

分析化学はモノづくり社会の環境保全にいかに関与できるか

小 熊 幸 一

1 はじめに

環境汚染の原因を調べてみると、その多くは人間の様々な活動、特にモノをつくる過程、すなわち生産活動であることが多い。現在では過去のものとなりつつあるが、日本の四大公害と言われている水俣病、新潟水俣病、イタイイタイ病、四日市ぜんそくはその代表的なものである。最近になっても、重金属による土壤汚染があちこちで発見され、マスコミに取りあげられることがある。それらの原因も、^{さかのぼ}遡ってみればなんらかの生産の過程で生じたものを適切に処理しなかったことに起因する。このようなモノづくり社会にあって、分析化学は環境保全にいかに関与できるか、最近の環境保全にかかわる話題を中心に考えてみたい。

2 最近の環境保全にまつわる話題

2.1 欧州規制

欧州では、一国のみならず欧州連合（EU）として環境にかかわる共通の規制を「欧州指令」として発効している。廃電気・電子機器指令 [Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)]¹⁾と電気製品への有害物質使用制限指令 [Directive on Restriction of Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS)]²⁾はEUの新しい環境規制である。これらの規制は2003年3月に制定・公布され、2006年7月からEUにおいては電化製品に指定された有害金属・有害物質 [鉛、水銀、カドミウム、6価クロム、ポリ臭素化ビフェニル (PBB)、ポリ臭素化ジフェニルエーテル (PBDE)] を含有してはならないことになっている。また、使用済み自動車に関する指令 [Directive on End-of-Life Vehicles (ELV)]³⁾により、2003年7月以降に市場に投入された車両の材料及び構成部品は、原則的に鉛、水銀、カドミウム、6価クロムを含有しないことを保証しなければならなくなった。WEEE・RoHS指令は、廃棄物に対する製造物責任を強化したものであり、日本国内の電気・電子機器製造者はEU市場に投入する製品の廃棄物処理費用を負担することが義務づけられることになり、将来的には国際標準に発展することも見越した対応が急がれている。

RoHS指令では、特定有害物質の含有量を基準値以下にすることが求められているが、現時点では基準値^{しきい値}（閾値）などは明示されてなく、鉛、水銀、6価クロム、PBB、BDEでは1000 µg/g、カドミウムでは100 µg/gのレベルになることが想定されている。

WEEE・RoHS指令に関しては、我が国で製造されている

ほとんどすべての電子機器や電子部品が該当し、ヨーロッパへの輸出品の製造は甚大な変更を迫られることになった。EUの環境政策の厳しさを実感させられたのは、2001年末にオランダの税関で日本製の人気ゲーム機にカドミウムが規制値以上含まれているとして通関できなかったことである。当のゲーム機メーカーは巨額を投じて対策を講じ、カドミウムの含有濃度5 ppm以下などの厳しい資材調達基準を設けて日本国内の取引先に大きな衝撃を与えた。今や、WEEE・RoHS指令とELV指令を知らずしてヨーロッパにモノを輸出できないような状況にあり、対応のための本が数多く出版されている。日本分析化学会では関連企業を対象にして、「第1回プラスチック中有害金属成分の分析（有害物質規制/RoHS指令対応）」と題し、ISO/IECガイド43-1に基づく技能試験を2005年前半に実施した。

WEEE指令の目的は、廃電気・廃電子機器を適切に分別収集し、埋め立て処分量の低減や自治体のごみ焼却量の減少を図ることにあり、再利用とリサイクルをあわせた再利用率は70～80%を目標としている。各電気メーカーは、自社製品の適合理化と、新製品にあっては設計・製造の段階から廃棄処分に配慮することが求められている。我が国では、水質汚濁防止法などで重金属の排出が厳しく規制されているが、プラスチック類等の添加剤として使用することはさほど規制されてなかった。また、鉛に関しては、無鉛はんだの開発が進められているものの、信頼性、コストの面から鉛を含むはんだが依然として一部で使用されている。

2.2 土壤汚染対策法

我が国の土壤汚染対策法⁴⁾は、2003年2月に施行された。これで「典型7公害（大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、地盤沈下、悪臭、土壤汚染）」に関する基本的な法整備が整ったことになる。

本法律の制定の背景には、企業の工場跡地等の再開発に伴い、重金属、揮発性有機化合物等による土壤汚染が顕在化してきているため、土壤汚染による人の健康への影響の懸念や汚染対策の確立への社会的な高まりがある。しかし、土壤汚染対策法の名が示すように、本法律は過去の土壤汚染に対する状況の把握、汚染の除去等の措置という事後的な対策が規定されていて、人の健康障害の予防は意図しているが、残念ながら土壤汚染の予防は目的としていない。

本法の対象となる有害物質（特定有害物質）は、土壤に含まれることによって人の健康を害するおそれがあるものとして、鉛、ヒ素、トリクロロエチレン等の25物質が施行令で定めら

表1 土壤汚染対策法に基づく第2種特定有害物質（重金属等）及び指定区域の指定基準

特定有害物質	土壌溶出基準 (mg/l以下)	土壌含有基準 (mg/kg以下)
カドミウム及びその化合物	0.01	150
6価クロム	0.05	250
シアン化合物	不検出	遊離シアン 50
水銀及びその化合物	0.0005	15
アルキル水銀	不検出	—
セレン及びその化合物	0.01	150
鉛及びその化合物	0.01	150
ヒ素及びその化合物	0.01	150
フッ素及びその化合物	0.8	4000
ホウ素及びその化合物	1	4000

れている。これらの特定物質は、①地下水等の汚染を經由して生ずる健康影響（地下水等の摂取によるリスク）と②汚染された土壌の直接摂取（摂取又は皮膚接触）による健康影響（直接摂取によるリスク）の観点から選定された。また、これらの物質によって汚染されている区域を指定する基準（指定基準）は、地下水等の摂取によるリスクにかかわる基準が「土壌溶出基準」、直接摂取によるリスクにかかわる基準が「土壌含有量基準」として定められている（表1参照）。これらの測定法については、下記3・2を参照されたい。

従来、土壌調査といえば、事故などで地下水が汚染されたときや、ISO14001の取り組みの一つとして企業が自主的に調査するのがほとんどであった。しかし、現在は、工場敷地を購入する時点で、法に定められたサンプリング方法、測定方法で汚染状況を調査しておくことが必要となっている。このようなことを背景に、不動産情報会社と航空測量会社がタイアップして、土壌汚染の危険度を短時間で調べるシステムを共同開発しビジネス化した。このシステムによれば、土壌汚染のスクリーニングのため、取引の対象となっている土地に過去20年間に何が建っていたかを10m四方ごとに提供できるといわれている（2005年2月15日、日経朝刊）。

基準を超えて汚染されている土地は指定区域に指定され、汚染の除去をしなければならず、この汚染除去には多額の費用がかかるのが一般的である。滋賀銀行は、土壌汚染対策法の施行に合わせて、「汚染された土地は原則的に担保として評価せず」と発表して話題をよんだ。その目的とするところは、取引企業の土壌浄化を促すことにあるという（2005年2月17日、日経朝刊）。

3 環境保全への分析化学の貢献

3・1 日本分析化学会の貢献

上記の欧州規制に関する説明でも触れたように、日本分析化学会では分析標準化関連事業の一環として、分析信頼性委員会が中心となり、分析技術に関する教育訓練、技術向上を目的とした実務者講習会及び各種セミナーを開催し（個人対象、表2参照）、分析試験所認定に伴う技能試験を実施している（事業所対象、表3参照）。さらに、分析の信頼性確保のため、時代の要請に応えた様々な標準物質を開発し頒布している。

環境保全の第一は、環境を汚染しないように努めることであ

表2 環境分析技術に関する実務者講習会及び各種セミナー

水中の微量重金属分析技術セミナー：水中の微量金属成分
ダイオキシン類分析技術セミナー：環境試料中のダイオキシン類
土壌分析技術セミナー：土壌汚染対策法対応
プラスチック中有害金属成分の化学分析技術セミナー（有害物質規制/RoHS指令対応）

表3 分析試験所認定に伴う環境分析関連の技能試験の例

模擬排水中の重金属分析
水中揮発性成分（VOC）分析
模擬環境水中の陰イオン分析
ダイオキシン類分析（排水中ダイオキシン類分析）
土壌中の重金属成分分析
模擬排水中のCOD試験
模擬環境水中の残留農薬分析
排ガス模擬吸収液中の硫黄酸化物と塩化物の分析
プラスチック成分分析（プラスチック中有害金属成分の分析/有害物質規制，RoHS指令対応）

表4 環境分析関連標準物質

無機成分分析用 河川水標準物質
ダイオキシン類・PCB同族体分析用 海域底質標準物質
ダイオキシン類・PCB同族体分析用 河川底質標準物質
ダイオキシン類分析用 フライアッシュ標準物質
ダイオキシン類分析用 土壌標準物質
農薬成分分析用 土壌標準物質（シマジン、ディルドリン）
金属成分分析用 土壌標準物質
ダイオキシン類分析用 排水標準物質
微量金属分析用 プラスチック標準物質

る。その二は、汚染の可能性を正しく判断し、適切な対策を講じることである。それには、何はともあれ汚染物質の正確な分析が不可欠である。正確な分析を保証する二大要素は、適切な教育訓練を受けた分析者と適切に維持管理された分析機器であると思う。その意味で、日本分析化学会が行っている実務者対象の各種セミナー・講習会は、優れた分析技術者を養成する貴重かつ重要な活動であって、大きな社会貢献と評価できる。

また、標準物質は、機器の校正及び分析法ないしは分析技術のバリデーションに必須の存在である。現在、日本分析化学会から頒布されている環境分析関係の標準物質をまとめて表4に示す。これらのうちで最も新しい標準物質は、RoHS指令対応の「有害金属成分分析用プラスチック標準物質」であり、化学分析用（チップ状）と蛍光X線分析用（ディスク状）の2種類がある。標準物質の適切な使用による分析の信頼性確保は、相互比較、商取引、各種の規制、安全対策等の基盤となるものである。

3・2 分析化学者の貢献

法律で規制されている有害物質の分析には、法律に定められた方法が適用される。例えば、カドミウム、全シアン、鉛、6価クロム、ヒ素、総水銀、アルキル水銀、PCB及びセレンについての土壌溶出試験の場合、純粋に塩酸を加えてpH5.8～

6.3 としたもの(単位 ml)と土壌試料(単位 g)とを重量体積比 10%の割合で混合し、かつ、その混合液が 500 ml 以上となるようにする。常温常圧下で、毎分約 200 回、4~5 cm の振とう幅で 6 時間振り混ぜ、溶出した金属を工場排水試験方法(JIS K 0102-1998)に準じて定量するように指定されている。以上のように、前処理段階に長時間を要し、オンサイトでスクリーニングに適用できる簡便法の開発が急務であろう。その意味で、森田ら⁵⁾の選択的呈色反応に基づく簡易分析法の開発は意義深いものがある。

RoHS 指令に関連する分析法については、現在のところ公定法が整備されていない。唯一、カドミウムの定量方法が EU 規格の EN1122:2001「プラスチック-カドミウム-湿式分解法」として制定されているのみである。この規格は、プラスチック中の 10~3000 ppm のカドミウム定量方法であり、硫酸、硝酸、過酸化水素による分解法あるいは硫酸と過酸化水素による分解法と、フレイム原子吸光法による定量法を組み合わせたもので、溶解残渣^{ざんさ}は捨てることになっている。なお、フッ素系プラスチックは対象外である。多くの分析試験所は、この EN1122:2001 に準拠した方法でプラスチックの重金属分析を行っている。しかし、実際の分析試料は、素材、部品、製品と様々であり、形状や大きさも一様ではないので、サンプリングの方法、分析方法の妥当性などの検討課題が残されている⁶⁾。

国内の動きとしては、経済産業省から日本化学工業会に対し「化学製品中の微量有害金属成分の測定方法の標準化」が委託され、これに対応する委員会が同工業会に設置された(委員長: 保母敏行都立大名名誉教授)。現在、湿式分解法と原子吸光法、ICP 発光法、ICP 質量分析法との組み合わせによるカドミウム、鉛、クロム、水銀の分析法を検討し、推奨法の作成段階に入っている。なお、同委員会では、非破壊分析法である蛍光 X 線分析方法についても適用の可能性を検討している。その背景には、最近、分析装置メーカーがエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を EU 指令対応機種として取りそろえているところが多く、ポータブルタイプの蛍光 X 線装置も各種販売されていることがある⁶⁾。上記委員会の推奨する分析方法が、JIS 規格さらには ISO 規格に採用されることを期待したい。

PBB 及び PBDE は、プラスチックや繊維の難燃剤として用いられるが、その毒性が明らかとなり、規制の対象となっている。PBB、PBDE ともに異性体が多数存在し、異性体によって毒性が異なることから、厳密には各異性体の定量が必要であるが、それには煩雑な前処理と異性体の分離をしなければならず、分析コストと作業性から現実的ではない。従って、蛍光

X 線分析法のような簡便な非破壊分析法でトータルの臭素量を測定し、スクリーニングを行った後、必要に応じて FTIR あるいは GC-MS により詳細な確認分析を行うのが合理的であろう。

4 まとめにかえて

従来、分析化学者は、多くの場合、高感度化と高精度化を合い言葉に各種の分析方法を開発してきた。しかし、実社会では、「簡便迅速におおよその数値が求まる」ことが重要であり、価値がある場合がある。上述の土壌汚染の現場調査や EU 指令に対応する材料や製品のスクリーニングがまさにこれに該当する。分析化学者が、これまでとは異なる視点からも分析方法を開発され、広くモノづくり社会の環境保全に貢献されることを希望する。

本稿の執筆にあたりご教示いただいた武蔵工業大学平井昭司先生と JFE テクノリサーチ株式会社石橋耀一氏に感謝申し上げます。

文 献

- 1) Directive 2003/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), the Official Journal of the European Union, L37, 13.2.2003, p. 24.
- 2) Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances (RoHS) in Electrical and Electronic Equipment, the Official Journal of the European Union, L37, 13.2.2003, p. 19.
- 3) Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on End-of Life Vehicles (ELV), the Official Journal of the European Communities, L269, 21.10.2000, p. 34.
- 4) 土壌汚染対策法及び関連法規.
- 5) 森田啓介, 磯江準一, 金子恵美子: 日本分析化学会第 53 年会講演要旨集, p. 19 (2004).
- 6) 日本鉄鋼協会学術部門第 6 回評価分析解析部会セミナー「有害物質に関する欧州規制の最新動向と対応」講演要旨集, (2005), (日本鉄鋼協会).



小熊幸一 (Koichi OGUMA)

千葉大学工学部共生応用化学科(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)。東京教育大学大学院理学研究科化学専攻修士課程修了。理学博士。◀現在の研究テーマ▶固相抽出による微量金属の分離濃縮。