

# ぶんせき ②

**Bunseki 2026**

The Japan Society for Analytical Chemistry



# Jupiter

Solid nebulizer

レーザーアブレーションの  
“当たり前”を、もう一段上へ。

fsレーザー、ガルバノ光学系搭載により定量精度を確保したJupiter Solid nebulizer。  
新たに機能をアップグレードしました。

## 新機能

1. 強化された撮像系による高解像度試料観察
2. 片手で試料交換可能な新型スライドセルによる、位置再現性、メンテナンス性の向上
3. スポット径可変 (5~15  $\mu\text{m}$ ) \*
4. オートローダーによる自動測定 \*
5. 新開発2D・3Dソフトウェア (XQuant3D) \*
6. 無機有機ハイブリッド分析

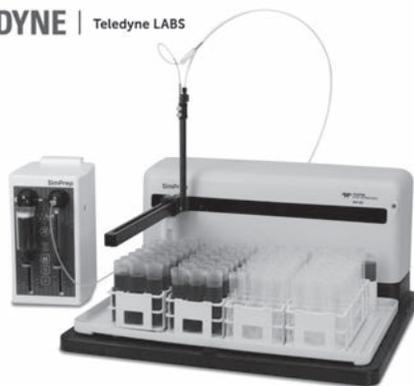
\*オプション



# SimPrep

精度と効率を両立する、前処理の新基準

TELEDYNE | Teledyne LABS



- 試料の希釈、混合、酸添加などの前処理を自動化し作業時間を大幅に短縮
- オペレーターの手作業を減らし、人的ミスの低減
- オフラインによる装置稼働率の向上、メンテナンスの簡素化

# MICAP

窒素が拓く、新世代のICP-OES

RADOM™



- 安価な窒素の使用によるランニングコストの低減
- Cerawave™技術によりチラー不要での運用を実現
- 小型化による省スペース設置が可能

ST.JAPAN INC.

株式会社 エス・ティ・ジャパン

URL: <https://www.stjapan.co.jp>

東京本社 /

〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町1-14-10

TEL: 03-3666-2561 FAX: 03-3666-2658

大阪支店 /

〒540-6127 大阪府大阪市中央区城見2-1-61 ツイン21 MIDタワー

TEL: 06-6949-8444 FAX: 06-6449-8445

# ぶんせき Bunseki 2026 Contents 2

## 目次

とびら	20年ぶりに若手の会に参加して／菅原 一晴 39
入門講座	精密な定量解析を支える網羅分析：基礎技術から実践的応用まで LC/MSの網羅分析への使用事例／高橋 豊 40
解説	質量分析用機能性誘導体化試薬を活用した 生理活性物質分析への応用／小川 祥二郎 46
ミニファイル	Abbreviations in 分析化学（分析化学で使われる略号） 溶液 NMR で使われる略号②／田代 充 52
話題	表面から始まるイオン化の新展開 —SALDI/MSの進化と可能性—／大坂 一生 54
技術紹介	Mass Photometry 法を用いた生体試料の分析／志波 公平 56
トピックス	実データと数値シミュレーションにより 日本海側豪雪の発生メカニズムに迫る／菅野 憲 60  固体表面における光化学蒸気生成法／坪井 春樹 60
こんにちは	アジレント・テクノロジー株式会社 芝浦ラボを訪ねて／東海林 敦・末吉 健志 61
リレーエッセイ	もうすぐ研究室設立 50 周年／菅原 庄吾 64
ロータリー	65 談話室：いそうけいせいへいこう／インフォメーション：第 393 回ガスクロマトグラフィー研究懇談会特別講演会；LC- & LC/MS-DAYS 2025；第 4 回 LC シニアクラブ；第 414 回液体クロマトグラフィー研究懇談会；第 30 回高分子分析討論会／執筆者のプロフィール

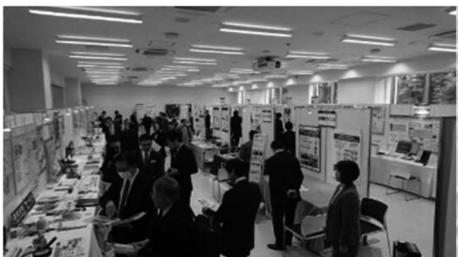
〔論文誌目次〕	71	〔カレンダー〕	iii
〔新刊紹介〕	63	〔広告索引〕	A5
〔お知らせ〕	M1	〔ガイド〕	A6

# 第86回分析化学討論会

2026年5月30日(土)~31日(日)

久留米シティプラザ (福岡県久留米市)

主催:公益社団法人 日本分析化学会



本大会では、下記の企業協賛メニューを募集しております。

●講演プログラム集 (冊子) 広告掲載料

白黒1頁 ￥ 70,000 (税別)

白黒1/2頁 ￥ 40,000 (税別)

●大会ホームページ バナー 広告掲載料

1枠 ￥ 30,000 (税別) ~

●付設展示会 出展料

一般展示 1小間 ￥ 80,000 (税別)

書籍販売 1小間 ￥ 50,000 (税別)

●ランチオンセミナー 開催料

1枠 ￥ 150,000 (税別) ※お弁当等の経費は別途

詳しくは大会ホームページをご覧ください。

<https://pub.conf.it.atlas.jp/ja/event/jsac86touron>



■お問合せ・お申込み

公益社団法人日本分析化学会 指定広告代理店

**株式会社 明報社**

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

TEL:03-3546-1337 FAX:03-3546-6306 E-mail:info@meihosha.co.jp <http://www.meihosha.co.jp>

# カレンダー

## 2026年

2月	6日	第395回ガスクロマトグラフィー研究会〔北とびあ・ベガスホール〕……………(1号 M4)
	18・19日	第31回LC&LC/MSテクノプラザ〔北とびあ・ベガスホール(15F)〕……………(10号 M10)
	20日	2026年分析士会総会・研修講演会〔オリエンタル技研工業ショールーム〕……………(12号 M2)
	26日	第416回液体クロマトグラフィー研究懇談会 〔日立ハイテクアナリシスサイエンスソリューションラボ東京〕……………(1号 M4)
	27日	日本分光学会近赤外分光部会第19回シンポジウム 「健康と Well-being の促進における近赤外分光の役割と期待」〔東北大学片平さくらホール〕……………(M 3)
3月	5・6日	第46回分析化学における不確かさ研修プログラム〔日本電気計器検定所本社〕……………(11号 M1)
	5・6日	プラズマ分光分析研究会第127回講演会 「プラズマ分光分析が支える基礎研究と“ものづくり”における分析の重要性」〔山形テルサ〕……………(M 3)
	16日	第417回液体クロマトグラフィー研究懇談会〔島津製作所東京支社イベントホール〕……………(M 2)
	23日	表面科学セミナー2026「実践！インフォマティクスと自律計測の基礎と応用」 〔大田区産業プラザ PiO およびオンライン〕……………(M 3)
	28日	日本薬学会第146年会 ジョイントシンポジウム (JS)〔関西大学〕……………(1号 M7)
4月	13日	2026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〕……………(1号 M5)
	20日	2026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〕……………(1号 M5)
5月	14日	2026年度液体クロマトグラフィー (LC) 分析士三段認証試験〔北とびあ 601 会議室 (6階)〕……………(M 1)
	14・15日	第42回希土類討論会〔タワーホール船堀〕……………(12号 M5)
	25～27日	日本顕微鏡学会第82回学術講演会〔仙台国際センター展示棟〕……………(M 3)
6月	6・7日	第23回ホスト・ゲスト・超分子化学シンポジウム (SHGSC 2026) 「分子化学と生物機能分子をつなぐ超分子化学 ―分子認識から生命機能発現・応用まで」 〔大阪大学豊中キャンパス〕……………(8号 M9)
	16日	2026年度液体クロマトグラフィー (LC) 分析士二段認証試験〔島津製作所東京支社〕……………(M 1)
	26・27日	有機微量分析研究懇談会 第93回日本分析化学会有機微量分析研究懇談会 第131回計測自動制御学会力学量計測部会 第43回合同シンポジウム〔徳島文理大学高松駅キャンパス〕……………(12号 M2)
7月	17日	2026年度液体クロマトグラフィー (LC) 分析士初段認証試験〔島津製作所東京支社〕……………(M 1)
	22～24日	HPLC&LC/MS 講習会2026〔日立ハイテクアナリシスサイエンスソリューションラボ東京〕……………(12号 M2)
9月	3・4日	第1回国際アミノ酸シンポジウム〔東京国際フォーラム D7ホールおよびオンライン〕……………(M 3)

## 放射能測定信頼性を確保する放射能標準物質を開発 —大豆およびしいたけ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) 放射能分析用大豆認証標準物質

(低濃度 : JSAC 0761, 0762, 0763, 高濃度 : JSAC 0764, 0765, 0766)

○認証値と拡張不確かさ  $U$  (包含係数  $k = 2$ ) 基準日 : 2013年2月1日

	低濃度	高濃度
$^{134}\text{Cs}$ 放射能濃度 (Bq/kg) :	37.1 ± 2.6	190 ± 11
$^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度 (Bq/kg) :	68.2 ± 4.6	345 ± 19
$^{40}\text{K}$ 放射能濃度 (Bq/kg) :	619 ± 60	613 ± 40

#### ○充填容器と価格

JSAC 0761, 0764:U8 容器(50 mm 高さ) 20,000 円, JSAC 0762, 765:100 mL 容器 20,000 円,  
JSAC 0763, 0766:1 L 容器 100,000 円 (価格はいずれも本体価格、送料込み・消費税別)

### 2) 放射能分析用しいたけ認証標準物質

(低濃度 : JSAC 0771, 0772, 0773, 高濃度 : JSAC 0774, 0775, 0776)

○認証値と拡張不確かさ  $U$  (包含係数  $k = 2$ ) 基準日 : 2013年12月1日

	低濃度	高濃度
$^{134}\text{Cs}$ 放射能濃度 (Bq/kg) :	99 ± 9	225 ± 15
$^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度 (Bq/kg) :	233 ± 20	533 ± 34
$^{40}\text{K}$ 放射能濃度 (Bq/kg) :	707 ± 53	633 ± 50

#### ○充填容器と価格

JSAC 0771, 0774:U8 容器(50 mm 高さ) 20,000 円, JSAC 0772, 0775:100 mL 容器 20,000 円,  
JSAC 0773, 0776:1 L 容器 100,000 円(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](mailto: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](mailto:info@seishin-syoji.co.jp), <http://www.seishin-syoji.co.jp/>



写真左 U8 容器(50 mm 高さ) 写真右, 100 mL 容器, 1 L 容器に充填された大豆認証標準物質

# column

## ムロマックミニカラムの使用例(公開論文・文献より)

1. 環境分野：海水、雨水など環境試料の分析用途
2. 鉱業分野：岩石、鉱物、石英などの組成分析
3. 農業分野：植物などの分析
4. 生化学分野：タンパク質、生体などの精製研究
5. 原子力分野：高レベル廃棄物の処理法研究(詳細はお問い合わせください)

### ムロマック® ミニカラム

ムロマック®ミニカラムはカラムと液溜槽がポリプロピレンにより一体成型されていて、丈夫で耐薬品性に優れています。小さなカラムながら濾槽が効率良く試料中の物質を吸着できるように設計されており、リークやテリングの少ない精度の高いクロマトグラフィーが可能です。

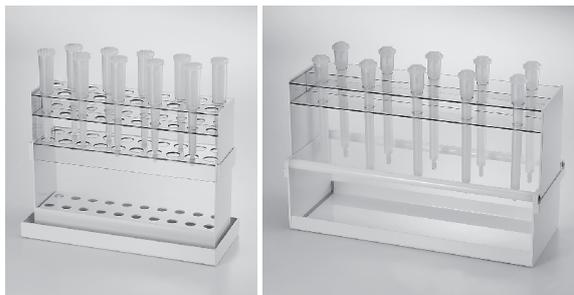


種類	内径(mm)	長さ(mm)	容量(mL)	液溜槽容量(mL)
S	5.0~5.5	50	1.0	8.0
M	6.5~8.5	5.8	2.5	10.0
L	10.0~11.0	118	10.0	5.0 <sup>*1</sup>

\*1. 連結キャップを使って50ml注射器を接続すると便利です。

### ムロマック® ミニカラムスタンド

カラムSまたはM用のスタンドは、直径15~16.5mm、長さ100~165mmの試験管を20本立てることができます。カラムL用スタンドのトレイには100mLのビーカー又は三角フラスコを10個並べることができます。



種類	横(cm)	縦(cm)	高さ(cm)	立数
S・M共用	26.5	7.0	20.5	20本
L用	36.5	14.5	22.5	10本

### ムロマック® ガラスカラム

ムロマック®ガラスカラムはガラス製で耐薬品性に優れ、鮮明にイオン交換反応を可視化します。イオン交換樹脂の初期検討後、樹脂量を多くして使用することでより正確なデータを取ることが可能です。枝管付きタイプはムロマック分液ロートを使用することで液枯れしません。また、ライブ試験など樹脂層高を上げて試験を行う場合は細長カラムを使用することで正確なデータを取得できます。



種類	横(cm)	縦(cm)	容量(mL)
S	8	28	30.0
M	8.5	32.5	100.0
ロング	5	43	40.0

### ムロマック® 分液ロート

【各ガラスカラム対応】

ムロマック®分液ロートはガラス製で耐薬品性に優れ、ムロマック®ガラスカラム(S・M・ロング各種)に互換性のあるすり合わせ規格を有しています。



種類	容量(mL)
S	500
M	1000

お問合せ先

室町ケミカル株式会社 <https://www.muro-chem.co.jp>

[東京] TEL. 03-3525-4792 [大阪] TEL. 06-6393-0007 [本社] TEL. 0944-41-2131

高分子材料分析の強力な戦力！  
マルチショット・パイロライザー

# EGA/PY-3030D

## 未知試料へ多面的にアプローチ

発生ガス分析や瞬間熱分析などの組み合わせにより  
未知試料を多面的に熱分解GC/MS分析

## 前処理なしで迅速に分析

あらゆる形態のポリマー試料を煩雑な前処理なしで  
簡単・迅速に分析

## 高性能で高信頼

サーモグラムとパイログラムの高い再現性を保証

## 豊富な周辺装置

目的に合わせて選べる周辺装置で分析業務をサポート



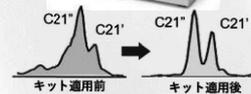
微量ポリマーの検出感度が大幅向上！  
**スプリットレス熱分解用オプション装置**  
MFS-2015E



キャピラリーGC分析における中・高沸点領域の  
異常ピーク出現を解消！  
**異常ピーク解消キット** NEW



試料水中のマイクロプラスチックを簡単に捕集！  
捕集から測定までスムーズな操作を実現  
**Smart 微粒子コレクター** NEW



## 迅速凍結粉碎装置 IQ MILL-2070

### 簡単操作！扱いやすい卓上型の粉碎装置

静かな作動音 … 周辺での会話が可能（粉碎時の騒音参考値 55 dB）

短時間 & パワフルに粉碎 … 高速上下ねじれ<sup>®</sup>運動による効率的な粉碎

試料に合わせた細かな条件設定 … 粉碎速度/時間/サイクル数の設定  
種類豊富な粉碎子と容器

液体窒素消費量が少なく省エネ … 液体窒素の最小消費量は約300 mL

DNA抽出用に細胞破碎を効率化する専用モデルもございます

高分子材料や生体試料などの  
粉碎・攪拌・分散に最適



製品情報

**フロンティア・ラボ 株式会社**

www.frontier-lab.com/jp info@frontier-lab.com

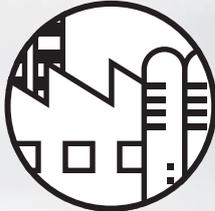
高性能の熱分解装置/金属キャピラリーカラム/粉碎装置の開発・製品化に専念して、洗練された製品をお届けしています



# 分析業務省力化のお手伝い



食品



環境/石油



薬品/化粧品



## TTT-710 ターンテーブル



### 多検体の 連続自動測定に対応

用途に応じた4種類のテーブル  
(12、18、36、60検体を用意)

### 豊富な 電極洗浄モードを用意

標準として純水による  
シャワー洗浄を装備  
オプションでバブリング洗浄・  
薬液洗浄・エアブローにも対応

### 優れた メンテナンス性

電極洗浄槽と電極保存槽を  
装置前面に配置し  
配管や電極などの  
メンテナンススペースを確保

## 省力化を実現する多検体測定システムのご提案

### マルチ水質計 MM-43Xによる 多検体pH・電気伝導率測定システム

同一サンプルのpH・電気伝導率多検体同時測定が可能

### 自動測定装置 AUT-801による 多検体自動滴定システム

酸・塩基滴定/酸化還元滴定/沈殿滴定/キレート滴定



東亜ディーケーケー株式会社

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

本社 / 〒169-8648 東京都新宿区高田馬場1-29-10 TEL.03(3202)0219

●東京:03(3202)0226 ●大阪:06(6312)5100 ●札幌:011(726)9859 ●仙台:022(353)6591 ●千葉:0436(23)7531  
●名古屋:052(485)8175 ●広島:082(568)5860 ●四国:087(831)3450 ●九州:093(551)2727



**YASUI KIKAI**

SINCE 1953

再現性、精度、信頼性。

37年以上の実績と公定法と学術論文。



**立体8の字®**

商標登録第 6576850号

**秒速粉碎機**

**マルチビーズショッカー®**

**Multi-beads Shocker®**



MB3000シリーズ

☑️ 卓上型・省スペース    ☒ 極静音設計 40dB以下

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

©2026 Yasui Kikai Corporation, all rights reserved.

260101

## 20年ぶりに若手の会に参加して



菅原 一晴

分析化学会における若手の会は、北海道、東北、関東、中部、近畿、四国中国、九州支部において、それぞれ分析緑陰セミナー、日本分析化学会東北支部若手交流会（東北支部と関東支部は隔年で東日本分析化学若手交流会）、分析化学若手交流会、「分析中部・ゆめ21」若手交流会、近畿支部夏季セミナー、分析化学若手セミナー、若手研究講演会および夏季セミナーが日帰りまたは1泊2日（それ以上のことも）で開催されております。読者の皆様はいずれかの若手の会に参加されたことがあるかもしれません。今年、私は支部長として群馬県の「フォレストリゾートコニファーいわびつ」で開かれた東日本分析化学若手交流会に招いていただきました。今回、私自身の都合により数時間の顔出し程度でありましたが、20年ぶりの参加となりました。私が若手の会に出席したころは、「若手の会は40歳定年」と聞いていました。定年以來、足が遠のいておりました会場は昔と変わらず活気があり懐かしい思いにかられました。

ところで、若手の会について幾つかの支部の先生から「最近、参加者数がなかなか増えない。現状維持でも大変である。」、「マネージメントする先生の世代交代がなされていない。」、「運営予算を考えると適当な開催場所の確保が難しい。」、「若手の会に対しての学生さんの参加意識はあまり高くはない。」などのご意見を頂いております。昨今、皆さんが多忙であり時間に余裕がない、大学での研究室の体制の変化、物価の上昇、価値観の多様化など様々な理由があるかと思えます。この現状に対しまして、今できることは、それほど多くありません。お願いの域を出ませんが、関係の方々、マネージメントされている先生に、よりご協力していただけないでしょうか。来年度、各支部の運営予算配分が増える予定になっております。これを機に、皆様のお知恵をおかりしまして、若手の会の新しい方向性を見いだせばと思います。また、若手の会に参加された学生さん、まだ参加されていない学生さんへ声をかけていただけますか。

関東支部では、他の支部でも実施されているかと思いますが、運営されている先生と協賛企業の方とのご尽力で、企業展示や事業内容のアピールを特に学生さんに対しまして積極的にしていただいております。このような試みは、参加された学生さんと企業さんにとって、大きなメリットとなることが期待できます。

結びとなりますが、若手の会で築き上げられた人と人とのつながりを大切に交流の輪をひろげていただきたく存じます。そのつながりは、次の若手の会、自身の研究の発展、共同研究、学会活動や就職活動など様々な場面で生きていくことを信じてやみません。分析化学会を盛り立てていきましょう。是非、参加のほどよろしく願いいたします。

〔SUGAWARA Kazuharu, 前橋工科大学工学部生命工学領域, 関東支部長〕

# LC/MS の網羅分析への使用事例

高橋 豊

## 1 LC/MS における網羅分析

網羅分析は、複雑なサンプルに含まれるさまざまな成分を漏れなく高精度で解析する手法である。液体クロマトグラフィー質量分析 (liquid chromatography mass spectrometry, LC/MS) において網羅性を考える時には、試料中の成分を網羅的に分析するという側面以外に、MS 装置に導入された成分を如何に効率良くイオン化するか、また生成したイオンを如何に効率良く検出器まで導くか、と言う側面も考える必要がある。

本稿は、液体クロマトグラフィー質量分析 (liquid chromatography mass spectrometry, LC/MS) を用いた網羅分析に関して、主に技術的な内容について解説する。最初に、試料中の成分を LC で網羅的に分離する技術について、次いで ESI によるイオン化について、質量分析部に導入されたイオンが質量分析分の種類や測定モードによってその後段に通過する (検出器に到達する) 効率が違ってくることについて、最後に網羅的な MS/MS 技術について、の順に解説する。

液体クロマトグラフィーには、順相・逆相・吸着・サイズ排除・イオン交換・イオンクロマトグラフィーなど様々な分離モードがあり、真に「複雑なサンプルに含まれるさまざまな成分を漏れなく」分離分析するためには、これら複数の分離モードを適宜に使い分ける必要があるだろう。

## 2 LC で試料中の成分を網羅的に分離する技術

LC/MS に用いられるのは、ほとんどが逆相液体クロマトグラフィー (reversed phase liquid chromatography, RPLC) である。RPLC が LC/MS に用いられるのは、通常の HPLC では用いられる不揮発性緩衝液は使用出来ないが、カラムの種類やアプリケーションが充実しており、汎用性の広さが主な理由であろう。一方で、網羅分析という観点からは、一つの分離モードではやはり限界があり、二つの分離モードを組み合わせた二次元液体クロマトグラフィー (2-dimensional liquid chromatography, 2D-LC) にメリットがある。2D-LC を用いた LC/MS には、以下の 3 種類の方法がある。

2D-LC を用いた LC/MS には、以下の 3 種類の方法がある。

### 2・1 ハートカット 2D-LC/MS

一次元目のクロマトグラムで着目するピークを一つ選択し、その溶出液をサンプルループに捕集、バルブを切り替えて二次元目のカラムで再度分離して、MS に導入する方法である。

### 2・2 マルチハートカット 2D-LC/MS

一次元目のクロマトグラムで複数のピークを選択し、その溶出液をピークごとに複数のサンプルループに捕集、バルブを切り替えて順次二次元目のカラムで再度分離して、MS に導入する方法である。選択するピークと同数のサンプルループを準備する必要があり、2・1 に比べてシステムが複雑になる。また、二次元目の分離が複数回行われるため、分析時間が長くなる。

### 2・3 Comprehensive 2D-LC/MS

一次元目 (1D) カラムからの溶出液を、オンラインですべて二次元目 (2D) カラムに導入して分析する方法である。一般的に、Comprehensive 2D-LC と呼ばれており、今回のテーマである「網羅分析」に合致するのは、この方法であろう。装置イメージを図 1 に示す。

試料は一次元目の溶離液を送液する 1D ポンプの後段に備えられたインジェクターから、1D カラムに注入される。1D カラムからの溶出液は、一定時間片方のサンプルループ (ループ A) に捕集される。例えば 1D ポンプの移動相流量が 50  $\mu\text{L}/\text{min}$  でサンプルループの容量が 100  $\mu\text{L}$  の場合には、捕集時間は 2 分間である。サンプルループ A に捕集された 1D カラムの溶出液は、二次元目のポンプである 2D ポンプから送液される溶離液によって 2D カラムに送液されて再度分離される。この間に、1D カラムの溶出液はもう一方のサンプルループ B に捕集される。2D カラムの分離には高速のグラジエント溶離が用いられ、平衡化まで含めた分析時間を捕集時間 (2 分間) より短くすることで、ループ B に捕集している間にループ A に捕集した溶出液の測定を完了させ

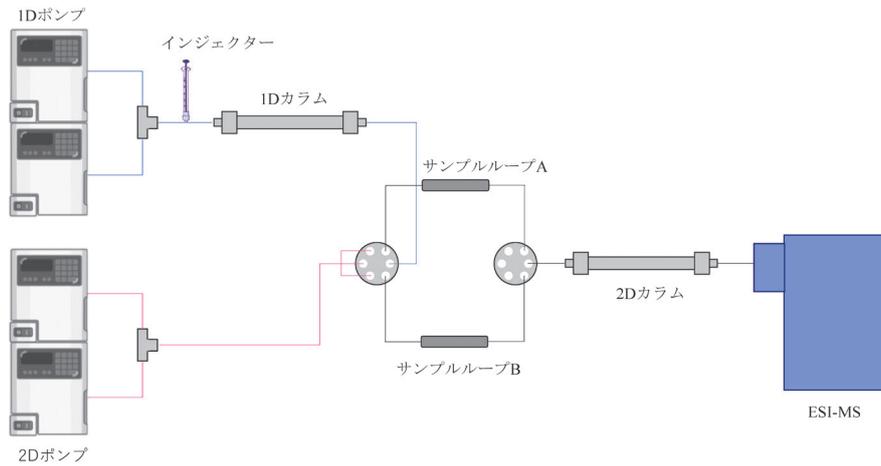


図1 Comprehensive 2D-LC/MS 装置の概略図

ることができ、2ループへの捕集と溶出液の測定を交互に繰り返すことで、1Dカラムの溶出液をすべて2Dカラムで再分離しMSで測定可能であり、網羅的なLC/MSが実施される。

1Dカラムと2Dカラムは異なる分離モードであることが多く、2Dカラムはほとんどの場合逆相(C18カラム)である。1Dカラムは、2Dの逆相カラムへの注入のしやすさを考えると、(有機溶媒比率の少ない)水系移動相が都合良く、その観点からはイオン交換カラムが適している。何故なら、逆相LCにおいては、カラムに注入する試料の溶媒に多くの有機溶媒が含まれていると、試料中の成分がカラムに保持され難いためである。1Dに親水性相互作用クロマトグラフィー(hydrophilic interaction chromatography, HILIC)カラムを用いても、2Dの逆相とは異なる分離モードにはなるが、HILICは有機溶媒の多い移動相条件を用いるため、2Dの逆相カラムに注入するには適しているとは言い難い。勿論、1D, 2D共に逆相カラムを用いる場合もある。

### 3 ESIによるイオン化

エレクトロスプレーイオン化(electrospray ionization, ESI)<sup>1)</sup>は、大気圧でイオンを生成する大気圧イオン化法の一つで、現在LC/MSで汎用されている。電気伝導性の液体に高電圧を印加すると高度に帯電した液滴が生成する現象をエレクトロスプレーと言い、この現象をMSのイオン化に応用したのがESIである。ESIの概略を図2に示す。

キャピラリーの近傍には対向電極が配置されており、両者の間に高電圧を印加すると、キャピラリーの先端から帯電液滴が生成する。図2の様に高電圧の作用のみで帯電液滴を生成させ得る液体の導入量は、最大で数 $\mu\text{L}/\text{min}$ オーダーである。帯電液滴のままではMS装置に導入出来ないため、加熱・脱溶媒することで帯電液滴からイオンを取り出し、MS装置に導入する。ESI-MSとして使用する場合、対向電極には細孔が設けられてお

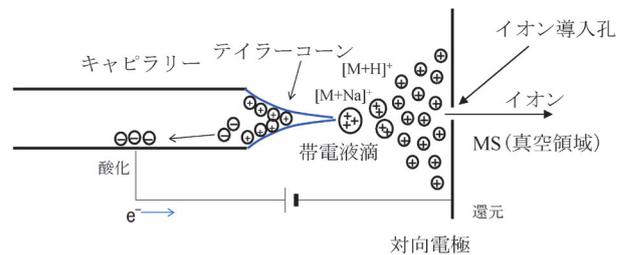


図2 ESIの概略

り、質量分析部への入口となる。

#### 3・1 一般的なLC/MS装置に用いられるESI

一般的なLC/MSに用いられる移動相流量は、おおむね $200\sim 500\ \mu\text{L}/\text{min}$ である。前述した、高電圧の作用だけで帯電液滴を生成し得る流量より遥かに多いため、一般的なLC/MS装置に用いられるESIは、窒素ガスの圧力で液滴の生成を補助する機構を備えている。その概略を図3に示す。

図3に示すESIでは、液滴の生成を補助するために

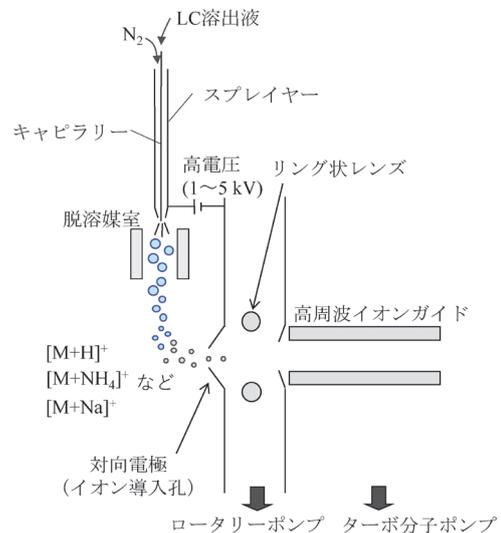


図3 一般的なESIの概略図

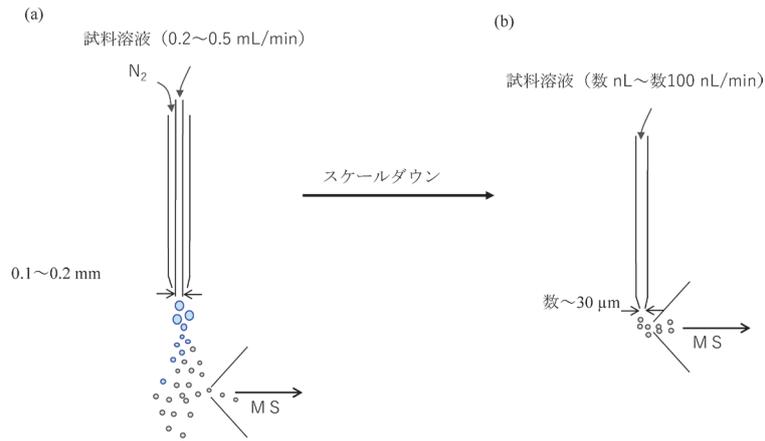


図4 (a) 一般的な ESI と (b) ナノ ESI の比較図

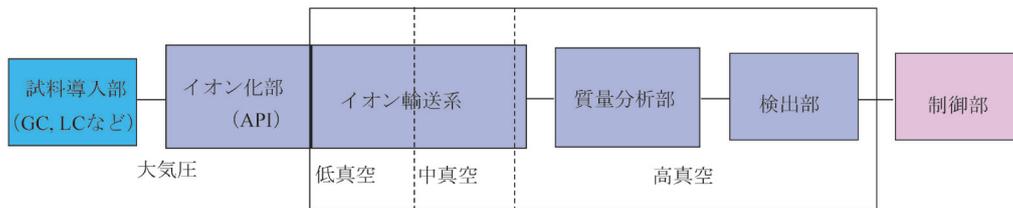


図5 質量分析計の構成

窒素ガスの圧力によって液体を噴霧している。キャピラリー先端の内径は、メーカーや機種にもよるがおおむね 0.1~0.2 mm である。その様な状況において生成する帯電液滴は、サイズが大きく電荷密度は小さい状態となる。この状態の液滴からイオンを取り出す効率（イオン化効率）は低く、MS 装置に導入された試料成分（分子）を効率良くイオン化しているとは言い難い。つまり、イオン化の網羅性は低いと言える。

一方、キャピラリーの内径、液体の導入量、キャピラリー先端と対向電極との距離、の三つをそれぞれ小さくすることで、電荷密度が高くサイズの小さい帯電液滴を生成させることが出来る。この様な ESI をナノ ESI と言い、通常の ESI と比較して劇的に感度を向上させることが出来る<sup>2)3)</sup>。イオン源に導入された試料成分（分子）をイオンに変換する効率（イオン化効率）が高く、イオン化に対する網羅性が高い方法と言える。一般的な ESI とナノ ESI の比較を図 4 に示す。

#### 4 質量分析部

LC/MS における網羅分析を考える時、何が「網羅的」なのか？ については色々な観点があると思う。その一つとして、MS 装置のイオン源で生成したイオンを、如何に効率良く（網羅的に）MS の検出器まで導くか、が挙げられる。MS 装置の構成は、一般的には図 5 の様に示される。

この中で質量分析部は、イオンを  $m/z$  に応じて分離する役割を果たす、MS 装置の心臓部と言える。質量分

析部には、四重極 (Q)、三連四重極 (QqQ)、イオントラップ (IT)、飛行時間 (TOF)、Orbitrap など様々な種類があり、それぞれの  $m/z$  分離の原理から、イオンを検出器まで導く効率（透過率）が異なる。ここでは、Q と TOF に関して、測定モードの違いなども踏まえてイオンの透過率（イオン源で生成したイオンを如何に効率良く網羅的に利用できるか）について解説する。

##### 3・1 四重極質量分析部 (quadrupole mass analyzer, Q)

Q は図 6 に示す様に、内側に双極子面をもつ 4 本の電極から構成される。対角線上の 2 本の電極には、それぞれ正/負の直流電圧と高周波交流電圧が印加される。

図 7 に示す様に、両電圧の比を一定に保ちながら連続走査（スキャン）すると、イオンは  $m/z$  の小さい方から順次 Q を通過して検出器に到達し、マススペクトルを取得することができる（スキャン測定）。Q の質量分解能は、測定可能な全  $m/z$  範囲において同位体ピー

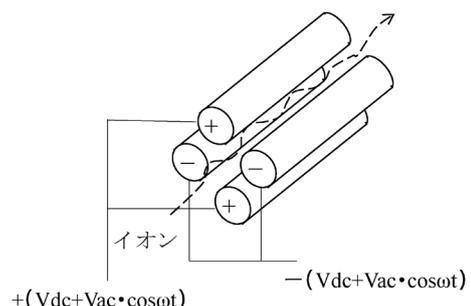


図6 四重極質量分析部の概略図

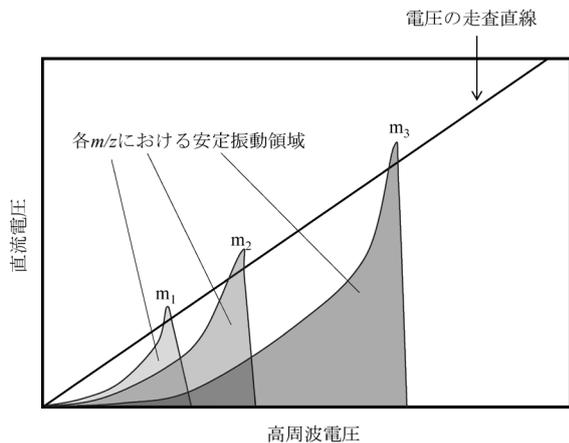


図7 四重極質量分析部における電圧走査

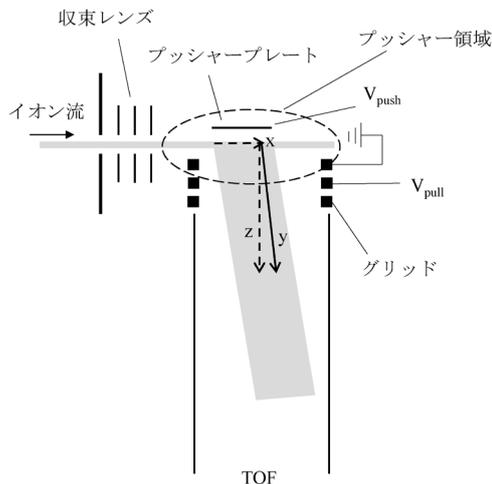


図8 OA技術の概略図

クが分離できる程度である。このような質量分解能の場合、イオンは  $m/z$  1ごとに  $Q$  を通過する。つまり、ある  $m/z$  のイオンが  $Q$  を通過する瞬間、他のイオンは  $Q$  を通過することが出来ないと言うことである。例えば  $m/z$  範囲を 1~500、スキャンスピードを 500 ms に設定してスキャン測定を行うと、一つのイオンが  $Q$  を通過する時の時間は約 1 ms となる。この条件である一つのイオンに着目すると、 $Q$  の透過率は 1/500 (0.2%) となる。

一方、 $Q$  では直流電圧と高周波交流電圧の比を一定に保ちながら、スキャンではなく段階的に変化させ、特定のイオンの強度変化をモニターする「選択イオンモニタリング (selected ion monitoring, SIM)」と言う測定法がある (SIM 測定)。例えば 10 個のイオンを上と同じ 500 ms のサイクルタイムで SIM 測定を行うとすると、一つのイオンあたりの  $Q$  の通過時間は 50 ms になるので、スキャン測定と単純に比較すると、約 50 倍の感度向上が期待出来る。イオン源で生成したイオンを、より効率良く検出器まで届けることが出来ると言うことになる。

$Q$  を用いた LC/MS 装置は、定性分析より定量分析で多用されている。前述した様にスキャン測定におけるイオン透過率が低いためにスペクトル感度が低いことと、質量分解能が低いために定性解析能力が低いこと、が主な理由である。

### 3.2 飛行時間質量分析部 (time-of-flight mass analyzer, TOF)

TOF は、パルス的に加速させたイオンを自由領域で飛行させ、イオンの  $m/z$  によって飛行時間が異なることを利用してイオンを  $m/z$  に応じて分離する技術である。様々な  $m/z$  のイオンを一斉に加速させる必要があるため、パルス的にイオンが生成する (マトリックス支援) レーザー脱離イオン化との組合せで最初に実用化された。その後直交加速 (orthogonal acceleration, OA)

の技術開発によって、エレクトロスプレーイオン化 (electrospray ionization, ESI) などの連続イオン化との組合せが可能になり、LC/MS 装置に応用されるようになった。市販の LC-TOF-MS に用いられている一般的な OA 技術の概略を図 8 に示す。

イオン源から連続的に流入するイオンを、プッシャー領域において垂直方向に加速電圧を印加して加速させることで、様々な  $m/z$  のイオンをパルス的に TOF に打ち込むことが出来る。プッシャー領域に流入してくるイオン量に対する、TOF に打ち込むイオン量の割合を Duty cycle と言う。生成したイオンを網羅的に検出することは、Duty Cycle が 100% であることを意味する。しかし、実際には 100% の Duty Cycle を得るのは技術的には困難であり、市販されている一般的な直交加速技術を用いた LC-TOF-MS では、測定  $m/z$  範囲にもよるが、Duty Cycle は 20% 以下と言う報告がある<sup>2)</sup>。Duty Cycle を如何に大きくして検出感度を高めるか、と言う課題に対して様々な工夫がなされている。

その代表例は、TOF のプッシャー領域の手前でイオンを一瞬トラップし、それをイオンパケットとしてプッシャー領域に向かってパルス的にリリースし、イオンパケットがプッシャー領域に到達するタイミングで直交方向に加速電圧を印加する技術である。LC-QTOF-MS の場合には、四重極コリジョンセルの出口にトラップ電極を配置することで、このような工夫が可能になる。この種の技術を搭載している市販装置では、90% 以上の Duty Cycle を実現している。

## 4 MS/MS (プロダクトイオン分析) の測定法

MS/MS とは、簡単に言えば質量分析を 2 回行うことである。MS/MS には、広義では 5 種類の方法が知られているが、ここでは定性分析に最もよく用いられるプロダクトイオン分析の測定法について述べる。

MS/MS には、2 台の MS 装置を連結した MS/MS 装

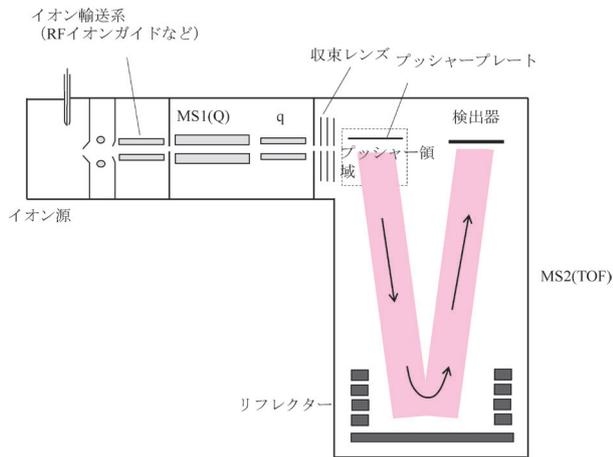


図9 QTOF-MSの概略図

置を用いる方法（空間的MS/MS）と、1台のMS装置で行う方法（時間的MS/MS）がある。プロダクトイオン分析は、すべてのMS/MS装置で実行可能である。

比較的新しいプロダクトイオン分析の方法として、データ依存的取得法（data dependent acquisition, DDA）とデータ非依存的取得法（data independent acquisition, DIA）があり、四重極-飛行時間質量分析計（quadrupole time-of-flight mass spectrometer, QTOF-MS）や四重極-Orbitrap 質量分析計（quadrupole Orbitrap mass spectrometer, Q-Orbitrap-MS）などの高分解能MS/MS装置で主に用いられている。ここではQTOF-MSを例にとり、DDAとDIAについて紹介する。QTOF-MSの概略を図9に示す。

QTOF-MSによるプロダクトイオン分析は、特定のプリカーサーイオンをMS1（Q）で選択、後段のコリジョンセル（q）でガスを衝突させるなどしてフラグメンテーションを起こさせ、断片化したプロダクトイオンをMS2（TOF）で $m/z$ ごとに分離してプロダクトイオンスペクトルを得る。プリカーサーイオンの $m/z$ を設定するには、分析者自身で入力する方法とシステムが自動で設定する方法があり、後者にDDAとDIAがある。

#### 4.1 DDA<sup>3)</sup>

DDAでは、イオン強度の閾値<sup>しきい</sup>をあらかじめ測定パラメーターとして設定し、LC/MS/MSでマススペクトルを測定中にその閾値を超えるイオンが検出された場合、そのイオンを自動的にプリカーサーイオンとしてQで選択し、MS/MSが実行されプロダクトイオンスペクトルが取得される。分析者自身がプリカーサーイオンを設定する必要がなく、1回の測定でマススペクトルと比較的強度の高いイオンのプロダクトイオンスペクトルを取得できる。一つのマススペクトルに対して複数のイオンが設定した閾値以上の強度になることは多々あり、何個のプリカーサーイオンを選択するかを設定出来る。この数を多く設定すると、MS/MSを行っている間に次の成

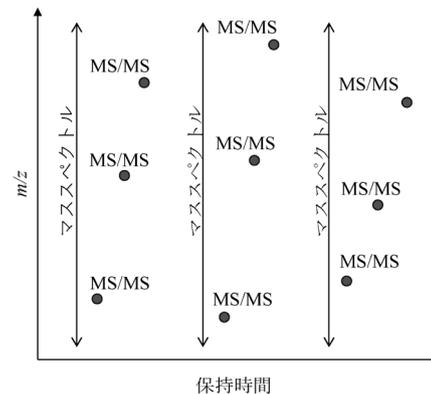


図10 DDAにおけるデータ取得イメージ

分がカラムから溶出してきた、検出されないリスクが発生する。ノンターゲット分析で、出来るだけ多くのイオンのMS/MSを行いたい場合、この方法では網羅性が低いと言える。DDAにおけるデータ取得イメージを図10に示す。

#### 4.2 DIA<sup>4)</sup>

上記のDDAの問題を解決し、網羅的にMS/MSを実施出来る測定法がDIAである。DIAは、Qで選択するイオンの $m/z$ 幅を広く設定し、混合状態のプリカーサーイオン群のMS/MSを行い、混合状態のプロダクトイオンスペクトルを取得する方法である。（例えば、マススペクトルの測定 $m/z$ 範囲を100~1000とし、プリカーサーイオンの $m/z$ 幅を100に設定、スペクトル取込スピードをそれぞれ0.1秒とすれば、1サイクルの時間は1秒となる。100の $m/z$ 範囲に入るイオンがすべてプリカーサーイオンになるため、デコンボリューションによってプリカーサーイオンとプロダクトイオンの組み合わせを紐づける必要がある。DIAで取得されるデータの質は、デコンボリューションの機能に依るところが大きい。プリカーサーイオンの $m/z$ 幅を狭くすれば良いが、MS/MSの回数が増えるためにスペクトル取込スピードを速くする必要がある。最近では、1秒間に200回以上

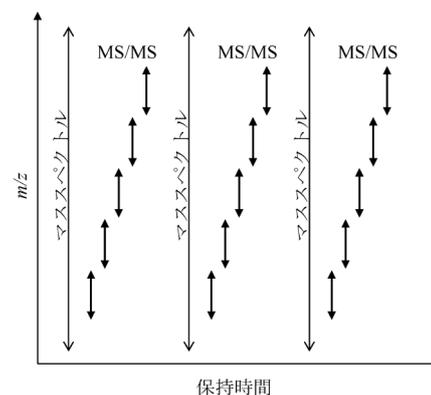


図11 DIAにおけるデータ取得イメージ

のMS/MSを実行可能で且つ高感度な装置が登場し、ブリーカーイオンの  $m/z$  幅を5程度まで狭めて且つ十分なデータポイントを確保できるようになってきた。プロテオミクスを中心に、DIAが汎用的になってきたと思われる。DIAにおけるデータ取得イメージを図11に示す。

## 5 おわりに

LC/MSの網羅分析について、2D-LC/MS、イオンを効率良く利用する為のLC-TOFMSにおける新しいイオン導入技術、網羅的なMS/MSの技術など、主に分析技術について記載した。何か1つでも、読者の皆様のお役に立てる情報が含まれていれば幸いである。

### 文 献

- 1) J. B. Fenn, M. Mann, C. K. Meng, S. F. Wong, C. M. Whitehouse : *Science*, **246**, 64 (1989).
- 2) T. Tamagaki : *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **65**, 11 (2017).
- 3) M. S. Wilm, M. Mann : *Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes*,

**136**, 167 (1994).

- 4) R. Lou, W. Shui : *Mol. Cell. Proteomic*, **23** (2), 1 (2024).
- 5) A. Michalski, J. Cox, M. Mann : *Journal of Proteome Research*, **10**, 1785 (2011).
- 6) L. C. Gillet, P. Navarro, S. Tate, H. Röst, N. Selevsek, L. Reiter, R. Bonner, R. Aebersold : *Mol. Cell. Proteomics*, **11**, O111.016717 (2012).



高橋 豊 (TAKAHASHI Yutaka)

浜松医科大学/株式会社プレッパーズ/エムエス・ソリューションズ株式会社 (〒431-3192 静岡県浜松市中央区半田山1-20-1 浜松医科大学細胞分子解剖学講座)。群馬大学大学院修士。博士(工学)。LC/MS分析士五段。《現在の研究テーマ》DESIをベースとする質量分析イメージング用新規イオン化法の開発。《主な著書》“LC/MS定量分析入門”, (情報機構)。《趣味》ランニング, テニス, スキー, ソフトボール, ソフトバレーボール, サッカー審判。  
E-mail : tyutaka@sitsuyobunsekiya.com

### 『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. サンプリング, 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。

## 質量分析用機能性誘導体化試薬を活用した生理活性物質分析への応用

高感度化を指向した質量分析法はこれまでも多く開発されてきたが、高感度化だけではない機能的な誘導体化試薬を活用した生理活性物質測定について解説する。また、これまではあまり適用例のない MALDI-MS/MS 用の誘導体化を活用した生体成分分析の例についても紹介する。

小川 祥二郎

### 1 はじめに

医薬品を含む、生体内微量生理活性物質のレベル変動を的確に把握することは、これらが関与する疾患の診断や治療効果の追跡、生理学的意義の解明の一助となりうる。現在、特異性の高さの観点から、高速液体クロマトグラフィー/エレクトロスプレーイオン化/タンデムマスマスペクトロメトリー (LC/ESI-MS/MS) に代表される、質量分析を基盤とした分析法が、第一選択として用いられる。しかしながら、ESI などのイオン化法は特にイオン性の官能基などを持たない中性の有機分子を測定対象物質としている場合、そのイオン化効率が十分ではない場合には、期待した感度が得られず、本手法をもって測定が困難な場合も少なくない。一方で、このような質量分析法における感度不足を補う目的で、測定法の原理に基づき、測定対象物質に化学的な変換を施し、感度向上を達成する手法が誘導体化法である。質量分析用の誘導体化法はこれまでも様々な誘導体化試薬が開発されてきており、これに伴い、種々の化合物の質量分析法での感度不足が改善された。近年、感度不足の改善に加えて、質量分析法の欠点の克服のために、種々の機能を付加させた多機能な誘導体化試薬がデザイン・合成されて

きており、実際に生体試料分析に適用されてきている。ここでは、最近の誘導体化試薬の特徴と実際の応用例について解説する。

### 2 誘導体化-質量分析法

#### 2.1 ESI/MS によるイオン化の原理

ESI による化合物のイオン化は、高電圧に印加させたキャピラリー先端から、大気圧下で HPLC などから送られた試料溶液を静電噴霧し、気相中にイオンを取り出すものである。ここでは正イオン化する例をあげるが、キャピラリーを正電圧に印加した時、キャピラリー先端で過剰に正電荷に帯電した液滴が生じ、液滴溶媒の濃縮に伴い微細な液滴を経て、電荷濃縮によりクーロン反発され対向電極に向けて噴霧される (図 1)。イオン化に際しては、移動相中の添加剤の種類によって、アンモニウム付加イオン  $[M+NH_4]^+$  やナトリウム付加イオン  $[M+Na]^+$  なども形成されるが、最も一般的に見られるイオン化は、プロトン移動であると言える。ここでは正イオン検出を対象として、プロトン付加によるイオン化について取り上げる。測定対象がプロトン付加されやすいかどうかは、測定化合物自身がプロトンを受け取りやすいか否かに依存すると言っても良い。

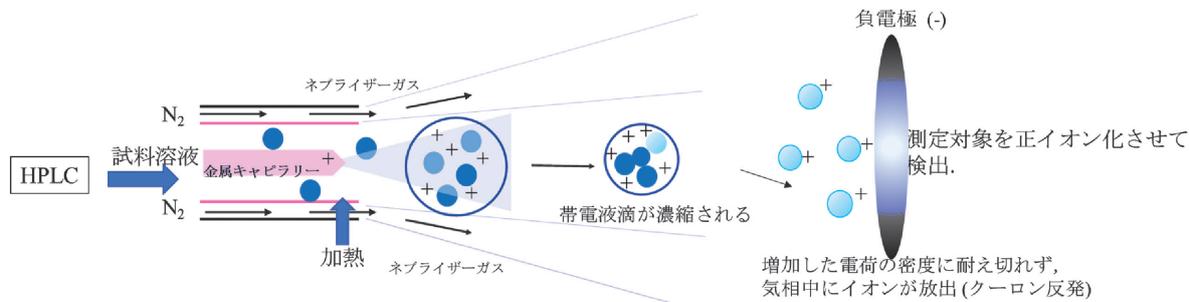


図 1 ESI 法による正イオン検出の模式図

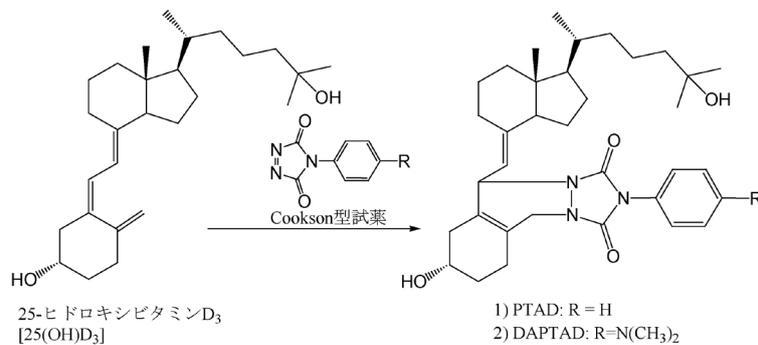


図2 Cookson型試薬による25(OH)D<sub>3</sub>の誘導体化

## 2.2 ESI/MSにおける高感度化誘導体化

(HPLC/)ESI-MSにおける誘導体化試薬については、1) 3級アミンやピリジル基などのプロトン親和性原子団導入によるイオン化効率の向上、あるいは、ピリジニウムやアンモニウム基の導入による正に荷電した誘導体に変換することで、測定対象のESIに対する応答性を大幅に改善することがあげられる。次いで、2) 誘導体化により特異性を向上させる、すなわち、プリカーサーイオンに対して、MS/MS（プロダクトイオン分析）で特異的なフラグメンテーションを誘起し、特徴的なプロダクトイオンを生成させ、選択性を向上させることを目的とする。

このような感度や特異性の向上を目的とした誘導体化試薬は、いまなお新規の試薬の開発がなされ、高感度化試薬の生体試料分析における適用例はいくつも報告されている。例えば、テストステロンはアンドロゲン類の産生低下に伴う鬱や心血管疾患男性更年期障害などの指標とされている。これらはGirard試薬で誘導体化することにより、正イオン検出でS/N=5を与える注入量を検出限界としたとき、それぞれ1 fmolとなり、測定に使用する血液が40 μLと少量でも定量するのに十分な感度が得られることが分かった。

また、生体内ビタミンDの分析では、本法で測定するには実用的な感度が得られないなどの問題があったが、PTADやDAPTADと言ったCookson型試薬を用いた誘導体化により、イオン化効率が十数倍増加したなどの報告がなされている<sup>1)2)</sup>(図2)。

## 3 機能性誘導体化試薬のLC/ESI-MS/MS測定法への応用

HPLC/ESI-MS/(MS)を用いた生体内微量成分の分析を行う場合、2.2で述べた、高感度化を目的とした誘導体化を施すことで、測定対象のイオン化応答性を化学的に変化させることで、感度面での改善が達成される。しかし、それだけでは十分でなく、高感度化に加えて別の機能も併せもち、HPLC/MS/(MS)装置や分離器材の欠点を補完する機能をカスタマイズさせた種々のタイプ

の機能性誘導体化試薬が開発されてきている。

### 3.1 Cookson型試薬を活用した尿中グルクロン酸抱合型ビタミンD<sub>3</sub>代謝物の抱合位置の特定

ビタミンD<sub>3</sub>の欠乏は骨粗鬆症などの骨疾患のみならず、うつ病やある種の癌、心血管疾患に深くかかわっており、また、新生児期のビタミンD<sub>3</sub>不足は将来の統合失調症などの危険因子となることも知られている。ビタミンD<sub>3</sub>の供給状態の評価は、血中の25-ヒドロキシビタミンD<sub>3</sub> [25(OH)D<sub>3</sub>]の濃度によってなされている。血中カルシウム濃度が十分な場合、生体中では25(OH)D<sub>3</sub>は24R,25-ジヒドロキシビタミンD<sub>3</sub> [24,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>]などの不活性な代謝物に変換され、さらに水酸基が一つグルクロン酸(Glu)抱合化されたGlu抱合体となって尿中に排泄される。これまでは水解し、脱抱合化して測定されていたが、最近、Glu抱合位置の特定にも関心がもたれている。水解せずに尿中ビタミンD<sub>3</sub>代謝物を分析した結果では、25(OH)D<sub>3</sub>は3位がGlu抱合され、24,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>は24位がGlu抱合されていることが報告されている<sup>3)</sup>。一方で、尿中には23S,25-ジヒドロキシビタミンD<sub>3</sub> [23,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>]のモノGlu抱合の存在が知られているものの、その抱合位置の特定には至っていなかった。そこで、Cookson型試薬による誘導体化を活用してHPLC/ESI-MS/MSによる特異的なフラグメンテーションを活用してその抱合位置の特定をした。測定にはTakadaらは新規のCookson型試薬として、ピペリジノフェニル基を有するPIPTADを合成して尿中ビタミンD<sub>3</sub>代謝物分析に応用した<sup>4)</sup>。23,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>のモノGlu抱合体の位置異性体の合成標品は存在しないため、すべての異性体の合成標品が存在する24,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>のモノGlu抱合[24,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>-3Glu, 24,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>-24Glu及び24,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>-25Glu]をPIPTADと反応させ、MS及びMS/MS挙動を精査した。HPLC/ESI-MS/MSには、Waters社のQuattro PremierXEにLC-e2695を接続して用いた。いずれのGの位置異性体でもm/z 851のプロトン付加分子を基準ピークとして与え、これをプリカーサーイオンとしたMS/MSでは、m/z 381が高強度に得

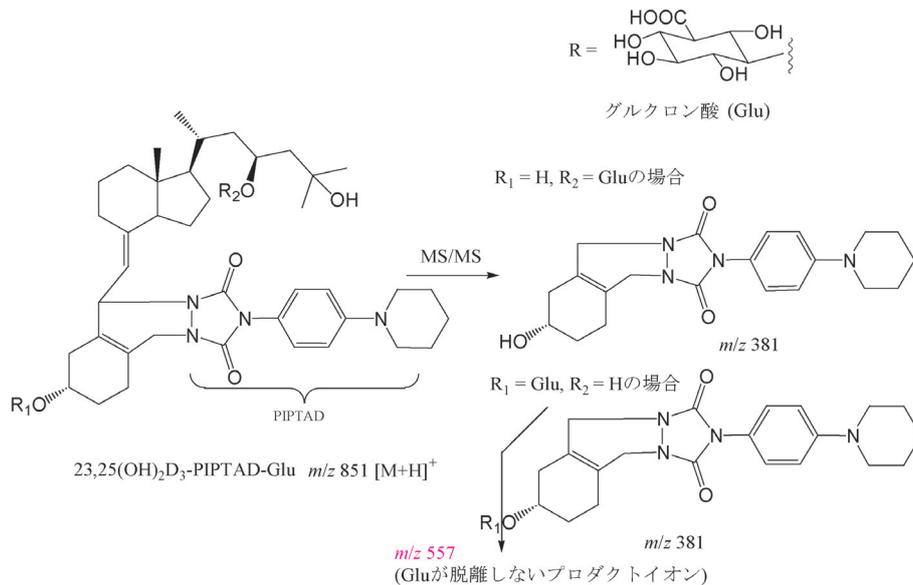


図3 Glu 抱合位置の違いによる PIPTAD 誘導体によるプロダクトイオンの構造

られた。しかしここで、Glu 位置が3位の時には一部の Glu 抱合が MS/MS では開裂せずに残ることから、抱合位置が3位の場合、特異的に  $m/z$  557 も観測された。Cookson 型試薬による誘導体化ではビタミン  $D_3$  代謝物の C6-7 結合が開裂した特徴的なプロダクトイオンが得られる。加えて、25位は3級水酸基であるため反応性が乏しいことから、生体内で Glu 抱合は進行しないものと考えられる。さらに、ビタミン  $D_3$  代謝物の側鎖水酸基が24位でも、23位でも誘導体の MS/MS 挙動は大きく変わらないものと推察されるため、図3に示す MS/MS 挙動をとる。これを踏まえて、 $m/z$  851 から得られる二つのプロダクトイオンをそれぞれ用いた、選択反応モニタリング (SRM) で、尿中  $23,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  のモノ Glu 抱合体分析を行った。その結果、尿中  $23,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  のモノ Glu 抱合体の PIPTAD 誘導体のピークは、SRM トランジションが  $m/z$  851  $\rightarrow$  381 のみで観測され、 $m/z$  851  $\rightarrow$  557 ではピークが現れなかった。以上のことから、Glu の抱合位置がビタミン  $D_3$  側鎖の23位であると特定できた。通常、Cookson 型試薬による誘導体化を用いない場合は、MS/MS (プロダクトイオン分析) においても、抱合位置の違いによる位置異性体のプロダクトイオンには違いが生じにくいため、抱合位置の特定につながる情報は得難かったが、PIPTAD 誘導体化の導入により、位置異性体の弁別が可能となった。

### 3.2 重水素標識誘導体化試薬を活用した多検体一括定量法への応用

HPLC/ESI-MS/(MS) による定量では、高い特異性を有する反面で、基本的には前処理を行った生体試料について、1検体ずつクロマトグラフィーによる分離を伴う測定がなされるため、分析の検体処理能力、すなわち、

分析スループットは免疫アッセイなどと比べて劣る。そこで、質量分析法の特性として、質量が異なれば弁別して検出できることと考えられ、一例として、タンデムマスタグ (TMT) 試薬と呼ばれる安定同位体標識試薬を用いた解析法が知られている。これは、安定同位体標識位置の異なるアイソトポマーの試薬を複数用いて、それぞれ別の試料を標識化し、TMT 試薬ごとのプロダクトイオンの値に差が生じることを利用して、各試料中の特定のペプチドの発現量を相対比較するものである<sup>5)</sup>。このような安定同位体標識化の考えを応用し、Fujimura らは重水素標識数の異なる誘導体化試薬を活用することで複数検体を一括して、1回の HPLC/ESI-MS/MS 運転で多検体の測定データを得られるものと考えた。血中アンドロゲン分析の分析スループット向上を目的に、測定対象をテストステロン (TS) とデヒドロエピアンドロステロン (DHEAS) とした。これらアンドロゲン類は両方の血中レベルを評価することでアンドロゲン産生低下に伴う鬱病や心血管疾患、男性の加齢に伴う疾患をより詳細に評価できるものとされている。アンドロゲンはカルボニル基を有するため、2種の Girard 試薬のアナログ (Girard T と Girard P) 及びそれらのアイソトポログを用いた (図4)。HPLC/ESI-MS/MS には、Waters 社の Quattro PremierXE に LC-e2695 を接続して用いた。

ここで、誘導体化試薬のアイソトポログ間での誘導体の保持時間は殆ど変わらないことが知られているが、構造が異なる誘導体化試薬のアナログも用いるため、得られる誘導体の HPLC の保持時間が大きく異なることが懸念された。しかし、TS と DHEAS ともに誘導体の HPLC 保持時間は Girard T と Girard P の誘導体化試薬アナログ間でほとんど変わらず、6分の装置運転時間で

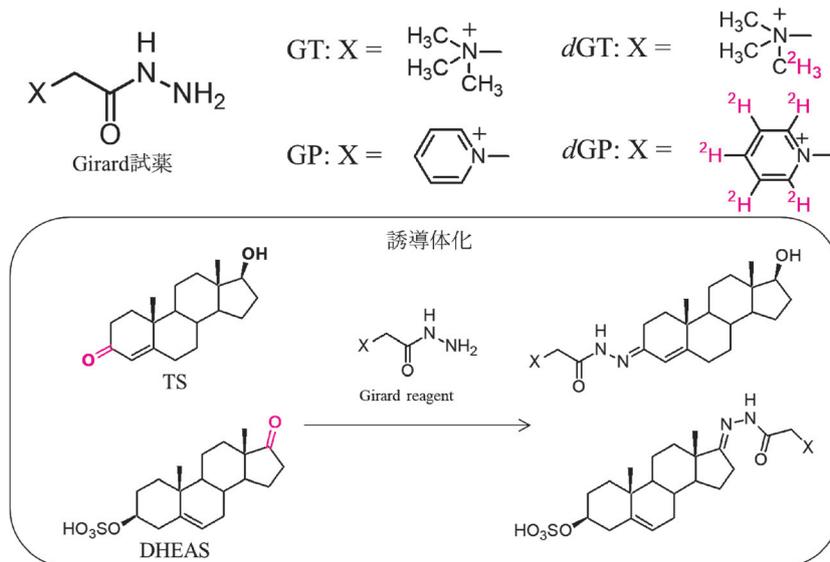


図4 4種 Girard 試薬の構造とアンドロゲンとの誘導體化反応

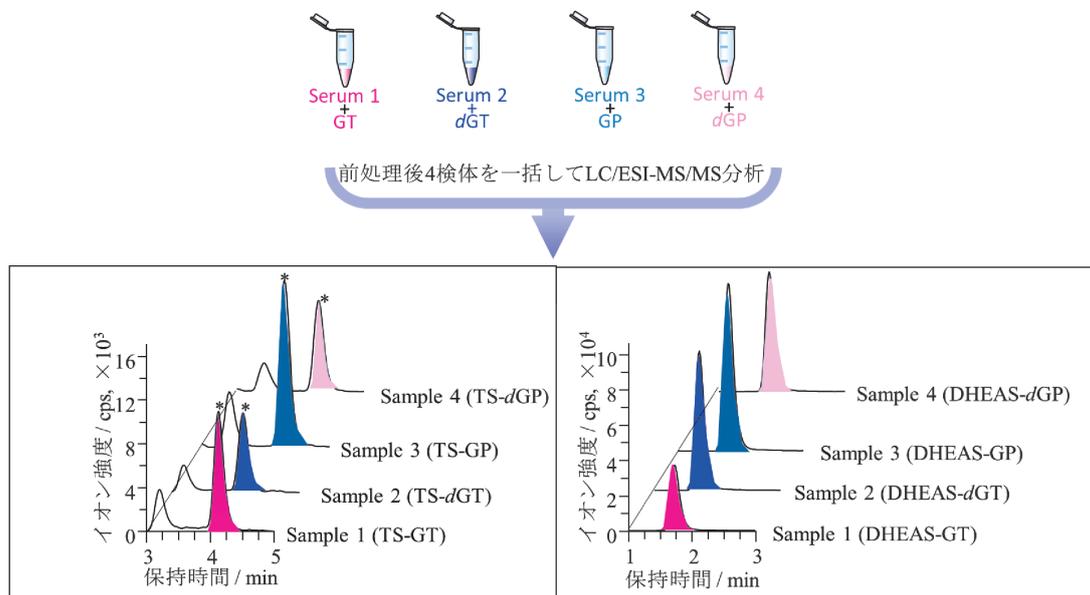


図5 4種 Girard 誘導體化試薬による4検体一括定量法の概略

測定が完了することも示された (図5)。36検体の健常人血清試料に対して、一方は血液試料を固相抽出して誘導體化せず1検体ずつHPLC/ESI-MS/MSで測定する方法(従来法とする)とし、もう一方は36検体を固相抽出で前処理し、無作為に四つずつ9組に分けて4種のGirard試薬で別々に誘導體化した後、試料を一括して測定を行った。固相抽出以降にかかる時間を比較したところ、従来法では1測定あたり7分のHPLC/ESI-MS/MS運転時間で36検体分の合計250分であったのに対して、開発された4種のGirard試薬を用いる手法では誘導體化の試料調製に40分を要するものの、1測定あたり6分の装置運転時間で9回測定するため、およそ100分で36検体分の測定データが得られた。すなわち、誘導體化試薬を活用した4検体一括定量法により、期待通り分析スループットが40%に短縮された<sup>6)</sup>、

Girard試薬のアナログはこれまでにいくつか報告がされており、試薬アナログとそのアイトポログ試薬を増やすことで、さらなる分析スループットの短縮も見込める。

#### 4 マトリックス支援レーザー脱離イオン化法における誘導體化の導入への試み

これまでは、ESIをイオン化法とした質量分析法への誘導體化試薬を活用した分析法について述べたてきたが、マトリックス支援レーザー脱離イオン化法(MALDI/MS)について述べる。本手法は、ステンレスプレート上にN<sub>2</sub>レーザーを吸収するシナピン酸などのMALDIマトリックスと試料の混晶を作成し、330nm程度のレーザーを混晶に照射して試料中の測定対象及びMALDIマトリックスの脱離、イオン化が起こるもので

ある。ペプチド、脂肪酸などの組織内の分布を解析できるソフトなイオン化法として知られる。イオン化効率の低いステロイドなどの低分子化合物では MALDI マトリックスに由来するピークによって妨害を受けるため、そのままでは十分な感度が得られず、測定が困難な状況であり、最近、MALDI/MS/(MS) についても、誘導体化の導入も検討されつつある。

#### 4.1 Girard 誘導体を活用した MALDI-ToF-MS/MS による血清中コルチゾールの定量法開発

コルチゾール (CRT) は、多くの生理学的プロセスにおいて重要な役割を果たしているため、血清中の CRT 濃度の測定は臨床的に非常に重要である。MALDI-MS/MS は、高い特異性、操作性、迅速な分析といった特性を有するため、MALDI-MS/MS を基盤とした血清中の CRT の定量に精度と分析スループットに優れた手法となる可能性がある。そこで、Nakamura らは MALDI-MS/MS を用いて血清中の CRT を定量する方法の開発を試みた。MALDI-MS/MS には、Waters 社の MALDI Synapt™ G1 を用いた。ここで誘導体化なしに 5 ng の CRT を MALDI 測定用のプレートにスポットして測定したところ、CRT に由来するイオンのピークは得られなかった。そこで、MALDI への応答性を高めるため、Girard 試薬であるヒドラジノカルボニルメチル-イソキノリニウムクロリド (GIQ) を用いた誘導体化を採用したところ、CRT250 pg に相当する誘導体の S/N は 350 程度となり、GIQ 誘導体化により 200 倍の感度向上を達し、感度不足が補えた (図 6)。加えて、MALDI/MS においても、測定ごとの装置のイオン化効率の変動を補正し、精密な定量を可能にするために、重水素標識化された COR ( $d_4$ -COR) を用いた安定同位体標識内標準法を採用した。COR-GIQ は MS において  $m/z$  546 の  $[M]^+$  に由来するピークを基準ピークとして与え、 $d_4$ -COR-GIQ は  $m/z$  550 を与えた。そこで四重極コリジョンセル内での衝突活性化 (CID) による MS/MS 測定 (プロダクトイオン分析) を行うために  $m/z$  548 を中心に、イオンセクターの  $m/z$  範囲を 7 にすることで四重極を  $m/z$  546 と  $m/z$  550 が同時に通過し、続く CID により、COR と  $d_4$ -COR はそれぞれ  $m/z$  417 と 421 の

ステロイドに由来するプロダクトイオンが得られた。これらのイオンに基づく MS/MS によって、ノイズが少ない COR の分析が可能となった。この方法により、20  $\mu$ L の血清サンプルを用いて血清中 CRT を再現性高く定量測定可能となった (定量範囲: 25~500 ng/mL)。開発された MALDI-MS/MS 法によって測定された血清中 CRT 濃度は、健常人血清で 73.9~91.5 ng/mL、高血圧患者の副腎静脈血で 277~1986 ng/mL であった。この結果は HPLC/ESI-MS/MS 法や電気化学発光免疫測定法によって測定された濃度もよく一致した。以上より、特定のステロイドの定量に、誘導体化-MALDI-MS/MS 法が十分に適用可能であることが示された<sup>7)</sup>。

#### 4.2 キラル誘導体化-MALDI/イオンモビリティスペクトロメトリー (IMS)/MS を活用した光学異性体弁別への応用

MALDI/MS は、HPLC の様なクロマトグラフィーによる分離に関する部位を有さないことから、質量による分離が主である。一方で、生体成分の中には光学活性なものも多く存在し、対掌体間で生理活性や体内動態が異なる場合があるものの質量スペクトルに差がない。通常ではキラルカラムや、キラル誘導体化法を用いたクロマトグラフィーによる光学異性体の弁別がなされる。Sugiyama らは、正に荷電したキラルな構造を持つ誘導体化試薬、(S)-1-(4-(ビス(2,4,6-トリメトキシフェニル)メチルイウミル)-3,5-ジメトキシフェニル)ピロリジン-3-アミン [BTMD(S)A] を開発し、IMS による光学異性体弁別を試みた。D-及び L-2-ヒドロキシグルタル酸 (D-,L-2HG) を測定対象とした。D-,L-2HG は腫瘍代謝物とも言われ、DNA メチル化の調節に関与しているとされており、対掌体間でそれぞれ異なる種類のガンや代謝障害に関与している。そのため、2HG についてはその組織分布とともに、D/L の比を測定することは重要である。縮合剤に EDC と HOAt を用いた時、ラセミ体である 2-HG と BTMD(S)A は定量的に反応した。さらに、得られた誘導体は IMS で対掌体のピークの分離度が 1.8 以上で完全分離した (図 7)。また、誘導体化に伴い、キラル反転は認められなかった。誘導体化によるシグナル強度は、ガラスプレート上のスポットで 272

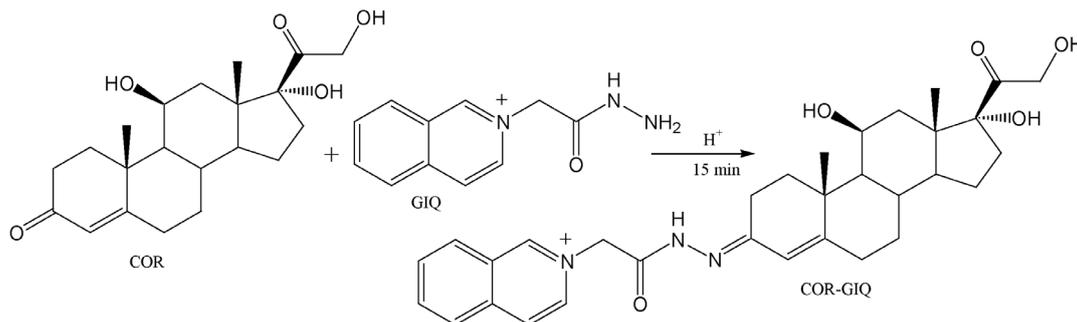


図 6 GIQ による CRT の誘導体化

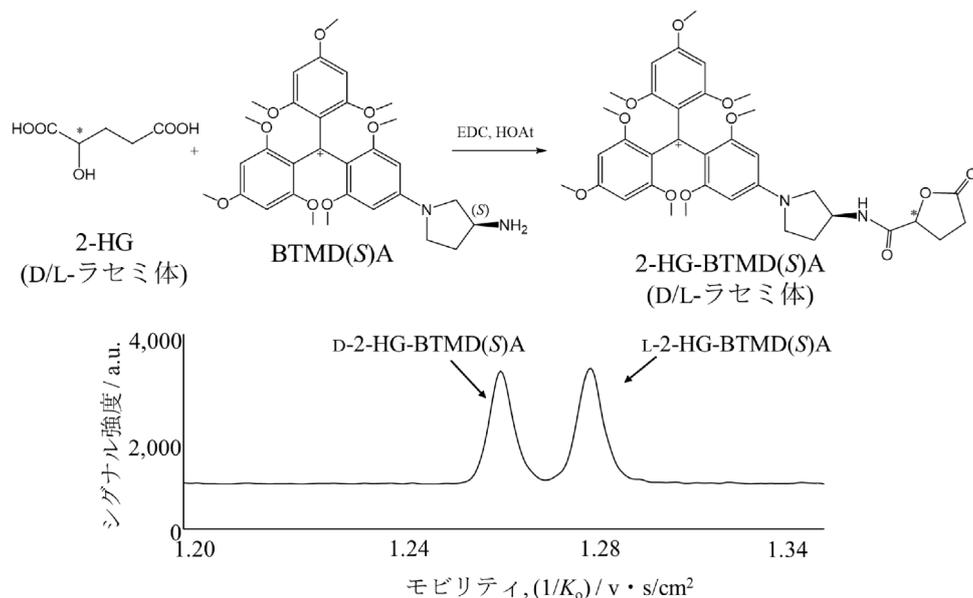


図7 BTMD(S)A誘導体化による誘導体化反応及び誘導体のモビログラム

(a.u.). 組織上で170 (a.u.)と、満足しうる強度が得られた。MALDI/IMS/MSはBruker社のautoflex maXを用いた。BTMD(S)A誘導体化-MALDI/IMS/MSを用いた、マウス精巣における内因性D/L-2HGの検出と可視化を試みたところ、マウス精巣組織では平均してL-2HDがD-2HDよりも2.5倍多く存在していることが分かり、これはGC/MSによる先の報告と一致していた。このように、通常、クロマトグラフィーによる分離が行えないMALDIにおいても、IMSでの分離用に設計されたキラルな誘導体化試薬が、光学活性な小分子のエナンチオ選択的イメージングに有用なツールとなることが示された<sup>7)</sup>。

## 5 おわりに

ESI-MS/MS用の誘導体化試薬は、今現在でも多くの新しい試薬がデザイン・開発されてきている。誘導体化は、測定対象物質の検出感度の改善はもとより、分析装置の欠点を補完する上でも有効な手段であることは間違いない。HPLCはクロマトグラフィーによる化合物の分離という点で非常に有効であるものの、一方で、HPLCの運転時間は要求されてしまう。この、分離に要する時間の長さは、HPLC/ESI-MS/MSを分析の方法論として用いる測定者にとっても解決すべき課題であると思われる。このことを、MS/MSの装置の特性と誘導体化試薬を組み合わせることで解決する、という試みは、上記の課題の一つの解決策として有効であると言える。前処理法としての誘導体化は、試薬の調製や反応に幾ばくかの時間を要することから、その分の分析スループットの低下は免れられないが、それを補ってあまりあるような、機能的で実用的な面が多くあるということが少しでも多くの測定者に伝わることを願っている。また、ESI-MS/MS用

の誘導体化試薬に比べ、まだMALDI-MS/(MS)では誘導体化試薬は不足している現状ではあるが、クロマトグラフィーなしでの異性体弁別など、今後、MALDI用のより実用的な誘導体化試薬の開発がなされ、これからより複雑になっていくバイオメディカル分析の発展にも大きく寄与できるものと確信され、この点においても、今後の発展に非常に興味をもたれる。

## 文 献

- 1) T. Higashi, S. Ogawa : *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, **162**, 57 (2016).
- 2) 東 達也, 小川祥二郎, ぶんせき (*Bunseki*), **2013**, 422.
- 3) Y. Yoshimura, M. Togashi, S. Ogawa, T. Higashi : *Steroids*, **162**, 108695 (2020).
- 4) K. Takada, S. Ogawa, N. Yoshida, T. Higashi : *Anal. Sci.*, **39**, 1053 (2023).
- 5) T. Higashi, S. Ogawa : *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **130**, 181 (2016).
- 6) S. Fujimura, T. Ito, S. Ogawa, T. Ishige, S. Nishimoto-Kusunose, T. Higashi : *Anal. Sci.*, **38**, 167 (2022).
- 7) M. Nakamura, M. Moritsuna, K. Yuda, S. Fujimura, Y. Sugiura, S. Shimma, K. Nishimoto, T. Nishikawa, M. Suematsu, S. Ogawa, T. Higashi : *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **178**, e112912 (2020).
- 8) E. Sugiyama, Y. Nishiya, K. Yamashita, R. Hirokawa, Y. Iinuma, T. Nirasawa, H. Mizuno, Y. Hamashima, K. Todoroki : *Chem. Comm.*, **59**, 10825 (2023).



小川 祥二郎 (OGAWA Shoujiro)

福山大学薬学部薬学科 (〒729-0292 広島県福山市学園町1番地三蔵). 日本大学大学院総合基礎科学研究科相関理化学専攻博士後期課程. 博士(理学). 《現在の研究テーマ》質量分析計用の多機能誘導体化試薬の合成と生体試料分析への応用. 《趣味》博物館・美術館巡り.  
E-mail : sho-ogawa@fukuyama-u.ac.jp

### 溶液 NMR で使われる略号②

前号では構造解析に用いられる溶液 NMR に触れた。本稿では構造解析以外の NMR 測定・解析について解説する。略号以外の記載もあるので、予めご了承ください。

#### 1 拡散係数を利用した NMR

DOSY (diffusion ordered spectroscopy)

DOSY はパルス磁場勾配 (pulsed field gradient, PFG) を利用して分子の拡散運動を観測する。拡散係数 (D) を縦軸、化学シフトを横軸に表示して 2 次元スペクトルが得られる。通常の NMR 測定では混合物の解析は容易ではないが、各混合物の拡散係数が異なれば、スペクトル上で分離されるため解析が可能になる。

図 1 にグルコース (分子量 180.16) と  $\alpha$ -シクロデキストリン (分子量 972.85) の DOSY スペクトルを示す。溶媒である重水 ( $D_2O$ ) は溶質に比べて分子体積が小さく、分子拡散係数は大きくなる。一方、グルコースと  $\alpha$ -シクロデキストリンは溶媒として観測される HDO より分子拡散係数は小さくなり、更にそれぞれの分子拡散係数の違いにより、両者は分離して観測されている。多成分試料の解析も可能になる。

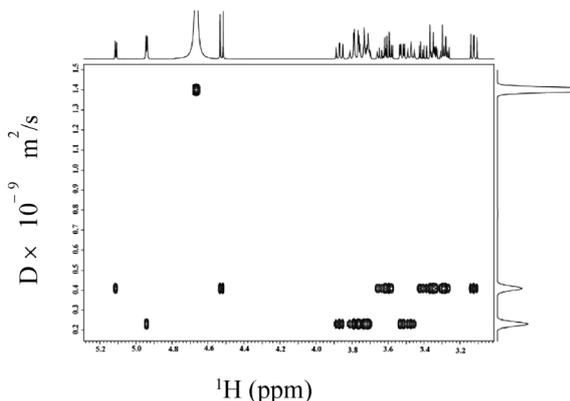


図 1 30 mg グルコース+30 mg  $\alpha$ -シクロデキストリンの DOSY (日本電子株式会社より提供)

#### 2 分子間相互作用解析に用いられる NMR

##### 2.1 STD (saturation transfer difference) 飽和移動差

タンパク質とリガンド分子の相互作用を検出する目的で使用される。一般的に、タンパク質の  $^1H$  を選択照射・非照射の差スペクトルを測定し、タンパク質に結合する

リガンド分子の  $^1H$  を検出する。

図 2 にフレロキサシンの構造式、およびフレロキサシン+ヒト血清アルブミンの STD スペクトル、 $^1H$  スペクトル、およびフレロキサシンの  $^1H$  スペクトルを示す。STD スペクトルでは、0.8 ppm 付近に消え残りのタンパク質シグナルが観測されているが、ヒト血清アルブミンに結合するフレロキサシンが選択的に検出されている。

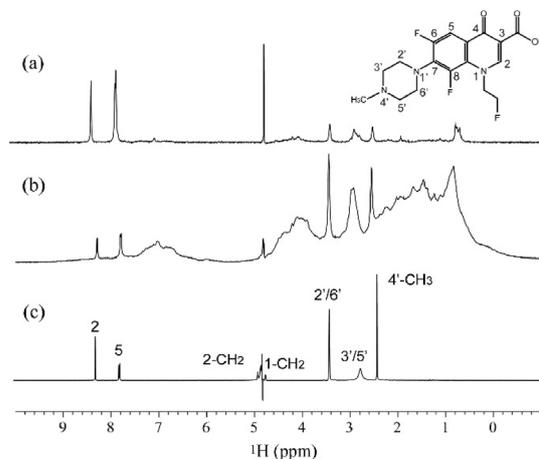


図 2 フレロキサシンの構造式, (a) STD スペクトル, (b, c)  $^1H$  スペクトル。

試料は (a), (b)  $0.6 \times 10^{-3}$  mol/L フレロキサシン+ $0.2 \times 10^{-3}$  mol/L ヒト血清アルブミン, (c)  $0.6 \times 10^{-3}$  mol/L フレロキサシン。

##### 2.2 Water LOGSY (water-ligand observation with gradient spectroscopy)

前項の STD と同様に、タンパク質とリガンド分子の相互作用を検出する目的で使用される。溶媒である  $H_2O$  との NOE を検出し、タンパク質に結合したリガンド分子は正のシグナル、結合していない分子は負のシグナルとして観測される。図 3 (b) ではタンパク質が存在し

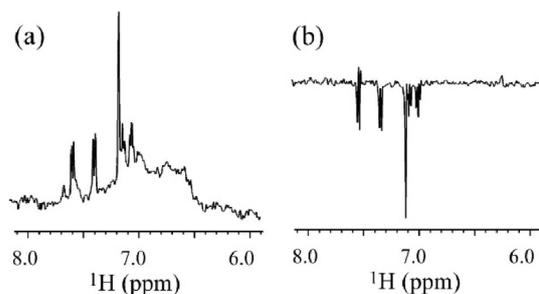


図 3 WaterLOGSY スペクトル (拡大)

(a)  $2.0 \times 10^{-3}$  mol/L Trp+ $0.1 \times 10^{-3}$  mol/L ヒト血清アルブミン, (b)  $2.0 \times 10^{-3}$  mol/L Trp。

ないため、トリプトファン (Trp) がヒト血清アルブミンと結合しない分子として観測されている。

### 3 定量 NMR

qNMR (quantitative NMR)<sup>1)~4)</sup>

NMR では HPLC や GC といったクロマトグラフィーのように多成分を分離できないため、一斉分析は困難であり、また MS や IR など他の構造解析に用いられる分析機器より検出感度は低い。一方、溶液 NMR では <sup>1</sup>H シグナルに定量性があるため、官能基レベルで <sup>1</sup>H 数を直接かつ正確に量ることができる。qNMR はこの長所を活用し、測定対象物と同一の標準物質を必要としない絶対定量分析法として広範な分野で用いられている。

日本薬局方および食品添加物公定書の標準物質 (定量用標品) の純度決定法として公的に qNMR が採用されている。また、日本産業規格には qNMR 分析通則が記載されている。

図 4 に内標準物質を用いた qNMR の原理を示す。内部標準法では、NMR スペクトル上の内標準物質と分析対象物質のシグナルの積分値を比較して定量する。内標準物質を選ぶポイントは (1) 測定対象物質と NMR シグナルが重ならないこと、(2) 純度が既知であることである。qNMR で使用される代表的な内標準物質として、NMR シグナルが 0 ppm 付近に検出され、国際単位系 (SI) にトレーサブルな純度が付与された 1,4-bis(trimethylsilyl) benzene-d<sub>4</sub> (1,4-BTMSB-d<sub>4</sub>) がよく用いられ<sup>5)</sup>、市販されている。低分子を対象とした濃度や純度分析、および高分子を対象とした組成分析や末端基定量などに用いられることが多い。

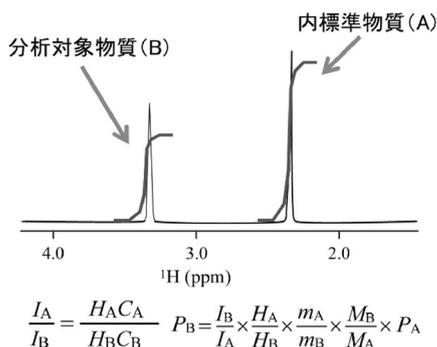


図 4 qNMR の原理

I: <sup>1</sup>H シグナルの積分値, H: 官能基の <sup>1</sup>H 数, C: モル濃度, P: 純度, m: 秤量値, M: 分子量 (日本電子株式会社より提供)

### 4 NMR による多変量解析<sup>6)~8)</sup>

NMR による多変量解析では、精製や分離を行わずに多数のスペクトルやシグナルから、その試料群内での各試料の傾向や特徴を探る。一般的に、スペクトルの解析をせず、混合物をそのまま観測するパターン認識法が用いられる。パターン認識として、主成分分析 (principal

component analysis, PCA) や分類法の一つの SIMCA (soft independent modeling of class analogy) 法などがある。多検体の測定データを統計処理することにより、検体の特徴を抽出して分類することができる。PCA では、分散が最大となる軸を主成分に設定することでデータ全体の特徴を捉えることが可能である。SIMCA では、クラスごとに PCA を実施してモデル空間を作成する。モデル空間との距離から新規データのクラス分類が可能となる。

NMR による多変量解析は、これまでは医学・薬学系で主に用いられていたが、最近では材料系へと適用範囲が広がり、食品分野においても品質管理などの分析方法として利用されている。例として <sup>1</sup>H NMR データによる食用油の組成解析<sup>9)</sup>や出汁 (煮干粉・和風だし・洋風スープ・うま味調味料) の分類がある<sup>10)</sup>。食用油の組成解析<sup>9)</sup>では、NMR とは別に GC/MS および GC により各脂肪酸骨格の定性・定量も行われた。その結果を NMR による PCA と照合したところ、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸の量的関係と主成分分析結果における各試料の分布には良好な相関があることが分かった。qNMR や多変量解析など、他の分析法にはない NMR 解析の応用性の広さを実感する。

### 文 献

- 1) 日本定量 NMR 研究会ホームページ: qNMR-J | Committee for the Development of qNMR Technology in Japan, (最終年月日: 2025 年 9 月 22 日)。
- 2) “qNMR プライマリーガイド”, (最終年月日: 2025 年 9 月 22 日)。(共立出版)。
- 3) 日本食品分析センターホームページ NMR\_qNMR.pdf, (最終年月日: 2025 年 9 月 22 日)。
- 4) 末松孝子: 化学と生物, **52**, 473 (2014)。
- 5) 山崎太一他: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **63**, 323 (2014)。
- 6) 細谷孝博, 熊澤茂則: 化学と生物, **52**, 503 (2014)。
- 7) 平野朋広, 百瀬 陽, 上池亮太, 右手浩一: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **71**, 471 (2022)。
- 8) 百瀬 陽: ぶんせき, **2024**, 10。
- 9) 株式会社 DNP 科学分析センターホームページ NMR 多変量解析による食用油の組成解析 - 株式会社 DNP 科学分析センター, (最終年月日: 2025 年 9 月 22 日)。
- 10) “NMR を用いた混合物の分析—多変量解析の応用”, 日本電子アプリケーションノート, (最終年月日: 2025 年 9 月 22 日)。

[明星大学理工学部 田代 充]

## 表面から始まるイオン化の新展開 —SALDI/MSの進化と可能性—



大坂 一生

### 1 はじめに

マトリックス支援レーザー脱離イオン化 (matrix-assisted laser desorption/ionization, MALDI)/質量分析法 (mass spectrometry, MS) は、生体高分子やポリマーをソフトにイオン化できるため広く利用されている。MALDIでは、マトリックスと呼ばれる UV 吸収性有機化合物が UV パルスレーザー光を吸収し、試料を脱離・イオン化する。しかし、マトリックス由来のイオンが低分子領域に干渉することや、マトリックスと試料分子の結晶形成の不均一性により再現性が低下することが課題である。これに対し、金属、酸化物、炭素材料などの材料表面を用いる表面支援レーザー脱離イオン化 (surface-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry, SALDI)/MS は、イオン化支援材料由来のシグナルを低減し、良好な質量スペクトルを得ることができる<sup>1)</sup>。さらに、材料基板のナノ構造や電子特性を精密に制御することで、レーザー照射に伴う光吸収・電子放出・熱伝達を最適化し、脱離・イオン化効率を高めることが可能となってきた。近年では、光学設計・ナノ構造制御・表面電子工学の融合によって性能を向上させた SALDI の研究が進み、高い再現性と検出感度を両立できる可能性があるイオン化法として注目されている。本稿では、SALDI の最新研究動向と今後の技術的展望について紹介する。

### 2 ナノ構造制御によるイオン化効率の向上

近年、SALDI の高感度化を目的として、基板表面のナノ構造設計によるエネルギー伝達制御が注目を集めている。レーザー照射に伴う光吸収・熱拡散・電子放出を最適化することで、SALDI の脱離・イオン化効率が飛躍的に向上することが報告されている<sup>2)3)</sup>。とくに、金属酸化物ナノチューブによる局所エネルギー制御や金属ナノ粒子のプラズモン励起効果は、次世代の SALDI の

ための基板の設計指針として興味深い。

#### 2・1 金属ナノチューブによる局所エネルギー制御

TiO<sub>2</sub> ナノチューブを基板とした SALDI では、低分子量の生体分子の検出感度と再現性を改善したことが報告されている<sup>2)</sup>。直径の異なる TiO<sub>2</sub> ナノチューブを系統的に作製し、塩添加および表面親水性の制御と合わせて SALDI/飛行時間型質量分析法 (time-of-flight, TOF-MS) で評価して報告された。ナノチューブ径の最適化により検出感度が向上した。従来の TiO<sub>2</sub> を用いた SALDI では光活性が強いためにイオン化時に目的分子の分解が起こったが、それが低減され、さらに MALDI で問題であった再現性が向上し、従来法よりも高性能な分析を実現できる可能性が示された。

#### 2・2 金属ナノ粒子薄膜とプラズモン励起の利用

SALDI はマトリックスを用いないため、MALDI では困難な  $m/z$  500 以下の低分子領域の分析に適している。化学気相成長法によって合成された銀ナノ粒子 (AgNPs) は、SALDI/MS における低分子量生体分子の検出性能を向上させる材料として報告されている<sup>3)</sup>。Sibińska らは、SALDI のために平均粒径  $33.5 \pm 1.5$  nm、表面粗さ  $R_a = 11.8$  nm の均一に分散した AgNP で構成された薄膜を作製した。この AgNP 基板を用いた SALDI/MS で、糖類、アミノ酸、カルボン酸、トリグリセリドなどの低分子化合物の分析において、従来法よりも高い検出感度と特異性が得られた。MALDI では検出感度が特に低いトリグリセリドの LOD は約 10 ng/mL であり、シキミ酸は LOD は約 6.030  $\mu\text{g/mL}$  であった。さらに、トリグリセリドの検量線においては  $R^2 > 0.99$  という高い直線性が示され、高い再現性と定量分析への応用の可能性が明らかとなった。これらの結果から、SALDI における均一な金属薄膜の利用は、低分子量生体分子の分析における感度向上および再現性改善の両方に有効であることが示された。

### 3 イオン化機構の理解と再現性の確立

SALDI の再現性を向上させるには、脱離・イオン化過程に関する材料特性の理解が重要である。近年の研究から、脱離・イオン化効率はナノ構造を持つ材料の物理化学的特性 (化学組成、熱伝導率、光吸収効率、比熱、相転移点など) と形態に強く依存することが明らかとなった<sup>4)</sup>。また、材料の表面粗さ、欠陥、目的物質との親和性、水分子の存在もイオン収量と再現性に影響する要因である。これらの要素から設計したナノ構造基板を用いた SALDI/MS では、従来の RSD は約 20 % に対して、ナノ構造基板では 5~10 % に改善された。

MALDI では主に  $[M+H]^+$  が生成されるが、SALDI では  $[M+Na]^+$  や  $[M+K]^+$  が優先的に生成され、プロトン付加しにくいステロイドホルモンや合成ポリマーなどを簡便に検出できる。また、銀系材料を用いた

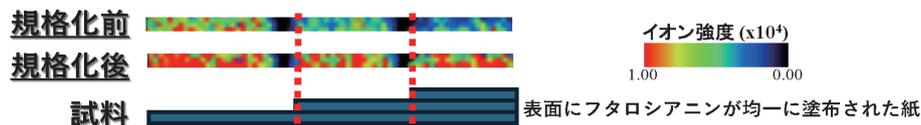


図1 インクの色素のフタロシアニンが均一に塗布された紙を重ねた試料の表面の白金薄膜 SALDI/MS イメージング

SALDI では添加なしで  $[M+Ag]^+$  が得られることもあるため、SALDI では金属イオン付加を活用した選択的イオン化が可能である。

#### 4 応用展開と技術的将来性

SALDI の応用はさらに広がってきている。表面が平坦ではない起伏のある試料表面上に均一に分散された成分を MALDI や SALDI/TOF-MS で分析すると、試料表面の低位部と高位部において照射される UV パルスレーザーのエネルギー密度が異なるため、試料表面上に均一に分散された成分の正しい局在画像が得られない。導電性の金属薄膜を用いた SALDI/TOF-MS で分析し、試料表面の高低位部から生じるイオン強度の低下や  $m/z$  値のシフトの相関の式を利用してデータを規格化することで、起伏のある試料表面上の成分の正確な局在情報を得ることも可能である (図1)。

SALDI は、MALDI と同様に固体表面上の試料成分を直接分析できるが、MALDI では誘導体化処理が必要な化合物の分析において、SALDI ではその処理なしに分析が可能な場合もある。生命科学や材料科学など多くの分野で応用が広がっている。生命科学では脂質や薬物代謝物の局在解析、材料科学ではポリマーや有機薄膜の劣化評価などへの応用が進展している<sup>5)6)</sup>。

##### 4.1 材料・高分子分析

貫通孔構造を有するアルミナ薄膜を機能性基板として用いる SALDI では、ポリマー中の添加剤や分解生成物を、抽出などの前処理をすることなく直接測定できることが報告されている<sup>5)</sup>。このような簡便な前処理法は、樹脂の品質管理やリサイクルプロセスにおける添加剤・分解生成物のモニタリングへの応用が期待される。さらに今後は、SALDI による表面分析データと機械学習を組み合わせることで、材料劣化の原因物質を自動推定するシステムの構築も考えられる。

##### 4.2 生体・代謝物分析

ナノ構造基板を利用した SALDI は、血清、脳、肝臓、腎臓などの生体試料や組織切片に含まれる脂質の分析に応用されている<sup>6)</sup>。従来の MALDI では検出が困難であった低分子脂質を明瞭に観測できる。SALDI/MS および SALDI/MS イメージングでは、主にホスファチジルコリンやスフィンゴミエリン、グリセロリン脂質などの細胞膜構成の脂質が対象であり、その局在分布を可視化することで、脳や腫瘍組織における脂質代謝変動の解析が

進められている。基板設計の進展により、SALDI は脂質メタボロミクスおよび生体組織のイメージング解析において、迅速かつ選択的な分析法として発展している。

#### 5 おわりに

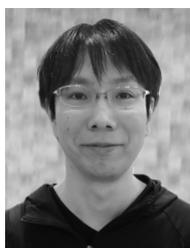
SALDI/MS は、ナノ構造基板を活用して光・熱・電子の相互作用を制御することで、MALDI や ESI とは異なる新しいイオン化領域を切り拓きつつある<sup>1)~3)</sup>。基板の構造設計と電子特性の最適化により、感度・再現性・選択性のすべてにおいて顕著な向上が報告されており、定量性を備えた分析法としての実用化も現実味を帯びてきた。

今後は、局在表面プラズモン共鳴を利用した光エネルギー制御の高度化、電子・熱物性に基づく基板設計の体系化、さらに材料分析分野では、SALDI データと機械学習を組み合わせた劣化機構の自動解析など、新たな展開が期待される。これらの進歩により、SALDI は生命科学および材料科学の両分野で、微量分子の高感度検出から分布可視化、動的過程の理解へと応用範囲を拡大していくと考えられる。

SALDI/MS は、複雑な試料を迅速かつ簡便に解析できる次世代の表面イオン化技術として、今後ますます重要性を増し、科学研究から産業応用に至る幅広い領域で中核的な役割を果たすことが期待される。

#### 文 献

- 1) W. H. Müller, A. Verdin, E. De Pauw, C. Malherbe, G. Eppe : *Mass Spectrom. Rev.*, **41**, 373 (2022).
- 2) M. Dodangeh, H. Farrokhpour, H. S. Ghaziaskar, M. Tabrizchi, M. M. Momeni, M. Motalebian : *J. Am. Soc. Mass Spectrom.*, **34**, 374 (2023).
- 3) E. Sibińska, J. Walczak-Skierska, A. Arendowski, A. Ludwiczak, A. Radtke, P. Piszczek, D. Gabryś, K. Robotnik, P. Pomastowski : *J. Am. Soc. Mass Spectrom.*, **35**, 2041 (2024).
- 4) R. A. Picca, C. D. Calvano, N. Gioffi, F. Palmisano : *Nanomaterials*, **7**, 75 (2017).
- 5) H. Sato, S. Nakamura, T. N. J. Fouquet, T. Ohmura, M. Kotani, Y. Naito : *J. Am. Soc. Mass Spectrom.*, **31**, 298 (2020).
- 6) W. H. Müller, E. De Pauw, J. Far, C. Malherbe, G. Eppe : *Prog. Lipid Res.*, **83**, 101114 (2021).



大坂 一生 (OSAKA Issey)

富山県立大学工学部医薬品工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)。関西大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》新規レーザー脱離イオン化質量分析法の開発と応用。《趣味》飼い猫の環境整備。  
E-mail : o-issey@pu-toyama.ac.jp

# Mass Photometry 法を用いた生体試料の分析

志波 公平

## 1 はじめに

生体試料、とりわけタンパク質などの生体高分子は、産生時に合成高分子と比較して夾雑物きょうざつを多く含んでいる。一方、その構造は複雑で、機能も構造依存性が高く、構造を正しく保っているかどうか後の活性評価に影響を与える。そのため、分析対象とするタンパク質試料の物性解析、特に純度解析は重要で、特徴的な立体構造を保ったまま、濃縮などの前処理をせずに *in situ* で測定することが求められる。また、生体高分子は合成高分子と比較して収量が著しく低く、不安定であることが多いので、生体高分子を扱う研究者が物性解析を行う際には、①できるだけ少ない量で、②できるだけ短時間で、③できるだけ試料環境を変えずに、④できるだけ多くの情報を知りたい、という要望が出てくる。

## 2 Mass photometry 法

Mass photometry 法（以後 MP 法）は、英国 Oxford 大学の Prof. Philipp Kukura らによって提唱された手法

で、干渉散乱顕微鏡を用いたタンパク質の化学特性・物理特性を解析する手法である<sup>1)2)</sup>。図1に検出部分の模式図を示す。スライドガラスの下方からレーザー光を照射し、反射して返ってくる後方散乱光を検出する仕組みとなっている。この際、スライドガラスからの反射光が同時に含まれるため、これと散乱光の干渉波を解析する。このとき、検出に干渉波顕微鏡を用いることでイメージングを行う。具体的には、獲得した画像を連続して取得し、それぞれの時点における画像とその前に獲得した画像の差分解析を行い、さらにノイズ除去の処理を行うことによって1分子に由来する画像コントラストを取得する。この検出方法を *interferometric scattering*（以後、iSCAT）検出と呼び、得られる画像を iSCAT 画像と呼ぶ。バックグラウンド（緩衝液のみ）と、屈折率の異なる試料との間では、異なる画像コントラストが得られるため、試料が検出された際に異なるコントラスト値を持つ画像が観測される。図2には、スライドガラスに対して近づいてくるタンパク質分子との距離と、その際に観測される画像コントラストの模式図を示す。後

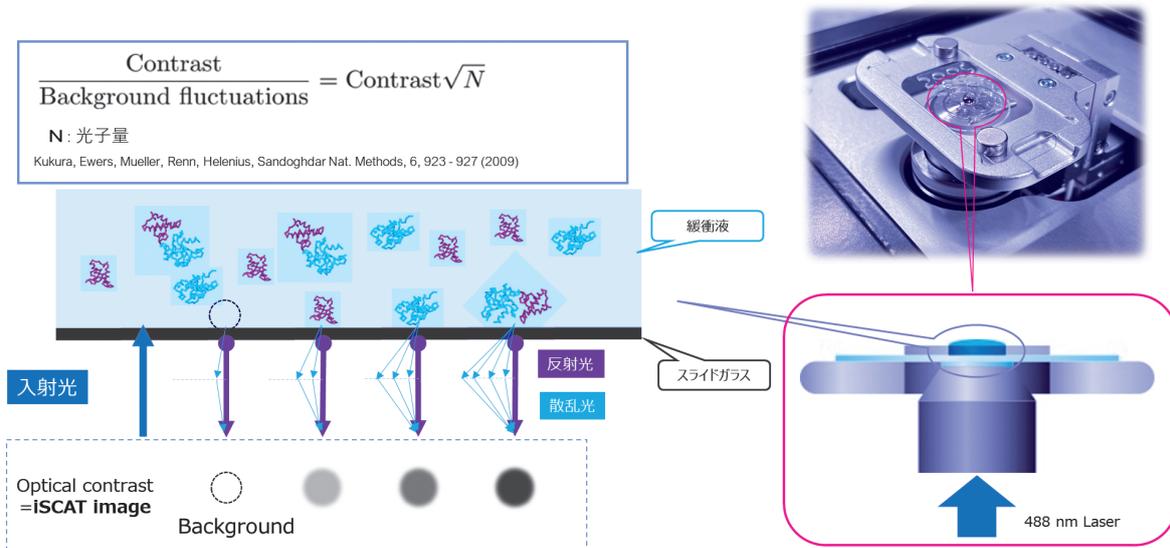


図1 Mass photometry 法の検出イメージ図  
溶液中にタンパク質 A（赤色）、タンパク質 B（緑色）および A-B 複合体が存在している場合の様子とその時の iSCAT イメージ

のフレーム画像から前のフレーム画像を差し引くことによってコントラストの差が得られる(図2, 左図)。スライドガラス表面から約40 nmが、iSCAT画像が得られる観測深さである。この観測領域にある分子はスライドガラスに接していなくてもiSCAT画像が観測されるが、スライドガラスに接近するにつれて、より明瞭なiSCAT画像が得られる。さらに、一旦スライドガラスに吸着すると差分解析の際に差し引かれ、獲得されるコントラスト値は低くなっていく。MP法では、それぞれの画像の位置情報も併せて解析しており、決まったエリアでの最大のコントラスト値を、そのエリアに吸着した1分子の値として定めている(図2, 右図の赤枠で示した0.00 s時点が該当)。

また、MP法ではiSCAT画像が高速で取得できるため、観察領域における一連の変化を動画データとして取得することが可能である。その結果、観察領域におけるコントラスト分布を網羅的に解析できる。さらに、得られるiSCAT画像のコントラスト値が分子量にのみ依存するため<sup>2)</sup>、あらかじめ分子量既知の試料を計測し検量線を作成しておくことで、未知の試料のコントラスト値からその分子量を求めることができる。

厳密に言えば、コントラスト値は分子量ではなく散乱光強度に依存するので、散乱体積および分子の屈折率に依存するので、立体構造が変化した場合はiSCAT画像

に影響を与えることが予想される。しかし、立体構造変化による屈折率変化がコントラスト値に与える影響は、コントラスト値の算出による誤差よりもはるかに小さく、立体構造変化によるコントラスト値への影響は実際には無視できる程度となる。したがって、分析対象のタンパク質が折りたたまれた構造や伸びた構造などを形成していたとしても、分子量が同じであれば同じコントラスト値を示す。これは実際に130種類のタンパク質を用いて確かめられており、さらに変性剤存在下/非存在下においても変化がないことが実験的に示されている<sup>1)</sup>。そのため、例えばタンパク質Aとタンパク質Bが相互作用した際には、純粋にコントラスト値の変化を分子量変化と捉えることができ、この性質を利用してタンパク質の化学量論的に結合比率を容易に算出することができる<sup>3)</sup>。

またMP法の特徴として、①使用する緩衝液の制限がほとんどなく、サンプルのラベル化、固定化等の処理が一切不要、②10 nM程度の試料が10 μL程度で計測可能、③測定時間は1分間で、前処理およびデータ解析を含めても数分間で完了、といった点があげられる。前項で述べたとおり、タンパク質試料は一般的に微量かつ低濃度であるものが多いため、これらのMP法の特徴は、タンパク質の物性解析に適していると思われる。表1には、溶液中のサイズ分布を計測する手法を比較した

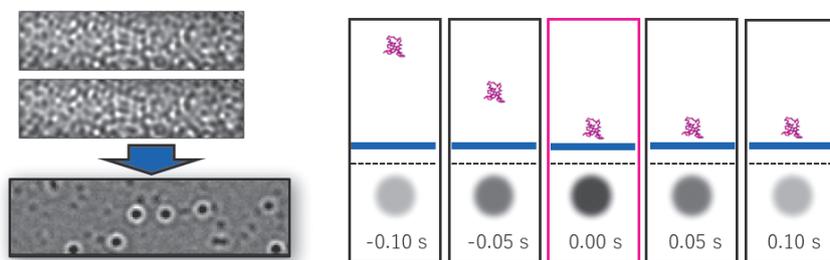


図2 MP法による1分子検出画像(左)と、1分子検出イメージ図(右)

通常の顕微鏡観察では何も像が観察されないが(左上)、差分解析を行うことでiSCAT画像を獲得する(左下)。iSCAT画像のコントラスト値は、対象分子がスライドガラスに最接近した際に最大となり、その後徐々に小さくなる(右)。

表1 溶液中サイズ分布計測手法の特徴

比較項目	Mass photometry (MP)	Dynamic Light Scattering (DLS)	Size Exclusion Chromatography Multi-Angle Light Scattering (SEC MALS)	Analytical Ultra-Centrifugation (AUC)
アウトプット	分子量分布 相対濃度 検出分子個数	粒子径 (Rh) 粒子径分布グラフ	分子量分布 (分布はSECによる)	粒子径 (Rh) 粒度分布 平均分子量 (SE法)
サイズ単位	分子量	粒子径	分子量	粒子径
溶液中測定	◎	◎	△ (樹脂中を流れるため 厳密な溶液中かは疑問)	◎
至適サンプル濃度	1 μg/mL	500 μg/mL	1,000 μg/mL	1,000 μg/mL
必要サンプル量	10 μL	20 μL	200 μL	500 μL
測定時間	1 min	3 min	30 min	90 min

結果を示す。この表からも、MP法が他の代表的な手法と比較して、著しく少ない試料量でも適用可能であることがわかる。

### 3 溶液中のタンパク質の分散性測定

多くのタンパク質は、異なるタンパク質と相互作用をすることによって機能を発揮する。例えば単量体では機能を有さないものでも、複合体を形成することにより機能を発揮するものもあれば、ある反応を起こすために基質と複合体を形成するものなど、複数の事例が存在する。そのため、機能を有する条件における複合体の分子量を知ることはタンパク質の機能を知る上で重要である。しかし、その一方で、複合体形成は別の側面をもつ。例えば、緩衝液の種類、pH、添加物などの影響によって形成される言わばアーティファクトとしての複合体である。同じタンパク質であっても分散させる緩衝液の種類によってはオリゴマーを多く含む場合がある。具体的に知られている事例としては、近年医薬分野において実際に使用されている治療用の抗体を挙げるができる。抗体医薬品中に存在する Sub-visible といわれる領域の粒子 (0.1~100  $\mu\text{m}\phi$ ) が免疫原性を示すことが知られてからは抗体医薬品中のオリゴマー解析が特に重要視されるようになり、それらは抗体などのタンパク質の分散性と大きく係わっていることが示された<sup>4)</sup>。特に近年、タンパク質の分散性評価が注目を集めている。分散性評価の場合、単量体から非常に大きな複合体までを含む可能性があるため、検出できるダイナミックレンジが広いことが求められる。MP法は、幅広いダイナミックレンジを有しており、Refeyn社のTwoMPのそれは30~5000 kDaのレンジをもつ。図3には、Thyroglobulin (660 kDa) と empty AAV8 (3700 kDa) の混合物、および empty AAV8 のみの測定結果を示す。双方の試料は、

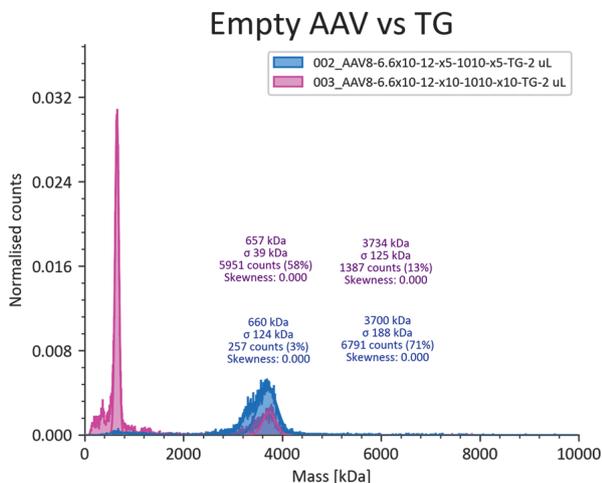


図3 Mass photometry法による Empty AAV8 および Thyroglobulin の混合液の測定

青および赤は混合比を変えて測定。

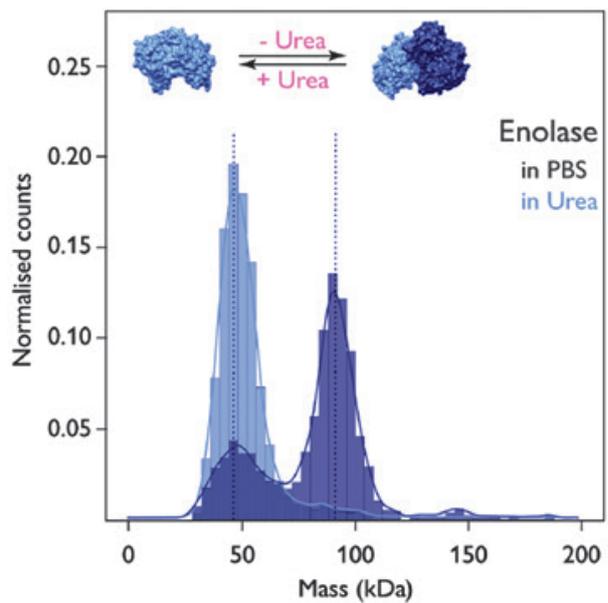


図4 Mass photometry法による PBS および 2 M Urea 中の Enolase の分子量分布

最終濃度において empty AAV8 の濃度をそろえて計測している。結果として、Thyroglobulin の有無にかかわらず MP法により求めた empty AAV8 の平均分子量はほとんど影響を受けないことが分かった。一方で、Thyroglobulin 自体も、その5倍以上の分子量をもつ粒子が共存していても検出できることが示された。この結果は、MP法が幅広いダイナミックレンジをもつことに加え、各粒子を定量的に検出できることを示唆している。

図4には Phosphate-buffered saline (以後 PBS) および変性剤である Urea-PBS 溶液中の Enolase の分子量分布を示す。Enolase は溶液中において単量体と二量体の平衡状態で存在することが知られているが、MP法で解析した結果、PBS 中では二量体平衡状態が偏り、大部分が二量体として存在することが分かった。一方、Urea 存在下ではほぼすべてが単量体になった。この結果から、Enolase は変性剤存在下において二量体を形成できず単量体として存在することがいえる。また、それぞれの単量体のピーク位置が一致していたことから、MP法は緩衝液中の添加物の影響をほとんど受けないことが示唆された。

### 4 まとめ

タンパク質の研究を行う上で、その純度や活性、物性を確認することは、研究自体を促進させるために極めて重要である。一方、タンパク質の物性解析では低濃度、少量、夾雑物の存在などが障害となる。MP法はこれらの欠点を補い、*in situ*でタンパク質の正確な物性値や量を簡便に観測できる有用な手法である。MP法が今後のタンパク質科学を牽引することを期待する。

## 文 献

- 1) G. Young, N. Hundt, D. Cole, A. Fineberg, J. Andrecka, A. Tyler, A. Olerinyova, A. Ansari, E. G. Marklund, M. P. Collier, S. A. Chndler, O. Tkachenko, J. Allen, M. Crispin, N. Billington, Y. Takagi, J. R. Sellers, C. Eichmann, P. Selenko, L. Frey, R. Riek, M. R. Galpin, W. B. Struwe, J. P. Benesch, P. Kukura : *Science*, **360**, 423 (2018).
- 2) D. Cole, G. Young, A. Weigel, A. Sebesta, P. Kukura : *ACS Photonics*, **4**, 211 (2017).
- 3) F. Soltermann, E. D. B. Foley, V. Pagnoni, M. Galpin, J. L. Benesch, P. Kukura, W. B. Struwe : *Angew. Chem. Int. Ed.*, **59**, 10774 (2020).
- 4) J. Carpenter, B. Cherney, A. Lubinecki, S. Ma, E. Marszal, A. M. Sluis, T. Nikolai, J. Novak, J. Ragheb, J. Simak : *Biologicals*, **38**, 602 (2010).
- 5) P. Kukura, H. Ewers, C. Muller, A. Renn, A. Helenius, V. Sandoghdar : *Nature Methods*, **6**, 923 (2009).



志波 公平 (SHIBA Kohei)

レフェイン・ジャパン株式会社 (〒657-0036 神戸市灘区桜口町 1-1-14). 九州大学大学院システム生命科学府. 工学博士.  
《現在の研究テーマ》Mass photometry法を利用した様々な条件の生体高分子の物性評価. 《趣味》バスケットボール (主に観戦).

E-mail : kohei.shiba@refeyn.com

会社ホームページ URL :

<https://refeyn.com>

## 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]

### 実データと数値シミュレーションにより 日本海側豪雪の発生メカニズムに迫る

昨今、豪雪の要因として日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) というものをたびたび耳にするようになった。日本海側在住の身としてこの JPCZ に興味が引かれたため、文献調査を行った。ここでは、JPCZ の構造および発生メカニズムと、降雪強度および海面水温 (SST) の関係性の解明を目指した報告を紹介する。

JPCZ とは、冬期に発生する数 100 km の帯状の大気の収束帯のことである<sup>1)</sup>。朝鮮半島北部の高山地帯により強制的に分断された寒気の気流が日本海上空で再合流することで JPCZ が発生すると考えられているが、JPCZ 付近での気象観測をリアルタイムで実施した例はなかった。さらに、対馬暖流が上空の寒気団に大量の水蒸気と熱を供給することから、JPCZ の発達にも重要であると予想される一方で、JPCZ における大気と海洋の同時観測も行われていなかった<sup>2)</sup>。そこで Tachibana らは、JPCZ の発生メカニズムと実態を明らかにすべく、船舶による海上でのラジオゾンデ観測や拡張型導電率温度深度の測定などを行い、得られた結果と気象衛星データをもとに、非静力学数値モデル (NHM) による数値シミュレーションを実施した<sup>3)</sup>。

まず、約 200 km の区間に 11 地点の観測点を定め、1 時間おきに異なる高度での気圧、水平風速、風向、温度、相対湿度の観測を行った。結果、風が収束してなおかつ気圧が周辺より低い 1 地点が見いだされ、JPCZ の中心であると推定した。この地点において大気の収束が高度 3.5 km まで見られ、それ以上の高度では相対湿度が急激に減少したことから、高さ 3.5 km 雲 (通常は 1.9 km) の存在が示唆された。また、JPCZ 領域において、SST が表層大気より最大で 11 °C も高いことも明らかになった。その地点では風速 17 m s<sup>-1</sup> であり、大気-海洋間での熱のやりとりの指標となる熱フラックスは 718 W m<sup>-2</sup> と推定された。JPCZ からの潜在降雪量を見積もったところ、JPCZ では約 13 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> の水蒸気が水平収束により集中し (8200 W m<sup>-2</sup> の凝結熱に相当)、この水蒸気濃度は 7 時間で約 100 cm もの降雪を引き起こす可能性があることが分かった。これらの結果を踏まえて気象庁の NHM を用いて数値シミュレーションしたところ、JPCZ の位置や降水分布に良好な一致が見られることが分かった。

本研究は、広い範囲での同時多点観測および実データと数値シミュレーションとの比較により、JPCZ の構造・発生メカニズムを明らかにしたという点で優れており、今後、日本海側に豪雪をもたらす JPCZ 発生の予測精度向上に貢献すると見込まれる。

1) 浅井富雄：天気 (日本気象学会機関誌), **35**, 24 (1988)。

2) T. K. West, W. J. Steenburgh : *Mon. Wea. Rev.*, **150**, 157

(2021)。

- 3) Y. Tachibana, M. Honda, H. Nishikawa, H. Kawase, H. Yamanaka, D. Hata, Y. Kashino : *Sci. Rep.*, **12**, Article number: 21674 (2022)。

[富山大学学術研究部工学系 菅野 憲]

### 固体表面における光化学蒸気生成法

光化学蒸気生成法 (photochemical vapor generation, PVG) は、ギ酸や酢酸などの低分子有機酸に紫外光を照射して光分解し、生じた還元性ラジカルで溶液中の分析対象元素を揮発性化学種へと変換する前処理法である<sup>1)</sup>。PVG では、従来の化学蒸気生成法で用いられていた水素化ホウ素ナトリウムや塩化スズなどの強力な還元剤を使用しない。この特徴から、原子吸光光度法や誘導結合プラズマ質量分析法などにおける、低環境負荷な前処理法として近年、研究が進められている。

従来の溶液中で揮発性化学種を生成する PVG では、試料中に共存する硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、亜硝酸イオン (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)、遷移金属元素などが分析対象元素の揮発性化学種の生成に深刻なマトリクス干渉を与えることが課題であった<sup>2)</sup>。特に NO<sub>3</sub><sup>-</sup> は、酸化剤として作用し、還元性ラジカルを消費して目的の揮発性化学種の生成を妨害する。

そこで、Su らは、共存成分による干渉を大幅に低減可能な固体表面における PVG を利用した水銀分析法を開発した<sup>3)</sup>。本法は、水銀イオン (Hg<sup>2+</sup>) に対して優れた吸着性を有するナノ酸化チタン修飾ファイバーを用いて、溶液試料中の Hg<sup>2+</sup> を吸着させる。その後、反応器内でファイバーに対して、ギ酸蒸気を導入して紫外光を照射する。ギ酸蒸気由来の還元性ラジカルがファイバー上の Hg<sup>2+</sup> を Hg<sup>0</sup> へと還元し、Hg<sup>0</sup> ガスとして脱着させる。脱着した Hg<sup>0</sup> ガスを原子蛍光光度法にて測定した。本法を用いた Hg<sup>2+</sup> の標準液による検量線は、0.05~2.5 µg/L の範囲で良好な直線性が得られ、検出限界は 2.3 ng/L であった。共存成分の影響評価において、陽イオン (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>)、陰イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>) が 10 mg/L で共存する場合でも、Hg<sup>2+</sup> の回収率は 94~107 % であり、マトリクス干渉をほとんど受けなかった。比較として、従来の溶液中における Hg<sup>2+</sup> の PVG では、Sturgeon らの報告により、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> のマトリクス干渉が 0.05 M で生じており<sup>4)</sup>、本法は NO<sub>3</sub><sup>-</sup> のマトリクス干渉を約 1/30 まで低減可能であった。

以上より、固体表面における PVG は、マトリクス干渉を低減可能であり、選択的かつ高感度な微量元素分析の前処理法としての発展が期待される。

- 1) Xuming Guo, Ralph E. Sturgeon, Zoltan Mester, Graeme J. Gardner : *Anal. Chem.*, **75**, 2092 (2002)。
- 2) Alicia Mollo, Moises Knochen : *Spectrochim. Acta B*, **169**, 105875 (2020)。
- 3) Yubin Su, Yao Lin, Tian Ren, Yuanyuan Li, Yurong Deng, Chengbin Zheng : *Anal. Chem.*, **95**, 14036 (2023)。
- 4) Ralph E. Sturgeon, Patricia Grinberg : *J. Anal. At. Spectrom.*, **27**, 222 (2012)。

[高知大学 総合人間自然科学研究科 坪井 春樹]

# こんにちは



## アジレント・テクノロジー 株式会社 芝浦ラボを訪ねて

### 〈はじめに〉

2025年2月21日、アジレント・テクノロジー株式会社の芝浦ラボを訪れる機会に恵まれた。当日は空がやや曇り、時折雨の気配もあったものの傘をさすほどではなく、ゆっくりと運河沿いを歩きながらラボへ向かう時間も楽しめた。運河沿いの遊歩道には穏やかな水面が広がり、川面を渡る風に運河沿いの緑や遊歩道の雰囲気が程よく調和していた。ラボのある住友芝浦ビルは、JR田町駅から徒歩10～15分の立地にある。田町駅へは東京駅からも電車で約7分とアクセスが良く、首都圏のどこからでも気軽に訪れやすい立地があると改めて感じた。周囲には再開発によって整備された高層ビルや大学キャンパスが立ち並び都会的な雰囲気が漂う一方で、運河沿いの遊歩道や芝浦アイランドの穏やかな景観、東京湾やレインボーブリッジの遠景も視界に入り、街の中に佇む水辺のゆとりが印象的だった。こうした都会と自然が調和した環境は、体験や交流の場としても心地よく、訪れるだけで気持ちが落ち着き、集中できる雰囲気を感じた。

### 〈体験と交流の芝浦ラボ〉

芝浦ラボ（写真1）は、14年ぶりの大規模改装を経て2025年1月にリニューアルされた。施設の面積は202平方メートルから274平方メートルへと拡張され、各部屋には最新の分析機器やデータ管理システムが整えられていた。各機器に触れ、操作しながら技術を体感できる環境であることから、ラボの目的が単に装置を展示するだけでなく、研究者が直接体験し、学び、互いに交流できる場を提供することに重点を置いていることがよく伝わってきた。空間設計の工夫も印象的であり、ウォークスルー形式で最新機器について学べる体験型オープンラボとして、自由に装置やシステムを観察できる開放感のあるレイアウトになっていた。訪問者にとっ

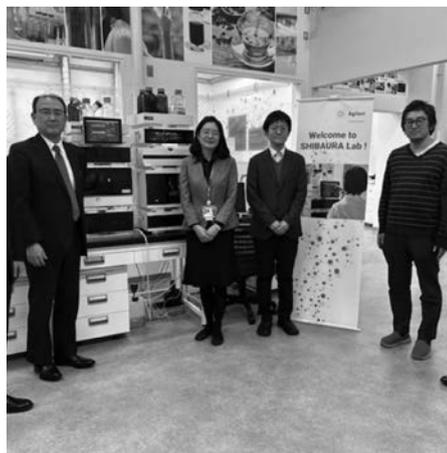


写真1 芝浦ラボにて  
左から石川、野上、末吉、東海林（敬称略）

て、ただ見るだけでなく、触れ、操作し、質問できる環境が用意されていることで、知識や技術の理解がより深まるように感じられた。スタッフの皆さんが操作方法や解析手順を丁寧に説明してくださり、初めて機器に触れる人でも迷わず体験できるよう配慮されていた。また、ワークショップスペースやプレゼンテーションエリアも配置されているため、自然に学びや交流が生まれる雰囲気が整えられていた。製薬や食品、環境など多様な分野に対応するだけでなく、ラボ内で紹介される最新技術やソリューションを通じて、研究者同士の知見や実験手法の共有も促されるものと期待される。さらに、「Agilent CrossLab」サービスを通じて、予防メンテナンスや修理、ソフトウェアアップデート、コンプライアンス対応なども提供され、リモート設置やデジタル接続などの最新技術を活用したラボ運用の柔軟性や効率性も伝わってきた。訪問中に行われたワークショップやデモンストレーションからは、「見て・触れて・学べる」というコンセプトが自然に体験でき、研究や分析の世界に入る楽しさや新しい発見が生まれる瞬間を感じ取ることができた。

### 〈主な設置機器と技術〉

芝浦ラボには、最新の分析装置が数多く設置されていた。揮発性化合物の分析にはガスクロマトグラフ（GC）やガスクロマトグラフ質量分析（GC/MS）が、極性化合物や高分子化合物の解析には液体クロマトグラフ（LC）や液体クロマトグラフ質量分析（LC/MS）が用意され、環境試料や食品、製薬分野での応用例も紹介されていた。微量金属や無機元素の分析には誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）やICP発光分光分析（ICP-OES）が設置され、試料の微量成分まで高感度で検出できることが伝わった。分子構造解析や品質管理には紫外可視分光光度計（UV-Vis）やフーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）も使用され、データ管理面ではOpenLabな



写真2 Infinity III LC + InfinityLab Assist

どの統合解析システムが導入されており、複数装置から得られる多元的データを一元管理して解析できる仕組みが整えられていた。各装置単体の高い分析性能に加え、ネットワークやデータ管理システムとの連携によって、より複雑で高度な分析が実現されていることを実感できた。取材で体験した分析機器の一部を紹介する。

高速液体クロマトグラフィー（HPLC）の最新モデル、Infinity III LC システム（写真2）では、実際に操作してみるとその直感的な操作性とサポート体制の手厚さが印象に残った。InfinityLab Assist によって、マニュアルを手元に置かなくても画面上の図や動画で手順が確認できるため、初めて操作する人でも迷わずにメンテナンス作業ができる。さらに、システムは常に状態を監視しており、簡単なトラブルシューティングや診断を画面上で案内してくれるため、作業効率が自然に高まる。サンプルや溶媒の管理までサポートされている点は、ラボ全体の運用を円滑にするだけでなく、研究者が分析そのものに集中できる環境を作る一助となるように感じられた。CrossLab の各種サービスによって、導入から日常運用、定期メンテナンスまでの包括的な支援についても教わり、遠隔での技術サポートによって現場での問題解決が迅速に行える点も印象深かった。まるで装置と「会話」しているような感覚で、初心者から熟練者まで誰もが効率的かつ確実に分析できる環境が整っており、技術の進歩に驚いた。

GC の説明では、従来はヘリウムをキャリアガスとして使用することが一般的だったが、価格変動や供給不安定の問題に対応するため、アジレント独自の水素キャリア専用イオン源など、代替ガスに対応した技術が紹介された。これにより、高精度の測定を維持しつつ、持続可能で安定した分析環境が提供されている点が大変印象深かった。

その他にも、世界最小・最速の ICP-OES、安定したスペクトルを得られる FTIR、ルーチンから高度な研究まで対応可能な UV-Vis など、多彩な分析装置（写真3）が並び、それぞれの特徴や応用範囲が具体例とともに紹



写真3 コンパクトな分析装置群  
（左）8850 GC,（中）Cary 60 UV-Vis,（右）Cary 630 FTIR.



写真4 5900 ICP-OES



写真5 4210 MP-AES

介されていた。中でも、コンパクトで高速分析可能な ICP-OES（写真4）は、省スペースで効率的に運用できる点が魅力的であった。FTIR は安定したスペクトルにより研究の精度を支えており、UV-Vis は幅広い分析対象・試料量に対応できる柔軟性を備えていた。それぞれ独自のアプローチが光る分析装置群が大変印象的であった。

マイクロ波プラズマ原子発光分光分析装置 MP-AES（写真5）は、アルゴンを必要とせず空気を燃料に利用できるため、安全で低コスト、かつ高感度という三拍子そろった分析が実現されていた。これらの利点は、インフラが限られる現場やサステナブルな研究環境を志向するラボにとって大きな強みとなる。

ほか、分析の前処理を自動化する自動希釈装置（ADS2）が実際に動作する様子を見て、煩雑さや再現性

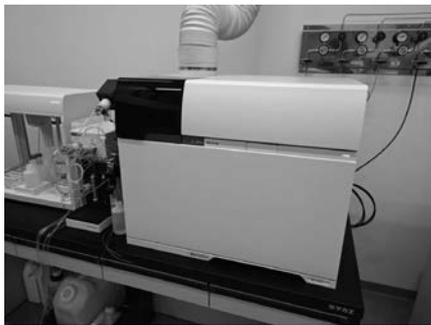


写真 6 7850 ICP-MS

の悩みが解消されると強く感じた。特に、検量線作成のための希釈系列サンプルを正確かつ自動で調整できるため、測定前処理の時間が大幅に削減され、担当者はより本質的な研究業務に集中できる点が素晴らしいと感じた。

そして、アジレントといえば ICP-MS (写真 6) の存在も欠かせない。黎明期から現行モデルに至るまで、感度は約 100 倍に向上しており、超微量元素分析の新たな世界を切り拓いてきた。特に日本では、35 年以上に

わたり製品やアプリケーションの開発に取り組んでおり、国内の研究と産業を支える重要な基盤技術として根付いていることを実感した。

### 〈さいごに〉

芝浦ラボ訪問を通じて、アジレントが装置の提供にとどまらず、ユーザー交流や学びの場の提供に力を入れていることが伝わってきた。セミナーやユーザーミーティングでは、最新技術の紹介に加え、研究者同士のネットワークが自然に広がる仕組みが整えられており、新たな知見を得るだけでなく、共同研究や情報交換の機会も増えている印象を受けた。こうした取り組みは、研究者コミュニティの活性化につながり、科学技術や産業の進歩にも影響を与える基盤としての可能性を期待した。知識や経験が共有され、異分野の研究者がつながることで、新しい発想や技術が生まれる可能性を身近に実感でき、最新技術を搭載した装置とユーザー交流の両面から未来の産業や社会を支える力を期待したい。

〔東京薬科大学 東海林 敦〕  
〔北里大学 末吉 健志〕

## 新刊紹介

### 分析化学実技シリーズ機器分析編 17 誘導結合プラズマ質量分析 (2刷)

日本分析化学会 編

本書は、ICP-MS の原理や装置構成から、応用分析のノウハウに至るまで、ICP-MS を用いた分析に必要な知識を体系的に網羅した実用書の第 2 刷である。

Chapter 1 では、ICP-MS の基礎となる原理と装置構成を詳細に解説し、試料導入部からイオン化部、質量分析部、検出器に至るまで、順を追って説明されている。豊富な図を用いることで、背景にある原理や装置の構造を視覚的に理解できる構成となっている。Chapter 2 および Chapter 3 では、干渉補正やコンタミネーション防止といった、正確な分析を行う上で不可欠な知識を取り上げ、実務に直結する具体的な対策や注意点を解説している。後半は応用的な分析手法に焦点を当て、Chapter

4 は LA-ICP-MS によるイメージング、LC-ICP-MS によるスベシエーション分析、さらに Chapter 5 では高精度分析を可能にする同位体希釈法について記載されている。最後の Chapter 6 では生体試料から半導体材料まで多様な試料の分析例を紹介し、実際の応用事例を通じて理解を深める構成となっている。本書は、教科書的な基礎知識にとどまらず、実務者の現場で役立つ手法や最新の分析事例に基づくノウハウを豊富に掲載している。ICP-MS の初心者から中級者まで、装置を使いこなすための最適な参考書である。

〔ISBN 978-4-320-04405-0・A5 版・286 ページ・  
3,200 円+税・2025 年刊・共立出版〕



## もうすぐ研究室設立 50 周年

鹿兒島大学の児玉谷仁先生からバトンを頂きました。島根大学の管原庄吾です。私は、学生の時にご指導いただいた奥村稔先生、清家泰先生、藤永薫先生の研究室を引き継ぎ、現在は助手の江川美千子先生と一緒に環境分析化学研究室を運営しております。児玉谷先生とのメールのやりとりの際に知ったのですが、児玉谷先生は、奥村稔先生や藤永薫先生をご存じのようで、同じ環境分析系でバトンを…ということで私にお声掛け頂いたようです。児玉谷先生、ありがとうございます。

さて、私が所属する環境分析化学研究室は、2028年に設立50周年を迎えます。このことを知った経緯を順に書いていこうと思います。まず、2022年に行われた中国四国支部分析化学若手セミナーで、徳島大学のある研究室の学生さんが、研究室紹介の一環で研究室史をご紹介されました。その研究室史には、研究室設立からこれまでの歴史、イベント（受賞等）、当時の先生の情報などが纏められていて、大変すばらしいものでした。私も研究室史を作りたいと思い、すぐに研究室の歴史を調べることにしました。まずは、手っ取り早くインターネットで調べてみると、「島根大学総合理工学部環境分析化学研究室を訪ねて」という記事がヒットしました。この記事は、2009年に発行されたぶんせき誌（「こんにちは」のコーナー）に掲載された記事で、2009年6月2日に塚原聡先生（現大阪大学教授）が松江にお越しになり、研究室の取材をして頂いたようです。記事によると、改組により昭和53年（1978年）に理学部が設置され、この理学部の発足と同時に研究室が設立されたとの記載がありました。すぐに奥村稔先生にご連絡をしたところ、あれ？1974年では？？ん？1979年？？あれ？？となり…。それからお会いする度に設立時期のお話をして、1年ぐらいの時間をかけてようやく1978年で間違いのないとなりました。50周年は節目となる大事な年ですので、記念パーティーを企画中です。開催時期は2028年の分析化学討論会の前後かなと思っています。島根は少し特殊（？）で、11月（旧暦の10月）

には全国の八百万（やおよろず＝無限に多いという例え）の神々が出雲の国に集まり、島根ではこの時期を神在月（かみありづき）と呼んでいます。この時期は、気候的にも最高の時期なのですが、神様のみならず出雲大社に参拝される観光客も多く、宿泊費が一泊1～3万円くらいまで跳ね上がります。となると、開催時期は5月から6月となり（これを執筆しているのが2025年10月下旬なので）、設立50周年まで実質2年半ぐらいしかありません。卒業生と一緒に、盛大にお祝いをしたいと思います。

途中、ぶんせき誌の「こんにちは」のコーナーの話をしましたが、皆様はご覧になられたことはありますか？個人会員向けの「ぶんせき誌」冊子体の発送は2022年3月より停止となり、現在は電子版のみとなっているので、こちらからアクセスして見に行く必要があります。学会HPには、2001年以降の記事がアーカイブとして残っていて、会員マイページからみることができます。「〇〇研究室を訪ねて」という記事は、2001年以降ほぼ毎年掲載されていますので、もしかすると皆様のご出身の研究室のことが掲載されているかもしれません。是非探してみたいかでしょうか？このような企画（研究室を訪問して取材する）は、大変ユニークで、その記録は貴重だと思います。おかげさまで研究室の歴史を調べる上でかなり役に立ちました。当時、当研究室の取材をして頂いた塚原聡先生、そしてぶんせき誌の編集委員の皆様には心より感謝申し上げます。

次は、東京大学大学院工学系研究科の佐藤宗太先生に引き継ぎました。佐藤先生には、第85回分析化学討論会（愛媛）の若手ポスターの審査において、大変お世話になりました。また、懇親会でも大変有意義で楽しい時間を過ごすことができました。この場を借りてお礼申し上げます。佐藤先生、どうぞよろしく願いいたします。

〔島根大学 管原 庄吾〕



## 談話室

### いそうけいせいへいこう

2000年代に入って、イオン液体と呼ばれる有機塩が注目を浴び、分析化学の世界にも浸透しつつある。特に、水に難溶なイオン液体は水溶液に加えると2相を形成し、物質の分離・濃縮のための溶媒抽出における抽出溶媒の役割を果たす。しかも、塩としての性質をもつので蒸気圧がほとんどなく、吸収毒性や引火性において、安全な溶媒として使用することが出来る。そもそもイオン液体は水に難溶な塩であるので、水に難溶な無機塩と同様の挙動を示す。すなわち、銀イオンと塩化物イオンが溶解度積  $K_{sp}$  を超える濃度で存在すると塩化銀の沈殿が生成するように、イオン液体も、それを構成する陽イオンと陰イオンのイオン積がイオン液体の  $K_{sp}$  を超えるとイオン液体を生成するので、こういった面では沈殿生成もイオン液体生成も同種の平衡と考えて差し支えないと思われる。では、これらをまとめてどういった平衡としてとらえればよいか？ と考えたときに、異相形成平衡（いそうけいせいへいこう, heterophase formation equilibrium), すなわち、液相から、状態変化ではなく、化学反応によりもう一つの（固あるいは液）相が形成されるような平衡とするのが妥当なように思われる。そこでは、無機固体を生成する沈殿生成平衡において考えられる共同沈殿（共沈）、固溶体生成、共通イオン効果といった現象がイオン液体生成平衡においても想定される。例えば、イオン液体生成においておこる種々の化学種の抽出は、共同沈殿と同じメカニズムの共抽出と呼ぶのが適当ではないかと思われる。この共抽出はおおよそ40年前に五十嵐叔郎氏によって開発された「均一液液抽出」<sup>1)</sup>と呼ばれる分離・濃縮の手法で体现されており、イオン液体が脚光を浴びるよりはるか前にこの現象に着目された慧眼には敬服すべきであろう。近年、この手法を用いる際に、生成した2相を振とうしない状態でも抽出が完了していることに筆者らは気づき、これを基に遠心ディスク型の自動抽出デバイスを開発している。イオン液体は樹脂を溶かさないう抽出媒体としても優れており、3Dプリンターあるいは射出成型による樹脂製ディスク型デバイスでの抽出を可能としている。

新しい物質が現れるとそれがどのような特性をもち、どのように扱えるかを理解するための指針が示され、より活発な研究がそこから発展する可能性がある。この観点から考えると、か

つての名著「イオン平衡」(F. Freiser 著)<sup>2)</sup>が世に現れてから、溶液内平衡論の教科書が多数上梓されているが、今後、沈殿生成平衡という今ではあまり利用されなくなってきた平衡論を新たな衣替えをして、イオン液体生成平衡を含む異相形成平衡のような包括的な教科書が執筆されることが望まれる。そのためには、イオン液体生成平衡の基本的な特性を明らかにするための実験が積み重ねられるべきことは論を待たない。

## 文 献

- 1) S. Igarashi, T. Yotsuyanagi: *Proc. Symp. Solu. Extr.*, 175 (1988), (*Chem. Abst.*, **111**, 1989, 220224b)
- 2) H. Freiser, Q. Fernando 共著, 藤永太郎, 関戸榮一 共訳: “イオン平衡—分析化学における—”, (化学同人).  
〔甲南大学理工学部 茶山 健二〕

## インフォメーション

### 第393回ガスクロマトグラフィー研究懇談会 特別講演会

2025年11月26日(水)に北とびあべガサスホールにて第393回ガスクロマトグラフィー研究懇談会講演会が実施された。第393回のGC懇研究会では「匂い・香り分析」をテーマに主題講演3件および技術講演6件を実施した。幹事は羽田委員(玄川リサーチ)に依頼し、プログラムを組んでいただいた。参加者数は90名以上と盛況であり、臭いや香りの分析に興味を持つ研究者が多いことを実感した。プログラムは以下のとおりである。

#### 主題講演 (1)

「超臨界流体クロマトグラフィーによる揮発性化合物の分析と結晶スポンジ法による同定」

(キリンホールディングス) 谷口慈将

#### 主題講演 (2)

「GC-熱分解-GC-燃焼-IRMSによる香氣成分の部位別同位体分析: パニリンの起源追跡への応用」

(東京科学大学) 山田桂太

#### 技術講演 (1)

「においに関するガスクロの利用と試験のご紹介」

(環境管理センターにおい・かおりLab) 森 孝之

#### 技術講演 (2)

「GCxGC-TOFMSと機械学習を用いた構造解析手法のスパイス香氣成分分析への適用」

(日本電子) 窪田 梓

#### 技術講演 (3)

「オンラインSPE-GC/MSシステムによる固相脱水誘導体化法を用いた香氣成分自動分析」

(アイステイサイエンス) 松尾俊介

#### 技術講演 (4)

「皮膚ガス採集方法と測定、及び皮膚ガス—酸化窒素の測定」

(ピコデバイス) 津田孝雄

### 技術講演 (5)

「Solvent Assisted SBSE (SA-SBSE) と発酵食品の香気分析への応用」

(ゲステル) 笹本喜久男

### 技術講演 (6)

「ユリ花から抽出したアロマトウオータの香気成分解析」

(MC エバテック) 西山真由美

### 主題講演 (3)

「臭気分析と GC-MS の使用法」

(ワイ・エム・ピー・インターナショナル) 加藤寛之

主題講演 (1) では、ビールの苦み成分などの有機化合物を HPLC や SFC で単離後に結晶スポンジに取り込み、X 線回折法により構造決定する手法について紹介があった。特に SFC は移動相の除去が容易であり結晶スポンジ法との相性が良く、単体では結晶を得ることが難しいさまざまな有機化合物の立体構造解析に有用であることが示され、その有用性や将来性を知ることができた。

主題講演 (2) では、 $^{13}\text{C}$  と  $^{12}\text{C}$  の同位体比を用いる同位体質量分析法 (IRMS) と熱分解を組み合わせる方法を用いて有機化合物の由来を調べる技術について紹介があった。講演ではバニリンを例に IRMS の有用性、現状や今後の展望などについて紹介があり、MS の応用性や可能性をさらに深く知ることができた。

主題講演 (3) では、GC を用いる臭気分析に関して、長年の経験を元に失敗や成功を含む多くの事例の照会があった。異臭のクレームがあった際の官能評価の重要性や異臭原因物質のピークが小さく、クロマトグラム上で見づらい場合の前処理の重要性など、経験に裏打ちされた貴重な講演を聞くことができた。

技術講演では臭い分析の受託試験の例の紹介、機械学習を用いた GC×GC-TOFMS による未知化合物の構造決定法の紹介、オンライン SPE-GC 分析による香気成分や短鎖脂肪酸などの分析技術の紹介、皮膚ガス分析の意義や分析例および今後の展望についての紹介、溶媒膨潤を利用するスターバー抽出法による香気成分の分析の紹介、ユリの花を水蒸気蒸留法により抽出した際の香気成分の分析結果の紹介があった。

「匂い・香り分析」と言っても、さまざまなアプローチがあり、それらの知見が融合されてより良い分析技術が構築されていくことを改めて実感した。

講演会終了後は会場を移して約 30 名で意見交換を行った。講演者への質問の他にも GC 関連企業やユーザー間で活発な意見交換が行われた。

(山梨大学 植田 郁生)



## LC- & LC/MS-DAYS 2025

標記研修会が 2025 年 12 月 4 日・5 日の 2 日間、東レ総合研修センター (静岡県三島市) を会場として LC 研究懇談会主催で開催された。強い寒波襲来で厳しい冷え込みとなったが、好天に恵まれ雄大な富士山を間近に望むことができた。本研修会

は、ユーザーとメーカーの参加者が泊りこみで、HPLC、LC/MS ならびにその関連技術に関する基礎知識の習得と情報交換を行うものである。本年は、参加者の基礎知識習得と分析士資格等の公的資格取得に資するため、「自己研鑽・公的資格取得・ヒューマンネットワーク」をメインテーマとして 42 名が参加し、中村 洋実行委員長の基調講演と 6 セッション、40 件の講義が行われた。

**【1 日目】 基調講演:** “自己研鑽・公的資格取得・ヒューマンネットワーク” と題した中村委員長からの講演で、研修会がスタートした。自己研鑽の客観的評価基準として公的資格の利用、HPLC、LC/MS 分析士の解説、公的資格取得に有効なヒューマンネットワークの意識的・効率的構築法など、多岐にわたる内容でたいへん有益な講演であった。

**第 1 部 HPLC と LC/MS における前処理:** 水、試薬・溶媒、固相抽出、カラムスイッチング、2D-LC、超臨界流体抽出、溶媒抽出、除タンパクに関する 8 件の講演が行われた。

**第 2 部 ヒューマンネットワークの本質を知る:** 社会、内資系企業、外資系企業でのヒューマンネットワークに関する 3 件の講演が行われた。

1 日目の講演終了後、夕食・情報交換会が開催され、さまざまなバックグラウンドの参加者同士の交流、情報交換が活発に行われた。恒例のじゃんけん大会では、各企業から提供された景品の争奪戦が繰り広げられた。続いて開催されたミッドナイトセッションでは、①前処理&生体試料、②分離&カラム、③検出&LC/MS、④ヒューマンネットワークの 4 グループに分かれて、参加者から日頃の課題について活発な議論が行われた。

**【2 日目】 第 3 部 カラム分離の本質:** 逆相、HILIC、イオン交換、サイズ排除、イオンクロマトグラフィー、マルチモード、キラル、超臨界流体クロマトグラフィーに関して 8 件の講演が行われた。

**第 4 部 検出の本質:** 示差屈折率検出、吸光光度検出、蛍光検出、電気伝導度検出、蒸発光散乱検出、ICP 検出に関して 6 件の講演が行われた。

**第 5 部 LC/MS の本質:** ESI、APCI、QMS、TOF-MS、MS/MS に関して 5 件の講演が行われた。

**第 6 部 実試料分析の本質:** 生体成分分析、アミノ酸分析、PFAS 分析、食品分析、生薬分析、化粧品分析、タンパク質分析、委託分析、人物分析に関して 9 件の講演が行われた。

講演者の急病、急用で講演順番の変更等が発生したが、全講演を無事終了することができた。中村委員長の閉会挨拶の後、希望者に対し 2025 年度の LC 分析士初段認証試験筆記試験免除試験と LC/MS 分析士初段認証試験筆記試験免除試験が実施され、18 名が受験した。

本研修会は、HPLC、LC/MS ならびに関連する技術と最新情報を習得する場となるだけでなく、異業種、異分野の参加者間で新たなヒューマンネットワークを築く絶好の機会であり、今後参加者のスキル向上や公的資格取得へのモチベーションとなることを期待したい。

最後に、今回の研修会開催にあたり参加賞や景品をご提供いただきました(株)北浜製作所、ジーエルサイエンス(株)、(株)プレッパーズ、(一財)化学物質評価研究機構、関東化学(株)、(株)島津製



#### 企業文化フロアにて

画面左奥は東レ(株)が製造している CFRP 製エアバス A320 垂直尾翼の一部

作所、(株)太田胃散、東ソー(株)、(株)日立ハイテクアナリシス、(株)東レリサーチセンター各社に御礼を申し上げます。また、研修会の運営にあたりご協力いただきました実行委員会の皆様に感謝する共に、現地世話人をサポートしていただいた(株)東レリサーチセンターの櫻井 周氏に深謝いたします。

〔現地世話人 LCシニアクラブ 熊谷 浩樹〕  
〔共同現地世話人 LCシニアクラブ 竹澤 正明〕



### 第4回 LCシニアクラブ

標題の集まりが2025年12月5日(金)・6日(土)の両日、東レ総合研修センター(静岡県三島市)で開催された(主催:LCシニアクラブ、協賛:LC研究懇談会、後援:分析士会)。LCシニアクラブ(LC Senior Club, LCSCL)は、(公社)日本分析化学会・LC研究懇談会のシニア役員を中核とし、LCやLC/MSをはじめ、さまざまな技術や手法の開発・改良、技術を継承する人財の発掘・育成・組織化などの戦略を自由な発想に基づいて俯瞰的な立場から提案するための頭脳集団である。今回も前回に続き、LC研究懇談会が主催するLC-&LC/MS-DAYS 2025にリンクし、その終了直後から同じ研修センターで第4回LCシニアクラブが開催された(世話人:竹澤正明、元東レリサーチセンター、現LCシニアクラブ所属)。

#### 第1部 情報交換会(12月5日, 18.00~20.30)

冒頭、LCシニアクラブ会長の筆者(東京理科大学・名誉教授)より開会挨拶があり、続いて夕食をとりながら全参加者による自己紹介・質疑応答と自由な歓談が行われた。

#### 第2部 2025年度総会(12月6日, 9.30~10.10)

議長(筆者)より総会資料が配布され、以下の議事を行った。なお、総会資料の表紙を飾ったロゴ(図1)は、頭脳集団としてのLCシニアクラブの英名回文略号LCSCLを筆者がデ



図1 LCシニアクラブのロゴ(メガネフクロウ)

ザインしたものである。

1) 報告事項:本年度の主催事業、共催事業、後援事業の報告、入会希望者の紹介、LCシニアクラブの分析士会・協賛団体加入(第013号)など。

2) 承認事項:2026年度事業計画案は主催事業、共催事業、後援事業とも2025年度実績を踏襲すること、新規入会希望者、2026年度執行役員案(会長1名、副会長6名)・担当案をすべて承認した。

#### 第3部 講演・話題提供(10.15~12.00)

1) 講演:講師は元(株)日立ハイテクノロジーズの谷川建一氏にお願いし、「カラム溶出後、その後の人生の巻」と題する講演を伺った。座長は三上博久氏(株)島津総合サービス)であるが、直前に膝が不調で来場できなくなったため、Webで務めていただいた。谷川氏の講演は、『はじめに』、『老いを生きる』、『ここに残る言葉』、『備考~これまでの経験と回想~』で構成されたものであった。タイトルが独特であるが、その心はご本人の言葉を借りれば、「タイトルの“カラム溶出後”ですが、ご想像のとおり、何が何だかわからない異物混入の“自分”という未知試料を精製し、“カラム”という鬼神相まみえる荒海世界に押し込み押し流されながら、肉を切られ骨を削られ満身創痍の身体でやっと“自分というピーク”が出現したところ、最新の“検出器”や“データ処理”という閻魔様の前に引き据えられ裁断を受けるような有様です。装置とこの譬えと違うのは、人生は基本的に一回性の勝負事であり、無限に再現性や信頼性を求め得ない、偶然性に富んだ、しかしどこかの時点で決断し、試行錯誤しなければならぬ“思い切り”でしょう。そして、装置と同じく、あちこちに経年の傷やしみがこびり付いてくるものです。」とのことである。なお、本講演の内容は現在の高齢化社会においては、もっと多くの方々にも共有してもらう必要があると感じた。そこで、LC研究懇談会の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」に新たに【人生回顧】欄を設け、審査後に体裁を整えた後、第11号(2025年12月15日発行)



図2 参加者有志による記念撮影  
(写真提供:竹澤正明氏)

に掲載する運びとなった。

2) 話題提供：中国から特別参加した蘇州依利特科技有限公司(蘇州と大連に工場所有)の李 彤社長と竺 遠慶上級顧問から、同社のパンフレットとパワーポイントを用いてHPLC, UHPLC用カラム, 装置, 売り上げ等の紹介があった。

#### 第4部 アルコール・ランチ放談会 (12.10~13.30)

昼食とアルコールをとりながら、LC研究懇談会、分析士会&協賛団体、人財育成、海外見学会、ヒューマンネットワーク、新規事業、新技術開発など、思い思いの話題に花が咲いた。

#### 第5部 三島市内観光

センター棟の正面玄関で参加者有志による記念撮影をし(図2)、多忙な参加者の都合を汲んで以後は自由行動とした。

最後に、LC研究懇談会役員の定年後のポジションとして2022年に発足したLCシニアクラブが、懇談会の枠を超えて海外にまで静かな広がりを見せている現状に接し、改めてヒューマンネットワークの重要性和底力を感じている次第である。

[LC研究懇談会・委員長 中村 洋]



### 第414回液体クロマトグラフィー研究懇談会

2025年12月17日(水)、(株)島津製作所東京支社イベントホール(東京都千代田区)において、「LC及びLC/MS分野におけるソリューションサービス」を講演主題として、標記研究懇談会が開催された(オーガナイザー:筆者)。ソリューションサービスとは、顧客の抱える問題を解決するための提案やサービスを提供する業務のことであり、LCおよびLC/MS分野では、受託分析、技術コンサルティング、ユーザー支援のためのメーカーのサービスなどが代表例として挙げられる。標記研究懇談会では、そのようなソリューションサービスを提供している企業から、保有技術や事例が紹介された。中村 洋委員長による総括講演を除いて7題の講演があり、32名の参加者があった。各講演内容の概略を以下に紹介する。

#### 1. LC/MSで切り拓く創薬・医療のソリューションサービス (株)東レリサーチセンター 櫻井 周氏

LC/MSは創薬・医療分野において、高精度な定量分析を可能にする基盤技術である。個別化医療を支えるTDM、薬効評価におけるバイオマーカー測定、および品質管理で注目されるニトロソアミン分析に関し、分析法開発を中心に事例が紹介された。

#### 2. LC/MSを用いた生体試料中濃度分析におけるトラブルシューティング (株)住化分析センター 松井誠一氏

LC/MSを用いた生体試料中濃度分析におけるトラブルシューティングとして、発生する誤差に対する補正、キャリアオーバー、マトリックス効果を取り上げ、それぞれの事例と対応策が紹介された。

#### 3. 自動分析ソフトウェアを活用したHPLCの分析メソッド開発支援

(一財)化学物質評価研究機構 坂牧 寛氏

HPLCのアプリケーションデータ取得で培ったノウハウに、AI搭載の自動分析ソフトウェアを組み合わせた「HPLC分析メソッド開発支援」サービスと、それを用いた抗マラリア薬配合錠中の微量成分分析を目的としたメソッド開発の事例が紹介された。

#### 4. 食品分析機関における糖類の分析 (一財)日本食品分析センター 横関俊昭氏

食品分析の受託機関のソリューションサービスの一例として、糖類の分析を取り上げ、糖類の基礎知識と分析方法、および分析の実例が紹介された。

#### 5. 高分解能キャピラリーカラムを用いる植物由来成分の分離分析 (アクアス(株) 小林宏資氏)

植物機能性成分は複雑で、UHPLCでさえ分離が困難である。そのような植物混合成分の高精度分離を目的とする新規モノリスシリカキャピラリーカラムを開発し、それを用いた多様な植物由来試料成分の精密分離検討の結果が紹介された。

#### 6. 質量分析に関する様々なソリューションサービス ~LC/MS, イメージング, マススペクトル解析など~ (浜松医科大学/エムエス・ソリューションズ(株)/ (株)プレッパズ 高橋 豊氏)

質量分析に関するソリューションサービスとして、顕微イメージングソリューションプラットフォーム、技術指導やマススペクトル解析などのコンサルティング、MSイメージングやLC/MSの受託サービスなどが紹介された。

#### 7. 島津製作所の分析ソリューションに関する取り組み (株)島津製作所 寺田英敏氏

機器メーカーが提供するソリューションサービスとして、分析アプリケーションのWeb公開、分離メソッドとカラムを含めたメソッドパッケージの提供、アフターサポートや受託分析に関連したサービスなどが紹介された。

最後に、中村委員長から「LC及びLC/MS分野におけるソリューションサービス」と題する総括の講演が行われ、各講演に関して補足のコメントや質疑に加え、受託分析研究懇談会設立(2013年)の経緯に関する説明があり、参加者はより理解を深めることができた。今回の研究懇談会では、ソリューションサービスのテーマに沿って、受託分析に携わる企業から4題、メーカーやコンサルタントから3題の講演があったが、その内容は、多岐に渡った。一般の学会などではソリューションサービスにフォーカスした講演をまとめて聴講する機会は少ないと思われるが、ユーザーにとっては、ソリューションサービスを有効に利用するための情報を得る機会になったと思われる。講演終了後の技術・情報交流会にも20名の参加者があり、

引き続き活発な議論が行われ、交流を深めることができた。最後に、当日の進行をお願いした中村委員長、会場をご提供いただいた(株)島津製作所様、ならびに講師の皆様へ感謝を申し上げます。

〔西岡技術士事務所 西岡 亮太〕



## 第 30 回高分子分析討論会

2025 年 11 月 19 日（水）および 11 月 20 日（木）の 2 日間の日程で、明治大学駿河台キャンパスにおいて、日本分析化学会高分子分析研究懇談会の主催により、第 30 回高分子分析討論会が開催された。

本討論会には 444 名が参加登録し、2 件の特別講演、103 件のポスター発表が行われ、協賛企業 31 社のうち 29 社が展示を行った。昨年同様に過去最大規模での開催となり、高分子材料の多様化や機能高度化に伴い、分析の重要性が一層高まっていることが示された。

第 30 回の節目として「10 年先を見据えた高分子分析を考える」をサブタイトルに掲げ、過去 10 年の発表キーワード分析による記念特別企画記事の作成と、企業協賛によるスタンプラリー企画を実施した。前者では、Py-GC/MS や IR、MALDI に加え、リサイクルや機械学習関連キーワードの増加が確認され、将来の研究動向が考察された。後者では、ポスターと企業展示を同一会場に配置し、オリジナルのトートバッグと記念ピンセットを景品としたスタンプラリーにより、交流促進と高い集客効果を得た。

初日午前には、3 階の大ホールにて実行委員長である島田治男（(株)バイオクロマト）の開会挨拶、企業講演（テクニカルレビュー）I、ポスター講演（ショートプレゼン）I が行われ、その後、2 階の会場に移動してポスター発表 I（写真）が行われた。昼休みを挟み午後には特別講演 I、企業講演 II、ポスター講演 II、およびポスター発表 II が行われた。

特別講演 I の前には、滋賀県立大学の木田拓充先生により、第 30 回記念特別企画記事「過去 10 年（第 21 回～第 30 回）における高分子分析討論会の遷移」の説明が行われた。

特別講演 I では、八木大介先生（(株)日立製作所）より「蛍光指紋分析を活用したプラスチックの材料判別・再生材含有率推定技術」と題した講演が行われた。本講演は、再生材利用やサーキュラーエコノミーといった社会課題に直結した内容で、「勉強になった」との評価が多く寄せられた。特に、再生材トレーサビリティを意識した実務応用の視点が高く評価され、産業界での活用可能性が示された。

初日最後には、約 180 名が参加する懇親会が開催され、交流と活発な議論が行われた。来賓として寺前紀夫先生、寺町信哉先生、山本博之先生（日本分析化学会会長）を迎えたほか、顧問の高山 森様より著書『舞台裏から見たプラスチックの開発物語』をご提供いただき、同書を景品としたビンゴ大会も行われるなど、盛況のうちに終了した。

2 日目は、午前にはポスター講演 III とポスター発表 III、午後にはポスター講演 IV とポスター発表 IV の後、西野 孝先生（神戸大学工学部、高分子分析学会会長）による特別講演 II「高分

子の関係する接着」が行われた。講演では、高分子が関与する接着現象を界面分析の観点から整理し、接着強度とインターフェース形成の重要性が示された。参加者からは「分かりやすい」「視点が新鮮」「基礎研究の重要性を再認識できた」との声が多く、経験に基づく解説が理解を深め、業務への応用を考える契機になったと評価された。

賞に関しては、ポスター発表に対して、審査委員の選考による「審査委員賞」を各日 2 件（計 4 件）、参加者全員の投票による「ポスター賞」を各日 3 件（計 6 件）選出し、1 日目は懇親会、2 日目は閉会式において表彰式が行われた。以下に受賞された演題と演者を記す。

### ◆審査委員賞

「重水素化ラベル法を用いた可逆的結合をもつ高分子の界面拡散評価」

山岡賢司（阪大院理）

「酸素阻害が引き起こす UV 硬化樹脂表面の偏析現象の解析」

山田祐也（豊田中研）

「樹脂金属直接接合体における界面樹脂構造が接合強度に及ぼす影響」

米山弘亮（豊田中研）

「ポリブタジエン及びポリイソプレンとシランカップリング剤の反応解析」

中植巧麻（名工大院工）

### ◆ポスター賞

「ナノサンプリング技術を用いたスマートフォンディスプレイ分析法の構築」

塚本彩花（DIC）

「様々な液体クロマトグラフィー手法を用いたマクロモノマー共重合体の一次構造解析」

行政嘉子（三菱ケミカル）

「未知化合物に対する高分解能マスペクトル解析技術の検討」

原田啓史（AGC）

「Py-GC/MS による気相誘導体化を用いた PET 熱分解生成物のオンライン分析」

山内涼太郎（東北大院環境）

「三次元グラジエント NPLC および SEC-ESI-MS を用いたポリ乳酸グルコール酸共重合体の構造解析」

芹澤昌史（三菱ケミカル）

「NMR と LC/MS を用いた樹脂変色要因の総合分析」

藤井大輝（東洋紡）

本討論会は、高分子分析研究懇談会の運営委員長である本多貴之先生（明治大学）の閉会挨拶により、大盛会のうちに幕を閉じた。昨年同様、過去最大規模の討論会を無事に終了できたのは、ひとえに参加者、実行委員をはじめとする運営関係者各位のお陰である。ここに深く感謝の意を表す。なお、次回の第 31 回高分子分析討論会は、2026 年 11 月に愛知県産業労働センター「ウインクあいち」にて開催予定である。

最後に、本討論会開催にあたり企業協賛いただいた、



ジャパン, (株)北浜製作所, (株)島津総合サービス, スペクトラ・フォーラム, タツタ電線(株), (株)デジタルデータマネジメント, 東ソー(株), NETZSCH Japan (株), サーモフィッシャーサイエンティフィック(株), 日本ウォーターズ(株), 日本カンタム・デザイン(株), 日本サーマル・コンサルティング(株), 日本電子(株), 日本分析工業(株), (株)バイオクロマト, パーキンエルマー合同会社, ピークサイエンティフィックジャパン(株), (株)フロンティア・ラボ, プルカージャパン(株), (株)プレッパーズ, (株)マイクロサポート, (株)ランデフト, ライカマイクロシステムズ(株), LECO ジャパン合同会社, (有)ヒューズの各社に厚く御礼申し上げる次第である。

i-NEAT(株), アジレント・テクノロジー(株), 伊勢久(株), インフォコム(株), (株)池田理化, エーエムアール(株), (株)エス・ティ・

〔(株)バイオクロマト 島田 治男〕

## 執筆者のプロフィール

(とびら)

菅原 一晴 (SUGAWARA Kazuharu)

前橋工科大学工学部生命工学領域 (〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1). 北海道大学理学研究科博士後期課程化学専攻修了. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》細胞や生体分子センシングのためのセンサ開発. 《趣味》スノーボード.

E-mail : kzsuga@maebashi-it.ac.jp

(ミニファイル)

田代 充 (TASHIRO Mitsuru)

明星大学理工学部 (〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1). 東京大学. 博士 (農学). 《現在の研究テーマ》核磁気共鳴法を用いたタンパク質-フッ素化合物の相互作用解析. 《主な著書》“分析化学実技シリーズ NMR”, (田代 充・加藤 敏代), (共立出版). 《趣味》マラソン, ピアノ.

(トビックス)

菅野 憲 (KANNO Akira)

富山大学学術研究部工学系 (〒930-8555 富山県富山市五福 3190).

坪井 春樹 (Tsuboi Haruki)

高知大学総合人間自然科学研究科応用自然科学専攻 (〒780-8520 高知県高知市曙町二丁目 5-1). 高知大学総合人間自然科学研究科理工学専攻化学生命理工学コース. 理工学修士. 《現在の研究テーマ》溶液中の水銀の簡易分析法とオンサイト分析装置の開発. 《趣味》海外旅行.

E-mail : B25d6a08@s.kochi-u.ac.jp

(リレーエッセイ)

菅原 庄吾 (SUGAHARA Shogo)

島根大学大学院自然科学研究科 (〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060). 島根大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了. 博士 (理学), 第一種衛生管理者. 《現在

の研究テーマ》環境水水質・底質に係る化学種の簡便な分析法の開発研究. 《主な著書》“陸水環境化学”, (分担執筆), (共立出版). 《趣味》ロードバイク.

E-mail : suga@riko.shimane-u.ac.jp

(ロータリー・談話室)

茶山 健二 (CHAYAMA Kenji)

甲南大学理工学部 (〒658-8501 神戸市東灘区岡本 8-9-1). 神戸大学大学院理学研究科化学専攻. 理学博士. 《現在の研究テーマ》イオン液体生成を利用する化学物質の自動抽出デバイスの開発. 《趣味》旅行・ドライブ・音楽鑑賞.

E-mail : chayama@konan-u.ac.jp

## 目 次

### 年間特集「波」：総合論文

LC-Raman 測定 of 最近の進歩

..... 平松弘嗣 1

遠紫外分光法によるリチウムイオン電池用電解液の電子の溶媒和構造研究

..... 田邊一郎 13

ラマン分光分析を活用したマウス卵子の成熟度判別と、

胚培養液の分析によるヒト胚の発育予測

— 生殖補助医療への新たなアプローチを目指して — ..... 石垣美歌 21

光学異方性試料の円二色性と円偏光蛍光測定

— ストークス・ミューラー行列偏光解析 — ..... 原田拓典 33

### 総合論文

次亜リン酸イオン ( $\text{PH}_2\text{O}_2^-$ ) と酸素 ( $\text{O}_2$ ) との反応

— 自触媒反応とは何か — ..... 木村 優 51

### 報 文 (初執筆論文)

スギおが屑を用いる  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  由来のリン酸二水素イオンの選択的定量

..... 田邊 堇・村田陵哉・辻本昌毅・爾見優子・宮内俊幸 61

動的散乱法及び多角度動的散乱法による温泉水中のシリカコロイド粒子の

サイズ評価 ..... 秋吉貴太・江藤真由美・渡部華夏・鈴木絢子・井上高教 67

### 技術論文

機器中性子放射化分析法による分離素材及び日用品中の全フッ素の定量

..... 古庄義明・高柳 学・三浦 勉 75

「分析化学」特集“未来を拓く熱分析”の論文募集 ..... 81

「分析化学」年間特集“波”論文募集 ..... 82

“第25回初執筆論文特集”募集のお知らせ ..... 84

テンプレートによる投稿要領 ..... 85

「分析化学」に投稿される皆様へ ..... 86

「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。

◇ある先生との再会を機に20年ぶりに再び編集委員を仰せつかることとなりました。前に委員を務めたのは本会に入会してから20年経過した頃でしたので、20年おきに本誌は小職を初心に戻してくれます。

◇学生時代、研究室配属になってすぐの頃、ここは勝手に見ていいからねと言われた指導教官の書架に整然と並べられた本誌は、まだ論文が読解できなかった小職にも比較的読みやすい構成と内容で、先人の叡智に触れられて少なからず興奮したものでした。当時は冊子体でしたので目的とする記事の前後をチラ見するのも当然で、あちこち読み始めると止まらなくなる、ありがたい雑誌でした。

そんな思い出を残してくれた本誌ですが、これからどう作り上げていくのがよいのか、小職の気持ちは完全に暗礁に乗り上げています。広く関係の皆様と議論できればと考えていますが、リモート会議ばかりでは… 困。

◇新年早々、風邪をこじらせ肺炎になりました。年齢に加え温暖化による気候の急変に追従できなくなっているようで、編集後記を書いている今日は今季最長寒波と騒がれている最中です。当該地域の皆様、くれぐれも事故、怪我にはご注意ください。

どなたも年度末に向けてご多忙の毎日をお過ごしのことと思いますが、忙しくても文字通りに心を亡くさないように、ご自愛なさってください。

皆様の益々のご発展を祈念しております。 [S.Y.]

〈とびら〉

生成 AI を使わない「至宝の時間」を大切に

..... 木村-須田廣美

〈入門講座〉 精密な定量解析を支える網羅分析：基礎技術から実践の応用まで

X線の網羅分析への使用事例 ..... 阿部善也

〈講義〉

安定同位体比質量分析の基礎 ..... 原 拓治

〈ミニファイル〉 Abbreviations in 分析化学 (分析化学で使われる略号)

キャピラリー電気泳動に関連する略号 ..... 宮部 寛志

〈話題〉

植物細胞の蛍光イメージング ..... 山田 幸司

◇ 編 集 委 員 ◇

〈委員長〉 四宮 一 総 (日本大学)		
〈副委員長〉 稲川 有 徳 (宇都宮大院地域創生科学)		
〈理事〉 山口 央 (茨城大理)		
〈幹事〉 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 インターナショナル株)	橋 本 剛 (上智大理工)
	原 賀 智 子 (日本原子力研究開発機構)	
〈委員〉 石橋 千 英 (愛媛大院理工)	岡崎 琢 也 (工学院大先進工)	岡 林 識 起 (日大生物資源科学)
	北 牧 祐 子 (産業技術総合研究所)	坂 真 智 子 (株 エ ス コ)
	鹿 籠 康 行 (東北大学金属材料研究所)	角 田 誠 (東大院薬)
	原 田 誠 (東京科学大理学院化学)	半田 友 衣 子 (埼玉大工)
	山口 浩 輝 (味の素株)	三 原 義 広 (北海道科学大薬)
	高 橋 豊 (EMISソリューションズ株)	勝 又 英 之 (三重大院工)
	上 田 忠 治 (高知大農林海洋科学)	高 橋 幸 奈 (九大カーボンニュートロ ン国際研)
		佐 藤 惇 志 (株 ライオン)
		西 崎 雄 三 (東洋大食環境科学)
		村 山 周 平 (昭和医科大薬)
		大 江 知 行 (東北大院薬)
		萩 森 政 頼 (武庫川女子大薬)

☑ 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 2026年 第2号 (通巻614)

2026年2月1日印刷

2026年2月5日発行

定価 1,250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

© 2026, The Japan Society for Analytical Chemistry

購読料は会費に含まれています。

## 2026年度 液体クロマトグラフィー (LC) 分析士三段 認証試験実施のお知らせ

標記につき、下記要領で実施する予定ですので、お知らせいたします。

**日時** 2026年5月14日(木) 14時～16時

**会場** 北とびあ 601会議室(6階)〔東京都北区王子1-11-1、電話：03-5390-1100、交通：①JR京浜東北線「王子」駅下車北口より徒歩2分、②地下鉄南北線「王子」駅下車5番出口直結〕

<https://www.hokutopia.jp/>

**三段資格のイメージ** 各種分析士に共通するものとして、「新しい分析法を開発し、その妥当性確認(Method validation)を計画し、実施できるレベル。当該分析・測定技術に関連する学術的知識に詳しく、経験が深い。」と規程されます。液体クロマトグラフィー分析士においては「HPLCを用いた試験に関連する前処理に関する知識が十分である。与えられた公定法や論文を正確に読みこなし、自らその試験を行うかSOPを作成することができる。」ことが求められます。なお、試験問題としては科学ならびに分析化学一般に関する知識を問う内容が約30%含まれます。

**受験料** 8,800円(合格者は登録料5,500円を別途申し受けます)。入金確認後、受験番号をお知らせします。

**受験資格** 受験できる方はこれまでに行われた液体クロマトグラフィー分析士二段試験に合格し、登録された方に限ります。

**申込方法** 受験料の銀行振込後、専用ホームページ(<https://forms.gle/pBfxZqMtrKRMMyCoY7>)にアクセスして必要事項を入力してください。

**申込締切** 5月1日(金)

**振込銀行口座** りそな銀行五反田支店普通預金0802349 名義：公益社団法人日本分析化学会液体クロマトグラフィー研究懇談会〔シヤ〕ニホンブンセキカガクカイエキタイクロナトグラフィー。一度お振込みいただいた受験料は返却しません。万一、コロナ禍等で試験が中止された場合には、次の受験料を免除します。

**問合せ先** (公社)日本分析化学会・LC研究懇談会・分析士認証専門部会(nakamura@jsac.or.jp)

## 2026年度 液体クロマトグラフィー (LC) 分析士二段 認証試験実施のお知らせ

標記につき、下記要領で実施する予定ですのでお知らせいたします。会場へのお問い合わせは、ご遠慮ください。

**期日** 2026年6月16日(火) 14時～16時

**会場** 株島津製作所東京支社〔東京都千代田区神田錦町1-3、交通：都営新宿線「小川町」駅、東京メトロ千代田線「新御茶ノ水」駅、東京メトロ丸の内線「淡路町」駅のB7出口より徒歩6分、東京メトロ銀座線「神田」駅より徒歩10分、JR「神田」駅西口より徒歩10分。〕

<https://www.shimadzu.co.jp/aboutus/company/access/tokyo.html>

**二段資格のイメージ** 各種分析士に共通するものとして、「手順書、作業マニュアル、規格を見れば、自分で計画して業務を遂行できるレベル。当該分析・測定技術に関連する物理、化学、生物、電気、機械等の基礎知識を有し、装置等の日常点検、保守等も行える。」と規程されます。液体クロマトグラフィー分析士においては「HPLC装置とそれぞれのパーツ

の内容や原理の理解が十分にある。HPLCを用いた試験について、正確な操作を行うことができる。簡単な部品の交換が自分でできる。」ことが求められます。なお、試験問題としては科学の各分野並びに化学・分析化学一般に関する知識を問う内容が約40%含まれます。

**受験料** 7,700円(合格者は登録料4,400円を別途申し受けます)。請求書の発行はいたしません。入金確認後、10日程度で受験番号をお知らせします。

**受験資格** 受験できる方はこれまでに行われた液体クロマトグラフィー分析士初段試験に合格し、登録された方に限ります。

**申込方法** 受験料の銀行振込後、専用ホームページ(<https://forms.gle/Dxzg61Hf9w3jBwJz8>)にアクセスして必要事項を入力してください。

**申込締切** 6月3日(水) 15時。会場に定員制限がありますので、入金順に受験番号を発行します。

**振込銀行口座** りそな銀行五反田支店普通預金0802349、口座名義：公益社団法人日本分析化学会液体クロマトグラフィー研究懇談会〔シヤ〕ニホンブンセキカガクカイエキタイクロナトグラフィー。一度お振り込みいただいた受験料は返却しません。万一、コロナ禍等で試験が中止された場合には、次の受験料を免除します。

**問合せ先** (公社)日本分析化学会・LC研究懇談会・分析士認証専門部会〔E-mail：nakamura@jsac.or.jp〕

## 2026年度 液体クロマトグラフィー (LC) 分析士初段 認証試験実施のお知らせ

標記につき、下記要領で実施する予定ですのでお知らせいたします。会場へのお問い合わせは、ご遠慮ください。

**期日** 2026年7月17日(金) 14時～16時

**会場** 株島津製作所東京支社〔東京都千代田区神田錦町1-3、交通：都営新宿線「小川町」駅、東京メトロ千代田線「新御茶ノ水」駅、東京メトロ丸の内線「淡路町」駅のB7出口より徒歩6分、東京メトロ銀座線「神田」駅より徒歩10分、JR「神田」駅西口より徒歩10分。〕

<https://www.shimadzu.co.jp/aboutus/company/access/tokyo.html>

**初段資格のイメージ** 各種分析士に共通するものとして、「指示をすれば一人で分析できるレベル。当該分析・測定技術に関する基礎的知識および関連する法令に関する知識を有する。」と規定されます。液体クロマトグラフィー分析士においては「クロマトグラフィーやHPLCに関する基礎的知識と原理に対する理解が十分ある。」ことが求められます。なお、試験問題としては科学の各分野並びに化学・分析化学一般に関する知識を問う内容が約50%含まれます。

**受験料** 6,600円(合格者は登録料3,300円を別途申し受けます)。請求書の発行はいたしません。入金確認後、10日程度で受験番号をお知らせします。

**申込方法** 受験料の銀行振込後、専用ホームページ(<https://forms.gle/wcJzfZJ5pACD2Sdb6>)にアクセスして必要事項を入力してください。

**申込締切** 7月3日(金) 15時。会場に定員制限がありますので、入金順に受験番号を発行します。

**振込銀行口座** りそな銀行五反田支店普通預金0802349、口座名義：公益社団法人日本分析化学会液体クロマトグラフィー研究懇談会〔シヤ〕ニホンブンセキカガクカイエキタイクロナトグラフィー。一度お振り込みいただいた受験料は返却しません。万一、当方の判断で試験が中止された場合には、次の受験料を免除します。

問合先 (公社)日本分析化学会・LC研究懇談会・分析士認証  
 専門部会 [E-mail: nakamura@jsac.or.jp]

## 第417回液体クロマトグラフィー研究懇談会

主催 (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

後援 (公社)日本化学会, (公社)日本農芸化学会, (公社)日  
 本分析化学会, (公社)日本薬学会

高親水性、高極性化合物の分離には一般的にHILICやイオン交換等が多く利用されていますが、近年は逆相分配やミックスモード充填剤を用いた分離例も多く報告されています。そこで、本例会では高親水性、高極性化合物のHPLC分析について、充填剤とアプリケーションの最新情報について講演いただきます。

期日 2026年3月16日(月) 13.00~16.55

会場 (株)島津製作所東京支社イベントホール [東京都千代田区  
 神田錦町1-3, 交通: ①地下鉄: 都営新宿線「小川町」駅、  
 東京メトロ千代田線「新御茶ノ水」駅、東京メトロ丸の内線  
 「淡路町」駅のB7出口より徒歩6分、東京メトロ銀座線「神  
 田駅」より徒歩10分、②JR「神田」駅西口より徒歩10分]  
<https://www.shimadzu.co.jp/aboutus/company/access/tokyo.html>

講演主題 高親水性・高極性化合物のHPLC分析

講演

講演主題概説 (オーガナイザー) (13.00~13.05)

(LCシニアクラブ) 熊谷浩樹

(LC分析士四段, LC/MS分析士二段)

1. 逆相, ミックスモードを用いた高極性化合物の保持と分離条件 (13.05~13.40)

(ジエールサイエンス(株) 太田茂徳

(LC分析士二段)

2. 逆相とHILICのあいだ: 極性化合物分離のためのカラム選択 (13.40~14.15)

(株)クロマニックテクノロジーズ) 小山隆次

(LC分析士三段, LC/MS分析士初段)

3. イオン交換クロマトグラフィーによるアミノ酸分析の基礎 (14.15~14.50)

(株)日立ハイテクアナリシス) 宮野桃子

(LC分析士二段, LC/MS分析士初段)

休憩 (14.50~15.10)

4. 食品分野における有機酸のHPLC分析 (15.10~15.45)

((一財)日本食品分析センター) 横関俊昭

(LC分析士初段)

5. LC-MSによる親水性代謝物分析アプリケーションの紹介 (15.45~16.20)

(株)島津製作所) 服部考成

(LC/MS分析士初段)

6. 総括「高親水性・高極性化合物のHPLC分析」(16.20~16.55)

(東京理科大学) 中村 洋

(LCマイスター, LC/MSマイスター)

参加費 ①学生: 1,000円, ②LC懇・個人会員: 2,000円, ③LC懇・団体会員: 3,000円, ④後援学会・個人会員: 4,000円, ⑤後援学会・団体会員: 4,500円, ⑥その他: 5,000円 (領収書の発行は、送金月日にかかわらず2026年3月17日以降となります。請求書は発行しません。)

参加申込締切後の受付はできませんので、ご了承ください。なお、日本薬学会会員として申込みされる方は、後援学会欄に日本薬学会が表示されていることをご確認のうえお申込みください。まだ表示されていない場合は、表示されるまでお

待ちください。

情報交換会 終了後、講師を囲んで情報交換会を開催します (会費5,000円)。参加申込締切後のご参加はできませんので、参加希望者は必ず事前にお申し込みください。

参加申込および参加費等納入締切日 2026年3月6日(金)  
 (入金締切時刻: 15時まで)

申込方法

- 参加希望者は、下記申込先にアクセスし、氏名、勤務先 (電話番号)、LC会員・協賛学会会員・その他の別および情報交換会参加の有無を明記のうえ、お申込みください。なお、参加者名と振込者名が違う場合は、参加申込書の連絡事項欄に振込者名を明記してください。
- お申込みが完了した場合には、登録されたアドレス欄に「第417回液体クロマトグラフィー研究懇談会申込み受付(自動返信)」のメールが届きます。メールが届かない場合は、①入力したご自分のアドレスに間違いがないか、②迷惑メールフォルダーをご確認のうえ、世話人までお問い合わせください。
- 申込み受付のメールを受領後、必ず期限内に研究懇談会参加費、情報交換会費の納入を行ってください。期限内に納入が確認できない場合、お申込みを無効とし参加URLを発行しませんので、十分ご注意ください。当日払いは受け付けません。なお、いったん納入された参加費は、返金いたしません。
- 参加費の納入が確認できた方には、2026年3月9日以降に要旨集をメールにてお送りいたします。必要に応じてプリントアウトしてご参加ください。また、請求書の発行はいたしておりません。

液体クロマトグラフィー研究懇談会(例会)参加費送金時のご注意

例会参加費、情報交換会費を送金される場合、下記を禁止しておりますので、ご理解のほどよろしくお願いいたします。

- 複数例会の参加費の同時振込 (→例会ごとに振り込んでください)
- 複数参加者の参加費の同時振込 (→参加者ごとに振り込んでください)
- 年会費や他の費用との合算振込 (→費目ごとに振り込んでください)

申込先 <https://forms.gle/B6p8Wc4GHCQLoCn36>

(学生申込者は、所属欄に大学名、学部、学年を記載)

銀行送金先 りそな銀行五反田支店(普通)1754341、口座名義: シヤ)ニホンブンセキカガクカイ [公益社団法人日本分析化学会・液体クロマトグラフィー研究懇談会]

問合先 (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 世話人 LCシニアクラブ 熊谷浩樹 [E-mail: 3031tvux@jcom.zaq.ne.jp]

## —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。

### 日本分光学会近赤外分光部会第19回シンポジウム 健康と Well-being の促進における 近赤外分光の役割と期待

主催 日本分光学会近赤外分光部会  
期日 2026年2月27日(金)  
会場 東北大学片平さくらホール  
ホームページ

<https://www.bunkou.or.jp/NIR/information/activity/3.html>  
連絡先 〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1  
東北大学大学院農学研究科 石川大太郎〔電話：022-757-4409, E-mail: daitaro.ishikawa.e3@tohoku.ac.jp〕

### プラズマ分光分析研究会第127回講演会 プラズマ分光分析が支える基礎研究と “ものづくり”における分析の重要性

主催 プラズマ分光分析研究会  
期日 2026年3月5日(木)・6日(金)  
会場 山形テルサ  
ホームページ <https://yamagatateresa.or.jp/>

連絡先 〒192-0392 東京都八王子市堀之内1432-1 東京薬科大学生命科学部 分子生命科学科生命分析化学研究室内  
プラズマ分光分析研究会事務局 大関杏子〔電話：042-816-3001, E-mail: office@plasma-dg.jp〕

### 表面科学セミナー 2026

実践！インフォマティクスと自律計測の基礎と応用

主催 日本表面真空学会  
期日 2026年3月23日(月)  
会場 大田区産業プラザ PiO およびオンライン  
ホームページ

<https://www.jvss.jp/ja/activities/06/detail/00024.html>  
連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷5-25-16 石川ビル5階 (公社)日本表面真空学会事務局  
〔電話：03-3812-0266, E-mail: office@jvss.jp〕

### 日本顕微鏡学会第82回学術講演会

主催 (公社)日本顕微鏡学会  
期日 2026年5月25日(月)~27日(水)  
会場 仙台国際センター展示棟  
ホームページ

<https://conference.wdc-jp.com/microscopy/conf2026/>  
連絡先 〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-21-13 廣池ビルディング402 (公社)日本顕微鏡学会事務局 崔 由美  
〔電話：03-6457-5156, E-mail: jsm-post@microscopy.or.jp〕

### 第1回国際アミノ酸シンポジウム

主催 国際アミノ酸科学協会 (ICAAS)  
期日 2026年9月3日(木)・4日(金)  
会場 東京国際フォーラム D7ホールおよびオンライン  
ホームページ <https://icaas-npo.org/>  
連絡先 朝倉陽子(味の素㈱/国際アミノ酸科学協会) [E-mail: secretariat01@e-icaas.org]

### 「分析化学」年間特集“波”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、2026年のテーマを「波」と決定しました。

「波」は光の波長と波数を想起させることから、分光分析の基礎および応用についての論文を募集します。例えば以下のような研究について募集を行います。

1) 将来的に分析化学に応用される可能性をもった分光測定法の開発。2) 分光分析による構造解析、定量、微量検出、化学種同定。3) 表面分光・顕微分光による局所測定とイメージング。4) 分光法と類似の情報が得られる中性子や超音波を用いた測定。5) 多変量解析や理論計算による分光測定結果からの情報の抽出。

一方で、「波」は直接、海や川の表面に起こる波を連想させます。本特集においては、海洋や河川の表層または岸辺を対象とした環境分析についても論文を募集します。

本特集に関わる論文は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75巻(2026年)合併号の冒頭に掲載する予定です。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。詳細はホームページをご確認ください。  
特集論文原稿締切：2026年4月17日(金) (第3期)

### 「分析化学」特集 “未来を拓く熱分析”の論文募集

「分析化学」編集委員会

「分析化学」編集委員会は、熱分析研究懇談会と共同で「未来を拓く熱分析」と題した特集を企画しました。熱分析は、“物質の温度を調節されたプログラムに従って変化させながら、その物質の物理的性質を温度(または時間)の関数として測定する一連の技法の総称です。適用範囲は、プラスチック、ゴム、セラミックス、金属、鉱物といった材料分野から、食品、製薬などの製品分野、生体・環境・エネルギー分野と多岐にわたり、およそあらゆる物質を対象としています。対象も手法も日々進化しています。本特集号では、広く熱分析が力を発揮した研究論文の投稿をお待ちしています。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：2026年2月20日(金)  
特集論文原稿締切：2026年4月17日(金)

### 初めて書く論文は母語の日本語で！ “第25回執筆論文特集”募集のお知らせ

「分析化学」編集委員会

「分析化学」編集委員会は、2026年(第75巻)に第25回

「初執筆論文特集」を企画し、下記要領で論文を募集します。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、2025年より本特集名を「若手初論文特集」から「初執筆論文特集」と変更しました。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。

自分のアイデア、研究成果を自由に表現できる母語の日本語で、初めての学術論文執筆にチャレンジしてください。先生や先輩に指導をいただいて、論文作成法を習得する良いチャンスにもなります。これは大変貴重な経験であり、次の新たなステップにつながることでしょう。このチャンスは一度しかありません。多数の方々からのご投稿をお待ちしております。

## 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・技能を身に着ける必要があると考えます。

このような背景を鑑み、『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
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]

## 「お知らせ」欄原稿について

支部並びに研究懇談会の役員の皆様：掲載用の原稿ファイルをどうぞ電子メールでお送りください。送り先は shomu@jsac.or.jp です。原稿の長さに制限はありませんが原稿締切日は掲載月の前々月25日（例：1月号掲載→11月25日締切）となっておりますのでご注意ください。

本会外から掲載をご希望の場合は以下をご参照ください。

- 1) 掲載できるものは本会が共催、協賛、後援するものに限られます。
- 2) 国際会議につきましては共催、協賛、後援申請に関する規程並びにフォームがありますので、ホームページをご覧ください。どうか、本会事務局長宛にお問い合わせください。
- 3) 国際会議以外の講演会等に関しましては、会名、会場、主催団体名、同代表者名、開始期日、終了期日、連絡先並びに同電子メールを記載のうえ、書面でお申し出ください。
- 4) 掲載原稿の作成要領に関しましては承諾をご返事する際にお知らせします。
- 5) 本会支部または研究懇談会が共催、協賛、後援を承諾した事業につきましては、その旨をメールにお書きいただき、原稿ファイルを shomu@jsac.or.jp にお送りください。

国際会議以外の共催、協賛、後援に関する規程抜粋（共催）

8. 討論会、講演会等の共催とは、その討論会、講演会等の開催について、本会は主体性を持たず、会誌等を通じて広報活動等の援助を行う場合をいう。
9. 本会が討論会、講演会等を共催する場合は、その討論会、講演会等の主要議題が本会の専門分野と関連を持ち、本会正会員が会議の準備、運営等の委員に若干名加わることを条件とする。
10. 本会が共催する討論会、講演会等に対しては、他学協会長等の申し出によって会誌等による広報活動の援助を行う。特に理事会の承認を得て分担金を支出することがある。（後援又は協賛）
11. 討論会、講演会等の後援又は協賛とは、本会がその討論会、講演会等の開催に賛同し、後援又は協賛団体の一つとして、本会名義の使用を認める場合をいう。
12. 本会が討論会、講演会等を後援又は協賛する場合は、その討論会又は講演会が分析化学に関連を持ち、その開催が本会会員にとっても有意義であることを条件とする。
13. 本会が後援又は協賛する討論会、講演会等に対しては、希望に応じ会誌等による広報活動の援助を行うことがある。

【ア行】	【ナ行】	【ヤ行】
(株)エス・ティ・ジャパン……………表紙 2	日本分光(株)……………表紙 4	安井器械(株)……………A4
【サ行】	【ハ行】	製品紹介ガイド……………A6~7
(株)島津製作所……………表紙 3	フロンティア・ラボ(株)……………A2	製品ガイド……………A8~10
【タ行】	【マ行】	
東亜ディーケーケー(株)……………A3	室町ケミカル(株)……………A1	

# 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

<b>原子スペクトル分析</b>
<p><b>各種水銀測定装置</b>                  日本インスツルメンツ(株)                  電話075-748-6200 営業グループ  <a href="https://www.hg-nic.co.jp">https://www.hg-nic.co.jp</a></p>
<b>分子スペクトル分析</b>
<p><b>FTIR用アクセサリーの輸入・製造の総合会社</b>                  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  <a href="https://www.systems-eng.co.jp/">https://www.systems-eng.co.jp/</a>                  E-mail: info@systems-eng.co.jp</p>
<b>クロマトグラフィー</b>
<p><b>ナノカラムからセミ分取カラムまで、豊富なサイズ</b>                  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                  (一財)化学物質評価研究機構 クロマト技術部  <a href="http://www.cerij.or.jp">www.cerij.or.jp</a> E-mail: chromat@ceri.jp</p>
<p><b>ムロマックミニカラム 精度の高いクロマトグラフィー</b>  <b>ムロマックガラスカラム イオン交換反応を可視化</b>                  室町ケミカル(株) 電話 03-3525-4792  <a href="https://www.muro-chem.co.jp/">https://www.muro-chem.co.jp/</a></p>
<b>電気化学分析</b>
<p><b>電位差自動滴定装置 カールフィッシャー水分計</b>                  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  <a href="https://www.metrohm.jp">https://www.metrohm.jp</a></p>
<p><b>ポテンショスタット・ガルバナスタット</b>                  メトローム オートラボやドロップセンスの電気化学装置なら最大16チャンネル, スクリーンプリント電極の特注も対応                  メトロームジャパン(株) <a href="https://www.metrohm.jp">https://www.metrohm.jp</a></p>
<b>質量分析</b>
<p>様々な分析ニーズに応える,                  質量分析計 (GC-MS, MALDI-TOFMS, LC-MS) を                  使用したソリューションをご提案いたします。                  日本電子(株) 電話 03-6262-3575  <a href="https://www.jeol.co.jp/">https://www.jeol.co.jp/</a></p>
<p><b>MALDI-TOF (/TOF), 迅速微生物同定, ESI-QTOF, FT-ICR, LC-MS/MS, GC-MS/MS, SPR</b>                  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>

<b>熱分析</b>
<p><b>反応危険性評価. SYSTAG社 恒温壁熱量計RADEX</b>  <b>熱暴走リスクを短時間でスクリーニング</b>                  (株)東京インスツルメンツ                  電話 03-3686-4711 <a href="https://www.tokyoinst.co.jp">https://www.tokyoinst.co.jp</a></p>
<b>分析装置・関連機器</b>
<p><b>ユニット機器型フローインジェクション分析システム</b>  <b>AQLA-700</b>                  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  <a href="http://www.aqualab.co.jp">http://www.aqualab.co.jp</a></p>
<p><b>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&amp;フューズサンプラ</b>                  (株)アmenaテック  <a href="https://www.amena.co.jp">https://www.amena.co.jp</a></p>
<p><b>英国エレメンタルマイクロアナリシス社製 CHNOS</b>                  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) <a href="http://www.alphascience.jp/">http://www.alphascience.jp/</a>                  電話 03-3814-1374 FAX 03-3814-2357                  E-mail: alpha@m2.pbc.ne.jp</p>
<p><b>高性能 HPLC/GPC-FTIR インターフェースシステム</b>  <b>新型 LC-CollectIR</b>                  (株)エス・ティ・ジャパン                  東京 03-3666-2561 大阪 06-6949-8444  <a href="https://www.stjapan.co.jp/">https://www.stjapan.co.jp/</a></p>
<p><b>モジュール式ラマンシステム RAMAN-QE</b>                  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) <a href="https://www.oceanphotonics.com">https://www.oceanphotonics.com</a></p>
<p><b>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</b>                  京都電子工業(株) 東京支店 03-5227-3151  <a href="https://www.kem.kyoto/">https://www.kem.kyoto/</a></p>
<p><b>高品質・高精度・高耐圧</b>  <b>NSプランジャーポンプシリーズ</b>                  日本精密科学(株) 電話 03-3964-1198  <a href="https://nihon-exa-sci.com">https://nihon-exa-sci.com</a></p>
<p><b>赤外顕微鏡における「観る」「測る」「使う」を再構築</b>                  顕微赤外測定に新たなイノベーションを創出します。                  赤外顕微鏡 IRT-5X / マルチチャンネル赤外顕微鏡 IRT-7X                  日本分光(株) <a href="https://www.jasco.co.jp">https://www.jasco.co.jp</a></p>
<p><b>分析試料の前処理作成用粉砕機 (ドイツ フリッチュ社製)</b>                  フリッチュ・ジャパン(株)                  電話045-641-8550 (本社)  <a href="https://www.fritsch.co.jp">https://www.fritsch.co.jp</a></p>
<p><b>立体8の字 秒速粉砕機 マルチピーズショッカー®</b>                  ディスポ容器で岩石・樹脂・生体等の凍結粉砕も可能。                  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 <a href="https://www.yasuikikai.co.jp/">https://www.yasuikikai.co.jp/</a></p>

研究室用設備機器

分析用超純水のことなら何でもエルガにご相談ください  
世界第2位のラボ用超純水装置メーカー エルガラポウォーター  
ヴェオリア・ジェネッツ(株) エルガ・ラボウォーター事業部  
e-mail: jp.elga.all.groups@veolia.com  
https://www.elgalabwater.com

分析用超純水装置は「オルガノ ラボサロン」で検索  
日本の技術で業界最高純度の超純水をご提供します  
オルガノ(株) 電話03-5635-5191  
https://puric.organo.co.jp/

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/中性子解析向けタンパク質結晶作成をあなたのラボで  
『C-Kit Ground Pro』XRD:¥50,400 (税抜), ND:¥151,200 (税抜)  
(株)コンフォーカルサイエンス 電話 03-5809-1561  
http://www.confsci.co.jp

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。  
富士フィルム和光純薬(株)

書籍

機械学習による分子最適化  
— 数理と実装 —  
梶野 洸 著 A5判 312頁 定価3,520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で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47,300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, 数量化, 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

第3巻 「永久磁石の保磁力と関連する技術課題」  
徳永雅亮, 山本日登志 著  
B5判・118頁, 定価: ¥2,300+送料  
ネオジコンサル 電話 090-2204-7294  
https://hitoshiad26.sakura.ne.jp

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

セミナー・試験

海外技能試験の輸入代行サービス  
西進商事(株)  
神戸 078-303-3810 東京 03-3459-7491  
https://www.seishin-syoji.co.jp/

累計受講者750名超! 複数講師の丁寧な指導で大好評の  
分析化学不確かさセミナー開催。オンライン参加も可。  
日本電気計器検定所 (JEMIC) 電話03-3451-1205  
https://www.jemic.go.jp  
E-mail: kosyukai-ky@jemic.go.jp

「本ガイド欄」への掲載については下記にお問合せください。  
(株)明報社  
電話 03-3546-1337 E-mail: info@meihosha.co.jp

# 製品ガイド

■本製品ガイドに掲載の製品に関するカタログ・資料請求は…

直接広告掲載会社へご連絡いただくか、下の資料請求用紙にご記入の上、広告取扱会社(株)明報社まで FAX にてお送りください。

(株)明報社『ぶんせき』係行 ぶんせき 2026 年 2 月号

FAX.03-3546-6306

## 資料請求用紙

年 月 日

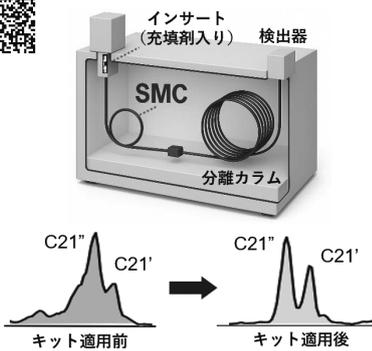
ご 請 求 者	住所 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
	会社名
	所属
	フリガナ
	氏名
	TEL (        )        -        FAX (        )        - E-mail:

資料ご希望の節は下記請求番号(製品横の数字)に○印をお付けください。

No.		No.		No.	
1		3		5	
2		4			

1 クロマトグラフィー

異常ピーク解消キット



「異常ピーク解消キット」を当社製分離カラムの前に接続することで、キャピラリーGC分析における炭素数15から40程度の中/高沸点領域に現れる異常ピークを解消します。

特長

1. 異常ピーク出現の解消
2. 再現性・定量分析精度の向上
3. 分離カラムの長寿命化

価格：お問い合わせください

仕様

最高使用温度：400℃  
 接続分離カラム：外径0.47mm  
 金属キャピラリーカラム  
 構成部品：充填剤入りGCガラスインサート  
 スマートプレカラム (SMC)  
 (長さ：2.0m、外径：0.47mm、  
 内径：0.25mm)  
 UAコネクター

フロンティア・ラボ株式会社

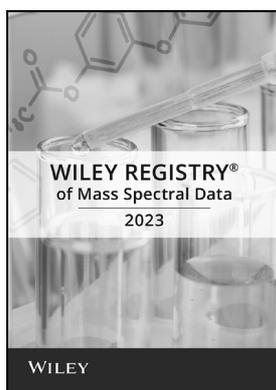
TEL.024-935-5100

URL: <https://www.frontier-lab.com/jp>

E-mail: [info@frontier-lab.com](mailto:info@frontier-lab.com)

2 コンピュータ・データ処理

Wiley Registry 質量スペクトルデータベース



Wiley Registry 2023

約74万個の化合物について、約87万件のEIスペクトルを収録したGC-MS用質量スペクトルデータベース。

価格(税抜)

1,894,000円(新規)

1,330,000円(旧版からのアップグレード)

\*NIST旧版からのアップグレードは、25%割引にて提供中。お問い合わせください。

仕様(各製品共通)

USB(買取、1インストール)

Windows 10/11対応PC

主要メーカーの質量分析ソフトに対応。

Wiley Registry/ NIST 2023

Wiley Registry 2023にNIST23のEIおよびMS/MSデータを統合し、世界最大級の網羅性を実現。

価格(税抜)

2,540,000円(新規)

1,715,000円(旧版からのアップグレード)\*

化学情報協会

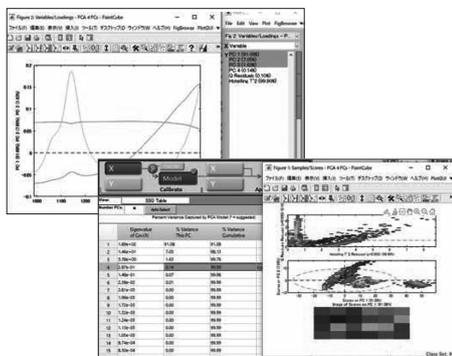
科学データ情報室 担当：坂本

TEL: 03-5978-3622 FAX: 03-5978-3600

E-mail: [crystal@jaici.or.jp](mailto:crystal@jaici.or.jp)

3 コンピュータ・データ処理

多変量イメージ解析 MIA\_Toolbox



特長

FT-IR、Raman、NIRの顕微鏡やカメラで作成されるハイパースペクトラルイメージ(HSI)データで多変量解析(PCA、PLS、PLS-DA、Classification)を実行できます。イメージ上で関心のある領域(ROI)の成分物質の分布マップも得られます。PLS\_ToolboxまたはSoloが必要です。

★データのインポート：MATLABのイメージデータ、ENVIフォーマット、イメージデータ(Tiff、Jpeg、Png、Bmp)

★Image Manager：イメージデータの確認、PLS予測用のROIの取り込み、予測結果のテーブル/エクスポート

★多変量解析：PCA、PLS、PLS-DA

PLS\_Toolbox (MATLAB用アドイン)

定価(税込)：660,000円/253,000円(一般/教育)

MIA\_Toolbox (MATLAB用アドイン)

定価(税込)：286,000円/121,000円(一般/教育)

Solo (スタンドアロン)

定価(税込)：968,000円/319,000円(一般/教育)

★netCDF (Mass)のインポート

★高度な前処理(中央化、スケーリング、スムージング、微分)

(製作元：Eigenvector Research Inc.)

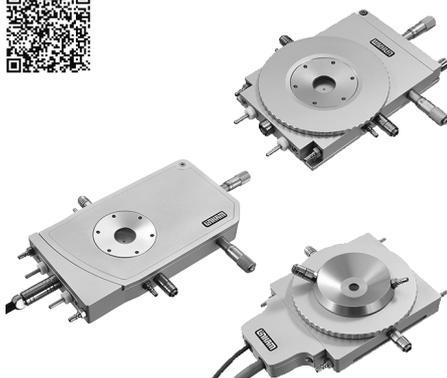
株式会社 デジタルデータマネジメント

TEL.03-5641-1771 FAX.03-5641-1772

URL: <http://www.ddmcorp.com>

4 熱分析

顕微鏡用冷却加熱ステージ 10002L/10083L/10021/10016



-190℃～1500℃の間で顕微鏡観察・顕微測定するサンプルの温度制御ができる顕微鏡用冷却加熱ステージをラインナップしております。

冷却制御は、温度範囲により液体窒素冷却、ペルチェ素子冷却タイプがございます。

加熱冷却の他、電圧印加・延伸・せん断ができる製品もあり、お手持ちの顕微鏡を加工せず取付できます。

●詳しくは当社HPよりご覧下さい

本体価格：お問い合わせください

10002L：温度範囲/-190℃～600℃

昇降温速度/0.01～150℃/min

10083L：温度範囲/-100℃～420℃

昇降温速度/0.01～30℃/min

10021：温度範囲/-20℃～120℃

昇降温速度/0.01～20℃/min

10016：温度範囲/室温～1500℃

昇降温速度/1～200℃/min

ジャパンハイテック株式会社

TEL.043-226-3012 FAX.043-226-3013

URL: <https://www.jht.co.jp>

## 5 研究室用設備器具 フリッチュジャパン NANO対応粉碎機 “Premium Line P-7”



遊星型のパイオニアであるドイツフリッチュ社が、時代が要求するNANO領域の粉末を作成する目的で新たにご紹介する遊星型ボールミルです。従来の弊社製品と比べても2.5倍のパワーを有しており、94Gのパワーが皆様をNANOの世界にご案内いたします。加えて容器は本体に内蔵されておりますので皆様方の安全な作業に十分配慮してございます。容器の多様性も大きな特色かと思えます。加えて卓上タイプであることは研究室のスペースの問題を解消します。

本体価格：お問い合わせください

## 仕様

台盤回転数(最大): 1,100rpm  
 容器回転数: 2,200rpm  
 容器の材質: メノウ、アルミナ、チッカ珪素、ジルコニア、ステンレス、クローム等  
 粉碎例示: 試料。SIO<sub>2</sub>。  
 粉碎時間: 90分。  
 結果 平均粒度: 0.026 $\mu$ m

フリッチュ・ジャパン株式会社  
 TEL.045-641-8550 FAX.045-641-8364  
 URL: <http://www.fritsch.co.jp>  
 E-mail: [info@fritsch.co.jp](mailto:info@fritsch.co.jp)

## 掲載会社 所在地

(一社)化学情報協会	〒113-0021 東京都文京区本駒込6-25-4 中居ビル
ジャパンハイテック(株)	〒260-0001 千葉県千葉市中央区都町3-14-2-405
(株)デジタルデータマネジメント	〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町1-11-8 紅萌ビル
フリッチュ・ジャパン(株)	〒231-0023 神奈川県横浜市中区山下町252 グランベル横浜ビル
フロンティア・ラボ(株)	〒963-8862 福島県郡山市菜根4-16-20

走査電子顕微鏡

Scanning Electron Microscope

# SUPERSCAN SS-2000/3000/4000



## 素材を選ばずナノの世界へ素早くアプローチ 使いやすさと高性能を究めた先進のSEM

- 対物絞りの交換なしで、約2倍の超広域観察から、高倍率観察、元素分析までシームレスに移行
- タッチセンサーと3Dモデルによる二重の衝突回避で、初心者の方も安心・安全のオペレーション
- 優れた電子軌道計算アルゴリズムで、低加速、大電流を含むあらゆる条件で、ビーム特性を最適化



製品情報

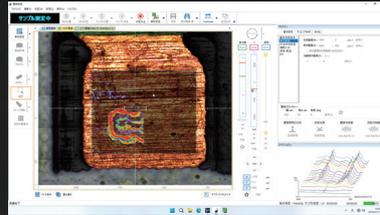


# Explore with Confidence

マルチチャンネル赤外顕微鏡 IRT-7X は、圧倒的な観察画質の向上と高速化されたリニアアレイ検出器の高次元デジタル処理により、より高速で高精細な赤外イメージングを実現しました。異物解析や材料研究における“観る・測る・解析する”を次の次元へ導きます。

## ■ 1秒間に最大160スペクトルの測定とスペクトル・色分け図表示を同時に実行

16 ch リニアアレイ検出器の各素子にデータ処理回路を備え、測定データを高速に並列処理します。目的成分の分布を測定しながら同時に把握できます。



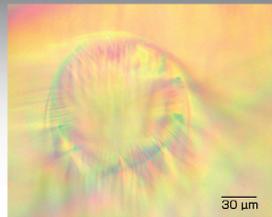
電子基板の電極上の異物測定

## ■ シリコンオイル中のPMMA粒子のATRイメージング

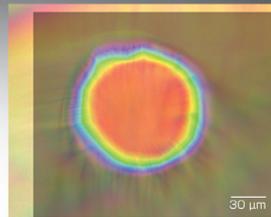
ステージを動かさずに光軸走査する日本分光独自の“スマートマッピング”により、プリズム密着時に試料が観察画像の中央以外に動いても、移動後の部位を測定エリアに指定できます。1回のプリズム接触でケミカルイメージも取得可能です。



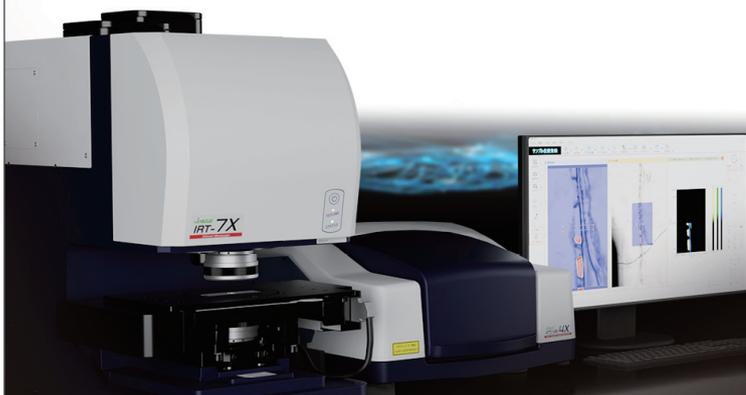
観察画像 (ATR 密着前)



観察画像 (ATR 密着後)

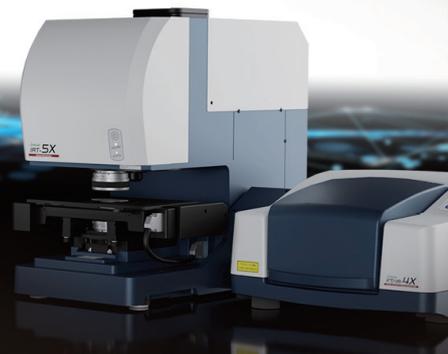


観察画像とケミカルイメージの重ね合わせ  
(1718 cm<sup>-1</sup>のピーク高さ)



Multichannel Infrared Microscope  
マルチチャンネル赤外顕微鏡

# IRT-7X



Infrared Microscope  
赤外顕微鏡

# IRT-5X

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>

JASCO

日本分光IP

