【特集：多様なニーズに応える試験・検査法への新展開 — 廃棄物試験・検査法研究部会 —】

食品衛生法の規制と試験法からみたプラスチック中の化学物質

坂 本 広 美*

【要 旨】 プラスチック製品に含まれる化学物質のうち、食品衛生法の器具および容器包装に係る規制基準がある物質を中心に、その毒性、基準値および環境への排出事例に関する報告について述べた。食品用のプラスチックとそれ以外では使用される添加剤等が異なり、食品用途には有害なため使用されない物質が、低コストであることから未だにその他の用途には使用されている可能性が浮き彫りになった。RoHS 指令を始めとした国際情勢の変化により、今後は使用される化学物質のリスク管理が進むことも期待される。しかしながら、当面は過去から現在まで使用されている有害物質が環境中へこれ以上拡散することを防ぐ必要があるため、まず食品で規制されている化学物質について環境中への排出に関するリスク評価を行い、優先度の高いものから順に排出をコントロールするための基準設定と試験法作りを考えることが必要である。

キーワード：可塑剤、安定剤、食品衛生法、材質試験、溶出試験

1. はじめに

欧州連合 (EU) による RoHS 指令 (Restrictions of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment directive; 電気・電子機器製品中の特定有害物質の削減指令, 2006 年 7 月発効) および WEEE 指令 (Waste Electrical and Electronic Equipment directive; 廃家電・電子機器指令, 2003 年 5 月発効) により、プラスチック中の有害物質が注目されている。RoHS 指令では、対象となる製品中に含まれているカドミウム (Cd), 鉛 (Pb), 六価クロム (Cr^{6+}), 水銀 (Hg), ポリ臭化ビフェニル (PBB) およびポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE) などが原則禁止になっているが¹⁾, これらは主にプラスチック成型品 (部品) の添加剤として使用されており²⁾, 特に Cd や Pb などは、過去に家庭ごみとして廃棄されたプラスチックからも検出されている^{3,4)}。このように、われわれの身近にあるプラスチック製品は、主成分である高分子化合

物に様々な種類の化学物質を添加剤として加えることにより、各々の用途に合わせた機能性を付加して作られている。しかしながら、主な添加剤の配合割合などは明らかにされているものの、配合量やその組み合わせの詳細については、メーカー独自の技術であるため非公開となっている。実際に、今回の RoHS 指令への対応においても、各材料あるいは細かい部品中の有害物質含有量は、工程管理だけでは対応できない場合もあり、個々の部品等を分析して確認するケースが多くなっている。

EU におけるこれらの指令は、電気・電子製品が使用後に埋め立てあるいは焼却された場合の環境負荷を低下させるため、また、再生材料へ有害物質が混入した場合に、広く環境中への拡散を防ぐ目的で制定されている。つまり、個々の有害物質のリスク評価によって決められたものではなく、「予防原則」に則っているため、実際のリスク削減への効果は一部疑問視されている。たとえば、Pb フリーはんだへの代替によってはんだ割れが頻発し、発火などのリスクが増大する可能性が指摘されている⁵⁾。

さらに EU では、本年 6 月 1 日から REACH 規制 (Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals) が施行されている。これは、市場に流通する化学物質を登録・評価・認可することにより、

原稿受付 2007. 10. 3

* 神奈川県環境科学センター

連絡先: 〒254-0014 平塚市四之宮 1-3-39

E-mail: sakamoto@k-erc.pref.kanagawa.jp

リスク管理が必要な化学物質とその使用方法についての制限を設けるものであり、事業者が使用する化学物質の一部については、自らリスク評価を課せられるなど、事業者に対する自主管理の強化が求められている。化学物質のリスク管理を行うためには、その物質を代替することによって生じる新たなリスク（リスクトレードオフ）あるいは使用しないことによる不利益（リスクベネフィット）の関係も含めて科学的に評価を行い、許容され得るレベル以下にすることが必要である⁶⁾。そこで本稿では、プラスチック製品に含まれている様々な化学物質について、今後リスク管理を行うための基準の設定と試験法作りの必要性を判断するための材料を集めて整理した。環境中への排出の制御を考えるにあたっては、食品用に使用されているプラスチック製容器包装等の規制に関する考え方が参考になるため⁷⁾、食品衛生法の規制基準を中心に述べた。

2. 食品衛生法の基準と業界による自主基準

食品用器具および容器包装として使用されるものは、食品と直接接触するため、化学物質による食品汚染を防ぐことを目的として、食品衛生法により規格基準が定められている^{8,9)}。昭和34年に厚生省告示第370号「食品、添加物等の規格基準 第3 器具及び容器包装」が制定されているが、その後、規格の追加および改正が何度か行われてきた。平成18年3月には、厚生労働省告示第201号により大幅に改正され、水銀や四塩化炭素を使用しない試験法あるいは分析精度に優れた試験法が新たに採用されている。この規格基準の簡単な構成を図1に示した。器具・容器包装またはこれらの原材料の一般規格

には、使用する金属はPb 10%以上、アンチモン (Sb) 5%以上含有してはならないこと、あるいは油脂または脂肪性食品を含有する食品と接触する器具・容器包装には、フタル酸ビス (2-エチルヘキシル) [DEHP] を原材料として用いたポリ塩化ビニル (PVC) を主成分とするプラスチックを用いてはならないことなど、7項目の基準がある。また、食品用に使用される器具・容器包装は材質が様々であるため、プラスチックあるいはゴムなどの材質別に規格が決められており、含有量 (材質試験) または溶出量 (溶出試験) で規制されている。なお、食品には多くの成分が含まれているため、微量の溶出物を測定するのは難しい場合がある。そこで、溶出試験においては、食品の性質を代表する以下のような食品疑似溶媒が用いられる。

- ・水 (pH 5 を超える食品)
- ・4%酢酸 (pH 5 以下の食品)
- ・20% エタノール (酒類)
- ・ヘプタン (油脂および脂肪性食品)

これを、試料表面積 1 cm^2 あたり 2 mL の割合で満たし、 60°C で30分 (ヘプタンの場合は 25°C で1時間) 放置して試験溶液とすることになっている。

プラスチックの場合は、主成分である高分子化合物 (ポリマー) の分子量は大きいため、体内に取り込まれても吸収されずに排泄されるが、その原料となるモノマーや各種の添加剤は、使用条件により食品中に溶出する可能性があり、これらが主に規制されている。また、プラスチックの規格基準には一般規格と個別規格があり、一般規格はすべての食品用プラスチックに適用される。表1に示すように、Cd および Pb は含有量が、また有機物の総溶出量として過マンガン酸カリウム消費量が規

図1 食品衛生法による食品用器具・容器包装の規格基準の構成

表1 プラスチックの一般規格

カドミウム、鉛	材質中各 100 $\mu\text{g/mL}$ 以下
重金属	溶出液中 1 $\mu\text{g/mL}$ 以下
過マンガン酸カリウム消費量	溶出液中 10 $\mu\text{g/mL}$ 以下

制されている。Cd および Pb については、プラスチックの着色料または PVC の安定剤として使用される可能性がある。PVC の安定剤には様々な化合物が使用されているが¹⁰⁾、特に金属系の化合物では、食品用には亜鉛、カルシウム、鉄などの脂肪酸塩が、非食品用には安価で効力が高い Pb および Cd の脂肪酸塩が使用されている。いずれの化合物も、基準である 100 $\mu\text{g/mL}$ 程度の添加では安定剤としての効果はないため、非食品用のものが食品用に誤用されることを防ぐ目的で基準値が設定されている。しかし、着色料としては 100 $\mu\text{g/mL}$ 程度でも十分効果があるため、輸入品などではこれらの金属が検出され、違反となる場合がある⁹⁾。

プラスチックの個別規格を表2に示したが、ほとんどの樹脂に対して、原料モノマーと関連物質、添加剤および不揮発性物質の溶出総量をコントロールする目的で、蒸発残留物が (30 $\mu\text{g/mL}$ 以下) 規制されている。個々

の規格については、その物質の使用目的と合わせて次章で述べる。

法律による基準に加えて、食品用のプラスチックは種類が多いことから、プラスチック業界ごとに自主規制基準を作成している¹¹⁾。中でも、該当するプラスチック製品ならびにその原材料として安全に使用可能な物質を選定し、その品質規格、使用量および使用範囲などの制限条件を一覧表としたポジティブリストに加えて、法律と同様の規格試験を課す形式のものが多く、「塩化ビニル樹脂製品等の食品衛生に係る自主規格」(「JHP 規格」、塩ビ食品衛生協議会) および「ポリオレフィン等合成樹脂製食品容器包装等に関する自主基準」(ポリオレフィン等衛生協議会) などが代表的である。他にも、原材料として使用される可能性がある物質のうちから有害性の点で使用を避けるべきものを選定し、使用禁止物質として一覧表としたネガティブリストを作成している業界があり、「食品包装材料用接着剤に関する自主規制」(食品包装材料用接着剤等衛生協議会) あるいは「食品包装材料用印刷インキに関する自主規制」(印刷インキ工業会) などがこれにあたる。

以上のことから、食品用のプラスチックについては、

表2 プラスチックの個別規格

	材質試験		溶出試験	
ホルムアルデヒドを製造原料とするもの			フェノール ホルムアルデヒド 蒸発残留物	陰性 陰性 30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリ塩化ビニル (PVC)	ジブチルスズ化合物*1 クレゾールリン酸エステル 塩化ビニル	50 $\mu\text{g/mL}$ 以下 1,000 $\mu\text{g/mL}$ 以下 1 $\mu\text{g/mL}$ 以下	蒸発残留物	30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリスチレン (PS)	揮発性物質*2 揮発性物質*3 スチレン*3 エチルベンゼン*3	5,000 $\mu\text{g/mL}$ 以下 2,000 $\mu\text{g/mL}$ 以下 1,000 $\mu\text{g/mL}$ 以下 1,000 $\mu\text{g/mL}$ 以下	蒸発残留物	30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリ塩化ビニリデン (PVDC)	バリウム 塩化ビニリデン	100 $\mu\text{g/mL}$ 以下 6 $\mu\text{g/mL}$ 以下	蒸発残留物	30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリエチレンテレフタレート (PET)			アンチモン ゲルマニウム 蒸発残留物	0.05 $\mu\text{g/mL}$ 以下 0.1 $\mu\text{g/mL}$ 以下 30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリメタクリル酸メチル (PMMA)			メタクリル酸メチル 蒸発残留物	15 $\mu\text{g/mL}$ 以下 30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ナイロン (PA)			カプロラクタム 蒸発残留物	15 $\mu\text{g/mL}$ 以下 30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリカーボネート (PC)	ビスフェノール A*4 ジフェニルカーボネート アミン類*5	500 $\mu\text{g/mL}$ 以下 1 $\mu\text{g/mL}$ 以下	ビスフェノール A 蒸発残留物	2.5 $\mu\text{g/mL}$ 以下 30 $\mu\text{g/mL}$ 以下
ポリエチレン (PE) ポリプロピレン (PP) ポリメチルペンテン (PMP) ポリビニルアルコール (PVA)			蒸発残留物	30 $\mu\text{g/mL}$ 以下

*1：二塩化ジブチルスズとして

*2：スチレン、トルエン、エチルベンゼン、イソプロピルベンゼンおよび n-プロピルベンゼンの合計

*3：発泡ポリスチレン (熱湯を用いるものに限る)

*4：フェノールおよび p-tert-ブチルフェノールを含む

*5：トリエチルアミンおよびトリブチルアミン

法に基づく規格基準あるいは業界の自主基準により、使用可能な物質の種類と量が制限されていることが理解できる。ただし、その基準値が高いと感じられるのは、実際の添加量と分析の利便性から決められているためであり、事実上の使用禁止に相当する例が多いことは、解説がなければ理解不能であろう。またこれに対し、食品以外の用途では、このような基準が設けられていないことから、リスクよりもコストが重視され、様々な物質が使用されている可能性が浮き彫りになった。

3. プラスチックに使用される添加剤等と環境中での検出事例

プラスチックはその種類が非常に多くあるが、ここでは、一般的に使用されるプラスチック（汎用樹脂）を中心に、添加剤その他として残留する化学物質の使用目的とその性状および環境中での検出事例について述べる。

3.1 汎用樹脂の添加剤

3.1.1 可塑剤

可塑剤は、それ自身では硬いポリマーに添加することによって、ポリマーに柔軟性を与え、成形加工を容易にしたり、弾性および接着性などの特性を付加するものである。溶剤を添加しても同様の効果は得られるが、揮発することによって効果が失われるため、一般的な可塑剤としては、分子量が大きく、樹脂中に留まるものが使用される。平成 18 年度の生産量を表 3 に示したが¹²⁾、その大部分が PVC あるいは塩化ビニリデン（PVDC）用である。添加量は軟質 PVC で 20～55%、硬質 PVC で 10% 以下、PVDC で 5～15% といわれている⁹⁾。食品包装用にはアジピン酸系、セパシン酸系およびクエン酸系が、それ以外ではフタル酸系が使用され、電線の被覆用あるいはビニルハウス用には、難燃剤としての効果を併せ持つため、リン酸系も使用されている。

(1) フタル酸エステル～フタル酸ジ 2-エチルヘキシル（DEHP）を中心に～

DEHP は可塑剤の中でも最も多く使用されてきたが、平成 11 年度厚生科学研究において、市販されている弁当 1 食あたり DEHP が平均 1,768 μg 検出され、その原因が箱詰め使用される PVC 手袋に由来したことから、PVC 手袋の使用自粛が通知された¹³⁾。さらに、平成 14

年には規格基準が改正され、油脂、脂肪性食品を含有する食品の器具・容器包装および乳幼児が口に接触するおもちゃにおいて使用禁止となった（特におもちゃは、フタル酸ジイソノニル [DINP] も予防原則の観点から同時に使用禁止）。フタル酸エステル類は疎水性が高いため、米やパンよりもマーガリンなどの油へ容易に溶出する¹¹⁾。しかしその急性毒性は低く、この規制の根拠となったげっ歯類における生殖・精巢毒性値をエンドポイントにおくと、詳細リスク評価ではヒト、特に乳幼児に対しても、懸念すべきリスクレベルになく、さらなるリスク管理の強化は必要ないことが報告されている¹⁴⁾。モニタリングデータによる水環境中濃度を表 4 に示したが¹⁵⁾、いずれも低濃度であった。分析にあたっては、実験室内の雰囲気や使用する溶媒および器具・装置等に由来するコンタミネーションに注意する必要がある、データの分析精度が数値のバラツキに影響する可能性がある。実際の環境水中では、界面活性剤や溶解性有機炭素（DOC）の共存によって濃度の増加が見られるため¹⁶⁾、このような共存物質が多い工場・家庭排水あるいは最終処分場浸出水などからは、より高い濃度で検出されることが推測される。ただし、最終処分場の場合には、分析法を改良してブランク値を低減させたところ、浸出水中の DEHP は検出されず、場内で加水分解されている可能性が指摘されている¹⁷⁾。

一方、DEHP の大気中への排出を屋外大気中のモニタリング結果から見ると、'98～'02 年度の 95 パーセントイルが 139 ng/m^3 であった¹⁴⁾。近年、室内汚染によるシックハウス症候群の患者が増加していることから、厚生労働省は室内空気汚染に係るガイドラインとして、DEHP の室内濃度指針値を 120,000 ng/m^3 とした¹⁸⁾。実際の室内濃度調査の結果では¹⁹⁾、DEHP 濃度の最大が 3,400 ng/m^3 であり、屋外大気よりは高い場合があるものの、推計から求めた DEHP 摂取量には、食事経由の関与が大きく、屋内外空気の吸入はほとんど寄与しなかった¹⁴⁾。

(2) リン酸エステル等

上述したように、リン酸エステルは可塑剤としてだけでなく、難燃目的でも使用されている。クレゾールリン酸エステル（TCP）は、大量摂取すると悪心、嘔吐、下

表 3 可塑剤の生産量（H 18 年度）¹²⁾

	生産量 (ton)
フタル酸系	278,744
リン酸系	21,873
エポキシ系	13,299

表 4 神奈川県内における DEHP 濃度（91～95 年）¹⁵⁾

調査年	対象	濃度
1991	地下水	< 0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$
1992	地下水	< 0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$
1992	地表水	< 0.5～2.6 $\mu\text{g}/\text{L}$
1992	地表水底質	< 0.025～0.26 $\mu\text{g}/\text{g dry}$
1995	地表水	< 1 $\mu\text{g}/\text{L}$
1995	地表水底質	< 0.05 $\mu\text{g}/\text{g dry}$

病などの後に神経症状を発症するため、食品衛生法では、PVC中のTCPを1,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以下と定めている。これ以下では可塑剤としての効果がないため、実質的な使用禁止となっている。TCP以外では、軟質のウレタンフォームを難燃規制に適合させるため、リン酸トリ2-クロロエチル（TCEP）を添加しており²⁰⁾、海面埋め立て処分場の浸出水から検出されている事例がある²¹⁾。

3.1.2 塩化ビニル（PVC）用安定剤

プラスチック材料は、多かれ少なかれ熱あるいは光によって劣化現象を起こすため、それを防ぐための安定剤が必要である。中でもPVCは、安定剤がなければ加工も出来ないほど分解しやすいため、安定剤といえばPVC用が主体である。ただし、PVCを加工する際には、加工時の複雑な条件に応じて、様々な配合剤とともに用いられるため、その組み合わせについて述べるのは難しい。ここでは、いくつかの化合物についての解説にとどめた。また、次項の酸化防止剤および紫外線吸収剤も安定剤の1種であるため、PVC用についてはこの項で述べる。

(1) Pb化合物

PVC用安定剤の生産量を表5にまとめた²²⁾。最も多く使用されているのがPb化合物であり、経年的な減少傾向は見られるものの、約5割を占めている点が特徴的である。実際に日常的に排出される家庭ごみの中では、PVC製品、人工皮革（つまりPVC）などが主なPbの排出源とされている。ただし、ガラス製品などの少量排出で高濃度な製品に比べて、ごみ全体から見た寄与率は少ない⁴⁾。プラスチックから溶出する重金属について検討している事例は非常に少ないが、顔料として使用されているCdは、表面からのみ溶出することが報告されている²³⁾。

(2) 有機スズ化合物

有機スズ化合物のうち、ジブチルスズ化合物は一般用途のPVC製品には安定剤として広く使用されている。しかし、ほ乳類に対して中枢神経障害、代謝障害などを生じることから、食品衛生法では材質規格として50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以下に設定し、事実上その使用を禁止している。そのため、食品用の硬質容器、厚手手袋では、ジオクチルスズ化合物を、水道管にはジメチルスズ化合物などが

使用されている。

(3) フェノール系酸化防止剤ほか

酸化防止剤としてはフェノール系化合物が最も多く使用されており、上述した金属系の安定剤に加えて助剤として使用されることが多い²⁴⁾。安価なため、PVC用に最も多く使用されていた酸化防止剤がビスフェノールA（BPA）である⁹⁾。ただし、'00年以降にPVCへの使用を自粛したため、新しい製品から検出される可能性は低い²⁴⁾。BPAはポリカーボネート（PC）の原料でもあるため、食品用のPC製容器包装においては、2.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上溶出してはならないことになっている。

BPAは他のフェノール系酸化防止剤と比べて親水性が高く、水溶解度は120 mg/L （25 $^{\circ}\text{C}$ ）と報告されている²⁴⁾。福井らは²⁵⁾、しゃ水目的で使用されるPVCシートを水中に静置しただけで、BPAが容易にしかも継続的に溶出することを明らかにしている。また、BPAを原料としているPCやエポキシ樹脂（ビスフェノールA型）よりも、PVC中の含有量の方が多く、過去に最終処分場から検出されているBPAの起源になっている可能性がある^{26, 27)}。環境省が策定したSPEED'98により、BPAが内分泌攪乱を起こす可能性が高い物質リストに掲載されたため、これ以外にも多くのデータが蓄積されている。ただし、ヒトへの影響は懸念するレベルではなく、魚類に対しては弱いエストロゲン様作用が認められている。

また、BPAと同様に内分泌を攪乱する可能性が疑われた4-ノニルフェノール（NP）は、BPAより魚類に対するエストロゲン様作用が強いことが明らかになっているが²⁸⁾、PVCだけでなく、ポリオレフィン（ポリスチレンやポリプロピレンなど）あるいは合成ゴムなどに酸化防止剤として広く使用されているトリスノニルフェニルフォスファイトの分解物あるいは不純物として樹脂に含まれており、油性食品等に容易に移行することが報告されている²⁹⁾。ただし、NPのもう一つの起源であるノニルフェノールエトキシレート（非イオン性界面活性剤；NPEO）については、98年から業界が国産のプラスチックおよび家庭用洗剤への使用を自粛している²⁸⁾。

3.1.3 酸化防止剤および紫外線吸収剤

PVC以外のポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）およびポリスチレン（PS）などのプラスチックに使用される酸化防止剤は、フェノール系化合物とアミン系化合物などがある。フェノール系では、クレゾールに3級ブチル（*tert*-ブチル）基を付与した2,4-ジ-*tert*-ブチルフェノール（ジブチルヒドロキシトルエン、BHT）およびその関連化合物が多く使用されている。これらはフェノールであっても、疎水性が高い3級ブチル基が2

表5 塩化ビニル（PVC）用安定剤の生産量²²⁾

	(単位 ton)		
	平成16年度	平成17年度	平成18年度
鉛系	26,100	23,967	21,635
バリウム・亜鉛系	8,465	7,744	8,056
カルシウム・亜鉛系	9,796	11,666	12,011
スズ系	5,428	5,460	5,290
純有機安定化助剤	3,703	3,812	4,238
合 計	53,492	52,647	51,231

つ以上付与していること、あるいは2量体以上で分子量が大きいことなどにより、水への溶出量は少ないことを確認している³⁰⁾。

また、紫外線を吸収して、樹脂の劣化を防ぐための添加剤が紫外線吸収剤である。主に、ベンゾフェノン系、ベンゾトリアゾール系およびサリチル酸系の化合物がよく使用されている。それぞれの化合物は、樹脂によって使い分けられており、酸化防止剤との併用により、さらに大きな効果が観察されている。ベンゾトリアゾール系化合物の中でも、分子量が比較的小さい Tinuvin P は、塩ビシートから溶出し²⁵⁾、外国製 PET ボトルにも含まれていることが確認されている³¹⁾。

3.1.4 難燃剤

プラスチック用難燃剤は、その使用方法により添加型と反応型に分けられる²⁾。添加型は文字通り混合されているだけであるが、反応型の場合にはプラスチック製造反応時に反応物の1つとして作用されるため、製造が難しくかつ高コストであるにもかかわらず、反応型の使用が増加する傾向にある。添加型の代表的なものは、上述した TCP を始めとしたリン酸エステルと酸化アンチモンであり、一方の反応型は、テトラブロモビスフェノール A (TBBA) が最も多く使用されている。家電製品や OA 機器類には、TBBA を始めとした臭素系難燃剤と酸化アンチモンが併用されることが多い。前出の PBDE は、最終処分場浸出水から数千 pg/L の濃度で検出されているが³²⁾、TBBA は臭素系難燃剤の中でも水溶解度が大きいため、ng/L オーダーの検出事例がある³³⁾。

3.1.5 帯電防止剤

プラスチックは、帯電により汚れその他を吸着しやすいため、帯電防止剤が使用される。現在実用化されているのは、界面活性剤が主体となっている。その種類は非常に多く、脂肪酸エステル、スルホン酸エステル (ABS など、以上陰イオン性界面活性剤)、および第4級アンモニウム塩 (陽イオン性界面活性剤) などが代表的である。陰イオン性界面活性剤のうち、アルキルエーテルサルフェート (AES) は、その合成時に1,4-ジオキサンを副生成することが知られており、家庭用シャンプーや台所用洗剤に含まれることが明らかになっている³⁴⁾。ただし、メーカーの努力により、その量は近年削減されている³⁵⁾。新しく購入した帯電防止剤入りの PVC シートには、0.0043 $\mu\text{g/g}$ の1,4-ジオキサンが含まれていた³⁶⁾。

3.2 その他 (モノマーおよび重合触媒等)

PVC の原料である塩化ビニルモノマー (VCM) および PVDC の原料である塩化ビニリデンモノマー

表6 使用済み PET ボトルに含まれる Sb と Ge³⁸⁾

	Sb ($\mu\text{g/g}$)	Ge ($\mu\text{g/g}$)
輸入ミネラルウォーターボトル (n = 5)	132~194	< 1
国産の清涼飲料水ボトル-1 (n = 7)	< 2	28~50
国産の清涼飲料水ボトル-2 (n = 4)	130~165	< 1
しょう油, 料理酒および焼酎ボトル-1 (n = 3)	< 2	28~42
しょう油, 料理酒および焼酎ボトル-2 (n = 2)	128~140	< 1

(VDCM) は、未反応体が材質中に残存することがある。いずれも吸入による刺激性が高く、急性毒性として中枢神経系の抑制や VCM ではヒトに対する発がん性が指摘されている。食品衛生法の材質試験により、VCM が1 $\mu\text{g/mL}$ 以下、VDCM が6 $\mu\text{g/mL}$ 以下に規制されている。また、ポリスチレン (PS) には、原料モノマーで重合未反応のスチレン、原料中の不純物であるトルエン、エチルベンゼン iso-および n-プロピルベンゼンが含まれているが、これらが大量に含まれていると材質表面から揮散し、食品に移行して異臭がするため、5,000 $\mu\text{g/mL}$ 以下に規制されている。スチレンの急性毒性は、蒸気吸入による粘膜刺激と中枢神経に対する作用であり、IARC (International Agency for Research on Cancer; 国際がん研究機関) はグループ 2B (ヒトに対して発がん性を示す可能性がある物質) に分類している。ごみ燃料 (RPF) 化施設の排ガス (処理前) からは、アルデヒド類やスチレンが検出されている³⁷⁾。

特殊な事例としては、ポリエチレンテレフタレート (PET) 製造時に用いられる金属触媒がある。透明度の高い製品を製造する場合には Sb やゲルマニウム (Ge) が使用され、最終製品に残留するといわれている。実際に使用済みの PET ボトルを分析したところ、表6に示すように、Sb あるいは Ge のいずれかが含まれており、Ge の方が低濃度であった。また、PET ボトルのリサイクル製品にも、ボトルと同等あるいはそれ以下の Sb および Ge の両方が含まれていた³⁸⁾。Sb の毒性は、激しい嘔吐および粘膜壊死などであり、一方の Ge の毒性は、食欲不振、下痢などが観察されている。いずれも、食品衛生法では PET 製品からの Sb の溶出を 0.05 $\mu\text{g/mL}$ 以下、Ge の溶出を 0.1 $\mu\text{g/mL}$ 以下に規制している。

4. ま と め

プラスチック製器具および容器包装の食品衛生法に係る化学物質の規制を中心に詳述した。食品用途である以上、当然ながら直接ヒトが摂取する可能性があるため、厳しい基準が設けられていた。最近では食品そのものの安全性とともに、おもちゃについても塗料の Pb などが話題になっている。ここでは紙面の関係で触れられなかつ

たが、おもちゃも乳幼児が直接口に入れる可能性が高いため、食品衛生法やEUの規格があり、日本でも(株)日本玩具協会の安全基準はこれに基づいている³⁹⁾。その反面、一般用のプラスチック製品では、ヒトの直接摂取に関わらないと考えられているため、有害物質がいまだに使用されている可能性が示された。おそらく、RoHS指令を始めた国際情勢の変化を踏まえ、今後は製品に使用する物質について、リスク評価を用いた検討が進むことも期待される。しかし当面は、過去から現在まで使用されている有害物質が環境中へこれ以上拡散することを防ぐ必要があるため、まず食品で規制されている化学物質について、リスクの高いものから順に、排出をコントロールするための基準設定と試験法作りを考えることが必要である。

参 考 文 献

- 1) 日本環境科学会：WEEE & RoHS 指令（欧州環境規制）における分析と課題，第42回日本環境化学会講演会予稿集（2006）
- 2) 神原 周，井本 稔監修：増補プラスチックおよびゴム用添加剤実用便覧（第3刷），化学工業社（1992）
- 3) 占部武生，秋山 薫，西沢千恵子，広畑和幸：ごみ中有害物質の調査，昭和52年度東京都清掃研究所研究報告，pp.40-70（1978）
- 4) 中村一夫：製品のライフサイクルから見た飛灰の性状——清掃工場における鉛，カドミウムの由来と挙動——，廃棄物学会誌，第5巻，第1号，pp.60-68（1994）
- 5) 中西準子ホームページ：雑感389-2007.6.12「鉛フリーはんだの対策を急ぐ必要があるのでは？」
http://homepage3.nifty.com/junko-nakanishi/zak386_390.html#zakkan389
- 6) 常見知弘：特集プラスチックって何？化学物質のリスク管理，Re，第151号，pp.64-67（2006）
- 7) 貴田晶子，宇智田奈津代：4食品衛生法における安全性評価基準と評価方法，廃棄物学会「試験・検査法研究部会」2003年度報告書（2004）
- 8) 金子令子：ミニファイル 原材料規格と分析法，ぶんせき，第2号，pp.80-81（2007）
- 9) 日本薬学会編：衛生試験法・注解2005，金原出版（2005）
- 10) 阿部嘉長：PVC用プラスチック安定剤，日刊工業新聞（1968）
- 11) 厚生省環境衛生局食品科学課編：食品用プラスチック衛生学（第4刷），講談社（1989）
- 12) 経済産業省：統計，化学工業統計月報，18年計 生産・出荷・在庫統計（補正済）
<http://www.meti.go.jp/statistics/data/h2d4k00j.html>
- 13) 勸日本食品化学研究振興財団ホームページ：厚生労働省行政情報 2000/6/14—通知
<http://www.ffcr.or.jp/zaidan/MHWinfo.nsf/48b1f48352378e7e492565a1002ecd5e/25ddfa38ede25cb6492568ff00194b76?OpenDocument>
- 14) (株)NEDO 技術開発機構・産総研化学物質リスク管理研究センター共著：詳細リスク評価書シリーズ1 フタル酸エステル——DEHP——，丸善(株)（2005）
- 15) 神奈川県環境科学センター 化学物質安全情報提供システム (kis-net)
<http://www.k-erc.pref.kanagawa.jp/kisnet/>
- 16) M. J. Bauer and R. Herrmann: Dissolved organic carbon as the main carrier of phthalic acid esters in municipal landfill leachates, Waste Manage. Res., Vol. 16, pp. 446-454（1998）
- 17) 行谷義治，鈴木 茂，安原昭夫，毛利紫乃，山田正人，井上雄三：廃棄物埋立地浸出水および処理水中の無機成分，ジオキサン，フェノール類およびフタル酸エステル類の濃度，環境化学，第12巻，第4号，pp.817-827（2002）
- 18) 厚生労働省ホームページ：シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書——第6回および第7回のまとめ（2001）
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1.html#betu4>
- 19) 塩ビ工業・環境協会ホームページ：塩ビファクトブック2005，第2章 塩ビ樹脂・塩ビ製品に関する環境問題と現状 3. シックハウス関連
<http://www.vec.gr.jp/fact/chapter2/head3-5.html>
- 20) 日本難燃剤協会：難燃剤データ集
<http://www.frcj.jp/data/index.html>
- 21) 川越保徳，藤原康博，福永 勲，伊藤尚夫：海面埋立廃棄物処分地におけるリン酸トリエステル類の濃度変動とその要因，水環境学会誌，第20巻，第3号，pp.166-174（1997）
- 22) 日本無機薬品協会：無機薬品の実績と見通し，平成16～18年度版
- 23) D. C. Wilson, P. J. Young, B. C. Hudson and G. Baldwin: The leaching of cadmium from pigmented plastics in a landfill site, Cadmium Plast., pp.31-36, 40-41（1982）
- 24) (株)製品評価技術基盤機構：ビスフェノールAリスク評価管理研究会中間報告書（2003）
- 25) 福井 博，田中克彦，淡路宣男，平林尚之，伊東富晴，小島幸夫：埋立地浸出水に含まれる有機化合物に関する研究——塩化ビニル製しゃ水シートから溶出する有機化合物——，廃棄物学会論文誌，第5巻，第5号，pp.175-184（1994）
- 26) 坂本広美，福井 博，惣田昱夫，金子栄廣：最終処分場浸出水に含まれるビスフェノールAとその起源に関する研究，廃棄物学会論文誌，第15巻，第6号，pp.511-520（2004）
- 27) H. Sakamoto, S. Shoji and H. Kaneko: Leaching characteristics of bisphenol A from epoxy-resin pavement materials, Toxicol. Environ. Chem. Vol. 89, No. 2, pp. 191-203（2007）

- 28) (独)製品評価技術基盤機構：ノニルフェノールリスク評価管理研究会中間報告書（2003）
- 29) 河村葉子, 前原玉枝, 飯嶋広代, 山田 隆：食品用プラスチック製品及び玩具中のノニルフェノール, 食品衛生学雑誌, 第41巻, 第3号, pp.212-218 (2000)
- 30) 福井 博：環境と資源の持続的利用に資する資源循環型エコシステムの構築に関する研究, 1.1.2廃プラスチック選別法の改善に関する研究, 科学技術振興調整費平成12年度成果報告書, Vol. 1-1 生活者ニーズ対応 第2期 平成10～12年度, pp.KAN 026-034 (2001)
- 31) M. Monteiro, C. Nerin and F.G.R. Reyes: Determination of UV stabilizers in PET bottles by high performance-size exclusion chromatography, Food additives and contaminants, Vol.13, No.5, pp. 575-586 (1996)
- 32) M. Osako, Y.-J. Kim and S. Sakai: Leaching of brominated flame retardants in leachate from landfills in Japan, Chemosphere, Vol.57, pp. 1571-1579 (2004)
- 33) 長谷川敦子, 鈴木 茂：液体クロマトグラフィー / 質量分析法による水試料中テトラブロモビスフェノールAの分析, 環境化学, 第14巻, 第1号, pp.73-79 (2004)
- 34) (独)NEDO 技術開発機構・産総研化学物質リスク管理研究センター共著：詳細リスク評価書 2 1,4-ジオキサン, 丸善(株) (2005)
- 35) 吉村孝一, 車出勝寿, 菅野政幸：洗剤基材の技術動向と液晶系性能を有した香粧品原料について, Fragrance Journal, Vol.26, No.12, pp.20-27 (1998)
- 36) 大迫政浩, 貴田晶子, 遠藤和人, 酒井伸一, 東脩安匡, 宮脇健太郎, 肴倉宏史, 坂本冬美, 田野崎隆雄：再生製品に対する環境安全評価手法のシステム規格化に基づく安全品質レベルの合理的設定手法に関する研究, 平成17年度廃棄物処理等科学研究 (K 1716) 研究報告書 (2006)
- 37) 高橋通正, 坂本広美：廃棄物リサイクル施設から発生する大気汚染物質, 第31回環境・公害研究合同発表会講演要旨集, pp.13-16 (2007)
- 38) 坂本広美, 金子栄廣：PET ボトルとそのリサイクル製品に含まれるSbおよびGeの定量, 環境化学, 第17巻, 第1号, pp.1-6 (2007)
- 39) EU 玩具安全規格：EN 71 Safety of toys. Part 3 Migration of certain elements

Risk Control of Chemicals in Consumer Products Made of Plastics

Hiromi Sakamoto

Kanagawa Environmental Research Center
(1-3-39 Shinomiya, Hiratsuka, Kanagawa 254-0014 Japan)

Abstract

This paper focuses on chemicals found in plastics and which are regulated by the Food Sanitation Law for food containers and packaging. It describes toxicity levels and regulation standards and offers some reports on chemicals still being discharged into the environment.

Chemicals that are regulated by the Food Sanitation Law are still currently being used in various consumer products for general purpose. They are used most often in plastics because of their low cost. Nevertheless, their use is restricted for food containers and packaging.

Due to changes on the international front, it is expected that controls will be enforced on these chemicals from now on. These would be similar to certain EU directives such as Restrictions on the use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) and Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals (REACH). However, for the time being, it is important to prevent any contamination diffusion of hazardous substances used in the past, up until now.

At the moment, it is necessary to develop a control system for what gets discharged into the environment, especially for those chemicals that are high-risk and which are being used in large quantities.

Key words: plasticizer, stabilizer, antioxidant, migration test, content test