

## 熊谷将吾氏

(KUMAGAI Shogo  
東北大学大学院工学研究科 准教授)

1986年宮城県仙台市生まれ。2010年東北大学工学部化学・バイオ工学科を卒業し、同年東北大学大学院環境科学研究科に進学。2015年に同研究科博士課程後期3年の課程を修了、博士(環境科学)を取得し、同研究科の助教に着任。2022年、東北大学ディステイニングイッシュトリチャーの称号が付与され、2024年1月より現職。2014年より、熱分解ガスクロマトグラフィーを有機炭素資源の化学原料転換プロセス開発に応用する研究を開始し、現在に至る。2018年、Journal of Analytical and Applied PyrolysisのEditorに就任。2020年、経済開発協力機構(OECD)の“Sustainable Plastics Criteria from Chemicals Perspectiveプロジェクト”のExpert group memberに就任。リサイクル研究ならびに熱分解分析法の発展に貢献すべく国内外の様々なプロジェクトに携わる。趣味はウェイトトレーニング。



## 【業績】

## 有機炭素資源利用プロセス開発への熱分解ガスクロマトグラフィーの応用

熊谷将吾氏は、従来高分子の構造解析や組成分析を主とする熱分解ガスクロマトグラフィーを、プラスチックやバイオマス等有機炭素資源の化学原料転換プロセス開発に応用する研究を大きく開拓し、これまでに、数々の熱分解反応分析法を開発することに成功した。以下に同氏の主要な研究業績を示す。

1. タンデム- $\mu$ リアクター-ガスクロマトグラフを応用した熱分解-触媒反応のその場分析法の開発

プラスチックやバイオマスの熱分解および固体触媒との触媒反応からなる2ステッププロセスの開発が現在主流となっている。熱分解反応や触媒反応の生成物をその場分析することができれば、熱分解および触媒反応機構の解明やプロセス設計に大きく貢献する。熊谷将吾氏は、タンデム- $\mu$ リアクター-ガスクロマトグラフ/質量分析計(TR-GC/MS)を用いた様々な熱分解-触媒反応系をTR内で構築し、その反応生成物をその場分析する手法を開発してきた。例えば、ポリエチレンテレフタレート(PET)の熱分解生成物を酸化カルシウム(CaO)と反応させてベンゼンに転換するプロセス<sup>1)2)</sup>において、その一連の反応生成物をTR-GC/MSによりその場分析する方法論を提案し、主要生成物のダイナミックな生成挙動をモニタリングすることに成功した<sup>3)4)</sup>。

## 2. 熱分解-気相誘導体化-GC/MS法による高沸点熱分解生成物のその場分析法の開発

熱分解法によるケミカルリサイクルプロセスを検討するためには、低沸点~高沸点まで幅広く熱分解生成物の組成や生成挙動を理解することが必要不可欠である。しかし、一部のプラスチックやバイオマスは、GCでは分析困難な高沸点化合物を熱分解により生成するため、熱分解ガスクロマトグラフィーによる熱分解反応解析のボトルネックとなっていた。熊谷将吾氏は、触媒スクリーニング用途に開発されたTR-GC/MSを用いて、高沸点化合物を気相中で直接誘導体化してGC/MSに導入する、熱分解-気相誘導体化-GC/MS法(Py-GPD-GC/MS法)を開発した。これまでに、4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート(MDI)を骨格に含むポリウレタンをTRの1段目反応炉にて熱分解し、2段目反応炉にN-メチルピス(トリフルオロアセトアミド)(MBTFA)を導入するシステムを構築し、1段目反応炉で生成した4,4'-ジアミノジフェニルメタン(MDA)を気相トリフルオロアセチル(TFA)化して、GC/MSによりその場分析することに成功した<sup>5)</sup>。

## 3. スーパーエンジニアリングプラスチックの燃焼反応生成物のその場分析法の開発

スーパーエンジニアリングプラスチックのような高耐熱性樹脂は、熱分解により大量の炭素残渣を形成するものが多い。よって、部分燃焼反応等のガス化によって化学原料に転換するアプローチが検討されている。従来の熱分解-GC/MS(Py-GC/MS)により燃焼反応生成物をその場分析する場合、空気中の酸素によるカラムやイオン源の損傷、窒素と酸素による大きなノイズ発生のため、燃焼反応生成物を評価することは極めて困難であった。熊谷将吾氏は、フロンティア・ラボ(株)と共同で、スーパーエンジニアリングプラスチックの燃焼反応生成物のその場分析を可能とする新しい分析手法を提案した。具体的には、パイロライザーに導入した空気をヘリウムで希釈するガス導入ラインを新設し、カラムやイオン源の損傷を防ぐと同時にノイズレベルを低減し、燃焼反応生成物をその場分析することに成功した<sup>6)7)</sup>。

## 4. 高効率熱分解試験システムおよび共熱分解シナジー効果の評価手法の開発

共熱分解において、プラスチック種、バイオマス種、それらの混合比、それらの熱分解温度等の組み合わせは多岐に渡る。更に、共熱分解によって得られる熱分解生成物は極めて複雑な組成を有し、生成物の評価を難しくしている。熊谷将吾氏は、熱分解から生成物の定性・定量まで一貫通貫で実施可能な熱分解-GC/マルチ検出器システム<sup>8)</sup>および階層的クラスター分析(HCA)を用いた共熱分解シナジー効果の評価手法<sup>9)10)</sup>を開発した。本試験システムは、熊谷将吾氏が通常実施するオフラインの熱分解試験および分析と比較して、実験および分析に要する時間をそれぞれ75%および71%短縮、つまり従来の3~4倍の熱分解試験および分析効率を達成している。また、HCAを応用した共熱分解シナジー効果の評価により、迅速かつ簡便に共熱分解シナジー効果に伴う収量増減ならびに生成物群を捉えられることを見いだしている。

このように、熊谷将吾氏は有機炭素資源利用プロセス開発に熱分解ガスクロマトグラフィーを応用する独創的なアプローチにより、資源利用化学分野における分析化学の新しい可能性を開拓すると同時にそのプレゼンスを大きく向上したことから、分析化学の発展に貢献するところが大きい。

〔東北大学大学院理学研究科 西澤 精一〕

## 文 献

- 1) *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 3430 ('14).
- 2) *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **94**, 2370 ('21).
- 3) *React. Chem. Eng.*, **2**, 776 ('17).
- 4) *Chem. Eng. J.*, **332**, 169 ('18).
- 5) *Anal. Chem.*, **92**, 14924 ('20).
- 6) *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **168**, 105754 ('22).
- 7) *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **181**, 106575 ('24).
- 8) *分析化学*, **73**, 297 ('24).
- 9) *Chem. Eng. J.*, **453**, 139958 ('23).
- 10) *Chem. Eng. J.*, **493**, 152434 ('24).

## 宋 和 慶 盛 氏

(SOWA Keisei)  
(京都大学大学院農学研究科 助教)

1989年7月生まれ、大阪市出身。兵庫県立神戸高等学校卒。2012年京都大学農学部応用生命科学科卒業、2014年京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻博士前期課程修了、2017年同博士後期課程修了、加納 健司教授(京大)の指導の下、「非白金水素エネルギー変換系に繋がる生物電気化学的研究」で博士(農学)の学位を取得。日本学術振興会特別研究員DC2、三井化学アグロ株、株式会社製作所を経て、2021年2月に京都大学助教。専門は、構造生物電気化学。直接電子移動型酵素の基礎理解と生体模倣技術(バイオ燃料電池、第三世代型バイオセンサ、CO<sub>2</sub>のバイオ資源化など)の社会実装に取り組んでいる。趣味はゴルフと将棋。



## 【業 績】

## 電気分析化学と構造生物学による直接電子移動型酵素の反応機構解明

宋和慶盛氏は、電気分析化学、酵素工学、構造生物学の分野で活動している。特に、電極と直接接合する酵素として知られる“直接電子移動型酵素(DET型酵素)”に焦点を当て、電気分析化学による反応機構解明を推進し、その基礎研究を生体模倣技術へと発展してきた。以下に、同君の主要な研究業績を記す。

## 1. 電気分析化学的アプローチによるDET型酵素の反応機構解明

酸化還元酵素反応と電極反応を共役した酵素機能電極反応は、生物電気化学的デバイスの基盤技術として着目されている。特に、酵素が直接的に電子移動する“直接電子移動型酵素電極反応(DET型反応)”は、電子伝達メディエータが不要なため、エネルギー変換効率の向上や副反応リスクの低減が可能となり、次世代型バイオ燃料電池や第三世代型バイオセンサなどのデバイスへの展開が期待されている。

酢酸菌由来のフルクトース脱水素酵素(FDH)は、他の酵素と比べ平均値の10倍以上のDET型活性を有し、モデル酵素として長年研究されてきた。FDHの電子移動メカニズムをより詳細に解析するには、構造情報が必須であったが、FDHが膜結合型酵素であるため結晶化が困難で、長年の間、X線結晶構造解析法による立体構造解明は難航していた。そこで、クライオ電子顕微鏡観察技術(Cryo-EM)によってFDHの立体構造を解明した。本成果は、DET型反応可能な膜結合型フラボヘモ/キノヘモ/メタロヘモタンパク質において、世界で初めて全体構造を解明したものである。解析結果から酵素内の電子移動経路を特定し、Marcus理論に基づく定量的な速度論的考察を行った。また、静電相互作用に着目し、酵素と電極表面の静電状態を制御することで、heme 2cが電極反応部位であることを決定した。さらに、heme 2c周辺の芳香族アミノ酸残基に着目し、部位特異的変異導入法によって、トリプトファン残基(Trp427)が酵素-電極間の長距離電子移動速度を3倍加速させていることを実証した<sup>1)</sup>。

また、酢酸菌由来のアルコール脱水素酵素(ADH)やアルデヒド脱水素酵素(ALDH)の立体構造をCryo-EMで解明し、その電子移動反応を考察した<sup>2)</sup>。さらに、メタノール資化性菌由来のギ酸脱水素酵素(FoDH1)に関して、Cryo-EMで得られた立体構造と電気分析化学結果から、本酵素内には二つの電極反応部位と三つの電子移動経路が存在することを実証した<sup>3)</sup>。

## 2. 応用展開に向けたDET型反応の改良

一般的に、DET型反応における律速過程は、酵素内の電極

反応部位-電極間の長距離電子移動である。本反応速度は、両者間の距離増加に従って指数関数的に減衰するため、DET型反応に適した酵素-電極間界面設計が重要である。ピリルビンオキシダーゼ(BOD)は、酸素から水への4電子還元を触媒するDET型酵素で、バイオ燃料電池の正極材料として汎用されている。BODの電極反応部位に着目し、(A)生理学的電子ドナーを電極に修飾する配向制御法<sup>4)</sup>、(B)適した静電相互作用を持つ炭素材料の開発<sup>5)-8)</sup>、(C)糖鎖ミミックによる配向制御法<sup>9)10)</sup>によって、BODのDET型反応特性を大幅に向上させた。

また、酵素工学的手法により優れたDET型反応特性を持つ変異体も作製した。異化代謝にかかわる補酵素であるNAD<sup>+</sup>/NADHの相互変換反応を担う、FoDH1のβサブユニットに着目し、βサブユニット単独発現体(FoDH1B)を発現・精製し、その電気化学特性を評価した。酵素自体のダウンサイズ効果だけでなく、酵素表面に新たに露出した鉄硫黄クラスターが新規の電極反応部位として機能することを確認し、そのDET型特性を大幅に改善することに成功した<sup>11)</sup>。

## 3. 生体模倣技術への応用研究

上記のDET型酵素を活用し、3種類の燃料で発電するDET型バイオ燃料電池を開発した。特に、水素で発電するバイオ燃料電池の場合、ガス拡散型電極を活用することでヒドロゲナーゼ固有の不活性化反応を抑制できることを実証し、常温常圧静止条件下で出力密度8.4 mW cm<sup>-2</sup>を達成した(2024年現在においても世界最高出力)<sup>12)</sup>。

また、国際共同研究によって第三世代型バイオセンサの開発にも取り組んでおり、印刷型電極にFDHを修飾させることで明瞭なDET型反応を実現し、良好な特性を持つ第三世代型バイオセンサを構築した<sup>13)</sup>。

このように、宋和慶盛君の電気分析化学と構造生物学を組み合わせた独創的で優れた研究は、酵素反応機構の基礎理解だけでなく生体模倣技術の発展にも寄与し、分析化学の発展に貢献するところが大きい。

[中央大学理工学部 上野 祐子]

## 文 献

- 1) *ACS Catal.*, **13**, 13828 ('23). 2) *ACS Catal.*, **13**, 7955 ('23). 3) *Chem. Commun.*, **58**, 6478 ('22). 4) *PCCP*, **16**, 4823 ('14). 5) *J. Electroanal. Chem.*, **783**, 316 ('16). 6) *Electrochim. Acta*, **192**, 133 ('16). 7) *Electrochem. Commun.*, **66**, 58 ('16). 8) *Electrochim. Acta*, **246**, 794 ('17). 9) *Bioelectrochem.*, **146**, 108141 ('22). 10) *Bioelectrochem.*, **152**, 108143 ('23). 11) *Electrochim. Acta*, **465**, 142954 ('23). 12) *J. Mater. Chem. A*, **4**, 8742 ('16). 13) *Biosens. Bioelectron.*, **237**, 115450 ('23).

## 外間 進悟 氏

(SOTOMA Shingo  
(京都工芸繊維大学テニュアトラック 助教))

1986年7月兵庫県に生まれる。2010年同志社大学工学部卒業。2015年京都大学大学院工学研究科博士課程を修了し、「ダイヤモンドナノ粒子の生体計測応用に関する研究」により博士(工学)。2015~2016年京都大学工学研究科(博士研究員)、2016~2018年台湾中央研究院(博士研究員)、2018~2020年大阪大学蛋白質研究所(学振SPD)、2020~2023年大阪大学蛋白質研究所(助教)、2023年京都工芸繊維大学テニュアトラック助教。現在はダイヤモンド・量子ドット・金などのナノ粒子の表面を機能化による制御とそれらを利用したバイオイメーjing・バイオセンシングの研究に取り組んでいる。趣味は野球、琉球エイサー、2人の子供との公園遊び。



## 【業績】

## 細胞内の物理化学量を分析するナノ計測技術の開発と応用

外間進悟氏は、量子センサとも呼ばれる蛍光性ダイヤモンドナノ粒子を開発し、それまで困難であった細胞内の物理化学量を定量的に計測する技術の開発に成功した。以下に同君のおもな業績を3項目に要約して紹介する。

1. イオン・電子線照射による高輝度化・高磁気共鳴活性化<sup>1)~3)</sup>

ダイヤモンド結晶内部に形成する格子欠陥の1種である窒素空孔中心(NVC, nitrogen-vacancy center)は近赤外の蛍光を発する。NVCを有するダイヤモンドナノ粒子(一般に粒子径100 nm)は蛍光性ナノダイヤモンド(FND, fluorescent nanodiamond)と呼ばれる。また、NVC内部の電子スピンの磁気共鳴現象はNVCの蛍光強度から検出することができ、この技術は光検出磁気共鳴(ODMR, optically detected magnetic resonance)と呼ばれる。ODMR信号は周囲の物理化学量(外間氏の研究では温度・角度に着目)に鋭敏に応答するため、FNDはナノ領域の温度計として利用することができる。しかし、FND内部に存在するNVCの濃度は低くODMR信号強度が微弱であり、一つの粒子を計測に利用することは困難であった。外間氏はFNDに対してヘリウムイオン照射を行いダイヤモンド結晶内に人工的に欠陥を導入し、NVCの濃度を向上させることに成功した。これにより、25 nmと微小なFND1粒子からODMR信号を検出することに成功した。また、FND粒子表面の化学状態を制御することによりNVCの安定性を高めることができることを発見し、粒子径が4 nmと当時世界最小となるFND量子センサの開発に成功し、細胞計測に利用できることを世界に先駆けて示した。

2. 表面化学修飾による高分散性・機能化・選択的分子標識<sup>4)~8)</sup>

FNDの表面は疎水的であるため、生命科学へ応用するためには水溶液中での分散性を向上させる必要がある。また表面をバイオコンジュゲーション可能な官能基で修飾する技術の開発、それに続いて狙った生体分子を選択的に標識する技術の開発も必要となる。外間氏はこの問題の解決を高い親水性を有する高分岐鎖ポリグリセロール(HPG, hyperbranched polyglycerol)コーティングにより達成した。FNDは水中では高い分散性を示すが、塩を含む溶液中では凝集・沈殿してしまう。FND表面をHPGでコーティング(FND-HPG)することによって、細胞培養条件下でも高い分散性を保つFNDの調製に成功した。さらにFND-HPGの表面に、カルボキシ、アミン、アジド、ピオチンなどの官能基を、ワンポットで簡便に導入する方法を開発した。この方法を応用し、細胞膜のタンパク質(CD44, 糖タンパク質, インテグリン)を選択的に標識する技術を開発、さらに1粒子トラッキングから膜タンパク質の拡散係数を算

出することに成功した。ところで、HPGコーティングはナノ粒子に高い分散性と拡張性を与える一方で、コーティングの厚みが20 nm程度となり、ODMRセンシングにおいてターゲット分子とNVCとの距離を生み感度に影響を与えることが課題となっていた。そこで、分子内にダイアセチレン構造を持つ脂質でFNDをコーティングし、脂質間にUV光を照射し光重合させることによりコーティングの安定性を大幅に向上させる技術を開発した。この光重合性脂質(PCL, photo-crosslinked lipid)コートされたFND, FND-PCLのコーティング膜厚は2 nm程度であるが、高い分散性と非特異的吸着を抑制する効果を有していることが確認された。

本手法の応用範囲は広く、バイオイメーjing・バイオセンシングにおけるFNDの利用を加速させた。

3. 細胞の熱伝導率計測<sup>9)</sup>

FNDはナノ領域の温度計測が可能なセンサとして機能する。一方で、ポリドーパミン(PDA, polydopamine)はドーパミンが重合した高分子であり、光照射によって発熱する性質(フォトサーマル効果)を有する。外間氏の研究では、FND-PDAを合成、発熱体と温度計が一体となった新規ハイブリッドナノシステムを構築し、ナノ領域の熱伝導を計測可能なプローブを開発した。FND-PDAに光照射すると、PDAが発熱しその発熱はFNDによって計測することができる。FND-PDAが高熱伝導率の環境にある場合、PDAの発熱は外部へ速く拡散するため、FNDの温度は上がりやすく、逆に低熱伝導率の環境にある場合はFNDの温度は高温になる。すなわち、FND-PDAを細胞内に導入しその温度上昇を調べることによって、細胞内の熱伝導率を計測することができる。実験では、すでに熱伝導率が報告されている、空気、水、ミネラルオイル中で発熱の計測を行い、FND-PDAを正確に熱伝導率計測が行えることを確認した。その後、HeLa細胞とMCF-7細胞(いずれもヒト由来癌細胞)内にFND-PDAを導入し、熱伝導率を計測した結果、細胞の熱伝導率は、0.11 W/m・Kであり水(0.6 W/m・K)より小さく、また大きなばらつきを持つことを明らかにした。本成果により、細胞内の局所はこれまで考えられていた以上に高温になりやすく、この温度勾配が生体反応に影響を与える重要なファクターである可能性が示された。

以上の通り、外間進悟氏は材料開発から生体応用に至るすべてのフェーズで重要な研究成果を上げており、独創的な着想と技術は分析化学の発展に資するものである。

[九州工業大学工学研究院 竹中 繁織]

## 文 献

- 1) *Biophys. Physicobiol.*, **19**, e190034 ('22). 2) *Diam. Relat. Mat.*, **10**, 33 ('15). 3) *Sci. Rep.*, **8**, 5463 ('18). 4) *Chem. Lett.*, **3**, 354 ('15). 5) *Langmuir*, **35**, 8357 ('19). 6) *ACS Appl. Mat. Interf.*, **11**, 19774 ('19). 7) *ACS Appl. Mat. Interf.*, **15**, 21413 ('23). 8) *Chem. Commun.*, **54**, 1000 ('18). 9) *Sci. Adv.*, **7**, eabd7888 ('21).

## 中村 圭介 氏

(NAKAMURA Keisuke  
産業技術総合研究所計量標準総合センター物質計測標準研究部門 主任研究員)

1988年11月神奈川県横浜市に生まれる。2012年埼玉大学応用化学科卒業、2014年同大学大学院理工学研究科博士前期課程修了、2017年同博士後期課程修了。埼玉大学に在学中は渋川雅美教授の指導を受け、「気体固定相を有する液体クロマトグラフィーを用いた逆相分離系の溶質保持機構に関する研究」で博士(工学)の学位を得る。2017年から国立研究開発法人産業技術総合研究所物質計測標準研究部門研究員、2021年より現職。現在は、食品中の残留農薬、プラスチック材料中の添加剤、および有機溶媒中の水分等を対象に信頼性の高い分析法の開発や認証標準物質の開発に取り組んでいる。趣味は草野球、スキー。



## 【業績】

## HPLCにおける保持機構解明および同位体希釈質量分析法による精確定量法の開発

中村圭介氏は、新たな液体クロマトグラフィー(LC)を開発して水/疎水性物質界面で起きる物質分離の機構を実験的に明らかにするとともに、各種分離法を用いた高精度な有機物質分析法を開発し、これらを残留農薬分析技能試験(PT)の付与値の決定や認証標準物質(CRM)の開発に応用してきた。以下に中村君の主な研究業績を紹介する。

## 1. 表面気泡変調液体クロマトグラフィーの開発と水/疎水性物質界面の計測

分析対象となる物質の種類は増加の一途をたどっており、これに対応するためには新たな分離機能を持った分離分析法を開発することが不可欠である。LCは広範な分野で利用される分離分析法であり、分離カラム内に物理・化学的に新たな分離場を構成し、さらに高度な分離選択性や分離能を生み出そうとする試みがなされている。中村君は、逆相LCカラム内に形成させた気相を一つの構成要素とするハイブリッド固定相を分離場として用いる表面気泡変調液体クロマトグラフィー(surface-bubble-modulated liquid chromatography, SBMLC)の実験手法開発に大きく貢献した<sup>1)</sup>。ここで、逆相LCカラム内における気相の形成は、充填剤として汎用されるオクタデシルシリカ(OAS)等の疎水性多孔質粒子細孔で働く細孔圧で説明できる。気相形成後の逆相LCカラム内では細孔内の気相、疎水性物質(例えばオクタデシル基)、および水/疎水性物質界面が固定相として機能しており、このうち細孔内の気相体積と、水/疎水性物質界面の大きさはカラムに加える圧力によって変化させることができる。ここで疎水性物質と、水/疎水性物質界面では溶質との相互作用が異なるため、SBMLCでは圧力によって溶質の分離選択性を自在に調節可能となる。圧力による分離選択性の制御は従来のLCにはない画期的な技術であり、新たな分離選択性を生み出す分析法として期待される。さらに中村君は、SBMLCを用いることで、従来の界面計測法では観測できなかった水/疎水性物質界面における有機分子やイオンの深さ方向の分布を観測することに成功した<sup>2)</sup>。このほかにも溶液の組成や疎水性物質の表面化学構造による物質分布の変化を明らかにするとともに、SBMLCによる界面計測結果について、熱力学的解析を行うことで、界面における分子の配向を明らかにした<sup>3)4)</sup>。このように中村君は、LCを用いた界面計測法を確立することで、逆相系のLCや固相抽出法の開発以来、30年以上未解明であった水/疎水性物質界面における分子の挙動を実験的に捉えることに成功した。

## 2. 高精度な食品中残留農薬分析法の開発

残留農薬分析は、抽出、クリーンアップおよび機器分析等、複雑な分析工程を要する。したがって分析結果の信頼性を担保

するためには、分析法の妥当性評価や精度管理が重要であり、CRMの使用とPTへの参加が精度管理の有効な手段となる。CRMやPT用試料中の農薬濃度の決定法の一つに、同位体希釈質量分析法(IDMS)による定量がある。IDMSは、CRM等の値付けにおいて最も正確な一次標準分析法とされているが、複雑な組成を有する食品試料への適用については、食品マトリックスに起因する測定干渉などの問題点がある。中村君は、食品中残留農薬分析におけるIDMSの問題点を解決するとともに、IDMSを利用した農薬抽出法の正確な評価法を確立した。

中村君は、LC/MSを用いた食品中のネオニコチノイド系農薬分析に、重水素化標識化合物を内部標準物質とするIDMSを適用した場合、食品マトリックスの影響によって分析値に偏りが生じることを明らかにした。さらに食品マトリックスを添加した標準液でLC/MSを校正することでマトリックスの影響を補正でき、信頼性の高い分析値が得られることを示した<sup>5)</sup>。また、加圧流体抽出法(PLE)や超臨界流体抽出法(SFE)を用いる農作物中の残留農薬分析においては実試料から十分に農薬を抽出可能な条件の決定が困難であった。中村君は、これらの抽出・分析操作においてもIDMSを適用することで、正確な定量を確立した<sup>6)~8)</sup>。これにより、PLEやSFEを用いた高精度な食品中残留農薬分析法を開発するとともに、開発した分析法をPTの付与値決定に応用した。

## 3. グリーン調達対応標準物質とプラスチック材料中の添加剤分析法の開発

中村君は、グリーン調達対応標準物質である臭素系難燃剤含有ポリスチレン(NMJ CRM8110-b)のロット更新および認証値決定における中心的役割を担った<sup>9)</sup>。さらに、プラスチック製品のスクリーニング分析法として汎用されるものの、定量性の低さが欠点であった熱分解ガスクロマトグラフィー/質量分析法(TD-GC/MS)にIDMSを適用することで、正確な分析値が得られることを明らかにした<sup>9)</sup>。TD-GC/MSの精密分析法としての可能性を見いだした中村君の成果は、プラスチック材料分析の簡易化と高精度化の双方に大きく貢献するものである。

以上、中村圭介氏は、SBMLCを開発してこれまでにない界面計測を実現するとともに、IDMSを用いた有機物質の高精度な分析法を開発し、技能試験の付与値の決定やCRM開発を行った。これらの研究成果は、今後の分析化学分野の発展に大いに貢献すると期待される。

(静岡県立大学薬学部 轟木 堅一郎)

## 文 献

- 1) *Anal. Chem.*, **87**, 1180 ('15).
- 2) *J. Phys. Chem. C*, **122**, 4409 ('18).
- 3) *J. Phys. Chem. C*, **122**, 28674 ('18).
- 4) *J. Chromatogr. A*, **1628**, 461450 ('20).
- 5) *J. Environ. Sci. Heal. B*, **54**, 467 ('19).
- 6) *J. Environ. Sci. Heal. B*, **54**, 640 ('19).
- 7) *J. Environ. Sci. Heal. B*, **55**, 604 ('20).
- 8) *J. AOAC Int.*, **106**, 1532 ('23).
- 9) *Anal. Bioanal. Chem.*, **416**, 407 ('23).