦の減少に寄与する。
	発泡剤 blowing agent	発泡成形の一つの方法である発泡剤分解法で使用されるもので、熱や圧縮により分解して炭酸ガス、水、窒素ガスなどを発生する。
表面保護・表面改質剤	帯電防止剤 antistatic agent	プラスチックは一般により絶縁体であるが、反面、静電気を帯びやすいので、その防止のために添加する。表面塗布型と、内部練り込み型がある。界面活性剤が使用される。
	減摩剤 antifriction agent	表面の摩擦係数を低下させる添加剤である。
	接着性改良剤	プラスチック表面の接着性改良を目的とする添加剤である。
	防曇剤 antifog additive	ポリオレフィンなどは表面が疎水性であるため、結露し透明性を失う。用途によっては深刻な問題であるため防曇剤を添加する。一般に界面活性剤である。
実体保護剤	酸化防止剤 antioxidant	プラスチックは熱や光でラジカルを発生し、空気中の酸素の関与で酸化され劣化が進行するので、その防止を図る。主に加工時の熱による酸化を防止する。
	光安定剤 light stabilizer	酸化防止剤同様に酸化防止作用を果たす。主に使用時の光による酸化を防止する。
	紫外線吸収剤 ultraviolet	紫外線による分子結合の切断や、ラジカルの発生を防止する。

添加剤大分類	添加剤細目	内容
	absorbing agent	
	熱安定剤 thermostabilizer	塩化ビニル樹脂は加工時の熱による塩化水素を発生し着色の原因となるため、その対応に添加する。
物性改良剤	難燃化剤 flame retardant	可燃性のプラスチックに難燃性を付与する。
	充填材 filler・強化材 reinforcement	プラスチックの強度を向上させる。繊維、粉体など。
機能付与剤	着色剤 coloring agent	着色のために、有機・無機顔料を添加する。着色により、光の遮断・反射・吸収により耐光性を付与する効果もある。

1 倉田,「プラスチック材料技術読本」 1988 を主に参照して表に取りまとめた

2

3 2.1.1 可塑剤

4 プラスチックの特性として、成形・加工が容易、延伸や拡張が可能、酸化や分解・揮発が少ない、耐化学薬品性、電気絶縁性などが挙げられる。これらの特性に加え、プラスチックには、その
5
6 の熔融温度あるいは熔融粘度を低下させ、成形加工を容易にすること、ならびに最終製品の使用
7 温度範囲で、プラスチックに柔軟性をはじめ、必要とする各種の性能を付与し、その性能を持続
8 せしめることが求められる。この要求に対応する技術がプラスチックの可塑化である。

9 可塑化には可塑剤を添加するいわゆる外部可塑化と、共重合、グラフト重合などにより、柔軟
10 性を持つプラスチックを合成する内部可塑化がある。いずれにしても、ポリマーの分子鎖相互間
11 の分子間力を弱め、ポリマーの分子鎖の運動を容易とし、柔軟性、弾性、低温柔軟性等の性質を
12 付与するものと考えられている。

13 可塑剤が使われるポリマーは、ポリ塩化ビニル (PVC) が圧倒的であり、ほかにポリ酢酸ビニル
14 ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルブチラール、ポリアミド、硝酸セルロース、酢酸セルロース
15 などにも使用されているが、その量は少ない。

16 可塑剤には、ポリマーとの相溶性、非ブリード性、耐熱性、耐候性、光安定性、無色、無味、
17 無臭、低温柔軟性、非抽出性、難燃性、電気絶縁性、耐汚染性、無毒性、環境への低負荷性、経
18 済性などの性能が要求される。これらの要求をすべて満足できる可塑剤はないので、目的に応じ
19 て可塑剤を選択すると共に、数種の可塑剤を併用することが必要となる。

20 可塑剤は PVC のガラス転移点を低下させ、柔軟性や弾性を付与させ、塩ビレザー製品、塩ビ
21 フィルム、自動車の内装・外装、電線被覆などの軟質材質の幅広い用途に使われている。パイプ
22 などの硬質材料から軟質材料まで広い用途に適用できる材料は PVC しかないために、現在でも
23 多量の可塑剤が使われている。その大半はフタル酸系のフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)
24 であるが、性能的に近いフタル酸ジイソノニル (DINP) の需要が伸びている。DEHP は、発がん性、
25 慢性・亜急性毒性、繁殖毒性、内分泌かく乱作用など、次々と安全性の問題が指摘されて
26 きた。DEHP の安全性研究は多角的な見地から繰り返し詳細に行われ、現在のところ世界的に

1 もその安全性は確認されている。ただし、安全性にはこれで十分ということではなく、現在も、こ
2 れからも、さらなる安全性の確認努力が続けられている。

3 注) DEHP (フタル酸ジ-2-エチルヘキシル) は、DOP (フタル酸ジオクチル) の一種である。
4 しかし、日本国内ではほとんどの場合、DOP といえば DEHP を意味する。

5

6 2.1.2 塩ビ安定剤

7 塩化ビニル (PVC) は熱や光で劣化するため、加工時および製造後の着色、分解を防ぐのに安
8 定剤が必要である。

9 PVC 樹脂には、分解の起点になる結合の弱い部分がところどころにあり、そこから脱塩化水素
10 が起こり、ポリエンが生成する。分解は連鎖的に広がる。ポリエンはひとつおきに二重結合のあ
11 る構造をしているが、この二重結合が 8 単位くらいになると着色が始まる。さらに二重結合が多
12 くなると黄色、赤色、褐色を経て黒色に変化する。この着色を防ぐために、加工の際は安定剤を
13 用いる。安定剤の作用の要点を挙げると次の通りである。

14 ① 脱塩化水素の起点になる不安定な塩素を配位や反応によって不活性化する。

15 ② 脱塩化水素によって生成した塩化水素を中和する。

16 ③ 脱塩化水素の連鎖反応によって生成したポリエンと反応して色を消す。

17 ④ 過酸化物を分解する。

18 主成分について安定剤を分類すると、鉛、バリウム、カルシウム、亜鉛および有機スズなどの
19 金属系安定剤と、純有機安定化助剤のように分けられる。2003 年度の出荷実績では、このうち鉛
20 系安定剤が全 PVC 用安定剤の生産量の約 50% と一番多い。鉛系安定剤はその性能が優れている
21 上に、安価である点が需要を確保している主因とみられる。ついで Ca/Zn 系、Ba/Zn 系安定剤が
22 おのおの 20% 程度を占めている。残りがスズ系と純有機系安定剤である。

23 鉛系安定剤は、硫酸、亜リン酸、亜硫酸、フタル酸など酸鉛塩系安定剤とステアリン酸などの
24 脂肪酸石けん系安定剤に大別される。比較的安価であり、優れた性能も多いので、PVC 製品の主
25 力である管、継手、樋、工業用板、電線被膜などに用いられている。

26 他の金属石けん系安定剤としてはバリウム、カルシウム、亜鉛などが主なものである。

27 金属石けん系安定剤は、ほとんど単独では使用されず、相乗効果のねらいと加工メーカーの配
28 合合理化の問題から、次第に複合型の金属石けんが多くなってきている。Ba/Zn 系は高透明用で
29 熱安定性が良好、Pb/Ba 系は熱安定性は良いが、透明性にやや劣る。Ca/Zn 系は無毒性で、食品
30 包装関係に進出、硬質用としては熱安定性、透明性に劣る。

31 有機スズ系安定剤は、PVC および共重合樹脂、あるいは PVC ポリマーブレンド用の安定剤と
32 して使用され、熱、光に対する分解防止に卓越した効果を与える。また PVC およびその可塑剤
33 との相溶性が良好で、製品に優れた透明性を与えるので、主として加工温度の高い硬質製品、お
34 よび透明性を要求される製品に使用されている。

1 純有機安定化助剤としては、エポキシ化合物、ホスファイト（亜リン酸トリエステル）、 β -ジ
2 ケトン、多価アルコールなどがある。これらは通常単独では使用されず、金属石けん等の主安定
3 剤と併用される。Cd/Ba系安定剤は、Cdの環境汚染問題から、低毒性のBa/Zn、Ca/Zn系へ移
4 行したが、この過程で安定化助剤は大きな役割を果たした。

5 6 2.1.3 酸化防止剤

7 酸化防止剤は、プラスチックが成形時などに、空气中的酸素によるラジカル連鎖反応で起こる
8 酸化劣化を防止または抑制するために使用される。プラスチックの酸化による劣化反応は、ラジ
9 カル反応で開始、成長、停止の三つの化学反応より成り立っている。従ってこの反応を防止、抑
10 制するには、開始反応の禁止、成長反応の禁止、過酸化物の分解を行えばよい。

11 酸化防止剤には、まず酸化反応によって生成するパーオキシラジカルを捕捉して安定化するラ
12 ジカル捕捉剤（一次酸化防止剤）と、次のステップとして生成したヒドロキシパーオキシドを分
13 解して安定化するヒドロパーオキシド分解剤（二次酸化防止剤）がある。さらに最近では初期の
14 熱によって生成する炭素ラジカルの捕捉剤も開発され、劣化機構に応じた防止剤がある。酸化防
15 止剤は約350種あり、そのうち一次酸化防止剤としてのフェノール系が約100種あるが、需要量
16 も酸化防止剤の約半分を占めている。

17 ラジカル捕捉剤としては、フェノール系酸化防止剤、ヒドロパーオキシドラジカル分解剤とし
18 て硫黄系およびリン系がある。また、ヒドロキシアミン系酸化防止剤は両方の防止機構を持って
19 いる。また、ラクトン系安定剤は、フェノール系酸化防止剤で対応できなかったアルキルラジカ
20 ルなどの炭素ラジカルの捕捉効果がある。

21 これらの酸化防止剤には、それぞれに有効温度領域があり、組み合わせによる相乗作用があるの
22 で、目的にあった利用方法が必要である。

23 24 2.1.4 紫外線吸収剤

25 紫外線吸収剤は、それ自身が紫外線を吸収し、分子内で熱、リン光、蛍光などの無害なエネル
26 ギーに転換し、高分子内に存在する発色団が紫外線で励起されるのを防止する。その機構は紫外
27 線吸収剤の構造によって異なるが、たとえばベンゾトリアゾール系のように分子内水素結合を形
28 成し、移動可能な水素を有するものは励起状態で速やかに水素移動が起き、光を吸収した励起状
29 態から基底状態にもどるといった機構が一般に受け入れられている。

30 このような作用機構であることから、紫外線吸収剤はプラスチックに進入する紫外光を遮断し、
31 内部に行くほど透過率を減じて光劣化を起りにくくしていると考えられる。したがって、紫外
32 線吸収剤はできるだけ表面付近に局在化することが望ましいといえる。

33 プラスチックには一般的に、ベンゾトリアゾール系、ベンゾフェノン系、サリチル酸系、シア
34 ノアクリレート系の紫外線吸収剤が使用されている。紫外線吸収剤は、樹脂製品、塗料、一部化

1 粧品等に使用されているが、UV-C、UV-B の波長をブロードに吸収し、樹脂劣化メカニズム、透
2 明性などが重視されている。

3

4 2.1.5 難燃剤

5 難燃剤は燃焼を広げないようにするか、または広がりやすくする物質である。電気絶縁材料、
6 建材、車両用などに使われるプラスチックでは、難燃性を要求される場合が多い。燃焼は複雑な
7 反応であるが、難燃化の基本は次のように要約される。

8 ① 燃焼は高温でラジカル的に進行する酸化反応であるから、高温でラジカルを容易に生成す
9 る物質を加え、このラジカルと燃焼過程のラジカルとを反応させ、燃焼（酸化反応）をとめる。

10 ② 高分子状態では燃焼しないが、熱分解によって生まれた可燃性低分子化合物が燃焼するの
11 で、高分子を架橋させて分解しにくくし、低分子化合物の発生を少なくする。

12 ③ 有機物の発火温度は 500～600℃であるから、これ以下の温度や、また酸素がないと燃焼
13 しないので、気化熱で温度を下げたり、酸素を遮断したりする物質を加える。

14

15 難燃剤はハロゲン系、リン系、無機系、シリコン系などが開発されている。需要量は無機系、
16 ハロゲン系、リン系と続いている。

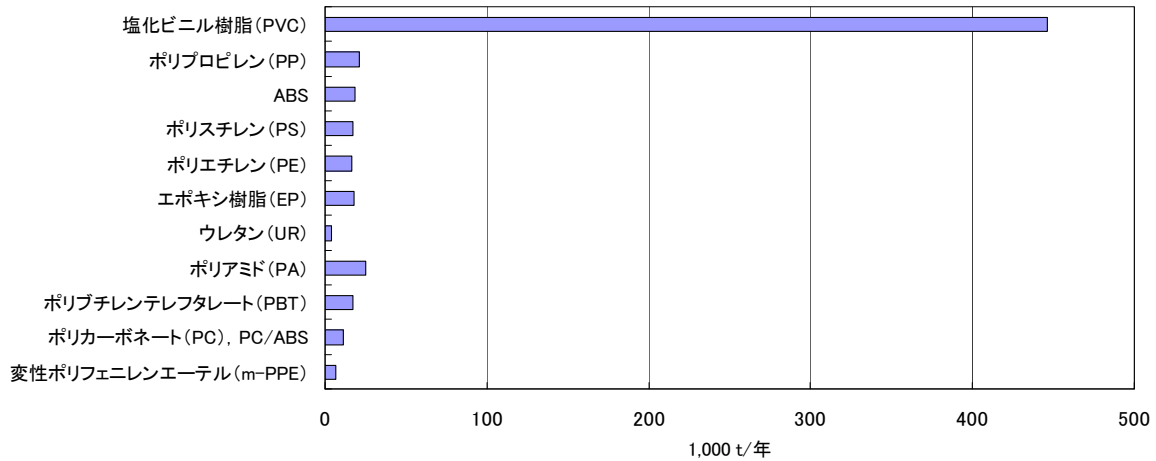
17 プラスチックの難燃化は、プラスチックが大量に日常生活に使用される中であっては、火災の
18 危険を少しでも低減し、生活の安全を確保するために重要な課題となっている。そのために難燃
19 効果の高い優れた難燃剤が実用化されてきた。近年、難燃性能を要求される分野が増えている。
20 たとえばポリプロピレンは、優れた物性を持つ樹脂であり、この優れた物性を維持しつつ十分な
21 難燃化が達成できれば、大きな需要が見込まれる。家電、自動車、建材、繊維などが市場として
22 有望で、今後大きく伸びていくと予測されている。

23 近年、火災危険性の低減と共に環境安全性を両立させることが大きな課題となってきている。
24 2003 年に EU において、特定有害性物質（鉛、水銀、カドミウム、6 価クロム）と共に特定臭素
25 系難燃剤（ポリ臭素化ビフェニル（PBB）、ポリ臭素化ビフェニルエーテル（PBDE）の一部）が
26 WEEE（廃電気電子機器指令）、RoHS（電気電子機器特定有害性物質制限指令）で規制された。
27 この使用規制や電気・電子機器、事務機器メーカーを中心として進められている材料グリーン調
28 達の動きの中で、臭素系難燃剤に代わる難燃化技術の開発が強く望まれている。しかし臭素系難
29 燃剤は、テトラブロモフェノール誘導体を中核に、依然としてその市場が堅調に推移している。
30 これは、リン系は安全性に関し不確実、高価格、対象プラスチックが限定されるなどの欠点や、
31 無機系は難燃効率が低く、強度の低下があるなどの欠点があるが、臭素系は難燃性が高く、低コ
32 ストであることなどのバランスのとれた利点を有するからである。

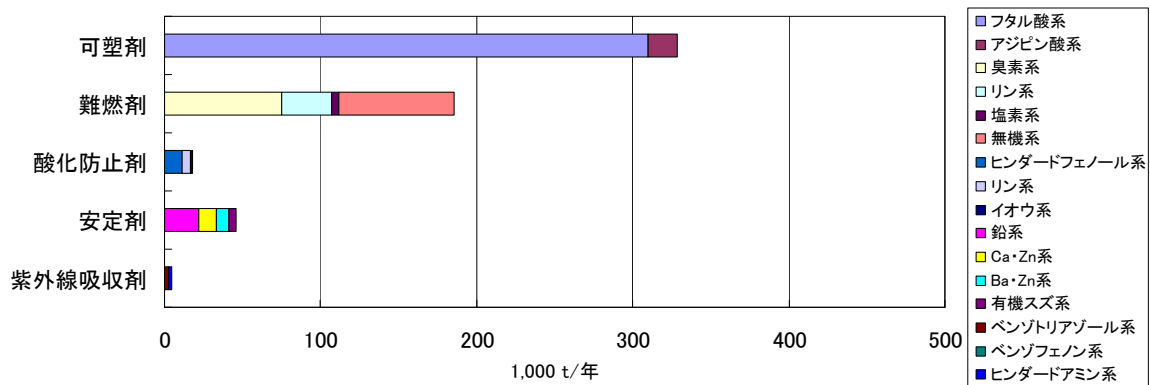
33

34 2.2 国内需要量

1 プラスチック添加剤を使用する樹脂の中では、図2.1に示すように塩化ビニル樹脂にプラスチック
 2 ク添加剤(可塑剤，安定剤等)が多量に使用されている。また，添加剤種類別でみると図2.2に示す
 3 ように可塑剤の需要量大きい。また，難燃剤は様々な樹脂に使用されるため，可塑剤に次いで
 4 需要量大きい
 5



6
 7 図 2.1 2005 年度の樹脂別の添加剤需要量 (データ出典：プラスチックページ 2006)
 8



9
 10 図 2.2 2005 年度の添加剤種類別の需要量
 11 (データ出典：可塑剤：可塑剤工業会データ，難燃剤，酸化防止剤，紫外線吸収剤：2007 高分子添加剤の市
 12 場，シーエムシー出版 2007，安定剤：無機薬品協会データ)
 13

14 以下，可塑剤，塩ビ安定剤，酸化防止剤，紫外線吸収剤，難燃剤の各用途について，国内供給
 15 量および需要量を表 2.2～2.7 に示す。
 16
 17
 18

1 表 2.2 フタル酸系可塑剤の国内出荷量推移実績（単位：t）（可塑剤工業会）

	2005	2006	2007	2008
DEHP	184,256	177,670	184,349	162,520
DINP	99,722	101,569	100,079	86,508
DIDP	6,714	6,595	6,461	5,827
DBP	3,295	3,259	3,182	2,521
その他	15,568	14,379	13,150	12,101
合計	309,555	303,472	307,221	269,477

2
3

4 表 2.3 フタル酸系可塑剤の用途別国内出荷量推移実績（単位：t）（可塑剤工業会）

	2005	2006	2007	2008
一般フィルム・シート	28,636	28,457	31,635	31,262
農 び	16,719	16,131	13,629	11,146
レザー	11,400	10,172	11,891	8,669
コンパウンド・ゾ ル	92,304	94,449	89,758	69,498
電線被覆	39,362	33,701	34,766	35,029
ホース・ガasket	8,587	8,206	8,745	9,125
壁 紙・床材料	71,930	74,205	79,174	69,148
塗料、顔料、接着剤	19,878	18,306	19,389	19,910
履き物	1,729	1,240	2,109	1,408
その他	19,010	18,605	16,129	14,259
合 計	309,555	303,472	307,225	269,454

5
6

7 表 2.4 安定剤の出荷量推移実績（単位：t）（日本無機薬品協会）

	2004	2005	2006	2007
鉛系	23,921	21,823	19,538	18,176
Ca-Zn	11,666	11,383	12,260	11,967
Ba-Zn	8,026	7,742	7,867	6,794
スズ系	5,641	5,171	5,655	5,279
助剤	3,806	4,021	4,548	4,477
合計	53,060	50,140	49,869	46,692

8
9

10 表 2.5 酸化防止剤の出荷量推移（単位：t）

	2002	2003	2004	2005
フェノール系	7,100	7,200	7,300	7,400
リン系	3,660	3,700	3,800	3,900
イオウ系	1,200	1,200	1,200	1,210
合計	11,960	12,100	12,300	12,510

11
12

出典：株式会社富士経済（2005）2005年樹脂添加剤・コンパウンドのアジア市場の現状と将来展望（上巻）（樹脂
添加剤編）

13
14

15 表 2.6 紫外線吸収剤の出荷量推移（単位：t）

	2002	2003	2004	2005
ベンゾトリアゾール系	1,600	1,600	1,600	1,610
ベンゾフェノン系	220	200	200	200
HALS	1,850	1,900	1,950	2,000
合計	3,670	3,700	3,750	3,810

16

1 出典：株式会社富士経済（2005）2005年樹脂添加剤・コンパウンドのアジア市場の現状と将来展望(上巻)（樹脂
 2 添加剤編）

3

4

表 2.7 難燃剤の国内需要量（単位：t）（出典：化学工業日報）

種別	化合物	主用途	2004	2005	2006	2007
臭素系	TBBA	積層板, 難燃剤原料, ABS	35,000	30,000	29,000	25,000
	DecaBDE	HIPS, ポリオフィレン, 繊維関連	2,000	1,800	1,700	1,700
	OctaBDE	HIPS, ABS, ポリオフィレン				
	TetraBDE	積層板, 難燃剤原料, ABS				
	HBCD	発泡PS, 繊維関連	2,600	2,600	2,600	3,000
	Bis(tetrabromophthalimido)ethane	PBT, ポリオフィレン	1,500	1,500	1,500	1,500
	Tribromophenol	難燃剤原料	4,150	4,150	4,000	3,500
	Bis(tribromophenoxy)ethane					
	TBBA polycarbonate oligomer	PBT, PC	3,000	3,000	3,000	3,000
	Brominated polystyrene	ポリアミド	5,100	6,000	7,500	7,500
	TBBA epoxy oligomer	ABS	12,000	12,000	12,000	10,000
	Bis(pentabromophenyl)ethane	HIPS, ポリオフィレン	5,000	5,000	6,000	6,000
	TBBA-bis(dibromopropylether)	HIPS, ポリオフィレン	1,000	900	800	800
	Poly(dibromophenylene oxide)	PC, ポリアミド				
	Hexabromobenzene	ポリオフィレン, エポキシ樹脂	1,000	350	350	350
その他		1,900	2,200	3,200	3,400	
	計		74,250	69,500	71,650	65,750
塩素系	塩素化パラフィン	PVC	4,300	4,300	4,300	4,300
	その他		600	600	600	600
	計		4,900	4,900	4,900	4,900
リン系	ハロゲン化エステル	エポキシ樹脂, ウレタン	4,000	4,000	4,000	4,000
	非ハロゲン化エステル	エポキシ樹脂, ウレタン, PC/ABS	24,000	24,000	24,000	25,000
	その他		2,500	2,500	3,000	4,500
	計		30,500	30,500	31,000	33,500
無機系	酸化アンチモン	難燃助剤(臭素系難燃剤)	17,000	15,000	15,000	15,700
	水酸化アルミニウム	電線被覆	42,000	42,000	42,000	42,000
	その他		20,000	20,000	20,000	19,000
	計		79,000	77,000	77,000	76,700
総合計			188,650	181,900	184,550	180,850

5

6

7

8

1 3. 最終製品からの排出の測定

2 本章では、SVOC の排出速度を測定するために新たに開発されたマイクロチャンバー法について説明する。そして、可塑剤と難燃剤の測定結果を示す。

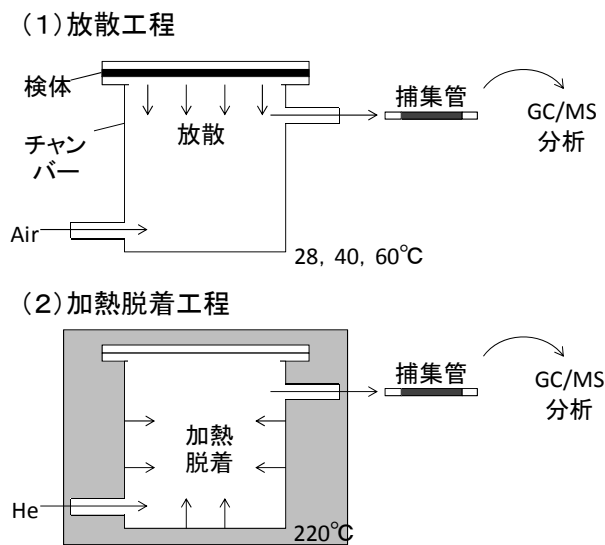
5 3.1 マイクロチャンバー法の概要

6 プラスチック添加剤の物質の多くは準揮発性有機化学物質 (SVOC) に属している。そのため、
7 揮発性有機化学物質 (VOC) に使用される放散量測定方法では、金属製チャンバー内に物質が吸
8 着しやすく、分析が困難であった。そこで、SVOC のために新たに開発され、2008 年に JIS 化さ
9 れた方法が JIS A 1904 のマイクロチャンバー法である。その方法の概要を以下に示す。

10 (1)放散工程では、検体から図 3.1 のチャンバー内に放散する SVOC を捕集管で捕集し、ガスク
11 ロマトグラフ/質量分析法(GC/MS)で分析定量する。マイクロチャンバー内は標準温度で 28°C、
12 標準状態の湿度で 50%とする。

13 (2)加熱脱着工程では、(1)の使用済検体をチャンバーから取り外して、加熱オープン中でチャン
14 バーを加熱して 200~220°Cで 40 分程度保持し、チャンバー内壁に吸着した SVOC を不活性ガス
15 (He) で揮散させて捕集する。(1)と同様に分析定量後、(1)と(2)の結果を合算して放散量とする。

16



17

18

図 3.1 マイクロチャンバー法の捕集工程

19

20 世界保健機構 (WHO) では SVOC の定義を、「沸点 240-260°C~380-400°Cの範囲の有機物」と
21 定めているが、マイクロチャンバー法はガスクロマトグラフィーでの SVOC 測定を前提として、
22 その定義を「ガスクロマトグラフィーにおける評価において無極性絡カラムでの分離条件で *n*-ト
23 リデカン (*n*-C13, 沸点 234°C) と *n*-ヘキサコサン (*n*-C26, 沸点 399.8°C) の間で溶出する有機物」
24 と定めている。

1 上記の範囲にあるいくつかの物質について、マイクロチャンバー内への SVOC 成分添加量(100,
 2 200, 500, 1,000ng) と、そのときの回収率を表 3.1 に示す。この結果から、TBP 以外の SVOC 成
 3 分については、いずれの添加量においても回収率 80%以上である。可塑剤を使用している建築材
 4 料からは DEHP のマイクロチャンバー内吸着量が 100~1,000ng 程度となるため、この範囲での回
 5 収率を把握しておけば精度の良い測定が行えると考えられている。

6

7 表 3.1 マイクロチャンバー内への SVOC 成分添加量 (ng) および回収率 (%)

化合物名	100 ng	200 ng	500 ng	1,000 ng
ドデカメチルシクロヘキサシロキササン (D6)	88	89	101	102
2,6-ジ-tert-ブチル-4-メチル-フェノール (BHT)	93	92	99	100
フタル酸ジエチル (DEP)	96	91	103	101
リン酸トリ-n-ブチル (TBP)	52	68	94	94
リン酸トリクロロエチル (TCEP)	85	84	97	97
アジピン酸ジ-n-ブチル (DBA)	94	90	101	99
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	92	85	97	107
リン酸トリフェニル (TPP)	92	85	97	107
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHA)	90	87	98	98
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)	90	89	99	100

8 (日本規格協会, 2008, 建築材料の準揮発性有機化合物 (SVOC) の放散測定方法—マイクロチャンバー法から引
 9 用)

10

11 このマイクロチャンバー法は財団法人 石油産業活性化センター(JPEC) が改良開発研究を行い、
 12 財団法人建材試験センターでの 3 年間にわたる審議および経済産業省工業標準調査会での審議を
 13 経て、2008 年に JIS A 1904 「建築材料の準揮発性有機化合物 (SVOC) 放散測定方法—マイクロ
 14 チャンバー法」として発行された。欧州でも SVOC 測定法に関しては良い方法がなく、JIS A 1904
 15 の ISO 化に向けた検討が現在行われている。

16

17 3.2 可塑剤の放散速度試験

18 フィルム・シートや壁紙等の塩ビ製品に添加される可塑剤に関して、国内外の規制の影響から、
 19 フタル酸ジ(2-エチルヘキシル) (DEHP) からフタル酸ジイソノニル (DINP), フタル酸ジイソデ
 20 シル (DIDP) への物質代替が進行している。しかし、物質代替によってリスクの低減が図られた
 21 かどうかを確認する手立てがないのが現状であり、リスクトレードオフ解析の手法開発が望まれ
 22 る。

23 その際に、複数物質の環境中への排出量を比較検討する必要がある。可塑剤はライフサイクル

1 における最終製品消費段階の排出割合が大きいため（吉田ら，2005），塩ビ製品の消費時の可塑剤
2 の排出量を求めて比較することが重要である．そこで，本節では，上記物質を含有する塩ビ製品
3 で放散量試験を実施して各物質の放散速度を求めた．

4 5 3.2.1 塩ビ製品の放散速度結果

6 製品消費時の可塑剤の放散速度を調べるために，JIS A 1904（マイクロチャンバー法）による塩
7 ビ製品サンプルを用いたフタル酸エステル類の可塑剤放散量試験を塩ビ業界にて実施した．マイ
8 クロチャンバー内温度 28℃，湿度 50%として入口流量 20mL/分（2 時間に 1 回の換気の意味）で
9 24 時間の放散捕集を行い，その後チャンバーを 220℃に加熱して 40 分程度保持して加熱脱着捕集
10 を行った．

11 その結果，放散捕集工程での放散量はほとんどすべてのサンプルで検出下限値未満となり，そ
12 の後の加熱脱着工程での放散量が大きかった．また，製品種類や可塑剤濃度の放散速度への影響
13 は小さく，可塑剤の物質種類による影響が大きいたことが明らかになった．DEHP，DINP と DIDP
14 の物質別に整理した結果を表 3.2 に示す．蒸気圧，分子量あるいは沸点などの物性の違いが放散
15 速度に反映されている可能性があった．

16

17 表 3.2 塩ビ製品サンプルによるフタル酸エステル類の放散速度の結果（平均，最大値，最小値）

物質	N 数	放散速度 (µg/m ² /hr)		
		平均	最小	最大
DEHP	14	4.1	3.1	5.7
DINP	16	0.6	0.2	1.4
DIDP	3	0.3	0.0	0.7

18

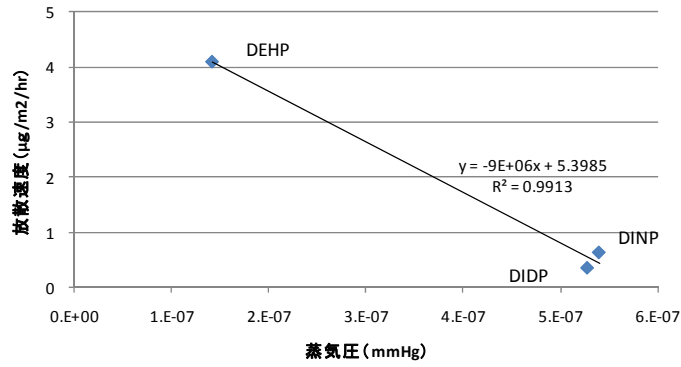
（引用：日本ビニル工業会，2008；塩化ビニル環境対策協議会，2009）

19

20 そこで，各物質の放散速度平均値と蒸気圧との関係をプロットした結果を図 3.2～3.4 に示す．
21 その結果，蒸気圧の実測値あるいは Yaws（1997）の蒸気圧推定式（付録 2 の 2.2 節参照）を使用
22 すると，相関性の良い結果はあまり得られない．一方で，OECD-ESD の推定蒸気圧を使用する
23 と相関性が良い．その理由は，OECD-ESD が沸点と分子量から蒸気圧を算出しているため，も
24 ともと相関性のよい沸点と蒸気圧を比較していることになるからであろう．

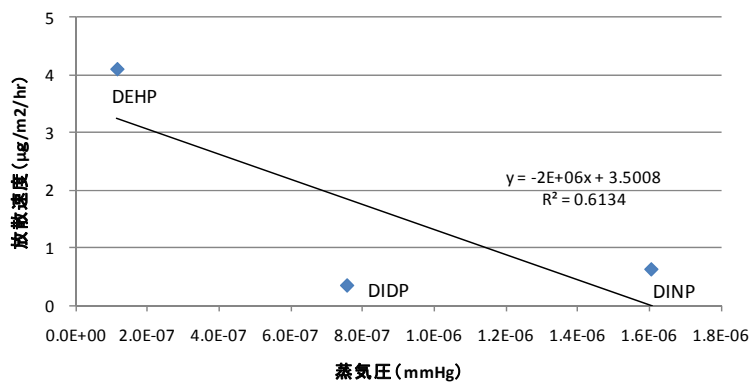
25 一般的に，物質の放散速度は分子量，沸点に反比例し，蒸気圧には比例する傾向がある．しか
26 し，プラスチック添加剤の蒸気圧が非常に低いために，実測値であっても高温のデータからの外
27 挿値である場合も多い．よって，プラスチック添加剤の蒸気圧データは信頼性があまり高くなく，
28 放散速度と蒸気圧の関係性は補完的な位置づけにとどまると解釈される．

29



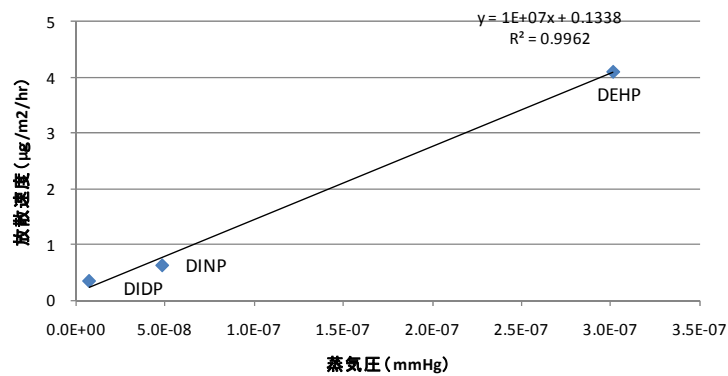
1
2
3

図 3.2 可塑剤の放散速度と蒸気圧との関係（蒸気圧の実測値を使用した場合）



4
5
6

図 3.3 可塑剤の放散速度と蒸気圧との関係（Yaws (1997) の蒸気圧推定式を使用した場合）



7
8
9

図 3.4 可塑剤の放散速度と蒸気圧との関係（OECD-ESD の蒸気圧推定式を使用した場合）

10 3.2.2 試験サンプルによる放散速度測定

11 (1) 方法

12 塩ビ樹脂の成形加工を行う業界の協力で、DEHP、DINP、DIDP の各可塑剤を含有するプレス
13 シートを作成した。一般的なフィルムでは、塩ビ 100 部に対して可塑剤 50～60 部を添加するのが

1 普通であるため、DEHPの配合部数を基本60部として、DEHP30部と90部のサンプルを追加し
 2 た。また、可塑化効率は、DEHPを1とすると、DINPが1.02、DIDPが1.12のため、各物質の配
 3 合部数は可塑化効率を考慮して決定した。また、コンパウンディング温度は可塑剤の添加量に応
 4 じて125～175℃の範囲とし、試験プレス機によって大きさ130mm×160mm、厚さ0.5mm～2mm
 5 の試験サンプルを作成した。試験サンプルの作成条件の詳細を表3.3に示す。サンプルDEHP-2
 6 がDEHPの標準的な配合部数と厚さである。

7
 8 表3.3 放散量試験のための試験サンプルの作成条件

サンプル No. (物質)		DEHP-1	DEHP-2	DEHP-3	DEHP-4	DEHP-5	DINP-1	DIDP-2
配合 (部数)	塩ビ樹脂	100	100	100	100	100	100	100
	可塑剤	30	60	90	60	60	61.2	67.2
	Ba-Zn 安定剤	3	3	3	3	3	3	3
コンパウンディング温度 (℃)		175	145	125	145	145	145	145
厚さ (mm)		0.5	0.5	0.5	1.0	2.0	0.5	0.5

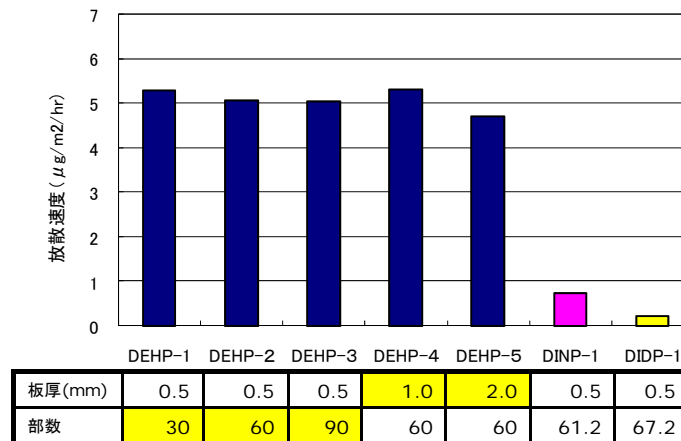
9
 10 上記の試験サンプルを使用して、JIS A 1904 (マイクロチャンバー法) による放散量試験を実施
 11 した。放散捕集工程での条件は3通りである。まず、全サンプルを使用して、通常温度28℃、
 12 入口流量20mL/分での放散捕集を実施した。すなわち、板厚と可塑剤濃度のパラメータに注目し
 13 た試験である。次に、サンプルDEHP-2、DINP-1、DIDP-1に限定して、マイクロチャンバー内温
 14 度を40℃と60℃に変更した場合の放散捕集も実施した。さらに、サンプルDEHP-2を使用して、
 15 通常温度28℃で入口流量を40、60mL/分に変更して放散捕集を実施した。(表3.4参照)

16
 17 表3.4 放散捕集条件

サンプル No	放散捕集条件 1		放散捕集条件 2		放散捕集条件 3	
	温度(℃)	風量(mL/分)	温度(℃)	風量(mL/分)	温度(℃)	風量(mL/分)
DEHP-1	28	20				
DEHP-2	28	20	40, 60	20	28	40, 60
DEHP-3	28	20				
DEHP-4	28	20				
DEHP-5	28	20				
DINP-1	28	20	40	20		
DIDP-2	28	20	40	20		

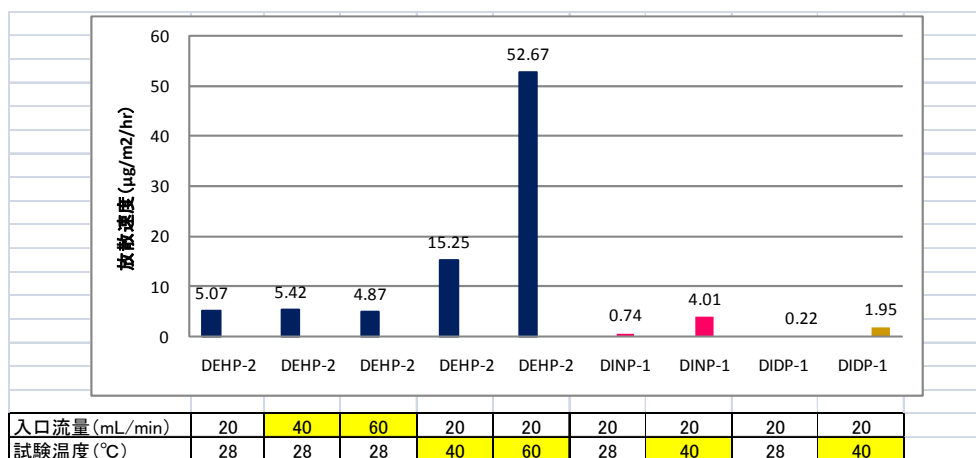
18
 19 (2) 結果

1 まず、放散捕集条件 1 での結果を図 3.5 に示す。塩ビ製品サンプルによる放散試験と同様、試
 2 験サンプルによる放散試験工程時での可塑剤の放散量はすべて検出下限値未満で、その後の加熱
 3 脱着試験工程時の放散量が大きかった。また、試験サンプルの放散速度の値は、塩ビ製品サンプ
 4 ルの結果の範囲内に入っており、試験結果は妥当と判断した。さらに、試験サンプルの厚さ、可
 5 塑剤の配合割合の放散速度への影響は小さく、その 2 つは放散速度の主要なパラメータではない
 6 ことが明らかとなった。



7
8 図 3.5 塩ビ製品からの可塑剤の放散量試験の結果
9 (板厚と濃度をパラメータとした場合)

10
11 次に、放散捕集条件 2 と 3 の結果を図 3.6 に示す。その結果、入口流量を変えても放散速度は
12 あまり変化しなかった。一方で、温度が高くなると放散速度も上昇した。これは、物質の蒸気圧
13 が上がるため、放散速度も比例して上昇すると推定された。



15
16 図 3.6 塩ビ製品からの可塑剤の放散量試験の結果
17 (温度と流量をパラメータとした場合)

1

2 3.3 難燃剤の放散速度試験

3 臭素系難燃剤の代表的な物質である decaBDE は、1970 年代からプラスチックに対する難燃
4 剤として多様な製品に用いられてきたが、不純物として含まれる臭素化ダイオキシンが日本国内
5 で問題視され、1990 年代に難燃剤業界で自主管理計画が策定されることで、リスク削減のための
6 物質代替の対応が始まった（日本難燃剤協懇話会 1995）。また、化管法において decaBDE は日
7 本国内の PRTR 指定化学物質に指定され、事業者は排出移動量を毎年報告することが義務づけら
8 れている。

9 その後、欧州の WEEE（Waste Electrical and Electronic Equipment、廃電気電子機器に関する
10 指令）、RoHS（The Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and
11 Electronic Equipment、特定有害物の使用制限に関する指令）の導入が検討された。そして、RoHS
12 指令の目的は、2006 年 7 月 1 日から欧州市場で販売される電気電子機器に特定の物質として、
13 六価クロム、鉛、カドミウム、水銀、ポリ臭素化ビフェニル（Polybrominated Biphenyls、以下
14 PBBs と略記する）、ポリ臭素化ジフェニルエーテル（Polybromodiphenylethers、以下 PBDEs
15 と略記する）の含有を禁止した。

16 その検討の際に、PBDEs の一物質である decaBDE も製品への含有量の規制対象候補となった。
17 そして、欧州連合（European Union、EU）では、約 10 年間にわたる調査をもとにリスク評価
18 が行われ、リスクが懸念されないという評価結果にもとづき、2005 年 10 月 15 日に欧州委員会
19 は「高分子材料での decaBDE の利用」を RoHS 指令から除外することを決定したため、自動車
20 や電気電子機器への decaBDE の使用は、現行の EU 指令では影響がなくなった。

21 しかし、欧州の動きとは別に、独自の方針をとる国々もある。例えば、スウェーデンは、2006
22 年 8 月 30 日に繊維、室内装飾品、電気配線の新品への decaBDE の使用禁止を発表した（KEMI
23 2006）。ノルウェーでも、decaBDE の部分的使用禁止（自動車を除く）をする法案が検討されて
24 いる（BFRIP 2005）。

25 企業においては、環境マネジメントシステム（EMS）の構築の一環として、製造時に使用する
26 化学物質や製品中に含有する化学物質のグリーン調達を実施している。企業や業界では、それぞ
27 れ自主的な管理方策を策定しており、RoHS 指令における PBDEs の製品中許容濃度 1.000ppm
28 に対応して、decaBDE の製品許容濃度を同等にするといった目標が設定されている。国内の主
29 要な電気・電子機器メーカーの調達規定に見る RoHS 指令対応物質への対応は、2004 年から 2006
30 年にかけて製品への含有禁止あるいは全面使用廃止などである。

31 以上のような状況から、ブラウン管テレビ等の電気電子製品に使用されるプラスチック（主に
32 PS、ABS 樹脂）に添加される decaBDE から、他の物質への代替が 1990 年代から図られてきた。

33 具体的には、TBBA エポキシオリゴマー、ビスペンタブロモフェニルエタン（EBPBP）等の
34 臭素系難燃剤が代替使用されてきた。これらは、decaBDE と同様に PS、ABS 樹脂に添加され、

1 ブラウン管テレビやインクジェットプリンター等の筐体で使用されてきた。
 2 一方、縮合リン系酸エステル類のビスフェノール A ビスジフェニルホスフェート (BDP 縮合
 3 リン酸エステル) 等のリン系難燃剤への物質代替もある。これらの難燃剤はより強度を持つ樹脂
 4 である PC/ABS アロイ樹脂に添加され、携帯用のノートパソコンなどを中心に、液晶テレビ等の
 5 筐体にも使用されている。しかし、物質代替によってリスクの低減が図られたかどうかを確認す
 6 る手立てがないのが現状であり、リスクトレードオフ解析の手法開発が望まれる。
 7 その際に、複数物質の環境中への排出量を比較検討する必要がある。難燃剤も可塑剤と同様に
 8 ライフサイクルにおける最終製品消費段階の排出割合が大きい (東海ら, 2008)、家電製品の
 9 消費時の難燃剤の排出量を求めて比較することが重要である。そこで、本節では、上記物質を含
 10 有するプラスチック製品で放散量試験を実施して各物質の放散速度を求めた。

11

12 3.3.1 製品サンプルの放散速度結果

13 日本ビニル工業会では、リン酸エステル類を含む塩ビ製品からの放散速度を調査している。そ
 14 の結果、放散捕集工程での放散量はほとんどすべてのサンプルで検出下限値未満となり、その後
 15 の加熱脱着工程での放散量が大きかった。また、製品種類や物質濃度の放散速度への影響は小さ
 16 く、物質種類による影響が大きいことが明らかになった。物質別に整理した結果を表 3.5 に示す。

17

18 表 3.5 塩ビ製品サンプルによるリン酸エステル類の放散速度の結果 (平均, 最大値, 最小値)

物質	N 数	放散速度 (µg/m ² /hr)		
		平均	最小	最大
TCP	8	0.47	0.06	0.9
TPP	6	5.0	3.7	6.0
TXP	2	0.1	0.1	0.1

19

(引用：日本ビニル工業会, 2008)

20

21 産総研では、製品消費時の難燃剤の放散速度を調べるために、家電製品の筐体のプラスチック
 22 サンプルを用いて、JIS A 1904 (マイクロチャンバー法) による難燃剤放散量試験を実施した。製
 23 品サンプルは 1990 年頃に生産された中古テレビを調達する一方で、デスクトップパソコンやノー
 24 トパソコンに使用される筐体の一部を社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA) から入手した。
 25 測定する物質は、被代替物質である decaBDE、代替物質である BDP, decaBDE と併用される三酸
 26 化アンチモン、BDP の不純物である TPP の 4 物質である。表 3.6 に製品サンプルの詳細を示す。

27

28 表 3.6 マイクロチャンバー法に使用した家電製品サンプル一覧

製品サンプル	部品	樹脂	難燃剤 (表示)	備考

ブラウン管テレビ, 1989年製	筐体の側面	不明	不明	製造年から decaBDE を含む PS と推定 する
デスクトップパソコン	表のパネル部分	ABS	臭素系難燃剤	decaBDE の代替としての臭素系物質 と推定する
ノートパソコン A	表面, 灰色	PC/ABS	リン系難燃剤	おそらく BDP を使用していると推定 する
ノートパソコン B	裏面, 黒色	PC/ABS	リン系難燃剤	同上
ノートパソコン C	裏面, 黒色	PC/ABS	リン系難燃剤	同上
ノートパソコン D	裏面, 黒色	PC/ABS	リン系難燃剤	同上

1
2 製品の消費時は筐体の温度は 40~80℃に上昇するため、放散工程においてマイクロチャンバー
3 内温度を 60℃にそれぞれ設定して放散試験を実施した。他の条件は、湿度 50%、入口流量 20mL/
4 分、24 時間の放散捕集である。その後、チャンバーを 220℃に加熱して 40 分程度保持して加熱脱
5 着捕集を行った。次に、60℃で放散量が検出された物質に限定して、マイクロチャンバー内温度
6 を 40℃と 28℃に変更した場合の放散捕集も実施した。一方で、60℃で放散量が検出されない物
7 質は、低い温度でも放散量を同様に検出されないと考えられるので、低温度での試験を省略した。
8 放散試験によって分析定量した結果を表 3.7 に示す。

9 その結果、放散捕集工程での放散量はほとんどすべてのサンプルで検出下限値未満となり、そ
10 の後の加熱脱着工程での放散量が大きかった。温度 60℃での放散試験で decaBDE はすべて検出
11 下限値未満であった。また、BDP は一つのサンプルのみ放散量が検出され、0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ の放散
12 速度と推定されたが、その他は検出下限値未満であった。また、BDP の不純物である TPP は蒸気
13 圧が BDP に比べて高いため放散速度が大きい、サンプルによって 0.2 未満~12 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ と放散
14 速度に大きい幅を有する結果となった。特に一つの製品サンプルで高い放散速度を示しており、
15 もしかしたら縮合リン酸エステルである BDP ではなく、芳香族リン酸エステルである TPP を使
16 用しているのかもしれない。そのサンプルで温度 40℃と 28℃で TPP の放散試験を実施したとこ
17 ろ、温度が下がると放散速度が低減した。

18

19 表 3.7 家電製品サンプルによる難燃剤の放散速度の結果

製品サンプル	decaBDE	Sb ₂ O ₃	BDP	TPP
ブラウン管テレビ, 1989年製	<0.5 (60℃)	—	—	—
デスクトップパソコン	<0.5 (60℃)	—	—	<0.2 (60℃)
ノートパソコン A	<0.5 (60℃)	—	<0.05 (60℃)	14 (60℃), 3.7 (40℃), <0.2 (28℃)
ノートパソコン B	<0.5 (60℃)	—	<0.05 (60℃)	1.4 (60℃)

ノートパソコン C	<0.5 (60℃)	—	0.05 (60℃)	1.3 (60℃)
ノートパソコン D	<0.5 (60℃)	—	<0.05 (60℃)	0.8 (60℃)

1

2 3.3.2 試験サンプルの放散速度結果

3 (1) 方法

4 難燃樹脂の成形加工を行う業界の協力で、decaBDE、BDP の各難燃剤を含有する成形樹脂を作
5 成した。使用する樹脂は、臭素系難燃剤の decaBDE では HIPS (high impact ポリスチレン)、リン
6 系難燃剤では PC/ABS の、それぞれ難燃剤を含まない一般的なコンパウンドを使用した。そして、
7 コンパウンドに難燃剤を混入して押出・射出成形したプレートを、プレスによって大きさ 120mm
8 ×120mm、厚さ 3mm の試験サンプルを作成した。試験サンプルの作成条件の詳細を表 3.8 に示す。

9

10

表 3.8 難燃剤の放散量試験のための試験サンプルの作成条件

サンプル (樹脂)		HIPS	PC/ABS
配合 (部数)	樹脂	100	100 (PC80, ABS20)
	難燃剤	20 (decaBDE)	15 (BDP)
	難燃助剤 (Sb ₂ O ₃)	5	なし
押出・射出温度 (℃)		180-200	260-280
金型温度 (℃)		35	80
プレス成形温度 (℃)		190	290
厚さ (mm)		3	3

11

12 上記の試験サンプルを使用して、JIS A 1904 (マイクロチャンバー法) による放散量試験を実施
13 した。放散捕集工程での条件は 3 通りである。まず、全サンプルを使用して、製品使用中の温度
14 60℃、入口流量 20mL/分での放散捕集を実施した。すなわち、温度のパラメータに注目した試験
15 である。次に、放散量が検出された物質に限定して、マイクロチャンバー内温度を 40℃と 28℃に
16 変更した場合の放散捕集も実施した。さらに、放散時間を通常の 1 日間だけでなく、2 週間の長
17 期試験も実施した。

18

19 (2) 結果

20 試験サンプルで放散試験を実施して、分析定量した結果を表 3.9 に示す。ほとんどすべてのサ
21 ンプルで放散捕集工程での放散量は検出下限値未満となり、その後の加熱脱着工程での放散量が
22 大きかった。decaBDE、三酸化アンチモンと BDP はすべてのサンプルで検出下限値未満の放散速
23 度となった。一方、TPP は 60℃で 0.2~0.3μg/m²/hr の放散速度と推定された。また、40℃ではす
24 べて検出下限値未満となった。BDP と TPP について製品サンプルの結果と比較すると、放散速度

1 のオーダーはほぼ一致するため、この試験サンプルによる放散試験の結果は妥当と判断する。

2

3

表 3.9 試験サンプルによる難燃剤の放散速度の結果

4

(カギ括弧内の数値は検出下限値未満ではあるが参考値を示す)

試験サンプル	decaBDE	Sb ₂ O ₃	BDP	TPP
HIPS 樹脂 (n=3)	すべて<0.5 [1 つのみ 0.03] (60°C, 1 日間) すべて<0.03 (60°C, 2 週間)	すべて<0.8 [0.03~0.32] (60°C, 1 日間)	すべて<0.05 (60°C, 1 日間)	—
PC/ABS 樹脂 (n=3)	すべて<0.5 (60°C)	—	すべて<0.05 (60°C, 1 日間) すべて<0.003 [0.00003] (60°C, 2 週間)	0.2, 0.3, 0.3 (60°C, 1 日間) すべて<0.2 (40°C, 1 日間)

5

6 3.4 考察

7 可塑剤の DEHP 排出速度を推定するために過去に提案されている 3 つの方法 (ENVIRON, 1988,
8 付録 3 に記述) では、ビニルシート上の一定の気流にもとづいているか、もしくは大気中の拡散
9 と換気を組み合わせて考慮に入れている。これらの考え方からは、強制換気の下で DEHP の
10 放散速度は大きくなることを意味する。しかし、前述の可塑剤の放散試験結果からは、気流速度
11 による放散速度の変化はほとんど見られないことから、排出速度と気流速度との関係は実はそれ
12 ほどないかもしれない。

13 放散試験において放散工程での可塑剤の放散量は検知できず、ほとんどが加熱脱着工程での放
14 散量としてカウントされた。よって、プラスチック表面からの放散時に、大部分は大気中に拡散
15 せずにプラスチック表面に付着しているほこりなどに可塑剤が吸着して、その後風で吹き飛ばさ
16 れたり、掃除機で除去されたり、拭き掃除で水域に移行したりすると予想される。また、小児の
17 手などにほこりが付着することで、経口による小児への物質の暴露があると予想される。

18 そして、常温における放散速度は、DEHP で 4.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ 、DINP で 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ 、DIDP で 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$
19 程度と推定された。

20 難燃剤の放散試験においても、可塑剤と同様に放散工程での放散量が検知できず、ほとんどが
21 加熱脱着工程での放散量としてカウントされた。そして、製品使用時の約 60°C における decaBDE,
22 三酸化アンチモン、BDP の放散速度を特定することはできず、BDP の不純物である TPP の放散
23 速度は 0.2~0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ と推定された。放散後の難燃剤の動態も可塑剤と同様と考えられるため、

1 小児らを中心に経口による物質の暴露があると予想される。また、難燃剤の場合は電気電子製品
2 の使用時と非使用時で放散速度が大きく異なるため、製品の使用時間を考慮した排出量推定が必
3 要である。

4

5

1 4. 排出係数の設定

2 本章では、まず、プラスチック添加剤の排出係数の推定方法について複数の方法を検討する。
3 そして、プラスチック添加剤の排出係数の推定の手順についてまとめる。さらに、難燃剤で排出
4 係数の計算例を示す。

5

6 4.1 排出係数の推定方法の検討

7 4.1.1 前提条件

8 プラスチック添加剤は長期にわたって樹脂中に保持される必要があるが、プラスチック添加剤
9 の保留性として総括される中で、耐揮発性と耐移行性が重要な機能として挙げることができる。
10 耐揮発性とは、加工時あるいは製品消費時に成形品の表面からのプラスチック添加剤の揮発性の
11 しにくさを意味するものである。また耐移行性とは、コンパウンド内での拡散によるプラスチッ
12 ク添加剤の移行のしにくさを意味する。一般的に、分子量が高いほど揮発性は低く、樹脂との相
13 溶性にすぐれた物質は揮発しにくい。また、カサ高い官能基があるとコンパウンド内で拡散しに
14 くい。よって、ほとんどのプラスチック添加剤の蒸気圧はきわめて低く、そのため準揮発性有機
15 物質（SVOC）の一群に属する。

16 樹脂表面からの揮発と樹脂中の移行のメカニズムは非常に複雑であるため、実用的な排出係数
17 を導出するためには、いくつかの主要な単純化を行う必要がある。そこで、一般的な製品使用の
18 もとでは、樹脂中での分子移動は樹脂表面での放散よりも速いと仮定して、樹脂表面からの物質
19 の拡散が律速と考えた。ただし、樹脂中のプラスチック添加剤濃度のきわめて低い場合、または
20 物質の揮発性が高い場合は、樹脂表面樹脂中におけるプラスチック添加剤の拡散が律速となり、
21 上記の仮定を適応できない。それらをすべて考慮すると排出の推定方法が複雑になりすぎるので、
22 本 ESD では検討しなかった。

23

24 4.1.2 蒸気圧による排出係数

25 3.2.1 節の塩ビの放散速度の結果にもとづくと、可塑剤 X の任意の温度 T_b (K) における放散速
26 度 $Rair_{xb}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$) は、その温度での可塑剤の蒸気圧 P_{xb} に比例すると考えて、以下の式で求め
27 ることができる。

$$28 \quad Rair_{xb} = 1 \times 10^7 \times P_{xb} + 0.1338$$

29 さらに、おおよそのプラスチック添加剤の物質は、DEHP や TCP の放散速度の実測データをも
30 とに、蒸気圧と分子量を考慮して推定することも妥当である。例えば、実測データのあるプラス
31 チック添加剤 Y にもとづいて、対象とするプラスチック添加剤 X の放散速度を以下のような式で
32 求めることができる。

$$33 \quad Rair_{xb} = Rair_{yb} \times (P_{xb}/M_x)/(P_{yb}/M_y)$$

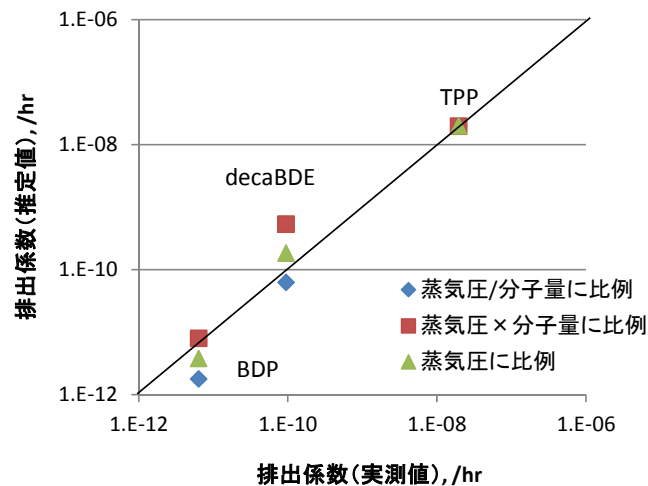
34 4.1.3 節で定義している損失定数 k を使用して、プラスチック添加剤 X の任意の温度 T_b (K) に

1 おける排出係数 $Fair_{yb}$ (-/hr) を以下の式で求めることができる。

$$Fair_{yb} = (1 - \exp(-k_b))$$

3 decaBDE と BDP の放散速度実測値（検出下限値を使用）から求めた排出係数と、 TPP 放散速
4 度実測値から蒸気圧と分子量を考慮した排出係数を比較した結果を図 4.1 に示す。その結果、実
5 測値が検出下限値を使用していることから実際の排出係数の値はさらに低下する可能性を考慮す
6 ると、蒸気圧に比例して分子量に反比例しているケースが decaBDE と BDP の両方で推定値が低
7 く、整合性が良い可能性があると考えられる。

8



9

10 図 4.1 TPP 排出係数にもとづく decaBDE と BDP の排出係数推定値の実測値との比較

11

12 ただし、上記の式は、物質の蒸気圧が自明のときに使用できるが、付録 1, 2 に示したようにプ
13 ラスチック添加剤の蒸気圧は非常に低く、蒸気圧データの信頼性は一般的に低いために、排出係
14 数の推定結果も精度が低い問題がある。そこで、蒸気圧データを使用しない方法を次に検討した。

15

16 4.1.3 活性化エネルギーによる排出係数

17 プラスチック添加剤が樹脂表面から大気中に放散するときの活性化エネルギーについて以下に
18 検討した。

19 可塑剤や難燃剤をはじめとするプラスチック添加剤は、高温時に樹脂からの損失量が時間経過
20 とともに指数関数的に変化するため（技術情報協会，2008），物質の揮発による樹脂からの損失速
21 度はその時点のプラスチック添加剤濃度に比例すると考えると，以下の数式で表わされる。

$$-dC/dt = kC$$

23 ここで、 C は樹脂中のプラスチック添加剤の濃度、 k は損失定数である。

24 上式を積分すると以下のようなになる。

$$-\ln C = kt + \text{const}$$

25

1 樹脂中のプラスチック添加剤の初期濃度を C_0 とすると、 $t=0$ より、

$$2 \quad -\ln C_0 = \text{const}$$

$$3 \quad kt = \ln C_0 - \ln C = -\ln(C/C_0)$$

$$4 \quad k = -\ln(C/C_0)/t$$

5 となる。

6 そこで、3 章で示した放散試験データや、樹脂の加熱時間と物質の揮発減量との関係を示す加
7 熱減量データにもとづいて、いくつかの可塑剤について損失係数を計算した結果を表 4.1 に示す。

8

9 表 4.1 各プラスチック添加剤の各温度における損失定数と活性化エネルギー

物質名	樹脂	初期濃度	温度	加熱減量	放散速度	出典	損失係数
		%	°C	%/hr	µg/m ² /hr		-
DEHP	PVC	36.8	28	—	4.1	AIST 2009	2.2×10^{-8}
DEHP	PVC	36.8	40	—	46	星野ら, 2007	2.5×10^{-7}
DEHP	PVC	36.8	60	—	330	星野ら, 2007	1.8×10^{-6}
DEHP	PVC	29.5	82.5	0.01	—	化学工業日報社, 1987	1.0×10^{-4}
DEHP	PVC	33.3	160	9.2	—	化学工業日報社, 1987	9.3×10^{-2}
DIDP	PVC	20.0	28	—	0.05	日本ビニル工業会 2009	2.9×10^{-9}
DIDP	PVC	39.5	28	—	0.3	AIST 2009	1.7×10^{-9}
DIDP	PVC	39.5	40	—	19	AIST 2009	9.9×10^{-9}
DIDP	PVC	36.8	82.5	0.01	—	化学工業日報社, 1987	1.0×10^{-5}
DIDP	PVC	33.3	160	2.3	—	化学工業日報社, 1987	2.3×10^{-2}
TCP	PVC	5.0	28	—	0.07	日本ビニル工業会 2009	3.6×10^{-9}
TCP	PVC	20.0	28	—	0.75	日本ビニル工業会 2009	1.0×10^{-8}
TCP	PVC	29.5	82.5	0.004	—	化学工業日報社, 1987	4.2×10^{-5}

10

11 この物質の揮発による損失定数の対数と絶対温度の逆数をグラフ上にプロットすると、図 4.2
12 のようになり、直線関係を示す。これは、損失定数が一定の活性化エネルギーを持って、アレニ
13 ウス式に従って変化していることを示している。すなわち、物質の揮発による損失定数 k と活性
14 化エネルギー E は以下の関係式で表わされる。

$$15 \quad k = Z e^{-E/RT}$$

16 ただし、 Z は係数、 R は気体定数 (0.082 atm L/K/mol) である。上式を変形すると

$$17 \quad \ln(k) = -E/RT + \ln(Z)$$

18 となり、上記の図におけるアレニウス式の関係が再確認される。さらに、グラフの傾きから各プ
19 ラスチック添加剤の揮発による損失に関する E を算出できる。温度の範囲を変えて、上式から得

1 られる活性化エネルギー E を表 4.2 に示す。

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

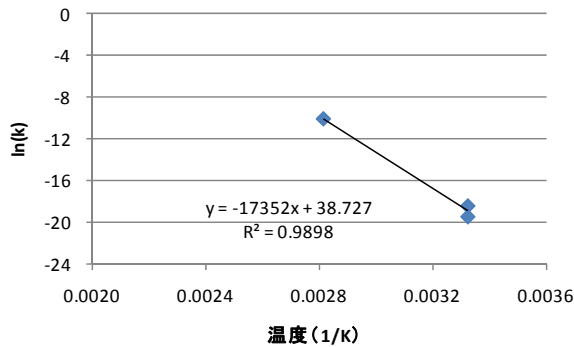
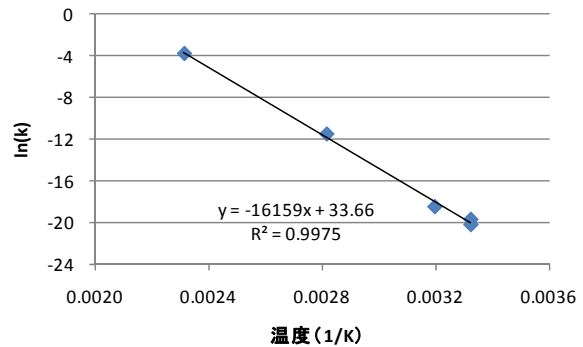
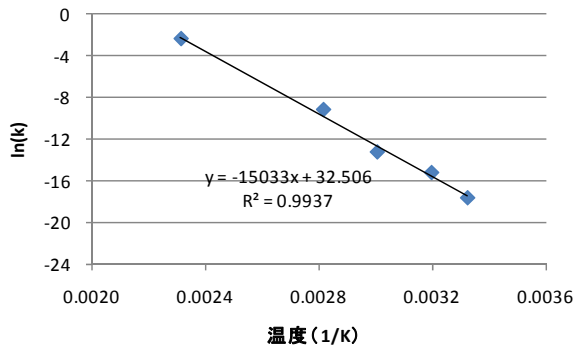


図 4.2 塩ビ樹脂中の物質の損失定数と温度のアレニウスプロット (左上 : DEHP, 右上 : DIDP, 左下 : TCP)

表 4.2 各プラスチック添加剤の各温度における損失定数と活性化エネルギー

物質名	樹脂	温度範囲 (°C)	活性化エネルギー (k cal/ mol)
DEHP	PVC	28~60	26.7
		28~160	29.8
DIDP	PVC	28~60	26.8
		28~160	32.1
TCP	PVC	28~82.5	32.4

19

20

21

22

23

24

25

26

27

この結果、常温 (28°C) から 60°C の低温域と、常温から 160°C までの成形加工温度域とで、活性化エネルギーの値は多少異なる。最終製品の使用段階を対象にするため、常温から 60°C までの低温域を考慮した活性化エネルギーの平均値 27.5 kcal/mol を共通の値として用いる方法と、常温から高温域の 160°C まで含めた活性化エネルギーの平均値 30.8 kcal/mol を共通の値として用いる方法を以下に検討する。

上記の共通活性化エネルギー E (kcal/mol) を他物質にも適用して、ある温度 T_a (K) における時間経過 t_a (hr) 後の物質 X の損失による残留割合 C_a/C_0 のデータがある場合に物質 X 固有の定数 $\ln(Z_x)$ を計算でき、任意の温度 T_b (K) における年間排出係数 $F_{air,year_{xb}}$ を計算することが可能

1 になる．具体的には以下の数式で求めることができる．

$$2 \quad k_a = -\ln(C_a/C_0) / t_a$$

$$3 \quad \ln(Z_x) = \ln(k_a) + E/RT_a$$

$$4 \quad \ln(k_b) = \ln(Z_x) - E/RT_b$$

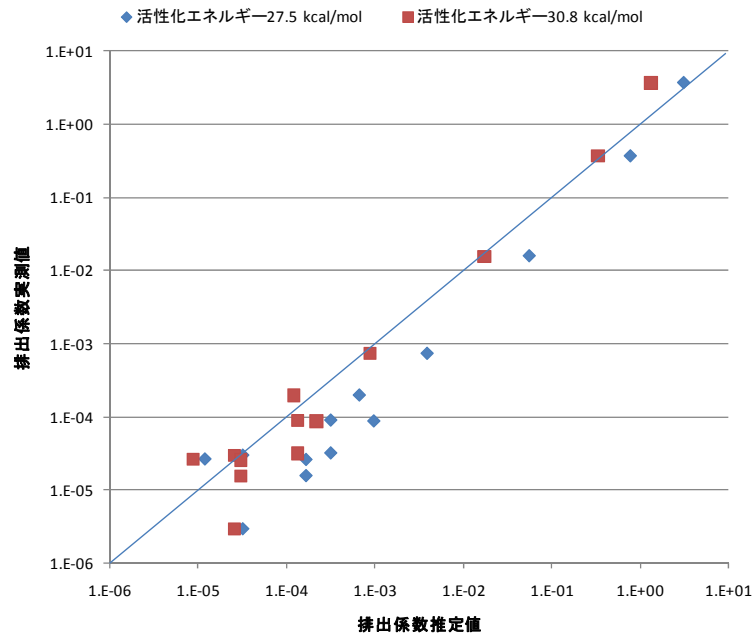
$$5 \quad k_b = Z_x \exp(-E/RT_b)$$

$$6 \quad Fair_{year,xb} = (1 - \exp(-k_b)) \times 365 \times 24$$

7 ところで，DEHP，DINP，DIDP，TCP の各物質の最高温における損失係数のデータを用いて上記
8 の計算から推定された排出係数と，3 章の放散速度の実測値から得られた排出係数を比較した結
9 果を図 4.3 に示す．その結果，活性化エネルギー27.5 kcal/mol を用いた場合は，推定値が実測値
10 よりも全体的に大きい結果であったのに対して，活性化エネルギー30.8 kcal/mol を用いた場合は，
11 排出係数が大きい領域はほぼ一致し，排出係数が小さい領域では推定値が多少大きい傾向があっ
12 た．この結果，常温から高温域の 160°Cまで含めた活性化エネルギーの平均値 30.8 kcal/mol を共通
13 の値として用いることが妥当と判断した．

14 したがって，ある物質で樹脂の高温域における加熱減量のデータがもし存在する場合は，活性
15 化エネルギーの平均値 30.8 kcal/mol を共通の値として，上式によって常温域や低温域での排出係数
16 を求めることが可能である．

17



18

19

図 4.3 活性化エネルギーによる年間排出係数の推定値と実測値の比較

20

(対象物質：DEHP，DINP，DIDP，TCP)

21

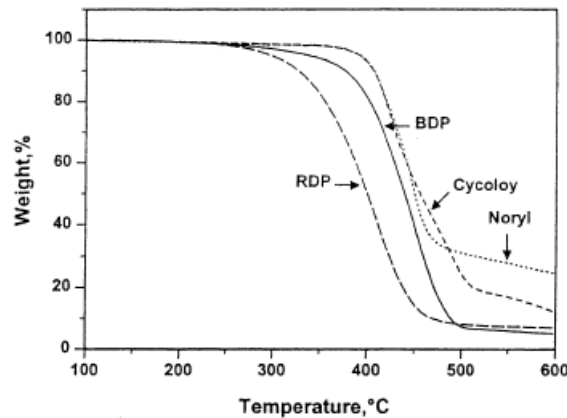
22

1 4.1.4 加熱減量データによる排出係数

2 物質の任意の温度におけるプラスチック添加剤の損失量を求めるためには、ある温度での樹脂
 3 表面から空気中への放散試験を行う必要がある。3 章には樹脂中に含まれる可塑剤と難燃剤の放
 4 散試験による放散速度のデータを掲載したが、それだけでは放散量データのない様々な物質に適
 5 用できない問題がある。そこで、特に難燃剤を対象に企業が社内的に実施している加熱減量試験
 6 によるデータを利用することを検討した。

7 難燃剤については、物質の熱分解温度や燃焼温度を特定するために、各物質について TGA
 8 (Thermo Gravimetric Analysis) などの熱分解機器で測定することにより、物質固有の TGA カーブ
 9 (熱分解曲線) が解析されている。例として、縮合リン酸エステルの RDP と BDP の TGA 曲線を
 10 図 4.4 に示す。

11



12

13 図 4.4 縮合リン酸エステルの RDP と BDP の TGA 曲線 (西沢ら監修, 2002)

14

15 難燃剤の分解開始温度までの TGA 曲線は物質の揮発分に相当するため、ある温度における物
 16 質の加熱減量データとして使用することができる。表 4.3 にリン酸エステルの 250°C と 300°C の加
 17 熱温度時の加熱減量データを示す。低温度域の加熱減量データは非常に小さいため排出係数の推
 18 定には使えないが、200°C~300°C間の加熱減量データは比較的大きいため、排出係数の推定に利
 19 用可能である。

20

21 表 4.3 リン酸エステルの加熱減量データ (技術情報協会, 2008)

物質名	加熱温度 °C	加熱減量 wt%		加熱温度 °C	加熱減量 wt%
TPP	250	12.8		300	85
RDP	250	0.7		300	2.6
BDP	250	0.8		300	1.9

22

1 可塑剤については、JIS K 6751-4 にフタル酸エステルの加熱減量の方法が記載されている。試
 2 料約 30g を乾燥炉に入れて 125±3°C で 3 時間加熱した後、減量を求めることとなっており、表 4.4
 3 のような公表データがある。

4

5

表 4.4 フタル酸エステルの加熱減量データ

物質	試験方法	加熱温度 (°C)	加熱保持時間 (Hr)	加熱減量 (wt%)	出典
DEHP	JIS K 6751	125	3	<0.07 <0.1	日美商事株式会社 HP 昭和エーテル株式会社 HP
DINP	JIS K 6751	125	3	<0.07	日美商事株式会社 HP, 昭和エーテル 株式会社 HP
DIDP		125	3	<0.1	昭和エーテル株式会社 HP
DBP	JIS K 6751	125	3	<0.5	日美商事株式会社 HP, 昭和エーテル 株式会社 HP
DOA	JIS K 6751	125	3	<0.1	昭和エーテル株式会社 HP
TCP	—	不明	不明	0.1	株式会社 J-PLUS
TPP	—	115 100	3 3	<0.2 <0.1	昭和エーテル株式会社 HP 味の素ファインテクノ株式会社 HP

6

7 そこで、上記の加熱減量データを使用して、4.1.3 節の共通活性化エネルギーから求めた年間排
 8 出係数（ただし検出下限値未満の数値は 1/2 の値を仮定した）と 3 章の放散速度実測値から求め
 9 た年間排出係数とを比較した結果を図 4.5 に示す。この結果、JIS K 6751-4 による加熱減量データ
 10 では推定値の精度が低い一方で、TGA 曲線で得られた TPP の排出係数推定値は実測値と近い結
 11 果となった。よって、JIS K 6751-4 による可塑剤の加熱減量データは検出下限値未満の提示がほ
 12 とんどのため利用が難しい。一方で、TGA 曲線による加熱減量データを用いた排出係数の推定方
 13 法については、他の物質でさらなる検証が必要であるが、企業が所有するデータを用いることが
 14 できそうである。もし他物質でも同様の検証ができたとしたら、樹脂表面における物質の放散速
 15 度は、物質そのものの揮発性にほぼ従うと解釈できる。

16

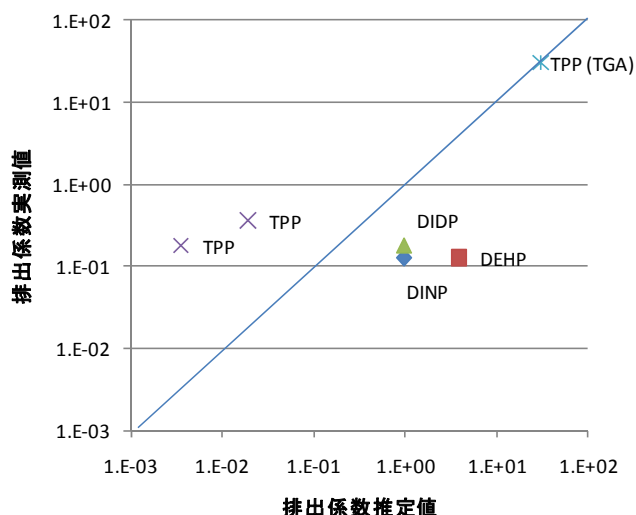


図 4.5 加熱減量データから求めた排出係数の推定値と実測値の比較
(対象物質：DEHP, DINP, DIDP, TPP)

4.2 排出係数の設定方法

4.1 節の検討結果にもとづいて、主なプラスチック添加剤の排出係数の設定方法を以下に提案する。

①JIS A 1904 (マイクロチャンバー法) による放散速度を実測して、その結果から排出係数を求める (3 節参照)

②高温時における樹脂中のプラスチック添加剤の加熱減量データを入手して、活性化エネルギーを用いて排出係数を求める。難燃剤では TGA 曲線データを利用することも可能である (4.1.3 節, 4.1.4 節参照)。

③上記のデータがない場合は、放散速度データの存在する物質を基準として、物性 (特に分子量と蒸気圧) に応じて放散速度を求める (4.1.2 節参照)。

優先順位は①が最上位で、②と③は同等と考える。上記の方法にもとづいて、各種のプラスチック添加剤の主要な物質について、それぞれ以下に放散速度 R_{air} あるいは年間排出係数 $F_{air,year}$ を設定する。

(1) 可塑剤

①DEHP, DINP, DIDP, TPP, TCP の塩ビ樹脂からの放散速度実測値が存在するので、それらのデータを使用した。

②DEHP, DIDP, TPP, TCP の加熱減量データは存在するが、①の実測値があるため、ここでは

1 省略する.

2 ③TCP の放散速度実測データを基準として, 蒸気圧比例, 分子量反比例でリン酸エステルの CDP,
3 TXP の放散速度を求めた.

4

5

表 4.5 可塑剤の排出係数

物質	①実測データ		②加熱減量データに もとづく	③物性データにもとづく	
	Rair (µg/m ² /hr)	Fair,year (-/年)		Fair,year (-/年)	Rair (µg/m ² /hr)
DEHP	4.1	2×10 ⁻⁴			
DINP	0.63	2×10 ⁻⁵			
DIDP	0.35	1×10 ⁻⁵			
TPP	4.9	4×10 ⁻⁴			
TCP	0.75	9×10 ⁻⁵			
CDP				6.8	8×10 ⁻⁴
TXP				0.06	7×10 ⁻⁶

6 ※放散速度から排出係数への換算の際には, 放散速度実測時の板厚 0.5mm, 樹脂比重 1.23 (塩ビ) を使用した.

7 DBP については他物質よりも蒸気圧が大きく, 樹脂内での拡散が律速と考えられるので, ここでは省略した.

8

9 (2) 難燃剤

10 ①decaBDE, BDP の樹脂からの放散速度実測値が存在するので, それらのデータを使用した.

11 ②RDP, BDP を含む樹脂の加熱減量データを用いて, 共通の活性化エネルギー30.8 kcal/mol より
12 排出係数を求めた.

13 ③HIPS からの decaBDE の放散速度実測値データ (ただし, 検出加減値未満の参考値) にもとづ
14 いて, 蒸気圧比例, 分子量反比例で臭素系難燃剤の放散速度を求めた. 一方, PC/ABS からの BDP
15 の放散速度実測値データにもとづいて, 蒸気圧比例, 分子量反比例でリン系難燃剤の放散速度を
16 求めた.

17

18

表 4.6 難燃剤の排出係数

19

(カギ括弧内の数値は検出下限値未満ではあるが参考値を示す)

物質	①実測データ		②加熱減量データに もとづく	③物性データにもとづく	
	Rair (µg/m ² /hr)	Fair,year (-/年)		Fair,year (-/年)	Rair (µg/m ² /hr)
TBBA				(3×10 ⁻⁵)	(9×10 ⁻¹¹)
decaBDE	<0.5	<2×10 ⁻⁶			

	(0.03)	(1×10^{-7})			
HBCD				(1.9)	(6×10^{-6})
EBPBP				(2×10^{-7})	(5×10^{-13})
RDP			1×10^{-6}	<0.06	< 2×10^{-7}
BDP	<0.05	< 2×10^{-7}	8×10^{-7}		

1 ※基本的に電気電子製品使用時の温度 60℃での値である。放散速度から排出係数への換算の際には、放散速度実
2 測時の板厚 3mm、樹脂比重 1.2 (HIPS, PC/ABS)、電気電子製品使用時間 5hr/日として計算した。

3

4 (3) 酸化防止剤

5 ①放散速度実測値は存在しない。

6 ②加熱減量データは存在しない。

7 ③塩ビ樹脂中の TCP の放散速度実測データを基準として、蒸気圧比例、分子量反比例で各物質の
8 放散速度を求めた。

9

10

表 4.7 酸化防止剤の排出係数

物質	①実測データ		②加熱減量データに もとづく	③物性データにもとづく	
	Rair ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)	Fair,year (-/年)	Fair,year (-/年)	Rair ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)	Fair,year (-/年)
トリス (2,4-ジ- <i>t</i> - ブチルフェニ ル) ホスファイ ト				4×10^{-8}	4×10^{-12}
3,3'-チオジプロ ピオン酸ジドデ シル (DLTDP)				4×10^{-4}	4×10^{-8}

11 ※放散速度から排出係数への換算の際には、放散速度実測時の板厚 0.5mm、樹脂比重 1.23 (塩ビ) を使用した。

12 主要な物質の一つである BHT については他物質よりも蒸気圧が大きく、樹脂内での拡散が律速と考えられるので、
13 ここでは省略した。

14

15 (4) 紫外線吸収剤

16 ①放散速度実測値は存在しない。

17 ②加熱減量データは存在しない。

18 ③塩ビ樹脂中の TCP の放散速度実測データを基準として、蒸気圧比例、分子量反比例で各物質の
19 放散速度を求めた。

1
2
3

表 4.8 酸化防止剤の排出係数

物質	①実測データ		②加熱減量データに もとづく	③物性データにもとづく	
	<i>Rair</i> (μg/m ² /hr)	<i>Fair,year</i> (-/年)	<i>Fair,year</i> (-/年)	<i>Rair</i> (μg/m ² /hr)	<i>Fair,year</i> (-/年)
2-(2-ヒドロキシ -5-メチルフェニ ル)-2H-ベンゾト リアゾール (Tinuvin P)				0.17	2×10 ⁻⁵
2,4-ジヒドロキ シベンゾフェノ ン				0.32	4×10 ⁻⁵
セバシン酸ビス (2,2,6,6-テトラ メチル-4-ピペリ ジニル)				4×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁸

4 ※放散速度から排出係数への換算の際には、放散速度実測時の板厚 0.5mm、樹脂比重 1.23（塩ビ）を使用した。

5

6 (5) 塩ビ安定剤

7 ①放散速度実測値は存在しない。

8 ②加熱減量データは存在しない。

9 ③塩ビ樹脂中の TCP の放散速度実測データを基準として、蒸気圧比例、分子量反比例で各物質の
10 放散速度を求めた。

11

12

表 4.9 塩ビ安定剤の排出係数

物質	① 実測データ		②加熱減量データに もとづく	③物性データにもとづく	
	<i>Rair</i> (μg/m ² /hr)	<i>Fair,year</i> (-/年)	<i>Fair,year</i> (-/年)	<i>Rair</i> (μg/m ² /hr)	<i>Fair,year</i> (-/年)
ビスステアリン 酸鉛				1×10 ⁻⁶	6×10 ⁻¹¹
ステアリン酸亜 鉛				7×10 ⁻⁸	3×10 ⁻¹²

ビスステアリン 酸バリウム				2×10^{-6}	7×10^{-11}
ビス(チオグリコ ール酸イソオク チル)ジメチルス ズ				0.37	1×10^{-5}

1 ※放散速度から排出係数への換算の際には、放散速度実測時の板厚 0.5mm，樹脂比重 1.23（塩ビ）を使用した。

2

3

1 5. マテリアルフロー解析

2 本章では、プラスチック添加剤の国内需要量の経年変化から各年の市中ストック量を求める方
3 法を示す。そして、用途ごとの寿命設定の一覧を示す。さらに、難燃剤で市中ストックの計算例
4 を示す。

5

6 5.1 市中ストック量の推定方法

7 プラスチック添加剤のほとんどは最終製品中のプラスチック部品に含有された状態で流通し、
8 その製品の寿命期間中は市中にストックされ、その後製品と同時に廃棄される。最終製品中のプ
9 ラスチック添加剤の市中ストック量は 5-1 式のように算出することができる。

10
$$S(y) = \int_{y'=0}^y I(y') \times (1 - W(n)) dy' \quad (5-1)$$

11 ここで $S(y)$ はプラスチック添加剤の市中ストック量、 y は計算対象年、 $W(n)$ は廃棄率を示す関数、
12 $n (= y - y')$ は最終製品の出荷時点からの年数、 $I(y')$ は出荷年 y' の最終製品に含有する難燃剤の量で
13 ある。

14 耐久消費財の寿命を分析する際に、累積使用年数分布としてワイブル分布が一般的に良く使用さ
15 れる。そこで、 $W(n)$ はワイブル分布を用いて 5-2 式で示される。

16
$$W(n) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{n}{b}\right)^a\right\} \quad (5-2)$$

17 ここで、 a と b はワイブル分布のパラメータである。最終製品全体の 90% が耐用年数の範囲内で
18 廃棄されるものとして、パラメータ a 、 b を求めることができる。

19

20 5.2 最終製品の耐用年数設定

21 本節では、ワイブル分布のパラメータ決定に必要な最終製品の耐用年数を検討するため、既存
22 の文献に報告された品目別の耐用年数をまとめた。

23 包装用フィルム・シートで 2 年以下、屋根材で 20 年以上、自動車や家具で 10~20 年、事務用
24 品で 2 年以下、床材や壁紙で 2~10 年、医療用では 2 年以下の報告がある (表 5.1 参照)。

25

26 表 5.1 European Commission DGXI.E.3(2000)の報告書での耐用年数

	製品例	製品寿命
短期	包装, 医療用, 事務用品	<2 年
中期	壁紙, 床材, 履物	2~10 年
長期	床材, 電線/ケーブル, 家具, 自動車	10~20 年
超長期	パイプ窓枠, ケーブル, 屋根材	>20 年

27

1 DEHP の EU 評価書 (EURAR 2008) においては、屋内用途と屋外用途に製品が分類され、表
 2 5.2 に示すような各種ポリマーと非ポリマー製品について耐用年数が報告されている。

3

4 表 5.2 DEHP を含む製品の耐用年数 (EURAR 2008)

	用途	耐用年数				
		ECPI ¹⁾	INDUSTRY 社 ²⁾	Miljö-styrelsen ³⁾	その他	EU 評価書
屋内用途	被覆製品	7	—	—	—	7
	フィルム・シート	7	—	1~5 ⁴⁾	—	7
	ホース・ガスケット	10 ⁵⁾	—	1~10	—	10
	床材	10	—	—	20 ⁶⁾	20
	シーラント・接着剤	—	—	—	—	20
	ケーブル	30	—	30~50	—	30
	ラッカー・塗料	—	—	—	—	7
	印刷インク	—	—	—	—	1
屋外用途	屋根材	—	20	—	—	20
	屋根材(コイル被膜)	—	10	—	—	10
	ケーブル	—	10~30	30~50	—	30
	被覆織物	—	10	—	—	10
	ホース・ガスケット	—	10	—	—	10
	自動車の下地塗装	—	12	16	—	12
	靴底	—	5	—	—	5
	シーラント・接着剤	—	—	—	—	20
	ラッカー・塗料	—	—	—	—	7

1) European Council for Plasticisers and Intermediates 1996

2) INDUSTRY 社 1999

3) Miljöstyrelsen 1996(デンマーク)

4) 塩ビ製フォイル

5) 床材と同じと仮定

6) 推定平均値;Tarkett 1999

5

6 中井ら (2000) によると、建築用途で 38.7 年、土木用途 (塩化ビニル管) で 50 年、電線被膜
 7 で 9.1~38.7 年、農業用途は非耐久消費財とするものが多い。また、自動車用途は、7.15~12.74
 8 年、家電製品用途は 8.7~12.85 年、医療、容器包装、日用品は非耐久消費財とされた。(表 5.3 参

1 照)

2

3 表 5.3 中井ら (2000) が報告している耐用年数

用途	品目	耐用年数
1 建築		38.7
2 土木(塩化ビニル管)		50.0
3 電線被覆	3.1 巻線	9.18
	3.2 電気機器用電線	9.18
	3.3 輸送機器用電線	9.1
	3.4 電力・通信ケーブル	20.0
	3.5 その他絶縁電線	38.7
4 農業	4.1 ハウス用フィルム	2.5
	4.2 トンネル用フィルム	非耐久消費財
	4.3 マルチ用フィルム	非耐久消費財
	4.4 その他農業用資材	非耐久消費財
5 自動車	5.1 乗用車	9.9
	5.2 トラック	10.02
	5.3 バス	12.74
	5.4 二輪自動車	7.15
6 家電	6.1 カラーテレビ	10.15
	6.2 電気冷蔵庫	11.85
	6.3 電気洗濯機	8.7
	6.4 電気掃除機	8.7
	6.5 ルームエアコン	12.85
	6.6 その他家電	9.18
7 医療		非耐久消費財
8 容器包装		非耐久消費財
9 日用品		非耐久消費財

4

5 フタル酸エステル類リスク評価管理研究会の聞き取り調査 (2003) によると、フィルム・シー

6 トの様々な形態について1~20年, レザーで5~20年, 車両で10~20年, 家電製品, 鋼鉄製品で

7 10~20年, 雑貨で10~20年, タイルなど床材で5~20年, 壁紙5~20年, 建材10~20年, 緩衝

8 包装材料0.5~3年, ホース3~10年, 医療器具3~5年(手袋は使い捨て)と報告されている。(表

9 5.4 参照)

表 5.4 フタル酸エステル類リスク評価管理研究会の聞き取り調査による耐用年数

業界名称	フタル酸エステル類が使用される製品	製品耐用年数(年)
合成樹脂工業協会	フィルム, シート, 可塑剤, 硬化剤, ウレタン樹脂, エマルジョン樹脂, フェノール樹脂	1~10
日本ビニル工業会	一般フィルム	1~15
	農業用フィルム	2
	レザー	5~20
	コンパウンド	5~20
	壁紙	5~20
	その他	0.3~25
日本ゴム履物協会	塩ビインジェクションブーツ, 塩ビインジェクション布靴, サンドル, 靴底	0.5~5
日本ビニルホース工業会	ホース(ガーデン用, 農業用, 工業用), パッキン用コンパウンド	3~10
日本ゴムビニル手袋工業会	ビニル手袋(医療用, 食品業務用, 一般用)	1~3 (医療用は使い捨て)
発泡スチレン工業会	緩衝包装材料	0.5~3
ウレタン原料工業会	土木, 建築用ウレタン樹脂, 土木用シーリング材, バインダー, 家電用絶縁材, 塗料用ウレタン樹脂, ウレタンエラストマー	10~20
日本プラスチック工業共同組合(関東)	プラスチックカバー, 波板	5
日本玩具プラスチック工業協同組合	ビニルボール, ビーチ浮き輪, 小型プール, フロート, 人形	2~6
日本空気入ビニール工業組合	小型プール, 浮き輪, ビーチボール, サーフ, フロートボート, 人形	2~6
日本電線工業会	電線ケーブル絶縁シース材, 電線, シール材	10~30
印刷インキ工業会	グラビアインキ, 建材用インキ, 電線被膜材用, 粘着材用, インクジェットシート用, プリント配線板用	10~20
日本塗料工業会	建設現場塗装用(ビニル樹脂, 塩化ゴム系, エマルジョンペイント(水系))	10 (ユーザーによっては3~5)
インテリアフロア工業会	塩ビシート床材, 塩ビタイル, クッションフロア	5~20 (ファッション性のもの5年)
日本カーペット工業組合	タイルカーペット	5~10
樹脂化粧鋼板会	建材:外装, 内装, 家電製品, 鋼製家具, 車両, 雑貨	10~20
合成高分子ルーフィング工業会	リベットルーフ, 防水シート	15~20
日本医療器材工業会	人工腎臓・心肺用血液回路, 輸液セット, チューブ, 採決器具, 血液バッグ, 手袋	3~5 (使い捨てが大半)

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

以上の既報例や業界団体へのヒアリングなどを考慮して、本書では表 5.5 に示すような耐用年数を設定した。

表 5.5 本 ESD における最終製品の耐用年数

調査品目	耐用年数(年)
フィルム・シート	1～5
板	5～20
合成皮革	5～10
パイプ・継手	10～50
機械器具部品, 電気電子製品	5～15
日用品・雑貨	1～5
容器	1
建材	5～20
発泡製品	1～20
強化製品(機械器具部品を除く)	5～20
その他	1～10

5.3 市中ストックの計算例

難燃剤の decaBDE の日本国内需要量にもとづいて、寿命関数を使用して 1977 年から 2020 年までの各年の市中ストック量を推定した。国内需要量については、1986～2005 年は化学工業日報の報告値を用いた。1985 年以前については、報告値にもとづき需要量推移を指数関数にあてはめて推定した(東海ら 2008)。2006 年以降は、2005 年の状況が継続すると仮定し、2020 年までの需要量を設定した。

decaBDE の用途には樹脂と繊維があるため、上記の需要量の中で樹脂分を抽出した。まず、2005 年時点で樹脂：繊維＝6：4(東海ら 2008)とし、2005 年の全需要量は 1,800t であることから、樹脂用途 1,080t、繊維用途 720t と設定した。次に、1986～2005 年までは、繊維用途の需要量は一定であると仮定して需要量 720t が継続し、繊維用途を除いた残りを樹脂用途にあてはめた。1985 年以前は不明な点が多いため、1985 年時点での国内需要量全体に対して繊維用途 720t が 24%を占めることから、1985 年以前は国内需要量全体の 76%が樹脂用途として推移すると仮定した。以上の条件における decaBDE の国内需要量推移を図 5.1 に示す。

国内需要量データを用いて製品からの排出量を考慮する上で、国内で生産される製品だけでなく、最終製品の輸出入量も考慮する必要がある。そこで、decaBDE が主に使用される家電製品の

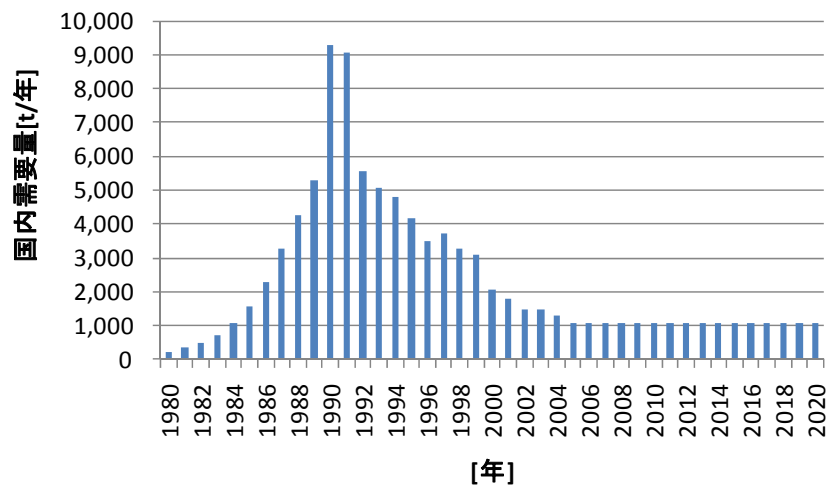
1 国内需要量を国内生産量で除した比率（図 5.2 参照）より，輸出入量を考慮した国内最終需要量
2 を推定した。

3 上記の国内最終需要量データをもとに，decaBDE の樹脂と繊維の用途別に耐用年数を考慮して，
4 5.1 節で述べたワイブル分布式を用いて市中ストック量を推定した。その際に，最終製品全体の
5 90%が耐用年数の範囲内で廃棄されるものとして，パラメータ a と b を設定した。需要量最終製
6 品の耐用年数とワイブル分布のパラメータについて表 5.6 に示す。また，市中ストック量の計算
7 結果を図 5.3 に示す。

8 その結果，1990 年前後が decaBDE 国内需要量のピークであるのに対して，市中ストック量は
9 数年遅れて 1998 年頃に約 5 万 t と最大となるが，近年は国内需要量の低減により市中ストック量
10 も低減している状況が明らかとなった。

11 ある年における化学物質のリスク評価を行う際には，上記の解析方法から求めた市中ストック
12 量に排出係数を乗算することで，その年の市中ストックからの化学物質の排出量を計算すること
13 ができる。市中ストックとしての期間が長いために市中ストックからの排出割合の大きいプラス
14 チック添加剤では，特に重要な解析である。

15

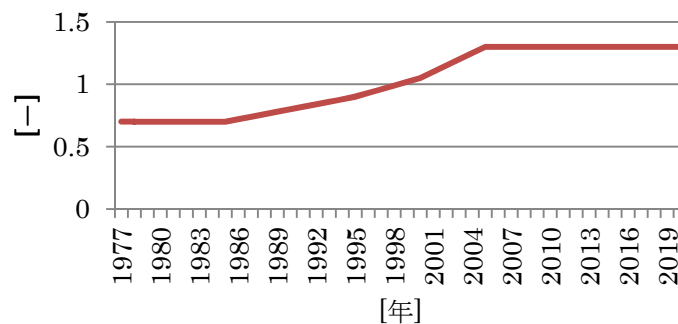


16

17

図 5.1 decaBDE の国内需要量推移

18



19

20

図 5.2 家電製品の国内需要量と国内出荷量の比率

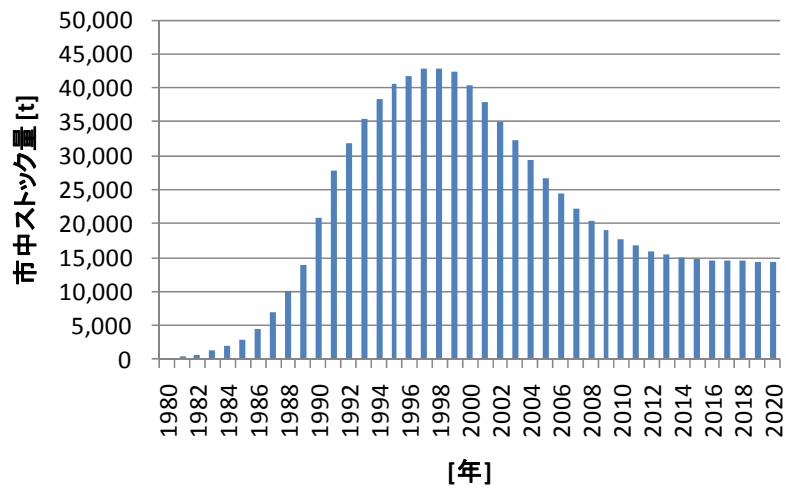
1

2

表 5.6 最終製品（筐体, その他の電気・電子機器類）の耐用年数とワイブル分布のパラメータ

パラメータ	数値
耐用年数期間[year]	5~15
a [-]	3.70
b [-]	11.2

3



4

5

図 5.3 decaBDE の市中ストック量推定結果

6

7

1 6. 排出シナリオと排出量推定

2 本書では、室内における最終製品からの大気排出を主に扱う。まず排出量の推定方法を式とし
3 て提示する。次に、推定式のパラメータについてそれぞれ説明する。さらに、難燃剤で排出量推
4 定の例を示す。

5

6 6.1 排出量推定方法

7 室内で使用されるプラスチックを含む製品は長期の使用期間をもつものが多い。また、プラス
8 チックからのプラスチック添加剤の排出速度はきわめて小さく、長期間に渡ってほぼ同じ速度で
9 排出すると考えられる。そこで、ある年における室内における最終製品からのプラスチック添加
10 剤の総排出量は 6-1 式に従う。

11
$$E_{air, year}(y) = Stock(y) \times \frac{10^{-3}}{cdt} \times T_{product} \times 365 \times R_{air}$$
 (6-1 式)

12 ここで、 $E_{air}(y)$ は計算対象年 y のプラスチック添加剤の年間大気排出量 (kg/年)、 $Stock(y)$ は計算
13 対象年 y の市中ストック量 (ton)、 d はプラスチック密度 (g/cm^3)、 t はプラスチック板厚 (mm)、
14 C_0 はプラスチックに含まれる添加剤の初期濃度 (wt%)、 R_{air} はプラスチック添加剤の放散速度
15 ($\mu g/m^2/hr$)、 $T_{product}$ は設定した排出係数における一日の製品使用時間 (hr/day) である。

16 あるいは、4章で換算した排出係数 $F_{air, year}$ (-/年) を用いると、6-2 式になる。

17
$$E_{air, year}(y) = Stock(y) \times 10^{-3} \times F_{air, year}$$
 (6-2 式)

18 上記のパラメータの中で、市中ストック量の計算および排出係数については前章までで解説し
19 ている。ここでは、プラスチックの密度、板厚と製品使用時間について、具体的なデータを以下
20 に整理する。

21

22 6.2 プラスチックの密度

23 複数の文献をもとに、表 6.1 に示すように各プラスチックの代表値を整理した。ある化学物質
24 の排出量を推定式から求める際には、その物質が使用される代表的なプラスチックの密度を設定
25 すればよい。

26

27

28

29

30

31

32

33

1

表 6.1 プラスチックの密度 (g/cm³)

樹脂	略称	最小値	最大値	代表値
低密度ポリエチレン	LDPE	0.91	0.97	0.92
中密度ポリエチレン	MDPE	0.926	0.94	0.93
高密度ポリエチレン	HDPE	0.92	0.97	0.96
ポリプロピレン	PP	0.9	1.33	0.9
ポリスチレン	PS	1.02	1.33	1.05
塩化ビニル樹脂	PVC	1.3	1.6	1.4
ポリ塩化ビニリデン	PVdC	1.65	1.72	1.7
ポリエチレンテレフタレート	PET	1.38	1.6	1.38
ABS 樹脂	ABS	0.99	1.36	1.07
フェノール樹脂	PF	1.21	2	1.5
メタクリル樹脂	PMMA	1.17	1.2	1.19
変性アクリル	MS	1.08	1.16	
ポリアミド	PA	1.12	1.425	1.14
ポリアセタール	POM	1.41	1.425	1.41
ポリカーボネート	PC	1.19	1.52	1.2
ポリブチレンテレフタレート	PBT	1.31	1.52	1.31
エポキシ樹脂	EP	0.75	2	1.6
ポリビニルアルコール	PVA	1.21	1.31	
スチレンアクリロニトリル共重合体	AS	1.08	1.1	
エチレン酢酸ビニル共重合体	EVA	0.92	0.95	
酢酸セルロース	CA	1.23	1.34	
ポリウレタン	PU			1.2

2

3 6.3 プラスチックの板厚

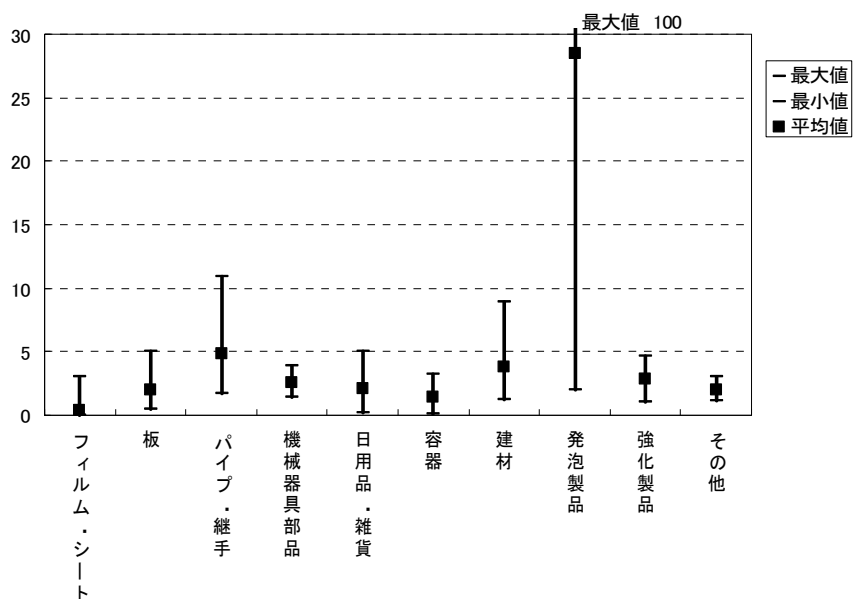
4 市販されているプラスチック製品の厚さについて調査を行った。プラスチック製品は、ホーム
5 センターなどで市販されているものや身近にある製品等を対象とし、マイクロメーター
6 (Mitutoyo 製 Digimatic Micrometer MDC-25MJ) を用いて測定を行った。品目別の検体数、
7 最小値、平均値、最大値、代表値を表 6.2 および図 6.1 に示す。この測定結果に基づき、品目ご
8 との代表値をフィルム・シート 0.5mm、板 2mm、パイプ・継ぎ手 5mm、機械器具部品 2.5mm、
9 日用品・雑貨 2mm、容器 1.5mm、建材 4mm、発泡製品 20mm、強化製品 3mm、その他 2mm
10 と設定した。

1
2

表 6.2 プラスチック製品の厚さ測定結果（単位：mm）

	N数	最小値	平均値	最大値	代表値
全体	179	0.02	5.215	100	
フィルム・シート	20	0.02	0.349	3	0.5
板	17	0.5	1.967	5	2
パイプ・継手	7	1.721	4.810	10.883	5
機械器具部品	35	1.471	2.549	3.888	2.5
日用品・雑貨	50	0.201	2.095	5	2
容器	13	0.114	1.398	3.192	1.5
建材	7	1.197	3.818	8.928	4
発泡製品	21	1.968	28.519	100	20
強化製品	4	1.06	2.848	4.697	3
その他	5	1.176	2.035	3	2

3



4

図 6.1 プラスチック製品の厚さ 品目別の測定値分布

5

6

7 6.4 製品使用時間

8 可塑剤を含む製品については、室内では基本的に常温での使用のため、温度の変化は特に考慮
 9 する必要はない。また、屋外使用においては直射日光による温度上昇が見込まれるため、日差し
 10 のある所では日中は 40℃の設定での排出量推定が必要と思われる。

1 難燃剤については、電気電子製品の使用時間によって排出量の変化が大きいと予想される。そ
 2 こで、家庭で使用される主な製品について、使用時間を表 6.3 に整理した。難燃剤の排出量を推
 3 定するときには、テレビやパソコンの使用時間平均値である約 5hr/日を使用することが良いと考
 4 えられる。

5
 6 表 6.3 居間における家電製品の使用時間に関する調査結果（単位：hr）
 7 （キッチンと居間が独立している建物で集計，NEDO 2010）

	N 数	10%ile	中央値	90%ile	平均値	SD
テレビ	262	1.5	5.0	10.0	5.4	3.7
AV 機器	181	0.5	1.0	3.0	1.6	2.1
パソコン	169	1.0	3.0	10.0	4.2	4.1
プリンター	95	0.5	0.5	1.0	0.9	2.4

8
 9

10 6.5. 排出量推定の計算例

11 6.1 節の数式を使用して難燃剤 decaBDE で排出量を推定する。

12 6-1 式を使用する場合、各パラメータは表 6.4 のように設定する。また、6-2 式を使用する場合、
 13 各パラメータは表 6.5 のように設定する。

14

15 表 6.4 decaBDE 排出量推定のためのパラメーター一覧（6-1 式）

パラメータ	数値	単位	備考
市中ストック量 $Stock(y)$	各年のデータ	t	5 章参照
プラスチック密度 d	1.05	g/cm ³	ポリスチレン
プラスチック板厚 t	2.5	mm	機械器具部品
添加剤の初期濃度 C_0	16	wt%	3 章の放散試験の際 のデータ
製品使用時間 $T_{product}$	5	hr/day	テレビ、パソコン等 の平均値
放散速度 R_{air}	0.03	μg/m ² /hr	3 章の実測値（検出 値）

16

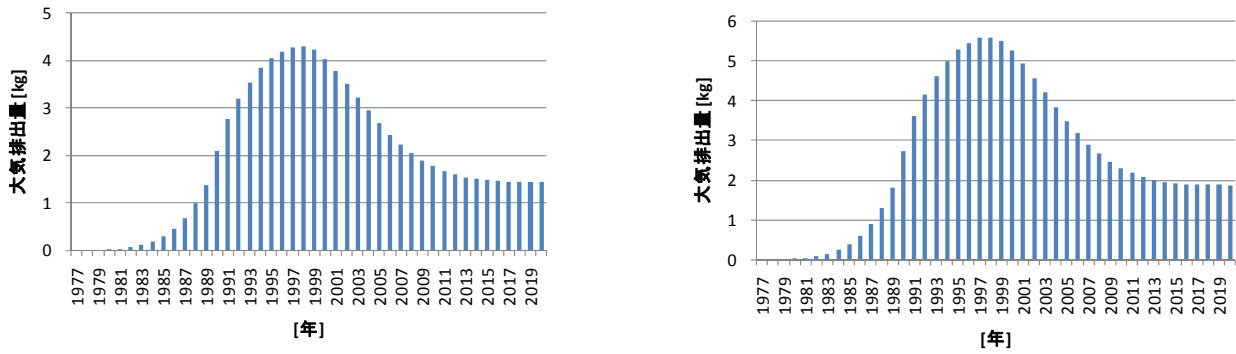
17 表 6.5 decaBDE の排出量推定のためのパラメーター一覧（6-2 式）

パラメータ	数値	単位	備考
市中ストック量 $Stock(y)$	各年のデータ	t	5 章参照

排出係数 $F_{air,year}$	1×10^{-7}	-/年	4 章参照
プラスチック板厚 t	2.5	mm	機械器具部品

1
2
3
4
5

計算結果を図 6.2 に示す。両式で多少の誤差が発生しているが、推定レベルとしては問題ないと解釈できる。



13

図 6.2 市中ストックからの decaBDE の大気排出量
(左：6-1 式，右：6-2 式を使用した場合)

14
15
16
17

1 参考文献

2 ECB (2003a) European Union Risk Assessment Report , di-“isononyl” phthalate (DINP). European
3 Chemicals Bureau., 1-288pp.

4 ECB (2003b) European Union Risk Assessment Report , di-“isodecyl” phthalate (DIDP). European
5 Chemicals Bureau., 1-222pp.

6 ECB (2008) European Union Risk Assessment Report , bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) . European
7 Chemicals Bureau., 1-574pp.

8 ENVIRON (1988) Indoor DEHP air concentrations predicted after DEHP volatilizes from vinyl products,
9 Chemical Manufacturers Association, ENVIRON Corporation.

10 ISO (2011) Determination of the emission of semi-volatile organic compounds by building products –
11 Micro-chamber method. International standard, ISO 16000-25, 1-23pp.

12 OECD (2004) Emission Scenario Document on Plastics Additives. OECD Series on Emission Scenario
13 Documents Number 3, Paris, 1-125pp.

14 OECD (2008) Emission Scenario Document on Plastics Additives (Revised December 2008). OECD
15 Series on Emission Scenario Documents Number 3, Paris, 1-134pp.

16 Yaws, CL. (1997) Library of Physico-Chemical Property Data Handbook of Chemical Compound Data for
17 Process Safety, Gulf Publishing Company Houston Texas.

18 フタル酸エステル類リスク評価管理研究会 (2003) .中間報告書 フタル酸ビス (2-エチルヘキシル),
19 製品評価技術基盤機構, 2003年5月.

20 技術情報協会 (2008) 樹脂用添加剤のブリードアウト対策. 東京, 1-376 pp.

21 化学工業社 (1987) 増補プラスチックおよびゴム用添加剤実用便覧. 東京, 1-1482 pp.

22 森隆 (1982) 初歩のプラスチック (2007/2008年版), 三光出版社.

23 中井和彦ら (2000) 第28回環境システム研究論文発表会講演集, pp.113-120.

24 日本規格協会 (2008) 建築材料の準揮発性有機化合物 (SVOC) の放散測定方法—マイクロチャ
25 ンバー法. JIS A 1904, 東京, 1-32pp.

26 日本難燃剤協懇話会 (1995) OECDにおける特定臭素系難燃剤リスク削減への取り組みについて.

27 西沢仁, 武田邦彦監修 (2002) 難燃材料活用便覧, 難燃化の課題と実際技術, テクノネット社, pp.1-399.

28 東海明宏, 岩田光夫, 中西準子 (2008). デカブロモジフェニルエーテル 詳細リスク評価書シリーズ
29 23, 丸善株式会社.

30 吉田喜久雄, 内藤航, 中西準子 (2005) フタル酸エステル—DEHP—, 詳細リスク評価書シリー
31 ズ1. 丸善株式会社, 1-323 pp.

32

33 引用

34 身の回りのプラスチックの性質,
35 <http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koutou/kagaku/ka3/pura/pura.html>

- 1 全日本プラスチックリサイクル工業会ープラスチックについて,
- 2 http://www.jprr.biz/f03_plastic.html
- 3 樹脂加工ドットコム, <http://www.jushikakou.com/sozai.html#1>
- 4 プラスチックの加工特性ープラスチックの性質,
- 5 <http://www.nttd-es.co.jp/e-trainer/jp/mold/kiso/e-edition/step8/index8.htm>
- 6 華陽物産株式会社 トップページ>技術情報>プラスチック物性一覧表 (熱可塑性),
- 7 http://www.kayo-corp.co.jp/tech/plastic_list01.html
- 8
- 9

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23

最終製品消費段階における プラスチック添加剤の排出シナリオ文書

付録

付録 1 プラスチック添加剤の物性

付録 2 蒸気圧推定

付録 3 可塑剤の放散速度推定式

1 付録1 プラスチック添加剤の物性

2 プラスチック添加剤の物性値を一覧表に示した。物性値は主に表のデータ集を調査し、これら
 3 のデータ集に記載の無いものは、web を調査してデータを収集した。環境中での分布を推算する
 4 上で必須のデータである水溶解度、蒸気圧、分配係数(logKow)、ヘンリー定数は、推定値も可能
 5 な限り掲載した。プラスチック添加剤は可塑剤・酸化防止剤・塩ビ安定剤・光安定剤・難燃剤に
 6 わけ、それぞれを表にまとめた。

7

8

表付 1-1 物性一覧表の凡例

全般	物性値は、原則として各出典の記載どおりとし、単位の換算は行っていない。 ごく一部、華氏表示の温度のみは摂氏に換算し、()内に記載した。
分類	可塑剤・酸化防止剤等の大分類ごとに表を作成し、それぞれ、構造別に中分類を行った。 洗浄用溶媒、界面活性剤は、更に小分類を行った。
配列	各中分類または小分類ごとに、更に類似構造の物質をまとめ、炭素数の少ないものから配列した。
単位	単位は表のタイトル行に示した。 出典に記載の単位が、タイトル行に示した単位以外の場合は、単位を併せて記載した。
出典	表のデータ集の文献番号を記載した。 表のデータ集以外の出典は、各表ごとに a), b)・・・として、欄外に出典名を記載した。
EXP, EST など	これらは、PhysPro で使用されている略号で以下の意味を示す。 EXP = Experimental Data(実験値) EST = Estimated Data(推算値) EXT = Extrapolated Data(外挿値) Extrapolated data is based upon experimental measurement outside the temperature range of the reported value.
和名	原則として、CHRIP、日化辞等のデータベースを参照し、IUPAC 命名法の和訳を採用した。 一部、業界で多用されている名称を採用したものもある(塩ビ安定剤)。 IUPAC 命名法でいくつかの別名があるものは、構造の特徴が判りやすい名称を採用した。 例：フェノール系酸化防止剤 Irganox 1330 の IUPAC 名には以下のようなものがあるが、「フェノール系」であることが判りやすい①の名称を採用した。 ① 4,4',4"-[(2,4,6-トリメチルベンゼン-1,3,5-トリイル)トリス(メチレン)]トリス(2,6-ジ-tert-ブチルフェノール) ② 1,3,5-トリメチル-2,4,6-トリス (3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンジル)ベンゼン ③ 2,4,6-トリス(4-ヒドロキシ-3,5-ジ-tert-ブチルベンジル)メシチレン
英名	CAS の命名法を採用した
略号	一般に用いられている略語または代表的な商品名を記載した。
CAS_NO	—
化管法 NO	化管法見直し前の指定物質番号を示した。一部、()内に見直し後の番号を記載した。
状態	—
分子式	—
分子量	出典が 15) MCTR のものは、弊社で分子量を計算したものである。
融点	昇華、分解点(dec)、凝固点(fp)、軟化点、流動点(pour pt)などの値もある。

沸点	圧力が示されているものは()内に記載した. この場合, mmHg 単位の場合は, 数値のみ記載し, それ以外の単位の場合は単位も併せて記載した.
密度/比重	密度は g/mL 単位, 比重は無単位である. 温度の欄に単一の数値が記載されているものは密度であり, 20/4 のように記載されているものは比重である. 比重の場合, 前の数値 (20)はある物質の温度, 後の数値(4)は水の温度を示している. 比重とは, ある温度(この場合 20℃)における物質の質量と, 同体積のある温度(この場合 4℃)の水の質量との比である(水=1).
水溶解度	出典により各種の単位が用いられているため, 単位を併せて記載した.
log Kow	—
蒸気圧	出典の欄に ★印を付したものは, 「蒸気圧推算」の節に推算式, 係数を示した.
蒸気密度	特に記載がない限り, 空気を 1 とした場合の比重である.
ヘンリー定数	—
引火点	測定方法が判明している場合は, ()内に記載した. C.C. : closed cup 法, O.C. : オープンカップ法, C.O.C : クリーブランドオープンカップ式
発火点	—
爆発限界	—

1
2

表付 1-2 出典リスト

番号	略称	名称
1)	Mer c k	The Mer c k Index 14th Ed. (2006)
2)	CRC	CRC Handbook of Chemistry and Physics 88th Ed. 2007-2008
3)	PhysProp	SRP PhysProp Database (web)
4)	IUCLID	ECB : International Uniform Chemical Information Database
5)	ICSC	WHO/IPCS : International Chemical Safety Cards
6)	Yaws	C.L.Yaws : Handbook of Chemical Compound Data for Process Safety (1997)
7)	化学商品	化学工業日報社 : 15107 の化学商品 (2007)
8)	Aldrich	アルドリッチ試薬カタログ(2007-2008)
9)	HSDB	Hazardous Substances Data Bank (HSDB)
10)	Hawley	Lewis : Hawley's Condensed Chemical Dictionary 14th Ed. (2001)
11)	Beilstein	Beilstein Handbook of Organic Chemistry
12)	Gower	Gower
13)	Hansch	Hansch, Leo and Hoekman : Exploring QSAR-Hydrophobic, Electronic and Steric Constants (American Chemical Society ; 1995)
14)	Yalkowsky	S. H. Yalkowsky, Y.He : Handbook of Aqueous Solubility Data (2003)
15)	MCTR	(株)三菱化学テクノリサーチ
16)	化学大辞典	化学大辞典 (東京化学同人 ; 1989)
17)	ファクトシート	環境省 化学物質ファクトシート
18)	配合薬品	ゴム・プラスチック配合薬品
19)	初期リスク	(独)製品評価技術基盤機構(NITE) : 化学物質の初期リスク評価書
20)	ハザードシート	(財)化学物質評価研究機構(CERI) : 化学物質安全性(ハザード)データ集
21)	有機化合物辞典	有機合成化学協会 : 有機化合物辞典 (1985)

22)	SciFinder	SciFinder(web)
23)	ECB	ECB
24)	ACROS	ACROS-web (アクロス-MSDS)
25)	Sigma-Aldrich MSDS	Sigma-Aldrich MSDS(CD-R)
26)	NITE_CHRIP	(独)製品評価技術基盤機構(NITE) : CHRIP(web)
27)	日化辞 Web	(独)科学技術振興機構 : 日本化学辞書 web

1

2 本物性表に関連した単位の換算方法を以下に記載した。

3

4

表付 1-3 圧力の換算方法

① 換算前の 単位	② 換算後の 単位	③ ①の単位を②に換算する係数	適用例
atm	Pa	101,325 (101,325)	1.2atm=1.2×101,325=121,590Pa
bar		100,000 (10 ⁵)	1.1bar=1.1×100,000=110,000Pa
kgf/cm ²		98,069 (101,325÷1.0332)	0.98kgf/cm ² =0.98×98,069=96,108Pa
mmHg		133.32 (101,325÷760)	765mmHg=765×133.32=101,990Pa

5 (環境省 : PRTR 排出量等算出マニュアル より

6 http://www2.env.go.jp/chemi/prtr/prtr/html/manual/frame_0304.htm)

7

8 温度については、以下の方法とした。

9 F (華氏温度) → C (摂氏温度) への変換

10 C (摂氏温度) = (華氏温度 - 32) × 5 / 9

表付 1-4 可塑剤の物性データ一覧

和名	英名	略号	CAS_NO	化管 法 NO	状態		分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点		発火点		爆発限界		和名				
					[-]	出典		[-]	出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³]	温度 [°C]	出典	[g/L mg/L g/100ml]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[atm- m ³ /mole]	温度 [°C]	出典	[°C]	出典		[°C]	出典	[vol%]	出典
フタル酸ジメチル	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester	DMP	131-11-3		oily liquid	1)	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194.18	1)	5.5	1)	283.7	1)	1.1940	20/20	1)	0.43 g/100 ml	1)	1.6 (EXP)	3)	0.00308 (EXP)	25	3)	6.69 (air=1)	1)	1.97E-07 (EST)	25	3)	146 (C.C)	1)	490	5)	0.9-5.8	6)	フタル酸ジメチル	
フタル酸ジエチル	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester	DEP	84-66-2		colorless, oily liq.	1)	C ₁₄ H ₁₄ O ₄	222.24	1)	-40.5	2)	295	1)	1.232	14/4	1)	1 g/L	20	14)	2.42 (EXP)	3)	0.0021 (EXP)	25	3)	7.7 (air=1)	5)	6.10E-07 (EST)	25	3)	140 (C.C)	1)	457	5)	0.7-5.3	6)	フタル酸ジエチル
フタル酸ジ-n-ブチル	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester	DBP	84-74-2		liquid	1)	C ₁₈ H ₂₂ O ₄	278.34	1)	-35	4)	340	1)	1.0459	20	1)	about 0.4 g/L	1)	4.57 (EXP)	4)	1.20E-04 (EXP)	20	4)	*	1.81E-06 (EXP)	23	3)	ca.160	4)	390	4)	0.5-?	6)	フタル酸ジ-n-ブチル		
フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	DOP DEHP	117-81-7		liquid	2)	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	390.56	2)	-47	1)	386	1)	0.986	20/20	1)	0.27 mg/L 注)	25	3)	7.6 (EXP)	3)	1.42E-07 (EXP)	25	3)	13.45 (air=1)	1)	2.70E-07 (EST)	25	3)	206	1)	350	5)		6)	フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)
フタル酸ジイソノニル	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisononyl ester	DINP	28553-12-0		liquid	1)	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	418.61	1)	-48	1)	252 (5)	1)	0.972	20/20	1)	0.2 mg/L 注) 3.08E-04 mg/L	20	3)	9.37 (EST)	3)	5.40E-07 (EXP)	25	3)	*	1.49E-06 (EST)	25	3)	213 (C.C)	1)					6)	フタル酸ジイソノニル
フタル酸ジイソデシル	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisodecyl ester	DIDP	26761-40-0		liquid	2)	C ₂₈ H ₄₆ O ₄	446.66	2)	-50	2)	253 (4)	2)	0.966	20	2)	0.28 mg/L 注)	25	3)	10.36 (EST)	3)	5.29E-07 (EXP)	25	3)	*	1.11E-06 (EST)	25	3)	450F (232)	6)	755F (402)	6)	0.3-?	6)	フタル酸ジイソデシル	
フタル酸ブチルベンジル	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl phenylmethyl ester	BBP	85-68-7		liquid	2)	C ₁₈ H ₂₀ O ₄	312.36	2)	-35	d)	370	2)	1.119	25	2)	2.69 mg/L	25	3)	4.73 (EXP)	3)	8.25E-06 (EXP)	25	3)	10.8 (air=1)	5)	1.26E-06 (EST)	25	3)	213 (C.C)	7)	425	5)		6)	フタル酸ブチルベンジル
アジピン酸系	アジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)	DOA EDHA	103-23-1		colorless to yellow liquid	5)	C ₂₂ H ₃₄ O ₄	370.50	5)	-67.8	2)	210-218 (7hPa)	4)	0.924	20	4)	3 mg/L	25	14)	6.11 (EST)	3)	8.50E-07 (EXP)	20	3)	12.8	5)	4.34E-07 (EXP)	20	3)	181 (O.C)	5)	395	5)		6)	アジピン酸ジ(2-エチルヘキシル)
リン酸系	リン酸トリ-n-ブチル	TBP	126-73-8		colorless liquid	1)	C ₁₂ H ₂₇ O ₆ P	266.31	1)	<-80	1)	289 with dec	1)	0.9727	25	2)	0.4 g/L	20	4)	4.00 (EXP)	3)	0.00113 (EXP)	25	3)	9.2 (air=1)	8)	1.41E-06 (EST)	25	3)	146	1)	410	8)		6)	リン酸トリ-n-ブチル

a) EPA.web84-74-2
 b) EPA.web117-81-7
 c) EPA.web28553-12-0
 d) Chemosphere.Vol.35.667(1997)
 e) EU Risk Assessment Report Vol 80
 f) EU Risk Assessment Report Vol 35
 g) EU Risk Assessment Report Vol 36
 h) EU Risk Assessment Report Vol 36
 e)~g)は、物理化学性状に関して多くの文献を検討し、
 妥当と考えられる値をリスク評価に採用している

注) DEHP, DINP, DIDP は、安定なエマルションまたは
 コロイド状分散液を形成し、見かけ上、大きな溶解度を
 示すことがある e), f), g)

表付 1-5 塩ビ安定剤の物性データ一覧

塩ビ安定剤 (1/2)

和名	英名	略号	CAS NO	化管法 NO	状態	出典	分子式	分子量	融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点	発火点	燃発限界	和名	
									出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³]	温度 [°C]	出典	[g/L]	温度 [°C]	出典	[°C]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典					[g/m ³ /mole]
ケイ酸鉛	Silicic acid (H2SiO3), lead(2+) salt (1:1)		10099-76-0	1-230	white powder		PbSiO ₃	283.30	2)	764			6.49	2)	insol	2)													ケイ酸鉛
三塩基性硫酸鉛	Lead oxide sulfate (Pb4O3(SO4))		12202-17-4	1-230	fine white powder	12)	3PbO·PbSO ₄ ·H ₂ O	990.88	15)	> 350	4)		ca. 5.6	20	4)	0.01 g/L	23	4)											三塩基性硫酸鉛
二塩基性亜硫酸鉛	Sulfurous acid, lead(2+) salt, basic		90583-37-2	1-230	白色粉末	a)	2PbO·PbSO ₄ ·0.5H ₂ O	710.60	15)	322 (分解)	a)					不溶	a)												二塩基性亜硫酸鉛
ビスステアリン酸鉛	Octadecanoic acid, lead(2+) salt		1072-35-1	1-230	white powder	12)	Pb(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	774.00	16)	~125	1)		1.4	20	2)	insol	1)	15.64 (EST)	3)	7.16E-14 (EST)	25	3)							ビスステアリン酸鉛
二塩基性ステアリン酸鉛	Lead, bis(octadecanoato)dioxido-		56189-09-4	1-230	白色粉末	21)	C ₃₆ H ₇₀ O ₄ Pb ₂	1013.35	21)	280-300 (分解)	21)		1.9	12)	殆ど不溶	21)													二塩基性ステアリン酸鉛
フタル酸鉛	1,2-Benzenedicarboxylic acid, lead(2+) salt (1:1)		6838-85-3				C ₈ H ₄ O ₄ Pb																						フタル酸鉛
二塩基性フタル酸鉛	Lead, 1,2-benzenedicarboxylato(2-)dioxido-		57142-78-6	1-230	白色粉末	10)	C ₈ H ₄ (COO) ₂ Pb·PbO	594.52	15)				4.5	10)	insol	10)													二塩基性フタル酸鉛
二塩基性亜リン酸鉛	Lead oxide phosphonate (Pb3O2(HPO3)), hydrate (2:1)		1344-40-7	1-230	white crystals	10)	2PbO·PbHPO3·0.5H2O	742.59	15)				6.94	10)	insol	10)													二塩基性亜リン酸鉛
硫酸バリウム	Sulfuric acid, barium salt (1:1)		7727-43-7	1-243	powder	1)	BaSO ₄	233.39	2)	1580 (分解)	2)	2)	4.25-4.5	1)	2.22 mg/L	18	9)												硫酸バリウム
ホウ酸バリウム	Boric acid (HBO ₃), barium salt		13701-59-2	1-243	white powder	12)	Ba(OB ₂ O ₃) ₂ ·H ₂ O			1000	12)				3-4 g/L	12)													ホウ酸バリウム
ビスラウリン酸バリウム	Dodecanoic acid, barium salt		4696-57-5	1-243	白色微粉末	18)	Ba(C ₁₂ H ₂₃ O ₂) ₂	535.97	12)	260	12)				insol	12)													ビスラウリン酸バリウム
ビスステアリン酸バリウム	Octadecanoic acid, barium salt		6865-35-6	1-243	白色微粉末	18)	Ba(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	704.32	16)	160-225	4)	661.1 (calc)	1.145	12)	ca. 3.5 mg/L	20	4)	15.14	4)	7.52E-14 (calc)	25	4)							ビスステアリン酸バリウム
ビスオレイン酸バリウム	9-Octadecenoic acid (Z)-, barium salt		591-65-1	1-243			Ba(C ₁₈ H ₃₃ O ₂) ₂	700.25		350 (decomp)	11)																		ビスオレイン酸バリウム
ビスリシノール酸バリウム	9-Octadecenoic acid, 12-hydroxy-, barium salt (2:1), [R-(Z)]-		4722-99-0				Ba(C ₁₈ H ₃₃ O ₂) ₂																						ビスリシノール酸バリウム
ビスラウリン酸亜鉛	Dodecanoic acid, zinc salt		2452-01-9	1-1	white powder	10)	Zn(C ₁₂ H ₂₃ O ₂) ₂	464.02	10)	128	10)				0.01 g/100mL	15	2)												ビスラウリン酸亜鉛
ステアリン酸亜鉛	Octadecanoic acid, zinc salt		557-05-1	1-1	powder	1)	Zn(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	632.45	1)	about 120	1)		1.1	5)	0.9 mg/L	20	4)	1.2	5)	2.71E-15 (EST)	25	3)			277 (O.G)	5)	420	5)	ステアリン酸亜鉛
ビス(2-エチルヘキサノール)亜鉛	Hexanoic acid, 2-ethyl-, zinc salt		136-53-8 (86388-28-5)	1-1	light-straw-colored liquid	10)	Zn(OOCCH ₂ C ₂ H ₅) ₂	351.80	b)		b)	Decomposes	0.85-0.90	b)	insoluble	10)													ビス(2-エチルヘキサノール)亜鉛
ビスリシノール酸亜鉛	9-Octadecenoic acid, 12-hydroxy-, zinc salt (2:1), [R-(Z)]-		13040-19-2	1-1	fine white powder	10)	Zn(C ₁₈ H ₃₃ O ₂) ₂	660.30	15)	92-95	10)		1.10	25/25	10)	insoluble	d)							>250	d)	approx. 440	d)	ビスリシノール酸亜鉛	
コハク酸亜鉛	Butanedioic acid, zinc salt (1:1)		6228-53-1	1-1	white powder		C ₄ H ₄ O ₂ Zn	181.46	15)																			コハク酸亜鉛	
ビス安息香酸亜鉛	Benzoic acid, zinc salt		553-72-0	1-1	白色粉末	c)	Zn(C ₆ H ₅ COO) ₂	307.64	2)						2.55 g/100ml	15.9	e)												ビス安息香酸亜鉛
ジメチルスズクロライド	Stannane, dichlorodimethyl-		753-73-1	1-176	white powder	7)	C ₂ H ₄ Cl ₂ Sn	219.69	7)	103-105	3)	180	1.65	20	20	3)	-1.06 (EST)	3)	0.127 (EST)	25	3)			0.00968 (EST)	25	3)		ジメチルスズクロライド	
ジメチルスズオキサイド	Stannane, dimethyloxo-		2273-45-2	1-176			C ₂ H ₆ O ₂ Sn	164.76	3)						599 mg/L	25	3)	2.38 (EST)	3)	598 (EST)	25	3)						ジメチルスズオキサイド	
ジメチルビス[[[6-メチルヘプチルオキシカルボニル]メチル]チオ]スタナン	Acetic acid, 2,2'-[[dimethylstannylene]bis(thio)]bis-, diisooctyl ester		26636-01-1				C ₂₂ H ₄₄ O ₄ S ₂ Sn	555.41	3)						1.80E-05 mg/L (EST)	25	3)	8.48 (EST)	3)	1.31E-08 (EST)	25	3)							ジメチルビス[[[6-メチルヘプチルオキシカルボニル]メチル]チオ]スタナン 【ビス(オクタノール)ジメチルスズ】

【 】内は、業界で一般に使用されている呼称 (スズ化合物環境技術協議会:「有機スズ化合物について」)

- a) web 90583-37-2
- b) web 136-53-8
- c) web 553-72-0
- d) web 13040-19-2

- e) mation Monograph JPCS/WHO
- f) Engl Transl., 13, <1971>, 2544,2547, 2265
- g) locs/studies/orgnotins_3rd_report_16_sept_2005.pdf
- h) Kagaku Zasshi, 70, 1967; 1747,1748.

表付 1-5 塩ビ安定剤の物性データ一覧 (つづき)

塩ビ安定剤 (2/2)

和名	英名	略号	CAS.NO	化管法 NO	状態	分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点		発火点		爆発限界		和名		
							[g]	[mol]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[g/cm ³]	[°C]	[g/L]	[mg/L]	[°C]	[°C]	[atm-m ³ /mole]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[vol%]	[vol%]								
ジブチルスズクロライド	Stannane, dibutylchloro-		683-18-1	1-176	固体	C ₈ H ₁₆ Cl ₂ Sn	303.85	2)	43	2)	148 (12)	4)	1.36		5)	1.56 (EXP)	3)	0.0787 (EST)	25	3)		0.00305 (EST)	25	3)							ジブチルスズクロライド		
ジブチルスズオキサイド	Stannane, dibutyl-oxo-		818-08-6	1-176	white powder	C ₈ H ₁₆ O ₂ Sn	248.92	20)	210 (分解点)	5)			1.6	water=1	5)	0.673 mg/L (EST)	25	3)	5.33 (EST)	3)	1.68 (EST)	25	3)				279	5)			ジブチルスズオキサイド		
ジ酢酸ジブチルスズ	Stannane, bis(acetoxy)dibutyl-		1067-33-0	1-176	liquid	C ₁₂ H ₂₄ O ₆ Sn	351.00	12)					1.31		12)	6 mg/L	20	3)	0.81 (EST)	3)	0.00301 (EST)	25	3)		0.000558 (EST)	25	3)	143	12)			ジ酢酸ジブチルスズ	
ジラウリン酸ジブチルスズ	Stannane, dibutylbis[(1-oxododecyl)oxy]-		77-58-7	1-176	soft crystals or yellow liq.	C ₃₂ H ₆₄ O ₆ Sn	631.57	1)	22-24	1)	205 (9.75)	5)	1.1		5)	3 ppm	25	3)	3.12 (EXP)	3)	3.00E-10 (EST)	25	3)	21.8 (air=1)	5)	0.161 (EST)	25	3)	236 (7)	179 (C.C)	5)		ジラウリン酸ジブチルスズ
ビスステアリン酸ジブチルスズ	Stannane, dibutylbis[(1-oxooctadecyl)oxy]-		5847-55-2	1-176		C ₄₄ H ₈₈ O ₆ Sn	799.88	15)								5.75E-14 mg/L (EST)	25	3)	16.53 (EST)	3)	1.11E-15 (EST)	25	3)		4.83 (EST)	25	3)					ビスステアリン酸ジブチルスズ	
マレイン酸ジブチルスズ	1,3,2-Dioxastannepin-4,7-dione, 2,2-dibutyl-		78-04-6	1-176	yellow solid	C ₂₄ H ₄₀ O ₆ Sn	347.00	2)	110	2)						17.4 mg/L (EST)	25	3)	3.01 (EST)	3)	2.53E-7 (EST)	25	3)		6.15E-05 (EST)	25	3)					マレイン酸ジブチルスズ	
ビス(マレイン酸ベンジル)ジブチルスズ	2,7,9-Trioxa-8-stannatrideca-4,11-dien-13-oic acid, 8,8-dibutyl-3,6,10-trioxo-1-phenyl-, phenylmethyl ester, (Z,Z)-		7324-74-5	1-176		C ₃₀ H ₃₈ O ₆ Sn	643.31	15)																								ビス(マレイン酸ベンジル)ジブチルスズ	
2,2'-[(ジブチルスズタニリン)ビス(チオ)]ビス酢酸ジイソオクチル [ビス(チオグリコール酸イソオクチル)ジブチルスズ]	Acetic acid, 2,2'-[(dibutylstannylene)bis(thio)]bis-, diisooctyl ester		25168-24-5	1-176		C ₂₈ H ₅₆ O ₆ S ₂ Sn	639.57	3)	-30	3)						3.37E-07 mg/L (EST)	25	3)	11.43 (EST)	3)	2.34E-09 (EST)	25	3)									2,2'-[(ジブチルスズタニリン)ビス(チオ)]ビス酢酸ジイソオクチル [ビス(チオグリコール酸イソオクチル)ジブチルスズ]	
ジ-n-オクチルスズクロライド	Stannane, dichlorodioctyl-		3542-36-7	1-176		C ₁₆ H ₃₄ Cl ₂ Sn	416.05	3)	45-47	h)	175-185 (2)	h)	1.3	60	EOC	0.0261 mg/L (EST)	25	3)	5.82 (EST)	3)	5.01E-05 (EST)	25	3)		0.376 (EST)	25	3)					ジ-n-オクチルスズクロライド	
ジオクチルスズオキサイド	Stannane, dioctyl-oxo-		870-08-6	1-176		C ₁₆ H ₃₄ O ₂ Sn	361.15	15)	230	a)						0.000066 mg/L (EST)	25	3)	9.26 (EST)	3)	0.000546 (EST)	25	3)									ジオクチルスズオキサイド	
ビスラウリン酸ジオクチルスズ	Stannane, dioctylbis[(1-oxododecyl)oxy]-		3648-18-8	1-176	黄色透明液体	C ₄₀ H ₈₀ O ₆ Sn	743.77	15)	20	f)			1.019	20	7)	6.52E-12 mg/L (EST)	25	3)	14.56 (EST)	3)	3.49E-14 (EST)	25	3)		1.56 (EST)	25	3)					ビスラウリン酸ジオクチルスズ	
マレイン酸ジオクチルスズ	1,3,2-Dioxastannepin-4,7-dione, 2,2-dioctyl-		16091-18-2	1-176		C ₂₀ H ₃₈ O ₆ Sn	459.20	3)	90-105	3)						10 mg/L	3)	6.94 (EST)	3)	2.72E-10 (EST)	25	3)		0.000593 (EST)	25	3)					マレイン酸ジオクチルスズ		
ビス(マレイン酸ブチル)ジオクチルスズ	5,7,12-Trioxa-6-stannahexadeca-2,9-dienoic acid, 6,6-dioctyl-4,8,11-trioxo-, butyl ester, (Z,Z)-		29575-02-8	1-176		C ₃₂ H ₆₆ O ₆ Sn	687.49	15)								4.23E-07 mg/L (EST)	25	3)	9.37 (EST)	3)	4.05E-13 (EST)	25	3)		1.84E-08 (EST)	25	3)					ビス(マレイン酸ブチル)ジオクチルスズ	
ビス(マレイン酸-2-エチルヘキシル)ジオクチルスズ	5,7,12-Trioxa-6-stannaoctadeca-2,9-dienoic acid, 14-ethyl-6,6-dioctyl-4,8,11-trioxo-, 2-ethylhexyl ester		10039-33-5	1-176	黄色透明液体	C ₄₀ H ₇₂ O ₆ Sn	799.71	3)								4.42E-11 mg/L (EST)	25	3)	13.15 (EST)	3)	1.19E-15 (EST)	25	3)		1.77E-07 (EST)	25	3)					ビス(マレイン酸-2-エチルヘキシル)ジオクチルスズ	
2,2'-[(ジオクチルスズタニリン)ビス(チオ)]ビス酢酸 6-メチルヘプチル [ビス(チオグリコール酸イソオクチル)ジ-n-オクチルスズ]	Acetic acid, 2,2'-[(dioctylstannylene)bis(thio)]bis-, diisooctyl ester		26401-97-8	1-176	黄色透明液体	C ₃₈ H ₇₂ O ₆ S ₂ Sn	751.79	3)					1.074	20	7)	1.22E-12 mg/L (EST)	25	3)	15.35 (EST)	3)	2.42E-14 (EST)	25	3)		6.62E-11 (EST)	25	3)	243	7)			2,2'-[(ジオクチルスズタニリン)ビス(チオ)]ビス酢酸 6-メチルヘプチル [ビス(チオグリコール酸イソオクチル)ジ-n-オクチルスズ]	

a) web 90583-37-2
 b) web 136-53-8
 c) web 553-72-0
 d) web 13040-19-2

e) PIM586
 f) Minsker et al., Polym.Sci.USSR (Engl.Transl.), 13, <1971>, 2544,2547, 2265
 g) http://ec.europa.eu/enterprise/chemicals/docs/studies/organotin_3rd_report_16_sept_2005.pdf
 h) Matsuda et al., KKGZAT: Kogyo Kagaku Zasshi, 70, 1967: 1747,1748.

表付 1-6 酸化防止剤の物性データ一覧

酸化防止剤 (1/2)

和名	英名	略号	CAS_NO	化管法 NO	状態		分子式	分子量	融点 [°C]	沸点 [°C]	密度/比重		水溶解度		log Kow	蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点 [°C]	発火点 [°C]	爆発限界		和名									
					[-]	出典					[g/cm ³]	温度 [°C]	[g/L]	温度 [°C]		[mmHg]	温度 [°C]	[g/m ³]	温度 [°C]	[atm-m ³ /mole]	温度 [°C]			出典	出典		[vol%]	出典							
トピチルヒドロキシアニソール	Phenol, (1,1-dimethylethyl)-4-methoxy-	BHA	25013-16-5		wh. Solid tablets	12)	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	180.3	7)	> 57	7)	268	3)	1.020		12)	213 mg/L (EST)	25	3)	3.5 (EST)	3)	0.00248 (EST)	25	3)			1.17E-06 (EST)	25	3)	130 (C.C)	12)			ブチルヒドロキシアニソール	
2,6-ジ-tert-ブチル-p-クレゾール	Phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-	BHT	128-37-0		crystals	1)	C ₁₅ H ₂₀ O	220.4	1)	70	1)	265	1)	1.048	20/4	1)	0.6 mg/L	25	3)	5.1	3)	0.00516 (EST)	25	3)	*		4.12E-06 (EST)	25	3)	127 (O.C)	1)		0.5-4.9	6)	2,6-ジ-tert-ブチル-p-クレゾール
2,6-ジ-tert-ブチル-4-エチルフェノール	Phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-ethyl-		4130-42-1		淡黄白色粉末	7)	C ₁₈ H ₂₆ O	234.4	2)	44	2)	272	2)	1.01		7)	6.51 mg/L (EST)	25	3)	5.52	3)	0.00217 (EST)	25	3)			5.48E-06 (EST)	25	3)					2,6-ジ-tert-ブチル-4-エチルフェノール	
2,2'-メチレンビス(4-メチル-6-tert-ブチルフェノール)	Phenol, 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-		119-47-1		solid	2)	C ₂₃ H ₃₂ O ₂	340.5	1)	131	2)						0.02 mg/L	25	3)	6.25	3)	2.50E-09 (EST)	25	3)			7.90E-12 (EST)	25	3)					2,2'-メチレンビス(4-メチル-6-tert-ブチルフェノール)	
2,2'-メチレンビス(4-エチル-6-tert-ブチルフェノール)	Phenol, 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-ethyl-		88-24-4		crystals	2)	C ₂₉ H ₃₈ O ₂	368.6	2)	123	2)						0.000412 mg/L (EST)	25	3)	8.95	3)	7.59E-11 (EST)	25	3)			7.44E-11 (EST)	25	3)					2,2'-メチレンビス(4-エチル-6-tert-ブチルフェノール)	
4,4'-ブチリデンビス(3-メチル-6-tert-ブチルフェノール)	Phenol, 4,4'-butylidenebis[2-(1,1-dimethylethyl)-5-methyl-		85-60-9		白色粉末	7)	C ₂₆ H ₃₈ O ₂	382.6	7)	>208	7)			1.02		7)	0.00026 mg/L (EST)	25	3)	9.09	3)	5.26E-11 (EST)	25	3)			9.87E-11 (EST)	25	3)					4,4'-ブチリデンビス(3-メチル-6-tert-ブチルフェノール)	
4,4'-チオビス(3-メチル-6-tert-ブチルフェノール)	Phenol, 4,4'-thiobis[2-(1,1-dimethylethyl)-5-methyl-		96-69-5		crystals	2)	C ₂₂ H ₃₀ O ₂ S	358.5	2)	163	2)						0.00191 mg/L (EST)	25	3)	8.24	3)	8.59E-11 (EST)	25	3)			2.76E-12 (EST)	25	3)					4,4'-チオビス(3-メチル-6-tert-ブチルフェノール)	
4,4'-[4-(ブタン-1,1,3-トリイリ)トリス(2-tert-ブチル-5-メチルフェノール)]	Phenol, 4,4'-[4-(1-methyl-1-propanyl-3-ylidene)tris[2-(1,1-dimethylethyl)-5-methyl-	Topanol CA	1843-03-4		白色粉末	7)	C ₃₇ H ₅₂ O ₃	544.8	7)	185-188	7)						2.01E-8 mg/L (EST)	25	3)	12.7	3)	1.25E-16 (EST)	25	3)			2.36E-15 (EST)	25	3)	160	7)			1,1,3-トリリス(2-tert-ブチル-5-メチルフェノール)ブタン	
4,4'-[4-[(2,4,6-トリメチルペンゼン-1,3,5-トリイリ)トリス(メチレン)]トリス(2,6-ジ-tert-ブチルフェノール)]	Phenol, 4,4'-[4-[(2,4,6-trimethyl-1,3,5-benzenetriyl)tris(methylene)]tris[2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-	Irganox 1330	1709-70-2		白色粉末	7)	C ₅₄ H ₇₈ O ₃	775.2	3)	244	3)						1.2 mg/L	25	3)	17.17	3)	3.14E-22 (EST)	25	3)			1.71E-15 (EST)	25	3)	>240 (セタ密閉式)	7)			1,3,5-トリメチル-2,4,6-トリリス(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンゼン)ペンゼン	
3,9-ビス[1,1-ジメチル-2-β-(3-tert-ブチル-4-ヒドロキシ-5-メチルフェニル)プロピオニルオキシ]エチル 2,4,8,10-テトラオキサスピロ[5.5]ウンデカン	Benzenepropanoic acid, 3-(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-5-methyl-, 2,4,8,10-tetraoxaspiro[5.5]undecane-3,9-diybis(2,2-dimethyl-2,1-ethanediyl) ester		90498-90-1		白色粉末	7)	C ₄₈ H ₆₄ O ₁₀	741	7)	110-120	7)																							3,9-ビス[1,1-ジメチル-2-β-(3-tert-ブチル-4-ヒドロキシ-5-メチルフェニル)プロピオニルオキシ]エチル 2,4,8,10-テトラオキサスピロ[5.5]ウンデカン	
3-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオン酸オクタデシル	Benzenepropanoic acid, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-, octadecyl ester	Irganox 1076	2082-79-3		crystals	2)	C ₃₅ H ₅₂ O ₃	530.9	2)	50	2)			1.02	25	a)	6.09E-009 mg/L (EST)	25	3)	13.41	3)	3.38E-13 (EST)	25	3)			1.61E-06 (EST)	25	3)	>240 (セタ密閉式)	7)			ステアリル-β-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオネート	
ペンタエリスリチル-テトラキス[3-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオネート]	Benzenepropanoic acid, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-, 2,2-bis[[3-(3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]-1-oxopropoxy)methyl]-1,3-propanediyl ester	Irganox 1010	6683-19-8		白色粉末	7)	C ₇₃ H ₁₀₈ O ₁₂	1178	3)	116.5	3)			1.15		7)	1.37E-18 mg/L (EST)	25	3)	1.36	3)	1.16E-33 (EST)	25	3)			2.24E-28 (EST)	25	3)	240	7)			ペンタエリスリチル-テトラキス[3-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオネート]	
1,3,5-トリス(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンゼン)イソシアヌル酸	1,3,5-Triazine-2,4,6-(1H,3H,5H)-trione, 1,3,5-tris[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]methyl]-	Irganox 3114	27676-62-6		白色粒状	7)	C ₄₈ H ₆₈ N ₃ O ₆	784.1	7)	220	7)																						1, 3, 5-トリス(3, 5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンゼン)イソシアヌル酸		

a) web 2082-79-3

表付 1-6 酸化防止剤の物性データ一覧 (つづき)

酸化防止剤 (2/2)

イオウ系	和名	英名	略号	CAS.NO	化審法 NO	状態		分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点		発火点		爆発限界		和名			
						[-]	出典		[-]	出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³]	温度 [°C]	出典	[g/L mg/L (EST)]	出典	[-]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[atm-m ³ /mole]	温度 [°C]	出典	[°C]	出典	[°C]		出典	[vol%]	出典
イオウ系	3,3'-チオジプロピオン酸ジドデシル	Propanoic acid, 3,3'-thiobis-, didodecyl ester	DLTDP	123-28-4		白色の粉末	7)	C ₃₀ H ₅₈ O ₄ S	514.8	2)	39	2)						4.94E-08 mg/L (EST)	25	3)	11.79	3)	4.16E-10 (EST)	25	3)		4.00E-06 (EST)	25	3)						ジラウリル 3,3'-チオビスプロピオネート	
	3,3'-チオジプロピオン酸ジテトラデシル	Propanoic acid, 3,3'-thiobis-, ditetradecyl ester	DMTD P	16545-54-3		wh. cryst. flakes or powd.	12)	C ₃₄ H ₆₆ O ₄ S	570	12)	48-50	12)						negligible		12)														ジリスチル 3,3'-チオジプロピオネート		
	3,3'-チオジプロピオン酸ジオクタデシル	Propanoic acid, 3,3'-thiobis-, dioctadecyl ester	DSTDP	693-36-7		crystals	2)	C ₄₂ H ₈₂ O ₄ S	683.2	2)	61	2)						3.62 E-14 mg/L (EST)	25	3)	17.68	3)	4.01E-15 (EST)	25	3)	0.00012	25	3)	284	7)					ジステアリル 3,3'-チオビスプロピオネート	
リン系	トリフェニルホスファイト	Phosphorous acid, triphenyl ester	TNP	101-02-0		液体	7)	C ₁₈ H ₁₅ O ₃ P	310.3	2)	25	2)	360	2)	1.1842	20	2)	0.071 mg/L (EST)	25	3)	6.62	3)	7.63E-05 (EST)	25	3)	10.7 (air=1)	5.41E-07 (EST)	25	3)	218 (O.C)	5)				トリフェニルホスファイト	
	ジフェニルイソデシルホスファイト	Phosphorous acid, isodecyl diphenyl ester		26544-23-0		無色液体	7)	C ₂₂ H ₃₁ O ₃ P	374.5	3)	18	7)						0.000233 mg/L (EST)	25	3)	8.52	3)	5.24E-08 (EST)	25	3)		1.88E-05 (EST)	25	3)	213 (クレーブランド開放式)	7)				ジフェニルイソデシルホスファイト	
	フェニルジイソデシルホスファイト	Phosphorous acid, diisodecyl phenyl ester		25550-98-5		無色液体	7)	C ₂₆ H ₄₇ O ₃ P	438.6	7)					0.945	7)																			フェニルジイソデシルホスファイト	
	トリス(2,4-ジ-tert-ブチルフェニル)ホスファイト	Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-, phosphite (3:1)	アデカスタブ 2112, Irgafos 168	31570-04-4		白色粒状	7)	C ₄₂ H ₈₃ O ₃ P	646.9	7)	185	7)			1.03	7)		2.9E-14 mg/L (calc.)		b)	18.1	b)	4.70E-14 (EST)		b)											トリス(2,4-ジ-tert-ブチルフェニル)ホスファイト
	2,2'-メチレンビス(4,6-ジ-tert-ブチルフェニル)-2-エチルヘキシルホスファイト	Dibenzo[d,g][1,3,2]dioxaphosphocin, 2,4,8,10-tetrakis(1,1-dimethylethyl)-6-[(2-ethylhexyl)oxy]-		126050-54-2		白色粉末	7)	C ₃₇ H ₅₉ O ₃ P	582.9	7)	148	7)						不溶		7)															2,2'-メチレンビス(4,6-ジ-tert-ブチルフェニル)-2-エチルヘキシルホスファイト	
	4,4'-ブチリデンビス(3-メチル-6-tert-ブチルフェニル)ジトリデシルホスファイト	Phosphorous acid, butylidenebis[2-(1,1-dimethylethyl)-5-methyl-4,1-phenylene] tetradecyl ester		13003-12-8		淡黄液体	7)	C ₇₄ H ₁₄₁ O ₃ P ₂	約1,240	7)					0.94	7)		不溶		7)															4,4'-ブチリデンビス(3-メチル-6-tert-ブチルフェニル)ビス(重リネン酸ジトリデシル)	
	ビス(2,4-ジ-tert-ブチルフェニル)ペンタエリスリトールジホスファイト	2,4,8,10-Tetraoxa-3,9-diphosphaspiro[5.5]undecane, 3,9-bis[2,4-bis(1,1-dimethylethyl)phenoxy]-		26741-53-7		白色粒状	7)	C ₃₃ H ₅₉ O ₈ P ₂	604.7	3)	170	7)			1.12	7)		7.41E-008 mg/L (EST)	25	3)	10.9	3)	2.89E-13 (EST)	25	3)	3.24E-09 (EST)	25	3)	240	7)					サイクリックネオペンタンチオラリルビス(2,4-ジ-tert-ブチルフェニル)ホスファイト	
0,0'-ジオクタデシルペンタエリスリトールジホスファイト	2,4,8,10-Tetraoxa-3,9-diphosphaspiro[5.5]undecane, 3,9-bis(octadecyloxy)-		3806-34-6		白色フレーク状	7)	C ₄₁ H ₈₂ O ₈ P ₂	733.1	7)	45-50	7)						不溶		7)															ジステアリルペンタエリスリトールジホスファイト		
アミン系	ジオクチルジフェニルアミン	Benzenamine, 4-octyl-N-(4-octylphenyl)-		101-67-7		黄褐色固体	7)	C ₂₆ H ₄₃ N	393.7	12)	94-100	12)			0.95	7)	pract. insol		12)															ジオクチルジフェニルアミン		

b) EPA, web 31570-04-4

表付 1-7 紫外線吸収剤の物性データ一覧

光安定剤 (1/2)

系	和名	英名	略号	CAS NO	化管法 NO	状態		分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点		発火点		爆発限界		和名	
						[-]	出典		[-]	出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³]	温度 [°C]	出典	[g/L mg/L g/100ml]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[atm-m ³ /mole]	温度 [°C]	出典	[°C]	出典		[°C]
サリチル酸系	サリチル酸フェニル	Benzoic acid, 2-hydroxy-, phenyl ester		118-55-8		powder	1)	C ₁₃ H ₁₀ O ₃	214.22	1)	41-43	1)	173 (12)	1)	1.25		0.15 g/L	25	14)	3.82 (EST)	3)	8.17E-06 (EXT)	25	3)		1.68E-06 (EST)	25	3)						サリチル酸フェニル
	サリチル酸 4-tert-ブチルフェニル	Benzoic acid, 2-hydroxy-, 4-(1,1-dimethylethyl)phenyl ester		87-18-3		crystals	1)	C ₁₇ H ₁₈ O ₃	270.32	1)	62-64	1)					2.49 mg/L (EST)	25	3)	5.73 (EST)	3)	2.98E-06 (EST)	25	3)		4.34E-06 (EST)	25	3)					サリチル酸 4-tert-ブチルフェニル	
ベンゾフェノン系	2,4-ジヒドロキシベンゾフェノン	Methanone, (2,4-dihydroxyphenyl)phenyl-		131-56-6		needles	1)	C ₁₃ H ₁₀ O ₃	214.22	1)	144-145	1)					236 mg/L (EST)	25	3)	2.96 (EST)	3)	1.41E-07 (EST)	25	3)		2.65E-11 (EST)	25	3)					2,4-ジヒドロキシベンゾフェノン	
	2-ヒドロキシ-4-メトキシベンゾフェノン	Methanone, (2-hydroxy-4-methoxyphenyl) phenyl-		131-57-7		crystals	1)	C ₁₄ H ₁₂ O ₃	228.24	1)	66	1)	155 (5)	3)			68.6 mg/L (EST)	25	3)	3.79 (EXP)	3)	1.42E-06 (EST)	25	3)		1.50E-08 (EST)	25	3)					2-ヒドロキシ-4-メトキシベンゾフェノン	
	2-ヒドロキシ-4-n-オクチルベンゾフェノン	Methanone, [2-hydroxy-4-(octyloxy)phenyl]phenyl-		1843-05-6		crystals	1)	C ₂₁ H ₂₆ O ₃	326.43	1)	45-46	1)																						2-ヒドロキシ-4-n-オクチルベンゾフェノン
	ビス(2-メトキシ-4-ヒドロキシ-5-ベンゾフェニル)メタン	Methanone, [methylenebis(hydroxymethoxyphenylene)]bis[phenyl]-		57472-50-1		淡黄色粉末	7)	C ₂₈ H ₂₆ O ₆	467	7)	225	7)																						ビス(2-メトキシ-4-ヒドロキシ-5-ベンゾフェニル)メタン
ベンゾトリアゾール系	2-(2-ヒドロキシ-5-メチルフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	Phenol, 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-methyl-	Tinuvin P	2440-22-4		crystals	1)	C ₁₃ H ₁₁ N ₃ O	225.25	1)	131-133	1)		1.38	20	a)	25.6 mg/L (EST)	25	3)	4.31 (EXP)	3)	7.95E-08 (EST)	25	3)		6.12E-14 (EST)	25	3)					2-(2-ヒドロキシ-5-メチルフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	
	5-クロロ-2-(3-tert-ブチル-5-メチル-2-ヒドロキシフェニル)ベンゾトリアゾール	Phenol, 2-(5-chloro-2H-benzotriazol-2-yl)-6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-	Tinuvin 326	3896-11-5		淡黄色粉末又は顆粒	6)	C ₁₇ H ₁₉ ClN ₃ O	315.8		138-141	e)		1.3	20/4	e)						5.60E-09	20	e)								5-クロロ-2-(3-tert-ブチル-5-メチル-2-ヒドロキシフェニル)ベンゾトリアゾール		
	2-(3,5-ジ-tert-ブチル-2-ヒドロキシフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	Phenol, 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-bis(1,1-dimethylethyl)-	Tinuvin 320	3846-71-7				C ₂₀ H ₂₅ N ₃ O	323.43				444.0 ± 55.0C	22)	1.10 ± 0.1	20	22)	0.42 mg/L (calcd.)	25	22)	7.217 ± 0.607 (calcd.)	22)	1.70E-08 (calcd.)	25	22)		222.3 ± 31.5 (calcd.)	22)					2-(3,5-ジ-tert-ブチル-2-ヒドロキシフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	
	5-クロロ-2-(3,5-ジ-tert-ブチル-2-ヒドロキシフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	Phenol, 2-(5-chloro-2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-bis(1,1-dimethylethyl)-	Tinuvin 327	3864-99-1				C ₂₀ H ₁₉ ClN ₃ O																									5-クロロ-2-(3,5-ジ-tert-ブチル-2-ヒドロキシフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	
	2-(3,5-ジベンチル-2-ヒドロキシフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール	Phenol, 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-dipentyl-		21615-49-6				C ₂₂ H ₂₉ N ₃ O	351.49	b)	80-83	b)																						2-(3,5-ジベンチル-2-ヒドロキシフェニル)-2H-ベンゾトリアゾール
	2-[2-ヒドロキシ-3,5-ビス(α, α-ジメチルベンジル)フェニル]-2H-ベンゾトリアゾール	Phenol, 2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-bis[1-methyl-1-phenylethyl]-	Tinuvin 234	70321-86-7		淡黄色粉末	d)	C ₂₀ H ₂₉ N ₃ O			137-141	d)		1.22	20								2.0E-10 Pa	20	d)								2-[2-ヒドロキシ-3,5-ビス(α, α-ジメチルベンジル)フェニル]-2H-ベンゾトリアゾール	
	2,2'-メチレンビス[2-ヒドロキシ-5-(1,1,3,3-テトラメチルブチル)-1,3-フェニレン]ビス(2H-ベンゾトリアゾール)	Phenol, 2,2'-methylenebis[6-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)-	Tinuvin 360	103597-45-1		淡黄色粉末	7)	C ₄₁ H ₅₀ N ₆ O ₂	659	7)	195	7)																					2,2'-メチレンビス[2-ヒドロキシ-5-(1,1,3,3-テトラメチルブチル)-1,3-フェニレン]ビス(2H-ベンゾトリアゾール)	
	2-(2-ヒドロキシ-5-メタクリロキシフェニル)エチル-2H-ベンゾトリアゾール	2-Propenoic acid, 2-methyl-, 2-[3-(2H-hydroxyphenyl)ethyl] ester		96478-09-0		微褐色粉末	7)	C ₁₈ H ₁₇ N ₃ O ₃	323	7)	97	7)																						2-(2-ヒドロキシ-5-メタクリロキシフェニル)エチル-2H-ベンゾトリアゾール
	シアノ系	2-シアノ-3,3'-ジフェニルアクリル酸エチル	2-Propenoic acid, 2-cyano-3,3'-diphenyl-, ethyl ester		5232-99-5		wh. Powd.	12)	C ₁₈ H ₁₅ NO ₂	277.32	2)	110.5	2)	195 (3)	2)																			2-シアノ-3,3'-ジフェニルアクリル酸エチル
		2-シアノ-3,3'-ジフェニルアクリル酸2-エチルヘキシル	2-Propenoic acid, 2-cyano-3,3'-diphenyl-, 2-ethylhexyl ester		6197-30-4		clear visc liq.	12)	C ₂₄ H ₂₇ NO ₂	361.49	3)	-10 (f.p.)	12)					0.00381 mg/L (EST)	25	3)	6.88 (EST)	3)	3.15E-09 (EST)	25	3)		3.00E-9 (EST)	25	3)					2-シアノ-3,3'-ジフェニルアクリル酸2-エチルヘキシル

a) eb 2440-22-4
 b) lb 21615-49-6
 c) eb 3896-11-5
 d) lb 70321-86-7
 e) f)ラスタック配合薬品
 f) lb 65447-77-0

分類	和名	英名	略号	CAS NO.	化管法 NO.	状態		分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶性		log Kow	蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点	発火点	爆発限界	和名					
						[-]	出典		[-]	出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³]	温度 [°C]	出典	[g/L mg/L g/100ml]		温度 [°C]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典	[-]					出典	[atm-m ³ /mole]	温度 [°C]	出典	[°C]
ニッケル系紫外線安定剤	ビス(ジブチルジチオオカルバミン酸)ニッケル	Nickel, bis(dibutylcarbamodithioato-kS,kS)-, (SP-4-1)		13927-77-0	1-232	暗緑色粉末	7)	C ₁₈ H ₃₈ N ₄ NiS ₄	467.45	7)	91	2)			1.25-1.27	7)	0.267 mg/L (EST)	25	3)	5.44 (EST)	3)	5.80E-11 (EST)	25	3)								ビス(ジブチルジチオオカルバミン酸)ニッケル		
	[2,2'-チオビス[4-(1,1,3,3-チトラメチルブチル)フェノラト]]ニッケル	Nickel, [[2,2'-thiobis[4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenolato]](2)-O,O,S]		27574-34-1	1-232	淡黄緑色粉末	7)	C ₂₈ H ₄₀ NiO ₄ S	499.37	15)																					[2,2'-チオビス[4-(1,1,3,3-チトラメチルブチル)フェノラト]]ニッケル			
	[2,2'-チオビス[4-(1,1,3,3-チトラメチルブチル)フェノラト]]-n-ブチルアミンニッケル	Nickel, (1-butanamine)[[2,2'-thiobis[4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenolato]](2)-O,O,S]		14516-71-3	1-232	淡黄色粉末	6)	C ₃₂ H ₅₁ NiNiO ₄ S	571	12)	298-261	7)			1.13	12)																[2,2'-チオビス[4-(1,1,3,3-チトラメチルブチル)フェノラト]]-n-ブチルアミンニッケル		
	3,5-ビス(1,1-ジメチルエチル)-4-ヒドロキシフェニルメチルホスホン酸エチル/ニッケル(II)(2:1)	Nickel bis[O-ethyl(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxybenzyl)]phosphonate		30947-30-9	1-232	黄色粉末	7)	Ni(C ₁₇ H ₂₅ O ₄) ₂	713.5	12)	180-200	7)																					3,5-ビス(1,1-ジメチルエチル)-4-ヒドロキシフェニルメチルホスホン酸エチル/ニッケル(II)(2:1)	
ヒンダードアミン系光安定剤	メタクリル酸(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)	2-Propenoic acid, 2-methyl-, 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny ester	ADK STAB LA-87	31582-45-3		白色粒状	7)	C ₁₃ H ₂₃ NO ₂	225.33	15)	58-60	7)															124	7)				メタクリル酸(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)		
	メタクリル酸(1,2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)	2-Propenoic acid, 2-methyl-, 1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidiny ester	ADK STAB LA-82	68548-08-3		無色液体	7)	C ₁₄ H ₂₅ NO ₂	239.35	15)				0.96	7)												116	7)				メタクリル酸(1,2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)		
	1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラキス(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)	1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid, tetrakis(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny) ester	ADK STAB LA-57	64022-61-3		白色粉末	7)	C ₂₄ H ₃₈ N ₄ O ₈	791.11	15)	130-140	7)			1.08	7)											>240	7)				1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラキス(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)		
	1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラキス(1,2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)	1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid, tetrakis(1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidiny) ester	ADK STAB LA-52	91788-83-9					C ₂₆ H ₄₀ N ₄ O ₈	847.22	15)																						1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラキス(1,2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)	
	1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラキス(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)と1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラトリデシルの混合物	1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid, mixed 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny and tridecyl tetraesters	ADK STAB LA-67	101544-99-4		淡褐色液体	7)								0.98	7)												255	7)				1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸テトラトリデシルの混合物	
	セバシン酸ビス(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)	Decanedioic acid, bis(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny) ester	ADK STAB, LA-77 サノールLS-770	52829-07-9		白色粒状	7)	C ₂₈ H ₅₂ N ₄ O ₈	480.74	3)	81-86	7)																					セバシン酸ビス(2,2,6,6-テトラメチル-4-ピペリジン)	
	コハク酸ジメチル-1-(2-ヒドロキシエチル)-4-ヒドロキシ-2,2,6,6-テトラメチルピペリジン重縮合物	Butanedioic acid, dimethyl ester, polymer with 4-hydroxy-2,2,6,6-tetramethyl-1-piperidineethanol	Tinuvin 622LD	65447-77-0		白-淡黄色粉末	f)	(C ₁₁ H ₂₁ NO ₂) _x C ₁₄ H ₂₃ O ₂) _x	100-400	f)	55-77	f)			1.22	20	f)	0.16 g/L	20											>250	f)	370	f)	コハク酸ジメチル-1-(2-ヒドロキシエチル)-4-ヒドロキシ-2,2,6,6-テトラメチルピペリジン重縮合物
	1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸とベンタエリスリトールと3-ヒドロキシ-2,2-ジメチルとプロパノールの重縮合物の(2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)エステル	1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid, polymer with 2,2-bis(hydroxymethyl)-1,3-propanediol and 3-hydroxy-2,2-dimethylpropanal, 2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny ester	ADK STAB LA-68	101357-37-3		黄色フレーク状	7)	C ₁₉ H ₃₁ NO ₈ (C ₁₈ H ₂₉ O ₈ C ₈ H ₁₅ O ₄ C ₉ H ₁₉ O ₂) _x		7)	80-110	7)																	>240	7)				1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸とベンタエリスリトールと3-ヒドロキシ-2,2-ジメチルとプロパノールの重縮合物の(2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)エステル
1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸とベンタエリスリトールと3-ヒドロキシ-2,2-ジメチルとプロパノールの重縮合物の(1,2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)エステル	1,2,3,4-Butanetetracarboxylic acid, polymer with 2,2-bis(hydroxymethyl)-1,3-propanediol and 3-hydroxy-2,2-dimethylpropanal, 1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidiny ester	ADK STAB LA-63	101357-36-2		微黄色粉末	7)	C ₁₉ H ₃₁ NO ₈ (C ₁₈ H ₂₉ O ₈ C ₈ H ₁₅ O ₄ C ₉ H ₁₉ O ₂) _x		7)	85-105	7)																	234	7)				1,2,3,4-ブタンテトラカルボン酸とベンタエリスリトールと3-ヒドロキシ-2,2-ジメチルとプロパノールの重縮合物の(1,2,2,6,6-ペンタメチル-4-ピペリジン)エステル	

e) ゴム、プラスチック配合薬品
f) web 65447-77-0

表付 1-8 難燃剤の物性データ一覧

難燃剤

系	和名	英名	略号	CAS NO	化学法 NO	状態		分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点		発火点		[vol%]		
						[-]	出典		[-]	出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³ , -]	温度 [°C, -/°]	出典	[g/L, mg/L, g/100mL]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[atm-m ³ /mole]	温度 [°C]	出典		[°C]	引火点/ノード
無機系	三酸化アンチモン	Antimony oxide (Sb2O3)		1309-64-4	1-29	crystals	1)	Sb ₂ O ₃	291.52	1)	655	1)	1425	1)	5.7	25	2)	~1.2 mg/L	1)														
	五酸化アンチモン	Antimony oxide (Sb2O5)		1314-60-9																													
	水酸化アルミニウム	Aluminum hydroxide (Al(OH)3)		21645-51-2		白色粉末	7)	Al(OH) ₃	77.99	7)			約200 (分解点)	7)			2.42	7)	insol	1)													
	水酸化マグネシウム	Magnesium hydroxide (Mg(OH)2)		1309-42-8		powder	1)	Mg(OH) ₂	58.32	1)			330 ~430 (分解)	7)					1.80,000 practically insol	1)													
	ホウ酸亜鉛	Boric acid, zinc salt		1332-07-6				Unspecified					980	9)			3.64	9)	3.01 g/L	20	9)												
リン酸エステル系	トリフェニルホスフェート	Phosphoric acid, triphenyl ester	TPP	115-86-6		nonflammable needles	1)	C ₁₈ H ₁₅ O ₄ P	326.28	1)	49-50	1)	245 (11)	2)	1.2055	50	2)	1.9 mg/L	24	3)	4.59	3)	6.28E-06 (EXT)	25	3)	3.31E-06 (EST)	25	3)	220 (C.C.)	closed cup	5)		0.5- ?
	クレジリジフェニルホスフェート	Phosphoric acid, methylphenyl diphenyl ester	CDP	26444-49-5		無色液体	7)	C ₁₈ H ₁₇ O ₄ P	340.32	3)	< -30 (凝固点)	1)	245 (532 Pa)	7)				0.24 mg/L	25	3)	4.51 (EXP)	3)	4.7E-06 (EXP)	25	3)	4.21E-08 (EST)	25	3)	240		7)		
	トリクレジリホスフェート	Phosphoric acid, tris(methylphenyl) ester	TCP	1330-78-5		oily, flame resistant liquid	1)	C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	368.36	1)	-28 (凝固点)	1)	~265 (10)	1)	1.16	25/25	1)	0.36 mg/L	25	3)	5.11	3)	6.00E-07 (EXT)	25	3)	8.08E-07 (EST)	25	3)	234		7)		
	トリキシレニルホスフェート	Phenol, dimethyl-, phosphate (3:1)	TXP	25155-23-1		clear liquid	12)	C ₂₄ H ₂₇ O ₄ P	410.45	3)	-20 (pour pt)	12)	248 ~265 (4)	1)	1.135 ~ 1.155		12)	0.89 mg/L	25	3)	5.63 (EST)	3)	5.15E-08 (EXP)	30	3)	3.10E-08 (EST)	25	3)	263 (COC)	COC	12)		
	2-エチルヘキシルジフェニルホスフェート	Phosphoric acid, 2-ethylhexyl diphenyl ester		1241-94-7		clear oily liq	12)	C ₂₈ H ₃₇ O ₄ P	362.4	2)	-35 (凝固点)	7)	232 (5)	2)	1.090	25	2)	1.9 mg/L	25	3)	5.73	3)	5.00E-05 (EXT)	25	3)	5.24E-05 (EST)	25	3)	224		7)		
芳香族複合リン酸系	ビスフェノールAビスジフェニルホスフェート	Phosphoric acid, (1-methylethylidene)di-4,1-phenylene tetraphenyl ester	BDP	5945-33-5		yellow liq.	a)	C ₃₃ H ₃₄ O ₈ P ₂	692.63	15)	8 (pour pt)	a)	>300	a)	1.270	25/25	a)	insoluble	a)														
	レゾルシノールビスジフェニルホスフェート	Phosphoric acid, 1,3-phenylene tetraphenyl ester	RDP	57583-54-7		淡黄色液体	7)	C ₃₀ H ₂₄ O ₈ P ₂	574.47	3)					1.290	25		0.000111 mg/L (EST)	25	3)	7.41 (EST)	3)	2.06E-08 (EST)	25	3)	2.94E-13 (EST)	25	3)	332 (クリフランド増成剤)		7)		
リシンアルコール系	トリス(クロロエチル)ホスフェート	Ethanol, 2-chloro-, phosphate (3:1)	TCEP	115-96-8	1-352	clear liquid	10)	C ₉ H ₁₂ Cl ₂ O ₄ P	285.49	2)	-55	4)	330	2)	1.425	20/20	10)	7820 mg/L	20	4)	1.44 (EXP)	3)	0.0613 (EXP)	25	3)	3.29E-06 (EST)	25G	3)	200		4)	480	4)
	2-プロパノールビス(ジクロロプロピル)ホスフェート	2-Propanol, 1,3-dichloro-, phosphate (3:1)	TDCP	13674-87-8		visc. liq	2)	C ₉ H ₁₅ Cl ₂ O ₄ P	430.9	2)	27	3)	236 (5)	2)				7 mg/L	24	3)	3.65	3)	7.36E-08 (EST)	25	3)	2.61E-09 (EST)	25	3)					
赤リン	Phosphorus		7723-14-0		暗赤色粉末	7)	P ₄	123.9	7)	400 (昇華)	7)			2.2		7)																	

1

表付 1-8 難燃剤の物性データ一覧 (つづき)

和名	英名	略号	CAS.NO	化管法 NO	状態		分子式	分子量		融点		沸点		密度/比重		水溶解度		log Kow		蒸気圧		蒸気密度		ヘンリー定数		引火点		発火点							
					[-]	出典		[-]	出典	[°C]	出典	[°C]	出典	[g/cm ³]	温度 [°C]	出典	[g/L mg/L (EST)]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[mmHg]	温度 [°C]	出典	[-]	出典	[atm-m ³ /mole]	温度 [°C]	出典	[°C]	引火点ノート	出典	[°C]	発火点ノート	出典
テトラブロモビスフェノールA	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis[2,6-dibromo-	TBBP A TBBA	79-94-7			白色粉末	C ₁₉ H ₁₂ Br ₄ O ₂	543.62	7)	182	7)			2.2	7)	0.001 mg/L (EST)	25	3)	7.2 (EST)	3)	1.76E-11 (EST)	25	3)			7.05E-11 (EST)	25	3)							
2,4,6-トリブロモフェノール	Phenol, 2,4,6-tribromo-	TBP	118-79-6	1-221	Long crystals	1)	C ₆ H ₃ Br ₃ O	330.80	1)	94-96	1)	286	2)	2.55	20	2)	70 mg/L	15	3)	4.13 (EXP)	13)	3.03E-04 (EST)	25	3)			3.55E-08 (EXP)	25C	3)						
デカブロモジフェニルエーテル	Benzene, 1,1'-oxybis[2,3,4,5,6-pentabromo-	Deca-BDE	1163-19-5	1-197	白色または淡黄色の粉末	7)	C ₁₂ Br ₁₀ O	959.17	3)	305	2)	530	3)	3.02	7)	0.0001 mg/L	25	3)	12.11 (EST)	3)	4.67E-12 (EST)	25	3)			1.19E-08 (EST)	25	3)							
TBBA・エポキシオリゴマー	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)bis[2,6-dibromo-, polymer with 2,2'-(1-methylethylidene)bis[(2,6-dibromo-4,1-phenylene)oxymethylene]]bis[oxirane]		68928-70-1		フレーク状固体	7)	(C ₂₁ H ₂₀ Br ₄ O ₄ + C ₁₃ H ₁₂ Br ₄ O ₂) _x																												
塩素化パラフィン	Paraffin waxes and hydrocarbon waxes, chlorinated (Alkanes, C14-17, chloro-)		63449-39-8 (85535-85-9)		固体粉末 (Cl:70%) 液状 (Cl:40-65%)	7)	C ₂₀ H ₄₀ Cl ₆ (Cl:40%) C ₂₂ H ₄₂ Cl ₁₁ (Cl:70%)	545.33 (Cl:40%) 1062.5 (Cl:70%)	7)	-20 (凝固点) 95-105 (軟化点)	7)			1.15 -1.17 (Cl:40%) 1.60 -1.70 (Cl:70%)	7)																				
パークロシクロペンタデカン	1,4,7,10-Dimethanodibenzo[a,e]cyclooctene, 1,2,3,4,7,8,9,10,13,13,14,14-dodecachloro-1,4,4a,5,6,6a,7,10,10a,11,12,12a-dodecahydro		13560-89-9				C ₁₈ H ₁₂ Cl ₁₂	653.73	7)	> 325	3)					7.51E-10 mg/L (EST)	25	3)	11.27 (EST)	3)	7.06E-10 (EST)	25	3)			7.44E-06 (EST)	25	3)							

a) web8944-33-5

2

1 付録2 蒸気圧推定

2 物質の蒸気圧は放散速度に大きな影響を与えるため重要なパラメータであるが、プラス
3 チック添加剤の蒸気圧は揮発性有機物質と比較してもきわめて低く、信頼性のある蒸気圧
4 データは非常に少ない。そこで、既存の蒸気圧推定式を以下に示す。

5
6 2.1 OECD-ESD で提案されている推定式

7 OECD-ESD の付属資料では、塩ビ樹脂の可塑化に物質が液体で使用される場合に、Miles
8 の実験にもとづく数式 (Miles, 1943) を適切に修正することで適用できることを示してい
9 る。

10 (出典 : Miles FT (1943) Industrial & Engineering Chemistry, 35, 1052-1061.)

11 そして、150°C (423K) における蒸気圧のおよその推定について、以下の式を提案してい
12 る。

$$\log P = 0.4M^{0.5}(1 - Tb/423)$$

13 ここで、 P は大気中の物質蒸気圧 (atm)、 M は分子量、 Tb 通常の沸点 (K) である。
14 下記のデータを用いて、相関関係が得られている。

15
16
17 表付 2-1 Miles の実験にもとづく数式の検証 (OECD, 2004)

可塑剤	M	$Tb(K)$	P 計算値 mmHg	P 測定値 mmHg
ジメチルフタレート	194	557	13	13
ジエチルフタレート	222	569	6.7	6.3
ジブチルフタレート	278	613	0.76	0.8
ジイソブチルアジペート	258	555	7.5	6.0
トリブチルフォスフェート	266	562	5.4	7.3

18
19 上記の式で、任意の温度における蒸気圧の推定式を以下の式のように変えることもできる。

$$\log P = 0.4M^{0.5}(1 - Tb/T)$$

20
21 ここで、 T =任意の温度 (K) である。

22
23 2.2 Yaws による推定式

24 Yaws (1997) は様々な物質の蒸気圧について以下の推定式を提示している。

$$\log_{10} P = A + B/T + C \times \log_{10} T + D \times T + E \times T^2$$

25
26 ここで P は蒸気圧 [mmHg], T は温度 [K], A, B, C, D, E は係数である。

27 (出典 : Carl L. Yaws : " Library of Physico-Chemical Property Data Handbook of
28 Chemical Compound Data for Process Safety", 1997 Gulf Publishing Company Houston
29 Texas)

1
2 以下にプラスチック添加剤に関わるデータを示す。

3
4 表付 2-2 プラスチック添加剤に関わる係数の設定 (Yaws, 1997)

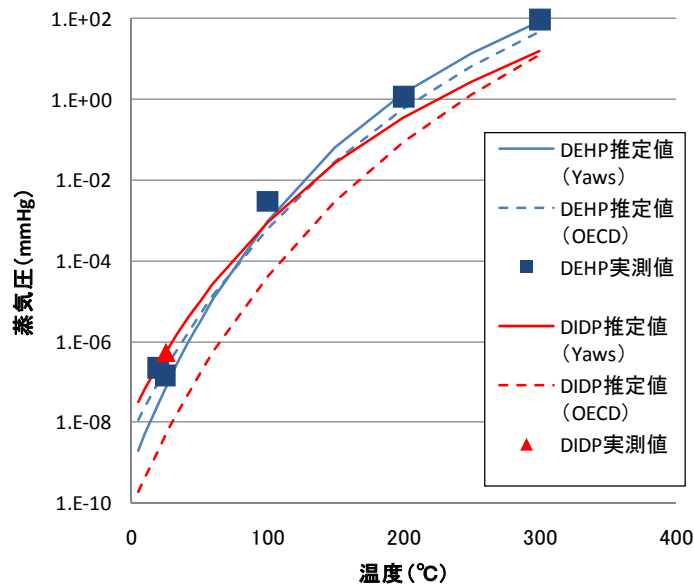
	可塑剤				リン系難燃剤		リン系難燃剤		酸化防止剤	
名称	フタル酸ジ-n-ブチル	フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)	フタル酸ジisonデシル	フタル酸ジisonニ	フタル酸ジメチル	フタル酸ジエチル	トリフェニルホスフェート	トリクレジルホスフェート	トリメチルホスフェート	2,6-ジ-t-ブチル-p-クレゾール
略称	DBP	DEHP	DIDP	DINP	DMP	DEP	TPP	TOP	TMOP	BHT
出典におけるNo	1256	1357	1360		968	1146	1291	1349	229	1238
英名	1,2-Benzene dicarboxylic acid, dibutyl ester	1,2-Benzene dicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	1,2-Benzene dicarboxylic acid, diisodecyl ester	1,2-Benzene dicarboxylic acid, diisononyl ester	1,2-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester	Phosphoric acid, triphenyl ester	Phosphoric acid, tris(methylphenyl) ester	1,2-Benzene dicarboxylic acid, diisodecyl ester	Phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-
分子式	C ₁₈ H ₂₂ O ₄	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	C ₂₈ H ₄₆ O ₄	C ₂₂ H ₄₂ O ₄	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	C ₁₂ H ₂₂ O ₄	C ₁₈ H ₁₅ O ₄ P	C ₂₁ H ₂₁ O ₄ P	C ₃ H ₇ O ₄ P	C ₁₅ H ₂₄ O
分子量	278.34	390.56	446.66	418.61	194.18	222.24	326.28	368.36	140.08	220.35
A	152.6750	27.8473	81.7895	-93.73	12.6974	72.1438	28.0972	21.1624	72.2176	69.7769
B	-1.0754E+04	-7.6834E+03	-7.4225E+03	-4049	-4.20E+03	-7.07E+03	-5.6684E+03	-5.2756E+03	-4.5518E+03	-6.57E+03
C	-5.1170E+01	-2.1134E+00	-2.6916E+01	17.3	3.46E-01	-2.10E+01	-5.9768E+00	-3.3565E+00	-2.4613E+01	-2.04E+01
D	1.6933E-02	-1.5234E-02	1.1502E-02		-7.6524E-03	-3.2404E-10	-3.1567E-09	8.6660E-06	1.3118E-02	4.0687E-09
E	2.4948E-14	6.2365E-06	-4.3530E-14		3.3490E-06	3.4691E-06	1.0751E-12	-2.9202E-09	-4.7970E-14	3.5418E-06
適用温度 下限 (K)	238	298	233		272	269	323	428	227	344
適用温度 上限 (K)	781	806	723		766	757	687	566	764	720
P測定値 (mmHg 25°C)	1.091E-05	7.244E-08	5.267E-07		3.071E-03	4.884E-04			9.089E-01	

蒸気圧の算出: 下欄に温度(°C)を記入すると、蒸気圧が算出される (mmHgに換算済み)

温度 28 °C	1.6444E-05	1.1547E-07	7.5690E-07	1.6063E-06	4.0359E-03	6.7974E-04	2.8275E-06	2.0822E-05	1.0937E+00	5.1975E-03
温度 40 °C	8.3214E-05	7.3851E-07	3.2026E-06	5.2908E-06	1.2008E-02	2.5234E-03	1.1801E-05	8.5818E-05	2.2814E+00	1.7054E-02
温度 60 °C	8.8292E-04	1.1527E-05	2.7275E-05	3.3598E-05	6.0916E-02	1.7324E-02	9.9731E-05	7.1736E-04	6.7906E+00	9.7437E-02

5
6
7 2.3 蒸気圧推定式の比較検証

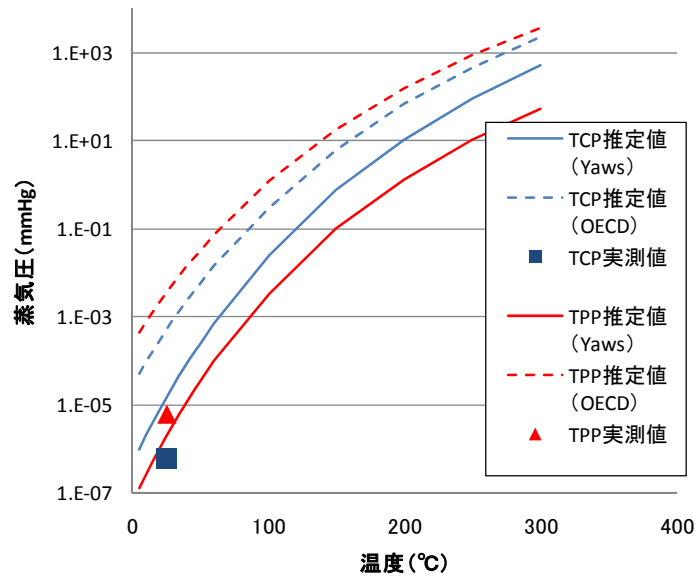
8 上記の 2 式を可塑剤の実測値と比較した結果を図付 2-1 に示す。この結果、常温域では、
9 OECD-ESD の提案した推定値の方が実測値に近く (DEHP)、放散速度の結果から見ても
10 DEHP>DIDP を再現している。また、200°C以上の高温域では、Yaws の推定値の方が実
11 測値に近い (DEHP)。



12
13 図付 2-1 可塑剤 DEHP と DIDP を例とした実測値と推定値との比較
14

1
2
3
4
5

また、難燃剤の実測値と比較した結果を図に示す。この結果、常温域の実測データに近いのは Yaws の推定値の方であり、OECD-ESD の提案した推定値は3桁異なる結果となった。



6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

図付 2-2 難燃剤 TCP と TPP を例とした実測値と推定値との比較

以上から、OECD-ESD の提案した推定値は可塑剤の一部に適用の妥当性が限られ、Yaws の推定式の方が可塑剤と難燃剤の両方に幅広く適用できると判断できる。しかし、Yaws の対象物質は数物質しかなく、プラスチック添加剤の多くの物質には使用できない。よって、一つの蒸気圧推定式をプラスチック添加剤全般に適用することは難しいと考えられる。

1 付録3 可塑剤の放散速度推定式

2 塩ビ樹脂からの DEHP の排出速度については、CMA (Chemical Manufactures
3 Association) の委託調査により 3 つの方法で推定されている (ENVIRON Co., 1988).

4
5 3.1 実験にもとづく経験式

6 最初の方法は実験にもとづく経験式である。Quackenboss (1954) は、98°C のオープン
7 に 2×2 インチの塩ビフィルムを入れて、気流速度を 21.5 cm/s とし、塩ビに添加する可
8 塑剤の複数の物質で、薄いフィルムの可塑剤が 10% 損失する時間を観察した。そして、蒸
9 気圧と損失率との関係を以下の式で求めた。

$$10 \quad T = 0.080/P \quad (1)$$

11 ただし、 T は可塑剤が 10% 損失する時間 (Hr)、 P は物質の蒸気圧 (mmHg) である。これ
12 らの結果を用いて、Quackenboss は DEHP を 36% 含有する試料からの 10% DEHP 損失は
13 27 年かかると計算した。ただし、この 27 年の寿命は、室温 25°C、実験での気流速度 21.5
14 cm/s を考慮して推定された。その上で、Quackenboss (1954) は、DEHP の排出速度につ
15 いて以下の数式を導出した。

$$16 \quad E = \frac{w d t f (u_1 / u_2)^{0.5}}{T} \quad (2)$$

17 ここで、

E	=	DEHP 排出速度, g/m ² /s
w	=	ビニル中の DEHP 重量比, 0.36
d	=	ビニルの密度, 1.2×10 ⁶ g/m ³
t	=	ビニルの厚み, m (0.004 インチ) = 0.1mm
T	=	DEHP の 10% 損失時間, s (27 年間)
u_1	=	室内の気流速度, cm/s
u_2	=	実験での気流速度, 21.5 cm/s
f	=	時間 T 内の DEHP 損失比率, 0.1

18
19 ビニルシート上の一定の気流にもとづいた上式を使用して、Quackenboss は、DEHP の排
20 出速度を 3×10⁻⁴ μg/m²/s と推定した (ENVIRON, 1988).

21
22 3.2 質量移動係数法にもとづいた理論式

23 2 つ目の方法は、質量移動係数法にもとづいた理論式で、ADL (1988) は大気にさらさ
24 れた塩ビ樹脂からの DEHP 損失を理論的に推定した。ADL は純粋な液体 DEHP の表面に
25 関して、実験から下記の式を導出した：

$$26 \quad k = 0.664 \text{Re}^{1/2} \text{Sc}^{1/3} D/L \quad (3)$$

1 ここで,

$$\begin{aligned}k &= \text{質量移動係数, m/s} \\Re &= \text{レイノルズ数, 無次元, 80.5 (25°C)} \\Sc &= \text{シュミット数, 無次元, 4.1 (25°C)} \\D &= \text{拡散係数, } 3.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s m}^2/\text{s (25°C)} \\L &= \text{気流に対して水平な代表長さ, 1m}\end{aligned}$$

2

3 DEHP の排出速度は, 質量移動係数 k の関数として表現される :

$$4 \quad E = k(C_s - C) \quad (4)$$

5 ここで,

$$\begin{aligned}E &= \text{DEHP 排出速度, } \mu\text{g/m}^2/\text{s} \\C_s &= \text{DEHP の飽和蒸気濃度, } 7.1 \mu\text{g/m}^3 \\C &= \text{大気中 DEHP 濃度, } 0 \mu\text{g/m}^3\end{aligned}$$

6

7 大気中 DEHP 濃度 C は, 時間とともに増加し, その結果, 排出速度は減少していくことに
8 注意すべきである. 計算の簡略化のために, 大気中濃度を 0 としたため, 排出速度はわ
9 ずかに過剰推定となる. ビニルシート 1 m^2 からの DEHP 排出速度は, この方法を用いて
10 $2.5 \times 10^{-4} \mu\text{g/m}^2/\text{s}$ と計算された (ENVIRON, 1988).

11

12 3.3 部分的な拡散にもとづく排出

13 前述の方法は, ビニル製品上の平均的な気流速度にもとづいている. 現実には, 住居内
14 の気流が一律であることはまれであり, 少なくとも短い時間, 風によって誘発された分散
15 より, むしろ空気中での DEHP 拡散が, DEHP 損失をコントロールしているメカニズムで
16 あるかもしれない. そこで, Arnold (1944) が大気中の有機物質の拡散速度を計測する実
17 験を行って求めた数式を利用して, ENVIRON (1988) の報告書では, 以下の数式を導出
18 した.

$$19 \quad E = \frac{PM}{RT_o} A y^* \left(\frac{D}{\pi \times t_d} \right)^{1/2} \quad (5)$$

20 ここで,

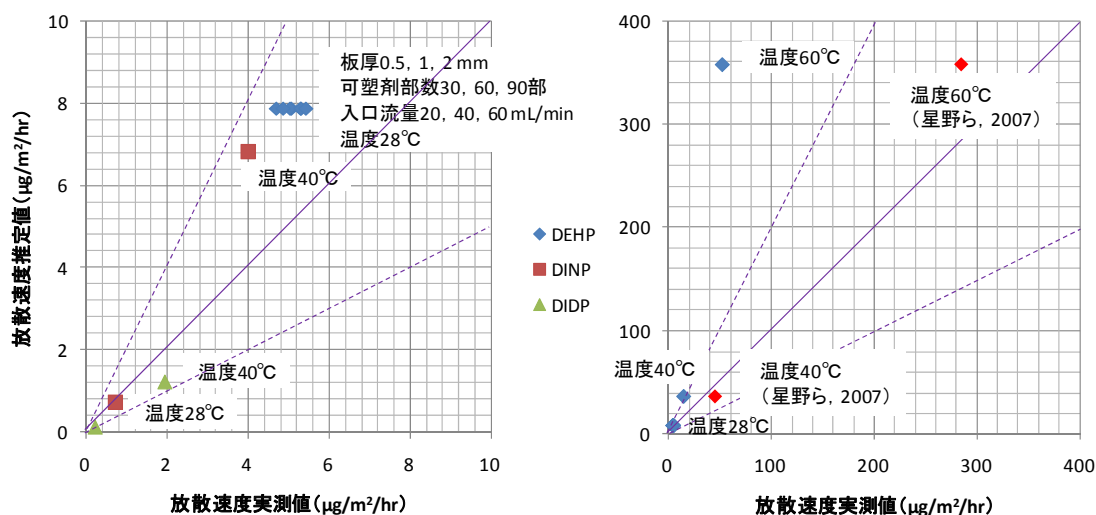
$$\begin{aligned}E &= \text{DEHP の排出速度, g/s} \\P &= \text{大気圧, 1 atm} \\M &= \text{DEHP の分子量, 390 g/g ml} \\R &= 82.05 \times 10^{-6} \text{ atm m}^3/\text{g mol K} \\T_o &= \text{室温, 298 K} \\A &= \text{排出面積, m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y^* &= \text{飽和状態での気体のモル分率, } 4.3 \times 10^{-10} \\
 D &= \text{大気中の気体の拡散率, } 3.77 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\
 t_d &= \text{拡散が発生する時間, s}
 \end{aligned}$$

1
 2 数式(5)から観察されるように、時間 t_d が増加するにつれて排出速度は減少する。数式(5)
 3 に換気率を取り込むために、拡散発生から2時間のインターバル(0.5 achに相当)を考慮
 4 している。数式(5)中のパラメータに適切な値を入れると、DEHPの排出最低速度は、 9.2×10
 5 $^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ と計算され、ビニルシート 1m^2 からのDEHP平均排出速度は、 $1.8 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$
 6 と計算された(ENVIRON, 1988)。

3.4 放散速度推定式の検証

9 前述のようにDEHPの放散速度を推定する3つの方法を提示した。そこで、前章に示し
 10 た可塑剤の放散試験の測定結果で検証を行った。その結果、数式(5)による推定値が実測
 11 値と妥当な関係となった(図付3-1参照)。具体的には、DEHPの60°Cでの放散速度以外
 12 は1/2~2倍の範囲内に入っている。ただし、他文献(星野ら, 2007)では、DEHPの40°C
 13 及び60°Cの放散速度が、それぞれ46及び330 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ で、上記の推定値とかなり近い値
 14 になる。



図付 3-1 可塑剤の放散速度実測値と推定値との比較

16
 17
 18
 19 したがって、数式(5)の拡散理論に基づく放散速度推定式を可塑剤に適用することは妥
 20 当と判断した。ただし、拡散が発生する時 t_d 間をきわめて短い時間である10秒と設定して
 21 いることに注意する必要がある。以上から、樹脂中の物質損失をコントロールしているメ
 22 カニズムが、可塑剤のように配合割合が高い場合は樹脂中の拡散律速ではなく、気-固界面
 23 拡散であると想定することができる。

1
2
3

以上