



## 環境研究の最前線 ——

県環境科学国際センター研究員に聞く ②

# シロキサンの分析法開発と国際標準化への挑戦

埼玉県環境科学国際センター 化学物質・環境放射能担当 堀井 勇一

埼玉県環境科学国際センターは、「試験研究」「情報発信」「国際貢献」「環境学習」を4つの柱とする環境科学の総合的中核機関です。また、令和4年度からは研究成果の社会実装化を目指した取り組みも進めています。

本連載では、当センターで行われている社会実装に繋がる6つの研究を紹介します。

### ● シロキサンの利用と化学物質管理

シロキサン（いわゆるシリコン）は、耐熱・耐寒性、電気絶縁性、化学的安定性、撥水性等の優れた性質を併せ持つことから、日用品から宇宙開発まで多くの産業分野で使用されています<sup>1)</sup>。身近な例として、化粧品やワックス等が挙げられます（図1）。

シロキサンのうち、揮発性環状シロキサン（VMSとする、ユニットが4～6個繋がったものをD4/D5/D6と示す）は、多くのシリコン製品の原料として使用されるため特に重要です。VMSは、水環境（底質）中で濃度が半分になるのに10年近くを要するものもあり、魚類への高い蓄積性や慢性毒

性が懸念されるため、欧州では洗い流すタイプの日用品（例えば、シャンプー等）への使用が制限されています。日本では、2018年にD4とD6の2物質が「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」の監視化学物質へ登録されました。

化学物質の適正管理には、環境への影響評価が必要であり、その第一歩として、環境分析法の開発が不可欠です。本稿では、水中のVMS分析法の開発とその国際標準化までの道のりについて紹介します。

### ● 分析法開発

水中の揮発性化合物の測定には、試料水にガスを通気させて水中に含まれる目的物質を追い出して捕集する「パージ・トラップ抽出」が使用されますが、VMSは揮発性と同時に、有機物と強い親和性を持つことから、有機物の粒子を多く含む試料水への適用が困難でした。そこで、著者らは「改良型パージ・トラップ抽出」として、図2に示した試料水を入れた容器を50℃で加熱し、さらに超音波振動を同時に与えることで、抽出効率と分析精度が向上するこ

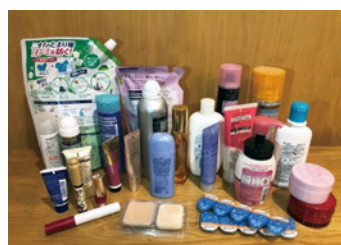


図1 著者宅で見つかったシリコンを含む日用品（左）と

シリコン製品の産業分野別年間生産量（右）<sup>1)</sup>

（国内シリコン産業が日本経済にもたらす直接的波及効果は、付加価値にして2兆4,500億円との推計がある。）

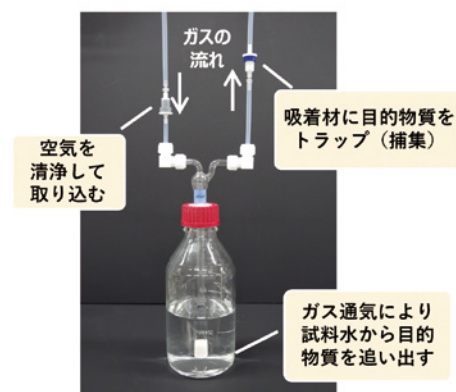
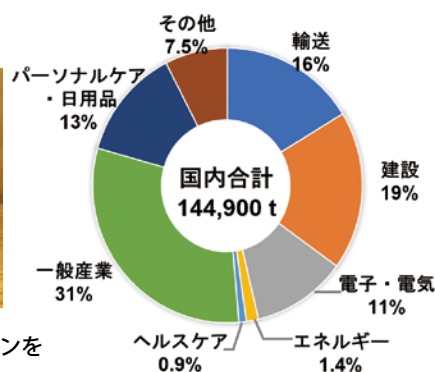


図2 改良型パージ・トラップ抽出器具

抽出時は器具を超音波槽に浸し、さらに加熱して抽出をアシストするのが特長。

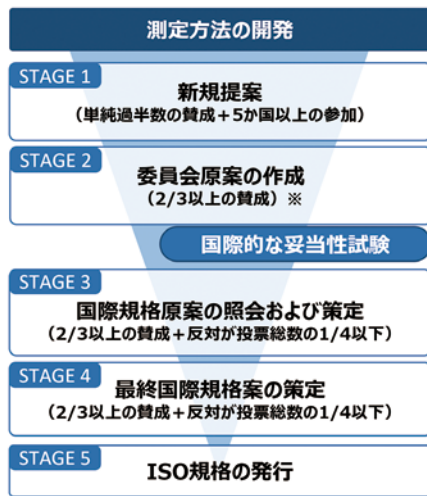


図3 ISO規格の策定プロセス

括弧内は各プロセスの承認要件を示す。

※現在は委員会原案に対する投票は実施されない。

とを見出しました。また、開発にあたり、シリコーンを含まない器具・部品や作業工程の具体的な指定により試料汚染（いわゆるコンタミ）を防止することができ、低濃度の試料まで安定して分析することが可能となりました。その感度は1 L当たり数ナノグラム（1 ナノグラムは1 グラムの10億分の1）と、従来法と比較して約10倍向上しました。

## 国際標準化

開発した分析法は、2018年に国際規格（ISO 20596-1:2018）として発行されました<sup>2)</sup>。ISO規格は、社内規格や国家規格と比較して適用範囲が格段に広がるため、規格策定のための合意形成の難易度も高くなります。ISO規格の策定プロセス（図3）は、まず、開発した①測定方法をISO技術委員会（ISO/TC147 Water Quality）へ新規提案すること、から始まります。無事に新規提案が承認されれば、②作業部会での委員会原案の作成、③国際規格原案の照会・策定、④最終国際規格案の策定、⑤国際規格の発行と策定プロセスを進めていきます。この間、国内外での作業部会や多段階の国際投票における意思決定プロセスを経なければなりません。また、環境分野の測定方法の策定では、国際的な比較試験に

参考文献

1) Horii, Y., Kannan, K. (2019) The Handbook of Environmental Chemistry, Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/698\\_2019\\_375](https://doi.org/10.1007/698_2019_375)

2) ISO 20596-1:2018 Water quality - Determination of cyclic volatile methylsiloxanes in water - Part 1: Method using purge and trap with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). <https://www.iso.org/standard/72386.html>

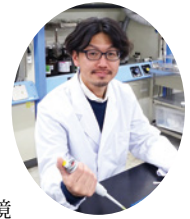
3) Horii, Y., Ohtsuka, N., Nishino, T., Kuroda, K., Imaizumi, Y., Sakurai, T. (2022) Science of the Total Environment, 838, 155956. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155956>

4) 科学研究費助成事業データベース、基盤研究 (B)、22H03766、底質及び底生食物網に着目したシロキサン類の多媒体残留蓄積性評価。 <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22H03766/>

## Profile

ほりい ゆういち  
堀井 勇一

埼玉県環境科学国際センター  
化学物質・  
環境放射能担当専門研究員  
博士（理学）



専門は微量有機汚染物質の環境分析、環境動態解析、リスク評価、品質管理など。米国でのポストドク時代の上司の助言が本研究のきっかけです。シロキサンの環境研究では、分析法の国際標準化という新たな分野に挑戦しました。環境中に存在する化学物質を「正確に測る」ことを基軸として、様々な環境問題の解決に奮闘しています。

よる妥当性評価の実施が義務付けられています。著者は、作業部会（ISO/TC147/WG72）の統括責任者として国際標準化の中心的な役割を果たしました。新規提案から発行には3年を要しましたが、これはISO規格の標準的な所要時間です。

このISO規格は、国内はもとより、世界中で統一的な測定を可能とします。これは、水環境中への排出量や環境中濃度の正確な把握、地域ごとの比較検討に繋がるものであり、VMSが環境に与える影響等を正しく評価し、排出抑制等の必要な対策を講じることに貢献できます。また、本法は、環境省の化学物質環境実態調査の測定方法としても採用され、現在、全国調査が実施されています。

## おわりに

著者らは、ISO規格とその応用により、東京湾流域の包括的な環境調査を実施し、河川水、海水、底質についてVMSの存在実態、蓄積特性、負荷量推定、環境リスク等の解明に取り組んできました<sup>3)</sup>。最近では、水環境の食物網に注目して、VMSの生物濃縮性を明らかにする研究を実施しています<sup>4)</sup>。

私たちの生活は、シロキサンに限らず多くの化学物質から多大な恩恵を得ています。持続可能な社会の実現には、これら化学物質の環境への影響を理解し、正しく管理することが必要です。当センターは、「環境中の化学物質を正確に測る」ことを通じて、化学物質に対する地域環境の保全や、災害・事故に備えた環境マネジメントシステムの構築に取り組んでいます。