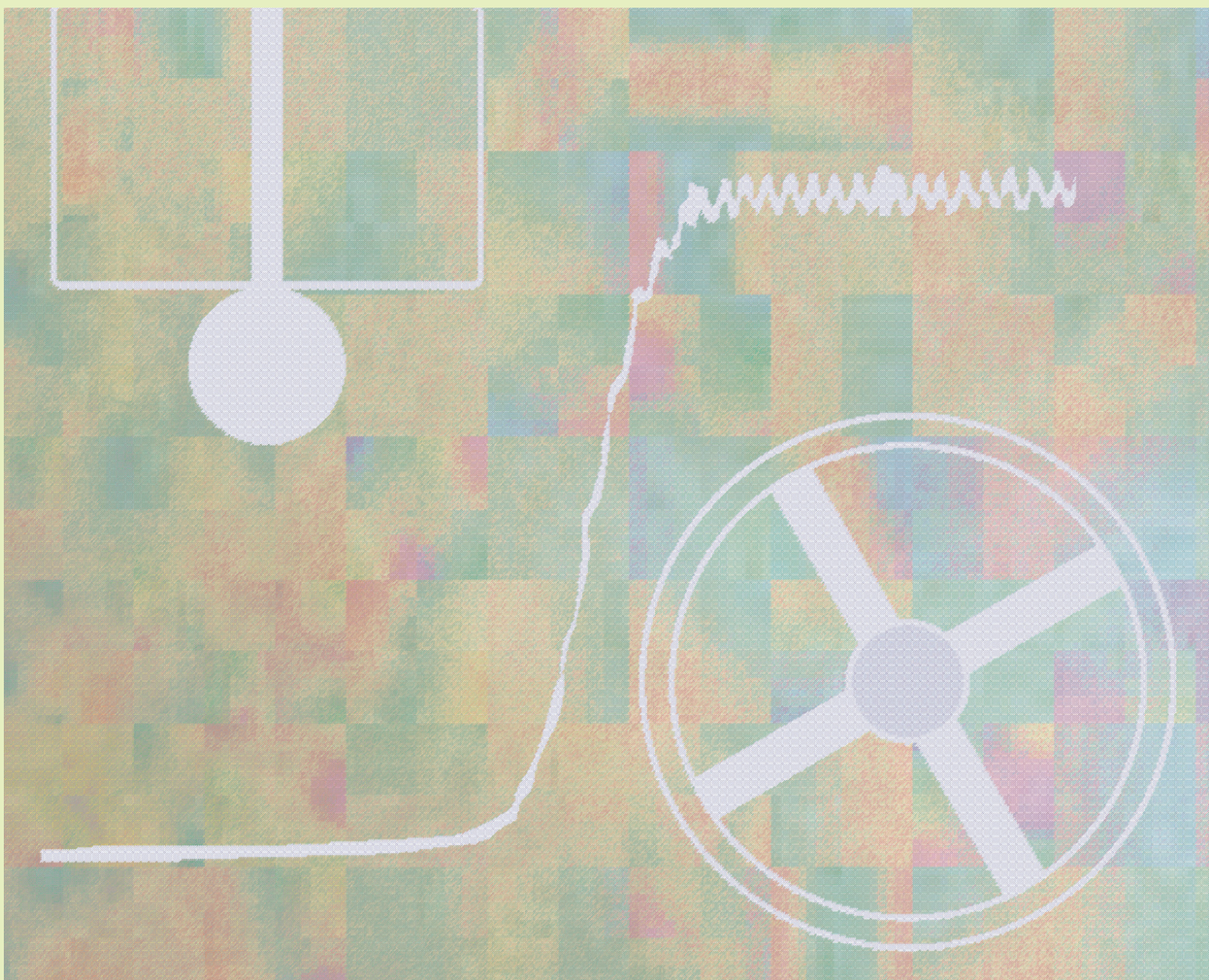


ぶんせき 11

Bunseki 2023

The Japan Society for Analytical Chemistry



ICP 質量分析計
ICP Mass Spectrometer

ICPMS-2040 ICPMS-2050



An Era Without Compromise

Eco Friendly yet Competent エコと高性能の両立

進化した独自のミニトーチシステム
新開発のコリジョン・リアクションセル
高性能四重極マスフィルター

Fast at No Additional Cost 「速い」をもっと身近に

測定時間の短縮に貢献する「高速セルガス置換」
導入系洗浄を効率的に行う「先行リンス」

Minimal Operation Required 働き方に変革をもたらす操作性

導入系洗浄を自動で最適化する「拡張リンス」
装置据付後すぐに分析が開始できる「プリセットメソッド」



ANALYTICAL
INTELLIGENCE

詳しい製品情報はこちら ▶



ぶんせき Bunseki 2023 Contents 11

目次

とびら	初心の眼／井上 高教 429
入門講座	分離技術：原理から最新技術まで イオンモビリティ／菅井 俊樹 430
ミニファイル	マイクロ・ナノの分析化学 光学顕微鏡を用いた蛍光検出技術／橋 椋 437
特集	令和の分析化学教育 439 大学教員と高専校長の立場からみた分析化学教育／岡田 哲男 440 理工学系大学における分析化学教育の今後／上原 伸夫 443 理工系大学の分析化学教育／小川 信明 446 大学（農学系）における分析化学教育／白井 理 449 九州支部による HPLC 講習会／浜瀬 健司 452 高専における分析化学教育の実際と特徴／澤井 光, 原 嘉昭 455 高専での“電子回路×分析化学”をテーマとした実験実習／野田 達夫 458 バーチャル実験を取り入れた分析化学教育モデルの開発／重里 徳太 462 化学分析技能士の資格取得に向けた取り組みと技能五輪国際大会への挑戦／池田 泰久 466 中高生に分析化学を伝える―「夢ナビライブ」にて―／宮村 一夫 469 スーパーサイエンスハイスクールの分析化学教育／川野 和也 471 高校の科学部活動で活用される分析化学／山口 悟 473 都立多摩科学技術高校における分析化学教育／田中 義靖 479 計量証明事業所における分析業務の特色と伝承／管 雅英 482 水処理会社の分析部門における教育と技能伝承／江川 暁 486 公設試験研究機関における分析化学教育／林 英男 489 環境計量講習（濃度関係）／米谷 明, 高塚 登志子 492 作業環境測定士の育成／飛鳥 滋, 宮部 寛志 494
話題	熱分解 GC/MS による土壌有機物質の分子特性解析／佐澤 和人 499
技術紹介	LC-MS/MS による食物アレルギー検査方法 ―標準物質「食物由来アレルギー抽出物 TM 」のご紹介― ／稲垣 江梨, 冨上 香澄, 山下 賀容子 501
故人をしのぶ	大谷 肇先生をしのぶ／北川 慎也 506
トピックス	超濃厚電解質溶液の電池特性と構造分析／澤山 沙希 507 リチウムの抽出・分離を指向した吸着材の開発／菅野 宙依 507
リレーエッセイ	クロマトグラフィー分離のアナロジー／北川 慎也 509
ロータリー	510
	インフォメーション：中部支部だより；第 383 回ガスクロマトグラフィー研究懇談会講演会・見学会；2023 年度 CERI クロマトグラフィー分析賞授賞者；2023 年 POTY 賞授賞者；2023 年液体クロマトグラフィー科学遺産認定；第 19 回生涯分析談話会（富山）；第 20 回記念生涯分析談話会（熊本）／執筆者のプロフィール

〔論文誌目次〕	516	〔広告索引〕	A7
〔お知らせ〕	M1	〔ガイド〕	A8
〔カレンダー〕	iii		

放射能測定信頼性を確保する放射能標準物質を開発 —牛肉および魚類放射能分析用認証標準物質—

(公社)日本分析化学会では、2011年3月の原発事故により広く飛散した放射性物質の放射能濃度を信頼性高く定量するための認証標準物質を開発し頒布中である。開発された標準物質は、国内の信頼ある分析機関の計量トレーサビリティが確保された測定機により求められた値に基づく共同分析により JIS Q0035(ISO ガイド 35)に準拠して認証値および不確かさが決定された。

1) 放射能分析用牛肉認証標準物質

(低濃度: JSAC 0753, 0754, 高濃度: JSAC 0751, 0752)

○認証値と拡張不確かさ U (包含係数 $k=2$) 基準日: 2012年11月19日

	低濃度	高濃度
^{134}Cs 放射能濃度 (Bq/kg):	63 ± 6	174 ± 12
^{137}Cs 放射能濃度 (Bq/kg):	106 ± 9	297 ± 20
^{40}K 放射能濃度 (Bq/kg):	283 ± 54	276 ± 46

○充填容器と価格

JSAC 0753, 0751:100 ml 容器用 20,000 円, JSAC 0754, 752:1 L 容器用 100,000 円 (価格はいずれも本体価格、送料込み・消費税別)

2) 放射能分析用魚類認証標準物質

(魚肉: JSAC 0781, 0782, 0783, 魚骨: JSAC 0784, 0785)

○認証値と拡張不確かさ U (包含係数 $k=2$) 基準日: 2014年11月1日

	魚肉	魚骨
^{134}Cs 放射能濃度 (Bq/kg):	62 ± 5	141 ± 10
^{137}Cs 放射能濃度 (Bq/kg):	196 ± 14	445 ± 29
^{40}K 放射能濃度 (Bq/kg):	349 ± 29	783 ± 43
^{90}Sr 放射能濃度 (Bq/kg):	—	11.5 ± 1.2

○充填容器と価格

JSAC 0781:U8 容器(50 mm 高さ) 20,000 円, JSAC 0782, 0785:100 mL 容器 20,000 円,
JSAC 0783:1 L 容器 100,000 円, JSAC 0784:U8 容器は 1 回 5,000 円のレンタル品(価格はいずれも本体価格、送料込み・消費税別)

* 内容に関する問い合わせ先: (公社)日本分析化学会 標準物質係 TEL: 03-3490-3351, FAX: 03-3490-3572, E-mail: crmpt@ml.jsac.or.jp, <http://www.jsac.jp/srm/srm.html/>

* 頒布に関する問い合わせ先: 西進商事(株)東京支店, TEL: 03-3459-7491, FAX: 03-3459-7499, E-mail: info@seishin-syoji.co.jp, <http://www.seishin-syoji.co.jp/>



写真左 ポリエチレン袋に装填された牛肉認証標準物質



写真右 U8 容器(50 mm 高さ), 100 mL 容器, 1 L 容器に充填された魚肉認証標準物質

カレンダー

2023 年

11 月	2・30 日	第 249・250 回西山記念技術講座「環境劣化の腐食科学と防食技術の新展開」 〔第 249 回（大阪，対面）：CIVI 研修センター新大阪東 7 階 E705 会議室， 第 250 回（東京，ハイブリット開催）：鉄鋼会館 701 号会議室〕……………(8 号 M5)
	7～9 日	第 62 回 NMR 討論会〔横須賀芸術劇場〕……………(6 号 M10)
	9・10 日	第 28 回高分子分析討論会（高分子の分析及びキャラクタリゼーション）〔つくば国際会議場〕……………(10 号 M7)
	9・10 日	ナノ材料の表面分析講習〔大阪工業大学大宮キャンパス〕……………(8 号 M3)
	10 日	日本希土類学会第 41 回講演会〔東京大学 HASEKO-KUMA HALL〕……………(8 号 M5)
	10 日	2023 年度日本分析化学会九州支部講演会・支部見学会 〔講演会：住友化学(株)大分工場内講堂；見学会：(株)住化分析センター大分ラボラトリー〕……………(10 号 M9)
	11 日	2023 年北海道地区化学教育研究協議会〔北海道教育大学札幌駅前サテライト〕……………(10 号 M10)
	11 日	生物発光化学発光研究会第 38 回学術講演会〔電気通信大学附属図書館マルチメディアホール〕……………(10 号 M15)
	11・12 日	第 54 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会〔三重大学工学部〕……………(7 号 M12)
	11・12 日	日本腐植物質学会第 39 回講演会および総会〔創価大学大教室 S202〕……………(10 号 M15)
	13～15 日	第 44 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム〔富山国際会議場〕……………(6 号 M10)
	14～16 日	第 39 回近赤外フォーラム〔東京大学弥生講堂〕……………(7 号 M13)
	20～22 日	「日本膜学会第 45 年会」・「膜シンポジウム 2023」合同大会 〔早稲田大学リサーチイノベーションセンター（121 号館）B1F〕……………(9 号 M4)
	21 日	第 389 回液体クロマトグラフィー研究懇談会〔(株)島津製作所殿町事業所〕……………(10 号 M10)
	21・22 日	第 13 回イオン液体討論会〔朱鷺メッセ〕……………(10 号 M15)
	24 日	2023 年度「ぶんせき講習会」（発展編） 「分析における人口知能（AI）～AI での課題を解決にむけて～」〔オンライン開催〕……………(M 1)
	22 日	実用表面分析セミナー 2023〔神戸大学百年記念館六甲ホール〕……………(9 号 M4)
	25 日	第 16 回千葉県分析化学交流会〔東邦大学薬学部 D 館 101, 102 教室〕……………(10 号 M11)
	29 日	第 28 回液体クロマトグラフィー研究懇談会特別講演会・見学会 〔(株)東レリサーチセンター（TRC）1 号館〕……………(10 号 M11)
29～12/1 日ほか		VACUUM2023 真空展〔東京ビックサイト・西ホール〕……………(8 号 M5)
	29～12/1 日	第 50 回炭素材料学会年会〔東京エレクトロンホール宮城〕……………(8 号 M5)
	30 日	第 385 回ガスクロマトグラフィー研究懇談会特別講演会 「工業製品の発展と共に活躍するガスクロマトグラフィー」 —関連材料の管理や調査における GC の役割と展望—〔北とびあ飛鳥ホール〕……………(M 1)
	30・12/1 日	第 38 回分析電子顕微鏡討論会〔オンライン開催（Zoom 予定）〕……………(9 号 M5)
	30・12/1 日	LC-&LC/MS-DAYs 2023 ～人財育成～〔琵琶レイクオーツカ〕……………(10 号 M12)
12 月	1 日	第 17 回茨城地区分析技術交流会〔ザ・ヒロサワ・シティ会館〕……………(9 号 M3)
	1・2 日	第 2 回 LC シニアクラブ〔琵琶レイクオーツカ〕……………(10 号 M13)
	7・8 日	第 36 回日本吸着学会研究発表会〔石川県立音楽堂〕……………(8 号 M5)
	8 日	新アミノ酸分析研究会第 13 回学術講演会〔大田区産業プラザ Pio〕……………(9 号 M5)
	15 日ほか	第 28 講研究開発リーダー実務講座 2023 —企業の将来を担う理想の研究開発リーダー像とは？—〔大阪科学技術センター〕……………(6 号 M4)
	20・21 日	テラヘルツ科学の最先端 X〔東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟〕……………(M 3)
	22 日	第 4 回群馬・栃木地区分析技術交流会〔前橋工科大学 1 号館多目的ホール〕……………(10 号 M14)

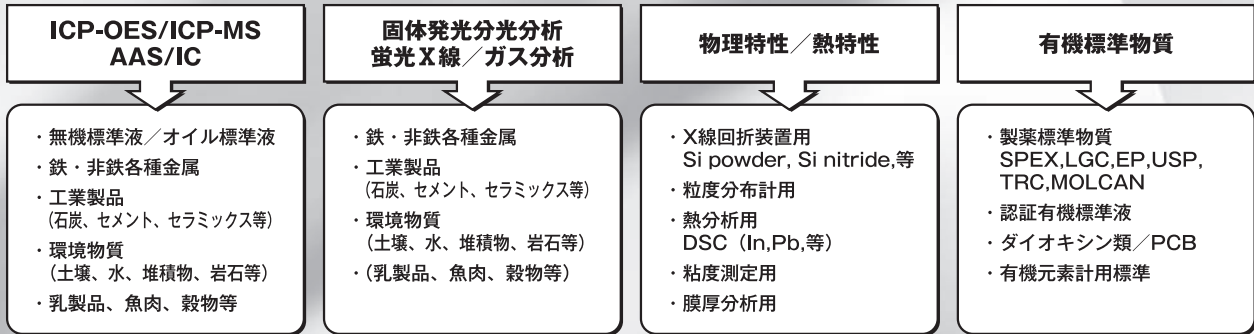
2024 年

1 月	18 日	表面科学技術研究所 2024 カーボンニュートラルを目指して —太陽光発電と風力発電の現状と将来展望— 〔(地独)大阪産業技術研究所森之宮センター大講堂ならびにオンライン〕……………(M 3)
1 月	18・19 日	第 29 回 LC & LC/MS テクノプラザ〔横浜市金沢産業復興センター〕……………(9 号 M3)
	24 日	東海支部 2023 年度アドバンスセミナー 「ソフトマテリアルの機能化技術と研究動向」〔オンライン〕……………(10 号 M15)
2 月	21 日	23-2 高分子学会講演会 主題=構造と物性を解き明かす ～ポリマー分析技術の最先端～〔オンライン〕……………(M 3)
3 月	6 日	2024 年度液体クロマトグラフィー分析士五段認証試験〔日本分析化学会会議室〕……………(10 号 M3)
	13 日	2024 年度液体クロマトグラフィー分析士四段認証試験〔日本分析化学会会議室〕……………(10 号 M3)
5 月	18・19 日	第 84 回分析化学討論会〔京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス〕……………(10 号 M3)

各種標準物質 (RM, CRM)

お探しの標準物質がございましたらお申しつけください！

PFAS関連 (EPA 1633対応など)、RoHS (MCCPs, TBBPA)、REACH規則 (PAHs) など取り扱っております。
核燃料関連 (ウラン、トリウム、プルトニウム)、環境中放射能標準物質などもございます。



SPEX社 前処理機 (フリーザーミル・ボールミル)

凍結粉碎機 (Freezer/Mill)

粉碎容器にインパクト (粉碎棒) とサンプルを一緒に入れ、液体窒素にてサンプルを常時凍結させて運転を開始します。

インパクトを磁化させ、往復運動させる事による衝撃でサンプルを粉碎します。
やわらかいサンプルや熱に弱い生体サンプルに最適です。

〈サンプル例〉プラスチック、ゴム、生体サンプルなど、
〈使用例〉ICP, XRF, GC, LCの前処理 DNA/RNAの抽出の前処理

ボールミル (Mixer/Mill)

SPEX独自の8の字運動により、効率的な粉碎、混合が可能。
サンプルに合った粉碎容器、ボールを選択可能。

〈サンプル例〉岩石、植物、錠剤、合金など
〈使用例〉ICP, XRFの前処理 メカニカルアロイイング



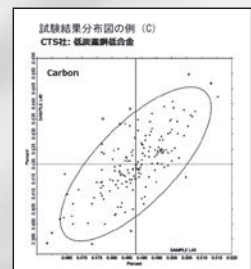
海外技能試験輸入代行サービス

技能試験とは・・・

技能試験提供機関が提供する未知サンプルを分析することによって、分析者の分析技能を測るテストです。
分析能力に関して中立的な評価が得られ、国内外の参加試験所と分析能力の比較が出来ます。
国内では毒物劇物取締法など特殊な法令に沿った通関手続きが必要でございます。
当社はコンプライアンスを遵守し、ノウハウを活かし、輸入の代行を致します。

〈サンプル例〉

金属材料中元素分析、フタル酸エステル類、物性試験 (引張・曲げ・硬さ)
ニッケル溶出試験、医薬品、化粧品、環境分野、オイル、食品、玩具規制専用試験など



YouTubeチャンネル【西進商事公式】

弊社取り扱い製品の情報を公開中です。(順次アップロード予定)



SEISHIN

標準物質専門商社

西進商事株式会社

<https://www.seishin-syoji.co.jp/>

本社 〒650-0047 神戸市中央区港島南町1丁目4番地4号
TEL.(078)303-3810 FAX.(078)303-3822
東京支店 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目12番地7号 (RBM芝パークビル)
TEL.(03)3459-7491 FAX.(03)3459-7499
名古屋営業所 〒450-0002 名古屋市中村区名駅4丁目2番25号 (名古屋ビルディング桜館4階)
TEL.(052)586-4741 FAX.(052)586-4796
北海道営業所 〒060-0002 札幌市中央区北二条西1丁目10番地 (ピア2・1ビル)
TEL.(011)221-2171 FAX.(011)221-2010

計測技術セミナー

(公社)日本分析化学会と共催

分析化学における不確かさ研修プログラム

セミナーの特徴

楽しく！ 簡単に！ わかりやすく！

受講者全員に目が届く
少数定員

講義と演習を
繰り返すので身に着く

受講者全員に
受講証明書を発行

未経験者でも
簡単に不確かさの計算が
できるようになる

複数の講師が対応

受講者一人一人の
理解度を確認しながら
進めるので安心！

社員教育として
活用できる！

難しい数式や
偏微分は使いません！

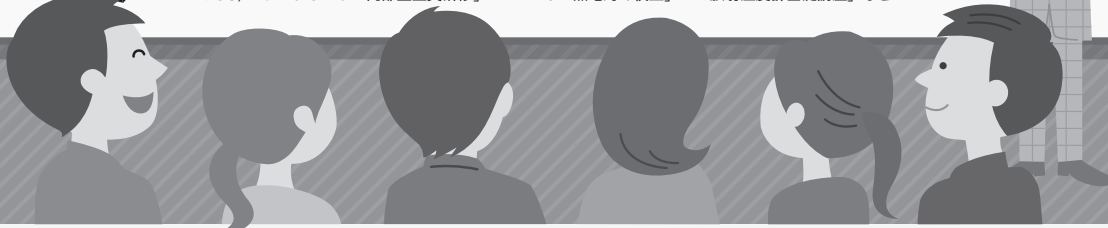
発言・質問
しやすい！

その他、JEMICで開催しているセミナー

開催例

「知っておきたい不確かさの評価法 応用編」
「不確かさ評価に必要な統計的手法」
「事例で学ぶ不確かさ：電気編」
「事例で学ぶ不確かさ：温度編」
「ISO/IEC 17025：2017内部監査員研修」

「ISO/JIS Q 10012計測器管理規格の解説と活用」
「質量計の校正と不確かさ評価」
「一次元寸法測定器の校正と不確かさ評価」
「温度測定の基本」「抵抗温度計の校正」
「熱電対の校正」「放射温度計基礎講座」など



問い合わせ先

日本電気計器検定所 (JEMIC) セミナー事務局

〒108-0023 東京都港区芝浦4-15-7

TEL : 03-3451-1205 / E-Mail : kosyukai-tyk@jemic.go.jp

セミナー詳細はこちら https://www.jemic.go.jp/gizyutu/j_keisoku.html



標準器・計測器の校正試験については下記へお問い合わせください

日本電気計器検定所 <https://www.jemic.go.jp/>

- **JEMIC** は、電気、磁気、温度、湿度、光、時間、長さ、質量、圧力、トルクのJCSS校正を行っています。
- **JEMIC** が発行する国際MRA対応JCSS認定シンボル付き校正証明書は、品質システムの国際規格ISO 90005、自動車業界の国際的な品質マネジメントシステム規格IATF 16949の要求に対応できます。

企業ニーズに応えるネットワークと、永年にわたる研究を基盤とする実績。校正試験のことなら、**JEMIC** にご相談ください。

校正試験実施・窓口

- **本社**
〒108-0023 東京都港区芝浦4-15-7
Tel.03-3451-6760 Fax.03-3451-6910
- **中部支社**
〒487-0014 愛知県春日井市気噴町3-5-7
Tel.0568-53-6336 Fax.0568-53-6337
- **関西支社**
〒531-0077 大阪府北区大淀北1-6-110
Tel.06-6451-2356 Fax.06-6451-2360
- **九州支社**
〒815-0032 福岡市南区塩原2-1-40
Tel.092-541-3033 Fax.092-541-3036

JEMICのネットワーク・代表電話

- **本社**
03-3451-1181
- **北海道支社**
011-668-2437
- **東北支社**
022-786-5031
- **中部支社**
0568-53-6331
- **北陸支社**
076-248-1257
- **関西支社**
06-6451-2355
- **関西支社京都事業所**
075-681-1701
- **中国支社**
082-503-1251
- **四国支社**
0877-33-4040
- **九州支社**
092-541-3031
- **沖縄支社**
098-934-1491

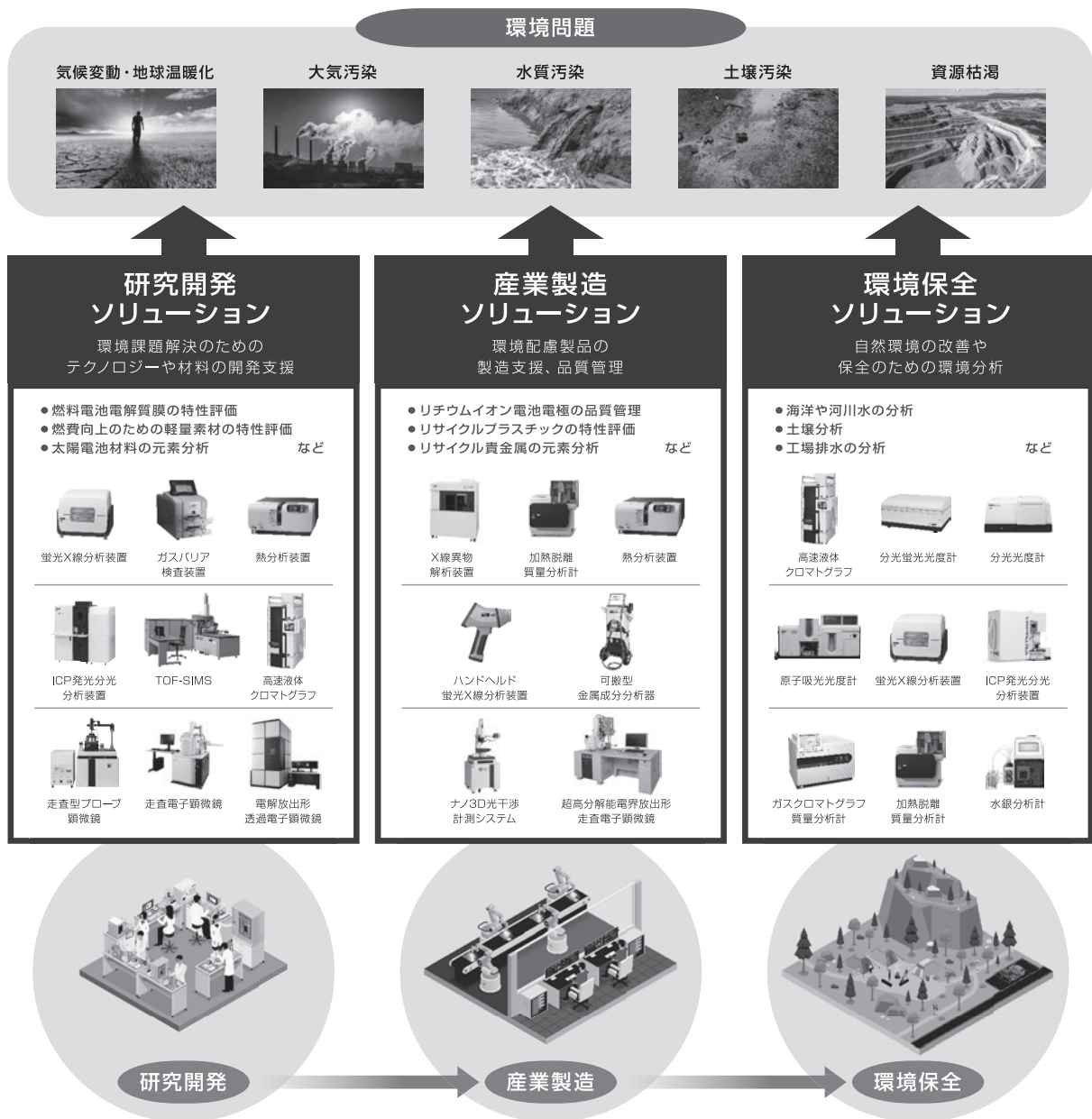


JEMICイメージキャラクター「ミクちゃん」

持続可能な将来を支える日立ハイテクの先端機器

HITACHI High-Tech's advanced instruments support sustainable future.

自然環境と社会発展が共存するサステナブル社会の構築を目指し、
私たち日立ハイテクは、機器分析で、
“研究開発”、“産業製造”、“環境保全”を支援します。



◎ 株式会社 日立ハイテク ◎ 株式会社 日立ハイテクサイエンス

本社 〒105-6409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 虎ノ門ヒルズ ビジネスタワー 電話03-3504-6111

インターネットでも製品紹介しております。

URL www.hitachi-hightech.com/jp/science/

LC-CollectIR

LC-CollectIRは、高い効率にGPCで分離された成分から移動相溶媒を蒸発させ溶質成分のみをFTIR用の「Geディスク」、PyroGC/MS用の「熱分解試料カップ」またはMALDI-MS用「ステンレスディスク」に捕集するシステムです。GPCにより分離された混合物の各成分についてオフラインでの測定が可能になります。FT-IR分光測定やMALDI-MSにより簡単に迅速な分子量分布における共重合体の組成変化解析や、PGC/MSによる構造解析の研究に最適です。さらに簡易分取装置として使用できるため、従来の分取法と比べ、大幅な時間短縮とコストの削減が可能になります。

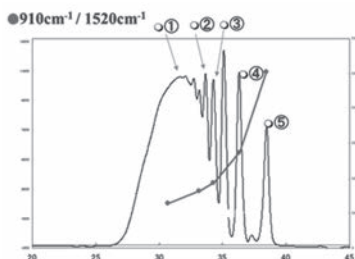


応用例

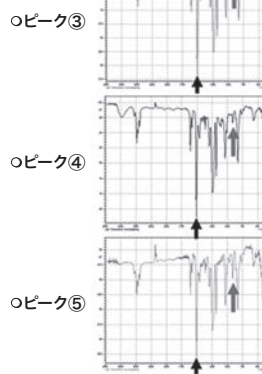
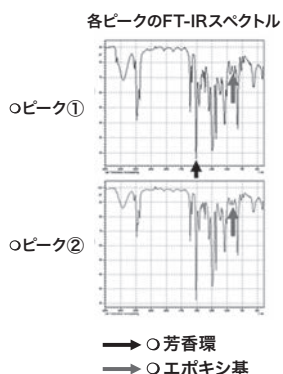
- 混合物の分離と各成分の簡単に迅速な構造解析
- 分子量分布における、共重合体の組成変化
- 微細構造解析および樹脂の混合系の判別
- 樹脂の末端や内部構造の推定
- 分子量が近似した物質の分子構造の区別
- 簡易分取装置としての利用

GPC-IR測定

BPA型エポキシ樹脂のFTIRによる組成分析



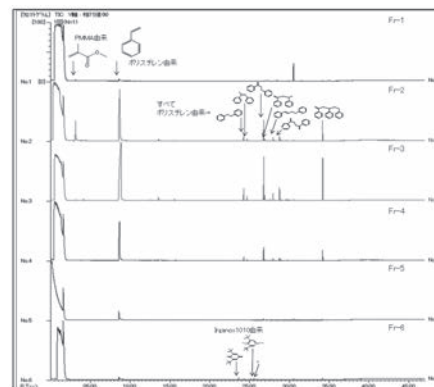
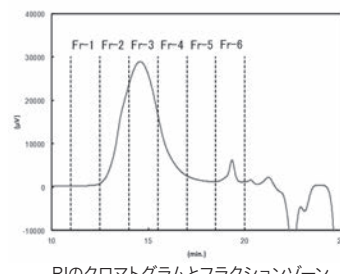
本システムでは、GPCフラクション毎の赤外スペクトルを測定可能です。得られたスペクトルから官能基の比等をクロマトグラムにオーバーラップさせた解析も可能です。



GPC-PyroGC/MS測定

ポリマーブレンドと添加剤の測定

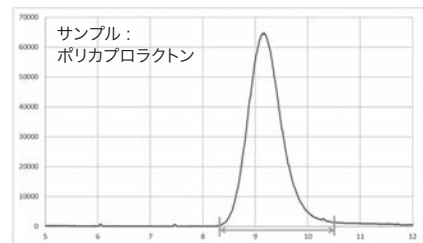
GPCからのフラクションを熱分解装置用試料カップにトラップする事で、GPCの溶出時間ゾーン毎にPyroGC/MS測定が可能となります。得られたスペクトルの解析により、使用されているポリマーの種類や割合が解ります。また、数%程しか使用されていない添加剤の特定も可能です。



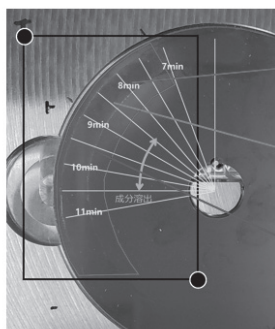
各分取フラクションの熱分解GC/MS結果

GPC-MALDI-MS測定

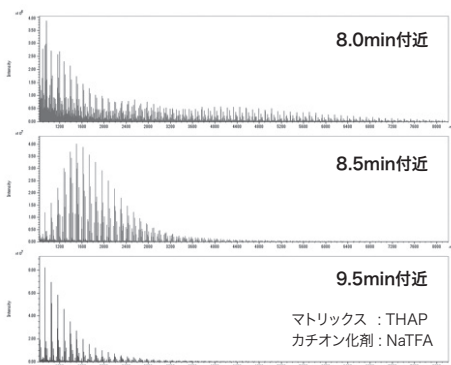
MALDI-MSイメージング測定



GPCからステンレスプレートに直接サンプリングした上からマトリックス溶液とカチオン化剤溶液を混合してスプレーし、MALDI-TOFMSによりマスマイミメージング測定を実施しました。



データは日本電子製JMS-S3000にて取得



ポリマー分析用試料キット

ポリマーサンプルキット205

<1セット 100本入・10-20g/1本>

100本の構成ポリマーは汎用性ポリマー試料だけでなくエンブラ試料も含まれておりますのでIR分析等のライブラリーへの収録にご利用いただけるポリマー分析試料キットです。

スペックとして：引火点・平均分子量・屈折率・ガラス転移点・融解温度等の情報がございます。

100種類の試料の一部試料については入れ替えも可能です。

詳しくはお問い合わせ下さい。



Cap No.	Cat No.	Polymer
1	032	Alginate acid, sodium salt
2	209	Butyl methacrylate/isobutyl methacrylate copolymer
3	660	Cellulose
4	083	Cellulose acetate
5	077	Cellulose acetate butyrate
6	321	Cellulose propionate
7	031	Cellulose triacetate
8	142	Ethyl cellulose
9	534	Ethylene/acrylic acid copolymer, 15% acrylic acid
10	454	Ethylene/ethyl acrylate copolymer, 18% ethyl acrylate
11	939	Ethylene/methacrylic acid copolymer, 12% methacrylic acid
12	358	Ethylene/propylene copolymer, 60% ethylene
13	506	Ethylene/vinyl acetate copolymer, 9% vinyl acetate
14	243	Ethylene/vinyl acetate copolymer, 14% vinyl acetate
15	244	Ethylene/vinyl acetate copolymer, 18% vinyl acetate
16	316	Ethylene/vinyl acetate copolymer, 28% vinyl acetate
17	246	Ethylene/vinyl acetate copolymer, 33% vinyl acetate
18	326	Ethylene/vinyl acetate copolymer, 40% vinyl acetate
19	959	Ethylene/vinyl alcohol copolymer, 38% ethylene
20	143	Hydroxyethyl cellulose
21	401	Hydroxypropyl cellulose
22	423	Hydroxypropyl methyl cellulose, 10% hydroxypropyl, 30% methoxyl
23	144	Methyl cellulose
24	374	Methyl vinyl ether/maleic acid copolymer, 50/50 copolymer
25	317	Methyl vinyl ether/maleic anhydride, 50/50 copolymer
26	034	Nylon 6 [Poly(caprolactam)]
27	331	Nylon 6(3)T [Poly(trimethylhexamethylene terephthalamide)]
28	033	Nylon 6/6 [Poly(hexamethylene adipamide)]
29	156	Nylon 6/9 [Poly(hexamethylene azelamide)]
30	139	Nylon 6/10 [Poly(hexamethylene sebacamide)]
31	313	Nylon 6/12 [Poly(hexamethylene dodecanediamide)]
32	006	Nylon 11 [Poly(undecanoamide)]
33	045A	Phenoxy resin
34	009	Polyacetal
35	001	Polyacrylamide
36	376	Polyacrylamide, carboxyl modified, low carboxyl modified
37	1036	Polyacrylamide, carboxyl modified, high carboxyl modified
38	026	Poly(acrylic acid)
39	385	Polyamide resin
40	688	1,2-Polybutadiene
41	128	Poly(1-butene), isotactic
42	961	Poly(butylene terephthalate)
43	111	Poly(n-butyl methacrylate)
44	1031	Polycaprolactone
45	035	Polycarbonate
46	196	Polychloroprene
47	010	Poly(diallyl phthalate)
48	126	Poly(2,6-dimethyl-p-phenylene oxide)
49	324	Poly(4,4'-dipropoxy-2,2'-diphenyl propane fumarate)
50	113	Poly(ethyl methacrylate)

Cap No.	Cat No.	Polymer
51	184	Polyethylene, chlorinated, 25% chlorine
52	185	Polyethylene, chlorinated, 36% chlorine
53	186	Polyethylene, 42% chlorine
54	107	Polyethylene, chlorosulfonated
55	041	Polyethylene, high density
56	042	Polyethylene, low density
57	405	Polyethylene, oxidized, Acid number 16 mg KOH/g
58	136A	Poly(ethylene oxide)
59	138	Poly(ethylene terephthalate)
60	414	Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)
61	112	Poly(isobutyl methacrylate)
62	106	Polyisoprene, chlorinated
63	037A	Poly(methyl methacrylate)
64	382	Poly(4-methyl-1-pentene)
65	391	Poly(p-phenylene ether-sulphone)
66	090	Poly(phenylene sulfide)
67	130	Polypropylene, isotactic
68	1024	Polystyrene, Mw 1,200
69	400	Polystyrene, Mw 45,000
70	039A	Polystyrene, Mw 260,000
71	046	Polysulfone
72	203	Poly(tetrafluoroethylene)
73	166	Poly(2,4,6-tribromostyrene)
74	1019	Poly(vinyl acetate)
75	002	Poly(vinyl alcohol), 99.7% hydrolyzed
76	352	Poly(vinyl alcohol), 98% hydrolyzed
77	043	Poly(vinyl butyral)
78	038	Poly(vinyl chloride)
79	353	Poly(vinyl chloride), carboxylated, 1.8% carboxyl
80	012	Poly(vinyl formal)
81	102	Poly(vinylidene fluoride)
82	132	Polyvinylpyrrolidone
83	103	Poly(vinyl stearate)
84	494	Styrene/acrylonitrile copolymer, 25% acrylonitrile
85	495	Styrene/acrylonitrile copolymer, 32% acrylonitrile
86	393	Styrene/allyl alcohol copolymer, 5.4-6.0% hydroxyl
87	057	Styrene/butadiene copolymer, ABA block copolymer, 30% styrene
88	595	Styrene/butyl methacrylate copolymer
89	452	Styrene/ethylene-butylene copolymer, ABA block, 29% styrene
90	178	Styrene/isoprene copolymer, ABA block
91	049	Styrene/maleic anhydride copolymer, 50/50 copolymer
92	068	Vinyl chloride/vinyl acetate copolymer, 10% vinyl acetate
93	063	Vinyl chloride/vinyl acetate copolymer, 12% vinyl acetate
94	070	Vinyl chloride/vinyl acetate copolymer, 17% vinyl acetate
95	422	Vinyl chloride/vinyl acetate/maleic acid terpolymer
96	911	Vinyl chloride/vinyl acetate/hydroxypropyl acrylate, 80% vinyl chloride, 5% vinyl acetate
97	395	Vinylidene chloride/acrylonitrile copolymer, 20% acrylonitrile
98	058	Vinylidene chloride/vinyl chloride copolymer, 5% vinylidene chloride
99	369	n-Vinylpyrrolidone/vinyl acetate copolymer, 60/40 copolymer
100	021	Zein, purified

ここに記されている他にも数千種類のポリマー試料を取り揃えております。 カタログ・資料ご希望およびお問い合わせ等は下記へご連絡下さい。

GSC 株式会社 ゼネラル サイエンス コーポレーション

〒170-0005 東京都豊島区南大塚3丁目11番地8号 TEL.03-5927-8356 (代) FAX.03-5927-8357

ホームページアドレス <http://www.shibayama.co.jp> e-mail アドレス gsc@shibayama.co.jp

EXTREMA

HPLC System

高速液体クロマトグラフィーシステム



EXTREMA 高速液体クロマトグラフ

- 広い流量範囲で安定した送液が可能なポンプ群
- UHPLC/RHPLCによる高速分析に対応した100Hzの高速データ出力の検出器群
- SFC・イナート・分取・LC-MSシステムも構築できる拡張性が高いモジュールタイプ
- 前面から作業ができてメンテナンスが容易なフロントアクセス



EXTREMA 4500Model

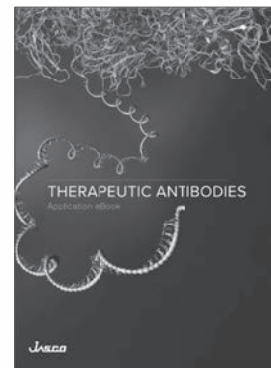
- コンベンショナルHPLCに最適
- 幅15cmのコンパクトモジュール
- グラジエント送液やプレカラム誘導体化が可能で多様な測定に対応
- テンキー付操作パネルにより単体操作が容易



抗体医薬品 eBookのご紹介

抗体医薬品は共有結合に加え多数の非共有結合を駆動力として高次構造 (Higher Order Structure : HOS) を形成することで活性を発現します。そのため、安全性や有効性に影響を及ぼす重要品質特性として HOS を総合的に評価することが必要です。本 eBook では、円二色性分散計、フーリエ変換赤外分光光度計、レーザラマン分光光度計、高速液体クロマトグラフィーを用いて抗体医薬品の HOS を評価したソリューションを紹介いたします。

右のQRコードよりダウンロードできます。



光と技術で未来を見つめる

日本分光

日本分光株式会社

〒192-8537 東京都八王子市石川町2967-5
TEL 042(646)4111(代)
FAX 042(646)4120

日本分光の最新情報はこちらから

<https://www.jasco.co.jp>

日本分光HP



JASCO

JASCOは日本分光株式会社の登録商標です。
本広告に記載されている装置の外観および各仕様は、
改善のため予告なく変更することがあります。

分析業界のコストカッター ディスポチューブでらくらく粉砕!!

立体8の字[®]原理による **秒速粉砕機** **マルチビーズショッカー[®]**

「マルチビーズショッカー」「立体8の字」は、安井器械株式会社の登録商標です。



Ⓐ 卓上型・省スペース **⊗ 極静音** **MB3000シリーズ**

豊富な種類の粉砕容器

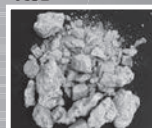
2ml ~ 最大 100ml チューブまでラインナップ!!

粉砕チューブ一例

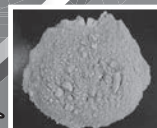


各サンプル量に合わせた最適粉砕を実現!
タングステンカーバイド、チタン、メノウ、酸化ジルコニウム、
PTFE など豊富なラインナップ!

硬化コンクリート



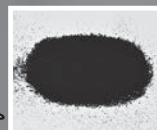
粉砕時間
60秒
常温



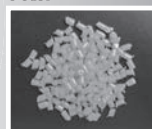
ゴム



粉砕時間
10秒
液体窒素
条件下



樹脂



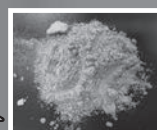
粉砕時間
10秒
液体窒素
条件下



植物生葉



粉砕時間
10秒
液体窒素
条件下



ヨーロッパ安全基準適合



アプリケーションラボ完成!

テスト粉砕とデモは無料で実施します。
遠慮なくお問合せ下さい!



SINCE1953:お陰様で創業70周年

製造発売元 **安井器械株式会社** 本社・工場 〒534-0027 大阪市都島区中野町2-2-8

TEL.06-4801-4831 FAX.06-6353-0217
E-mail:s@yasuikikai.co.jp https://www.yasuikikai.co.jp

©2023 Yasui Kikai Corporation, all rights reserved

230612

初心の眼



井上 高教

分析化学は科学の基幹を担う分野です。科学は、座学と実験という二つの側面を持ち、どちらからでもかかわることができるユニークな学問だと考えています。本稿では、小学生から大学生、一般人までの科学とのかかわりについての現状を分析してみたいと思います。

小学生において、科学の知識は座学よりも実験から得る機会が多いように感じます。座学では難しく興味が惹かれないような児童でも、実験には俄然興味を示す、という児童も多いのではないのでしょうか。教科書的な内容は理解できなくとも、ものが出来上がっていく様子を目の当たりにすると、疑問をもったり、のめり込んだりします。日本のものづくりの原点は、小学生で既に芽生えているように思います。

これが、中学生、高校生になると、実験よりも座学中心となり、理論を学び覚える学問に変わっていきます。実験できる機会が一気に減るうえに、より専門的な理論や実験内容を知識として学ぶことになるのです。科学の本質を知り、考えるうえで非常に重要ではありますが、残念ながらこの時期に科学に対する苦手意識をもってしまい、関心を失う生徒も少なくないのが現状です。

理系の大学生にとって、実験は必修科目になります。しかしながら、実験実習の指導をしていると、学生の不器用さ、科学への理解と興味の程度に残念な意味で驚かされます。大学教員としての意地の見せ所ではありますが、科学大国日本の将来を担う人材に、不安を感じることも多くあります。

先日、硬度測定のスキルを競う高校生ものづくりコンテストで、審査員をする機会がありました。制限時間の中で、生徒達が真剣なまなざしで滴定し、悪戦苦闘している様子を目の当たりにすると、分析化学の下支えである様々な測定にも将来性を感じることができ、頼もしい限りでした。振り返って、自分がそこまでできるかと不安にも駆られたものです。

ここ数年、大分県の委託事業である体験型子ども科学館の実験イベントをお手伝いすることになり、小中学生を対象に、科学の本質を教えるべく奮闘しています。手始めには、CDを使った分光器を工作し、スペクトルの基礎を体感的に学べる講座を実施しました。さらに低学年向けの講座では、アルギン酸の化学反応を用いた膜形成のメカニズムを教えながらのスノードームづくりや、炭酸バスボムの作製から派生させて、酸・アルカリの入門講座などを行っています。どこまで本質が伝わっているかは不明ですが、子ども達の真剣なまなざしや興味津々な様子は、科学に対する興味深さを如実に表しているように感じられます。子ども向けイベントをしていると、参加者の保護者からの鋭い質問や好意的な感想を戴く機会も多くありますが、実は、科学への興味は失われているのではなく、触れる機会が無くなってしまっただけなのかもしれません。広い世代に向けて科学を体験できる機会を提供することは、分析化学を担う人材を育てる一助になるように思います。願わくは、小学生でもった科学への興味関心を、中高大、社会人と、忘れずにもってほしいと、切に願っています。

[Takanori INOUE, 大分大学理工学部, 日本分析化学会九州支部長]

イオンモビリティ

菅井 俊樹

1 緒言

1.1 イオンモビリティとは

イオンモビリティ測定 (IMS) は、荷電粒子を静電場下のガス中で移動させる際、泳動速度 (ドリフト速度) が粒子の構造に依存することを活用し、粒子構造を推定するものである。例えば羽毛と鉄球の空気中での落下速度は明らかに異なっている。歴史の古い手法であり、Millikan の油滴実験にも活用され、電気素量の測定を実現した。

油滴実験では、大気中に生成した個々の荷電油滴に対し、重力のみによる下降ドリフト速度、そして上向き電場を印加した際の上昇ドリフト速度を測定した。下降ドリフト速度と油の密度から粒子サイズを導き、上昇ドリフト速度から電荷量を導いた。データを集積することで、電荷量の量子性と電気素量を導出した。この偉業以外でも IMS の感度が比較的高いことが活用され、最近

では空港などのセキュリティー管理のために爆発物や違法薬物の検出にも活用されている¹⁾。

優れた点も多い IMS だが低分解能という弱点がある。油滴実験そしてセキュリティー分野での成功も、電荷数 20 以下の判別、そして既知・特定の分子に限定、であり分解能が問題にならなかったからである。より高度な測定法、質量分析 (MS)、核磁気共鳴 (NMR)、X 線回折 (XRD) や顕微鏡などが、主要な測定法として確立している現在、IMS は残念ながらマイナーな測定法として取り扱われてきた。しかし近年は MS との結合により、大きな発展を遂げつつある¹⁾²⁾。

本稿では荷電粒子とイオンを同様の測定対象として記述しているが、MS 分析にはイオン、その他サイズが大きいイメージがある分析対象を荷電粒子と呼称する。

1.2 他の測定手法との比較

一般的な構造測定法を、表 1 に主観的であるが特徴

表 1 種々の構造測定法とその特徴

測定法	強み	弱み
モビリティ測定	高速・高感度, 混合物測定 分子構造測定	分子構造は推定
質量分析	高速・高感度・高分解能 混合物測定, 同定能力	分子構造直接測定不可
X 線・電子線・ 中性子回折	原子座標決定	純物質結晶 低速・低感度
分光	超高速・高感度 電子状態解明 超高精度構造測定	低分子サイズ 混合物困難 極低温が必要な場合もある
核磁気共鳴	原子結合パターン解明	純物質溶液 低速・低感度
電子顕微鏡	一分子実構造測定 混合物測定	統計分布測定困難 高真空, 低速
プローブ 顕微鏡	一分子実構造測定 混合物測定	統計分布測定困難 低速 基板・グリッドの影響
光散乱	統計的サイズ分布測定 気相・液相可, 高速	nm 以下のサイズは測定困難 高濃度分散試料必要

をまとめた。IMS は分子構造を直接解明することはできないが、高速高感度でしかも混合物の構造測定に強みを持つ。

MS は IMS と同様高速高感度、混合物に適用可能なように似ているが、構造を測定できない。分光手法は用いる電磁波の波長を電波から X 線まで変化させ、高輝度・高出力・高速度光源の開発と共に、膨大な成果を上げている。しかし分子サイズが大きくなり状態が複雑になると、分子構造を導くことが困難になる。混合物に適用しにくく、通常分離してから分光測定が行われる。XRD は原子座標を決定できる手法であるが、試料として純物質結晶が必要である。この結晶化において様々な進展は見られるものの、現実的には運任せである。NMR は巨大分子にも適用できる高い構造解析力があるが、試料として純物質溶液を必要とし、混合物や不溶な物質に適用できない。電子・プローブ顕微鏡は混合物中の 1 粒子を測定できるが、試料を付着させる基板の影響が無視できず、しかも統計的情報を得ることが困難である。光散乱は物質を選ばず、しかも統計的情報が得られるが、nm 程度のサイズになると正しいサイズを導くことが困難であり、しかも高濃度の分散試料液を必要とする。これらの手法に対し IMS は感度と汎用性を生かし古くて新しい構造測定法として発展しつつある。

1.3 基本的な動作機構

図 1 に IMS の基本を示す。ガス中静電場下の荷電粒子は電場と電荷の積に比例する力を受け、荷電粒子の運動量が増加する。得られた運動量はガスとの衝突により失われ、電場による運動量増加と衝突による運動量減少が釣り合う速度、ドリフト速度 (v_d) で一定となる。 v_d は、電荷が同じ場合 (図 1 上中)、粒子のサイズが大きくなると衝突頻度が増大し運動量減少が大きくなるた

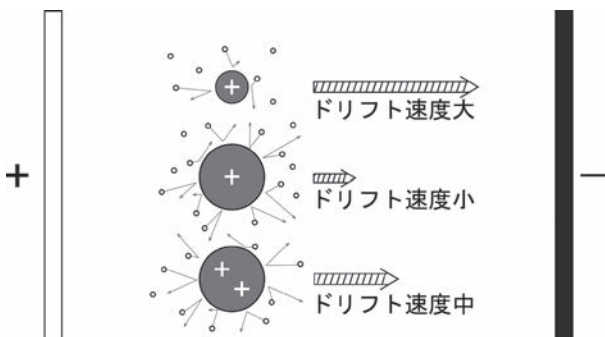


図 1 イオンモビリティ測定の基本的考え方

静電場下でのイオンや荷電粒子の気体中の移動速度 (ドリフト速度) を測定し、イオンの構造を解析する。電荷量が同じ場合 (図上中) 小さな粒子はガスとの衝突頻度と衝突断面積が小さく、静電場中のドリフト速度が大きい。一方同じサイズの粒子では電荷量が多いほど (図中下) ドリフト速度が大きい。○ はガス分子を表す。

め、減少する。粒子サイズが同じ場合、電荷が大きくなると (図 1 中下)、電場による運動量増加が大きくなるため v_d が増大する。

以下の条件、ガス密度が小さい、粒子サイズ (半径 r) が気体の平均自由行程 λ よりも小さい ($r \ll \lambda$)、 v_d は気体分子熱運動速度より小さい (低電場条件)、粒子は剛体球として近似できるような場合、 v_d は電場 E に比例し比例定数 K は移動度 (mobility) と次のように表される²⁾³⁾。

$$v_d = KE$$

$$K = \frac{3}{16} \frac{q}{N} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{M}} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{2k_B T}} \frac{1}{\Omega} \dots \dots \dots (1)$$

ここで k_B , T はそれぞれボルツマン定数と気体温度、 q は粒子電荷、 E は静電場、 N はガス分子数密度、 m はガス分子質量、 M は粒子質量、 Ω はガスと粒子の衝突断面積である。この数式は、粒子に与えられる運動量が qE に比例すること、そしてガス衝突による運動量減少は、一般に粒子とガスの衝突頻度に比例し、これは $1/(\Omega N)$ に比例することを基盤としている。その他の効果として、ガスと粒子の相対速度、そして衝突ごとの運動量のやり取りが、ガスと荷電粒子の換算質量 $\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right)^{-1}$ に依存することも表している。衝突断面積は剛体球近似の場合は半径の二乗 r^2 に比例するため、移動度と粒子サイズには $K \propto r^{-2}$ という関係が一般に成立する。

式 (1) の前提条件となる、平均自由行程よりも粒子が小さい条件 ($r \ll \lambda$) が成立しない、油滴実験のような高圧ガスかつ大粒子条件下では、ドリフト (速度 v_d) に伴う抵抗力 F に関し $F = 6\pi\eta r v_d$ の Stokes の法則が成立する。ここで η はガスの粘性率である。IMS ではこの力は電場によって与えられる力と釣り合うので移動度は次のように表される。

$$K = \frac{q}{6\pi\eta r} \dots \dots \dots (2)$$

式 (2) では、粒子半径 r に関し $K \propto r^{-1}$ になり、高圧大粒子条件下では、粒子サイズが大きくなっても移動度は小さくなりにくいことを示している。この理由は、高圧大粒子条件では粒子に衝突したガスは周りのガスに遮られ、再び粒子と衝突する確率が高いためである。この結果粒子近傍のガスは粒子と連れ立って動くこととなり、粒子の運動量は失われにくくなるためである。両領域の接続も Cunningham 補正として知られている。

これら二つの関係式 (1) と (2) では粒子サイズ依存性の違いはあれ、 v_d が気体分子運動速度に比べ非常に低い場合 (低電場条件) に成立する。低ガス密度・高電場下で v_d がガス分子熱運動速度に匹敵するようになってくると、粒子温度上昇や移動度の v_d 依存など異なる現象が現れる。この条件を積極的に活用した測定法

が後述（節 2・3）する Field Asymmetric Waveform Ion Mobility Spectrometry (FAIMS) である。

2 装置

2・1 基本構成

IMS の動作機構は単純だが、測定装置には感度や分解能を向上させる様々な工夫がされている。特に IMS と MS を結合させる IMS/MS では、高圧ガスを用いる IMS から高真空が必要な MS にイオンを効率よく輸送させるため、注意が払われている。

図 2 に示すフィルター型 IMS 装置は最初期に開発されたものの一つである。微分型移動度分析装置 (DMA) として、特にエアロゾルの分析に多用され独自の発展を遂げてきた⁴⁾。低電場状態で用いられ、ガス気流によるイオン運動が支配的な状態で使われる。図 2 に示すように気流に対し直交した電場を印加すると、ある特定の移動度を持つイオンだけが装置を通過して検出される。電場や流速を走査することで試料の IMS スペクトルが得られる。この装置は連続的なイオン源を用いて、分析だけでなく粒子を IMS 分離・選別が可能であることも特徴である。IMS 分析後、顕微鏡で粒子の形状や大きさも調べることができる。後述するタンデム型測定でも活用されている。

もう一つの測定システムが図 3 に示す、パルス状のイオン束を静電場に導入し、検出器までのドリフト時間を測定し移動度を調べるものである。移動度が大きいイオンほどドリフト時間が短い。ドリフト時間とイオン強度の相関 (ドリフトプロファイル) から、試料全体の IMS スペクトルが得られる。分解能が高いがイオン検出量および感度が比較的低い。これはパルス状にイオンを導入することと、ドリフト時間が ms~s と長くなるため、測定の繰り返し周波数が低下するためである。イオン束はイオンシャッターなどで連続イオン源を切り出すか、パルス状イオン源を用いて生成される。

IMS のみで高度複合測定を行う試みも古くから特に

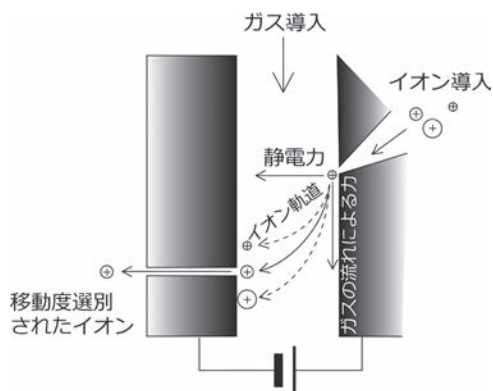


図 2 フィルター型イオンモビリティ測定装置の構造
気流に対し直交した電場を印加し、移動度によってイオンの軌道が異なることを利用して測定・選別する。

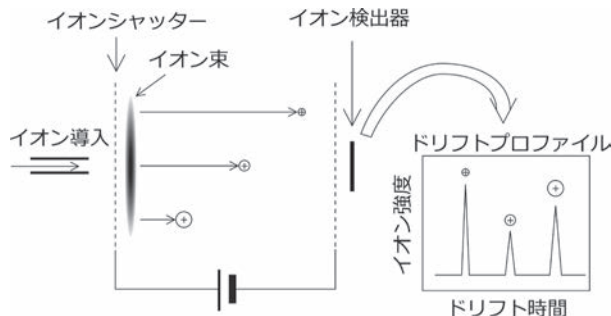


図 3 ドリフト時間型イオンモビリティ測定装置の構造

イオンシャッターなどを用いてパルス状にしたイオン束を静電場下で泳動させる。移動度をイオン導入から検出までに必要な時間 (ドリフト時間) として検出する。検出されたイオン強度のドリフト時間依存性をドリフトプロファイルとよび、ピーク時間からイオンの移動度が得られる。

エアロゾルの粒径測定で行われてきた。粒子が分散しているガス試料をコロナ放電によって帯電させた後、IMS により粒径分布を得る際、電荷は粒子サイズや放電電圧に依存した分布を持つ。この場合、電荷分布とサイズ分布が重なり合い、精度と再現性が高い測定結果を得ることが難しい。このためタンデム法と呼ばれる手法が開発されている。初段 IMS 分離の後、放射性元素でイオン化し正負イオンが高濃度で存在している空間に測定荷電粒子を通過させる電荷中和という操作を行う。このとき、大部分の粒子の電荷は中和され、残存電荷数はほぼ±1 になる。この後、二段目の IMS 分析を行うことで、正確なサイズと当初の電荷が求められる。初段で q/Ω に、二段目で $1/\Omega$ に従った IMS 分離を行うことに対応している。優れた構造解析法だが、中和器での強度減少、中和条件の再現性、そして電荷中和が構造に与える影響を無視できない。

2・2 質量分析との結合

IMS で得られる構造情報は有用であるが IMS 分解能は、最高レベルで 100~200²⁾⁵⁾、複数段の組み合わせでもいまだに 1000 に到達しないなど他の手法 (節 1・2) よりはるかに低い。また感度も MS などより低い。このため IMS と MS の利点を兼ね備えた IMS/MS が発展してきた。いずれも IMS と MS の接続部でのイオン損失を防ぐために工夫が凝らされている。

2・2・1 打ち込み型

打ち込み型は Jarrold や Bowers らにより 1980 年代末から 1990 年初頭に大きく発展し、炭素や半導体クラスターに適用された。この手法は MS で一般的な衝突解離を用いた解離イオン質量分析法 (MS/CID/MS) とほぼ同じであるため、既存の MS システムに IMS 機能を付加することが容易である。イオンを高真空の初段 MS からドリフトセルに導入する際に、数 Torr のガス圧を

持つセルから初段 MS に流出するガスに逆らって、イオンを打ち込まなくてはならない。

このため打ち込み型はセル圧を高くできず IMS 分解能は低いが、イオンを MS で同定した後、IMS 測定を行うので、セル内反応が完全に把握できる。特にセルへの打ち込み時に高い運動エネルギーでイオンとガスと衝突させることで加熱させることができる。そしてイオンがセル内に停止後はガスによるイオンの冷却を引き起こすことができる。この加熱・冷却過程に伴うイオンの構造変化、特に最安定構造への変化を IMS 測定できることは特筆されるべき優れた特徴である。

2・2・2 差動排気型

前節 2・2・1 で述べたように、IMS/MS では、IMS と MS の接続時にイオン強度が減少する。MS→IMS が特に難しいので、IMS→MS のみに絞り、差動排気を用いて高分解能・高ガス圧 IMS と MS を結合した装置が差動排気型で、Jarrold らが開発した⁶⁾。イオンをセルに導入し IMS 分析した後、四重極質量分析計で MS 分析を行う。IMS では大気圧 He を活用し高電圧 (10 kV) 長距離セル (0.6 m) を用いながら低電場条件を成立させた結果、当時の世界最高レベルの分解能 150 を達成した。さらに大容量ポンプと差動排気、および ϕ 0.1 mm の小さなイオン導出孔を用いて、IMS から MS へのガス流入を防ぎつつイオンを検出することを可能にした。これらは大気圧イオン源を MS で活用する際、一般的であるが、IMS ではイオンをガスに希釈して IMS 分離した後、再び差動排気と MS 測定を行わなくてはならないため格段に高い輸送効率が必要である。最近では高周波 (RF) を活用した高効率イオン収束システムも活用されている。

この派生版として、ガス気流を活用する高分解能システムも 2010 年代以降発展してきた。IMS 分解能は、セル内で分離時間が長く、印加電圧が高く、移動距離が長いほど向上する。装置の長大化を防ぐ手法として、川 (ガス流) を遡上する魚 (荷電粒子) のようにガスを泳動方向と逆向きに流し、RF イオントラップと併用することで、2 秒以上の保持時間と実質的に数十 m を超える泳動距離を達成し、世界最高レベルの分解能 200 を実現した⁷⁾。このシステムは Fernandez-Lima により開発され、Waters 社の製品に TIMS として搭載されている。高分解能を誇るが、次節 2・2・3 に示す TWIMS と同様 RF によるイオン加熱の問題も報告されている。

2・2・3 Travelling Wave IMS

IMS では検出感度の向上が大きな問題であり、さまざまな新しい仕組みが考案されている。その一つに Waters 社が開発した Travelling Wave IMS システム (TWIMS) がある⁷⁾。このシステムでは、図 4 に示すよ

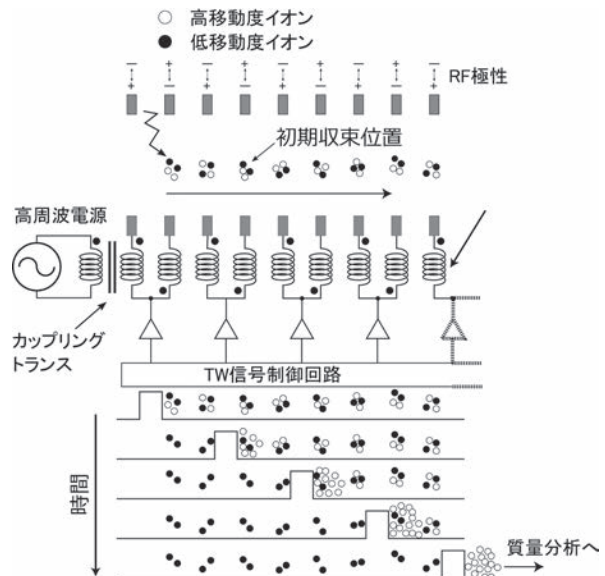


図 4 Travelling wave (TW) 移動度測定システムの構成と動作機構

セルでは高周波電圧が隣り合う同心穴あき円盤状電極を対として与えられている。イオンは電極中心に軸方向にも半径方向にも収束される。収束後粒子を質量分析部へと排出するような TW 信号が与えられる。黒丸低移動度イオンは TW に乗り損ねて取り残され、白丸高移動度イオンは TW に従って短時間で排出され質量分析される。

うに同心穴あき円盤状の電極を円筒状に配置させている。すべての隣り合う電極間に 1 MHz、数 100 V 程度の RF 電場を与えている。この RF 電場に加え IMS 用のタイミングと電圧が制御された信号駆動回路が組み込まれている。RF 周波数は十分高く設定され、イオンが RF 電場により電極間を大きく往復運動して電極に衝突・消失することを防いでいる。イオンは強い RF 電場が印加されている電極近傍から電極から遠く弱い RF 電場が印加されている中心軸に微細振動運動をしながら収束される。TWIMS では前述した半径方向のトラップポテンシャルに加え、軸方向に対しても電極間隔で sin 波状のポテンシャルが存在する。このポテンシャルは 1 eV 程度にも達し、熱運動エネルギーよりも遙かに大きくできる。このため、TWIMS ではイオンは、半径方向に対しても軸方向に対しても同心円盤状電極の中心位置にトラップされる (図 4)。

装置内でイオンは失われないので検出効率が向上する。さらにドリフト時間型 IMS で問題となっていた、イオンをパルス束にすることで損失 (節 2・1) を回避し、全イオンを活用する仕組みを用いている⁸⁾。

IMS 測定は図 4 のように対電極に、Travelling Wave (TW) と呼ばれる IMS 測定のための軸方向駆動電圧信号を加えることで実現される。これは時間によって繰り返す波とよく似ている。TW の電圧や速度を調整することで、高移動度イオンは TW に従って MS へと効率よく短時間で排出される。一方、低移動度イオンは TW

では動かず、セル内に捕らえられ長時間にわたり排出されない。このように IMS 分析を排出効率・排出時間の差によって測定する。トラップ内のイオンをすべて活用することで飛躍的な検出効率の向上が実現された。TW の電圧と周波数は数 10～数 100 kHz 程度であり、IMS 電場に相当する TW 電場も数 10 V/cm 程度とそれほど高くない。ガス圧力は 1 Torr 程度であることと、初期システムでは数十 cm 程度の TW セルを用いていたため、分解能は数十とそれほど高くなかった。現時点での最新版では分解能向上のためにさまざまな改良が施され、TW システムを環状に接続し周回運動させるものもある。10 m 以上 1 秒もの IMS 測定を行うことで分解能 1000 に肉薄しつつある。

このように TWIMS は高周波高電場を活用しているの、IMS 構造解析に最適な低電場条件が成立しているとは言い難い。また排出効率を IMS に換算しており、直接 v_d を測定しているわけではない。このため RF による柔らかいタンパク質イオンの変形が起こったり、基準物質による校正が必要になったりするなど、測定結果の吟味が必要である。

2.3 Field Asymmetric Waveform Ion Mobility Spectrometry (FAIMS)

構造に直結する衝突断面積を調べるためには低電場極限で行う必要がある。そうでない場合、温度上昇やイオンとガス間の相互作用による衝突断面積の電場依存性から、移動度と衝突断面積の対応が困難になる。これを積極的に活用したのが FAIMS である¹⁾⁹⁾。この手法は現在、構造検出ではなく、質量分析の前段階に配置され目的物イオンだけを選別するためのフィルターとして主に活用されている。分解能 500 程度と IMS では最も高い分解能を持つ手法でもあり、より高度な活用が試みられている。

Thermo Fisher Scientific 社から市販されており、図 5 のように平行平板電極間に分散電圧として高電場、低電場を高周波として与える。電場の時間平均は 0 になるように、高電場が印加される時間幅は低電場の時間幅に比べ短くする。電場に加えガスを層流として電極間に流し、イオンを図 5 のように移動させる。高電場で移動度が高くなるイオンは図 5 (a) のように高電場 (上) 方向に移動し、逆に高電場で移動度が低くなるイオンは (c) のように低電場 (下) 方向に移動する。(b) のように電場に移動度が依存しないイオンは上下移動しない。FAIMS ではこの分散電圧 (DV) による移動度の変化を補償電圧 (CV) として与え、装置を通過するように補償する。図の電極配置では (a) のイオンは $CV < 0$ の場合に装置を通過し、(b)、(c) のイオンはそれぞれ $CV = 0$, $CV > 0$ の場合に通過する。このように FAIMS のスペクトルは横軸が補償電圧、縦軸がイオン強度という

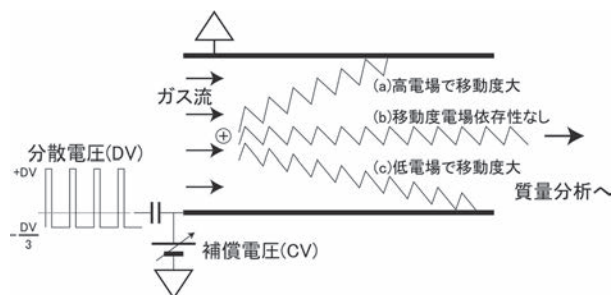


図 5 Field Asymmetric Waveform Ion Mobility Spectrometry (FAIMS) システムの動作機構

時間平均は 0 となる非対称の分散電圧 (DV) を下側電極印加し、移動度の電場依存性に従ってイオンが分離される。補償電圧 (CV) も下側電極に与え、上側電極は接地 (0 V) してある。CV=0 の場合、移動度に電場依存性が無いイオン (b) のみがシステムを通過し検出される。高電場で移動度が大きくなるイオン (a) は、 $CV < 0$ の場合に検出することができる。イオン (c) は $CV > 0$ で検出される。

形で表される。

FAIMS では得られる情報は衝突断面積ではなく移動度の電場依存性であるため、構造情報は得られない。このことは逆に FAIMS は質量分析のフィルターとして、より高い目的イオン選択性能を持つことを意味する。通常の低電場 IMS 分離では衝突断面積の逆数に比例して v_d が変化し分離される。一般に大質量イオンは大きなサイズと大きな衝突断面積を持つため、質量と移動度は強く相関している。この点 FAIMS では衝突断面積とは基本的に相関がないので質量分析のための前処理的フィルターとしては低電場 IMS よりも有効である。

FAIMS の分離機構や解析は発展途上であるが、高電場ほど移動度が増大する図 5 (a) のイオンが多いことが知られている。これは以下のように理解されている。ガス中に混入した水などとイオンがクラスターを形成し、サイズが増大し移動度が低下する。このクラスターは低電場ではガス・粒子間衝突がマイルドで温度上昇が少なく安定に存在し、移動度は小さいままである。対照的に高電場では激しいガス・粒子間衝突によりクラスター温度が上昇し、クラスターが破壊され、サイズが減少・移動度の増加が起こるといった機構である。クラスターの直接観測や水やアルコールのガス中濃度の増加により CV や DV 依存性が增大することからモデルの妥当性が確かめられている。

3 応用例

3.1 エレクトロスプレーイオン化 (ESI) により生成する高荷電ナノ液滴

ESI は代表的ソフトイオン化法であり、イオン化過程には、高電荷の溶媒液滴中の中性溶媒分子が蒸発、電荷が濃縮されるに伴う液滴分裂、溶媒蒸発後、溶質のタンパク質などへの電荷付加というモデルが提唱されてい

る。MSでは最終生成物の分子イオンしか検出されず、イオン化過程に重要な中間体・高荷電ナノ液滴を直接測定した例は殆どない。IMSは高速・高感度、比較的高圧のガス中測定であることから真空中の激しい溶媒蒸発を防ぐことができること、そして顕微鏡測定のような固定基板が必要ないことから、ナノ液滴の非破壊測定に適している。

ESIの中間体である高荷電液滴の電荷量 q の粒子半径 r 依存性は、電荷が溶媒に一体化した荷電液滴の表面張力が電荷反発と拮抗するモデルでは $q \propto r^{1.5}$ 、液滴に分子イオンが付着しているというモデルでは $q \propto r^2$ となることが知られていたが、実測データは非常に少ない。メタノール:水 50:50 体積水溶液に酢酸アンモニウム 1 mM を溶解させた、ESIで一般的な溶媒を用いて既知サイズの粒子をイオン化した。タンデム測定(節 2・1)の結果から直径 40 nm 以下では、 $q \propto r^2$ の分子イオン付着モデル、40 nm 以上では $q \propto r^{1.5}$ の荷電液滴モデルに従った電荷-サイズ依存性が得られた。従来のESIモデルを支持し、さらにサイズによるモデルの切り替えが起こることを明らかにした。しかしこの測定では、溶媒のみの荷電液滴を測定するのではなく、溶媒蒸発によるサイズ変化を防ぐためにサイズ既知のポリスチレン粒子などの表面が溶媒に濡れているものを液滴と同様に扱っているなどまだまだ問題が多い。今後の進展でさらなる機構解明とナノ液滴自体の解明が期待される。

3・2 フラーレン

フルーレンの中空構造を生かし、炭素殻内部に金属原子を封入した金属内包フルーレンは特異な磁性・光学特

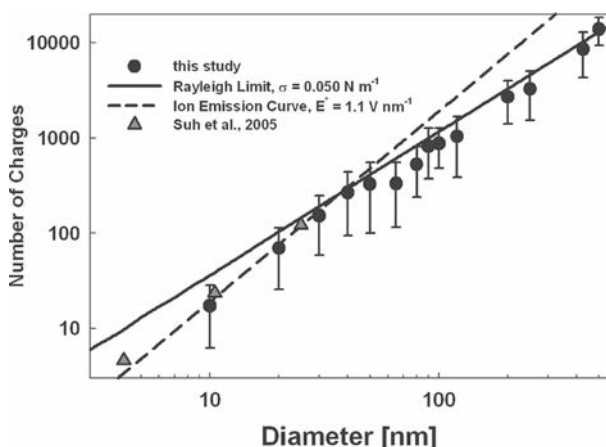


図6 直径 10 nm から 500 nm までのサイズ規定粒子をエレクトロスプレーイオン化法でイオン化した荷電粒子のサイズと電荷の相関

粒子の分散溶媒は本文参照。タンデム型モビリティ測定システムで測定された。直径 40 nm 以下では電荷が直径の 2 乗に比例するイオン付着モデル、40 nm 以上では電荷は直径の 1.5 乗に比例する荷電液滴モデルに従う¹⁰⁾。アメリカ化学会から許可を経て掲載。

性を持つ¹¹⁾。この金属内包フルーレンの構造解析には NMR や XRD などが適用されてきた。しかし測定には mg 程度の高純度試料が必要であり、一種類の測定に数か月を要する場合もある。このためサイズや構造に関し網羅的に構造解析を行うことはできなかった。

筆者らは、混合物に適用可能で、高感度・迅速測定ができる差動排気型システム(節 2・2・2) IMS/MS を金属内包フルーレンの構造解析に適用した。

図7にそれぞれのフルーレンイオン強度のドリフトプロファイルを示す。 C_{80} と C_{82} は構造異性体を持つが、このシステムではそれらを選別できず一本のピークとして観測された。 Sc 原子を一つ含む ScC_{82} フルーレンは、 C_{82} とほぼ同じドリフト時間に一本のピークが現れ、衝突断面積は C_{82} とほぼ同じであった。これは C_{82} に Sc 原子が内包された通常の $Sc@C_{82}$ 内包構造を持つことを意味している。

一方 Sc 原子が2個含まれた Sc_2C_{82} フルーレンに関しては、それぞれ C_{80} と C_{82} に近いドリフト時間に2本のピークが現れた。このことは衝突断面積が C_{80} に近い、 $Sc_2C_2@C_{80}$ カーバイド内包フルーレン構造と、衝突断面積が C_{82} に近い通常の $Sc_2@C_{82}$ 金属内包フルーレン構造の2種類存在することを意味している。すなわち Sc_2C_{82} という同じ原子組成を持つ金属内包フルーレンには Sc_2C_2 が C_{80} に取り込まれている新規カーバイド型構造と、 C_{82} 殻に Sc 金属が2個取り込まれた通常型構造の2種類があることが分かった。さらに、 Sc 原子が3個含まれた Sc_3C_{82} フルーレンは、衝突断面積が C_{80} に近い $Sc_3C_2@C_{80}$ カーバイド内包フルーレン構造しか見いだすことができなかった。実際これらのカーバイド構造は安定構造としてXRDにより同定された。

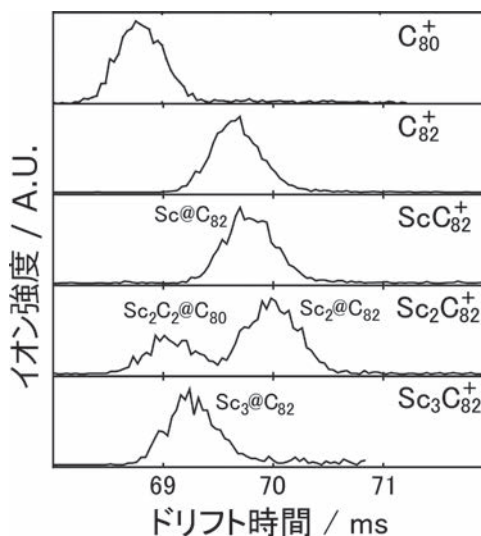


図7 フルーレン類のドリフトプロファイル $Sc_2C_{82}^+$ イオンではそれぞれ C_{80}^+ と C_{82}^+ とほぼ同じドリフト時間を持つ二つのピークが現れる。

これ以外のフラレンについても顕著な金属および炭素原子個数依存性が観測され、従来のXRDやNMRなどでは不可能である100種類近くの網羅的観測をIMS/MSによって実現できた。

3.3 Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry による同位体置換分子の分離

図8のように通常全く同じ構造を持っていると考えられるH,D置換や ^{12}C , ^{13}C 置換など同位体置換されたアミノ酸グリシンイオンが、それぞれ異なるFAIMSスペクトルを示すことが明らかになった¹²⁾。通常同位体効果と同様、H,D置換が最も大きなスペクトルの変化を示すが、分子全体の質量が同じでも置換体($\text{NH}_2\text{CH}_2^{13}\text{CO}_2\text{H}$ と $\text{NH}_2^{13}\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$)は異なるFAIMSスペクトルを示す。質量が変化することが問題なのではなく、分子とガスの相互作用そして分子内部での振動や分子内質量分布の変化に伴う回転準位の変化など、様々な変化がFAIMSで捕らえられたと推測されている。

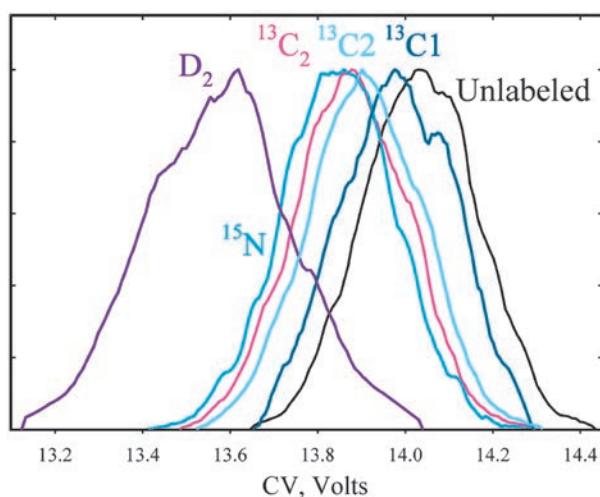


図8 同位体置換されたアミノ酸グリシンイオン($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}^+$)の高分解能FAIMS質量分析スペクトル
それぞれ濃青 $^{13}\text{C}1$: $\text{NH}_2\text{CH}_2^{13}\text{CO}_2\text{H}$, 水色 $^{13}\text{C}2$: $\text{NH}_2^{13}\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$, ピンク $^{13}\text{C}2$: $\text{NH}_2^{13}\text{CH}_2^{13}\text{CO}_2\text{H}$, 青 ^{15}N : $^{15}\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$, 紫 D_2 : $\text{NH}_2\text{CD}_2\text{CO}_2\text{H}$, 黒Unlabeled: $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ が示されている。質量がほとんど同じ、濃青、水色、青が、そしてピンクと紫が明白に区別されている¹²⁾。アメリカ化学会から許可を経て掲載。

4 まとめ

以上のようにIMS測定は単独でも優れた測定法であるが、近年のMSとの結合で構造解析法として大きく飛躍しつつある。測定対象が分子から微粒子までと幅広く、しかも測定機器として簡便なものから高度複合化された装置も市販化もされているなどMSと同レベルの手法として確立される可能性は高い。また構造解析だけではなく、FAIMSのようなガスとイオンとの相互作用など高度な情報を得るツールとしても期待できる。本稿が読者の興味を少しでもかき立て、この手法が普及することが筆者の願いである。

文献

- 1) G. A. Eiceman, Z. Karpas: "Ion Mobility Spectroscopy", p. 1 (2005), (CRC Press, Boca Raton).
- 2) T. Sugai: *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **58**, 47 (2010).
- 3) H. E. Revercomb, E. A. Mason: *Anal. Chem.*, **47**, 970 (1975).
- 4) K. S. Seol, Y. Tsutatani, R. P. Camata, J. Yabumoto, S. Isomura, Y. Okada, K. Okuyama, K. Takeuchi: *J. Aerosol Sci.*, **31**, 1389 (2000).
- 5) T. Sugai, M. Inakuma, R. Hudgins, P. Dugourd, J. L. Fye, M. F. Jarrold, H. Shinohara: *J. Am. Chem. Soc.*, **123**, 6427 (2001).
- 6) P. Dugourd, R. R. Hudgins, D. E. Clemmer, M. F. Jarrold: *Rev. Sci. Instrum.*, **68**, 1122 (1997).
- 7) F. Fernandez-Lima, D. A. Kaplan, J. Suetering, M. A. Park: *J. Ion Mobil. Spec.*, **14**, 93 (2011).
- 8) K. Giles, S. D. Pringle, K. R. Worthington, D. Little, J. L. Wildgoose, R. H. Bateman: *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **18**, 2401 (2004).
- 9) B. M. Kolakowski, Z. Mester: *Analyst*, **132**, 842 (2007).
- 10) C. J. Hogan, Jr., P. Biswas, D. Chen: *J. Phys. Chem. B.*, **113**, 970 (2009).
- 11) H. Shinohara: *Rep. Prog. Phys.*, **63**, 843 (2000).
- 12) A. A. Shvartsburg, D. E. Clemmer, R. D. Smith: *Anal. Chem.*, **82**, 8047 (2010).



菅井 俊樹 (Toshiki SUGAI)

東邦大学理学部 (〒274-8510 千葉県船橋市三山 2-2-1)。東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了。博士(理学)。《現在の研究テーマ》新規ナノ物質測定法の開発と新規ナノ物質創製。

光学顕微鏡を用いた蛍光検出技術

1 はじめに

微小な対象を観察する際に、顕微鏡は極めて有用な道具である。とりわけ光学顕微鏡は比較的簡単に操作でき、非破壊・非接触的であり、かつ試料の準備に際して特殊な処理を必要としないため生物学や医学等を始めとして様々な分野で広く利用されている。本稿では、特に蛍光性物質の検出のための様々な光学顕微鏡を紹介し、それぞれの仕組みや特徴についてまとめる。

2 共焦点レーザー顕微鏡

共焦点レーザー顕微鏡 (confocal laser scanning microscopy, CLSM) では、光源から発せられたレーザービームが試料上で焦点を結び、試料由来の蛍光が検出器のピンホールにおいて再度焦点を結ぶよう設計されている。検出に際して焦点面以外からの不要な光を除去できるためコントラストの高い鮮明な画像が得られる他、深さ方向にも1~数 μm 程度分解能を持つため、レーザー走査によって観察対象の三次元構造を解析することが可能である。デメリットとしては、焦点面を逐次的に走査していくため画像生成に時間がかかる点や、比較的高いレーザー強度が要求されるため試料の光退色や変性が問題となり得る点等が挙げられる。

3 全反射照明蛍光顕微鏡

全反射照明蛍光 (total internal reflection fluorescence, TIRF) 顕微鏡では、屈折率の異なる二つの媒質の界面に光を全反射させた際に界面外にわずかに染み出す光 (エバネッセント光) を利用することで界面近傍のごく限られた領域に存在する蛍光性物質を検出する。ノイズ光を低減した鮮明な画像が得られるだけでなく、細胞膜上等の限られた領域で生じる現象の極めて解像度の高い解析が可能である。このような利点と表裏一体ではあるが、界面近傍以外の領域、すなわち試料の内部で起こる現象を検出できない点が本方法の欠点と言える。

4 蛍光寿命顕微鏡 (FLIM)

蛍光寿命顕微鏡 (fluorescence lifetime imaging microscopy, FLIM) では、蛍光シグナルの強度ではなくパルス光照射によって生じる蛍光の時間依存性を検出する。光を照射された蛍光性物質は励起状態となり、蛍光という形でエネルギーを放出することで基底状態へと戻る。この蛍光の減衰時間 (蛍光寿命) は照射した光の強度や蛍

光性物質の濃度に依存せず、蛍光性物質固有の性質とその周辺の溶媒等の微小環境によってのみ変化する。したがって、生物学的反応プロセスのダイナミクスや分子間相互作用、分子の状態の変化を精密かつ直接的に測定することが可能である。その反面、測定時間が長くなることで高速なプロセスを観察することは他の顕微鏡と比べて困難な場合が多い。検出法にはシグナルの減衰を直接測定する time domain 方式や検出系と蛍光との位相差から蛍光寿命を導出する frequency domain 方式がある。

5 多光子励起顕微鏡

多光子励起顕微鏡 (multiphoton excitation microscopy) では、蛍光性物質への光照射に際して二つ以上の光子を同時に吸収させることで励起を行う。1光子あたりに必要とされるエネルギーが小さくなることで、励起光の波長を伸ばすことができる。これにより、生体内での光透過性が高くなり深部までの観察が可能となる他、試料の変性や観察対象へのダメージを軽減することができる。このように、本方法は生体内での測定に適した性質を有する。一方で、多光子吸収過程をごく限られた領域に集中して引き起こす必要があることから、広い面での観察を苦手とする。

6 超解像顕微鏡

光は波動性を持つため、試料から発せられた蛍光を1点に集めることは不可能であり、不確かさを含む状態で観測される。このため二つの蛍光の発生源が一定の距離よりも近づくと、それぞれに由来するシグナルを分離することができなくなる。これを回折限界と呼び、レンズの開口数と蛍光波長による定式化が報告されている¹⁾。これによれば、可視光 (400~750 nm 程度) を用いた検出を行う限り回折限界は数百 nm のあたりに存在し、それよりも小さな構造を解析することは原理的に不可能となる。このため、従来の光学顕微鏡では生体内の微小な構造等を観察するには限界があった。この解像度の限界を打ち破り、物質の構造や性質をより詳細に観察するための技術が数多く考案されている。

6・1 Stimulated emission depletion (STED)

STED²⁾では、光励起された試料にドーナツ型のSTED光を照射する。STED光が当たった蛍光分子は誘導放出によって強制的に基底状態へと戻り、その蛍光シグナルは検出対象から外れる。これによりドーナツの中空に位置する対象分子からのシグナルだけが、隣接する

分子からの干渉を受けることなく検出可能となる。STED 光の形状を調整することで数 nm から数十 nm に至るまで解像度を向上させることが可能であるが、原理上深さ方向の解像度を上げることはできないという欠点がある。

6・2 Single-molecule localization microscopy (SMLM)

SMLM では、試料中のすべての蛍光分子を同時に光らせるのではなく、確率的に回折限界内に単一の蛍光分子のみしか蛍光を発しないようなまばらな蛍光シグナルを得られるように実験条件を設定する。本手法に相当する技術として photoactivated localization microscopy (PALM)³⁾, fluorescence photoactivation localization microscopy (FPALM)⁴⁾, stochastic optical reconstruction microscopy (STORM)⁵⁾ 等様々な方法が報告されている。撮像ごとに蛍光を発する分子を変えながら何度も画像を取得し、それぞれの輝点の位置を特定した後にこれらを一つに統合することで、超解像画像へと再構築する。本手法は STED と比較して深さ方向の解像度も向上させることができるが、高濃度の添加剤を使用する等、蛍光の on/off を制御するため実験条件に制限が生じ得る他、一枚の画像を取得するのに時間がかかり観測対象の動的変化を追うことが難しいという欠点がある。

6・3 Structured illumination microscopy (SIM)

SIM⁶⁾ は、モアレ現象を利用した方法である。試料に対して縞状の励起光を角度・位相を変えて複数パターン照射すると、試料中の微細構造の情報を含んだ干渉縞が生じる。これを解析することで超解像画像を取得する。他の手法と比較して解像度の向上率は劣る傾向にあるが、試料に特殊な実験条件を必要とせず、高速な撮像も可能である。

6・4 Minimal photon fluxes (MINFLUX)

MINFLUX⁷⁾ は STED の開発者である Stefan Hell らによって新たに開発された方法である。本方法では SMLM と同様に試料中の蛍光分子をまばらに光らせるが、画像解析によって輝点の位置を決定するのではなく、STED で用いたようなドーナツ型の励起光を用いて、能動的な探索を行う。励起光の形状と照射に対する蛍光分子の応答の仕方からその位置を速やかに決定する。これによって、高強度のレーザーや長時間の撮像を必要とせずに数 nm 程度の解像度を達成している。現状では非常に精密で高価な実験装置のセットアップが要求されるため研究に置いて普及された方法とはなっておらず、今後の技術革新によるユーザビリティの向上が待たれる。

7 蛍光性分子改良の取り組み

これまでに様々な光学顕微鏡の技術革新を見てきた。これに加え、観察の対象である蛍光性分子の改良によって顕微鏡の機能をサポートすることも試みられている。例として、SMLM を用いた超解像顕微鏡では試料中の蛍光分子をまばらに励起する必要があるが、自発的に明滅するように設計された蛍光分子を用いることで添加剤やレーザーを用いることなく簡便に超解像画像を取得することができるようになる⁸⁾⁹⁾。他にも、ターゲット酵素の存在下といった特定の条件を満たした場合のみ蛍光性を獲得する分子を用いることで、顕微鏡画像のコントラストを向上させること等が可能である¹⁰⁾。

文 献

- 1) E. Abbe : *Archiv für Mikroskopische Anatomie*, **9**, 413 (1873).
- 2) S. W. Hell, J. Wichmann : *Opt. Lett.*, **19**, 780 (1994).
- 3) E. Betzig, G. H. Patterson, R. Sougrat, O. W. Lindwasser, S. Olenych, J. S. Bonifacino, M. W. Davidson, J. Lippincott-Schwartz, H. F. Hess : *Science*, **313**, 1642 (2006).
- 4) S. T. Hess, T. P. Girirajan, M. D. Mason : *Biophys. J.*, **91**, 4258 (2006).
- 5) M. J. Rust, M. Bates, X. Zhuang : *Nat. Methods*, **3**, 793 (2006).
- 6) M. G. Gustafsson : *J. Microsc.*, **198** 82 (2000).
- 7) F. Balzarotti, Y. Eilers, K. C. Gwosch, A. H. Gynnå, V. Westphal, F. D. Stefani, J. Elf, S. W. Hell : *Science*, **355**, 606 (2017).
- 8) M. Holtmannspötter, E. Wienbecker, T. Dellmann, I. Watrinet, A. J. Garcia-Sáez, K. Johnsson, R. Kurre, J. Pichler : *Angew. Chem. Int. Ed.*, **62**, e202219050 (2023).
- 9) S. Uno, M. Kamiya, T. Yoshihara, K. Sugawara, K. Okabe, M. C. Tarhan, H. Fujita, T. Funatsu, Y. Okada, S. Tobita, Y. Urano : *Nature Chem.*, **6**, 681 (2014).
- 10) X. Wu, R. Wang, N. Kwon, H. Ma, J. Yoon : *Chem. Soc. Rev.*, **51**, 450 (2022).

[東京大学大学院薬学系研究科 橘 椋]

特集 令和の分析化学教育

《特集》「令和の分析化学教育」企画にあたって

令和の時代を迎えた現在では分析機器が高度に発達しており、産業分野をはじめ実社会を支える基盤として広く活用されています。高度化した分析機器を真に使いこなして有用な結果を得るためには、分析化学の基本原則を理解し、分析の基本技能を習得することが必須です。そのため、機器のブラックボックス化や高度化が進めば進むほど、基礎を身につけるための「分析化学教育」の重要性がますます高まると考えます。

一方で、昨今ではIT化やオンライン技術の発展、また急速な少子化の影響などにより、大学をはじめ教育機関の在り方や教育手法が急速に変遷しています。時代に即して変化を重ねながらも、先人によって築かれてきた分析化学を伝承し、さらなる発展と進化につなげていくことも私たちの重要な課題と考えます。

以上を踏まえ、本特集では「令和の分析化学教育」と題して、分析化学の教育に関する最近の事例や取り組みについて、教育機関をはじめ企業・研究機関・分析関連資格講習に至るまで多方面からご紹介いただき、18報を掲載する運びとなりました。教育や指導に携わる当誌読者各位にとりまして少しでも役立てば幸甚です。

執筆者各位におかれましては、ご多忙のところご寄稿いただきまして誠にありがとうございました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

「ぶんせき」編集委員会

特集 令和の分析化学教育

大学教員と高専校長の立場からみた分析化学教育	岡田 哲男
理工学系大学における分析化学教育の今後	上原 伸夫
理工学系大学の分析化学教育	小川 信明
大学（農学系）における分析化学教育	白井 理
九州支部による HPLC 講習会	浜瀬 健司
高専における分析化学教育の実際と特徴	澤井 光, 原 嘉昭
高専での“電子回路×分析化学”をテーマとした実験実習	野田 達夫
バーチャル実験を取り入れた分析化学教育モデルの開発	重里 徳太
化学分析技能士の資格取得に向けた取り組みと技能五輪国際大会への挑戦	池田 泰久
中高生に分析化学を伝える―「夢ナビライブ」にて―	宮村 一夫
スーパーサイエンスハイスクールの分析化学教育	川野 和也
高校の科学部活動で活用される分析化学	山口 悟
都立多摩科学技術高校における分析化学教育	田中 義靖
計量証明事業所における分析業務の特色と伝承	管 雅英
水処理会社の分析部門における教育と技能伝承	江川 暁
公設試験研究機関における分析化学教育	林 英男
環境計量講習（濃度関係）	米谷 明, 高塚 登志子
作業環境測定士の育成	飛鳥 滋, 宮部 寛志

大学教員と高専校長の立場からみた分析化学教育

岡田 哲 男

1 大学での分析化学教育

2022年3月までの26年半、東京工業大学理学院化学系で分析化学の教育を担当した。大学院ではややマニアックな授業をしていたので、ここでは学部の講義に話を絞ることにする。分析化学の授業を行う上で、私が重視してきたのは以下の2点である。一つは、化学の理解には分析化学の視点や考え方が必須であることを示すことである。その上で、化学者として知っているべき分析化学関連の概念や知識を学んでもらうことにしていた。「知っているべき」の定義や範囲が悩ましいが、少なくとも「東工大で化学を学んだ学生がこんなことも知らないのか」、と言われまいようにしようと思っていた。もう一つ重視していたのは学生に分析化学を好きになってもらうことである。学生を研究室に勧誘するには、分析化学に興味を持ってもらうのが早道である。教えるべきことと学生が興味を持つ、あるいは面白いと思うことが一致するわけではないので、学生の反応、宿題や試験の出来、授業アンケートの結果をにらみながら毎年苦しんでいた。分析化学は学術分野として流動的であり、物理化学や有機化学に比べると堅固な体系化が難しい。ディシプリンとしてのあいまいさは、時として利点になるが、弱点にもなる。授業の中で学生に興味を持たせ、さらに理解を深めさせるには、ある程度体系化できているふりをする必要もある。これらの矛盾に悩みながら、修正や試行錯誤を繰り返してきた。20年以上かけても最適解に到達した自信はない。

東工大の分析化学の講義は、多くの大学同様、溶液平衡（基礎分析化学）と機器分析的なもの（化学計測学）の二本立てである。前者は物理化学の一分野であるが、なぜ分析化学の授業で扱うのか、これを私はつぎのように説明していた。溶液で行う化学の実験は少なくない。また、分析化学が重要な役割を果たす生命科学や環境科学などでは溶液が主な試料媒体である。したがって、分析化学では溶液特に水溶液の理解は避けて通れない。溶液では種々の平衡が成り立つため、計測や分離のために系を乱すと状態が変わってしまう。また、系に存在する化学種すべてを実験的に定量することは不可能である。しかし、溶液の熱力学を理解していれば計測しなくても化学種間の量関係を把握できる。また、生体や環境に特定の負荷や摂動を与えたときの予測も可能である。つま

り、溶液平衡は、溶液の現在の把握と未来の予測を可能にし、それに基づいて何を計測すべきなのかを教えてくれる。これらの理由により分析化学で溶液平衡を扱う。

一般に、溶液平衡の授業では、濃度に基づく計算に多くの時間が割かれる。この計算ができないと困るのだが、私の授業では、濃度計算の前に溶液の熱力学を一通り学ぶことで、活量についてある程度の洞察を得ることを目指していた。熱力学の授業では溶液系をあまり詳しく扱わないことが多い。だが、化学の学生は溶液熱力学を知っているべきだと思うし、その理解なしに実際の溶液の平衡を扱うことはできない。授業アンケートや聞き取りからは、難しいとの意見が多かった。とは言え、知っているべきことと平衡論の面白いところをバランスさせるという点で、一定の最適化はできていたと思う。

一方、「化学計測学」の方はなかなか最適解に至らなかった。多くの教科書では、多様な計測、分離法が羅列されており、著者の「知っているべき」という観点を中心に構成されているように思える。私は、羅列するのではなく、首尾一貫した特定の分析化学思想に基づいて語るべきだと思っている。この分析化学思想は人それぞれで良いと思うが、一定のシナリオに沿って計測法を位置付けて語らないと、カタログを見ながら計測、分離法を紹介するような授業になりかねない。私が分析化学思想の中心にしていたのは、「感度と選択性」である。

分析化学が他の化学分野と決定的に異なるのは、量に対するこだわりであろう。たとえば、分光スペクトルを読み解くことは、多くの化学分野で必要である。物理化学では、縦軸（吸光度、シグナル強度など）、横軸（波長やエネルギー）が何に由来し、なぜ条件により変化するのか、その分子論的原理を理解することが重視される。有機化学では主に横軸情報から分子構造を読み解き、分離や合成が思い通りに進んでいるのか否かを見極める。これらの分野では、どちらかという横軸情報の方が重視され、縦軸の値を厳密に解析することはそれほど多くない。一方、分析化学では、横軸情報だけでなく、縦軸から物質の量や濃度に関する情報を得て、それに基づいて考察を行うことが多い。また、夾雑物きょうざつを含む実試料への適用を視野に入れることも求められる。目的的分析を行うには感度と選択性が共に十分なのか、どちらか一方でも不十分ならどうするのか、複数の方法を集積して課題解決を図り、それにより生じる新たな課題を

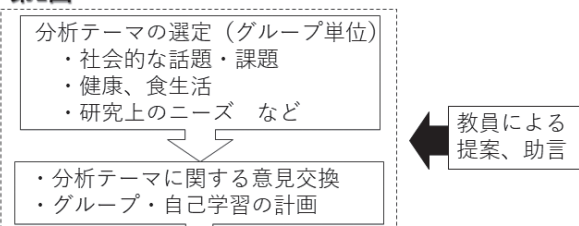
洗い出すのが分析化学であるという流れで講義を展開していた。私は質量分析 (MS) のど素人であるが、種々のイオン源を用いる GC-MS や LC-MS は分析化学的な思考を深めるための好材料であると考え、積極的に取り上げていた。

2 高専教育の特徴

さて、縁あって2022年の4月から沼津高専の校長に就任した。大学と高専は共に高等教育機関である(高専生は15歳の入学時から学生と呼ばれる)が、両者の間にはいろいろな違いがあり、高専初心者には一年以上たった今も驚きの連続である。高専本科は5年制であり、高校の3年間と大学の2年間が一体になっている。さらに追加で2年間の専攻科があり、修了時に大学改革支援・学位授与機構を通じて学士(工学)の学位が授与される。高専本科の教育は高校の3年間を含んでいるが、中等教育とは異なり学習指導要領に縛られないし、大学受験に対応する必要もない。そのため、高専では、高校から大学までの教育内容を適宜飛ばしたり圧縮したりして独自の教育システムが確立されている。高専の物質、材料系の学科でも分析化学の授業が行われているが、その内容に言及する立場ではないので、ここでは、高専で行われている他の授業から分析化学教育へのヒントがないか探ってみることにする。

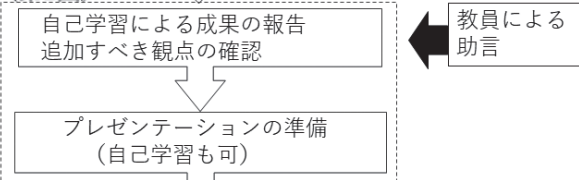
高専教育の特徴の一つは、プロジェクト型の授業(PBL, project-based learning)が多いことである。ご存じの方もいると思うが(正直私はほとんど知らなかった)、PBLはアクティブラーニングの一種で、高校では探求学習などの名で行われていることが多い。学生の実践力やものづくりの能力が極めて高いので、実際に動作するプロトタイプを授業の中で作製してしまうところが高専PBLの特徴である。自治体や企業などの課題、自ら発掘した社会課題などに基づき、グループごとにアイデアを出し、プレゼンテーションなどを通じてブラッシュアップし、解決のための具体的方法を考える。授業によっては、ソフトウェアやロボットなどを作って期待通りに動かすを検証する。実習を伴うものは時間がかかるので、1年かけて行う授業も少なくない。学生たちは授業時間外にも製作に勤しんでいるようである。化学系では安全の問題もあり実験を伴うPBL型の授業は容易ではない。しかし、実験なしでも、PBLは分析化学教育には有効と思われる。私が思いつく位なので、既に実施しているところもあるかもしれないと思い、ネットで検索してみた。詳細は不明であるが薬学系で実施例があるようである。また、中国語のものがいくつか検索に引っかかったので、中国ではもう少し広く行われているのかもしれない。目的が明確な企業の現場ではもっと盛んに行われていそうである。

第1回



グループ、個人による自己学習

(第2回)



第3回

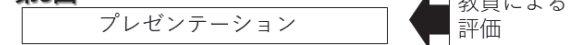


図 分析化学 PBL の一例

3 分析化学 PBL

つぎのような分析化学 PBL はいかがだろうか(図参照)。分析、計測、分離などの困難さが社会や生活、生産現場などの課題になっていたり、ラボでの現象の理解の障害になっていたりするものを学生に探索させる。分析化学会などの発表を聞かせて、そこから課題を抽出させるのも良いかもしれない。グループ単位で議論とプレゼンテーションを行って、課題を確定し、その後それを解決するための分析方法を考えさせる。授業で得た知識とネット検索などからアイデアを具体化し、それを発表する。ChatGPTなどにアイデアを出させて、それに対するダメ出しをするというやり方もありそうである。多くの場合、分析法を俯瞰して、そのいくつかを組み合わせることで全体を構築していくことになる。つまり、個々の計測、分離法を知ることが分析化学ではなく、その限界や特徴を理解した上で目的と結び付けて分析システムを設計する、そのための考え方が分析化学であることが実感できると思われる。また、授業で得た知識が、実社会や生産現場あるいはラボで使えることがわかると、分析化学への興味が深まると期待できる。このPBLを行うには少なくとも授業を3回程度削るか、演習などの時間を利用しなければならない。実現は容易ではないかもしれないが、他の化学系科目にはない分析化学の特徴を出すことには繋がるのではないだろうか。

4 さいごに

この原稿の依頼をいただいたときに何を書けばよいのかよくわからず、とりあえず「大学と高専の視点で分析

化学教育を考えてみます」と回答した。その結果思い至ったのが分析化学 PBL である。これとて私がこれまで考えつかなかっただけで、こんなの当たり前でしょうとのご指摘もありそうである。私が分析化学の授業を継続的に行うことはもうないと思われるので、実践を伴わず言い放しになるのはいささか気が引けるが、今後も分析化学の教育に携わる方に少しでも参考になれば幸いである。



岡田 哲男 (Tetsuo OKADA)

沼津工業高等専門学校 (〒 410-8501 沼津市大岡 3600). 京都大学大学院理学研究科博士課程修了. 理学博士. 《現在の研究テーマ》氷と凍結の化学, 凍結による計測の高機能化. 《主な著書》“分析化学の基礎—定量的アプローチ”, (化学同人). 《趣味》昆虫写真, 旅行.

E-mail : tokada@numazu.ct.ac.jp

『ぶんせき』再録集 vol. 1 出版のお知らせ

ぶんせき誌の過去記事の有効利用の一環として、『ぶんせき』再録集 vol. 1 が出版されました。2011 年から 2020 年まで、10 年間分の〈ミニファイル〉の記事が詰まっています。

下記 10 章からなり、それぞれ 12 から 14 の話題が集められています。

1. 実験器具に用いられる素材の特徴, 2. 分析がかかわる資格, 3. 顕微鏡と画像データ処理, 4. 最新の web 文献検索データベース, 5. ポータブル型分析装置, 6. 分析化学と材料物性, 7. 分析化学者のための多変量解析入門, 8. 土壌分析, 9. サンプルング, 10. 前処理に必要な器具や装置の正しい使用法。

本書はアマゾンオンデマンド出版サービスを利用して出版した書籍ですので、書店には並びません。アマゾンサイトからのネット注文のみとなりますので、ご注意ください。詳しくは「ぶんせき」誌ホームページをご確認ください。

理工学系大学における分析化学教育の今後

上原伸夫

1 はじめに

令和になり、感染症のパンデミック、大国による隣国への侵攻、および生成（対話型）AIの出現など、私たちを取り巻く社会情勢は目まぐるしく変わっている。この社会情勢に変化は大学教育にも変革を求めているようである。田舎大学の工学部に籍を置く筆者でも、大学教育に対する変革の波を感じる。そこで頂いたお題を「これからの分析化学教育はどうなっていくのか。～理工系の視点から～」と読み替えて考えてみることにする。

分析化学が、有機化学、無機化学、物理化学といった他の基礎的な化学と根本的に異なる点は、分析化学が大学の専門科目としてだけでなく、分析業務に携わる方にも直接的に必要な知識となっている点である。そこで、“大学での教育”という観点と“実務者への知識提供”といった観点の2点から、お題について考えてみることにする。本稿は筆者の浅見に基づいているので、批判的に高覧頂きたい。

2 大学の理工学系学部における専門分野としての分析化学

2.1 分析化学のこれまでの変遷

図1には、分析化学の視点から見た化学の歴史的展開を示す。錬金術を起源とする化学が興った時に、すでに分析化学はその中心であった¹⁾。錬金術の操作におい

て何が生じたのかを明らかにすることは、錬金術でも一番の関心事であった。17世紀に入り錬金術は近代化学の発展とともにすたれていく。これ以降、19世紀に向かって隆盛を迎える元素発見の時代は、まさに分析化学によって支えられていたといっても過言ではない。未発見元素の単離は緻密な分離操作と同定作業によってはじめて可能となる。この時期、溶液内におけるイオン平衡反応に関する理解が元素の分離や単離技術の発展とともに深まった。これにより、溶液内でもイオン平衡に関する化学的な基盤が確立するとともに、容量分析や重量分析の基礎が確立した。容量分析や重量分析は1960年代まで分析の中心的な役割を果たした。

分光光学もまた未発見元素の同定に重要な役割を果たした。中でも、原子スペクトル分光は容量分析や重量分析では到底到達することのできないレベルの微量元素の定量に威力を発揮する。現在、原子スペクトル分光法（質量分析法も含む）は微量元素の主力分析法となっている。20世紀後半、分光光学は学問として著しい発展をみせた。放射光といった高エネルギーのX線を利用する分光法から、ラジオ波を利用する核磁気共鳴まであらゆるエネルギー領域の電磁波を利用する分析法が確立した。

多くの自然現象、社会現象の栄枯盛衰はS字プロファイルを示す。容量分析や重量分析は1970年代以降、基本原理において目立った発展は見られない。分光光学も同

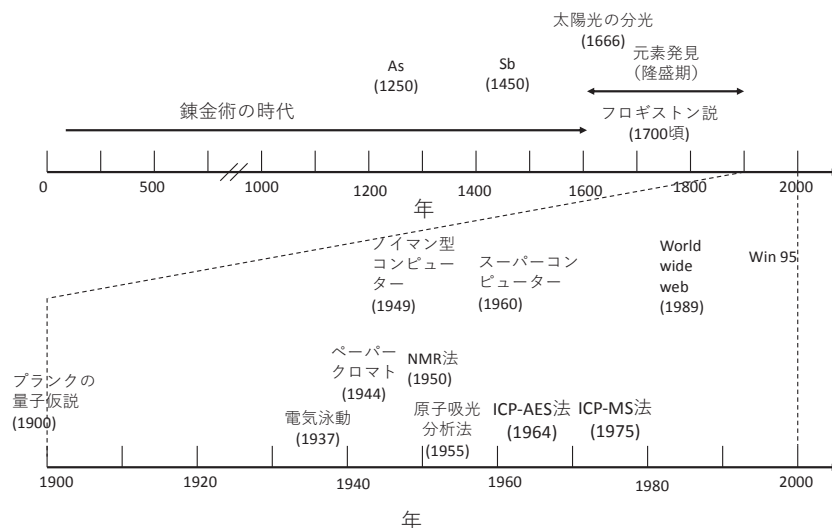


図1 分析化学にかかわる歴史的なトピックス

様であり、21世紀になると学問的な発展よりも機器の高性能化が分光学をけん引した。コンピューターの高性能化もまた分析技術の発展に寄与している。多変量解析といった数学的なアプローチは分析化学の分野においても新たな方法論を生み出している。

2・2 大学での分析化学において今後も変わらないと予測されるもの

前項で言及した分析化学の発展の歴史は現在の分析化学の教科書で取り扱われている項目に色濃く反映されている。表1に、理工系学部で使われている幾つかの分析化学の教科書でよく取り上げられている項目をまとめた²⁾。これらは分析化学の発展とともに蓄積されてきた知見であり、かつ、時間の流れの中で精選された事項である。これらの重要性は今後も変わらないものと予測される。中でも、容量分析・重量分析はビュレットの読み値や天秤の表示値から直接分析値を算出できる絶対分析法であり、検量線作成用の認証標準物質の値付けには不可欠である。それと同時に、“各種分析機器の基本原則”もまた分析化学に必須の事項であり、分光学と密接な関係がある。これらに加え、分析値の取り扱いについては、その重要性に論を待たない。

表1 多くの分析化学の教科書に取り上げられている項目

化学平衡 (滴定を含む)
酸塩基平衡, 錯生成平衡, 酸化還元平衡, 沈殿生成平衡, 二相間分配平衡
データの取り扱い
検量線, 濃度計算, 有効数字, 不確かさ, 有意差検定
分光分析
X線分光, 紫外可視分光, 赤外(ラマン)分光, 吸収分光(ランバートベール則)
分析手法(分光分析法を除く)
クロマトグラフィー, 電気泳動法, 質量分析法, 電気化学分析法

2・3 大学での分析化学において今後変わると予測されるもの

前述したように、コンピューターの高性能化とそれに支援された情報技術の高度化は、今後の分析化学教育に多大な影響を及ぼすものと考えられる。現状、思いつくものを上げるとすれば、AIに支援された分析機器の進歩、解析手法の高度化、ブラックボックス化(現在でも、化学分析において、多変量解析で得られた結果を直接化学的に説明することは往々にして難しい)といったところであろうか。もしかしたら、AIがSOP(標準手順, standard operating protocol)を勝手に作り、PCに接続された装置を自動的に動かすようなことも、すでに実用化の域に入っているかもしれない。分析業務におい

て、人の判断が入り込む余地がどんどん減っていくように思われる。このような状況に対応する術(知恵)を身に着ける必要が出てくる。これも、これからの分析化学の重要な課題であろう。

さて、変わると予測されるもう一つ重要な視点は、学部側の状況であろう。端的には、少子化に伴う18歳人口が減少中である。これは、一つの大学において定点観測した場合、入学者の平均学力が低下するという現象として観察される。状況は大学ごとに多少異なるようである。筆者の所属する大学でも、「高校までに学修する数学、物理および化学の知識を一通り理解できている」という前提がおぼつかなくなっていることを実感している。高校までに学修する数学、物理および化学の知識は、分析値の取り扱い、容量分析・重量分析の基礎原理を理解する上で不可欠な内容ばかりである。さて、どうしたものか。

2・4 変わるもの、変わらないもの、どう折衷するか

以上見てきたように、これまで精選されてきた重要な知見に、新たな時代に対応するための智慧が加わり、学問としての分析化学に求められるものが増えるばかりである。どの学問領域でも同じような状況であり、限られた時間枠の中で、分析化学の時間だけを増やすことは難しい。その一方で、学生側の状況もまたのびきならない。同じ内容を習得するのに、これまで以上に時間がかかるようになってきている。

残念ながら、筆者はこの難しい状況に対応する答えを持ち合わせていない。対象となる学生、重要視する項目、そして掛けられる時間、といった要因を明確にして、その都度、最適解を出していくしかないであろう。学習の効果を上げる工夫が今後さらに求められる。このような状況を見透かすかのように、アクティブラーニング、e-ラーニング、ハイブリッド授業、更にはブレンディッドラーニングといったカタカナ語のキラキラした教授法が百花繚乱の状態である。本質的な教授法を見抜く日も、大学教員に求められるようである。

3 分析の実務者が必要としている分析的知識

さて、分析業務に携わる実務者に目を向けてみると、大学での教育とは全く異なる様相が見えてくる。分析業務は工業生産活動の基幹をなすことから、企業や公的事業所などにおいて分析業務に携わるオペレーターは今後も必要とされ続ける。注意しなければならない点は、必ずしも大学で分析化学を専門科目として学んだ人が分析業務に携わっているというわけでは無いということである。また別の視点として、終身雇用制からJob型雇用へと雇用慣行が変化してきたことに伴う、OJT(on job training)に代表される社内教育の退潮がある。この流れは、分析業務に携わるオペレーターにも及んでいる。

ここで注意しなければならないのは、企業などで行われる社員教育の場合、“分析技術”の習得に主眼が置かれ、ともすると分析化学や分析技術の基礎となる関連学問分野についての理解は後手になりがちになることである。

具体的にはどういうことか。詳しくは鉄鋼の湿式化学分析をテーマにした拙稿に譲る³⁾。現在、分析技術が分析化学に裏打ちされているという感覚が喪失しつつあるように思えて仕方がない。換言すれば、分析技術の空洞化が進んでいるように見て取れる。この傾向は、湿式化学分析で特に著しいように感じる。もう少し具体的に説明すると、多くの分析業務では、標準的な測定手順 (standard operation protocols, SOP) が定められている。ところが湿式化学分析の場合、SOP通りにやってもうまく結果が得られないことがある。一例として、キレート滴定の当量点を考えてみよう。滴定の終点では、指示薬と分析対象金属イオンとからなる錯体がキレート剤 (エチレンジアミン四酢酸) と配位子交換反応を起こし、その結果、指示薬が金属イオンから遊離したことにより変色が生じる。この時、金属イオンによっては、指示薬錯体の配位子交換反応が遅いことがある。反応を促進するために、SOPでは適温での加熱が指示されているかもしれない。錯体からの指示薬の遊離が変色の原理であることを理解していれば、加熱の指示も容易に理解できるであろう。ところが、反応の原理を十分には理解していないオペレーターにとっては、単なる指示にしか過ぎない。SOPに従ったとしても、加熱の程度にムラがあれば、終点もばらつくことになる。湿式分析にかかわる化学反応を十分に理解していなければ、標準的な測定手順を習得しても適切な操作を行えない可能性がある。分析技術の空洞化ともいえるような状況である。

社内教育の退潮と分析技術の空洞化は全く別の事象で

はあるものの、分析技術の空洞化には社内教育の退潮が色濃く反映している。令和の日本全体というスケールで見ると、分析技術にかかわる知的基盤の整備は我が国の分析技術のレベルを維持するために不可欠である。これに対して日本分析化学会といった公的な機関のかかわりが強く求められる。

4 おわりに

元号が新しくなり、分析化学を取り巻く状況が急激に変化しているとしても、分析化学が化学という学問の中でも基礎的な部分を担い続けるということは変わらないであろう。とはいえ、分析化学が変わらず重要な学問であり続けるために、分析化学も変わらなくてはならない部分があるように思われる。

文 献

- 1) サバドバリー著：阪上正信，本浄高治，木羽信敏，藤崎千代子訳：“分析化学の歴史—化学の起源・多様な化学者・諸分析法の展開”，(1988)，(内田老鶴圃)。
- 2) 小熊幸一，上原伸夫，保倉明子，谷谷哲行，林 英男，編著：“これからの環境分析化学入門 改訂第2版”，(2023)，(講談社)。
- 3) 上原伸夫：ぶんせき (*Bunseki*), 2022, 63.



上原 伸夫 (Nobuo Uehara)

宇都宮大学工学部 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)。東北大学大学院材料科学専攻博士前期課程修了。博士 (工学)、危険物取扱者 (甲種)。《現在の研究テーマ》新規分析試薬の開発、鉄鋼湿式分析。《主な著書》“これからの環境分析化学入門 改訂第2版”，(執筆分担)，(講談社)，(2023)。《趣味》ツーリング、湯治。
E-mail : ueharan@cc.utsunomiya-u.ac.jp

理工系大学の分析化学教育

小川 信明

1 分析化学とは

もっとも端的に言うなら、「分析化学とは、分離と計測の化学である」¹⁾。もう少し詳しく言うと、「分析化学は、天然や人工の物質の化学的組成を定性的・定量的に識別するための方法（論）を開発・確立することを目的とする化学の一分野である」²⁾。または、「分析化学は物質の化学的な立場からの特徴描写（キャラクターゼーション）に関する学問であり、定性と定量の両面を含む」³⁾。ウィキペディアでも、「分析化学」の項目が掲載されており、かなり丁寧に記載されている。分析化学は大学の化学教育において基礎科目の一つであり、環境化学への展開や高度な分析技術の開発などが研究のテーマとなっている。」と、教育についても最後に触れられている⁴⁾。

2 分析化学の移り変わり

分析化学は、湿式分析の基礎である、化学平衡論を用いた酸塩基平衡・酸化還元平衡・溶解平衡・液液分配平衡・イオン交換平衡及び化学反応速度論などの基礎理論を学習し（これらは、時代が変わっても、ほとんど変わらないところであるが…）、それぞれの機器分析（原子吸光分析、発光分光分析、蛍光X線分析、中性子放射化分析、電気化学分析、紫外・可視吸光分光法、蛍光分光法、光熱変換分光法、NMR、ESR、赤外・ラマン分光法、ガスクロマトグラフィー（GC）、質量分析（MS）、メスバウアー分光法、X線・中性子・電子線回折、旋光性分析、円二色性分析、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡、透過型電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡、AFM、走査型近接場光学顕微鏡、SECM、X線光電子分光法、キャピラリー電気泳動、ICP-MS、GC-MS、LC-MSなど）の原理・装置構成などを理解することである。ただ、上にあげた機器分析の装置・技術の発展は目覚ましく、どんどん新しい分析法・機器が開発されつつあり、例えば、X線結晶構造解析、中性子線結晶構造解析の急速な進歩により、タンパク質などの4次構造も見えてきている。さらに、AIなどIT技術の進歩に伴い、これまでは人がやっていた実験手順の自動化が急速に進み、それはそれで良いのであるが、化学系の学生さんには、ブラックボックス化した装置の構造や分析原理はしっかりと、教授すべきである。これは、原理上あり得ない値や

誤差を出していても、平気で報告することがないように学習してもらうためである。もう一つ、実分析で重要なのは、サンプリングの方法（場所、時間、採取量など）及びサンプリングした試料の前処理である。これは、実践的なところであり、教育としても、大学・学科・研究室によって、違いが大きい部分ではあるが、用意された試料の分析だけではなく、実試料のサンプリング・試料の前処理・分析・分析結果の報告まで、教育してほしいところである。

3 分析化学教育（理工系）…化学系とそれ以外の学科

分析化学教育つまり講義の部分であるが、前項をもう少し教育内容で見ると、理工系、特に化学系では、1. 分析化学（理念、原理—溶液内反応〈酸塩基、酸化還元、沈殿滴定、錯生成滴定、相関分配（液液平衡、溶媒抽出）、電位差滴定、電気分解、イオン交換平衡）、定性分析、定量分析、重量分析、反応速度論的分析、誤差とデータ処理）の原理の部分と、2. 機器分析化学（原理、装置、改良、分光測光、ボルタンメトリー、クロマトグラフィー、X線（中性子線）結晶構造解析）を教育するのが、今でも一般的である。理工系特に化学系では、分析化学講義+分析化学実験（専門）であるが、もちろん文系では、化学の中で少し分析が出てくる程度で、分析化学という専門の講義はない。

化学教育の観点で見ると、ぶんせきの談話室⁵⁾でも書いたが、文科省の化学系学科の設置審で認められているように、多少の科目名の違いはあっても、「分析化学」は、「物理化学」、「無機化学」、「有機化学」とともに、化学系の学科の3年次までに学ぶ必修科目であることは間違いのないところなので、これらの4科目は、ご専門の先生がおられなくても、化学系の先生方が教えることになる。秋田大学で生命化学科（後に生命科学科）を立ち上げるときには、分析化学の講義は、4科目8単位あった。今でも分析化学は、化学の中で、主流の学問分野であり、必要な学問である。学問・研究分野としての別の指標が、学術雑誌のIF（インパクトファクター）である。IFだけで雑誌や研究のクオリティをはかれるわけではないが、アメリカ化学会の四つの分野、物理化学、無機化学、有機化学、分析化学であり、それぞれの雑誌は *J. Phys. Chem. A, B, C, Inorg. Chem., J. Org. Chem.,*

Anal. Chem. である。この4分野・6雑誌の中で、*Anal. Chem.* のIFが最も高く（各雑誌のIFは文献5を参照）、化学の中で、研究分野としても、大変重要な位置にあることが分かる⁵⁾。もちろん、世界的にも分析化学と名の付く講義は、医学部、薬学部、農学部、理学部、工学部、理工学部、理系の総合学部など、理系の学部（学系）では、必ずあるわけで、その意味で、分析化学的研究も、それらの学部（学系）・学科中心に、行われている。そのことは、*Anal. Chem.* や *Anal. Sci.* に投稿されている研究者の所属機関を見ても明らかである。今では、分析化学ではなく、生命分析化学や環境分析化学という言葉もよく使われ、“分析”の対象物質が、無機元素・分子・有機物質、主体から、生体分子・物質（タンパク質等）や環境中の微量有害物質に代わってきている。それでもなお、分析化学が重要であるのは、対象物質の生体内、細胞内、環境内での構造・挙動を知るには、やはり、まず“分析”からなのであるから…。近年、生化学的な分析では、物質・分子（特にタンパク質）の2次構造はもちろん、3次構造や4次構造も分析することができるようになってきている。分析手法は、古くから使われてきた化学分析や分光分析だけではなく、X線結晶構造解析法（EXAFSを含む）、クライオ電子顕微鏡法、溶液NMR、単粒子解析法、クライオ電子線トモグラフィ（クライオET）、FIB-SEM、電子（線）回折法（MicroED）、X線自由電子レーザー（XFEL）法、時分

割解析法、in-cell NMR、高速AFM、などの新しい方法論の開発・展開も分析化学の研究分野である。であるから、このような分析・解析手法を研究・開発できる人材を育てるのも、分析化学教育の使命である。これらの新しい手法を開発する研究はもちろんであるが、その最新手法の深化・改良・普及のため、これら最新の手法を使って、分子・物質の構造・構造の時間変化を追跡し、反応速度をはかり、反応機序を推定するのも、分析化学的研究であり、研究レベルも十分に高いものと確信している。

3・1 講義時間

講義時間は、化学系では、講義が4～8単位、実験が1～3単位、それ以外の学科では、講義が2～4単位、実験が1～2単位というところである。

3・2 シラバス

ここに載せてあるシラバスは、秋田大学理工学部生命科学科 分析化学Ⅰシラバス（化学系）（表1）及び工学資源学部地球資源学科分析化学シラバス（非化学系）（表2）、のものである。内容的にはほとんど同じであるが、化学の単位が少ない地球資源学科は環境中での実際のサンプリング・前処理、化学系の生命科学科は、生体試料のサンプリング・前処理について、それぞれの現場に即した内容を取り入れている。

表1 分析化学Ⅰシラバス（化学系）

科目コード	[]			[]			
授業科目名	分析化学Ⅰ						
授業科目名英字	Analytical Chemistry I			単位数	2	条件	必修
対象年次	2年次		授業形式	講義	時間数	30	
【担当教員名】		【所属名】	【学内室番号】	【電話番号】			
[] [] [] [] [] [] []							
イ/オ/ア/	曜日・時間	[] [] [] [] [] [] []	場所	[] [] [] [] [] [] []			
授業の目的・概要	生命現象を化学を中心に原子・分子レベルで解析することにより、医薬品や健康食品などの生命科学産業にとって必要な基礎的素養を身につけた人材を育成するために必要な大学の化学の中で、分析化学では、生体物質の様な、混合物から純物質を分離・抽出する過程、その化学組成を正しく認識し、その濃度を正しく評価する過程、化学種の溶存状態を特定する過程を理解するために、その基礎となる平衡論を理解する。本講義では、主に、溶液内化学種濃度を酸塩基平衡・錯生成平衡・溶解平衡から理解することを目標とする。						
到達目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. 実試料のサンプリングの理解ができ、分析データの簡単な統計処理ができる。 2. 溶液及び酸塩基平衡の概念（歴史的を含む）を説明できる。 3. 酸塩基平衡と中和滴定の理論が理解でき、化学種の平衡濃度の計算ができる。 4. 錯生成反応の理解ができ、化学種の平衡濃度の計算ができる。 5. 溶液平衡の理論が理解でき、化学種の平衡濃度の計算ができる。 						
コース(7/07/54)の学習・教育到達目標との関係	生命現象を化学的に理解するための分析化学は、平衡論を使った化学種の濃度を求める方法の理解と、機器分析法の原理・装置の理解の分野からなっており、本講義は、その前半部を学ぶ。						
カリキュラム上の位置付け	分析化学は、化学系（理学、工学、薬学、農学、資源学、環境工学）の基礎科目としての位置づけが重要であり、化学系のどの分野にとっても必要とされることである。2年次の必修科目である。また、生命科学科では、2年後期に、この科目に連続して、「分析化学Ⅱ」を開講する。						
授業の進行予定と進め方				授業時間外の学習内容等			
本講義は、基礎化学Ⅰ、Ⅱなどの物理化学系の科目と、基礎化学実験などを履修したあとに学ぶことを想定している。定性分析、定量分析で重要な、溶液反応の取り扱いを、物理化学の平衡論を基礎に、体系的に学ぶ。この講義で学ぶ項目は次のようである。				レポート課題は、ヒントと答えは示してあるので、解く過程を詳しく書いて下さい。			
1回目	分析化学とは？						
2回目	分析の実験。						
3回目	分析データの評価及び整理（3回目：レポート課題1）。						
4回目	溶液の物理化学的理解。						
5回目	溶液と溶解。						
6回目	化学平衡論。						
7回目	分析化学で使う化学平衡（7回目：レポート課題2）。						
8回目	酸塩基平衡（塩・酸・塩基を溶かした時の溶液とpHと化学種の濃度）。						
9回目	酸塩基平衡（多酸塩基を溶かした時のpHと化学種の濃度）。						
10回目	中和滴定（HClによるNaOHの滴定の各段階での溶液のpHと化学種の濃度）。						
11回目	中和滴定（リン酸の滴定時の各段階でのpHと化学種の濃度）（11回目：レポート課題3）。						
12回目	錯生成平衡（化学種の濃度）。						
13回目	錯生成平衡の応用（13回目：レポート課題4）。						
14回目	溶解平衡（化学種の濃度）。						
15回目	溶解平衡の応用（15回目：レポート課題5）。						
16回目	最終試験。						
その他、毎回、授業のキーワードを書いて、提出していただく。							
授業に関連するキーワード	溶液内反応	標準偏差	酸塩基平衡	錯生成平衡			
成績評価の方法と基準	期末試験(80%)、レポート・受講態度(20%)で総合的に評価する。総合点で、60点未満D、60点以上70点未満C、70点以上80点未満B、80点以上90点未満A、90点以上Sとする。 総合点で、60点以上合格。						
教科書・参考書等	書籍名、著者、出版社等			ISBN			
	教科書：原書7版「クリスチャン分析化学Ⅰ-基礎編」G.D.Christianら著、今任、角田監修			978-4-621-			
	参考書：「分析化学-溶液反応を基礎とする」大橋・小池・鎌田・木原 共著；三共出版			978-4-7827-			
	参考書：「定量分析化学」デー・アンダーウッド 共著；鳥居・康 共訳；培風館			978-4-563-			
メッセージ	しっかり勉強しないと、ついてこれません。全出席が原則で、遅刻もしないようしてください。レポート課題が出たら、必ず、次の週の授業開始までに提出してください。遅れたものは、評価しません。						
備考							

表2 T学科分析化学シラバス(非化学系)

科目コード	0000	曜日	前期木3,4	対象学生	地球資源学科
オフィスアワー	時間・場所				
担当教員名	所属				
授業科目名	和名: 分析化学 英文: Analytical Chemistry				
所属屋内室番号・電話番号					
学期時限	3年次前期	単位・条件	2 選択		
授業の形式と時間数	講義	30時間			
授業の目的・概要及び達成目標	<p>1. 目的・概要 自然環境を守り生命を尊重する"豊かな人間性"を育成するために必要な,分析化学は,混合物から純物質を分離・抽出する過程,その化学組成を正しく認識し,その濃度を正しく評価する過程,化学種の溶存状態を特定する過程を理解するために,その基礎となる平衡論を理解する。また,環境問題の一つである酸性雨における汚染物質の平衡について理解する。</p> <p>2. 達成目標 1. 実試料のサンプリングの理解ができ,分析データの簡単な統計処理ができる。 2. 溶液及び酸塩基平衡の概念(歴史的を含む)を説明できる。 3. 酸塩基平衡と中和滴定の理論が理解でき,平衡濃度の計算ができる。 4. 錯生成反応の理論が理解でき,化学種の平衡濃度の計算ができる。 5. 溶解平衡の理論が理解でき,化学種の平衡濃度の計算ができる。</p> <p>学科(プログラム)の学習・教育目標との関係 地球資源学科A, Bコースの「F-1」に対応する科目である。 カリキュラムの位置付け 分析化学は,化学系(理学,工学,薬学,農学,資源学,環境工学)の基礎学問としての位置付けが重要であり,化学系のどの分野にとっても必要とされることとされており,3年次の必修に近い科目である。また,高校の化学I,II,B,熱力学的平衡論を履修していることを前提とする。</p> <p>授業の進行予定と授業の進め方 本講義は,基礎化学I,IIなどの物理化学系の科目と,基礎化学実験などを履修したあとに学ぶことを想定している。定性分析,定量分析で重要な,溶液反応の取り扱いを,物理化学の平衡論を基礎に,体系的に学ぶ。 この講義で学ぶ項目は次のようである。 1~3. 分析化学とは?及び分析の実際と分析データの評価及び整理(3回目:レポート課題1)。 4,5. 溶液。 6,7. 化学平衡(7回目:レポート課題2)。 8~10. 酸塩基平衡と中和滴定(10回目:レポート課題3)。 11,12. 錯生成平衡とその応用(12回目:レポート課題4)。 13,14,15. 溶解平衡とその応用(15回目:レポート課題5)。 16. 最終試験。 その他,毎回,授業のキーワードを書いて,提出していただく。</p> <p>授業に関連するキーワード 溶液内反応 酸塩基平衡 錯生成平衡 溶解平衡 標準偏差</p> <p>成績評価の方法と基準 試験(80%),レポート・受講態度(20%)で総合的に評価する。総合点で,60点未満D,60点以上70点未満C,70点以上80点未満B,80点以上Aとする。レポートは,課題が出された翌週の授業開始までに提出すること(遅れたら,評価しない)。なお,最終試験は,1回のみで,追試・再試は行いません。総合点で,60点以上合格(C)</p> <p>教科書・参考書等 教科書:「クリスチャン分析化学―基礎編」G.D.Christian著,原口監訳,角田,本水ら共訳,丸善 参考書:「分析化学-溶液反応を基礎とする」大橋・小熊・鎌田・木原 共著;三共出版。など 備考 技術者や研究者を目指す人にとって,重要な基礎科目であるので,予習・復習を欠かさず,内容をしっかりと身につけてください。</p>				

3.3 教科書

世界的に分析化学の教科書(翻訳本を含む)としては,古くは,シャルローの定性分析化学⁶⁾,最近では,ハリス⁷⁾とクリスチャン³⁾のものがかなり使われており,日本人が書いたものでは,大橋弘三郎²⁾,宗林由樹と向井浩⁸⁾,庄野利之と脇田久伸⁹⁾,湯地昭夫と日置昭治¹⁰⁾,姫野貞之と市村彰男¹¹⁾,などであるが,特に機器分析に関しては,実験と演習の教科書を分析化学とは別に出版しているケースも多い^{1)9)12)~15)}。

4 まとめ

結局,理工系の分析化学の教育は,既存の定性分析・定量分析の原理や手法および機器分析の原理・装置などを理解するために,まず物理化学・無機化学・有機化学・生化学・環境化学などの化学の基礎科目を学習し,理解し,そのうえで,分析化学という学問分野の全貌を

把握し,卒業研究・修士課程研究・博士論文研究を完成させるところがいわゆる大学教育である。さらにそれらを踏まえ,新しい分析手法の開発や既存の分析方法の改良などに取り組める技術者・研究者を輩出していくことが,分析化学の教育・研究に課せられた使命であると思う。

文 献

- 1) 井村久則, 樋上照男編:“基礎から学ぶ 機器分析化学”, (2016), (化学同人).
- 2) 大橋弘三郎, 小熊幸一, 鎌田薩男, 木原壮林:“分析化学—溶液反応を基礎とする—”, (1992), (三共出版).
- 3) G. D. Christian, P. K. Dasgupta, K. A. Schug: “Analytical Chemistry, 7th Edition”, (2014, 2004), (John Wiley & Sons, New York). 今任稔彦, 角田欣一 監訳:“クリスチャン 分析化学”, I 基礎編, II 機器分析編, (2016), (丸善出版).
- 4) ウィキペディア:“分析化学” <https://ja.wikipedia.org/wiki/分析化学>, (accessed 2023. 8. 4).
- 5) 小川信明:ぶんせき (*Bunseki*), 2023, 118.
- 6) G. シャルロー 著, 曾根興三, 田中元治 訳:“改訂版 定性分析化学 I, II”, (1976), (三共出版).
- 7) D. C. Harris: “Quantitative Chemical Analysis, Ninth Edition”, (2016), (W. H., Freeman and Company, New York), 宗林由樹 監訳, 岩元俊一 訳:“ハリス 分析化学, 原著 9 版”, (1976), (化学同人).
- 8) 宗林由樹, 向井浩:“基礎 分析化学”, (2007), (サイエンス社).
- 9) 庄野利之, 脇田久伸:“入門機器分析化学”, (1988), (三共出版).
- 10) 湯地昭夫, 日置昭治:“分析化学”, (2015), (講談社).
- 11) 姫野貞之, 市村彰男:“溶液内イオン平衡に基づく 分析化学”, (2001), (化学同人).
- 12) 石橋雅義:“実験分析化学 改訂版”, (1952), (共立出版).
- 13) 日本分析化学会北海道支部編:“増補 新版分析化学実験”, (1978), (化学同人).
- 14) 日本分析化学会北海道支部, 東北支部編:“改訂版 分析化学反応の基礎 演習と実験”, (1994), (培風館).
- 15) 梅澤喜夫, 本水昌二 渡会仁, 寺前紀夫編:“機器分析化学”, (2002), (東京化学同人).



小川 信明 (Nobuaki OGAWA)

秋田大学名誉教授(〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1). 大阪大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学. 理学博士.
 《現在の研究テーマ》酵素内包タンパク質ナノカプセルを用いた新規分析手法の開発. 《主な著書》“はかってなんぼ—分析化学入門”, (丸善), (分担執筆). 《趣味》ワインを飲みながらスポーツ観戦.
 E-mail: ogawa@gipc.akita-u.ac.jp

大学（農学系）における分析化学教育

白井 理

1 はじめに

一般的に実験科学は、対象となるものの特性と物質量を把握し、その空間的および時間的な変化を追うことで発展してきた。とくに化学における実験科学は、物質の構造と特性を明らかにし、物質間の相互作用による変化「反応」に着目して目的物質を合成する学問として発展してきた。物理化学、無機化学および有機化学がこの代表として挙げられる。分析化学はこれらの化学において、実験による構造と特性の評価にかかわる。また、対象となる試料の調製、得られたデータの解析にも関係することから、すべての化学（科学）研究の基盤となる学問である。そのため、分析化学は大学（化学系）では基礎学問として重要視されてきた。近年は、技術の進展と共にさまざまな分析機器が開発されている。それぞれの機器の測定原理と限界を正しく理解し、正確に分析することが望まれているので、ますます分析化学教育の重要性が増している。

2 分析化学の重要性¹⁾

2・1 試料の精製・調製について

試料を分析する際には、対象となる試料について、どのような目的でどのような情報を必要としているかを認識しておかねばならない。その上でどの程度の正確さと精密さが必要かの検討を行い、試料の採取・取り扱いと目的の情報を得るための測定法の選定とそれに適した試料の調製が必要となる。

まず、均質かどうかなど試料の特性を念頭に置き、試料の採取・保管方法が妥当であるかを検討する。つぎに、測定法に応じて適した試料の前処理や調製を行う。溶液試料の場合は希釈や濃縮、ろ過およびpH調整といった作業が必要となる。測定を妨害する成分が共存する場合は、クロマトグラフィー、沈殿、吸着、透析、蒸留などにより分析成分を分離する。あるいは、マスクングにより無害な成分に変換する。固体試料の場合も分離・結晶化や表面研磨等の試料調製を行うことが多い。生物試料や環境試料中の極微量の成分は分離精製・濃縮といった前処理過程がとくに重要である。また、定量においては試料調製において生じる誤差についても検討する必要がある。測定原理を念頭に置き、統計処理が行えるように複数回の測定を行い、誤差を評価することが

求められる。

2・2 測定法の選定と分析結果の評価について

沈殿反応のように化学的な特性によって分析成分を分離できる場合は、分析成分の質量を測定する重量分析法がある。容量分析法では、滴定により既知濃度の試薬の体積を変化させて分析成分との反応を進行させる。その際、物理的あるいは化学的特性の変化により反応の終点を調べる。これらの手法は主成分の測定に適している。

古典的分析法（重量分析法および容量分析法）に比べて、試料の物理的性質の計測に基づく機器分析法は、精密さは劣るが高感度で高選択性であるため、様々な物質の定量に使用されている。機器分析法は、一般的に迅速に複数成分を同時に自動で測定できることが多く、幅広い分野で使用されている。

分析結果については、測定原理に基づき、確定誤差及び不確定誤差を考慮しながら統計的な処理を行うことが必要である。その上で有効数字と誤差の伝播を考慮した議論が求められる。

3 大学（農学系）における分析化学教育

3・1 農学系の研究における分析化学²⁾³⁾

農学部は農業、林業、水産業、畜産業にかかわる医学、薬学、工学、理学、そして経済学を扱う学科で構成されており、幅広い学問領域に^{またが}った研究を行っている。なかでも実験科学的な研究に携わる分野では前章に記載したように分析化学の知見を必須としている。研究対象となる試料としては、環境試料（海水、湖沼・河川水、土壌等）、生体試料（微生物、植物、動物）、および生物由来の化合物が中心となる。近年では、ホルモンや化学伝達物質などの生理活性物質の代謝・動態および遺伝子解析についての研究が増えており、質量分析装置やシーケンサーを用いた実験が多く行われている。それに伴い、試料の取り扱いや解析法についても目覚ましく変化している。また、各種生体について、細胞・組織を観察し、タンパク質等の挙動や機能解析も行われている。さらに、タンパク質の高次構造の解析と全体および局所構造の変化と細胞機能の相関を解明しようと試みられている。新しい方法論や技術開発に応じてその妥当性を担保する分析化学も進化し続けなければならない。

3・2 農学部における分析化学教育

3・2・1 学部教育

京都大学農学部は資源生物科学科、応用生命科学科、地域環境工学科、食料・環境経済学科、森林科学科、食品生物科学科の6学科より構成されている。他大学の農学部では学科数や学科の名称は異なっているが、基本的には同じような研究分野を有している。

1・2年生では学部・学科の配当科目は概論的なものがほとんどで、全学共通科目の中から推薦する基礎科学の複数科目を修得するように求められている。筆者が属する応用生命科学科をはじめ、実験科学を主体とする学科の推薦科目で分析化学に関係するのは「基礎化学実験」である。統計処理に関係する科目としては、「情報基礎（農学部）」と「情報基礎演習（農学部）」がある。これらが必須でないのは残念である。なお、2年生から徐々に学部・学科配当の専門科目が開講される。

3年生になると、応用生命科学科では、午前中は専門科目を履修し、午後は月曜日から金曜日まで学生実験を行うことになる。筆者は「分析化学」の講義を3年生の前期に担当しており、応用生命科学科の3年生はほぼ全員受講し、資源生物科学科3年生の希望者も受講する。学生実験では、一番初めの科目が「分析化学実験」となっており、筆者の研究室が担当している。器具の操作法を含め、実験操作一般とデータ解析についても教育している。学生実験は、「分析化学実験」が終わると「生物物理化学実験」に移る（写真は学生実験の様子）。筆者の研究室は「生物物理化学実験」の前半を担当しており、5月半ばくらいまで平日の午後は対応している。「分析化学実験」と「生物物理化学実験」は、20年ほど内容を変更していないので、装置や器具はレトロなものが多い。とくに、「生物物理化学実験」の電導度測定では年代物のブリッジ回路と可変抵抗を用いている。測定原理が分かり易いという点はあるが、60年以上前に製造された装置に多くの学生が感動する。年代物のUV-Vis分光器が次々と故障し、その都度更新してきた。その結果、データがUSBで取り出せるようになり、すべての



写真 分析化学実験の様子

スペクトル測定の結果を個人のPCで漸く実施できるようになった。10年ほど前から実験ノート代わりにノートパソコンを使用する学生が増えてきたが、最近ではスマートフォンを用いて動画や写真を撮影したり、タイマー機能やGoogle検索などを利用している学生が多い。「分析化学実験」および「生物物理化学実験」が行われている期間、講義の方の「分析化学」では、有効数字・誤差の伝播、酸塩基反応、酸化還元反応、分光法の基礎について講義しており、学生実験とリンクするようにしている。2年生の受講者や他学部・他学科の学生と比較すると、学生実験と内容が重複・リンクしている3年生の方がより理解度が高いように感じられる。なお、機器分析法については「分析化学」でも原理の説明は行っているが、主に「有機構造解析学」等の講義で教えられている。他学科では食品生物科学科で「食品分析化学」が2年生後期に開講されている。

4年生になると、各研究室（分野）に配属され、卒業研究を行うのが基本となる。卒業研究を通じて、各研究分野で必要とされる分析化学の知識・技術を身につける。

3・2・2 大学院教育

大学院では、集中講義形式で修士課程1年生の4月末に「応用生命科学I」を担当し、統計処理と熱力学の基礎について講義をしている。卒業研究を終えてから改めて統計処理の大切さを伝えると実感が湧くようであり、以降の研究に活かせるように期待している。修士課程1年生では各教員が学部で担当した講義内容のエッセンスとさらに掘り下げた内容を教えている。修士課程2年生では、集中講義形式で各研究室（分野）が担当して専門科目の内容を基礎から応用まで解説している。

3・2・3 研究室での教育

生命科学の研究では、研究対象が千差万別であるため、取扱う試料、測定対象となる物質、測定法および条件が大きく異なる。そのため、研究の基礎となる分析化学（科学）の教育は各研究室で行われていると認識している。学会発表や論文執筆についても各研究室（分野）で指導が行われており、研究室での教育は非常に重要であると考えている。筆者らの研究室においては、この10年くらい間に、タンパク質の構造解析にクライオ電顕と単粒子像解析を、タンパク質の構造推定にAlphaFoldを、神経伝導・細胞間コミュニケーションのシミュレーションに電子回路シミュレーターLTspiceを、分子モデルや電極の作製に3Dプリンタを導入し、少しずつ変化している。AIの進化もすさまじく、英文翻訳などでも威力が感じられる。一方、AIに頼りすぎると人間が退化するのではないかと危惧している。

4 むすび

分析化学（科学）の基本理念は変わらないが、実験内容や対象は刻々と変化を続けている。したがって、農学部で求められる分析化学教育も絶えず変化していくものと捉えている。しかし、試料の調製・保存法は適切か、測定法およびデータの取扱いは適切であるかは常に意識しなければならない。これは定量的に議論する科学の宿命であり、さらなる分析化学（科学）の発展を望んでいる。

文 献

- 1) 今任稔彦, 角田欣一監訳: “クリスチャン分析化学I. 基礎編”, p. 1 (2016), (丸善出版); G. D. Christian, P. K. Dasgupta,

K. A. Schug: “Analytical Chemistry, 7th Ed.”, (2014), (John Wiley & Sons, Inc.), (Washington).

- 2) 伊永隆史監訳, 芝本幸平訳: “バイオ分析化学実験法”, p. 1 (2006), (丸善出版); K. K. Stewart, R. E. Ebel: “Chemical Measurements in Biological Systems”, (2000), (John Wiley & Sons, Inc.), (Lexington).

- 3) 西村善文編集: “生命科学のための機器分析実験ハンドブック”, p. 1 (2007), (羊土社).



白井 理 (Osamu SHIRAI)

京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町). 京都大学大学院理学研究科博士課程. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》膜輸送, 細胞内及び細胞間情報伝達, 薬物輸送, イオンセンサ. 《趣味》読書.

E-mail: shirai.osamu.3x@kyoto-u.ac.jp

日本分析化学会の機関月刊誌『ぶんせき』の再録集 vol. 2 が出版されました！ 初学者必見！ 正しく分析するための241 ページです。

本書は書籍化の第二弾として、「入門講座」から分析試料の取り扱いや前処理に関する記事、合計 36 本を再録しました。『ぶんせき』では、分析化学の初学者から専門家まで幅広い会員に向けて、多くの有用な情報を提供し続けています。これまで掲載された記事には、分析化学諸分野の入門的な概説や分析操作の基礎といった、いつの時代でも必要となる手ほどきや現役の研究者・技術者の実体験など、分析のノウハウが詰まっています。

本書は下記の二章だてとなっています。

〈1 章 分析における試料前処理の基礎知識〉

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. 土壌中重金属分析のための前処理法 | 11. 大気中揮発性有機化合物分析のための前処理 |
| 2. 岩石試料の分析のための前処理法 | 12. 放射性核種分析のための前処理法 |
| 3. プラスチック試料の分析のための前処理法 | 13. 脂質分析のための前処理法 |
| 4. 金属試料分析のための前処理 | 14. 糖鎖分析のための試料前処理 |
| 5. 分析試料としての水産生物の特徴と取り扱い | 15. イムノアッセイのための前処理法 |
| 6. 食品分析のための前処理法 | 16. 加速器質量分析における超高感度核種分析のための試料前処理法 |
| 7. Dried blood spot 法による血液試料の前処理 | 17. 生元素安定同位体比分析のための試料前処理法 |
| 8. 生体試料のための前処理法 (液-液抽出) | 18. セラミックス試料分析のための前処理法 |
| 9. 生体試料のための前処理法 (固相抽出) | |
| 10. 環境水試料の分析のための前処理法 | |

〈2 章 分析試料の正しい取り扱いかた〉

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1. 生体 (血液) | 10. 岩石 |
| 2. 生体 (毛髪) | 11. 食品 (農産物の残留農薬) |
| 3. 金属 (非鉄金属) | 12. ガラス |
| 4. 金属 (鉄鋼) | 13. 環境 (陸水) |
| 5. 食品 (酒類) | 14. 温泉付随ガス |
| 6. 医薬品 (原薬・中間体・原料) | 15. 透過電子顕微鏡観察の試料調整 |
| 7. 海水 (微量金属) | 16. 環境 (ダイオキシン類) |
| 8. 考古資料 | 17. 高分子材料 |
| 9. 海底下の試料 (地球深部の堆積物および岩石) | 18. 沈降粒子 |

なお、『ぶんせき』掲載時から数年が経過しているため、記事の中には執筆者の所属も含め、部分的に現在の状況とは異なる内容を含むものがあるかもしれません。本書では、各記事の『ぶんせき』掲載年を明記することで、再録にともなう本文改稿を割愛しました。これらの点については、執筆者および読者の方々にご了承いただきたく、お願い申し上げます。

本シリーズが化学分析の虎の巻として多くの方に活用されることを願ってやみません。

九州支部による HPLC 講習会

浜瀬 健司

1 九州支部が主催する分析化学講習会

日本分析化学会九州支部は、1957年（昭和32年）4月1日に分析化学会総会で設立が承認され、6月1日に九州大学工学部講堂で発足式が行われた。分析化学講習会については、九州支部発足の2年目である1958年5月に第1回講習会が九州大学で開催されている。第1回の講習会内容は、キレート滴定法、ガスクロマトグラフィー、赤外吸収分光法であった。その後、この分析化学講習会はほぼ毎年開催され、九州大学、福岡大学、第一薬科大学、大分大学などを会場とし、担当する先生方の得意分野などを中心に講義や実習が行われていた。第33回（1992年）の講習会からは、実習内容が高速液体クロマトグラフィー（HPLC）、ガスクロマトグラフィー（GC）、原子スペクトル分析法に固定され、これが第55回（2014年）まで20年以上継続された。この間、会場としては九州大学、福岡大学、第一薬科大学、九州産業大学などが利用されてきた。一方で九州大学伊都キャンパスの整備に伴い、第51回（2010年）からは福岡市産学連携交流センター、福岡市、九州大学学術研究都市推進機構との連携を行って伊都キャンパスで開催される形態となり、この伊都地区での集中開催は第58回（2017年）まで継続された。この間 HPLC に関しては、この講習会での終了試験に合格すると日本分析化学会認証資格である「LC 分析士初段」の筆記試験が免除される認定を、第54回（2013年）から取得している。第56回（2015年）からは X 線分析、電子顕微鏡が加わった。講習会の運営に関しても、第58回（2017年）から支部長が次年度の講習会実行委員長を担当する制度が立ち上がり、九州支部の力を結集して分析化学講習会を実施する体制が整った。第59回（2018年）からは大幅に実施場所、実習内容を刷新し、GC、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）、電子顕微鏡（SEM/TEM）、核磁気共鳴分析法（NMR）が伊都地区で、HPLC が九州大学の馬出キャンパス（薬学部）で、X 線分析が福岡大学理学部という複数会場での開催が行われている。しかし2020年にコロナ禍が発生し、第61回講習会が中止・無期限延期となった。

2 HPLC 関連の内容

HPLC の実習内容としては、基礎コースとして逆相

HPLC の分離最適化を行うとともに、UV、電気化学、円二色性、蛍光の各検出器による化合物定量が実施されていた。また、ゲル浸透・配位子交換クロマトグラフィー（示差屈折検出）、陰イオン交換クロマトグラフィー（電気伝導度検出）も実習項目として多数の受講生を迎えて実施されていた。これらの基礎コースに加えて応用コースとして毎年工夫されたテーマが設定されており、こちらは少数精鋭での実習が行われていた。第55回（2014年）からは時代の変遷とともに講習内容をフレキシブルに改変する体制を取り、逆相 HPLC の基礎に加えて各機器メーカー（日本分光、日立ハイテクサイエンス、サーモフィッシャーサイエンティフィック、東ソー、島津製作所、資生堂/大阪ソーダ、日本ウォーターズ、メルク、オルガノ）の一押しテーマを紹介する実習を2日間かけて行い、これは現在まで継続している。

3 コロナ禍における HPLC 講習

2019年8月に第60回分析化学講習会が無事に終了した後、2020年8月の第61回講習会に向けての準備が開始された。冬になり、世の中では中国の武漢でこれまでに無かった風邪のような病気が流行っているというニュースが流れだした。その頃は「そのうち収まるだろう」という感じで気に留めていなかったが、春になり、新学期が始まり、大きな社会現象となって対面での学会や講習会が次々と中止される事態が発生した。分析化学講習会は、「講習会」なので対面での実験が必須である。したがってオンラインでの開催は困難であり、第61回講習会は中止・無期限延期とされた。このころ大学の講義は完全オンライン、実習についても厳しい人数制限を行って実施するなどの状況下であり、2020年の講習会は HPLC についても完全に活動を休止した。2021年に入ってもコロナの影響は収まらず、分析化学講習会は2021年も実施せず延期された。このような状況下であったが、HPLC 部門については技術の継承や講習会実施ノウハウの継承を行うため、参加費無料での完全社会貢献活動として「HPLC 講習会 2021」の開催を決定した。参加費を無料とすることで参加人数を制限し、また実習内容と時間を従来の半分の1日コースとして実施した（図1）。この時の実習内容としては、逆相 HPLC の基礎実習と実試料分析（医薬品・化粧品分析）、



図1 コロナ禍での実習の様子(2021年8月)

HPLC 機器の内部構造とメンテナンス, HPLC 用超純水製造装置の概要説明と取扱いである. 逆相 HPLC の基礎実習としてはモデル化合物としてパラベンを用い, 溶離条件を検討することで逆相の分離モードを理解する. またパラベンが防腐剤として利用されていることから, 医薬品や化粧品などの実試料に含まれるパラベンの分析を実施した. また普段は見ることの少ない HPLC 機器の内部構造を学び, 装置の不調の原因となり得る場所や, そのメンテナンスを実習した. 併せて, HPLC での高感度検出や再帰的分析に必須な HPLC 用超純水製造装置についても学修した. 2022 年に入ってもコロ

ナは収束せず, 分析化学講習会は中止・再度の延期が決定された. HPLC 部門については 2021 年に引き続き参加費無料での「HPLC 講習会 2022」の開催を決定し, いつか再開されるであろう分析化学講習会に向けて技術とノウハウの伝承を続けた. 実習内容は HPLC 講習会 2021 と同様であり, 1 日のコースとして実施した.

4 分析化学講習会の再開と今後の展望

2023 年に入り, 新型コロナウイルス感染症に対する社会の規制が次第に緩和され, 対面での学会や講習会が実施できる環境が少しずつ戻って来た. これをうけ, 九州支部に

においても分析化学講習会の再開が議論された。2023年2月に鹿児島で開催された九州支部第二回常任幹事会において富安支部長（次年度講習会実行委員長）、井上次期支部長、常任幹事で議論し、社会情勢を見ながら基本的に2023年夏から分析化学講習会の対面再開を検討することが決定された。これを受けて無期限に延期されていた第61回分析化学講習会の実行委員会が再度組織され、2023年3月に第一回実行委員会が九州大学薬学部で対面開催された。この時期には新型コロナウイルス感染症の規制が近い将来5類に移行するという情報もあり、この実行委員会で第61回分析化学講習会の全面対面再開が決定された。実際にコロナ感染症は2023年5月から5類に変更され、多くの学会や講習会が対面で再開した。第61回分析化学講習会は申込受付開始からかなりの人数の受講申込があり、申込締切前に多くの単元で最大許容人数となった。特筆すべきこととしては社会人の受講者が9割を超えていることであり、本講習会の再開が多くの方々から期待されていたこと、社会的に必要とされていたことを実感している。講習会会場は、コロナ禍前と同様に九州大学伊都キャンパス、福岡市産学連携交流センター、福岡大学理学部、九州大学薬学部の4会場であり、内容はGC、HPLC、ICP-MS、SEM/TEM、NMR、X線分析である。HPLCに関しては九州大学薬学部を会場として実施し、実習内容は逆相HPLCの基礎実習と実試料分析（医薬品・化粧品）、HPLC機器の内部構造とメンテナンス、HPLC用超純

水製造装置の概要説明と取扱いに加えて、超高速全自動プレカラム誘導体化アミノ酸分析、AI支援による自動HPLCメソッド開発システムの紹介、逆相モード、HILICモードを用いた低分子化合物の分離、極性化合物分析へのアプローチ、イオンクロマトグラフィーによる水、大気などの環境分析ならびに各種品質評価、卓上小型MS検出器ACQUITY QDaを用いる新感覚LC-MS分析、円二色性検出器を用いたキラル分離である。3年以上続いたコロナ禍で、協力してくださるLCメーカーが減るかと思われたが、一社も欠けることなく再開できたことは本当に嬉しく皆様のお力添えに感謝の念が尽きない。コロナ禍を乗り越え、本分析化学講習会の完全再開が出来たことに九州支部一同心から感謝するとともに、分析化学講習会の実施を通して社会貢献が出来るよう、今後もより良い講習会を企画・実施していきたいと思う。



浜瀬 健司 (Kenji HAMASE)

九州大学大学院薬学研究院（〒812-8582 福岡市東区馬出3-1-1）。東京大学大学院薬学系研究科博士課程修了。博士（薬学）。《現在の研究テーマ》アミノ酸及び関連化合物のキラル識別分析を切り口する創薬・診断。《主な著書》Liquid Chromatography “Amino acid and bioamine separations”, (Elsevier)。《趣味》液クロいじり。

E-mail : hamase@phar.kyushu-u.ac.jp

高専における分析化学教育の実際と特徴

澤井 光, 原 嘉 昭

1 はじめに

高等専門学校（高専）は、中学校卒業者を対象とする5年制の高等教育機関であり、主に技術者の育成を目的としている¹⁾。世間一般には目立たない校種ではあるが、令和5年現在で全国に58校（国立51校、公立3校、私立4校）の高専が存在し、5万人超の「学生」が各々の専門分野についての勉学に励んでいる。高専教育の大きな特徴は、一般科目と専門科目を「くさび形」に配置することで高校生に相当する低学年次から5年間一貫して専門性の高い教育を行う点にある。この15歳からの早期専門教育が功を奏し、現在多くの高専卒業生達が技術創造の現場で活躍している。

卒業後の学生は就職する者（6割）と進学する者（4割）に分かれる²⁾。進学者は、国立大学等の3年次へ編入入学する者が多いが、そのほか2年制の高専専攻科に進学する者もいる。専攻科では、専門分野についての学習と研究を更に深め、大学改革支援・学位授与機構の審査を経て学士の学位を取得することも可能である。

高専には機械工学をはじめとする種々の工学系専門学科が設置されており、化学系の専攻を持つ高専も全国に34校存在している³⁾。化学系の学科を卒業した高専生は、各業種の品質管理部門や分析機関において化学分析業務に従事することが少なくないため、高専においても分析化学は重要な科目である。本稿では、高専の化学系学科で行われている分析化学教育の実際と特徴的な点を

高専教員の日線から紹介する。

2 高専における分析化学教育

2・1 高専の分析化学系カリキュラム

工業高専のうち化学系の学科を有する高専では、専門科目としての位置付けで分析化学や分析化学実験が開講されている。全国各高専は、一定の教育カリキュラム（モデルコアカリキュラム）を提供するよう制度付けられているため教育内容の均一性が高く、化学系の学科が設置された高専であれば全国でほぼ同じレベルの分析化学教育が行われている。一例として表1に茨城高専における分析化学系科目をまとめたが、特徴的な点として低学年次から多くの時間数の実験科目が配置されていることが挙げられる。高専という教育機関が技術者の養成を掲げ、実技の習得に重心を持つことを反映している。

2・2 分析化学系実験科目の実際と特徴

ここでは茨城高専の2年次（高校2年生に相当）に開講される分析化学実験について紹介する。この科目では、化学分析の技術と方法の修得を目的としており、特に化学分析における「手の動かしかた」と「実験センス」の修得を重視している。一般に学生実験では複数人のグループを構成させることが定石⁴⁾である。しかし、この実験科目では基本的に班を構成せず個人で実験に取り組ませ、各学生が実験操作を確実に実施・習得できるようにしている（図1）。初学者である40人前後の学

表1 茨城高専における分析化学系科目

科目	形態	単位数	開講時間 ^{*1} (コマ/年)	開講年次	(参考) 相当する 高校もしくは大学年次
分析化学Ⅰ	講義	2	60	2	高校2年次
物質工学実験Ⅰ (分析化学実験)	実験	3	90	2	高校2年次
機器分析	講義	2	60	3	高校3年次
物質工学実験Ⅰ (機器分析実験)	実験	4 ^{*3}	120(60) ^{*3}	4	大学1年次
分析化学Ⅱ	講義	1	15	5	大学2年次
物質工学実験Ⅲ (環境工学実験 ^{*2})	実験	2 ^{*3}	60(30) ^{*3}	5	大学2年次
分析化学特論	講義	2	30	専攻科1	大学3年次

*1 茨城高専の場合、1コマ=50分；*2 環境指標（COD等）の化学分析を実施；*3 オムニバス形式での開講のため、内数として実質的な開講時間を表示



図1 滴定を行っている様子

生それぞれに個人実験を行わせることの指導上の労力は大きいですが、各個人に確実に実験操作を身に付けさせることのメリットはさらに大きい。

茨城高専の分析化学実験は通年科目であり、主に容量分析、系統的定性分析、重量分析の三つのテーマで構成されている⁵⁾。このうち容量分析では、標準溶液の調製、標定から始まり、中和滴定、酸化還元滴定、キレート滴定を中心に実技を学ぶ。確実なビュレット操作を体得できるよう多くの滴定をこなすプログラムになっているが、指導上の工夫はそれぞれ多様な試料を準備している点にあると考えている。例えば中和滴定であれば warder 法のように教育効果の高いテーマはもちろん、食酢や果汁中の有機酸の定量といった身近で学生の好奇心を刺激する題材を用意することで飽きることなくビュレット操作を習得できるように配慮している。また金属イオンの系統的定性分析を実験テーマとして実施する教育機関は少なくなりつつある⁴⁾⁶⁾ようだが、茨城高専では六属法に則って第六属を除く第一～五属の分属から各金属イオン個別の確認反応までを実施し、最後には未知試料の定性分析を実施させている。今日、系統的定性分析の実務上の意義は薄れつつある。このような古典的な化学分析をテーマとして採用することの目的は、学生の化学的センスの涵養にある。例えば鉄(III)イオンの確認反応を座学で学ぶとして「チオシアン酸鉄イオンの血赤色」を書面で眺めるのは存外に味気ない。実際に溶液が血液のように試験官の壁面をどろりと伝い流れゆく様を観察すれば、この表現の妥当さを一瞬で理解できるだろう。実際に自らの手で反応させ、その結果を体験し、教科書には現れないような情報に触れる経験こそが重要であり、この点で系統的定性分析は化学を学ぶ者に必要なセンスの醸成に欠かせないテーマの一つであると考えている。

以上の様に茨城高専では、学生の実技スキルと感性の醸成を大きな目標として一年間をかけて様々なテーマの化学分析実験を実施している。また、同じく2年次に開講される分析化学Iの講義内容と実験テーマが時期的

に重複するように内容と進度を調整している⁵⁾。実験では実技を中心にスキルを磨いてもらうが、ここに講義による理論的な側面からのフォローを加えることで、両者の学習効果を相乗的に高めることを狙っている。

3 高専生の活動事例～分析化学討論会における高校生ポスター発表

第82回分析化学討論会(令和4年5月14～15日、茨城大学水戸キャンパス)では、「高校生ポスター講演」が行われ、茨城高専からも2～3年生の学生(高校2～3年生に相当)からなる天文部(実質的には科学部)のグループによって「宝石の色は何によって決まる?」と題したポスター発表が行われた。本講演では、ルビーの発色メカニズム(Al_2O_3 へ取り込まれた Cr^{3+} が原因)に着想を得て、 Al_2O_3 以外の透明な物質(Ga_2O_3 や In_2O_3)へCrを添加したら何色になるのか、さらにこれらの混晶を作製し混合比を変えることで発色をコントロールできるのではないかと、など宝石の発色についての研究成果が報告された。高専生は、数多の学生実験の経験からまず手を動かすことに躊躇がない。今回の研究も「まずは自分たちで作ってみて確かめよう」という彼女らの実践的な姿勢が発露した好例である。この研究の過程では単結晶成長装置(図2)、X線回折装置、走査電子顕微鏡などの、まず普通高校には配備されていない装置が使用されているが、学生達は当たり前のようにこれらを使い熟す。このように初学者には敷居の高い装置や分析技術を高校生の年齢から気軽に使い、各々の課外活動に役立てることができるのも高専ならではの光景である。

そして彼らの学習や課外活動を支える教員もほとんどが博士号を持つ研究者であり、学生達は「学者」に慣れている。実際に件の高校生ポスター講演に参加した学生達は、研究者とのディスカッションにも物怖じせず実に堂々と研究成果を説明しており、結果として優秀ポスター賞の榮譽に接するほどの優れた成果を残している(図3)。

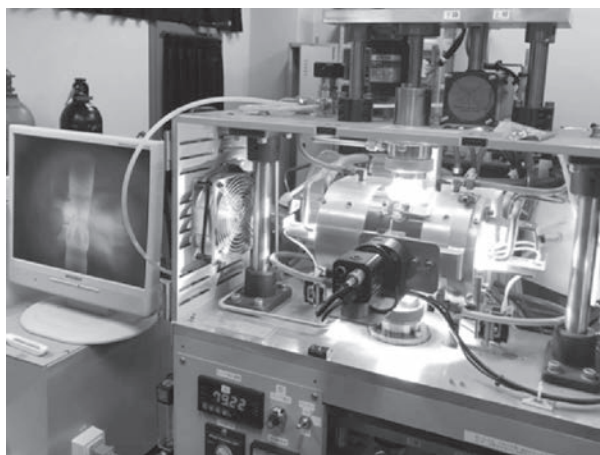


図2 茨城高専に配備されている単結晶成長装置



図3 第82回分析化学討論会高校生ポスター講演の優秀ポスター受賞

4 おわりに

高専における分析化学教育の実際と特徴について紹介した。「高専生は実践経験が豊富である」というのは高専卒業生を採用した企業からよく聞かれる評価⁷⁾であるが、高専特有の5年または7年一貫の専門教育がそれなりに評価されたものであると解釈している。技能修得には長く地道な修練が必要で、その意味では高専は地に足のついた教育を提供できていると感じる。近年でも国内外で新たな高専が誕生しており、社会から向けられる期待は引き続いて大きい。ひきつづき分析化学の分野から高専教育が果たすべき役割を担っていきたい。

文 献

- 1) 矢野眞和, 濱中義隆, 浅野敬一: “高専教育の発見”, (2018), (岩波書店).

- 2) 文部科学省高等教育局専門教育課: “高等専門学校の充実について”, (2016).
- 3) 文部科学省高等教育局専門教育課: “高等専門学校の学科一覧 (令和5年4月現在)”, (https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kousen/tokushoku/001.htm), (Accessed 2023.6.2).
- 4) 村上雅彦: 化学と教育, 68, 122 (2020).
- 5) 国立高等専門学校機構: “全国国立高専 Web シラバスシステム, 茨城工業高等専門学校”, (https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicDepartments?school_id=11), (Accessed 2023.6.10).
- 6) 小熊幸一: ぶんせき (*Bunseki*), 2001, 523.
- 7) 石井久美子: 日本地理学会発表要旨集, p. 204 (2022).



澤井 光 (Hikaru SAWAI)

独立行政法人国立高等専門学校機構茨城工業高等専門学校国際創造工学科 (〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根 866). 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程物質科学専攻修了. 博士 (工学). 《現在の研究テーマ》キレート配位子を活用した環境改善技術の開発. 《趣味》旅行, コーヒー, 道.

E-mail: hsawai@ibaraki-ct.ac.jp



原 嘉昭 (Yoshiaki HARA)

独立行政法人国立高等専門学校機構茨城工業高等専門学校国際創造工学科 (〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根 866). 広島大学大学院理学研究科博士課程後期修了. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》機能性材料の結晶成長, 物性評価. 《主な著書》“物理 (上) 力学・波動 (高専テキストシリーズ)”, (共著), (森北出版). 《趣味》天体観測, テニス (どちらも万年初心者).

E-mail: yohara@ibaraki-ct.ac.jp

高専での“電子回路×分析化学”をテーマとした実験実習

野田 達夫

1 はじめに

大阪公立大学工業高等専門学校（以下、本校）は、2022年度の大阪公立大学の発足と時期を同じくして、新しい未来社会を創生できる次世代DX技術者の育成を目指したカリキュラム改革を実施した。従来のカリキュラムとの大きな違いの一つとしては、総合工学システム学科の1学科5コース制（機械システム、メカトロニクス、電子情報、環境物質化学、都市環境）から、機械・電気・情報系を中心とした1学科4コース制（エネルギー機械、プロダクトデザイン、エレクトロニクス、知能情報）への再編が挙げられる。著者自身は、2013年に本校へ着任して以降、環境物質化学コースへと所属し、分析化学や無機化学、電気化学の講義や、中和滴定などの分析化学実験、サイクリックボルタンメトリーを使った電気化学測定実験を主に担当してきた。カリキュラム改革に伴って、著者は環境物質化学コースからエレクトロニクスコースへと所属が変更となり、2022年度から1年生対象の電子回路実習を新たに担当することとなった。

これまでに、本校では総合工学システム学科のもと、機械・電気・化学などの学問分野を超えた、分野融合的な実験実習を展開しており、著者自身も専攻科学生とともに、微生物燃料電池を題材としたゲームキット¹⁾や、水溶液の電気伝導度で演奏する楽器²⁾といった教材の開発を行ってきた。新しいカリキュラムで担当することとなった電子回路実習は、上記のような分野融合的な取り組みを実践できる場であると考え、“電子回路×分析化学”をテーマに取り組むこととした。本稿では、今まさに試行錯誤しながら実践している新たな実験実習の内容について紹介したい。

2 授業の位置づけ

本校では、第一学年の通年科目として「総合工学システム実験実習」を開講している。毎週水曜日午前の1時限目～4時限目（1時限あたりの授業時間は45分）に設定されており、ガイダンスや導入教育、さらに予備日などを含めて通年で30週としている。四つのコース（エネルギー機械、プロダクトデザイン、エレクトロニクス、知能情報）からそれぞれ二つのテーマ、合計八つの実験実習テーマが設けられており、第一学年160名

の学生は20名ずつのグループに分かれ、それらを順番に体験する。著者が所属するエレクトロニクスコースからは「micro:bit電子回路実習」と「ブレッドボード電子回路実習」の二つのテーマを各3週ずつ実施しており、前者はプログラミングにより電子回路を制御する内容、後者はブレッドボード上に電子回路を実際に組み立てる内容となっている。なお、ブレッドボードとは、電子部品を差し込むための多数の穴を備えた回路試作用の基板であり、はんだ付けを必要とせず、繰り返し使用することができるため、技術教育に広く利用されているものである。

総合工学システム学科の1学科4コース制をとる本校では、専門コースに配属されるのは第二学年からとなる。入学時より希望コースを決めている学生がいる一方で、ほとんどの学生は第一学年での授業、実験実習、コース紹介などを通じて選択することとなるため、この「総合工学システム実験実習」の内容は、コースの特徴をしっかりと体験できる実習とする必要がある。エレクトロニクスコースでは、電気電子回路や制御に関するだけでなく、電気電子材料や電気化学といった“化学”に関することもカリキュラムに含まれている。こうした科目の特性も踏まえた上で、著者が担当する「ブレッドボード電子回路実習」では、電子回路の組み立てを体験するだけでなく、作製した回路を分析化学実験へと結びつける内容とした。

3 実験実習の内容

「ブレッドボード電子回路実習」のテーマにおいては、週ごとに電子部品やブレッドボード、デジタルマルチメータの使い方を学びながら回路を組み立てていき、作製した電子回路を使った分析化学実験を体験する構成となっている。各週の内容について、次の3・1～3・3項に紹介する。なお、各週に作製する回路の詳細（回路図）については、各項目で示す参考文献を参照して頂きたい。

3・1 ボタン電池で作る酸素センサ（1週目）

電子回路実習に必要な不可欠なデジタルマルチメータを使い、電圧、電流、抵抗の測定について体験する。また、ブレッドボードの仕組みについて、抵抗のみを使用した簡単な回路の作製を通じて学習する。さらに、それ



図1 浮かぶシャボン玉

らを用いた実践的な事例として、ボタン電池を使った酸素センサの組み立てを行う³⁾。ボタン電池の電圧が安定するまで若干の時間を要するため、その間に備長炭電池の演示実験（学生の前で備長炭電池を組み立ててプロペラを動かす）を行い、電池の基本的な仕組みについて説明している。作製した酸素センサを用い、大気中と二酸化炭素雰囲気下で電圧がどのように変化するか観察する。二酸化炭素の発生には、クエン酸と重曹の反応を用いる。図1に示すように、水槽の中でクエン酸と重曹を溶かし、シャボン玉が浮かぶ様子を見せることで、二酸化炭素が発生することを視覚的にも捉えられるよう工夫している。

3・2 光を使って溶液の濃度を調べる（2週目）

赤色LEDとフォトトランジスタのはたらきについて学び、それらを用いた回路をブレッドボード上に組み立てる⁴⁾。赤色の光を発する様子、また受け取った光をデジタルマルチメータの電圧値として表示する様子を観察する。作製した回路と緑色の下敷きを用い、色が見える仕組みや色相環、補色について学習する。さらに、図2に示すように、3Dプリンタで作製したセルホルダをブ

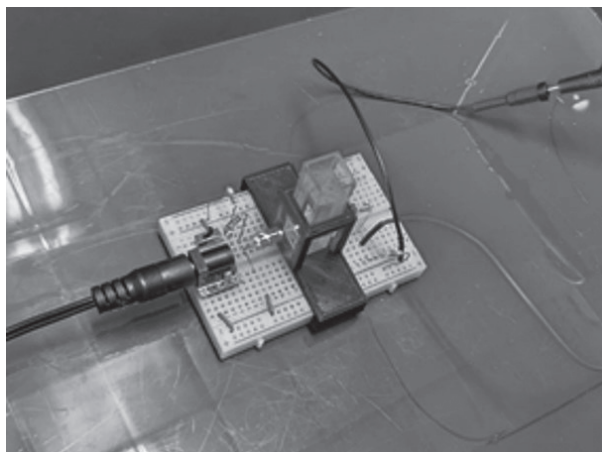


図2 透過光の強さの測定

レッドボード上に装着し、アクリルセル内に満たした青色食用色素溶液について、透過光の強さを測定する。このとき、色素溶液の希釈や共洗いなど化学実験に関する操作も体験する。ランベルト・ベールの法則について学習するとともに、関数電卓を用いた対数計算、吸光度の算出、グラフ用紙への検量線の作成を行い、最後に濃度が未知の青色色素溶液の定量を行う。

3・3 水溶液で演奏する楽器を作ろう！（3週目）

トランジスタやコンデンサの性質について学び、それらを用いた発振回路の組み立てを行う。トランジスタの働きについては、指でLEDを光らせる回路（回路内の露出した芯線部分に指先を押し付けると、指先に小さな電流が流れる。これにより、トランジスタが作用してLEDが光る）の作製を通じて学習する⁵⁾。コンデンサについては、充電・放電が可能であることを教員がアニメーションなどを用いて説明するとともに、デジタルマルチメータを用いて静電容量の測定を体験する。本実験では静電容量の値が数十nFのものを扱うため、ナノやピコといったSI接頭語をあわせて学習する（コンデンサ本体の容量表記はpF単位であるため、ピコについても説明が必要）。続いて発振回路の組み立てへ移るが、発振回路の理論的な内容については、1年生を対象とした本実習時間内での取り扱いが難しいため、詳細な説明は省略し、このような回路を組み立てれば音が鳴る回路を作製可能であることの体験に重きを置いている。ブレッドボード上に発振回路を組み立てて、導通があるかチェックできるテスターや可変抵抗の操作で音が変わる電子楽器を作製する⁶⁾。ここで、後者の電子楽器の可変抵抗を2本のプローブへと付け替える。図3に示すように、3Dプリンタで作製した容器ヘジグザグに水道水を張り、2本のプローブの先端を浸漬する（プローブ間の距離を長く確保できるよう、ジグザグの形状にしている）。学生はプローブを自由に動かし、プローブ間の距離によって音がどのように変わるかを観察する。次に水

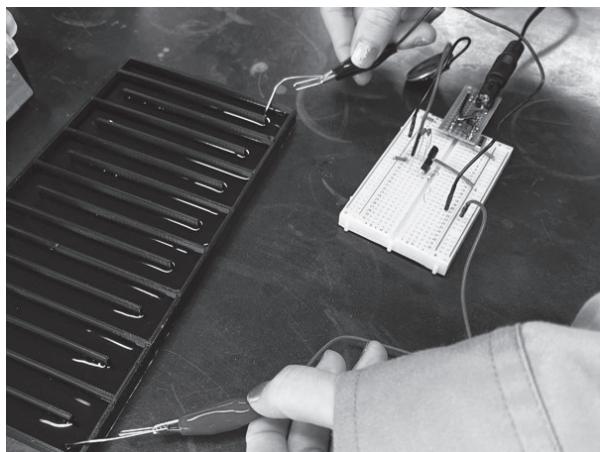


図3 水溶液にプローブを浸漬しての演奏

道水を食塩水に入れ替えて、同様の実験を行い、溶液の種類によって音がどのように変わるかも観察する。これらを通じて、水溶液の抵抗（電気伝導度）を感覚的に捉えて学習する。

4 受講学生の反応

上記の実験は2022年度の1年間にわたって、第一学年の約160名の学生に対して実施した。受講学生へは、各週の実験への自身の取り組み姿勢について、選択回答形式の自己評価シートに記入してもらった。また、実験に関する報告書の作成を課しており、「考察・感想」の項目に実験内容に関する内容を自由に書いてもらった。本稿では、受講学生の反応として、自己評価シートの集計結果と「考察・感想」の記述内容の一部を紹介する。

4.1 自己評価シートの集計結果

自己評価シートにはいくつかの質問項目を用意しているが、本稿では「実験実習への取り組み姿勢」と「実習内容の理解」に関する項目だけを取り上げたい。

4.1.1 実験実習への取り組み姿勢について

「①大切なことはメモに取り、実験にも班員と協力して積極的に取り組んだ」「②教員の説明を黙々と聞くだけで実験にもあまりかわらなかつた」「③ポーっとして説明を聞いておらず実験にも参加しなかつた」の三つの選択肢から選んでもらった。1週目、2週目、3週目のいずれの実験実習についても、受講学生のほとんどが①を選び、②を選んだ学生が2~3%程度、③を選んだ学生は全くいなかった。本実験実習は、実験器具の数の都合上、教員側で指定する2~3人のグループで実施している。教員側から見ても、グループ内の誰か1人だけが実験に取り組んでいるということではなく、お互いに協力しながら取り組んでいる様子であった。

4.1.2 内容の理解について

主に報告書について、「①自分が理解した内容を友達に教えてあげられるぐらい理解した」「②調べたり聞いたりして内容を理解した」「③友達のをとにかく写したので内容はよくわからない」の三つの選択肢から選んでもらった。1週目、2週目、3週目のいずれの実験実習についても、6~7割程度の学生が①を、残りの3~4割の学生が②を選んでおり、③を選んだ学生は全くいなかった。報告書には、実習内容に関する計算課題も含まれているが、実習終了後にお互いに相談しながら取り組む姿や著者へヒントを求めて質問する学生もあり、全体的に熱心に取り組んでいるように感じられた。

4.2 「考察・感想」項目の記述内容

次に、報告書の「考察・感想」欄に記載された内容について、実施週ごとに紹介する。著者が全員分に目を通し、よく見られる単語や特徴的な内容のピックアップを行った。以下、出現頻度の多かった単語については『』を用いて記載する。

4.2.1 1週目についての記述内容

記載内容全体を見渡すと、『ブレッドボード』を使うと『回路』を『簡単』に作ることができる、『ボタン』『電池』が『酸素』『濃度』によって『電圧』が『変化』する、『重曹』と『クエン酸』で『二酸化炭素』が発生して『シャボン玉』が浮き続ける、など実習内容のキーワードとなる語が一通り網羅されているようであった。『デジタルマルチメータ』や『ブレッドボード』を初めて使用した学生が多かったが、それらの道具の便利さに気づいた一方で、自分で『回路』を作ることを『難しい』と感じた学生もいたようである。特に、この1週目の実験については、酸素センサの体験後に、『回路』図だけを見て自分たちの力で『ブレッドボード』上に『回路』を組み立てる『課題』を与えており、そこで『ブレッドボード』の仕組みを理解する学生が多く見られた。また、『電池』で『酸素』を測定できることに『驚いた』、電子『回路』の組み立てや化学実験など様々なことを体験できて『楽しい』と記載する学生もいた。

4.2.2 2週目についての記述内容

1週目に続いての『ブレッドボード』での『回路』の組み立てに慣れてきたと記載する学生が多く見られ、『LED』による発光と『フォトトランジスタ』による発光、『色』が『見える』『仕組み』や『補色』、『光』の『吸収』と『色素』『溶液』の『濃度』の関係など実習に関するキーワードが一通り現れていた。『計算』が『難しい』との感想が見られたが、実験結果として得られた電圧の値を、ランベルト・ベールの法則へと当てはめて吸光度を求めるには、対数を用いた計算が必要となる。本校では対数を1年生後期の数学の授業にて学習するため、多くの学生が対数を知らない状態で本実験に臨む。そもそも対数とは何か、また関数電卓を使った対数の計算に戸惑う者も多かったようである。ただ、実験に参加した全ての学生がこれらの計算を乗り越え、『色素』『溶液』の『濃度』と吸光度の関係を表す検量線を『グラフ』用紙に作成するに至っており、中には授業終了後にExcelで『グラフ』を自主的に作成して報告書に添付する学生も見られた。

4.2.3 3週目についての記述内容

『トランジスタ』や『コンデンサ』の『役割』を学ぶことができた、『水溶液』に『電気』を『通す』ことで

『音』が『変わる』、『抵抗』の『大きさ』が『音』を『変える』、『水』に『食塩』を溶かすことで『抵抗』が『小さい』ものになるなど、ここでも実験内容のキーワードに関する記載が多く見られた。その他にも『電子』『楽器』を作製して『演奏』することが『楽しい』ことや、「ブレッドボード電子回路実習」テーマの最後の実験でもあるため、3回の実験で電子回路やエレクトロニクスコースに興味を持ったなどの感想も得られた。少数ではあるが、水の電気伝導度に興味を示す一方で、今回の内容がどのような形で社会に役立つかわからなかった、との意見もあった。電気伝導度法は塩分濃度計などの原理であることを説明してはいるが、ピンときていない学生もいるようであった。1週目は酸素センサ、2週目は吸光度計と実験内容から社会での活用の姿がイメージしやすかった分、3週目は見せ方の工夫が必要であると感じた。

5 おわりに

近年、ブレッドボードやマイコンを使用した実験機器を自作し、化学実験教材へと適用する事例が多く見られるようになったが、実際に授業実践を行った事例は著者が知る限り少ない。1章で述べた本校の新しいカリキュラムへの改革に伴い、著者は新たな授業や実験実習の担当を予定している。今後も“電子回路×分析化学”のような分野融合的な“ものづくり”をテーマとした授業実践に挑戦していきたいと考えている。

謝辞 本稿で紹介した実験実習を進めるにあたり、ご協力を頂いた大阪公立大学工業高等専門学校 生産技術センターの小原和昭氏に感謝を申し上げます。

文 献

- 1) 櫻井 渉, 戸谷明寛, 山中亮輝, 西村拓巳, 牛本 滯, 大井かなえ, ワラセト ポンブンサントー, 辻元英孝, 野田達夫: 大阪府立大学工業高等専門学校研究紀要, **52**, 51 (2018).
- 2) 岸本泰海, 喜多峻介, 木本一記, 島 華穂, 渡邊晃生, プンマート ピチャエート, 西岡 求, 野田達夫: 大阪府立大学工業高等専門学校研究紀要, **53**, 27 (2019).
- 3) 高橋三男: “[酸素が見える!] 楽しい理科授業 (酸素センサ活用教本)”, (2017), (日刊工業新聞社).
- 4) 井奥加奈, 光永法明, 任田康夫, 種田将嗣: 大阪教育大学紀要 自然科学・応用科学, **68**, 149 (2020).
- 5) 鴨澤真夫訳: “Make: Electronics 第2版一作ってわかる電気と電子回路の基礎”, p. 76 (2020), (O'REILLY Japan); Charles Platt: “Make: Electronics, 2nd Edition”, (2015), (O'REILLY).
- 6) 西田和明: “たのしくできる 光と音のブレッドボード電子工作”, p. 32 (2017), (東京電機大学出版局).



野田 達夫 (Tatsuo NODA)

大阪公立大学工業高等専門学校総合工学システム学科エレクトロニクスコース (〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12). 京都大学大学院農学研究科博士後期課程修了。博士(農学)。《現在の研究テーマ》分析化学や電気化学などに関する教材作成および授業実践。
E-mail: nodat@omu.ac.jp

原 稿 募 集

「技術紹介」の原稿を募集しています

対象: 以下のような分析機器, 分析手法に関する紹介・解説記事

- 1) 分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術, 2) 分析手法の特徴および手法開発に関わる技術, 3) 分析機器および分析手法の応用例, 4) 分析に必要な試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説, 5) 前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項, 6) その他, 分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など

報など

新規性: 本記事の内容に関しては, 新規性は一切問いません。新規の装置や技術である必要はなく, 既存の装置や技術に関わるもので構いません。また, 社会的要求が高いテーマや関連技術については, データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません。

お問い合わせ先:

日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会

[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]

バーチャル実験を取り入れた分析化学教育モデルの開発

重 里 徳 太

1 取組の背景

日本分析化学専門学校は、開校から今年で41周年を迎えるが、2020年に入学した39期生が初めて登校をしたのが4月7日。新型コロナウイルスの感染症拡大によって、我が国に初めて緊急事態宣言が発出されたその日であった。そして、卒業式を迎えた2年後の2022年3月8日、大阪府はまん延防止等重点措置の対象区域に指定されており、まさにこの39期生たちはコロナで始まりコロナで終わる学生生活であった。

本校としても、何としても学びを止めないという教職員の努力によって、慣れない遠隔授業、オンラインでの個別指導を実施。当初予定していた各種行事も延期や計画縮小はあったものの、無事に2年間、予定通りの授業時数を終えることができた。これらの取組は、先取的なものとして、当時文部科学省が制作した「専修学校の遠隔授業オンラインセミナー」動画や、月刊誌「文部科学広報」にも取り上げられた。

しかしながら、教育プロセスにおいて悔恨の念を抱くとすれば、コロナ禍での実験・実習が十分であったかということである。現在の高等学校では、一部工業系を除き化学実験を実施している学校は少数であり、本校に入学する学生も化学実験の経験は乏しい。そのような中、遠隔で授業はできたとしても、実験・実習が対面でできない入学当初の期間は、どれだけ不安な気持ちであったかということを推察すると、十分なフォローができたとは言いがたい。

今回の本事業へのチャレンジは、こうした39期生への教育の背景から、この後の入学生に同じ思いをさせたくないという教職員の思いが根底にあることを冒頭に申し上げておきたい。

2 事業目的と体制

コロナ禍における教育現場では、多様なメディアを利用して行う遠隔授業が急速に拡大した。しかし、実習科目の遠隔教育についてはこれまで対面で実施されてきた実践的な職業教育と同等以上の効果を得られているとは言い難く、技術指導を中核とする専門学校での共通の課題となっていた。

このような背景を踏まえ、文部科学省では2021年度から「専修学校における先端技術利活用実証研究」(専

修学校遠隔教育導入モデル構築プロジェクト)を展開。本校では文部科学省の公募に応じ、「化学分野における先端技術を活用した実習科目の遠隔教育モデル構築事業」を受託した。本事業では、行政・教育・企業・業界団体の各機関が連携し、仮想空間上で技術教育を行うためのプラットフォーム・コンテンツを調達・開発。その上で、これを補完する映像教材等のeラーニング等を整備し、実験・実習の遠隔教育モデルとしてとりまとめることを目的とした。また、本取組によって、化学分野のみならず幅広い技術教育の実習科目への遠隔教育の導入を推進するとともに、より高度な専門教育を提供する高校と専門学校との連携への発展も目指した。

3 初年度の取組(2021年度)

化学分野における遠隔教育モデルのニーズやVR(Virtual Reality)技術等の活用状況について各種の実態調査を実施。それらの結果を踏まえて、eラーニング、VRコンテンツ、実習科目における技術教育のプラットフォームといった各種コンテンツの開発を行った。

3・1 調査

3・1・1 遠隔教育モデルに対するニーズ等の実態調査

本調査では、化学関連分野の専門学校、大学、高校(普通科・工業関連学科)、高等専門学校に対し、特に実験・実習に関連した授業等に関して、新型コロナウイルス感染症による影響や対応状況・今後の対応意向などを質問した。回答数は84件で、うち約6割が化学分野に関連する学科を設置した大学で、約2割が高等学校となっている。

まず新型コロナウイルス感染症による緊急事態宣言下での「教室での講義等」と「実験室等での実験・実習」との実施状況を質問した。その結果、いずれも「平時と同様に実施した」という回答は3割程度に留まり、集合(対面)学習という従来の教育形態の運用が困難であったことが伺える。さらに、化学系科目の教育の質・量を従来と同様の水準に維持する困難性について質問したところ、「とても困難だった」が26.2%、「やや困難だった」56.0%となっており、新型コロナウイルス感染症の影響は、化学分野の教育においても非常に大きかったことがうかがい知れた。

以上のような状況下で、遠隔教育の導入状況を質問し

たところ、「大いに活用した」が76.2%、「すこし活用した」が17.9%であり、実に9割以上が遠隔教育の導入を行ったと回答した。但し、実施した遠隔教育に対する満足度について質問したところ、「大いに満足している」と回答したのは3.8%に留まり、「まあまあ満足している」が63.8%、「やや不満がある」が28.8%であった。

VR技術を活用した実験・実習教育への興味については、「とても興味がある」「すこし興味がある」が約7割を占めていた。

これらの回答から、国内の化学分野の教育現場では、遠隔授業に対し教育の質・量を維持することの困難さとVR技術に対する期待があることが伺えた。

3・1・2 VR技術を活用した実習等事例調査

本事業でVR技術を活用した遠隔教育モデルを検討するにあたり、本調査によって、化学分野におけるVR技術等を活用した既存のサービス・コンテンツ等の事例を調査した。

日本国内では、当時VR技術等の活用が模索されている最中であり、VRコンテンツ・サービスの事例は多くなかった。特に化学分野においてはほぼ事例が存在せず、本調査での調査対象は海外の事例を中心とした。ただ海外でも、化学周辺分野である医療分野や生物分野での導入事例や研究事例等は比較的多く見られたものの、化学分野そのものを対象としたVRサービス・コンテンツ等は少なかった。したがって、化学分野の教育へのVR技術活用は、世界的にみてもまだ研究途上にある状況と推察した。

今回発見できた事例のうち、本事業で想定するバーチャル空間上での実験教育を実現しているのは、「Labster」, 「PraxiLabs」, 「Ryerson Augmented Learning Experience (RALE)」などである。中でも導入実績が多いのは、「Labster」で、全世界の教育機関2000件以上で導入されていた。但し、いずれの事例も調査時点では、日本語に対応しておらず、日本の教育機関への展開はしていない。

こうした状況を踏まえて、本事業ではVR技術を活用したコンテンツを新たに開発する方向で検討を進めた。

3・1・3 技術教育手法事例調査

本調査では、専門学校や大学等における新型コロナウイルス感染症への対応などを目的に導入された化学分野等での実験・実習等の技術教育の特徴的な取組事例を調査した。

調査の過程で特に多く見られたのは「ハイブリッド授業」である。これらの事例では基本的に、新型コロナウイルス感染症に対応するため、フェイスシールドの装着や3密の回避、換気の徹底など、感染症対策を実施し

た上で、実験室等での実験を実施している。一方、自宅でも実験等を行うことができるよう、実験に必要な器具や試薬をパッケージ化して学生に配布していた事例もあった。次に比較的多く見られたのは「ライブ配信」と「ビデオコンテンツ等のオンデマンド配信」であった。

また、「VR・AR」に関する事例では、スマートフォンやタブレットなどを活用して3Dオブジェクトを表示した事例や、HMD（ヘッド・マウント・ディスプレイ）を用いて実験の様子を視聴させた事例などを発見できたが、今回調査した範囲では、いずれも本格的に化学分野の教育に導入された事例ではなかった。

以上のような調査結果を踏まえて、化学分野の実験・実習等の遠隔教育モデルの検討を進めていくこととした。

3・2 開発

本事業では、遠隔教育の充実により短時間の集合（対面）学習の効果を最大化し、従来手法よりも高い教育効果を得ることを目標として、VR技術を活用した技能トレーニングを組み込んだブレンディング型の遠隔教育モデルを構築することにした。

実験・実習科目の授業は大きく「講義」「実践」「個別指導」の3段階で進行する（図1）。本モデルではまず、「講義」をeラーニングやライブ授業で実施することを想定する。さらに、VRトレーニングを活用した遠隔教育により「実践」の一連の流れをバーチャル空間で体験させると同時に、実験器具の扱い方や作業の流れ、注目するポイントなど「講義（事前知識解説）」で取り扱う内容に関する理解を深めさせる。その上で集合（対面）学習を実施し、「実践」と重点的な「個別指導」を行う。このような形態とすることで、講師は画一的な講義や実験の流れの説明などを行う時間を短縮でき、技術力向上に必要な個別指導に時間を割くことができる。また、学習者は充実した事前知識を持って実験・実習に取り組むことができる。これにより、短時間の集合（対面）学習で最大限の教育効果が期待できると考えた。

また、開発するターゲットとしては、最も基礎的な実

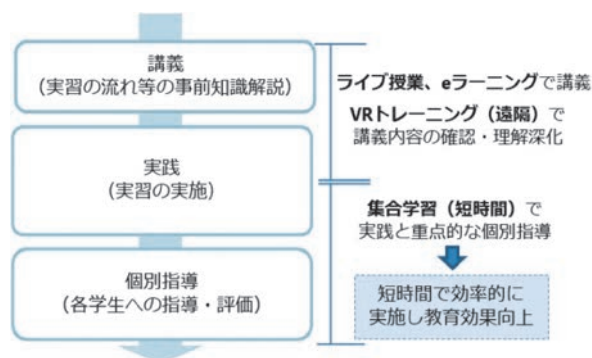


図1 本事業の遠隔教育モデル

験科目「基礎化学実験」の入口である以下の表の部分とした(表1)。

表1 開発する基礎化学実験の学習テーマ

形態	学習テーマ	実施手法	時間数
講義	安全教育, 器具の取り扱い	遠隔授業 (ライブ・eL・VR)	6.0 時間
講義	実験ガイダンス	遠隔授業 (ライブ・eL・VR)	6.0 時間
実習	中和滴定 (化学的滴定法)	集合学習	27.0 時間



写真2 360度カメラによる実写版VR

3・2・1 eラーニング

実験科目「基礎化学実験」において、従来は集合(対面)学習で行っていた部分をeラーニングのコンテンツとして開発し、教育効果等の検証を実施した(写真1)。

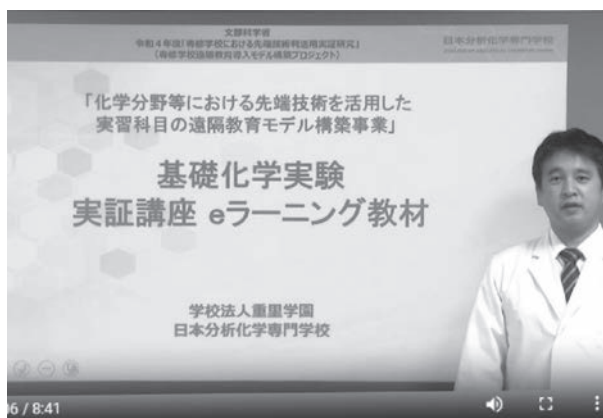


写真1 eラーニング動画

3・2・2 VRコンテンツ

2種類のVRコンテンツのプロトタイプを開発し、教育効果等の検証を実施した。

(1) 実写版VRコンテンツ

360度カメラを使用して実験の様子を撮影。学生2名が実験を演示し、教員1名が指導を行う構成とし、動画はYouTube等で視聴可能。学習者は画面操作により映像を360度スライドでき、任意の角度やズームでも見ることができる(写真2)。

(2) 3DCG版VRコンテンツ

VRゴーグルを使用して実験を体験する学習コンテンツを開発。学習者はバーチャル空間上に用意された実験器具(3Dオブジェクト)を、持ち運んだり操作したりして実験を進行。誤操作や操作ミスをするなど、エラー表示が出たり実験結果が失敗になったりするなど、ゲーム的な要素を盛り込んだ(写真3)。

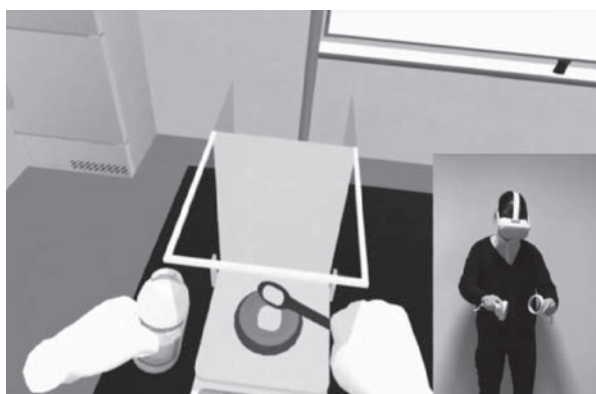


写真3 3DCG版VR「試薬の量り取り」

4 2年目の取組(2022年度)

前年度の開発成果をもとに、2年目はVRトレーニングコンテンツやeラーニングコンテンツの本格開発や運用環境の整備に取り組んだ。本校の学生と教員の協力のもと行われた試用検証では、臨場感の高さやゲーム性による楽しさが評価された反面、操作方法の複雑性やVRゴーグル酔いに関する声も寄せられ今後の改善点が洗い出された。

また、実験科目「基礎化学実験」の学習項目の一つである「中和滴定実験」において、その有効性の検証を目的として、中和滴定実験の学習経験のある本校学生および学習経験のない高校生を対象に、実際に体験を行う実証講座を実施。実験の成績評価から、VRコンテンツを活用した事前教育の有効性が確認できた。以下に具体的な内容を記載する。

4・1 実証講座実施内容

VRトレーニングやeラーニングの教育効果を測定するため、本校の学生14名と大阪高等学校1年生8名の計22名の受講者を二つのグループに分け、それぞれ異なる以下の学習方法で講座を実施した。

4・1・1 グループI

eラーニング教材とVR教材(写真4)で事前学習を



写真4 VRゴーグルとスティックによる操作



写真5 実験室で中和滴定実験

行った後、中和滴定実験（写真5）を行う。

4・1・2 グループII

基本的に事前学習をせずに、中和滴定実験を行う。
※事前に配布したテキスト等で任意に学習

4・2 実施後のアンケート結果

eラーニングコンテンツについては、グループIが視聴して回答した。受講後アンケートの結果を見ると、学習内容を理解できたかという質問には、「よく理解できた」「まあまあ理解できた」が9割、学習内容に満足できたかという質問には、「とても満足できた」「まあまあ満足できた」が全員という結果になった。

VRコンテンツに対してはグループI・グループIIの両方が体験しアンケートに回答した（図2）。VRトレーニングで実験の流れについて理解が深まったかという質問に対し、「とても理解が深まった」「まあまあ理解が深まった」という回答が7割という結果であった。

4・3 実証講座実施結果

実験の評価結果（図3）を見ると、特に中和滴定実験の学習経験がない高校生について、「実験操作」（器具の

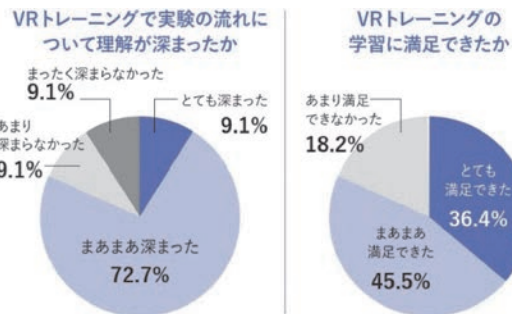


図2 実施後のアンケート結果グラフ

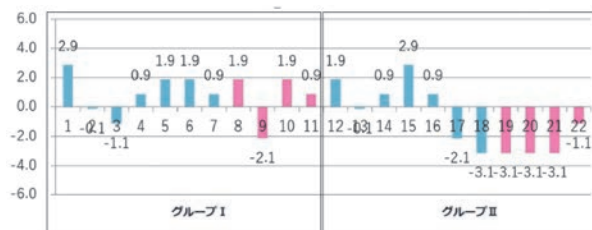


図3 実験操作における平均点との差

取り扱いや手順）の評価を行う項目で、明確に事前学習を行ったグループIの方がグループIIより平均との差が上回っている対象者が多かった。

以上の評価結果とアンケート結果の両面から、特に実験全体の手順や各実験機器の大まかな使用手順の学習においては、本事業で開発したeラーニングコンテンツやVRコンテンツは一定以上の教育効果を期待できると考えられる。

5 最終年度の取組（2023年度）

最終年度となる今年度は、実証講座の検証結果を受けて遠隔教育モデルと各種コンテンツを改良する。現時点では、実験器具の取り扱い、注意事項等の学習のほか、より発展的な実験学習のテーマである定量分析や定性分析なども対象として検討する。これにより、国家資格・化学分析技能士の対策学習や資格の普及展開に繋げること検討する。

また、拡張開発として教員と学生がアバターによって一つのVR空間で共に学ぶメタバース化の検討も進める予定である。



重里 徳太 (Tokuta Juri)
学校法人重里学園日本分析化学専門学校
(〒530-0043 大阪府北区天満2-1-1)。
近畿大学。《主な著書》“知っておきたい化学の豆知識”，(化学同人)。

化学分析技能士の資格取得に向けた取り組みと技能五輪国際大会への挑戦

池田 泰久

1 はじめに

本稿では、専門学校での分析化学教育の事例として、東京バイオテクノロジー専門学校（以下、東京バイオと略）における活動を取り上げる。

東京バイオには、化学の専門知識を有し、化学・環境等の分野で活躍する技術者を養成するための化学分析コースがある。そこでは、分析化学教育の一環として、必修科目である化学演習において、化学分析技能士（2級と3級）の資格取得に向けた講義と演習を行っている。また、この科目で学んだ学生を、技能五輪国際大会（正式名：国際技能競技大会）の代表選手に育成すべく教育・訓練を行ってきており、2022年に開催された国際大会に、卒業生1名を代表選手として出場させることができた。

そこで、上記二つの取り組みについて紹介する。

2 化学分析技能士の資格取得に向けた取り組み

2.1 化学分析技能士とは

化学分析技能士とは、化学分析作業に関する技能と知識を有することを認定する国家資格である。資格区分は1級・2級・3級で、都道府県知事により学科及び実技試験が実施される。

2.2 取得試験内容

東京バイオで行っている教育にかかわる2級と3級の試験内容について概説する。

2.2.1 3級の試験内容

学科試験と実技試験がある。学科試験では、化学分析法、化学一般、安全衛生に関する問題（真偽法：30問）が出題される。実技試験では、化学分析作業にかかわる課題が出題される。近年の例では、試料溶液中に含まれる2種類の金属イオン（第2属及び第4属の金属イオンは除く）の定性分析と試料溶液中に含まれる炭酸ナトリウム量を求める試験が課せられている。

2.2.2 2級の試験内容

3級と同じく、学科試験と実技試験がある。学科試験では、3級と同様の範囲に関する問題（真偽法：25問、多肢択一法：25問）が出題されている。実技試験には

定性分析と定量分析がある。近年の例では、定性分析として試料溶液中に含まれる3種類の金属イオンの検出課題が、定量分析では試料溶液中のシュウ酸量を求める課題が出題されている。

2.3 東京バイオでの取り組み

東京バイオでは2級と3級の各試験に対応すべく、講義と演習を行い、関連する化学の基礎知識の習得と定性・定量分析の基本を学べるようにしている。

講義では、陽イオンの分属試薬とその反応及び確認現象、沈殿形成と溶解度の関係、加水分解反応、錯形成反応、炎色反応、中和滴定や酸化還元滴定の原理等について、教科書及び参考資料を用いて解説し、演習に必要な基礎知識を習得できるようにしている。また、学科試験対策として、過去問題を用いた模擬試験を実施し、かつ問題の狙いと正答理由等の解説を行い、理解度を高めるようにしている。

演習では、近年の実技試験に即して、定性・定量分析で用いる試薬の調製と器具類の準備から始め、取扱法や注意事項等を学んだ上で、各実技試験に対応すべく演習を行っている。

定性分析の演習は、次の様に行っている。各種陽イオンを含む溶液（3級用： Ag^+ 、 Al^{3+} ； Pb^{2+} 、 Ca^{2+} 等；2級用： Ag^+ 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} ； Pb^{2+} 、 Al^{3+} 、 Ba^{2+} 等）を想定し、各自に分析手順のフローチャートを作成させる。それに基づき、実際に定性分析を行い、分属操作と確認のための現象を答えさせ、学生の解答発表と講師による模範解答により、操作手順の妥当性を確認し合うことをしている。このようにして、数種類の模擬試料を用いた定性分析を行い、実技試験に備えている。

定量分析の演習では、中和滴定と酸化還元滴定を主に、終点の見極めを重点に練習を行っている。中和滴定では、炭酸ナトリウム試料液に対する塩酸標準液による滴定（指示薬：メチルオレンジ；終点での色の変化：黄色→橙色）により炭酸ナトリウム量を求める練習を、また酸化還元滴定では、シュウ酸試料液に硫酸を加え加温した上で、過マンガン酸カリウム標準液により滴定し（終点での色の変化：無色→淡紅色）、シュウ酸量を求める練習を行っている。両試験とも空試験も実施するとともに、精度の高い分析結果を得るために注意すべき事項を確認するようにしている。

この様な学科試験対策及び演習を行うことで、高い合格率を達成できるようにしている。また、こうした取り組みが、次に紹介する技能五輪国際大会への挑戦へとつながっている。

3 技能五輪国際大会への挑戦

3・1 技能五輪国際大会（国際技能競技大会）とは

本国際大会（WSC：WorldSkills Competition）は、1950年にスペインの職業青年団が提唱して、隣国ポルトガルとの間で各12人の選手が技能を競ったことを起源としている。その後、参加国及び出場選手が増加し、参加各国における職業訓練の振興と青年技能者の国際交流と親善を図ることを目的とした大会へと発展してきた。日本は、1962年の第11回大会から参加している。1966年には参加国の代表により、ワールドスキルズインターナショナル（WSI：WorldSkills International）が組織され、大会を運営するようになった（1971年以降、2年に一度）。WSIの組織委員会は、加盟各国からの公式代表及び技術代表により構成されており、日本では中央職業能力開発協会がそのメンバーになっている。なお、大会開催年に22歳以下の若手に参加資格がある。

3・2 競技職種である化学実験技術について

化学実験技術は、2019年8月22～27日に、ロシア連邦のカザンで開催された第45回WSCから競技職種になった。第46回WSCは、2021年9月に中国上海で開催される予定になっていたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響により1年延期され、結局2022年5月に中止となった。そのため、WSI関係者間で代替措置が検討された。その結果、日本を含む15か国で2022年9～11月にかけて分散開催されることとなり、第46回技能五輪国際大会（特別開催）（WorldSkills Competition 2022 Special Edition）として、正式な大会として実施されることになった。

本職種と他のいくつかの職種の競技は、オーストリアのザルツブルクで11月24～26日に開催された。

3・3 東京バイオでの取り組み

ここでは、ザルツブルグ大会への代表選手派遣までの東京バイオでの取り組みについて紹介する。

その取り組みは、2020年7月頃、第46回WSCの競技職種の一つに、化学実験技術があるとの情報を入手し、同年8月末にその日本代表選手派遣に応募し、選ばれたことに始まる。同年10月に、分科会（その職種において、国際大会出場選手の強化に企業・学校等の枠を超え、オールジャパン体制で取り組むための組織）を設置し（表1参照）、選手の育成・強化に向けた活動を開始した。

選手選考に当たっては、希望者を含め多角的に検討

表1 分科会メンバー（敬称略）

氏名	所属・役割等
大貫敏彦	東京工業大学名誉教授、NPO法人環境サステイナブルリサーチラボ、会長、WSCエキスパート
小池伸一	東京バイオ、副会長（2022年3月まで）
関口崇之	東京バイオ、副会長（2022年4月から2023年3月まで）
永澤 明	埼玉大学名誉教授、日本化学会「オリンピック小委員会」委員長、強化訓練
池田泰久	東京工業大学名誉教授、強化訓練
伊藤徹哉	無臭元工業株、企業的観点からの支援
杉田佑輔	東京バイオ、運営活動支援

し、東京バイオの学生で化学分析技能士の資格取得を目指している学生の中から、3名を強化選手として選んだ。

同年11月から、カザン大会の出題課題を主に、座学と演習により訓練を始めた（担当：大貫、池田）。カザン大会の課題は、次の通りである。

1. 酸化還元滴定によるグリセリンの定量
2. 吸光度法によるFe(III)濃度の定量
3. 中和滴定によるリン酸及びリン酸二水素ナトリウムの定量
4. 飽和ハロゲン化炭化水素の合成
5. HPLCによる色素の分析
6. GCによる試料中の溶媒の同定

このように、中和滴定法、酸化還元滴定法、吸光度法、機器分析、有機合成等の基礎が試される課題である。そこで、座学において上記手法にかかわる基礎知識を習得できるようにし、演習では実際に1～4の課題に取り組み、手法や技能の習得を目指した。また、機器分析等に関連する課題は、JFEスチール株と三菱ケミカル株の協力により実施し、基礎知識と技能の習得を図った。さらに、英語の読解力・会話力等は、坪子理美氏（非常勤講師）の指導を仰いだ。

こうした中、上海大会の1年延期との情報が入ったが、3名の候補者への強化訓練を継続した。そして、2021年1月には、3名の中から代表選手1名（榊原隆平氏）が選出された。

同年4月からの強化訓練活動（担当：大貫、池田、永澤）では、カザン大会の課題に基づく演習に加え、化学オリンピックでの出題問題や想定課題（電気化学（株）堀場製作所の協力）、溶媒抽出、速度論、錯体合成と分析等）を中心に、月2回程度訓練を行った。特に、英語の読解力強化と合わせて、与えられた課題の実験手順フローチャートの迅速作成とそれに基づく実験を行った。

2022年4月からは、代表選手の榊原隆平氏（卒業後の所属：パイホロン株）のみの強化訓練を月2回程度土日に行った。これまでと同様にフローチャートの作成練習と実験を行うとともに、エキスパート（選手ととも

にWSCに参加する専門職のことで、選手の指導と国際大会の競技課題作成・評価・採点等を行う)同席による模擬試験と採点も行った。こうした中、同年5月に上海大会の中止が正式に決定され、上述したように本職種については、ザルツブルクで開催されることとなった。そこで、模擬課題を主に、大会に向けた更なる強化・育成を図った。特に、大会で用いられる実験装置の情報から、ソックスレー抽出器を用いる課題が想定されたことから、茶葉からのカフェイン抽出実験等を行い、大会に備えた。

3・4 ザルツブルク大会について

本大会は、2022年11月24~26日に、ザルツブルク郊外のMessezentrum Salzburgで開催された。化学実験技術職種には、日本、英国、中国、オーストリア、シンガポール、フィンランド、コロンビアの代表7名が参加し、図1に示す会場で競技が行われた。

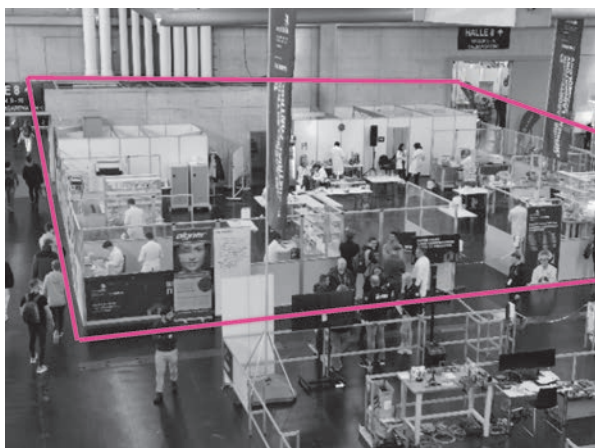


図1 化学実験技術職種の競技会場全景
(赤線で囲んだエリア)

競技開始前日(23日)には、会場で選手全員による実験器具類の確認と準備が行われた。この段階で、競技課題は大きく二つで、一日で結果を出す課題(課題-I)と二日間ですべての結果を出す課題(課題-II)であることが判明した。日本代表は、課題-Iから始めることになった。

競技一日目(24日)は、9:45に開始され18:00に終了した。日本、コロンビア、英国、オーストリアの選手は課題-Iからで、アセチルサリチル酸を用いたFe(III)の定量と酸化還元滴定による未知物質の定量に取り組むが、選手は滴定の終点の見極めに苦労しているようであった。中国、シンガポール、フィンランドの選手は課題-IIからで、ソックスレー抽出器を用いたカフェインの抽出と定量等の課題であったが、抽出装置の使い方を知らないようで、苦戦をしているように見えた。図2に日本代表の課題取り組み中の様子を示す。

競技二日目(25日)は、9:45開始17:45終了であった。初日に課題-Iを行った選手は、課題-IIを開始



図2 課題取り組み中の日本代表

し、初日に課題-IIから始めた選手は、それを継続しつつ、初日の抽出操作をやり直しているようであった。

競技三日目(26日)も、9:30開始17:45終了であった。終了後、競技会場にてセレモニーが行われた。

27日18:00から閉会式が行われ、化学実験技術をはじめとした各競技の表彰式が行われた。本職種の金、銀、銅メダルの受賞者は、それぞれ中国、シンガポール、オーストリアの選手で、残念ながら日本代表はメダル獲得とはならなかった。しかし、大会を通じて貴重な経験ができたことは、今後の職場等での活動に大いに活かせると期待される。

4 おわりに

本稿では、専門学校の分析化学教育の事例として、東京バイオでの化学分析技能士の資格取得に向けた取り組みと、それを活かして技能五輪国際大会に挑戦したことについて紹介した。

現在、分析技術は飛躍的に進歩しており、高度な機器を用いることで、簡便かつ高精度な定性・定量分析が可能となってきたが、技能士の資格取得者は、化学分析の基本となる手法や知識を取得しており、各種分野での活躍が期待される。また、技能士の資格取得者が、技能五輪国際大会に挑むことができたことは、若い技能者がその能力や経験を広く活かす潜在力を有することの証である。

ここでの紹介内容が、学生や若手技術者の向上心への刺激になり、世界への挑戦の契機になれば幸いである。



池田 泰久 (Yasuhisa IKEDA)

東京工業大学名誉教授(東京バイオテクノロジー専門学校 非常勤講師)。〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1(〒144-0032 東京都大田区北糞谷1-3-14)。東京工業大学理工学研究科原子核工学専攻博士課程修了(工学博士)。工学博士。第1種放射線取扱主任者。《現在の研究テーマ》ウラン錯体の各種媒体における化学的性質に関する研究とその応用。《主な著書》“錯体化合物辞典”，共著，(浅倉書店)。

中高生に分析化学を伝える
—「夢ナビライブ」にて—

宮村 一夫

1 「夢ナビライブ」での取り組み

2019年の年会で開催された教育関連のシンポジウムで「中高生に分析化学を伝える～夢ナビライブにて～」と題する講演を行った。今回の執筆依頼は、その講演をお聴きになった方からのものとのこと。掻い摘んで講演内容を紹介するとともに、そのときの狙いを記すので、参考にしていただければ幸いである。

2 「夢ナビライブ」とは

「夢ナビライブ」はフロムページ社が文部科学省の後援のもと、北は北海道から南は沖縄まで全国の大学に依頼して種々の学問分野の教員を集め、夏休みと秋の連休(2023年は7月15、16日と10月21、22日)に学問の魅力を中高生、とくに受験を控える高校3年生を対象に紹介するイベントである。コロナ禍の前、2020年までは東京ビッグサイトが会場であったが、その後はZoomによるリモートでの講演会になっている。

分析化学会の年会で紹介した「夢ナビライブ」は、コロナ禍前に開催された講演。当時は講演会場とは別に各大学のブースも併設されて、広報担当者が直接、中高生に大学の特色をアピールする場としても活用されていた。講演は質疑応答を含めて30分。ブースが多数設置されて、受講者の入れ替え時間(10分)をはさんで同時並行で各種講演が実施されるので、中高生は希望する講演を渡り歩くように受講する。また、聴きたい講演の重複や受講希望者が予定数を越える場合もあるので、同日中に講演を複数回行うことを要請されたこともあった。受講者の募集はフロムページ社が行い、受講者は興味のあるプログラムを事前に選んで申し込み、聴講する。進学を希望する高校3年生にとっては学問分野の内容や大学の概要に直接触れることができるため、例年、大会場の東京ビッグサイトは全国から集まる受講者たちで超満員の盛況ぶりであった。講演終了後は、質問を個別に受けるコーナーにて、さらに30分ほど受講者に対応することが要請されていたため、筆者は毎回、熱心な生徒たちを相手に担当する学問分野「分析化学」に関する様々な疑問に答えてきた。

なお、コロナ禍後は事前に収録した動画をオンラインで配信するようになった。事前に配信した内容に対する質問を受ける時間を設けることによって、どこにいて

も受講できるので、今後はオンラインが標準になるかもしれない。

3 中高生に伝えたいこと

講演会の性格からみて、まずは所属する大学や学部学科が受験先に選ばれるよう、広報が求められているのは自明である。しかし、中高生に直接語りかけられる貴重な機会なので、学問分野としての「分析化学」をアピールしたいと考えて講演を引き受けてきた。夢ナビライブの宣伝文句を借りれば、「学びたい学問(分析化学)を見つけ、学べる大学(東京理科大学)と出会う一日」である。講演では、所属する学部学科を考慮して、伝えたいことを次の3点にまとめた。

- ① 理学の重要性
- ② 化学の重要性
- ③ 分析化学の重要性

まず、①理学の重要性であるが、一言で理工系と言っても、「理」と「工」の違いを認識している中高生は少ない。そこで、身近な例を使って説明することにした。「鳥が飛ぶのを見て」、どう考えるか。「理」ではなぜ鳥が飛べるのかを解明しようと考え、「工」では実際に飛ぶ術を考える。「理」で解明された知識は普遍性をもち、解明された知識によって種々の飛ぶ術が誘発される。プロペラ機、ジェット機、ミサイル、ヘリコプターなど、飛ぶ術は多様であり、その開発が「工」の醍醐味だろう。「理」の研究は、観察・探索→発見→解明→予測という経過をたどるのに対して、「工」の研究は、着想→設計→作成→評価と進む場合が多い。最終的に「理」では知識、「工」では製品が得られるところが違っている。この手法の違いを、「理」は解明の糸口に気づく研究、「工」は目標とする製品を築く研究と言い換えて説明してきた。知識がなければ設計はできないし、分析機器などの製品がなければ解明はできない。中高生に理解してもらうのは難しいが、工学全盛の時代ではあっても、理学の停滞を招かず、理と工の調和ある発展が科学の進歩には必要であることを伝えるよう、努力した。

②化学の重要性をアピールするのはたやすい。製造業を材料(化学)、動力(機械)、制御(電気)のいわゆる、「ものづくりの3要素」に分けてみると、化学なくして材料は得られないし、そもそも「もの」がなければものづくりにならないのは自明である。日本の工業出荷

額統計（経済産業省のHP参照）によれば、化学工業は自動車産業等の輸送用機械器具に次ぐシェアを占めているし、株式欄を見ても上場企業数が群を抜いて多い。多種多様な材料を扱う企業群があり、医薬品、鉄鋼、非鉄、製紙など関連する業種も多々ある。一方、学問の面から見ても化学は高校の理科系教科の一つであり、高校生にとってもおなじみである。環境から生命まで、森羅万象を司る原理を探究する学問として、詳しい説明を要しない。

一方、③分析化学は、その重要性が化学の教科書には露わに記載されていないし、中高生にとっては未知の学問である。ここは少し風呂敷を大きく広げて、化学という学問を2分する存在とした。合わせて生成する合成化学に対して、分けて解析するのが分析化学であるとし、原子や分子をパーツとして組み上げるのが合成化学であるのに対して、物質が何からどうできているのか、パーツに分解しながら解析する化学として分析化学を説明した。化学の両輪の一つとして合成する化合物や製品の分析にとどまらず、我々を取り巻く世界で起こる現象の解明、食品や飲料の安全の確認、健康診断や薬物検査、ウイルスや放射性物質の検出、などかかわる対象が広範であることを知ってもらうべく、資料を準備した。物質に関するエビデンス（根拠）を得るために不可欠な学問であること、これが最も伝えたいことである。

4 自ら判断する能力を身につける重要性

根拠があいまいな議論がフェイクニュースとして横行する現代、「分析化学」は、我々を取り巻く環境のリスク（安全性の尺度：値が低いほど安全性が高い）を判断するために必要な根拠を与える重要な学問である。ただし、得られるのはデータであって、専門家はこのデータからリスクを判断する。水温を例にとろう。熱湯を浴びれば大やけどとなるが、ぬるま湯であれば日常的に浴びているし、健康にはむしろ良いとされている。極寒の海に落ちれば命の危険が伴う。水温によってリスクは異なっており、データの大小や高低にリスクが単純に比例するものではないことがわかる。放射線も核兵器使用に伴う放射線量は致命的だが、低レベルであれば健康にはむしろ良いという研究もある。DNAは損傷を受けるが、その修復機構が活性化することによって、感染症などに対する免疫機構が活性化するためというもっともらしい「根拠」（ホルミシス効果）が付随する。やや否定的に表現したが、医学的には低レベルの放射線は健康に良いと

認められている。「ラジウム温泉の効能」あるいは「ホルミシス効果」にて検索して各人でご判断いただきたい。データからリスクを評価するのは専門家の仕事であるが、それで安心できるかは、個々人の判断力に委ねられている。だからこそ、自ら正しく判断できる能力を身につけることが重要である。

5 受講者の反応

講演会中および講演会後の受講者からの質問の内容から、こちらが伝えたいことが十分に伝わったとの手ごたえがあった。またフロムページ社から講演後に送られてくる講演に関する生徒たちのアンケート結果も好意的な意見ばかりであった。ただし、受験に結びついたかは不明である。なお、「分析化学」という分野は知らなかったが、化学におけるエビデンスを得るために重要であること、そして生活の安全や安心を護るために貢献していることが分かったとの意見が多数あった。ものづくりという観点では「合成化学」に焦点が当たりがちであるが、その対語である「分析化学」の重要性をもっと知ってもらおうべく、日本分析化学会には頑張っていたきたい。

6 おわりに

2023年の春で定年退職し、名誉教授となった。研究の最前線からは退いたが、非常勤講師として現在も学生たちの教育に当たっている。「夢ナビライブ」で語りかけた生徒たちが、学生となって目の前にいる。講演会の際に垣間見えた、あの青雲の志はどうなっているだろうか。学術、そして技術的な内容を伝えるのも重要であるが、化学者としての在り方も伝えていきたい。

最後にもう一つ。年会での講演でも、「夢ナビライブ」でも、次のフレーズで終わるようにしてきた。

「今日、どんな花が咲いていましたか？」

工学全盛の時代でもなお、理学の心を忘れてほしくないからである。



宮村 一夫 (Kazuo MIYAMURA)

東京理科大学（〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3）。東京大学工学系研究科合成化学専門課程博士課程中退。工学博士。《現在の研究テーマ》冷結晶化を示す材料研究。《主な著書》“分析化学II”，（丸善）。《趣味》鉄道旅。

E-mail : miyamura@rs.tus.ac.jp

スーパーサイエンスハイスクールの分析化学教育

川野 和也

1 はじめに

「スーパーサイエンスハイスクール」とは文部科学省が科学技術や理科・数学教育を重点的に行う高校を指定する制度である。SSHと略される。令和4年度現在217校が指定されており、本校は平成29年度に指定されている。

高校化学では、化学量論の分野における塩酸と炭酸カルシウムによる反応の質量変化や、酸塩基の分野では中和滴定による滴下量を調べる。こうした実験では、教科書の理論的な理解にはつながるが、化学的な手法を身につけたとは生徒は感じにくい。やはり未知のことに対して調べるといふ姿勢から実験の大切さが感じられると考えている。

令和4年度より生徒が一人一台端末機器を持つようになり、実験の測定にはワイヤレスセンサーを活用できる環境や機器が整ってきた。そこで本校では、これまで科学部やSSHの授業を中心にpH、温度、導電率を実験の際のデータとして測定をするようになった。こうした測定によってデータを数値化することで、より正確に考察できるようになってきた。そこでとくに昨年度は紫外線の吸収、照度センサーおよび比色分析用試験紙を新たに購入して化学的な分析を行うこととした。

2 探究の時間での実践事例

1, 2年生が週1回2時間、3年生が週1回1時間となっている。1年生の後半より探究テーマを検討して、2年生に班を編成して探究を始める。テーマの内容によって講座に分かれて教員が複数名ずつ担当する。今回の実践事例はその中の化学講座で行ったものである。

2.1 1年生RIAS (regional inquiries and annlysis through science) ミニ探究 (週1回, 連続2時間)

1年生を対象とした化学講座では、以前は身の回りの液体のpHを指示薬で調べたり、パックテストによる水質調査をしたりして、化学的な分析方法を身につけることを目的として実験を行ってきた。簡易的ではあるが、これらも比色分析方法の一つとして指導をしてきた。しかし、定性的な分析で終わってしまい定量的な分析と結びつけられてはいなかったことに課題を感じていた。そこで、高校の教科書では扱わないが、一般的に理解しや

すい吸光度と濃度の関係のランベルト・ベールの法則に結び付けられるような基本的な実験と測定方法を設定した。

五つの班(1班4, 5名)で「溶液濃度と吸光度の関係を調べる」というテーマを設定した。

溶液は2種類、青色の硫酸銅(II)水溶液1 mol/Lおよび黄色の二クロム酸カリウム水溶液1 mol/Lを測定に使用した。光源はLEDの白色ライト、測定する機器は照度センサー(PASCO wireless light)、タブレットに取り込むためのアプリはSPARKvueを使用して測定データを記録した。測定データはエクセルに入力し、表やグラフ化した。実験の記録は班ごとに実験日誌をMetaMojiで共有した。

記録の方法は、写真を撮ったり数値を記入したりアプリの画面をスクリーンショットして貼り付けたりと生徒は様々な工夫をして記録した。五つの班はすべて同じ実験内容ではなく、以下のような三つの内容に分けて測定を行った。①溶液濃度を10倍ずつ変えた班、②光の透過する幅を変えた班、③セロハンで光源を変えた班。

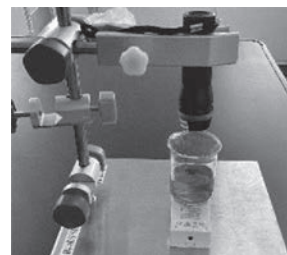


図1 照度測定方法(ピーカーの下に照度センサー)
(硫酸銅(II)水溶液)

溶液濃度を10倍ずつ変えた班の実験の結果は、1回目の時にばらつきが大きかった。その後、初めの照度や測定位置を固定して行ったことでデータは以下の通りグラフ化してみるときれいに比例関係になっていることがわかった。

これまで吸光光度計は1台しかなく同時に多数の測定ができなかった。複数ある照度センサーを班で一つずつ使用して照度を計ることで、溶液の濃度の定量ができるようになった。生徒も実験結果と化学的な理論との一致と誤差について考察することでより実験についての理解が深まったように思われる。

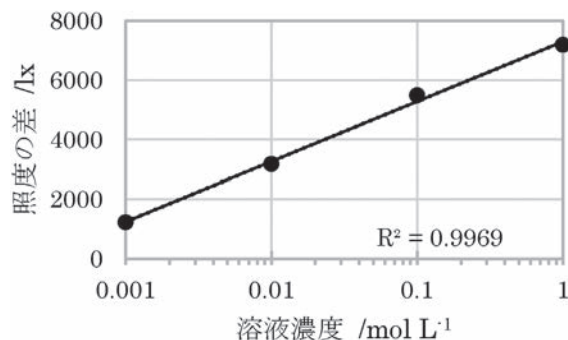


図2 照度 (lx) と溶液濃度 (mol/L) の関係

2・2 2年生 RIAS II (週1回, 連続2時間)

2年生からは自分たちで自由にテーマを設定して仮説を立て実験方法を考え検証する探究活動を行う。化学講座では特に化学的な視点からのアプローチで実験や測定を行っている。担当教員は生徒の探究活動に対して測定方法や実験機器をアドバイスする形でかかわっている。ここでは二つの班の探究活動を紹介する。

様々な測定機器を使うことによりこれまでできなかった実験が増え、生徒も多くの実験を通して現実と向き合う機会となり化学的な考察との一致に改めて学ぶことの楽しさにもつながったようである。

2・2・1 油の酸化

油の酸化について探究した班は、紫外線や酸素、温度による影響でどの程度酸化するかを調べた。その油の酸化については加熱油脂劣化度判定用試験紙 AV-CHECK を使用して比色分析を行った。これまで万能 pH 試験紙で比色分析は行っていることから生徒も試験紙は使用しやすく、様々な油の酸化の条件を調べた結果、最も紫外線の影響が大きいという結論を導き出すことができた。

2・2・2 紫外線の吸収

日焼け止めについて探究した班は、色素によって紫外線が吸収される量を調べた。実験装置は光源に紫外線ライト、センサーはデジタル紫外線強度計 UV-340A を使用した。初めはブルーベリーに含まれるアントシアニンを抽出して濃度によって吸収の違いを調べていたが、食用色素の違いを調べたところ黄色色素が紫外線を非常によく吸収することが分かった。その黄色色素の成分であるタートラジンと同じ共役二重結合を持つケルセチン(玉ねぎに含まれる)について詳しく調べた。タートラジンと同様にケルセチンも非常によく紫外線を吸収するという結果を得ることができた。



図3 日焼け止め班の日記

3 おわりに

生徒は探究活動の時間に教科の授業では扱うことのない目的を持った測定を通して、化学を身近なこととして現実的に捉えることができていた。また、くり返し実験を行い条件を変えて、より精度の高いデータを収集していく中でわからないことは文献で調べるだけでなく、自ら試行錯誤して実験をして数値化して調べるという方法を身につけることができたと考えられる。こうした分析方法を身につけさせ、1年生から2年生へと知識を積み重ねていくことで、より発展的で深い探究活動につなげていきたいと考えている。

文 献

- 1) 村上雅彦：化学と教育，70, 90 (2022)。
- 2) 佐竹正忠，御堂義之，永廣 徹：“分析化学の基礎”初版，(1994)，(共立出版株式会社)。
- 3) 四訂版サイエンスビュー化学総合資料 (2020)，(実教出版)。

川野 和也 (Kazuya KAWANO)
大分県立佐伯鶴城高等学校 (〒876-0848
大分県佐伯市城下東町7番1号)。

高校の科学部活動で活用される分析化学

山口 悟

1 緒 言

高校生の科学部活動において分析化学は最も扱いやすい研究手法の一つである。これまで高校化学で行われてきた分析化学として、金属イオンを検出する定性分析や、酸塩基滴定及び酸化還元滴定を代表とする滴下法のような簡単なものが多かった。近年では、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）事業や色々な化学支援事業のおかげで、高校でも高度な分析機器を導入できる機会が多くなってきた。さらに、高大連携が進んだことにより高校にはない高度な分析機器を大学にお願いすることにより使用できるようになってきた。また、県の施設であれば、高校生が操作することはできなくとも、好意的にデータを取って頂いたりもする。そしてなにより、高校以外の社会的、学術的関係ができたおかげで、高校生が研究を通じて大学の先生や研究者と交流することができるため、高校卒業後の進路が明確になるという副次的な効果もある。そこで一例として、私が勤務した高校の科学部活動で行った分析化学を活用した研究について紹介する。

2 分光光度計を用いた河川中窒素の実験

茨城県立鉾田第二高等学校生物部では、落葉を利用した鉾田川の脱窒に関する研究¹⁾を行った。

茨城県鉾田市を流れる鉾田川は窒素濃度が環境基準値 10 mg/L (10 ppm) を超過し、大きな環境問題となっていた。そこで、鉾田川の窒素濃度を減少させることを目的とし、研究を行った。研究が始まった当初は鉾田川の現状を知るために、簡易分析ができる市販のバックテスト[®]を用いて水質調査を行っていた。鉾田川全域の水質調査を実施した結果、下流付近では窒素濃度は高かったが、窒素濃度の低い支流付近には草木が茂り、川底にたくさんの落葉が堆積していることが分かった。そこで落葉は自然の浄化作用において重要な役割を果たしていると考え、落葉を利用した窒素濃度減少の検討を行った。

実験が進むにつれ、部員たちは色見本を参照して目測で定性的に評価するバックテストでは、より正確な評価ができないと感じるようになっていた。そこで、還元とナフチルエチレンジアミン比色法を参考にし、高校でもできる範囲で、紫外・可視分光光度計を利用した

バックテストの定量化を試みた。まず、測定条件の最適化を行った。硝酸イオン NO_3^- 濃度が 1~10 ppm の水溶液を作製し鉾田川のモデル水とした。石英セルにモデル水とバックテストの試薬を加え、3分間よく振り混ぜた。分光光度計にセットし、539 nm の吸光度を測定した。その結果、バックテストで用いられる試薬の反応速度は室温と時間に大きく依存することがわかった。本検討より、 NO_3^- 濃度を定量評価する際には、バックテスト試薬を試料水に加え、10分後に 539 nm の吸光度を測定するという条件で詳細な定量分析ができることがわかった。図 1 では、バックテストを用いた色見本を目測した結果であり縦軸の値は階段状であったが、図 2 に示した分光光度計を用いた結果では、縦軸が定量化されたため、より正確な窒素減少の実験値が得られてい

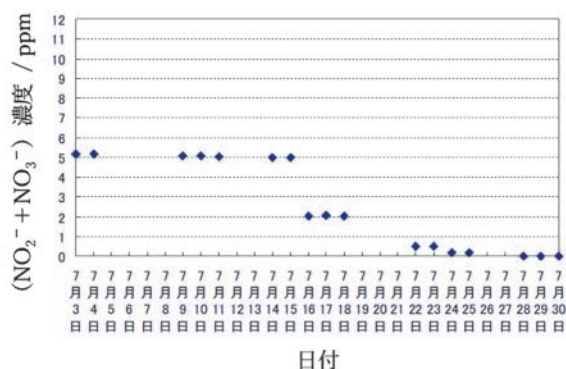


図 1 河川水と落葉（樺）をいれた水槽における亜硝酸イオン (NO_2^-) と硝酸イオン (NO_3^-) の濃度変化¹⁾

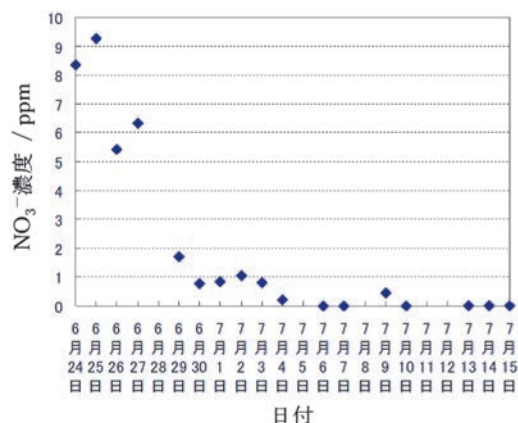


図 2 分光光度計とバックテストを用いたモデル水と落葉（樺）をいれた水槽における硝酸イオン (NO_3^-) の濃度変化¹⁾

る。部員たちは客観的評価の妥当性を理解するとともに、市販品を工夫することで本格的な研究にもできる経験が積めた。このような経験からか、得られた成果を発表したいという意識が生まれ、主体的に取り込む姿勢に変化していった。分光光度計という高度な機器を使ったことで、自分たちの研究に自信を持った結果であった。

3 分光光度計を用いたメイラード反応におけるアミノ酸置換基の影響の研究

茨城県立水戸第一高等学校化学部では、メイラード反応におけるアミノ酸置換基の影響²⁾、酸化亜鉛の光触媒作用による有機化合物の光分解反応³⁾、ドーブ型 ZnS : Mn²⁺ ナノ蛍光体の蛍光メカニズムの解明の研究⁴⁾において分光光度計を利用した。ここでは、メイラード反応におけるアミノ酸置換基の影響を紹介する。

メイラード反応とは食品中のアミノ酸、ペプチドやタンパク質と還元糖が反応してメラノイジンと呼ばれる褐色物質と風味成分が生成する反応である。その反応の例として、焼肉の焦げ目やホットケーキの焼き色、味噌や醤油の褐色成分の生成などが挙げられ、料理の色や風味に大きく影響する。したがって最適な調理方法を確立し、一般的においしいといわれるような料理を簡単に作るためにもメイラード反応の反応速度定数を求めることは重要である。さらに、非常に複雑なメイラード反応を理解するために、アミノ酸の持つ置換基がメイラード反応に及ぼす影響を明らかにすることも重要である。

メイラード反応は求核付加反応であるシッフ塩基形成からはじまる複雑な複合反応である。文献調査から、シッフ塩基形成過程からアマドリ転移を起こすまでの反応が律速段階であることが示唆された。したがって、アミノ酸より糖の量を過剰にすることで、メイラード反応は擬一次反応として扱うことができる。本研究では、メイラード反応を擬一次反応と近似し、高校の実験室レベルでの、定量的な反応速度定数の算出方法を検討した。

実験は、グルコース濃度をアミノ酸濃度の10倍になるように調整した混合水溶液を用いた。そのグルコース/アミノ酸混合水溶液をスクリーキャップ付き石英セルに入れオイルバスで加熱した。分光光度計を用い、メラノイジンの吸収極大波長である470 nmにおける吸光度を測定した。グルコース+アミノ酸→メラノイジンをA→Bの擬一次反応と仮定し、式(1)からメイラード反応速度定数を算出した。

$$\ln \frac{[B_x]}{[B_0]} = k(t_x - t_0) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、[B] はメラノイジンの濃度(吸光度)、*t* は加熱時間 [min]、*k* は反応速度定数 [min⁻¹] である。図3に470 nmにおけるメラノイジンの吸光度の加熱時間変化の測定結果を示す。これらの結果を擬一次反応と仮定したときのln([B_x]/[B₀]) と(*t_x*-*t₀*) の関係を

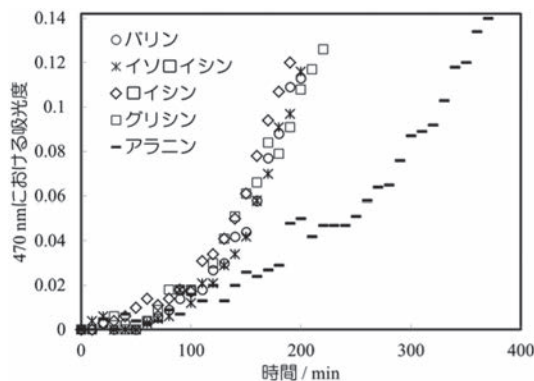


図3 470 nmにおけるメラノイジン吸光度の反応時間変化²⁾

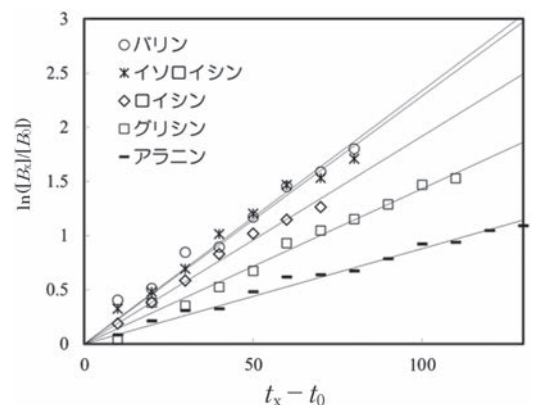


図4 グルコース/バリン、イソロイシン、ロイシン、グリシンおよびアラニン系における擬一次反応を仮定したときのln([B_x]/[B₀]) と(*t_x*-*t₀*) の関係²⁾

表1 バリン、イソロイシン、ロイシン、グリシン、アラニンの反応速度定数 [min⁻¹] と決定係数 R² 値²⁾

アミノ酸	反応速度定数/min ⁻¹	R ² 値
バリン	0.0233	0.9642
イソロイシン	0.0229	0.9719
ロイシン	0.0192	0.9854
グリシン	0.0136	0.9074
アラニン	0.0088	0.9842

図4に示す。それぞれのグラフの傾きから得られた反応速度定数*k*と決定係数R²値一覧を表1に示す。高校生でも反応速度論を学習し、分光光度計を用いることで定量的な反応速度定数を求める実験ができた。さらに、部員たちは得られた反応速度定数の比較からアミノ酸置換基がメイラード反応に及ぼす影響を分子構造に絡めて考察するなど、高度な分析機器を応用した結果として、高校生が伸びる可能性を感じ取ることができた。

4 組成、状態分析機器を利用したカラミ煉瓦作製方法の考案

茨城県立日立第一高等学校化学部で行った日立製カラミ煉瓦の作製方法の考案を紹介する⁵⁾。

茨城県日立市は、日本を代表する世界的企業である日

立製作所（多くの日立市民は通称として日製“につせい”と呼んでいる）の創業の地として知られている。日製の前身は久原鋳業株が運営していた、日本を代表する銅鉱山の日立鉱山である。日立鉱山では、銅を製錬する際に副産物として図5に示すカラミが大量に排出されていた。カラミは鉄を多く含むガラス質の物質であるため密度が大きく、例えばセメントの材料としても輸送コストがかかり、再利用もまた困難である。そのため現在でも市内にはカラミが大量に放置されている。カラミの数少ない活用例に“カラミ煉瓦”がある。カラミ煉瓦には独特のガラス質の風合いがあり、見た目に荘厳さを有するため、犬島精錬所美術館をはじめとし、全国各所の歴史的な建造物に用いられている。日立市では久原鋳業株日立鉱山が鉱夫の遊興を目的とし建築した旧共楽館（日立武道館）や日鉱斯道館の門柱（図6）など、日立市を代表する歴史的建造物に使われていることが確認されている。現在ではカラミ煉瓦は生産されなくなったことから、その製法の詳細が失われてしまった。カラミ煉瓦は歴史的建造物にも使用されているため、歴史的建造物が老朽化した際には必ず必要になり、今後需要が高まる可能性を有する。そこで本研究では、新たな産業の創出および持続可能な産業を意識した研究開発を行っていくという観点から、日立製カラミ煉瓦の作製方法を考案することを目的とした。

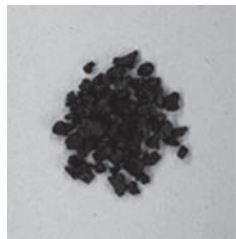


図5 銅の製錬時に炉内で分離されたカラミ⁵⁾



図6 日鉱斯道館の門柱に使用されているカラミ煉瓦⁵⁾

文献調査から、カラミ煉瓦の製造方法について、自溶炉から排出される液体スラグを鋳型に流し込む鋳造法で製造されていた可能性が高いことがわかった。構成成分と構造は走査型電子顕微鏡“SEM”，X線結晶構造解析“XRD”，蛍光X線分析“XRF”で解析した。表2にカラミ煉瓦とカラミの主成分分析結果を示す。また、日立市のカラミ煉瓦では、図7に示すように微量成分として硫黄（S）やヒ素（As）が含まれることが分かった。カラミからカラミ煉瓦製造を再現する実験を行った結果、粉末冶金法で製造することが可能であることが判明した。再現したカラミ煉瓦のXRF測定から、加熱することで微量成分のSとAsが蒸発することがわかった。各装置の分析結果から、カラミ煉瓦は鉄（Fe）を多く含むガラス質の物質、“鉄ガラス”のような性質であることが分かった。上記の条件をもとに、リスクのある元

表2 XRFによる日立市のカラミ煉瓦（黒色）、カラミ煉瓦（赤色）、カラミ、および足尾銅山のカラミの定量分析結果（元素比）⁵⁾

	Fe	Si	Ca	Al
カラミ煉瓦（黒色）	47.05	33.14	7.06	5.09
カラミ煉瓦（赤色）	62.01	16.77	5.67	3.84
カラミ	46.03	21.98	5.79	4.79
足尾銅山のカラミ	48.14	28.98	9.91	5.59

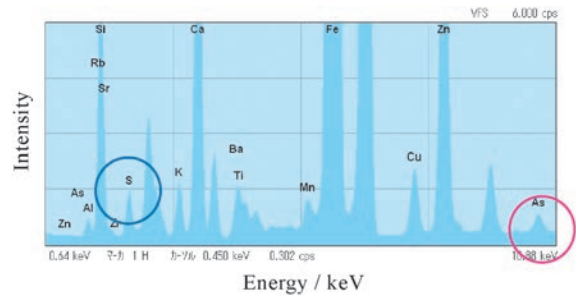


図7 日立市のカラミ煉瓦のXRFスペクトル⁵⁾

素を含まず、SDGsを意識したカラミ煉瓦を作製するため、リサイクル原料や日立市特有の原料を使用したカラミ煉瓦の試作実験を行った。その結果、リスクのある元素を含まない、安全で既存のものと同じ見た目も同じカラミ煉瓦を作製することができた。

カラミ煉瓦とカラミの解析において、XRF、XRD、そしてSEMなどと高校では扱うことのできない高価な分析機器が利用できた。茨城県の施設や、国の研究所、大学、民間の研究所や企業など、県立高校での研究であっても、前向きに高校生に貴重な機会を与えてくれた。部員たちはデータを理解するために、装置の測定原理から同定解析方法まで丹念に勉強を行った。本研究は、理学・工学的な内容だけでなく、産業の創出のような経済学・経営学的な側面も持った内容でもあり、部員の進路選択に大きく寄与した研究でもあった。改めて、高価な分析機器に高校生がふれる機会を与えてくれた方々に、心から感謝したい。

5 コンピュータシミュレーションを活用した滴定分析法用語の考察

茨城県立水戸第一高等学校化学部で実施した、多価酸⇌1価塩基滴定曲線と酸塩基滴定における学術用語についての考察⁶⁾を紹介する。

水酸化ナトリウムやアンモニア水といった1価塩基を塩酸や酢酸といった1価酸に滴下して得られる酸塩基滴定（中和滴定）曲線は、ほとんどの化学基礎の教科書や化学の資料に掲載されている。1価塩基をシュウ酸やリン酸といった多価酸に滴下した酸塩基滴定曲線も一部の資料には掲載がある。しかしながら、その逆である、多価酸を1価塩基に滴下した酸塩基滴定曲線はど

の教科書・資料にも掲載が無いことに注目した。そこで、多価酸を1価塩基に滴下した酸塩基滴定曲線を作成し、その形状を明らかにすることを目的とした。また、実験で作成した酸塩基滴定曲線の形を踏まえ、高校化学の酸塩基滴定の単元で使われる「第1中和点」、「第2中和点」といった用語についても議論した。ここで、酸塩基滴定の表現方法として、滴定溶液の酸を被滴定溶液の塩基に滴下する場合は“酸→塩基”とし、滴定溶液の塩基を被滴定溶液の酸に滴下する場合は“酸←塩基”とした。

実験方法はどの高校でも行われている酸塩基滴定実験を用いた。部員はこの実験を、水に溶けている二酸化炭素を脱気するところから丁寧にいった。多価酸として0.10 mol/Lのリン酸水溶液(H_3PO_4)、1価塩基として0.10 mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液(NaOH)を調製した。図8に多価酸←1価塩基、および図9に多価酸→1価塩基の酸塩基滴定の実験結果を示す。また、それらの図にはこの反応における文献値の酸解離定数 K_{a_n} ($n=1, 2, 3$ でそれぞれ一段階目、二段階目、三段階目の解離を示す)を変数として、コンピュータシミュレーションで求めた酸塩基滴定曲線の理論計算結果も示してある。実験値(○)と理論値である実線がほとんど一致する精度で実験を行うことができた。本実験から、多価酸→1価塩基滴定曲線は多価酸←1価塩基滴定曲線を縦軸で反転させたような形状をもっていることがわかった。また、多価酸←1価塩基滴定曲線においては、滴定溶液と被滴定溶液の濃度が等しいとき、滴定溶液の体積を V_1 、被滴定溶液の体積を V_2 とするとpHの低いほうから x 番目の当量点には式(2)の比例の関係式が成り立ち、多価酸→1価塩基滴定曲線においては、式(3)の反比例の関係が成り立つことがわかった。

$$V_1 = xV_2 \dots\dots\dots (2)$$

$$V_1 = V_2/x \dots\dots\dots (3)$$

図8(b)と図9(b)に、コンピュータシミュレーションから得られたイオンの分率の結果を示す。図8(b)では $\text{H}_3\text{PO}_4 \leftarrow \text{NaOH}$ 滴定曲線における PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 H_3PO_4 の分率の変化を示している。「第1中和点」は滴下量が20 mLのときに現れる。そのときの反応式は、 $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ で NaH_2PO_4 (H_2PO_4^-)が生成する。さらに滴下量を40 mLにすると、「第2中和点」が現れ、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ で Na_2HPO_4 (HPO_4^{2-})が生成する。また、酸塩基滴定曲線上では確認できないが60 mLには理論上は「第3中和点」が存在する。このようにイオンの分率から、それぞれの当量点(高校化学では中和点と言う)で生じるイオンを同定できた。さらに本研究から、現在の高校化学の教科書や資料で用いら

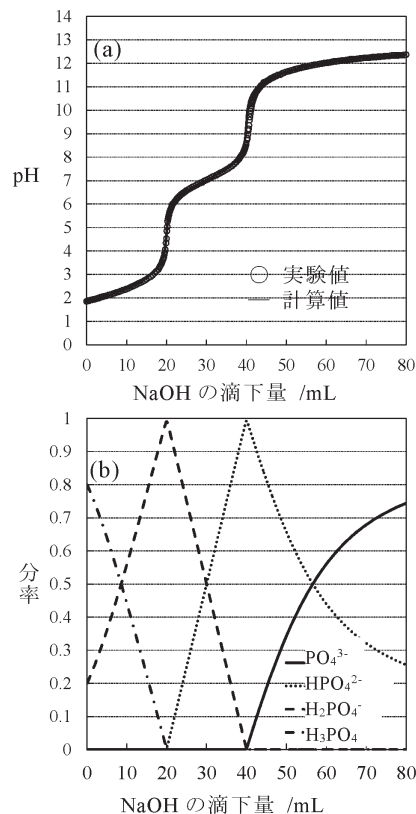


図8 多価酸←1価塩基の滴定結果⁶⁾

- (a) $\text{H}_3\text{PO}_4 \leftarrow \text{NaOH}$ 滴定曲線
- (b) $\text{H}_3\text{PO}_4 \leftarrow \text{NaOH}$ 滴定曲線における PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 H_3PO_4 の分率

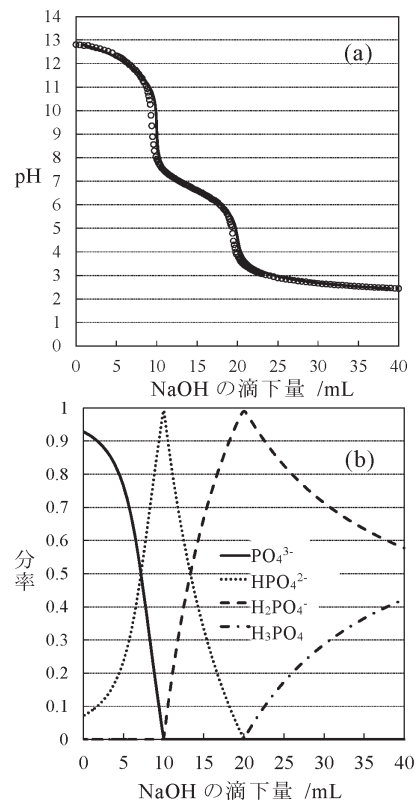


図9 多価酸→1価塩基の滴定結果⁶⁾

- (a) $\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{NaOH}$ 滴定曲線
- (b) $\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{NaOH}$ 滴定曲線における PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 H_3PO_4 の分率

れている「第1中和点」,「第2中和点」という用語は,それら当量点で起こる反応を明確にできないこともわかった。その理由は,図8の多価酸←1価塩基の滴定曲線においてそれぞれの当量点の名称を現れた順番から「第1中和点」,「第2中和点」,「第3中和点」とした場合,その用語を図9に示す多価酸→1価塩基滴定曲線に用いると,図9(b)のシミュレーションの結果から「第2中和点」の HPO_4^{2-} が先に現れて,「第1中和点」の H_2PO_4^- が後に現れるという矛盾が生じてしまう。そもそも, $\text{H}_3\text{PO}_4 \leftarrow \text{NaOH}$ 滴定曲線における第1,第2,第3中和点で起こっている反応すべてが中和反応なのかも疑問である。そこでより適当な用語として,“中和の当量点”や“塩の当量点”という用語を提案した⁶⁾。

本研究は,単純な滴定法による酸塩基滴定実験であるが,改めて高校の教員として多くを学べた。高校で学習する化学基礎の教科書にある第1中和点や第2中和点という名称は単なる思い込みであると認識できた。高校生自身が教科書や資料に疑問を持ち,その裏付けを証明できるような実験をしたことは高い評価を与えられる。

6 界面活性剤構造が洗浄力に与える影響

茨城県立水戸第一高等学校化学部で行った界面活性剤の炭化水素基の構造が洗浄力に与える影響⁷⁾と茨城県立日立第一高等学校化学部で行った動植物性油脂から合成された界面活性剤の洗浄力に関する研究⁸⁾を紹介する。

これら二つのテーマに共通しているのが界面活性剤である。まず,界面活性剤の分子が集まって球状になる最低濃度の臨界ミセル濃度“CMC”を求める際に,高校の実験室でも簡単に行える滴下法を利用した。ホールピペットを用い,各界面活性剤水溶液を量り取り,溶液がすべて滴下し終わるまでの水滴の数である滴下数“ n ”を測定する。溶液の表面張力 γ は式(4)で表される。

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{n_0 \rho}{n \rho_0} \dots\dots\dots (4)$$

ここで,添え字の0は蒸留水を示している。

本実験では,低濃度の界面活性剤溶液において n を測定したため, $\rho/\rho_0=1$ と近似して, γ を算出した。溶液の γ と濃度“ c ”の関係式は式(5)のGibbsの吸着等温式で表現される。

$$\frac{\Delta\gamma}{\Delta \ln c} = -2RT\Gamma \dots\dots\dots (5)$$

ここで, R , T ,および Γ はそれぞれ,気体定数,溶液の絶対温度,および表面過剰量を示している。実験において, T は一定であり,CMCに近づくにつれ Γ も一定となる。CMC以上の濃度においては,界面活性剤分子は溶液の水面を全て覆うため, γ は一定値となり, $\Delta\gamma/\Delta \ln c$ は0となる。したがって, γ を $\ln c$ に対してプ

ロットし, γ が飽和し一定となる c をCMCと定義できる。図10にオレイン酸Na(炭素数18,二重結合1),リノール酸Na(炭素数18,二重結合2)及びリノレン酸Na(炭素数18,二重結合3)の結果を示す。破線の丸で囲んだ折点がそれぞれのCMCである。この水戸一高で行われた研究は,CMCと密接に関係のある洗浄力に与える分子構造の影響についての考察であり,ミセル形成とともに洗浄力が変化し,CMC以上では洗浄力は一定であることがわかった。

日立一高では,現在SDGsを意識した商品開発が重

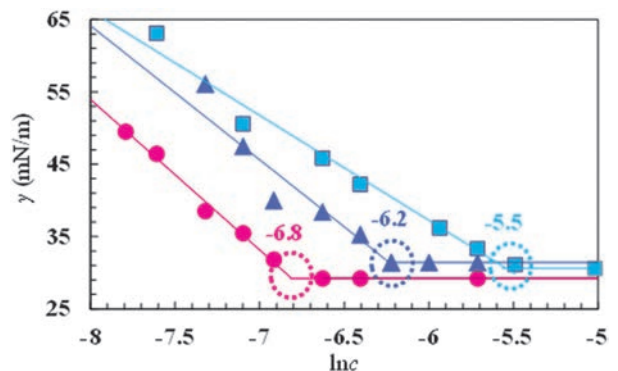


図10 オレイン酸Na(●),リノール酸Na(▲),およびリノレン酸Na(■)の表面張力測定の結果⁷⁾

要視されているという背景の下,化石燃料を使わない自然由来の洗剤を開発する研究を行った。洗浄力の高い自然由来の洗剤を提案するために,身近にある様々な種類の動植物性油脂から界面活性剤を合成し,洗浄力の指標となるCMCを評価した。図11に8種の動植物性油脂のCMCの実験値と界面活性剤を構成する脂肪酸Naの組成の比較を示す。これらのデータから,界面活性剤を合成するには油脂の平均分子量が大きく,油脂を構成する脂肪酸の種類が少ないことが重要であることがわかった。また,この研究では部員が率先して非常に入手し難い鯨油を求め,取扱業者を調査し,探し当てた。研究を説明したところ,ご好意で鯨油を無償で提供していただける貴重な経験が積めた。

CMCが小さいということは,低濃度でも洗浄性を示すと考えられるため,例えば1回の洗濯に使われる界

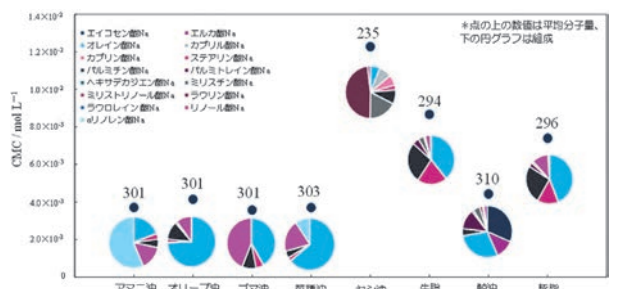


図11 CMCの実験値と界面活性剤を構成する脂肪酸Naの組成の比較⁸⁾

面活性剤の量が少なくて良いとも考えられる。水戸一高化学部で行った界面活性剤の炭化水素基の構造が洗浄力に与える影響⁷⁾では、洗浄力を CMC から予想するだけでなく実際に洗浄力を測定し、その違いを評価した。専門の先生を探し、その先生に洗浄力測定を依頼するのではなく、実際に自分の手でやりたいと伝えた結果、長期休業日を使って大学の先生の指導の下、洗浄力測定を部員自身でできることになった。実験方法は以下の通りである。汚染されていない布“原布”と湿式人工汚染布“汚染布”とその洗浄後の布の 600 nm における表面反射率“R”を分光色差計で測定し、評価する。実際の洗濯機で洗う状態に近づけるために入れる白い布“白布”および汚染布を投入し、攪拌式洗浄力試験機を用い洗浄した。洗浄後の汚染布“洗浄布”を十分に乾燥した後、R を測定した。原布、汚染布、および洗浄布の R から、式 (6) に示した Kubelka-Munk 関数を用い K/S 値を求め、式 (7) より洗浄率“ D_{KS} ”を算出した。

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \dots\dots\dots (6)$$

$$D_{KS} = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_0} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

ここで、添え字の 0, s, および w はそれぞれ、原布、汚染布、および洗浄布を表している。表面張力測定から、CMC の値が最も小さいのはオレイン酸 Na であることがわかった。各界面活性剤の CMC を目安とし、洗浄力測定を行った結果を図 12 に示した。図から、いずれの界面活性剤も洗浄率 D_{KS} は約 65% で最大となることがわかった。また、 D_{KS} が最大となる界面活性剤の濃度 c の値において、最も小さいのはオレイン酸 Na であった。したがって、二重結合の数が最も小さいオレイ

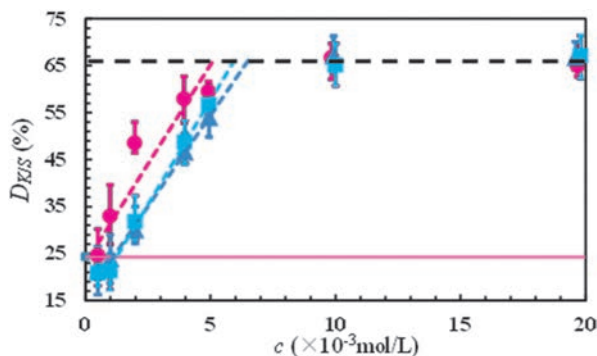


図 12 各界面活性剤における布の洗浄率⁷⁾
 オレイン酸 Na の D_{KS} (●), リノール酸 Na の D_{KS} (▲), リノレン酸 Na の D_{KS} (■), および水の D_{KS} (実線)

ン酸 Na が低濃度において高い洗浄力を示すことがわかった。部員は高度な半経験的分子軌道法を用い、分子構造の最適化をシミュレーションし、本研究をまとめた。その結果、市販の洗剤に用いられている界面活性剤の多くが、直線形の飽和炭化水素基から構成されている理由も考察できた。高校でも難しい量子化学を利用し、身近なところの考察まで発展できたことは、部員が主体的に自立した研究ができた結果であると考えられる。

7 結 言

本報は、私が高校の科学部活動で行った分析化学を用いた研究の一部である。高校での研究において、分析化学は最も身近にあり、分析化学は研究の面白さを体験できる有用なツールである。この研究活動を通じて生徒たちは、高校の勉強でのイメージがインプットからアウトプットに変化したようであった。国や県の研究機関、民間企業、そして大学が、高校の理数教育の充実のために前向きに支援をしていただけたことに心から感謝したい。現在の高等学校において、教科指導だけでなく、課題研究が重要な位置を占めてきていると感じている。したがって、私たち教員も教科指導だけでなく、研究指導ができるようになるための研鑽が必要であると考え、そして私たち教員がアップデートしながら生徒たちと議論し、共に成長していければ幸いである。

文 献

- 1) 塚本和貴, 山口 悟: *student chemistry*, **1**, 14 (2019).
- 2) 富田季里呼, 松田樹生也, 山口 悟: *student chemistry*, **1**, 39 (2019).
- 3) 東ヶ崎 駿, 山口 悟: *student chemistry*, **1**, 50 (2019).
- 4) 鈴木佳太, 北村 峻, 郡 涼太, 山口 悟: *student chemistry*, **2**, 5 (2020).
- 5) 今野馨琳, 木村菜々美, 山口 悟: *student chemistry*, **2**, 22 (2022).
- 6) 西野光太郎, 山口 悟: *student chemistry*, **1**, 1 (2019).
- 7) 小泉勇樹, 山口 悟: *student chemistry*, **1**, 27 (2019).
- 8) 齊藤美樹, 立山愛莉, 川本琴美, 山口 悟: *student chemistry*, **2**, 12 (2021).



山口 悟 (Satoru YAMAGUCHI)
 茨城県日立第一高等学校 (〒317-0063 茨城県日立市若葉町 3-15-1). 博士 (学術).
 E-mail: yamaguti-satoru@mail.ibk.ed.jp

都立多摩科学技術高校における分析化学教育

田中 義 靖

1 多摩科学技術高等学校の特徴

1-1 科学技術科

本校は科学技術科の学校であり、生徒たちは科学技術科の3年間の授業で探究活動を体験する。

科学技術科は四つの領域（インフォメーション、エコ、バイオ、ナノ）に分かれていて、生徒たちは2年生になったときに、どの分野で探究活動を行うかを決めることになる（領域選択）。

生徒たちは、1年生の授業では、四つの領域の基礎を学習し、自分が研究したい内容に関係が深い領域を選ぶ準備をする。その後、2年生になったときに、所属する領域での「課題研究」という授業で探究活動を行う。その後、3年生の「卒業研究」で探究活動の総まとめを行う。

1-2 SSH 事業

本校は、前述の「課題研究」や「卒業研究」などの特色ある教育課程に加えて、文部科学省からはSSH（スーパーサイエンスハイスクール）の指定を受け、大学や研究機関の研究者の協力によるアドバイザー制度やグローバルな科学技術人材育成のための海外研修を活用し、未来の科学技術者の基礎を作り、世界で活躍する科学者や技術者を志す生徒たちを育てている。

さらに、2023年度からは、科学技術人材育成重点枠の指定も受けて、最先端のシミュレーションソフトを活用して生徒たちが地球規模の課題解決に取り組むことで、イノベーションを生み出す人材が育成される仕組み（カリキュラム）の開発に尽力している。

2 通常授業での分析化学実験

2-1 化学科

本校の化学科の実験授業では、特に発展的な実践は行っていない。実践している分析化学的な実験は中和滴定や酸化還元滴定である。これらを1年生の化学基礎の授業で体験させることにより、領域選択の際の参考になるように工夫している。

2-2 科学技術科

1年生の「工業技術基礎」のエコテクノロジー領域（以下、ET領域）では、以下の実験実習を行っている。

（表記はオリジナルテキストの目次の掲載に従っている。）

- I. ガラス細工
- II. 液体の比重測定
- III. 植物色素（ペーパークロマトグラフィー）
- IV. 酸・塩基の性質及び物質質量
- V. 第1属陽イオンの定性分析
- VI. 第3属陽イオンの定性分析
- VII. 溶球反応

このように基本的には分析化学の内容を生徒たちが体験できるようになっている。

この授業の各項目で生徒たちに体験してもらっている実験の特徴を次に示す。

「液体の比重測定」では、塩化ナトリウム水溶液の比重測定を体験させるが、同時に濃度-比重曲線を作成させて、未知試料の濃度を検量線から求める体験もさせている。

「植物色素（ペーパークロマトグラフィー）」では、Rf値だけでなく、可視・紫外吸収スペクトル法での分析やランバート-ベールの法則の確認なども体験させている。

「酸・塩基の性質及び物質質量」では、指示薬を利用して酸や塩基の水溶液の性質について理解を深める授業を展開している。

「第1属陽イオンの定性分析」では、当然、第1属の陽イオン（ Ag^+ 、 Hg_2^{2+} 、 Pb^{2+} ）の定性分析を体験させている。水銀イオンは普通科の化学の授業では扱わないので特徴のある授業であると言える。また、この実験ではフローチャートを使って操作の確認を行わせている。

「第3属陽イオンの定性分析」では、第1属の実験に引き続き、第3属の実験を行うが、普通科の高校で扱わない確認実験を体験させている。

例えば、 Al^{3+} と Cr^{3+} の確認は普通科の授業では行わない、作業としては以下ようになる。

ろ過したろ液を蒸発皿に移し、蒸発させ濃縮し、10 mL程度にする。フェノールフタレインを1滴加えておき、6 mol/L 酢酸を滴加し、赤味が消えるまで加え続ける。赤味がなくなったら加えるのをやめ、試料を二つに分ける。一方に、0.2% アルミニウム溶液を数滴加え、お湯につけて1、2分間放置する。湯浴後、1 mol/L 硫酸アンモニウムを滴下し、観察する。ここで、Alがあれば赤色沈殿が生じる。もう片方に0.5 mol/L 酢酸鉛(II)

を滴下し、観察をする。黄色沈殿が生じれば Cr が存在する。

「溶球反応」では、電子の励起状態の原理の話からホウ砂球の色と金属元素の関係の説明までを行っている。

2年生の「科学技術実習」では、以下の実験実習を行っている。(表記はオリジナルテキストの項目などの記載に従っている。)

1. 環境化学

- ET-01 バイオエタノールの製造
- ET-02 単蒸留
- ET-03 固形燃料の製造と燃焼試験
- ET-04 PET のケミカルリサイクル
- ET-05 廃油を利用したセッケンの製造

2. 無機化学

- ET-06 蒸留と再結晶
- ET-07 成分元素の検出
- ET-08 塩素・塩化水素の性質
- ET-09 硫黄の化合物
- ET-10 窒素の化合物
- ET-11 金属イオンの反応

3. 有機化学

- ET-12 脂肪族炭化水素の性質
- ET-13 アルコールとアルデヒド
- ET-14 カルボン酸とエステル
- ET-15 ベンゼンのニトロ化
- ET-16 ジアゾ化とカップリング
- ET-17 6, 6- ナイロン

4. 合成化学

- ET-18 結晶硫酸銅の合成
- ET-19 アルミ缶から明礬の合成
- ET-20 サッカリンの合成

5. 物理化学

- ET-21 物理化学の実験
- ET-22 液体の密度測定
- ET-23 液体の粘度測定
- ET-24 液体の表面張力
- ET-25 液体の屈折率
- ET-26 ファラデー定数の測定
- ET-27 固体の密度
- ET-28 滴定曲線の作成

6. 機器分析

- ET-29 酒類中に含まれるエタノールの定量
- ET-30 酒類中の還元糖の定量
- ET-31 酒類中の Ca, Mg の定量
- ET-32 酒類中の香気成分の定性

各項目の操作の中での分析化学的な内容の詳細は次のようになっている。

「バイオエタノールの製造」では、屈折率と濃度の検

量線を使って、製造したエタノールの濃度を決定させている。

「固形燃料の製造と燃焼試験」では、製造した固形燃料で水を温め、その水の得た熱量を温度変化から求めさせている。

「PET のケミカルリサイクル」では、ペットボトルの小片を分解して得られた物質を赤外分光分析装置で測定させ、純正品との比較を行わせている。

「廃油を利用したセッケンの製造」では、ヨウ素価やけん化についての説明をしている。

「金属イオンの反応」では、鉄イオンを中心に溶液の呈色や有色の沈殿の生成を確認し、それらの反応でイオンの種類を判断できることを体感させている。

「物理化学の実験」では、溶液の調製やデータ処理やグラフの書き方などを指導している。

「液体の密度測定」では、比重ビンを用い、濃度-密度曲線(検量線)を作成して、エタノールの濃度を求めさせている。

「液体の粘度測定」では、液体の粘性について理解を深めた上で、粘度計を用いての粘度測定と、粘度-濃度曲線(検量線)を使っての濃度決定を体験させている。

「液体の表面張力」では、デュヌイ表面張力計を用いて表面張力を測定し、濃度-表面張力曲線(検量線)を使ってのエタノールの濃度決定をさせている。

「液体の屈折率」では、アッペの屈折計で屈折率を測定し、濃度-屈折率曲線(検量線)を作成し、濃度を測定させている。

「ファラデー定数の測定」では、銅電量計を使ってファラデー定数を確認させている。

「固体の密度」では、アルキメデスの原理を使って密度の測定を行わせている。

「滴定曲線の作成」では、pH メーターを使って、滴定量と pH の曲線の他に、滴下量の変化量に対する pH の変化量のグラフも作成させている。

「機器分析」では、次の機器を体験させている。

- ・ガスクロマトグラフ装置
- ・紫外可視赤外分光光度計
- ・偏光ゼーマン原子吸光光度計
- ・ガスクロマトグラフ質量分析装置

3 探究活動での分析化学実験

3・1 化学科

2013 年度の化学グランプリ二次試験の実験を体験できるワークショップを自校と他校の生徒を対象に実施している。

内容は、水道水と硬度の異なる飲料水の残留塩素や塩化物イオンや全硬度をバックテストで測定してどの試料がどの飲料水かを当てる実験である。最終的には金属指示薬を使って EDTA で硬度をより正確に測定させている。

3・2 科学技術科

分析が関係している探究活動に、次のようなものがある。

「硫黄細菌による金属ごみの処理」：硫黄酸化細菌などの影響で硫酸が生み出されることによる下水道管の腐食が問題になっている。この現象からヒントを得て、硫黄酸化細菌を活用した金属ごみの処理を研究している。自然環境中の硫黄酸化細菌を培養し、生産された硫酸の量をイオンクロマトグラフィーで測定している。

「キットサンプラスチックの合成」：プラスチックのごみの問題は深刻であり、ラップなどのフィルム類は回収やリサイクルが難しい。そのため、生分解性のプラスチックを使用することが解決の一助となると考えた。キットサンをホルムアルデヒドで架橋させたものと、キットサン溶液に塩化マグネシウムを加えたものを準備させ、乾燥させた。できた製品をフーリエ変換赤外分光光度計による評価を行った。

「セイダカアワダチソウの除草効果の検証」：セイダカアワダチソウの抽出液には発芽抑制があることがわかっている。発芽抑制効果を確認するため、小松菜、トマト、オクラの種を抽出液が染み込んだ脱脂綿にまいて発芽率を計測したところ、小松菜とオクラで発芽が抑制されることが確認できた。そこで、セイダカアワダチソウの発芽抑制の効果を持つ化合物を精製すること考えた。該当の化合物の検出と定量に HPLC 蛍光分析計を用いた。

「ミカンポリフェノールを用いた金属吸着」：皮はそのほとんどが利用されず廃棄されていたミカン。しかし、ミカンの皮に含まれているポリフェノールには金属を吸着する特性が確認されている。そこで、ミカンの皮による金属吸着について評価した。金属の濃度については誘導プラズマ発光分析装置 (ICP-OES) によって評価する。

「リン資源のリサイクル」：リンは農業用肥料や P 型半導体の原料となる重要な枯渇性の資源である。リンを廃棄される食用動物の骨より強酸での処理で取り出す。取り出したリンの定量はモリブデン青法で呈色したサンプルを紫外可視分光光度計に供することで行った。

4 本校にある分析機器

本校の主な分析機器を次に挙げる。

- ・高速液体クロマトグラフ装置及び高速液体クロマトグラフ質量分析計
- ・イオンクロマトグラフ装置
- ・フーリエ変換赤外分光光度計
- ・紫外可視分光光度計及び遠赤外線可視分光光度計

- ・ガスクロマトグラフ装置及びガスクロマトグラフ質量分析計
- ・X線解析装置
- ・原子吸光分析装置
- ・蛍光 X 線分析装置
- ・誘導結合プラズマ発光分光分析装置
- ・全有機炭素計
- ・走査型電子顕微鏡

5 SSH 指定校での分析化学教育

SSH 指定校では、高校生たちによる高度な探究活動が行われているが、本校のように機器が揃っている学校ばかりではない。その場合、大学などの研究機関の機器を借りることになる。

本校でも、コーヒーの抽出後の残渣を使って有機フッ素化合物を除去する研究を部活動で行っていた生徒たちが、京都大学の研究室を訪問して自分たちの実験の成果物（残渣を通過させたあとの水溶液）の分析をしていた。その際には、研究室の教授から分析の原理の説明を受けていた。

本校では、1 学年と 2 学年が、実習の時間で分析の原理と機器の取り扱い方の説明を受ける。他校では、人数は制限されてしまうが、大学の学部で行われている実験を体験する機会を設けている場合があり、そこで、様々な分析機器の原理を知り、操作の体験ができる。

また、他校では、高校の化学の教科書に記載されている化学反応を利用した定量分析を使って研究している生徒もいる。例えば、ヨウ化物イオンとの反応でオゾンの量を測定していた。このような工夫は指導教諭との対話での分析化学的な教育が行われたものと思われる。

さらに、最近では、生徒たちが研究成果を発表する場において大学などの研究者からコメントをもらう機会が増えた。その結果として分析化学をきちんと理解すべきであるという認識が広がりつつある。

SSH 校のこのような実践が SSH 校でない通常校に普及すれば、高校の教育現場でも分析化学の内容を踏まえた指導が行われるようになり、化学の本質に迫る授業が広がるものと期待される。



田中 義靖 (Yoshiyasu TANAKA)

東京都立多摩科学技術高等学校 (〒184-8581 東京都小金井市本町 6-8-9)。東京理科大学理学部。理学士。《現在の研究テーマ》理数教育や探究活動での指導方法の改善。《主な著書》「[575 化学実験] 実践ガイド」, (丸善出版)。

E-mail : aaatnk@nifty.com (自宅)

計量証明事業所における分析業務の特色と伝承

管 雅 英

1 はじめに

1・1 計量証明事業所と環境分析

計量法に基づく環境の計量証明事業の区分には化学分野の濃度、物理分野の音圧レベル、振動加速度レベルがある。ダイオキシン類など一部の項目は、特定計量証明事業の特定濃度として区分が定められている。

また、濃度の場合、計量証明ができる媒体は、大気、水質または土壌であり、結果は法定単位によるものと定められているが、計量証明事業所では産業廃棄物やアスベストなどのほか、他の法令により測定機関として事業登録が必要な作業環境測定、水道水・飲料水検査など様々な環境試料を分析していることも多い。

1・2 法令との関わり

1960年代の高度経済成長期には公害が大きな社会問題となり1967年に公害対策基本法の制定、有害物質等測定値の信頼性と精度向上のため1974年計量法の改正により環境計量士および環境計量証明事業所の登録制度が開始された¹⁾。その後、地球規模の環境保全・環境問題に対応するため、公害対策基本法に代わり1993年環境基本法が制定された。このように環境法令と計量法は

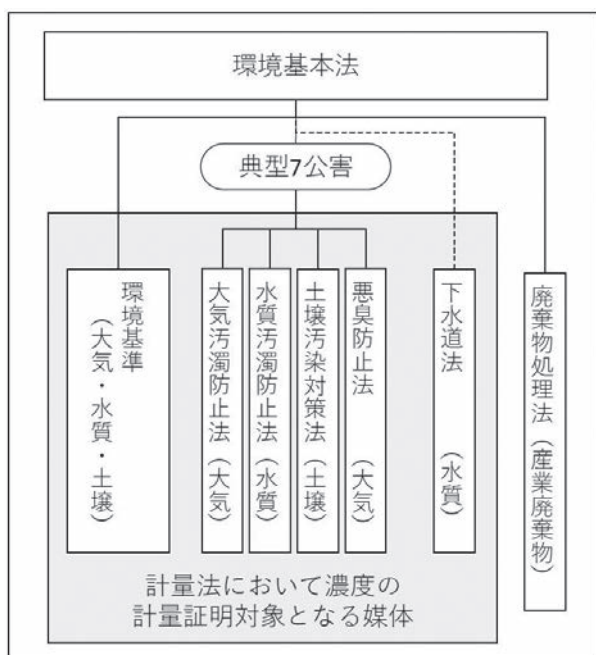


図1 環境法令と濃度計量証明の関係

密接に関係している。

環境の法令は非常に多いため、法令の要求事項に合致した試験を行わなければ分析結果は意味を成さない。

水質を例にとると、環境汚染の状況把握には環境基準の適用、排水では放流先に応じて水質汚濁防止法または下水道法に従うこととなる。さらに、排出基準は自治体の条例も適用されるので、施設の情報も把握しなければならない。

そのほかにも厚生労働省所管の水道水、作業環境なども基準値および試験方法の規定があるため、それぞれの法令に従わなければならない。

このように環境分析は同じ媒体や項目であっても、目的や由来によって適用法令が異なり所管省庁が多岐にわたるため、法令は横断的に理解しておく必要がある。

2 分析業務の特色

2・1 試料採取

2・1・1 試料採取の重要性

環境分析は、試料採取から分析実施まで一連の操作を行うが、いくら精度の高い分析を行っても試料採取の良し悪しで分析結果に大きな影響を与えるため、試料採取の目的と意義を理解したうえで実施しなければならない。

試料採取道具や容器は測定項目に影響を及ぼさない材質で行い、保存には冷暗所とし、分析項目に応じた保存処理を行うなど、基本的な採取方法は媒体や項目ごとにJIS規格や環境省の各マニュアル等で規定されている。

分析結果が全体を代表する値となる試料採取を行うためには分析の全般的な背景を理解している熟練者の監督下で行うことが望まれる。

試料採取時の現地の状況は分析の実施、結果の検証と評価を行う上で重要な情報となる。例えば河川調査では試料水の外観、気温・水温、pH、透視度、電気伝導度などを測定し、採取日時、前日と採取時の天候、周囲の状況、その他気づいた点を記録しておく。観察力が必要な作業でもある。

2・1・2 教育訓練の意義

計画的な試料採取がある一方、緊急対応が必要な試料採取もある。例えば工場から有害物を含んだ排水が流出するなどの水質事故が発生した場合、採水地点の選定、

水質事故の発生状況や周囲の観察，現地での簡易測定など緊急対応が必要になってくる。現地業務の知恵は経験を重ねることで身につくことも多いため，試料採取はOJTを行う上でも重要な機会と捉えている。

2・1・3 安全対策

河川調査の場合，試料採取や流量測定のため直接川に入ることも多い。現地ではヘルメットやライフジャケットを着用し原則2人以上で調査を行うなど，状況に合わせた安全対策を徹底しなければならない。

また，試料採取は自然環境中だけでなく，顧客施設で採取する場合もある。排ガス測定では高所作業や高温施設での安全対策，排水採取では排水の接触を避けるために保護手袋，保護メガネやマスクの着用，建設現場での土壌採取では周囲の重機に注意するなど，採取場所に応じた安全対策を講じなければならない。

顧客施設内での採取は施設内のルールを遵守し，地下水調査では一般家庭の井戸から採取する場合もあるので訪問先への配慮も必要になる。



図2 河川試料の採取状況

2・2 環境分析の特色

2・2・1 分析の特徴

環境の分析では，カドミウムなどの元素やテトラクロロエチレンなど化学物質の濃度を測定する項目と，水質汚濁の指標であるBOD（生物化学的酸素要求量）やCOD（化学的酸素要求量）のような条件分析の項目がある。有機物が過剰に存在すると水中の溶存酸素が低下して環境悪化を招いてしまう。BODなどは有機物が環境に及ぼす影響を考慮した条件での分析とも言える。

また，水質の環境基準には大腸菌数，自治体の排水基準には外観，においがあり，化学分析に加え，微生物試験や官能試験も行われる。

さらに，土壌汚染対策法による土壌含有量試験は，経口摂取した土壌が胃酸によって有害物が溶出，体内吸収されるリスクを想定しているため，1 mol/L 塩酸への溶

出量を換算し含有量として扱っている。土壌に含まれる対象物質の全量ではないことに注意を要する。

このように，環境中の挙動や人体に及ぼす影響を想定した項目や試験方法があるのは環境分析の特徴といえよう。

2・2・2 情報の重要性

環境分析では，処理前の廃液のように環境汚染物質を高濃度に含む試料を扱うことがある。事前情報があれば分析や周囲への影響を考えて取り扱うことができるが，情報のない試料も扱っているため，予期せず器具や分析装置を汚染してしまうケースもまれにある。分析に影響がありそうな情報を分析者に伝えることは，分析結果の品質に影響を及ぼすだけでなく，分析者の安全を確保するためにも必要なことである。

2・3 計量管理

適正な計量を行うため，計量法第109条において計量士が計量管理を行い，計量器の整備，計量の正確の保持，計量の方法の改善その他適正な計量の実施を確保するために必要な措置を講ずること，と定められている。具体的には，標準作業手順書の整備，測定機器の日常点検・定期点検，二重測定，回収試験，ブランクチェックなどの内部精度管理の実施，外部精度管理の参加，目的に応じた適正な試験方法の選定などがあげられる。

分析結果の検査は依頼内容との整合性，試料由来や採取時の情報を勘案して結果の妥当性や記載の誤りがないことを確認し，計量管理者の承認を受けてから依頼者に報告する，というプロセスで実施している。

3 技術の伝承

現在の分析は自動化が進み，手順通りに実施すれば分析結果は比較的容易に得られるようになった。しかし，分析結果の妥当性を評価するためには，試料採取状況や試料の性状の確認，分析操作や測定機器の特性を理解する必要がある。分析者の力量を向上させるための当社の取り組み事例を紹介する。

3・1 SOPの活用

環境分析の試験方法は，JIS規格や環境省告示など法令で定められているが，試料によっては規格だけでは妨害物質の影響を除くことができない場合もある。熟練者は長年の経験から得た知見や分析操作のポイントを熟知しているが，これを組織の共有知識とするため，SOP（standard operating procedures，標準作業手順書）に分析上の注意点，操作ポイントの記述や写真等を挿入して理解しやすいような工夫を心掛けている。いわゆるナレッジマネジメントとして暗黙知から形式知に変換することで技術を伝える手段の一つとしている。

3・2 技術検討会

筆者の所属している部署では、組織全体の技量向上を目的とし、技術検討会と題し勉強会を定期的に開催している。試料採取等で客先に訪問する機会も多いため、環境分析だけでなく、設備の不具合や材料調査など化学分析の手法を用いた調査の相談を直接受ける場合もある。そのためには分析技術の向上に加え調査、考察、改善提案など総合的な能力を高める必要がある。

技術検討会では分析化学・機器分析の基礎、環境関連法や計量法、化学物質に関する法令など環境分析を行う上での必要な知識、調査事例などをテーマとしている。

期首に年間計画を立案し、上位技術者や指導者が講義を行う場合や分析者が自己の担当項目の説明を行い、習熟度を確認するなどの運営を行っている。また、法改正の解説や新分析技術の情報も適宜発信している。



図3 技術検討会の風景

3・3 精度管理

分析の信頼性確保及び精度の維持向上を図るために精度管理を実施している。内部精度管理では、主にばらつき、外部精度管理でデータの偏りを監視している。

外部精度管理では、環境省の環境測定分析統一精度管理調査や関係団体が主催する精度管理（例えば一般社団法人日本環境測定分析協会が主催する技能試験など）に参加している。

試験実施の際、分析者が中心となり操作の注意点を洗い出ししうえで実施計画を立案する。分析者を交えて技術管理者や経験者が各ポイントでの確認、助言や分析に立ち会い、試験結果を検証して報告値を確定している。また、報告値の評価で不具合が生じた場合は関係者と共に原因を抽出して改善している。これらのプロセスを分析者を行うことで技術を伝える機会としている。

3・4 外部発表

日常的分析業務で遭遇した疑問や問題点を取り上げ、所属する関係団体が主催するセミナーでの事例発表や機

関誌への寄稿など、外部での研究発表を積極的に行っている。

発表者の経験年数や熟練度に応じて指導内容は変わってくるが、上位技術者が指導・助言を行う中で技術を伝える機会としている。

また、外部に出ることで他社の技術者との情報交換の機会が増すことも分析者の成長に繋がると考えている。

3・5 日常業務での教育

日常業務にOJTを取り入れて教育を行っている。

排水など定期的に試験を行っている案件は妥当性確認の一つとして過去のデータとの比較を検査に取り入れている。分析結果に大きな変動があった場合、分析者とともに分析手順、試料の性状、チャートや分析記録を確認しながら分析の注意点やデータチェックのポイントの説明を行い、分析者が試験結果を自ら評価できるように指導している。

また、分析者には試薬添加の量を倍にする、添加の順番を変える、など分析の手順をわざと変えると分析結果にどんな影響が出るかを実際にやらせるなど、興味を持たせることで、考えるきっかけづくりを試みている。

4 おわりに

1974年の計量法改正により環境計量証明事業制度が開始されてから間もなく半世紀を迎える。環境分析は公害対策から、地球規模の環境対策へと移り、新たな項目や微量の分析が増えているが、根底にはこれまでの技術が基礎となっている。

先達の技術を受け継いで後世へ伝えてゆくことは技術者の育成と組織の知識の蓄積に他ならない。かつては熟練者が傍らにおり、機会があることに指導する場面もあったが、機械化や自動化が進んだ現在では、一人で作業を行うケースも増えて原理原則を知らなくとも分析値を得ることが出来るようになったため、技術者の育成が重要になってくる。

また、インターネットの普及により、文献調査や技術資料は以前よりも容易に閲覧できるようになった反面、情報の真偽が不明なものもあるため、精査しないと誤った理解をしてしまう危険性も潜んでいる。

指導側は、分からないことは聞きに来るように、とつい言ってしまうが、分析者は経験が浅いと「分からないこと」自体を認識できない場合もある。

指導側が自ら実験室に赴き実際の操作を観察し、同じ目線で分析者と相互コミュニケーションをとることを心掛け、話しやすい雰囲気を作ることも大切であろう。

技術を次世代に伝えることは技術者の育成と組織全体の技術力の向上につながり、新しい技術開発のヒントのきっかけになっていくものと考えている。

文 献

1) 環境省：平成5年版環境白書（1993）.



管 雅英 (Masahide Kan)
株式会社オオスミ分析技術グループ
(〒246-0008 神奈川県横浜市瀬谷区五貫
目町 20-17). 明星大学理工学部化学科.
環境計量士 (濃度関係). 《現在の研究テー
マ》マイクロプラスチック調査.
《趣味》文化財鑑賞, 寺社巡り.
E-mail: m.kan@o-smi.co.jp

日本分析化学会の機関月刊誌『ぶんせき』の再録集 vol. 3 が出版されました！ 初学者必見！ 質量分析・同位体分析の基礎が詰まった 293 ページです。

本書は書籍化の第三弾として、「入門講座」から、質量分析・同位体分析の基礎となる記事、合計 42 本を再録しました。『ぶんせき』では、分析化学の初学者から専門家まで幅広い会員に向けて、多くの有用な情報を提供し続けています。これまで掲載された記事には、分析化学諸分野の入門的な概説や分析操作の基礎といった、いつの時代でも必要となる手ほどきや現役の研究者・技術者の実体験など、分析のノウハウが詰まっています。

〈2003 年掲載 1 章 質量分析の基礎知識〉

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. 総論 | 7. 無機材料の質量分析 |
| 2. 装置 | 8. 生体高分子の質量分析 |
| 3. 無機物質のイオン化法 | 9. 医学、薬学分野における質量分析法 |
| 4. 有機化合物のイオン化法 | 10. 食品分野における質量分析法 |
| 5. ハイフェネーテッド質量分析 I | 11. 薬毒物検査、鑑識分野における質量分析法 |
| 6. タンデムマススペクトロメトリー | 12. 環境化学分野における質量分析法 |

〈2009 年掲載 2 章 質量分析装置のためのイオン化法〉

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. 総論 | 7. レーザー脱離イオン化 |
| 2. GC/MS のためのイオン化法 | 8. イオン付着質量分析 |
| 3. エレクトロスプレーイオン化—原理編— | 9. リアルタイム直接質量分析 |
| 4. エレクトロスプレーイオン化—応用編— | 10. 誘導結合プラズマによるイオン化 |
| 5. 大気圧化学イオン化 | 11. スタティック SIMS |
| 6. 大気圧光イオン化 | 12. 次世代を担う新たなイオン化法 |

〈2002 年掲載 3 章 同位体比分析〉

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. 同位体比の定義と標準 | 4. 同位体比を測るための分析法 |
| 2. 同位体比測定の精度と確度 | 5. 生元素の同位体比と環境化学 |
| 3. 同位体比を測るための前処理 | 6. 重元素の同位体比 |

〈2016 年掲載 4 章 精密同位体分析〉

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. 同位体分析の基本的原理 | 8. 小型加速器質量分析装置の進歩と環境・地球化学研究への応用 |
| 2. 表面電離型質量分析計の原理 | 9. 二次イオン質量分析装置の原理 |
| 3. 表面電離型質量分析計の特性とその応用 | 10. 二次イオン質量分析計を用いた高精度局所同位体比分析手法の開発と応用 |
| 4. ICP 質量分析法による高精度同位体分析の測定原理 | 11. 精密同位体分析のための標準物質 |
| 5. マルチコレクター ICP 質量分析装置による金属安定同位体分析 | 12. 質量分析を用いた化合物同定における同位体情報の活用 |
| 6. 加速器質量分析装置の原理 | |
| 7. 加速器質量分析の応用 | |

なお『ぶんせき』掲載時から古いものでは 20 年が経過しており、執筆者の所属も含め現在の状況とは異なる内容を含む記事もありますが、『ぶんせき』掲載年を明記することで再録にともなう本文改稿を割愛しました。これらの点については、執筆者および読者の方々にご了承いただきたく、お願い申し上げます。

水処理会社の分析部門における教育と技能伝承

江 川 暁

1 はじめに

オルガノ株式会社は日々の生活と産業の中で、水の中の不純物を取り除く大小さまざまな水処理装置の販売・納入業務を行っている。そのため、水処理装置で使用する「原料となる水」の分析や様々な場面で水処理装置の性能確認を目的とした分析を、小生が所属する分析部門では担っている。基本「水」の分析つまり水質分析がメインになるが、水処理を行う際に用いる機能材（樹脂や膜など）の分析も行っている。弊社分析部門が実施している水質分析は、環境水、排水、飲料水、純水・超純水、医薬製造用水など多岐にわたるが、その分析手法や分析者の感覚、心構えは対象となる水によって違ってくる。例えば環境水や排水試料の場合には、目的成分を分析する際の妨害成分の存在の有無やその除去に意識を傾け作業する必要がある。

本稿は、水処理会社の分析部門において所属する分析員が、この多岐に渡る水質分析の技術を身につけて信頼性のある分析値を依頼者に報告できようになる教育方法の一例を紹介する。

2 新任者の教育

弊社において分析部門に配属される新任者は、学生時代に分析を専門として学んでいるものは極僅かで、その多くは分析化学をかじった程度か、化学系出身ではあるが分析化学は学ばなかった者である。そのため、ほぼ「いち」からの習得となるが、さすがに初心者と言えども、ホールピペットやメスフラスコ・メスシリンダーなどのメモリの読み方（メニスカス）のような極めて基本的な分析の決まりごとは知識の確認で済むことが多い。

新任者はまず比色分析（吸光光度法）や滴定などの、弊社で「基本の基」となる分析方法から開始する。これらは新任者が学生時代に「聞いたことある」「見たことある」程度の手法ではあるが、水処理会社では日常的に行われる操作であるため、繰り返し行いしっかりと身につけてもらっている。その操作において、試薬を混ぜた時に起こる化学反応、試薬を入れる意味、意識しなければいけない妨害成分、その妨害成分の除去方法などを説明している。

試料としては河川水や地下水などの環境水が中心となる。試験方法は上水試験方法や JIS K 0102 の中の工業

用水試験にかかわる部分となり、多項目の試験方法を経験し習得してもらおう。基本的な分析方法の習得を一通り終わると、機器分析を実施する。水質分析といえども項目ごとに使用する分析装置、器具も違い、種類も多く、すべての分析装置、器具を熟知するのは時間を要する。分析装置は原理や操作方法だけではなく装置管理を担い、トラブルシューティングも含めて学ぶこととなる。新任者の教育としては、試験方法や分析技術を一つずつ丁寧に教えることも重要ではあるが、新任者が少しでも早く会社の「戦力」となれるように、分析部門の分析業務を早く覚え、業務に入っていけるようにするのも指導者の手腕である。そのため配属された数か月間は、ベテラン社員が新任者にマンツーマンで指導する時間を多くとっている。

手を動かす分析技術の他に新任者がこれから分析を仕事していくうえで必ず身に付けておかななくてはならない基礎知識として、定量法にかかわる知識と数値の取り扱い方がある。例えば、検量線で「絶対検量線法」、「内部標準法」、「標準添加法」の選び方や注意点、「直線」の検量線を選ぶのか「2次曲線」の検量線を選ぶのかの判断、作った検量線から得られる情報で「相関係数」「検出限界」などが意味するところ、有効数字の扱い方、一般的な統計的手法は別に教えている。また、弊社の場合「精度管理」にも力を入れている都合上、「分析機器・分析手法の信頼性確保」などの品質管理に関する事項、不確かさの算出方法のような分析値の評価方法の説明も行っている。

また、前述の通り弊社は水処理メーカーである。水処理はいくつかの種類の水処理技術を組み合わせたシステムで水をきれいにするが、個々の水処理技術の役割・機能の理解も必要である。この水処理技術の役割や機能は、社内の専門家による勉強会で学ぶ機会がある。分析部門に所属する者は、その勉強会で学んだ知識を基に依頼者が依頼してきた目的・項目の意図を読み取り、装置を思い浮かべ、得られた結果が水処理装置の機能としての整合性があるのかを判断する必要があり、オン・ジョブ・トレーニングでその感覚を身に付けていく。

3 外部講習会への参加

弊社の場合は基礎的な分析技術を学ぶために、外部の講習会へ積極的に参加している。優先的に参加している

のが日本分析化学会 関東支部主催の「分析化学基礎セミナー」であり、弊社分析部門に配属された者は必ず参加してもらっている。弊社が生業とする水処理において無機成分が多くの評価項目となっているが、このセミナーは会告に記載の通り、無機成分の分析に関連した講義が中心となっている。そして分析化学の基礎を習得するうえで知っておくべき内容を多く含み、参考書や学生時代の授業では教えていない実戦的な講義が多く、分析全般を習得する上でも受講して大いにメリットがあると感じている。また、講師は実務経験が豊富で各分野のエキスパートの方々が務めていて、基礎といつつも一歩踏み込んだ内容まで講義いただいているため、経験数年の分析者が改めて参加しても効果的であると感じる。以前は「不確かさ」や「水中の微量金属成分分析」といったより専門的なセミナーも開催されていて、弊社ではある程度の経験を積んだ分析員が順に参加し、分析全般の新たな学びの場として活用させていただいていたが、現在ではこのような講座が無く是非とも再開し分析関連の教育を充実させていただきたいと思う。

他に、分析装置メーカーが主催する装置関連のセミナーやトレーニングも大いに活用させていただいている。メーカー主催のセミナーやトレーニングは、分析装置の原理や使用上のコツ、特に取扱説明書に記載されていないようなノウハウを講義していただいている、とても有意義である。必要があれば受講した者が社内に戻り、該当装置使用者に報告を兼ねて勉強会を開催することもある。

4 技能の伝承

新任者は、環境分野の分析経験を積んだ後に、他の分野で更なる経験を積んでいき、その分野を深く突き詰めていく。例えば純水・超純水分析では、分析装置のパフォーマンスを最大限に引き出し、極低濃度の定量下限値を安定的に引き出したい。そのためどのように分析装置を操作すべきなのか、またどのような前処理をする必要があるのか、その分析作業で得られた結果は妥当性があり、信頼ある結果であるのかをそれまで習得した技術・知識を基に判断する技術を身につけていく。純水・超純水分析では分析手法のほかに、汚染に対する知識が必要になってくる。初めて作業した者の中の数人は、汚染という「壁」に直面し、この「壁」を乗り越えるために数回（場合によってはそれ以上）模擬試料を使ってトレーニングを重ね、慣れとコツ（ハンドリング）を身に付けてから実践の試料に入るようにしている。どのような操作をすると汚染してしまうかといった知識を持っていることは重要であるが、この知識は小生も先輩から教えてもらい、さらに自分の経験を加えて指導をしている。この知識があるかないか、汚染に対して細心の注意を払って作業できているかにより、分析精度

と分析値に対する信頼性が大きく変わるため、弊社の大事な技能伝承のひとつである。

日々業務を行っているとき定法を除き、更に効果的な測定方法の改良点が思い浮かんでくる。それは閃いた人物に担当してもらい、思い浮かんだ通りになるうとなかろうと、結果を何らかの報告書（文章）にまとめてもらい共通のフォルダに格納している。後に何でできなかったのか、何が問題であったのか、条件を変えたらどうなるのかをフィードバックでき、解決策を後々他の分析者が思いつく場合がある。

5 指導の方針

弊社の指導においては、分析装置操作や分析作業ができるだけでなく、その装置操作・分析作業の意味を理解することが重要と考えて指導している。分析装置操作や分析作業は、マニュアル等や作業手順書、規格書に従って作業すれば通常操作はできる。しかしながら、装置を立ち上げた時にいつもと違う状態であれば、どこに異常があるのかを見極める技量や、得られた結果から分析操作上どこに操作ミスがあったのかを振り返り問題発見と解決の能力を備えて欲しいと考えている。そのためには、たくさんの経験を積み、たくさんの事象に接することが重要である。

分析者は、限りなく真値に近い値を報告するために自分の知識を駆使して分析操作をすることが仕事のひとつである。そのために労力を惜しむことをせず、少しでも今ある結果に不安があるのであれば別の手法や妥当性のある確認方法を用いて「確認作業」をするように指導している。その作業を惜しむと、単なる分析装置操作者になってしまい、報告した値に対する信頼性や価値が半減してしまう。

新規の分析装置導入にかかわったり、装置が故障してしまった場合に、メーカー技術者から直接テクニックや知識を吸収する機会があり、これも分析部門の大切な財産になる。このようなテクニックや知識は、装置担当者が他部署に異動してしまうとその担当者と共に異動してしまいがちであるため、新しい担当者には装置の原理を理解する基礎的な研修のほかに、そのようなテクニックを含めた勉強会を部門内で個別に実施し、できる限りそのテクニックは共有するようにしている。また技術は日々進歩するため、新しい技術が世の中でいち早くスタンダードの分析法となっていることがある。小生が指導するうえで、世の中のスピードについていくためにも新しい技術はセミナー資料などから再勉強し、逐次勉強会資料に加えている。教えるというのではなく、一緒に勉強して行くイメージとしている。

6 さいごに

弊社分析部門は会社の活動を支える業務である故に、

「基礎的なことをきちんとコツコツ積み重ねていかなく
てはならない」「分析業務に近道はない」ことは日々伝
えている。

技能の伝承は永遠に繰り返されるものと考えている。
高度な装置が無かった先人がいろんなことを試し苦勞し
て作った土台に、我々がさらに基礎を積み重ね、これか
ら主役となる若者たちがその基礎の上に家を建てられる
ように、繰り返し技能を伝承していかないといけないと
考えている。



江川 暁 (Satoru EGAWA)
オルガノ開発センター分析部 (〒252-
0332 神奈川県相模原市南区西大沼 4-4-
1). 日本大学文理学部化学科卒業. 《現在
の研究テーマ》水処理装置性能評価及び
評価技術の開発 (純水中の微量不純物分
析). 《趣味》ゴルフ, スポーツ観戦.
E-mail : egawa-s@organo.co.jp

原 稿 募 集

創案と開発欄の原稿を募集しています

内容：新しい分析方法・技術を創案したときの着想、
新しい発見のきっかけ、新装置開発上の苦心と問
題点解決の経緯などを述べたもの。但し、他誌に
未発表のものに限ります。

執筆上の注意：1) 会員の研究活動、技術の展開に参
考になるよう、体験をなるべく具体的に述べる。
物語風でもよい。2) 従来の分析方法や装置の問
題点に触れ、記事中の創案や開発の意義、すな
わち主題の背景を分かりやすく説明する。3) 図
や表、当時のスケッチなどを用いて理解しやすく

することが望ましい。4) 原稿は図表を含めて
4000~8000字 (図・表は1枚500字に換算) と
する。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の
送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2
五反田サンハイツ 304号
(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会
[E-mail : bunseki@jsac.or.jp]

公設試験研究機関における分析化学教育

林 英 男

1 はじめに

筆者が所属する地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター（都産技研）は、都内中小企業を技術的に支援することにより都内中小企業の振興を図り、都民生活の向上に寄与することを目的として、東京都により設立された公設試験研究機関（公設試）である。公設試は、地方自治体により設置され、地域の産業振興にかかわる試験研究、技術指導等を担う組織であり、例えば都産技研では、技術相談や依頼試験、さらに分析機器や試験機等の設備貸し出し等による支援を通じて、産業界への技術支援を行っている。なお、筆者が所属する部署では、元素分析機能を有する透過電子顕微鏡（TEM-EDS）や走査電子顕微鏡（SEM-EDS）、誘導結合プラズマ発光分光分析装置/質量分析装置（ICP-OES/MS）、蛍光X線分析装置（ED-XRF, WD-XRF）、フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）、ガスクロマトグラフ質量分析装置（GC-MS）など、数多くの分析装置を運用している。企業から持ち込まれる分析に関する技術相談・依頼試験は、製品の異常（変色、腐食、異物混入等）に関する内容が多く、また依頼を持ち込む業種は、化学工業や機械製品製造業、卸売業など幅広い。そのため、お客様が抱えている問題を解決するための「最適な分析手法」を提案するには、各種分析法についての経験や知識が必要となることから、分析化学に関する教育が非常に重要となる。

2 都産技研における分析化学教育

公設試における分析化学教育の例として、都立産技研での人材育成について紹介する。都産技研では新人を採用した場合、その教育係となるチューターを任命し、少なくとも1年間はチューターによる指導の下で仕事を行い、独り立ちに必要な各種経験を積む。例えば分析化学に関する教育では、最初に支援実績の多い異物分析で良く利用される分析機器（ED-XRF, FT-IR や SEM-EDS 等）の操作方法や原理を学び、並行してチューターや他のベテラン職員が対応する技術相談に同席することで、お客様が抱えている問題をどのように解決に導くのか、その過程についても学んでいる。また近年は、新人を含む全職員を対象とした教育手段として、内部職員向けの勉強会を開催している。例えば、分析化

学に関連する勉強会として、「無機分析」、「有機分析」、「電子顕微鏡」、「異物分析」や「定量分析」を題目とし、その題目について精通した職員が講師を務め、分析の原理や実際の分析例を紹介することで、各種分析法についての理解を深めている。また座学以外にも、要望に応じて実際の装置を利用した実技指導も実施しており、受講者の分析機器に対する習熟度に応じて内容を変えるなど柔軟な対応を行っている。

一方、分析機器メーカーの努力により、現在の分析機器は、機器の操作だけであれば比較的容易に覚えることができる。しかしながら、分析試料の前処理については、昔と変わらず熟練を要するものがある。筆者の所属する部署で例を挙げると、ICP-OES/MSによる固体試料に含まれる微量元素の測定（前処理手法：酸分解・融解処理・加圧酸分解等）やTEM-EDSによるミクロ領域の断面観察・分析（前処理手法：収束イオンビーム（FIB）加工等）等が、前処理作業に熟練を要する分析の代表例である。固体試料の微量成分分析では、分析手法としてICP-OESやICP-MSを用いるため、試料を水溶液化する必要がある。固体試料の水溶液化には、開放系での酸分解や加圧酸分解、アルカリ融解法等、様々な前処理手法があり、かつ使用する酸や薬品の組み合わせも無数に存在する。そのため、分析対象となる元素が揮

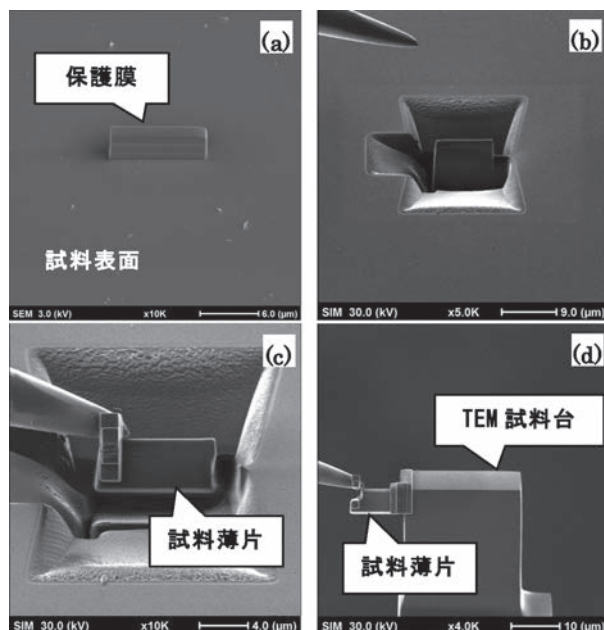


図1 TEM-EDSによる断面観察用試料の前処理過程の例

発や沈殿等で損失することが無く、かつ固体試料を水溶液化可能な前処理ができるようになるには、熟練者の下で年単位での教育を受ける必要がある。一方、TEM-EDSによるミクロ領域の断面観察では、試料から測定したい場所の薄片（厚さ100 nm程度）を取り出して、TEMの試料台に固定する必要がある。図1に断面観察用試料の前処理過程の例を挙げる。試料をFIB-SEM複合装置に入れ、SEMで観察しながら断面観察したい箇所に保護膜を蒸着する（図1(a)）。その後、細く絞ったGaイオンビームを照射することで周辺加工を行う（図1(b)）。ピックアップ用の金属プローブと試料薄片を接着した後、薄片を母材から切り離す（図1(c)）。TEM試料台に試料薄片を接着し、金属プローブと切り離す（図1(d)）。TEM-EDSによるミクロ領域の断面観察・分析を行う際には、このような微細加工技術の習得が必須であるため、熟練者による長期的な指導が必要である。このような長期的な指導を必要とする分析手法については、人材の育成に時間と手間を要することから、技術支援事業を遂行可能な技術を有する人員は多くない。そのため、これまでに蓄積した試料前処理に関するノウハウが途切れることが無いよう、計画的な教育に

より人材の育成を行うことが、都産技研における今後の課題と言える。

3 公設試による人材教育

公設試では、産業人材の育成を目的として、様々な講習会を開催している。例えば都産技研では、金属加工、電気、光、音、環境、表面、バイオテクノロジー、情報、デザイン、先端材料、3Dものづくり等、幅広い分野について、基盤技術・技術動向・トピックス等を取り上げて実施している。なお、分析化学に関する技術セミナー・講習会として、2023年度に開催する（した）ものの例を挙げると、座学の「FIB-SEM複合装置による断面加工・観察・分析」、座学と実習の「講義と実習による機器分析入門（有機分析）」がある。このような講習会の開催案内については、各公設試のWebページにて公開されており、例えば都産技研で開催する各種技術セミナー・講習会については、図2に示すように、開催を予定しているものを含めWebページ¹⁾にて公開している。興味のある方は近場の公設試のWebページをご確認いただければ幸いである。

種類	タイトル	開催日	会場	受講料 (消費税込)	応募締切
セミナー	全知の産業 第1回 先端技術セミナー 総務委員会 講演に参しん！控室	2023年7月25日 火曜日	東京たま未来 メッセ（東京 都立多摩歴史 交流センター）	無料	-
講習会	二酸化炭素削減に向けた取り組みについてご紹介いたします。				
講習会	講義と実習による機器分析入門「有機分析」 赤外分光分析（FTIR）とガスクロマトグラフマシーナリ質分析（GC/MS）を中心に講義と実習を行います。講義の後FTIRとGC/MSについて実際に測定や簡単な解析を体験し、各手法について理解を深めます。	2023年8月25日 金曜日	本部	11,200円	2023年8月15日 火曜日
セミナー	「オンデマンド配信」ねじに関する高度技術の基礎 シリーズ【基礎編】、【事例編】 【基礎編】では、ねじの歴史や種類、破壊の分類やゆりみなど、ねじの基礎について解説します。【事例編】では、ねじの強度を評価するための試験方法について、実際の試験事例の紹介を交えて解説します。	2023年8月25日 金曜日 から 8月31日 木曜日	オンデマンド 配信	2,000円	2023年8月10日 木曜日
セミナー	【本部】緊急企業の基礎 本技術セミナーは、緊急の課題解決に必要な基礎知識と緊急の分析・評価方法を解説。その後、緊急の測定器を用いた緊急計測のデモを行い、場所を移して無償実習。半日実習を見学いただきご参加をお受けします。	2023年8月25日 金曜日	本部	2,500円	2023年8月15日 火曜日
セミナー	技術セミナー「FIB-SEM複合装置による断面加工・観察・分析」 本セミナーでは、高電イオンビームと高電電子顕微鏡を組み合わせたFIB-SEM複合装置はについて、座学の後、実験室での実際の装置で加工・観察の様子をご覧いただき、分析結果などを確認いただきます。	2023年8月29日 火曜日	本部	5,000円	2023年8月17日 木曜日
講習会	膜状材料に役立つ製造技術「トライボロジー・レオロジー」基礎と解説 膜状材料のしゅう動部では相対運動に生ずるトライボロジー（摩擦・摩耗・潤滑）現象が顕著です。本講習会では、基礎技術に關するトライボロジー・レオロジーの基礎的な評価や解析を見学することができます。	2023年8月30日 水曜日	本部	7,400円	2023年8月21日 月曜日

図2 講習会の開催案内の一例

文 献

- 1) 東京都立産業技術研究センター 技術セミナー・講習会のご案内
(<https://www.iri-tokyo.jp/site/jinzai/seminar-annai.html>),
(accessed 2023.7.28).



林 英男 (Hideo HAYASHI)

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター (〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-10). 名古屋大学大学院工学研究科物質制御専攻博士後期課程修了. 博士(工学). 《現在の研究テーマ》LA-ICP-MSによる定量分析. 《主な著書》“これからの環境分析化学入門”(講談社サイエンスティフィク編). 《趣味》アウトドアスポーツ全般.

原 稿 募 集

話題欄の原稿を募集しています

内容：読者に分析化学・分析技術及びその関連分野の話題を提供するもので、分析に関係ある技術、化合物、装置、公的な基準や標準に関すること、又それらに関連する提案、時評的な記事などを分かりやすく述べたもの。

但し、他誌に未発表のものに限ります。

執筆上の注意：1) 広い読者層を対象とするので、用語、略語などは分かりやすく記述すること。2) 啓蒙的であること。3) 図表は適宜用いてもよい。4) 図表を含めて4000字以内（原則として

図・表は1枚500字に換算）とする。

なお、執筆者自身の研究紹介の場とすることのないよう御留意ください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2

五反田サンハイツ 304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]

環境計量講習（濃度関係）

米谷 明, 高塚 登志子

1 はじめに

環境計量講習は、計量法第122条2項1号（登録）及び、施行規則第51条（登録条件）第1項口に基づき、環境計量士（濃度関係）登録要件を満たす知識及び技能の習得を目的としている。そこで、計量士国家試験合格者の内、実務経験を有していない者に対し、濃度測定の実務を中心に講習する。講習は、茨城県つくば市にある国立研究開発法人 産業技術総合研究所内の計量研修センターで行われている。年間7回程度の開催、日程は講義1日、実習3日（3項目）の計4日間で行う。受講案内は計量研修センターのWEBサイトに公開され、申込期間は例年3月下旬から約1か月間である。定員は1回あたり24名、講師は各実習に3名ずつおよび管理者1名の計10名で担当している。なお、遠距離者用に安価な宿泊施設が用意されている。

2 講習内容

講義：次の5講義が各1時間から1.5時間程度で行われる。

- 1, トレーサビリティと不確かさの基本
- 2, ガスクロマトグラフ質量分析法の原理と測定
- 3, イオンクロマトグラフ分析法の原理と測定
- 4, 原子吸光法, ICP 発光分析法の原理と測定
- 5, 環境計量士について

装置実習：次の3項目を3日間実施する。受講者は3グループに分かれ1日1項目をローテーションして受講する。

- 1, イオンクロマトグラフ分析：模擬排ガス中の硫酸酸化物の前処理からデータ報告まで
- 2, ガスクロマトグラフ質量分析：模擬排水中のVOCの測定からデータ解析報告まで
- 3, 原子吸光とICP 発光分析：模擬排水中の重金属の固相抽出による分析と結果報告まで

3 参加者の経歴

化学分析未経験者（中高生の理科レベルでピペットを使ったことがない）から実務者及び管理者まで、経験度合いがばらばらであるので、講習では初心者向けの説明内容で行っている。

受講者の所属は、環境計量証明事業所（受託分析）、

環境関連企業、自治体（上下水道）、建設業、不動産業、企業コンサルタント（分析依頼元）など。また、自己啓発目的での受講者は、臨床検査技師、企業関係安全担当社員、就職活動者、学生（高校、専門学校、工業高専、大学、大学院）、教員（高校、大学）、医師、公認会計士、自衛隊員、僧侶など様々である。環境計量士受験の理由として、業務命令、自己啓発（職位及び賃金向上、就職活動、転職、資格マニア）、稼業継承などがある。なお、講習には受講料が必要で、公費での参加者と自己負担者がおり、後者はかなりの投資になる。

4 講習内容の詳細

ここからは、講習内容を少し詳しく説明する。上記のように、受講者は、経験度合いがまちまちであるが、環境計量士として作業の指導や結果の判断をしていかねばならない。その為、基本的な分析操作を習得する必要がある。よって、前処理や分析の操作は基本グループでの共同作業であるが、受講者が必ず同一内容を作業するように組み立てており、率先垂範をお願いしている。ここでは、分析に必要な基本的な器具の取り扱い、機器操作、用語、SI単位について説明している。また、最新の器具も一部使用しており、現場での分析手順改良時などの参考とされたい。

実際の実習は、操作の概要説明、器具の取り扱い、標準液の調製、試料前処理、装置の取り扱い、測定、データ解析まで行い、報告書を作成・提出し、講師による評価で終了する。ここで、講師陣が心掛けているのは、未経験者でも理解できるように操作手順を工夫することである。また、無機分析と有機分析による注意点の違いや、器具の種類により精度差があるため内容により使用器具を使い分ける、などの基本を説明している。なお分析における作業は、指導者や所属機関による流儀があり時々異議が出ることがあるが、理由を説明し基本にそった指導をしている。また講習内容は、JISの改定などを考慮してなるべく最新の内容としている。一例として、無機金属元素分析の前処理方法を、有機溶媒による液-液抽出法から固相抽出法に改定している。写真に実際の作業風景を示す。これは元素分析における前処理で固相抽出の作業を行っている内容で、受講生が真剣に学んでいる状況がうかがえる。特に、この時は固相の状態（色）が劇的に変化し、全員が声を上げて得心している状況を



写真 講習における実習の様子

とらえた。

5 参加者からの声

参加者からのアンケートの声（一部）を示す。

- 化学分析を初めて操作した。最初は不安であったがよく理解できた。
 - 各測定のポイントを示されており、実務役に立てたい。
 - 通常使っていない器具があり業務で採用したい。
- などの声がある。

また、講習初日の夜に自由参加の情報交換会を講師主催で開催している。新型コロナの影響でここ3年中止をしていたが参加者の要望が強く再開した。アンケートにも先輩から聞いており楽しみにしていたとの声が多い。この交流会によりグループのまとまりが良くなり、講習中のコミュニケーションが活発になることがわかった。加えて、企業間のビジネスの繋がりができ、依頼分析をお願いするケースや、リクルートにまで発展した例がある。以上のように、環境計量講習は環境計量士を目

指して分析化学に携わる人のための講習会であるので、国家試験を受験し合格した際には是非参加し、環境計量士登録をお願いしたい。

6 最後に

分析化学会の講習会のPRをさせていただきたい。環境計量講習の参加者の中には分析化学会の会員も多く、当会の基礎セミナーに参加した方からはスキルアップや基本を学ぶのに有益だと声を頂いた。ぜひこのセミナーにもご参加いただき、ISO・IEC/JIS17025の外部講習による、スキルアップ及び分析化学のための基礎知識の習得にご利用願いたい。



米谷 明 (Akira YONETANI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所計量研修センター（〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1）。茨城県水戸工業高校工業化学科。化学分析技能士1級。《現在の研究テーマ》元素分析におけるアプリケーション開発。《主な著書》“現場で役立つ化学分析の基礎”，（共同執筆）。《趣味》音楽鑑賞。

E-mail : Yon-aki@outlook.jp



高塚 登志子 (Toshiko TAKATSUKA)

国立研究開発法人産業技術総合研究所計量研修センター（〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1）。大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻物性物理科学分野。博士（工学）。《現在の研究テーマ》現在、計量研修センターにおいて環境計量講習（濃度、騒音・振動）などを担当。《趣味》バドミントン。

E-mail : t-takatsuka@aist.go.jp

作業環境測定士の育成

飛鳥 滋, 宮部 寛志

1 緒言

日本作業環境測定協会のホームページには、この協会が作業環境測定士の品位の保持ならびに作業環境測定士および作業環境測定機関の業務の進捗改善に資することを目的として設立された公益社団法人であることが記載され、労働安全衛生法第2条では「作業環境測定」とは「作業環境の実態を把握するため空気環境その他の作業環境について行うデザイン、サンプリングおよび分析（解析を含む）をいう」と定義されている。周知の如く「作業環境測定」は作業現場や生産プロセスの労働環境や安全衛生の保全と維持管理に関して重要な役割を果たしており、さらにその実務は「分析化学」と密接に関連している。しかし、その実施体制、業務内容や社会的意義・位置付け等については十分に知られていない事柄が多いように思われる。

そこで本稿では、「分析化学」が深くかかわる社会貢献の一つの事例として「作業環境測定」を採り上げ、その内容や人的資源である「作業環境測定士」の育成・研修に関する取り組み（測定技能の向上に資する登録講習等）について説明する。前半では日本作業環境測定協会の飛鳥滋（副会長）が「作業環境測定士制度の概要」について記述し、作業環境測定の目的、方法、測定結果の評価および資格制度について解説する。後半では宮部寛志（立教大学特別専任教授）が登録講習の講義を担当している講師としての立場から講習内容、および登録講習等に関する所見を記述する。

2 作業環境測定士制度の概要

2・1 作業環境測定

職場で用いる化学物質には、急性中毒や皮膚障害、内臓疾患あるいは職業がんなど、人体に対する有害作用を持つものがある。これらはできれば使用しないことがベストであるが、用いなければならない場合には、取り扱う作業が極力そのガス、蒸気、粉じんなどを身体に取り込まない措置が必要である。

このため、労働者に対する健康リスクを考慮すべき有害化学物質の取り扱い作業を国が特定し、それぞれ規則（特定化学物質障害予防規則、有機溶剤中毒予防規則など）でばく露防止のために事業者が採るべき措置を規定している。

例えば、有害物の発散源を密閉する設備や局所排気装置の設置などである。

しかし、その結果、作業場所の空気中の有害物濃度が、作業者がそこで毎日作業を続けても健康上問題ないレベルとなっているか否かは、実際に空気をサンプリングし、有害物の濃度を化学分析により確認する必要がある。

このために行う「デザイン、サンプリングおよび分析」の一連の過程を労働安全衛生法第2条で「作業環境測定」と定義し、同法第65条で一定の作業場所について一定の頻度で作業環境測定を実施することを事業者 に義務付けている。

労働安全衛生法（以下「法」）第65条では、化学物

表1 指定作業場と測定対象物質、測定頻度、記録の保存期間など

指定作業場	測定の対象	測定頻度	記録の保存期間
1 土石、岩石、鉱物、金属又は炭素の粉じんを著しく発散する屋内作業場	空気中の濃度及び粉じん中の遊離けい酸含有率	6月以内に1回	7年間
2 放射線業務を行う屋内作業場のうち「放射性物質取扱作業室」及び「事故由来廃棄物等取扱施設」	空気中の放射性物質の濃度	1月以内ごとに1回	5年間
3 特定化学物質（第1類物質又は第2類物質）を製造し、又は取り扱う屋内作業場等	第1類物質又は第2類物質の空気中の濃度	6月以内ごとに1回	3年間（30年間）
4 石綿等を取り扱い、若しくは試験研究のため製造する屋内作業場	石綿の空気中における濃度	6月以内ごとに1回	40年間
5 一定の鉛業務を行う屋内作業場	空気中の鉛の濃度	1年以内ごとに1回	3年間
6 第1種有機溶剤又は第2種有機溶剤を製造し、又は取り扱う屋内作業場	当該有機溶剤の濃度	6月以内ごとに1回	3年間

質のほか気温、湿度、騒音、放射線量などについても事業者が定期的な作業環境測定を義務付けているが、これらのうち、特に測定に専門知識、技術が必要な作業場を「指定作業場」（表 1 参照）と定義し、指定作業場の測定は、国家資格である「作業環境測定士」に行わせなければならないことを作業環境測定法で規定している。

2・2 作業環境測定基準

作業環境測定は、前述のようにデザイン、サンプリングおよび分析を言い、厚生労働大臣が定める「作業環境測定基準」（告示）に従って行わなければならない。

作業環境測定＝[デザイン→サンプリング→分析]

「デザイン」とは、作業環境測定の実施のため測定を行う場所を事前に見聞して、測定対象物質を用いる作業を行う作業者の行動範囲と測定対象有害物質のガス、蒸気、粉じんなどの拡散範囲から、作業環境測定を行う単位となる場所的範囲である「単位作業場所」及び測定実施日時等を決定すること、具体的にサンプリング箇所を決定することなどを言う。

単位作業場所の決定は、「層別化」の概念に基づいて行う。

測定方法には、無作為抽出法（単位作業場所の縦横 6メートル以内の等間隔に引いた交点を固定測定点とする）で選定した測定点（最低 5 点以上になるようにする）で各 10 分以上試料採取を行う方法（A 測定）と有害物のばく露の程度がほぼ同様な作業（均等ばく露作業）を行う作業グループから 5 名以上を選定し作業者に個人サンプラーを装着して作業時間中にわたり個人サンプラーに試料を採取する方法（C 測定）がある。測定で得られた五つ以上の測定結果を標本とし、母集団としての単位作業場所の有害物の気中濃度分布を確立統計的手法で推計する。この手法は、有害物の空気中の濃度分布が対数正規分布で近似できるということに基づいている。

有害物の容器を保持しつつ作業を行うなど、特定の作業者が特に高濃度の有害物にばく露するおそれがある作業場では、A 測定、C 測定に加えて当該特定の労働者がばく露する可能性がある最も高い気中濃度を評価することとし、その労働者の呼吸域で一定時間サンプリングを行う。

A 測定に付随して行うものは B 測定と称し、C 測定に付随するものは D 測定と称している。D 測定は個人サンプラーを装着して行う。

2・3 作業環境測定基準による作業環境の良否の評価

作業環境測定の目的は、単位作業場所の測定点の測定値を求めることそれ自体ではなく、測定値を用いて作業場所が労働者の健康にとって問題がない状態か、改善が必要であるかを評価し、改善が必要ならばその実施に導くことである。このため、法 65 条の 2 では、測定結果を用いて作業場所の環境を評価し、必要な場合は改善措置を講じることを事業者が義務付けている。

作業環境測定の方法が作業環境測定基準で定められていると同様、測定結果を用いた当該作業環境の良否の評価方法は、「作業環境評価基準」（告示）で定められている。

A 測定又は C 測定の測定値については、当該評価基準で与えられた方法により統計処理され、単位作業場所の作業環境の良し悪しが判定される。

具体的には、A 測定で言えば、測定値を用いて第 1 評価値 E_{A1} （単位作業場所において考える「全ての測定点の作業時間における有害物質の濃度の実現値」のうち、高濃度側から 5 % に相当する濃度の推定値）と第 2 評価値 E_{A2} （単位作業場所における気中有害物質の算術平均濃度の推定値）を算出し、これを厚生労働大臣が物質ごとに与えている「管理濃度」E と比較することにより、作業環境を第 1 管理区分から第 3 管理区分のいずれになるかを評価する。その評価基準と 3 つの管理区分の意味は表 2 のとおりである。

表 2 A 測定（または C 測定）に基づく管理区分

管理区分	E, E_{A1} , E_{A2} の関係*	管理区分の意味	環境管理の状態
第 1 管理区分	$E_{A1} < E$	単位作業場所のほとんど（95 % 以上）の場所で気中有害物質の濃度が管理濃度を超えない状態にある。	良く管理されており、有害物の気中濃度は充分低い。
第 2 管理区分	$E_{A2} \leq E \leq E_{A1}$	単位作業場所の気中有害物質の濃度の平均が管理濃度を超えない状態にあるが、第 1 管理区分の状態に比べ有害物質濃度は高く、作業環境に改善の余地がある。	（中間状態）第 2 管理区分よりも環境はいいが、なお点検を行い、第 1 管理区分にすることが望ましい。
第 3 管理区分	$E < E_{A2}$	単位作業場所の気中有害物質の濃度の平均が管理濃度を超える状態にある。	改善を要する。有害物の気中濃度を下げるために作業環境の改善措置を行い、第 1 管理区分又は第 2 管理区分になるようにしなければならない。

* C 測定の場合は、 E_{A1} , E_{A2} はそれぞれ E_{C1} , E_{C2} となる。

表3 B測定（またはD測定）の管理区分

管理区分	管理濃度との関係
第1管理区分	「B測定（またはD測定）による測定値<管理濃度」であるとき
第2管理区分	「管理濃度 \leq B測定（またはD測定）による測定値 \leq 管理濃度の1.5倍」であるとき
第3管理区分	「B測定による測定値>管理濃度の1.5倍」であるとき

なお、この方法は、C測定も同じである。

一方、B測定又はD測定については、測定結果を直接「管理濃度」と比較して第1管理区分から第3管理区分のいずれになるかを評価する。その基準は表3のとおりである。各管理区分の意味付けは、表2と同様である。

ここで、A測定に加えてB測定も行った場合は、単位作業場所の作業環境の最終的評価は、A測定の評価結果とB測定の評価結果のうち、悪い方の管理区分をとる。C測定に加えてD測定も行った場合も同様の考え方である。

2.4 第1種作業環境測定士と第2種作業環境測定士

以上が測定制度の概要であるが、以下では作業環境測定士と講習について述べる。

作業環境測定法は、指定作業場の測定を行う専門資格者である作業環境測定士と、作業環境測定士を雇用し事業者の求めに応じて作業環境測定を行う作業環境測定機関に関する必要事項を定める法律である。同法では、作業環境測定士は第1種作業環境測定士と第2種作業環境測定士の2種類が規定されており、両者の違いは、次のとおりである。

なお、第1種測定士は、試験区分により鉱物性粉じん（石綿を含む）、放射性物質、特定化学物質（金属を除く）、金属類及び有機溶剤の5種類がある。

○第1種測定士=すべての指定作業場についてのデザイン、サンプリングおよび5種類の区分のうち登録を受けた区分に該当する指定作業場にかかる分析が実施可能

○第2種測定士=すべての指定作業場についてデザイン、サンプリングのみ実施可能（但し、検知管及びデジタル粉じん計を用いた簡易測定（対象物質等は作業環境測定基準に規定）は実施できる。）

2.5 作業環境測定士講習

作業環境測定士になるためには、原則として作業環境測定士試験（指定試験機関が実施）に合格し、登録講習機関が行う「作業環境測定士講習」を修了し、作業環境測定士名簿（指定試験機関が保有）に登録を受けることが必要である。

試験及び講習の科目及び時間等は「作業環境測定士規程」（告示）に定められている。

このうち、講習は、第1種、第2種測定士共に受講が必要な「共通科目」と第1種測定士が区分に応じて受講が必要な「選択科目」がある。

共通科目は、「労働衛生管理の実務」（6時間）とデザイン・サンプリングの実務」（12時間）の3日間の講習として行われる。

「選択科目」は、区分に応じて各12時間の講習で、分析の実務を中心に各2日間で行われる。

表4に、「選択科目」のうち、特定化学物質、金属及び有機溶剤について、当協会のカリキュラムを紹介する。

表4 特定化学物質、金属及び有機溶剤にかかる講習カリキュラム

資格区分	講義または実習内容		
	講義の範囲	1日目	2日目
特定化学物質	吸光光度分析方法、ガスクロマトグラフ分析方法、高速液体クロマトグラフ分析方法、原子吸光分析方法、蛍光光度分析方法及び重量分析方法に用いる分析機器等の取扱い上の注意事項について	講義「分析機器取り扱い上の注意」 実習1.「ガスクロマトグラフ分析法によるベンゼンの濃度測定」 1-1 直接捕集方法 (1) 標準ガス発生装置からの試料ガス採取 (2) 定量分析 1-2 固体捕集方法 (1) 標準ガス発生装置からの試料ガス採取 (2) 脱着操作 (3) 定量操作 計算及びレポート作成	実習2.「吸光光度分析法によるフッ化水素の濃度測定」 2-1 液体捕集法 (1) 試料液等の前処理 (2) 定量操作 計算及びレポート作成 修了試験 (1) 実技試験 (2) 筆記試験

次ページに続く

表4 つづき

資格区分	講義または実習内容		
	講義の範囲	1日目	2日目
金属類	吸光光度分析方法、原子吸光分析方法、けい光光度分析方法及び誘導結合プラズマ質量分析方法に用いる分析機器等の取扱い上の注意事項について	講義「分析機器取り扱い上の注意」 実習1.「原子吸光分析法による鉛の定量分析」 1-1 有機溶媒抽出法 (1) ろ紙試料の溶解 (2) 試料溶液と標準系列液の調製 (3) 定量操作 計算及びレポート作成	1-2 直接法 (1) ろ紙試料の溶解 (2) 試料溶液の調製 (3) 定量操作 計算及びレポート作成 実習2.「吸光光度分析法によるクロムの定量分析」 2-1 液体捕集法 (1) 試薬調製 (2) 試料溶液と標準系列液の調製 (3) 定量操作 計算及びレポート作成 修了試験 (1) 実技試験 (2) 筆記試験
有機溶剤	吸光光度分析方法、ガスクロマトグラフ分析方法に用いる分析機器等の取扱い上の注意事項について	講義「分析機器取り扱い上の注意」 実習1.「ガスクロマトグラフ分析法によるトルエンの濃度測定」 1-1 定性分析 トルエンの同定 1-2 直接捕集法 (1) 試料ガスの直接捕集 (2) 定量操作 1-3 固体捕集法 (1) 試料ガスの固体捕集 (2) 脱着操作 (3) 定量操作 計算及びレポート作成	実習2.「吸光光度分析法による酢酸エチル濃度の測定」 2-1 液体捕集方法 (1) 試料ガスの液体捕集 (2) 定量操作 2-2 計算及びレポート作成 実習3.「検知管法による混合有機溶剤の測定」 3-1 併行測定及び各測定点の測定 3-2 計算及びレポート作成 修了試験 (1) 実技試験 (2) 筆記試験

3 本講習の意義・特徴等

この講習は、国家資格の取得を通じて法令に基づく実務に直結している意味で、大学等における教育とは位置づけが異なる。受講者の共通点は、国家試験に合格したか、あるいは受験が免除される他の資格を有するなどであり、受講者がどのような組織でどのような業務を行っている、どのような経緯を経てこの講習の受講に至ったかは、一様なものではない。法令による免除者も個々に同等以上という担保があるわけではない。

中には、化学分析などとは無縁の業務に従事し、いきなり受講するというケースもある。

このような極めて多岐にわたるバックグラウンドの者に気持ちよく参加してもらい、円滑にカリキュラムを消化してもらうことは実施者として最低要件である。

受講者は、法令業務を任せられるには作業環境測定機関等で少なからずOJTの期間を過ごすことになる。実習においては、その基礎を提供するためにも、検量線や定量下限、単位など分析の基本事項の確実な理解と機器分析においては操作手順を追うことよりも分析の原理の理解を重視している。

4 作業環境測定士登録講習の講義を担当する講師としての所見

企業は産業・生産活動を通して社会貢献や社会的役割を果たす。それにより利益を獲得し、社会的存在意義を示して組織として社会に存続する。これらの活動は二種類の環境負荷を伴う。一つは外部環境に対する化学的負荷（水質汚濁や大気汚染等）および物理的負荷（騒音や振動等）である。昭和40年代以前はこの外部環境への負荷とその影響は考慮されず、官民を問わず生産性の向上と収益の増大だけを追求した。その結果、各地で環境汚染が進行し、深刻な公害問題が発生した。それを契機として環境保全に関する法律制定等の社会体制の整備が進み、約半世紀を掛けて日本の環境問題は現在の状況に至っている。現在では多くの企業が「エコ」、「SDGs」、「地球環境」、「サステナブル」や「カーボンニュートラル」等のキーワードを含むキャッチコピーを社会に向けて発信している。これは「組織経営に対する高い倫理観」、「持続可能な社会の発展と実現に対する責任感」および「人間と環境への配慮という理念」を企業が明確に保有すること、さらに言葉だけではなくそれを実際の行

動で実践することを社会や市民がしっかりと見て（監視して）おり、それを踏まえないければ企業経営や会社の存続自体が成り立たない時代、すなわち社会や市民が企業活動を監視する社会体制になったことを示している。

一方、もう一つの環境負荷は生産活動がもたらす作業・労働者への負荷である。上記の外部環境への負荷に比べて、この作業・労働環境への負荷は外部（社会や市民）からは見え難い。そのため、上記のような作業環境の保全に関する法律が整備され、作業環境測定が事業者には義務付けられている。企業の生産活動に対する社会や市民の視方の変遷に伴い作業環境の保全と維持管理に関する社会や企業の意識も時代と共に変化し、作業環境測定の枠組みや取り組み方も変化してきている。作業環境のより一層の改善に向けた動きは今後も進展するものと想定されるが、作業環境データはその方向性を判断して方策を策定する上での重要な基本情報であり、その正確な測定が非常に重要である。作業環境測定では所定の方法論に準拠して管理対象物質を正確に定量分析することが求められるが、それには以下のような要件が伴うため、作業環境測定士には作業環境測定に関連する様々な要素に関する幅広い知見と深い理解が求められる。

(1) 常に変動する作業環境の試料サンプリングの回数は基本的には一回である。限られた試料条件下においても所定の方法論により正確な測定値を取得（測定）できる高い分析技能が求められる。

(2) 分析条件や測定操作全体の状況を広く俯瞰し、それらを十分に踏まえた上で作業環境測定結果の妥当性を総合的に判断する能力が求められる。

(3) 作業環境測定に関する分析法や操作手順をブラックボックス化させることなく、その特徴や原理・機構を十分に理解する必要がある。分析結果の妥当性を検証するため、測定原理の異なる他の方法論による分析を必要とする場合もあり、分析化学に関する幅広い知見と技術の修得が求められる。

「作業環境測定士」としての登録に必要な作業環境測定士登録講習は講義（座学）と実習（実験）とで構成されている。当方は一部の資格区分（特定化学物質と金属類）の講義を担当しているが、講義では管理対象物質の定量分析に関連する基礎的な情報や知見を講義形式で解説する。作業環境測定で汎用される機器分析法を講習対象とし、「特定化学物質」講習では「吸光光度法」と「クロマトグラフィー」、また「金属類」では「吸光光度法」、「蛍光光度法」、「原子吸光法」、「誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP-AES）」および「誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）」を取り上げる。限られた時間での講義ではあるが、それらの特徴、測定原理、装置構成、実験上の注意点およびデータ解析理論等を説明し、分析対象物質を正確に定量分析する上で重要な情報を提供している。

一方実習では、いくつかの具体的な測定対象物質を採り上げてその定量分析を行い、実際の測定を通して関連する実験操作手順や注意事項、データ処理計算やレポート作成方法等を習得する。実習の際には、指導員から受講生に対して、実験器具やガラス製測定容器の基本的な使用方法や実験操作の具体的なノウハウ等に関する説明が行われる。さらに、受講生の中には実務経験の豊富な方も多く、受講生同士の間での情報交換が行われる場合も見受けられる。

日本作業環境測定協会では、作業環境測定士試験に合格した後に受講する上記の登録講習だけではなく、その他にも「作業環境測定士制度」にかかわる以下のような様々な事業を執り行っている。

(1) 作業環境測定士試験の受験に対する準備としての「受験準備講習」

(2) 作業環境測定の技術力を評価する「総合精度管理事業」：模擬試料を測定対象として、作業環境測定のデザインからサンプリング、そして分析に至る一連の過程が、適切・正確に行われていることを評価する。

(3) 「総合精度管理事業」のフォローアップ講習会：上記(2)の評価が「不合格」となった事業者や機関に対する講習

5 結 言

分析化学は学術的には化学の最も基礎を成す学問体系である。一方実務面では、分析化学は様々な計測・測定業務と関連し、応用展開している。今回の企画「令和の分析化学教育」の「分析関連資格の講習関係」に関連する話題として本稿では「作業環境測定士登録制度と登録講習」を採り上げた。作業環境測定の実務は「分析化学」と密接に関連しており、本稿ではその実施体制、業務内容や社会的意義・位置付け等に関する概要を説明した。



飛鳥 滋 (Shigeru ASUKA)

公益社団法人日本作業環境測定協会
(〒108-0014 東京都港区芝4丁目4番5号 三田労働基準協会ビル6階) 東北大学大学院理学研究科(化学専攻)修士課程修了。



宮部 寛志 (Kanji MIYABE)

立教大学理学部化学科(〒171-8501 東京都豊島区西池袋3-34-1) 富山大学大学院理学研究科化学専攻修士課程。博士(工学)。「現在の研究テーマ」モーメント理論に基づく高性能液相分離系の分析機能創出。「主な著書」“分析化学用語辞典”，社団法人日本分析化学会編，(オーム社)，(2011)，(分担執筆，46項目執筆)。

E-mail : kmiyabe@rikkyo.ac.jp

熱分解 GC/MS による 土壌有機物質の分子特性解析



佐澤 和人

1 はじめに

海洋と陸域は地球上の炭素吸収源であり、人間活動による CO₂ 排出を毎年約 56 % 吸収している。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は CO₂ 排出量が今後増大した場合、海洋および陸域の CO₂ 吸収率は最大で約 38 % まで低下し、地球上の炭素循環に不可逆な変化を及ぼすことを予測している¹⁾。土壌有機物質 (soil organic matter, SOM) には陸上の植物バイオマスや大気約 2 ~ 3 倍に相当する約 1500 Gt の炭素が存在しており、陸域の炭素循環において重要な役割を果たしている。したがって、温暖化や乾燥化、および、それに伴い頻発する森林火災等による環境かく乱が SOM の貯留量や化学的特性に与える影響について多くの研究者が関心を寄せ、様々な成果が報告されている²⁾。

SOM は組成や構造、物理化学的性質が異なる有機物の集合体であり、分子的に同定可能な「生物体有機物質」と、化学構造が特定されない「非生物体有機物質 (腐植物質)」によって構成されている。腐植物質 (humic substances) は生物体有機物質が微生物的・化学的作用を受けることで生じる高分子物質群の総称であり、SOM の主要構成物として知られる²⁾。

熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析法 (Py-GC/MS) は高分子化合物を高温加熱することで得られる熱分解生成物を GC/MS により分離検出する手法である (図 1)。この分析手法は樹脂やゴム等の高分子材料の化学的定性・定量だけでなく、土壌や天然水中に存在する有機物質の化学構造の把握に貢献してきた。特に、水酸化テトラメチルアンモニウム (tetramethylammonium hydroxide, TMAH) を試料に添加する TMAH 熱化学メチル化 GC/MS (TMAH-Py-GC/MS) は Py-GC/MS と比べ得られる分解生成物が多く、起源となる物質の特定が容易

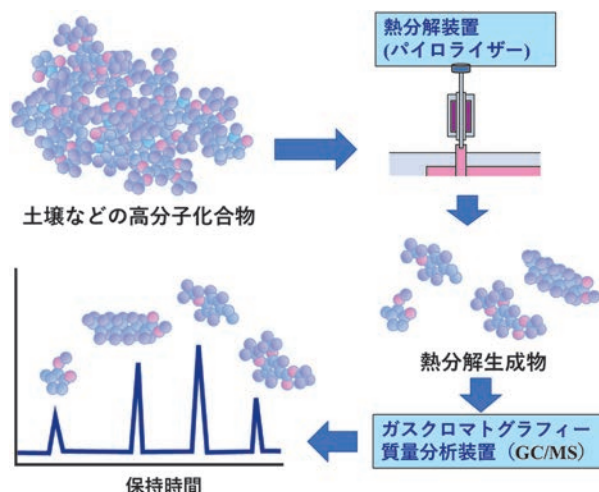


図 1 熱分解 GC/MS による高分子化合物の分析の概念図

であることから、天然有機物質の分析によく用いられている²⁾。

本稿では、TMAH-Py-GC/MS の特徴と SOM 分析における利点、および、SOM を分析した際に得られる熱分解生成物について述べる。また、近年発展しているデータ解析手法について紹介する。

2 TMAH-Py-GC/MS の SOM の分子特性解析における特徴と利点

TMAH-Py-GC/MS では、TMAH を添加した試料を加熱することで、高分子化合物中のエステル結合やエーテル結合を熱的加水分解すると同時に生成物のメチル誘導体化を行う。この方法は Py-GC/MS による天然有機物質の分析でみられる、①生成物の大半が炭化水素類であり同定が困難であることや、②水酸基やカルボキシル基を含む生成物は官能基が遊離状態であるため良好なピークが得られないという欠点を補うだけでなく、リグニンやクチン酸の分析が可能という利点を有している²⁾。分析に必要な試料量は数 mg で済む一方、採取した試料の代表性が損なわれやすいことに注意し、試料はよくすり潰し、^{かくはん} 攪拌する必要がある。

3 TMAH-Py-GC/MS より SOM から得られる熱分解生成物の構造と起源

TMAH-Py-GC/MS を用いて SOM を分析した際に得られる代表的な熱分解生成物の構造を図 2 に示す。リグニンフェノール類の構成は植物類によって異なり、裸子植物は主にパニリル類 (V)、被子植物は V とシリンジル類 (S)、草本類 (イネ科植物) は V、S、および、シンナミル類 (C) からなることが知られている²⁾。したがって、これらの熱分解生成物の構成より SOM に存在するリグニンの由来植物種の推定が可能である。

脂肪酸メチルエステル (fatty acid methyl esters, FAMES) は植物や微生物のバイオマーカーとして知られている。

The Molecular Characterization of Soil Organic Matter by Pyrolysis-GC/MS.

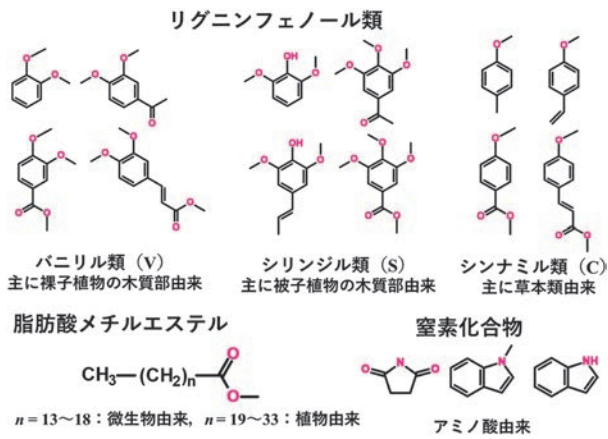


図2 土壌有機物質から得られる主な熱分解生成物

その起源は炭素数により異なり、大まかには炭素数 14～19 は微生物由来、20～34 の脂肪酸は高等植物のワックス由来であるといわれている。直鎖の脂肪酸であるパルミチン酸 (C_{16:0}) やステアリン酸 (C_{18:0}) のメチル化合物は SOM を分析した際によく得られ、微生物活性の指標として用いられる。また、*iso*-C_{15:0}、*iso*-C_{16:0}、*anteiso*-C_{17:0} といった分岐脂肪酸は嫌気性微生物のバイオマーカーであることが報告されている³⁾。他にも、アミノ酸を起源とするインドールやピロリジン、ピロールといった窒素化合物などがある。

4 TMAH-Py-GC/MS より得られた SOM の分析データに対する解析手法の開発

TMAH-Py-GC/MS による SOM の分析では多様な熱分解生成物のピークが検出される。これは、分子特性に関する様々な情報が得られることを意味している一方で、その試料の特徴の把握や、他試料との比較をすることが困難であることを示している。Almendros らは van Krevelen diagram を活用した解析手法を提案している⁴⁾。これは各熱分解生成物の H/C 比を y 軸、O/C 比を x 軸、ピーク面積を z 軸にとった図であり、三次元等高線グラフにすることで試料の特徴を視覚的に確認できる。筆者が TMAH-Py-GC/MS の分析結果から作成した例を図 3 に示す。Almendros らの研究グループはこの手法を用い、気候変動や森林火災といった環境要因が SOM の分子特性に与える影響評価を行っている。

Chen らは得られたマスキロマトグラムのピークの同定・定量を自動で行うだけでなく、統計的解析によりサンプル間の比較を容易にしたシステムを開発している⁵⁾。また、試料の特徴を視覚的に把握するための図も示しており、分解過程におけるリター炭素の化学的組成変化を明らかにしている。紹介した手法は、現在は主に Py-GC/MS の分析結果に用いられているが、図 3 に示すように TMAH-Py-GC/MS にも適用可能であり、今後も多くの分野で活用されることが期待される。

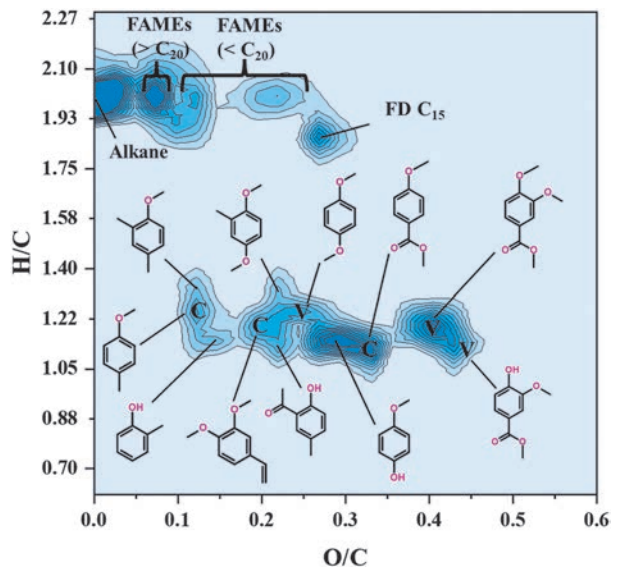


図3 筆者が保有する土壌（インドネシア熱帯泥炭）の TMAH-Py-GC/MS の分析結果から作成した van Krevelen diagram V: バニル類, C: シンナミル類, FAMES: 脂肪酸メチルエステル, FD: 脂肪酸ジメチルエステル。

5 おわりに

本稿で紹介した TMAH-Py-GC/MS は特別な処理を必要とせず、少量の試料から SOM の分子特性に関する様々な情報を与えてくれる。近年生じている環境変動が SOM に及ぼす影響を評価する上で数多くの試料データを短期間で処理し分析することは必要不可欠である。本稿で紹介した解析手法は陸域の炭素循環の理解に大きく貢献することが期待されている。

文 献

- 1) IPCC: "Climate Change 2021: The Physical Science Basis", (2021). (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report%20working-group-i/>) (accessed 2023.5.29).
- 2) 石渡良志, 米林甲陽, 宮島 徹 編: "環境中の腐植物質—その特徴と研究法", (2018), (三共出版).
- 3) M. Fukushima, X. Tu, A. Aneksampant, A. Tanaka: *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, **20**, 176 (2018).
- 4) G. Almendros, Z. Hernandez, J. Sanz, S. Rodríguez-Sánchez, M. A. Jimenez-Gonzalez, J. A. Gonzalez-Perez: *J. Chromatogr. A*, **1533**, 164 (2018).
- 5) H. Chen, G. D. Blosser, H. Majidzadeh, X. Liu, W. H. Conner, A. T. Chow: *J. Anal. Appl. Pyrol.*, **134**, 371 (2018).



佐澤 和人 (Kazuto SAZAWA)

富山大学学術研究部理学系 (〒930-8555 富山市五福 3190)。富山大学大学院地球生命環境科学専攻博士課程修了。博士 (理学)。《現在の研究テーマ》森林火災が土壌有機成分に及ぼす影響評価。

E-mail: sazawa@sci.u-toyama.ac.jp

LC-MS/MSによる食物アレルギー検査方法

—標準物質「食物由来アレルギー抽出物™」のご紹介—

稲垣 江梨, 富上 香澄, 山下 賀容子

1 はじめに

食物を摂取等した際、食物に含まれる原因物質（アレルギー：主としてタンパク質）を異物として認識し、自分の身体を防御するために過敏な反応を起こすことがある。これを食物アレルギーという。アレルギー患者の健康危害防止の観点から、食品表示法により、食物アレルギーを含む食品にはアレルギーを含む旨の表示が定められている。食物アレルギーを発症する食品のうち、症例が多いものや重篤なものについては「特定原材料」とされ、アレルギー表示が義務付けられている。また、一定の頻度で健康被害がみられたものについては「特定原材料に準ずるもの」とされ、アレルギー表示が推奨されている。

食物アレルギー検査方法は、消費者庁通知法（以下通知法という）¹⁾により定量検査法としてELISA法が、定性検査法としてPCR法やウエスタンブロット法が指定されている。これらの検査方法は、アレルギーごとにそれぞれ個別に検査を行う必要がある。例えば、ELISA法による検査においては、卵であれば卵用のELISAキット、小麦であれば小麦用のELISAキットにて検査を実施する。また、検査の妨害物質を含む食品や偽陽性を示す食品は、正しい結果を得られない場合がある。

そこで近年、選択性が高く、複数アレルギーを検査できるLC-MS/MSを用いた手法が注目されている。雑賀技術研究所は、長年、LC-MS/MS等を用い残留農薬検査サービスに携わり、食の安全に貢献してきた。現在は、残留農薬で培った技術を活かし、LC-MS/MSを用いた食物アレルギー検査方法（以下「LC-MS/MS法」という）の開発に取り組んでいる。定量検査には標準物質が必要であり、一般に市販されている標準物質は、カゼインやアルブミン等の特定のタンパク質のみが含有されている。一方、通知法別添「アレルギーを含む食品に関する表示」には、「標準タンパク質は特定のタンパク質や抗原性を持つタンパク質ではなく、なるべくすべてのタンパク質を含んでいることが望ましい」と記載されている。また、通知法に記載されているELISA法用の標準物質では、界面活性剤が含有されているため、LC-

MS/MSの質量分析部に悪影響を及ぼす恐れがある。食物アレルギー検査にLC-MS/MS法を適用するにあたって、適した標準物質が見当たらないことが課題であった。

そこで、雑賀技術研究所では「総タンパク質を含有しながら質量分析計で使用可能な標準物質」を開発し、製品化した。本稿では、標準物質の特長及びこの標準物質を用いた食物アレルギー検査方法について紹介する。

2 標準物質「食物由来アレルギー抽出物™」

分析条件の検討や食品への添加試験を経て、総タンパク質の定量検査を実施できるようにするには、特定のタンパク質ではなく総タンパク質を含み、LC-MS/MSで使用可能な標準物質が必要である。これを可能にするため、標準物質を開発するにあたり、標準粉末から相間移動溶剤（PTS）²⁾を用いてタンパク質抽出するアプローチを検討した。その詳細を解説する。

図1に標準物質の調製方法を示す。材料となる標準粉末は、通知法別添3標準品規格を参考に調製した。例えば卵の場合、白色レグホン種の卵殻を外して均一にホモジナイズ後、凍結乾燥し、乾燥物を微粉碎した。

タンパク質抽出には、PTSを用いた。PTSはタンパク質可溶性に優れており、疎水性の高いタンパク質であっても親水性タンパク質と同等に抽出できる。また、PTSは界面活性剤であるが、酸性条件下で有機溶媒を用いた液々分配により除去できるために、LC-MS/MSの質量分析部に悪影響を与えない。

弊所では、上記のように調製した標準物質を既に「食物由来アレルギー抽出物™」として販売しており、その

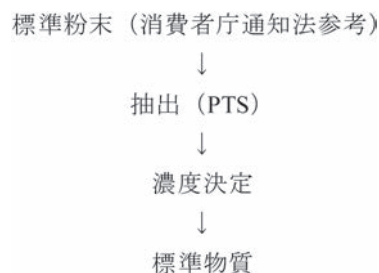


図1 標準物質の調製

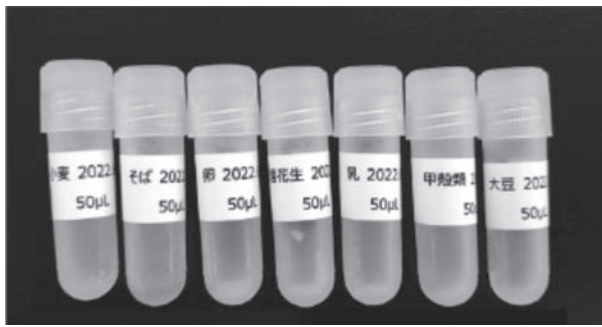


図2 標準物質
製品名：食物由来アレルギー抽出物™
関東化学株式会社にて販売

品目は、小麦、そば、卵、落花生、乳、甲殻類（以上、特定原材料）及び大豆（特定原材料に準ずるもの）となっている（図2）。くるみ（令和5年3月9日特定原材料に準ずるものから特定原材料へ移行）については現在開発を進めている。それぞれアレルギー1品目ずつを含んでいるが、複数含有する混合標準物質や、大豆以外の特定原材料に準ずるもの、マイナーアレルギー等への応用も考えている。

3 食物アレルギー検査方法（LC-MS/MS法）

3.1 前処理について

食品試料はそのままの状態では測定できないために、粉碎や抽出、酵素消化、精製等の前処理を行う。雑質技術研究所における分析フローシートについて紹介する（図3）。

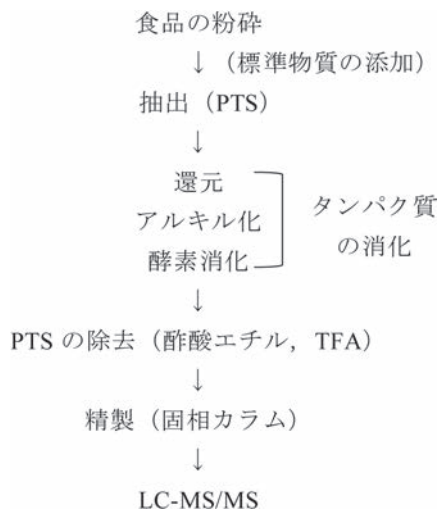


図3 食物アレルギー検査方法のフローシート

はじめに、フードプロセッサー等で食品を粉碎し、2で紹介した標準物質を添加する。食品抽出時に加えて前処理すると、標準添加法による定量や添加回収率の算出ができる。

次に、標準物質の調製で用いたPTSにより、タンパク質の抽出を行う。PTSは、食品から食物アレルギータンパク質を効率よく抽出できる。（抽出試薬について製品化を検討中である）。

その次に、タンパク質を消化する。還元、アルキル化、酵素消化によってペプチドまで切断する（図4）。アレルギータンパク質は高分子のために、このままでは分析が難しいが、ペプチドに断片化されると逆相LCカラムで保持され分析できる。

その後、PTSをトリフルオロ酢酸（TFA）により酸性にして脂溶化し、酢酸エチル中に分離させて除去する。高濃度のPTSをそのまま質量分析部に導入すると測定に悪影響を及ぼす恐れがあるため、この工程で除去する。

最後に、固相カラムを用いた精製を実施する。加工食品を対象にする場合、クロマトグラム上に夾雑物ピークが出現し、質量分析部でのイオン化阻害等のマトリックス効果が引き起こされる。そこで、固相カラムを用いた精製を実施すると、夾雑物を除去し質量分析部におけるマトリックス効果を軽減できる。固相カラムには様々な種類があるが、イオン交換カラムや無極性相互作用を利用したカラム等を推奨する。

以上が前処理の工程であり、その後LC-MS/MSで測定を行う。開発した方法は、学校法人慶応義塾の特許第4831708号、「タンパク質試料の調製方法」を食物アレルギー検査に応用した。

3.2 機器分析について

機器分析は、アレルギータンパク質のペプチド断片を逆相クロマトグラフィーで分離し、LC-MS/MSにて測定する。機器分析条件の構築について紹介する。

まず、アレルギータンパク質のアミノ酸配列をNational Center for Biotechnology Information (NCBI)等のデータベースから入手する。次に、その配列を基にSkylineソフトウェア（ワシントン大学MacCoss Lab）を用いて、ペプチド断片を予測する。測定する質量数（イオン）を選択して、電圧等の質量分析条件を作製する。このとき、ペプチドが他の生物と一致しないよう

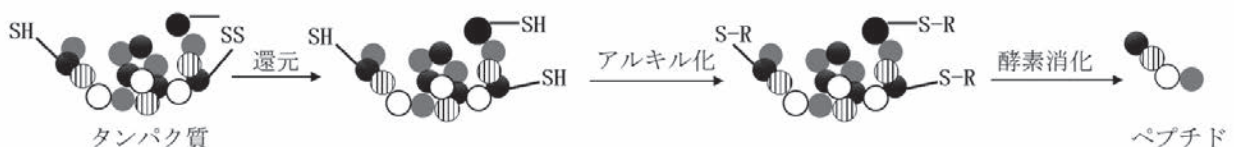


図4 タンパク質の消化

データベースで検索し、偽陽性が引き起こされないように特異性の高いものを選択する。

このように、アレルギータンパク質のアミノ酸配列がデータベースに記載されていれば、これを元に質量分析条件を設定できる。新たなアレルギー品目について検討を開始する際は、ELISA キットが販売されていない品目であっても、質量分析条件の構築が可能である。

設定した質量分析条件を用いて、食品で検査を実施する前に、標準物質のみをペプチド断片化して測定する。ここで、使用する装置に合った最適電圧を定め、保持時間、ピーク形状や感度を確認し、分析条件を構築する。最終的には、実際に食品で検査した結果を考慮し、夾雑物の影響が少ない最適なイオンを定量イオンに選択する。食品によって最適なイオンが異なる場合があるため、測定時は複数イオンの設定を推奨する。

3.3 検査方法の特長

LC-MS/MS 法の特長は、複数のアレルギーを一斉に検査でき、選択性が高いことである。実際の検査結果を用いて紹介する。

図 5 は、LC-MS/MS 法における蒲鉾かまぼこの検査例である。各アレルギーにおいて、標準物質の添加ピークが確認できる。また、この蒲鉾は原材料に卵を含んでおり、原材料表示の記載通り、卵アレルギーのみ検出されている。LC-MS/MS 法では、ELISA 法のように対象とするアレルギーを限定せずに、図に示すような複数アレルギーを一斉に検査できる。

ELISA 法では偽陽性を示す食品が存在し、その情報はキットメーカーによる反応性データ³⁾⁴⁾に記載されて

いる。小麦アレルギーは大麦に反応性があるために、大麦を使用した製品は偽陽性を示す可能性がある。図 6 は、LC-MS/MS 法における大麦入り包装米飯についてのクロマトグラムの一例である。左側は小麦と大麦の両方を検出するイオンを、右側は小麦のみを検出するイオンを設定した。試料において、小麦及び大麦検出用イオンでは検出され、小麦検出用イオンでは不検出であった。したがって、試料からは小麦は不検出であり、大麦のみ検出であると判別できた。このように、よく似たタンパク質であっても、特異性の高いイオンを設定すると、分析対象のアレルギーを区別して検出できる。以上のように、LC-MS/MS 法は、複数イオンの設定により選択性が高くなり、ELISA 法では偽陽性を示す可能性

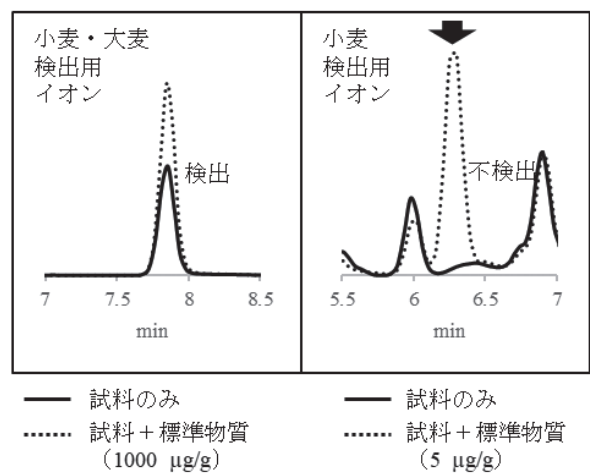


図 6 大麦入り包装米飯試料の小麦アレルギークロマトグラムの一例

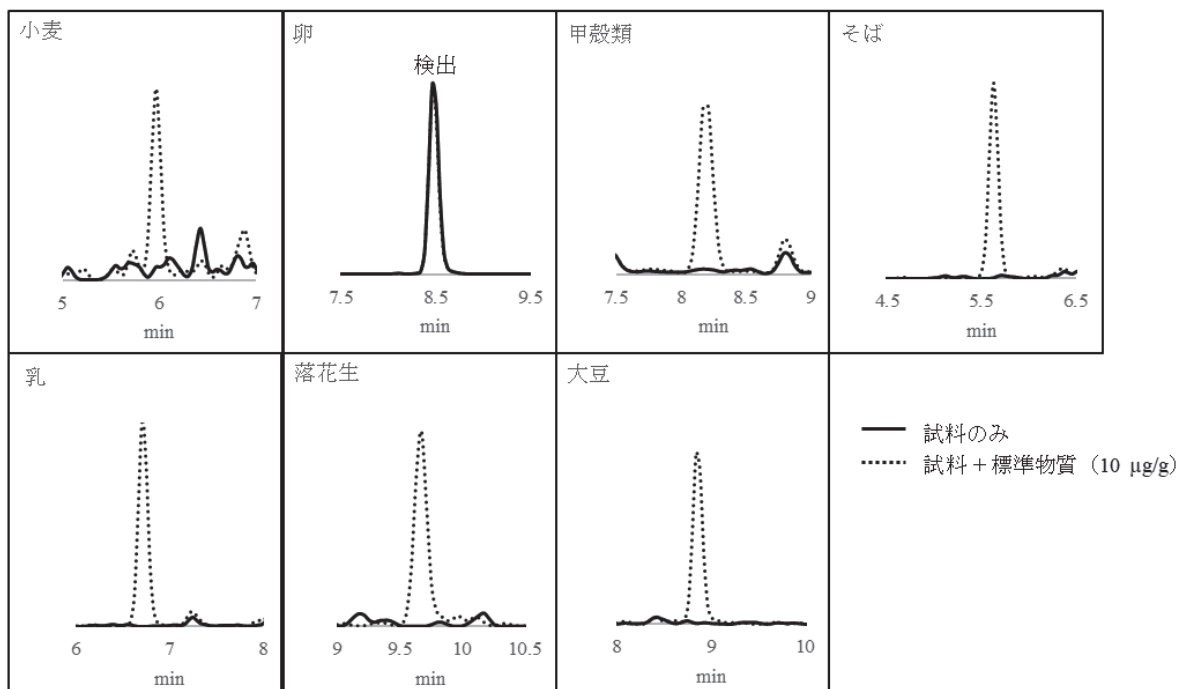


図 5 蒲鉾（原材料表示に卵の記載あり）試料のクロマトグラムの一例

のある食品でも判別できると考えられる。

3・4 加工食品での検査例

LC-MS/MS 法が多様な加工食品に適用できるか、4種類の試料を用いて精度等を評価した結果を紹介する。

試料には、海藻入り煎餅、鶏レバー入りベビーフード、レトルトパウチ食品（ミートソース）及び大麦入り包装米飯（3・3 図6における同一試料）を用いた。これらを試料に選択した理由について、表1に示す。ELISA法で測定が難しい場合がある試料を選択した。

分析者1名が1日5併行の試験を行い、併行精度、真度、検量線の相関係数、定量下限について評価した。結果について、表2に示す。併行精度（RSD）は11%以内、真度は93~110%、検量線の相関係数（ r ）は0.983以上となり、良好な結果となった。定量下限について、5 $\mu\text{g/g}$ 以下となり、通知法の表示基準レベルを満

たした。通知法では、試料がアレルゲンタンパク質を10 $\mu\text{g/g}$ 以上含むと微量を超える混入があると判断されるために、この数値がアレルギー表示の目安となる。

以上の結果から、LC-MS/MS法が多様な加工食品に

表1 試料の選択理由

試料名	試料の選択理由
海藻入り煎餅	海藻に含まれる粘性成分が、ELISAキットの抗体と吸着する可能性があるため
鶏レバー入りベビーフード	鶏レバーを含み、ELISA法において「乳・落花生」に偽陽性を示す可能性があるため ³⁾⁴⁾
レトルトパウチ食品（ミートソース）	加工度が高く、野菜・豚肉・スパイス等様々なマトリックスを多く含むため
大麦入り包装米飯	大麦を含み、ELISA法において「小麦」に偽陽性を示す可能性があるため ³⁾⁴⁾

表2 加工食品における試験結果

試料	アレルゲン	併行精度 ^{*1} (RSD%)	真度 ^{*1} (%)	相関係数 ^{*2} (r)	定量下限 ^{*3} ($\mu\text{g/g}$)
海藻入り煎餅	小麦	8	97	0.990	1
	卵	6	103	0.983	1
	乳	7	99	0.987	1
	落花生	3	104	0.987	0.5
	そば	3	110	0.983	1
	甲殻類	6	99	0.983	1
	大豆	6	101	0.985	0.5
鶏レバー入りベビーフード	小麦	2	100	0.996	1
	卵	3	93	0.997	1
	乳	4	96	0.997	1
	落花生	10	103	0.997	1
	そば	3	97	0.997	1
	甲殻類	3	101	0.998	1
	大豆	6	101	0.993	1
レトルトパウチ食品（ミートソース）	小麦	3	105	0.988	5
	卵	7	99	0.995	0.5
	乳	2	102	0.996	0.5
	落花生	7	105	0.996	0.5
	そば	3	102	0.994	0.5
	甲殻類	4	100	0.996	1
	大豆	6	100	0.994	1
大麦入り包装米飯	小麦	3	106	0.997	1
	卵	4	110	0.992	5
	乳	4	107	0.997	1
	落花生	11	103	0.992	1
	そば	7	110	0.993	1
	甲殻類	3	106	0.997	1
	大豆	1	106	0.996	1

加工食品に標準物質を添加（ $n=5$ ）。※1：10 $\mu\text{g/g}$ の結果；※2：0.5, 1, 5, 10, 20 $\mu\text{g/g}$ の結果；※3：目標値（併行精度20%以下、真度70%以上120%以下）を満たす0.5, 1, 5, 10, 20 $\mu\text{g/g}$ の最小濃度。

適用でき、食物アレルギー検査方法として活用できると示唆された。

4 ま と め

我々は、LC-MS/MS法で用いる標準物質「食物由来アレルギー抽出物TM」を製品化した。本稿では、この標準物質の特長及びこの標準物質を用いた食物アレルギー検査方法を紹介した。今後は、この検査方法の実用化に向けて、研究機関や食品会社等の検査現場への導入をすすめていきたいと考えている。一部の加工食品メーカーでは、将来的に自社製品の品質管理に取り入れることを目標にLC-MS/MS法について取り組みを始めている。通知法において採用されている方法ではないものの、品質管理で有効に活用できると期待される。また、LC-MS/MSを食物アレルギー検査にも利用することで、装置の活用幅が広がると考える。

今後、LC-MS/MS法に興味を持つ会社が増え検査方法が普及し、食の安心安全につながっていくことを望んでいる。雑賀技術研究所は、検査方法の開発をはじめとする様々な活動を通じ、社会に貢献していく所存である。

文 献

- 1) 消費者庁：平成27年消費者庁次長通知消食表第139号，“食品表示基準について（別添）アレルギーを含む食品に関する表示”（2015）。
- 2) T. Masuda, M. Tomita, Y. Ishihama : *J. Proteome Res.*, **7**, 731 (2008)。

- 3) 日本ハム株式会社中央研究所：“FASTKIT エライザ Ver. III シリーズ，食品反応性データ（2018年8月改訂）”，〈https://www.rdc.nipponham.co.jp/fastkit/fastkit_elisa3.html〉，(accessed 2023. 8. 7)。
- 4) 株式会社森永生科学研究所：“モリナガ FASPEK エライザ II，食品反応性データ”，〈<https://miobs.com/product/tokutei/faspek2/reactive.html>〉，(accessed 2023. 8. 7)。



稲垣 江梨 (Eri INAGAKI)

一般財団法人雑賀技術研究所研究開発室。
(〒640-8341 和歌山市黒田二丁目1番20号)。《現在の研究テーマ》GC/MS, LC/MSを用いた食品分析。
E-mail : inagaki@saika.or.jp



富上 香澄 (Kasumi TOKAMI)

一般財団法人雑賀技術研究所研究開発室。
(〒640-8341 和歌山市黒田二丁目1番20号)。《現在の研究テーマ》GC/MS, LC/MSを用いた食品分析。
E-mail : tokami@saika.or.jp



山下 賀容子 (Kayoko YAMASHITA)

一般財団法人雑賀技術研究所研究開発室。
(〒640-8341 和歌山市黒田二丁目1番20号)。《現在の研究テーマ》GC/MS, LC/MSを用いた食品分析。
E-mail : kyamashita@saika.or.jp

会社ホームページ URL :

<https://www.saika.or.jp/allergen/index.html>

関連製品ページ URL :

https://www.kanto.co.jp/dcms_media/other/REA-18.pdf

大谷 肇先生をしのぶ

1980年名古屋大学工学部卒業。同大学大学院工学研究科博士課程を経て1985年工学博士（名古屋大学）。1986年名古屋大学工学部助手。1995年名古屋大学理工科学総合研究センター助教授。1998年名古屋大学大学院工学研究科助教授。2005年名古屋工業大学大学院工学研究科教授。2023年名古屋工業大学産学官金連携機構客員教授。2016, 2017, 2022年「分析化学」論文賞。2019年日本分析化学会学会賞。2008～2009年度日本分析化学会高分子分析研究懇談会運営委員長。2013年度日本分析化学会中部支部長。2020年日本分析化学会第69年会実行委員長。2020～2022年度日本分析化学会副会長。2023年度日本分析化学会会長。



本会会長を務められました名古屋工業大学教授の大谷肇先生が、2023年8月1日に65歳でご逝去されました。大谷先生は研究・教育活動はもちろんのこと、本会副会長そして会長として、社会的にも多岐にわたりご活躍をされておりました。2005年より17年にわたり先生と一緒に仕事をさせていただきましたご縁により、哀悼の意を述べさせていただきます。

大谷肇先生は、1986年に名古屋大学 柘植 新先生の研究室の助手に就任され、名古屋大学助教授、名古屋工業大学教授として分析化学、特に高分子分析に関する研究を継続して行われました。熱分解ガスクロマトグラフィー-質量分析法（PyGC-MS）に関しては、装置メーカーとも協力しながら長年にわたって高性能化を進められ、現在では国内外の様々な分野で幅広く用いられている、優れた熱分解分析システムを開発されました。PyGC-MSやマトリックス支援レーザー脱離イオン化-飛行時間型質量分析法を用いた、実用ポリマー分析の応用研究に精力的に取り組まれ、その成果として、従来法では実現することが困難であった、共重合ポリマーの精密分析や、立体規則性、分岐、末端基などの微細構造の高感度解析法を世界に先駆けて次々に発表されてきました。大谷先生が開発された手法は多くの企業で用いられており、現在のポリマー材料開発において不可欠といっても過言ではありません。近年は、環境中のマイクロプラスチックに関する研究も精力的に行っておられました。

大谷先生は、研究室に配属された学生に対する研究指導も真摯に取り組まれていました。学生が積極的に研究成果発表を行うことを推奨し、第三者が十分理解できる発表を行うことができる能力を身につけること、第三者からのコメントに適切に対応することができることを重視され、就職後も必要となるプレゼンテーション・コミュニケーション能力を備えた人材の育成に力を注がれました。そのため、研究室で日常的に丁寧な指導をされていたことは言うまでもありません。その結果として、最近15年以上にわたり、学会発表・論文発表において、毎年、複数の指導学生が、優秀発表賞などを受賞し続け

ていました。そして大谷先生は、このことをとても喜んでおられました。

ご存じの方も多いと思いますが、大谷先生はお酒が大好きでした。特に日本酒に関しての知識は深く、どの地方の学会においても、飲んだことのあるお酒と飲んだことのないお酒を明確に区別され、その記憶力には感嘆するものがありました。飲んだことのない銘柄がある場合は、嬉しそうに、そして真剣に味わっていたお姿が忘れられません。筆者らの研究室では、大学内で新入生歓迎会や忘年会などの飲み会をすることも多かったのですが、その時には必ず学生からの贈り物であるビールサーバーを持ってこられ、必ずそれを使ってビールを注がれていたことが印象的でした。大谷先生は今年の3月に定年を迎えられましたが、4月から名古屋工業大学産学官金連携機構客員教授という立場でお仕事をされました。定年を迎えられた時には、新型コロナウイルス感染症がまだ5類に移行していなかったこともあり、記念パーティーなどはゴールデンウィーク以降に開催しようということになっておりました。突然のご逝去でそれがかなわなくなってしまったことが、本当に残念でなりません。

大谷先生の、お通夜・告別式には、多くの卒業生、大学関係者、学会関係者、共同研究先の方々にご参列を賜りました。遠方からお見えになった方も非常に多く、会場に入りきらないほどでした。また、会場からあふれるほどのご献花を賜りました。大谷先生がいかに多くの人から慕われていたのかを改めて感じさせられました。

ここまで書き連ねてまいりましたが、筆者の拙い文章では、大谷肇先生のお人柄をすべて表現することはできません。本誌6月号に掲載されました「このひと」でも、大谷先生のお人柄が述べられております。こちらの記事もいま一度ご一読いただき、在りし日の大谷先生に思いをはせていただけますと幸いです。改めまして大谷肇先生の早すぎるとご逝去を悼むとともに、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

〔名古屋工業大学大学院工学研究科 北川 慎也〕

●——超濃厚電解質溶液の電池特性と構造分析

溶媒に電解質塩を溶解した電解液は、Li イオン電池内の物質輸送や電極反応速度を直接支配する重要な構成材料の一つである。現行の従来型 Li イオン電池では、イオン伝導特性および広い電位窓確保の側面から、 1 mol dm^{-3} 程度の希薄カーボネート有機電解液が汎用的に用いられてきた。この電解液では、Li イオンに溶媒分子が配位した溶媒和イオン錯体を形成し、対アニオンとは完全に解離している。一方近年では、Li 塩濃度を著しく高めた超濃厚電解液（溶媒/Li 塩=1~3 by mol）が、2014 年の Yamada らの Acetonitrile 電解液を発端として浸透してきている¹⁾。この超濃厚電解液は、塩濃度を高めるのみで電極被覆の添加剤なしに 4 V 級 Li イオン電池を構築でき、従来系を超える高速充放電（Li イオンの挿入/脱離反応）を可能にする。最近では、対アニオンの多成分化（混合エントロピー効果）による「常温溶融水和物（hydrate-melt）」²⁾ 電解液の技術も報告されている。これらの特異的物性を示す要因は、希薄系には見られない濃厚系特有の溶液構造に由来する。現在、Raman/IR 分光法・中性子/X 線散乱実験および量子化学・分子動力学シミュレーションを駆使した包括的かつ高度な解析技術の確立により、Li イオンの第一溶媒和圏からナノスケールレベルに及ぶ溶媒和構造の解明が加速している。その結果、濃厚電解液の最大の特徴として、遊離の溶媒分子がほとんど消失すること、全化学種（溶媒・対アニオン）が Li イオンに競合配位することで特殊なイオン秩序構造（凝集体）を形成することが指摘されている。これにより、凝集体内のイオンの電子状態（HOMO/LUMO エネルギー準位）が変化することで、酸化/還元安定性が向上し、実効電位窓が拡大する。さらには、Li イオンが配位子交換を繰り返す ion hopping/exchange 機構³⁾⁴⁾ が発現するなど、濃厚化現象に特有な性質が多数報告されている。今後は、この溶液構造が実際の電極反応の反応場である「電極/電解液界面」にどのような影響を与えるのか⁵⁾⁶⁾、その本質因子について分子論的観点から解明することが求められる。

- 1) Y. Yamada, K. Furukawa, K. Sodeyama, K. Kikuchi, M. Yaegashi, Y. Tateyama, A. Yamada : *J. Am. Chem. Soc.*, **136**, 5039 (2014).
- 2) Y. Yamada, K. Usui, K. Sodeyama, S. Ko, Y. Tateyama, A. Yamada : *Nat. Energy*, **1**, 16129 (2016).
- 3) K. Dokko, D. Watanabe, Y. Ugata, M. L. Thomas, S. Tsuzuki, W. Shinoda, K. Hashimoto, K. Ueno, Y. Umehayashi, M. Watanabe :

J. Phys. Chem. B, **122**, 10736 (2018).

- 4) Y. Watanabe, Y. Ugata, K. Ueno, M. Watanabe, K. Dokko : *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **25**, 3092 (2023).
- 5) Y. Kondo, T. Abe, Y. Yamada : *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **14**, 22706 (2022).
- 6) Y. Ugata, R. Tatara, J.-y. Ock, J. Zhang, K. Ueno, M. Watanabe, K. Dokko : *J. Phys. Chem. C*, **127**, 3977 (2023).

〔山口大学大学院創成科学研究科 澤山 沙希〕

●——リチウムの抽出・分離を指向した吸着材の開発

塩湖かん水は、リチウムの総埋蔵量が多く、かつ抽出コストが低いことから、リチウムの重要な供給源となっている。しかし塩湖かん水の Li^+ 濃度は低く、共存するイオンが多種であるため、リチウムの抽出・分離技術の開発が盛んに行われている。吸着材の一種である LiMn_2O_4 (LMO) は、リチウム回収のための優れた酸化還元物質である¹⁾。しかしながら、LMO はヤーンテラー効果によってマンガンが溶解する。そのため深刻な容量低下、サイクル性能の低下につながる可能性がある²⁾。Shang らは、新たに、LMO に Ni をドーブした $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ (LNMO) を合成し、リチウム抽出用の電極としての性能を評価した³⁾。作製した LNMO の結晶構造を XRD にて確認した。Ni を添加しても LMO の面心立方スピネル構造は変化せず、LMO 結晶構造中の Mn の一部のサイトが Ni に置き換えられていることが分かった。

Li^+ とイオン半径が近い Mg^{2+} は、 Li^+ 抽出の過程で主要な競合イオンとなる。LNMO におけるインターカレーション/脱インターカレーションをサイクリックボルタンメトリー (CV) で観察し、各金属イオンに対する選択性を確認した。その結果、 Li^+ の脱インターカレーション/インターカレーションは可逆的であり、安定性が高いことが示唆されたのに対して、 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} のインターカレーションは困難であることが分かった。各金属のインターカレーションは、各金属は $\text{Li}^+ \gg \text{Mg}^{2+} \gg \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ の順順にインターカレートしやすいことが分かった。

LNMO と LMO の安定性を検証するために、活性炭 (AC) を負極とし、LNMO|AC セルと LMO|AC セルを組んだ。100 サイクルのリチウム吸着/脱離を行い、溶液中の Mn^{2+} と Ni^{2+} を ICP-AES によって測定した。その結果、LMO|AC の吸着量は $306 \mu\text{mol/g}$ と多いものの 100 サイクル後の保持率は 50 % ほどであった。一方、LNMO|AC セルの吸着量は $260 \mu\text{mol/g}$ で LMO より低い、約 86 % の保持率を示した。LNMO の安定性をさらに確認するために、サイクルセル内の Mn と Ni の濃度を測定した。LNMO|AC セル内の Mn^{2+} と Ni^{2+} は、100 サイクル後でも検出されなかったが、LMO|AC セルでは Mn^{2+} の濃度はサイクル数とともに増加し 100 サイクル目で 40 % に達した。このことが

ら このことは、LMO への Ni 添加が安定性向上に重要なことが確認できた。LMO では、ヤーンテラー効果により Mn^{2+} の溶出があったが、 Ni^{2+} をドーブすることによって抑えることができ、 Li^+ のインターカレーションに対する選択性を高め、吸着保持率も高い値を示した。リチウム抽出の為に必要なエネルギー消費量と分離係数は他と比較し、優れているか、同程度である。この優れた性能により、実際の塩水や海水からのリチウム回収に

適用できる材料のさらなる開発と合わせ、分離回収の技術開発が望まれる。

- 1) H. Qin, P. Shao, Y. Shu, S. Xian, G. Jian : *Chem. Eng. J.*, **65**, 169 (2010).
- 2) J. C. Hunter : *J. Solid State Chem.*, **39**, 142 (1981).
- 3) S. Xiaohong, H. Bin, N. Pengfei, S. Wei, H. Taimoor, L. Jianyun : *Sep. Purif. Technol.*, **258**, 118009 (2021).

〔神戸大学大学院海事科学研究科 菅野 宙依〕

原 稿 募 集

トピックス欄の原稿を募集しています

内容：読者の関心をひくような新しい分析化学・分析技術の研究を短くまとめたもの。

執筆上の注意：1) 1000 字以内（図は 1 枚 500 字に換算）とする。2) 新分析法の説明には簡単な原理図などを積極的に採り入れる。3) 中心となる文献は原則として 2 年以内のものとし、出所を明記する。

なお、執筆者自身の文献を主として紹介するこ

とは御遠慮ください。又、二重投稿は避けてください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2
五反田サンハイツ 304 号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会
〔E-mail : bunseki@jsac.or.jp〕



クロマトグラフィー分離のアナロジー

三重大学大学院工学研究科の金子 聡先生よりバトンを受け取りました，名古屋工業大学大学院工学研究科の北川慎也と申します。金子先生には分析化学会中部支部で，たいへんお世話になっております。

北川は大学教員として働いていますので，仕事としては，雑多な業務や研究活動以外に，学生への分析化学に関する教育があります。分析化学に限った話ではありませんが，教える対象が目で見ることができないものですので，先人が開発されたいろいろな概念図を用いて，様々な現象を説明することになります。分光分析に関する講義では，エネルギー準位を使った，ヤブロンスキー図やグロトリアン図を利用しています。この種の図を用いることでストークスシフトなどを簡単に説明することができるので，非常に重宝しています。目で見ることができないものを説明する際に適切な概念図を利用することが，非常に有効であることは，多くの方に同意していただけたと思います。

さて，北川の研究対象の一つはクロマトグラフィーです。クロマトグラフィーは分離分析ですので，その分離機構を学生に説明しないといけません。実はクロマトグラフィー分離の説明では，異常なまでに抽象化(?)されたアナロジーが用いられることがあります。図1は，北川も著者の一人である，日本分析化学会編「分析化学実技シリーズ 機器分析編・8 液体クロマトグラフィー」のChapter 1からの引用です。この図では，試料成分である子犬が，川の流れ(移動相流れ)により運ばれ，岩の上の遊具(固定相)で遊ぶことが好きな子犬はゴールにたどり着くのが遅れるため分離される，と説明されています。この例では，遊具への興味の多寡が分離原理となっていますが，飲み屋・おもちゃ屋などが固定相，人が試料成分となっている類似のアナロジーをご覧になっ

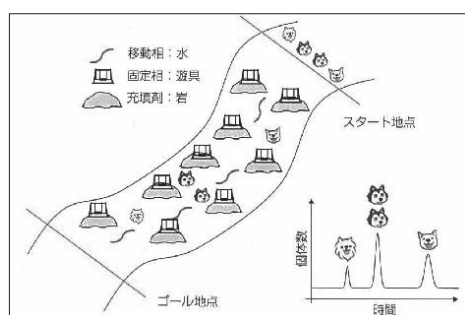


図1 クロマトグラフィー分離のアナロジー

たことがある方も多いのではないでしょうか？

昔，研究室に配属されたばかりの学生さんに，ケーキ屋固定相でクロマトグラフィーの説明を行ったことがありました。「…なので，ケーキが好きな人ほどケーキ屋に保持されます」と説明したところ，一人の学生が笑いながら「途中から食べるのが嫌にならないのですか?」と言ってきたことがありました。その時は北川も笑いながら「嫌になるかもしれないけれど，ケーキ屋を見つけると決まった量のケーキを食べ続ける人です」というようなことを答えたのですが，今思うと試料成分は「ケーキが好きな人」ではなくて「ケーキを食べなくてはならないという呪いがかかった人」と表現するほうが正確なのかもしれません。

この種の「店」固定相のアナロジーを用いて，クロマトグラフィーの様々な説明を試みると，血清中の薬物分析などに用いられる，いわゆる内面逆相充填剤は，店の表に並んでいるものと実際に売っているものが違っている不思議なお店になるような気がしますし，慶應義塾大学の金澤 秀子先生が開発された温度応答性固定相の場合は，ケーキ屋でケーキを食べていたら，いつの間にか別のお店(ケーキ屋の対義語が思いつきませんでした)に変わっていて 追い出されてしまった…といった感じなのかもしれません。なお，移動相組成のグラジエント溶離を，「店」固定相アナロジーにどう落とし込めばいいのかは，残念ながら思いつきませんでした。

北川は電気泳動や質量分析も研究対象としていますが，これらの手法ではクロマトグラフィーほど抽象化されたアナロジーを用いた説明を見たことがありません。一方，クロマトグラフィーに関しては，英語版でも類似のアナロジーを見たことがあります。だれが最初にこの種のアナロジーを思いついたのか，個人的に非常に気になっておりますので，もしもご存知の方がお見えでしたら北川までご一報いただけますと幸いです。なお，クロマトグラフィー以外にも，著しく抽象化されたアナロジーを用いた説明が一般的な分析手法があるのかも気になっています。

さて，金子先生よりお預かりしたバトンは，本学会の電気泳動分析研究懇談会などでお世話になっております，大阪公立大学の末吉 健志先生にお渡ししたいと思います。先生，よろしくお願いたします。

(名古屋工業大学大学院工学研究科 北川 慎也)



インフォメーション

◆ 中部支部だより

—第40回分析化学中部夏期セミナーの報告—

日本分析化学会中部支部主催の夏期セミナーが、中部支部長でもある江坂幸宏先生（岐阜薬科大学）を実行委員長として、9月1日（金）・2日（土）の両日に大垣市上石津町の緑の村公園内にある山村体験宿泊施設「奥養老」で実施された。本夏期セミナーは、分析化学および関連分野に携わる研究者間の交流と親睦を図るとともに、若手研究者の育成と研究発展を目的として、例年8月末から9月初頭に実施されてきた。第40回を迎える今回は、新型コロナウイルスが第5類感染症に移行して初めてのセミナーとなった。宿泊を伴う対面形式のセミナーということで、大人数が集まる夕食会を屋外で行うなど最低限の感染対策を実施しつつ、各自で感染対策にご協力いただいた。産官学から69名（一般30名、学生39名）の参加者があり、各種口頭発表やポスター講演を通じて交流が行われた。開会式では、江坂実行委員長による挨拶に続き、2022年度中部分析化学奨励賞の授賞式が執り行われた。中部分析化学奨励賞は、分析化学に関する独創的な研究を発表し、将来の発展を期待し得る若手研究者を対象に授与される。2022年度は、西山嘉男氏（金沢大学）「新規時間分解分光法の開発と貴金属ナノ粒子の動的特性評価」と佐澤和人氏（富山大学）「土壌環境に森林火災が及ぼす影響を評価するための分析化学的研究と新規手法の開発」が受賞された。招待講演として馬場嘉信先生（名古屋大学）に「常識と限界を超えた未来を切り拓く分析化学～若い分析化学者が世界で羽ばたくために～」の演題でご講演いただいた後、上記の中部分析化学奨励賞受賞者2名による受賞講演が行われた。さらに、若手依頼講演として高須蒼生氏（岐阜薬科大学）に「LC-MS/MSと¹⁵Nトレーサー分析によるイミノ糖の生産と体内動態の評価」の演題でご講演をいただいた。各講演の内容については割愛するが、馬場先生が講演の冒頭で「分析化学とは、物質を測定する新しい方法を創出する学問である。」とおっしゃったとおり、いずれの講演も化学の新たな展開につながる新手法について知ることができる興味深い内容であった。夕食は感染症対策のため、参加者が11テーブルに分かれて屋外でのBBQを行い、久しぶりに親睦を深めた。夕食後は食堂に移動し、少人数に分かれて意見交換等

が行われた。2日目午前は、学生参加者によるポスター講演（37件）に続き、新製品紹介講演として、アジレント・テクノロジー株式会社の松尾和俊氏から二次元高速液体クロマトグラフ等の製品のご紹介、日本分光株式会社の寺田明孝氏から超臨界流体を利用したものづくりについての解説と関連製品のご紹介をいただいた。閉会式に先だってポスター講演の優秀ポスター発表賞（8件）の表彰が行われ、お昼前に散会となった。今回の夏期セミナーは、4年ぶりに新型コロナウイルスによる制限のないセミナーとなり、都会から遠く離れた自然豊かな地で開催されたことも相まって、参加者には久しぶりに開放的な気分を味わっていただけたものと思う。特にポスター発表において、若手研究者の皆さんが懸命に自分の成果について説明し、活発な議論が交される様子を見て、対面での開催の意義を強く感じた。学生諸氏はじめ、若い研究者（私も含む?）の皆さんが、今回の経験を糧にして、化学の各分野で多に活躍することを願って止まない。最後に、本夏期セミナーの実施にあたり、残暑厳しい中、参加者の皆様には遠路はるばるお越しいただき、多大なご協力をいただきました。実行委員会を代表して御礼申し上げます。

〔実行委員：岐阜県保健環境研究所 南谷 臣昭〕

◆ 第383回ガスクロマトグラフィー研究懇談会 講演会・見学会

第383回ガスクロマトグラフィー研究懇談会講演会・見学会は、2023年8月25日（金）、国立研究開発法人理化学研究所放射光科学研究センターの「SPring-8/SACLA」（兵庫県佐用郡佐用町）にて開催いたしました。分析化学分野においても活用されている放射光技術に関して、SPring-8/SACLAの現状と可能性をご紹介いただきました。SPring-8は1997年に運転を開始した周長1436メートルの施設で世界最大のエネルギーを持つ放射光発生装置でその名前はSuper Photon ring-8 GeV（80億電子ボルト）に由来します。SPring-8内では47本の放射光が出され、それらの放射光を使って実験できる場所（ビームライン）が58か所あり、ナノテクノロジーやバイオテクノロジー、産業利用まで多様な研究が進められています。

当日は13:00より施設内のSACLAホールにて、講演会を開催いたしました。講演会と見学会には24名が参加いたしました。講演会では、まずGC研究懇談会の佐藤委員長からの挨拶の後、今回の講演会と見学会の開催に全面的にご協力をいただきました。理化学研究所放射光科学研究センター法科学研究グループリーダーの瀬戸康雄先生より「SPring-8と理研RSC法科学研究グループの研究開発」についてご講演をいただきました。SPring-8の沿革や法科学研究グループにて瀬戸先生がリーダを務められているグループでの研究事例を踏まえ、日本の法科学を支える微細分析の研究をご紹介いただきました。続いて理化学研究所放射光科学研究センターSACLAビームライン基盤グループの菅原道泰先生より「SACLAと構造生物学」についてご講演をいただきました。菅原先生がこれまで取り組まれてきましたX線回折装置への結晶の注入方法の開発を中心とした結晶構造解析の最先端の取り組みについて

ご紹介をいただきました。そして、私、岸本 徹（酒類総合研究所）より「ピールの香りに寄与するチオール化合物の新規前駆体型の発見」という内容について発表をさせていただきました。ここでは新たに発見した前駆体である「ジスルフィド結合型の低分子チオール」について報告をさせていただきました。

15:30 より見学会として、まず全長 700 m の SACLA を見学いたしました。SACLA は、原子や分子の瞬間的な動きをストロボ写真のように観察することができる X 線のレーザーで、2021 年からは、波長 1Å 以下の世界最高性能の光を生み出す SACLA の加速器から、高品質な電子ビームを SPring-8 に入射しています。ここでは壮大な加速器棟、電子から X 線レーザーを生成するアンジュレーターを見学いたしました。精密な装置をこれほどにまで長距離に渡って精緻に並べて、強力な X 線レーザーを生成する設備とそれを完成させた技術に圧倒されました。続いて、SPring-8 内のビームラインを用いた実験設備を見学いたしました。分光分析を行う BL（ビームライン）37XU では、瀬戸先生らのグループが毛髪中の元素を検出されている事例をご紹介いただきました。マイクロ CT として使用されている BL47XU では、はやぶさ 2 サンプルの X 線 CT を用いた分析、放射光ナノ CT による小惑星リュウグウ微細粒子の内部構造解析の研究を紹介いただき、この SPring-8 が世界の研究をリードしていることを実感いたしました。その後、物理棟 3 階の法科学研究グループを見学いたしました。こちらでは、レーザーラマン分光光度計、ICP 発光分光分析装置、偏光蛍光顕微鏡、GC-TOF 装置など日本の警察捜査を支える最先端設備を紹介いただきました。

その後、18:00 からの懇親会には 17 名が参加し、さらにそのうち 14 名が SPring-8 内にあるゲストハウスに宿泊いたしました。深夜までお酒を交わし、交流を深めることができました。

今回の見学会を通じ、日本が国力を掲げて完成させた壮大な研究施設に感銘を受けると共に、それらを完成させ、研究を支えているのは高いレベルの日本の人材であると改めて感じました。精緻な世界最高の研究施設から今後発表される、多くの研究結果は世界をリードして行くと確信いたしました。

〔(独)酒類総合研究所 岸本 徹〕



2023 年度 CERI クロマトグラフィー分析賞

授賞者

本賞は、(公社)日本分析化学会・液体クロマトグラフィー研究懇談会 (LC 懇) が「液体クロマトグラフィーを利用した研究分野で優秀な研究成果を挙げた者に授与する」と規定する褒賞であり、(一財)化学物質評価研究機構 (Chemicals Evaluation and Research Institute, Japan, CERI) の協力を得て 2018 年度より運用を開始している。2023 年度は、本年 8 月末日を期限として候補者の推薦公募を行った。期日までに提出された候補者の推薦理由書、研究業績等を基に、選考委員会 (2023 年 9 月 19 日) で審議した結果、第一三共(株)所属の合田竜弥氏 (推薦者: エーエス フロンティアーズ・宮野 博氏) を授賞候補者として選出した。2023 年度 LC 懇第 6 回拡大運営委員会 (9

月 20 日) において、選考委員長より上申された上記結果を協議した結果、合田氏への授賞が正式に承認された。合田氏の研究業績名は、「ペプチド吸着能のメカニズム解明及びペプチド吸着制御 LC の開発」である。以下、授賞の対象となった研究業績等の概要を紹介する。

1. ポリペプチドの固体への吸着メカニズムの解明

ポリペプチドの固体への吸着が、溶液中の有機溶媒によって惹起される高次構造変化に伴うものであり、ある特定の有機溶媒含量 (臨界値) を境に急激かつ可逆的に変化 (相転移) することを世界で初めて見いだした。また、その吸着能の状態を、臨界値を用いた式で表現することにも成功した。さらに、逆相 LC におけるポリペプチドの溶出機構について、従来の「ポリペプチドは、カラム入口の充填剤担体表面に強く保持された後、溶離液中の有機溶媒含量がある程度上昇しても全くその場から脱離せず、特定の有機溶媒含量に達した時に固定相から初めて脱離し、一旦脱離したポリペプチドは、それ以降固定相とは何ら相互作用もせずカラムから溶出する」との考え方に対して、「ポリペプチドはカラム充填剤に対する吸脱離を繰り返しながら溶出している」ことを示すことにも成功した。

2. ペプチド吸着制御 LC (peptide adsorption-controlled LC, PAC-LC) の開発

上記のポリペプチドの吸着能の可逆性を利用したペプチド吸着制御 LC (peptide adsorption-controlled LC, PAC-LC) を開発し、定量方法及び装置に関する特許を取得した。これは以下の特徴を有する画期的なものである。

1) 測定精度の向上: 前処理工程で、ポリペプチドの容器等への吸着回避を目的とした高有機溶媒含量の溶液の使用が容易となり、高有機溶媒含量の溶液を LC に導入した際に問題となるカラム非保持ピークの発生を抑制することができ、非保持ピーク発生によって生じる測定精度の損失を回避することが可能となった。

2) ポリペプチドの高感度分析: この PAC-LC に対する試料導入量は理論上無制限であることから、試料の大量導入による精度の高い高感度定量が可能となり、これまで困難であった低濃度ポリペプチドの検出及び定量への可能性が開かれた。これらの成果により、現在の製薬企業における新薬開発に不可欠なさまざまなモダリティー医薬品の定量及び医薬品開発に不可欠な生体試料中バイオマーカー定量を、高精度・高感度かつ極めて容易に行うことを可能にした。

3. 社会的貢献

合田氏は日本分析化学会の機関誌「ぶんせき」の編集委員 (編集幹事, 編集副委員長) を歴任し、長年、LC 懇の運営委員等を通じて、HPLC 及び LC/MS 技術者の教育、育成に多大な貢献をしている。また、外部団体ではあるが、JBF (Japan Bioanalysis Forum) の代表として AMED 研究班においてガイドライン指針作成に携わっており、日本のバイオアナリシスの普及、発展の旗振り役の一人である。このように、合田氏のポリペプチド定量に関する顕著なブレイクスルーとその応用、及び社会活動は、正に CERI クロマトグラフィー分析賞授賞に相応しい人物と評価された。

なお、合田氏の業績に関する詳細は、LC 研究懇談会の電子ジャーナル「LC と LC/MS の知恵」第 7 号 (2023 年 12 月

15日発行予定)に掲載し、受賞講演と表彰・副賞の授与は第29回 LC & LC/MS テクノプラザの初日(2024年1月18日、横浜市金沢産業振興センター)に行う予定である。

(液体クロマトグラフィー研究懇談会・委員長 中村 洋)

2023年 POTY 賞授賞者

(公社)日本分析化学会(JSAC)・液体クロマトグラフィー(LC)研究懇談会のPOTY(Person Of The Year)賞は、非研究面からLC研究懇談会の運営に大きな貢献があった人物に与えられる褒賞である¹⁾。

2023年POTY賞受賞候補者の推薦に関する会告は、JSACの機関誌「ぶんせき」誌3号(2023, M3)とLC研究懇談会のホームページに掲載され(推薦締め切り8月31日)、9月5日に選考委員会がMicrosoft Teamsにより開催された。その結果、三上博久氏(株島津総合サービス)により推薦された榎本幹司氏(栗田工業株)が、9名の参加選考委員(欠席委員2名)により満場一致で授賞候補者として選考された。この選考結果は3年5か月ぶりに対面式で9月20日に開催された2023年度第6回拡大運営委員会で協議され、榎本氏への授賞が正式に承認された。授賞題目は「リモート開催各種事業の円滑運営と対面開催に向けた新たな取り組みへの貢献」である。以下、授賞対象となった榎本氏の業績を概説する。

榎本幹司氏は、水処理、環境分野などを専門とする貴重な運営委員として、LC研究懇談会においてさまざまな活躍を行っている。コロナ禍のため、LC研究懇談会の各種行事が中止あるいは延期される状況下、Web対応小委員長として例会等諸行事及び各種委員会のオンライン開催の実現に尽力した。すなわち、2021年3月の第357回例会より立ち上がったZoomオンライン例会を始め、LC & LC/MS テクノプラザ、HPLC講習会等の行事、及び各種委員会のオンライン化に、Web対応小委員長として取り組み、大きな実績を残した。コロナ禍における所属企業の配置換えにより、小委員会メンバーが相次いで退任したにもかかわらず、榎本氏は各行事のオンライン開催の実運用(各種委員会及び例会のオンライン開催の段取り、例会講演要旨集取りまとめと参加者への配布、例会当日の裏方等々)に精力を注ぎ、2023年9月まで、一度も例会に穴を開けることなく継続的な実施を成し遂げた。さらに、2023年9月例会の対面実施が再開されるに伴い、オンライン開催で得られたノウハウを基に、要旨集のオンライン配布などの諸準備に取り組んでいる。また、各種委員会についてはZoomから無料のTeamsによる開催へ切り換えるとともに、例会前に現地開催される運営委員会においては、遠方の役員が参加可能となるように対面/オンラインハイブリッド開催という新たなスタイルの実現に向けた取り組みを精力的に行っており、アフターコロナへのスムーズな移行に貢献を続けている。榎本氏のこれらの活動実績は、LC研究懇談会の発展に多大な貢献を果たしており、変革の年2023年のPOTY賞に誠にふさわしい。榎本氏がLC分析士、LC/MS分析士はもちろん、環境計量士(濃度関係)、土壌環境監理士、土壌環境リスク管理者、土壌環境保全士などの資格を有する事実は、氏が好奇心に溢れ、進取の気

性に富む人物であることを如実に示している。2023年10月から、新たにインボイス制度がスタートする。榎本氏はインボイス対応小委員長としても、水を得た魚のように積極的な取り組みを展開してくれている。これもまた、心強い限りである。

なお、榎本氏の業績に関する詳細はLC研究懇談会の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」第7号(2023年12月15日発行予定)に掲載し、受賞講演と表彰・副賞の授与は第29回 LC & LC/MS テクノプラザの初日(2024年1月18日、横浜市金沢産業振興センター)に行う予定である。

1) 中村 洋: ぶんせき, 2022, 130-131.

(LC研究懇談会・委員長 中村 洋)

2023年液体クロマトグラフィー科学遺産認定

(公社)日本分析化学会液体クロマトグラフィー研究懇談会(LC懇)は、2018年度より「液体クロマトグラフィー科学遺産」の認定事業を開始し、6年目の本年は8月末日を期限として推薦公募を行った。期日までに提出された複数の推薦書につき、2023年液体クロマトグラフィー科学遺産認定委員会(9月5日)で審議した結果、長江徳和氏(クロマニックテクノロジー株)推薦の「新規エンドキャッピング技法: シラノール基の脱水縮合によるシロキサン結合化」(所有者: 長江徳和氏)を液体クロマトグラフィー科学遺産第6号候補として選出した。2023年度LC懇第6回拡大運営委員会(9月20日)において、認定委員会委員長より上申された上記結果を審議し、これを承認した。「液体クロマトグラフィー科学遺産」とは、その認定に関する規定第2条に、「日本における液体クロマトグラフィーの発展にとって、歴史的な観点から顕著な貢献があったと認められるものを指す」と定義されている。認定第6号となった「新規エンドキャッピング技法: シラノール基の脱水縮合によるシロキサン結合化」の認定理由の概要を以下に示す。

長江徳和氏(会員番号LC1A01006)が開発したエンドキャッピング技法は、一次シリル化後に行う二次シリル化とは異なる。すなわち、通例はC18などの官能基をシリカゲルに結合(一次シリル化)後、シリカ表面に残存するシラノール基に嵩の小さいトリメチルシリル基などを結合させること(二次シリル化)が主流である。これに対して、長江氏は隣接した残存シラノール基同士を脱水縮合させ、シロキサン結合(Si-O-Si)に変換させることにより残存シラノール基を減らし(図1)、シラノール基の所謂二次効果による分離への悪影響を低減させることを特徴としている。従来は、残存シラノール基の二次効果を低減させる目的でアルキル基の内部に極性基を埋め込んだり、シリカ表面にプラスのチャージを加えたりする技法

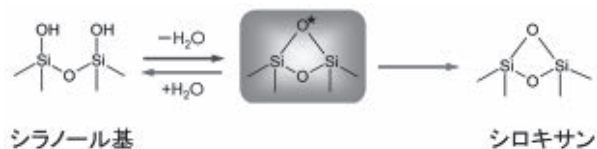


図1 隣接したシラノール基の脱水によるシロキサン化

も提案されてきたが、シラノール基の数を減らしているわけではなかった。長江氏が考案したシロキサン化による残存シラノール基の減少策は、二次シリル化によるエンドキャッピングではないが、残存シラノール基を減らすことには変わりがない。また、この技法により、シラノール基が十分水和していれば、塩基性化合物はシラノール基とのイオン交換により保持は大きくなるが、テーリングを起こさないことも判明した。従来のエンドキャッピングでは、エンドキャッピング後も1/3~1/2はシラノール基がシリカ表面に残っているとされているが、このシロキサン化を一緒に行えば、さらに残存シラノール基を削減でき、シリカ表面の疎水性が上がる。その結果、水分子がシリカ表面に近付き難くなり、加水分解が起こり難くなるため、耐久性はさらに上がることも判明した。

長江氏が考案したシラノール基のシロキサン化を行った製品は、2007年7月に発売開始され、嵩の小さいシリル化試薬による従来のエンドキャッピングと同時にこのシロキサン化を行った製品は2008年9月に発売開始された。シラノール基の脱水縮合によるシロキサン結合及びこれを含むエンドキャッピング技法は決して古い技法ではないが、今まで提唱されてこなかった新たな考え方によるエンドキャッピング技法である。この技法により製品化されたカラムは、全世界で多くのHPLCカラムメーカーから販売されており、現在28のブランドが市場に投入されている。

以上、概説したユニークなエンドキャッピング技法は、HPLCにおけるカラムテクノロジーとして画期的であり、その実用性と歴史的な価値の大きさは正しく液体クロマトグラフィー科学遺産に値するものと認定された。

なお、認定第6号に関する詳細は、LC研究懇談会の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」第7号（2023年12月15日発行予定）に掲載し、認定講演と表彰は第29回LC&LC/MSテクノプラザの初日（2024年1月18日、横浜市金沢産業振興センター）に行う予定である。また、2023年の認定委員会委員は11名であるが、認定作業に当たったのは以下の9名である（◎印：委員長）：伊藤誠治（東ソー）、榎本幹司（栗田工業）、岡橋美貴子（臨床検査基準測定機構）、橋田規（日本食品検査）、熊谷浩樹（アジレント・テクノロジー）、竹澤正明（東レリサーチセンター）、◎中村 洋（東京理科大学）、西岡亮太（住化分析センター）、三上博久（島津総合サービス）。

[液体クロマトグラフィー研究懇談会・委員長 中村 洋]



第19回生涯分析談話会（富山）

表記談話会が第83回分析化学討論会（富山大学五福キャンパス）の前日（2023年5月19日）、LC研究懇談会の協賛を得て開催されました。コロナ禍ために中止していた生涯分析談話会を昨年（2022年）の日本分析化学会第71年会（岡山大学）での開催に続きひさしぶりに全国の皆様と旧交を温めることができました。講師は早川和一金沢大学名誉教授（環日本海域環境研究センター連携研究員）で、講演題目は「越境大気汚染研究—見えた先入観と現実」でした。

冒頭、参加者に次の問いかけがなされました。

1. 黄砂とPM_{2.5}は何が違う？
①サイズ、②成分、③発生源
2. 黄砂は日本に多環芳香族炭化水素（PAH）類を運んでくる？
①いつも（吸着する）、②時々（吸着する）、③関係ない（吸着しない）
3. 北京の大気中PAH類濃度は金沢の何倍？
①50倍、②10倍、③同じ
4. 東京の大気中PAH類濃度は金沢の何倍？
①10倍、②3倍、③同じ
5. 北京のPAH類の最大の発生源は？
①自動車、②石炭燃焼、③バイオマス燃焼（野焼き/炊事）
6. 金沢のPAH類の最大の発生源は？
①自動車、②石炭燃焼、③バイオマス燃焼（野焼き/炊事）
7. 北九州のPAH類の最大の発生源は？
①自動車、②石炭燃焼、③バイオマス燃焼（野焼き/炊事）
8. 金沢の大気中大気中PAH類濃度は能登半島先端の何倍？
①10倍、②3倍、③同じ
9. 金沢の現在の大气中PAH類濃度は25年前の何分の一？
①同じ、②1/3、③1/10
10. コロナ中国ロックダウンで日本への越境輸送PAH類はどれだけ低下？
①変化なし、②1/2、③1/4

簡単そうに見えますが、よく考えるとすぐには回答できない問でした。皆様はどうか。早川先生の解答は文末にあります。参考にしてください。

早川先生は1987年から有害汚染物質、多環芳香族炭化水素（PAH）、二トロ多環芳香族炭化水素（NPAH）類の高感度分析法開発を手掛け、日本で大きな社会問題になっていた都市大気汚染の解析に応用されました。その後、対象域を急激に大気汚染が悪化し始めた東アジア等の諸外国に拡大されました。講演概要は次のとおりでした。

春は中国西方～モンゴルの砂漠から黄砂が、冬は中国東域都市の石炭暖房から発生するPAH類を含むPM_{2.5}が日本列島に越境輸送されています。深刻だった日本の都市大気汚染は、自動車排ガス粉塵対策の強化で2000年以降劇的に改善した。一方、中国政府の石炭燃焼抑制策によって大都市域では、最近、大気汚染レベルの改善傾向が見られるが、中国全体の石炭消費量は依然増加している。日本列島への越境輸送量の減衰も鈍い。

現在の金沢市の大気のPAHのほとんどは越境輸送であり、NPAHの半分が地元発生であった。日本の他都市でも同様の懸念があり、今後のPAH、NPAHの発生源解析にはこれまで無視されてきた越境輸送を考慮する必要がある。

ガソリン/ディーゼル車からハイブリッド/水素/電気自動車等への転換の趨勢は、世界のPAH、NPAH大気汚染の改善を加速するが、ゼロエミッションから注目されるバイオマス燃焼もPAH、NPAH類の発生源であり、技術改革や規制が必要となろう。また、石炭依存が依然大きい国は多く、暖房を含むエネルギー転換は今後の世界のPAH、NPAH大気汚染の改善の大きなカギを握る。東アジアの環境汚染対策には現実を直視し



講演中の早川先生と参加者

て、先入観のない理解と国際協力が不可欠である。

講演終了後参加者から、冒頭の問いに対する解答や質問が提示された。筆者は先入観にとらわれすぎていることを痛感しました。学術的考察にも基づいたデータ解析であり、大変有益な講演でした。講演終了後富山駅ビルの八兆屋駅の蔵で懇親会を開催しました。

最後になりましたが、第83回分析化学討論会実行委員長、遠田浩司先生（富山大学）、実行委委員、鈴木保任先生（金沢工大）にはそれぞれ生涯分析談話会の講演会場の設定、懇親会場の情報提供をいただきありがとうございました。感謝申し上げます。

（冒頭の設問の解答は、1, ①, ②, ③; 2, ③; 3, ①; 4, ③; 5, ②; 6, ①; 7, ②; 8, ③; 9, ②; 10, ③. です。）

〔日本分析化学会名誉会員、佐賀大学名誉教授、
特任教授 田端 正明〕



第20回記念生涯分析談話会（熊本）

表記談話会が熊本での日本分析化学会第72年会のプログラムの一つとしてLC研究懇談会協賛のもとで開催されました。第20回の記念大会ですので、その設立の過程を少し紹介します。

2010年分析化学討論会（島根大学）時に本会の設立について議論しました（出席者：戸田昭三、赤岩英夫、小熊幸一、神道千秋、中村 洋、平井昭司、田端正明、長谷川佑子、（敬称略））。本会設立は、中村 洋先生（当時、日本分析化学会会長）が会員の相互交流を促進するために「〇〇人生談話会」の提案によるものでした。本会の名称を「生涯分析談話会」と

し、退職しても学会に参加しやすいような機会とするために、年1回または2回、学会期間中に退職会員による講演会と懇親会などを開催し、分析化学会員の親睦と生涯元気に過ごすことを趣旨としました。講演は開催地の長老が行うこととしました。また、幹事（世話人）を長谷川佑子（東京理科大）、田端正明（佐賀大学）が担当することになりました。会費は無料で、参加者募集は、「ぶんせき」誌への会告掲載とメールによる会員への連絡です。第1回「生涯分析談話会」の講演会は2010年9月15日、仙台での日本分析化学会第59年会で開催しました。四ッ柳隆夫先生（東北大学名誉教授、元日本分析化学会会長）が講演されました。なお、開催回数と経過年数との違いは、年会以外に討論会でも生涯分析談話会が開催されたためです。

さて、今回の生涯分析談話会が熊本での開催のために、講演順番が小生に回ってきました。小生は2009年佐賀大学を定年退職し、その後今日まで大学に研究室を置き、外部資金で研究を続けています。①有明海干潟の浄化作用、②三重津海軍所跡（佐賀市、世界遺産）からの出土遺物の化学組成と産地推定、③アスベスト（石綿）の検出と無害化、に取り組んでいます。いずれも、現役時の研究とは違いますが、蓄積した分析化学の知識と経験を基にした研究テーマです。今回は、③のアスベストの検出法について「まだあるアスベストどうする「災害・解体時の廃棄建材中の石綿の検出・分析法」」をテーマとして講演しました（図参照）。

2006年にアスベスト（石綿）含有建材などの製造・使用は禁止されました。しかし、それ以前に建築された家屋やビルにはアスベストが含まれ、現在もおアスベスト含有建材が災害や家屋解体時に廃棄されています。災害現場や解体現場でアスベスト被害の恐れがあり、しかも、2023年から環境省は建物を解体する場合は、事前にアスベスト検査結果の報告を義務付け



講演中の筆者と参加者

ました。その結果、現場でのアスベストを迅速・簡単に識別する方法がますます必要となっています。私達は、現場で素人の作業員が使い、費用もかからないアスベストの検出法を研究しています。その方法は、採取した建材の汚れを落とし、粉碎することなくそのまま建材の表面を色素で染色します。表面を実体顕微鏡で観察し、アスベストが含まれているかどうかを判定します。判定結果を偏光顕微鏡法、X線回折法(XRD)、走査電子顕微鏡法(SEM)、ラマンスペクトル法、公定分析法と比較しました。34個の試料についてXRDとの違いが1件ありましたが、それは公定分析法との比較の結果、染色法と一致しました。本法は、低倍率(×50倍)で観測できるので、公定法の位相差分析法(×400倍)よりも簡単に精度良くアスベストを検出できます。本法では市販の安い色素を使いますので分析費は安く、必要な装置は実体顕微鏡(10万円)です。解

体企業の負担は容易と考えています。本研究は環境省・(独)環境再生保全機構「環境研究総合推進費」(JPMEERF20221M01)の委託を受けて実施しました。感謝申し上げます。詳細はM. Tabata *et. al.*: *Waste Management*, **138**, 180–188 (2022); *Waste Management*, accepted (2023) をご覧ください。講演会后、熊本の魚粋で懇親会を開催しました。

最後になりましたが、第72年会実行委員長 戸田 敬先生、庶務幹事大平先生には大変お世話になりました。感謝申し上げます。特に、本年から、生涯分析談話会を学会プログラムの一つとして取り上げていただいたために会場での参加者は今までより多く盛況でした。

〔日本分析化学会名誉会員、佐賀大学名誉教授、
特任教授 田端 正明〕

執筆者のプロフィール

(とびら)

井上 高教 (Takanori INOUE)

大分大学理工学部(〒870-1192 大分市旦野原700)。九州大学大学院総合理工学研究科。博士(工学)。《現在の研究テーマ》レーザー分光分析と匂いの化学。

E-mail: tinoue@oita-u.ac.jp

(ミニファイル)

橋 椋 (Ryo TACHIBANA)

東京大学大学院薬学系研究科。(〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)。東京大学大学院薬学系研究科博士課程修了。博士(薬科学)。

E-mail: rtachibana@mol.fu-tokyo.ac.jp

(トビックス)

澤山 沙希 (Saki SAWAYAMA)

山口大学大学院創成科学研究科(〒755-0097 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)。博士研究員(PD)。工学博士。《現在の研究テーマ》バルク-界面構造に着目した電池用超濃厚電解液の機能設計。《趣味》読書、神社仏閣巡り。

E-mail: sawa-s@yamaguchi-u.ac.jp

菅野 宙依

神戸大学海事科学研究科(〒658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町5丁目1-1)。

(リレーエッセイ)

北川 慎也 (Shinya KITAGAWA)

名古屋工業大学大学院工学研究科(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)。名古屋工業大学工学部応用化学科卒業。博士(工学)。《現在の研究テーマ》HPLC・電気泳動・質量分析の高性能化とその応用。《主な著書》“分析化学実技シリーズ 機器分析編・8 液体クロマトグラフィー”，分担執筆。(共立出版)，(2022)。

E-mail: kitagawa.shinya@nitech.ac.jp

目 次

年間特集「流」：報 文

- in situ* XAFS用加熱フローセルシステムの開発と
無電解ニッケルめっき反応の解析への応用
…………… 中島淳一・野上哲平・梶原佑紀・仲西桃太郎・藤木裕宇・近間克己・山添誠司 391

報 文

- 「タンチョウモチ」及び「いちほまれ」炊飯時に発生する
匂い成分のリアルタイム分析
…………… 橋本将平・浮田匡章・山口陽丈・小林麻子・内村智博 399

報 文 (若手初論文)

- アミノ酸のペンタフルオロベンジル誘導体のGC/EI-MSによる解析
…………… 田中杏奈・落合陽香・熊田英峰・榎本剛司・梅村知也 407

技術論文

- 背面二次ターゲットを利用した毛髪中微量元素からの
蛍光X線強度増大に関する検討
…………… 井上史之・松山嗣史・辻 幸一 417
- 六価クロム定量のための水酸化鉄(III)共沈法による
三価クロム除去に対する水酸化鉄(III)沈殿の微細化の影響
…………… 政井咲更美・門木秀幸 425

技術論文 (若手初論文)

- 2,4-ジニトロフェニルヒドラジン誘導体化した特定悪臭物質アルデヒド類の
構造異性体及び *syn/anti* 異性体のHPLC分離と定量
…………… 齊藤 幸・安陪智史 431
- 高レベル放射性廃棄物中のZr-93迅速分析に向けた
LA-ICP-MSによる固体試料中Zr同位体測定法の開発
…………… 森井志織・蓬田 匠・浅井志保・大内和希・岡 壽崇・北辻章浩 441

ノ ー ト

- ウレアーゼ固定化植物由来バイオマスの特性と
ホルムアルデヒドの間接定量への応用
…………… 宮内俊幸・井垣侑生・三浦航輝・爾見優子 449
- 材料表面のAFM破断長解析
…………… 新井勇貴・田中春樹・中井川貴城 455

アナリティカルレポート

- フェムト秒レーザーアブレーション-ICP質量分析法による
多種微量元素の定量分析のための有機マトリックス標準試料の開発
…………… 寺尾祐子・椛山卓郎・平兮康彦・岩戸 薫・宮下陽介・
檜納好岐・山下修司・栗原かのこ・平田岳史 463

「分析化学」編集委員会特集“産業の発展に貢献する分析化学”の論文募集	471
「分析化学」特集“流れ分析—40年の歩みとこれから”の論文募集	472
“第23回若手研究者の初論文特集”募集のお知らせ	473
「分析化学」年間特集“分”の論文募集	474
「分析化学産業技術論文賞」のご案内	476
テンプレートによる投稿要領	477
「分析化学」に投稿される皆様へ	478

「分析化学」誌ホームページ URL=<https://www.jsac.jp/~wabnsk/index.html>

㊦ 〈学術著作権協会委託〉 本誌からの複写許諾は、(公社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、一般社団法人学術著作権協会(〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階, FAX: 03-3475-5619, E-mail: info@jaacc.jp)から受けてください。



- ◇2023年11号では、本年度の特集「令和の分析化学教育」が掲載されています。大学だけでなく、企業や高校など様々な立場から教育に対する熱意と同時に難しさが伝わり、深く感心しています。それだけに留まらず、実践していきたい今後のヒントを頂けたと思います。奇しくも「とびら」、「リレーエッセイ」でも、同じ教育についての話題が挙がっており、どの立場でも教育における関心の高さ・重要性が伺えます。
- ◇2023年のノーベル化学賞は「量子ドットの発見と合成」に貢献した三氏が受賞されました。この量子ドット技術は、ディスプレイ、太陽電池、蛍光イメージングなどに使用されており、すでにディスプレイにおいては、2013年から市販化されています。その特徴は、高画質、広視野角などのメリットがありますが、安全性に問題ないレベルのカドミウムを使用されるという欠点が指摘されています。この受賞により技術革新がさらに進み、より安全性の高い製品の開発が進むと考えられます。
- ◇本学会の会長である大谷肇先生が8月に突然ご逝去されました。大谷先生には某学会で一緒にさせて頂いて以来、研究やお酒でもたくさんのご指導やアドバイスを頂きました。感謝申し上げますとともに、心よりご冥福をお祈り申し上げます。
(H.S.)

- 〈とびら〉
「ぶんせき」誌の付加価値向上を目指して……………四宮 一総
- 〈入門講座〉 分離技術：原理から最新技術まで
マイクロ流路デバイス……………火原 彰秀
- 〈解 説〉
HPLC/ICP-MS法による化学形態別分析と
多元素同時分析への利用……………岡林 識起
- 〈ミニファイル〉 マイクロ・ナノの分析化学
実用化・展望……………渡慶次 学
- 〈話 題〉
ベルおよびポリフルオロアルキル化合物の
包括管理に向けて……………三宅 祐一

◇ 編 集 委 員 ◇

〈委員長〉 四宮 一 総 (日 大 薬)		
〈副委員長〉 東海林 敦 (東京薬科大薬)		
〈理 事〉 津越 敬 寿 (産業技術総合研究所)		
〈幹 事〉 市場 有 子 (ライオン(株))	稲川 有 徳 (宇都宮大院地域創生科学)	坂 牧 寛 (化学物質評価研究機構)
	村居 景 太 (株共立理化学研究所)	
〈委 員〉 岩井 貴 弘 (株日立製作所)	糟野 潤 (龍谷大先端理工)	久保田 哲央 (アジレント・テクノロジーズ)
	坂 真 智子 (株エスコ)	島田 健 吾 (石福金属興業(株))
	古賀 舞 都 (農研機構)	高橋 あかね (オルガノ(株))
	末吉 健 志 (大阪公立大院工)	野間 誠 司 (佐賀大農)
	永谷 広 久 (金沢大院自然科学)	福 島 健 (東 邦 大 薬)
	原賀 智 子 (日本原子力研究開発機構)	宮下 振 一 (産業技術総合研究所)
	三浦 篤 志 (北 大 院 理)	森 山 孝 男 (株リガク)
	盛田 伸 一 (東北大院理)	

☑ 複写される方へ

日本分析化学会は学術著作権協会(学著協)に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写する場合は、学著協より許諾を受けて複写してください。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階
一般社団法人 学術著作権協会

FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

なお、複写以外の許諾(著作物の転載願い等)は、学著協では扱っていませんので、直接日本分析化学会へお尋ねください。

ぶんせき 2023年第11号(通巻587)

2023年11月1日印刷

2023年11月5日発行

定価1,000円

編集兼発行人 公益社団法人 日本分析化学会

印刷所 〒173-0025 東京都板橋区熊野町13-11

株式会社 双文社印刷

発行所 〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2

五反田サンハイツ304号

公益社団法人 日本分析化学会

電話 総務・会員・会計: 03-3490-3351

編集: 03-3490-3537

FAX: 03-3490-3572 振替口座: 00110-8-180512

© 2023, The Japan Society for Analytical Chemistry

購読料は会費に含まれています。

2023年度「ぶんせき講習会」(発展編)

「分析における人工知能 (AI)

～AIでの課題を解決にむけて～

主催 (公社)日本分析化学会近畿支部, 近畿分析技術研究懇話会

協賛 (公社)化学工学会関西支部, (一社)近畿化学協会, (公社)日本化学会近畿支部, (公社)有機合成化学協会関西支部, (公社)高分子学会関西支部, (一社)日本鉄鋼協会関西支部, (公社)日本金属学会関西支部, 関西分析研究会

近年人工知能 (AI) を用いたデータ解析に注目が集まっています。日々データを扱う、たとえばスペクトル、画像、レイなどの複雑で大量のデータを扱うことの多い分析現場では、AIの担う役割が今後大きく広がる可能性があります。本講習会では、主に分析化学において、AIに関心があるが、何をどのように始めたらよいか分からないなど、AIの初学者・初級者を対象におこなう機械学習の入門コースとなります。AIとはなにか? 機械学習は何か? という素朴な疑問から、機械学習を例題に使って「学習」とは何かについて学びます。その後、Pythonをつかった機械学習の簡単な演習をおこない、データを用いた実践を行います。本年度は、最近話題となった生成AIを取り上げ、生成AIが化学分析の現場で、どのような場面でどのように活用できるかについて考察します。この講習後、AIを使った課題解決に必要な問題設定ができるようになり、自らの業務領域での課題を発見し、解決に必要なAIソリューションにつなげることができるようになります。

期日 2023年11月24日(金) 13.30~17.00

会場 Webexによるオンライン開催 (Cisco Webex)

講習内容 AIに関する基礎的な講習とPythonを用いた機械学習の演習

対象者 AIに興味はあるが、内容についてあまり知らない方で、これからAIを用いて実験・研究してみたいと考えている方。

講習プログラム

1. 【講習】分析とAI (13.30~14.15/45分)

(阪大) 大城敬人

AIとはなにか、何ができるかについて説明し、分析化学の現場でAIがどのように活用できるのかについて考えます。AIを簡単にアクセスできるようになると、AIを実装した分析化学は革新的なテクノロジーになることができることを例に挙げていきます。

2. 【講習】機械学習とそれを用いるための計画にむけて (14.30~15.15/45分)

(阪大) 小本祐貴

AIを分析化学の現場で実装するためには、目標を定めてそれに沿った計画が必要です。そのために必要な、データを取り扱い方、データを処理するためのアルゴリズムなどを学び、機械学習を用いた分析手法を学びます。

3. 【演習】PythonによるAIの演習 (15.30~17.00/90分)

(阪大) 大城敬人/小本祐貴

AIの演習として、Pythonを用いた実践を行います。環境構築から、プログラム入門をして、データの可視化や機械学習を用いたモデル作成、予想などを行います。ディープラーニングなどを用いた学習も行います。

*お申込みいただいたメールアドレスに、Webexミーティング招待状を送付します。

*各自でご用意いただくパソコン (OS Windows 10推奨) に、ウェブミーティングソフトのCisco Webexをダウンロードのうえ、インストールしてください

*当日、Webexの招待メールからミーティングルームにログインしてください。

*また、参加者には事前に電子メールにてPDF資料 (Webex

のインストール方法、講義テキスト・Python環境構築手引き・コードのダウンロードリンクを含む) 案内および受講方法の詳細を記したメールを送付します。

*パソコン (OS Windows 10推奨) に、Python環境構築を行ってください。やり方については、あらかじめお配りした資料の手引きをもとに行ってください。

*当日のテキストは、各自でPDFを事前にダウンロードし、お使いください。

参加費 主催・協賛団体所属会員 5,000円、学生 2,000円、会員外 8,000円

定員 100名 (先着順申込受付とし、定員になり次第締切)

申込方法

*参加を希望される方は、近畿支部HP (<http://www.bunkin.org/>) から本講習会のページに入っていただき、【参加申込フォーム】にてWebからお申し込みください。

*お申込み後、自動返信メールが届きましたら、開催日までに参加費のお支払いをお願いいたします。参加費は銀行口座 (りそな銀行御堂筋支店 普通預金 No.2340726, 名義: 公益社団法人日本分析化学会近畿支部) にお振り込みください。

申込締切 11月12日(日) (11月13日(月)以降のキャンセルは不可)

申込先 (公社)日本分析化学会近畿支部 [〒550-0004 大阪市西区朝本町1-8-4 大阪科学技術センター6階, 電話: 06-6441-5531, FAX: 06-6443-6685, E-mail: mail@bunkin.org]

近畿支部HP: <http://www.bunkin.org/>

問合せ先 大阪大学 大城敬人

[E-mail: toshiro@sanken.osaka-u.ac.jp]

第385回ガスクロマトグラフィー研究懇談会

特別講演会

「工業製品の発展と共に活躍する

ガスクロマトグラフィー」

—関連材料の管理や調査におけるGCの役割と展望—

主催 (公社)日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会

工業製品の生産や流通、使用、さらに廃棄に至るまで、各場面における材料や化学物質の調査・評価・管理には、ガスクロマトグラフィーが多岐に活躍しています。規制物質や管理対象化合物の評価、異臭や異物の調査、さらには廃棄後の運命としてリサイクルやマイクロプラスチックへの着目など研究範囲も広く、生産者や販売者、消費者によって注目する対象は異なります。今回の研究会は、その一端を紹介する企画として、主題講演にはそうした課題に携わる方々を講師としてお招きいたしました。また技術講演では、関連企業による最新の情報をご紹介いたします。なお、併設の展示スペースにてメーカー等による情報提供があり、休憩時間にまわることができます。

また講演の後は講師を囲んでの意見交換会を予定しており、同/異分野の研究者や技術者の方々との情報交換の場として、講演と合わせて今後のご活動の発展に繋がる良い機会になることを期待しております。皆様のご参加をお待ちしております。

期日 2023年11月30日(木) 10.00~ (受付開始 9.30~)

会場 北とびあ 飛鳥ホール [東京都北区王子1-11-1, 交通: JR京浜東北線「王子」駅徒歩5分]

(<https://www.hokutopia.jp/access/>)

*後日、参加登録者にYouTubeにて動画配信予定

プログラム

9.30~ 受付開始

10.00~10.05 開会の挨拶 (GC研究懇談会委員長) 佐藤 博

お知らせ

10.05~10.45

【主題講演 1】食品用容器包装の試験検査について
(カデラ薬品(株)) 金子令子

10.45~11.25

【主題講演 2】食品用器具・容器包装ポジティブリスト制度について
(一財)化学研究評価機構食品接触材料安全センター
梶原健世

11.25~12.05

〔技術講演 1〕食品用器具・容器包装添加剤分析用データベースのご紹介
(アジレント・テクノロジー(株)) 風間春奈

〔技術講演 2〕工業製品分析のための加熱脱着装置の開発
(日本分析工業(株)) 大栗直毅

12.05~13.35 昼食・休憩

13.35~14.15

【主題講演 3】臭気分析における GC-MS と多変量解析の活用
(株)日産アーク) 牧野里美

14.15~15.15

〔技術講演 3〕異臭データベースのご紹介(仮題)
(株)島津製作所) 内山新士

〔技術講演 4〕GC-TOFMS 専用自動構造解析ソフトウェアを用いた製品中異物の差異分析・構造解析
(日本電子(株)) 生方正章

〔技術講演 5〕未定 (フロンティア・ラボ(株)) 未定

15.15~15.45 休憩

15.45~16.25

【主題講演 4】熱分解 GC/MS による大気マイクロプラスチックの分析
(徳島大学大学院社会産業理工学研究部) 水口仁志

16.25~17.05

【主題講演 5】ケミカルリサイクル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
(東北大学大学院環境科学研究科) 熊谷将吾

17.05~ 閉会挨拶 (GC 研究懇談会委員長) 佐藤 博

17.30~19.30 意見交換会(会場:北とびあ 17F レストラン QUAD17)

講演会参加費 (すべて税込, 振込手数料はご負担ください)

GC 研究懇談会会員: 2,000 円【要旨集含む】

GC 研究懇談会会員外: 5,000 円【要旨集含む】

学生(当日受付時に学生証をご提示ください): 2,000 円【要旨集含む】

意見交換会費 5,000 円(実施時期の情勢により中止する可能性があります)

定員 150 名

申込方法 GC 研究懇談会ホームページからオンライン登録をお願いいたします。

<https://www.jsac.or.jp/~gc/conference/2023.html>

申込締切日 2023 年 11 月 22 日(水)

※申込後の参加証の発行はいたしておりません。

※先着順で受け付け, 申し込み締め切り日前でも定員に達した時点で締め切ります。定員を越えた時には同一企業・機関からの参加者数の調整にご協力いただく場合があります。

※締切以降の申込に関しては, 問合せまでご連絡ください。
仮受付 E-mail が届いた後, 参加費を振込み, 事務委託先に E-mail で振込確認ができる「振込者名と申込者(受講者)情報」を連絡してください。請求書は発行いたしません。
領収書が必要な方は「領収書の宛先, 領収書の送付先」も明記してください。

参加費の振り込み確認ができた方に, 事務委託先より本受付 E-mail で最終案内が届きます。会場での参加時に最終案内を受付に提示ください。

参加費振込先 りそな銀行五反田支店(普通) 0804659
公益社団法人日本分析化学会

参加費は 11 月 24 日までにお振込みください。

問合せ先 東京都立産業技術研究センター

木下健司 [E-mail: kinoshita.kenji@iri-tokyo.jp]

事務委託先 (一財)大気環境総合センター

[電話: 03-6801-6082, E-mail: info@iiae.or.jp]

なお, 最新情報は随時, ガスクロマトグラフィー研究懇談会のホームページをご覧ください。

<http://www.jsac.or.jp/~gc/index.html>

——以下の各件は本会が共催・協賛・
後援等をする行事です——

◎詳細は主催者のホームページ等でご確認ください。

テラヘルツ科学の最先端 X

主催 (公社)日本分光学会テラヘルツ分光部会
期日 2023年12月20日(水)・21日(木)
会場 東北大学電気通信研究所ナノ・スピコン総合研究棟
ホームページ
<http://www.thzspectroscopy.jp.org/>
連絡先 電子情報通信学会 佐藤 昭 (東北大)
[E-mail: mwphz-kanjidan@mail.ieice.org]

表面科学技術研究会 2024

カーボンニュートラルを目指して
—太陽光発電と風力発電の現状と将来展望—

主催 (一社)表面技術協会関西支部, (公社)日本表面真空学
会関西支部
期日 2024年1月18日(木)
会場 (地独)大阪産業技術研究所森之宮センター大講堂なら
びにZoomによるオンライン配信
ホームページ
<http://www.sssj.org/Kansai/>
連絡先 〒606-0805 京都府京都市左京区下鴨森本町15
(一社)表面技術協会関西支部事務局 石川・森
[電話: 075-781-1107, FAX: 075-791-7659,
E-mail: kansai-office@sfj.or.jp]

23-2 高分子学会講演会

主題 = 構造と物性を解き明かす
～ポリマー分析技術の最先端～

主催 (公社)高分子学会行事委員会
期日 2024年2月21日(水)
会場 オンライン開催
ホームページ
<https://member.spsj.or.jp/event/>
連絡先 〒104-0042 東京都中央区入船3-10-9 新富町ビル
(公社)高分子学会 23-2 高分子学会講演会係
[電話: 03-5540-3771, FAX: 03-5540-3737]

「分析化学」年間特集“分”の論文募集

「分析化学」編集委員会

「分析化学」では2010年より「年間特集」を企画し、節目の15年目に当たる2024年は「分」をテーマとすることと致しました。

本特集では「分」をキーワードとして、基礎・応用を含めた分析化学の“最新の知見”はもちろん、総合論文や分析化学総説といった形で現在の分析化学の“研究の背景”についても広く募集し、分析化学が担う役割を社会に向けて発信することを目的としています。本特集に関わる論文はすべての論文種目で年間を通じてご投稿いただくことが可能で、審査を通過した論

文は単行の特集号を除く「分析化学」第73巻(2024年)合併号の冒頭に掲載する予定です。国内外、産学官を問わず、「分」に関わる分析化学の研究・開発に従事されている多くの皆様方からの投稿をお待ちしておりますので、是非この機会をご活用ください。なお、詳細は「分析化学」誌の10・11号及びホームページをご参照ください。

特集論文の対象:「分」に関連した分析化学的な基礎・応用研究に関する論文。例を以下に示します。

- 1) 環境水や体液といった液体試料を分析するための前処理分離に関する研究,
- 2) さまざまな物質中から測定対象物質を分離抽出する技術に関する研究,
- 3) 環境からの有害物質の除去・有用物質の回収に関する研究,
- 4) クロマトグラフィーに関する基礎・応用研究,
- 5) 分離のシミュレーションを活用した分析化学的研究,
- 6) 生体サンプル中のバイオマーカー検出に関する研究。

特集論文原稿締切: 2023年11月17日(金) (第2期)

「分析化学」特集

“流れ分析—40年の歩みとこれから”の論文募集

「分析化学」編集委員会

「分析化学」編集委員会は、フローインジェクション分析研究懇談会と共同で「流れ分析—40年の歩みとこれから」と題した特集を企画しました。フローインジェクション分析研究懇談会は、1984年に設立され、2024年に40周年を迎えます。この間、様々な流れ分析のプラットフォームが開発され、発展してきました。また、JISにおいて規格化され、臨床、産業、環境をはじめとする様々な分野で活用されるようになりました。本特集号では、流れ分析のこれまでの発展に関する総合論文、流れ分析法の未来を切り開く新しいプラットフォームの開発、新しい検出法や流れの特性を活かした検出反応、溶液のハンドリングを自動化し様々な測定器への直接導入を可能とした前処理法などの分析法をはじめ、流れ分析の迅速かつ高感度である特徴を活かしたアプリケーションの展開などについて報文などの投稿をお待ちしております。奮ってご投稿ください。詳細はホームページをご確認ください。

特集論文申込締切: 2024年2月20日(火)

特集論文原稿締切: 2024年4月12日(金)

「分析化学」編集委員会特集

“産業の発展に貢献する分析化学”の論文募集

「分析化学」編集委員会

「分析化学」誌では、毎年第6号に「編集委員会特集」として特集号を企画してきました。2024年度(第73巻)のテーマは、分析イノベーション交流会とのコラボレーション企画として、『産業の発展に貢献する分析化学』に決定いたしました。

分析イノベーション交流会は、主に産業分野における分析化学の発展を目的として設立された産官学の技術者・研究者の交流の場です。2020年1月のキックオフミーティングを皮切りに3回の交流会が開催され、また、2021年より年会・討論会の併設イベントとして「ものづくり技術交流会」が開催されています。これまで、企業・大学・研究機関・公設試験機関など150を超える機関から先進的かつ独創的な製品・技術が紹介され、分析イノベーション交流会での出会いがきっかけとなり、共同研究に発展したケースもあります。

上記状況に鑑み、「編集委員会特集」では、分析イノベーション交流会で紹介されてきた、個性的な技術・研究に着目しました。産業の発展に貢献するような分析技術、新素材の開発

およびその応用に関する多数の論文の投稿をお待ちしております。なお、詳細は「分析化学」誌の10・11号及びホームページをご参照ください。

特集論文申込締切：2023年10月2日（金）

特集論文原稿締切：2023年12月4日（金）

初めて書く論文は母語の日本語で！ “第23回若手研究者の初論文特集”募集のお知らせ

「分析化学」編集委員会

「分析化学」編集委員会では、2024年（第73巻）に第23回「若手研究者の初論文特集」を企画します。卒研究生、修士・博士課程院生並びに若手研究者の方々にとって、ご自分の研究成果を日本語で投稿できるよい機会です。なお、2019年より本特集を年間特集とし、都合の良いときに執筆して投稿できるようにしました。年間を通して論文原稿を受け付け、審査を経て掲載可になり次第随時掲載いたしますので、奮ってご投稿ください。

なお、詳細は「分析化学」誌HPをご参照ください。

ぶんせき誌「技術紹介」の原稿募集

『ぶんせき』編集委員会

分析化学は種々の分野における基盤技術であり、科学や産業の発達・発展だけでなく、安全で豊かな生活の実現に分析機器が大きく貢献してきました。近年の分析機器の高性能化・高度化は目覚ましく、知識や経験がなくても、微量物質の量や特性を測定できるようになりました。この急速な発展は、各企業が持つ高度で多彩な技術やノウハウによって達成されたといっても過言ではありません。一方、高度化された分析機器の性能・機能を十分に発揮させるためには、既存の手法に代わる新規な分析手法が必要であり、高度な分析機器に適合した分析手法や前処理手法の開発が分析者にとって新たな課題となっています。また、分析目的に合致した高純度試薬の開発に加えて、測定環境の整備、試薬や水の取り扱いなどにも十分な配慮が必要です。極微量の試料を分析する際には、測定原理を把握すると共に、手法や操作に関する知識・技能を身に付ける必要があると考えます。

このような背景に鑑み、『ぶんせき』誌では新たな記事として「技術紹介」を企画いたしました。分析機器の特徴や性能、機器開発に関わる技術、そしてその応用例などを紹介・周知することが分析機器の適正な活用、さらなる普及に繋がると考えており、これらに関する企業技術を論じた記事を掲載することといたしました。また、分析機器や分析手法の利用・応用における注意事項、前処理や操作上のコツなども盛り込んだ紹介記事を歓迎いたします。これらの記事を技術紹介集として、『ぶんせき』誌ホームページ内に蓄積することで、様々な分野における研究者や技術者に有用な情報を発信でき、分析化学の発展に貢献できるものと期待しております。分析機器や分析手法の開発・応用に従事されている多くの皆様方からのご投稿をお待ちしております。

記

1. 記事の題目：「技術紹介」
2. 対象：以下のような分析機器、分析手法に関する紹介・解説記事
 - 1) 分析機器の特徴や性能および機器開発に関わる技術、
 - 2) 分析手法の特徴および手法開発に関わる技術、
 - 3) 分析機器および分析手法の応用例、
 - 4) 分析に必要となる試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説、
 - 5) 前処理や試料

- の取扱い等に関する情報・解説・注意事項、
- 6) その他、分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など
3. 新規性：本記事の内容に関しては、新規性は一切問いません。新規の装置や技術である必要はなく、既存の装置や技術に関わるもので構いません。また、社会的要求が高いテーマや関連技術については、データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません。
4. お問い合わせ先：日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会 [E-mail: bunseki@jsac.or.jp]

「分析化学」の掲載料についてのお知らせ

「分析化学」誌では、2020年4月より論文掲載料を以下の計算式にしたがってお支払いいただき、pdfファイルを進呈することになりました。なお、論文の別刷を希望される場合は、別途別刷頒布料金をお支払いいただくことにより購入することができます。

掲載料金計算式（P：印刷ページ数）（単位：円）

会員の場合：30,000 + 5,000 × (P - 4)（印刷ページ数が14ページ以上は一律80,000円）

会員外の場合：40,000 + 5,000 × (P - 4)（印刷ページ数が14ページ以上は一律90,000円）

*上記に消費税がかかります。

ぶんせき 11月号 掲載会社 索引

【ア行】	(株)ゼネラルサイエンス	(株)日立ハイテクサイエンス…………… A2
(株)エス・ティ・ジャパン…………… A3	コーポレーション…………… A4	フロンティア・ラボ(株)…………… 表紙 3
【カ行】	【ナ行】	【ヤ行】
関東化学(株)…………… 表紙 4	日本電気計器検定所…………… A1	安井器械(株)…………… A6
【サ行】	日本分光(株)…………… A5	製品紹介ガイド…………… A8～9
(株)島津製作所…………… 表紙 2	【ハ行】	
西進商事(株)…………… カレンダー裏	ビー・エー・エス(株)…………… A10	

新規会員募集中!!

日本分析化学会は、研究者・技術者が一体となって組織化された分析化学分野では世界最大級の学会です。今後ますますハイテク化していく生活・産業活動を支えるため、本学会ではその技術力の進歩・発展に活発に貢献しております。この度、さらに幅広く事業を拡大していくため広く会員拡充を図ることになりました。この好機に多数特典のある本会会員への入会をお知り合いにぜひお勧め下さい。

公益社団法人 **日本分析化学会** 会員係

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2 五反田サンハイツ304号
TEL : 03-3490-3351 FAX:03-3490-3572
E-MAIL : memb@jsac.or.jp

<h2 style="text-align: center;">原子スペクトル分析</h2>	<p>高速液体クロマトグラフ Chromaster 5610 質量検出器 (MS Detector) (株)日立ハイテックサイエンス https://www.hitachi-hightech.com/hhs/ E-mail: hhs-info.fy.ml@hitachi-hightech.com</p>
<p>各種水銀測定装置 日本インスツルメンツ(株) 電話072-694-5195 営業グループ https://www.hg-nic.co.jp</p>	<p>ムロマックミニカラム 精度の高いクロマトグラフィー ムロマックガラスカラム イオン交換反応を可視化 室町ケミカル(株) 電話 03-3525-4792 https://www.muro-chem.co.jp/</p>
<h2 style="text-align: center;">分子スペクトル分析</h2>	<h2 style="text-align: center;">電気化学分析</h2>
<p>FTIR用アクセサリーの輸入・製造の総合会社 市販品から特注まであらゆるニーズに対応 (株)システムズエンジニアリング https://www.systems-eng.co.jp/ E-mail: info@systems-eng.co.jp</p>	<p>電位差自動滴定装置 カールフィッシャー水分計 最大5検体同時測定, FDA Par11対応, DI 対策も安心 メトロームジャパン(株) 電話 03-4571-1743 https://www.metrohm.jp</p>
<p>紫外可視近赤外分光光度計 UH4150 AD+ 高感度分光蛍光光度計 F-7100 (株)日立ハイテックサイエンス https://www.hitachi-hightech.com/hhs/ E-mail: hhs-info.fy.ml@hitachi-hightech.com</p>	<h2 style="text-align: center;">質量分析</h2>
<p>フーリエ変換赤外分光光度計 FT/IR-4X リサーチグレードでありながら、ダウンサイジングを追求 日本分光(株) 電話 042-646-4111(代) https://www.jasco.co.jp</p>	<p>MALDI-TOF(/TOF), ESI-QTOF, FT-ICR, LC-MS/MS, GC-MS/MS ブルカー・ジャパン(株) ダルトニクス事業部 電話 045-440-0471 E-mail: info.BDAL.JP@bruker.com</p>
<h2 style="text-align: center;">レーザー分光分析</h2>	<h2 style="text-align: center;">熱分析</h2>
<p>レーザーアブレーション LIBS 装置 J200 伯東(株)システムプロダクツカンパニー 電話 03-3355-7645 https://www.g5-hakuto.jp E-mail: info@g5-hakuto.jp</p>	<p>小型反応熱量計 SuperCRC 少量で高感度・高精度な反応熱量測定を実現 最適化・スケールアップ・安全性評価 (株)東京インスツルメンツ 電話 03-3686-4711 https://www.tokyoinst.co.jp</p>
<h2 style="text-align: center;">NMR・ESR・磁気分析</h2>	<h2 style="text-align: center;">分析装置・関連機器</h2>
<p>NMR スペクトル解析ソフトウェア Mnova (株)リアクト 担当: 化学事業部 梅本 電話 045-567-6633 E-mail: umemoto@react-corp.com https://www.react-corp.com/</p>	<p>ユニット機器型フローインジェクション分析システム AQLA-700 測定項目やご使用環境にあわせて機器の組合せが可能 (株)アクアラボ 電話 042-548-2878 http://www.aqualab.co.jp</p>
<h2 style="text-align: center;">クロマトグラフィー</h2>	<p>XRF分析用ガラスビードの作製及びICP分析のアルカリ融 解処理には、高周波溶融装置ビード&フューズサンブラ (株)アメナテック http://www.amena.co.jp</p>
<p>ナノカラムからセミ分取カラムまで、豊富なサイズ 逆相 HPLC 用カラム L-column シリーズ GC 用大口径中空カラム G-column 一般財団法人化学物質評価研究機構 クロマト技術部 www.cerij.or.jp E-mail: chromat@ceri.jp</p>	<p>英国エレメンタルマイクロアナリシス社製 CHNOS 有機・無機・同位体微量分析用 消耗品・標準物質等 アルファサイエンス(株) http://www.alphasience.jp/ 電話 03-3814-1374 FAX 03-3814-2357 E-mail: alpha@m2.pbc.ne.jp</p>
<p>UV吸収のない化合物までしっかりフラクション UVとELSDを内蔵した一体型ダブルトリガー分取装置 日本ビュッヒ(株) 電話 03-3821-4777 https://www.buchi.com/ja</p>	<p>モジュール式ラマンシステム RAMAN-QE 高感度の小型ファイバ分光器、励起用レーザー、各種ラ マンプローブを組み合わせたコンパクトなシステムです。 励起レーザー選択や光学系のカスタマイズもご相談ください。 オーシャンフォトニクス(株) https://www.oceanphotonics.com</p>

電位差自動滴定装置・カールフィッシャー水分計・密度比重計・屈折計・粘度計・水銀測定装置・熱計測機器・大気分析装置・水質分析装置・排ガス分析装置
 京都電子工業(株) 東京支店 03-5227-3151
<https://www.kem.kyoto/>

オンライン・プロセス分析計
 滴定・水分・イオンクロマト・近赤外・VA/CVS
 メトロームジャパン(株) ※デモ機あります。
<https://www.metrohm.jp>

秒速粉碎機 マルチピースショッカー®
 ディスボ容器で岩石・樹脂・生体等の凍結粉碎も可能。
 分析感度UP, 時間短縮, 経費節減に貢献。
 安井器械(株) 商品開発部 <http://www.yasuikikai.co.jp/>

研究室用設備機器

グローブボックスシステム MBRAUN 社製
 有機溶媒精製装置 MBRAUN 社製
 (株)ブライト 本社 048-450-5770 大阪 072-861-0881
<https://www.bright-jp.com> E-mail: info@bright-jp.com

試薬・標準試料

認証標準物質 (CRM), HPLC・LC/MS 関連
 超高純度試薬 (Ultrapur, Primepure®)
 関東化学(株) 電話 03-6214-1090
<https://www.kanto.co.jp>

研究・産業用の金属/合金/ポリマー/ガラス等 8 万点
 取扱サプライヤー
 GOODFELLOW CAMBRIDGE LTD 日本代表事務所
 電話 03-5579-9285 E-mail: info-jp@goodfellow.com
<https://www.goodfellow-japan.jp>

X 線回折実験等に使える『高度精製タンパク質試料』
 グルコースイソメラーゼ, α アミラーゼほか
 (株)コンフォーカルサイエンス 電話 03-3864-6606
<http://www.confsci.co.jp>

信頼性確保に重要な認証標準物質 (CRM)
 標準物質のご用命は
 シングマアルドリッチジャパン(同)
 テクニカルサービス 電話 03-4531-1140
 E-mail: jpts@merckgroup.com

標準物質は当社にお任せください!
 海外 (NIST, IRMM, BAS, MBH, Brammer, Alcoa 等)
 国内 (日本分析化学会, 産総研, 日環協等)
 各種標準物質を幅広く, また, 分析関連消耗品も各種取り
 扱っております。是非, ご相談ください!
 西進商事(株) <https://www.seishin-syoji.co.jp>

RESEARCH POLYMERS
 (株)ゼネラルサイエンス コーポレーション
 電話 03-5927-8356(代) FAX 03-5927-8357
<https://www.shibayama.co.jp>
 E-mail: gsc@shibayama.co.jp

お求めの混合標準液を混合成分から検索できる!
 農薬・動物用医薬品 混合標準液検索
 WEBページで「和光 農薬 検索」で検索!
 試薬でお困りの際は当社HPをご覧ください。
 富士フイルム和光純薬(株)

薄層クロマトグラフィー (TLC) のリーディングカン
 パニーとして最高レベルの品質と豊富な担体・サイ
 ズ・支持体のプレートをご用意しています。
 メルク(株) テクニカルサービス
 電話 03-4531-1140 E-mail: jpts@merckgroup.com

書籍

Pythonで始める
 機器分析データの解析とケモメトリックス
 森田成昭 著 A5判 216頁 定価3,300円 (税込)
 (株)オーム社 <https://www.ohmsha.co.jp>

基本分析化学 ―イオン平衡から機器分析法まで―
 北条正司, 一色健司 編著
 B5判 260頁 定価3,520円 (税込)
 三共出版(株) 電話 03-3264-5711
<https://www.sankyoshuppan.co.jp/>

Primary大学テキスト これだけはおさえたい化学 改訂版
 大野公一・村田滋・齊藤幸一 他著
 B5判 248頁 フルカラー 定価2,530円 (税込)
 大学初年次での化学を想定。高校の復習から大学に必要な知識へのテキスト。
 実教出版(株) 電話03-3238-7766 <https://www.jikkyo.co.jp/>

Pyrolysis-GC/MS Data Book of Synthetic Polymers
 合成高分子の熱分解 GC/MS ハンドブック
 Tsuge, Ohtani, Watanabe 著 定価31,900円 (税込)
 163種の合成高分子の熱分解 GC/MS, また 33種の縮合系
 高分子には反応熱分解 GC/MS も測定したデータ集。
 (株)デジタルデータマネジメント 電話 03-5641-1771

TOF-SIMS: Surface Analysis by Mass Spectrometry
 John C. Vickerman and David Briggs 著 B5・定価51,700円 (税込)
 二次イオン質量分析法の装置と試料の取扱い, 二次イオン
 形成のメカニズム, データ解析アプリケーション例など
 (株)デジタルデータマネジメント 電話 03-5641-1771

Surface Analysis by Auger and X Ray Photoelectron Spectroscopy
 David Briggs and John T. Grant 著 B5・定価51,700円 (税込)
 表面分析に欠かせない AES と XPS 法の原理, 装置, 試料の扱い,
 電子移動と表面感度, 数値化, イメージング, スペクトルの解釈な
 ど。(SurfaceSpectra, Ltd.)
 (株)デジタルデータマネジメント 電話 03-5641-1771

改訂6版 分析化学データブック
 日本分析化学会編 ポケット判 260頁 定価1,980円(税込)
 丸善出版(株) 電話 03-3512-3256
<https://www.maruzen-publishing.co.jp>

不確かさセミナー

演習中心で解り易いと評判の「不確かさ」セミナー
 開催中!
 日本電気計器検定所 (JEMIC) 電話 03-3451-1205
<https://www.jemic.go.jp>
 E-Mail: kosyukai-tyk@jemic.go.jp

「本ガイド欄」の掲載については下記にご連絡ください。
 (株)明報社
 電話 03-3546-1337 FAX 03-3546-6306
 E-mail: info@meihosha.co.jp

BAS

光学式酸素モニターシステム

基本機能の光学式酸素モニタリングに加えて、温度およびpH(一部機種のみ)の同時測定が可能

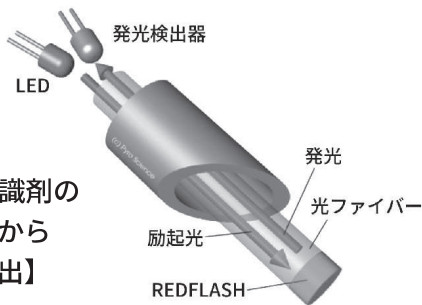
BAS FireSting



- 一台で最大4チャンネル対応。項目の組合せは自由
- 気相および液相での測定に利用できます
- 酸素濃度測定は広い濃度範囲で対応可能
- 非接触型など様々なタイプのセンサーをラインナップ



FireSting O2-C 酸素モニター(4ch)



【REDFLASH標識剤の発光寿命検出から酸素濃度を算出】



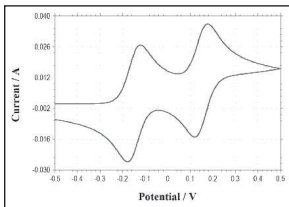
【センサー付きバイアル内部の酸素濃度を外側から測定可能】

分光電気化学測定

BAS SEC2020

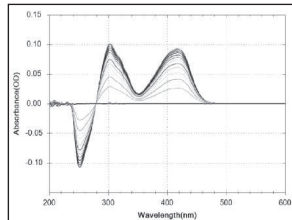


CV測定



※測定データはイメージです。

吸光度測定



+

分光電気化学測定とは「分光法」と「電気化学的手法」を組み合わせた測定方法です。

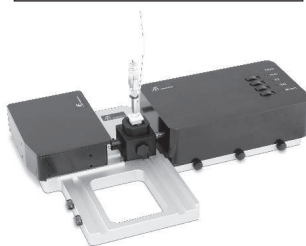
同時に測定を行うことで、より正確な実験データが得られます。

測定装置からセルなどの消耗品まで、すべてBASの開発品のため初めてのお客様でも簡単に測定が行えます。

新登場



モデル3325
バイポテンショスタット



SEC2020スペクトロメーターシステム

● 製品の外観、仕様は改良のため予告なく変更される場合があります。

予算申請などですぐ見積書が必要なときに!

インターネット環境があればいつでもご自身でご確認いただける

WEB見積書サービスが便利です!!



BAS ビー・イー・エス株式会社

本社 〒131-0033 東京都墨田区向島 1-28-12

東京営業所 TEL: 03-3624-0331 FAX: 03-3624-3387

大阪営業所 TEL: 06-6308-1867 FAX: 06-6308-6890

実験用途に適したサンプリングアクセサリも豊富にラインアップしています。詳しくはホームページまで!!

BAS 光ファイバー



製品情報・技術情報などBASの最新情報はメールニュースで随時配信しております。配信ご希望の方はお気軽にお問合せ下さい ⇒ E-mail: sp2@bas.co.jp



FRONTIER LAB

パワフル粉碎とシンプル操作の卓上可搬型

新製品

迅速凍結粉碎装置 IQ MILL-2070

機器分析の試料前処理に最適 - 各種試料の粉碎・攪拌・分散に特化

IQ MILL-2070 の特長

● 使いやすいシンプル操作

- ✓ 簡単な操作でサンプルの粉碎が可能
設定項目は、粉碎速度、粉碎時間、サイクル数、サイクル間の停止時間です。回転ノブとタッチパネルで簡単に設定できます。

● 短時間で効率的な粉碎

- ✓ 同一プログラムで最大3試料の同時粉碎が可能
最大3本の試料容器が収納可能なホルダーを搭載しており、より効率的な粉碎が可能です。
- ✓ パワフルな衝撃と剪断の粉碎力で粉碎時間を大幅短縮
高弾性ベルトを用いた* 高速上下ねじれ運動による粉碎方式を採用しており、試料の迅速粉碎が可能です。 *特許第7064786号
- ✓ 粉碎時の静かな作動音
粉碎時に発生する音は55 dB程度で通常会話を妨げません。

● 省エネの試料冷却キット付属

- ✓ 液体窒素の消費量は300 mL程度 (試料と粉碎子入りの試料容器1個の場合)
標準付属の試料冷却キットには冷媒容器、 tong、試料冷却ホルダーが含まれます。
- ✓ 冷媒を使わない室温粉碎も可能



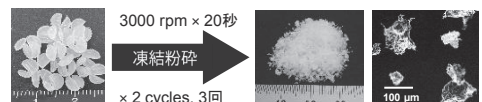
仕様		
粉碎温度	室温あるいは冷媒（液体窒素等）を用いる試料冷却	
粉碎設定	回転数 (rpm)	50 から 最大 3000 (無段階設定)
	回転時間 (秒)	10 から 60 (10 秒毎)
	回転サイクル間の待ち時間 (秒)	10 から 600 (10 秒毎)
	回転サイクル数	1 から 10 (1サイクル毎)
安全装置	マイクロスイッチと手動ロック方式による誤動作防止	
本体寸法、重量	幅 270 × 奥行 340 × 高さ 300 (mm), 約 12 kg	
電源 (50/60 Hz)	AC 100/120 V あるいは 200/240 V (450 VA)	

高速上下ねじれ運動



試料容器内における粉碎子の高速上下ねじれ運動により、試料を短時間で効率的に粉碎します。

粉碎例：高密度ポリエチレン (0.48 g)



40種以上の粉碎応用例をウェブサイトから閲覧可能！

フロンティア・ラボ 株式会社

ご購入検討時にテスト粉碎を承ります。お気軽にお問い合わせください。
www.frontier-lab.com/jp info@frontier-lab.com



高性能の熱分解装置と金属キャピラリーカラムの開発・製品化に専念して、洗練された製品をお届けしています



食物アレルギー分析用 標準物質

食物由来アレルギー抽出物

LC-MS/MSを用いた食物アレルギー分析の
標準物質として利用可能

標準粉末(消費者庁通知法*を参考に調製)を
材料として採用

食物由来
アレルギー
抽出物として
7項目を
ラインナップ

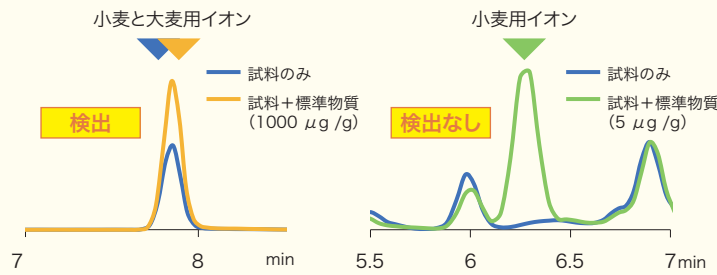
小麦 卵 乳 そば

落花生 甲殻類 大豆

※消費者庁通知法: 令和5年消費者庁次長通知消費
表第102号, “食品表示基準について(別添)アレ
ルゲンを含む食品に関する表示”(2023)

LC-MS/MSを用いた標準物質の分析例

例) 大麦入りパックご飯 小麦アレルギー分析



大麦検出(小麦不検出)
試料に大麦のみ含まれる

関連
製品

LC/MS用溶媒

- 金属不純物(13種)を保証*
- LC/MS適合性試験を実施

*金属(13種): Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn

【対応製品】

- ・アセトニトリル
- ・メタノール
- ・蒸留水



関東化学株式会社
試薬事業本部

〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号 (03)6214-1090
<https://www.kanto.co.jp>